

การศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบ
แบบต่อเนื่อง

A STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS IN DRYING METAL
SHEET IN A CONTINUOUS OVEN

ธีรโชติ สุขสิน
TEERACHOTE SOOKSIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2003-EN-M-030-375

การศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบ
แบบต่อเนื่อง

A STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS IN DRYING METAL
SHEET IN A CONTINUOUS OVEN



ธีรโชติ สุขสิน

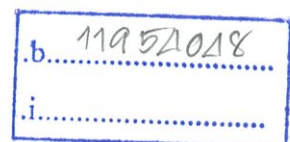
TEERACHOTE SOOKSIN

๑พ

ศ ๖๖ ๘๗

๒๕๖๑

เลขทาบ.....
เลขทะเบียน..... 82897
วัน,เดือน,ปี. '25 ก.ค. 2551



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-030-375

**A STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS IN DRYING METAL
SHEET IN A CONTINUOUS OVEN**

TEERACHOTE SOOKSIN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

KMITL-2008-EN-M-030-375

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมการความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบ
แบบต่อเนื่อง
A Study of Thermal Characteristics in Drying Metal Sheet in a
Continuous Oven

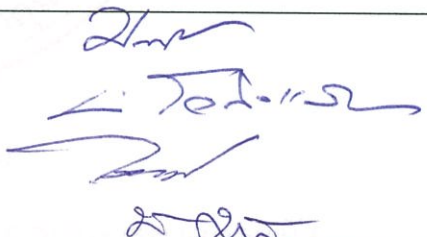
นักศึกษา นายธีรโชติ สุขสิน

รหัสประจำตัว 46060419

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.มณฑล	ใจกุลศล	
ผศ.มิ่ง	โตกิจแสงทอง	
ผศ.ดร.วราคม	เน็ดน้อย	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 8 พฤษภาคม 2551 เวลา 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 1 ชั้น 3 อาคาร A


บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง
นักศึกษา	นายธีร โชติ สุขสิน
รหัสประจำตัว	46060419
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ เป็นการนำเสนอการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการสร้างให้ความร้อนภายในเตาอบให้มีความร้อนสูงขึ้นเพื่อให้ชิ้นงาน ซึ่งมีสถานะที่เปียกที่ต้องขจัดน้ำออกไปก่อนการนำไปใช้งาน โดยความร้อนที่นำไปใช้แสดงความสัมพันธ์เป็นอุณหภูมิที่แสดงผลออกมาเพื่อใช้ในการควบคุม ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นตัวแปรที่จะควบคุมการใช้เชื้อเพลิงให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยการศึกษาการแยกตัวแปรการถ่ายเทความร้อนจำแนกเป็น การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ที่มีผลกระทบในการอบแห้งโลหะแผ่นแบบต่อเนื่องในโรงงานที่มีการสร้างเตาในการอบชิ้นงานให้แห้ง พร้อมศึกษาหาตัวแปรทางคณิตศาสตร์ที่มีอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อน ต่อโลหะแผ่นเช่นคุณสมบัติการนำความร้อนของโลหะ, คุณสมบัติจำเพาะของโลหะในการแพร่ในตัววัสดุ และเป็นดัชนีชี้บ่งการตัดสินใจในการปรับปรุงการให้ความร้อนเกิดประโยชน์สูงสุด และกลุ่มทุนเชิงลงทุนให้มากที่สุด ทั้งในเชิงการลงทุนเพื่อการปรับปรุง หรือ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางความร้อนของแผ่นโลหะที่ได้รับความร้อนในเตาอบ เป็นต้น เป้าหมายการทำโครงการ เพื่อเป็นแบบในแนวทางการนำทฤษฎีทางเชิงความร้อนมาอธิบายพฤติกรรม ทางความร้อนของโลหะแผ่นที่เข้าไปในเตาอบและจะควบคุมอะไรได้บ้าง ในด้านการควบคุมเวลาของโลหะแผ่นเข้าไปในเตาอบอย่างต่อเนื่อง ของการใช้ของเชื้อเพลิง การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี โดยใช้วิธี quadratic regression ในการหาสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และทำการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ค่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในช่วงหนึ่งแล้วนำไปตรวจสอบเทียบกับการใช้งานจริงกับเตาอบแห้ง

Thesis Title	A Study of Thermal Characteristics in Drying Metal Sheet in a Continuous Oven
Student	Mr.Teerachote Sooksin
Student ID.	46060419
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis is aimed at studying the temperature distribution from using LPG fuel for heating metal sheets in a continuous oven for the characteristics of a variety of thermal equipment for high-, medium- and low-temperature drying processes. This purpose is to define the heat transfer in drying the metal sheets. Mathematical modes, which represent various modes of heat transfer as conduction, convection and radiation, had been proposed. Different thermal parameters, specific heat, thermal conductivity and thermal parameters involving with drying sheet metal are determined. Mathematical modes show the performance of drying oven to determine the characteristics of heat transfer and how to control LPG fuel for operation in the drying oven. The mathematical modes also provide the quality of LPG combustion in forming heat transfer in conduction, convection and radiation for development of heat transfer procedures to be used in equipment design and operation by using the quadratic regression method. By using a computer program on technique equation, the optimal period cycle time is computed and its value is then validated with real temperature of a cycle time obtained from curing metal sheets.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พงษ์เจตพรหมวงศ์ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท แอมแอร์ จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านอุปกรณ์ เครื่องจักร และบุคลากรที่ช่วยในการทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ร่วมสถาบันจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือซ้ำพเจ้าในทุกๆ ด้านให้ทำงานวิจัยสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ภรรยา และบุตรธิดาที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษา

ขอขอบพระคุณในทุกประการที่ให้แก่งานวิจัยเรื่องนี้ไว้ ณ. โอกาสนี้

ธีรโชติ สุขสิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การทดลองของ D.Fahloul และคณะ (1994).....	5
2.2 การทดลองของ B.Broyart และ G.Trystram (2001).....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	9
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง.....	9
3.2 คุณลักษณะและวิธีการทำงานของเครื่องจักร.....	10
3.3 เครื่องมือและวิธีการวัดอุณหภูมิของชิ้นงาน.....	11
3.4 การออกแบบตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง.....	13
3.5 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของสมการวัตถุประสงค์และเงื่อนไขการควบคุม	14
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลกาทดลอง และวิธีการสร้างรูปแบบจำลอง.....	20
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	22
4.2 วิธีการสร้างรูปแบบจำลอง.....	39
4.2.1 การหาสมการวัตถุประสงค์ (Objective function).....	39
4.2.2 การหาเงื่อนไขการควบคุม (Condition function).....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การหาสมการความสัมพันธ์ความเร็ว Conveyor และอุณหภูมิของแผ่น โลหะ.....	43
5.1 สมการ.....	43
5.2 ทฤษฎี.....	43
5.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ทางสมการ.....	44
5.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C , 120 °C ,130 °C , 140 °C และ 150 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 0.8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min.....	47
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	53
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก ผลการทดลองพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบ แบบต่อเนื่อง.....	57
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการทดลองแสดงเป็นความสัมพันธ์อุณหภูมิ โชนต่างๆของเตาอบ.....	8
3.1 เงื่อนไขของเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง (Oven Condition).....	15
3.2 เงื่อนไขการแห้งของชิ้นงาน (Drying material condition).....	15
3.3 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 1.7 m/min.....	16
3.4 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 120 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 1.7 m/min.....	16
3.5 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 130 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 1.7 m/min.....	16
3.6 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 140 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 1.7 m/min.....	16
3.7 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 150 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 1.7 m/min.....	17
3.8 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 2 m/min.....	17
3.9 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 120 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 2 m/min.....	17
3.10 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 130 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 2 m/min.....	17

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.11 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 140 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 2 m/min.....	18
3.12 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 150 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของคอนเวเยอร์ 2 m/min.....	18
3.13 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่.....	18
3.14 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่.....	18
3.15 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็ก.....	18
3.16 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่.....	19
3.17 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่.....	19
3.18 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่.....	19
3.19 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วต่างกันที่หนาแผ่นเหล็กคงที่.....	19
4.1 ผลการคำนวณค่าความร้อนจากอุณหภูมิต่างๆ.....	21
4.2 ผลการคำนวณค่าความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน.....	21
4.3 ผลการคำนวณหาค่าเวลาในการอบแห้ง.....	21
4.4 เปรียบเทียบเวลาในการอบแห้งทางทฤษฎีเทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้ง.....	22
4.5 ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลาที่อุณหภูมิของ โลหะแผ่นที่ ความหนา 0.8 จากข้อมูลรูปที่ 4.1 , 4.3 , 4.5.....	39
4.6 ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลาที่อุณหภูมิของ โลหะแผ่นที่ ความหนา 0.8 จากข้อมูลรูปที่ 4.6 , 4.8 , 4.10.....	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในกระบวนการอบแห้ง.....	4
2.1 โครงสร้างของเตาอบแห้งของขนมปัง.....	5
2.2 ผลการทดลองที่ได้ระหว่าง heat flux (w/cm^2) จากเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง (a) ผ่านเตาอบครั้งที่ 1 (b) ผ่านเตาอบครั้งที่ 2 (c) ผ่านเตาอบครั้งที่ 3.....	6
2.3 สมการการคำนวณหาค่าความร้อนของเตาอบแห้งของขนมปัง.....	7
2.4 โครงสร้างของเตาอบแห้งของขนมปัง.....	7
2.5 กราฟที่แสดงถึงอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและชิ้นงานที่ได้จากผลการทดลอง.....	8
3.1 อุปกรณ์การบันทึกข้อมูล.....	9
3.2 เทอร์โมคอมเปิล Type K.	9
3.3 ผลการบันทึกข้อมูล.....	10
3.4 ภาพการแสดงผลการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล.....	10
3.5 เตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง	11
3.6 เปรียบเทียบผิวชิ้นงานก่อนและหลังการอบแห้ง.....	11
3.7 โครงสร้างเตาอบแห้งแบบต่อเนื่อง.....	12
3.8 แผนผังการอบแห้งของโลหะแผ่นอย่างต่อเนื่อง.....	12
3.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแผ่นโลหะภายในเตาอบ.....	13
3.10 ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลา.....	13
4.1 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 110\text{ }^\circ\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	23
4.2 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 120\text{ }^\circ\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	23
4.3 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 130\text{ }^\circ\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	23
4.4 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 140\text{ }^\circ\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	24
4.6 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm	25
4.7 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	25
4.8 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	26
4.9 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	26
4.10 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm.....	27
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 $^{\circ}\text{C}$ และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา เหล็กแผ่นขนาด 0.8mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 1.7 m/min.....	28
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 $^{\circ}\text{C}$ และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา เหล็กแผ่นขนาด 1 mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 1.7 m/min.....	28
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 $^{\circ}\text{C}$ และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา เหล็กแผ่นขนาด 2 mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 1.7 m/min.....	28
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 $^{\circ}\text{C}$ และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา เหล็กแผ่นขนาด 0.8 mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 2 m/min.....	29
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 $^{\circ}\text{C}$ และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา เหล็กแผ่นขนาด 1mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 2 m/min.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่น โลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min.....	35
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่น โลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min.....	36
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่น โลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 120 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min.....	36
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่น โลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 130 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min.....	37
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่น โลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 140 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min.....	37
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่น โลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min.....	38
5.1 ความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิว โลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor 1.7 m/min ที่ความหนาแผ่นเหล็ก 0.8 mm ที่อุณหภูมิต่างๆ จากสมการที่ได้.....	45
5.2 ความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิว โลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor 2m/min ที่ความหนาแผ่นเหล็ก 0.8 mm ที่อุณหภูมิต่างๆจากสมการที่ได้.....	45
5.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิว โลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor ที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิเตาอบ 120 °C	46
5.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิว โลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor ที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิเตาอบ 150 °C	46
5.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิว โลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิว โลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ 110 °C เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง...47	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง.....	48
5.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง.....	49
5.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง.....	50
5.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง.....	51

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

q_c = ค่าการนำความร้อน(W)

q_a = ค่าความร้อนทั้งหมดของชิ้นงานที่ทำให้ผิวโลหะแห้ง(W)

q_s = Sensible heat (W)

q_l = ค่าความร้อนแฝง(W)

q_f = ค่าความร้อน โดยการเผาไหม้(W)

h_f = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน $W/m^2 K$

T_h = อุณหภูมิความร้อนที่ผิวโลหะ(K)

T_i = อุณหภูมิความร้อนที่ผิวโลหะที่เริ่มต้น(K)

$T_{\infty,1}$ = อุณหภูมิภายในเตาอบแห้ง(K)

$T_{\infty,4}$ = อุณหภูมิภายนอกเตาอบแห้ง(K)

K = ค่าการนำความร้อน ($w/m^2 K$)

ρ = ค่าความหนาแน่นของโลหะแผ่น=7854 kg/m^3

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในเตา $W/m^2 K$

C_p = ค่าความจุความร้อนของแผ่นโลหะ(434 $J/(kg K)$)

L = ค่าความชื้นในแผ่นโลหะ (kg)

Δt = เวลาในการอบแห้ง (s)

λ_v = ค่าความร้อนแฝงที่ทำให้ น้ำกลายเป็นไอ (2256.97 KJ/Kg)

A_c = พื้นที่ผิวของแผ่นโลหะ(m^2)

A_r = พื้นที่ผิวของแผ่น โลหะที่สัมผัสลมร้อน(m^2)

R_f = ค่าความต้านทานฉนวนของผนังเตาอบ

X = ค่าความหนาของแผ่น โลหะ (m)

W = น้ำหนักเฉลี่ยของแผ่น โลหะ (kg)

t = รอบเวลารวมของการอบชิ้นงานให้ได้การแห้งชิ้นงานให้สนิทและใช้เวลาให้น้อยที่สุด

V_c = ความเร็วของ Conveyor ในการป้อนชิ้นงานเข้าสู่เตาอบในทิศทางสวนกระแสลมร้อนของชิ้นงาน โดยความเร็วนี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระบบควบคุมของเครื่องจักร

TH = ความหนาของแผ่นเหล็ก

T_c = อุณหภูมิของการนำความร้อนของโลหะแผ่นภายในเตาอบของการอบแห้ง

T = อุณหภูมิใดๆ ของผิวชิ้นงานสำเร็จของการอบแห้งในระหว่างชิ้นงานผ่านในขบวนการของเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าความต้องการทางด้านการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเจริญของประเทศ ซึ่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ถ่านหิน, ปิโตรเลียม, แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ประกอบกับเกิดวิกฤตการณ์ของพลังงานมีราคาที่สูงขึ้น ดังนั้น ภาครัฐและเอกชนจึงมีนโยบายที่จะหาพลังงานอื่น ๆ มาช่วยทดแทนพลังงานที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์, พลังงานลม แต่พลังงานในรูปแบบดังกล่าวนี้จะต้องนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือที่ทันสมัยและมีราคาแพงมาก จึงทำให้ยากที่จะนำพลังงานเหล่านี้มาใช้เพราะมีต้นทุนในการผลิตสูง หรือความพยายามที่จะนำน้ำมันเชื้อเพลิงมาผสมรวมกับสารสกัดจากพืช เพื่อนำมาผสมกันและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงใหม่เช่นการนำน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม เรียกว่า "ไบโอดีเซล"

พลังงานที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น บางส่วนก็อยู่ในระหว่างการวิจัยเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์ในการนำมาทดแทน แต่ในระหว่างที่รอแนวทางการพัฒนาเราได้ลองทบทวนมาสิ่งที่ใช้ในปัจจุบัน คຸ້ມคຳหรือไม้แล้วจะอย่างไรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในภาคอุตสาหกรรมที่มีการนำเชื้อเพลิงแก๊ส (LPG) มาใช้อยู่แล้ว จึงนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุดให้ดีกว่าในปัจจุบัน

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบการสร้างเตาอบแห้งโดยทั่วไปมักจะมีการออกแบบสร้างโดยอาศัยข้อมูลขณะเมื่อเริ่มต้นออกแบบ จะมีการกำหนดขนาดของเตา ความเร็วของสายพานลำเลียงและอุณหภูมิภายในเตาด้วยค่าของข้อมูลเมื่อขณะเริ่มต้นการออกแบบเตาโดยที่ค่าข้อมูลเหล่านี้มักจะถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานของเตาในการใช้งานมาตลอดระยะเวลาการใช้งาน แต่เมื่อเวลาผ่านไป มีการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่ อาจจะมีขนาดเล็กกลง, ใช้วัสดุบางลงหรือทำชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้นใช้วัสดุหนาขึ้น แต่ในสายการผลิตมักจะไม่มีการปรับเปลี่ยนขนาดของอุณหภูมิตามการเปลี่ยนแปลงของการออกแบบผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดสภาวะการให้พลังงานความร้อนที่เกินความจำเป็นต่อการอบแห้งของชิ้นงาน ซึ่งหมายถึงการสูญเสียค่าพลังงานความร้อนหรือเชื้อเพลิงโดยสูญเปล่าจากการที่เราตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบที่สูงเกินความจำเป็น ดังนั้นในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการคิดค่าตัวแปรการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องที่ใช้ในการอบแห้งของโลหะแผ่นที่ใช้แก๊ส แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง

การอบชิ้นงานให้แห้งเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับงานสังขึ้นส่วนที่ต้องการความคงทน และเป็นการเตรียมผิวก่อนขบวนการพ่นสีเพื่อให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานได้นานเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบอื่นๆ งานอบแห้งคือกระบวนการที่เป็นการทำงานให้เกิดต้นทุนที่สูง ดังนั้นจึงมีการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องที่ให้ค่าความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ถึงแม้ว่าในอุตสาหกรรมการอบแห้งจะมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่บางครั้งพบว่าผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจน้อยมาก สำหรับทุกๆ กระบวนการของการอบแห้งรวมถึงการแก้ไขปัญหาซึ่งบ่อยๆ ครั้งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพนักงานมากกว่าจะใช้ความรู้ตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปมักมองว่ากระบวนการอบแห้งมีความควบคุมอย่างง่ายแต่แฝงไว้ในความสูญเสียเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอายุของโครงสร้างและความเสื่อมสภาพของวัสดุที่ใช้ในการควบคุมทางความร้อน อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทำให้เกิดความเข้าใจแง่มุมหรือมุมมองต่างๆ สำหรับกระบวนการอบแห้ง และวิธีการที่ประสบความสำเร็จในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด (Arun S. Mujumdar. 2007 : 126-127)

การศึกษาการออกแบบ การควบคุม และการค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในระบบการอบแห้งทางความร้อนเป็นพื้นฐานที่สำคัญเพราะความต้องการสำหรับงานอบแห้งอย่างต่อเนื่องมีดังนี้

ต้นทุนสำหรับกระบวนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องลดลง ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้จำเป็นที่จะต้องหาส่วนที่มีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงทางความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเช่น ผนังเตาอบ และหัวข้ออื่นๆ ที่สำคัญคือ

- เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของค่า ความร้อนที่เกิดขึ้นที่มีผลต่อขบวนการการอบแห้งภายในเตาอบ

- เพื่อศึกษาแนวทาง การปรับปรุง การให้ความร้อนกับการอบแห้งให้มีประโยชน์สูงสุด

- เพื่อศึกษาค่าตัวแปรของ ค่าความร้อนในการอบแห้งในขบวนการ

- เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานการคำนวณการหาค่าเชื้อเพลิงที่จะนำไปใช้ได้อย่างง่ายในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์การใช้เชื้อเพลิงต่อไป

โดยทั่วไปการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องมุ่งเน้นเพื่อที่จะทำให้ต้นทุนในกระบวนการใช้เชื้อเพลิงให้น้อยที่สุดแต่ก็ต้องประกอบไปกับการอบชิ้นงานให้แห้งอย่างสมบูรณ์ ไม่มีความชื้นที่ชิ้นงานที่มีคุณภาพซึ่งต้นทุนให้ต่ำในกระบวนการที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย

- ต้นทุนที่เกิดจากเครื่องมือและอุปกรณ์ในการควบคุมการใช้เชื้อเพลิง

- ต้นทุนควบคุมเครื่องจักร

- ต้นทุนการใช้เชื้อเพลิง LPG

- ต้นทุนแรงงาน , วัสดุคิบ และผลจากการเกิดเวลาสูญเสียในกระบวนการอบแห้ง

ในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งอย่างต่อเนื่องดังที่กล่าวมาข้างต้นจะพบเสมอว่า สิ่งที่เป็นตัวแปรในการควบคุมกระบวนการอบแห้งจะประกอบด้วย (Malkin S. 1976 : 56-62)

- โครงสร้างและผนังของเตาอบ
- การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
- ปริมาณการใช้ของเชื้อเพลิง
- ปริมาณของวัตถุที่ทำการอบ
- พื้นที่ผิวของชิ้นงานที่ทำการอบแห้ง
- คุณสมบัติของวัตถุดิบชิ้นงาน
- ค่าการแลกเปลี่ยนทางความร้อนภายในเตาอบ

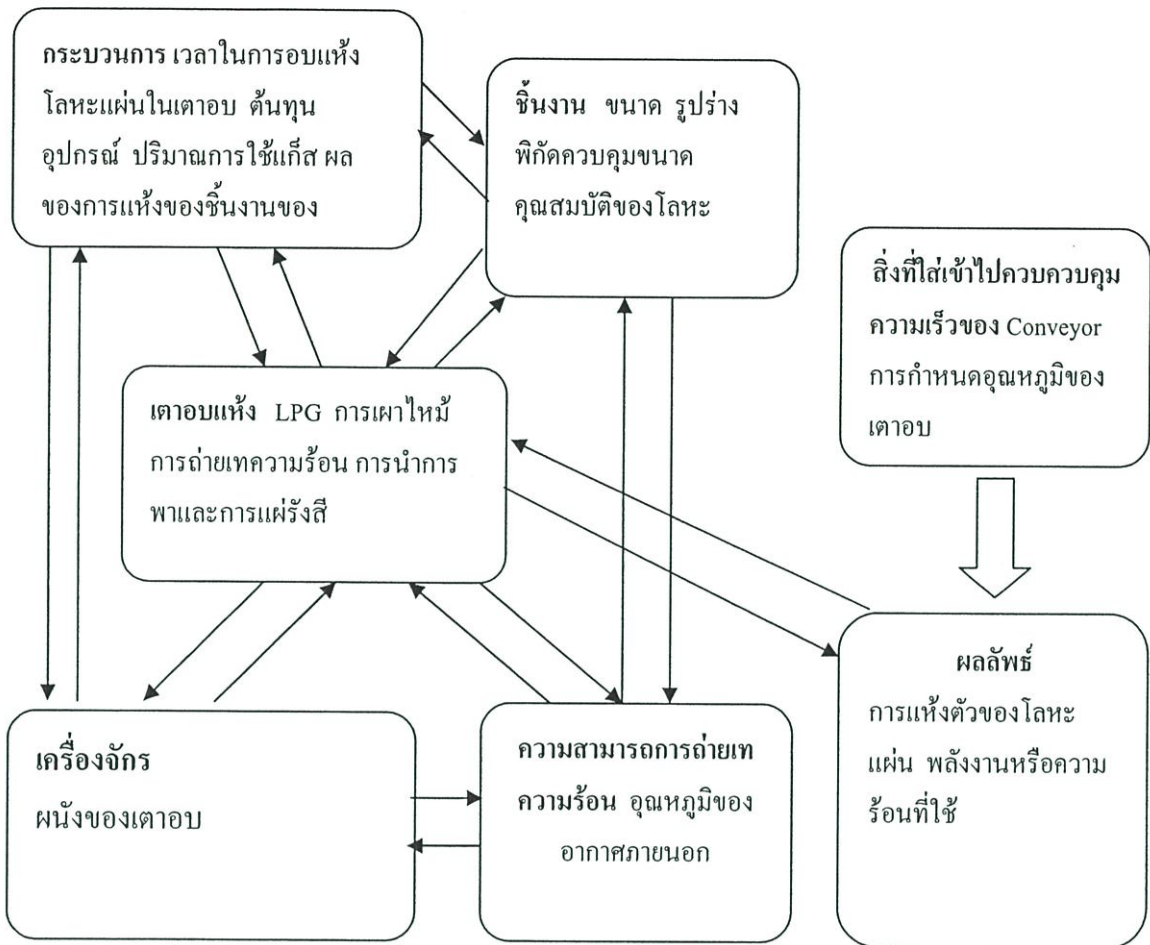
การค้นหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิของการอบแห้ง จำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ที่มีส่วนควบคุมกระบวนการผลิตและส่วนประสิทธิผลในการถ่ายเททางความร้อนระหว่างความร้อนภายในเตากับชิ้นงาน ผลลัพธ์ของการหาสภาพที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งเป็นผลมาจากการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยสรุปจากที่กล่าวมาเวลาในการอบแห้งใช้เวลาที่ต่ำสุดจะมีผลต่อต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิงลดลงซึ่งการจะทำให้เวลาในการใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ให้คุณภาพของชิ้นงานดีที่สุดมีผลต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานได้โดยตรงเป็นต้น

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นส่วนประกอบพื้นฐานของกระบวนการการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมจะเลือกจากตัวแปรต่างๆ นี้ในการทำการทดลองว่าจะกำหนดตัวแปรใดเป็นตัวแปรที่คงที่ และตัวแปรตามจะเห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมินั้นมีความสัมพันธ์กันหลายๆ ตัวแปรซึ่งผู้ที่ทำการศึกษาจะต้อง ทราบความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร โดยจากการทดลองหรืองานวิจัยที่ผ่านมา (Arun S. Mujumdar, 2007 : 126-127)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์หาพฤติกรรมการความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด และมีการสร้างแผนผังที่เลือกใช้ให้เหมาะสมสะดวกในการนำไปใช้ ที่ให้ทั้งคุณภาพและใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุด ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยการศึกษามุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการที่จะนำมาใช้สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับชิ้นงานในช่วงการปรับอุณหภูมิใดๆ ให้เหมาะสมและคุ้มค่าโดยมีเป้าหมายจากการศึกษานี้จะทำให้สามารถทำให้สามารถลดอุณหภูมิของชิ้นงานกระบวนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องเป็นการลดต้นทุนสำหรับการผลิต และมีผลต่อการตัดสินใจในการปรับปรุงเครื่องจักรในอนาคต

