

การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับ  
เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

นายปริญญา ตระกูลวงศ์งาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2553

**TEMPERATURE CONTROL IN HEATING CURVE UP  
PROCESS FOR REHEATING FURNACE  
WALKING HEARTH TYPE**

**Parinya Trakunvongngam**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2010**

## การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

ประธานกรรมการ

---

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

---

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)

กรรมการ

---

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ

---

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวคำรังพงศ์)

กรรมการ

---

(อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

---

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปริญญา ตรีคุณวุฒิ : การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth (TEMPERATURE CONTROL IN HEATING CURVE UP PROCESS FOR REHEATING FURNACE WALKING HEARTH TYPE)  
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, 150 หน้า.

การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด นั้นใช้เวลาประมาณ 50 - 60 ชั่วโมงซึ่งมีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและกระบวนการผลิตเหล็กเส้น เนื่องจากกระบวนการอุ่นเตานั้นไม่สามารถให้ความร้อนอย่างรวดเร็วได้ เพราะจะทำให้เตาอบเกิดความเสียหายจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิใน Soaking Zone ให้มีค่าสอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงโดยใช้วิธีเปิด - ปิดหัวเผาโดยช่างเทคนิคงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการสมดุลทางความร้อนแบบพิจารณาการพาความร้อนเป็นหลัก เปรียบเทียบกับข้อมูลผลการทดลองอุณหภูมิในแต่ละโซนโดยวิธีระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิด และการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงโดยประยุกต์ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมในการหาวิธีเปิด - ปิดหัวเผาให้เหมาะสม ผลที่ได้สามารถบอกวิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่ทำให้การตอบสนองอุณหภูมิที่สอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงและประหยัดเชื้อเพลิงในกระบวนการอุ่นเตาได้

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม \_\_\_\_\_



PARINYA TRAKUNVONGNGAM : TEMPERATURE CONTROL IN  
HEATING CURVE UP PROCESS FOR REHEATING FURNACE  
WALKING HEARTH TYPE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.  
JIRAPHON SRISERTPHOL. Ph.D., 150 PP.

MATHEMATICAL MODEL OF REHEATING FURNACE/THERMALSYSTEM/  
SYSTEM IDENTIFICATION AND GENETIC ALGORITHM.

Temperature control in heating curve up process for reheating furnace walking hearth type in Ratchasima Steel Products Co.,Ltd. (Nakorn Ratchasima, Thailand), which using about 50 - 60 hours. The heating process affect to rate of fuel consumption and steel rod process. In heating curve up process can't heat suddenly, which cause the furnace damaged. Therefore, it is important to control the temperature in soaking zone respect to reference temperature by on - off burner's technician. This research present mathematical model estimation method by heat balance equation dominates convection heat transfer. The result compare with experiment data in each zone. On - off Burner method design by genetic algorithm base on of open - loop identification method. The result of design relative to reference temperature and economize fuel in heating curve up process.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

Co - Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาและด้านการดำเนินงานวิจัยดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา แนะนำ และคอยผลักดันส่งเสริมการทำวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิต ด้วยความเมตตาโดยตลอดและสละเวลาตรวจสอบแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้องสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ ขำพิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา แนะนำด้านวิชาการ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ในการดำเนินงานวิจัย และให้โอกาสการทำงานในหลายด้านด้วยความกรุณาเสมอมา

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว ที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้านวิชาการเป็นแบบอย่างที่ดี ในการทำวิจัยแก่ผู้ทำวิจัย

อาจารย์ ดร.ธีระชาติ พรพิบูลย์ อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ สีตำรังพงษ์ อาจารย์ ชาญยุทธ ขจรไตรเดช และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ ประสพวิชาความรู้ด้วยความเมตตากรุณา

คุณอิทธิศักดิ์ จำรัสประเสริฐ คุณวัชรินทร์ เครือคำ และคุณจักรริน ภูมิโคกรักษ์ ที่ให้ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยาคุณกัศกร ต่อชีพ คุณสายฝน สิบพลกรัง และคุณวารินทร์ พุทธิรัตน์ เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่างๆ

คุณสุพจน์ ปลั่งพิมาย คุณเจิมธง พรารณารักษ์ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ บัณฑิตทุกท่านที่ให้ กำลังใจมาโดยตลอด

บริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือไหลารทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ ประสพวิชาความรู้ให้แก่ ผู้ทำวิจัย ทั้งในอดีตตลอดจนถึงปัจจุบัน และกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงครอบครัว ตระกูลวงศ์งามทุกท่านที่ให้การอบรม เลี้ยงดูและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ปริญญญา ตระกูลวงศ์งาม

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
บทที่	

## 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	3

## 2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำงานของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....	5
2.2 กระบวนการควบคุมเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....	7
2.2.1 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็ก ในช่วงการอุ่นเตา.....	7
2.2.2 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็ก ในช่วงการอบแห้งเหล็ก.....	8
2.3 ปรัชญ่วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.4 สรุป.....	12

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>3</b>	<b>แบบจำลองทางคณิตศาสตร์</b>	
3.1	การควบคุมอุณหภูมิในระบบการอุ่นเตา.....	13
3.2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์โดยทฤษฎี.....	14
3.2.1	สมการการสมดุลทางความร้อน (Heat Balance Equation) .....	16
3.2.2	อัตราการถ่ายเทความร้อน(Rate of Heat Transfer).....	17
3.3	แบบจำลองตัวแปรสแตต (State Variable Models).....	22
3.4	สรุป .....	24
<b>4</b>	<b>การระบุเอกลักษณ์ของระบบพลวัต</b>	
4.1	การระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตแบบวงเปิด.....	25
4.2	การระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตแบบวงเปิดโดยวิธีปัญญาประดิษฐ์.....	26
4.2.1	การทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึม.....	28
4.2.2	การเลือกประชากรและการเข้ารหัส.....	29
4.2.3	การประเมินค่าความเหมาะสม .....	30
4.2.3.1	การประเมินค่าความเหมาะสม .....	30
4.2.3.2	ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม.....	31
4.2.4	การคัดเลือกสายพันธุ์.....	33
4.2.4.1	การกำหนดค่าโอกาสในการถูกคัดเลือก.....	34
4.2.4.2	การแปลงค่าโอกาสเป็นจำนวนโคโนโมโซมลูกหลาน.....	36
4.2.5	ปฏิบัติการทางสายพันธุ์.....	39
4.2.5.1	ครอสโอเวอร์.....	40
4.2.5.2	มิวเทชัน.....	42
4.2.6	การแทนที่.....	43
4.3	การระบุเอกลักษณ์ของเตาอบเหล็กด้วยจีนเนติกอัลกอริทึม.....	44
4.4	สรุป .....	45

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>5 ผลการระบุเอกลักษณ์และผลการทดสอบที่ได้จากการออกแบบ</b>	<b>46</b>
5.1 ผลการระบุเอกลักษณ์ของระบบ.....	46
5.1.1 การประมาณค่าตัวแปรของกระบวนการอุ่นเตา จากผลการทดลองที่ 1 .....	48
5.1.2 การประมาณค่าตัวแปรของกระบวนการอุ่นเตา จากผลการทดลองที่ 2 .....	59
5.1.3 การเฉลี่ยค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากผลการทดลองที่ 1 และผลการทดลองที่ 2 โดย ทดลองกับอินพุตของผลการทดลองที่ 1 .....	70
5.1.4 การเฉลี่ยค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากผลการทดลองที่ 1 และผลการทดลองที่ 2 โดย ทดลองกับอินพุตของผลการทดลองที่ 2 .....	74
5.2 การออกแบบหัวเผาและผลการทดสอบกระบวนการอุ่นเตา.....	78
5.2.1 กำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที โดยออกแบบกับผลการทดลองที่ 1 .....	81
5.2.2 กำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 500 นาที โดยออกแบบกับผลการทดลองที่ 2 .....	84
5.2.3 การออกแบบกับชุดข้อมูลจริงในกระบวนการอุ่นเตา ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 โดยการกำหนด ช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที.....	86
5.3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในกระบวนการอุ่นเตา.....	89
5.4 สรุป .....	90
<b>6 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	
6.1 สรุป .....	91
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	91

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของ เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....	94
ภาคผนวก ข. โปรแกรมการระบุเอกลักษณ์ในกระบวนการอุ่นเตา โดยเงินเนติกอัลกอริทึม.....	100
ภาคผนวก ค. โปรแกรมการออกแบบหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตา โดยเงินเนติกอัลกอริทึม.....	103
ภาคผนวก ง. การใช้โปรแกรม Simulink Parameter Estimation.....	111
ภาคผนวก จ. การใช้โปรแกรมเงินเนติกอัลกอริทึมของMATLAB ในการระบุเอกลักษณ์.....	123
ภาคผนวก ฉ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	134
ประวัติผู้เขียน.....	150

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงค่าตัวแปรโดยประมาณทางทฤษฎี.....24
5.1	แสดงค่าประมาณตัวแปรของโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเงินเนติกอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 1 .....57
5.2	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเงินเนติกอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 1 .....58
5.3	แสดงค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน ของผลการทดลองที่ 1 .....58
5.4	แสดงค่าประมาณตัวแปรของโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเงินเนติกอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 2 .....68
5.5	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเงินเนติกอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 2 .....69
5.6	แสดงค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน ของผลการทดลองที่ 2 .....69
5.7	แสดงค่าเฉลี่ยตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมจาก ผลการทดลองที่ 1 และ 2 .....70
5.8	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากค่าเฉลี่ยตัวแปร.....74
5.9	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบมีการกำหนดช่วง ช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาทีและ 500 นาที.....86
5.10	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของผลการตอบสนองของอุณหภูมิ ใน Soaking Zone เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง.....89
5.11	แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของแต่ละการทดลอง.....89
ก.1	แสดงจำนวนและชนิดของหัวเผา.....96
ง.1	แสดงค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณเปรียบเทียบกับค่าจริง.....121
จ.1	แสดงค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณ.....133

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....4
2.2	แสดงกระบวนการรีดเหล็ก ..... 5
2.3	แสดงช่วงการทำงานของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....6
2.4	แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของเหล็ก .....7
2.5	แสดงกระบวนการควบคุมเตาอบเหล็กในช่วงการอุ่นเตา.....8
2.6	แสดงกระบวนการควบคุมเตาอบเหล็กในช่วงการอบแห้งเหล็ก .....8
2.7	แสดงช่วงการทำงานของเตาอบเหล็กชนิด Walking Beam.....10
2.8	แสดงแผนภาพพลังงานความร้อนที่เข้าและออกจากเตาอบเหล็ก.....12
3.1	แสดงระบบควบคุมในกระบวนการอุ่นเตา.....14
3.2	แสดงรูปร่างด้านข้างของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....14
3.3	แสดงโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth .....15
3.4	แสดงลักษณะการตอบสนองของอุณหภูมิในแต่ละโซน.....16
3.5	แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนใน Preheating Zone .....18
3.6	แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนที่ Heating Zone.....19
3.7	แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนที่ Soaking Zone .....20
4.1	แสดงการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิด.....26
4.2	แสดงการระบุเอกลักษณ์โดยเงินเนติกอัลกอริทึม.....26
4.3	แสดงวัฏจักรการทำงานหลักของเงินเนติกอัลกอริทึม.....27
4.4	แสดงขั้นตอนการทำงานของเงินเนติกอัลกอริทึมกับการเชื่อมโยงเข้ากับระบบ.....28
4.5	แสดงรูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม .....30
4.6	แสดงขั้นตอนการกำหนดค่าโอกาสในการถูกคัดเลือก เพื่อใช้ในขั้นตอนการคัดเลือก.....34
4.7	แสดงวงล้อรูเล็ตจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม.....37
4.8	แสดงวงล้อรูเล็ตจากวิธีการจัดอันดับ.....38



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงวงล้อรูเล็กจากวิธีการเฟ้นสุ่มครอบครัว.....	39
4.10 แสดงครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว .....	40
4.11 แสดงครอสโอเวอร์แบบหลายจุด .....	41
4.12 แสดงครอสโอเวอร์แบบสม้าเสมอ.....	42
4.13 แสดงการแปรผันในมิวเทชัน.....	42
4.14 แสดงขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ระบบโคจีนเนติกอัลกอริทึม.....	44
5.1 แสดงแผนภาพการระบุเอกลักษณ์ของระบบแบบวงเปิด โดยโคจีนเนติกอัลกอริทึมในกระบวนการอุ่นเตา สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth.....	47
5.2 แสดงจำนวนเปิด-ปิดหัวเผาเทียบกับเวลาของผลการทดลองที่ 1.....	49
5.3 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1.....	50
5.4 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และ การประมาณแบบจำลองโดยโคจีนเนติกอัลกอริทึมแบบ กำหนดจำนวนรอบคั้งใน Preheating Zone .....	51
5.5 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และ การประมาณแบบจำลองโดยโคจีนเนติกอัลกอริทึมแบบ กำหนดจำนวนรอบคั้งใน Heating Zone.....	55
5.6 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และ การประมาณแบบจำลองโดยโคจีนเนติกอัลกอริทึมแบบ กำหนดจำนวนรอบคั้งใน Soaking Zone .....	53
5.7 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และ การประมาณแบบจำลองโดยโคจีนเนติกอัลกอริทึมแบบ กำหนดประชากรคั้งใน Preheating Zone.....	54
5.8 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และ การประมาณแบบจำลองโดยโคจีนเนติกอัลกอริทึมแบบ กำหนดประชากรคั้งใน Heating Zone.....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Soaking Zone.....	56
5.10 แสดงจำนวนเปิด-ปิดหัวเผาเทียบกับเวลาของผลการทดลองที่ 2.....	60
5.11 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2.....	61
5.12 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Preheating Zone .....	62
5.13 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Heating Zone.....	63
5.14 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Soaking Zone .....	64
5.15 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Preheating Zone.....	65
5.16 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Heating Zone.....	66
5.17 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองโดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Soaking Zone.....	67
5.18 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองที่ 1 ใน Preheating Zone .....	71

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.19 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ย โดยทดลองที่ 1 ใน Heating Zone.....	72
5.20 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ย โดยทดลองที่ 1 ใน Soaking Zone .....	73
5.21 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ย โดยทดลองที่ 2 ใน Preheating Zone .....	75
5.22 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ย โดยทดลองที่ 2 ใน Heating Zone.....	76
5.23 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ย โดยทดลองที่ 1 ใน Soaking Zone .....	77
5.24 แสดงแผนภาพหลักการออกแบบหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตา .....	78
5.25 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบจำนวนหัวเผาที่เหมาะสม.....	79
5.26 แสดงอุณหภูมิอ้างอิงจากผลการทดลองที่ 1 .....	81
5.27 แสดงการเปิด – ปิดหัวเผาจากการออกแบบ ที่มีการกำหนดช่วงเวลาที่ 300 นาที.....	82
5.28 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 เทียบกับ อุณหภูมิที่ได้จากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลา เปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาทีใน Soaking Zone.....	83
5.29 แสดงการเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาที่ 500 นาที .....	84
5.30 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 เทียบกับ อุณหภูมิที่ได้จากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลา เปิด - ปิดหัวเผาที่ 500 นาทีใน Soaking Zone.....	85

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.31 แสดงอุณหภูมิอ้างอิงของการอุ่นเตาจริง ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 .....	86
5.32 แสดงการเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบที่มีการกำหนด ช่วงเวลาที่ 300 นาทีในกระบวนการอุ่นเตาจริง .....	87
5.33 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิการทดลองเทียบกับ อุณหภูมิจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลา เปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาทีใน Soaking Zone.....	88
ก.1 แสดงแผนภาพลักษณะการวางตำแหน่งหัวเผา.....	95
ก.2 แสดงแผนภาพรูปร่างหัวเผา.....	96
ก.3 แสดงแผนภาพหน้าจอโปรแกรมที่ใช้ปรับ ค่าตัวแปรของตัวควบคุมอัตราส่วน.....	98
ก.4 แสดงแผนภาพการทำงานของอุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ.....	99
ก.5 แสดงแผนภาพข้อมูลอุณหภูมิจากเตาอบเหล็ก.....	99
ง.1 แสดงแผนภาพการจำลองระบบของเตาอบเหล็กใน Simulink .....	112
ง.2 แสดงแผนภาพข้อมูลอินพุตแบบขั้นบันได.....	113
ง.3 แสดงแผนภาพข้อมูลการตอบสนองใน Work Space .....	113
ง.4 แสดงแผนภาพข้อมูลข้อมูลการตอบสนองของแบบจำลอง.....	114
ง.5 แสดงแผนภาพแบบจำลองระบบเตาอบใน Simulink.....	114
ง.6 แสดงแผนภาพเปรียบเทียบการตอบสนองของการจำลอง.....	115
ง.7 แสดงแผนภาพหน้าต่างของ Control and Estimation Tools Manager.....	116
ง.8 แสดงแผนภาพหน้าต่างของการเลือก New Data .....	116
ง.9 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเลือกข้อมูลเอาต์พุต.....	117
ง.10 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเลือกตัวแปรที่ต้องการประมาณ.....	117
ง.11 แสดงแผนภาพหน้าต่าง New Estimation .....	118
ง.12 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเลือกข้อมูลในการประมาณค่า.....	118
ง.13 แสดงแผนภาพหน้าต่างการกำหนดตัวแปรที่ต้องการประมาณ.....	119
ง.14 แสดงแผนภาพหน้าต่างการกำหนดอัลกอริทึมในการประมาณค่าตัวแปร.....	119
ง.15 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเริ่มการประมาณค่าตัวแปร.....	120

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.16 แสดงแผนภาพผลการตอบสนองจากการประมาณ ค่าตัวแปรเทียบกับข้อมูลเอาต์พุต.....	120
ง.17 แสดงแผนภาพค่าตัวแปรที่โปรแกรมประมาณได้.....	121
จ.1 แสดงแผนภาพข้อมูลอินพุตแบบขั้นบันได.....	124
จ.2 แสดงแผนภาพข้อมูลการตอบสนองใน Work Space .....	125
จ.3 แสดงแผนภาพผลการตอบสนองของแบบจำลอง.....	125
จ.4 แสดงแผนภาพหน้าต่างของ GAT .....	126
จ.5 แสดงแผนภาพการใส่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และจำนวนตัวแปร.....	127
จ.6 แสดงแผนภาพการใส่ค่าประชากรของการค้นหา.....	128
จ.7 แสดงแผนภาพการเลือก Selection .....	128
จ.8 แสดงแผนภาพการเลือกจำนวนรอบและ ค่าคลาดเคลื่อนของการค้นหา.....	129
จ.9 แสดงแผนภาพการเลือกแสดงกราฟของการค้นหา.....	129
จ.10 แสดงแผนภาพการเริ่มโปรแกรมการค้นหา.....	130
จ.11 แสดงแผนภาพแผนภาพค่าตัวแปรโดยประมาณ .....	131
จ.12 แสดงแผนภาพการตอบสนองจากการประมาณค่าตัวแปร เทียบกับข้อมูลเอาต์พุต.....	132
จ.13 แสดงแผนภาพการแสดงค่าประมาณตัวแปร.....	132
จ.14 แสดงแผนภาพค่าประมาณตัวแปร .....	133

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$C_1$	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะที่ Preheating Zone ( $J / ^\circ C$ )
$C_2$	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะที่ Heating Zone ( $J / ^\circ C$ )
$C_3$	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะที่ Soaking Zone ( $J / ^\circ C$ )
$T_0$	คือ	อุณหภูมิที่ Chimney ( $^\circ C$ )
$T_1$	คือ	อุณหภูมิที่ Preheating Zone ( $^\circ C$ )
$T_2$	คือ	อุณหภูมิที่ Heating Zone ( $^\circ C$ )
$T_3$	คือ	อุณหภูมิที่ Soaking Zone ( $^\circ C$ )
$\hat{T}_w$	คือ	อุณหภูมิแบบจำลอง ( $^\circ C$ )
$T_h$	คือ	อุณหภูมิอ้างอิง ( $^\circ C$ )
$t$	คือ	เวลา (minute)
$q_1$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Chimney ( $W$ )
$q_2$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Heating Zone ( $W$ )
$q_3$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Heating Zone และ Soaking Zone ( $W$ )
$q_{dist1}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่รบกวน Preheating Zone ( $W$ )
$q_{dist2}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่รบกวน Heating Zone ( $W$ )
$q_{dist3}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่รบกวน Soaking Zone ( $W$ )
$q_{burner}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ( $W$ )
$h$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ การพาความร้อน ( $W / m^2 \cdot ^\circ C$ )
$R_i$	คือ	ความต้านทานความร้อนจำเพาะที่ $i$ โซน ( $^\circ C / W$ )
$N$	คือ	จำนวนหัวเผาที่เปิด
$\dot{V}$	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่อ $(j / L)$
$K_e$	คือ	ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้
$E_{max}$	คือ	ฟังก์ชันกำหนดความเหมาะสมแบบสูงสุด
$E_{min}$	คือ	ฟังก์ชันกำหนดความเหมาะสมแบบต่ำสุด
$\lambda$	คือ	ค่าอัตราการลดลง (Decrement Rate) ของวิธีจิ้นเนติกอัลกอริทึม
$P$	คือ	ค่าโอกาสในการถูกเลือกของโครโมโซมของวิธีจิ้นเนติกอัลกอริทึม

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันกระบวนการอบเหล็กเป็นกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบหนึ่ง ที่ได้มีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรมการรีดขึ้นรูปเหล็ก โดยได้รับความร้อนผ่านทางหัวเผาซึ่งก่อนจะทำการอบเหล็กให้มีความร้อนเป็นไปตามต้องการนี้จะต้องมีกระบวนการอุ่นเตาก่อนเป็นเวลา 50 - 60 ชั่วโมง เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นไปตามอุณหภูมิอ้างอิง(Heating Curve Up) ในกระบวนการอุ่นเตา ถ้าอุณหภูมิไม่เป็นไปตามอุณหภูมิอ้างอิงอาจทำให้ผนังเตาอบเสียหายหรือแตกร้าวได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องให้ความร้อนสอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิง เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัทราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด ได้มีการใช้งานมากกว่า 30 ปีและมีการเปลี่ยนแปลงผนังเตาหลายครั้ง อีกทั้งมีการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงที่ใช้ให้ความร้อนแก่เตาอบเหล็ก ในการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาของบริษัทนั้น ใช้ช่างเทคนิคในการเปิด - ปิดหัวเผาโดยการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงใน Soaking Zone ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ซึ่งอุณหภูมิที่ได้ไม่สอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงใน Soaking Zone และสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดของกระบวนการอุ่นเตาของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เพื่อประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิเคราะห์การตอบสนองของกระบวนการอุ่นเตา เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาในช่วงเวลาที่เหมาะสมให้มีการตอบสนองอุณหภูมิใน Soaking Zone เป็นไปตามอุณหภูมิอ้างอิงและประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาในช่วงเวลาที่เหมาะสมของกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

### 1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1) การประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัดโดยวิธีระบุเอกลักษณ์
- 2) การออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตาให้สอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิงใน Soaking Zone สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด
- 3) การจำลองสถานการณ์ออกแบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB 8.1

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ทดลองการเปิด - ปิดหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตาจริงโดยใช้เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด
- 2) วิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยประมาณสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth จากข้อมูลการทดลองของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด
- 3) ทดลองและออกแบบประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB และ วิธีปัญญาประดิษฐ์
- 4) ทำการจำลองสถานการณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาของกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth โดยโปรแกรม MATLAB และ วิธีปัญญาประดิษฐ์
- 5) ทำการทดสอบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่ออกแบบกับกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แนวทางและวิธีการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่เหมาะสมกับช่วงเวลาในการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัดได้
- 2) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้สอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงและลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในกระบวนการอุ่นเตาได้



## 1.6 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 6 บท ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำจะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ และข้อตกลงเบื้องต้นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ตลอดจนขอบเขต และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 การทำงานของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการระบุเอกลักษณ์ของระบบ ปรีทศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอุ่นเตาด้วยเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

บทที่ 4 การระบุเอกลักษณ์ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ด้วยวิธีเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ รวมทั้งวิธีออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาในช่วงเวลาที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคปัญญาประดิษฐ์

บทที่ 5 ผลการระบุเอกลักษณ์และผลการทดสอบที่ได้จากการออกแบบในกระบวนการอุ่นเตาของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

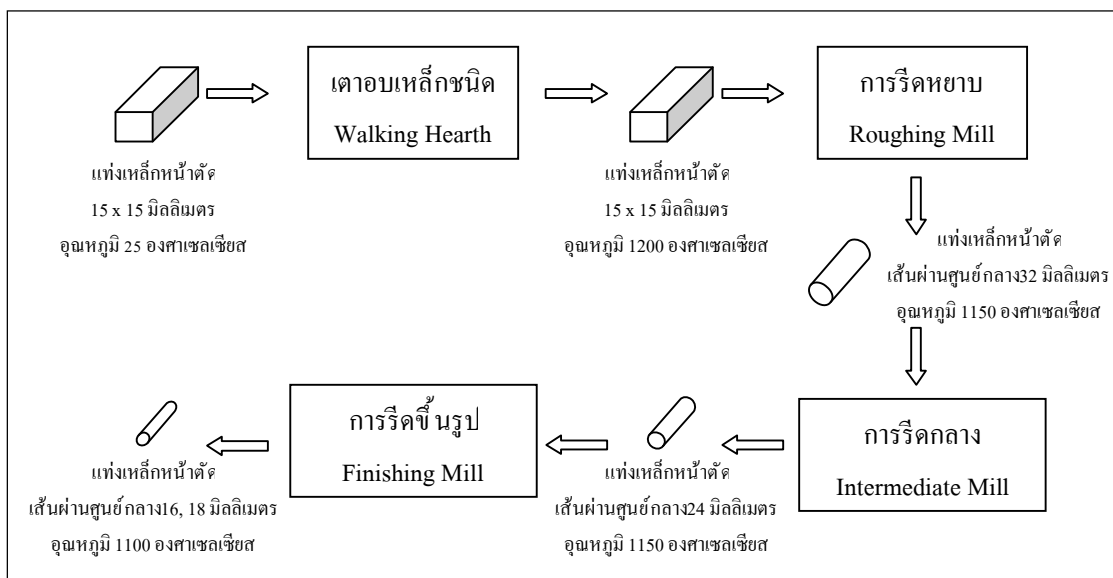
### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เป็นเตาอบขนาดใหญ่ที่ผนังประกอบด้วยอิฐทนความร้อนสูง ที่มีจุดประสงค์เพื่ออบเหล็กให้อ่อนตัวทำให้ง่ายต่อการรีดลดขนาดหน้าตัดให้เล็กลง ด้วยการให้พลังงานความร้อนที่เกิดจากเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้น้ำมันเตาผสมกับน้ำมัน CB (LIGHT CRACKED BOTTOM) ในอัตราส่วน 50 : 50 เป็นเชื้อเพลิงหลักในกระบวนการรีดเหล็ก กระบวนการอุ่นเตามีความสำคัญมากนอกจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นต้นทุนหลักของกระบวนการผลิตแล้วยังต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของเตาอบอีกด้วยสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด นั้นแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

การอบเหล็กโดยเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เป็นกระบวนการแรกของกระบวนการผลิตเหล็กเส้น โดยสามารถอบแท่งเหล็กพร้อมกันได้ 60 แท่ง และใช้เวลาการอบประมาณ 2 ชั่วโมง ทำให้แท่งเหล็กมีอุณหภูมิประมาณ 1150 องศาเซลเซียส แท่งเหล็กจะเข้าสู่กระบวนการรีดหยาบ (Roughing Mill) เพื่อเปลี่ยนแท่งเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15 x 15 มิลลิเมตรเป็นหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร จากนั้นแท่งเหล็กจะเข้าสู่กระบวนการรีดกลาง (Intermediate Mill) เพื่อลดขนาดหน้าตัดให้เหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร และจะเข้าสู่กระบวนการรีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (Finishing Mill) เพื่อให้แท่งเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 หรือ 18 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กเส้นแสดงดังรูปที่ 2.2

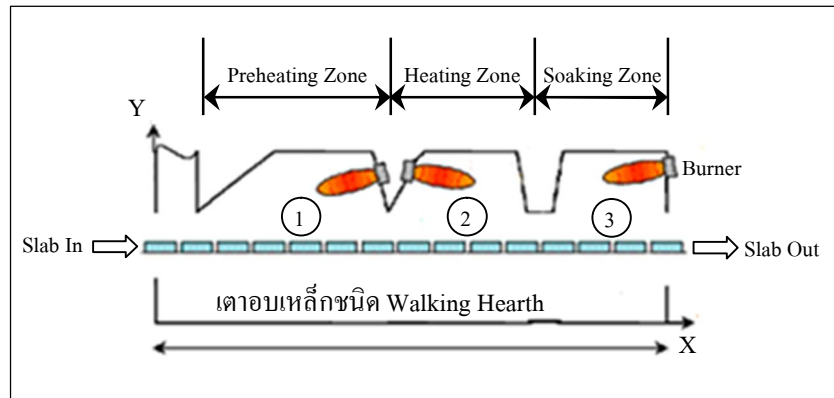


รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการรีดเหล็ก

## 2.1 การทำงานของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

โครงสร้างของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth นี้ จะมีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 โซน แสดงดังรูปที่ 2.3 ได้แก่

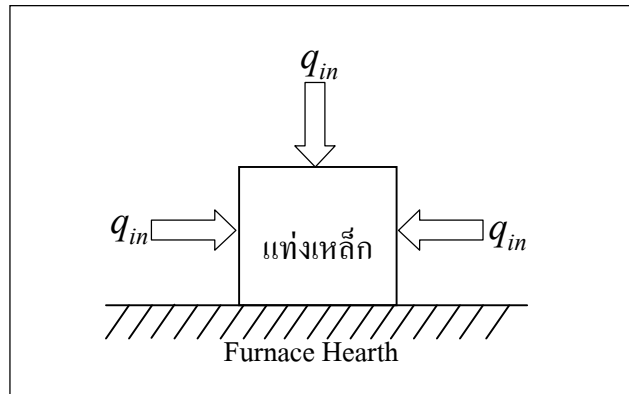
- 1) Preheating Zone มีหัวเผา Type NXB - 250 จำนวน 8 หัวเผา
- 2) Heating Zone มีหัวเผา Type NXB - 250 จำนวน 8 หัวเผา
- 3) Soaking Zone มีหัวเผา Type NXB - 150 จำนวน 10 หัวเผา



รูปที่ 2.3 แสดงช่วงการทำงาน of เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

อุณหภูมิของแต่ละโซนจะแตกต่างกันตามหน้าที่ ได้แก่ Preheating Zone ทำหน้าที่ไล่ความชื้นออกจากแท่งเหล็กและให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 700 - 800 องศาเซลเซียส Heating Zone ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่แท่งเหล็กโดยตรงที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 - 1,150 องศาเซลเซียส และ Soaking Zone ทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิของแท่งเหล็กให้คงที่ประมาณ 1,150 - 1,200 องศาเซลเซียสก่อนเหล็กออกจากเตาอบ ในกระบวนการอุ่นเตาจะควบคุมอุณหภูมิใน Soaking Zone ให้เป็นไปตามอุณหภูมิอ้างอิงโดยทำการเปิด-ปิดหัวเผาโดยช่างเทคนิคจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิใน Soaking Zone ที่เกิดขึ้น สาเหตุที่จำเป็นต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมกับช่วงเวลาเนื่องมาจากการให้ความร้อนแก่เตาอบนี้ไม่สามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วได้เนื่องจากผนังเตาจะเกิดความเสียหาย เมื่อได้รับความร้อนเร็วเกินไป จึงมีการค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสม และรักษาอุณหภูมิกงที่นั้นไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ผนังเตาขในมีการปรับขยายตัวเสียก่อนแล้ว จึงเพิ่มอุณหภูมิขึ้น

เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เรียกตามลักษณะการทำงานของพื้นเตาโดยหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ลักษณะได้แก่พื้นเตาที่อยู่กับที่ (Fix Hearth) มีหน้าที่รองรับน้ำหนักแท่งเหล็กโดยตรงซึ่งเป็นพื้นของเตาอบจริงและลักษณะที่ 2 เป็นพื้นที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Walking Hearth) มีหน้าที่เลื่อนตำแหน่งของแท่งเหล็กจากทางเข้าไปยังทางออก โดยพื้นที่เคลื่อนที่นี้จะเป็นระบบไฮดรอลิกที่แบ่งการทำงานได้ 2 ลักษณะคือ ไฮดรอลิกชุดแรกทำหน้าที่ยกแท่งเหล็กขึ้นและไฮดรอลิกชุดที่สองจะทำหน้าที่เลื่อนแท่งเหล็กไปด้านหน้าดังนั้นเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth แท่งเหล็กจะมีด้านที่สามารถรับพลังงานความร้อนได้ 3 ทิศทาง แสดงดังรูปที่ 2.4



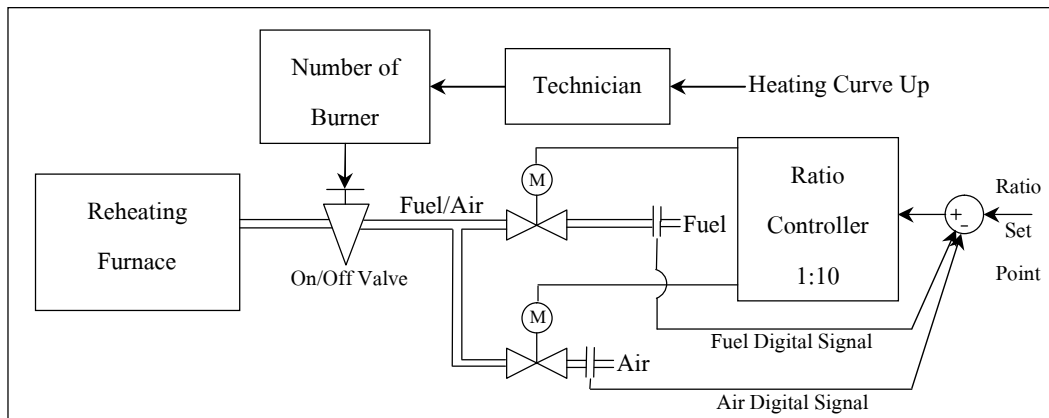
รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการไหลของความร้อนที่แท่งเหล็ก

## 2.2 กระบวนการควบคุมเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

หลักการควบคุมเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ที่ใช้ในปัจจุบัน ของบริษัท ราชสีมา ผลิตเหล็ก จำกัด แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงการอุ่นเตาและช่วงการอบแท่งเหล็กแต่ละช่วงมีหลักการควบคุมและจุดประสงค์ที่ต่างกันดังต่อไปนี้

### 2.2.1 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็กในช่วงการอุ่นเตา

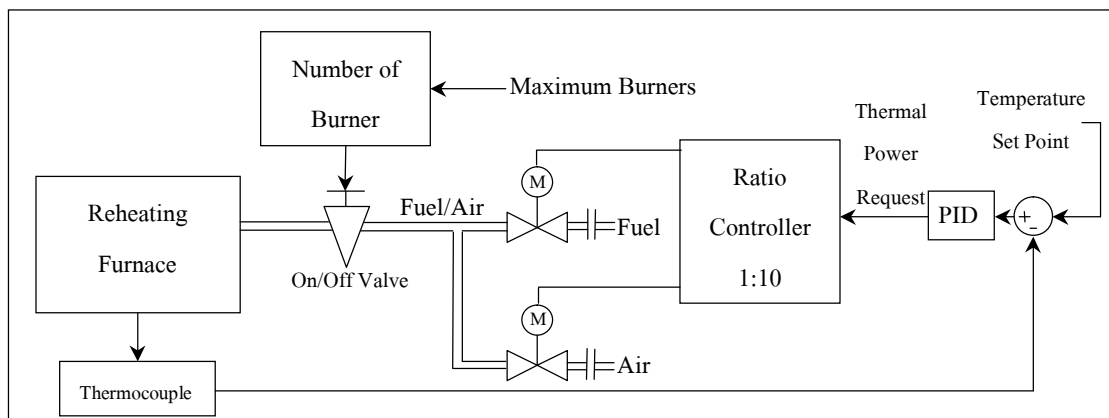
กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็กในช่วงการอุ่นเตามีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในห้องเตาอบให้พร้อมก่อนที่จะอบแท่งเหล็ก โดยช่วงการอุ่นเตาตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์แล้วควรจะใช้เวลานให้น้อยที่สุดเพื่อใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุดในทางวิศวกรรมนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงอย่างรวดเร็วจะทำให้ผนังเตาขยายตัวตามไม่ทันทำให้ผนังเตาแตก จึงได้มีการคิดวิธีการอุ่นเตาให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่เรียกว่า อุณหภูมิอ้างอิง ในช่วงการอุ่นเตาจะมีการปรับอัตราการผสมที่ใช้ควบคุมการจ่ายน้ำมันและอากาศด้วยตัวควบคุมอัตราส่วน (Ratio Controller) อัตราส่วนในปัจจุบันอยู่ที่น้ำมันเชื้อเพลิงหนึ่งส่วนต่ออากาศสิบส่วน โดยมีตัวตรวจรู้อัตราการไหลที่ทางเข้าของน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศเป็นตัวเปรียบเทียบเมื่อเชื้อเพลิงถูกผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบเปิด-ปิดของแต่ละหัวเผา โดยหลักการที่ใช้ปัจจุบันคือ จะเปิดหัวเผาจำนวนน้อย ๆ ก่อนรอจนผลการตอบสนองของอุณหภูมิไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกหรืออุณหภูมิกำลังจะลดลงจึงทำการเปิดหัวเผาเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการควบคุมเตาอบเหล็กในช่วงการอุ่นเตา

### 2.2.2 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็กในช่วงการอบแต่งเหล็ก

กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็กในช่วงการอบแต่งเหล็กมีจุดประสงค์เพื่อรักษาอุณหภูมิในห้องเตาอบให้คงที่ตลอดช่วงเวลาในการอบแต่งเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ 1,150 - 1,200 องศาเซลเซียส กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็กในช่วงการอบแต่งเหล็กจะเกิดขึ้นหลังจากเตาอบผ่านกระบวนการอุ่นเตาจนเสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งในกระบวนการนี้เป็นช่วงที่การทำงานของเตาอบทำงานอย่างเต็มที่ที่หัวเผาจะถูกเปิดทั้งหมดเมื่อภายในเตาอบมีอุณหภูมิมากหรือน้อยเกินไปจะมีการปรับค่าสัญญาณ โดยตัวควบคุมพีไอดีให้มอเตอร์ที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้นหรือลดลง แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการควบคุมเตาอบเหล็กในช่วงการอบแต่งเหล็ก

### 2.3 ปรัชญาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการอุ่นเตาเพื่อเตรียมอุณหภูมิภายในเตาอบให้พร้อมก่อนที่จะอบแห้งเหล็กจากปัญหาในช่วงกระบวนการอุ่นเตาที่พบในปัจจุบันคือ มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงมากและอุณหภูมิไม่สอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาให้เหมาะสมมากขึ้น จากการศึกษาการทำงานและการควบคุมวิธีเปิด - ปิดและลักษณะการควบคุมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากเตาอบมีอายุการใช้งานมาเป็นเวลานาน ซึ่งระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิและส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กไม่เหมาะสม เหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์และศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เพื่อใช้จำลองการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่เหมาะสมมากขึ้น

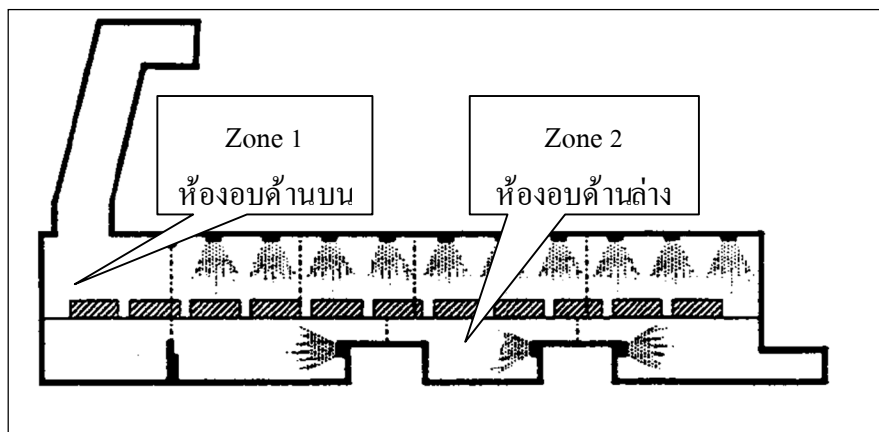
Balbis, L., Balderud, J., and Grimble, M.J. (2008) ได้ศึกษาวิเคราะห์การประมาณอุณหภูมิของแห้งเหล็กเพื่อให้ได้อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียสและต้องการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยใช้หลักการควบคุมแบบการทำนายไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Predictive Control) เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิของแห้งเหล็กในกระบวนการอบแห้งเหล็ก โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้คำนึงถึงค่าพลังงานความร้อนที่เข้าและออกจากแห้งเหล็กโดยใช้หลักการควบคุมแบบ Static Optimization และ Dynamic Optimization

Jann, N.Y., Huang, H., and Lin, S. (2005) ได้นำเสนอการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแบบไม่ทราบอินพุตและเอาต์พุตโดยใช้วิธี Nonlinear Least Square และ Adaptive Nonlinear

Ko, H.S., Kim, J.S., and Yoon, T.W. (2000) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิของแห้งเหล็กในกระบวนการอบแห้งเหล็ก โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการสมดุลเคมีทางมวลและสมการสมดุลทางพลังงานที่เข้าและออกจากแห้งเหล็กซึ่งได้ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธี Multiple Model Least Square Method (MMLS) และได้จำลองตัวควบคุมแบบการทำนาย (Predictive Controller) มาประมาณค่าอุณหภูมิของแห้งเหล็ก

Kusters, A., and van Ditzhuijzen, G.A.J.M. (1994) ได้ศึกษาวิเคราะห์วิธีการระบุเอกลักษณ์ระบบแบบป้อนกลับ (Closed - Loop Identification) แบบหลายตัวแปร (MIMO System Identification) ของแห้งเหล็กในเตาอบเหล็กชนิด Walking Beam เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใช้การควบคุมแบบออนไลน์กับอุณหภูมิที่แห้งเหล็ก ในการระบุเอกลักษณ์ได้ใช้แบบจำลองกล่องดำ (Black-Box Model) แบบ ARX ที่ไม่บ่งชี้ลักษณะทางกายภาพเพื่อให้ง่ายต่อการระบุเอกลักษณ์แบบหลายตัวแปร โดยที่ค่าอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากผลการทดลองมาจากการทดลองอบแห้งเหล็ก 1 แห้งเพื่อใช้หาแบบจำลองและเมื่อได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงได้พัฒนา

ใช้กับการออกแบบแท่งเหล็กหลายๆ แท่ง ลักษณะของเตาอบในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งการทำงานออกเป็น ๒ ช่วงการทำงานคือห้องอบด้านบนและห้องอบด้านล่างแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงช่วงการทำงานของเตาอบเหล็กชนิด Walking Beam

Kim, M.Y. (2007) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานความร้อนในรูปแบบการพาความร้อน การนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตาอบ โดยพิจารณาเกี่ยวกับพลังงานความร้อนและทิศทางการนำความร้อนโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิในแท่งเหล็กที่ได้เกิดจากสมการการนำความร้อนในแบบ 2 ทิศทาง (Two Dimensional Heat Conduction Equation) และใช้วิธีทาง Finite Element หาค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของแท่งเหล็ก

Lo, C.H., Chow, K.M., Wong, Y.K., and Rad, A.B. (2001) ได้ศึกษาวิเคราะห์การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีจิ้นเนติกอัลกอริทึมโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบแบบพลวัต รวมทั้งวิธีการค้นหาคำตอบด้วยจิ้นเนติกอัลกอริทึมและหลักการค้นหาคำตอบจากสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่ไม่เป็นเชิงเส้น(First Order Nonlinear)

Luo, Y., Chen, Z., and Wan, L. (2010) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการระบุเอกลักษณ์ของค่าตัวแปรการแผ่รังสีที่ออกจากแท่งเหล็กในกระบวนการอบแท่งเหล็กโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากความแตกต่างของอุณหภูมิในแท่งเหล็กด้วยสมการการนำความร้อนแบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย(Partial Differential Equation) และใช้ Simulink ของโปรแกรม MATLAB ในการระบุเอกลักษณ์ของระบบ

Ping, Q.X., Lain, P., Qiang, L.Z., and Ming, L.X. (2010) ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และออกแบบระบบควบคุมรวมทั้งประมาณค่าตัวแปรของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ใช้ควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงของเตาอบเหล็กด้วยวิธีจิ้นเนติกอัลกอริทึม



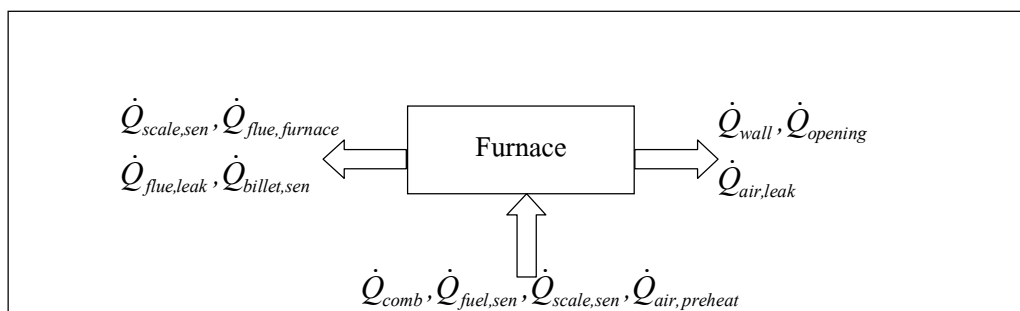
Pedersen, L.M., and Wittenmark, B. (1998) ได้ศึกษาวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพลวัตของแท่งเหล็กเกี่ยวกับการพาความร้อน (Convection Heat Transfer) การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิของแท่งเหล็กที่เข้าสู่เตาอบโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการทดลองอบแท่งเหล็ก 1 แท่งเพื่อใช้หาแบบจำลองและประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลอง และได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยหลักการสมการตัวแปรสแตตกับตำแหน่งที่วางของแท่งเหล็กภายในเตาอบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้โดยวิธีการศึกษาระบบแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear System) และนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นี้ไปประมาณการตอบสนองที่ดีที่สุดโดยใช้เครื่องมือ Optimization ของโปรแกรม MATLAB

Srisertpol, J., Phungpimai, S., and Jawayon, P. (2009) ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเตาอบแบบหลอดอินฟราเรดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอดี และได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมทั้งการระบุเอกลักษณ์ของระบบเตาอบ จากนั้นได้สร้างอัลกอริทึมที่สามารถปรับตัวได้โดยอ้างอิงแบบจำลอง (Model Reference Adaptive System) เพื่อปรับค่าตัวแปรของตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อสามารถประยุกต์ใช้กับเตาอบแบบหลอดอินฟราเรดทุกเครื่อง

Srikaew, A. (2009) ได้ศึกษาการระบุเอกลักษณ์และการค้นหาคำตอบโดยวิธีเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ อาทิเช่น การค้นหาคำตอบแบบตาบอด อัลกอริทึมการอบอุ่นจำลอง จินเนติก อัลกอริทึม ฯลฯ ที่เป็นเครื่องมือช่วยในการระบุเอกลักษณ์ของงานวิจัยนี้

van Ditzhuijzen, G., Staalman, D., and Koorn, A. (2002) ได้ศึกษาวิเคราะห์และออกแบบจำลองแบบกล่องดำแบบ ARX ของแท่งเหล็ก ซึ่งแบบจำลองที่ได้เป็นแบบการทำนายแบบจำลองบนระบบที่มีการตอบสนองแบบทันที (Real Time) ของกระบวนการอบเหล็กโดยค่าอุณหภูมิในเตาอบเหล็ก จากแบบจำลองที่ได้จะใช้ทำนายค่าของอุณหภูมิของแท่งเหล็กในทุก ๆ ตำแหน่งการวางแท่งเหล็กภายในเตาอบเหล็ก ซึ่งหลักการที่ใช้สร้างแบบจำลองนี้ ได้ใช้หลักการสมการการนำความร้อนแบบ 1 มิติ (One Dimensional Heat Conduction Equation) รวมทั้งการทำแบบจำลองให้เป็นแบบจำลองเชิงเส้นด้วยวิธีอนุกรมฟูริเยร์

จิตติน แดงเที่ยง (2007). ได้ศึกษาเกี่ยวกับแหล่งที่มาของค่าพลังงานความร้อนเกี่ยวกับการพาความร้อน การแผ่รังสีและการสูญเสียความร้อนที่ออกจากเตาอบเหล็กที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบเหล็กซึ่งหลักการให้ความร้อนและการสูญเสียความร้อน มีลักษณะคล้ายคลึงกับกระบวนการอุ่นเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เพื่อช่วยในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพพลังงานความร้อนที่เข้าและออกจากเตาอบเหล็ก

โดยที่	$\dot{Q}_{comb}$	คือ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ( $W$ )
	$\dot{Q}_{fuel,sen}$	คือ ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิงขาเข้า ( $W$ )
	$\dot{Q}_{scale,form}$	คือ ความร้อนที่เกิดจากสเกล ( $W$ )
	$\dot{Q}_{air,preheat}$	คือ ความร้อนที่นำกลับมาใช้จากPreheat ( $W$ )
	$\dot{Q}_{air,leak}$	คือ ความร้อนของอากาศที่รั่วออกจากเตา ( $W$ )
	$\dot{Q}_{billet,sen}$	คือ ความร้อนสัมผัสที่เข้าสู่แท่งเหล็ก ( $W$ )
	$\dot{Q}_{flue,furnace}$	คือ ความร้อนสัมผัสของไอเสียที่ออกจากเตาไปยังRecupetator ( $W$ )
	$\dot{Q}_{scale,sen}$	คือ ความร้อนสัมผัสที่เข้าสู่สเกล ( $W$ )
	$\dot{Q}_{opening}$	คือ ความร้อนที่สูญเสียผ่านช่องเปิดจากการแผ่รังสีความร้อน ( $W$ )
	$\dot{Q}_{wall}$	คือ ความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังเตา ( $W$ )
	$\dot{Q}_{flue,leak}$	คือ ความร้อนที่สูญเสียจากไอเสียที่รั่วออกจากเตา ( $W$ )

## 2.4 สรุป

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้ศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิของแท่งเหล็ก ในลักษณะการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ได้วิเคราะห์หาโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาผลการตอบสนองของกระบวนการอบแท่งเหล็กและการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็ก สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบวิธีการเปิด - ปิดหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตาซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ควบคุมอุณหภูมิใน Soaking Zone ให้สอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิงของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth และยังสามารถลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างเหมาะสม

