



วิทยานิพนธ์

การศึกษาการลดความร้อนจากเตาเผาภายในโรงงานผลิตแหนบรดยนต์

**A STUDY FOR FURNACE HEAT REDUCTION IN LEAF
SPRING PLANT**

นายสนั่นศิลป์ สีท่ามี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการลดความร้อนจากเตาเผาภายในโรงงานผลิตแหนบรถยนต์

A Study for Furnace Heat Reduction in Leaf Spring Plant

นามผู้วิจัย นายสนั่นศิลป์ สิทำมี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทยา หาญสกุลลักษณ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการลดความร้อนจากเตาเผาภายในโรงงานผลิตแหนบรถยนต์

A Study for Furnace Heat Reduction in Leaf Spring Plant

โดย

นายสนั่นศิลป์ สิทำมี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2550

สนั่นศิลป์ สีสำมี 2550: การศึกษาการลดความร้อนจากเตาเผาภายในโรงงานผลิตแหวน
รถยนต์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรม
ความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D. 86 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากเตาเผาเหล็ก
แหวนออกสู่สิ่งแวดล้อมภายในอาคาร โรงงานผลิตแหวนรถยนต์ โดยใช้โปรแกรมการคำนวณ
ด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic, CFD) ช่วยในการวิเคราะห์ ผลการ
วิเคราะห์จะนำมาใช้ในการออกแบบและปรับปรุงแก้ไขแหล่งกำเนิดความร้อน โดยเลือกใช้วัสดุ
ที่เหมาะสม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากเตาเผา ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของพนักงาน
ให้มีอุณหภูมิน้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความปลอดภัยตามกฎหมาย

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบแหล่งกำเนิดของความร้อนที่เกิดจากเตาเผา ท่อระบาย
ความร้อน และโถ้วางชิ้นงาน ดังนั้นในการปรับปรุงแก้ไข ผู้วิจัยได้พิจารณาปรับปรุงลำดับแรก
ที่แหล่งกำเนิดความร้อนตามหลักการทางด้านวิศวกรรม โดยการปรับปรุงแก้ไขที่ฉนวนกันความ
ร้อนทั้งในเตาเผา และผนังเตาเผา โดยทำการติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ผนังเตาทุกด้านทั้งหมด 3 เตา
และผนังท่อระบายความร้อนทุกด้านทั้งหมด 3 ท่อ ส่วนเตาที่ 3 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสในเตาระหว่าง
อิฐทนไฟกับเหล็กคาร์บอนที่มีความหนา 100 มิลลิเมตร ทำให้สามารถลดอุณหภูมิลงได้ถึง 11 องศา
เซลเซียส จากอุณหภูมิก่อนการปรับปรุงที่ 50 องศาเซลเซียส โดยที่หลังปรับปรุงอุณหภูมิลดลง
เหลือเพียง 39 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดตามประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519
เรื่อง “ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม” ดังนั้นพนักงานที่ปฏิบัติงานในพื้นที่นี้
จึงมีความปลอดภัยในการทำงาน

Sanansil Seetammee 2007: A Study for Furnace Heat Reduction in Leaf Spring Plant.
Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering,
Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor
Chawalit Kittichaikarn, Ph.D. 86 pages.

The purpose of this thesis is to study the heat transfer from the steel furnace to the surrounding workplace in Leaf Spring manufacturing factory using computation fluid dynamics program. Results obtained leads to an improvement of the heat source by using suitable insulation

It has been shown from the result that the furnaces, heat ventilation ducts and work pieces on the table next to the furnaces are the main heat source. The improvement has been achieved by installing fiberglass sheet on the wall of the furnace and on heat ventilation ducts. Moreover for the third furnace, the 100 mm. thick fiberglass sheet was installed at the inner surface of the furnace. This improvement gave a reduction in air temperature around the workplace from $50^{\circ}C$ down to $39^{\circ}C$. This value is lower than $45^{\circ}C$ which are critical and unsafe temperatures for the workers. Therefore with the low temperature of air around the workplace gives an increase in work efficiency and comfort to the workers.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต กิตติชัยการ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ในการทำงานวิจัย รวมทั้งช่วยเหลือ
ในการตรวจทานความถูกต้องและแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์
ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิยา หาญสุภลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ตลอดจนผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้บริหาร และเพื่อนร่วมงาน บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด
ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ น้องๆ นิสิต
ปริญญาโทวิศวกรรมความปลอดภัย ภาคพิเศษรุ่นที่ 5 ทุกคน ตลอดจนเพื่อนสนิททุกท่าน
ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาคำแนะนำจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุน และให้
กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงได้

สุดท้ายนี้ ประโยชน์ได้อันที่มาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา-มารดา ญาติมิตร
คณาจารย์และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่านที่ได้เมตตาอบรม สั่งสอน ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจ
มาโดยตลอด