และจากการศึกษานี้ยังทำให้ทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีส่วนเกี่ยวข้องอันจะนำไปสู่การวิจัยในส่วนอื่นๆ ต่อไปเช่น วิธีการปรับปรุงการควบคุมการใช้ความร้อน คุณสมบัติของฉนวนที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร การถ่ายที่มีความสูญเสียทางความร้อนในให้ใช้พลังงานอย่างประหยัดที่สุดเป็นต้น



รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในกระบวนการอบแห้ง

1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องจักรและออกแบบตัวแปรในระบบเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องที่เกี่ยวข้องต่อวัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.3.2 ออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ออกแบบ

1.3.3 นำข้อมูลที่ได้สร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขการควบคุม

1.3.4 ทำการหาช่วงค่าที่เหมาะสมจากสมการที่ได้จากการทดลอง

1.3.5 นำผลที่ได้จากการคำนวณไปทดสอบในกระบวนการอบแห้งจริง

1.3.6 ทำการสรุปผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบการคำนวณ กับขบวนการผลิตจริง

1.3.7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.3.8 เขียนรายงานวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

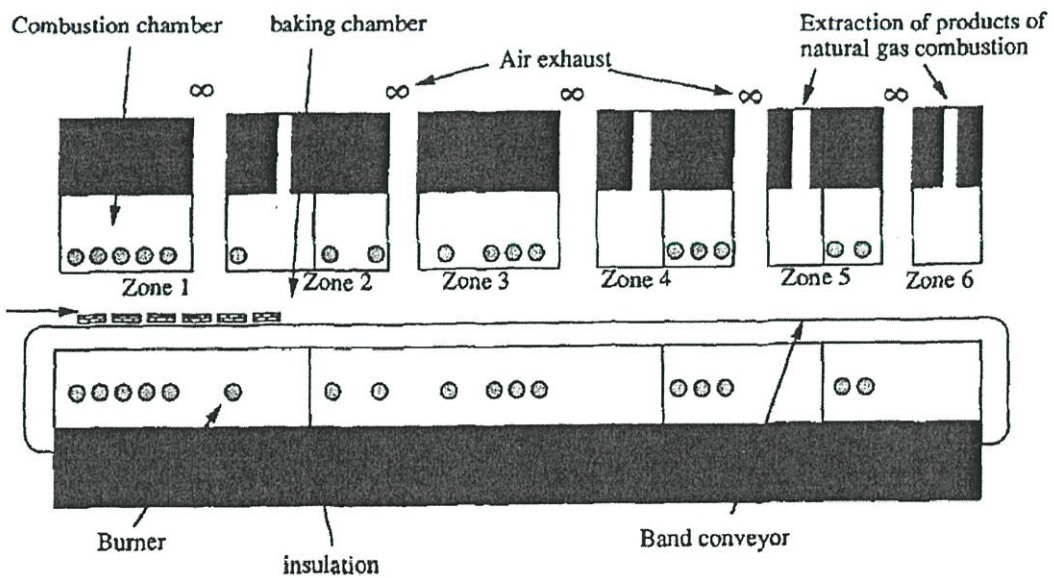
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกรณีศึกษาเพื่อเป็นแนวทางของการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาเพื่อศึกษาและค้นคว้าเพิ่มเติม การศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง ที่มีงานวิจัยทำการทดลองหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงดังต่อไปนี้

2.1 การทดลองของ D.Fahloul และคณะ (1994)

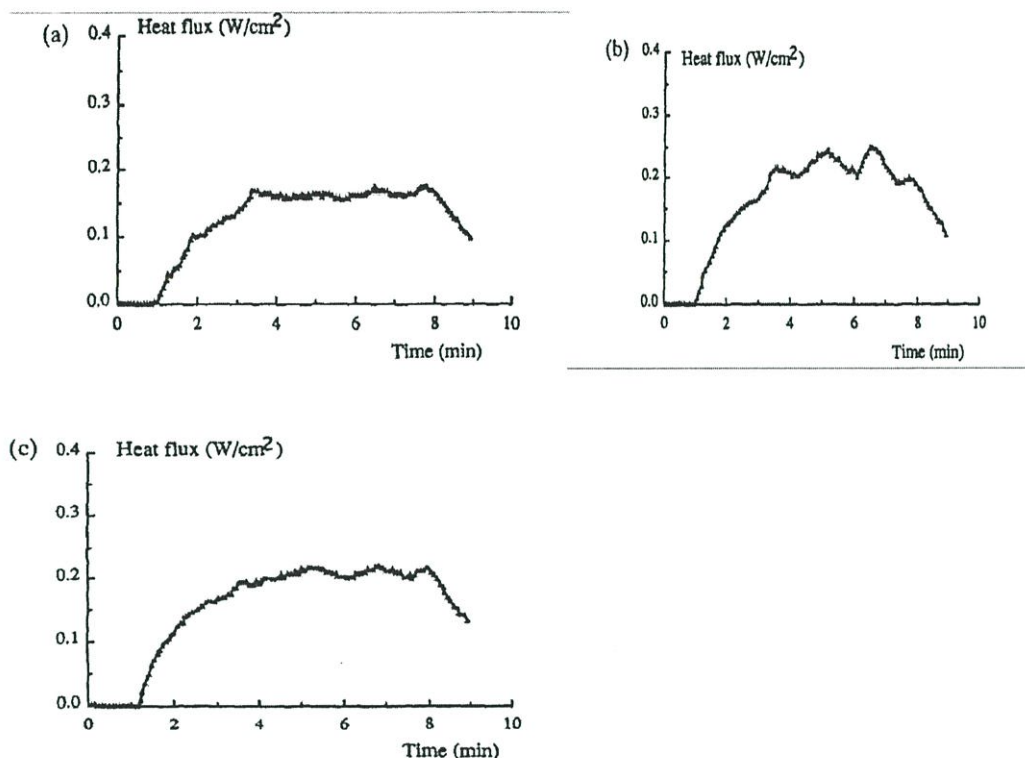
ในชื่อเรื่อง Measurements and Predictive Modelling of Heat Fluxes in Continuous Baking Oven ในบทความนี้ศึกษาถึง ระบบการถ่ายเทความร้อนภายในเตาอบแบบต่อเนื่อง ระหว่างการอบขนมปังภายในเตา

จากสมการของการสมดุลพลังงาน โดยพิจารณาจากรูป 2.1 ดังนี้

$$e_b v_t \rho_b C_{pb} \cdot \frac{dT_b}{dx} = q_{cv} + q_r + q_{cd} - q_{vap}$$



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเตาอบแห้งของขนมปัง



รูปที่ 2.2 ผลการทดลองที่ได้ระหว่าง heat flux (W/cm²) จากเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง
(a) ผ่านเตาอบครั้งที่ 1 (b) ผ่านเตาอบครั้งที่ 2 (c) ผ่านเตาอบครั้งที่ 3

สรุปผลการทดลองจะพบว่าเป็นการวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง เป็นแนวทางในการศึกษาตัวแปรต่างๆ จึงเพื่อศึกษางานวิจัยต่อไป

2.2 การทดลองของ B.Broyart และ G.Trystram (2001)

ในชื่อเรื่อง Modelling heat and mass transfer during the continuous baking of biscuits ในบทความนี้ได้ศึกษา การจำลองการหาความร้อนและปริมาณของขนมปังในการอบแห้งบนเตาอบอย่างต่อเนื่อง

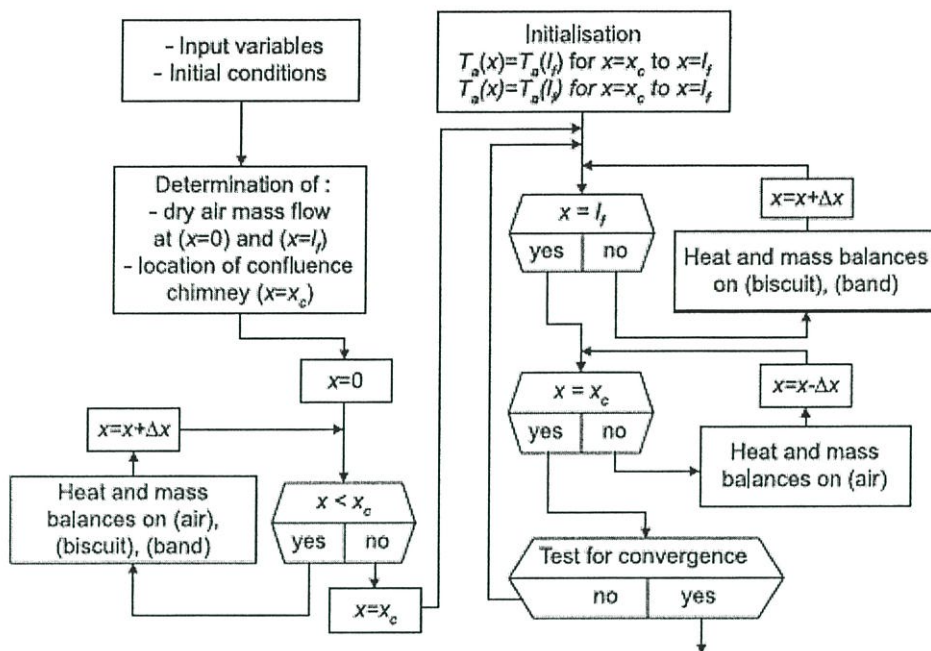
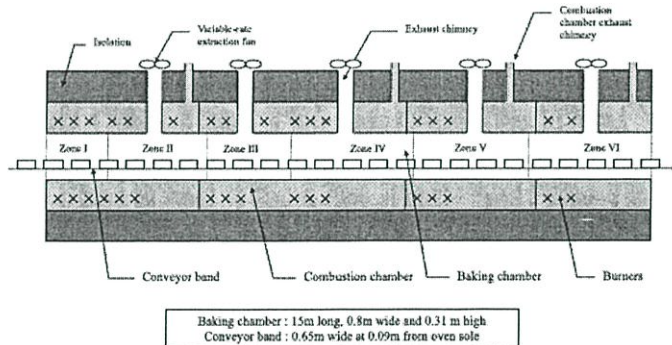


Fig. 2. Model solving procedure.

รูปที่ 2.3 สมการการคำนวณหาค่าความร้อนของเตาอบแห้งของขนมปัง

เป็นการสร้างตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ในรูปแบบการคำนวณในการสร้างเตาอบขนมปัง



15 m long, pilot-scale, indirectly fired, multi-burner oven.

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเตาอบแห้งของขนมปัง

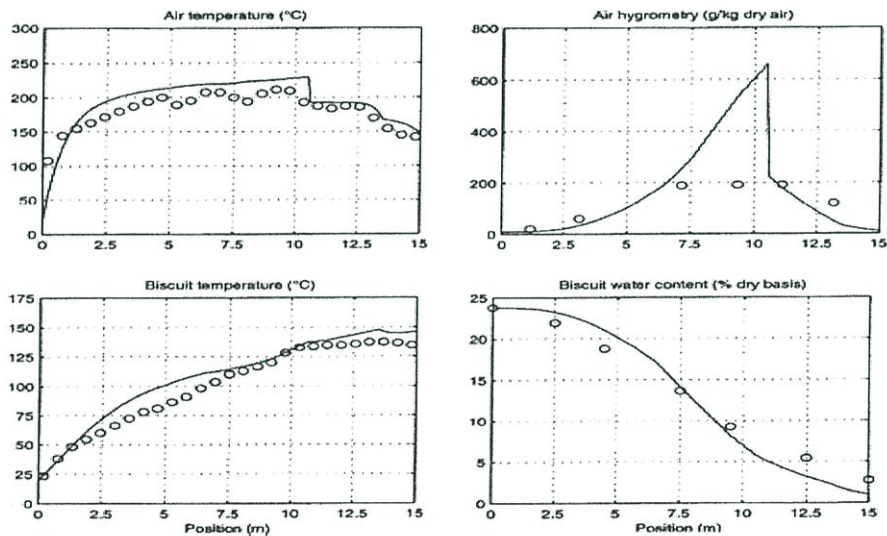
การบันทึกข้อมูลของผลการทดลอง

ตารางที่ 2.1 ผลการทดลองแสดงเป็นความสัมพันธ์อุณหภูมิ โซนต่างๆของเตาอบ

Baking conditions in the gas-fired pilot scale oven

Trial number	Temperature set point (°C) for each baking zone (1-6)	Extraction scheme (m/s) (chimneys 1-5)
1	150-150-150-150-150-150	1.9-2.9-1.6-0.9-1.0
2	150-150-150-150-150-150	1.0-0.9-1.6-2.5-2.0
3	150-170-190-210-230-250	1.9-2.9-1.6-0.9-1.0
4	150-170-190-210-230-250	1.0-0.9-1.6-2.5-2.0
5	200-200-200-200-200-200	1.9-2.9-1.6-0.9-1.0
6	200-200-200-200-200-200	1.0-0.9-1.6-2.5-2.0
7	250-230-210-190-170-150	1.9-2.9-1.6-0.9-1.0
8	250-230-210-190-170-150	1.0-0.9-1.6-2.5-2.0
9	250-250-250-250-250-250	1.9-2.9-1.6-0.9-1.0
10	250-250-250-250-250-250	1.0-0.9-1.6-2.5-2.0

ผลการทดลอง



รูปที่ 2.5 กราฟที่แสดงถึงอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและชิ้นงานที่ได้จากผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองจะพบว่าเป็นการวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน ที่ได้จากเตาอบแห่งนี้อย่างต่อเนื่อง ที่แสดงพฤติกรรมทางความร้อนการศึกษาดัชนีแปรต่าง ๆ จึงมีผลกระทบต่อกรอบแห่งเป็นข้อมูลพื้นฐานทางการวิจัยต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

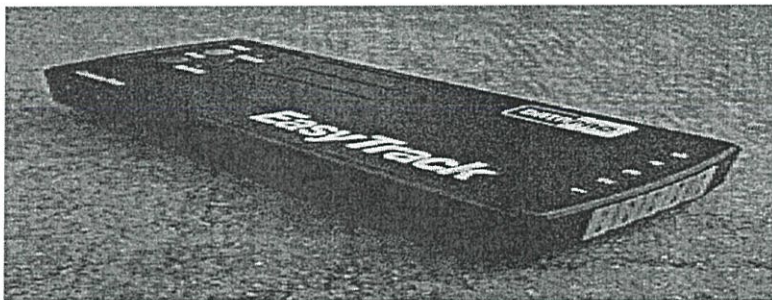
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

การทดลองหาอุณหภูมิของเตาอบเราสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง
2. การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
3. การปรับอุณหภูมิของเตาอบที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน
4. การทดลองการทดลอง การคำนวณและบันทึกผลการทดลอง

โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนที่ทำการทดลองมีดังนี้

1. การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง
 - 1.1 ชุดอุปกรณ์การบันทึกข้อมูล(Easy Track Data Logger)



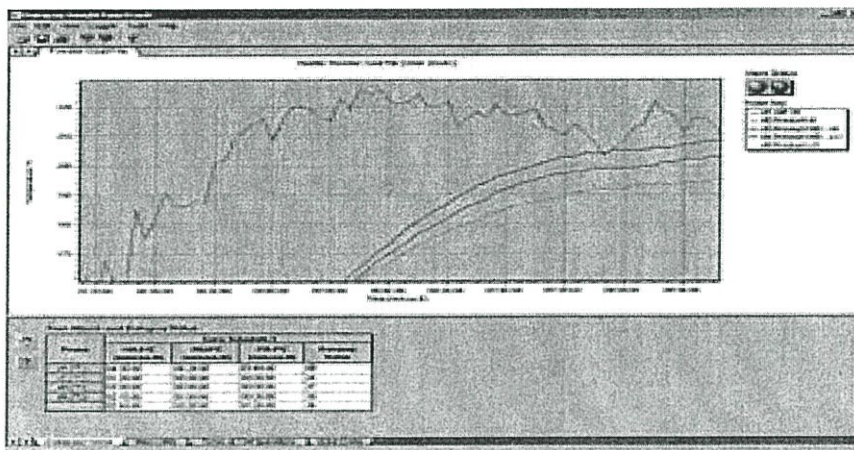
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์การบันทึกข้อมูล

- บันทึกอุณหภูมิได้ระหว่าง 0 – 300 C
- เทอร์โมคอมเปิด Type K.



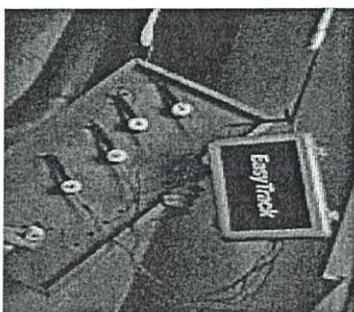
รูปที่ 3.2 เทอร์โมคอมเปิด Type K.

- โปรแกรมการบันทึกข้อมูล EasyTrack Software



รูปที่ 3.3 ผลการบันทึกข้อมูล

2. การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง



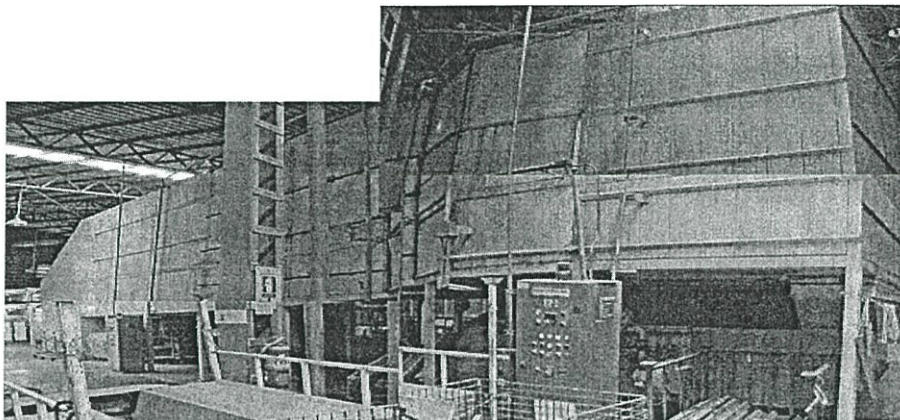
รูปที่ 3.4 การแสดงการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

การวิจัยนี้ทำในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องจริงในโรงงานเครื่องปรับอากาศที่ใช้บโลหะแผ่นก่อนการขึ้นรูป โดยใช้เชื้อเพลิง LPG เป็นเชื้อเพลิง วัตุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กแผ่นชุบกัลวาไนต์ มีชื่อทางการว่า SS41 ถูกชุบด้วย กัลวาไนต์

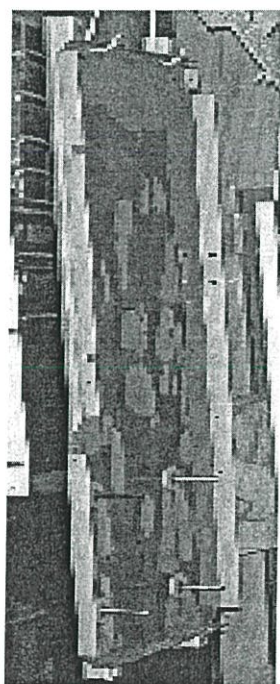
เครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบวัดอุณหภูมิในการทดลองเป็นเครื่องมือวัดชื่อ EASY TRACK เป็นเครื่องมือวัดได้รับการสอบเทียบจากสถาบันภายนอก

3.3 คุณลักษณะและวิธีการทำงานของเครื่องจักร

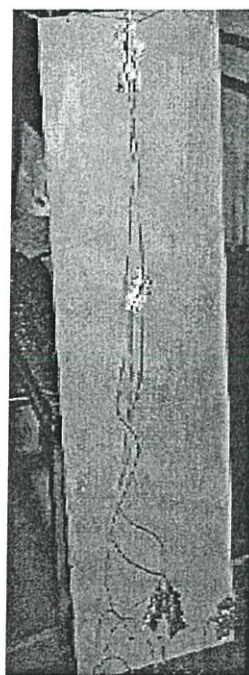


รูปที่ 3.5 เคาบแห้งอย่างต่อเนื่อง

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องเปรียบเทียบก่อนและหลังแสดงดังรูปที่ 3.2

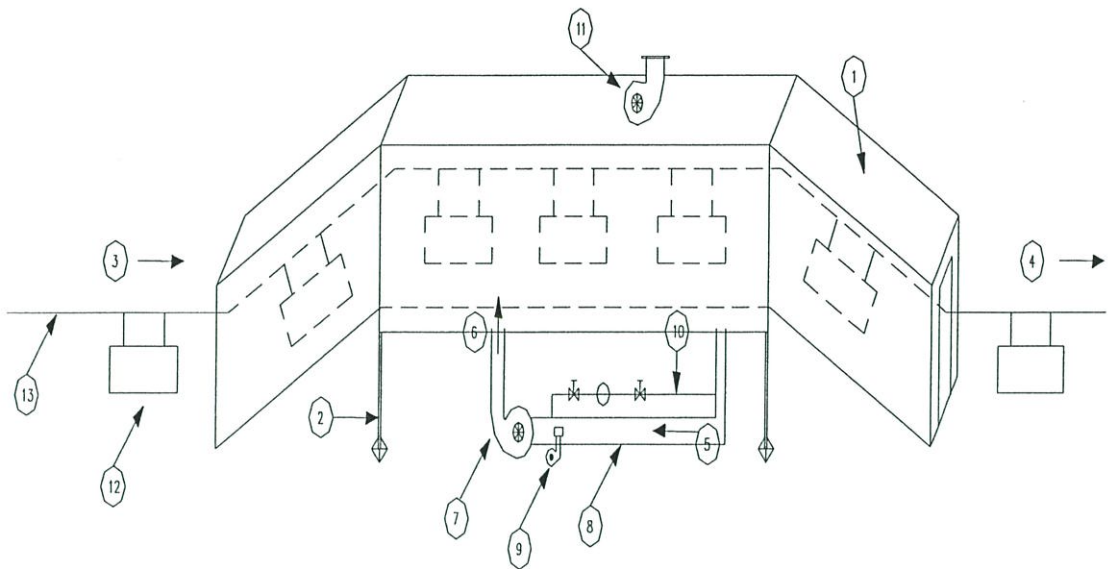


ก่อนการอบแห้ง



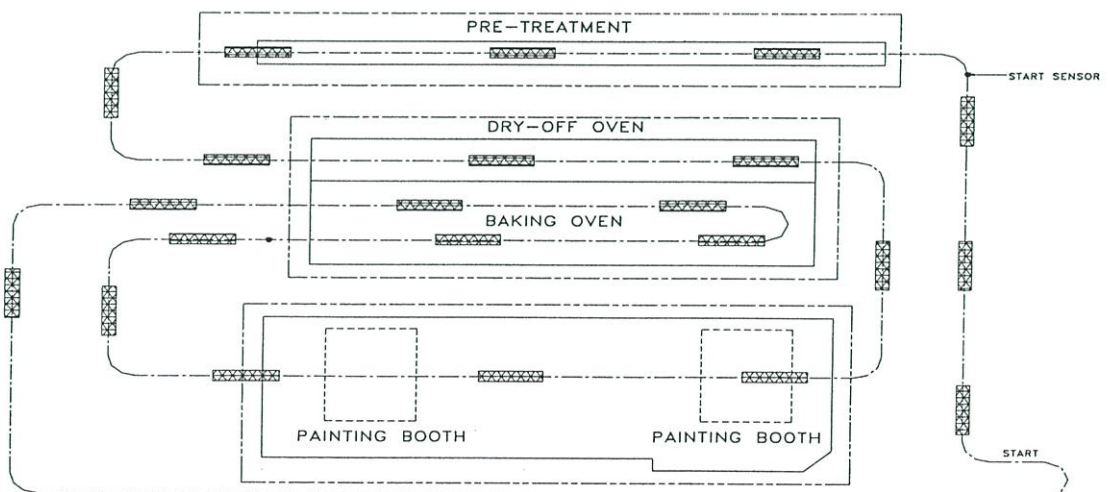
หลังการอบแห้ง

รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบผิวชิ้นงานก่อนและหลังการอบแห้ง



- | | | | |
|---|----------------|----|-----------------|
| 1 | Drying Oven | 8 | Combustion room |
| 2 | Frame | 9 | Primary air |
| 3 | Input product | 10 | LPG supply |
| 4 | Output product | 11 | Exhaust fan |
| 5 | Return hot air | 12 | Sheet metal |
| 6 | supply hot air | 13 | Conveyor |
| 7 | Blower | | |

รูปที่ 3.7 โครงสร้างเตาอบแห้งแบบต่อเนื่อง



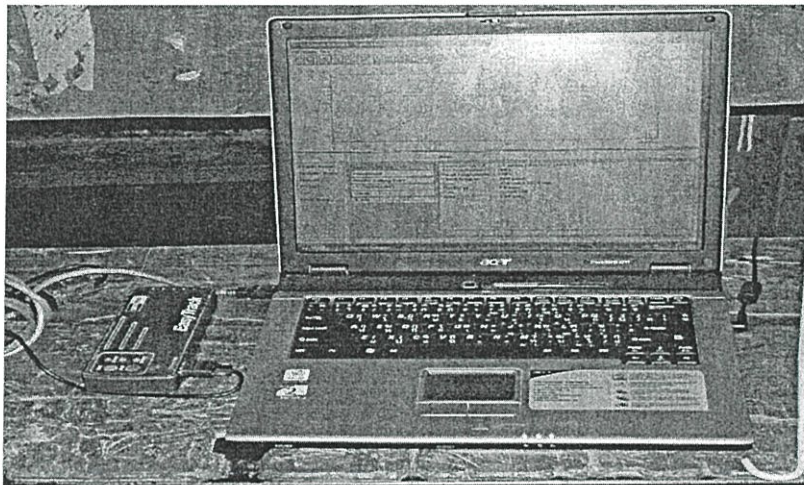
รูปที่ 3.8 แผนผังการอบแห้งของโลหะแผ่นอย่างต่อเนื่อง

หลักการการทำงานของเครื่องจักรแสดงดังรูปที่ 3.3

ชิ้นงานจะถูกแขวนที่จุด start โดยทาง Conveyor ผ่านขบวนการล้างน้ำแล้วเข้าไปในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องที่สามารถตั้งค่าอุณหภูมิที่กำหนดได้แล้วนำไปผ่านขบวนการพ่นสีต่อไป