## บทที่ 3

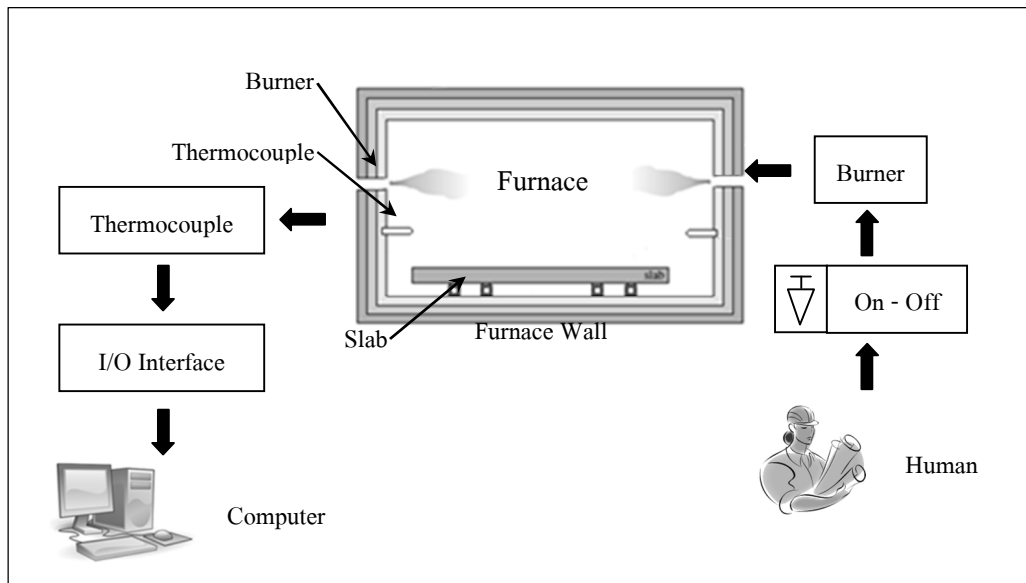
### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการวิเคราะห์ระบบหรือกระบวนการต่าง ๆ นั้นจำเป็นต้องทราบถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้น การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสามารถหาได้จากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เคยมีการศึกษาซึ่งจะทำให้ได้แบบจำลองพื้นฐานของระบบ จากนั้นให้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์เพื่อทำการทดลองจริงบนขอบเขตหรือข้อจำกัดของการทดลอง ในการทดลองมีตัวแปรที่มีผลกระทบแตกต่างกัน จากนั้นนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พื้นฐานที่ได้มาวิเคราะห์ว่ามีตัวแปรใดบ้างที่มีผลกระทบกับระบบแล้วทำการวิเคราะห์หาความเกี่ยวข้องกับแบบจำลองพื้นฐาน

การประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation) เป็นวิธีช่วยในการทดสอบประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบได้ โดยการวัดอินพุตและเอาต์พุตของระบบแล้วนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรที่สำคัญต่าง ๆ เพื่อใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยระบบที่สนใจที่จะใช้ศึกษาคือกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงกระบวนการอุ่นเตาโดยมีการควบคุมวิธีเปิด - ปิดหัวเผาให้สอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิงใน Soaking Zone สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์และอธิบายพฤติกรรมของระบบในเชิงวิศวกรรมสำหรับเนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดของการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

#### 3.1 การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตา

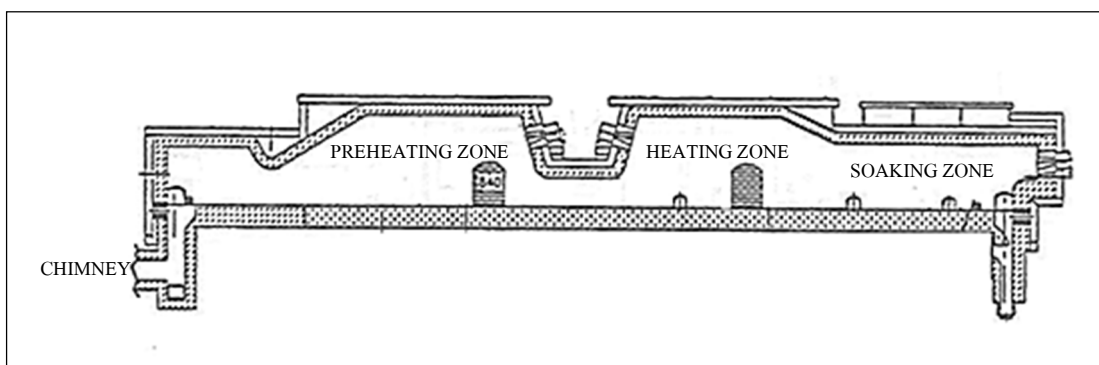
การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตามีชุดควบคุมอัตราส่วนการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศให้กับหัวเผาเพื่อทำการผสมเชื้อเพลิงให้ได้ตามที่ต้องการ จากนั้นส่งเข้าสู่หัวเผาโดยมีวาล์วควบคุมแบบเปิด - ปิด (On - Off Control) โดยช่างเทคนิค ภายในเตาอบมีเทอร์โมคัปเปิลทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิและส่งไปยังชุดควบคุม ชุดควบคุมจะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีโปรแกรมที่ใช้สำหรับการแสดงค่าอุณหภูมิและควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศเพื่อช่วยในการปรับอุณหภูมิได้บางส่วนแต่อีกปัจจัยในการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตานั้นคือการเปิด - ปิดหัวเผาสามารถเขียนแผนภาพของระบบควบคุมในกระบวนการอุ่นเตาแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงระบบควบคุมในกระบวนการอุ่นเตา

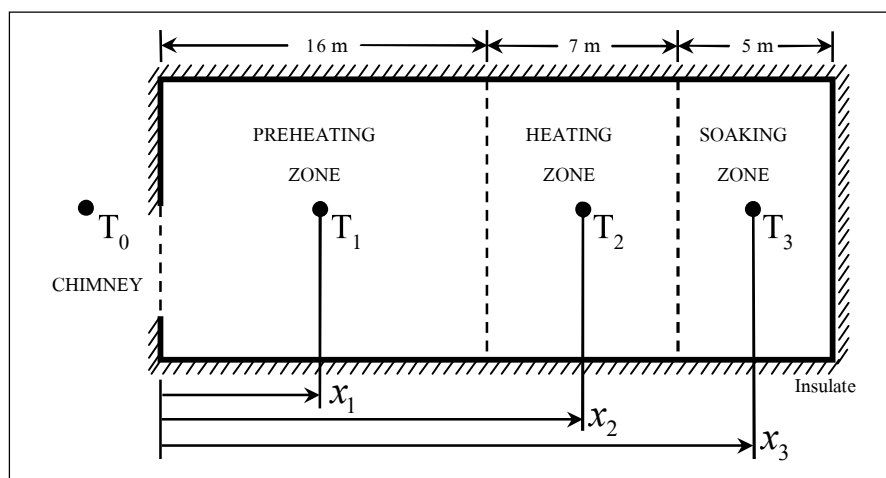
### 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์โดยทฤษฎี

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กนั้น ได้พิจารณาจากโครงสร้างของเตาอบเหล็กโดยแบ่งเตาอบออกเป็น 3 ช่วงตามรูปร่างและลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.2



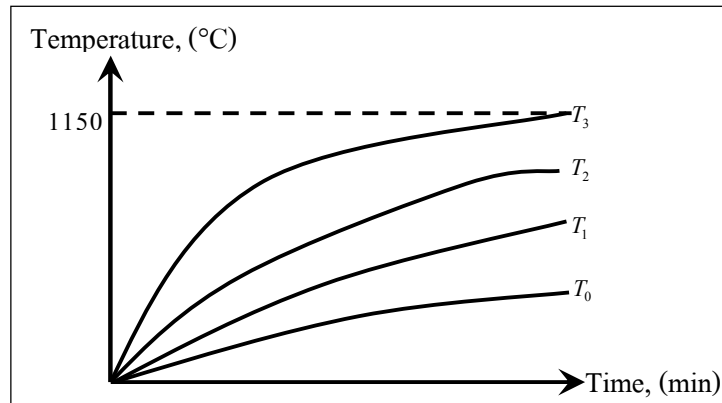
รูปที่ 3.2 แสดงรูปร่างด้านข้างของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

จากลักษณะการทำงาน แสดงดังในรูปที่ 3.2 สามารถนำมาเขียนโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบง่าย โดยแบ่งออกตามลักษณะรูปร่างทางกายภาพของเตาอบเหล็กได้แก่ช่วง Preheating Zone มีความยาวประมาณ 16 เมตรมีความสูงจากพื้นเตาถึงเพดานเตาประมาณ 1.5 เมตร ช่วง Heating Zone มีความยาวประมาณ 7 เมตรมีความสูงจากพื้นเตาถึงเพดานเตาประมาณ 2 เมตร และ Soaking Zone มีความยาวประมาณ 5 เมตรความสูงจากพื้นเตาถึงเพดานเตาประมาณ 1.5 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

จากโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ลักษณะการตอบสนองของอุณหภูมิในแต่ละโซน โดยที่อุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิต่ำไปยังอุณหภูมิสูงคือ  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยโครงสร้างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภายใต้ข้อมูลที่สามารวัดได้ในกระบวนการอุ่นเตา เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดในการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายสามารถนำไปออกแบบวิธีการควบคุมอุณหภูมิสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ในกระบวนการอุ่นเตาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานตามสภาพปัจจุบัน



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการตอบสนองของอุณหภูมิในแต่ละโซน

### 3.2.1 สมการการสมดุลทางความร้อน (Heat Balance Equation)

สมการการสมดุลทางความร้อนสำหรับเตาอบในกระบวนการอุ่นเตา นั้นคืออัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบนั้น เท่ากับการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่ไหลเข้าสู่เตาอบหลัก แสดงดังสมการที่ (3.1)

$$C_j \frac{dT_j}{dt} = q_{net} = q_i - q_o \quad (3.1)$$

โดยที่	$C_j$	คือ	ค่าความจุความร้อนที่ $j$ โซน ( $J/^\circ C$ )
	$T_j$	คือ	ค่าอุณหภูมิที่ $j$ โซน ( $^\circ C$ )
	$t$	คือ	เวลา ( <i>minute</i> )
	$q_i$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ( $W$ )
	$q_o$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ออกจากระบบ ( $W$ )

### 3.2.2 อัตราการถ่ายเทความร้อน (Rate of Heat Transfer)

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสองจุด โดยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นหลัก (Forced Convection Dominate) แสดงดังสมการที่ (3.2)

$$q = hA\Delta T = \frac{1}{R} \Delta T \quad (3.2)$$

โดยที่	$q$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน ( $W$ )
	$h$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ การพาความร้อน ( $W / m^2 \cdot ^\circ C$ )
	$R$	คือ	ค่าความต้านทานความร้อน ( $^\circ C / W$ )
	$\Delta T$	คือ	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ( $^\circ C$ )

### 3.2.3 ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

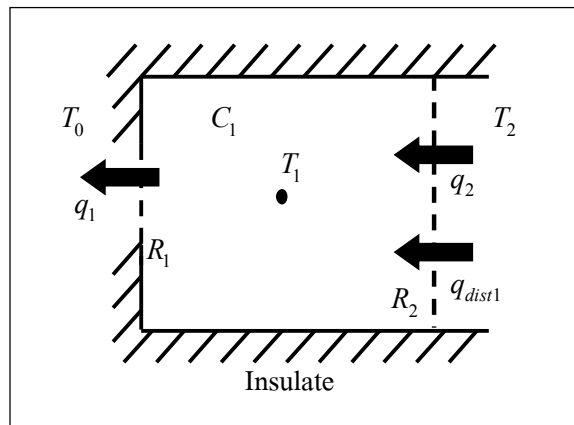
ค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายเทความร้อนในแต่ละโซน แสดงดังสมการที่ (3.3)

$$R = \frac{d(\Delta T)}{dq} = \frac{1}{K} \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.2) แทนค่า  $R$  จากสมการ (3.3) จะได้แสดงดังสมการที่ (3.4)

$$q = \frac{(\Delta T)}{R} \quad (3.4)$$

- จากระบบความร้อนใน Preheating Zone ได้พิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยวิเคราะห์ในเทอมของค่าความจุความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงดังสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.5 แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนใน Preheating Zone

จะได้ แสดงดังสมการที่(3.5)

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = q_2 - q_1 + q_{dist1} \quad (3.5)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Chimney จะได้ แสดงดังสมการที่(3.6)

$$q_1 = \frac{1}{R_1}(T_1 - T_0) \quad (3.6)$$

และอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Heating Zone จะได้ แสดงดังสมการที่(3.7)

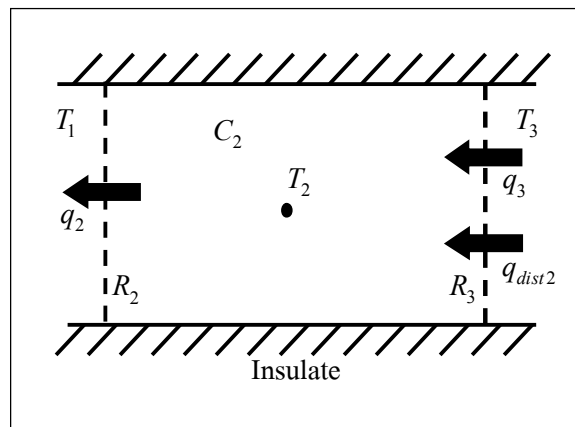
$$q_2 = \frac{1}{R_2}(T_2 - T_1) \quad (3.7)$$

โดยที่  $C_1$  คือ ค่าความจุความร้อนที่ Preheating Zone ( $J / ^\circ C$ )  
 $R_1$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Chimney ( $^\circ C / W$ )  
 $R_2$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Heating Zone ( $^\circ C / W$ )



- $q_1$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Chimney ( $W$ )
- $q_2$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Heating Zone ( $W$ )
- $q_{dist1}$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่รบกวน Preheating Zone ( $W$ )
- $T_0$  คือ อุณหภูมิที่ Chimney ( $^{\circ}C$ )
- $T_1$  คือ อุณหภูมิที่ Preheating Zone ( $^{\circ}C$ )
- $T_2$  คือ อุณหภูมิที่ Heating Zone ( $^{\circ}C$ )

• จากระบบความร้อนใน Heating Zone ได้พิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยวิเคราะห์ในเทอมของค่าความจุความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงดังสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.6 แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนที่ Heating Zone

จะได้ แสดงดังสมการที่ (3.8)

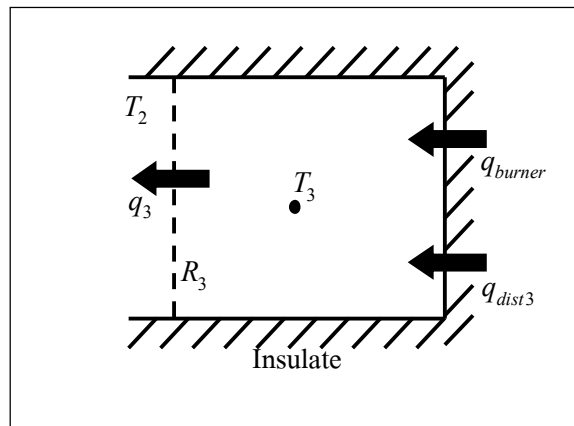
$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = q_3 - q_2 + q_{dist2} \quad (3.8)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Preheating Zone และ Heating Zone จะได้ แสดงดังสมการที่ (3.9)

$$q_3 = \frac{1}{R_3} (T_3 - T_2) \quad (3.9)$$

โดยที่	$C_2$	คือ	ค่าความจุความร้อนที่ Heating Zone ( $J / ^\circ C$ )
	$R_3$	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนระหว่าง Heating Zone และ Soaking Zone ( $^\circ C / W$ )
	$q_{dist2}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่รอบกวน Heating Zone ( $W$ )
	$q_3$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Heating Zone และ Soaking Zone ( $W$ )
	$T_3$	คือ	อุณหภูมิที่ Soaking Zone ( $^\circ C$ )

• จากระบบความร้อนใน Soaking Zone ได้พิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยวิเคราะห์ในเทอมของค่าความจุความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงดังสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.7 แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนที่ Soaking Zone

จะได้ แสดงดังสมการที่ (3.10)

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = q_{burner} - q_3 + q_{dist3} \quad (3.10)$$

และสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแสดงดังสมการที่ (3.11)

$$q_{burner} = \dot{N}LHV \quad (3.11)$$

โดยที่	$C_3$	คือ	ค่าความจุความร้อนที่ Soaking Zone ( $J / ^\circ C$ )
	$q_{dist3}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณ Soaking Zone ( $W$ )
	$q_{burner}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ( $W$ )
	$N$	คือ	จำนวนหัวเผาที่เปิดมี $N = 1, 2, 3, \dots, 10$
	$\dot{v}$	คือ	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง ( $L / Hr$ )
	$LHV$	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ ( $J / L$ )

จากสมการที่ (3.6) และ (3.7) แทนค่าในสมการที่ (3.5) จะได้แสดงดังสมการที่ (3.12)

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{1}{R_2}(T_2 - T_1) - \frac{1}{R_1}(T_1 - T_0) + q_{dist1} \quad (3.12)$$

จากสมการที่ (3.7) และ (3.9) แทนค่าในสมการที่ (3.8) จะได้แสดงดังสมการที่ (3.13)

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{R_3}(T_3 - T_2) - \frac{1}{R_2}(T_2 - T_1) + q_{dist2} \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.9) และ (3.11) แทนค่าในสมการที่ (3.10) จะได้แสดงดังสมการที่ (3.14)

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = N\dot{v}LHV - \frac{1}{R_3}(T_3 - T_2) + q_{dist3} \quad (3.14)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{dT_1}{dt} = \dot{T}_1 = \frac{1}{C_1 R_2} T_2 - \frac{1}{C_1 R_2} T_1 - \frac{1}{C_1 R_1} T_1 + \frac{1}{C_1 R_1} T_0 + q_{dist1} \quad (3.15)$$

$$\frac{dT_2}{dt} = \dot{T}_2 = \frac{1}{C_2 R_3} T_3 - \frac{1}{C_2 R_3} T_2 - \frac{1}{C_2 R_2} T_2 + \frac{1}{C_2 R_2} T_1 + q_{dist2} \quad (3.16)$$

$$\frac{dT_3}{dt} = \dot{T}_3 = \frac{1}{C_3 R_3} T_2 - \frac{1}{C_3 R_3} T_3 + N\dot{LHV} + q_{dist3} \quad (3.17)$$

### 3.3 แบบจำลองตัวแปรสแตต (State Variable Models)

แบบจำลองตัวแปรสแตตมีรูปลักษณะเป็นสมการอนุพันธ์สามัญอันดับหนึ่งซึ่งเอื้อประโยชน์ต่อการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแปร  $x(t)$  แบบตัวแปรเดียวมีรูปแบบแสดงดังสมการที่ (3.18)

$$\frac{d}{dt} x(t) = ax(t) + bu(t) \quad (3.18)$$

ในกรณีหลายตัวแปรสามารถแสดงสมการสแตต (State Equation) ได้ แสดงดังสมการที่ (3.19)

$$\frac{d}{dt} x = Ax + Bu \quad (3.19)$$

โดยที่  $x$  คือ ตัวแปรสแตตของระบบ  
 $u$  คือ อินพุตของระบบ

รวมทั้งสมการเอาต์พุต (Output Equation) แบบตัวแปรเดียวมีรูปแบบแสดงดังสมการที่ (3.20)

$$y(t) = cx(t) + du(t) \quad (3.20)$$

ในกรณีหลายตัวแปรสามารถเขียน แสดงดังสมการที่ (3.21)

$$y = Cx + Du \quad (3.21)$$

แบบจำลองตัวแปรสแตตที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุตที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาแบบจำลองโดยกำหนดให้อินพุตของระบบคือจำนวนหัวเผาที่เปิดและเอาต์พุตของระบบคืออุณหภูมิในแต่ละโซน จากสมการที่ (3.15) (3.16) และ (3.17) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการสแตตได้ แสดงดังสมการที่ (3.22) และสมการเอาต์พุต แสดงดังสมการที่ (3.23)

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(\frac{1}{C_1 R_1} + \frac{1}{C_1 R_2}\right) & \frac{1}{C_1 R_2} & 0 \\ \frac{1}{C_2 R_2} & -\left(\frac{1}{C_2 R_2} + \frac{1}{C_2 R_3}\right) & \frac{1}{C_2 R_3} \\ 0 & \frac{1}{C_3 R_3} & -\frac{1}{C_3 R_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{v}LHV \end{bmatrix} N + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1 R_1} T_0 + q_{dist1} \\ q_{dist2} \\ q_{dist3} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

จากสมการที่ (3.22) สามารถแทนตัวแปรอย่างง่ายได้ แสดงดังสมการที่ (3.24)

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(a+b) & b & 0 \\ c & -(c+d) & d \\ 0 & e & -e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f \end{bmatrix} N + \begin{bmatrix} aT_0 + q_{dist1} \\ q_{dist2} \\ q_{dist3} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

โดยที่

$a$	คือ	$\frac{1}{R_1 C_1}$
$b$	คือ	$\frac{1}{R_1 C_2}$
$c$	คือ	$\frac{1}{R_2 C_2}$
$d$	คือ	$\frac{1}{R_2 C_3}$
$e$	คือ	$\frac{1}{R_3 C_3}$
$f$	คือ	$\dot{v}LHV$

ในทางปฏิบัติไม่สามารถหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้เนื่องจากเครื่องมือวัดไม่เพียงพอจึงได้พิจารณาการประมาณค่าตัวแปรทางทฤษฎีและศึกษาค้นคว้าจากงานวิจัยอื่น ๆ ค่าตัวแปรโดยประมาณที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวแปร โดยประมาณทางทฤษฎี

ตัวแปร	ค่าประมาณทางทฤษฎี
$R_1$	0.00398 - 0.00596 ( $^{\circ}C / W$ )
$R_2$	0.00238 - 0.00358 ( $^{\circ}C / W$ )
$R_3$	0.00331 - 0.00497 ( $^{\circ}C / W$ )
$C_1$	93,058.33 - 147,964.10 ( $J / ^{\circ}C$ )
$C_2$	46,529.17 - 70,497.91 ( $J / ^{\circ}C$ )
$C_3$	11,167.00 - 34,717.06 ( $J / ^{\circ}C$ )

### 3.4 สรุป

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยประมาณที่สร้างขึ้นภายใต้ ข้อมูลและอุปกรณ์เครื่องมือวัด ได้แก่ อินพุตคือจำนวนหัวเผาที่เปิดและเอาต์พุตคืออุณหภูมิในแต่ละโซน โดยค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยจากเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้บนละ 2 ตัว จึงได้พิจารณาสมการ สมดุลทางความร้อนที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 จุดและเพื่อให้ง่ายต่อการประมาณแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ได้กำหนดค่าให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกทางผนังเตา

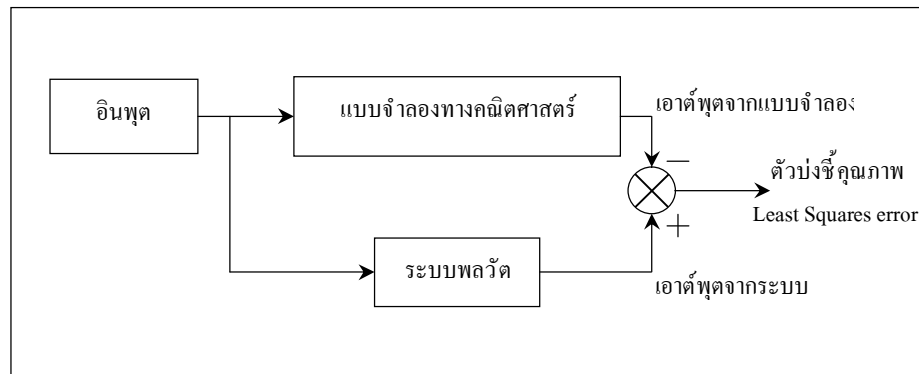
## บทที่ 4

### การระบุเอกลักษณ์ของระบบพลวัต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พิจารณาประยุกต์ใช้วิธีการประมาณค่าโดยวิธีผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดเป็นตัวบ่งชี้ค่าความเหมาะสมของค่าตัวแปรโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมในการค้นหาค่าตัวแปรโดยประมาณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการอุ่นเตาในลักษณะการทำงานระบบพลวัตแบบวงเปิดโดยอาศัยการประมาณค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดรวมทั้งการเก็บค่าข้อมูลทั้งอินพุตและเอาต์พุตเพื่อวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีพฤติกรรมการตอบสนองที่สอดคล้องกันกับข้อมูลการทดลอง ในทางปฏิบัติค่าตัวแปรของระบบจะไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรงจึงต้องทำการประมาณค่าตัวแปรของกระบวนการอุ่นเตาโดยวิธีการระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตแบบวงเปิดตามการทำงานของกระบวนการอุ่นเตาที่มีการประยุกต์ใช้จินเนติกอัลกอริทึมช่วยในการค้นหาค่าประมาณของตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำแบบจำลองโดยประมาณที่ได้ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบวิธีการเปิด - ปิดหัวเผา

#### 4.1 การระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตแบบวงเปิด

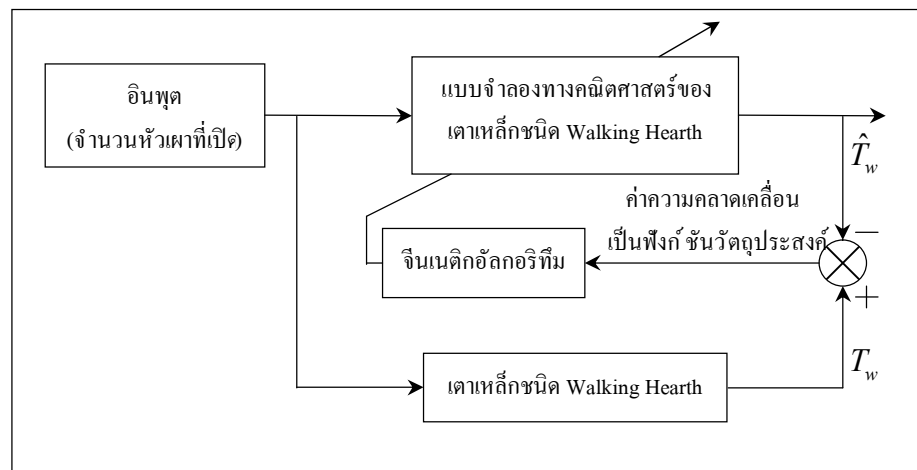
การระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตได้มีการศึกษาวิจัยอย่างช้านาน และแตกแขนงออกไปอย่างกว้างขวาง โดยอาจเริ่มต้นศึกษาจากตำราการระบุเอกลักษณ์ระบบพื้นฐาน ซึ่งกล่าวถึงการระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตด้วยวิธีการดั้งเดิม ว่าจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลความรู้เกี่ยวกับอินพุตและเอาต์พุตของระบบจากการทดลองและการตรวจวัดอย่างเหมาะสม โดยการคำนวณหาค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่อาศัยการคำนวณเชิงตัวเลขแบบกำลังสองที่น้อยที่สุด(Least Squares) เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าเอาต์พุตจริงที่ได้จากข้อมูลการทดลองและค่าเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิด

#### 4.2 การระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตแบบวงเปิดโดยวิธีปัญญาประดิษฐ์

การระบุเอกลักษณ์ระบบพลวัตแบบวงเปิดในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การค้นหาแบบจินเนติกอัลกอริทึมเพื่อค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการระบุเอกลักษณ์โดยจินเนติกอัลกอริทึม

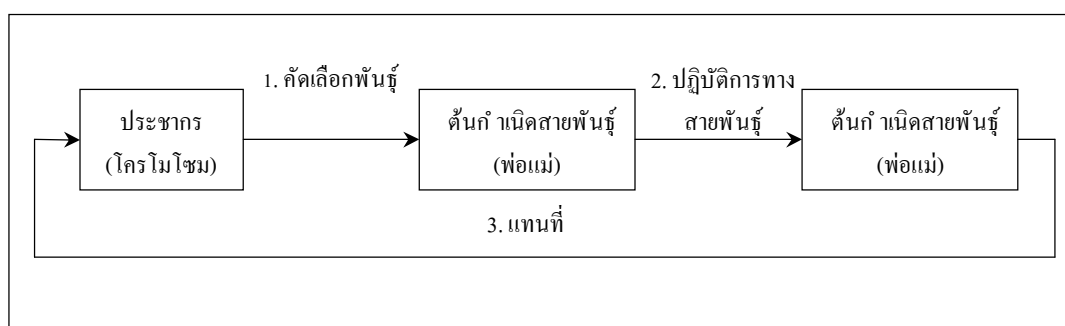
การค้นหาแบบจินเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาทางปัญญาประดิษฐ์ที่ทรงประสิทธิภาพวิธีหนึ่งซึ่งได้รับการพัฒนามาจากหลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์จินเนติก อัลกอริทึมเป็นการคำนวณอย่างหนึ่งที่สามารถกล่าวได้ว่ามี “วิวัฒนาการ” อยู่ในขั้นตอนของการค้นหาคำตอบและได้รับการจัดให้เป็นวิธีหนึ่งในกลุ่มของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ



(Evolutionary Computing) ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ยอมรับในประสิทธิภาพและมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด จินเนติกอัลกอริทึมหรือเรียกโดยย่อว่า “GA” ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 60 โดยจำลองเอาแนวคิดของการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในระบบชีววิทยามาใช้ในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ในการค้นหาคำตอบให้กับระบบสามารถหาค่าเหมาะที่สุด อัลกอริทึมเป็นเครื่องมือช่วยคำนวณอย่างหนึ่งที่คอยทำงานอยู่ข้างระบบ โดยที่วิศวกรการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญได้แก่

- การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) คือ การคัดเลือกประชากรที่ดีในระบบไปเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้กำเนิดลูกหลานรุ่นถัดไป
- ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic Operation) คือ กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมด้วยวิธีการทางสายพันธุ์เป็นขั้นตอนการสร้างลูกหลานซึ่งได้จากการรวมพันธุของต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้ได้ลูกหลานที่มีส่วนผสมผสานมาจากพ่อแม่หรือได้จากการแปรผันยีนของพ่อแม่เพื่อให้ได้ลูกหลานสายพันธุ์ใหม่
- การแทนที่ (Replacement) คือ ขั้นตอนการนำเอาลูกหลานที่กำเนิดใหม่ไปแทนที่ประชากรเก่า เป็นกระบวนการในการคัดเลือกกว่าควรจะใช้ลูกหลานในกลุ่มใดจำนวนเท่าไรไปแทนประชากรเก่าในกลุ่มใด

วิศวกรของจินเนติกอัลกอริทึมแสดงให้เห็นถึงความเหมือนกับการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ สิ่งมีชีวิตที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าจะสามารถอยู่รอดได้ ในขณะที่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ไม่สามารถปรับตัวเองได้จะต้องสูญพันธุ์ไป การปรับตัวดังกล่าวแสดงว่าสิ่งมีชีวิตนั้นมีวิวัฒนาการเกิดขึ้น กระบวนการภายในของจินเนติกอัลกอริทึมทำให้คำตอบของระบบที่มีอยู่เกิดวิวัฒนาการในตัวเองอันจะนำไปสู่การปรับตัวให้กลายเป็นคำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุดได้ รายละเอียดต่าง ๆ ขององค์ประกอบในวัฏจักรจินเนติกอัลกอริทึมแสดงดังรูปที่ 4.3



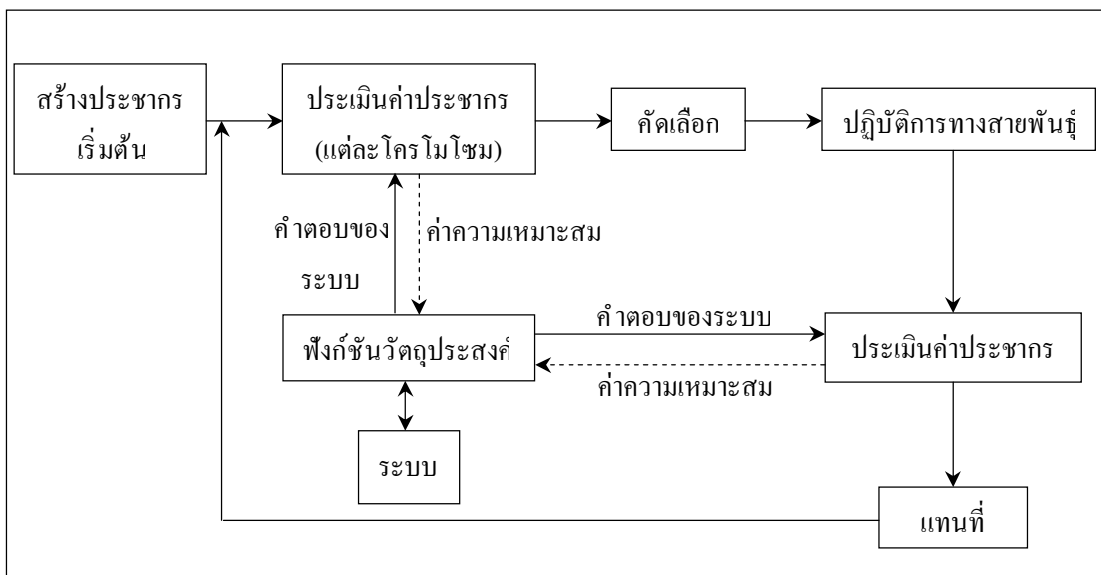
รูปที่ 4.3 แสดงวัฏจักรการทำงานหลักของจินเนติกอัลกอริทึม

ซึ่งองค์ประกอบในวัฏจักรการทำงานหลักของจินเนติกอัลกอริทึมมีดังต่อไปนี้

- ประชากร (Population) คือ กลุ่มของโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นตัวแทนของชุดคำตอบในระบบที่ต้องการค้นหา
- ต้นกำเนิดสายพันธุ์ (Parents) คือ กลุ่มประชากรที่ถูกคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนในการให้กำเนิดสายพันธุ์ใหม่ในรุ่นถัดไป (Next Generation) ประชากรกลุ่มนี้ จะเปรียบเสมือน “พ่อแม่” สำหรับใช้ในการสืบทอดสายพันธุ์ให้ลูกหลาน
- สายพันธุ์ใหม่ (Offspring) คือ ประชากรกลุ่มใหม่เปรียบเสมือน “ลูกหลาน” ที่ได้รับการถ่ายทอดสายพันธุ์มาจากพ่อแม่โดยคาดหวังที่จะได้รับสายพันธุ์ที่ดีที่สุดเพื่อถ่ายทอดไปยังประชากรรุ่นถัดไป

#### 4.2.1 การทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมจะทำการเชื่อมโยงเข้ากับระบบในโลกจริงเพื่อทำการค้นหาคำตอบที่ต้องการ จินเนติกอัลกอริทึมจะทำการค้นหาในรูปแบบกลุ่มโครโมโซมของประชากร ชุดคำตอบที่ต้องการจะต้องเป็นโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่ม ดังนั้นระบบจะสามารถรู้ได้ว่าคำตอบที่มีอยู่ในจินเนติกอัลกอริทึมดีหรือไม่คืออย่างไรด้วยการประเมินค่าของโครโมโซม ระบบจะมีการเชื่อมต่อกับจินเนติกอัลกอริทึมผ่านฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการประเมินค่าของโครโมโซม แสดงดังรูปที่ 4.4



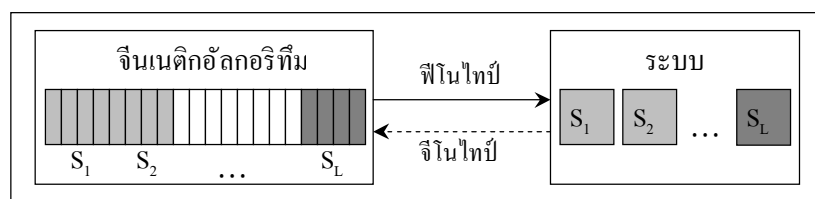
รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมกับการเชื่อมโยงเข้ากับระบบ

ขั้นตอนการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมมีด้วยกัน 8 ขั้นตอนคือ

- 1) สร้างประชากรโดยการสุ่ม (Random)
- 2) ประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากรทั้งหมดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์เนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมภายในจินเนติกอัลกอริทึมดังนั้นโครโมโซมจะต้องผ่านการถอดรหัสก่อนที่จะนำไปทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแบบจำลองตัวแปรสแตต
- 3) คำนวณค่าความเหมาะสมส่งกลับไปยังจินเนติกอัลกอริทึม
- 4) ใช้ค่าความเหมาะสมทำการคัดเลือกโครโมโซมบางกลุ่มเพื่อเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ซึ่งจะเป็นตัวแทนในการถ่ายทอดสายพันธุ์ให้กับรุ่นถัดไป
- 5) นำต้นกำเนิดสายพันธุ์มาทำการสร้างลูกหลานด้วยปฏิบัติการทางสายพันธุ์โครโมโซมที่ได้คือโครโมโซมลูกหลาน
- 6) คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูกหลานโดยใช้ขั้นตอนเดียวกับข้อ 2
- 7) โครโมโซมในประชากรเดิมจะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมลูกหลานที่ได้จากข้อ 5 ประชากรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกแทนที่ด้วยกลวิธีเฉพาะสำหรับขั้นตอนของการแทนที่โดยใช้ค่าความเหมาะสมในการคัดเลือก
- 8) เริ่มต้นทำซ้ำจากขั้นตอนในข้อ 2 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการคำตอบที่ได้จะมาจากโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรนั่นเองโดยที่สามารถใช้ค่าจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการประเมินว่าคำตอบที่ได้เป็นที่ต้องการหรือไม่

#### 4.2.2 การเลือกประชากรและการเข้ารหัส

จินเนติกอัลกอริทึมจะพิจารณาหาคำตอบของปัญหาจากกลุ่มคำตอบหรือประชากรของคำตอบแต่ละคำตอบจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแสดงอยู่ในรูปของโครโมโซม การเข้ารหัส (Encoding Scheme) ประชากรเป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะเป็นการออกแบบให้โครโมโซมเป็นตัวแทนของคำตอบจากระบบในการใช้งานจินเนติกอัลกอริทึมทั่วไปรูปแบบที่ง่ายที่สุดคือการกำหนดให้โครโมโซมอยู่ในรูปของตัวแปรแบบสตริง (String of Variables) โดยลักษณะการแปลงโครโมโซมที่ถูกเข้ารหัสระบบแบบเลขฐานสองจากชุดคำตอบของระบบแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม

แต่ละระบบจะมีจำนวนตัวแปรไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและความซับซ้อน การออกแบบการแก้ปัญหาของระบบจะกำหนดให้เป็นแสดงดังสมการที่ (4.1)

$$S = [a, b, c, d, e, f] \rightarrow S = [s_1, s_2, \dots, s_L] \quad (4.1)$$

โดยที่  $S$  คือ โครโมโซมหนึ่งๆ และแต่ละ  $S_i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, L$   
 $L$  คือ จำนวนตัวแปรในชุดคำตอบของระบบ  
 $a, b, c, d, e, f$  คือ ตัวแปรของระบบที่ต้องการหา

#### 4.2.3 การประเมินค่าความเหมาะสม

การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ของโครโมโซมจะประกอบด้วยการคำนวณค่าของสองฟังก์ชันดังต่อไปนี้

##### 4.2.3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการของจินเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการประเมินผลคำตอบของระบบว่าดีหรือไม่ดี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันที่ทำการประเมินคำตอบจากโครโมโซม โดยเทียบกับเป้าหมายของระบบในกรณีที่ระบบเป็นปัญหาของการค้นหาค่าน้อยที่สุด (Minimization Problem) โครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของระบบจะมีค่าตัวเลขจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด ตัวอย่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ฟังก์ชันทั่วไปที่ใช้คำนวณค่าความผิดพลาดของระบบ (Error) เช่น MSE (Mean - Square Error) SSE (Sum - Square Error) และ RMSE (Root Mean Square Error) เป็นต้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของระบบดังกล่าวก็คือต้องการให้ค่าความผิดพลาดของระบบมีค่าน้อยที่สุด ค่าการประเมิน (Evaluation Value) ที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเป็นตัวบ่งบอกว่าคำตอบของระบบขณะนั้นดีหรือไม่ดี สำหรับคำตอบหนึ่งๆ แล้วค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่าหมายถึงคำตอบนั้นจะเป็นคำตอบที่ดีกว่า

ค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์บางครั้ง จะเรียกว่าค่าวัตถุประสงค์(Objective Value) เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องใช้ตัวระบบเป็นที่คำนวณค่าการประเมิน ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จึงถือเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมโยงจินเนติกอัลกอริทึมเข้ากับระบบในโลกจริง ถ้ากำหนดให้โครโมโซม  $S$  ที่เวลา  $t$  ใด ๆ คือ  $S(t)$  เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าการประเมินของโครโมโซมนี้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แสดงดังสมการที่ (4.2)

$$f(S(t)) = f(s_1(t), s_2(t), \dots, s_L(t)) \quad (4.2)$$

โดยที่  $s_1(t), s_2(t), \dots, s_L(t)$  คือ ค่าตอบของระบบที่ผ่านการถอดรหัสแล้ว

#### 4.2.3.2 ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม

ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมเป็นฟังก์ชันที่ทำการจับคู่ค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไปเป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value) จุดประสงค์ของฟังก์ชันนี้ก็คือเพื่อกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยทำการเปรียบเทียบกันเองภายในกลุ่มประชากร ค่าความเหมาะสมเหล่านี้ จะถูกนำไปใช้เป็นตัวบ่งชี้เพื่อคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้ในการสร้างประชากรในรุ่นถัดไป สาเหตุที่จินเนติกอัลกอริทึมจะไม่ใช้ค่าการประเมินในการคัดเลือกโครโมโซมเพราะว่าค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้ จะมีค่าขึ้นอยู่กับระบบจึงทำให้ตัวเลขที่ได้มีความหลากหลายและแตกต่างกันเกินไป ตัวอย่างเช่นขนาดค่าความผิดพลาดของระบบสามารถมีค่าน้อยที่สุดคือศูนย์และมากที่สุดที่ไม่จำกัดขนาดและเครื่องหมาย ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามีความไม่เหมาะสมที่จะนำเอาค่าดังกล่าวมาใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมเนื่องจากค่านี้อาจจะมีความแตกต่างกันเกินไป โดยเฉพาะในแต่ละรอบการค้นหาวงจรของจินเนติกอัลกอริทึมที่มีการประเมินโครโมโซมค่าความผิดพลาดอาจจะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงดังนั้นฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมของจินเนติกอัลกอริทึมจะเป็นการคำนวณค่าการประเมินของโครโมโซมทั้งหมดเทียบกับโครโมโซมด้วยกันเองและปรับให้มีค่าที่อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันแสดงดังสมการที่(4.3)

$$E(F_i) \in |E_{\min}, E_{\max}|, i = 1, 2, \dots, N \quad (4.3)$$

โดยที่  $E(F_i)$  คือ ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมจากค่าการประเมินโครโมโซมตัวที่  $i$   
 $E_{\min}, E_{\max}$  คือ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของค่าความเหมาะสม

ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของค่าความเหมาะสมจะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมซึ่งต่างกับค่าการประเมินที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะของคำตอบที่คำนวณได้ในแต่ละรอบของจินเนติกอัลกอริทึม เทคนิคของฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมมีอยู่หลายแบบเทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้ เช่น วิธีกำหนดอย่างเป็นสัดส่วน(Proportional) หรือวิธีการกำหนดบรรทัดฐานเชิงเส้น(Linear Normalization) ฯลฯ รายละเอียดโดยสังเขปของเทคนิคดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1) วิธีกำหนดค่าความเหมาะสมอย่างเป็นสัดส่วน(Proportional Fitness Function) มีด้วยกัน 4 ขั้นตอนคือ

- ขั้นตอนการกำหนดให้ประชากรประกอบด้วยโครโมโซมทั้งหมด  $N$  ตัวคือ  $S_i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, N$
- ขั้นตอนการกำหนดให้ค่าการประเมินของโครโมโซมตัวที่  $i$  คือ  $F_i(S_i)$
- ขั้นตอนการหาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมสามารถคำนวณได้แสดงดังสมการที่ (4.4)

$$E(F_i) = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (4.4)$$

- ขั้นตอนพิจารณาความเหมาะสมโดยค่าที่ได้จะถูกทำให้อยู่ในบรรทัดฐานเดียวกันนั่นคือมีค่าไม่เกิน 1 จะได้ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมมีค่าอยู่ในย่านเดียวกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถใช้กับค่าการประเมินที่ติดลบได้ วิธีการประเมินค่าประชากรอย่างเป็นสัดส่วนถือว่าเป็นวิธีเบื้องต้นที่ไม่ยุ่งยากใช้ลดความแตกต่างค่าประเมินของแต่ละประชากรได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นค่าประเมินของโครโมโซมที่ได้จากวิธีการกำหนดค่าความเหมาะสมอย่างเป็นสัดส่วนยังคงมีความแตกต่างกันในระดับหนึ่ง หลาย ๆ วิธีของการกำหนดค่าความเหมาะสมจึงได้ถูกพัฒนาและนำเสนอเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว พิจารณาวิธีกำหนดค่าความเหมาะสมอย่างเป็นบรรทัดฐานเชิงเส้น

2) วิธีกำหนดค่าความเหมาะสมอย่างเป็นบรรทัดฐานเชิงเส้น (Linear Normalization Fitness Function) มีด้วยกัน 4 ขั้นตอนคือ

- ขั้นตอนการจัดเรียงโครโมโซมด้วยค่าการประเมินตามลำดับโดยที่เรียงจากมากไปน้อยสำหรับระบบที่ต้องการหาคำตอบที่มีค่ามากที่สุดและเรียงจากน้อยไปมากจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการหาคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดกำหนดให้ตัวชี้ที่แสดงลำดับของการเรียงเป็น

• ขั้นตอนที่กำหนดให้โครโมโซมที่ดีที่สุดมีค่าความเหมาะสมเป็น  $E_{best}$  แล้วโครโมโซมตัวที่  $i$  จะมีค่าความเหมาะสม แสดงดังสมการที่ (4.5)

$$E_i = E_{best} - (r - 1) \times \lambda \quad (4.5)$$

โดยที่  $\lambda$  คือ ค่าอัตราการลดลง (Decrement Rate)

• ขั้นตอนที่พิจารณาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะมีค่าไม่เกิน  $E_{best}$  ในขณะที่โครโมโซมที่อยู่ในอันดับแรกๆ จะมีค่าความเหมาะสมที่ดีกว่าตามสัดส่วนของ  $r - 1$

• ขั้นตอนที่พิจารณาหาอัตราการลดลง ซึ่งค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของค่าการประเมินซึ่งอาจจะไม่เหมือนกันในแต่ละระบบ

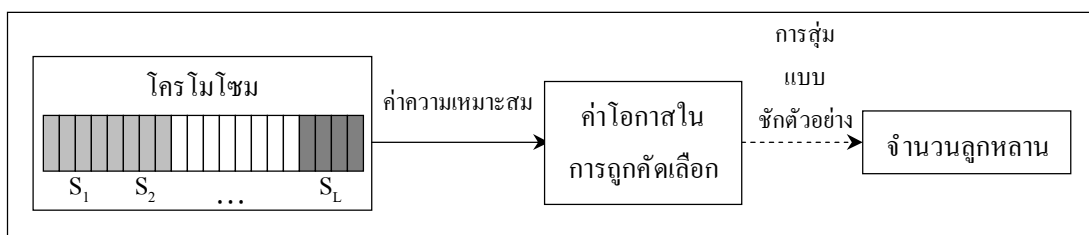
#### 4.2.4 การคัดเลือกสายพันธุ์

การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นขั้นตอนในการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดจากภายในกลุ่มประชากรทั้งหมดซึ่งโครโมโซมที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวต้นกำเนิดสายพันธุ์หรือ “พ่อแม่” เพื่อให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นถัดไปเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ดี ต้นกำเนิดของสายพันธุ์จะต้องดีด้วยจึงกลายเป็นปัญหาว่าจะทำการคัดเลือกต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ดีได้อย่างไร การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นการจำลองการคัดเลือกโครโมโซมที่สามารถอยู่รอดได้ในแต่ละรุ่นสำหรับจินเนติกอัลกอริทึมจะทำการคัดเลือกโครโมโซมโดยพิจารณาที่ค่าความเหมาะสมของโครโมโซม ดังนั้นโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีย่อมมีโอกาสที่จะให้ลูกหลานในจำนวนที่มากกว่าและบ่งบอกว่ามีโอกาสในการอยู่รอดในรุ่นถัดไปเพิ่มมากขึ้น ด้วยการคัดเลือกสายพันธุ์มีหลายวิธีซึ่งทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

- 1) วิธีที่ใช้ค่าความเหมาะสมโดยตรง วิธีนี้จะใช้ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมสำหรับการคัดเลือกสายพันธุ์
- 2) วิธีใช้ค่าความเหมาะสมโดยอ้อม วิธีนี้จะมีการแปลงค่าความเหมาะสมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ เช่นการทำให้เป็นบรรทัดฐานอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

ขั้นตอนในการคัดเลือกสายพันธุ์ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่การกำหนดค่าโอกาสในการถูกคัดเลือก ( $P$ ) เพื่อเป็นตัวต้นกำเนิดสายพันธุ์ให้กับโครโมโซม และการแปลงค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกไปเป็นจำนวนของโครโมโซมลูกหลานซึ่งขั้นตอนการคัดเลือกดังกล่าวจินเนติกอัลกอริทึมจะใช้ค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกแทนค่าความเหมาะสม ผลลัพธ์จากการคัดเลือกคือจำนวนลูกหลานที่ได้จากโครโมโซมนั้นๆ โครโมโซมที่มีโอกาสในการถูกคัดเลือกสูงจะให้จำนวนของโครโมโซมลูกหลานที่สูงด้วย ดังนั้นสิ่งที่เราต้องพิจารณาคือการคำนวณหาค่าในการ

ถูกคัดเลือกที่เหมาะสม โดยวิธีการกำหนดค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกที่ใช้กันทั่วไป เช่นวิธีการแบ่งเป็นสัดส่วน (Pro - Portionate) วิธีของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann) วิธีการจัดอันดับ (Ranking) และวิธีการจัดการแข่งขัน (Tournament) ส่วนการแปลงค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกไปเป็นจำนวนโครโมโซมถูกหลานเรียกว่าการชักตัวอย่าง(Sampling) จะใช้วิธีของวงล้อรูเล็ต(Roulette Wheel Sampling) หรือวิธีการกระบวนการสุ่มครอบจักรวาล (Stochastic Universal Sampling) แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการกำหนดค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในขั้นตอนการคัดเลือก

#### 4.2.4.1 การกำหนดค่าโอกาสในการถูกคัดเลือก

หลักการกำหนดโอกาสในการถูกคัดเลือกคือการใช้ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมเพื่อช่วยในการคัดเลือกมีด้วยกัน 4 วิธีคือ

- 1) วิธีการคัดเลือกด้วยการแบ่งเป็นสัดส่วน (Proportionate Selection) วิธีการนี้จะทำการคัดเลือกโครโมโซมอย่างเป็นสัดส่วนจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนี้ หากกำหนดให้โครโมโซม  $S$  มีค่าความเหมาะสมเป็น  $E(S)$  ค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซม แสดงดังสมการที่(4.6)

$$P(S) = \frac{E(S)}{\bar{E}} \tag{4.6}$$

โดยที่  $\bar{E}$  คือ ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยของโครโมโซมทั้งหมด  
 $P(S)$  คือ ค่าโครโมโซมแต่ละตัวที่สามารถเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ในอัตราส่วนแตกต่างกัน

โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสในการสืบสายพันธุ์ด้วยอัตราที่สูงกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยกว่า ข้อจำกัดของการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการนี้ คือค่าความเหมาะสมจะต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น อย่างไรก็ตามเราสามารถใส่



ค่าเอกซ์โพเนนเชียลของค่าความเหมาะสมซึ่งจะมีค่าเป็นบวกเสมอแทนได้ วิธีดังกล่าวจะกลายเป็นวิธีของโบลต์ซมันน์นั่นเองวิธีการแบ่งเป็นสัดส่วนเป็นวิธีที่ง่ายแต่อาจจะนำไปสู่คำตอบแบบวงแคบเฉพาะถิ่นได้ (Local Optimum) วิธีการอื่น ๆ จึงถูกพัฒนาและศึกษาในประสิทธิภาพต่อการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมดังเช่นวิธีของโบลต์ซมันน์หรือวิธีแบบจัดอันดับ

2) วิธีการคัดเลือกแบบโบลต์ซมันน์(Boltzmann Selection) เป็นวิธีการแก้ปัญหาของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่เป็นลบนอกจากนั้นแล้วยังมีจุดประสงค์เพื่อลดความแตกต่างของค่าความเหมาะสมของประชากร โดยพิจารณาค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซม  $S$  ที่มีค่าความเหมาะสมเป็น  $E(S)$  สามารถเขียนได้ แสดงดังสมการที่ (4.7)

$$P(S) = \frac{e^{E(S)}}{\bar{E}} \quad (4.7)$$

3) วิธีการคัดเลือกแบบจัดอันดับ (Ranking Selection) เป็นวิธีการที่ค่อนข้างง่ายโดยโครโมโซมจะถูกจัดเรียงให้มีอันดับ ( $r$ ) ตามค่าความเหมาะสม โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดจะอยู่ในอันดับที่  $N$  โดยที่  $N$  คือจำนวนโครโมโซมทั้งหมดซึ่ง  $N$  จะเป็นค่าอันดับที่มากที่สุดในขณะที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมด้อยที่สุดจะอยู่ในอันดับที่ 1 ซึ่งวิธีการคัดเลือกแบบจัดอันดับมีข้อดีคือค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกจะไม่แปรผันกับขนาดของค่าความเหมาะสมแต่จะขึ้นกับอันดับของโครโมโซมอย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวจะมีผลทำให้การเข้าสู่ค่าตอบของจินเนติกอัลกอริทึมช้าลงเนื่องจากโครโมโซมที่ด้อยกว่ามีโอกาสในการถูกคัดเลือกให้ดีขึ้นด้วย สามารถเขียนได้ แสดงดังสมการที่ (4.8)

$$P(S) = \frac{r}{E} \quad (4.8)$$

4) วิธีการคัดเลือกแบบจัดการแข่งขัน (Tournament Selection) เป็นวิธีการเดียวกับการแข่งขันกีฬาทั่วไปคือการสุ่มแบ่งกลุ่มคัดเลือกโครโมโซมแล้วเลือกเอาโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นเพื่อหาโครโมโซมผู้ชนะเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ต่อไปจำนวนของโครโมโซมในแต่ละกลุ่มนั้นจะแตกต่างกันออกไปโดยปกติแล้วจะใช้วิธีสุ่มแบบจับคู่โครโมโซมคือมีเพียง 2 โครโมโซมที่ถูกสุ่มเลือกเข้ามาในแต่ละการแข่งขัน หลักการจัดการแข่งขันมีด้วยกัน 5 ขั้นตอนคือ

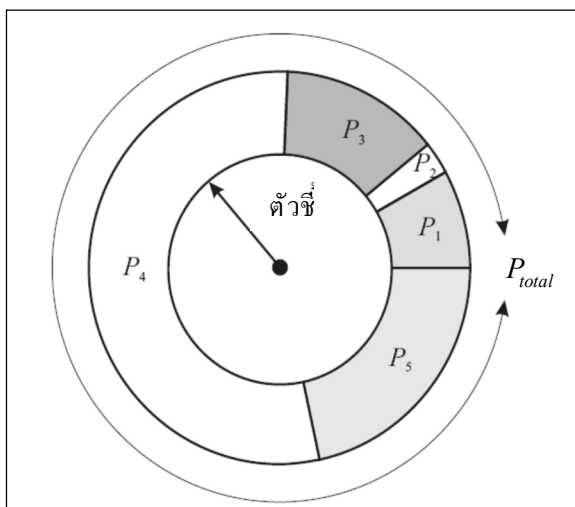
- ขั้นตอนการสุ่มเลือกโครโมโซม  $K$  ตัวสำหรับจัดการแข่งขันขนาด  $K$  (Tournament Size)
- ขั้นตอนการเลือกโครโมโซมที่มีค่าประเมินดีที่สุดจากการแข่งขันด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับค่าโอกาสในการถูกคัดเลือก
- ขั้นตอนการเลือกโครโมโซมที่มีค่าประเมินดีเป็นอันดับสองด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ  $P \times (1 - P)$
- ขั้นตอนการเลือกโครโมโซมที่มีค่าประเมินดีเป็นอันดับถัดไปด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ  $P \times (1 - P)^2$
- ขั้นตอนการเลือกโครโมโซมที่มีค่าประเมินดีเป็นรองอันดับที่  $n$  ด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ  $P \times (1 - P)^n$

ถ้ากำหนดให้ค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกเท่ากับ 1 การคัดเลือกจะเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดเสมอ ในขณะที่ถ้า  $K = 1$  การคัดเลือกเปรียบเสมือนกับการสุ่มเลือกโครโมโซมนั้นเอง โครโมโซมที่ชนะการแข่งขันและถูกคัดเลือกสามารถออกจากการแข่งขันหรืออยู่ต่อเพื่อสามารถถูกเลือกได้อีกก็ได้ ในการสุ่มเลือกโครโมโซมสามารถปรับขนาดของการแข่งขันเพื่อให้ได้ความเข้มข้นในการแข่งขันที่เหมาะสมกล่าวคือถ้าขนาดของการแข่งขันมีขนาดใหญ่ โครโมโซมที่ไม่ดีมาก (ค่าการประเมินน้อย) ก็จะมีโอกาสชนะน้อย วิธีจัดการแข่งขันมีความเหมาะสมในการทำให้ปัญหาความเหลื่อมล้ำของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมหมดไป นอกจากนี้แล้ววิธีการแข่งขันยังเขียนโปรแกรมได้ง่ายและทำงานเป็นแบบขนานได้ด้วย

#### 4.2.4.2 การแปลงค่าโอกาสเป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลาน

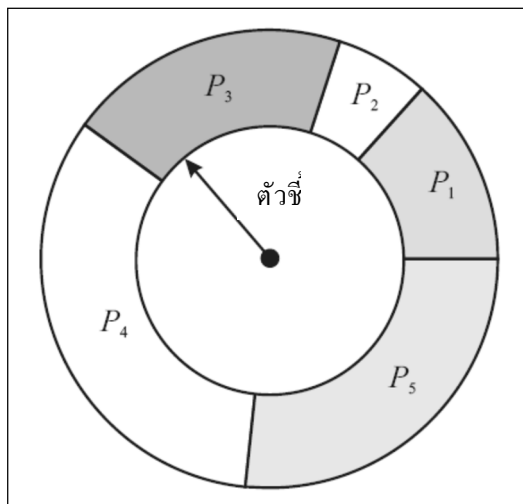
การแปลงค่าโอกาสเป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลานคือการชักตัวอย่างซึ่งเป็นการนำเอาค่าโอกาสไปทำการแปลงให้เป็นค่าตัวเลข ตัวเลขดังกล่าวจะแสดงถึงจำนวนของลูกหลานที่โครโมโซมนั้นๆ จะสามารถให้กำเนิดในขั้นต่อไปได้วิธีการแปลงค่าโอกาสให้เป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลานที่นิยมใช้มีด้วยกัน 2 วิธีคือ

- 1) วิธีการชักตัวอย่างแบบวงล้อรูเล็ตในขั้นตอนนี้แรกจะทำการสร้างวงล้อรูเล็ตขึ้นมาก่อนโดยกำหนดให้ผลรวมของค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซมในประชากรทั้งกลุ่ม ( $P_{total}$ ) มีค่าเท่ากับเส้นรอบวงของวงล้อรูเล็ต หลังจากนั้นค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซมแต่ละตัวจะถูกแปลงไปยังบนวงล้อรูเล็ตภายในช่วง  $[0, P_{total}]$  โดยที่ขนาดบนวงล้อรูเล็ตจะสัมพันธ์กับค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของแต่ละโครโมโซม แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงวงล้อรูเล่ที่หากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

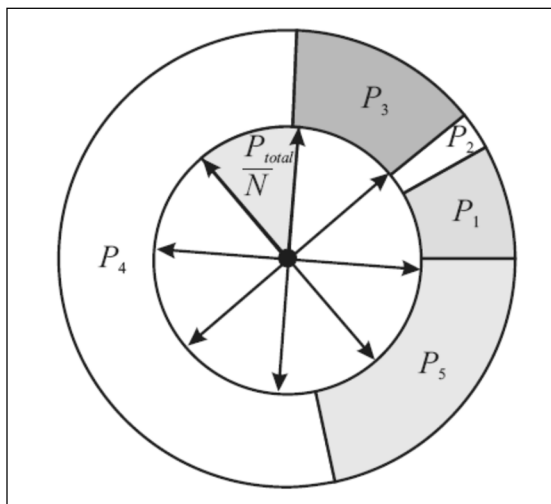
วงล้อรูเล่สำหรับกลุ่มประชากร  $S$  ที่มีค่าความเหมาะสมของค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซมตัวที่  $i$  ( $P_i$ ) ซึ่งมาจากวิธีการแบ่งเป็นสัดส่วนจะสังเกตได้ว่าค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซมจะสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเหมาะสมของโครโมโซม ดังนั้นโครโมโซม  $S_4$  ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดในกลุ่มจะมีขนาดบวงล้อรูเล่ที่มากที่สุดและมีโอกาสในการถูกคัดเลือกสูงที่สุด (ด้วยค่า  $P_4$ ) ในขณะที่โครโมโซม  $S_2$  ซึ่งมีค่าความเหมาะสมต่ำที่สุดในกลุ่มจะมีขนาดบวงล้อรูเล่ที่เล็กที่สุดและมีโอกาสในการถูกคัดเลือกต่ำที่สุด (ด้วยค่า  $P_2$ ) ขั้นตอนในการคัดเลือกโครโมโซมจะเริ่มจากการสุ่มค่าตัวชี้ซึ่งเป็นตัวเลขระหว่าง 0 ถึง  $P_{total}$  และถ้าตัวเลขดังกล่าวตรงกับโครโมโซมใดบนวงล้อรูเล่โครโมโซมนั้นจะถูกคัดเลือก และในแต่ละครั้งของการหมุนวงล้อก็จะได้โครโมโซมที่จะเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์มาหนึ่งตัว การสุ่มตัวเลขเพื่อคัดเลือกโครโมโซมจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ต้นกำเนิดสายพันธุ์เท่ากับจำนวนที่ต้องการ สำหรับการคัดเลือกต้นกำเนิดสายพันธุ์จำนวน  $N$  โครโมโซมจะต้องทำการหมุนวงล้อรูเล่ทั้งหมด  $N$  ครั้ง เราจะได้ชัดเจนว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่สูงจะมีโอกาสถูกคัดเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ต่ำกว่าค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกที่ใช้ได้มาจากวิธีการแบ่งเป็นสัดส่วน เราจะได้ชัดเจนว่าโอกาสของโครโมโซม  $S_2$  ที่จะถูกเลือกนั้นอาจมีค่าน้อยมากอันจะทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำในการคัดเลือกได้ ปัญหาความเหลื่อมล้ำดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการจัดอันดับซึ่งจะให้ค่าของโอกาสในการถูกคัดเลือกที่ไม่แปรผันไปตามขนาดของค่าความเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงวงล้อรูเล็ตจากการจัดอันดับ

โอกาสการถูกคัดเลือกของ  $P_2$  จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม (ถูกจัดเป็นอันดับสุดท้าย) ในขณะที่  $P_4$  และ  $P_5$  มีค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกที่ใกล้เคียงกัน อันเนื่องมาจากมีอันดับที่ติดกันวิธีวงล้อรูเล็ตเป็นขบวนการสุ่มคัดเลือกโครโมโซมในบางโอกาส อาจจะมีโครโมโซมใดโครโมโซมหนึ่งที่ยังเอิญถูกสุ่มในการคัดเลือกทุกครั้ง ถ้าเกิดกรณีดังกล่าวขึ้น ประชากรในรุ่นถัดไปจะประกอบไปด้วยโครโมโซมชนิดเดียวกันหมดทั้งกลุ่มซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อการค้นหาคำตอบแต่อย่างใดวิธีปรับปรุงวงล้อรูเล็ตสามารถทำได้โดยการกำหนดให้ในแต่ละครั้งที่โครโมโซมถูกคัดเลือกขนาดของโครโมโซมนั้น ๆ บนวงล้อรูเล็ตจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีขนาดเป็นศูนย์ วิธีนี้ทำให้แต่ละโครโมโซมที่เหลืออยู่มีขอบเขตในการถูกเลือกที่เท่าเทียมกัน ในขณะเดียวกันก็ช่วยลดโอกาสที่โครโมโซมใดโครโมโซมหนึ่งที่ยังเอิญถูกสุ่มในการคัดเลือกทุกครั้งได้

2) วิธีการชักตัวอย่างแบบกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาลเป็นการชักตัวอย่างที่ถูกเรียกใช้เพียงครั้งเดียวก็สามารถคัดเลือกโครโมโซมตามจำนวนที่ต้องการได้ วิธีการชักตัวอย่างแบบกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาลมีข้อแตกต่างไปจากแบบวงล้อรูเล็ตตรงที่มีการใช้ตัวชี้มากกว่าหนึ่งตัวแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงวงล้อรูเล็ตจากวิธีการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล

สำหรับการคัดเลือก  $N$  โครโมโซมจะมีตัวชี้ทั้งหมด  $N$  ตัว โดยที่ตัวชี้แต่ละตัวจะมีระยะห่างเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ  $P_{total} / N$  แสดงดังรูปที่ 4.8 การชักตัวอย่างแบบกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาลจะเริ่มจากการสุ่มสลัปที่โครโมโซมบนวงล้อรูเล็ต โดยตัวชี้เริ่มต้น ( $ptr$ ) จะถูกสุ่มขึ้นมาในช่วง 0 ถึง  $P_{total}$  ตัวชี้ที่เหลือจำนวน  $N-1$  ตัว ถัดจากตัวชี้เริ่มต้นจะถูกคำนวณโดยมีระยะห่างระหว่างตัวชี้ที่ติดกันเท่ากับ  $P_{total} / N$  โครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกได้แก่โครโมโซมจำนวนทั้งสิ้น  $N$  โครโมโซมซึ่งถูกตัวชี้  $N$  ตัวชี้วิธีนี้ทำให้ลดความเหลื่อมล้ำในแต่ละโครโมโซม สำหรับการคัดเลือกเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิมของวงล้อรูเล็ตโครโมโซมที่มีค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกสูงจะถูกชี้ด้วยจำนวนตัวชี้ในจำนวนที่มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกที่ต่ำกว่าหลังจากขั้นตอนของการคัดเลือกแล้วโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกจะกลายเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ซึ่งมีหน้าที่ในการให้กำเนิดโครโมโซมลูกหลานด้วยกรรมวิธีเฉพาะขิงเนติกอัลกอริทึม

#### 4.2.5 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์

ปฏิบัติการทางสายพันธุ์จะเกิดขึ้นหลังจากขบวนการคัดเลือกได้ดำเนินไปจนเสร็จสมบูรณ์โครโมโซมลูกหลานจะถูกสร้างขึ้นใหม่จากโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์โดยการนำเอาโครโมโซมที่เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์มาทำการเปลี่ยนแปลงให้เกิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมาเป็นโครโมโซมลูกหลาน ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้เป็นขั้นตอนสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในวัฏจักรของจิงเนติกอัลกอริทึมที่มีการคาดหวังว่าโครโมโซมลูกหลานที่เกิดขึ้นมานั้นจะได้รับส่วนดีของโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์โดยผ่านปฏิบัติการทางสายพันธุ์ ถ้าพิจารณาถึง

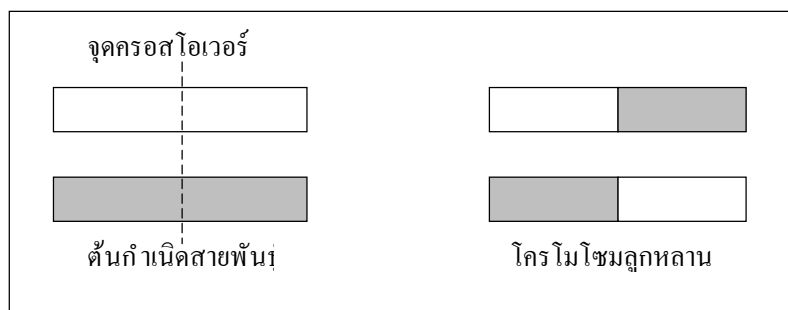
การเปลี่ยนแปลงจากปฏิบัติการทางสายพันธุ์ที่เกิดขึ้นกับประชากรซึ่งเป็นคำตอบของระบบแล้วสามารถเปรียบเทียบปฏิบัติการทางสายพันธุ์ได้กับการก้าวเดินไปสู่คำตอบของระบบโดยปฏิบัติการทางสายพันธุ์ของจินเนติกอัลกอริทึมจะมีอยู่ 2 วิธีหลัก คือการทำครอสโอเวอร์ (Crossover) และการทำมิวเทชัน (Mutation)

#### 4.2.5.1 ครอสโอเวอร์

ครอสโอเวอร์เป็นวิธีการรวมตัวใหม่ของโครโมโซม (Recombination Operator) โดยทำการรวมส่วนย่อยระหว่างโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์ตั้งแต่สองโครโมโซมขึ้นไปเพื่อให้กลายเป็นโครโมโซมลูกหลาน โครโมโซมลูกหลานที่ได้จากการครอสโอเวอร์จะมีพันธุกรรมจากต้นกำเนิดสายพันธุ์อยู่ในตัวโดยจะมีการกำหนดอัตราการทำครอสโอเวอร์เอาไว้ส่วนใหญ่จะใช้ความน่าจะเป็น ( $P_c$ ) เป็นตัวกำหนดอัตราดังกล่าวการทำครอสโอเวอร์มีวิธีด้วยกัน 3 วิธีคือ

##### 1) วิธีการทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (Single Point Crossover)

การทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดี่ยวนี้ โครโมโซมลูกหลานจะมีสายพันธุ์ของแต่ละต้นกำเนิดอยู่อย่างละหนึ่งส่วนจุดตัดในการทำครอสโอเวอร์ โดยปกติจะได้มาจากการสุ่มเลือก ตัวอย่างของการทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวแสดงดังรูปที่ 4.10

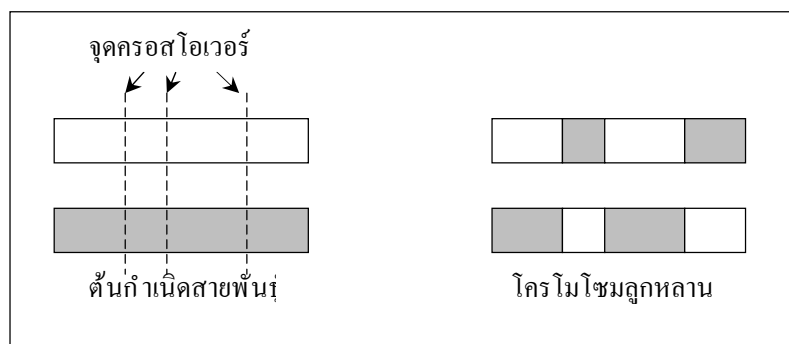


รูปที่ 4.10 แสดงครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

##### 2) การทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุด (Multiple-Point Crossover)

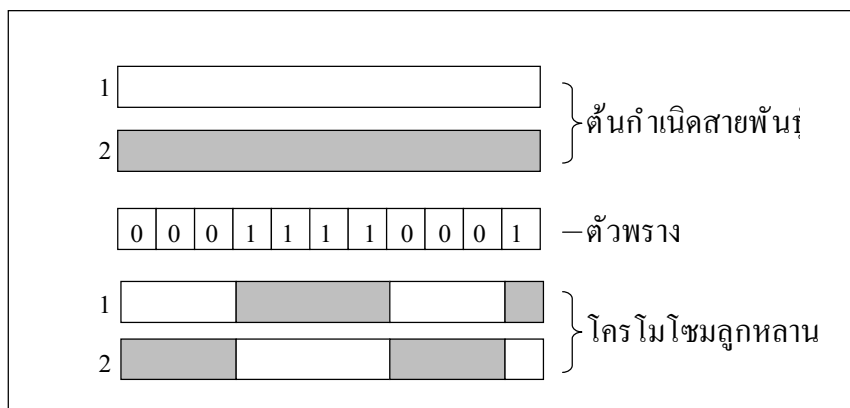
การทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุด โครโมโซมลูกหลานจะมีสายพันธุ์ของต้นกำเนิดอยู่มากกว่าหนึ่งส่วน หลักการเลือกจุดของครอสโอเวอร์นี้มีอยู่หลายแบบแต่ละแบบจะให้ผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสายพันธุ์ในโครโมโซมลูกหลานที่แตกต่างกันออกไปโดยวิธีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับทั่วไปคือการสุ่มเลือกจุดครอสโอเวอร์การทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุดจะให้ผลของลูกหลานที่มีความหลากหลายกว่าการทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวอันจะมีผลให้การเข้าสู่คำตอบของระบบสามารถครอบคลุมพื้นที่ของคำตอบได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุดซึ่ง

ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมลูกหลานได้มากกว่าการทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว อาจจะทำให้มีโอกาสเบี่ยงเบนของค่าตอบที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกหลานได้ในอัตราที่สูงกว่าเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงครอสโอเวอร์แบบหลายจุด

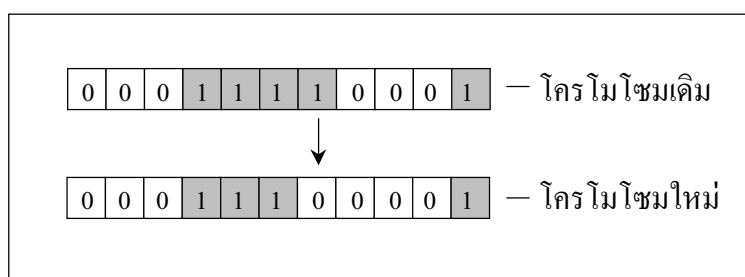
3) ครอสโอเวอร์แบบสม่ำเสมอ (Uniform Crossover) การทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและหลายจุดมีการกำหนดจุดตัดเอาไว้ก่อนที่จะทำการสลับส่วนย่อยของโครโมโซมที่จุดนั้นๆ วิธีดังกล่าวมีความแตกต่างไปจากการทำครอสโอเวอร์แบบสม่ำเสมอที่ซึ่งถูกออกแบบให้ทุกจุดบนโครโมโซมสามารถเป็นจุดตัดได้ ในทางปฏิบัติจะมีการใช้ครอสโอเวอร์แมสก์หรือตัวพราง (Cross - Over Mask) ช่วยในการทำครอสโอเวอร์ ตัวพรางดังกล่าวจะเป็นชนิดไบนารีและมีขนาดจำนวนบิตเท่ากับความยาวของโครโมโซม ค่าของตัวพรางที่ตำแหน่งต่างๆ จะเป็นตัวบ่งบอกถึงการครอสโอเวอร์ระหว่างต้นกำเนิดสายพันธุ์ตำแหน่งที่ตัวพรางมีค่าเป็น 1 โครโมโซมลูกหลานจะได้จากการสลับส่วนย่อยของโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์ ถ้าตำแหน่งที่ตัวพรางมีค่าเป็น 0 โครโมโซมลูกหลานจะยังคงเป็นส่วนย่อยของโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์โดยไม่มีการสลับส่วนแต่อย่างใด แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงครอสโอเวอร์แบบสม่ำเสมอ

## 4.2.5.2 มิวเทชัน

มิวเทชันเป็นวิธีการแปรผันยีนหรือส่วนย่อยของโครโมโซมซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับการกลายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในทางชีววิทยานั้นเองปกติแล้วอัตราการทำมิวเทชันจะมีค่าค่อนข้างต่ำหรืออาจจะกล่าวได้ว่าความน่าจะเป็นในการทำมิวเทชันนั้นมีค่าน้อยถ้ามิวเทชันคือการเปลี่ยนแปลงยีนในโครโมโซมแล้ว มิวเทชันจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงตัวเลขของโครโมโซมนั้นเอง เพราะในทางปฏิบัติแล้วยีนของโครโมโซมก็คือบิตในระบบตัวเลขของคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงการแปรผันในมิวเทชัน

การทำมิวเทชันเปรียบเสมือนกับการก้าวเดินไปสู่คำตอบของระบบ เช่นเดียวกับการทำครอสโอเวอร์นอกเหนือไปจากนั้นแล้วมิวเทชันยังทำให้เกิดความหลากหลายขึ้นในกลุ่มประชากรมีผลให้คำตอบที่เกิดขึ้นในกระบวนการของจินเนติกอัลกอริทึมครอบคลุมพื้นที่



การค้นหาคำตอบที่ วถึงยิ่งยี่ เอ็คตรการทำ มิวเทชันเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเพราะจะมีผลต่อพฤติกรรมการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมและขนาดของประชากรเพื่อให้การสำรวจพื้นที่ในการค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างทั่วถึงดังนั้น การกำหนดอัตราการทำมิวเทชันต้องมีความเหมาะสมที่สุดต่อระบบด้วยเพื่อก่อให้เกิดผลในการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพยิ่งยี่ สรุปได้ว่า จุดประสงค์หลักของการทำมิวเทชันคือเพื่อให้จินเนติกอัลกอริทึมสามารถหลุดพ้นออกจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นได้ โดยการป้องกันไม่ให้โครโมโซมประชากรเกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่มีความคล้ายคลึงกันทั้งหมด ซึ่งการทำครอสโอเวอร์และมิวเทชันเป็นการสร้างการเปลี่ยนแปลงของต้นกำเนิดสายพันธุ์ซึ่งให้ผลเป็นโครโมโซมลูกหลานการทำครอสโอเวอร์มีผลให้โครโมโซมลูกหลานได้รับสายพันธุ์จากต้นกำเนิดโดยโครโมโซมลูกหลานจะได้รับส่วนที่ดีจากส่วนย่อยของต้นกำเนิดสายพันธุ์ไปในขณะที่การทำมิวเทชันเป็นการสร้างความแปรผันขึ้นในโครโมโซมลูกหลานเพื่อให้เกิดประชากรใหม่ที่ดีกว่าขึ้น ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ทั้งสองถูกใช้ในจินเนติกอัลกอริทึมโดยหวังว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้โครโมโซมลูกหลานมีสายพันธุ์ที่ดีขึ้นอันจะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดต่อไป

#### 4.2.6 การแทนที่

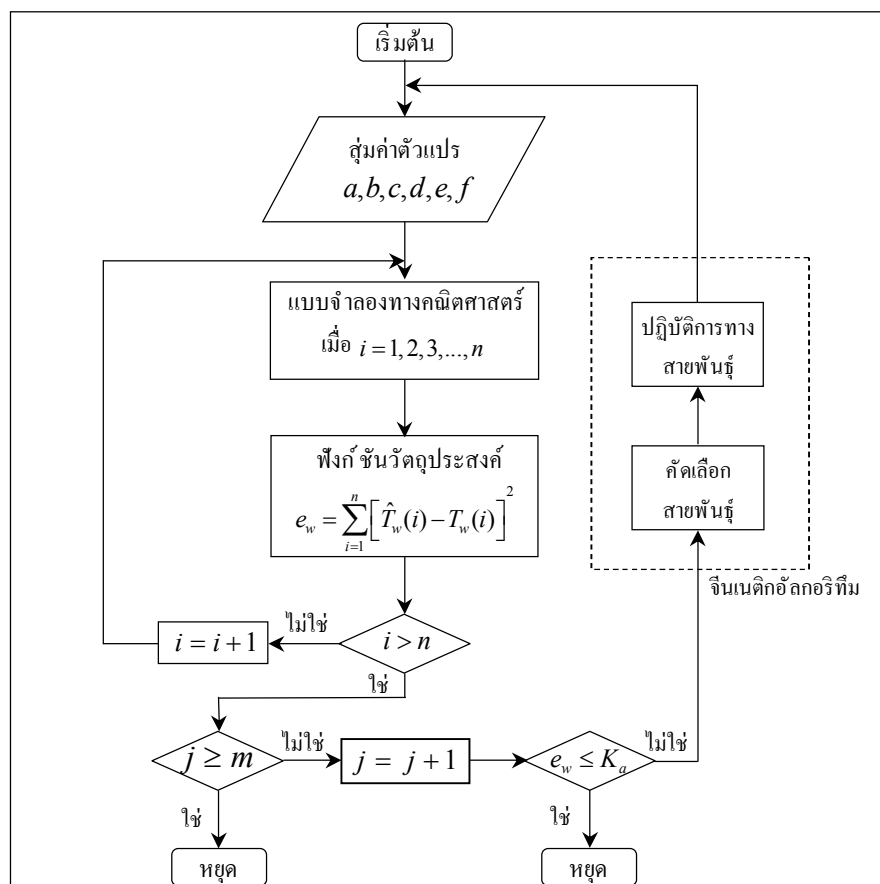
การแทนที่เป็นขั้น ตอนหลังจากที่จินเนติกอัลกอริทึมได้โครโมโซมลูกหลานเรียบร้อยแล้วและนำโครโมโซมลูกหลานใหม่นี้ไปแทนที่ประชากรรุ่นเก่าจุดประสงค์ในการแทนที่นั้นค่อนข้างชัดเจนคือการนำโครโมโซมลูกหลานมาแทนที่ประชากรรุ่นก่อนทำให้ประชากรรุ่นใหม่ประกอบไปด้วยโครโมโซมใหม่ซึ่งเป็นโครโมโซมที่ดีกว่าเพราะได้สายพันธุ์ที่ดีจากต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว วิธีในการคัดเลือกกว่าโครโมโซมไหนจะถูกแทนที่ด้วยกัน 2 วิธีคือ

- 1) การแทนที่ประชากรทั้งรุ่น (Generational Genetic Algorithm) เป็นการนำประชากรลูกหลานไปแทนที่ประชากรรุ่นเก่าทั้งหมดดังนั้นถ้าในระบบหนึ่งมีจำนวนประชากรเท่ากับ  $N$  จำนวนของโครโมโซมลูกหลานที่จะมาแทนที่ที่จะต้องมียขนาด  $N$  เช่นกัน วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายเนื่องมาจากไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการคัดเลือกว่าประชากรส่วนไหนจะถูกแทนที่แต่การที่ไม่มีขั้นตอนดังกล่าวกลายเป็นข้อเสียคือโครโมโซมที่ดีในรุ่นก่อนจะถูกแทนที่ไปด้วย ซึ่งวิธีแก้ อย่างง่ายคือก่อนที่จะทำการแทนที่ให้คัดเลือกเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุด 2 - 3 ตัวแรกเอาไว้โดยอาจจะใช้วิธีการคัดเลือกหัวกระทิ (Elitist Strategy) อย่างไรก็ดีตามประชากรที่เหลืออยู่อาจถูกรอบงำด้วยโครโมโซมหัวกระทินี้ได้โดยง่ายกล่าวคือถ้าไม่มีโครโมโซมใหม่ที่ดีกว่าเกิดขึ้นโครโมโซมที่ดีที่สุดจากรุ่นก่อนก็จะถูกเก็บไว้อยู่ตลอดไปและไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ขึ้นทำให้จินเนติกอัลกอริทึมไม่สามารถวิวัฒนาการโครโมโซมใหม่ขึ้นมาได้ถึงแม้ว่าผลของโครโมโซมหัวกระทิจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้แต่วิธีนี้ก็ทำให้ระบบโดยรวมดีขึ้น

2) การแทนที่ประชากรแบบบางส่วน (Partial Genetic Algorithm) เป็นการนำเอาประชากรลูกหลานไปแทนที่ประชากรเดิมเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยมีการคัดเลือกประชากรที่จะถูกแทนที่ซึ่งจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซม โครโมโซมเก่าจะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมใหม่เพียง 1 หรือ 2 ตัวเท่านั้น วิธีในการแทนที่มีอยู่หลายวิธี เช่นการแทนที่ประชากรที่ด้อยที่สุดหรือการแทนที่ประชากรโดยการสุ่มเลือก เป็นต้น

#### 4.3 การระบุเอกลักษณ์ของเตาอบเหล็กด้วยจินเนติกอัลกอริทึม

การระบุเอกลักษณ์ระบบโดยการประยุกต์ใช้การค้นหาแบบจินเนติกอัลกอริทึมเพื่อประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบได้มีลักษณะการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดที่มีลักษณะระบุเอกลักษณ์แบบออฟไลน์ (Off-Line Identification) โดยการเก็บข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของการทดลองเพียงเท่านั้น จะไม่เกี่ยวข้องกับระบบในขณะที่ทำงานแต่อย่างใดซึ่งขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ด้วยจินเนติกอัลกอริทึมแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ระบบโดยจินเนติกอัลกอริทึม

โดยที่	$n$	คือ	จำนวนชุดข้อมูลการทดลองทั้งหมด
	$e_w$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดของอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับอุณหภูมิจากผลการทดลอง
	$K_a$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
	$\hat{T}_w$	คือ	อุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละโซน
	$T_w$	คือ	อุณหภูมิจากผลการทดลองในแต่ละโซน
	$w$	คือ	1, 2, 3
	$j$	คือ	รอบการค้นหา
	$m$	คือ	จำนวนรอบที่กำหนดของการค้นหา

จากการระบุเอกลักษณ์โดยใช้โปรแกรมจินเนติกอัลกอริทึมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด(Sum Square Error) อุณหภูมิจากผลการทดลองเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ละโซนจะสามารถแบ่งหลักการทางาออกเป็น 2 กรณีคือ

- 1) กรณีที่  $e_w > K_a$  แสดงว่า มีความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิจากการทดลองกับค่าอุณหภูมิของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากกว่าที่กำหนดจินเนติกอัลกอริทึมจะหาค่าตัวแปรใหม่
- 2) กรณีที่  $e_w \leq K_a$  แสดงว่า มีความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิจากการทดลองกับค่าอุณหภูมิของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่ในช่วงที่กำหนดจินเนติกอัลกอริทึมอัลกอริทึมหยุดการทำงาน

#### 4.4 สรุป

การระบุเอกลักษณ์ของแบบจำลองเตาอบเหล็กชนิดWalking Hearth ในกระบวนการอุ่นเตานั้นได้พิจารณาโดยให้อินพุตคือจำนวนหัวเผาและเอาต์พุตคืออุณหภูมิจากผลการทดลองในแต่ละโซนโดยใช้หลักการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ที่มีการค้นหาคำตอบโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมในการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของค่าความคลาดเคลื่อนให้เป็นการค้นหาคำตอบในรูปแบบค่าน้อยที่สุด ในการค้นหาคำตอบได้กำหนดวิธีการสุ่มและวิธีการคัดเลือกด้วยกันหลายวิธีเพื่อหาค่าประมาณของตัวแปรที่ดีที่สุด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาการออกแบบหัวเผาต่อไป

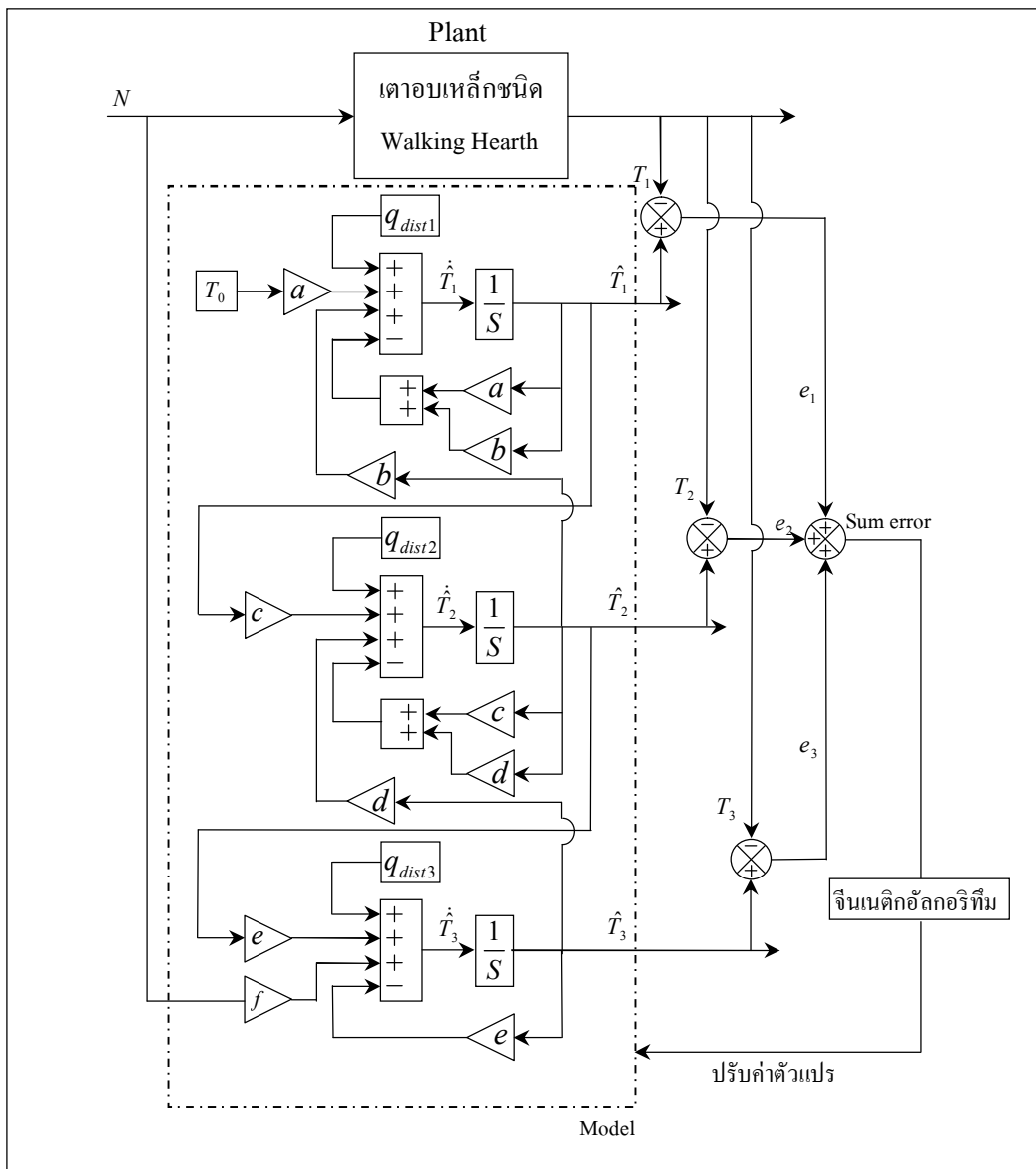
## บทที่ 5

### ผลการระบุเอกลักษณ์และผลการทดสอบที่ได้จากการออกแบบ

การทดลองการประมาณค่าตัวแปรด้วยเงินเนติกอัลกอริทึมในกระบวนการอุ่นสำหรับเตาอบเหล็กของ บริษัท ราชสีมา ผลิตเหล็ก จำกัด โดยกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิเตาอบเหล็กตามอุณหภูมิอ้างอิงใน Soaking Zone ซึ่งใช้เชื้อเพลิงคือน้ำมันเตาผสมกับน้ำมัน CB ในอัตราส่วน 50 : 50 และอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ(Air Fuel Ratio) เท่ากับ 1 : 10 โดยที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 40,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ความดัน 5 บาร์ อุณหภูมิ น้ำมันเชื้อเพลิง 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศ 350 เซลเซียสที่ความดันเฉลี่ย 6 บาร์ ในการเก็บค่าอุณหภูมิผลการทดลองจะมีเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 2 ตัวที่ผนังเตาด้านข้างเพื่อใช้วัดอุณหภูมิของอากาศในแต่ละโซนโดยการบันทึกอุณหภูมิการทดลองทุก 10 นาที ในบทนี้ จะแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลที่ได้จากวิธีระบุเอกลักษณ์ของระบบภายใต้โครงสร้างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ที่ได้จากบทที่ 4 ซึ่งใช้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิในแต่ละโซนและการเปิด - ปิดหัวเผาที่เกิดขึ้น โดยจะเก็บข้อมูลจากผลการทดลองทั้งสิ้น 2 การทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth และส่วนที่ 2 เป็นการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาให้มีการตอบสนองของอุณหภูมิให้สอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงใน Soaking Zone โดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึม

#### 5.1 ผลการระบุเอกลักษณ์ของระบบ

จากสมการสมดุลพลังงานทางความร้อนที่ใช้หาโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยให้ความร้อนผ่านทางหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เป็นการควบคุมแบบวงเปิด แสดงดังรูปที่ 5.1 ในการระบุเอกลักษณ์ของระบบเพื่อหาค่าตัวแปร  $a \ b \ c \ d \ e \ f \ q_{dist1} \ q_{dist2} \ q_{dist3}$  สามารถประยุกต์ใช้วิธีการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดจากผลการตอบสนองระหว่างอินพุตและเอาต์พุตที่เกิดขึ้น



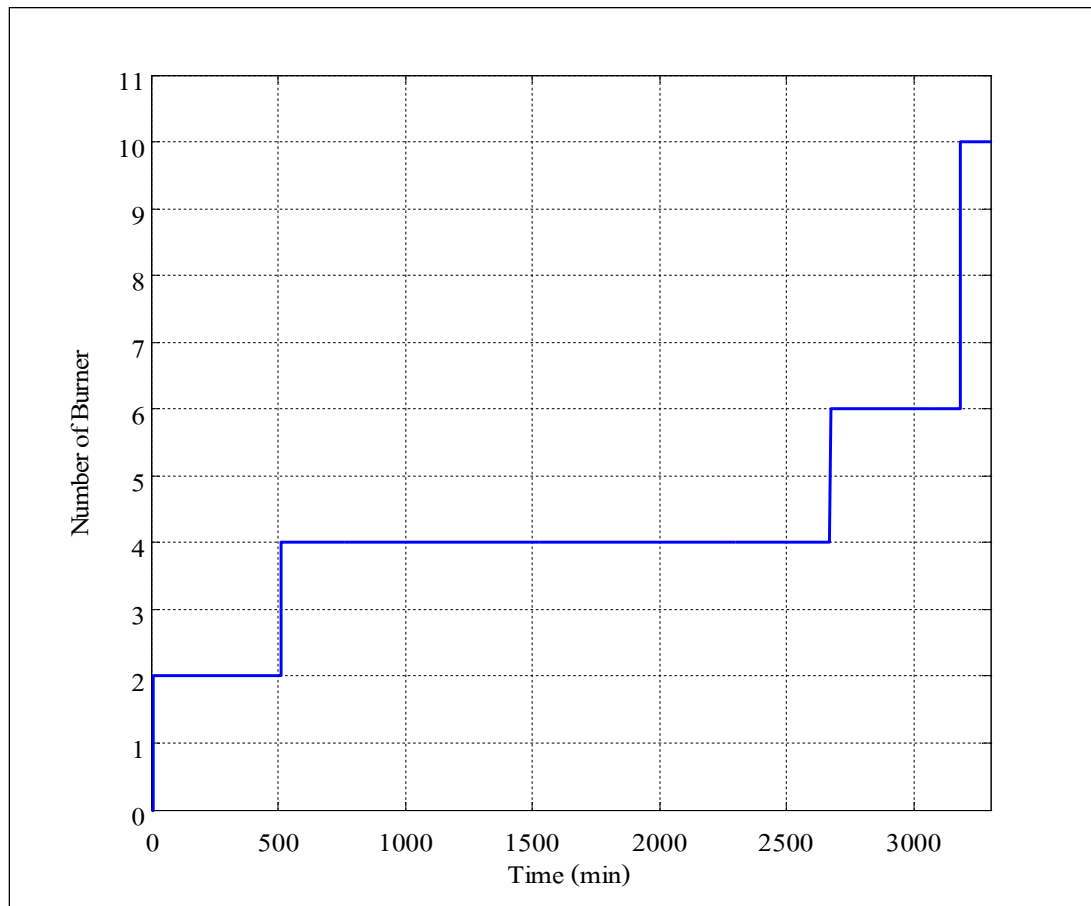
รูปที่ 5.1 แสดงแผนภาพการระบุเอกลักษณ์ของระบบแบบวงเปิดโดยจิ้นเนติกอัลกอริทึม  
 ในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

สำหรับการประมาณค่าตัวแปรโดยใช้จิ้นเนติกอัลกอริทึมได้ทดลองประมาณค่าตัวแปรหลายครั้ง เพื่อให้ได้ค่าประมาณตัวแปรที่ดีที่สุด ในโปรแกรมการจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าตัวแปร การเก็บข้อมูลและข้อมูลการตอบสนองของอุณหภูมิจะใช้โปรแกรม MATLAB 8.1 ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรม แสดงในภาคผนวก ข

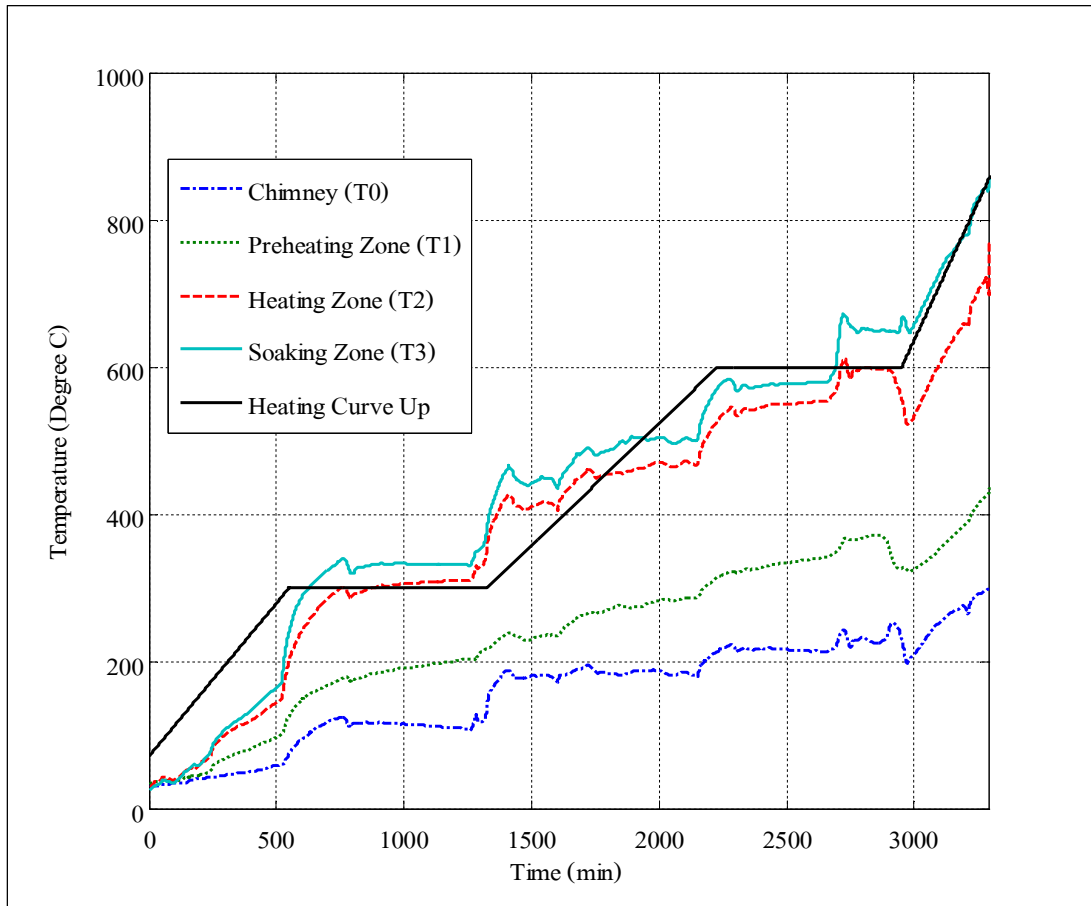
### 5.1.1 การประมาณค่าตัวแปรของกระบวนการอุ่นเตาจากผลการทดลองที่ 1

จากผลการทดลองได้แบ่งการเปิดหัวเผาใน Soaking Zone ออกเป็น 4 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 มีการเปิดหัวเผา 2 หัวเผาที่เวลา 0 - 510 นาที ช่วงที่ 2 มีการเปิดหัวเผา 4 หัวเผาที่เวลา 511 - 2,670 นาที ช่วงที่ 3 มีการเปิดหัวเผา 6 หัวเผาที่เวลา 2,671 - 3,170 นาที และ ช่วงที่ 4 มีการเปิดหัวเผา 10 หัวเผาที่เวลา 3,171 - 3,310 นาที ซึ่งวิธีเปิด - ปิดหัวเผาในลักษณะนี้เป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 5.2 และผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 โดยทำการจำลอง อุณหภูมิที่ปล่องควันเพื่อให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับทฤษฎีมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 5.3

จากการระบุเอกลักษณ์ในกระบวนการอุ่นเตาได้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละโซน โดยแบบออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 การปรับค่าจำนวนประชากรในการสุ่มโดยกำหนดรอบของการค้นหาเท่ากับ 10000 รอบ แสดงดังรูปที่ 5.4 - 5.6 และกรณีที่ 2 การปรับรอบในการค้นหาโดยกำหนดค่าประชากรในการสุ่มคงที่เท่ากับ 50 ประชากร แสดงดังรูปที่ 5.7 - 5.9 และค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยจินเนติกอัลกอริทึม แสดงดังตารางที่ 5.1 รวมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองด้วยวิธีเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนและวิธีผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 5.2 จากการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละโซนสรุปได้ว่าในช่วง Soaking Zone มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดรองลงมาคือ Preheating Zone และ Heating Zone ตามลำดับ ซึ่งจะสรุปเป็นค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน แสดงดังตารางที่ 5.3