สนั่นศิลป์ สิทำมี

กันยายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตของงานวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	53
ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิก่อนการปรับปรุง	53
การตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม	57
ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิหลังการปรับปรุง	59
เปรียบเทียบผลการศึกษากับค่ามาตรฐานความร้อนตามกฎหมายกำหนด	72
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	75
สรุปผลการวิจัย	75
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก ตารางแสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของฉนวนและวัสดุก่อสร้าง	80
ภาคผนวก ข ตารางแสดงคุณสมบัติ และราคาของไฟเบอร์กลาส	84
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงมาตรฐานระดับความร้อน	15
2	แสดงดัชนี (TWA-WBGT index) หน่วย °C (°F)	17
3	แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังเตาเผา และท่อนำความร้อนแต่ละด้าน	40
4	แสดงค่าอุณหภูมิที่ผิว ($^{\circ}C$) ที่เกิดจากโตะวางชิ้นงาน	42
5	แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน จากการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาส ภายในเตาเผา และท่อนำความร้อน เป็น 0.1 เมตร	43
6	แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน จากการติดตั้งไฟเบอร์กลาสรอบผนังเตาเผา และผนังท่อนำความร้อน ที่ความหนา 0.05 เมตร	45
7	แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน จากการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาส ภายในเตาเผาที่ 3 เป็น 0.1 เมตร, ผนังเตาเผาที่ 1, 2, และ 3 เป็น 0.05 เมตร และผนังท่อนำความร้อนที่ 1, 2, และ 3 เป็น 0.05 เมตร	48
8	แสดงปัจจัยนำเข้าของรูปแบบการคำนวณของปัญหาการไหล	51
9	แสดงปัจจัยนำเข้าของสภาวะเริ่มต้น (Initial Conditions)	51
10	แสดงปัจจัยนำเข้าของความละเอียดในการคำนวณ (Mesh Settings)	52
11	แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในพื้นที่เตาเผาเหล็กเหน็บที่ได้ศึกษากับค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน	72
12	แสดงค่าใช้จ่ายของวัสดุในการปรับปรุงแก้ไข	73
ตารางผนวกที่		
ก1	แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของฉนวนและวัสดุก่อสร้าง	81
ก2	แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของโลหะผสม	82
ข1	แสดงราคาของไฟเบอร์กลาส	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงรูปແໜ່ນທີ່เป็นส่วนประกอบในรถยนต์	5
2	แสดงขั้นตอนการผลิตແໜ່ນรถยนต์	6
3	แสดงขั้นตอนที่ทำให้เกิดความร้อน	7
4	แสดงการใช้ฉนวนบุเตาอบ และท่อนำความร้อน	19
5	แสดงการติดตั้งฝาปิดช่องเตาอบ	20
6	แสดงการติดตั้งฉนวนปิดกั้นแหล่งกำเนิดความร้อน	20
7	แสดงการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่	21
8	แสดงการสร้างห้องเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสความร้อน	21
9	แสดงการจ่ายอากาศเย็นเฉพาะจุด	22
10	แสดงการแยกแหล่งกำเนิดความร้อน	22
11	แสดงการดันอากาศเย็นจากด้านล่าง เพื่อไล่อากาศร้อนสู่ด้านบน	23
12	แสดงการเปิดช่องประตู หน้าต่าง เพื่อรับกระแสลม ตามธรรมชาติ ที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล	23
13	แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศที่เหมาะสม	24
14	แสดงการจำลองพื้นที่เตาเผาเหล็กແໜ່ນที่ใช้ใน การศึกษา	32
15	แสดงการจำลองพื้นที่เตาเผาเหล็กແໜ່ນในมุมมองด้านบน	32
16	แสดงแบบจำลองเตาเผาเหล็กແໜ່ນและปล่องระบายความร้อน	33
17	แสดงเตาเผาเหล็กແໜ່ນจากพื้นที่จริง	34
18	แสดงแบบจำลองโຕະວາງຂຶ້ນງານ	34
19	แสดงโຕະວາງຂຶ້ນງານจากพื้นที่จริง	35
20	แสดงระบบการจ่ายอากาศเฉพาะจุดให้กับผู้ปฏิบัติงาน	35
21	แสดงผนังเตาเผาเหล็กແໜ່ນ และท่อระบายความร้อนภาพตัดขวาง	39
22	แสดงทิศทางการไหลและความเร็วของอากาศในพื้นที่เตาเผาเหล็กແໜ່ນ	52
23	แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความสูง 1.5 เมตร	53
24	แสดงอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่เตาเผาที่มุมมองด้านบน	54
25	แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนของเตาเผาที่ 1, 2 และ 3	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	แสดงทิศทางการไหลของอากาศ	56
27	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจริงและที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมด้านพลศาสตร์ของไหล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และบริเวณที่มีพนักงานปฏิบัติงาน	58
28	แสดงผลการวิเคราะห์โดยการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาสจาก 0.05 เมตร เป็น 0.1 เมตร	60
29	แสดงทิศทางการไหลของอากาศมีผลกระทบต่อบริเวณเตาที่ 3	62
30	แสดงผลการติดตั้งไฟเบอร์กลาสรอบเตาเผา	63
31	แสดงผลการติดตั้งไฟเบอร์กลาสในเตาเผาและรอบเตาเผา ที่ 3	67
32	แสดงผลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง	70
ภาพผนวกที่		
ข1	แสดงคุณสมบัติของไฟเบอร์กลาส	84