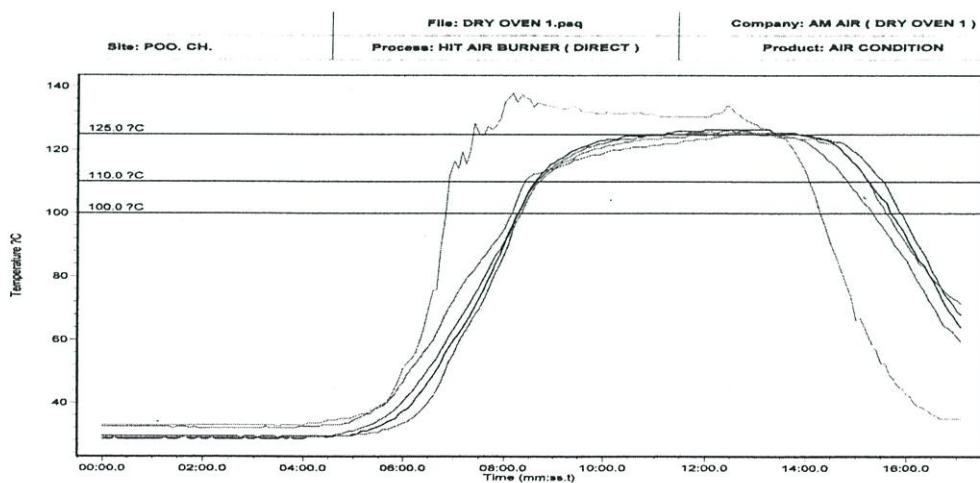
3.4 เครื่องมือและวิธีการวัดอุณหภูมิของชิ้นงาน

ค่าความเรียบผิวจะถูกกำหนดวิธีการวัดโดยผู้ออกแบบชิ้นส่วนโดยในการศึกษาครั้งนี้ ชิ้นงานถูกกำหนดให้วัดค่าความเรียบผิวโดยใช้ลักษณะการวัดในรูปแบบของ Ra การวัดค่าความเรียบผิวในการศึกษานี้ใช้เครื่องมือวัด Mitutoyo รุ่น SJ-301 หลักการใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแผ่นโลหะภายในเตาอบ

การวัดค่าอุณหภูมิของแผ่นโลหะโดยข้อมูลประมวลผลจาก Computer Temperature



รูปที่ 3.10 ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลา

3.5 การออกแบบตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องซึ่งงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบการพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของการหาช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยมีการควบคุมในเรื่องของอุณหภูมิที่ใช้กับชิ้นงานดังนั้นการออกแบบการทดลองเบื้องต้นจึงพิจารณาตัวแปรต่างๆ ของเครื่องจักรที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการควบคุมความเร็ว Conveyor คงที่ จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงหลักการในการทำงานของเตาอบแห้งและการเคลื่อนของชิ้นงานเงื่อนไขนำมาพิจารณาออกแบบตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

- t คือรอบเวลารวมของการอบชิ้นงานให้ได้การแห้งชิ้นงานให้สนิทและใช้เวลาให้น้อยที่สุด
- V_c เป็นความเร็วของ Conveyor ในการป้อนชิ้นงานเข้าสู่เตาอบในทิศทางสวนกระแสความร้อนของชิ้นงาน โดยความเร็วนี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระบบควบคุมของเครื่องจักร
- TH เป็นความหนาของแผ่นเหล็ก
- T_c เป็นอุณหภูมิของการนำความร้อนของโลหะแผ่นภายในเตาอบของการอบแห้ง
- T คือ อุณหภูมิใดๆ ของผิวชิ้นงานสำเร็จของการอบแห้งในระหว่างชิ้นงานผ่านในขบวนการของเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง

จากการออกแบบตัวแปรที่ได้อธิบายถึงความสำคัญดังกล่าวมาแล้วในลำดับถัดมาคือการตั้งสมการวัตถุประสงค์ (Objective function) โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อเวลาดังนี้

$$T = f(t, T_c) \quad (3.2)$$

จากความสัมพันธ์ที่ตั้งขึ้นมายังไม่สามารถทราบรูปแบบของสมการได้ว่าตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างไรจึงต้องทำการทดลองเพื่อดูความสัมพันธ์ที่มีผลต่อรอบเวลา

การออกแบบเงื่อนไขควบคุม (Condition function) พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิของชิ้นงานโดยการออกแบบการทดลองครั้งนี้ได้ตัดการพิจารณาในส่วนของอุณหภูมิที่ภายนอกเตาให้คงที่ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง LPG ให้สมบูรณ์ซึ่งจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ไม่นำพิจารณาดังนั้นจะเหลือค่าคงที่ที่มีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานได้ดังนี้

$$100 \leq T_c \leq 150$$

$$V_c \leq 11/t$$

$$TH = 0.8, 1, 2 \text{ mm}$$

3.6 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของสมการวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขการควบคุม

จากสมการวัตถุประสงค์และสมการควบคุมยังไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่ออกแบบมาดั่งนั้น จึงกำหนดแนวทางการทดลองโดยเริ่มจากเงื่อนไขของตัวแปรอิสระจากการผลิตเดิมที่ใช้อยู่ และทดลองเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของตัวแปรอิสระเพื่อให้เห็นทิศทางหรือแนวโน้ม โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองดังตาราง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขของเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง(Oven Condition)

ปริมาตรภายในเตาอบที่ให้ความร้อน(ตร.ม)	36.96
ความร้อนจากหัวเผา (kcal/kg)	11000
อุณหภูมิของชิ้นงานที่เป็ยก($^{\circ}C$)	25
อุณหภูมิภายนอกห้องเตาอบ($^{\circ}C$)	30
Material Load	SS41

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการแห้งของชิ้นงาน(Drying material condition)

อุณหภูมิภายในเตาอบแห้ง ($^{\circ}C$)	110	120	130	140	150
เวลาการอบแห้ง (นาที)	3.5	2.5	2	1.7	1.5

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขที่ควบคุมในการทดลองโดยค่าที่แสดงจะไม่มีเปลี่ยนแปลงซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรที่กำหนดให้อยู่ในค่าคงที่ และตารางที่ 3.2 เป็นการอ้างอิงการหาอุณหภูมิที่ได้จากทฤษฎี ของ LAMP CAPACITANCE (อ้างอิงบทความที่ได้รับการตีพิมพ์)

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับ อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 1.7 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	$T_v(^{\circ}C)$
t_1, T_1	1.7	0.8	110
t_2, T_2	1.7	1	110
t_3, T_3	1.7	2	110

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 120 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 1.7 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	$T_v(^{\circ}C)$
t_1, T_1	1.7	0.8	120
t_2, T_2	1.7	1	120
t_3, T_3	1.7	2	120

ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับ อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 130 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 1.7 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	$T_v(^{\circ}C)$
t_1, T_1	1.7	0.8	130
t_2, T_2	1.7	1	130
t_3, T_3	1.7	2	130

ตารางที่ 3.6 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิ ที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 140 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 1.7 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	$T_v(^{\circ}C)$
t_1, T_1	1.7	0.8	140
t_2, T_2	1.7	1	140
t_3, T_3	1.7	2	140

ตารางที่ 3.7 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 150 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 1.7 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	th (mm)	T_v (C)
t_1, T_1	1.7	0.8	150
t_2, T_2	1.7	1	150
t_3, T_3	1.7	2	150

ตารางที่ 3.8 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 2 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	T_v (°C)
t_1, T_1	2	0.8	110
t_2, T_2	2	1	110
t_3, T_3	2	2	110

ตารางที่ 3.9 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 120 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 2 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	T_v (°C)
t_1, T_1	2	0.8	120
t_2, T_2	2	1	120
t_3, T_3	2	2	120

ตารางที่ 3.10 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 130 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 2 m/min

ผลิตภัณฑ์	v_c (m/min)	TH (mm)	T_v (°C)
t_1, T_1	2	0.8	130
t_2, T_2	2	1	130
t_3, T_3	2	2	130

ตารางที่ 3.11 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับ อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 140 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 2 m/min

ผลลัพธ์	v_c (m/min)	TH (mm)	$T_v(^{\circ}C)$
t_1, T_1	2	0.8	140
t_2, T_2	2	1	140
t_3, T_3	2	2	140

ตารางที่ 3.12 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา การอบแห้งของชิ้นงานกับ อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน ในอุณหภูมิต่ำสุด 150 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วป้อนของ คอนเวเยอร์ 2 m/min

ผลลัพธ์	v_c (m/min)	TH (mm)	$T_v(^{\circ}C)$
t_1, T_1	2	0.8	150
t_2, T_2	2	1	150
t_3, T_3	2	2	150

ตารางที่ 3.13 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้ง ของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่

ผลลัพธ์	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_1, T_1	110 – 150	$v_c=1.7$ m/min, TH= 0.8 mm

ตารางที่ 3.14 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้ง ของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่

ผลลัพธ์	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_2, T_2	110 – 150	$v_c=1.7$ m/min, TH= 1 mm

ตารางที่ 3.15 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การ อบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็ก

ผลลัพธ์	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_3, T_3	110 – 150	$v_c=1.7$ m/min, TH= 2 mm

ตารางที่ 3.16 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่

ผลลัพธ์	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_1, T_1	110 – 150	$v_c=2$ m/min, TH = .8 mm

ตารางที่ 3.17 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่

ผลลัพธ์	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_2, T_2	110 – 150	$v_c=2$ m/min, TH = 1 mm

ตารางที่ 3.18 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วและความหนาแผ่นเหล็กคงที่

ผลลัพธ์	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_3, T_3	110 – 150	$v_c=2$ m/min, TH = 2 mm

ตารางที่ 3.19 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานกับเวลา การอบแห้งของชิ้นงานที่ความเร็วต่างกันที่หนาแผ่นเหล็กคงที่

ผลลัพธ์	TH(mm)	$T_v(^{\circ}C)$	เงื่อนไขควบคุม
t_1, T_1	0.8	110 – 150	$v_c=1.7$ m/min $v_c=2$ m/min
t_2, T_2	1	110 – 150	$v_c=1.7$ m/min $v_c=2$ m/min
t_3, T_3	2	110 – 150	$v_c=1.7$ m/min $v_c=2$ m/min

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลองและวิธีการสร้างรูปแบบจำลอง

บทนำ

การทดลองการทดลอง การคำนวณและบันทึกผลการทดลอง เราได้ศึกษาโรงงานเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่งที่มี ห้องอบแห้งสำหรับแผ่นโลหะโดยการให้ความร้อนจากลมร้อนที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงและอุณหภูมิคงที่และภายใต้ความเร็วของวัตถุคงที่ โดยข้อกำหนดเฉพาะในเตาอบแห้งแผ่น โลหะสำหรับ โรงงานนี้มีดังนี้คือ

1. อุณหภูมิของเตาสามารถปรับไว้ที่ 100-150 องศา เซลเซียส ที่ความดันหมุนเวียน ของอากาศ=133.32 N/m²
2. สายพานลำเลียงที่วัตถุแขวนอยู่มีความเร็วคงที่ ตามที่กำหนดเมตร ต่อ นาที (น้อยกว่า 2 m/min)แต่ต้องไม่มีผลกระทบต่อกรอบสี่ เมตร ต่อ นาที ช่วงเวลาวัตถุเคลื่อนที่อยู่ในเตาอบยาว 11 เมตร
3. วัตถุแผ่นเรียบหนาสูงสุด 2 มิลลิเมตร
4. ชั้นงาน โลหะแผ่นมีพื้นที่สูงสุด 2.88 ตารางเมตร ที่ความยาวสูงสุด 2.8 เมตร
5. ปริมาตรภายในเตา(m³)ที่ให้ความร้อนคงที่ที่กำหนด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 11 เมตร สูง 2.8 เมตร

6. ความร้อนจากหัวเผา 300,000 kcal/hr (348589.6 W)

การคำนวณเพื่อหาค่าความร้อนต่อชิ้นงาน

คุณสมบัติของโลหะแผ่นมีดังนี้คือ

ค่าการนำความร้อน(k)= 60.5 (w/m² K)

ค่าความหนาแน่นของโลหะแผ่น(ρ)=7854 kg/m³

h =สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในเตา W/m² K

ค่าความจุความร้อน (Cp) =434 J/(kg K)

ความร้อนสูญเสียที่เกิดจาก การนำความร้อน ใน ผนังเตา

การถ่ายเทความร้อนที่สูญเสียไปกับผนังเตาระหว่างความร้อนในเตากับความร้อนในบรรยากาศภายนอกได้จากสมการ

$$q_c = KA_c(T_h - T_i) / X$$

การให้ความร้อนในห้องเตาอบที่เกิดจาก การพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนที่สร้างรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ในห้องเตาอบในการอบแห้งของชิ้นงาน

$$q_f = h_f A_r (T_a - T_c)$$

จากทฤษฎี ค่าความร้อนถ่ายเททั้งหมดมีค่าเท่ากับค่าความร้อนที่ชิ้นงานให้แห้ง โดยคำนวณได้จาก อุณหภูมิของชิ้นงานสูงขึ้นและค่าความร้อนแฝงของการระเหยของความชื้นในชิ้นงาน

$$q_a = q_s + q_l$$

$$q_a = WC_p (T_h - T_i) / \Delta t + \lambda_v L / \Delta t$$

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณค่าความร้อนจากอุณหภูมิต่างๆ

$T_h (^\circ C)$	150	140	130	120	110
$T_i (^\circ C)$	30	30	30	30	30
$\Delta t (s)$	91.4	104.8	122.88	152.3	208.85
$q_s (W)$	8950.47	7155.53	5547.91	4028.59	2611.36
$q_l (W)$	0.049	0.043	0.037	0.030	0.022
$q_a (W)$	8950.52	7155.58	5547.95	4028.62	2611.38

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณค่าความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน

$T_h (^\circ C)$	$q_a (W)$	$q_f (W)$	$q_c (W)$
110	2611.38	78214.81	13939.2
120	4028.62	87018.97	15681.6
130	5547.95	95869.47	17424
140	7155.58	104056.1	19166.4
150	8950.52	112133.7	20908.8

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณหาค่าเวลาในการอบแห้ง

$T ^\circ C$	$Re_L < 5 \times 10^5$	Nu_L	h	$T_m, i ^\circ C$	$T_m, s ^\circ C$	q J/m^2	$Bi < 0.1$	t(s),(min) คำนวณ
150	1849.5	25.13	324.46	30	100	38935.31	0.05	91.4,(1.5)
140	1942.75	25.75	328.46	30	100	36130.59	0.05	104.8,(1.75)
130	2045.87	26.43	332.88	30	100	33288.01	0.06	122.88,(2)
120	2133.69	26.99	335.72	30	100	30214.92	0.06	152.3,(2.53)
110	2186.78	27.64	339.47	30	100	27157.92	0.06	208.85,(3.5)

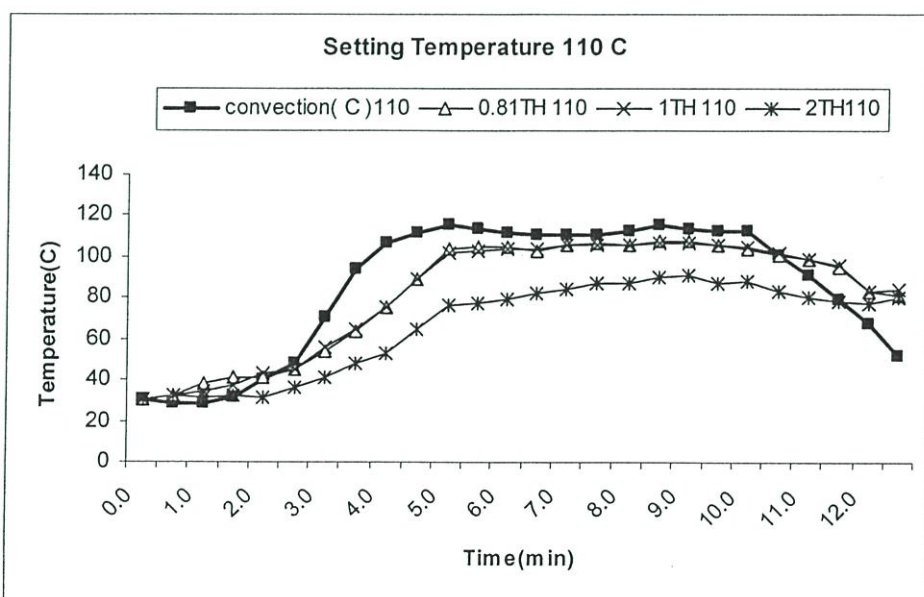
การกำหนดค่า T อุณหภูมิ ลดลง จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า เวลาการอบแห้งจะมากขึ้น ซึ่งจะช่วยพิจารณาการตัดสินใจให้เหมาะสมกับสภาพเวลาในการอบแห้งแผ่น โลหะนั้นๆ

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบเวลาในการอบแห้งทางทฤษฎีเทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้ง

อุณหภูมิภายในเตาอบแห้ง (°C)	110	120	130	140	150
ปริมาณความร้อนในการอบ ชิ้นงาน (W)	78214.81	87018.9	95869.4	104056.	112133.
เวลาการอบแห้งจากการ คำนวณ (นาที)	3.5	2.5	2	1.7	1.5
เวลาชิ้นงานจริงอยู่ในเตา อบแห้ง (นาที)	7	7	7	7	7

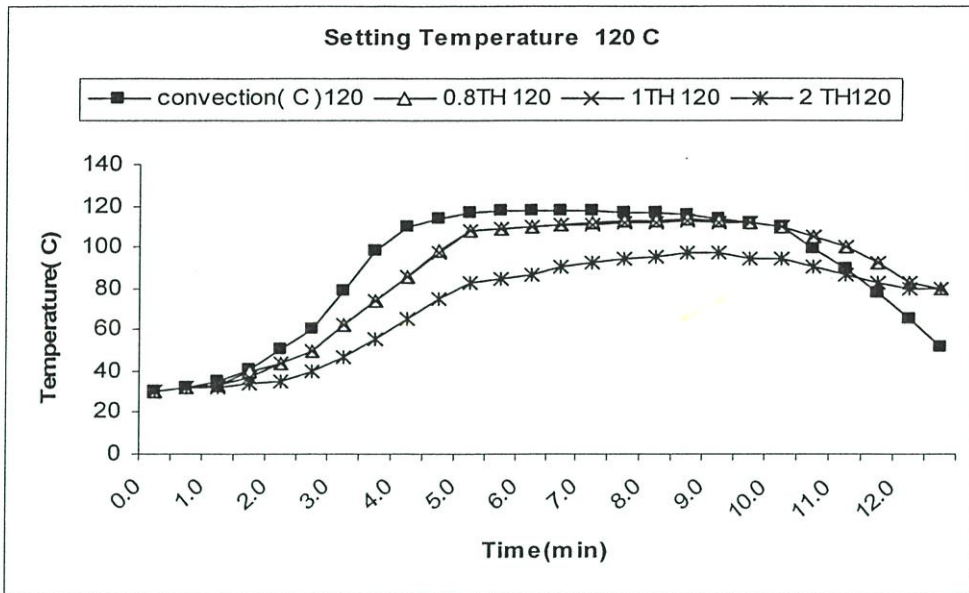
4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์ในรูปแบบของรอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ (T_c) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm ตามลำดับ

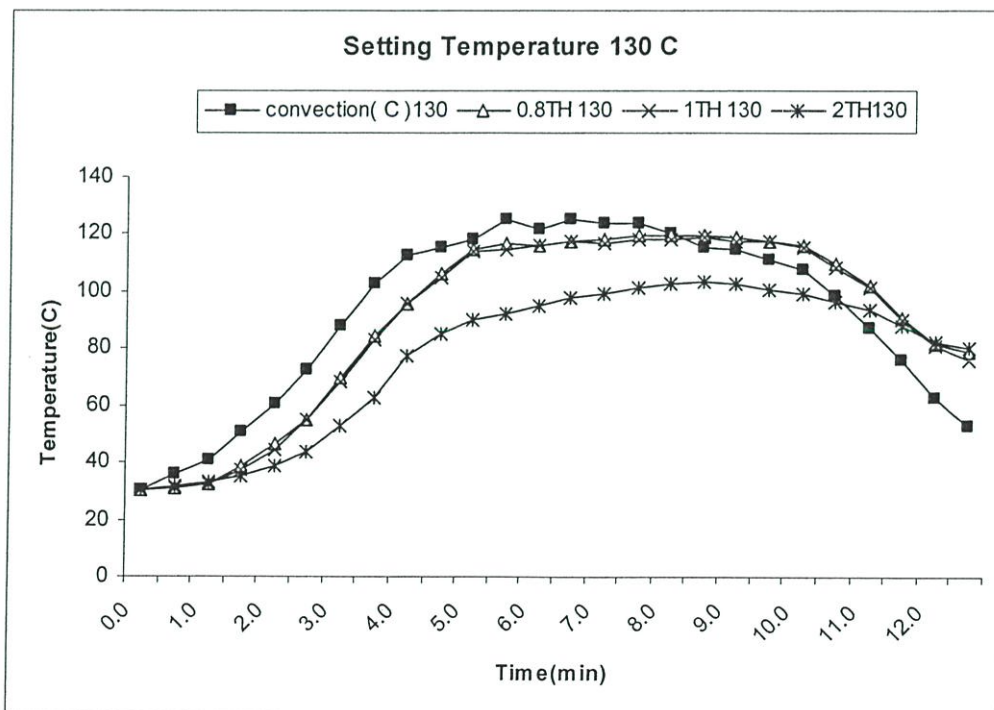


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ

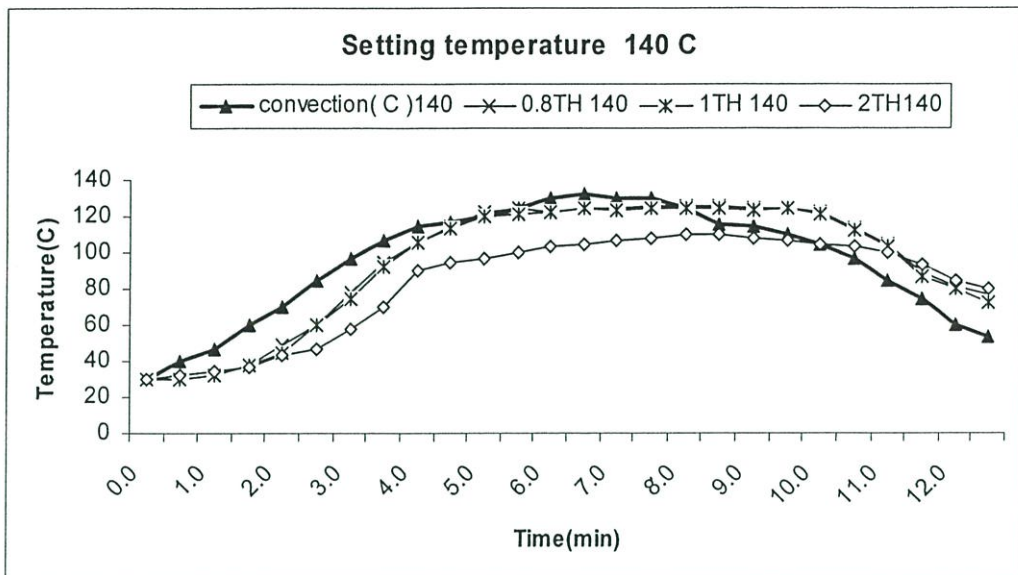
($T_c = 110$ °C) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์(v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm ตามลำดับ



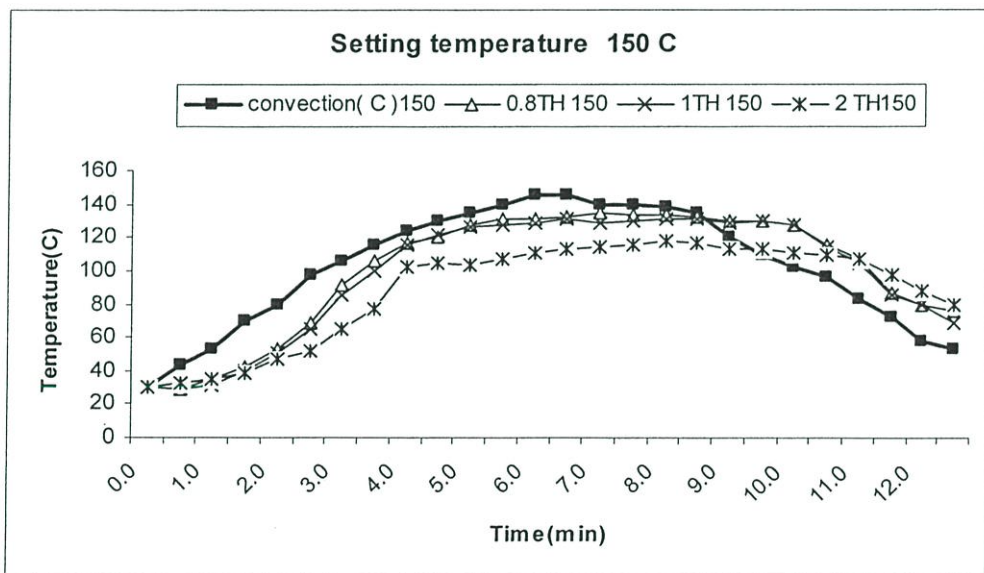
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm ตามลำดับ