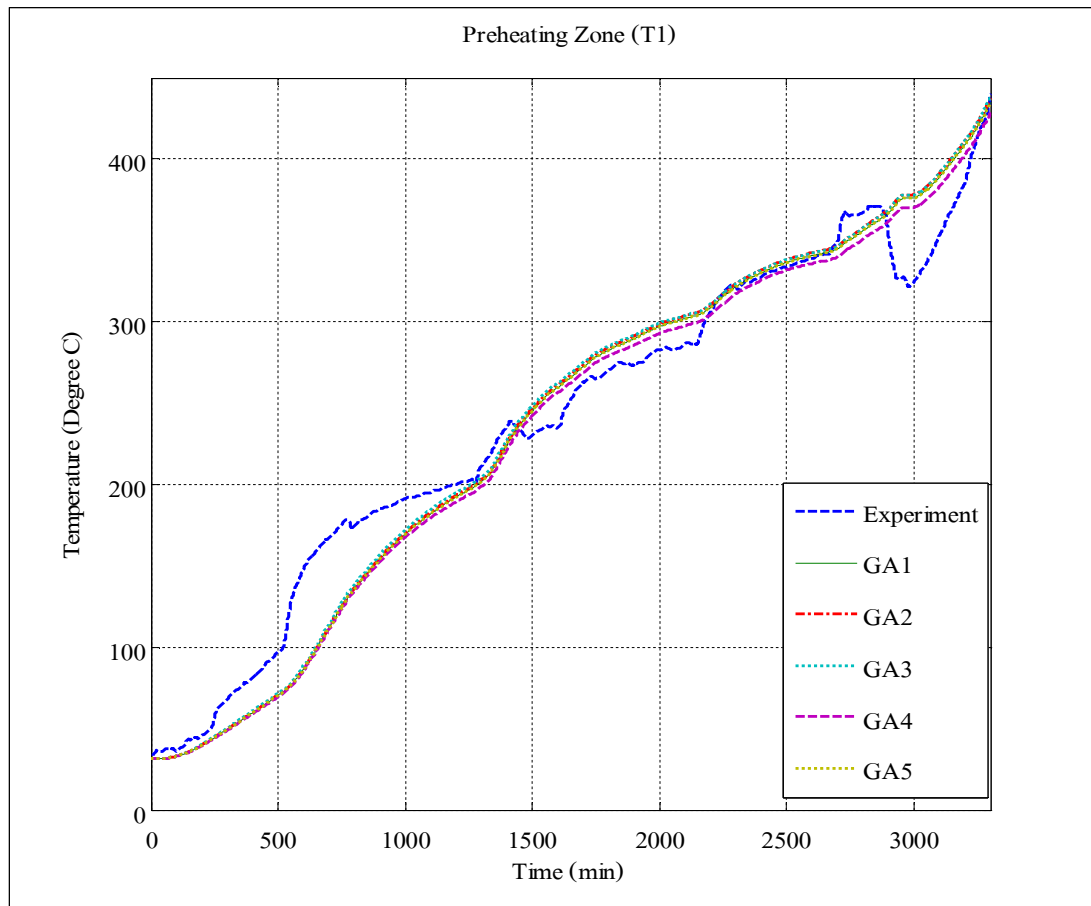


รูปที่ 5.2 แสดงจำนวนเปิด-ปิดหัวเผาเทียบกับเวลาของผลการทดลองที่ 1

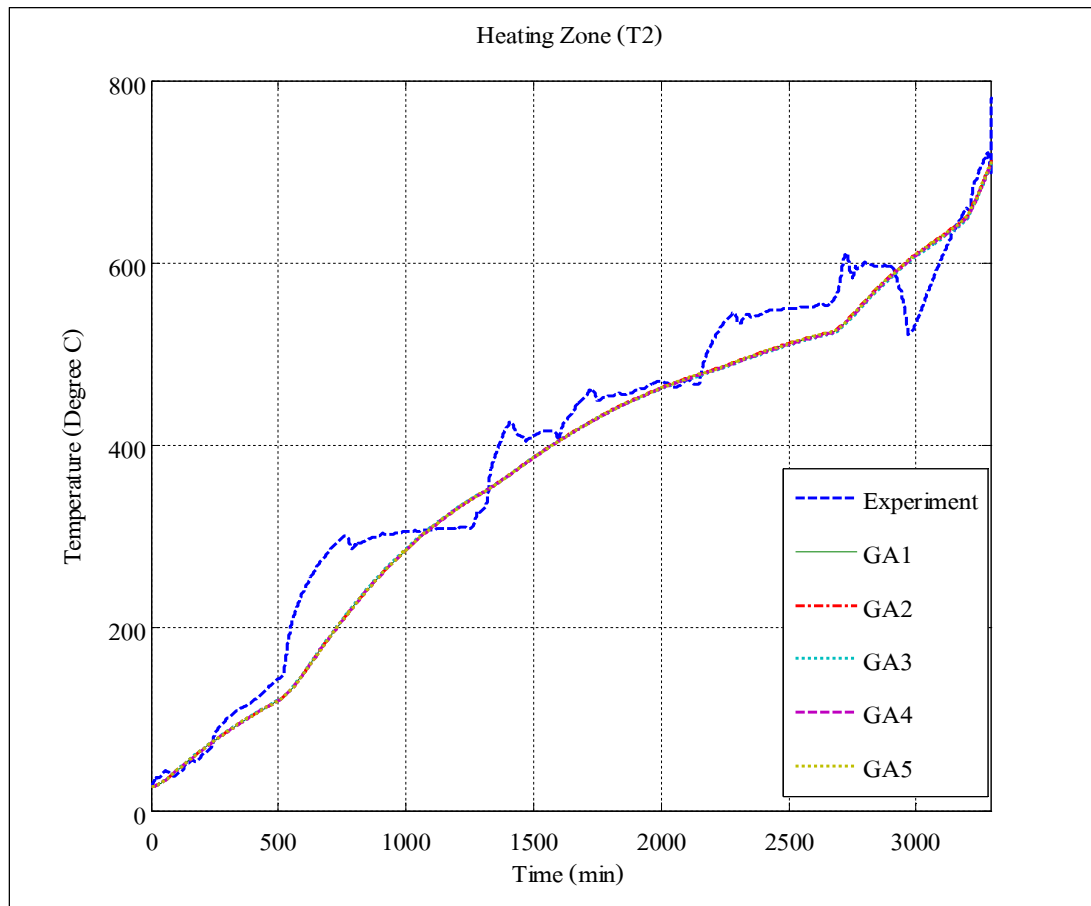


รูปที่ 5.3 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1

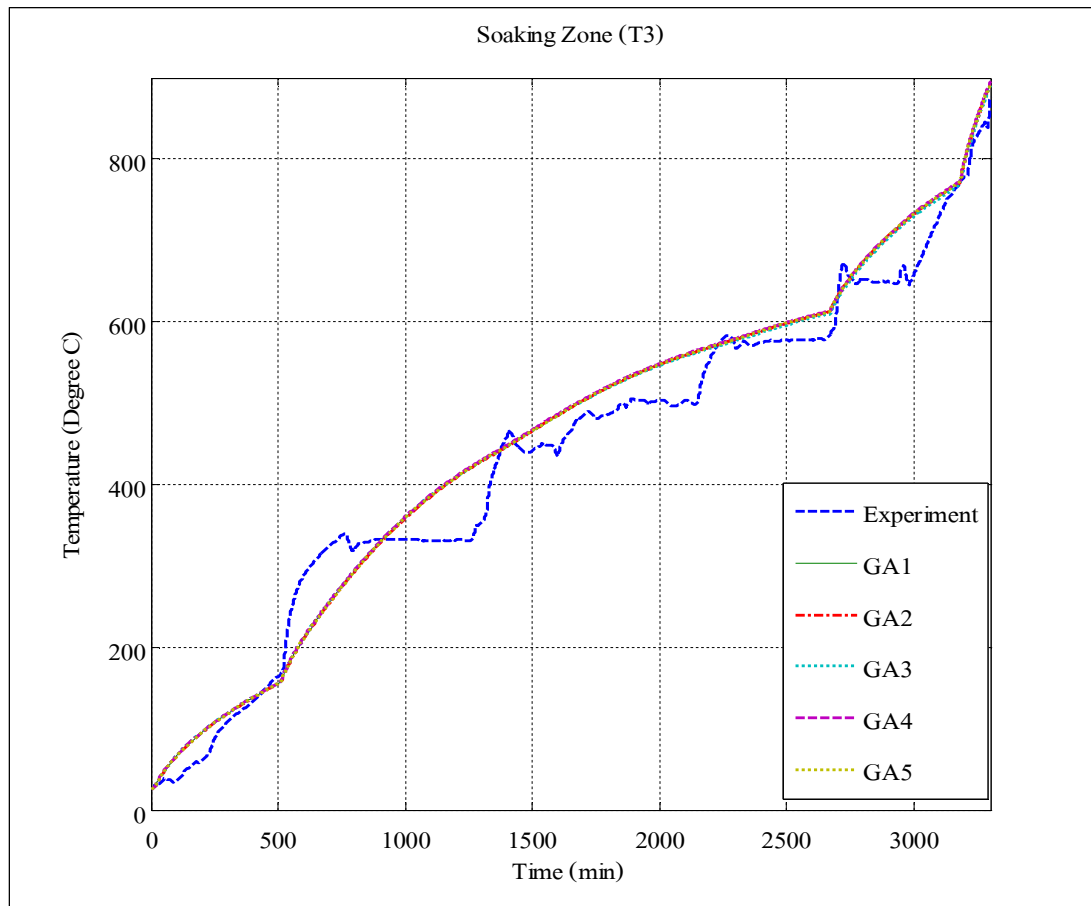




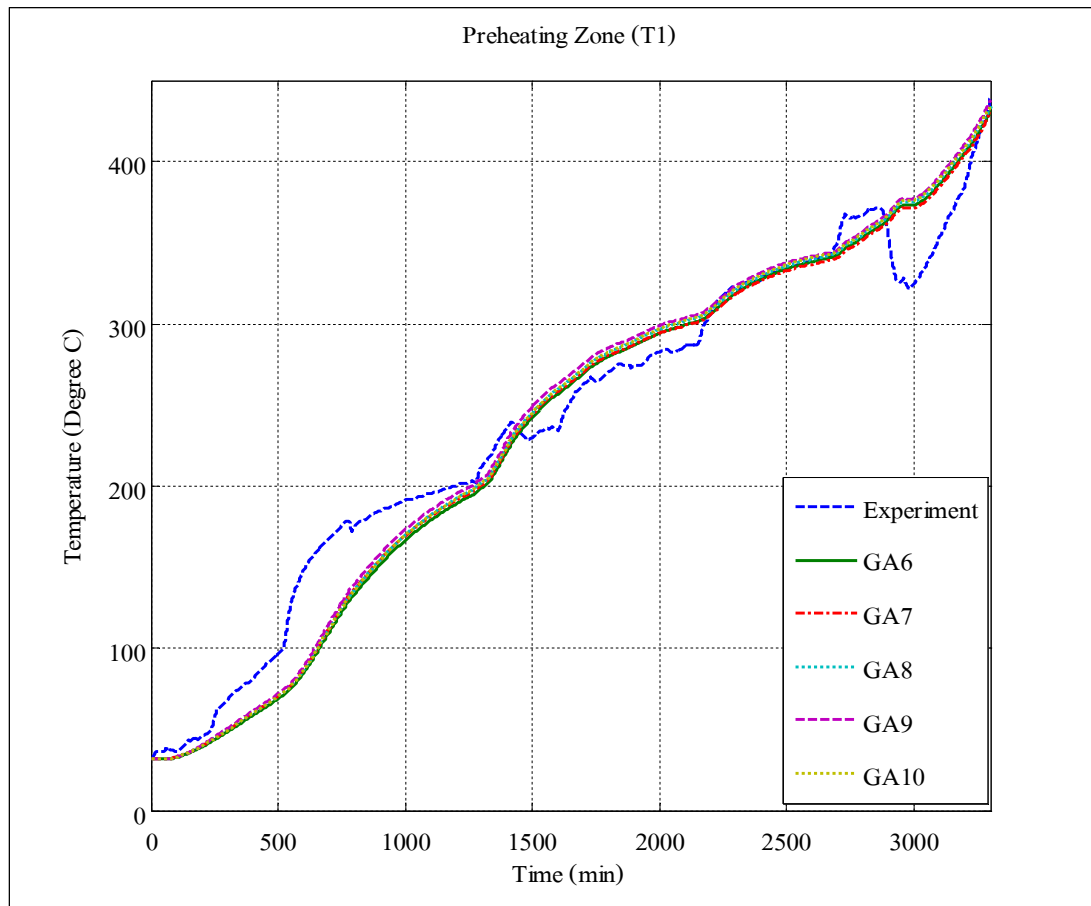
รูปที่ 5.4 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Preheating Zone



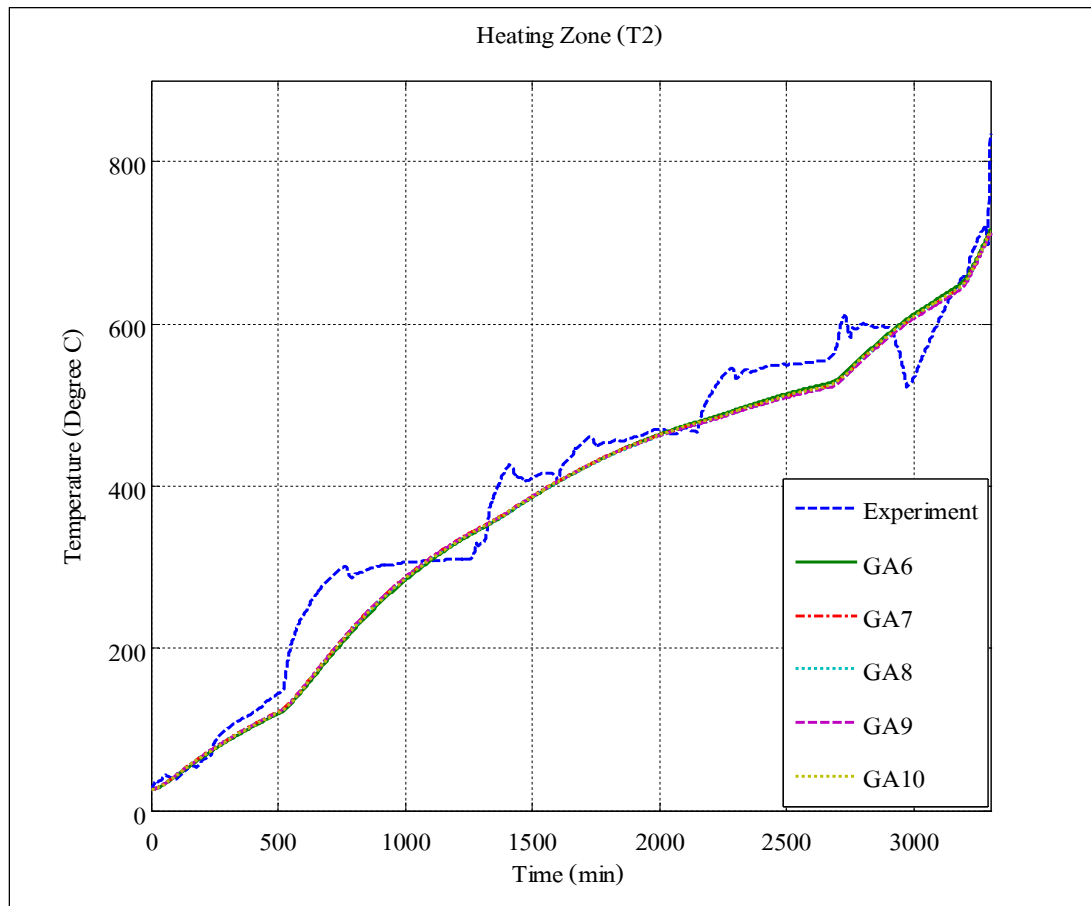
รูปที่ 5.5 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลอง โดยจินเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Heating Zone



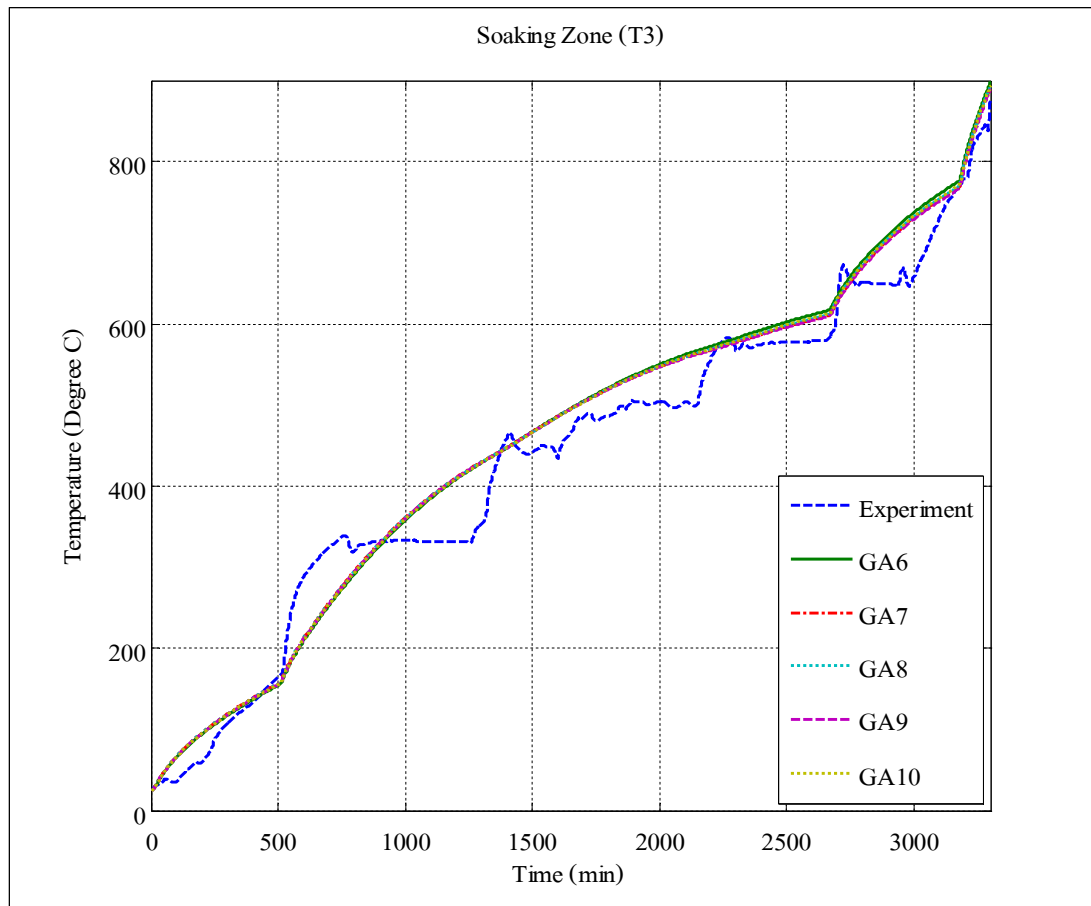
รูปที่ 5.6 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลอง โดยจินเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Soaking Zone



รูปที่ 5.7 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลอง โดยจินเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Preheating Zone



รูปที่ 5.8 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลอง โดยจินเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Heating Zone



รูปที่ 5.9 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองโดยจินเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Soaking Zone

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าประมาณตัวแปรของโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเงินเนติกอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 1

เงินเนติก อัลกอริทึม	ค่าประมาณตัวแปร									
	GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10
ประชากร	20	50	100	200	300	50	50	50	50	50
รอบ	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	15,000	20,000	30,000	40,000	50,000
$a \times 10^{-2}$	0.39899	0.39899	0.41999	0.40998	0.39900	0.39863	0.41995	0.40001	0.43998	0.39899
$b \times 10^{-2}$	0.29999	0.30658	0.32419	0.28999	0.30003	0.28765	0.29994	0.29989	0.33584	0.30021
$c \times 10^{-2}$	0.59999	0.59972	0.60998	0.57345	0.59999	0.55232	0.58921	0.60863	0.61998	0.59998
$d \times 10^{-2}$	1.29999	1.29997	1.29999	1.24998	1.29999	1.22086	1.26541	1.22961	1.31567	1.29955
$e \times 10^{-2}$	1.39997	1.41997	1.44988	1.39995	1.39999	1.35542	1.44995	1.42531	1.41997	1.39856
$f \times 10^{-3}$	0.32981	0.33187	0.33818	0.33496	0.32981	0.32575	0.33778	0.33609	0.33192	0.32974
$q_{dist1}$	0.66999	0.66999	0.69999	0.61999	0.66995	0.50947	0.69999	0.66969	0.68997	0.66842
$q_{dist2}$	0.51997	0.51999	0.59998	0.47889	0.51995	0.39301	0.59997	0.51999	0.54948	0.54985
$q_{dist3}$	-0.90011	-0.90051	-0.90001	-0.95001	-0.90001	-0.98665	-0.80003	-0.92013	-0.96050	-0.90014

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเงินเนติอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 1

เงินเนติอัลกอริทึม	หลักการ	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)									
		GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10
โซน	ประชากร	20	50	100	200	300	50	50	50	50	50
	รอบ	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	15,000	20,000	30,000	40,000	50,000
Preheating Zone	Sum Square	14.946	14.862	14.416	15.143	14.946	15.533	14.706	14.844	14.217	14.942
	Mean	5.7017	5.2262	4.7542	6.8815	5.7017	6.8143	6.2734	5.7685	4.6744	5.6986
Heating Zone	Sum Square	12.829	12.825	12.898	12.871	12.830	13.136	12.632	12.774	12.715	12.825
	Mean	6.7410	6.7117	6.7281	6.8655	6.7411	7.0041	6.5480	6.7691	6.7457	6.7351
Soaking Zone	Sum Square	17.714	17.705	17.898	17.938	17.714	17.582	17.959	17.965	17.710	17.713
	Mean	6.7995	6.7207	6.8049	7.0963	6.7994	6.8471	6.9504	6.9954	6.6829	6.7982

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของผลการทดลองที่ 1

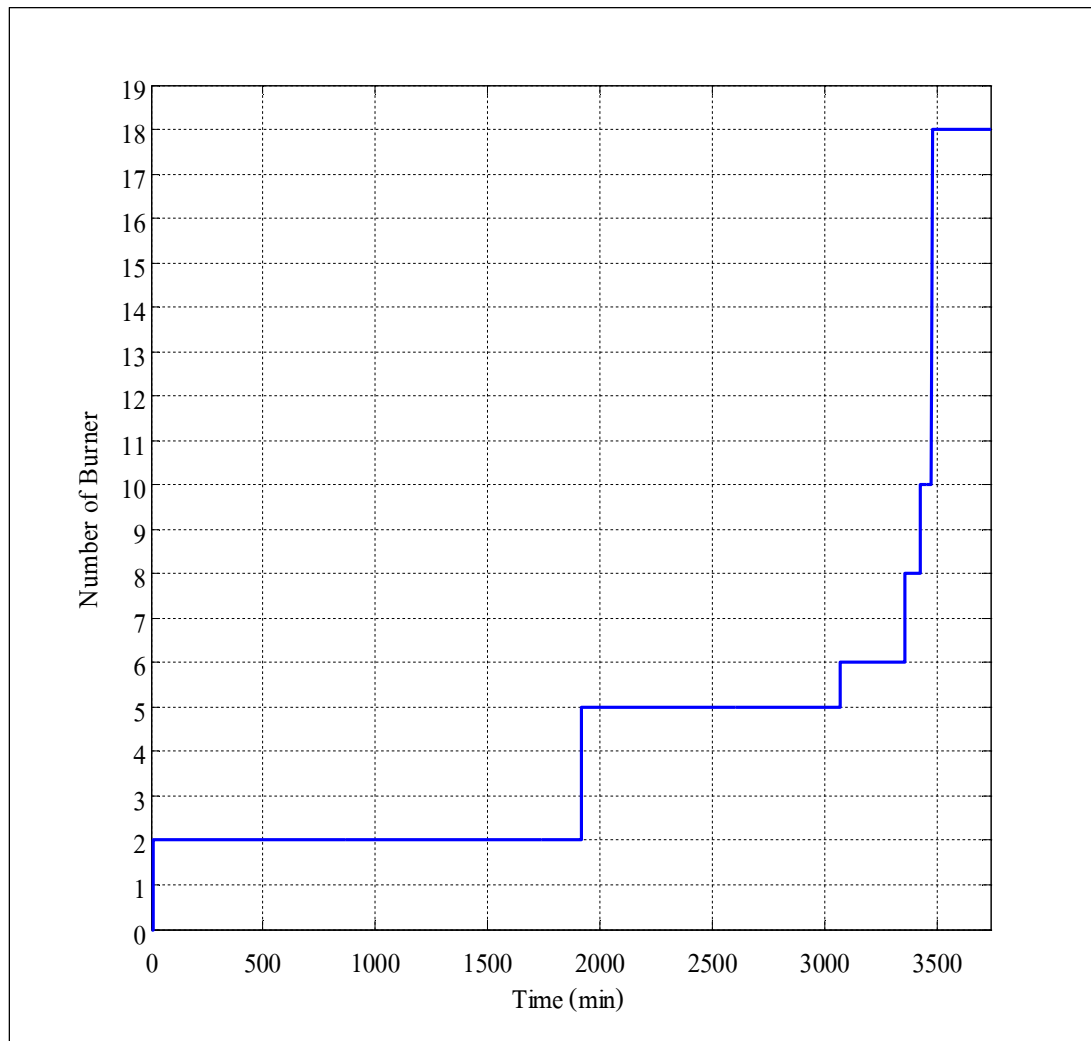
ตัวแปร	GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10
$R_1$ ( $^{\circ}C/W$ )	0.00597	0.00569	0.00539	0.00531	0.004793	0.004579	0.00438	0.00462	0.00427	0.00397
$R_2$ ( $^{\circ}C/W$ )	0.00385	0.00342	0.00324	0.00319	0.00288	0.00275	0.00263	0.00277	0.00256	0.00239
$R_3$ ( $^{\circ}C/W$ )	0.00498	0.00479	0.00449	0.00443	0.00399	0.00382	0.00366	0.00385	0.00361	0.00331
$C_1$ ( $J/^{\circ}C$ )	93,058.33	95,407.03	95,235.68	108,146.6	115,916.7	135,586.8	126,750.0	120,250.0	116,123.9	139,732.1
$C_2$ ( $J/^{\circ}C$ )	46,529.17	48,750.00	50,614.75	54,690.48	57,958.33	70,497.91	64,535.2	59,304.53	62,903.23	69,866.06
$C_3$ ( $J/^{\circ}C$ )	14,357.57	14,830.99	15,331.03	16,126.29	17,884.29	20,712.18	18,881.38	18,291.55	19,774.65	21,558.67



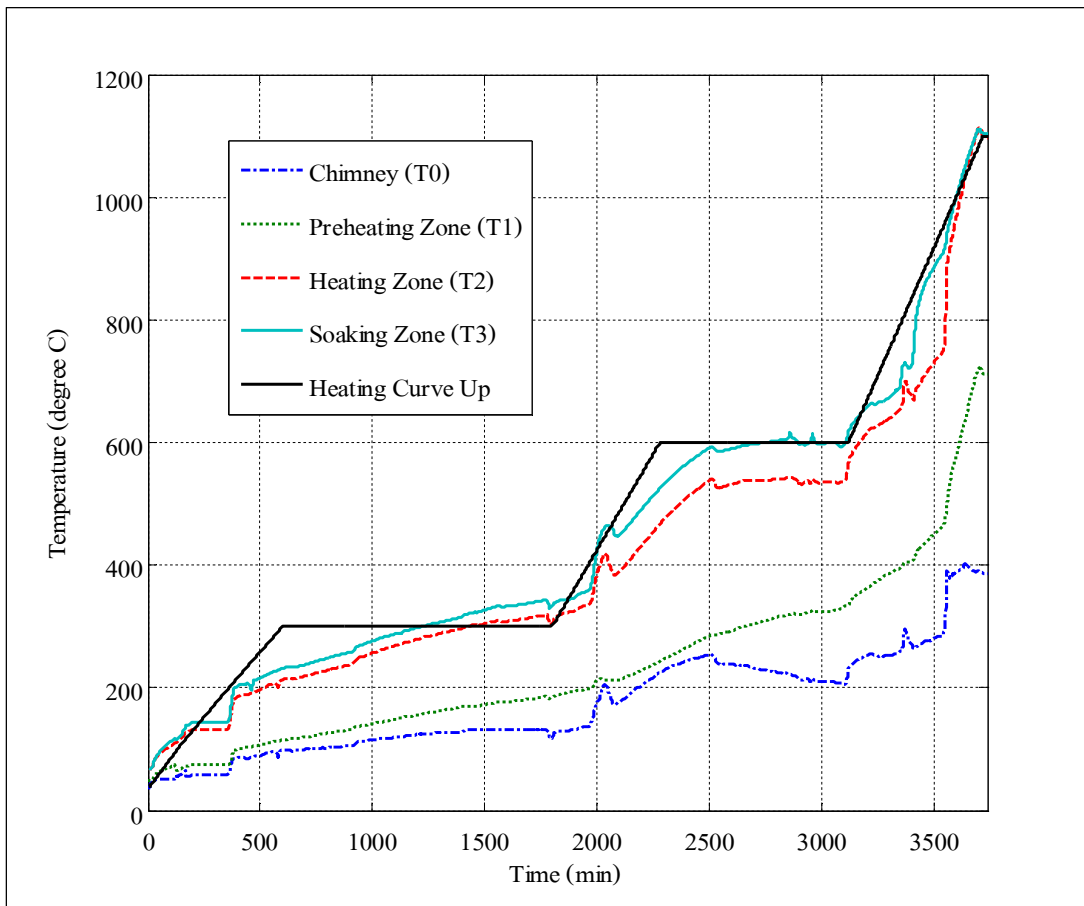
### 5.1.2 การประมาณค่าตัวแปรของกระบวนการอุ่นเตาจากการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองได้แบ่งการเปิดหัวเผาใน Soaking Zone ออกเป็น 6 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 มีการเปิดหัวเผา 2 หัวเผาที่เวลา 0 - 1,900 นาที ช่วงที่ 2 มีการเปิดหัวเผา 5 หัวเผาที่เวลา 1,901 - 3,100 นาที ช่วงที่ 3 มีการเปิดหัวเผา 6 หัวเผาที่เวลา 3,101 - 3,300 นาที ช่วงที่ 4 มีการเปิดหัวเผา 8 หัวเผาที่เวลา 3,301 - 3,400 นาที ช่วงที่ 5 มีการเปิดหัวเผา 10 หัวเผาที่เวลา 3,401 - 3,500 นาที และ ช่วงที่ 6 มีการเปิดหัวเผา 18 หัวเผาที่เวลา 3,501 - 3,800 นาที โดยวิธีเปิด - ปิดหัวเผาในลักษณะนี้เป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบันจากการทดลองที่ 2 ซึ่งมีความแตกต่างจากผลการทดลองที่ 1 เนื่องจากการทดลองที่ 2 ใช้เวลาในการอุ่นเตายาวนานกว่าการทดลองที่ 1 เพราะมีการซ่อมบำรุงผนังเตาจึงต้องเพิ่มระยะเวลา แสดงดังรูปที่ 5.10 และผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 โดยทำการจำลองอุณหภูมิที่ปล่อยควันเพื่อให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับทฤษฎีมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 5.11

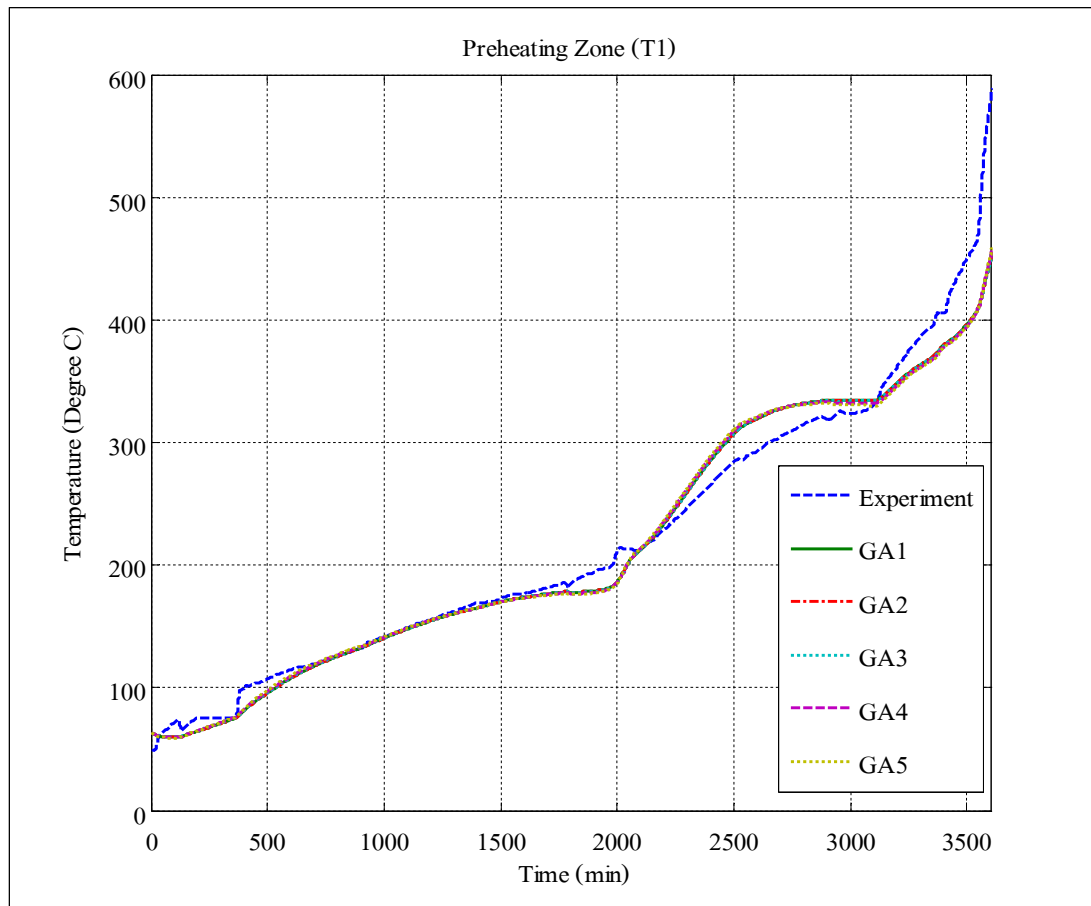
จากการระบุเอกลักษณ์ในกระบวนการอุ่นเตาได้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละโซน โดยแบบออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 การปรับค่าจำนวนประชากรในการสุ่มโดยกำหนดรอบของการค้นหาที่เท่ากับ 10000 รอบ แสดงดังรูปที่ 5.12 - 5.14 และกรณีที่ 2 การปรับรอบในการค้นหาโดยกำหนดค่าประชากรในการสุ่มคงที่เท่ากับ 50 ประชากร แสดงดังรูปที่ 5.15 - 5.17 และค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยจินเนติกอัลกอริทึม แสดงดังตารางที่ 5.4 รวมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองด้วยวิธีเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนและวิธีผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 5.5 จากการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละโซนสรุปได้ว่าในช่วง Heating Zone มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดรองลงมาคือ Soaking Zone และ Preheating Zone ตามลำดับซึ่งจะสรุปเป็นค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนแสดงดังตารางที่ 5.6



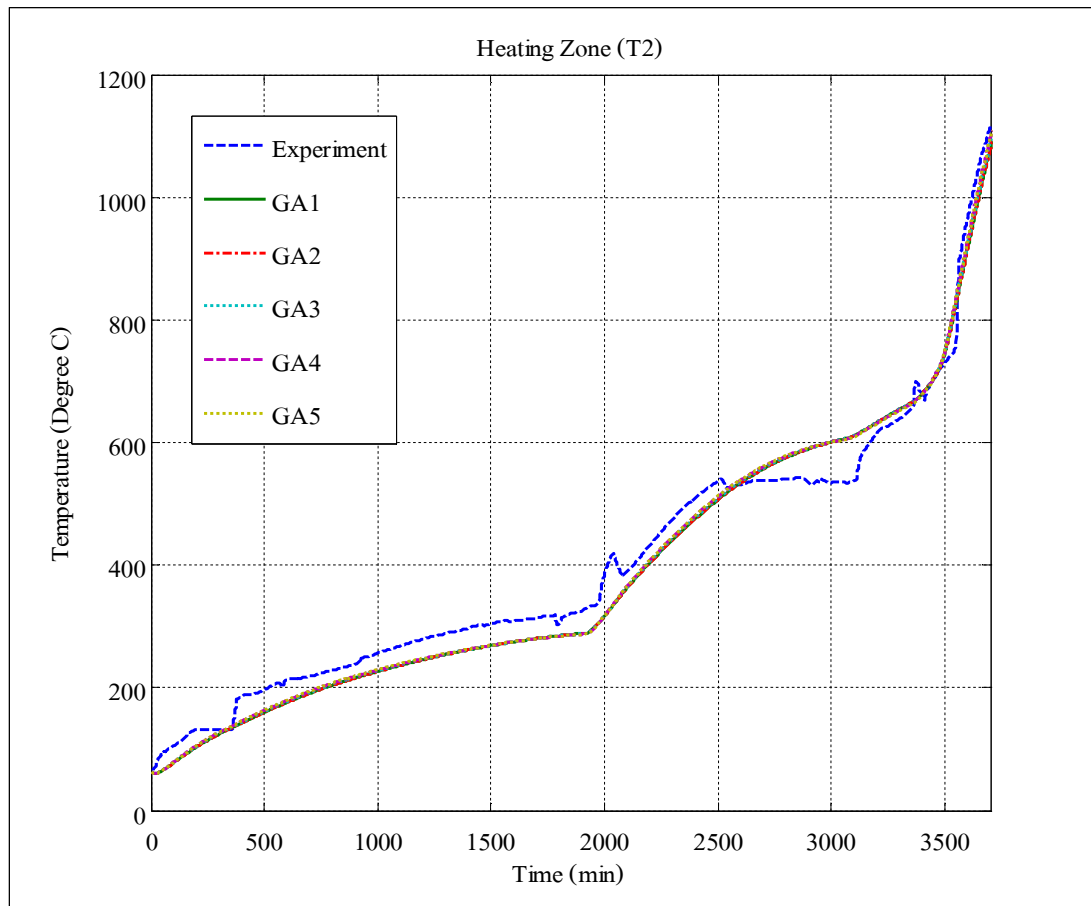
รูปที่ 5.10 แสดงจำนวนเปิด-ปิดหัวเผาเทียบกับเวลาของผลการทดลองที่ 2



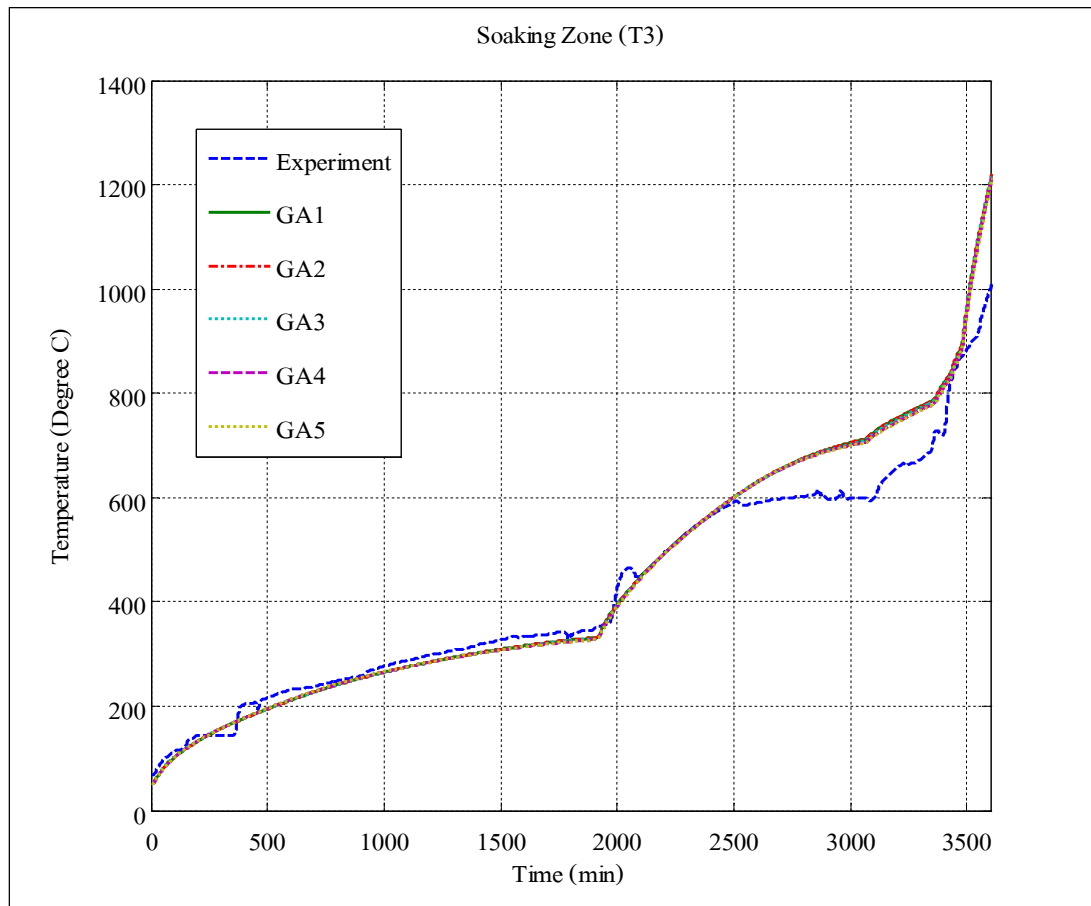
รูปที่ 5.11 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2



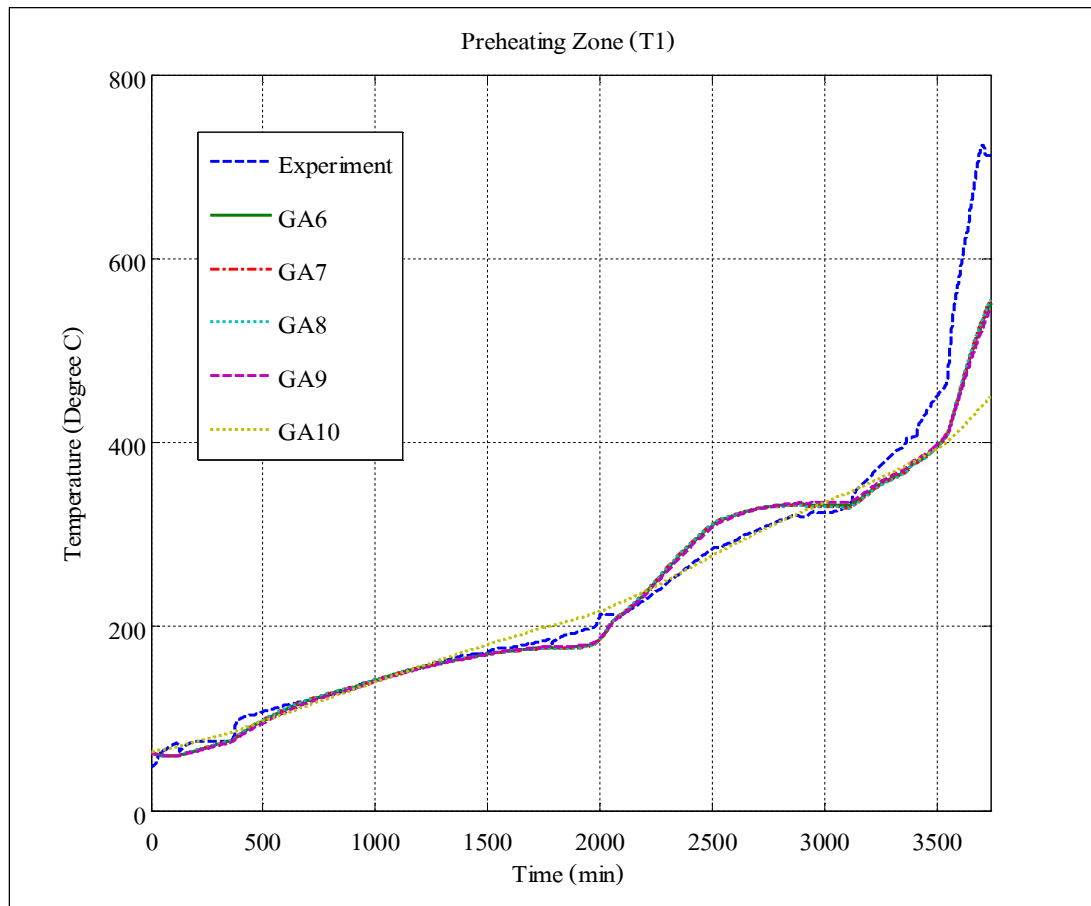
รูปที่ 5.12 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Preheating Zone



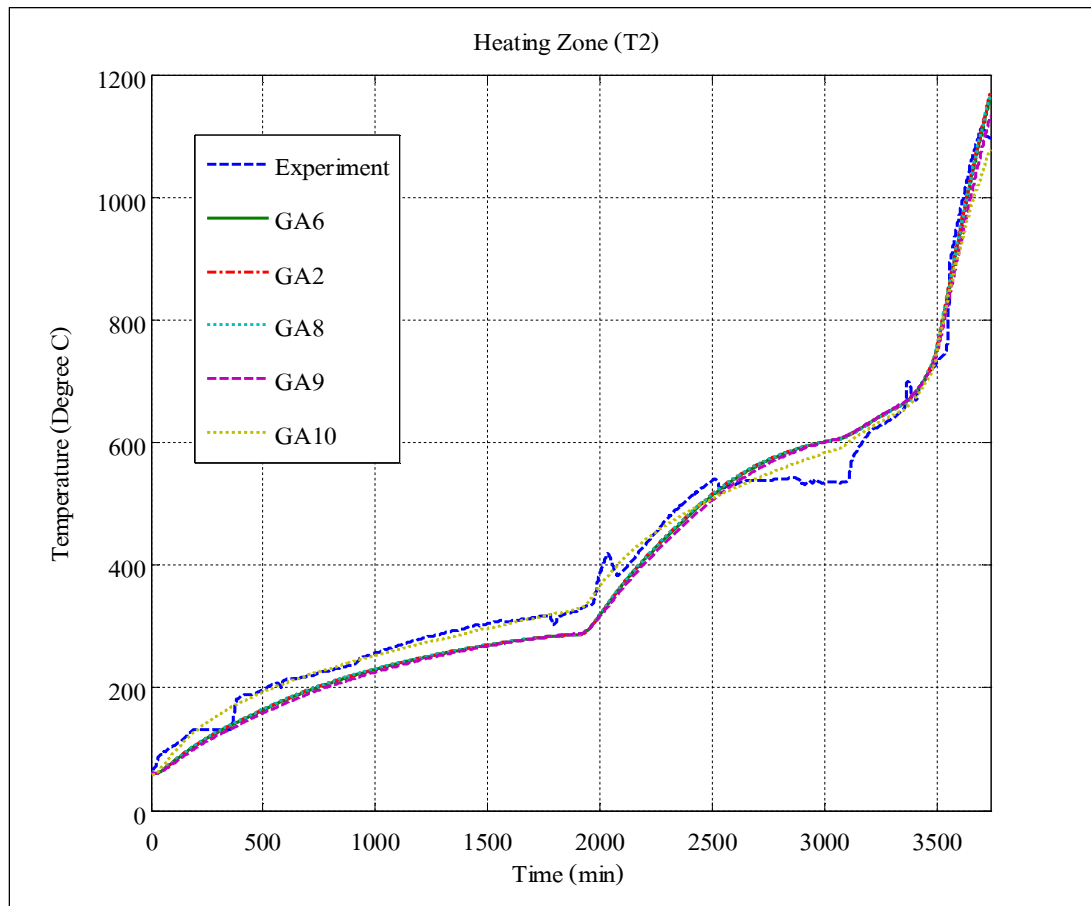
รูปที่ 5.13 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Heating Zone



รูปที่ 5.14 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดจำนวนรอบคงที่ใน Soaking Zone

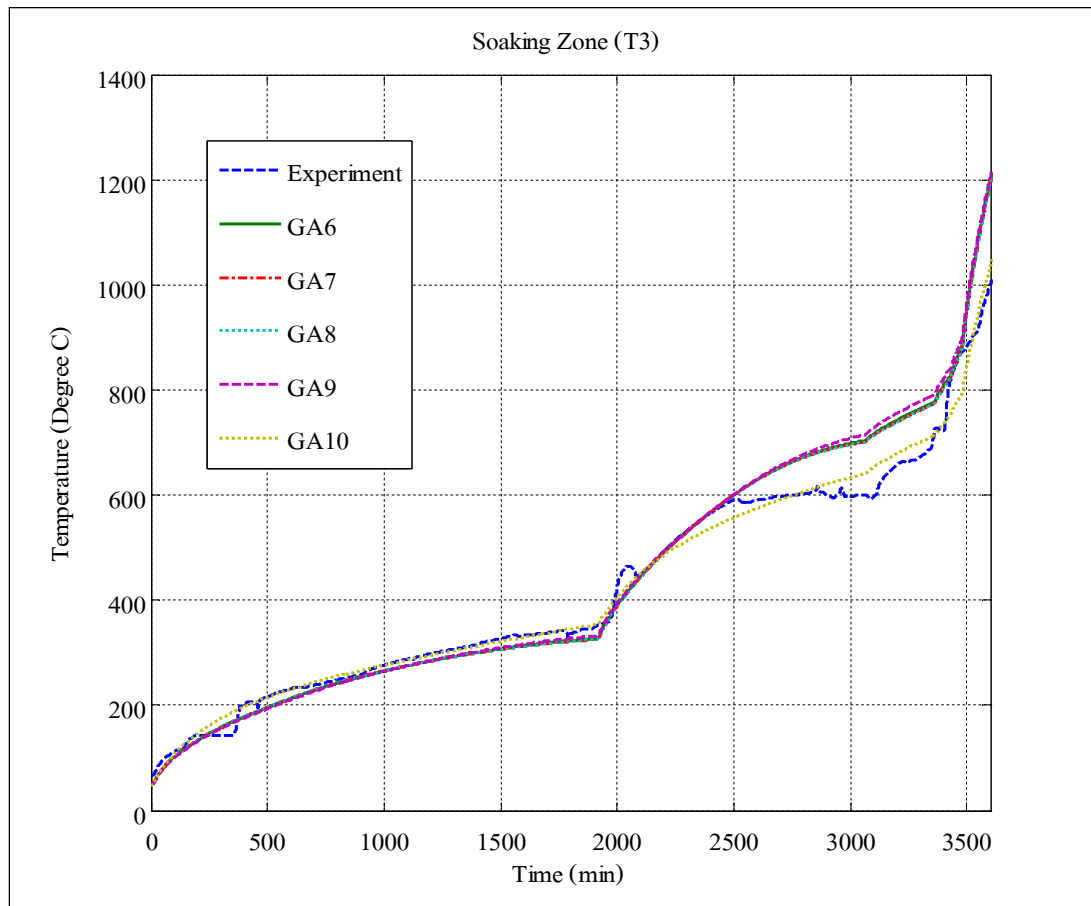


รูปที่ 5.15 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Preheating Zone



รูปที่ 5.16 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกอัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Heating Zone





รูปที่ 5.17 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลอง โดยจีนเนติกัลกอริทึมแบบกำหนดประชากรคงที่ใน Soaking Zone

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าประมาณตัวแปรของโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเงินเนติกอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 2