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CFD	=	การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics)
$^{\circ}\text{C}$	=	หน่วยของความร้อน องศาเซลเซียส
$^{\circ}\text{F}$	=	หน่วยของความร้อน องศาฟาเรนไฮต์
R	=	หน่วยของความร้อน องศาสมบูรณ์แรงกิน
K	=	หน่วยของความร้อน องศาสมบูรณ์เคลวิน
Q	=	อัตราการระบายอากาศที่ต้องการ (ลูกบาศก์ฟุต/นาที)
H_s	=	เซนซิเบิลฮีท โคลดหรือปริมาณความร้อนสัมผัสทั้งหมด ซึ่งเป็นภาระที่ต้องทำการแก้ไข (บีทียู/ชั่วโมง)
C_p	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศ (บีทียู/ปอนด์ $^{\circ}\text{F}$)
ρ	=	ความหนาแน่นของอากาศ (ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต)
ΔT	=	ความแตกต่างกันของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในสถานประกอบการที่ต้องการ ($^{\circ}\text{F}$)
H_L	=	เลเทนท์ฮีท โคลดหรือปริมาณความร้อนแฝงทั้งหมด ซึ่งเป็นภาระที่จะต้องแก้ไข (บีทียู/ชั่วโมง)
ΔA_w	=	ความแตกต่างระหว่างปริมาณของน้ำ (ความชื้น) ในอากาศระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (เกรน/ปอนด์) หาได้จาก Psychrometric Chart
W_c	=	อัตราการระเหยเป็นไอของน้ำ (ปอนด์/ชั่วโมง)
d	=	ความหนาแน่นของอากาศ (ปอนด์/ลูกบาศก์เมตร)
WBGT	=	ดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบ (Wet Bulb Globe Temperature Index)
DB	=	อุณหภูมิที่อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) วัดเป็นองศาเซลเซียส
NWB	=	อุณหภูมิที่อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกตามธรรมชาติ (Natural Wet Bulb Temperature) วัดเป็นองศาเซลเซียส
GT	=	อุณหภูมิที่อ่านค่าจากโกลบเทอร์โมมิเตอร์ หรือเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะดำ (Globe Temperature) วัดเป็นองศาเซลเซียส
$P_4\text{SR}$	=	ปริมาณเหงื่อออก 4 ชั่วโมง (Predicted 4-hour Sweat Rate)
$B_4\text{SR}$	=	ค่าประมาณพื้นฐานเหงื่อออก 4 ชั่วโมง (Basic 4-hour Sweat Rate)
I_{clo}	=	ค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของเสื้อผ้า

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ET	=	ดัชนีความสบาย (Effective Temperature)
CET	=	ดัชนีความสบายที่ปรับปรุงแล้ว (Corrected Effective Temperature)
HST	=	ดัชนีความเค้นแห่งความร้อน (Heat Stress Index)
E_{req}	=	ความต้องการระเหยของเหงื่อ (Required Evaporative Heat Loss)= $M \pm R \pm C$
E_{max}	=	ความสามารถที่จะรับการระเหยได้สูงสุดของสิ่งแวดล้อม (Maximum Evaporative Heat Loss)
M	=	ค่าความร้อนที่เกิดขึ้น โดยการสร้างพลังงานของร่างกาย (Metabolism)
R	=	ค่าความร้อนเกิดขึ้นจากการแผ่รังสี (Radiative Heat)
C	=	ค่าความร้อนเกิดขึ้นจากการพา (Convective Heat)
Q	=	การเคลื่อนที่ของความร้อนอย่างสม่ำเสมอ, W
k	=	ความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity Of Material), ($W/m \cdot K$)
A	=	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่าน, m^2
T	=	ค่าอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ, K
X	=	ความหนาของผนังที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m
R_i	=	ความต้านทานความร้อนของผนัง i, K/W
X_i	=	ความหนาของผนัง i ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m
k_i	=	ความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ ($W/m \cdot K$)
R_t	=	ความต้านทานความร้อนรวม, K/W