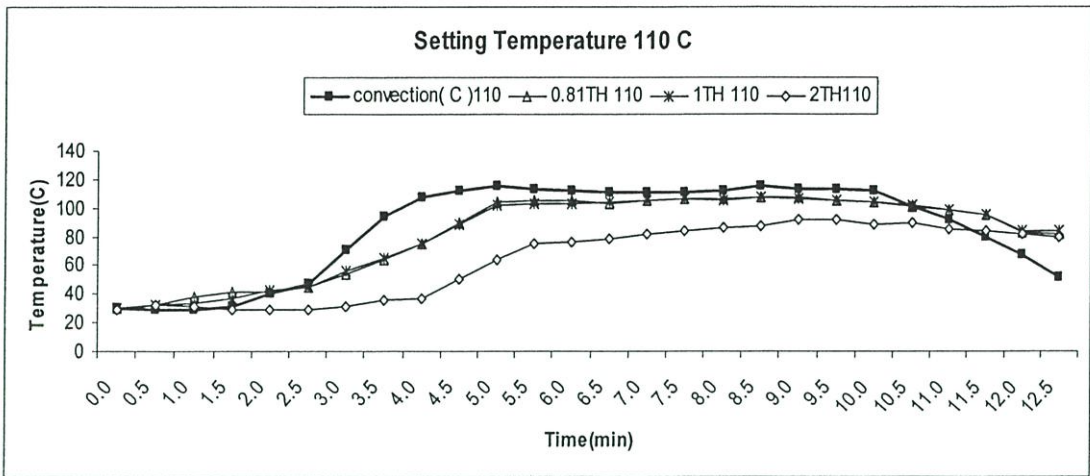


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8, 1 และ 2 mm ตามลำดับ

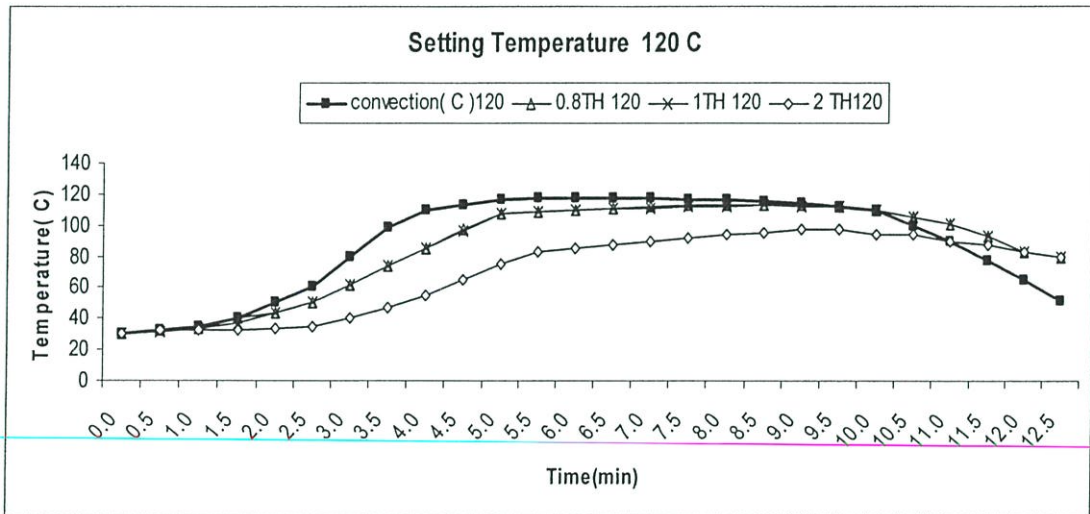


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8, 1 และ 2 mm ตามลำดับ

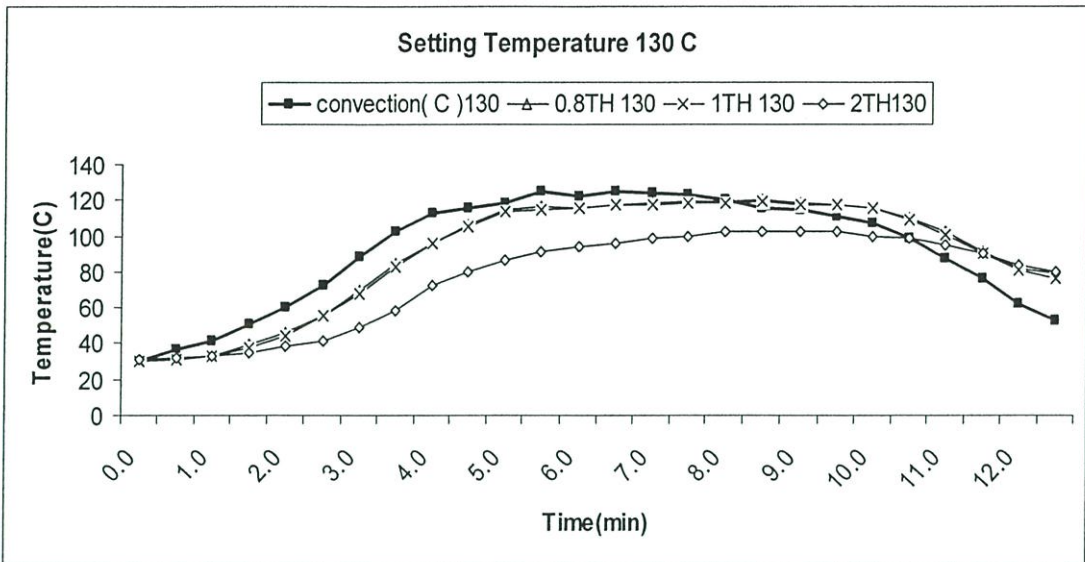
จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 จะเห็นรูปแบบความสัมพันธ์ของเวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งโดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงคือรอบเวลาจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิการอบแห้งภายในเตาอบ อุณหภูมิของชิ้นงานที่ถูกอบมีความชื้นสูงและค่อยลดลงที่ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้



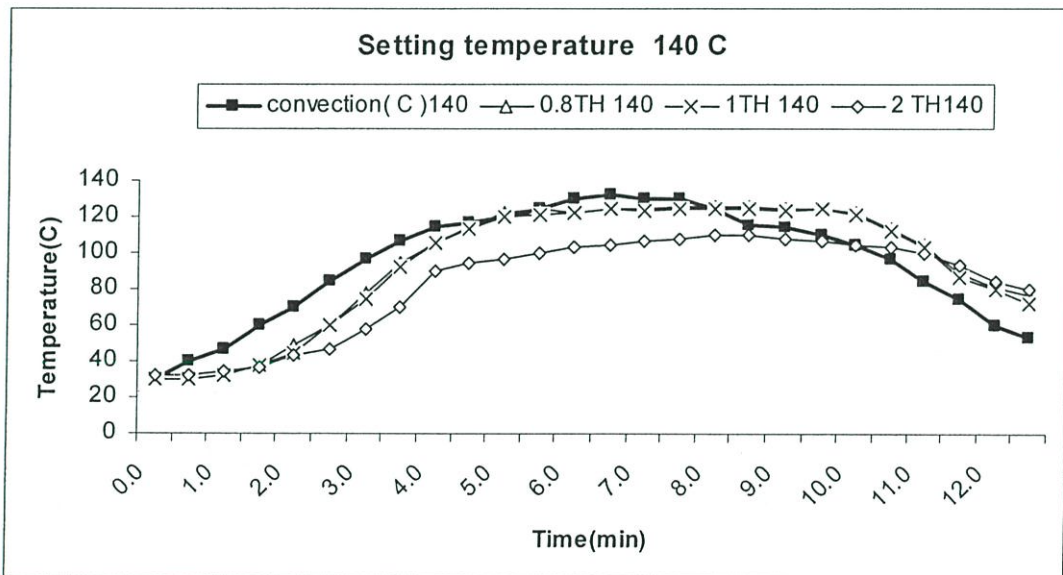
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8, 1 และ 2 mm ตามลำดับ



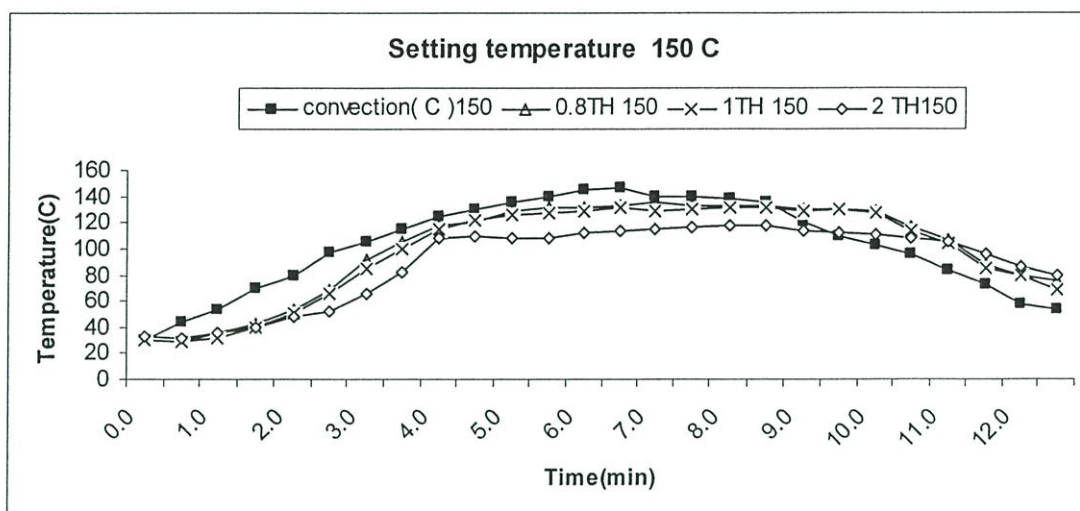
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8, 1 และ 2 mm ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8, 1 และ 2 mm ตามลำดับ



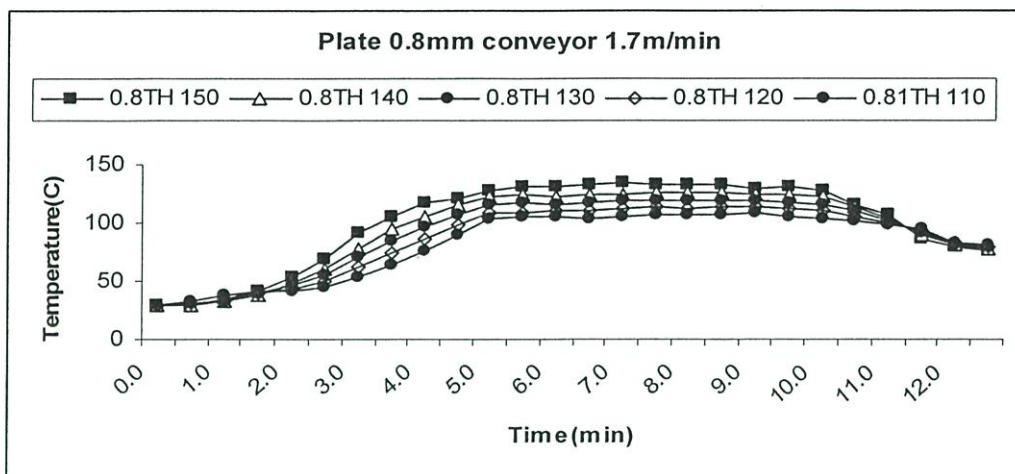
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8, 1 และ 2 mm ตามลำดับ



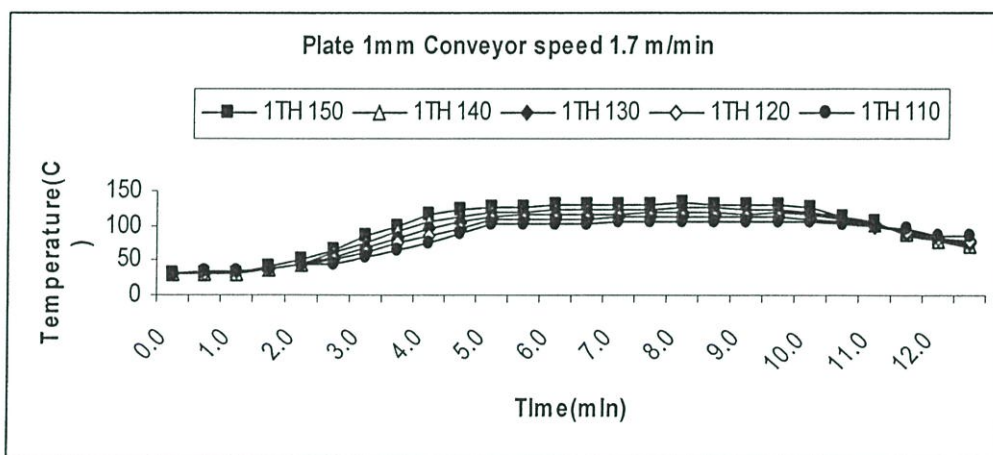
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์รอบเวลาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ ($T_c = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 2 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm ตามลำดับ

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.13 ผลลัพธ์ในรูปของอุณหภูมิของการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเทียบกับเวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min และที่ความหนาของแผ่นโลหะที่ ขนาด 0.8 ,1 และ 2 mm จากรูปที่ 4.6 และ 4.10 จะเห็นได้ว่ารูปแบบจะเห็นรูปแบบความสัมพันธ์ของเวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลง คือรอบเวลาจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิการอบแห้งภายในเตาอบ อุณหภูมิของชิ้นงานที่ถูกอบมีความชันสูงและค่อยลดลงคงที่ตามอุณหภูมิที่ตั้ง คล้ายกันไม่ว่าจะเพิ่มความเร็วของ Conveyor และความหนาของแผ่นเหล็กในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

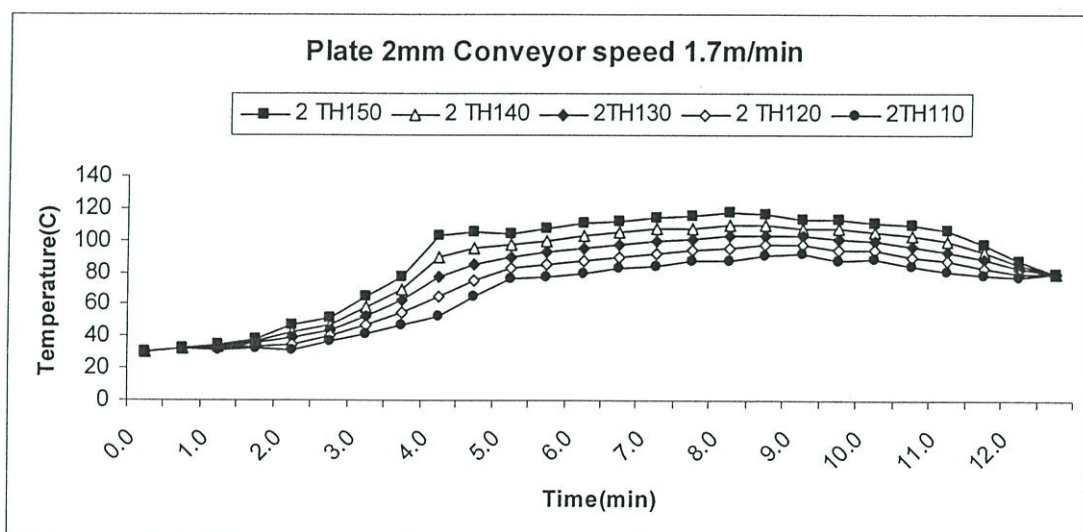
ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.14 ถึง 3.18 โดยกำหนดให้ความหนาของโลหะแผ่นกับความเร็วกวที่ ผันแปรแต่เพียง อุณหภูมิภายในเตาอบที่อุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ (T_c) ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 1.7 m/min ในวัสดุที่มีความหนา 0.8 ,1 และ 2 mm ตามลำดับ



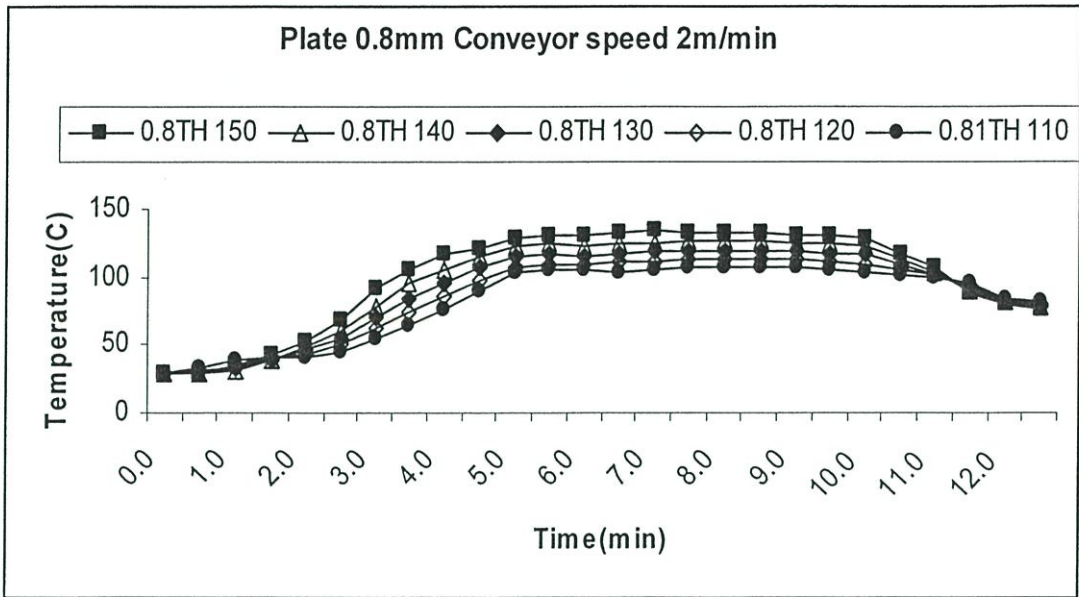
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 1.7 m/min



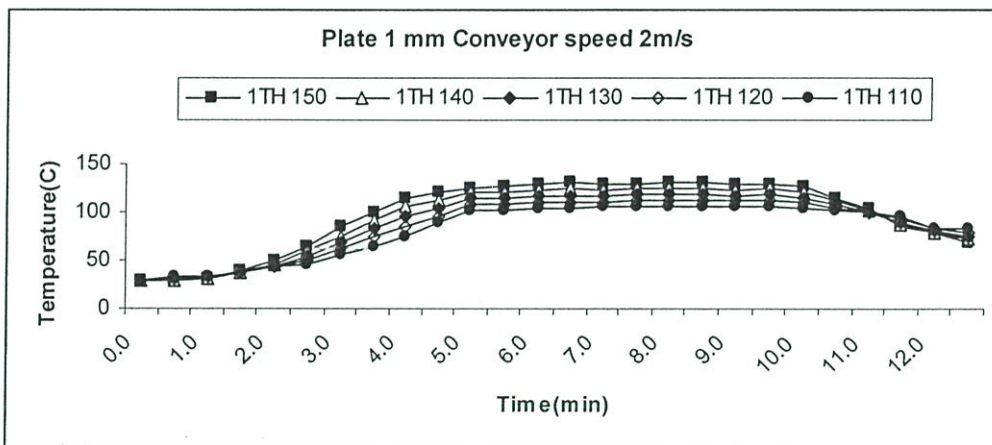
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1 mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 1.7 m/min



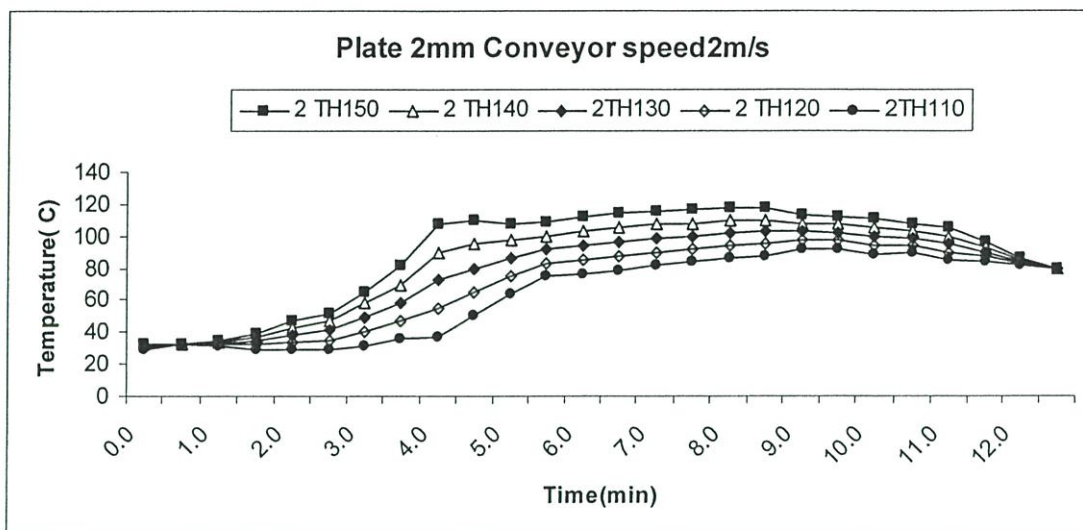
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2 mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 1.7 m/min



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา
เหล็กแผ่นขนาด 0.8mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 2 m/min



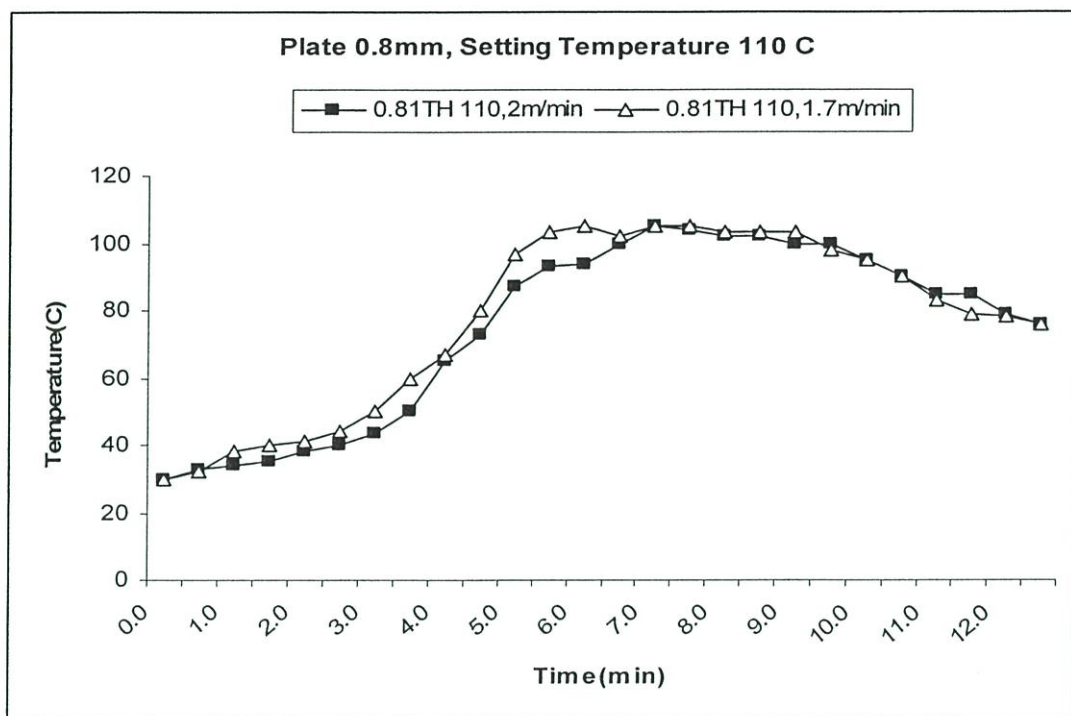
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนา
เหล็กแผ่นขนาด 1mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 2 m/min



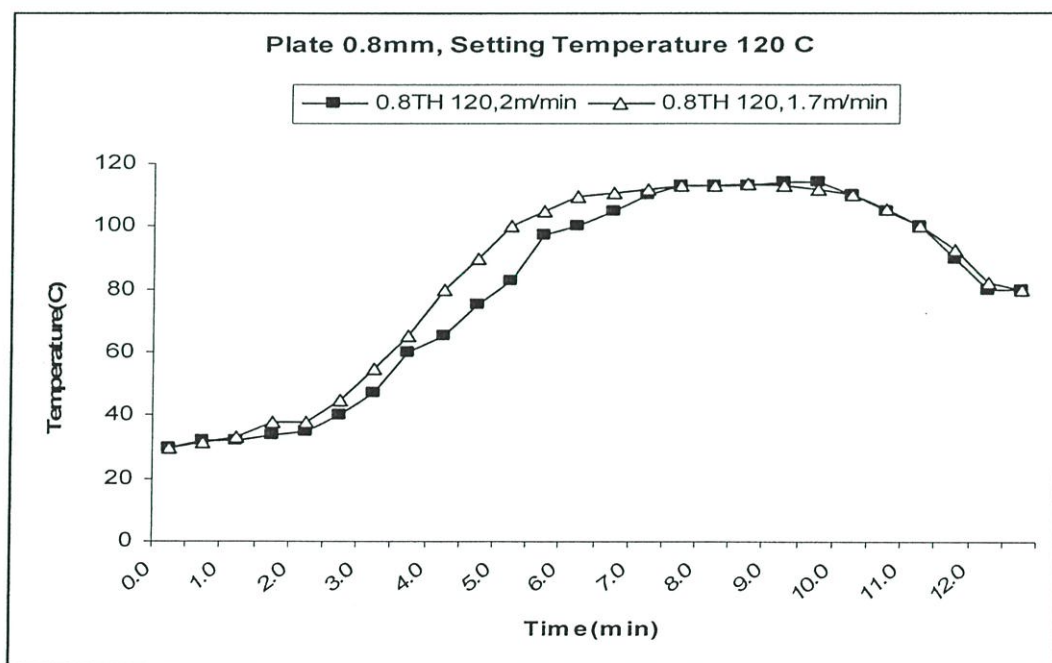
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ 2 m/min

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.13 ถึง 3.18 ผลลัพธ์ผลการทดลองตามเงื่อนไขในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาอบที่อุณหภูมิต่างกันที่ 110-150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8, 1 และ 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ ที่ 1.7 และ 2 m/min ของ อุณหภูมิของการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบเทียบกับเวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นที่จากรูปที่ 4.11 และ 4.16 จะเห็นได้ว่ารูปแบบจะเห็นรูปแบบความสัมพันธ์ของเวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นกับ อุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลง คือ รอบเวลาจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิการอบแห้งภายในเตาอบ อุณหภูมิของชิ้นงานที่ถูกรอบมีความ ชันสูงและค่อยลดลงคงที่ตามอุณหภูมิที่ตั้ง คล้ายกันไม่ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเทียบกับเวลาการแห้ง ตัวของโลหะแผ่น

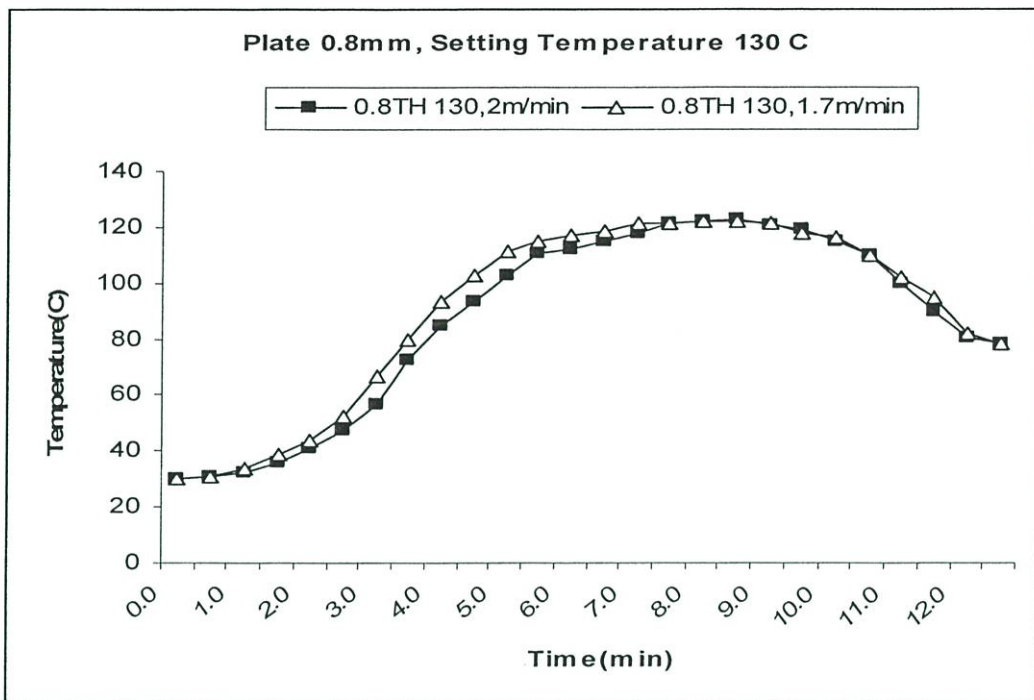
ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.19 โดยกำหนดให้ความหนาของโลหะแผ่นกับอุณหภูมิ ภายในเตาอบคงที่ (T_c) ผันแปรแต่เพียง ที่ความเร็วของคอนเวเยอร์ (v_c) 1.7 m/min และ 2 m/min