เงินเนติก อัลกอริทึม	ค่าประมาณตัวแปร									
	GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10
ประชากร	20	50	100	200	300	50	50	50	50	50
รอบ	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	15,000	20,000	30,000	40,000	50,000
$a \times 10^{-2}$	0.49789	0.49998	0.49989	0.54982	0.59998	0.54996	0.59988	0.59992	0.49997	0.03981
$b \times 10^{-2}$	0.22848	0.22848	0.22679	0.24265	0.25945	0.24174	0.25698	0.25658	0.23030	0.04128
$c \times 10^{-2}$	0.55513	0.55513	0.57761	0.63876	0.63698	0.65916	0.68134	0.68342	0.57347	0.98020
$d \times 10^{-2}$	1.49847	1.49995	1.59987	1.78882	1.78899	1.88991	1.98992	1.99932	1.49993	5.01494
$e \times 10^{-2}$	1.79996	1.79995	1.89998	1.89998	1.88889	1.95996	2.00992	1.99402	1.63999	3.24169
$f \times 10^{-3}$	0.39884	0.39885	0.40790	0.39770	0.39674	0.40159	0.40302	0.39994	0.37688	0.30004
$q_{dist1}$	0.89999	0.89977	0.94999	0.89999	0.89965	0.89974	0.97994	0.99989	0.79981	4.80926
$q_{dist2}$	0.69989	0.69997	0.74998	0.69997	0.69922	0.69989	0.73997	0.99789	0.59985	0.37310
$q_{dist3}$	-0.28440	-0.10035	-0.10093	-0.10013	-0.10274	-0.10011	-0.20049	-0.20014	-0.10035	27.3163

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเงินเนติอัลกอริทึมของผลการทดลองที่ 2

เงินเนติอัลกอริทึม	หลักการ	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)									
		GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10
โซน	ประชากร	20	50	100	200	300	50	50	50	50	50
	รอบ	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	15,000	20,000	30,000	40,000	50,000
Preheating Zone	Sum Square	8.7694	8.7692	8.7251	8.6851	8.6642	8.6670	8.6290	8.6278	8.8316	9.4585
	Mean	3.0029	3.0025	2.9237	2.7746	2.6854	2.7313	2.5929	2.5857	3.0932	1.2757
Heating Zone	Sum Square	11.823	11.829	11.504	11.216	11.194	11.025	10.826	10.775	12.157	5.8370
	Mean	7.2293	7.2295	6.8621	6.5153	6.5035	6.2799	6.0460	6.0021	7.5578	0.2603
Soaking Zone	Sum Square	10.305	10.305	10.171	10.044	10.003	9.9664	9.8629	9.8213	10.504	5.8028
	Mean	1.7883	1.7889	1.6945	1.5015	1.4672	1.4289	1.3175	1.2910	1.7992	0.5975

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของผลการทดลองที่ 2

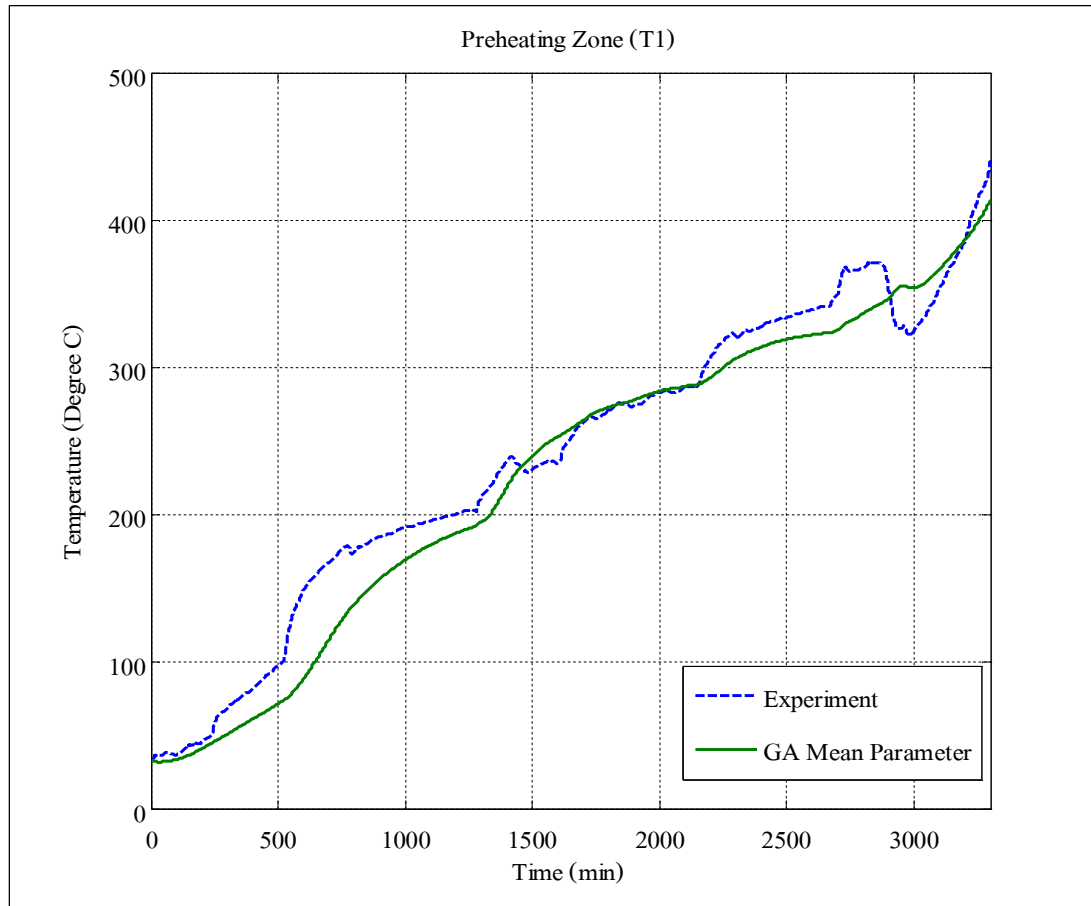
ตัวแปร	GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10
$R_1$ ( $^{\circ}C/W$ )	0.00597	0.00569	0.00539	0.00531	0.004793	0.004579	0.00438	0.00462	0.00427	0.00397
$R_2$ ( $^{\circ}C/W$ )	0.00385	0.00342	0.00324	0.00319	0.00288	0.00275	0.00263	0.00277	0.00256	0.00239
$R_3$ ( $^{\circ}C/W$ )	0.00498	0.00479	0.00449	0.00443	0.00399	0.00382	0.00366	0.00385	0.00361	0.00331
$C_1$ ( $J/^{\circ}C$ )	122,189.4	128,018.0	136,134.0	129,247.8	134,033.0	150,569.2	147,964.1	140,599.2	169,343.5	105,297.9
$C_2$ ( $J/^{\circ}C$ )	50,292.89	52,689.88	53,452.65	49,098.47	54,592.79	55,221.02	55,809.12	52,785.59	68,006.97	42,765.99
$C_3$ ( $J/^{\circ}C$ )	11,167.00	11,700.00	11,700.00	11,884.74	13,177.89	13,371.43	13,620.90	12,987.00	17,121.95	9,310.61

5.1.3 การเฉลี่ยค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลองที่ 1 และผลการทดลองที่ 2 โดยทดลองกับอินพุตของผลการทดลองที่ 1

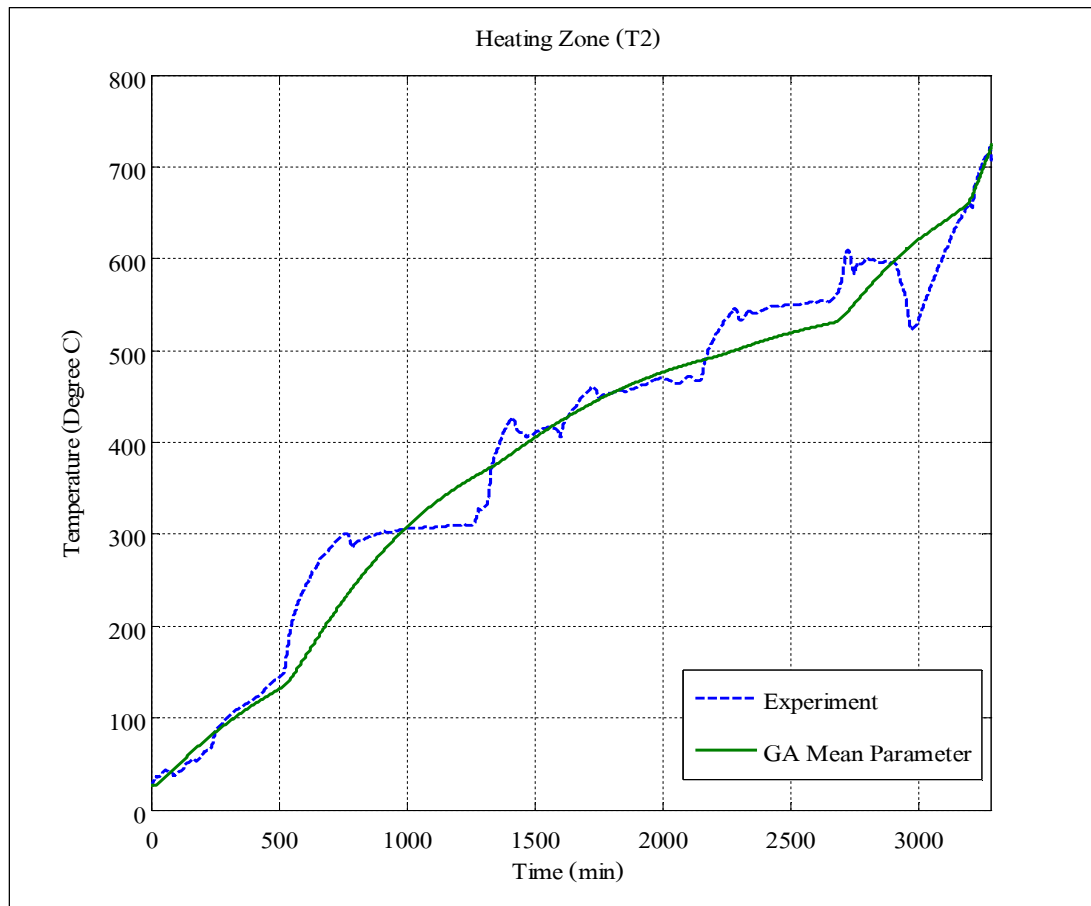
จากค่าตัวแปรที่ได้ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าค่าตัวแปรนั้นเหมาะสมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอุณหเตา จึงจำเป็นต้องมีการทดลองหลายครั้ง เพื่อหาค่าประมาณตัวแปรที่ดีที่สุด จากนั้นทำการทดสอบค่าตัวแปรที่ได้โดยเทคนิควิธีเฉลี่ยค่าตัวแปรที่ได้ในแต่ละผลการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าค่าตัวแปรที่ได้นั้นเหมาะสมจากผลการทดลองที่ 1 และ 2 จะได้ค่าเฉลี่ยตัวแปรแสดงดังตารางที่ 5.7 ซึ่งการตอบสนองอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผลการทดลองที่ 1 โดยใช้ค่าตัวแปรจากวิธีเฉลี่ยค่าประมาณตัวแปรที่ได้จากจินเนติกอัลกอริทึมในแต่ละโซน แสดงดังรูปที่ 5.18 - 5.20

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าเฉลี่ยตัวแปรของจินเนติกอัลกอริทึมจากผลการทดลองที่ 1 และ 2

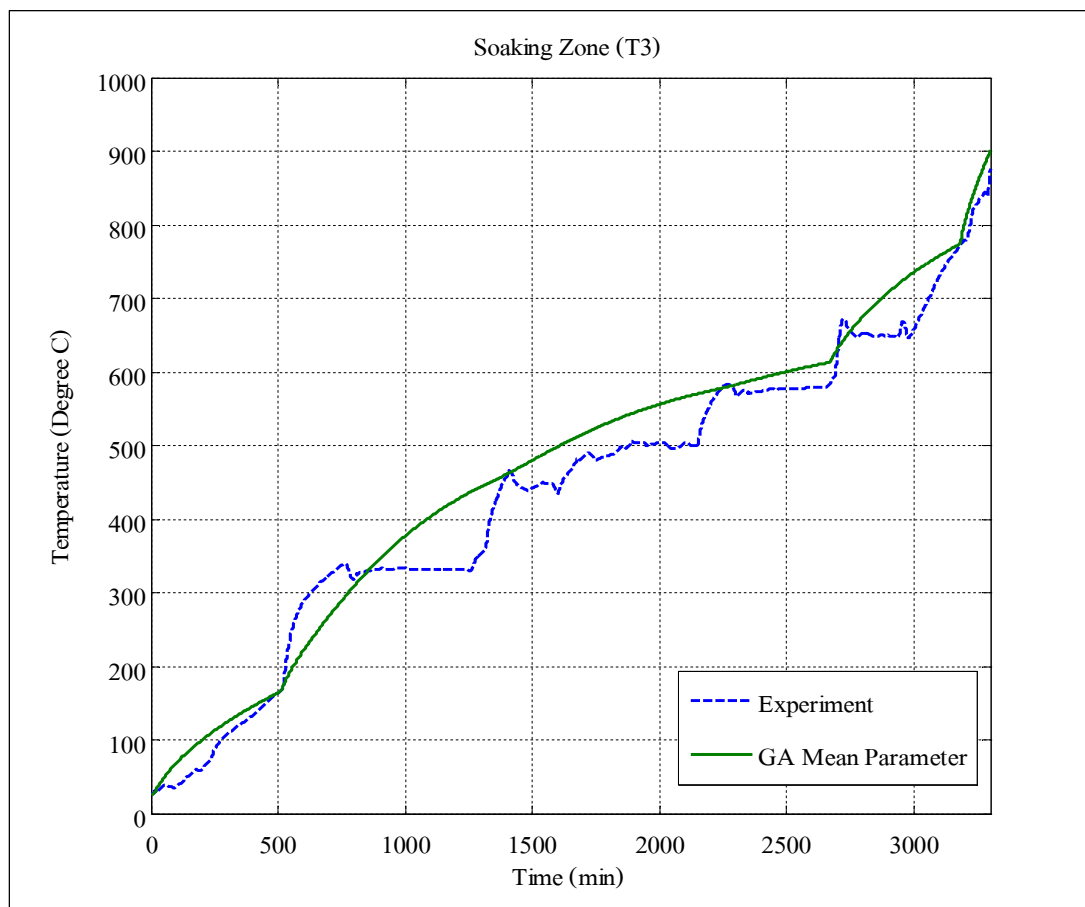
ตัวแปร	ค่าประมาณตัวแปร		
	ผลการทดลองที่ 1	ผลการทดลองที่ 2	ค่าเฉลี่ย
$a \times 10^{-2}$	0.39863	0.59992	0.49927
$b \times 10^{-2}$	0.28765	0.25658	0.27212
$c \times 10^{-2}$	0.55232	0.68342	0.61787
$d \times 10^{-2}$	1.22086	1.99932	1.61009
$e \times 10^{-2}$	1.35542	1.99402	1.67472
$f \times 10^{-3}$	0.00032	0.00039	0.00036
$q_{dist1}$	0.50947	0.99989	0.75468
$q_{dist2}$	0.39301	0.99789	0.69545
$q_{dist3}$	-0.98665	-0.20014	-0.59340



รูปที่ 5.18 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองกับอินพุตจากผลการทดลองที่ 1 ใน Preheating Zone



รูปที่ 5.19 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองกับอินพุตจากผลการทดลองที่ 1 ใน Heating Zone



รูปที่ 5.20 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองกับอินพุตจากผลการทดลองที่ 1 ใน Soaking Zone

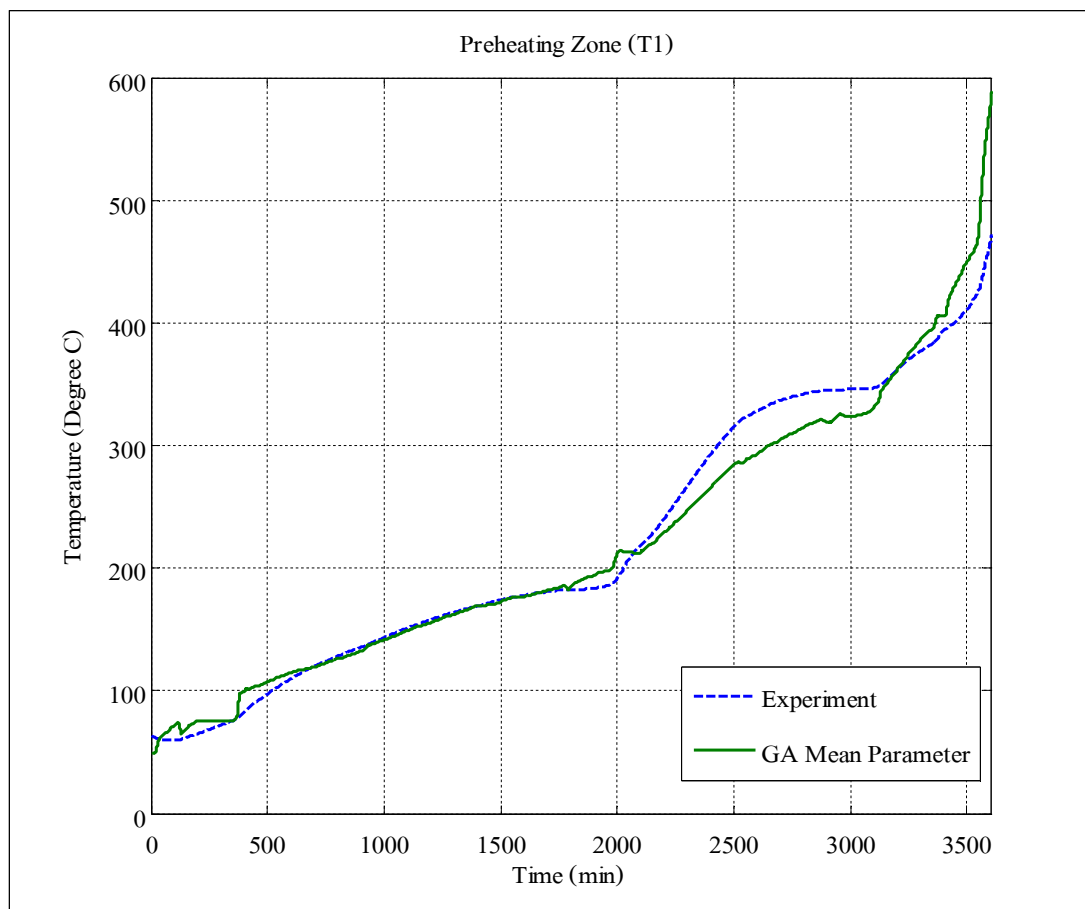
5.1.4 การเฉลี่ยค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลองที่ 1 และผลการทดลองที่ 2 โดยทดลองกับอินพุตของผลการทดลองที่ 2

การตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 โดยใช้ค่าตัวแปรจากวิธีเฉลี่ยค่าประมาณตัวแปรที่ได้จากจินเนติกอัลกอริทึมในแต่ละโซน แสดงดังรูปที่ 5.21 - 5.23 การใช้ค่าเฉลี่ยประมาณตัวแปรหาผลการตอบสนองของผลการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนลดลงส่วนผลการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นแสดงดังตารางที่ 5.8

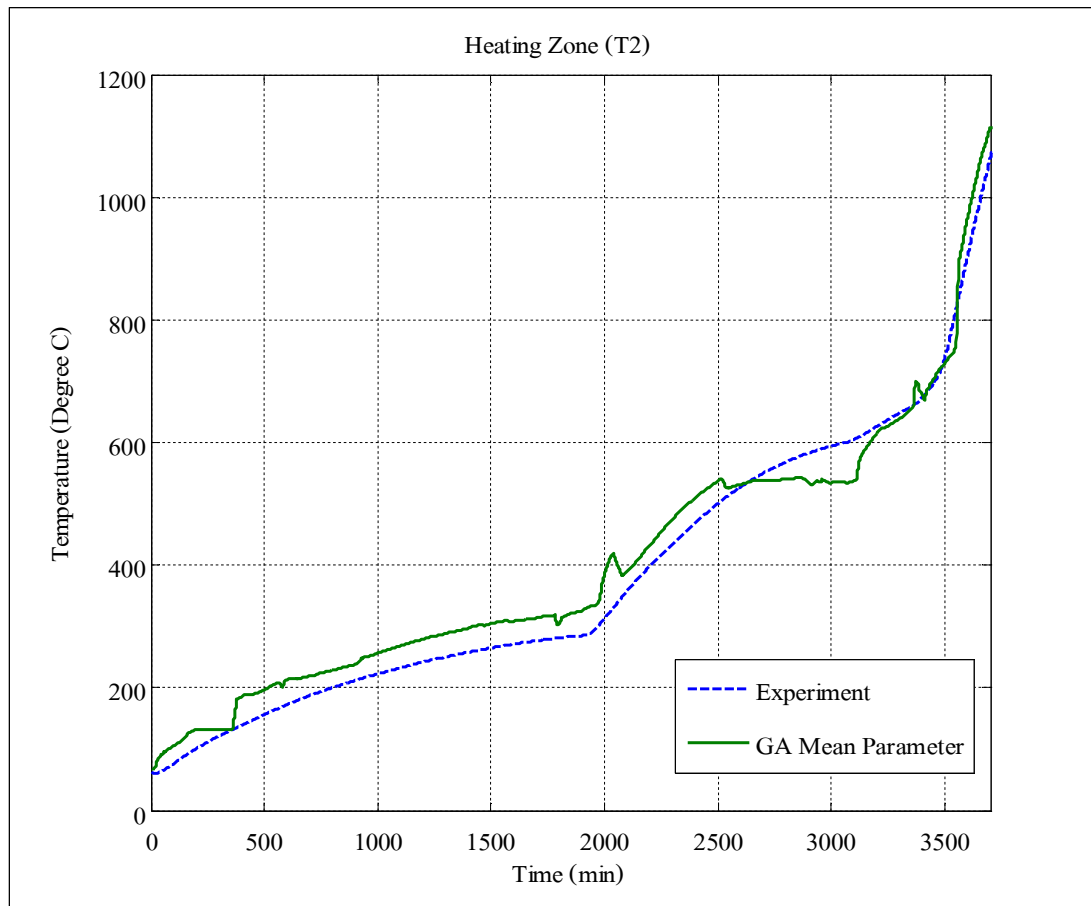
ตารางที่ 5.8 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากค่าเฉลี่ยตัวแปร

โซน	ค่าความคลาดเคลื่อน	ผลการทดลองที่ 1	ผลการทดลองที่ 2
Preheating Zone	Sum Square (%)	14.1857	8.4578
	Mean (%)	8.4098	0.5334
Heating Zone	Sum Square (%)	11.0793	12.7476
	Mean (%)	2.3474	10.5318
Soaking Zone	Sum Square (%)	19.7688	10.1601
	Mean (%)	9.6747	0.2744

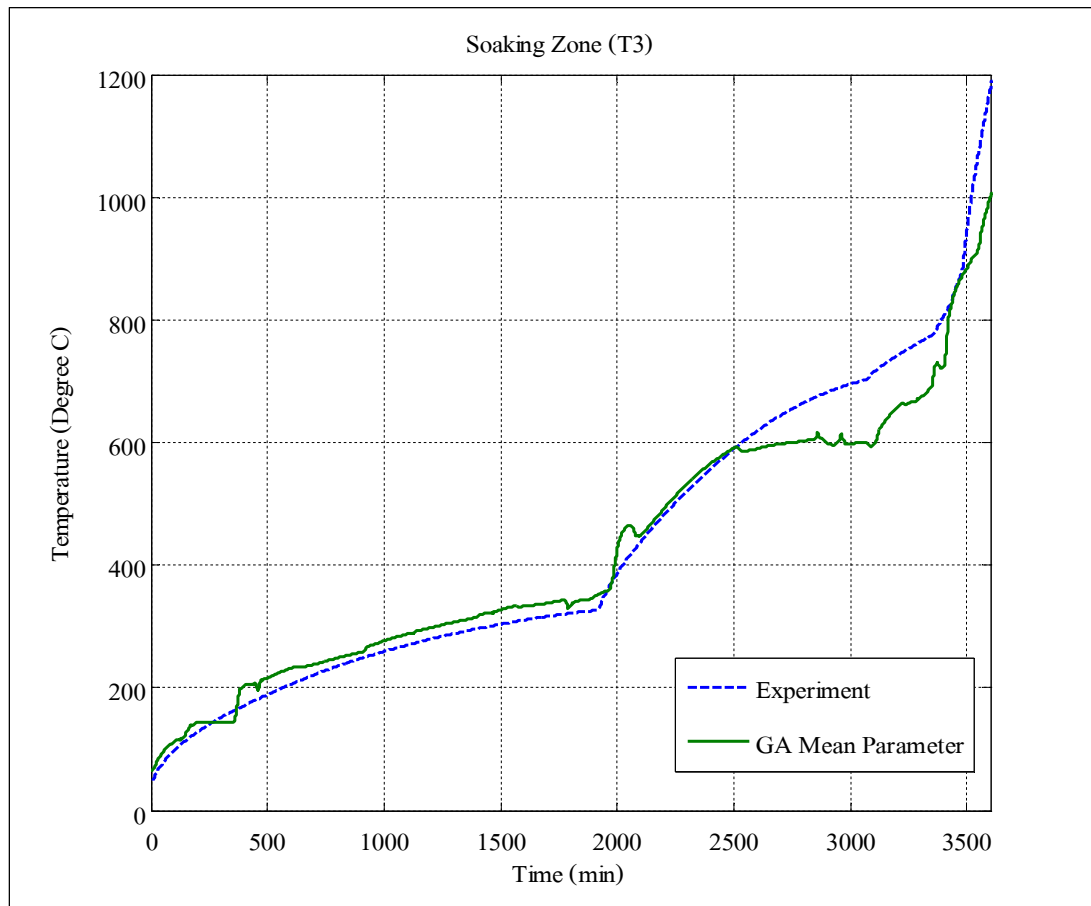




รูปที่ 5.21 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองกับอินพุตจากผลการทดลองที่ 2 ใน Preheating Zone



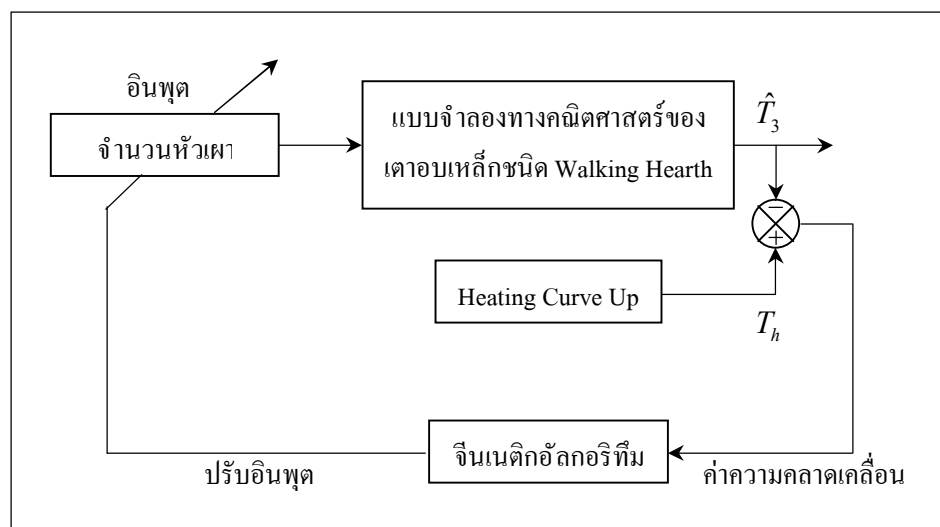
รูปที่ 5.22 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองกับอินพุตจากผลการทดลองที่ 2 ใน Heating Zone



รูปที่ 5.23 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 2 และการประมาณแบบจำลองของตัวแปรเฉลี่ยโดยทดลองกับอินพุตจากผลการทดลองที่ 2 ใน Soaking Zone

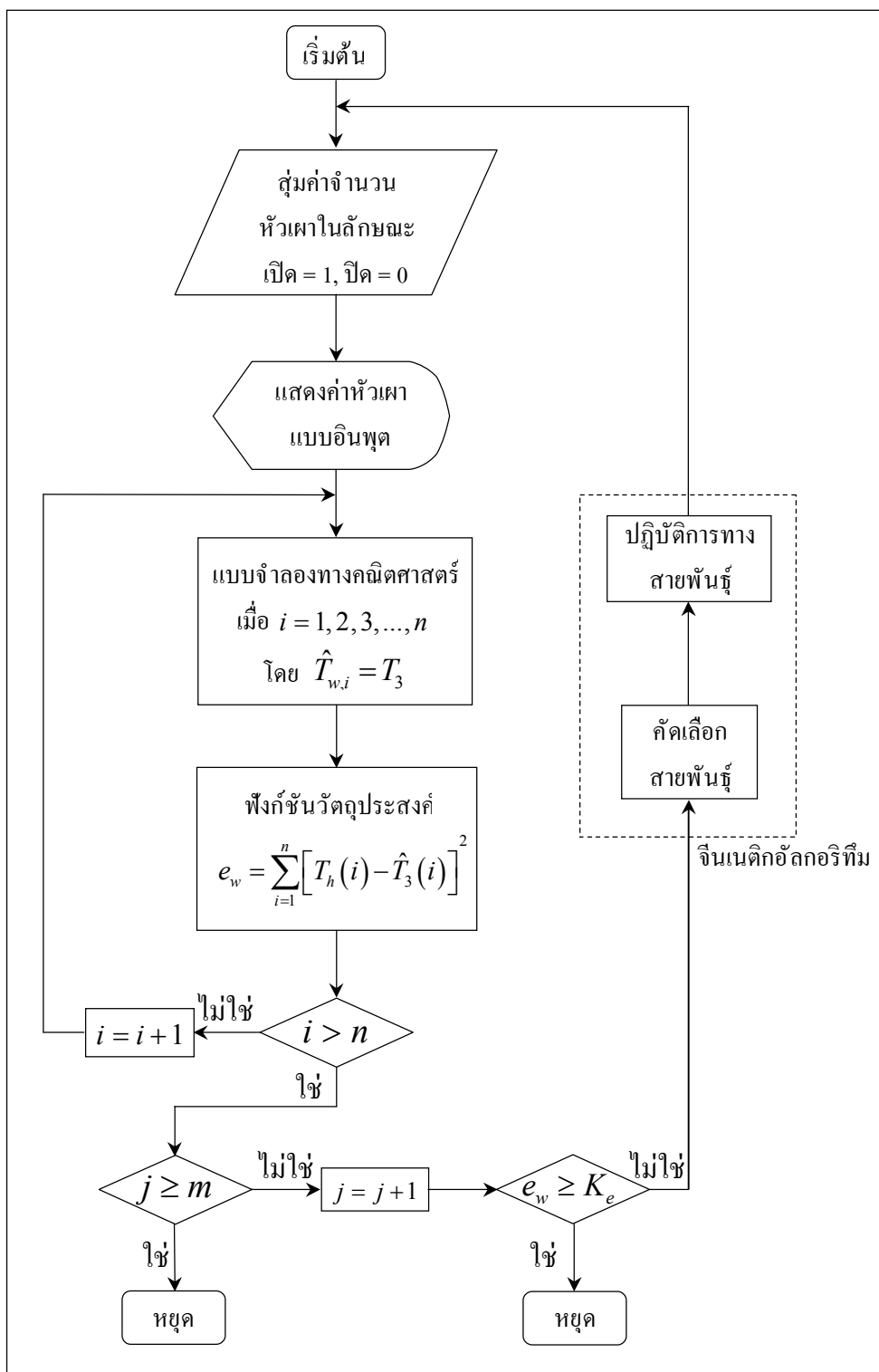
## 5.2 การออกแบบหัวเผาและผลการทดสอบกระบวนการอุ่นเตา

ในการปรับค่าการเปิด - ปิดจำนวนหัวเผาแบบวงเปิดของกระบวนการอุ่นเตาได้ใช้หลักการควบคุมปรับตัวได้ชนิดอ้างอิงแบบจำลอง(Model Reference Adaptive System) โดยหลักการทำงานคือการปรับจำนวนเปิด - ปิดหัวเผาที่เป็นอินพุตของระบบให้ได้ค่าอุณหภูมิของแบบจำลองให้สอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิง ซึ่งใช้หลักการของค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาโดยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมที่แสดงดังรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 แสดงแผนภาพหลักการออกแบบหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตา

การออกแบบช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเปิด - ปิดหัวเผานั้น ได้ใช้แบบจำลองที่ได้กล่าวไปในขั้นต้นรวมทั้งค่าตัวแปรที่เป็นค่าเฉลี่ยตามตารางที่ 8 โดยใช้หลักการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5.25 ในกระบวนการอุ่นเตาจะพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิใน Soaking Zone เทียบกับ อุณหภูมิอ้างอิง โดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมค้นหาวิธีเปิด - ปิดหัวเผาให้สอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิงโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการออกแบบได้พิจารณาการกำหนดช่วงเวลาในการเปิด - ปิดหัวเผาด้วยกัน 3 กรณีคือการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที และ 500 นาที โดยออกแบบกับผลการทดลองที่ 1 และการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที โดยออกแบบกับชุดข้อมูลจริงในกระบวนการอุ่นเตา ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2553



รูปที่ 5.25 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบจำนวนหัวเผาที่เหมาะสม

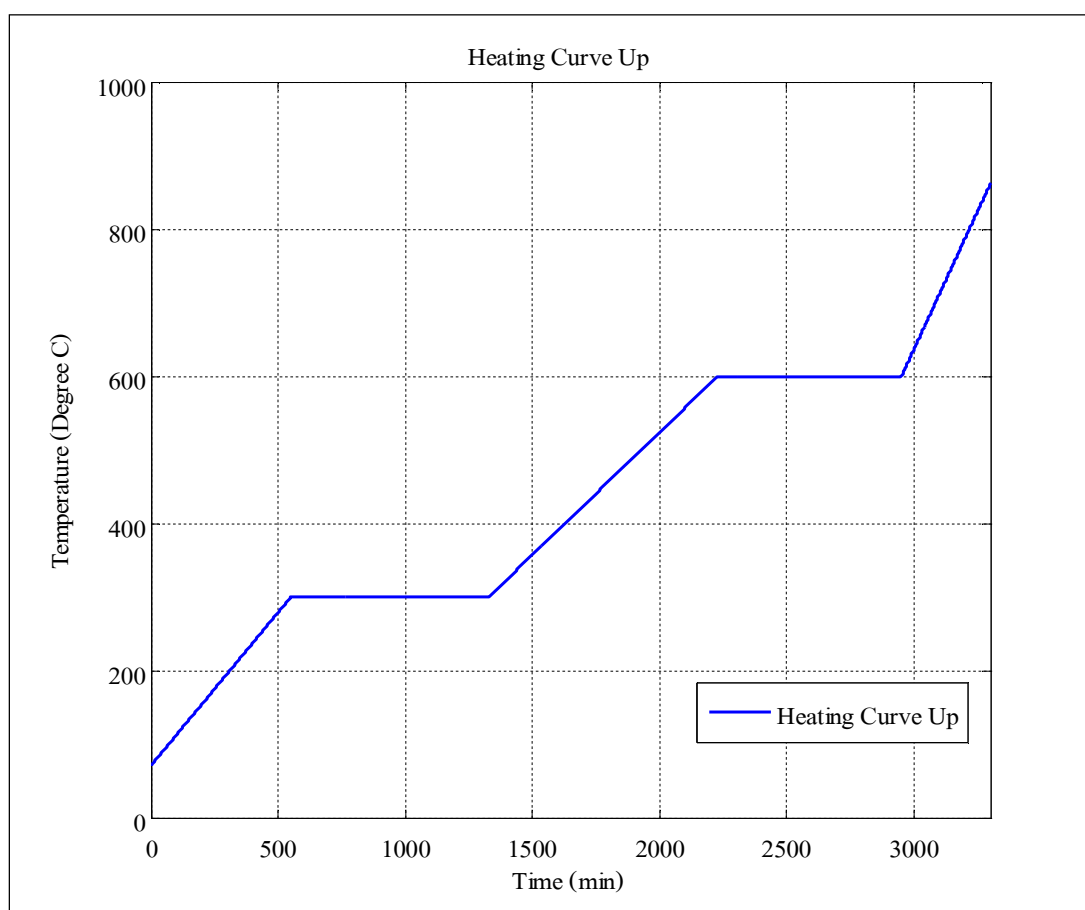
โดยที่	$n$	คือ	จำนวนชุดข้อมูลการทดลองทั้งหมด
	$e_w$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดของอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับอุณหภูมิจากผลการทดลอง
	$K_e$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
	$\hat{T}_3$	คือ	อุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน Soaking Zone
	$T_h$	คือ	อุณหภูมิอ้างอิง
	$w$	คือ	1, 2, 3
	$j$	คือ	รอบการค้นหา
	$m$	คือ	จำนวนรอบที่กำหนดของการค้นหา

จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรมจินเนติกอัลกอริทึมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด (Sum Square Error) อุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน Soaking Zone เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงจะสามารถแบ่งหลักการทำงานออกเป็น 2 กรณีคือ

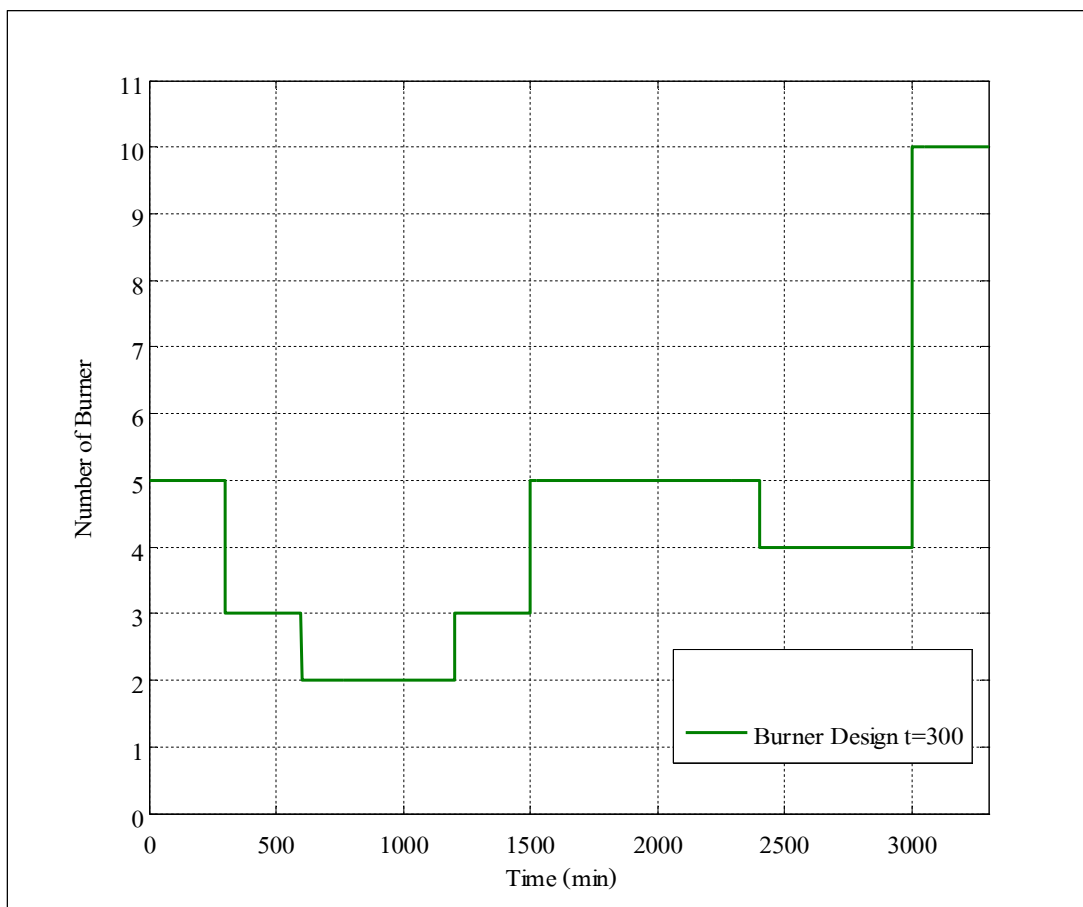
- 1) กรณีที่  $e_w > K_e$  แสดงว่ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอ้างอิงกับอุณหภูมิของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน Soaking Zone มากกว่าที่กำหนดจินเนติกอัลกอริทึมจะสุ่มหาจำนวนหัวเผ้าใหม่
- 2) กรณีที่  $e_w \leq K_e$  แสดงว่า มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอ้างอิงกับค่าอุณหภูมิของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน Soaking Zone อยู่ในช่วงที่กำหนดจินเนติกอัลกอริทึมหยุดการทำงาน

5.2.1 การกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาทีโดยออกแบบกับผลการทดลองที่ 1

ในการออกแบบได้พิจารณาถึงความน่าจะเป็นในเรื่องความถี่ของการเปิด - ปิดหัวเผา ซึ่งปัจจุบันได้ใช้ช่างเทคนิคในการเปิด - ปิดหัวเผา จึงไม่สามารถออกแบบให้อยู่ในช่วงเวลาสั้น ๆ สำหรับในการออกแบบได้กำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาทุก 300 นาทีหรือประมาณ 5 ชั่วโมงโดยอุณหภูมิอ้างอิงในกระบวนการอุ่นเตาจากผลการทดลองที่ 1 ใช้เวลาทั้งสิ้น 56 ชั่วโมง หรือประมาณ 3,360 นาที แสดงดังรูปที่ 5.26 รวมทั้งวิธีเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบและการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone เทียบกับผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.27 และรูปที่ 5.28 ตามลำดับ

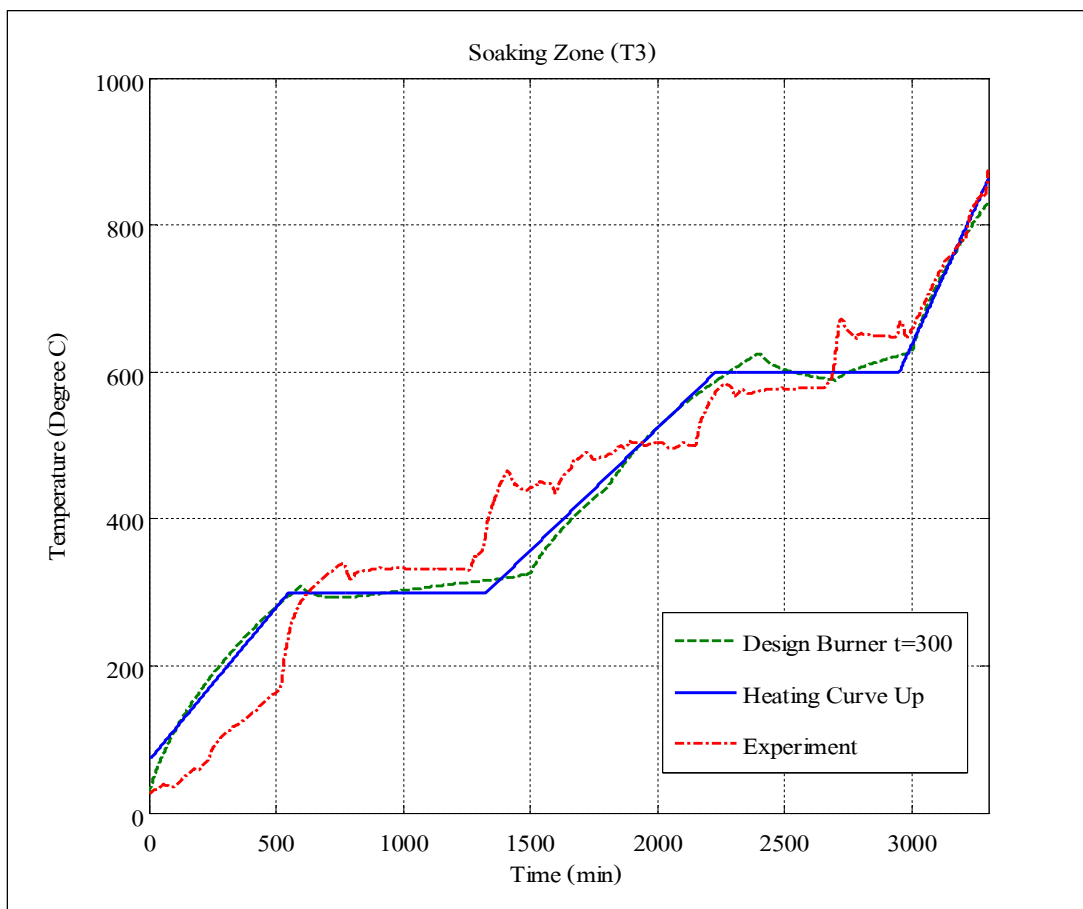


รูปที่ 5.26 แสดงอุณหภูมิอ้างอิงจากผลการทดลองที่ 1



รูปที่ 5.27 แสดงการเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาที่ 300 นาที

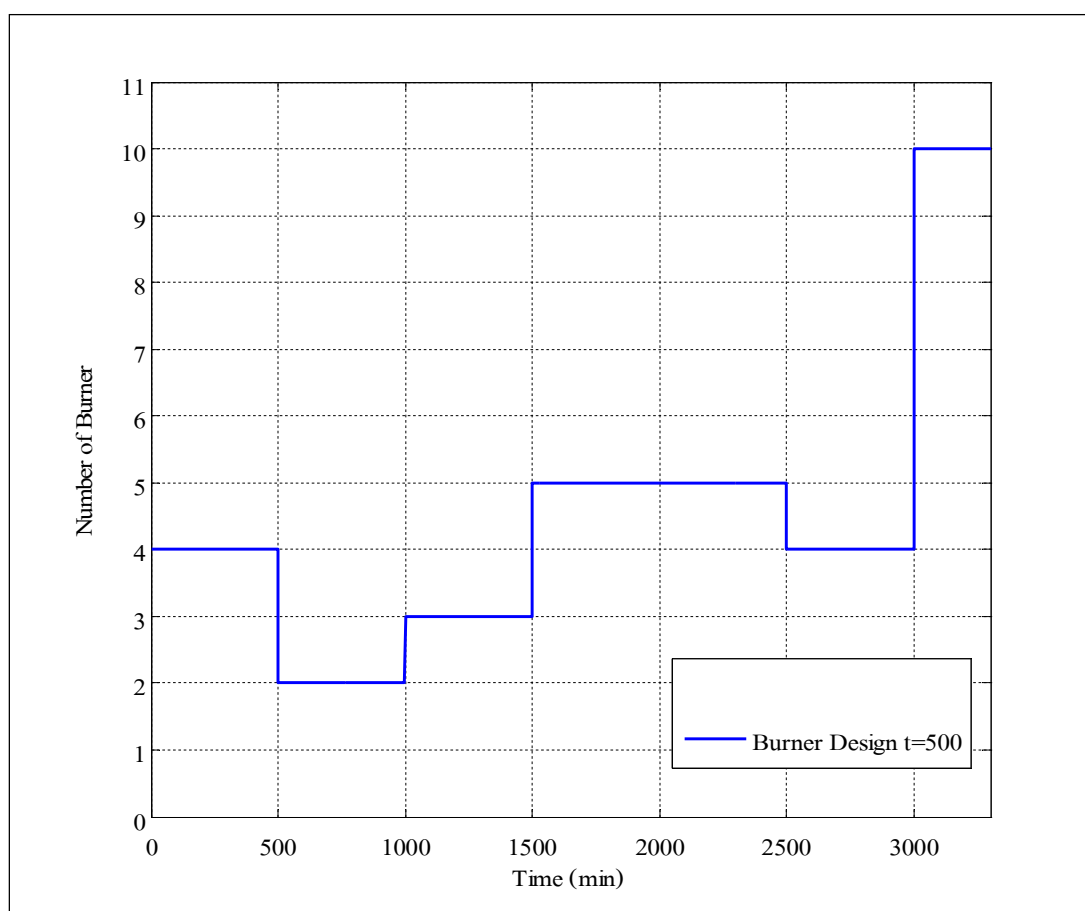




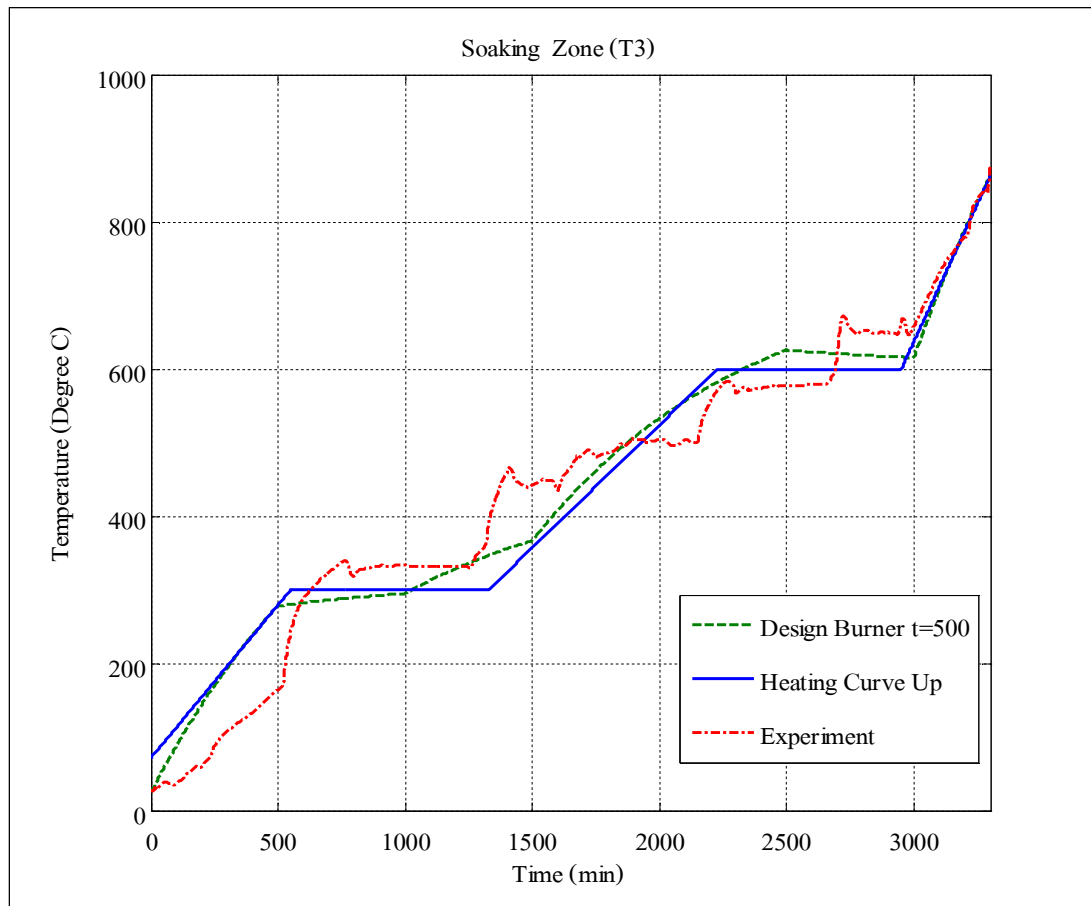
รูปที่ 5.28 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 เทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาทีใน Soaking Zone

จากการออกแบบได้แบ่งการเปิด - ปิดหัวเผาใน Soaking Zone ออกเป็น 7 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 มีการเปิดหัวเผา 5 หัวเผาที่เวลา 0 - 300 นาที ช่วงที่ 2 มีการเปิดหัวเผา 3 หัวเผาที่เวลา 301 - 600 นาที ช่วงที่ 3 มีการเปิดหัวเผา 2 หัวเผาที่เวลา 601 - 1,200 นาที ช่วงที่ 4 มีการเปิดหัวเผา 3 หัวเผาที่เวลา 1,201 - 1,500 นาที ช่วงที่ 5 มีการเปิดหัวเผา 5 หัวเผาที่เวลา 1,501 - 2,400 นาที ช่วงที่ 6 มีการเปิดหัวเผา 4 หัวเผาที่เวลา 2,401 - 3,000 นาที และ ช่วงที่ 7 มีการเปิดหัวเผา 10 หัวเผาที่เวลา 3,001 - 3,360 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone จากการออกแบบนี้ นี้น่าจะดีกว่าผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1