การศึกษาการลดความร้อนจากเตาเผาภายในโรงงานผลิตแหนบรถยนต์

A Study for Furnace Heat Reduction in Leaf Spring Plant

คำนำ

ปัจจุบันรถยนต์มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ทั่วโลก จึงทำให้มียอดการผลิตรถยนต์เพิ่มขึ้นทุกปี ในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนของปี 2549 มียอดการผลิตสูงถึง 597,474 คัน เพิ่มขึ้น 14.82 % เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีที่แล้ว (เดือนมกราคม ถึง มิถุนายน 2548 ยอดผลิต 523,355 คัน) ในจำนวนนี้ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศถึง 330,031 คัน จากยอดการผลิตที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้มีการผลิตชิ้นส่วนประกอบรถยนต์มากตามไปด้วย

แหนบรถยนต์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโครงสร้างรถยนต์ ทำหน้าที่รองรับแรงสั่นสะเทือน โดยทำงานร่วมกับโช้คอัพเพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนอื่นในรถยนต์ และเพื่อความนุ่มนวลในการขับขี่แหนบรถยนต์ทำจากเหล็กกล้าสปริง มีลักษณะแบนยาวเป็นแผ่น โดยผ่านการขึ้นรูปโค้ง และผ่านกระบวนการทางความร้อนจนได้คุณสมบัติที่ต้องการ จากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นดัดโดยใช้การร้อยยึด (Bolt) เข้าด้วยกัน

ในการผลิตแหนบรถยนต์ต้องใช้ความร้อนในการขึ้นรูปชิ้นงาน แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยมีการใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติ แต่ยังมีบางกระบวนการที่ต้องอาศัยความชำนาญของมนุษย์ซึ่งเครื่องจักรไม่สามารถทำได้ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานกับสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งปัญหาเกี่ยวกับความร้อนทำให้ส่งผลต่อสุขภาพพนักงานที่ปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียงแหล่งกำเนิดความร้อน ทำให้ร่างกายของพนักงานเกิดความผิดปกติเนื่องจากความร้อนมีตั้งแต่เป็นลมชั่วคราวเนื่องจากสมองมีเลือดไปเลี้ยงไม่เพียงพอจนถึงภาวะเป็นลมเนื่องจากความร้อน อาการทั่ว ๆ ไปของอันตรายจากความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น และร่างกายขาดน้ำ เป็นต้น ซึ่งความผิดปกติของร่างกายจากความร้อนแบ่งได้เป็นภาวะ การควบคุมอุณหภูมิผิดปกติ เช่น การเป็นลมเนื่องจากความร้อน (Circulation hypostasis), โรคที่พบได้แก่ เป็นลมขณะยืนในที่ที่มีความร้อน (Heat syncope), การขาดน้ำและ/หรือเกลือแร่ เช่น การอ่อนเพลียเนื่องจากความร้อน (Heat exhaustion), การเป็นตะคริวเนื่องจากความร้อน (Heat cramps), อาการผิดปกติที่ผิวหนัง (Skin eruption) เช่น ผื่นเนื่องจากความร้อน (Heat rash), ผื่นเนื่องจากการกักขังของเหงื่อ

(Anhidrotic heat exhaustion) และเกิดพฤติกรรมที่ผิดปกติ เช่น เหนื่อยล้าชั่วคราว (Transient heat fatigue), เหนื่อยล้าถาวร (Chronic heat fatigue) เป็นต้น (พรพิมล, 2545)

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากเตาเผาเหล็กแหวน
ในโรงงานผลิตแหวนรถยนต์ที่มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน เพื่อหาแนวทางในการควบคุมแหล่ง
ที่ทำให้เกิดความร้อน และสามารถวิเคราะห์ เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงการลดความร้อน
ภายในอาคารโรงงานผลิตแหวนรถยนต์ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น
หรืออาคารโรงงานอื่น ๆ ที่มีแหล่งความร้อนในลักษณะเดียวกันในการวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้อง
พิจารณารายละเอียดที่เกี่ยวข้อง เช่น แบบแปลนของอาคารโรงงาน ระบบการระบายอากาศ
และแหล่งกำเนิดความร้อนที่เป็นองค์ประกอบในพื้นที่ผลิตแหวนรถยนต์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์รูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากเตาเผาเหล็กเหนือบอกสู่สิ่งแวดล้อมภายในอาคารโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์ที่มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยใช้โปรแกรมการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD)
2. เพื่อเป็นแนวทางในการลดความร้อน จากการถ่ายเทความร้อนบริเวณหน้าเตาเผาเหล็กเหนือบภายในโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนของเตาเผาเหล็กเหนือบอกสู่สิ่งแวดล้อมภายในโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์
2. ทำให้สามารถลดความร้อนภายในพื้นที่เตาเผาเหล็กเหนือบของอาคารโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์ให้ความร้อนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน
3. เพื่อเป็นแนวทางในการลดความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมอื่น หรือ โรงงานอื่น ๆ ที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนในลักษณะเดียวกัน
4. เพื่อให้พนักงานที่ปฏิบัติงานในพื้นที่เตาเผาเหล็กเหนือบ ภายในโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์ ปราศจากโรคจากการทำงานที่มีสาเหตุมาจากความร้อน และมีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น