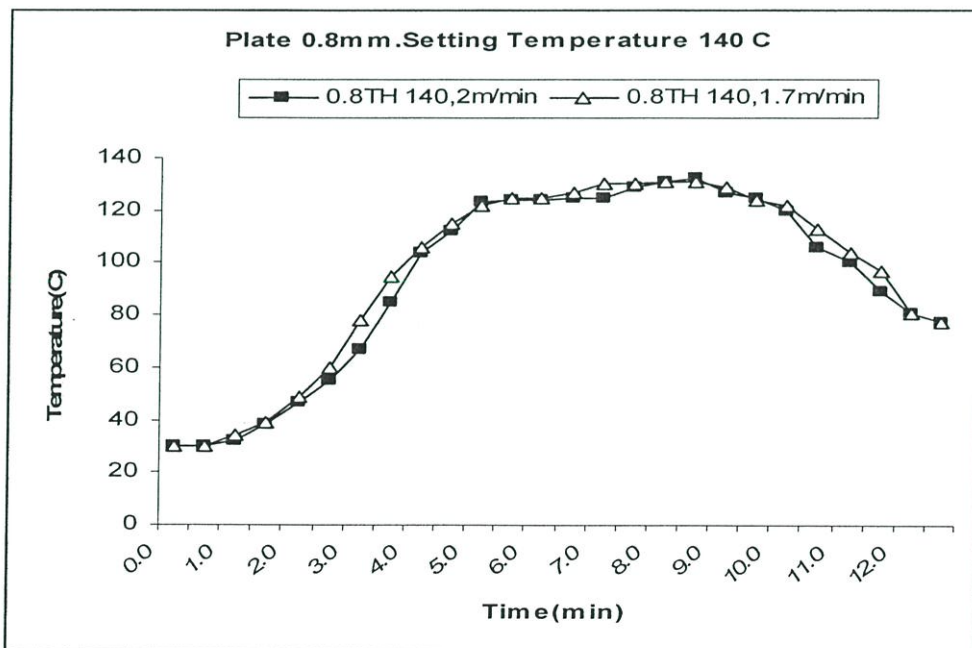
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/min และ 2 m/min



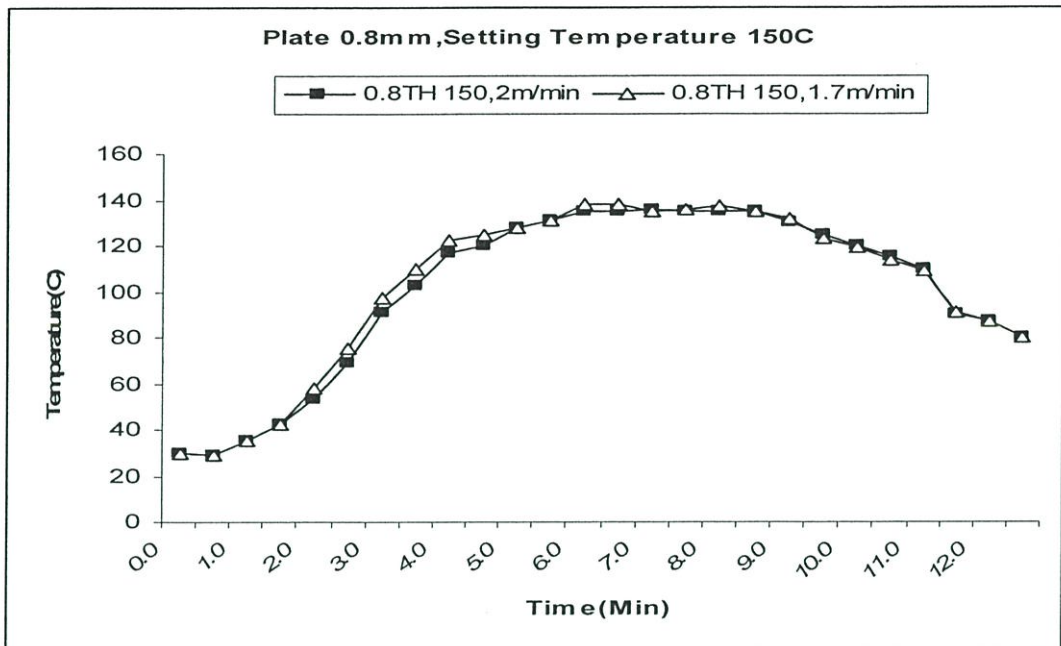
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 120 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1.7mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/min และ 2 m/min



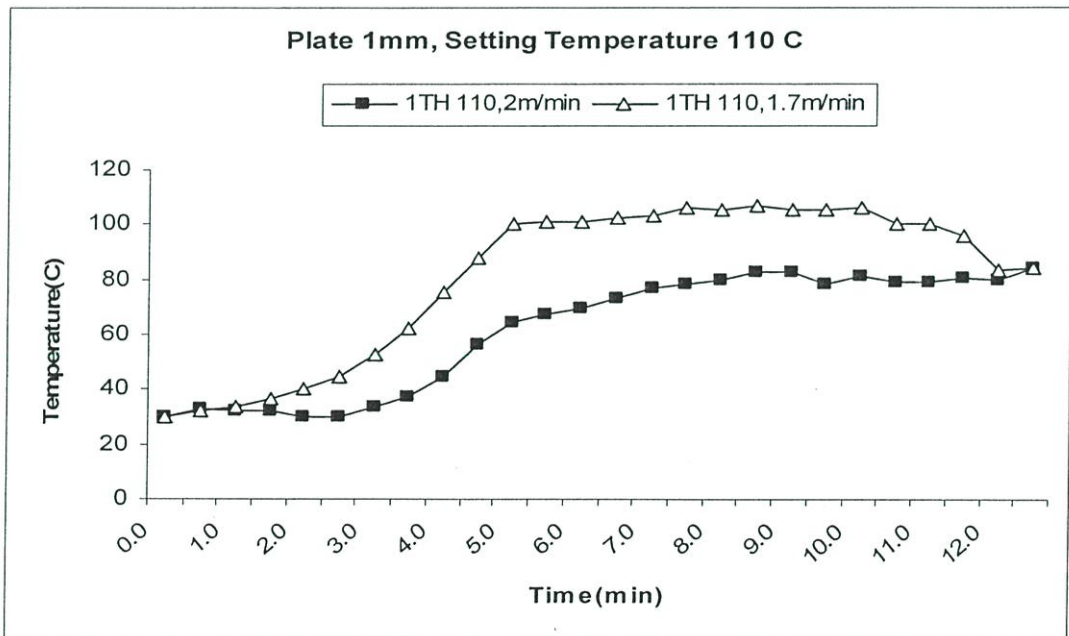
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 130 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



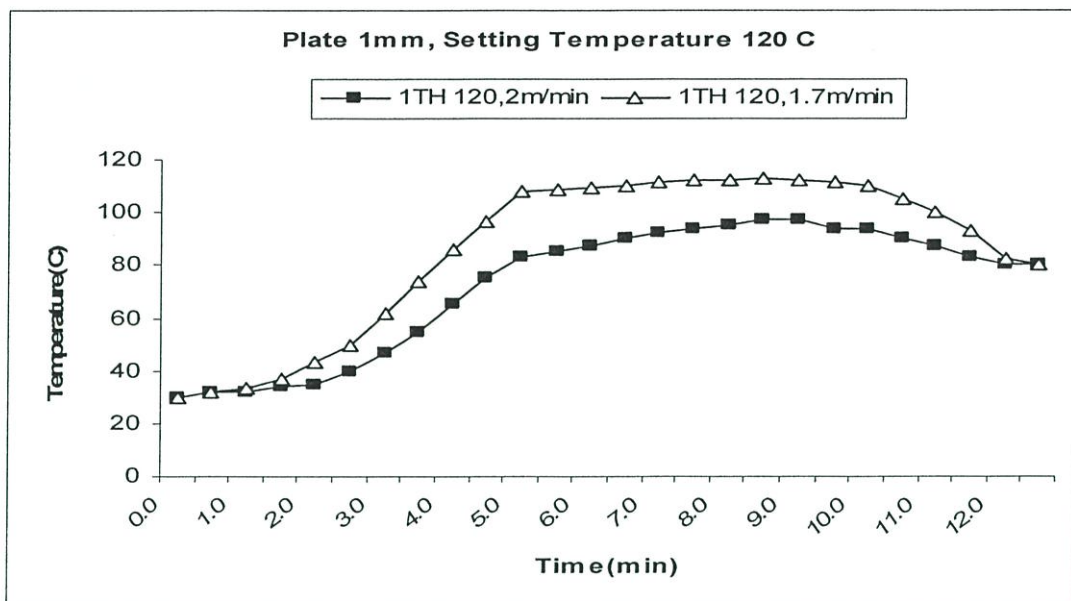
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 140 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min



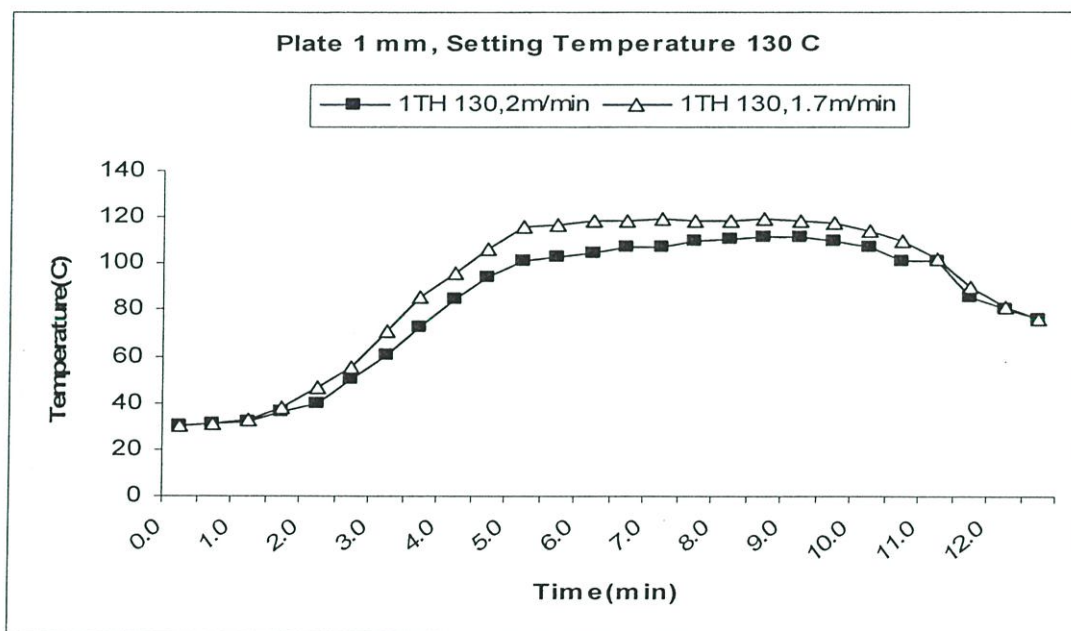
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7m/mim และ 2 m/min



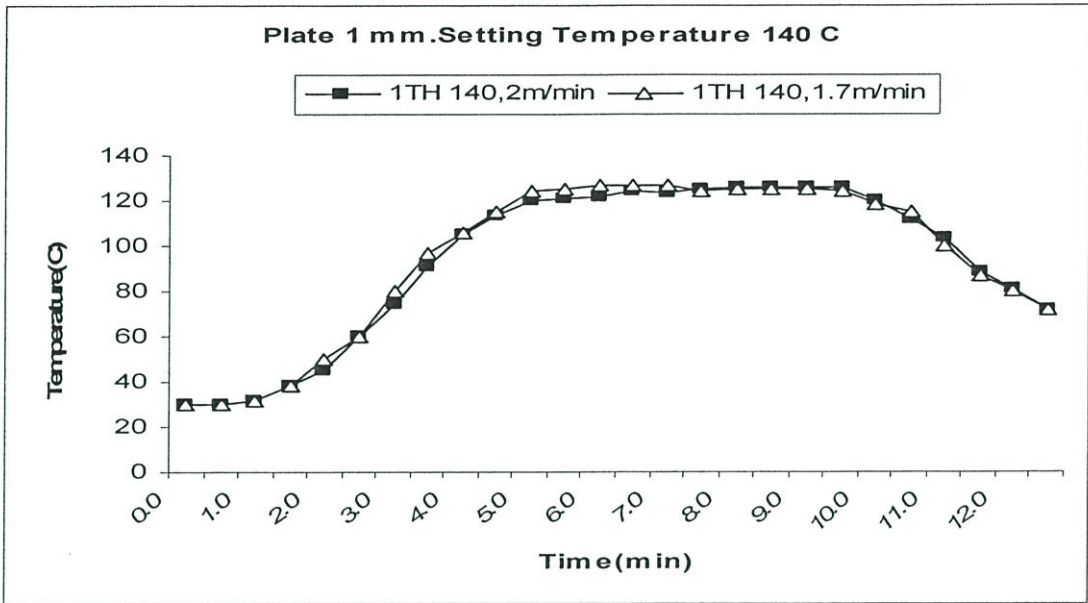
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



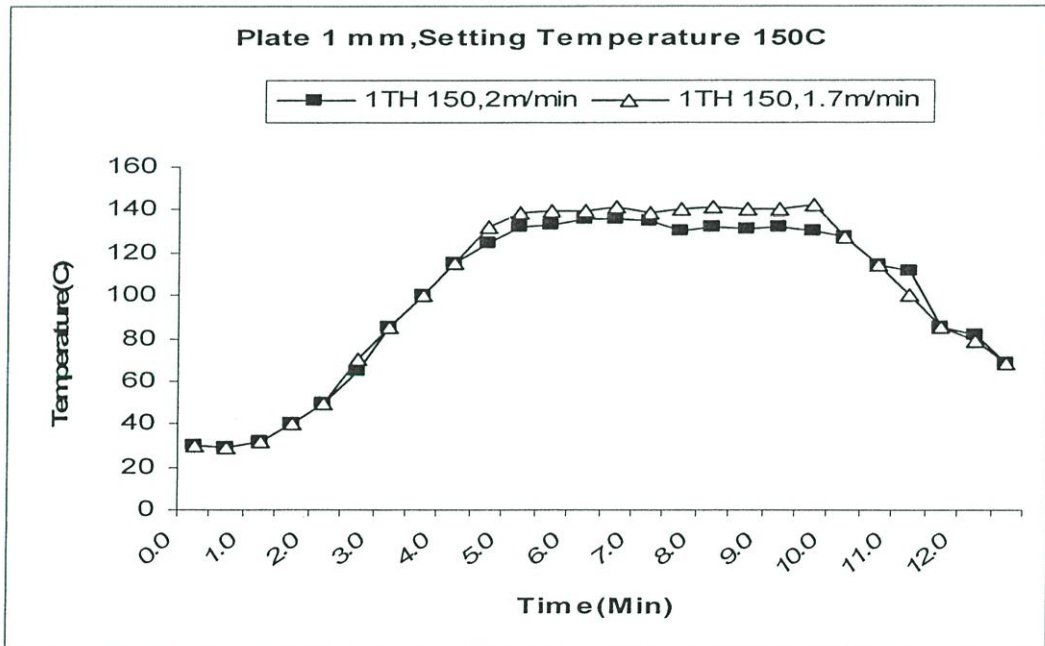
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 120 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



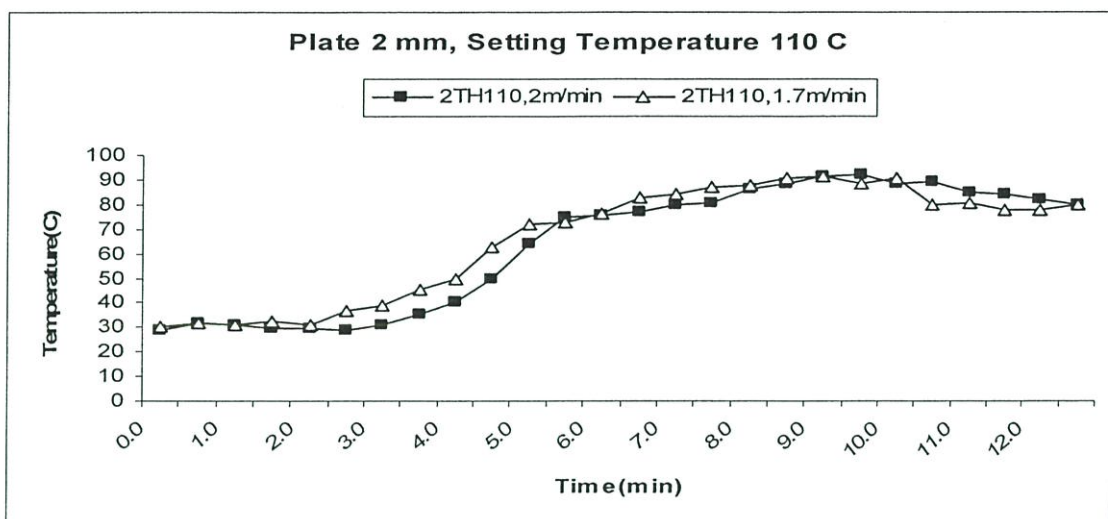
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 130 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



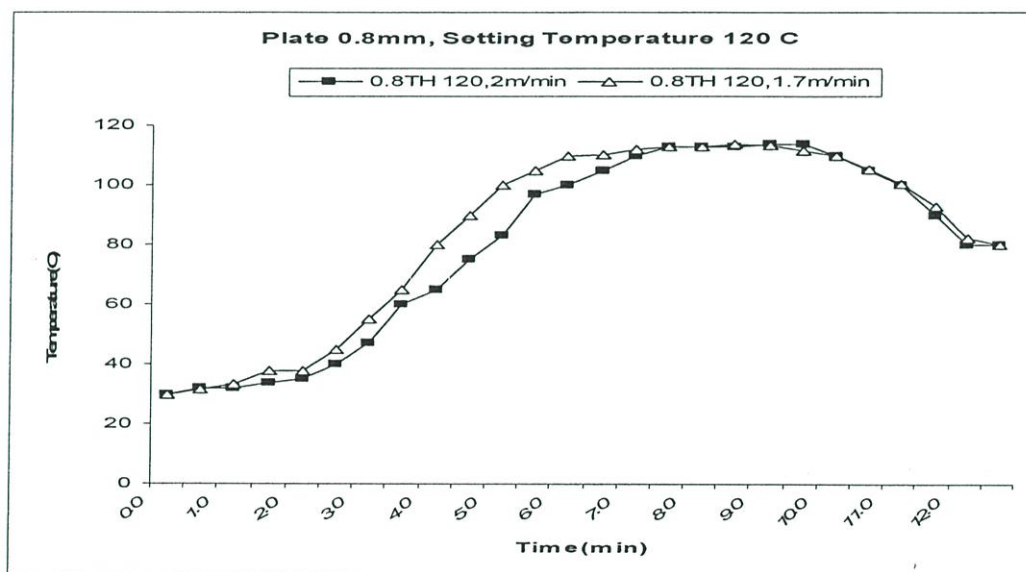
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 140 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/min และ 2 m/min



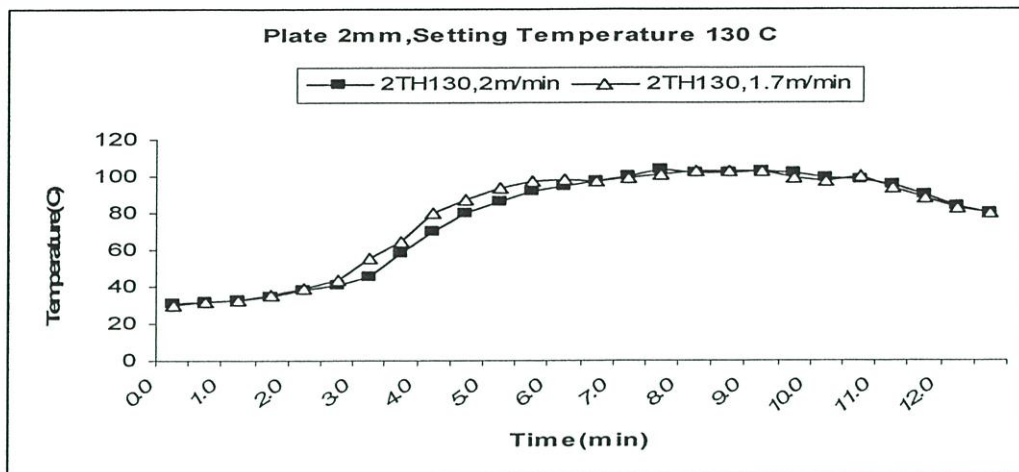
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 1mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/min และ 2 m/min



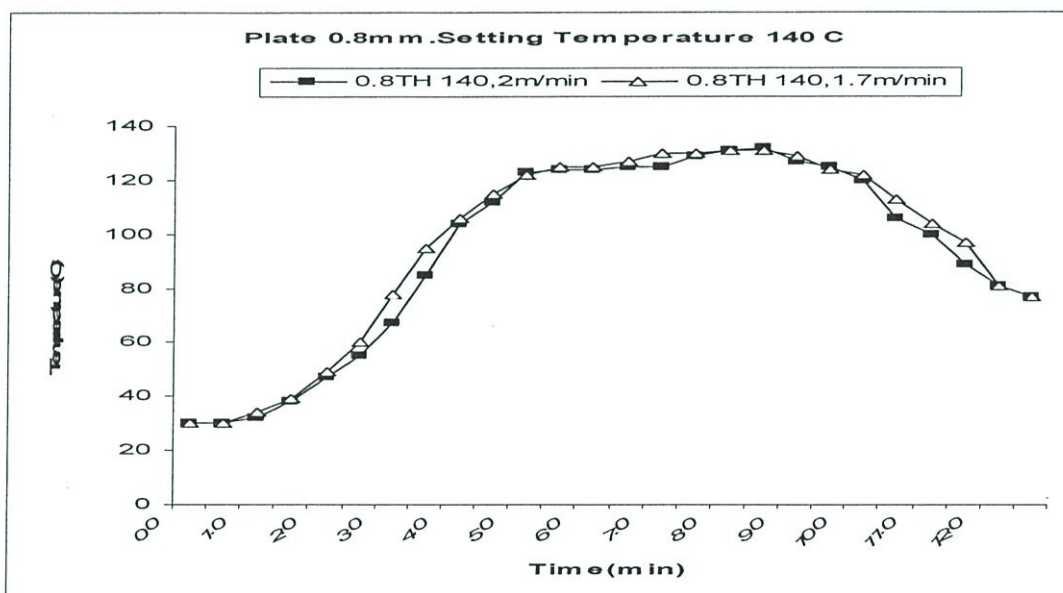
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



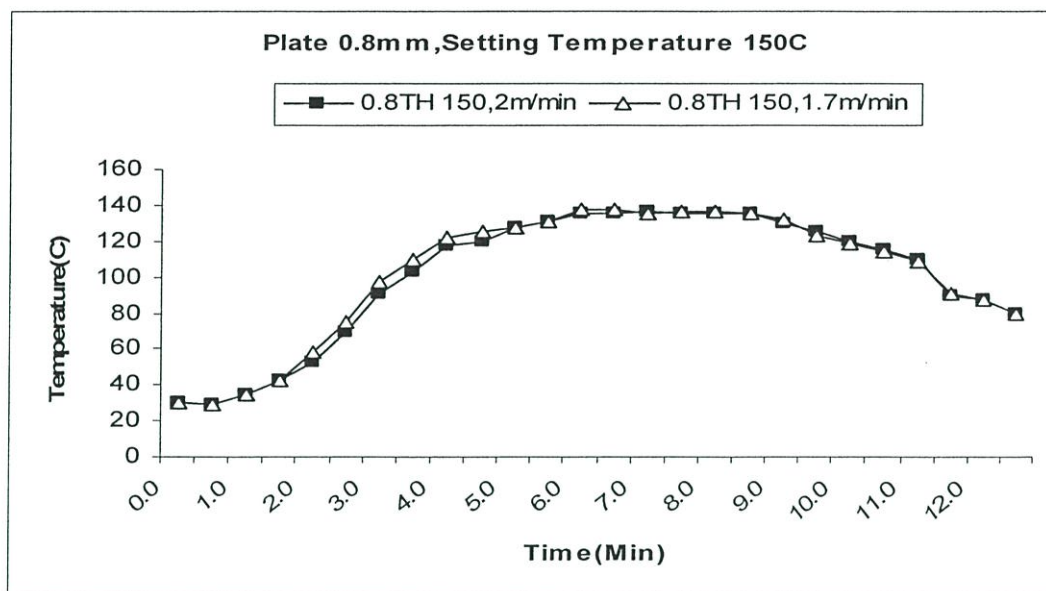
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 120 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 130 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2 mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 140 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/mim และ 2 m/min



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นโลหะ ที่ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบ 150 °C และเวลาของการอบแห้ง ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 2mm ที่ความเร็วของ Conveyor 1.7 m/min และ 2 m/min

จากรูปที่ 4.17 ถึง 4.31 จะได้ว่าผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ ผลลัพธ์ผลการทดลองตามเงื่อนไขในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาอบที่อุณหภูมิกึ่งที่ 110-150 °C เทียบกับเวลาของการอบแห้ง ของแผ่นโลหะ ที่ความหนาเหล็กแผ่นขนาด 0.8, 1 และ 2mm และผันแปรที่ความเร็วของ Conveyor คงที่ ที่ 1.7 และ 2 m/min จะเห็นได้ว่ารูปแบบจะเห็นรูปแบบความสัมพันธ์ของเวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นกับอุณหภูมิการตั้งค่าการอบแห้งภายในเตาอบ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งโดยลักษณะการเปลี่ยนแปลง คือรอบเวลาจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิการอบแห้งภายในเตาอบ อุณหภูมิของชิ้นงานที่ถูกอบมีความชันสูง และค่อยลดลงคงที่ตามอุณหภูมิที่ตั้งคล้ายกันไม่ว่าความเร็วของ Conveyor แต่จะสังเกตเห็น ความเร็วของ Conveyor เพิ่มขึ้นการเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงานจะช้ากว่าความเร็วของ Conveyor ที่ต่ำกว่า

สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางผู้วิจัยได้สรุปในการเลือกแนวทางในการเก็บข้อมูลโดยกำหนดให้เก็บข้อมูลในช่วงที่อุณหภูมิที่แผ่นเหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยให้อุณหภูมิจากการพาความร้อนคงที่ หรือที่ความเร็วของ Conveyor คงที่มีค่าเท่ากับ 1.7 และ 2 m/min โดยได้จากสมการดังนี้

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\left(\frac{hAs}{\rho C_p V}\right)t} \quad \text{เมื่อ} \quad \theta = T - T_\infty \quad (4.1)$$

จากสมการจะเห็นว่าอุณหภูมิของแผ่นโลหะเป็นฟังก์ชันของพื้นที่ชิ้นงาน ซึ่งสามารถหาเวลาของแผ่นโลหะที่จะแห้งจากการสมการ ดังนั้นเราสามารถสรุปสมการวัตถุประสงค์และเงื่อนไขการควบคุมได้ดังนี้

$$T = f_2(t, T_c) \quad (4.2)$$

เงื่อนไขการควบคุม

$$t = 11/Vc : TH = 0.8, 1, 2 \text{ mm} \quad (4.3)$$

4.2 วิธีการสร้างรูปแบบจำลอง

การสร้างรูปแบบสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้นำวิธีการ Quadratic regression ช่วยสร้างสมการความสัมพันธ์โดยมีรูปแบบสมการดังนี้ (สมชาย วงศ์วิเศษ. 2541 : 4-16)

$$y = c_1 + c_2x_1 + c_3x_1^2 + c_4x_2 + c_5x_2^2 + c_6x_1x_2 + c_7x_1^2x_2 + c_8x_1x_2^2 + c_9x_1^2x_2^2 \quad (4.4)$$

จากนั้นทำการแทนข้อมูลทั้ง 9 ข้อมูลและแก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9

4.2.1 การหาสมการวัตถุประสงค์ (Objective function)

จากผลการทดลองทำให้สามารถออกแบบตัวแปรที่มีผลต่อเวลาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.1) จากรูปที่ 4.28 พบว่าเวลาจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสูงเมื่อแผ่นโลหะได้รับความร้อนสูงซึ่งมีความชันสูงในช่วงเริ่มต้นและจะลดลงจนสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าคงที่ที่ t มีค่ามากกว่า 7 min ขึ้นไปทำให้การคำนวณเราจะพิจารณาเลือกข้อมูลมาคำนวณหาความสัมพันธ์ในช่วง t เท่ากับ 1 - 8 min วิธีการหาความสัมพันธ์ดำเนินการตามขั้นตอนได้ดังนี้

เลือกข้อมูล 9 จุดที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลาที่อุณหภูมิของโลหะแผ่นที่ความหนา 0.8 จากข้อมูลรูปที่ 4.1 , 4.3 , 4.5

ที่ความเร็ว Conveyor	Conveyor	t ,min		
		1	4	8
T _v (°C)	110	38	67	103
	130	34	93	122
	150	35	122	137

ดำเนินการตามวิธีการ Quadratic regression โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$T = c_1 + c_2 t + c_3 (t)^2 + c_4 T_V + c_5 (T_V)^2 + c_6 t T_V + c_7 (t)^2 T_V + c_8 t (T_V)^2 + c_9 (t)^2 (T_V)^2 \quad (4.5)$$

แทนค่าและแก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1^2 & 110 & 110^2 & 110 & 110 & 12100 & 12100 \\ 1 & 1 & 1^2 & 130 & 130^2 & 130 & 130 & 16900 & 16900 \\ 1 & 1 & 1^2 & 150 & 150^2 & 150 & 150 & 22500 & 22500 \\ 1 & 4 & 4^2 & 110 & 110^2 & 440 & 1760 & 48400 & 193600 \\ 1 & 4 & 4^2 & 130 & 130^2 & 520 & 2080 & 67600 & 270400 \\ 1 & 4 & 4^2 & 150 & 150^2 & 600 & 2400 & 90000 & 360000 \\ 1 & 8 & 8^2 & 110 & 110^2 & 880 & 7040 & 96800 & 774400 \\ 1 & 8 & 8^2 & 130 & 130^2 & 1040 & 8320 & 135200 & 1081600 \\ 1 & 8 & 8^2 & 150 & 150^2 & 1200 & 9600 & 180000 & 1440000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 38 \\ 34 \\ 35 \\ 67 \\ 93 \\ 122 \\ 103 \\ 122 \\ 137 \end{bmatrix}$$

แก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{array}{lll} c_1 = 232.1071 & c_2 = -89.1027 & c_3 = 6.3705 \\ c_4 = -2.55 & c_5 = 0.0063 & c_6 = 0.8875 \\ c_7 = -0.0375 & c_8 = 0.0001 & c_9 = -0.0002 \end{array}$$

นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้แทนลงในสมการที่ (4.5) ได้สมการวัตถุประสงค์ดังนี้

$$\begin{aligned} T &= c_1 + c_2 t + c_3 (t)^2 + c_4 T_V + c_5 (T_V)^2 + c_6 t T_V + c_7 (t)^2 T_V + c_8 t (T_V)^2 + c_9 (t)^2 (T_V)^2 \\ T &= 232.1071 - 89.1027t + 6.3705t^2 - 2.55T_V + 0.0063T_V^2 + 0.8875 tT_V - 0.0375t^2 T_V + 0.0001 t(T_V)^2 - \\ &0.0002 (t)^2 (T_V)^2 \end{aligned} \quad (4.6)$$

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลาที่อุณหภูมิของโลหะแผ่น ที่ความหนา 0.8 จากข้อมูลรูปที่ 4.6 , 4.8 , 4.10

ที่ความเร็ว Conveyor		t ,min		
		1	4	8
T _v (°C)	110	34	65	102
	130	34	85	122
	150	35	117	135

ดำเนินการตามวิธีการ Quadratic regression โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$T = c_1 + c_2 t + c_3 (t)^2 + c_4 T_v + c_5 (T_v)^2 + c_6 t T_v + c_7 (t)^2 T_v + c_8 (T_v)^2 + c_9 (t)^2 (T_v)^2 \quad (4.7)$$

แทนค่าและแก้สมการหาค่า c₁ ถึง c₉

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1^2 & 110 & 110^2 & 110 & 110 & 12100 & 12100 \\ 1 & 1 & 1^2 & 130 & 130^2 & 130 & 130 & 16900 & 16900 \\ 1 & 1 & 1^2 & 150 & 150^2 & 150 & 150 & 22500 & 22500 \\ 1 & 4 & 4^2 & 110 & 110^2 & 440 & 1760 & 48400 & 193600 \\ 1 & 4 & 4^2 & 130 & 130^2 & 520 & 2080 & 67600 & 270400 \\ 1 & 4 & 4^2 & 150 & 150^2 & 600 & 2400 & 90000 & 360000 \\ 1 & 8 & 8^2 & 110 & 110^2 & 880 & 7040 & 96800 & 774400 \\ 1 & 8 & 8^2 & 130 & 130^2 & 1040 & 8320 & 135200 & 1081600 \\ 1 & 8 & 8^2 & 150 & 150^2 & 1200 & 9600 & 180000 & 1440000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 34 \\ 34 \\ 35 \\ 65 \\ 85 \\ 117 \\ 102 \\ 122 \\ 135 \end{bmatrix}$$

แก้สมการหาค่า c₁ ถึง c₉ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{array}{lll} c_1 = -52.9702 & c_2 = 121.2545 & c_3 = -16.4092 \\ c_4 = 1.719 & c_5 = -0.0093 & c_6 = -2.3321 \\ c_7 = 0.3131 & c_8 = 0.0121 & c_9 = -0.0015 \end{array}$$

นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้แทนลงในสมการที่ (4.5) ได้สมการวัตถุประสงค์ดังนี้

$$T = c_1 + c_2 t + c_3 (t)^2 + c_4 T_v + c_5 (T_v)^2 + c_6 t T_v + c_7 (t)^2 T_v + c_8 t (T_v)^2 + c_9 (t)^2 (T_v)^2$$

$$T = -52.9702 + 121.2545t - 16.4092t^2 + 1.719T_v - 0.0093T_v^2 - 2.3321 tT_v + 0.3131t^2 T_v + 0.0121 t(T_v)^2 - 0.0015 (t)^2 (T_v)^2 \quad (4.8)$$

4.2.2 เงื่อนไขการควบคุม

$$t = 11/Vc \quad ;$$

$$TH = 0.8\text{mm}$$

จากการคำนวณเราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวของโลหะแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในห้องและเวลาการอบแห้งหรือความเร็วของ Conveyor จึงสามารถนำสมการทั้งที่ได้ไปเลือกหาช่วงความเร็วที่เหมาะสม ดังในบทต่อไป

บทที่ 5

การหาสมการความสัมพันธ์ความเร็ว Conveyor และอุณหภูมิของแผ่นโลหะ

5.1 สมการ

จากความมุ่งหมายที่กล่าวมาข้างต้นทำการสำรวจกระบวนการเตาอบแห้งแบบต่อเนื่องเพื่อค้นหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องระหว่างอุณหภูมิของแผ่นโลหะกับเวลาที่แผ่นโลหะร้อนขึ้น โดยสร้างเป็นรูปแบบความสัมพันธ์ เรียกสมการความสัมพันธ์ที่ต้องการทราบว่าเป็นสมการวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$T = f(t, T_c) : \quad (5.1)$$

กระบวนการเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องยังมีเงื่อนไขที่ควบคุมคืออุณหภูมิควบคุมภายในเตาอบที่จะถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบสร้างเตาส่วนสามารถเขียนเป็นเงื่อนไขการควบคุม (Condition function)

$$100 \leq T_c \leq 150 \quad (5.2)$$

$$V_c \leq 11/t$$

$$TH=0.8,1,2 \text{ mm}$$

จาก (5.2) ในการนำมาคำนวณหาการหาสมการความสัมพันธ์ความเร็ว Conveyor และอุตสาหกรรมจะกำหนดความสามารถของกระบวนการไว้ที่เหมาะสมเนื่องจากแผ่นโลหะ ต้องการให้ความชื้นแห้งสนิทในโลหะจากข้อกำหนดดังกล่าวจึงได้มาซึ่งขอบเขตของเงื่อนไขการควบคุม

5.2 ทฤษฎี

ทฤษฎีการคำนวณหาการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่องโดยใช้วิธี Function of Two Variables เป็นรูปแบบสมการที่มีฟังก์ชันซึ่งมีตัวแปรอิสระสองตัว

ในทางปฏิบัติเราพบว่าตัวแปรตามเป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระสองตัว ดังรูปที่ 4.6 , 4.8 , 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ(T_v) ที่ตั้งค่าของเตาอบอย่างต่อเนื่อง สามารถทำได้กับ อุณหภูมิของโลหะแผ่น(T)และเวลาของการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (t)

ถ้า T_v สัมพันธ์ กับ T และ t ในรูปของสมการควอดราติก เราสามารถใช้สมการแทนเส้นโค้ง (curve) แต่ละเส้นได้ และสามารถหาค่าคงที่ในสมการควอดราติกได้ถ้ารู้ข้อมูลเพียง 3 จุดบนเส้นโค้งนั้น

$$\begin{aligned} \text{สำหรับเส้นโค้งที่ } T1 &= A_1 + B_1 t + C_1 (t)^2 \\ T2 &= A_2 + B_2 t + C_2 (t)^2 \\ T3 &= A_3 + B_3 t + C_3 (t)^2 \end{aligned}$$

ขั้นตอนต่อไปค่าคงที่จะถูกกำหนดในรูปสมการควอดราติก ในเทอมของ T_v โดยใช้ข้อมูล 3 จุดสร้างสมการได้

$$A = c_1 + c_2 T_v + c_3 (T_v)^2 \quad (5.3)$$

$$B = c_4 + c_5 T_v + c_6 (T_v)^2 \quad (5.4)$$

$$C = c_7 + c_8 T_v + c_9 (T_v)^2 \quad (5.5)$$

นำสมการ A, B และ C จากสมการ(5.3), (5.4) และ(5.5) ไปแทนในสมการทั่วไปจะได้

$$T = c_1 + c_2 t + c_3 (t)^2 + c_4 T_v + c_5 (T_v)^2 + c_6 t T_v + c_7 (t)^2 T_v + c_8 t (T_v)^2 + c_9 (t)^2 (T_v)^2$$

โดย c เป็นค่าคงที่และสามารถหาได้ ถ้ารู้ข้อมูล 9 จุด

5.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ทางสมการ

สมการวัตถุประสงค์

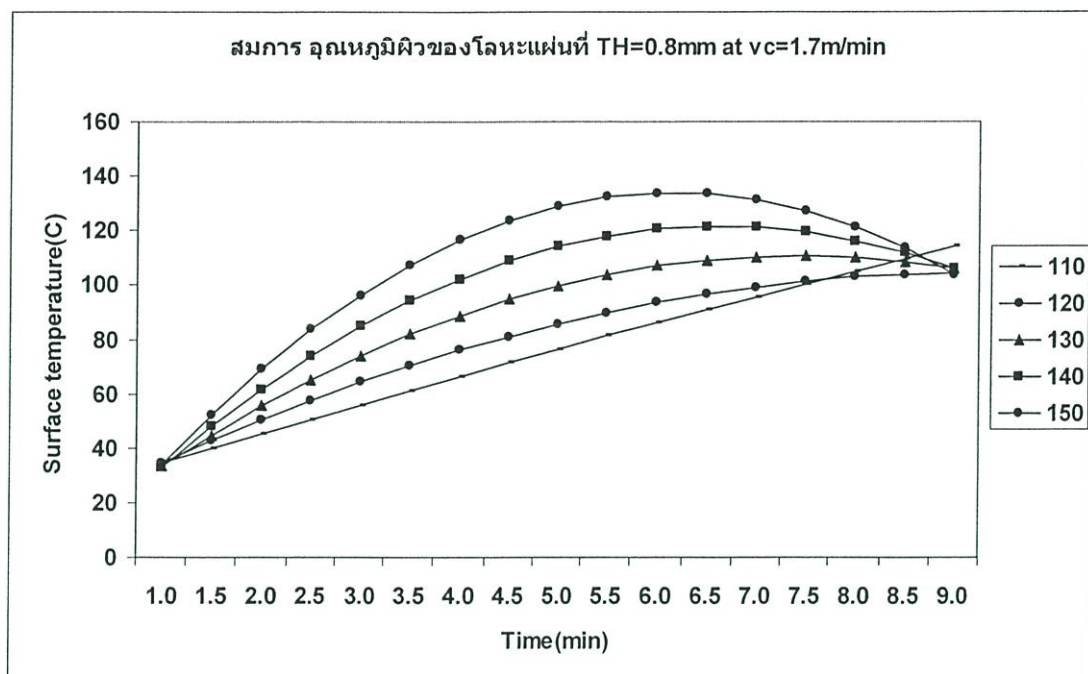
$$T = 232.1071 - 89.1027t + 6.3705t^2 - 2.55T_v + 0.0063T_v^2 + 0.8875 tT_v - 0.0375t^2 T_v + 0.0001 t(T_v)^2 - 0.0002 (t)^2 (T_v)^2 \quad \text{ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min}$$

$$T = -52.9702 + 121.2545t - 16.4092t^2 + 1.719T_v - 0.0093T_v^2 - 2.3321 tT_v + 0.3131t^2 T_v + 0.0121 t(T_v)^2 - 0.0015 (t)^2 (T_v)^2 \quad \text{ที่ความเร็ว Conveyor 2 m/min}$$

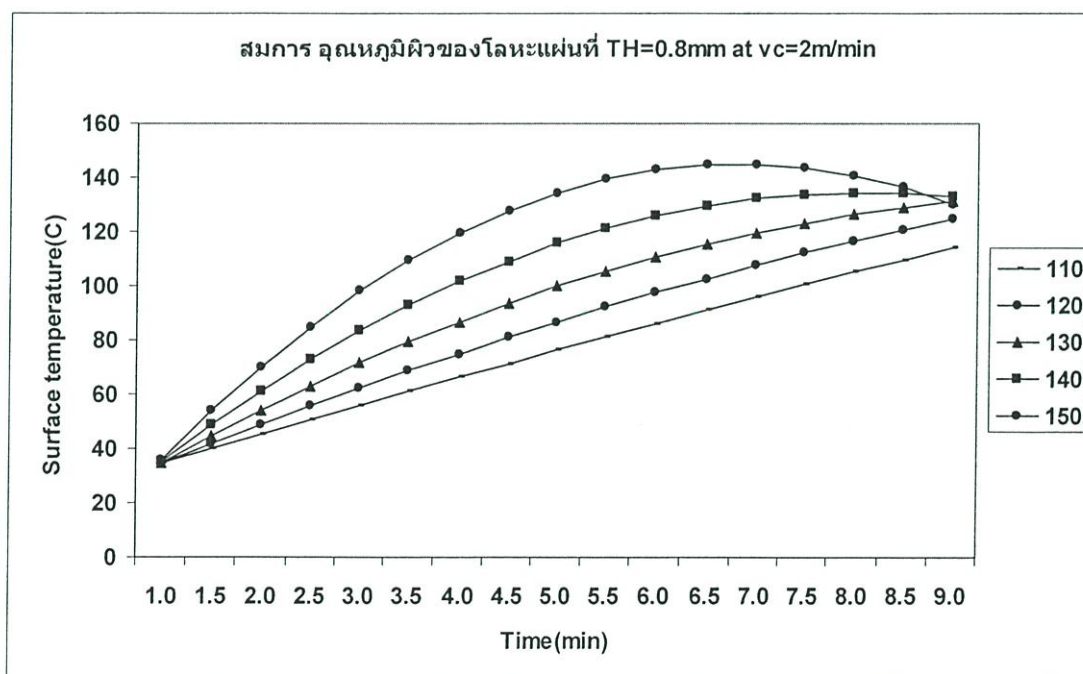
เงื่อนไขการควบคุม

$$t = 11/Vc \quad : \quad Th = 0.8 \text{ mm}$$

นำสมการทั้งสองเขียนในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้การวิเคราะห์ตามทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น ได้ผลลัพธ์ได้ดังกราฟดังนี้

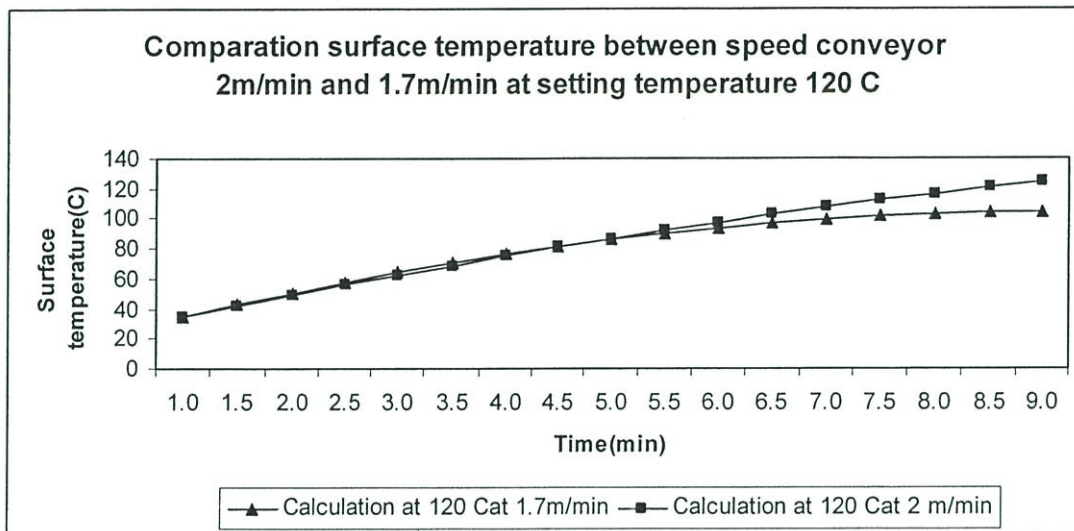


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor 1.7m/min ที่ความหนาแผ่นเหล็ก 0.8 mm ที่อุณหภูมิต่างๆจากสมการที่ได้



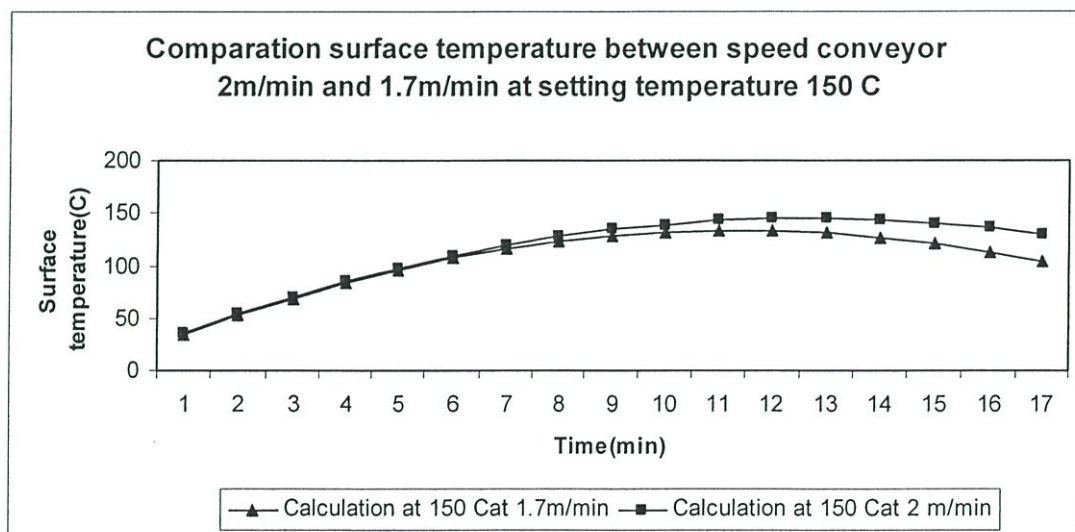
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor 2m/min ที่ความหนาแผ่นเหล็ก 0.8 mm ที่อุณหภูมิต่างๆจากสมการที่ได้

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor ที่ต่างกัน ดังตัวอย่างที่ อุณหภูมิเตาอบที่120 ที่ความเร็ว Conveyor speed 2m/minและ 1.7 m/mim ที่ความหนาแผ่นเหล็ก 0.8 mm



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor ที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิเตาอบ 120 °C

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor ที่ต่างกัน ดังตัวอย่างที่ อุณหภูมิเตาอบที่150 ที่ความเร็ว Conveyor speed 2m/minและ 1.7 m/mim ที่ความหนาแผ่นเหล็ก 0.8 mm

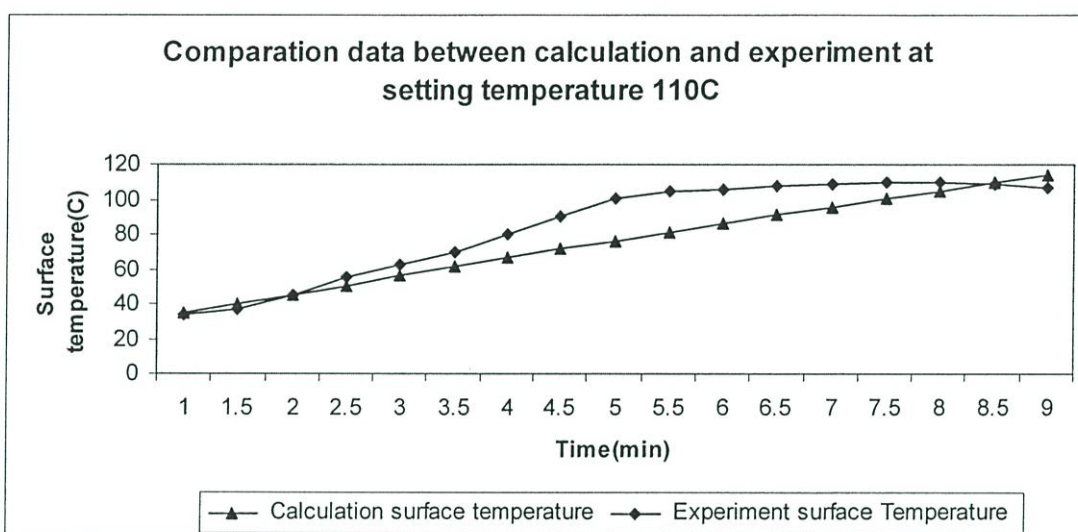


รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์อุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณเทียบกับความเร็วของ Speed conveyor ที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิเตาอบ 150 °C

จากผลจากการคำนวณได้นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบพบว่าจุดเริ่มต้นของชิ้นงานที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิเท่ากันจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิเริ่มต้นจะใกล้เคียงกันจะแตกต่างกันในช่วงสุดท้าย

5.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C , 120 °C ,130 °C , 140 °C และ 150 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 0.8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min

5.4.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 110 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 0.8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min



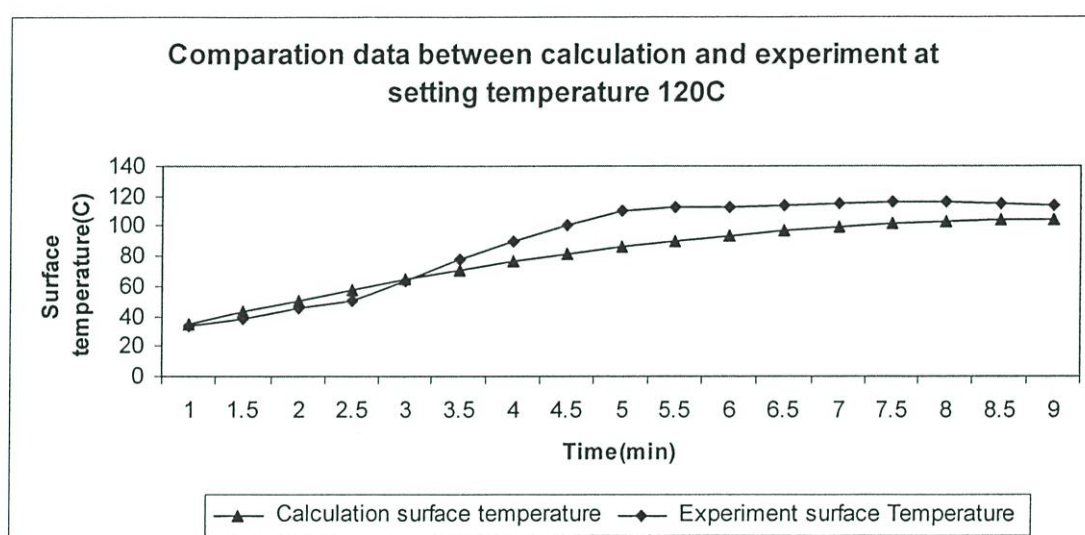
รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ 110 °C เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการจากการคำนวณที่ผ่านมาพบว่าพฤติกรรมทางความร้อนเป็นแนวโน้มเป็นสมการควอดราติก ที่แสดงถึงพฤติกรรม การรับความร้อนของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง ที่ให้อุณหภูมิเท่ากันที่เวลาประมาณ 8 นาที ที่อยู่ในเตาอบแห้ง ถ้าเรากำหนดให้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิที่เป็ยกให้แห้งสนิทและระยะเวลาอยู่ในเตาอบแห้งได้ไม่เกิน 6.5 นาที(ช่วงระยะทางเตาอบแห้ง 11 เมตรต่อความเร็ว 1.7 เมตรต่อนาที)จะพบว่า การตั้งอุณหภูมิที่เตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิที่ 110 °C อุณหภูมิที่ได้ การทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการคือ

เวลาที่แผ่นโลหะร้อนขึ้นที่ 100 °C	นาที
การทดลองจริง	5.5
สมการจากการคำนวณ	ไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด

จากข้อมูลข้างต้นการปรับอุณหภูมิในระดับนี้ถือว่าเสี่ยงที่ชิ้นงานจะไม่แห้งเนื่องจากการใช้เวลาที่อุณหภูมิสูงขึ้นให้แห้งใช้เวลาานและชิ้นงานจะออกจากเตาอบออกไป

5.4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 120 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min

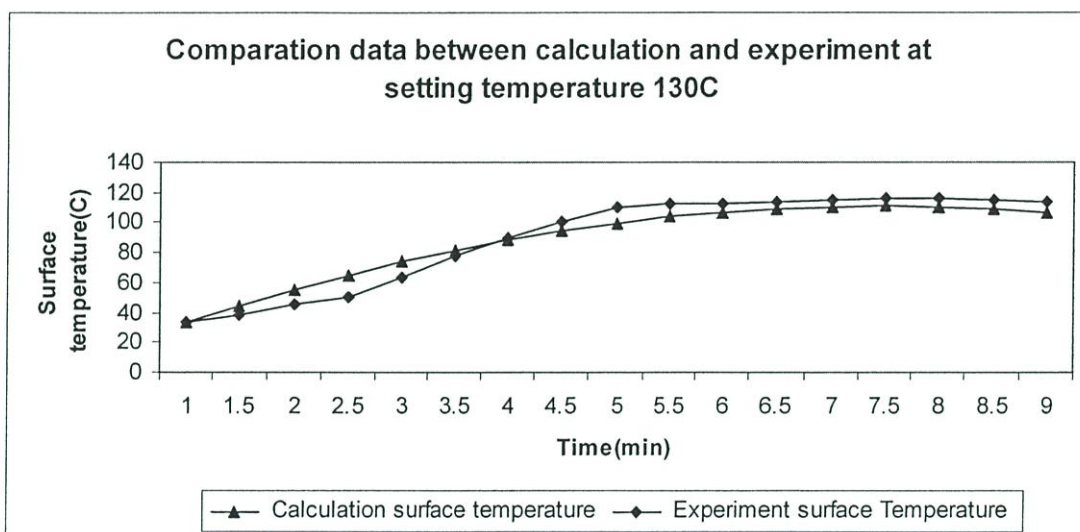


รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ 120 °C เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการจากการคำนวณที่ผ่านมพบว่าพฤติกรรมทางความร้อนเป็นแนวโน้มเป็นสมการควอดราติก ที่แสดงถึงพฤติกรรมการรับความร้อนของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง ที่ให้อุณหภูมิเท่ากันที่เวลาประมาณ 2.7 นาทีที่อย่างในเตาอบแห้ง ถ้าเรากำหนดให้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิที่เป็ยกให้แห้งสนิทและระยะเวลาอยู่ในเตาอบแห้งได้ไม่เกิน 6.5 นาที(ช่วงระยะทางเตาอบแห้ง 11 เมตรต่อความเร็ว 1.7 เมตรต่อนาที) เป็นอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิที่เป็ยกให้แห้งสนิทจะพบว่าการตั้งอุณหภูมิที่เตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิที่ 120 °C อุณหภูมิที่ได้ การทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการคือ

เวลาที่แผ่นโลหะร้อนขึ้นที่ 100 °C	นาที
การทดลองจริง	5
สมการจากการคำนวณ	5.5

5.4.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 130 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min

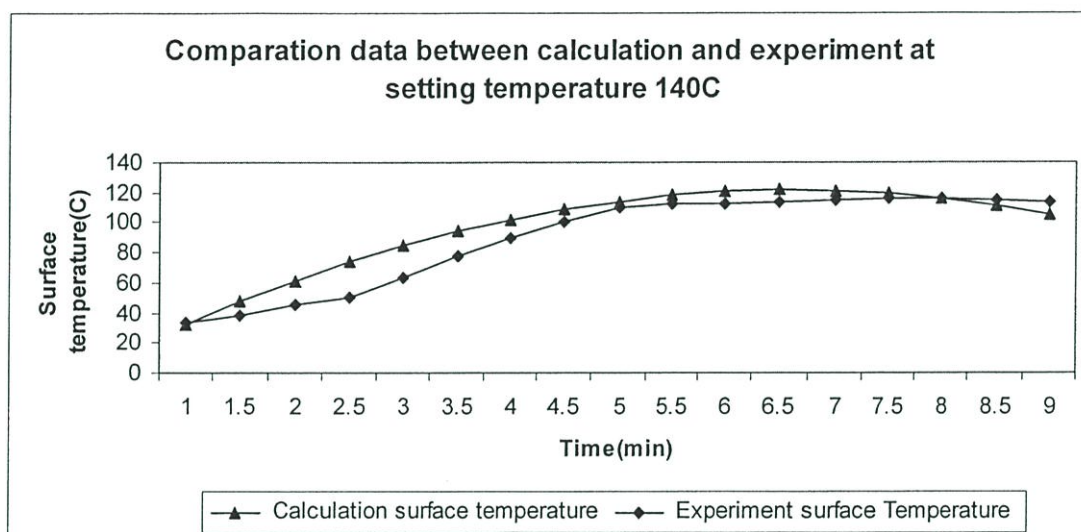


รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ 130 °C เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห่งอย่างต่อเนื่อง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการจากการคำนวณที่ผ่านพบว่าพฤติกรรมทางความร้อนเป็นแนวโน้มเป็นสมการควอดราติก ที่แสดงถึงพฤติกรรม การรับความร้อนของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง ที่ให้อุณหภูมิเท่ากันที่เวลาประมาณ 2.7 นาที ที่อย่างในเตาอบแห่ง ถ้าเรากำหนดให้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ให้แผ่นโลหะที่ เปียกให้แห้งสนิทและระยะเวลาอยู่ในเตาอบแห่งนี้ได้ไม่เกิน 6.5 นาที (ช่วงระยะทางเตาอบแห่งนี้ 11 เมตรต่อความเร็ว 1.7 เมตรต่อนาที) เป็นอุณหภูมิที่ให้แผ่นโลหะที่เปียกให้แห้งสนิทจะพบว่าการตั้ง อุณหภูมิที่เตาอบแห่งนี้อย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิที่ 130 °C อุณหภูมิที่ได้ การทดลองจริงกับการนำข้อมูล มาสร้างสมการคือ

เวลาที่แผ่นโลหะร้อนขึ้นที่ 100 °C	นาที
การทดลองจริง	4.2
สมการจากการคำนวณ	4.5

5.4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 140 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min

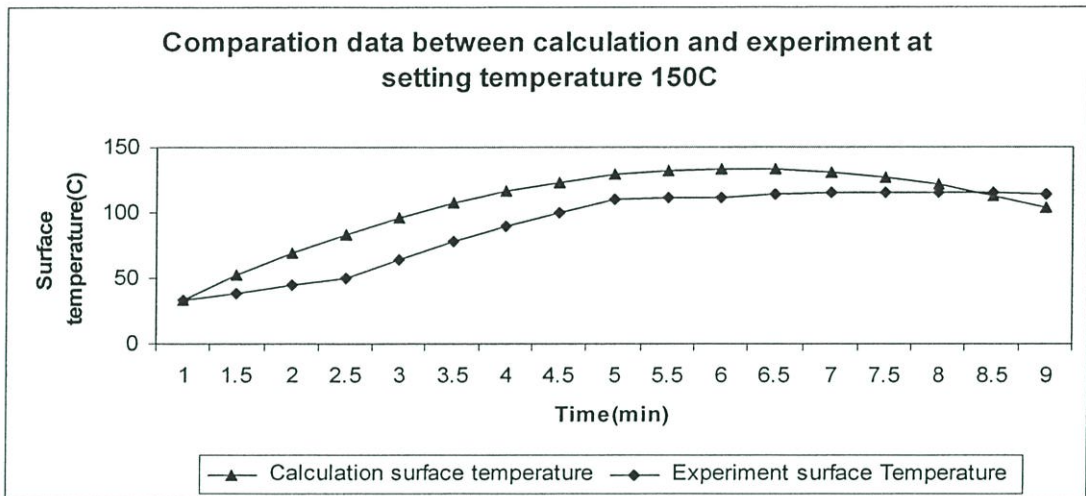


รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ 140 °C เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการจากการคำนวณที่ผ่านมามีพบว่าพฤติกรรมทางความร้อนเป็นแนวโน้มเป็นสมการควอดราติก ที่แสดงถึงพฤติกรรมการรับความร้อนของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง ที่ให้อุณหภูมิเท่ากันที่เวลาประมาณ 5 นาทีที่ห้องในเตาอบแห้ง ถ้าเรากำหนดให้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิที่เป็ยกให้แห้งสนิทและระยะเวลาอยู่ในเตาอบแห้งได้ไม่เกิน 6.5 นาที(ช่วงระยะทางเตาอบแห้ง 11 เมตรต่อความเร็ว 1.7 เมตรต่อนาที) เป็นอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิที่เป็ยกให้แห้งสนิท จะพบว่าการตั้งอุณหภูมิที่เตาอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิที่ 140 °C อุณหภูมิที่ได้ การทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการคือ

เวลาที่แผ่นโลหะร้อนขึ้นที่ 100 °C	นาที
การทดลองจริง	3.7
สมการจากการคำนวณ	4

5.4.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดลอง ตั้งอุณหภูมิของเตาอบ 150 °C ที่แผ่นโลหะความหนา 8 mm ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min



รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวโลหะแผ่นจากการคำนวณกับอุณหภูมิของผิวโลหะจากการทดลองที่อุณหภูมิในเตาอบตั้งค่าที่ 150 °C เทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห่งนี้อย่างต่อเนื่อง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการจากการคำนวณที่ผ่านมาพบว่าพฤติกรรมทางความร้อนเป็นแนวโน้มเป็นสมการควอดราติก ที่แสดงถึงพฤติกรรมการรับความร้อนของโลหะแผ่นในเตาอบแบบต่อเนื่อง ที่ให้อุณหภูมิเท่ากันที่เวลาประมาณ 8 นาทีที่อย่างในเตาอบแห่งนี้ ถ้าเรากำหนดให้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ให้แผ่นโลหะที่เปียกให้แห้งสนิทและระยะเวลาอยู่ในเตาอบแห่งนี้ได้ไม่เกิน 6.5 นาที(ช่วงระยะทางเตาอบแห่งนี้ 11 เมตรต่อความเร็ว 1.7 เมตรต่อนาที)เป็นอุณหภูมิที่ให้แผ่นโลหะที่เปียกให้แห้งสนิท จะพบว่าที่ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบแห่งนี้อย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิที่ 150 °C อุณหภูมิที่ได้ การทดลองจริงกับการนำข้อมูลมาสร้างสมการคือ

เวลาที่แผ่นโลหะร้อนขึ้นที่ 100 °C	นาที
การทดลองจริง	3
สมการจากการคำนวณ	3.6

สรุป

การตั้งอุณหภูมิเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องพฤติกรรมของการรับความร้อนของโลหะแผ่นจะสูงขึ้นตามสภาวะแวดล้อมที่ตั้งค่าไว้จากผลการทดลองการตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 110 °C ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ เพราะจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานไม่แห้งตัวของโลหะแผ่นที่จะนำไปใช้ในขบวนการต่อไป จากข้อมูลของเตาอบแห้งนี้พบว่า การตั้งอุณหภูมิ 120 °C สามารถนำไปใช้ได้จริงที่จากเดิมโรงงานแห่งนี้ตั้งอุณหภูมิ 150 °C ส่งผลให้สามารถลดการใช้แก๊สถึง 20 % จากเดิมที่มีการใช้เชื้อเพลิง

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งของโลหะแผ่นของเตาอบแบบต่อเนื่องที่มีลักษณะของเตาอบที่มีอายุการใช้งานมาเป็นเวลาร่วม 20 ปี ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขบวนการการใช้งานมานานและปัจจุบันมีการเพิ่มกำลังการผลิตจาก 8 ชั่วโมงทำการ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงทำการ ทำให้เกิดการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จากการวิจัยนี้จากการทดลองพบว่า แผ่นโลหะแห้งตัวได้ดีในอุณหภูมิสูงขึ้นและเชื้อเพลิงก็ใช้มากตามไปด้วย ทฤษฎีของการวิเคราะห์ระบบ Lumped capacitance ช่วยให้เราพิจารณาเวลาในการอบแห้งของโลหะแผ่นซึ่งทำให้เราสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณการให้ความร้อนของห้องอบแห้งให้สัมพันธ์กับระยะเวลาซึ่งงานอยู่ในเตาอบที่ต้องการ แต่นั่นต้องให้ตรงกับค่า $Bi < 0.1$ ซึ่งการทดลองนี้ทำให้โรงงานแห่งนี้ได้ปรับอุณหภูมิเตาอบแห้งลดลงจากข้อมูลที่ได้ พบว่าอุณหภูมิซึ่งงานที่ได้รับมากกว่า 100 องศา มีช่วงเวลาที่มากทำให้เกิดความร้อนที่สูญเสีย โดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งมีช่วงที่มีค่าสูญเสียความร้อนยิ่งตั้งอุณหภูมิไว้สูง ค่าความร้อนก็ยิ่งสูญเสียมากขึ้น ผลจากการทดลองนี้ได้ทำการปรับ ความเร็วของ Conveyor ที่ความเร็ว 1.7 m/min และ 2 m/min พร้อมทั้ง ทดลองขนาดของแผ่นเหล็กขนาดความหนา 0.8mm, 1mm และ 2mm สมมติฐาน ให้ความยาวและความกว้างมีขนาดคงที่ และทำการปรับอุณหภูมิของเตาอบที่ 5 ช่วงคือที่ 110 °C, 120 °C, 130 °C, 140 °C และ 150 °C พบว่าเราสามารถหาค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมได้คำนึงถึงปริมาณงานที่ต้องการ และสมการที่ได้ Lumped capacitance และ Quadratic regression มีการแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นสมการเส้นโค้งเหมือนกันแต่ยังประมาณ ไม่ใกล้เคียงกันเนื่องสมการ Lumped capacitance เป็นการคำนวณด้านการนำความร้อนของโลหะแผ่นโดยตรงส่วนสมการ Quadratic regression ได้จากการข้อมูลการทดลองและยังมีหลายตัวแปรเช่นการสูญเสียทางความร้อนอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระยะเวลาการอบแห้งของซึ่งงานใช้เวลา

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเตาอบมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี และการทำงานของแต่ละวันมีมากกว่า 8 ชั่วโมงของการทำการ อยู่ระหว่าง 12-24 ชั่วโมง และการที่จะหยุดเพื่อการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพมากของเตาอบอย่างต่อเนื่องนั้นเป็นการยากยิ่ง ทางส่วนของเจ้าของกิจการมีความสนใจมากในการหาการวิเคราะห์หาจุดสูญเสียทางความร้อนถ้ามีอุปกรณ์การวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพการ

วัดแสดงผลใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยที่ไม่กระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรที่ไม่มีผลต่อยอดการผลิต จึงมีการเสนอให้มีการศึกษาเพิ่มเติม ดังตัวอย่างเช่น

1. ศึกษาถึงผลกระทบการสูญเสียของผนังเตาอบ
2. ศึกษาถึงคุณสมบัติของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง(LPG)
3. ศึกษาถึงผลรวมของระบบถึงเชื้อเพลิงที่ใช้งานและขบวนการผลิตทั้งหมดของ

ขบวนการ

เอกสารอ้างอิง

สมชาย วงศ์วิเศษ. การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.

ผศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์, “การถ่ายเทความร้อน”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, มิถุนายน 2542.

ศ.ดร.เรียวโซ โทเอ, “อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), มกราคม, 2529.

Petchburi Gas LTD., “Specification of equipment for the oven “ , August ,1991.

Lienhard,John H.,A Heat Transfer text book,second edition,Prentice-Hall INC.New Jersey.1986.

S.Kakac and Y.Yener,Convective heat transfer,Ssecond edition,CRC Press,Florida,1995.

Hewitt,G.L,shires T.R,and Bott T.R.,Process heat transfer,CRC Press,Florida,1994.

Singiresu S. RAO. Engineering Optimization Theory and Pracice. Third Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1996.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองพฤติกรรมความร้อนในการอบแห้งของโลหะแผ่น
ในเตาอบแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 110 °C ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min
ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 110 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าไปในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	30
0.5	32	32	32
1	33	33	32
1.5	38	37	34
2	46	44	35
2.5	52	50	40
3	70	62	47
3.5	75	74	55
4	90	86	65
4.5	98	97	75
5	108	108	83
5.5	110	109	85
6	111	110	87
6.5	110	110	90
7	112	111	92
7.5	113	112	94
8	113	113	95
8.5	115	114	97
9	113	113	97
9.5	112	112	94
10	112	110	94
10.5	106	105	90
11	98	100	87

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 110 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
11.5	93	93	83
12	82	82	80
12.5	78	80	80

ตารางที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง

ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 120 °C ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 120 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	30
0.5	32	32	32
1	33	33	32
1.5	38	37	34
2	46	44	35
2.5	52	50	40
3	70	62	47
3.5	75	74	55
4	90	86	65
4.5	98	97	75
5	108	108	83
5.5	110	109	85
6	111	110	87
6.5	110	110	90
7	112	111	92
7.5	113	112	94

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 120 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
8	113	113	95
8.5	115	114	97
9	113	113	97
9.5	112	112	94
10	112	110	94
10.5	106	105	90
11	98	100	87
11.5	93	93	83
12	82	82	80
12.5	78	80	80

ตารางที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง

ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 130 °C ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 130 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	30
0.5	32	32	32
1	33	33	32
1.5	38	37	34
2	46	44	35
2.5	52	50	40
3	70	62	47
3.5	75	74	55
4	90	86	65

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 130 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
4.5	98	97	75
5	108	108	83
5.5	110	109	85
6	111	110	87
6.5	110	110	90
7	112	111	92
7.5	113	112	94
8	113	113	95
8.5	115	114	97
9	113	113	97
9.5	112	112	94
10	112	110	94
10.5	106	105	90
11	98	100	87
11.5	93	93	83
12	82	82	80
12.5	78	80	80

ตารางที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่น โลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 140 °C ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min
ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 140 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	30
0.5	32	32	32
1	33	33	34
1.5	38	37	37
2	46	44	43
2.5	52	50	47
3	70	62	58
3.5	75	74	70
4	90	86	90
4.5	98	97	95
5	108	108	97
5.5	110	109	100
6	111	110	103
6.5	110	110	105
7	112	111	107
7.5	113	112	108
8	113	113	110
8.5	115	114	110
9	113	113	108
9.5	112	112	107
10	112	110	105
10.5	106	105	103
11	98	100	100
11.5	93	93	93
12	82	82	85
12.5	78	80	80

ตารางที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่น โลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 150 °C ที่ความเร็ว Conveyor 1.7 m/min
ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 150 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	30
0.5	31	29	32
1	31	31	35
1.5	40	38	39
2	46	44	47
2.5	70	65	51
3	85	80	64
3.5	97	95	78
4	104	103	103
4.5	115	115	105
5	122	120	104
5.5	130	129	108
6	131	125	111
6.5	131	130	113
7	136	132	115
7.5	136	132	115
8	137	131	118
8.5	137	131	117
9	130	129	114
9.5	135	130	114
10	140	128	111
10.5	143	115	110
11	120	106	107

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 150 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
11.5	110	86	98
12	79	79	88
12.5	62	62	80

ตารางที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง

ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 110 °C ที่ความเร็ว Conveyor 2 m/min

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 110 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	29
0.5	33	32	32
1	38	34	31
1.5	41	37	30
2	41	43	30
2.5	45	45	29
3	54	56	31
3.5	64	65	36
4	75	75	38
4.5	90	89	50
5	104	102	64
5.5	105	103	75
6	105	103	76
6.5	103	104	78
7	106	105	82

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 110 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
7.5	107	106	84
8	106	106	86
8.5	107	107	88
9	108	107	92
9.5	105	105	92
10	104	105	89
10.5	101	102	90
11	99	99	85
11.5	95	96	84
12	83	84	82
12.5	82	84	80

ตารางที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง

ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 120 °C ที่ความเร็ว Conveyor 2 m/min

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 120 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	30
0.5	32	32	32
1	33	33	32
1.5	40	37	32
2	44	44	34
2.5	50	50	35
3	62	62	40
3.5	74	74	47
4	86	86	55

ตารางที่ ก.7 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 120 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
4.5	98	97	65
5	108	108	75
5.5	109	109	83
6	110	110	85
6.5	110	110	87
7	112	111	90
7.5	113	112	92
8	113	112	94
8.5	114	113	95
9	113	112	97
9.5	112	112	97
10	110	110	94
10.5	105	105	94
11	100	100	90
11.5	93	93	87
12	82	82	83
12.5	80	80	80

ตารางที่ ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 130 °C ที่ความเร็ว Conveyor 2 m/min
ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 130 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	31
0.5	31	31	32
1	33	33	33
1.5	39	38	35
2	46	44	39
2.5	55	55	41
3	70	68	49
3.5	85	83	59
4	96	96	73
4.5	107	105	80
5	115	114	86
5.5	117	115	92
6	116	116	94
6.5	118	117	96
7	119	117	99
7.5	120	118	100
8	119	119	102
8.5	120	119	103
9	119	118	103
9.5	118	118	102
10	116	116	100
10.5	110	109	99
11	102	101	95
11.5	91	90	90
12	82	81	84
12.5	79	76	80

ตารางที่ ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 140 °C ที่ความเร็ว Conveyor 2 m/min
ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 140 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	32
0.5	30	30	32
1	32	32	34
1.5	38	38	37
2	49	45	43
2.5	60	60	47
3	78	74	58
3.5	95	92	70
4	106	106	90
4.5	115	113	95
5	122	120	97
5.5	125	121	100
6	122	122	103
6.5	125	124	105
7	125	123	107
7.5	126	124	108
8	126	125	110
8.5	126	125	110
9	124	123	108
9.5	124	124	107
10	122	121	105
10.5	113	112	103
11	104	103	100

ตารางที่ ก.9 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 140 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
11.5	89	87	93
12	81	80	85
12.5	77	72	80

ตารางที่ ก.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิผิวของแผ่นโลหะที่เข้าไปในเตาอบแห้งอย่าง
ต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งค่าไว้ที่เตาอบ 150 °C ที่ความเร็ว Conveyor 2 m/min

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 150 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
0	30	30	33
0.5	29	29	32
1	35	31	35
1.5	42	40	40
2	53	50	48
2.5	69	65	52
3	91	85	65
3.5	106	100	82
4	117	115	108
4.5	120	121	110
5	128	126	108
5.5	131	127	109
6	131	128	112
6.5	132	131	114
7	135	129	116
7.5	133	130	116

ตารางที่ ก.10 (ต่อ)

ตั้งอุณหภูมิที่เตาอบ 150 องศาเซลเซียส

ความหนาแผ่นโลหะ(mm)	0.8	1	2
เวลาเข้าในเตาอบ(min)	อุณหภูมิภายในเตาอบ(C)		
8	133	132	118
8.5	132	131	118
9	130	129	114
9.5	130	130	112
10	128	127	111
10.5	116	114	108
11	107	104	105
11.5	87	85	96
12	80	79	86
12.5	76	68	80

ตารางที่ ก.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิภายในเตาอบแห้งอย่างต่อเนื่องตั้งค่าไว้ที่

เตาอบ 110 °C , 120 °C , 130 °C , 140 °C , 150 °C

อุณหภูมิภายในเตาอบแห้งรอบๆ แผ่นโลหะอุณหภูมิที่เตาอบ 110 °C , 120 °C , 130 °C , 140 °C , 150 °C

time(min)	110	120	130	140	150
0	30	30	30	30	30
0.5	28.6	32.4	36.2	40	43.8
1	28.7	34.8	40.9	47	53.1
1.5	31.2	40.8	50.4	60	69.6
2	40.6	50.4	60.2	70	79.8
2.5	47.5	60	72.5	85	97.5
3	70.3	79.2	88.1	97	105.9
3.5	94.1	98.4	102.7	107	115
4	107.2	109.8	112.4	115	124

ตารางที่ ก.11 (ต่อ)

อุณหภูมิภายในเตาอบแห้งรอบๆแผ่นโลหะอุณหภูมิที่เตาอบ 110 °C , 120 °C , 130 °C , 140 °C , 150 °C

time(min)	110	120	130	140	150
4.5	111.6	113.4	115.2	117	130
5	115.5	117	118.5	120	135
5.5	113.6	117.4	125	125	140
time(min)	110	120	130	140	150
6	111.7	117.8	122	130	145
6.5	110.7	117.8	124.9	132	146
7	111.1	117.4	123.7	130	140
7.5	110.5	117	123.5	130	140
8	112.3	116.2	120.1	124	138
8.5	115.1	115.4	115.7	116	135
9	113.5	114	114.5	115	120
9.5	113	112	111	110	109
10	112.5	110	107.5	105	102.5
10.5	100.9	99.6	98.3	97	95.7
11	91.3	89.2	87.1	85	82.9
11.5	79.4	77.6	75.8	74	72.2
12	67.2	64.8	62.4	60	57.6
12.5	51.5	52	52.5	53	53.5

ภาคผนวก ข
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

วิธีหนึ่งในการคำนวณค่าเวลาการใช้ความร้อนในการอบแห้งโลหะ แผ่นแบบต่อเนื่อง

A Calculation Method for Period of Heat Transfer in a Continuous Oven Drying of a Sheet Metal

ธีรโชติ สุขสิน พงษ์เจต พรหมวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้จะเป็นการนำเสนอการคำนวณหาเวลาเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการภายในเตาอบแห้งแบบต่อเนื่อง โดยหาอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการทำให้โลหะแผ่นที่เปียกน้ำและถูกทำให้แห้งภายใต้เงื่อนไขของความเร็วของการเคลื่อนที่ โดยใช้โลหะชนิดเดียวกันที่มีปริมาตรและมวลของโลหะมีขนาดเท่ากัน ซึ่งมีการทำการทดสอบโดยใช้กับสภาพจริงในโรงงาน และ ทำการปรับอุณหภูมิภายในเตาอบแห้งและสังเกตพฤติกรรมในการแห้งตัว จากสภาพที่เห็นอยู่ การคำนวณหาเวลานี้ยังสามารถช่วยในการปรับปริมาณเชื้อเพลิงในการอบชิ้นงานอย่างเหมาะสมอันเป็นการช่วยประหยัดพลังงานได้ระดับหนึ่ง

Abstract

This paper presents the calculation for drying wet metal sheet and find the time for the required temperature of sheet metal with the condition of the constant conveyor and the constant volume and the same metal. The test stated in this paper is performed with the real factory condition and the results compare with the calculated. They can be used to illustrate thermal characteristics of the drying and the heat controlling to save the energy.