5.2.2 การกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 500 นาที โดยออกแบบกับผลการทดลองที่ 1 สำหรับในการออกแบบได้กำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาทุก 500 นาทีหรือประมาณ 8 ชั่วโมง 20 นาที โดยอุณหภูมิอ้างอิงในกระบวนการอุ่นเตาจากการทดลองที่ 1 ใช้เวลาทั้งสิ้น 56 ชั่วโมงหรือประมาณ 3,360 นาที แสดงดังรูปที่ 5.26 รวมทั้งการเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบ และผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone เทียบกับผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากผลการทดลองที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.29 และรูปที่ 5.30 ตามลำดับ



รูปที่ 5.29 แสดงการเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาที่ 500 นาที



รูปที่ 5.30 แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิจากการทดลองที่ 1 เทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 500 นาทีใน Soaking Zone

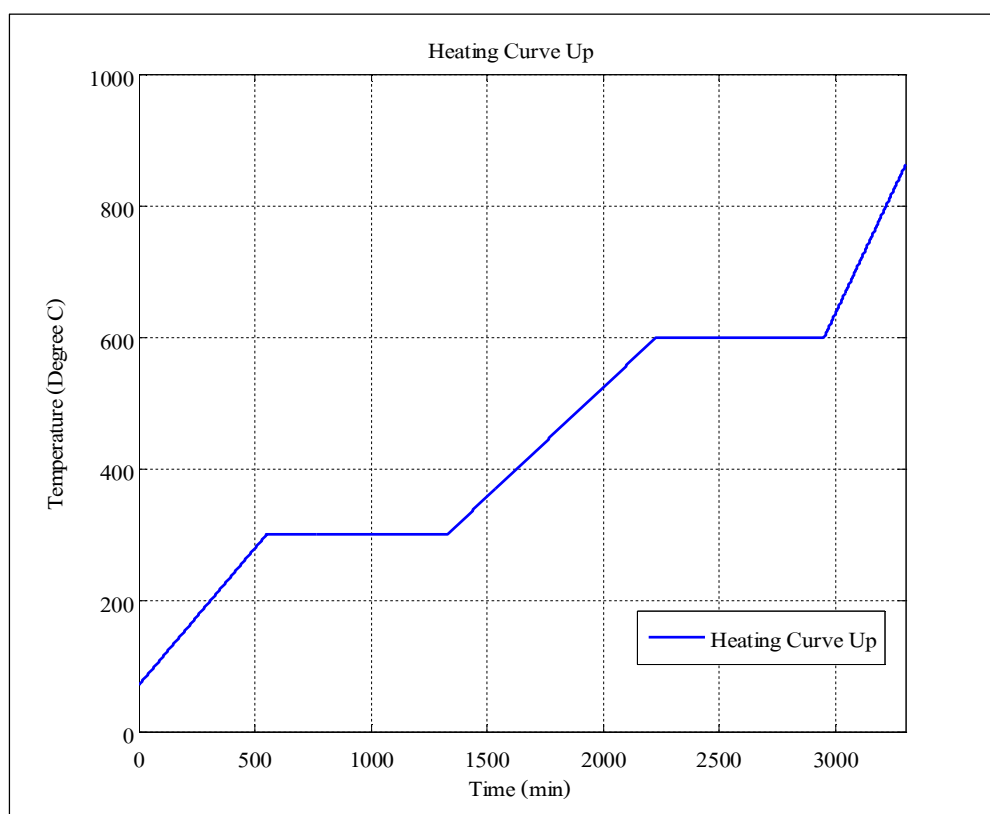
จากการออกแบบได้แบ่งการเปิด - ปิดหัวเผาใน Soaking Zone ออกเป็น 6 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 มีการเปิดหัวเผา 4 หัวเผาที่เวลา 0 - 500 นาที ช่วงที่ 2 มีการเปิดหัวเผา 2 หัวเผาที่เวลา 501 - 1,000 นาที ช่วงที่ 3 มีการเปิดหัวเผา 3 หัวเผาที่เวลา 1,001 - 1,500 นาที ช่วงที่ 4 มีการเปิดหัวเผา 5 หัวเผาที่เวลา 1,501 - 2,500 นาที ช่วงที่ 5 มีการเปิดหัวเผา 4 หัวเผาที่เวลา 2,501 - 3,000 นาที และ ช่วงที่ 6 มีการเปิดหัวเผา 10 หัวเผาที่เวลา 3,001 - 3,360 นาที ซึ่งผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone จากการออกแบบนี้ นี้นดีกว่าผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากการทดลอง ครั้งที่ 1 สรุปได้ว่าจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที มีค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างกำลังสองน้อยที่สุดของอุณหภูมิใน Soaking Zone เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 500 นาที แสดงดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบมีการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิด หัวเผาที่ 300 นาที และ 500 นาที

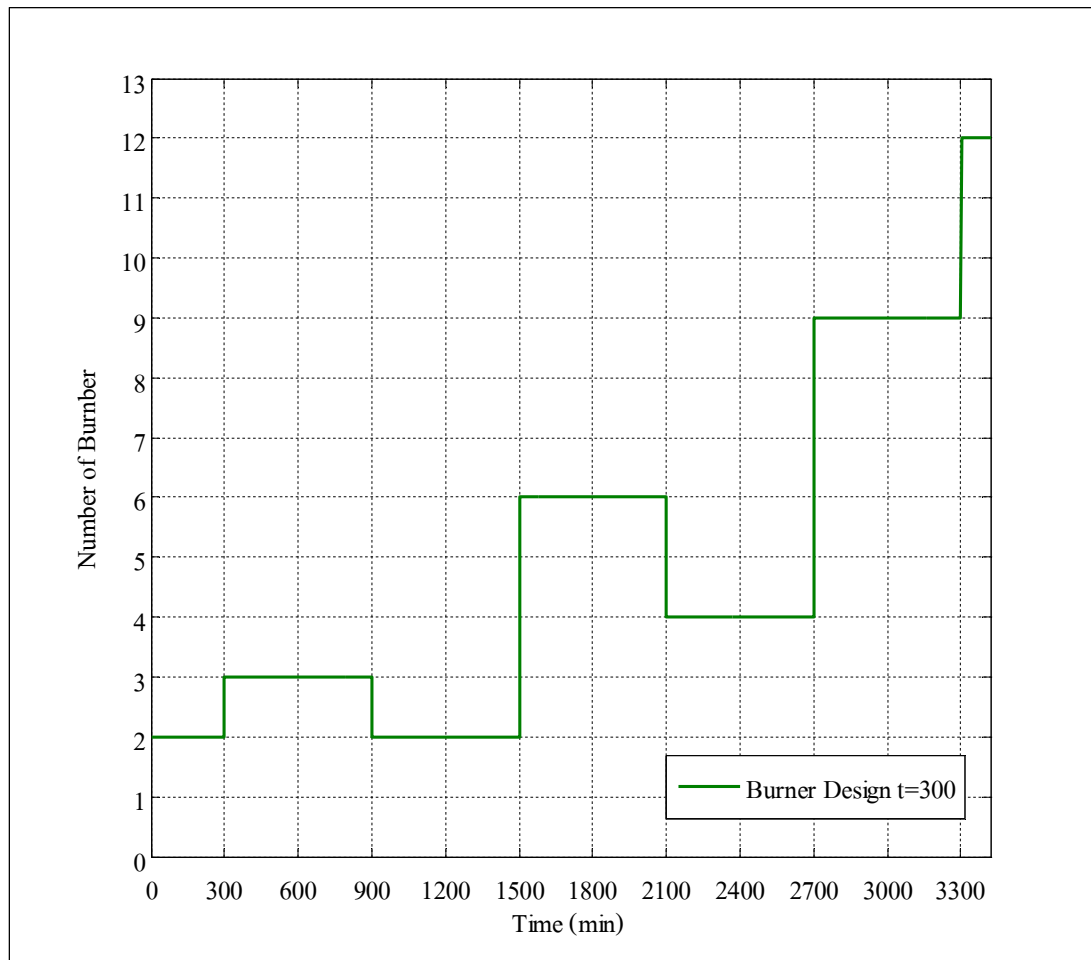
ค่าความคลาดเคลื่อน	ช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที	ช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 500 นาที
Sum Square (%)	7.8736	8.8714
Mean (%)	1.0071	0.0312

5.2.3 การออกแบบกับชุดข้อมูลจริงในกระบวนการอุ่นเตา ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 โดยการกำหนดช่วงเวลาเปิด - ปิดหัวเผาที่ 300 นาที

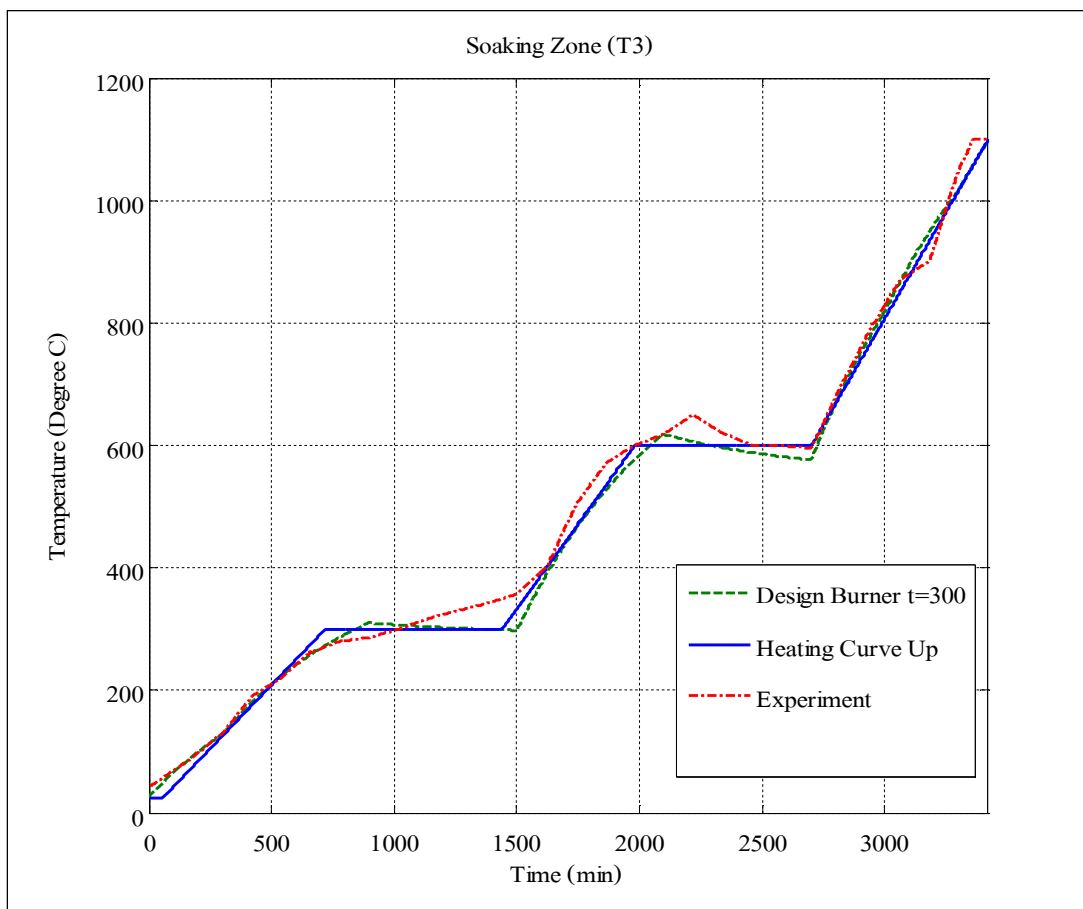
ในการกระบวนการอุ่นกับเตาอบเหล็ก ณ บริษัท ราชสีมา ผลิตภัณฑ์ จำกัด ในวันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 โดยใช้ในการอุ่นเตาประมาณ 56 ชั่วโมงหรือประมาณ 3,360 นาที โดยใช้ อุณหภูมิอ้างอิงที่คล้ายคลึงกับผลการทดลองที่ แสดงดังรูปที่ 5.31 รวมทั้ง การออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผา และผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone แสดงดังรูปที่ 5.32 และ 5.33 ตามลำดับ



รูปที่ 5.31 แสดงอุณหภูมิอ้างอิงของการอุ่นเตาจริง ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2553



รูปที่ 5.32 แสดงการเปิด - ปิดหัวเผาจากการออกแบบที่มีการกำหนด  
ช่วงเวลาที่ 300 นาทีในกระบวนการอุ่นเตาจริง



รูปที่ 5.33 แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิการทดลองเทียบกับอุณหภูมิจากการออกแบบที่มีการกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดหัวเผาที่ 300 นาที ใน Soaking Zone

จากการออกแบบได้แบ่งการเปิด - ปิดหัวเผาใน Soaking Zone ออกเป็น 7 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 มีการเปิดหัวเผา 2 หัวเผาที่เวลา 0 - 300 นาที ช่วงที่ 2 มีการเปิดหัวเผา 3 หัวเผาที่เวลา 301 - 900 นาที ช่วงที่ 3 มีการเปิดหัวเผา 2 หัวเผาที่เวลา 901 - 1,500 นาที ช่วงที่ 4 มีการเปิดหัวเผา 6 หัวเผาที่เวลา 1,501 - 2,100 นาที ช่วงที่ 5 มีการเปิดหัวเผา 4 หัวเผาที่เวลา 2,101 - 2,700 นาที ช่วงที่ 6 มีการเปิดหัวเผา 9 หัวเผาที่เวลา 2,701 - 3,300 นาที และ ช่วงที่ 7 มีการเปิดหัวเผาจำนวน 12 หัวเผาที่เวลา 3,301 - 3,360 นาที ซึ่งผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone ที่ได้จากการะบวนการอุ่นเตาจริงมีลักษณะสอดคล้องกับอุณหภูมิอ้างอิง สรุปได้ว่าผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงที่ได้จากการออกแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ลดลงมากคือผลการตอบสนองของผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากการะบวนการอุ่นเตาจริง และผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากการทดลองที่ 1 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 510

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone  
เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง

ค่าความคลาดเคลื่อน	ผลการทดลองที่ 1	ผลจากการออกแบบใน กระบวนการอุ่นเตาจริง	ผลจากการทดลองใน กระบวนการอุ่นเตาจริง
Sum Square (%)	24.1890	6.4943	13.3442
Mean (%)	3.4676	1.6943	2.5430

### 5.3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในกระบวนการอุ่นเตา

ในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็ก ชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมา  
ผลิตเหล็ก จำกัด ได้ใช้น้ำมันเตาผสมกับน้ำมัน LCB ในอัตราส่วนผสม 50 : 50 โดยคิดเป็นราคา  
ลิตรละ 14.60 บาท ซึ่งกระบวนการอุ่นเตาแต่ละครั้งมีอุณหภูมิอ้างอิงไม่เหมือนกันโดยค่าเฉลี่ยของ  
อุณหภูมิอ้างอิงอยู่ที่ 50 - 60 ชั่วโมง สาเหตุที่บางครั้งมีการอุ่นเตาที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากมี  
การซ่อมบำรุงผนังเตาจึงต้องเพิ่มเวลาการอุ่นเตาทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงจึงแตกต่างกันไปด้วย  
โดยอัตราการสิ้นเปลืองของการทดลองที่ 1 และ 2 รวมทั้งการทดลองในกระบวนการอุ่นเตาจริงที่ได้  
จากการออกแบบ แสดงดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของแต่ละการทดลอง

การทดลอง	กระบวนการอุ่นเตา (ชั่วโมง)	อัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (ลิตร)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)
การทดลองที่ 1	56	16,044.20	234,245.85
การทดลองที่ 2	64	16,728.58	244,238.73
การทดลองจากกาออกแบบ	56	15,009.98	219,145.71

## 5.4 สรุป

การประยุกต์ใช้วิธีระบุเอกลักษณ์ของระบบ โดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมในการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ให้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับอุณหภูมิจากการทดลองทั้ง 3 โซน มีความสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประมาณ ได้มีความสอดคล้องกันกับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมา ผลิตเหล็ก จำกัด จากผลที่ได้จากการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ที่มีการพิจารณาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่รบกวนระบบเพื่อช่วยให้แบบจำลองมีความสอดคล้องมากขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่รบกวนใน Preheating Zone และ Heating Zone มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าที่บริเวณทั้ง 2 โซนการถ่ายเทความร้อนอื่น ๆ ที่เข้าสู่ระบบ เช่น การแผ่รังสีความร้อน แต่บริเวณ Soaking Zone มีค่าเป็นลบ แสดงว่าการถ่ายเทความร้อนที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่าการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ระบบ จากแบบจำลองสามารถประมาณค่าความจุความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนได้ใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี ในการประมาณค่าตัวแปรโดยจินเนติกอัลกอริทึมแสดงให้เห็นว่าหากจำนวนรอบของการค้นหาและจำนวนประชากรของการสุ่มมีค่ามาก จะสามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมให้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิใน Soaking Zone เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงมีความสอดคล้องมากขึ้นและสามารถลดอัตราการใช้อีเชื้อเพลิงที่เป็นต้นทุนหลักได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผา



## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth โดยวิธีระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิด และออกแบบวิธีการเปิด - ปิดหัวเผาสำหรับกระบวนการอุ่นเตา ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ด้วยจินเนติกอัลกอริทึมได้แสดงผลการตอบสนองอุณหภูมิ ใน Soaking Zone ที่สอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงเมื่อใช้วิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่ได้ออกแบบโดยเทคนิคความเหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 13.34% ลดลง 44.83% ใช้เชื้อเพลิงเพียง 15,010 ลิตร ลดลง 6.44% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเปิด - ปิดจากการทดลองครั้งที่ 1 จะเห็นได้ว่าวิธีดังกล่าวที่ได้นำเสนอ สามารถใช้ในการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กและออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาสำหรับกระบวนการอุ่นเตาได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านการตอบสนองของอุณหภูมิและการประหยัดเชื้อเพลิง

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาของกระบวนการอุ่นเตาของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมและประหยัดเชื้อเพลิง หากต้องการให้อัลกอริทึมที่ใช้ ออกแบบของระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพควรมีการเพิ่ม Sampling ในการวัดและ จัดเก็บข้อมูลเพื่อความแม่นยำและความราบเรียบของอุณหภูมิจากการวัด จะเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการออกแบบและเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองอีกด้วย การทำงานวิจัยเพื่อพัฒนาต่อไปจากงานวิจัยที่ได้เสนอนี้ ควรให้ความสนใจในด้านของการพัฒนา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความแม่นยำที่สูงขึ้นทำได้ โดยการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดให้มากขึ้น

## รายการอ้างอิง

- Balbis, L., Balderud, J., and Grimble, M.J. (2008) **Nonlinear predictive control of steel slab reheating furnace**. Proceedings of the 2008 American Control Conference. (pp. 1679-1684). USA.
- Castillo, O., Montiel, O., Sepulveda, R., and Melin, P. (2001) **Application of a breeder genetic algorithm for system identification in an adaptive impulse response filter**. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware. (pp. 146-153). USA.
- Jann, N.Y., Huang, H., and Lin, S. (2005) **Sequential non - linear least square estimation for damage identification of structures**. The International Journal of Nonlinear Mechanics. (Vol. 41(1), pp. 124-140).
- Ko, H.S., Kim, J.S., and Yoon, T.W. (2000) **Modeling and predictive control of a reheating furnace**. Proceedings of the American Control Conference. (Vol. 4, pp. 2725-2729).
- Kusters, A., and van Ditzhuijzen, G.A.J.M. (1994) **MIMO system identification of a slab reheating furnace**. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Control Applications. (Vol. 3, pp. 1557-1563).
- Kim, M.Y. (2007) **A Heat Transfer Model for analysis of Transient Heating of the Slab in a direct - fired Walking Beam type Reheating Furnace**. The International Journal of Heat and Mass Transfer. (Vol. 50(19-20), pp. 3740-3748).
- Kronberger, G., Feilmayr, C., Kommenda, M., Winkler, S., Affenzeller, M., and Burgler, T. (2009) **System identification of blast furnace process with genetic programming**. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Logistics and Industrial Informatics. LINDI 2009. (pp. 1-6).
- Lo, C.H., Chow, K.M., Wong, Y.K., and Rad, A.B. (2001) **Qualitative system identification with the use of on - line genetic algorithm**. Journal of the Simulation practice and theory. (Vol. 8(6-7), pp. 415-431).

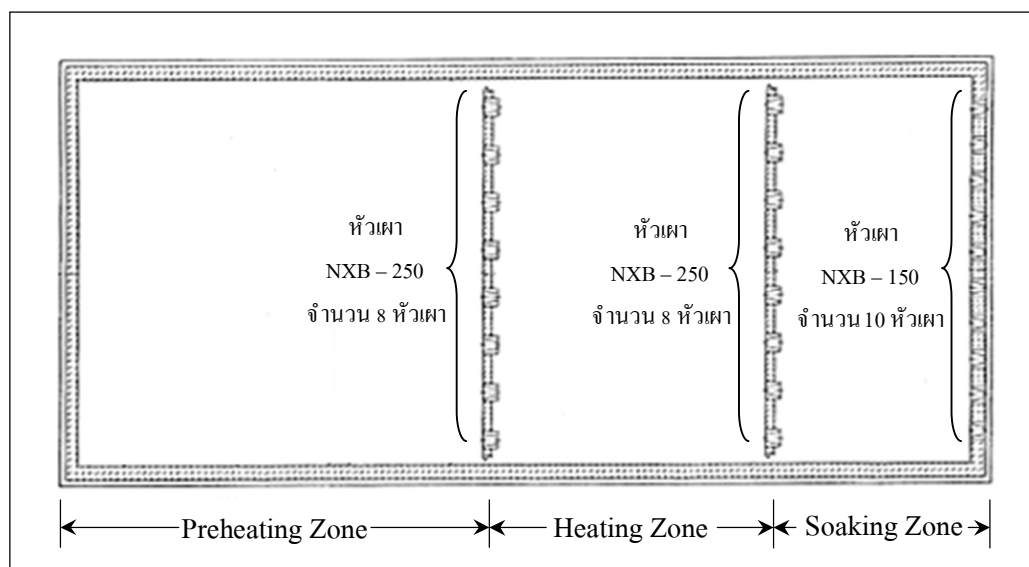
- Luo, Y., Chen, Z., and Wan, L. (2010) **Research on the Identification Algorithm and Simulation Relating to the Radiation Coefficient of Metallurgical Reheating Furnace**. Proceedings of the Control and Decision Conference (CCDC). (pp. 1146-1151). Chinese.
- Nyarko, E.K., and Scitovski, R. (2004) **Solving the parameter identification problem of mathematical models using genetic algorithms**. Journal of the Applied Mathematics and Computation. (Vol. 153(3), PP. 651-658).
- Ping, Q.X., Lain, P., Qiang, L.Z., and Ming, L.X. (2010) **Genetic algorithm based computer control system for reheating furnace combustion**. Proceedings of the International Conference on Electrical and Control Engineering. (pp. 1058-1061).
- Pedersen, L.M., and Wittenmark, B. (1998) **On the reheat furnace control problem**. Proceedings of the American Control Conference. (Vol. 6, pp. 3811-3815).
- Srisertpol, J., Phungpimai, S., and Jawayon, P. (2009) **P I D closed - loop identification and design for an infrared oven**. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Data Storage Technology Conference (DST-CON 2009). ME NETT 2009.
- Srikaew, A. (2009) **Computational Intelligence**. Electrical Engineering Suranaree University of Technology.
- van Ditzhuijzen, G., Staalman, D., and Koorn, A. (2002) **Identification and model predictive control of a slab reheating furnace**. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Control Applications. (Vol. 1, pp. 361-366).
- จิตติน แดงเที่ยง (2550) **โครงการการศึกษาวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาอบเหล็ก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, หน้า.1-33.**

ภาคผนวก ก

**อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth**

### ก.1 เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

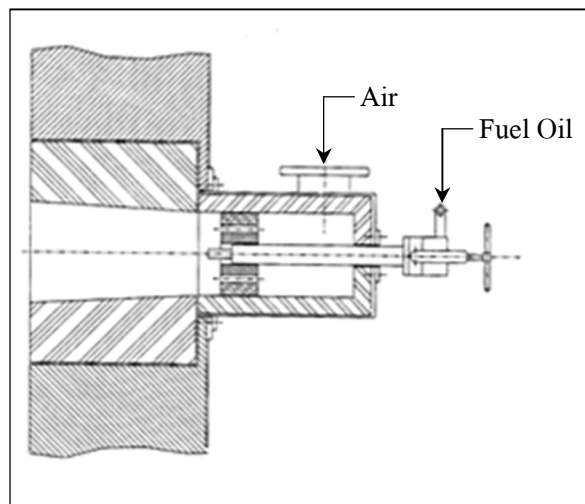
เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth เป็นเตาอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม การรีดเหล็ก เตาอบเหล็กในงานวิจัยนี้เป็นของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัดที่มีความยาว ประมาณ 30 เมตรและความกว้างประมาณ 13 เมตร โดยที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของแท่งเหล็กได้ถึง 1,200 องศาเซลเซียสและให้ความร้อนแก่แท่งเหล็กในอัตราการผลิตสูงสุดที่ 130 ตันต่อชั่วโมง แท่งเหล็กที่ใช้ในการรีดมีหน้าตัดทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15 x 15 เซนติเมตรและมีความยาว 12 เมตร 9 เมตร และ 6 เมตร โดยเตาอบเหล็กให้ความร้อนแก่แท่งเหล็กผ่านหัวเผา ซึ่งหัวเผาที่ใช้คือ Type NXB - 250 และ NXB - 150 โดยหัวทั้ง 2 ชนิดนี้ถูกใช้ในเตาอบเหล็กที่ต้องการอุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการเปิดยาวนาน ซึ่งเตาอบเหล็กมีรูปร่างที่แบ่งตามโซนการทำงานจึงมีการวาง ตำแหน่งของหัวเผาในแต่ละโซนแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ ก.1 รวมทั้งจำนวนหัวเผาและรูปร่าง ของหัวเผาแสดงดังตารางที่ ก.1 และรูปที่ ก.2 ตามลำดับ



รูปที่ ก.1 แสดงแผนภาพลักษณะการวางตำแหน่งหัวเผา

ตารางที่ ก.1 แสดงจำนวนและชนิดของหัวเผา

โซน	Burner		Fuel-Oil Kg/h	Comb.Air Nm <sup>3</sup> /h	Power Kcal/h
	จำนวน	type			
Preheating Zone	8	NXB - 250	1,382	15,617	63,640
Heating Zone	8	NXB - 250	1,203	13,594	62,486
Soaking Zone	10	NXB - 150	348	3,922	31,820
TOTAL	26		2,933	33,133	157,946



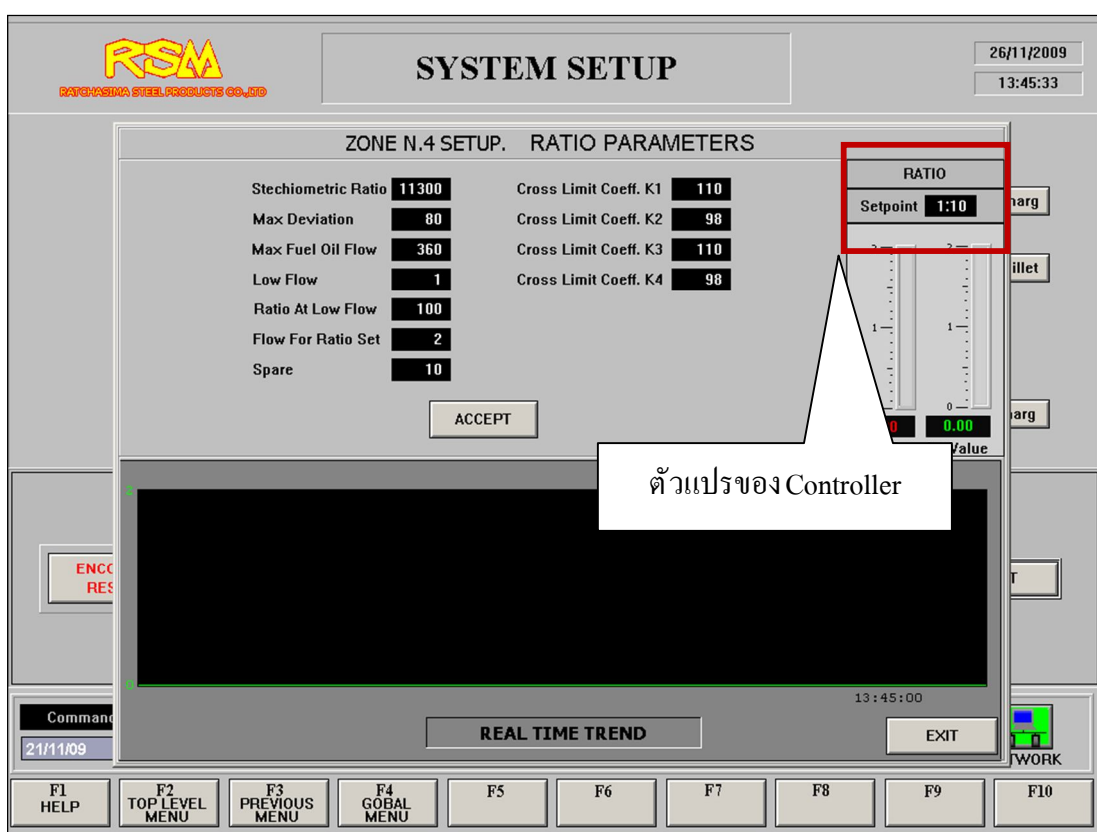
รูปที่ ก.2 แสดงแผนภาพรูปร่างหัวเผา

## ก.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Emf) เทอร์โมคัปเปิลทำจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ที่ปลายด้านหนึ่งเรียกว่า จุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้เรียกว่า จุดอ้างอิงหากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect) ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้า และทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่าอิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็นจึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วยที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าโลหะที่ต่างกันมีการนำความร้อนที่ต่างกัน ชนิดของเทอร์โมคัปเปิลที่ถูกใช้ในการวัดอุณหภูมิของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth นั้นเป็นแบบชนิด K ซึ่งปลายของจุดวัดจะถูกยึดออกมาบริเวณผนังเตาด้านข้างจำนวน โชนละ 2 ตัว

### ก.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานการจ่ายเชื้อเพลิงของเตาอบเหล็ก

เตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ในช่วงการอุ่นเตาจะมีโปรแกรมที่ใช้ปรับอัตราการผสมที่ใช้ควบคุมการจ่ายน้ำมันและอากาศด้วยตัวควบคุมอัตราส่วน (Ratio Controller) โดยสามารถปรับค่าตัวแปรของตัวควบคุมได้โดยใส่ค่าตัวแปรที่ Ratio Set Point ยังหน้าจอของโปรแกรมควบคุมซึ่งค่าตัวแปรที่ใช้ในปัจจุบันมีอัตราการผสมของน้ำมันและอากาศคือ:110 แสดงดังรูปที่ ก.3

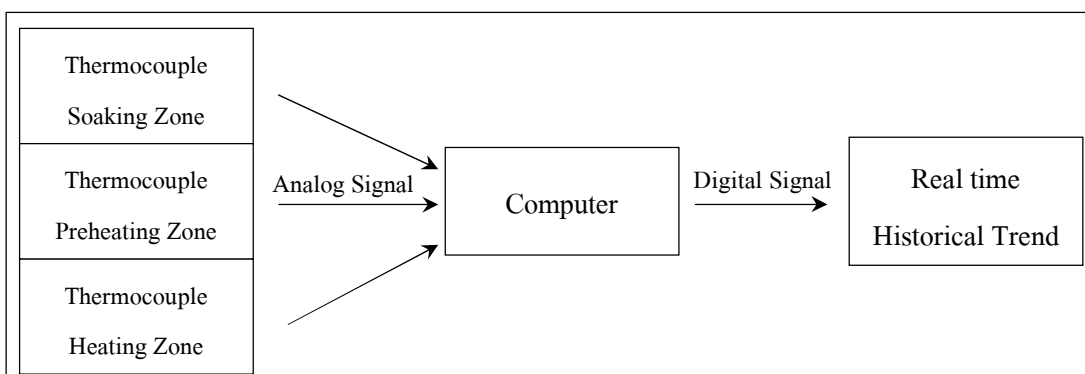


รูปที่ ก.3 แสดงแผนภาพหน้าจอโปรแกรมที่ใช้ปรับค่าตัวแปรของตัวควบคุมอัตราส่วน

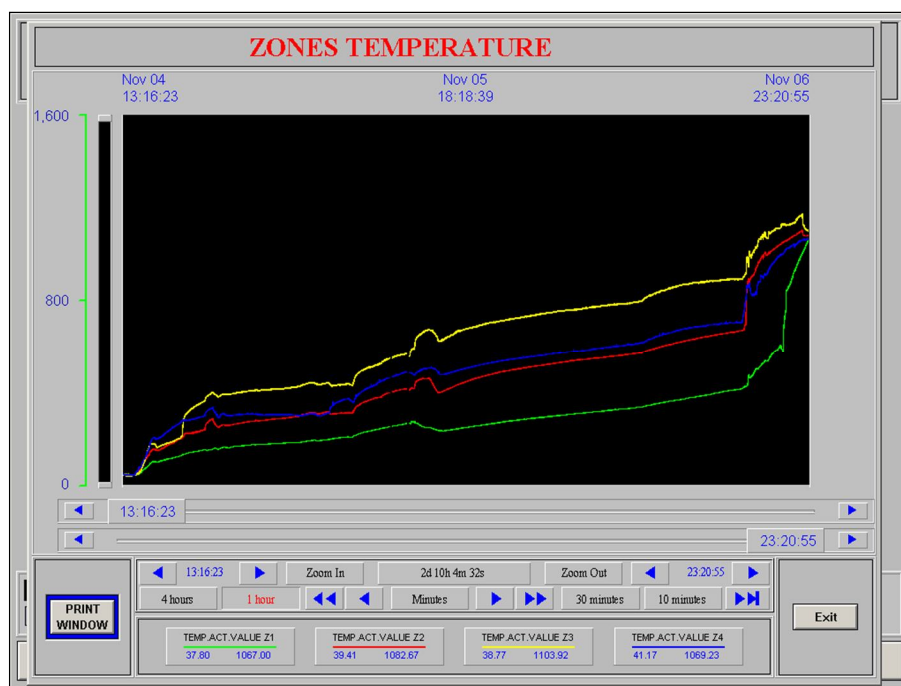


### ก.4 อุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ

ระบบปฏิบัติการของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด มีลักษณะการทำงานและอุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิเป็นลักษณะการแสดงผลการตอบสนองแบบทันที (Real Time) แสดงดังรูปที่ ก.4 ซึ่งเก็บข้อมูลในลักษณะของกราฟตามช่วงเวลา ที่เรียกว่า Historical Trend และสามารถเรียกดูย้อนหลังได้แสดงดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.4 แสดงแผนภาพการทำงานของอุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ



รูปที่ ก.5 แสดงแผนภาพข้อมูลอุณหภูมิจากเตาอบเหล็ก

ภาคผนวก ข

โปรแกรมการระบุเอกลักษณ์ในกระบวนการอุ้มเตาโดยจีนเนติกอัลกอริทึม

```

*****
%These Program is used to Open-loop Identification for Reheating Furnace Walking Hearth Type
in Heating Curve Up Process
% Program with Parinya Trakunvongngam
% Write on Matlab
% November 2010
*****Start Program*****
%(Objective function)
function f=CONST_1(x)
x=[0.0140906351609181 0.505932481436202 0.107607175523529 0.820709608040855
0.621138617456738 0.169089603557579];%(Parameters Estimated)
clear all
clc
%Initial Condition of Temperature
exit(1)=30;
t1(1)=32;
t2(1)=26;
t3(1)=24.92;
%Import Output Data(Actual Data)
load exit
load preh
load heat
load soak
%Import Input Data
load input_step2
%import Heating up curve
load heat1
%import time in process
load timerun1
%reset error
sum_error=0;

```

```

sum_error1=0;

sum_error2=0;

sum_error3=0;

%Process Step size = 1 only

for i=1:3300

*****MODEL*****

%State-Space for Preheating Zone in Time domain
t1(i+1)=t1(i)+(-((x(1)+x(2))*10^-2)*t1(i)+(x(2)*10^-
2)*t2(i))+((x(1)*10^2)*exit(i)+(x(7)*10^-2);

%State-Space for Heating Zone in Time domain
t2(i+1)=t2(i)+((x(3)*10^-2)*t1(i)-((x(3)+x(4))*10^-2)*t2(i)+(x(4)*10^-2)*t3(i)+(x(8)*10^-2);

%State-Space for Soaking Zone in Time domain
t3(i+1)=t3(i)+((x(5)*10^-2)*t2(i)-(x(5)*10^-2)*t3(i))+((x(6)*10^3)*input_step2(i)+(x(9)*10^-2)

*****Error*****

%Sum square error in for Preheating Zone
sum_error1=sum_error1+((t1(i)-preh(i))*100/preh(i))^2;

%Sum square error in Heating Zone
sum_error2=sum_error2+((t2(i)-heat(i))*100/heat(i))^2;

%Sum square error in Soaking Zone
sum_error3=sum_error3+((t3(i)-soak(i))*100/soak(i))^2;

%Sum of error
sum_error=sum_error+sum_error1+sum_error2+sum_error3;

end

f=sqrt(sum_error/3301);

return

*****END MODEL*****

```

ภาคผนวก ค

โปรแกรมการออกแบบหัวเผาในกระบวนการอุ่นเตา

โดยจินเนติกอัลกอริทึม

```

*****
% These Program is used to Burner Design for Reheating Furnace Walking Hearth Type in
  Heating curve Up Process
% Program with Parinya Trakunvongngam
% Write on Matlab
% November 2010
*****Start Program*****
%Objective Function
function f=test4_2(x)
% Number of Burner in Digital Logic Term
x=[0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0
1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0
1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1
1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1
0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1];
clc
clear all
%Initial Condition of Temperature
exit(1)=30;
t1(1)=32;
t2(1)=26;
t3(1)=24.92;
%*****Import Output Data(Actual Data) at step size 300*****
load step1
load step2
load step3
load step4
load step5
load step6
load step7
load step8

```

```

load step9

load step10

load step11

load step12

*****

%Import time in process at step size =1

load timerun1

%Import Heat up curve, Reference Data

load heat1

% Reset error

sum_error=0;

sum_error1=0;

sum_error2=0;

sum_error3=0;

sum_error4=0;

sum_error5=0;

sum_error6=0;

sum_error7=0;

sum_error8=0;

sum_error9=0;

sum_error10=0;

sum_error11=0;

*****Number of Burner in Logic Term*****

y1=x(1)+x(2)+x(3)+x(4)+x(5)+x(6)+x(7)+x(8)+x(9)+x(10);

y2=x(11)+x(12)+x(13)+x(14)+x(15)+x(16)+x(17)+x(18)+x(19)+x(20);

y3=x(21)+x(22)+x(23)+x(24)+x(25)+x(26)+x(27)+x(28)+x(29)+x(30);

y4=x(31)+x(32)+x(33)+x(34)+x(35)+x(36)+x(37)+x(38)+x(39)+x(40);

y5=x(41)+x(42)+x(43)+x(44)+x(45)+x(46)+x(47)+x(48)+x(49)+x(50);

y6=x(51)+x(52)+x(53)+x(54)+x(55)+x(56)+x(57)+x(58)+x(59)+x(60);

y7=x(61)+x(62)+x(63)+x(64)+x(65)+x(66)+x(67)+x(68)+x(69)+x(70);

y8=x(71)+x(72)+x(73)+x(74)+x(75)+x(76)+x(77)+x(78)+x(79)+x(80);

```

```

y9=x(81)+x(82)+x(83)+x(84)+x(85)+x(86)+x(87)+x(88)+x(89)+x(90);
y10=x(91)+x(92)+x(93)+x(94)+x(95)+x(96)+x(97)+x(98)+x(99)+x(100);
y11=x(101)+x(102)+x(103)+x(104)+x(105)+x(106)+x(107)+x(108)+x(109)+x(110);
*****
*****START PROCESS*****
%use mean parameter from Parameter Identification
for i=1:3300
if i>=1 && i<=300
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y1)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-2)*t1(i))
+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+0.509475677233195*10^-2);
sum_error1=sum_error1+((t3(i)-step1(i))*100/step1(i))^2;

elseif i>=301 && i<=600
j=i-300;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y2)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i))+0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+0.509475677233195*10^-2);
sum_error2=sum_error2+((t3(i)-step2(i))*100/step2(i))^2;

```



```

elseif i>=601 && i<=900
j=i-600;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y3)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i)+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+0.509475677233195*10^-2);
sum_error3=sum_error3+((t3(i)-step3(i))*100/step3(i))^2;

elseif i>=901 && i<=1200
j=i-900;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y4)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i)+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+0.509475677233195*10^-2);
sum_error4=sum_error4+((t3(i)-step4(i))*100/step4(i))^2;

elseif i>=1201 && i<=1500
j=i-1200;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y5)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);

```

```

t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i))+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+(0.509475677233195*10^-2);
sum_error5=sum_error5+((t3(i)-step5(i))*100/step5(i))^2;

elseif i>=1501 && i<=1800
j=i-1500;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y6)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i))+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+(0.509475677233195*10^-2);
sum_error6=sum_error6+((t3(i)-step6(i))*100/step6(i))^2;

elseif i>=1801 && i<=2100
j=i-1800;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y7)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i))+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+(0.509475677233195*10^-2);
sum_error7=sum_error7+((t3(i)-step7(i))*100/step7(i))^2;

```

```

elseif i>=2101 && i<=2400
j=i-2100;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-
2)*t3(i))+((0.000325758401488253*10^3)*y8)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i)+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+0.509475677233195*10^-2);
sum_error8=sum_error8+((t3(i)-step8(i))*100/step8(i))^2;

elseif i>=2401 && i<=2700
j=i-2400;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y9)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i)+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+0.509475677233195*10^-2);
sum_error9=sum_error9+((t3(i)-step9(i))*100/step9(i))^2;

elseif i>=2701 && i<=3000
j=i-2700;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y10)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);

```

```

t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i))+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+(0.509475677233195*10^-2);
sum_error10=sum_error10+((t3(i)-step10(i))*100/step10(i))^2;

else
j=i-3000;
t3(i+1)=t3(i)+((1.35582612523341*10^-2)*t2(i)-(1.35582612523341*10^-2)*t3(i))
+((0.000325758401488253*10^3)*y11)+(-0.986656886739073*10^-2);
t2(i+1)=t2(i)+((0.553234092017852*10^-2)*t1(i)-
((0.553234092017852+1.22086114633253)*10^-2)*t2(i)+(1.22086114633253*10^-
2)*t3(i))+0.393010842437730*10^-2);
t1(i+1)=t1(i)+(-(((0.398634549364845+0.287657702289112)*10^-
2)*t1(i))+(0.287657702289112*10^-2)*t2(i))+((0.398634549364845*10^-
2)*exit(i))+(0.509475677233195*10^-2);
sum_error11=sum_error11+((t3(i)-step11(i))*100/step11(i))^2;
end
end

%Sum of error
sum_error=sum_error+sum_error1+sum_error2+sum_error3+sum_error4+sum_error5+
sum_error6+sum_error7+sum_error8+sum_error9+sum_error10+sum_error11;
f=sqrt(sum_error/3301);
return
*****END PROCESS*****

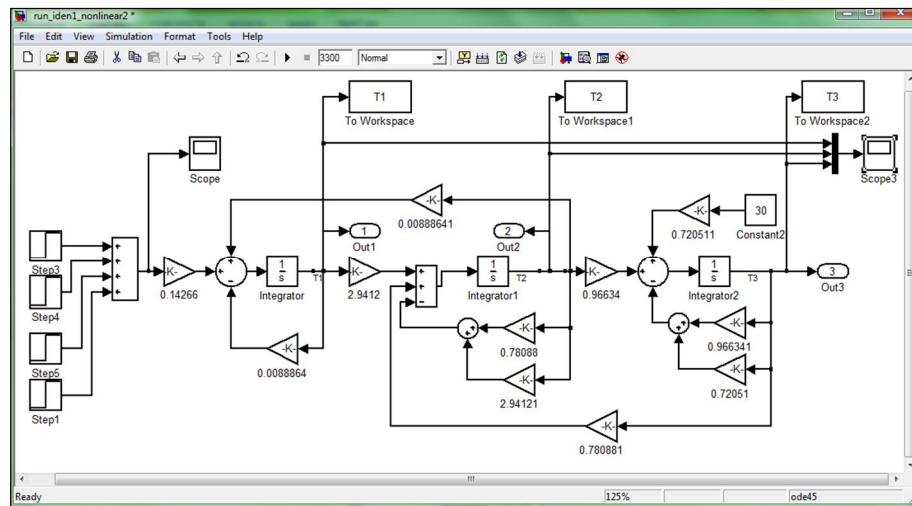
```

ภาคผนวก ง

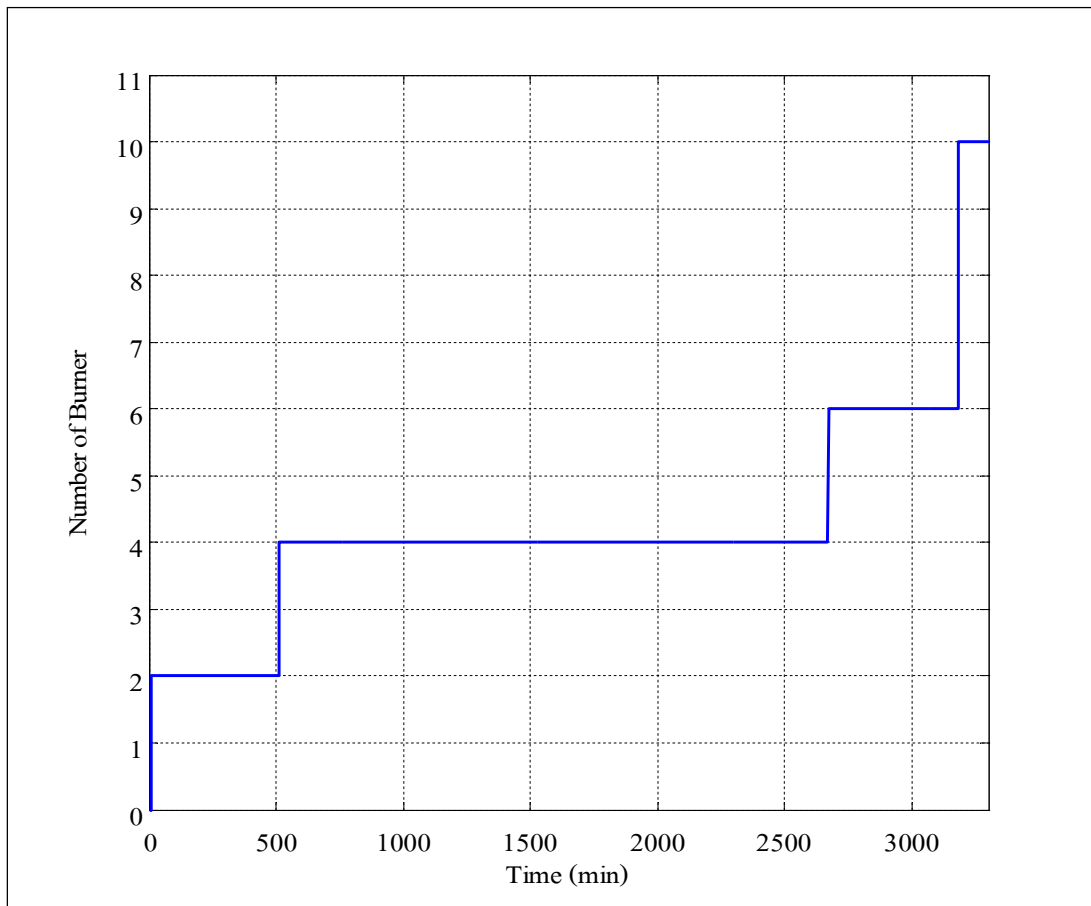
**การใช้โปรแกรม Simulink Parameter Estimation**

## ง.1 การใช้โปรแกรม Simulink Parameter Estimation

ง.1.1 นำข้อมูลจากการทดลอง (Import Data) ไว้ใน Work Space ของโปรแกรม MATLAB แต่ในการแสดงตัวอย่างการใช้งานจะสร้างแบบจำลองของระบบโดยใช้ Simulink โดยกำหนดตัวแปรและค่าของตัวแปรของระบบลงไป โดยข้อมูลที่ได้อาจการรันโปรแกรมเปรียบเทียบว่าเป็นข้อมูลจากการทดลองโปรแกรมนี้ เป็นการจำลองระบบเตาอบที่มีการควบคุมแบบวงเปิด แสดงดังรูปที่ ง.1 ซึ่งเป็นระบบที่มี Order = 1 กำหนดให้แบบจำลองตัวแปรสเตตเป็นแบบจำลองของเตาอบ โดยมีอินพุตเป็นจำนวนหัวเผาที่มีลักษณะเป็นอินพุตแบบขั้นบันไดแสดงดังรูปที่ ง.2 และกำหนดค่า  $a = 0.0088864$   $b = 2.9412$   $c = 0.78088$   $d = 0.96634$   $e = 0.72051$   $f = 0.14266$  และกำหนด Sampling = 1 วินาที เมื่อรันโปรแกรมข้อมูลการตอบสนองถูกแสดงผลที่ Scope และจะได้ข้อมูลใน Work Space แสดงดังรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.1 แสดงแผนภาพการจำลองระบบของเตาอบเหล็กใน Simulink



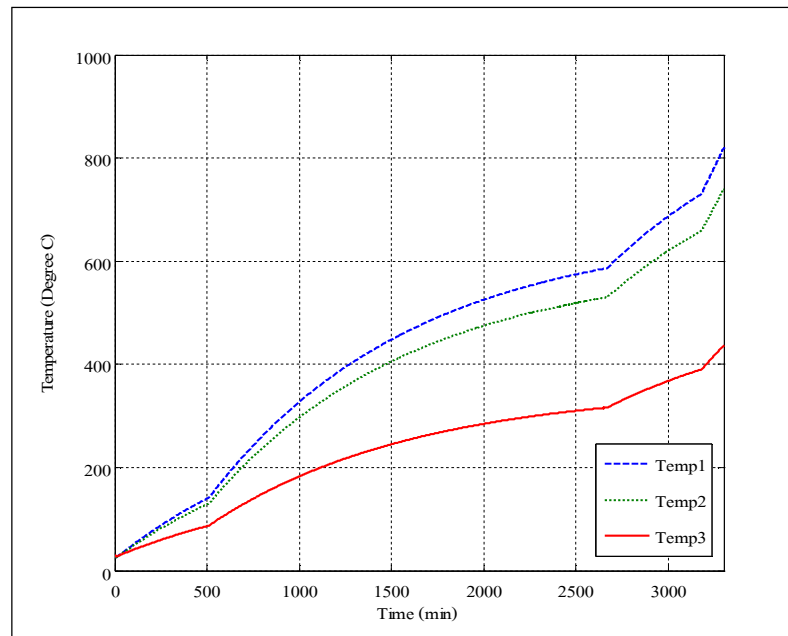
รูปที่ ง.2 แสดงแผนภาพข้อมูลอินพุตแบบขั้น นับันได