ขอบเขตของงานวิจัย

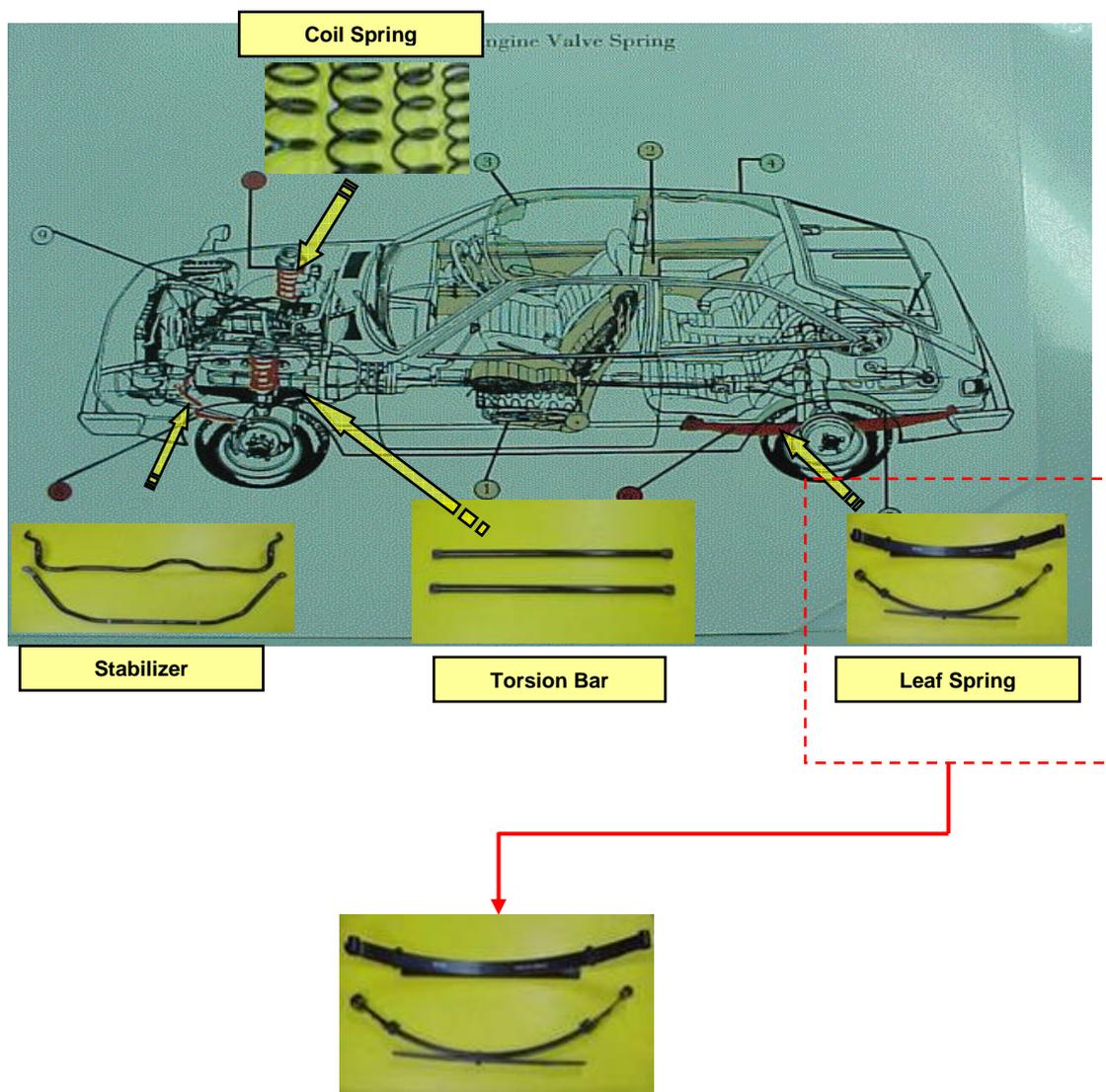
1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะความร้อนที่เกิดจากเตาเผาเหล็กเหนือบ ที่ถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมภายในอาคารโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์
2. โปรแกรมการคำนวณจะช่วยแสดงผลของอุณหภูมิที่กระจายจากแหล่งกำเนิด (เตาเผาเหล็กเหนือบ) ออกสู่สิ่งแวดล้อมภายในอาคารโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์ ที่ระยะต่าง ๆ กัน