1. บทนำ

ในการออกแบบการสร้างเตาอบแห้งโดยทั่วไป มักจะมีการออกแบบสร้างโดยอาศัยข้อมูลขณะเมื่อเริ่มต้นออกแบบ จะมีการกำหนดขนาดของเตา ความเร็วของสายพานลำเลียงและอุณหภูมิภายในเตาด้วยค่าของข้อมูลเมื่อขณะเริ่มต้นการออกแบบเตาโดยที่ค่าข้อมูลเหล่านี้มักจะถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานของเตาในการใช้งานมาตลอดระยะเวลาการใช้งาน แต่เมื่อเวลาผ่านไป มีการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่

อาจจะมียุทธศาสตร์เล็กกลง, ใช้วัสดุบางลงหรือทำชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้นใช้วัสดุหนาขึ้น แต่ในสายการผลิตมักจะไม่มีการปรับเปลี่ยนขนาดของอุณหภูมิตามการเปลี่ยนแปลงของการออกแบบผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดสถานะการให้พลังงานความร้อนที่เกินความจำเป็นต่อการอบแห้งของชิ้นงาน ซึ่งหมายถึงการสูญเสียค่าพลังงานความร้อนหรือเชื้อเพลิงโดยสูญเปล่าจากการที่เราตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบที่สูงเกินความจำเป็น

ดังนั้นในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการคิดค่าอุณหภูมิที่พอเหมาะ สำหรับชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่มีเงื่อนไขของเวลาในการอบและขนาดของเตาที่มีค่าคงที่

2. หลักการและทฤษฎี

การอบแห้งของโลหะแผ่นเป็น การระเหยเอาน้ำที่ติดกับผิวแผ่นโลหะออกมาจากแผ่นโลหะโดยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาให้กับน้ำในปริมาณที่พอเหมาะ ที่จะทำให้น้ำระเหยออกหมดพอดี ค่าเวลาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นงานจะขึ้นกับปริมาณความร้อนที่ให้กับชิ้นงาน การที่วัสดุแข็งถูกเปลี่ยนอุณหภูมิทันทีทันใดในเนื้อวัสดุนั้นจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่อีกอุณหภูมิใหม่ ในการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะ สมดุลย์ของอุณหภูมิใหม่อย่างสม่ำเสมอ ช่วงการเปลี่ยนแปลงในช่วงนี้เรียกว่า สภาวะไม่สม่ำเสมอ(unsteady-state) หรือสภาวะชั่วขณะ(transient) การคำนวณหาการกระจายของอุณหภูมิภายในของวัตถุระหว่างช่วงสภาวะไม่สม่ำเสมอค่อนข้างยุ่งยากมาก เนื่องจากอุณหภูมิแปรเปลี่ยนตามตำแหน่งและเวลาตลอดเวลา ดังนั้นการวิเคราะห์จึงพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลา เท่านั้นการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขนี้เรียกว่าการวิเคราะห์ระบบความร้อนที่เป็นกลุ่มก้อน(Lumped System analysis) คือการถ่ายเทพลังงานโดยการนำความร้อนที่เกิดขึ้นภายในของวัตถุที่ทำให้ ตัวมันเองมีอุณหภูมิแต่ละจุดมีค่าสู่สภาวะอุณหภูมิสม่ำเสมอ

2.1. วิเคราะห์เวลาการแห้งตัวของโลหะแผ่นโดยระบบ Lumped capacitance

ในการวิเคราะห์นี้ เราตั้งสมมติฐานภายใต้อุณหภูมิภายในวัตถุทุกๆจุดมีค่าสม่ำเสมอหรือมีค่าเท่ากันหมดที่เวลาใดๆ การพิจารณาวัตถุของโลหะแผ่นที่มี ปริมาตรเท่ากับ V พื้นที่ผิวทั้งหมดเท่ากับ A_s เริ่มต้นที่มีอุณหภูมิกึ่งที่เท่ากับ T ที่เวลา $t=0$ ใส่ชิ้นงานเข้าไปในเตาอบที่อุณหภูมิกึ่งที่เท่ากับ T_∞ อย่าง

ทันทีทันใด ($T_\infty > T$) อุณหภูมิของวัตถุจะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ T ที่ $t > 0$ จนกระทั่งเข้าสู่ T_∞ เนื่องจากการ

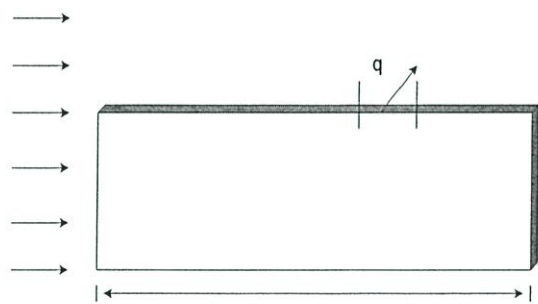
สมมติอุณหภูมิภายในวัตถุใดๆสม่ำเสมอ นั่นคือ อุณหภูมิแปรตามเวลาเท่านั้น

$$T_\infty \quad u_\infty$$

L

รูปที่ 1. แสดง A_s ถ่ายเทความร้อนแบบการพา

ถ่ายเทความร้อนโดยการพา โดยพิจารณาสภาวะของไหล



ตั้งรูปของไหลความเร็ว u_∞ อุณหภูมิ T_∞ ไหลผ่านพื้นผิวของวัตถุใดๆที่มีพื้นที่ A_s และมีอุณหภูมิ T_s ถ้าเงื่อนไขที่ผิว คือ T_s

$$-hA_s(T - T_\infty) = \rho C_p V \left(\frac{dT}{dt} \right) \tag{1}$$

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย เป็น (average convection coefficient) สำหรับพื้นที่ผิวทั้งหมด, ($J/kg.m^2$)

V = ปริมาตรของวัตถุ (m^3)

ρ = ความหนาแน่นของวัตถุ, (kg/m^3)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุ, ($J/kg.K$)

θ = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของวัตถุ (K)

เมื่อ $\theta = T - T_\infty$

$$\left(\frac{dT}{dt} \right) + \left(\frac{A_s h}{\rho C_p V} \right) (T - T_\infty) = 0; t > 0 \tag{2}$$

$$\left(\frac{dT}{dt} \right) + \left(\frac{A_s h}{\rho C_p V} \right) \theta = 0; t > 0 \tag{3}$$

แยกตัวแปรและอินทิเกรตจากเงื่อนไขเริ่มต้น ($t = 0, T = T_i$) เราได้

$$\int_0^t \left(\frac{d\theta}{dt}\right) + \int_0^t \left(\frac{A_s h}{\rho C_p V}\right) dt = 0; t > 0 \quad (4)$$

$$\ln\left(\frac{\theta}{\theta_i}\right) = -\left(\frac{hA_s}{\rho C_p V}\right)t \quad (5)$$

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\left(\frac{hA_s}{\rho C_p V}\right)t} \quad (6)$$

สมการนี้จะใช้หาเวลาที่ต้องการสำหรับวัตถุมีอุณหภูมิถึงจุด T_i หรือในทางกลับกัน สมการนี้ใช้หาอุณหภูมิว่าเป็นเท่าใดเมื่อเวลาผ่านไป t หลังจากจุ่มในของไหล

ให้พารามิเตอร์ $\tau = \left(\frac{\rho C_p V}{hA_s}\right)$ เป็นค่าคงที่แห่งเวลา (time constant) ของวัตถุ ดังนั้น

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-(t/\tau)} \quad (7)$$

2.2 วิเคราะห์โดยวิธี ตามสหพันธ์เอมไพริคัล(Empirical correlations)ในการไหลผ่านแผ่นเรียบ การถ่ายเทความร้อนจะคำนวณความร้อน ตัวแปรที่จะยุ่งยากในการคำนวณ คือค่า h ซึ่งเราหาได้จากคุณสมบัติในตารางต่างๆ ได้จากการ แบบลามินาร์ หรือ เทอร์บูเลนต์ ในที่นี้จะเป็น ไปแบบ ลามินาร์ซึ่งได้สรุปได้ดังสมการ ซึ่งได้สรุปได้ดังสมการ

$$Re_L = \rho \frac{u_\infty L}{\mu} < 5 \times 10^5 \quad (8)$$

L = ความยาวของแผ่นเรียบ, เมตร

u_∞ = ความเร็วของไหลของอากาศ, เมตรต่อวินาที

μ = ความถ่วงจำเพาะของอากาศ, $N \cdot s/m^2$

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

การพาความร้อนที่มีพื้นผิวสม่ำเสมอ ของค่า local

Nusselt , Nu_L สามารถจัดอยู่ในรูป

$$Nu_L = \frac{h_x x}{k} = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad (9)$$

$$Pr \geq 0.6$$

โดยคุณสมบัติต่างๆทั้งหมดหาได้ที่อุณหภูมิบาวน์ตรีเลเยอร์เฉลี่ย T_f เรียกว่าอุณหภูมิฟิล์ม (film temperature) $T_f = (T_\infty + T_s)/2$

สมการพลังงานสำหรับการถ่ายเทความร้อนในวัตถุเป็นสร้างกฎเกณฑ์บางอย่างซึ่งการกระจายอุณหภูมิสามารถพิจารณาสม่ำเสมอภายใต้วัตถุแข็งและการวิเคราะห์ระบบการกระจายทั่วทั้งก้อนสามารถใช้ได้ เรากำหนดความยาว คุณลักษณะ (characteristic length, L_c) เป็น

$$L_c = \frac{V}{A} \quad (10)$$

และบีโอท์ นัมเบอร์ (Biot number), Bi เป็น

$$Bi = \left(\frac{hL_c}{k}\right) \quad (11)$$

สำหรับวัตถุแข็งในรูปของแผ่นสี่เหลี่ยม การกระจายของอุณหภูมิระหว่างทรานเซียนภายในวัตถุ แข็งช่วงขณะใดๆ สม่ำเสมอแล้วจะมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 5% ถ้า

$$Bi = \left(\frac{hL_c}{k}\right) < 0.1 \quad (12)$$

นั่นคือ ระบบ Lumped capacitance สามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อ $Bi < 0.1$ ค่านี้จะเห็นได้ชัดเมื่อจัดอยู่ในรูป

$$Bi = \left(\frac{hL_c}{k}\right) \text{ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์}$$

การพาความร้อนที่ผิวของวัตถุแข็งต่อค่าการนำความร้อนจำเพาะของวัตถุแข็ง ดังนั้นสมมติฐานของอุณหภูมิสม่ำเสมอของวัตถุแข็งใช้ได้ ถ้าค่าการนำความร้อนจำเพาะของวัตถุ มีค่ามากกว่า สัมประสิทธิ์ การพาความร้อนที่ผิวการหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการ อบแห้งของแผ่นโลหะคือการให้ ปริมาณความร้อนที่

ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนทำให้แผ่น โลหะจากเปียกจนแห้ง
 สนิทนั้นหมายถึงอุณหภูมิของโลหะสูงกว่าจุดเดือดของ
 ฟิล์มน้ำที่มาเคลือบแผ่น โลหะระเหยไปหมด

3. การวิเคราะห์และการคำนวณ

เราได้ศึกษาโรงงานเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่งที่มี
 ห้องอบแห้งสำหรับแผ่น โลหะโดยการให้ความร้อน
 จากลมร้อนที่ใช้ก๊าซLPGเป็นเชื้อเพลิงและอุณหภูมิคงที่
 และภายใต้ความเร็วของวัตถุคงที่ โดยข้อกำหนดเฉพาะ
 ในเตาอบแห้งแผ่น โลหะสำหรับ โรงงานนี้มีดังนี้คือ

1. อุณหภูมิของเตาสามารถปรับไว้ที่ 150 องศา เซลเซียส
 ที่ความดันหมุนเวียน ของอากาศ=133.32 N/m²
 2. สายพานลำเลียงที่วัตถุแขวนอยู่มีความเร็วคงที่ 1.6 เมตร
 ต่อ นาที ช่วงเวลาวัตถุเคลื่อนที่อยู่ในเตาอบยาว 11 เมตร
 วัตถุใช้เวลาอยู่ในเตาอบนาน 7 นาที
 3. วัตถุแผ่นเรียบหนาสูงสุด 20 มิลลิเมตร
 4. ชิ้นงานโลหะแผ่นมีพื้นที่สูงสุด 2.88 ตารางเมตร ที่
 ความยาวสูงสุด 2.8 เมตร
 5. ปริมาตรภายในเตา(m³)ที่ให้ความร้อนคงที่ที่กำหนด
 กว้าง 1.2 เมตร ยาว 11 เมตร สูง 2.8 เมตร
 6. ความร้อนจากหัวเผา 200,000 kcal/hr(232393.1 W)
- การคำนวณเพื่อหาค่าความร้อนต่อชิ้นงาน

เนื่องจากปัญหาของการให้ค่าพลังงานความร้อน สิ่ง
 เราต้องหาคือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ
 โลหะแผ่นเหล็ก (h) ของคุณสมบัติเฉพาะของเตาอบที่
 กระทำต่อวัตถุที่ผ่านเข้าไปในเตา เราสามารถหาได้จากใช้
 สมการ

$$\bar{Nu}_L = \frac{h_x x}{k} = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$Pr \geq 0.6$$

T_∞ = อุณหภูมิภายในเตาอบที่เราปรับอุณหภูมิ ในที่นี้
 เรากำหนดที่ 110,120,130,140,150 องศาเซลเซียส

T_s = อุณหภูมิผิวแผ่นเหล็กที่มีอุณหภูมิ 30 องศา
 เซลเซียส ก่อนเข้าภายในเตา

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในเตา W/m² K

$$Tf = (T_\infty + T_s) / 2$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า t ที่อุณหภูมิใดๆ

ตรวจสอบค่าเป็นไปตามบีโธต์ นัมเบอร์(Biot
 number)หรือไม่ จากสมการ ที่ (11)

คุณสมบัติของโลหะแผ่นมีดังนี้คือ

ค่าการนำความร้อน(k)= 60.5 (w/m² K)

ค่าความหนาแน่นของโลหะแผ่น(ρ)=7854 kg/m³

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในเตา W/m² K

ค่าความจุความร้อน (Cp)=434 J/(kg K)

ให้พารามิเตอร์ $\tau = (\frac{\rho Cp V}{h A_s})$ เป็นค่าคงที่แห่งเวลา

(time constant) ของวัตถุ คำนวณ

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-t/\tau}$$

$T^\circ C$	$Re_L < 5 \times 10^5$	Nu_L	h	$T_m, i^\circ C$	$T_m, s^\circ C$	q J/m ²	$Bi < 0.1$	t(s),(min) คำนวณ
150	1849.5	25.13	324.46	30	100	38935.31	0.05	91.4,(1.5)
140	1942.75	25.75	328.46	30	100	36130.59	0.05	104.8,(1.75)
130	2045.87	26.43	332.88	30	100	33288.01	0.06	122.88,(2)
120	2133.69	26.99	335.72	30	100	30214.92	0.06	152.3,(2.53)
110	2186.78	27.64	339.47	30	100	27157.92	0.06	208.85,(3.5)

ตาราง ที่ 2. ผลการคำนวณหาค่าเวลาในการอบแห้ง

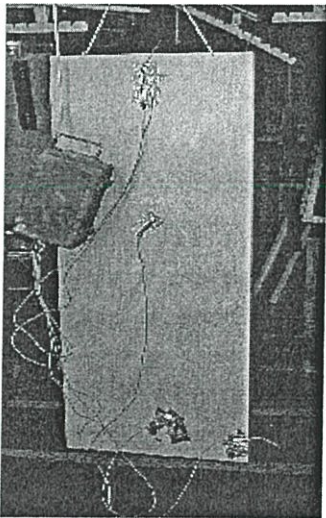
การกำหนดค่า T อุณหภูมิ ลดลง จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า เวลาการอบแห้งจะมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้พิจารณาการตัดสินใจให้เหมาะสมกับสภาพเวลาในการอบแห้งแผ่นโลหะนั้นๆ

อุณหภูมิภายในเตาอบแห้ง °C	110	120	130	140	150
ปริมาณความร้อนในการอบชิ้นงาน(W)	78214.81	87018.97	95869.47	104056.1	112133.7
เวลาการอบแห้ง นาที	3.5	2.5	2	1.7	1.5
เวลาชิ้นงานอยู่ในเตาอบแห้ง นาที	7	7	7	7	7

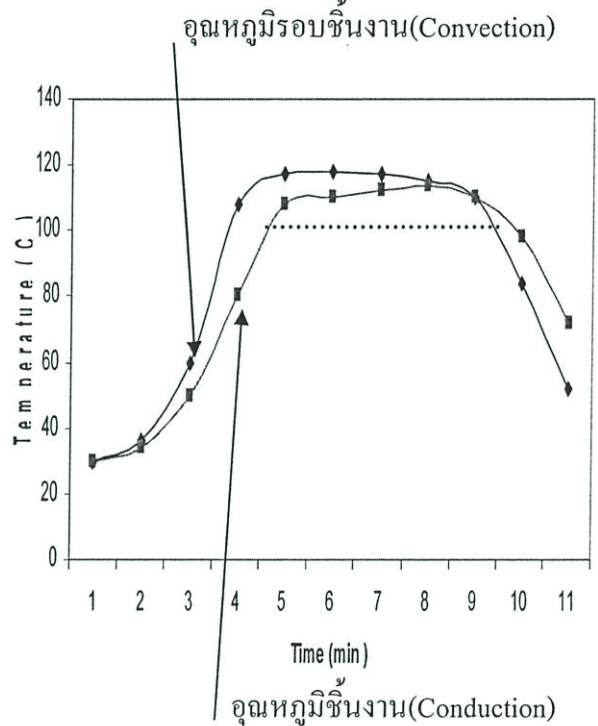
ตารางที่ 3. เปรียบเทียบเวลาในการอบแห้งทางทฤษฎีเทียบกับเวลาที่อยู่ในเตาอบแห้ง

4.ผลการทดลอง

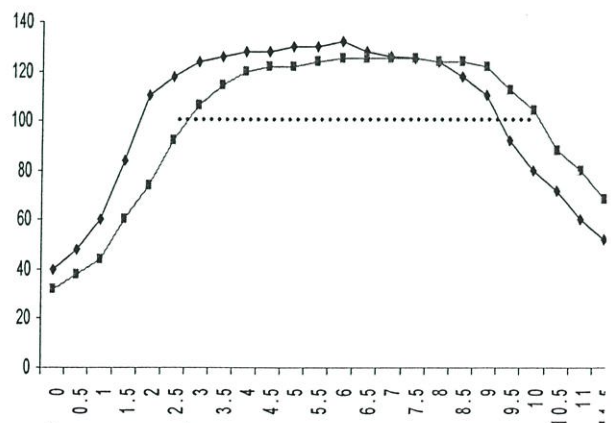
โลหะแผ่นถูกนำไปทดลองในเตาอบแห้งของโลหะแผ่น ดังข้อกำหนดข้างต้น โดยให้ค่าความเร็วและมวลโลหะแผ่นคงที่ เราได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงสุดภายในเตาดังแต่ 110 - 150 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าชิ้นงานก็ยังแห้งสนิทเช่นเดียวกัน ทั้งที่อุณหภูมิ 110 และ 150 องศาเซลเซียส และ พบว่าการลดอุณหภูมิลงช่วยลดปริมาณเชื้อเพลิงได้ระดับหนึ่งเนื่องจากชิ้นงานมีระยะเวลาอยู่ในเตาอบแห้งมาก เราไม่สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดในเตาอบให้น้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส เพราะสภาพอากาศโดยรอบของการอบแห้งของโลหะต้องการให้สูงกว่าจุดเดือดของน้ำและสภาพอากาศให้แห้ง



รูปที่ 2 . ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ



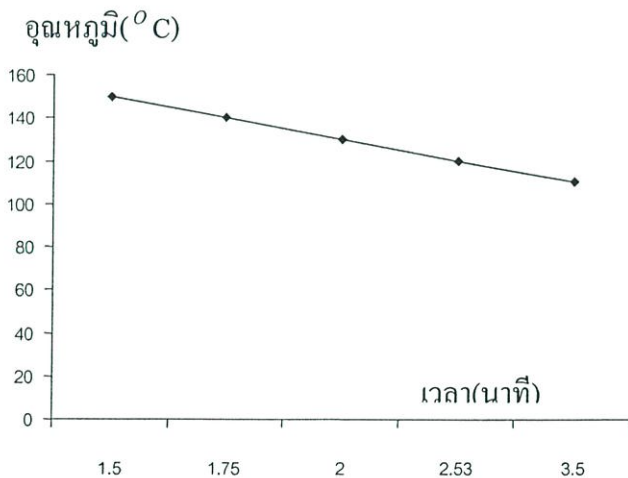
รูปที่ 3. ผลกราฟที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์การวัด ที่อุณหภูมิของเตาอบ 125 องศา



รูปที่ 4. ผลกราฟที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์การวัด ที่อุณหภูมิของเตาอบ 140 องศา

5.บทสรุป

จากการทดลองพบว่า แผ่นโลหะแห้งตัวได้ดีใน อุณหภูมิสูงขึ้นและเชื้อเพลิงก็ใช้มากตามไปด้วย ทฤษฎี ของการวิเคราะห์ระบบ Lumped capacitance ช่วยให้เรา พิจารณาเวลาในการอบแห้งของโลหะแผ่นซึ่งทำให้เรา สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณการให้ความร้อนของ ห้องอบแห้งให้สัมพันธ์กับระยะเวลาซึ่งงานอยู่ในเตาอบที่ ต้องการ แต่นั่นต้องให้ตรงกับค่า $Bi < 0.1$ ซึ่งการทดลองนี้ ทำให้โรงงานแห่งนี้ได้ปรับอุณหภูมิเตาอบแห้งลดลงจาก ข้อมูลที่ได้ พบว่าอุณหภูมิซึ่งงานที่ได้รับมากกว่า 100 องศา มีช่วงเวลาที่มากทำให้เกิดความร้อนที่สูญเสีย โดยเปล่า ประโยชน์ ดูได้จากกราฟที่ 3 และ 4 ที่เป็นเส้นประ ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าสูญเสียความร้อน ยิ่งตั้งอุณหภูมิไว้สูง ค่า ความร้อนก็ยิ่งสูญเสียมากขึ้น ผลจากการทดลองนี้ค่า ช่วงเวลาของเส้นประจะนำมาพิจารณาเวลาของการอบแห้ง ให้เหมาะสมกับชิ้นและปรับค่าอุณหภูมิภายในเตาอบให้ เหมาะสม จะ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานได้โดยตรง



รูปที่ 5 .ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในเตาอบและ เวลา จากการคำนวณ

6.เอกสารอ้างอิง

[1] ศศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์, "การถ่ายเทความร้อน", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ,มิถุนายน 2542.

[2] ศ.ดร.เรียวโซ โทเอ, "อุปกรณ์อบแห้งใน อุตสาหกรรม", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), มกราคม, 2529.

[3] Petchburi Gas LTD., "Specification of equipment for the oven " , August ,1991.

[4] Lienhard, John H., A Heat Transfer text book, second edition, Prentice-Hall INC. New Jersey. 1986.

[5] S.Kakac and Y.Yener, Convective heat transfer, Ssecond edition, CRC Press, Florida, 1995.

[6] Hewitt, G.L, shires T.R, and Bott T.R., Process heat transfer, CRC Press, Florida, 1994.

T_f °K	ρ kg / m^3	$\mu 10^7$ $N.s / m^2$	$\nu 10^6$ m^2 / s	$k 10^3$ $w / m - k$	Pr
300	1.161	184.600	15.890	26.300	0.707
343	1.018	204.896	20.216	29.482	0.701
348	1.002	207.256	20.719	29.852	0.700
350	0.995	208.200	20.920	30.000	0.700
353	0.988	209.514	21.608	30.228	0.699
358	0.975	211.704	22.755	30.608	0.698
363	0.963	213.894	23.902	30.988	0.697
400	0.871	230.100	32.390	33.800	0.69

ผนวกที่ 1. คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย ชีรโชติ สุขสิน
วัน เดือน ปีเกิด	20 พฤศจิกายน 2508 ที่จังหวัดสุรินทร์
ที่อยู่	75/241 หมู่บ้านปรีชาพร้อมเกล้า แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10510
ประวัติการศึกษา	2531 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประเภทวิศวกร	สามัญวิศวกร สาขาเครื่องกล
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) ซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุตสาหกรรมภายในโรงงาน 2) การออกแบบและติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 3) ควบคุมโครงการต่างๆ ด้านเครื่องกล 4) การปรับปรุงขบวนการเพิ่มการผลิตเชิงอุตสาหกรรม
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2531-2540 ตำแหน่งผู้จัดการโครงการ บริษัท วัฒนไพศาล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด พ.ศ. 2541-2550 ตำแหน่งผู้จัดการ ซ่อมบำรุง บริษัท แอมแอร์ จำกัด ปัจจุบัน ตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ บริษัท ธารากอนท์ มาสเตอร์ วิศวกรรมจำกัด