Name	Value	Min	Max
Temp1	<3301x1 double>	24.9200	819.97...
Temp2	<3301x1 double>	25.4535	739.56...
Temp3	<3301x1 double>	27.4052	435.98...
Tout	<3301x1 double>	0	3300

รูปที่ ง.3 แสดงแผนภาพข้อมูลการตอบสนองใน Work Space

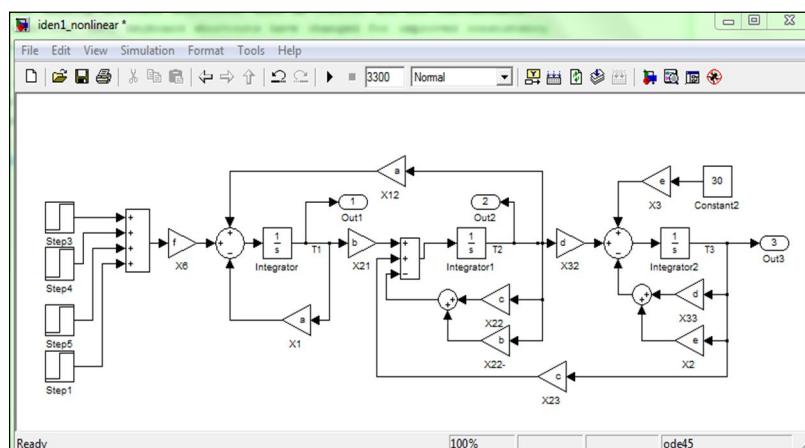
ง.1.2 สั่ง Plot ทาง Command Window จะได้กราฟผลการตอบสนอง แสดงดังรูปที่ ง.4

```
>> plot(Tout,Temp1,Tout,Temp2,Tout,Temp3)
```



รูปที่ ง.4 แสดงแผนภาพข้อมูลการตอบสนองของแบบจำลอง

ง.1.4 สร้างแบบจำลองของระบบโดยกำหนดตัวแปรและค่าเริ่มต้นของตัวแปรที่ต้องการให้โปรแกรมประมาณค่าตัวแปรแสดงดังรูปที่ ง.5



รูปที่ ง.5 แสดงแผนภาพแบบจำลองระบบเตาอบใน Simulink



ซึ่งตัวแปรที่ต้องการคือ a b c d e f แต่ต้องกำหนดค่าเริ่มต้นในการประมาณ (เลือกค่าแบบสุ่ม) โดยกำหนดให้ a=0.01 b=3 c=1 d=1 e=1 f=0.2 และ กำหนด Sampling=1 วินาที มีค่าเท่ากับขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าที่ Command Window คือ

```
>>a=0.01;
```

```
>>b=3;
```

```
>>c=1;
```

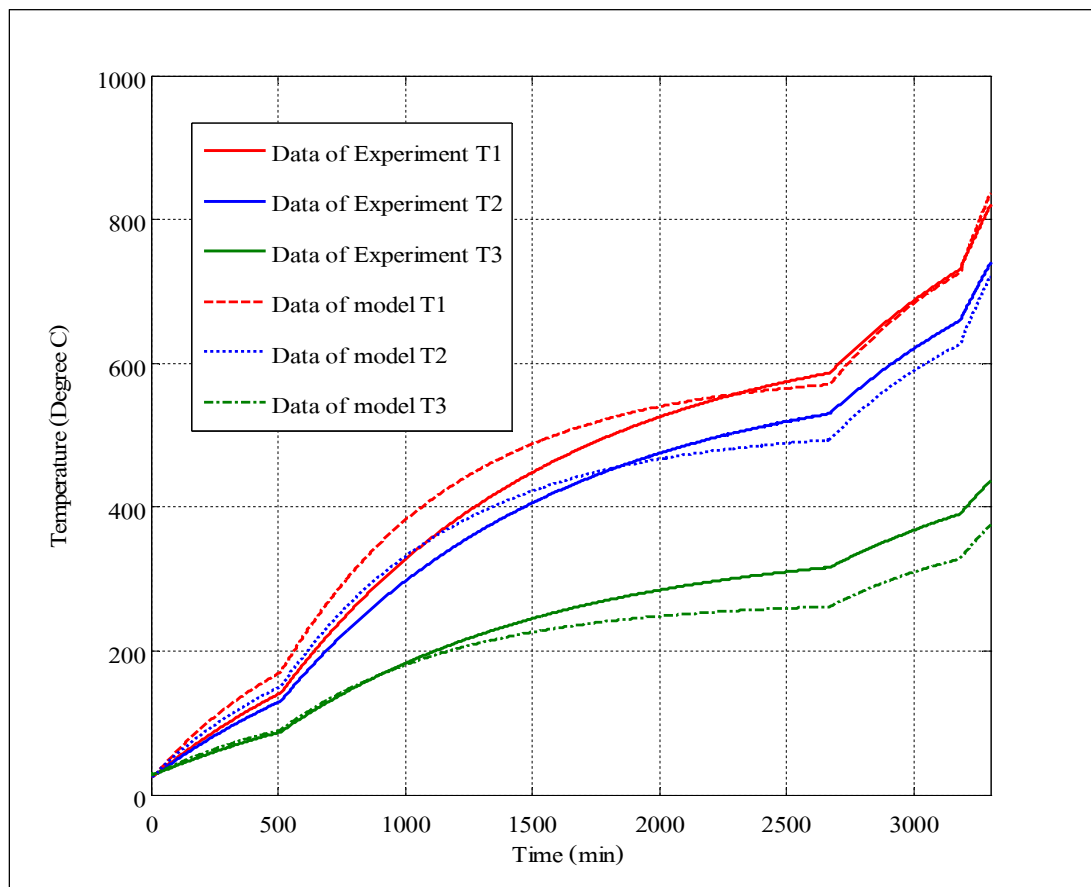
```
>>d=1;
```

```
>>e=1;
```

```
>>f=0.2;
```

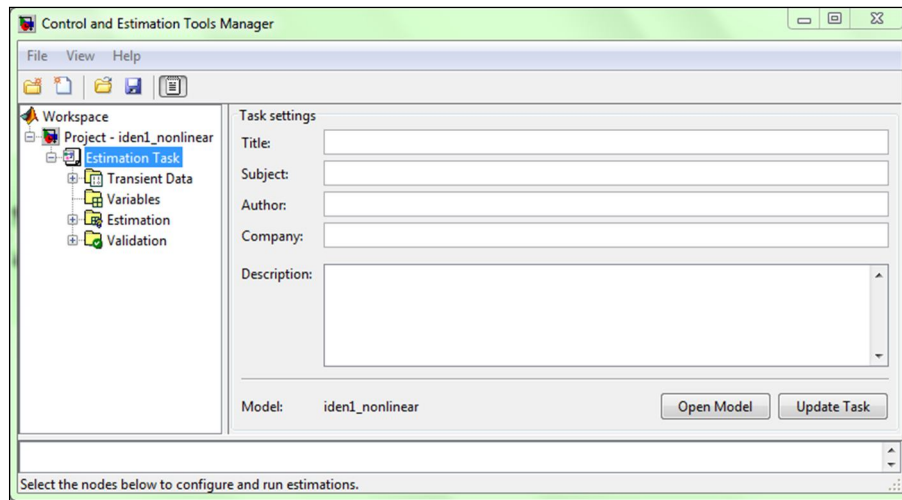
Click Run ข้อมูลถูกแสดงผลที่ Scope และข้อมูลถูกนำไปที่ Work Space ชื่อ TT1 TT2 TT3 ตามลำดับสั่ง Plot ทาง Command Window จะได้กราฟการตอบสนองแสดงดังรูปที่ ง.6

```
>> plot(Tout,Temp1,Tout,Temp2,Tout,Temp3,Tout,TT1,Tout,TT2,Tout,TT3)
```



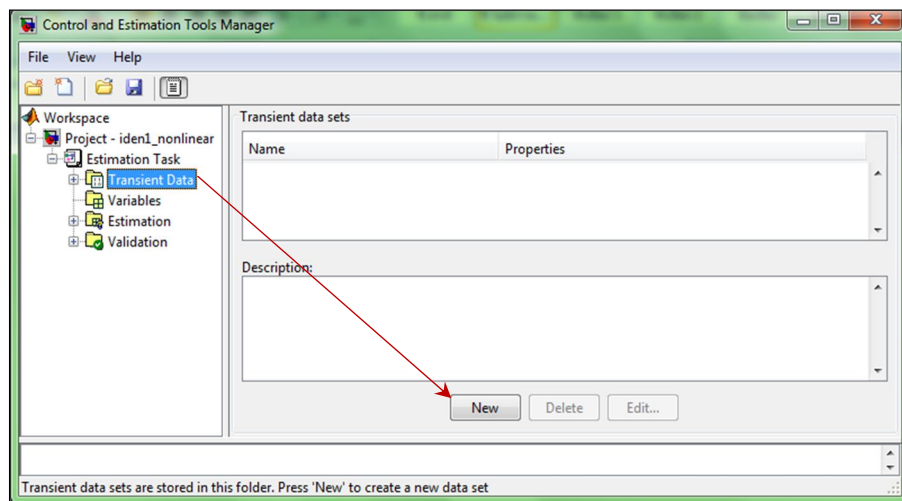
รูปที่ ง.6 แสดงแผนภาพเปรียบเทียบการตอบสนองของการจำลอง

ง.1.4 เปิดหน้าต่าง Parameter Estimation จาก Iden1\_nonlinear โดยเลือก tools => Parameter Estimation จะปรากฏหน้าต่างนี้ ขึ้นมา แสดงดังรูปที่ ง.7



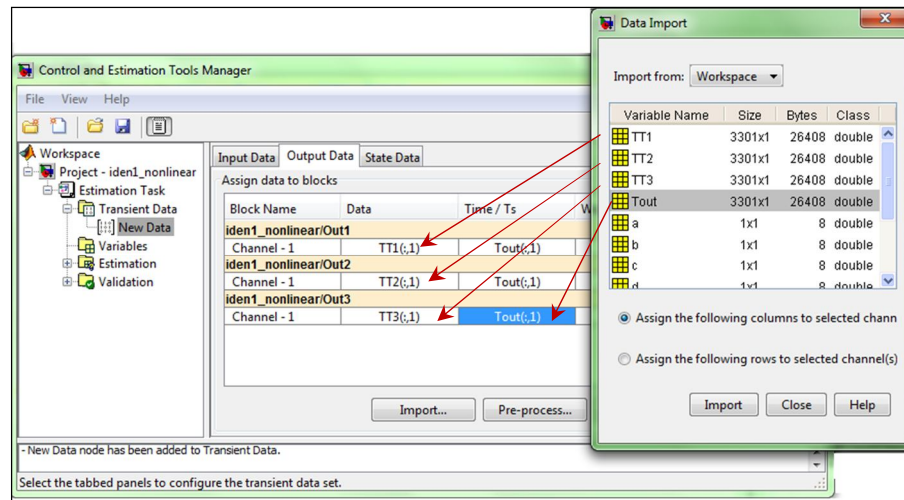
รูปที่ ง.7 แสดงแผนภาพหน้าต่างของ Control and Estimation Tools Manager

ง.1.5 Click เลือก Transient Data => New แสดงดังรูปที่ ง.8



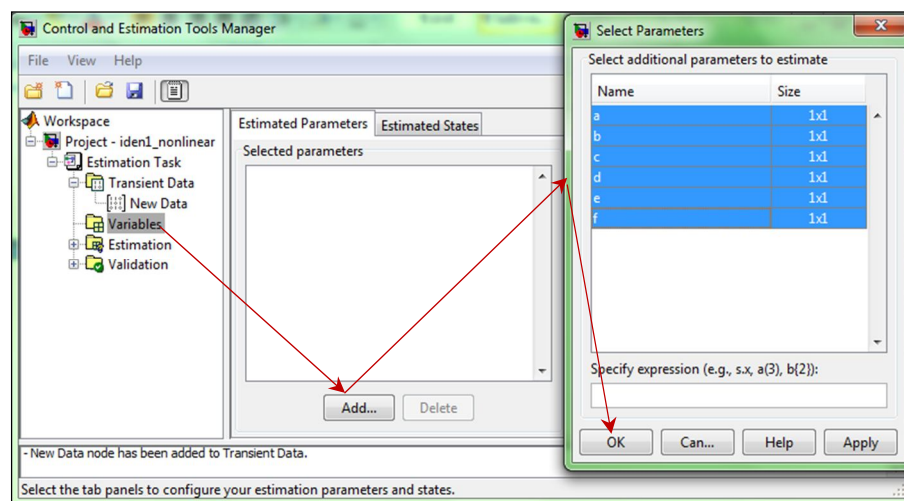
รูปที่ ง.8 แสดงแผนภาพหน้าต่างของการเลือก New Data

๓.1.6 Click New Data => Output Data => Import เพื่อเลือกข้อมูลเอาต์พุต TT1 TT2 TT3 และ Tout แสดงดังรูปที่ ๓.9



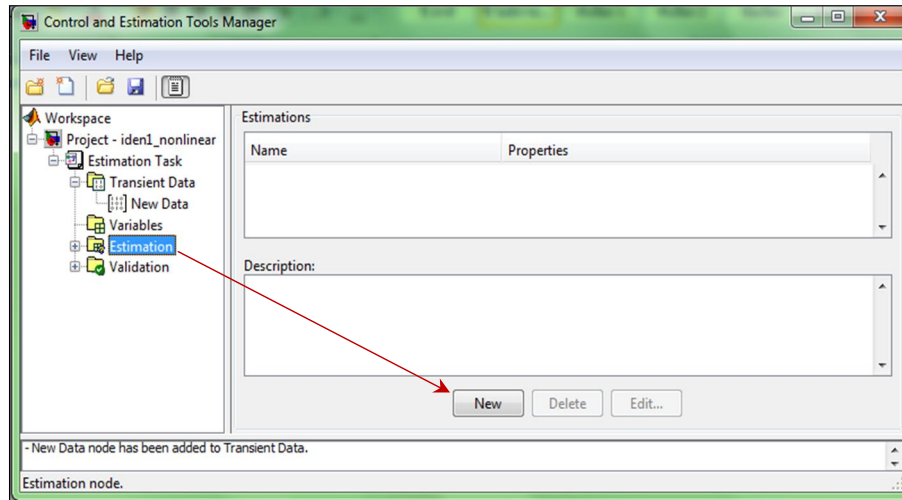
รูปที่ ๓.9 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเลือกข้อมูลเอาต์พุต

๓.1.7 Click Variables => Add => เลือกตัวแปรที่ต้องการประมาณค่า => OK แสดงดังรูปที่ ๓.10



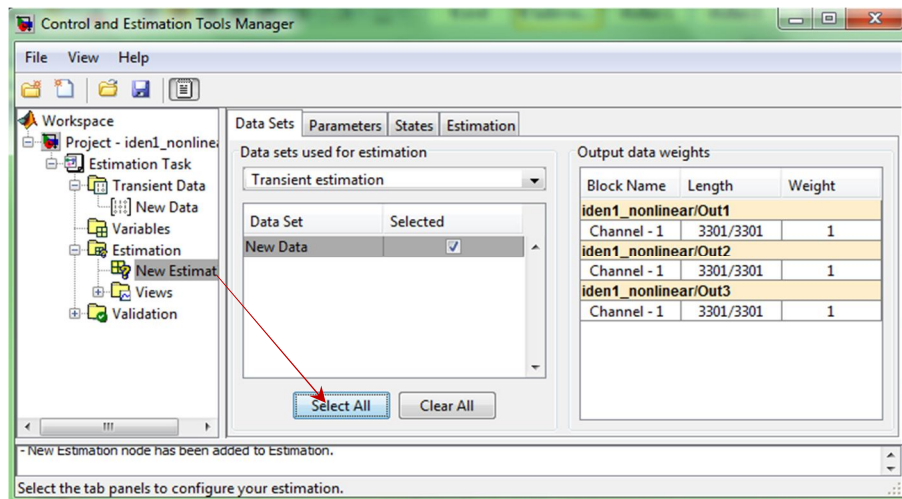
รูปที่ ๓.10 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเลือกตัวแปรที่ต้องการประมาณ

ง.1.8 Click Estimation => New จะปรากฏหน้าต่าง New Estimation แสดงดังรูปที่ ง.11



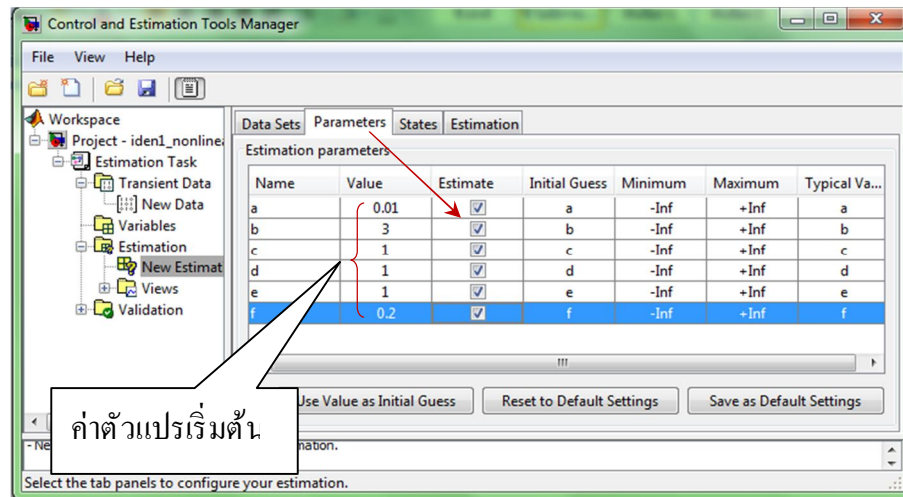
รูปที่ ง.11 แสดงแผนภาพหน้าต่าง New Estimation

ง.1.9 Click New Estimation => Select all แสดงดังรูปที่ ง.12

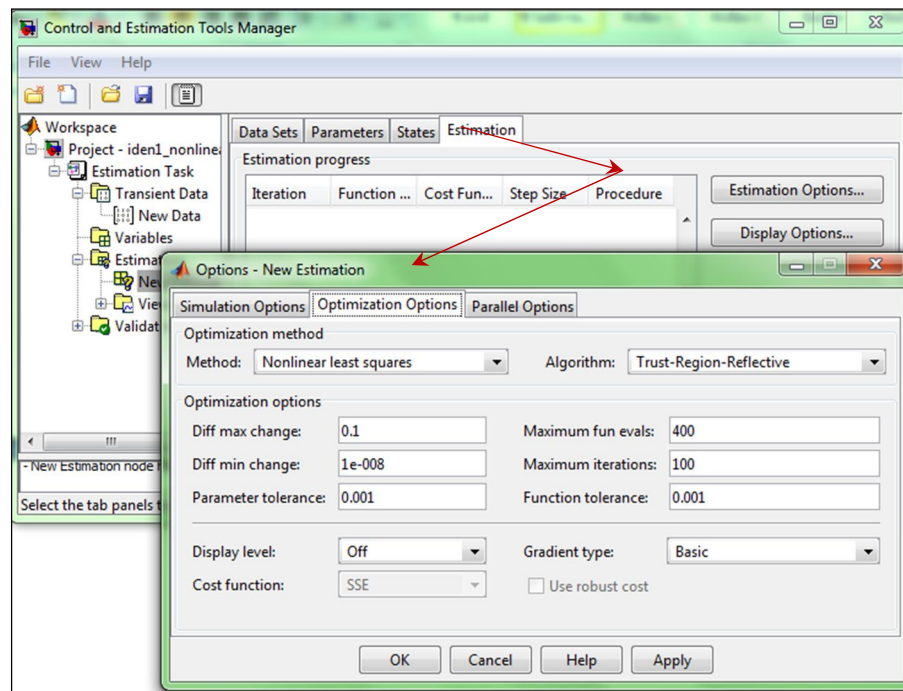


รูปที่ ง.12 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเลือกข้อมูลในการประมาณค่า

ง.1.10 Click Parameters => Click เลือก Estimate ทุกตัวแปร แสดงดังรูปที่ ง.13 และ Click Estimation => Estimation Option เพื่อกำหนดอัลกอริทึมในการประมาณค่าตัวแปร แสดงดังรูปที่ ง.14

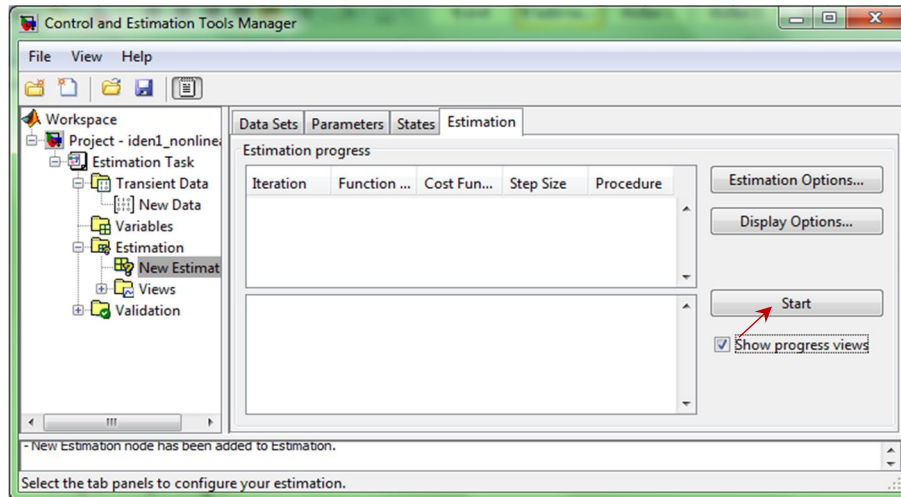


รูปที่ ง.13 แสดงแผนภาพหน้าต่างการกำหนดตัวแปรที่ต้องการประมาณ

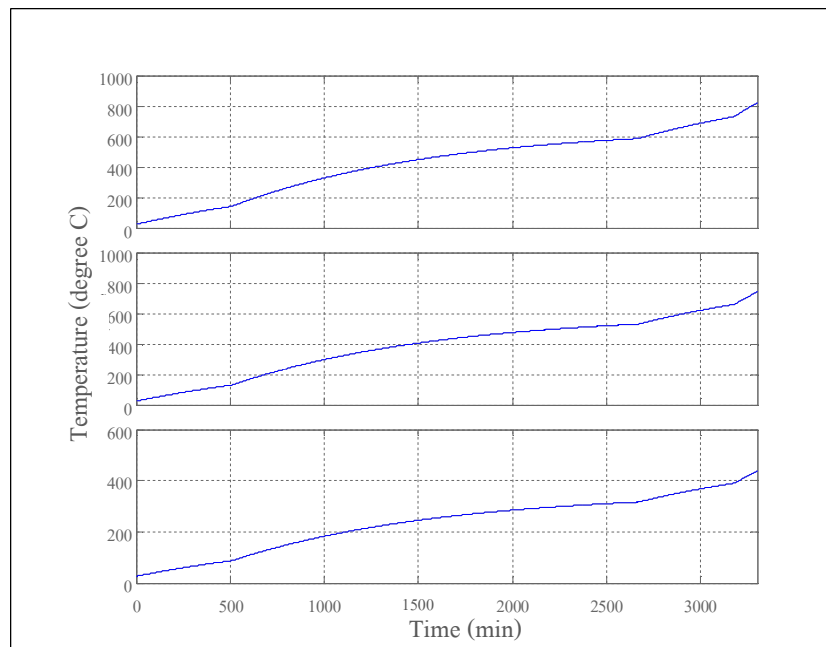


รูปที่ ง.14 แสดงแผนภาพหน้าต่างการกำหนดอัลกอริทึมในการประมาณค่าตัวแปร

ง.1.11 Click Estimation => Show Progress Views => Start แสดงดังรูปที่ ง.15 และกราฟผลการตอบสนองจากการประมาณค่าตัวแปรเทียบกับข้อมูลเอาต์พุต Texp1 Texp2 Texp3 แสดงดังรูปที่ ง.16

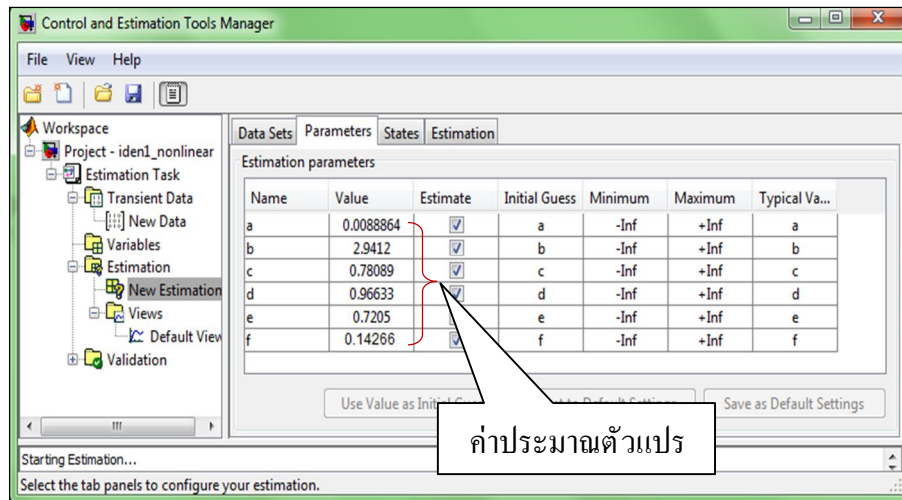


รูปที่ ง.15 แสดงแผนภาพหน้าต่างการเริ่มการประมาณค่าตัวแปร



รูปที่ ง.16 แสดงแผนภาพผลการตอบสนองจากการประมาณค่าตัวแปรเทียบกับข้อมูลเอาต์พุต

ง.1.12 Click Parameters เพื่อดูค่าตัวแปรที่โปรแกรมประมาณได้ แสดงดังรูปที่ ง.17 และแสดงเปรียบเทียบกับค่าตัวแปรจริง แสดงดังตารางที่ ง.1



รูปที่ ง.17 แสดงแผนภาพค่าตัวแปรที่โปรแกรมประมาณได้

ตารางที่ ง.1 แสดงค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณเปรียบเทียบกับค่าจริง

ตัวแปร	ค่าตัวแปรจริง	ค่าประมาณตัวแปร
a	0.0088864	0.0088864
b	2.94120	2.94120
c	0.78088	0.78089
d	0.96634	0.96633
e	0.72051	0.72050
f	0.14266	0.14266

## ง.2 สรุป

ค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของระบบซึ่งจะใช้เพียงข้อมูลของการทดลองก็สามารถประมาณค่าตัวแปรได้ จากตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม Parameter Estimation ในการประมาณค่าตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการอุ่นเตาแบบวงเปิด ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอุ่นเตาในเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ต่อไป

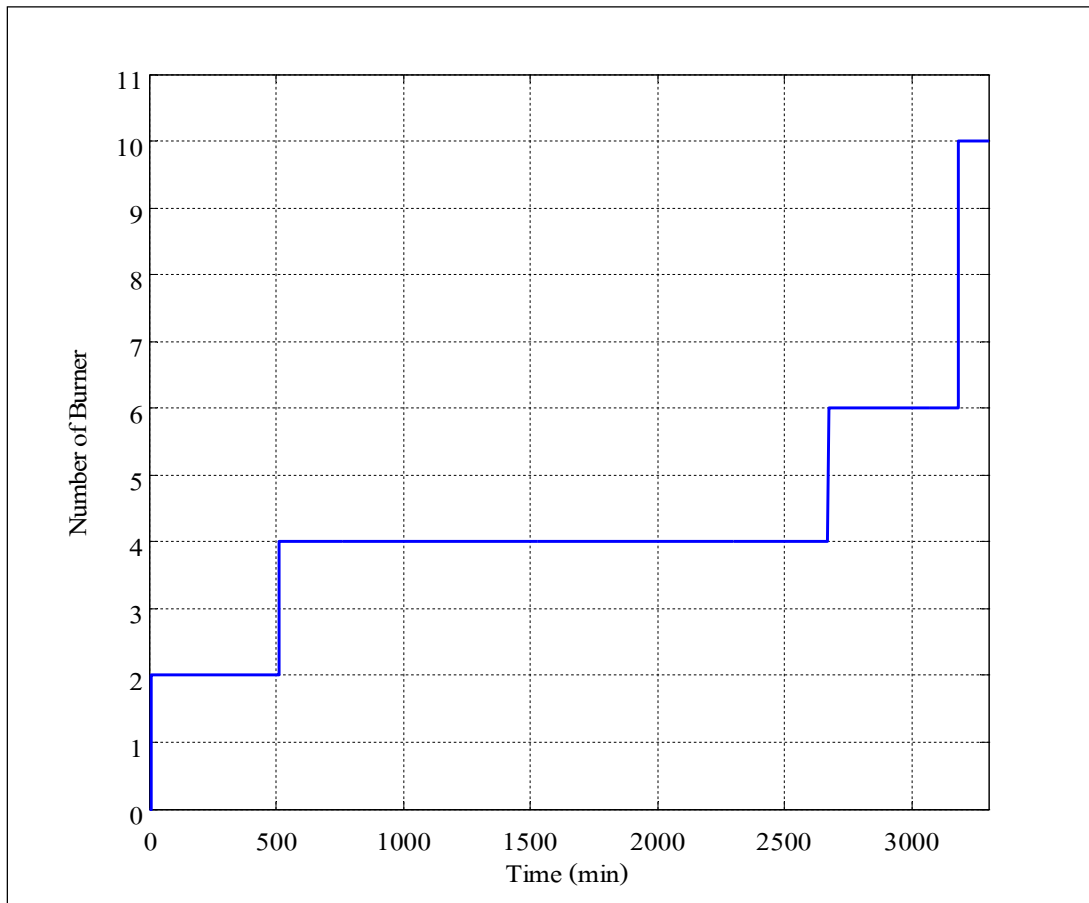


ภาคผนวก จ

การใช้โปรแกรมจินเนติกอัลกอริทึมของ MATLAB ในการระบุเอกลักษณ์

## จ.1 การใช้โปรแกรมจินเนติกอัลกอริทึมของ MATLAB

จ.1.1 นำข้อมูลจากการทดลอง (Import Data) ไว้ใน Work Space ของโปรแกรม MATLAB แต่ในการแสดงตัวอย่างการใช้งานจะสร้างแบบจำลองของระบบโดยใช้ M-file ในภาคผนวก ข ทำการกำหนดตัวแปรและค่าของตัวแปรของระบบลงไป โดยข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเทียบว่าเป็นข้อมูลจากการทดลอง โปรแกรมนี้เป็นการจำลองระบบเตาอบเหล็กแบบวงเปิด โดยมีอินพุตเป็นหัวเผาที่มีลักษณะเป็นอินพุตแบบขั้นบันได แสดงดังรูปที่ จ.1 และกำหนดค่า  $x_1 = 0.0140906$   $x_2 = 0.5059324$   $x_3 = 0.1076071$   $x_4 = 0.8207096$   $x_5 = 0.6211386$   $x_6 = 0.1960896$  และ Sampling = 1 วินาที เมื่อรันโปรแกรมข้อมูลการตอบสนองถูกแสดงใน Work Space แสดงดังรูปที่ จ.2



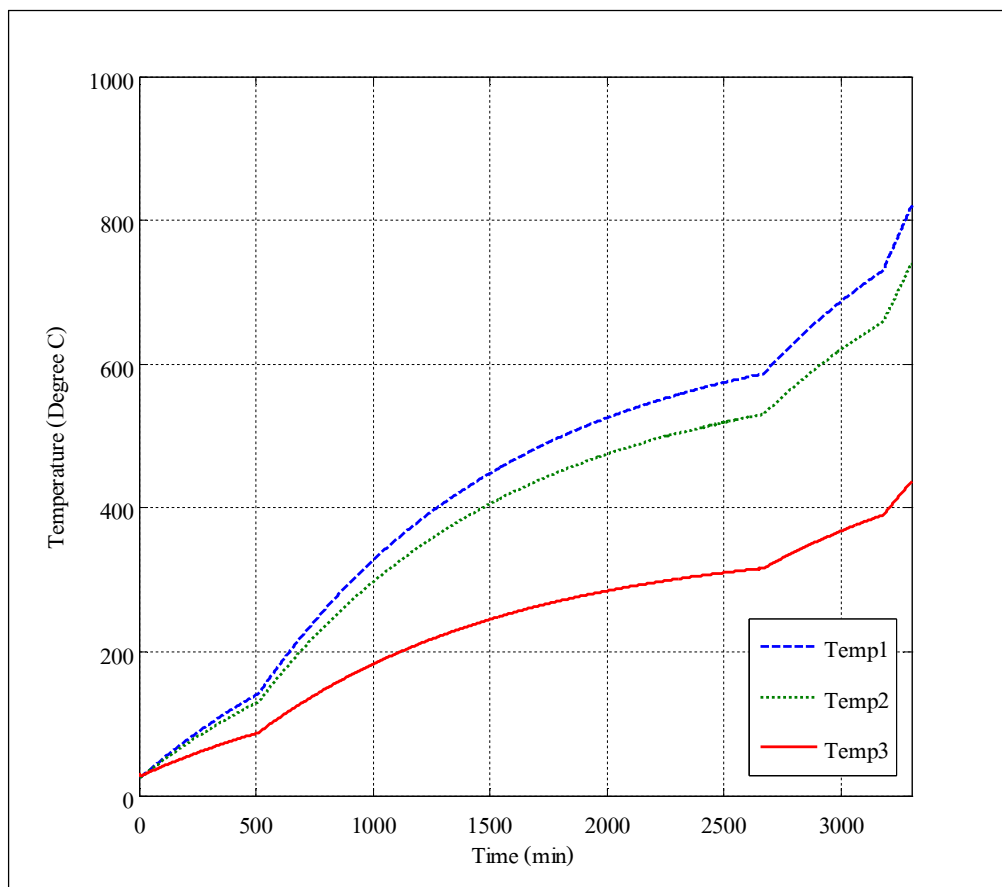
รูปที่ จ.1 แสดงแผนภาพข้อมูลอินพุตแบบขั้นบันได

Name	Value	Min	Max
t1	<3301x1 double>	24.9200	805.87...
t2	<3301x1 double>	25.3925	739.44...
t3	<3301x1 double>	25.8335	433.54...
timerun1	<3301x1 double>	0	3300

รูปที่ จ.2 แสดงแผนภาพข้อมูลการตอบสนองใน Work Space

จ.1.2 สั่ง Plot ทาง Command Window จะได้กราฟผลการตอบสนอง แสดงดังรูปที่ จ.2

```
>> plot(timerun1,t1,timerun1,t2,timerun1,t3)
```

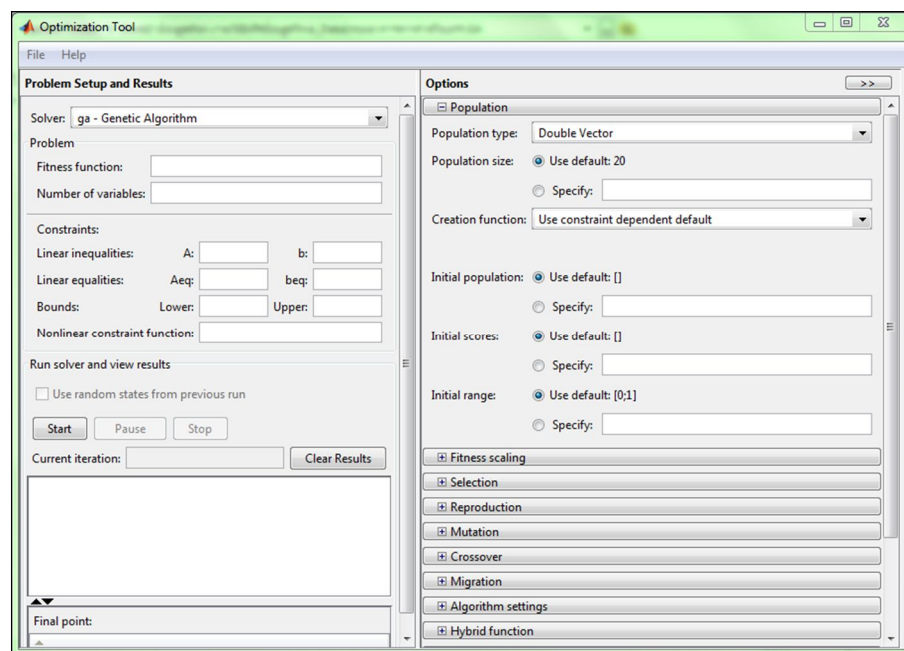


รูปที่ จ.3 แสดงแผนภาพผลการตอบสนองของแบบจำลอง

จ.1.3 สร้างสมการวัตถุประสงค์ ใน M-file ของโปรแกรม MATLAB ในที่นี้คือฟังก์ชัน CONST\_1 แสดงในภาคผนวก ข ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้มีค่าตัวแปรที่ต้องการหาค่าทั้งหมด 6 ตัวแปรคือ  $x_1$   $x_2$   $x_3$   $x_4$   $x_5$   $x_6$

จ.1.4 การเรียกใช้ Genetic Algorithm tool หรือ GAT เป็น GUI (Graphic User Interface) ที่ช่วยทำให้สามารถใช้ GA ได้โดยไม่ต้องใช้คำสั่งจากตัวพร้อมรับคำสั่ง(CommandLine) ในการเปิดใช้งาน GAT ทำได้ โดยการเรียกคำสั่งในหน้าต่าง Command Window จะปรากฏหน้าต่าง GA แสดงดังรูปที่ จ.4

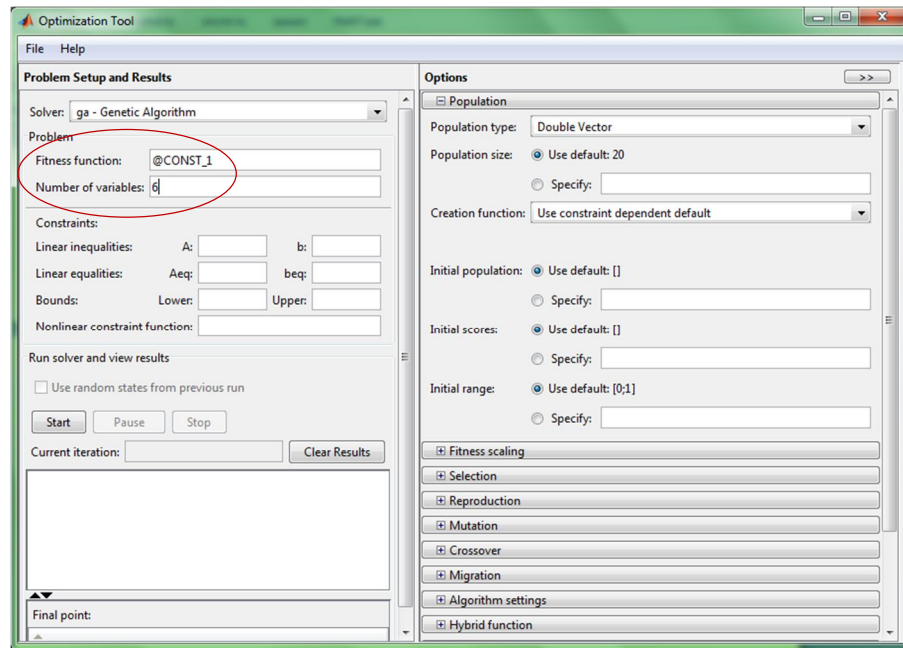
>>gatool



รูปที่ จ.4 แสดงแผนภาพหน้าต่างของ GAT

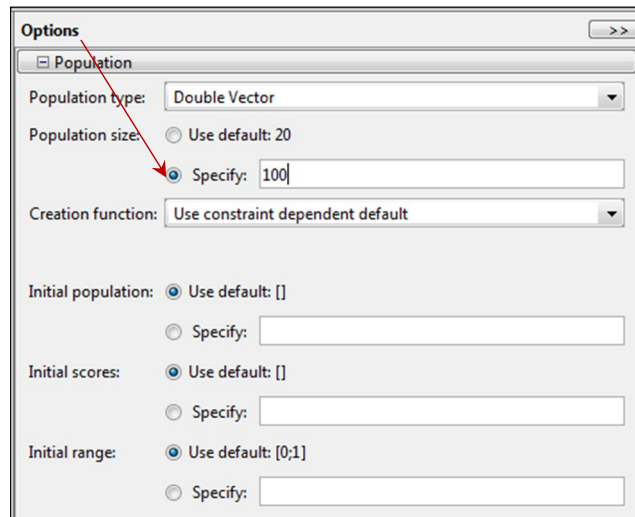
### จ.1.5 การใส่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Fitness Function)

พิมพ์คำสั่ง @ CONST\_1 ในช่อง Fitness Function และจำนวนตัวแปรในช่อง Number of variables แสดงดังรูปที่ จ.5



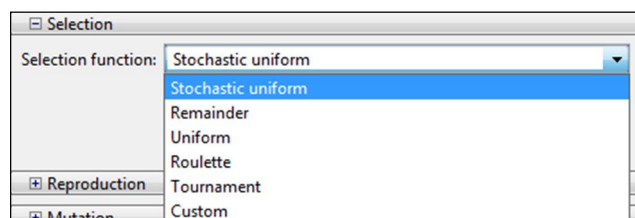
รูปที่ จ.5 แสดงแผนภาพการใส่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และจำนวนตัวแปร

จ.1.6 การใส่จำนวนประชากร (Population Size) โดยไปที่ Option => Population โปรแกรมจะกำหนดค่าพื้นฐานจำนวนประชากรของการค้นหาให้เท่ากับ 20 ถ้าต้องการปรับทำได้ โดยเลือก Population Size => Specify แล้วระบุจำนวนแสดงดังรูปที่ จ.6



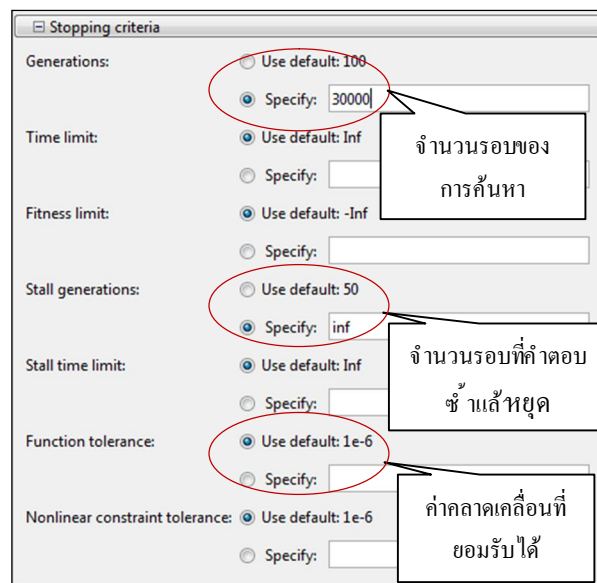
รูปที่ จ.6 แสดงแผนภาพการใส่ค่าประชากรของการค้นหา

จ.1.7 การกำหนดวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) โดยไปที่ Option => Selection มีวิธีการเลือกประชากรลูกหลานมีหลายวิธีเช่น วิธีการจัดอันดับ (Rank) วิธีเป็นรูปแบบ (Uniform) วิธีจัดการแข่งขัน (Tournament) วิธีของวงล้อรูเล็ต (Roulette) และ วิธีการสุ่มเฟ้นครอบจักรวาล (Stochastic universal) แสดงดังรูปที่ จ.7



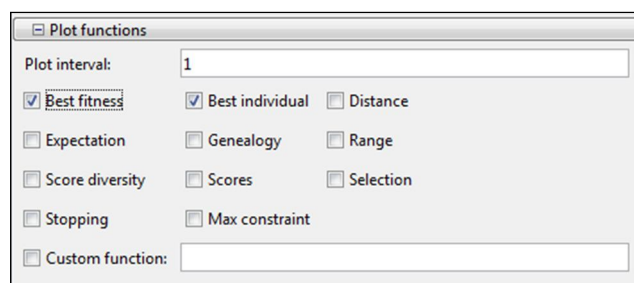
รูปที่ จ.7 แสดงแผนภาพการเลือก Selection

จ.1.8 การกำหนดจำนวนรอบของการค้นหาและกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทำได้โดยไปที่ Option => Stopping criteria => Generations เพื่อกำหนดจำนวนรอบ กำหนดช่วงเวลาในการค้นหาโดย Option => Stopping criteria => Time limit กำหนดจำนวนรอบที่มีค่าตอบเท่าเดิมแล้วหยุดทำงานโดย Option => Stopping criteria => Stall Generations กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบโดย Option => Stopping criteria => Function tolerance แสดงดังรูปที่ จ.8



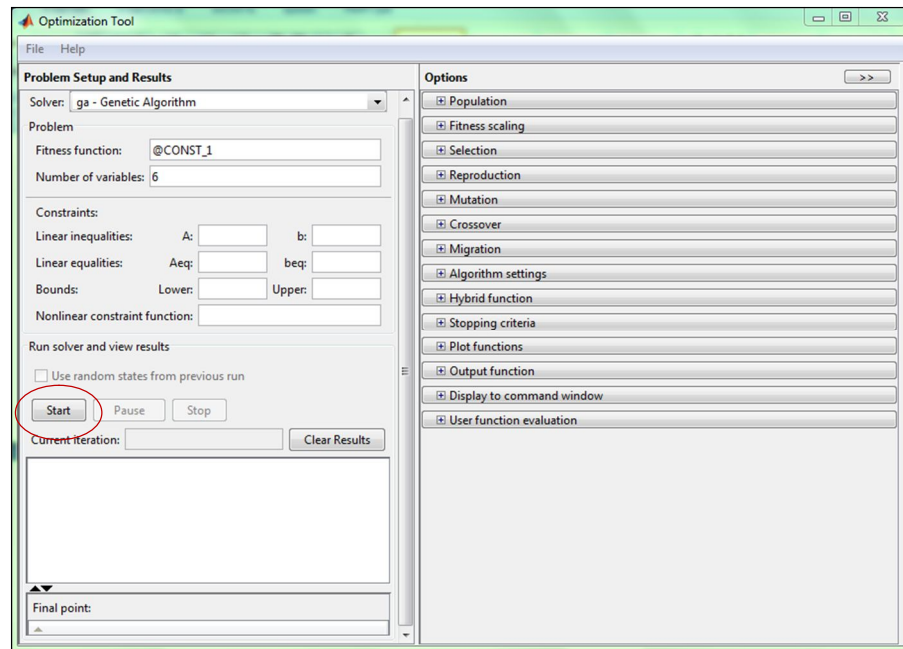
รูปที่ จ.8 แสดงแผนภาพการเลือกจำนวนรอบและค่าคลาดเคลื่อนของการค้นหา

จ.1.9 การแสดงกราฟของค่าตัวแปรและค่าของฟังก์ชัน โดยเลือก Option => Plot Function => Best fitness และ Best individual แสดงดังรูปที่ จ.9



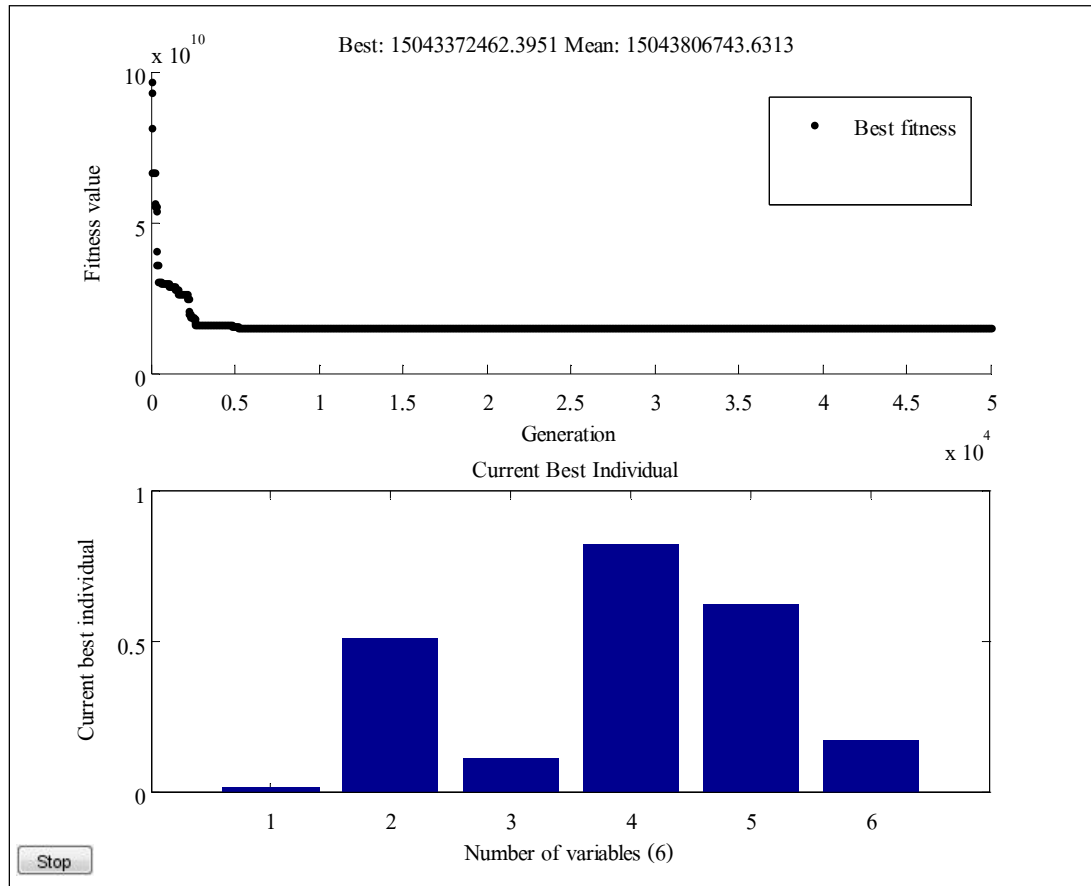
รูปที่ จ.9 แสดงแผนภาพการเลือกแสดงกราฟของการค้นหา

จ.1.10 Click Start เพื่อทำการเริ่มโปรแกรมการค้นหา แสดงดังรูปที่ จ.10 โดยจะแสดงกราฟการประมาณค่าของตัวแปร แสดงดังรูปที่ จ.11