3. กำหนดตำแหน่งการทำงานหน้าเตาเผาเหล็กเหนบที่ปลอดภัยจากสภาวะความร้อน
4. ลดความร้อนบริเวณหน้าเตาเผาเหล็กเหนบที่มีผู้ปฏิบัติงานให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 45 °C ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519 เรื่อง “ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม”

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

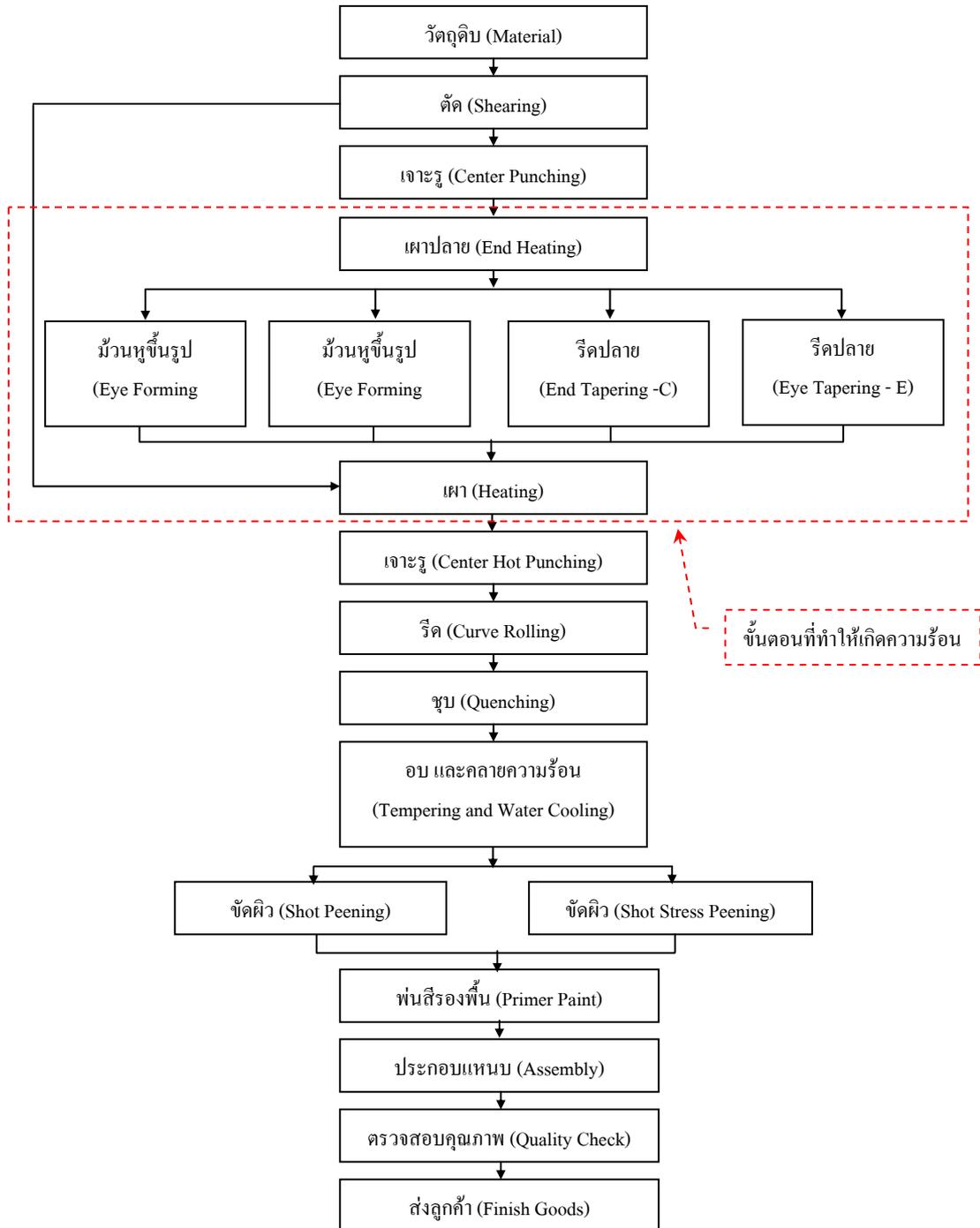
1.1 ชิ้นส่วนของแหนบที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรูปแหนบที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์