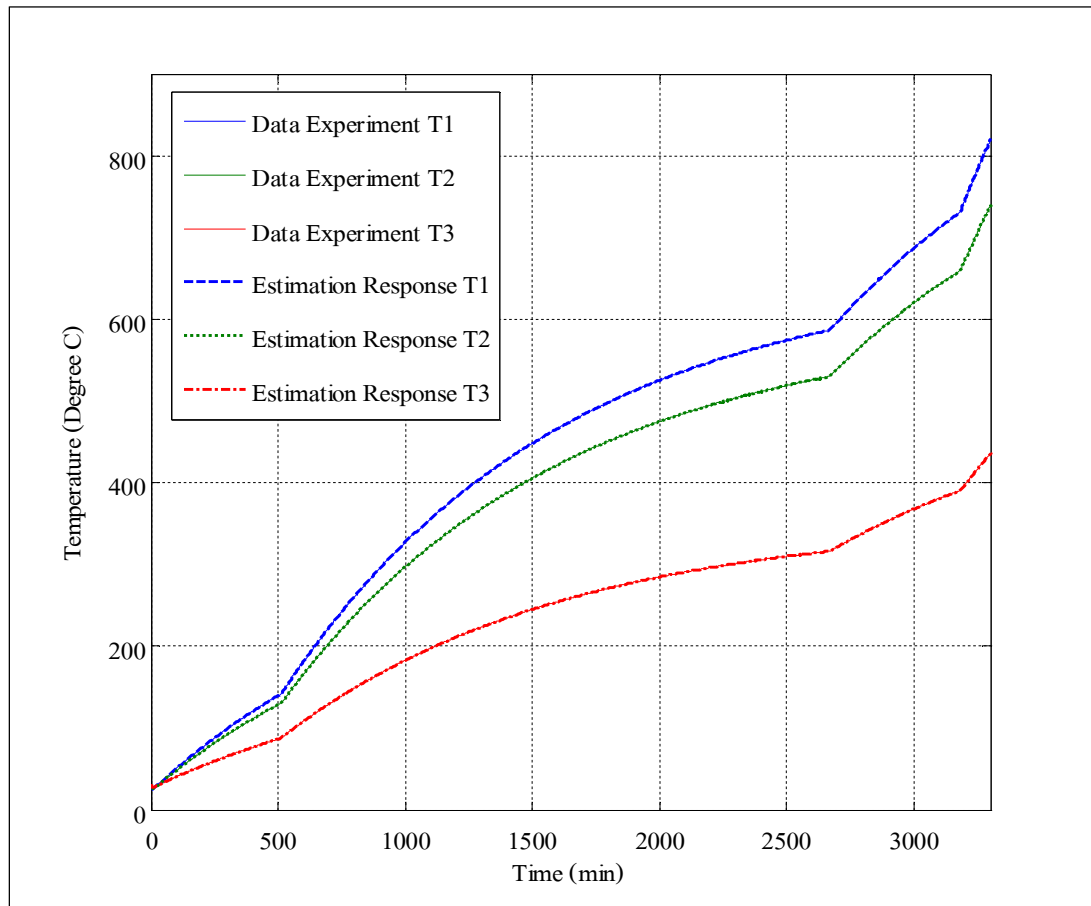


รูปที่ จ.10 แสดงแผนภาพการเริ่มโปรแกรมการค้นหา



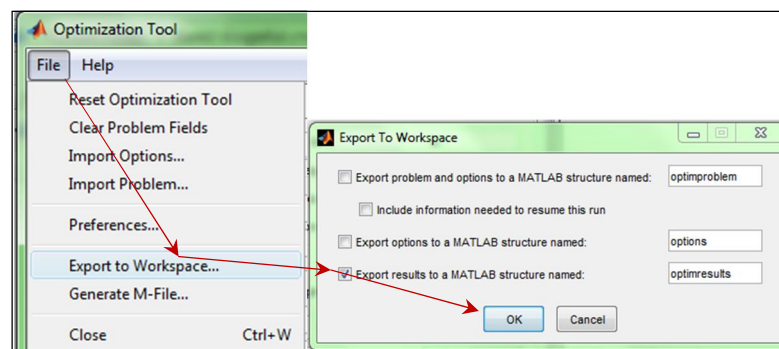


รูปที่ จ.11 แสดงแผนภาพค่าตัวแปรโดยประมาณ

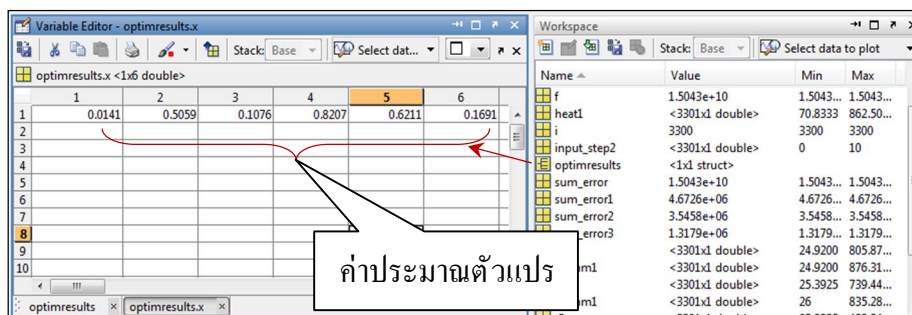


รูปที่ จ.12 แสดงแผนภาพการตอบสนองจากการประมาณค่าตัวแปรเทียบกับข้อมูลเอาต์พุต

จ.1.11 การแสดงค่าประมาณตัวแปร โดยไปที่ File => Export to Workspace จะปรากฏหน้าต่างแสดงดังรูปที่ จ.13 และ จ.14



รูปที่ จ.13 แสดงแผนภาพการแสดงค่าประมาณตัวแปร



รูปที่ จ.14 แสดงแผนภาพค่าประมาณตัวแปร

ตารางที่ จ.1 แสดงค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณ

ตัวแปร	ค่าตัวแปรจริง	ค่าประมาณตัวแปร
a	0.0140906	0.0140906351
b	0.5059324	0.5059324812
c	0.1076071	0.1076071755
d	0.8207096	0.8207096080
e	0.6211386	0.6211386174
f	0.1690896	0.1690896035

## จ.2 สรุป

ค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าตัวแปรจริงของระบบซึ่งจะใช้เพียงข้อมูลของการทดลองก็สามารถประมาณค่าตัวแปรได้ จากตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของเงินเนติกอัลกอริทึมในการประมาณค่าตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการอุ่นเตาแบบวงเปิด ซึ่งจะนำเอาไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอุ่นเตาในเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth และใช้ออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาได้อย่างเหมาะสมต่อไป

ภาคผนวก ฉ

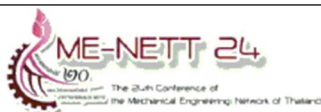
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

## รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Srisertpol, J., Tantrairatn, S., Trakunvongngam, P., and Khomphis, V. (2011) **Estimation of the Mathematical Model of the Reheating Furnace Walking Hearth Type in Heating Curve Up Process.** International Journal of Mathematical Model and Method in Applied Sciences. Issue 1. Vol5. pp.167 - 174

Srisertpol, J., Tantrairatn, S., Trakunvongngam, P., and Khomphis, V. (2011) **Temperature Control for Reheating Furnace Walking Hearth Type in Heating Curve Up Process.** The 9<sup>th</sup> WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering (IGOSSSE'10). Iwate. Japan. 4 - 6 October. pp.464 - 469

Srisertpol, J., Trakunvongngam, P., and Khomphis, V. (2011) **Open – loop Identification for Reheating Furnace Walking Hearth Type in Heating Curve Up Process.** The 24<sup>th</sup> National Mechanical Engineering Conference. 20 - 22 October. Ubon Ratchathani. Thailand



DRC 012

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24  
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

**การระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth  
ในกระบวนการอุ่นเตา  
Open-loop Identification for Reheating Furnace Walking Hearth Type  
in Heating Curve Up Process**

ปริญญา ตรีภพลวงศ์งาม จิระพล ศรีเสริฐผล และวราภรณ์ ขำพิศ  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000  
\* ติดต่อ: โทรศัพท์: 044 224412, โทรสาร: 044 224613  
E-mail: [jiraphon@sut.ac.th](mailto:jiraphon@sut.ac.th)

#### **บทคัดย่อ**

กระบวนการอบเหล็กเพื่อทำการรีดเหล็กให้มีขนาดเล็กเป็นเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.5 - 32 มิลลิเมตรนั้น ใช้เตาอบเหล็กชนิด Walking hearth ในการควบคุมอุณหภูมิในการอบให้มีอุณหภูมิของเหล็กในช่วง 1150 - 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเตาอบมีการควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop) ที่มีการควบคุมเชื้อเพลิงและการเปิดและปิดจำนวนหัวเผาให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งปัญหาที่พบในสภาพปัจจุบัน คือระบบมีอุณหภูมิสูงเกินความต้องการทำให้เตาอบเสียหายรวมทั้งสูญเสียเชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการผลิตอีกทั้งเตาอบเหล็กมีอายุการใช้งานมาเป็นเวลานาน ระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพซึ่งลักษณะการควบคุมที่ใช้งานอยู่ อาจไม่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบเหล็กในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดอุณหภูมิของเหล็กนั้นไม่เป็นไปตามความต้องการ จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่ต้องวิเคราะห์และศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็ก ดังนั้นบทความนี้ได้นำเสนอวิธีระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking hearth ในกระบวนการอุ่นเตาโดยประยุกต์การประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการตอบสนองอุณหภูมิของกระบวนการอุ่นเตาโดยวิธี Nonlinear least square และ Pattern search เพื่อนำไปใช้พิจารณาออกแบบตัวควบคุมให้เหมาะสมในด้านการประหยัดเชื้อเพลิงและผลการตอบสนองทางอุณหภูมิ

**คำสำคัญ:** แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็ก, ระบบความร้อน, วิธีการระบุเอกลักษณ์ของระบบ และการประมาณตัวแปร

#### **Abstract**

The slab reheating process for iron to small diameter size 5.5 - 32 mm wire is used reheating furnace type walking hearth to control temperature in range 1150-1200 Celsius during 2 hours by using open-loop control. The proper temperature get by controlling fuel and number of opening burners. The current problem is over heat inside the wall, which cause the furnace damage and the fuel loss. That increase the primary cost of production. Moreover, the reheating furnace has been used for a long time. So the physical characteristics might be changed, which influence to the controller. In this study will analysis and develop the mathematical model of the reheating furnace for design. The proper controller in

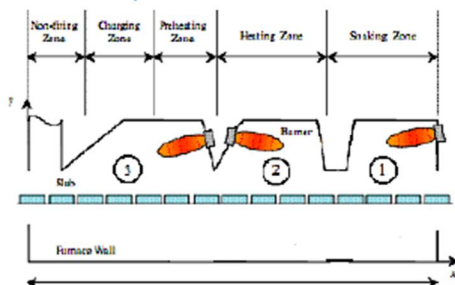


the fuel economy and good temperature response. The open-loop identification method has been applied to the reheating furnace walking hearth type, by Nonlinear least square and Pattern search.

**Keywords:** Mathematical model of reheating furnace, Thermal system, System identification and Parameters estimation

### 1. บทนำ

กระบวนการเตาอบเหล็กเป็นกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบหนึ่ง ที่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) เป็นที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานเป็นส่วนมากในอุตสาหกรรม จากคู่มือการทำงานของเตาอบ [1] ได้อธิบายกระบวนการทำงานของเตาอบเหล็ก โดยการให้พลังงานความร้อนแก่เตาอบโดยผ่านทางหัวเผาโดยใช้วิธี Double cross limit ปรับการจ่ายอัตราส่วนของอากาศและน้ำมันเตา ซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



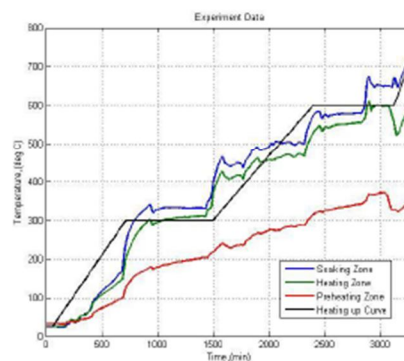
รูปที่ 1 เตาอบเหล็กชนิด Walking hearth

โครงสร้างของเตาอบเหล็กชนิด Walking hearth นั้นจะมีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 Zone ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่

1. Soaking zone มีหัวเผา Type NXB-125 10 หัว
2. Heating zone มีหัวเผา Type NXB-300 8 หัว
3. Preheating zone มีหัวเผา Type NXB-300 8 หัว

อุณหภูมิของแต่ละโซนจะแตกต่างกันตามหน้าที่ได้แก่ Preheating zone ทำหน้าที่ไล่ความชื้นออกจากเหล็กและให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส Heating zone ทำหน้าที่ให้

ความร้อนแก่เหล็กโดยตรงมีอุณหภูมิประมาณ 1100 - 1200 องศาเซลเซียส และ Soaking zone จะรักษาอุณหภูมิของเหล็กให้คงที่ประมาณ 1150 - 1200 องศาเซลเซียส ก่อนเหล็กจะออกจากเตา



รูปที่ 2 การตอบสนองอุณหภูมิของแต่ละ Zone

ในการเริ่มต้นให้ความร้อนแก่เตาอบนั้น ไม่สามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วได้ เนื่องจากผนังเตาจะเกิดความเสียหายได้ เมื่อได้รับความร้อนเร็วเกินไป จึงมีการค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสม และรักษาอุณหภูมิคงที่นั้นไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ผนังเตาภายในมีการปรับขยายตัวเสียก่อนแล้ว จึงเพิ่มอุณหภูมิขึ้น โดยมี Heating up curve เป็นอุณหภูมิอ้างอิงที่ต้องการของ Soaking zone ในการเปิดหัวเผาดังแสดงในรูปที่ 2

การเก็บค่าอุณหภูมิจริงในช่วงของการอุ่นเตาอบ โดยมีการเก็บค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละโซนจากเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 2 ตัว ในปัจจุบันอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเตา 10:1 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นมีประมาณ 300 องศาเซลเซียส

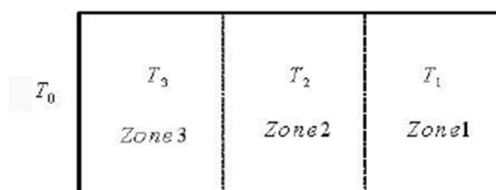
ผ.ศ.ดร.จิตติน แดงเที่ยง [2] ได้ศึกษาวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนเกี่ยวกับการพาความร้อนการแผ่รังสี และการสูญเสียความร้อนต่างๆที่ออกจากเตาอบที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบเหล็ก A.Kuster, G.A.J.M

Van D. [3] ได้ศึกษาวิเคราะห์วิธีการระบุเอกลักษณ์ระบบแบบป้อนกลับ (Closed-loop Identification) แบบหลายตัวแปร (MIMO system identification) ของแท่งเหล็ก ด้วยวิธี (Quadratic error function) Lars M.P. ,Bjorn W. [4] ได้ศึกษาวิเคราะห์แบบจำลองทางพลวัตของแท่งเหล็กเกี่ยวกับการพาความร้อน, การนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน Gustaaf V.D.Z. และคณะ [5] ได้ศึกษาวิเคราะห์แบบจำลองแบบ Black box model บนแท่งเหล็กเพื่อใช้หาค่าตัวแปรของตัวควบคุมแบบพีไอ C.H. Lo, และคณะ [6] ได้ศึกษาวิเคราะห์การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธี Genetic algorithm L.Balbis และคณะ [7] ได้ศึกษาวิเคราะห์และหาแบบจำลองแบบ Nonlinear ของพลังงานความร้อนที่ผ่านแท่งเหล็ก Jiraphon S. และคณะ [8] ได้ศึกษาวิเคราะห์หาแบบจำลองของเตาอบแบบหลอดอินฟราเรดและการระบุเอกลักษณ์แบบวงปิดของเตาอบ อาทิตย์ ศรีแก้ว [9] ได้นำเสนอการใช้ Artificial Intelligence (AI) รวมทั้งการใช้ Genetic algorithm เพื่อค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด Jann N.Y. และคณะ [10] ได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบหาค่าตัวแปรของโครงสร้างระบบแบบไม่ทราบอินพุตและเอาท์พุต โดยใช้วิธี Nonlinear least square และ Adaptive nonlinear Yao Nie และ Kai-Kuang Ma. [11] ได้นำเสนอการหาค่าตัวแปรแบบสุ่มโดยวิธี Adaptive rood pattern search ที่ได้ค่าตัวแปรที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดและหลักการระบบความร้อน ในการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กแบบชนิด Walking hearth ซึ่งจะได้สมการ State – Space model และประยุกต์ใช้ Nonlinear least squares และ Pattern search ในการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลการตอบสนองอุณหภูมิของกระบวนการอุ่นเตาอบเหล็ก เพื่อใช้พิจารณาในการออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสม ในด้านการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในการผลิตต่อไป

## 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth

ในการวิเคราะห์ระบบมีความจำเป็นต้องทราบถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบโดยประมาณ ซึ่งเราสามารถหาได้จากแบบจำลองที่ได้เคยมีการศึกษา โดยนำแบบจำลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่เกิดขึ้น หรือใช้หลักการถ่ายเทความร้อนมาวิเคราะห์หาโครงสร้างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ สำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking hearth ที่โรงงานสีมาผลิตเหล็ก จ. นครราชสีมา นั้น มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแต่ละโซนจะมีเทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละโซน ในกรณีนี้เราจะพิจารณาระบบทั้งหมดเป็นกระบวนการไหลแบบคงตัว (Steady flow process)

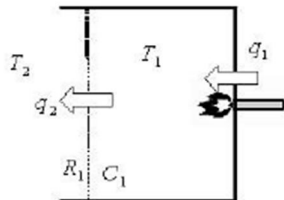


รูปที่ 3. แบบจำลองอย่างง่ายของเตาอบเหล็กชนิด Walking hearth

โดยโครงสร้างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภายใต้ข้อมูลที่สามารวัดได้ในกระบวนการอุ่นเตา เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดในการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3 ที่สามารถนำไปออกแบบวิธีการควบคุมอุณหภูมิของระบบในการอุ่นเตาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานตามสภาพปัจจุบัน



**อุณหภูมิที่ 1- Soaking zone**



รูปที่ 4. ระบบความร้อน ที่ Soaking zone

จากระบบความร้อน ได้พิจารณาถึงการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างอุณหภูมิที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4 โดยวิเคราะห์ในเทอมของ Thermal capacitance ดังสมการ

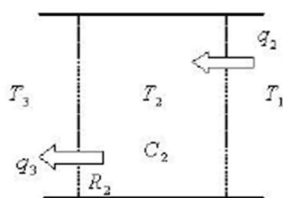
$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = q_1 - q_2 \quad (1)$$

Thermal resistance ของอัตราไหลของความร้อนจากโซน 1 เข้าสู่โซน 2 จะได้

$$q_2 = \frac{T_1 - T_2}{R_1} \quad (2)$$

- โดยที่  $C_1$  - thermal capacitance ที่โซน1
- $R_1$  - thermal resistance ที่โซน1
- $q_1$  - อัตราการไหลของความร้อนเข้าสู่โซน1
- $q_2$  - อัตราการไหลของความร้อนเข้าสู่โซน2
- $T_1$  - อุณหภูมิที่โซน 1
- $T_2$  - อุณหภูมิที่โซน 2

**อุณหภูมิที่ 2- Heating Zone**



รูปที่ 5. ระบบความร้อน ที่ Heating Zone

Thermal capacitance ของโซน 2 ดังแสดงในรูปที่ 5 เราสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

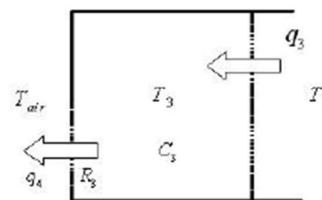
$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = q_2 - q_3 \quad (3)$$

Thermal resistance ของอัตราไหลของความร้อนจากโซน 2 เข้าสู่โซน 3 จะได้

$$q_3 = \frac{T_2 - T_3}{R_2} \quad (4)$$

- โดยที่  $C_2$  - thermal capacitance ที่โซน2
- $R_2$  - thermal resistance ที่โซน2
- $q_3$  - อัตราการไหลของความร้อนเข้าสู่โซน3
- $T_3$  - อุณหภูมิที่โซน 3

**อุณหภูมิที่ 3- Preheating Zone**



รูปที่ 6. ระบบความร้อน ที่ Preheating Zone

Thermal capacitance ของโซน 3 ดังแสดงในรูปที่ 6 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = q_3 - q_4 \quad (5)$$

Thermal resistance ของอัตราไหลของความร้อนจากโซน 3 ออกสู่อากาศภายนอก จะได้

$$q_4 = \frac{T_3 - T_{ar}}{R_3} \quad (6)$$

- โดยที่  $C_3$  - thermal capacitance ที่โซน3
- $R_3$  - thermal resistance ที่โซน3
- $q_4$  - อัตราการความร้อนสูญเสีย
- $T_{ar}$  - อุณหภูมิอากาศ

เราสามารถจัดรูปแบบสมการ4,5 และ6 ใหม่ได้ดังนี้

$$\dot{T}_1 = -\frac{1}{R_1 C_1} T_1 + \frac{1}{R_1 C_1} T_2 + \frac{1}{C_1} q_1 \quad (7)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{1}{R_2 C_2} T_1 - \left( \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) T_2 + \frac{1}{R_2 C_2} T_3 \quad (8)$$

$$\dot{T}_3 = \frac{1}{R_3 C_3} T_2 - \left( \frac{1}{R_3 C_3} + \frac{1}{R_3 C_3} \right) T_3 + \frac{1}{R_3 C_3} T_{ar} \quad (9)$$

ดังนั้นเราสามารถจัดอยู่ในรูปสมการปริภูมิสถานะ

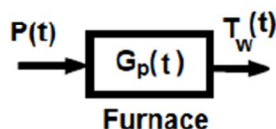
$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 C_1} & \frac{1}{R_1 C_1} & 0 \\ \frac{1}{R_1 C_2} & -\left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2}\right) & \frac{1}{R_2 C_2} \\ 0 & \frac{1}{R_2 C_3} & -\left(\frac{1}{R_2 C_3} + \frac{1}{R_3 C_3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} q_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{R_3 C_3} \end{bmatrix} T_{\infty} \quad (10)$$

จากสมการที่ 10 แทนตัวแปรอย่างง่าย จะได้

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ b & -(b+c) & c \\ 0 & d & -(d+e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} q_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ e \end{bmatrix} T_{\infty} \quad (11)$$

โดยที่  $a = \frac{1}{R_1 C_1}$ ,  $b = \frac{1}{R_1 C_2}$ ,  $c = \frac{1}{R_2 C_2}$ ,  $d = \frac{1}{R_2 C_3}$ ,  
 $e = \frac{1}{R_3 C_3}$  และ  $f = \frac{1}{C_1}$

### 3. การระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดของกระบวนการอุณหภูมิ



รูปที่ 7. แผนภาพระบบการอุณหภูมิแบบวงเปิด

สำหรับการระบุเอกลักษณ์กระบวนการอุณหภูมิแบบวงเปิด ในการทดลองการประมาณค่าตัวแปรจะกำหนดให้จำนวนหัวเผาที่เปิด,  $P(t)$  เป็นอินพุต อุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละโซน,  $T_w(t)$  เป็นเอาต์พุต

1. การวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการ โดยวิธี Nonlinear least square [8], [10] เพื่อประมาณค่าตัวแปรต่างๆ โดยตัวแปรที่เหมาะสมจะต้องทำให้  $\hat{T}_w(t) - T_w(t)$  ผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด (least square error: LSE)

$$LSE = \sum_{i=1}^n (\hat{T}_w(t)_i - T_w(t)_i)^2 \quad (12)$$

โดยที่  $n$  คือ จำนวนข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดได้

$\hat{T}_w(t)$  คือ อุณหภูมิได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยที่  $w=1,2,3$

จากสมการที่ (12) จะได้

$$\text{Minimize } g(a,b,c,d,e,f) = \sum_{i=1}^n (\hat{T}_w(t)_i - T_w(t)_i)^2$$

ให้  $z = g[a,b,c,d,e,f]^T$  นั่นคือ Minimize  $g(z)$

$$z_k = [a_k, b_k, c_k, d_k, e_k, f_k]^T$$

โดยที่  $k$  คือจำนวนรอบของการคำนวณ

ที่  $k=0$  จะได้  $z_0 = [a_0, b_0, c_0, d_0, e_0, f_0]^T$

และ  $B_0 = I$

เมื่อ  $Z_0$  คือค่าตัวแปรเริ่มต้นที่กำหนดให้สำหรับการคำนวณ

$$p_k = -[B_k]^{-1} \nabla g(Z_k)$$

$$F(\lambda_k) = g(z_k + \lambda_k p_k) \quad (13)$$

โดยที่  $\lambda_k > 0$  จากสมการ (13) จะได้ค่า  $\lambda_k$  จะได้

$$Z_{k+1} = Z_k + \lambda_k p_k$$

$$S_k = Z_{k+1} - Z_k$$

$$B_{k+1} = B_k - \frac{(B_k S_k)(B_k S_k)^T}{S_k^T B_k S_k} + \frac{y_k y_k^T}{y_k^T S_k}$$

ตรวจสอบ  $\|\nabla g(Z_{k+1})\| < \varepsilon$  เมื่อ  $\varepsilon$  คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ถ้า  $\|\nabla g(Z_{k+1})\| > \varepsilon$  ทำการคำนวณใหม่จนกว่า  $\|\nabla g(Z_{k+1})\| < \varepsilon$  ซึ่งทำให้ได้  $Z_{k+1}$  ของรอบการคำนวณนั้นเป็นผลเฉลยของค่าตัวแปร

2. การวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการ โดยวิธี Pattern search [11], [12] เป็นการหาค่า Minimize ของฟังก์ชัน

$$\text{Minimize } g(a,b,c,d,e,f) = \hat{T}_w(t)_i - T_w(t)_i$$

กำหนดค่าเริ่มต้น

$$x_0 = [a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}, e_{ij}, f_{ij}]$$

$i, j$  เป็น Coordinate ที่มีค่าตั้งแต่  $-\infty$  ถึง  $\infty$

และระยะก้าวกระโดด  $S$

คำนวณหาค่า  $g(x_0 + [S, 0])$

$g(x_0 + [0, S])$

$g(x_0 + [-S, 0])$

$g(x_0 + [0, -S])$

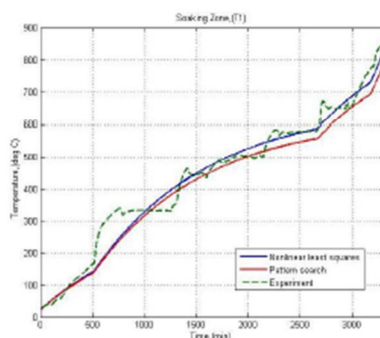
พิจารณาค่าใดมีค่าใดมีค่าใกล้เคียงกับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สุด เลือกค่านั้นให้เป็น  $x_1$

ในการคำนวณหาค่า  $x_2$  ระยะก้าวกระโดดจะเป็นสองเท่าคือ  $2*[0,S]$ ,  $2*[S,0]$ ,  $2*[0,-S]$  และ  $2*[-S,0]$  เมื่อพิจารณาค่าที่ได้ใหม่มีค่าที่ใกล้เคียงมากกว่า  $x_1$  จะถูกกำหนดให้เป็น  $x_2$  ในทำนองเดียวกันถ้าการคำนวณรอบที่ 3 มีค่าที่ใกล้เคียงมากกว่า  $x_2$  ค่าที่ได้จะเป็น  $x_3$  แต่ถ้าไม่มีค่าที่ได้ในปัจจุบันจะเป็น  $x_2$  แต่ Pattern search จะทำการลดระยะก้าวกระโดดโดยการคูณ 0.5 แล้วทำการหาใหม่ จนกว่าระยะก้าวกระโดดจะมีค่าน้อยมากจนเข้าสู่ค่าที่กำหนดไว้

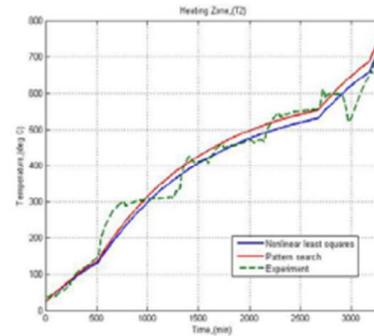
สำหรับการวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการ Nonlinear least square และ Pattern search ของโปรแกรม MATLAB

#### 4. ผลการทดลองและจำลองสถานการณ์

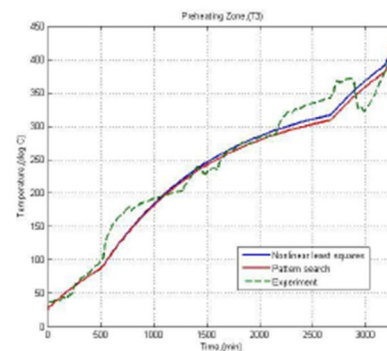
ในการทดลองการประมาณค่าตัวแปรด้วย Nonlinear least squares และ Pattern search ของกระบวนการอุ่นเตาอบเหล็กของ บริษัท ราชสีมา ผลิตภัณฑ์ จำกัด โดยกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิเตาอบเหล็กตาม Heating curve up



รูปที่ 8. ผลการตอบสนองอุณหภูมิของการทดลองและการประมาณแบบจำลอง ที่ T1



รูปที่ 9. ผลการตอบสนองอุณหภูมิของการทดลองและการประมาณแบบจำลอง ที่ T2



รูปที่ 10. ผลการตอบสนองอุณหภูมิของการทดลองและการประมาณแบบจำลอง ที่ T3

ผลการตอบสนองของอุณหภูมิในเกิดขึ้นจากทดลองและการจำลองสถานการณ์ ดังแสดงในรูปที่ 8,9 และ 10 ค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณโดยวิธี Nonlinear least squares และ Pattern search แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้ง 3 โซนของการประมาณตัวแปรเปรียบเทียบกับผลการวัดอุณหภูมิโดยวิธี Nonlinear least squares เท่ากับ 7.39533 และ Pattern search เท่ากับ 15.1496



ตารางที่ 1 ค่าประมาณตัวแปรของแบบจำลอง

ตัวแปร	ค่าประมาณ	
	Pattern search	Nonlinear least squares
a	0.12028	0.00888
b	0.92183	2.9412
c	0.017474	0.78088
d	3.1801	0.96634
e	2.7854	0.72051
f	0.15592	0.14266
Error	15.1496	7.39533

### 5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิดของระบบสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking hearth เพื่อหาค่าตัวแปรด้วย Nonlinear least squares และ Pattern search ในกระบวนการอุ่นเตาอบ ซึ่งผลแสดงลักษณะการตอบสนองอุณหภูมิจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการวัดอุณหภูมิมีการตอบสนองที่สอดคล้องกัน ดังนั้นการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นสามารถนำไปออกแบบการเปิด-ปิดหัวเผาสำหรับการควบคุมอุณหภูมิที่ทำให้ระบบมีการตอบสนองที่เหมาะสมกับ Heating curve up และการประหยัดพลังงานของเตาอบเหล็กโดยพิจารณาาร่วมด้วยได้

### 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัดและผศ.ดร.จิตติน แดงเที่ยง ที่ให้คำแนะนำในการวิจัย

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ratchasima steel industry rolling mill, (1998). Reheating furnace - function specification.
- [2] จิตติน แดงเที่ยง, (2550).โครงการการศึกษาวิจัยปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาอบเหล็ก,

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, หน้า. 1-33

[3] A Kuster and G.A.J.M van Ditzhuijzen, (1994). MIMO system identification of a slab reheating furnace, paper presented in *the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Control Applications*, Glasgow, Scotland, UK.

[4] Lars Malcolm Pederson and Bjorn Wittenmark, (1998). On the reheat furnace control problem, paper presented in *the 1998 American Control Conference*, Philadelphia, USA.

[5] Gustaaf Van Ditzhuijzen.,Dirk Staaman.,Arnol Koorn, (2002). Identification and model predictive control of a slab reheating furnace, paper presented in *the 2002 IEEE International Conference on Control Applications*, Glasgow, Scotland, UK.

[6] C.H. Lo, K.M. Chow, Y.K. Wong, A.B. Rad ., (2001). Qualitative system identification with the use of on-line genetic algorithm, *Simulation Practice and Theory*, Vol.8(6-7), March 2001, pp.415-431.

[7] L.Balbis, J. Balderud and M. J. Grimbale, (2008). Nonlinear predictive control of Steel Slab reheating furnace, paper presented in *the 2008 American Control Conference*, Washington, USA.

[8] Jiraphon Srisertpol, Supot Phungpimai, Pawin Jawayon,(2009).PID Closed-loop identification and design for an infrared oven, paper presented in *the 9<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation*, Cambridge, UK..

[9] อาทิตย์ ศรีแก้ว.(2552). ปัญหาเชิงคำนวณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

**DRC 012**

- [10] Jann N. Yang, Hongwei Huang, Silian Lin, (2005). Sequential non-linear least square estimation for damage identification of structures, International Journal of Nonlinear Mechanics 41, pp.124-140
- [11] Yao Nie, Student Member,IEEE ,Kai-Kuang Ma , Senior Member,IEEE,(2002). Adaptive rood pattern search for fast block - matching motion estimation, IEEE Transaction on Image Processing, Vol.11 ,No.12,pp.1442-1448
- [12] A.K.AI-Othman and K.M. El-Nagger, (2007). Application of pattern search method to power system security constrained economic dispatch, World Academy of Science, Engineering and technology 25., PP.28-33

## Temperature Control for Reheating Furnace Walking Hearth Type in Heating Curve Up Process

JIRAPHON SRISERTPOL<sup>1</sup>, SURADET TANTRAIKATN<sup>1</sup>, PRARINYA TRAGRUNWONG AND VORAPOT KHOMPHIS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering  
Suranaree University of Technology  
111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima, 30000  
THAILAND  
jiraphon@sut.ac.th

**Abstract:** - The slab reheating process for iron rolling to the small diameter wire in Ratchasima Steel Products Co.,Ltd. factory (Nakhon Ratchasima, Thailand) use the reheating furnace walking hearth type which control the temperature of the process about 1150-1200 Celsius (up to each zone) and consume time about 2 hours. The air fuel ratio control of this furnace is feedback control which use PID controller. The problems in the present are reducing production cost and increasing performance in energy consumption which most cost of the factory from in the slab reheating process. So the factory has the idea to change the energy source to the cheaper source such as nature gas, bio-gas etc and improve the performance of the temperature control of the reheating furnace in heating curve up process. Consequently the controller isn't suitable for the slab reheating process in the present then can't control the desired temperature and lose the energy. From the mentioned reason, we have to analysis and study to estimate the mathematical model of reheating furnace for design the controller. This paper present the mathematical model of reheating furnace walking beam type using system identification method to estimate the parameter of the mathematical model with the temperature response of slab reheating process and apply adaptive system to design the suitable input with the desire response of slab reheating process by consider to select the optimal process in terms of fuel economy and temperature response.

**Key-Words:** - : Mathematical model of reheating furnace, Thermal system, System identification, Parameters estimation and Adaptive system.

### 1 Introduction

The slab heating process is one temperature control process which is applied widely in the industry. The popular controller which use in temperature control process is PID controller. The manual of the furnace [1] describe the process of the furnace that using the thermal energy to furnace by burner which using double cross limit method adjust the ratio of air and fuel. That the heating burners is the feedback control system.

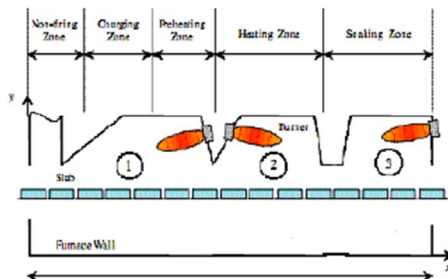


Fig.1 Reheating furnace walking beam type

Structure of iron reheating furnace walking beam type is divided functionally to 3 zones in the figure 1

1. Preheating zone has 8 burners type NXB-300
2. Heating zone has 8 burners type NXB-300
3. Soaking zone has 10 burners type NXB-125

Temperature of each zones are different according to function. Preheating zone serves the humidity away from the slab by heating at approximately 700-800 Celsius. Heating zone provide heat directly to the slab by heating at approximately 1100-1200 Celsius and Soaking zone maintain a constant temperature of slab at approximately 1150-1200 Celsius before the slab leave the reheating furnace. In the begin, heating the furnace can't heat quickly because the reheating furnace wall will be damaged when overheating then must gradually heating properly and keep the constant temperature in a period of time to adjust the inside furnace wall expansion before and then heating temperature up and using the heating up curve is the desired reference temperature of Soaking zone in the opening burner in the figure 2



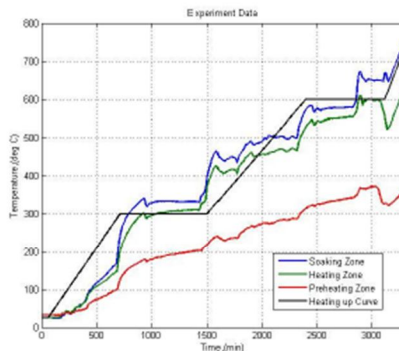


Fig. 2 Temperature response in each zone

Actual temperatures in the range of the reheating furnace apply the two thermocouples to measure the average temperature in each zone. Current ratio of air and fuel is 10:1 and the combustion temperature is approximately 300 Celsius.

From the study of estimated mathematical model of slab reheating furnace [2] studied the thermal energy associated with convection, radiation and the various heat losses from the furnace to occur in the slab heating process. The research [3] has proposed the closed-loop identification of temperature response to iron rod using data from the experiment of one iron rod as a reference and using the quadratic error function to find the parameter coefficient of the mathematical model of the iron heat treatment process. MIMO system identification of the iron reheating furnace using the black box model and ARX model to nonlinear system identification by input is the fuel and the measured output is the temperature value in each interval [4,5]. Study the dynamic model using genetic algorithm in frequency domain [6]. Analysis and design controller of the electromagnetic oven process or the slab reheating furnace by approximation of the mathematical model with adaptive system [7,8]. This paper has proposed open-loop identification and thermal principles to estimate the mathematical model of the slab reheating furnace walking beam type using parameter estimation and design the suitable input (open/close burner) with the desire temperature response in heating up curve process. The mathematical model is the stat-space model equation and the parameter estimation method was applied nonlinear least squares and pattern search to estimate the parameter of the mathematical model. For consideration in the controller design is optimal in term of energy economy and reducing the productive cost in the next time.

## 2 The Mathematical Model of the Slab Reheating Furnace Process

The system analysis is necessary to estimate the mathematical model of system. We can find from the model that was studied by taking the models are analysis and compared with the experimental results or using the heat transfer principles to find the structure of the mathematical model of system. For this iron reheating furnace walking beam type at Ratchasima Steel Products Co.,Ltd. Factory as shown in Fig. 1. Each zone has two thermocouples to measure the average temperature. In this case we consider all system is the steady state flow process.

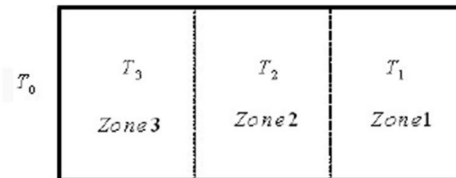


Fig.3 The simple model of reheating furnace walking beam type

The structure of a mathematical model under the data which can be measured in the reheating furnace process, applies with the open-loop identification in parameter estimation of the simple model as shown in Fig. 3. That can be design the control method to control temperature inside the slab reheating furnace in the performance of work under current conditions.

### Zone 1 – Soaking zone

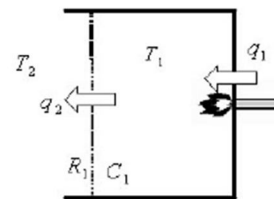


Fig.4 The thermal system at zone 1

From the thermal system consider the heat transfer between the different temperatures as show in Fig. 4 by analysis in term of thermal capacitance as the equation

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = q_1 - q_2 \quad (1)$$

The thermal resistance of heat flow rate from zone 1 to zone 2 can be written

$$q_2 = \frac{T_1 - T_2}{R_1} \quad (2)$$

where  $C_1$  – thermal capacitance at zone 1

$R_1$  – thermal resistance at zone 1

$q_1$  – heat flow rate to zone 1

$q_2$  – heat flow rate from zone 1 to zone 2

$T_1$  – temperature at zone 1

$T_2$  – temperature at zone 2

### Zone 2 – Heating zone

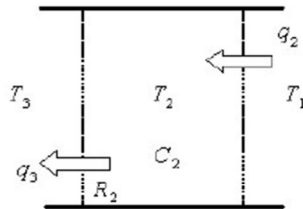


Fig.5 The thermal system at zone 2

The thermal capacitance of zone 2 as shown in fig.5 can be written to

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = q_2 - q_3 \quad (3)$$

The thermal resistance of heat flow rate from zone 2 to zone 3 can be written:

$$q_3 = \frac{T_2 - T_3}{R_2} \quad (4)$$

where  $C_2$  – thermal capacitance at zone 2

$R_2$  – thermal resistance at zone 2

$q_3$  – heat flow rate from zone 2 to zone 3

$T_3$  – temperature at zone 3

### Zone 3 – Preheating zone

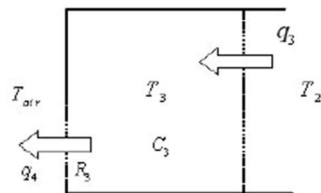


Fig.6 The thermal system at zone 3

The thermal capacitance of zone 3 as shown in Fig. 6, we can write the relative equation to:

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = q_3 - q_4 \quad (5)$$

The thermal resistance of heat flow rate from zone 3 to environment can be written

$$q_4 = \frac{T_3 - T_{air}}{R_3} \quad (6)$$

where  $C_3$  – thermal capacitance at zone 3

$R_3$  – thermal resistance at zone 3

$q_4$  – heat flow rate from zone 3 to environment

$T_{air}$  – ambient temperature

We can rearrange the equation 4, 5 and 6 to

$$\dot{T}_1 = -\frac{1}{R_1 C_1} T_1 + \frac{1}{R_1 C_1} T_2 + \frac{1}{C_1} q_1 \quad (7)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{1}{R_1 C_2} T_1 - \left( \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) T_2 + \frac{1}{R_2 C_2} T_3 \quad (8)$$

$$\dot{T}_3 = \frac{1}{R_2 C_3} T_2 - \left( \frac{1}{R_2 C_3} + \frac{1}{R_3 C_3} \right) T_3 + \frac{1}{R_3 C_3} T_{air} \quad (9)$$

So we can arrange to state-space equation form

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 C_1} & \frac{1}{R_1 C_1} & 0 \\ \frac{1}{R_1 C_2} & -\left( \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) & \frac{1}{R_2 C_2} \\ 0 & \frac{1}{R_2 C_3} & -\left( \frac{1}{R_2 C_3} + \frac{1}{R_3 C_3} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} q_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{R_3 C_3} \end{bmatrix} T_{air} \quad (10)$$

From the equation 10 can rearrange the new equation to

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ b & -(b+c) & c \\ 0 & d & -(d+e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} q_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ e \end{bmatrix} T_{air} \quad (11)$$

$$\text{where } a = \frac{1}{R_1 C_1}, b = \frac{1}{R_1 C_2}, c = \frac{1}{R_2 C_2}, d = \frac{1}{R_2 C_3}, e = \frac{1}{R_3 C_3} \text{ and } f = \frac{1}{C_1}$$



### 3 Problem Solutions

#### 3.1 Open-loop Identification

The slab reheating furnace process is the open-loop control process. The mathematical model of slab reheating furnace process with experiment results can be estimated the parameter via nonlinear least squares and pattern search which increase the temperature of the reheating furnace according to the step open of burner. That is divided to 4 ranges. In the first range the furnace open two burners at zone 1 about 510 minutes, the second range the furnace open four burners until 2670 minutes, the third range the furnace open six burners until 3170 minutes and the fourth range the furnace open ten burners until 3310 minutes. The system which control air to fuel ratio of 10:1 is the closed-loop system using PID controller. In the condition at flow rate is 40,000 m<sup>3</sup>/h, pressure is 5 bars, the air temperature is 350 Celsius and the fuel is 110 Celsius.

The method of open-loop identification via parameter estimation technique can be estimated the mathematical model of slab reheating furnace with measuring temperature in heating curve up process. The investigation of the coefficients in the mathematical model (11) is a complex problem because of restricted information input temperature can be measured. The logical criterion might be to minimize the sum of residual errors ( $e$ ) for all the available data, as in

$$e = \sum_{i=1}^N [T_1(i) - \tilde{T}_1(i)]^2 \quad (13)$$

where  $N$  -total number of data,  $\tilde{T}_1(t)$  is the temperature measurement from the mathematical model of slab reheating furnace in heating curve up process

#### 3.2 Experimental and Simulation Results

In the experiment to estimate the parameter with Non-linear least squares and Pattern search of the slab reheating furnace process at Ratchasima Steel Products Co.,Ltd. Factory use the increased furnace's temperature process according to the heating curve up.

The response of temperature from experimentation and simulation as shown in figure 7, 8 and 9 take to estimate the parameter with nonlinear least squares and Pattern search method as shown in Table 1. The average error for all 3 zones using the parameter estimation compare with measured temperature with non-linear least squares method is 7.3953 and Pattern search method is 15.1496.

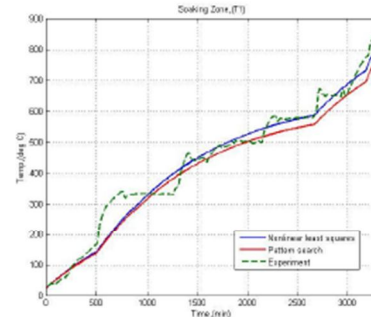


Fig. 7 Temperature responses of the experiment and the estimate model at zone 1

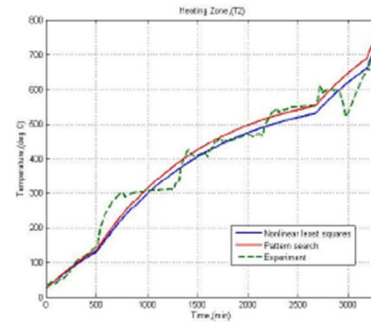


Fig. 8 Temperature responses of the experiment and the estimate model at zone 2

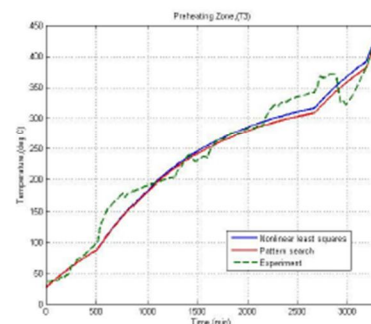


Fig. 9 Temperature responses of the experiment and the estimate model at zone 3

Table1. Parameter estimation of the mathematical model

Parameters	Parameter estimation	
	Pattern search	Nonlinear least squares
$a$	0.12028	0.00888
$b$	0.92183	2.9412
$c$	0.017474	0.78088
$d$	3.1801	0.96634
$e$	2.7854	0.72051
$f$	0.15592	0.14266
Error*	15.1496	7.39533

### 3.3 Design Procedure of the Open Burner via Adaptive System and Constraint Function

The design procedure of the open 10 burners in heated furnace process must consider the response of temperature in soaking zone ( $T_1$ ) according to heating curve up and saving energy. When we have the estimated mathematical model of slab reheating furnace process and variable via parameter identification method, we can apply the adaptive system and constraint function to find out the number of burners that are opened ( $k$ ) and the corresponding time ( $t$ ). The gradient method is to adjust parameter in such a way that the loss function is minimized

$$J(k) = \frac{1}{2} e^2 \quad (14)$$

where  $e = T_{ref} - T_1$ ,  $T_{ref}$  - temperature of heating curve up at soaking zone.

The objective of an adaptive system is adjust the number of burners until the error between the temperature of heating curve up ( $T_{ref}$ ) and the temperature ( $T_1$ ) of the estimated mathematical model of slab reheating furnace process is close to zero. Thus we assign the parameter of the number of burners in the negative gradient of  $J$

$$\frac{\partial k}{\partial t} = -\frac{\gamma e \partial J}{\partial k} = -\frac{\gamma e \partial e}{\partial k} \quad (15)$$

and

$$\frac{\partial e}{\partial k} = -\frac{\partial T_1}{\partial k} \quad (16)$$

where  $\gamma$  is adaptation gain. The sensitivity function is

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -au + av + k \frac{\partial q_1}{\partial t} + q_1 \quad (17)$$

where  $u = \frac{\partial T_1}{\partial k}$ ,  $v = \frac{\partial T_2}{\partial k}$  and  $w = \frac{\partial T_3}{\partial k}$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = bu - bv - cv + cw \quad (18)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = dv - dw - ew \quad (19)$$

The constraint functions are

$k$  is integer number and  $2 \leq k \leq 10$

$t$  is real number and  $t > 0$

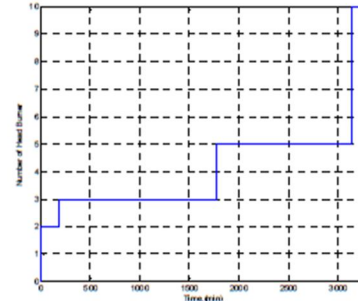


Fig. 10 Step of burners opening from the program

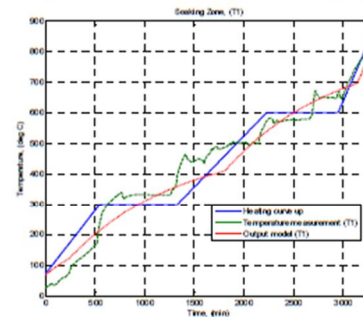


Fig. 11 The response of temperature to the opening of the new burners in soaking zone.

The result of the program to find the number of burners ( $k$ ) and corresponding time ( $t$ ) as shown in the fig.10 and the response of temperature to the opening of burners as shown in the fig.11. We can reduce the error ( $e_{rms}$ ) of temperature down to 26.21 % and saving energy to 2.26%.

## 4 Conclusion

This paper has proposed the estimated method to estimate the mathematical model using the open-loop identification for the slab reheating furnace walking beam type with non-linear least squares and pattern search method in heating curve up process. The results from simulate and measured temperature response have relative response so the mathematical model can take to design open-close burner to control the suitable temperature with heating curve up and save the energy of the slab reheating furnace.

## Acknowledgement

The authors would like to thankfully acknowledge the research grant from Suranaree University of Technology (SUT).

*References:*

- [1] Bangkok Steel Industry Rolling Mill, (1998). *Reheating Furnace-Function Specification*.
- [3] A Kuster and G.A.J.M van Ditzhuijzen, (1994). MIMO System Identification of a Slab Reheating Furnace, paper presented in *the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Control Applications*, Glasgow, Scotland, UK.
- [4] Lars Malcolm Pederson and Bjorn Wittenmark, (1998). On the Reheat Furnace Control Problem, paper presented in *the 1998 American Control Conference*, Philadelphia, USA.
- [5] Gustaaf Van Ditzhuijzen, Dirk Staaman, Arnol Koom, (2002). Identification and Model Predictive Control of a Slab Reheating Furnace, paper presented in *the 2002 IEEE International Conference on Control Applications*, Glasgow, Scotland, UK.
- [6] C.H. Lo, K.M. Chow, Y.K. Wong and A.B. Rad., (2001). Qualitative system identification with the use of on-line genetic algorithm, *Simulation Practice and Theory*, Vol.8(6-7), March 2001, pp.415-431.
- [7] L. Balbis, J. Balderud and M. J. Grimble, (2008). Nonlinear Predictive Control of Steel Slab Reheating Furnace, paper presented in *the 2008 American Control Conference*, Washington, USA.
- [8] Jiraphon Srisertpol and Supot Phungpimai, (2010). Model Reference Adaptive Temperature Control of the Electromagnetic Oven Process in Manufacturing Process, paper presented in *the 9<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation*, Cambridge, UK.

## ประวัติผู้เขียน

นายปริญญา ตรีภูววงศ์งาม เกิดเมื่อวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนปริชานูศาสตร์ จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2550 และในปีเดียวกันได้ศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันการศึกษาเดิม ในขณะที่ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตนั้น ได้มีประสบการณ์เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 5 รายวิชาดังนี้ (1) วิชาปฏิบัติการเครื่องกล 1 (2) วิชาปฏิบัติการเครื่องกล 2 (3) วิชาปฏิบัติการเครื่องกล 3 (4) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1 (5) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 2 และมีผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 3 บทความ ดังที่ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ฉ.