ที่มา: บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

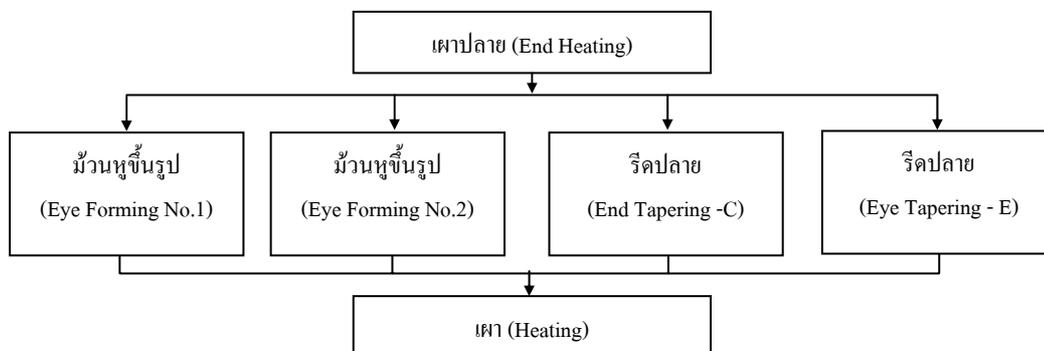
1.2 ขั้นตอนการผลิตแหวนรถยนต์ในการผลิตแหวนยนต์จะมีขั้นตอนและวิธีการ
 ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการผลิตแหวนยนต์

ที่มา: บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

1.3 ขั้นตอนที่ทำให้เกิดความร้อนจากการเผาปลายเหล็กเหน็บ ในการเผาปลายเหล็กเหน็บจะทำให้เกิดความร้อนดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนที่ทำให้เกิดความร้อน

ที่มา: บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

ในการผลิตแหวนรถยนต์นั้นจะมีหลายขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนในการเผาปลายเพื่อม้วนหูขึ้นรูป รีดปลาย และการเผาเพื่อจะนำไปเจาะรู ดังแสดงในภาพที่ 3 มีความจำเป็นต้องใช้ความร้อนถึง 1,200 องศาเซลเซียส ในการเผาปลายเหล็กเหน็บซึ่งความร้อนที่เกิดจากกระบวนการนี้จะส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน จากผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมความร้อนจากบริเวณพื้นที่เตาเผาเหล็กเหน็บที่มีผู้ปฏิบัติงาน ข้อมูลการตรวจวัดดัชนีความร้อน WBGT (Wet bulb Globe Temperature Index) ในช่วงปี พ.ศ. 2546 – 2548 ของโรงงานผลิตแหวนรถยนต์ที่ทำการวิจัยนี้พบว่าดัชนีความร้อน WBGT อยู่ในช่วง 32 – 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่มาตรฐานขีดจำกัดความร้อนที่ยอมรับให้สัมผัสได้ตามกฎกระทรวงแรงงาน เรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 ในเรื่องความร้อน หมวด 1 (3) ได้กำหนดงานที่ลูกจ้างทำในลักษณะงานหนักต้องมีมาตรฐานระดับความร้อนไม่เกินค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเวทบัลบ์โกลบ (WBGT: wet bulb Globe Temperature Index) 30 องศาเซลเซียส อีกทั้งผลการตรวจวัดค่าความร้อนด้วยเทอร์โมมิเตอร์ในช่วงที่ทำการวิจัยมีค่าอยู่ระหว่าง 39 – 50 องศาเซลเซียส โดยวัดห่างจากเตาเผา 1 เมตรที่มีผลต่อการปฏิบัติงานของพนักงานเมื่ออ้างอิงตามประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519 เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (ความร้อน) กำหนดให้พนักงานที่ทำงานใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอุณหภูมิในบริเวณนั้นได้ไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส ซึ่งสิ่งแวดล้อม

ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนถ้าอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม ก็เป็นสาเหตุของการเกิดอันตรายต่อสุขภาพพนักงาน ซึ่งหน่วยงานและฝ่ายบริหารส่วนมากคิดว่าปัญหาทางด้านความปลอดภัยเป็นหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องรู้จักรับมือและป้องกันตนเองให้พ้นจากอันตราย จึงมีการออกกฎระเบียบข้อบังคับให้พนักงานสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเป็นการป้องกันแก้ไขลำดับแรก ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมนักควรทำการแก้ไขที่แหล่งกำเนิดความร้อนตามหลักวิศวกรรมจะดีที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษารูปแบบและปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากเตาเผาเหล็กเหน็บสู่สิ่งแวดล้อมในอาคารโรงงานผลิตเหน็บรถยนต์ โดยใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computation Fluid Dynamics, CFD) มาใช้เป็นแนวทางการลดความร้อนจากเตาเผาเหล็กเหน็บที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในอาคารโรงงานผลิตเหน็บรถยนต์ เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัยของพนักงาน ตลอดจนเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจปรับปรุงแก้ไขของผู้บริหารในโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้

2. คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับความร้อน

ปีติ (2545) ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เกิดจากการสั่นและการชนกันของโมเลกุลและอะตอมของสสาร แบ่งออกเป็น

2.1 ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) คือความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

2.2 ความร้อนแฝง (Latent Heat) คือ ความร้อนที่ทำให้สถานะของสสารเปลี่ยนแปลงโดยไม่เปลี่ยนอุณหภูมิแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย (Latent Heat of Fusion) และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent Heat of Vaporization)

วัตถุจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันอยู่เสมอ จำนวนพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นปริมาณความร้อน (quantity of heat) หน่วยวัดปริมาณความร้อนที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ กิโลแคลอรี (Kilocalorie หรือ Kcal) และบีทียู (British Thermal units)

ปริมาณความร้อน 1 กิโลแคลอรีเท่ากับปริมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำ 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส

ปริมาณความร้อน 1 บีทียู คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์

ปริมาณความร้อน 1 กิโลแคลอรีมีค่าเท่ากับ 3,968 บีทียู

หน่วยของความร้อน คือ องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}F$) องศาสมบูรณ์ แร็งเกิน (R) และองศาสมบูรณ์เคลวิน (K)

3. ชนิดของการถ่ายเทความร้อน

ศุภันท์ (2545) ความร้อนเคลื่อนที่จากจุด ๆ หนึ่งไปยังจุดอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกันคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น แต่กลไกในการที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องเข้าใจถึงกลไกการเคลื่อนที่ของความร้อนเป็นอย่างดี และยังคงรู้วิธีการที่จะคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนดังต่อไปนี้

3.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (CONDUCTION HEAT TRANSFER)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนเพียง วิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสงเมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุ ก้อนนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำซึ่งใช้สัญลักษณ์ว่า q_k นี้จะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ $\frac{dT}{dx}$ คูณกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ถ้าหากจะเขียนเป็นสมการแล้วก็จะได้ว่ารูปสมการเป็น

$$Q_k \propto A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

เมื่อ : q_k = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการนำความร้อน

A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน

T = อุณหภูมิ

x = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

การนำความร้อนในผนังราบ (Plane Wall) ให้พิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่ไหลผ่านผนังราบเมื่อผิวมีอุณหภูมิคงที่และมีขนาดสม่ำเสมอทั่วทั้งผิว เนื่องจากผิวทั้งสองมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความร้อนไหลจากผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ และถ้าหากค่าการนำความร้อน k ของผนังมีค่าคงที่แล้วจะได้อัตราการนำความร้อนเป็น

$$q_k = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (2)$$

เมื่อ

q_k = อัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนัง; Watt

k = ค่าการนำความร้อนของผนัง; $W/m \cdot K$

A = พื้นที่ของผนังที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน; m^2

L = ความหนาของผนัง; m

T_1 = อุณหภูมิผิวทางด้านซ้าย (ที่ $x = 0$); K

T_2 = อุณหภูมิผิวทางด้านขวา (ที่ $x = L$); K

3.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมีเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในก้อนของไหลเนื่องจากการที่ของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจนทำให้เกิดแรงลอยตัวได้ ตัวอย่างของการพาความร้อนแบบอิสระ ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านที่เกิดขึ้นในวันที่ไม่มีลมพัด การพาความร้อนภายในกาต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่ไม่มีลมพัด (2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เป็นการพาความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เนื่องจากการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นถ้าหากความแตกต่างของอุณหภูมิมิขนาดเท่ากันแล้ว การพาความร้อนแบบบังคับก็จะมีอัตราการพาความร้อนที่สูงกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นการพาความร้อนแบบไหนก็ตาม ต่างมีสมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อนที่อยู่ในรูปของ กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) มีรูปสมการเป็น

$$q_c = h_c A (T_s - T_{f,\infty}) \quad (3)$$

เมื่อ

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (average convection heat transfer coefficient) ที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ

A = พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล

T_s = อุณหภูมิของผิววัตถุ

$T_{f,\infty}$ = อุณหภูมิของของไหลอิสระที่อยู่ห่างออกไปจากผิววัตถุมาก ๆ

3.3 การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสี หรือการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

ความร้อนจากการนำและการพาจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้เฉพาะในกรณีที่มีวัตถุมาเป็นตัวกลาง (medium) เท่านั้น สำหรับความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้โดยไม่ต้องมีตัวกลางเลย เช่น ในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เป็นต้น พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสงซึ่งมีความเร็วเท่ากับ 3×10^{10} cm/s พลังงานที่เคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น รังสีเอกซ์ รังสีอินฟราเรด ปริมาณพลังงานที่ส่งออกจากผิววัตถุในรูปรังสีความร้อน (radiant heat) นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์และลักษณะของผิว วัตถุที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุด หรือที่เรียกว่า วัตถุดำ (black body) นั้นจะมีอัตราการแผ่รังสีความร้อนเป็น

$$q_r = \sigma AT^4 \quad (4)$$

เมื่อ

q_r = อัตราความร้อนจากการแผ่รังสี; Watt

A = พื้นที่ผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน; m^2

T = อุณหภูมิผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน; K

σ = ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann constant) มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

ส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิจากการแผ่รังสีของวัตถุเทาที่มีอุณหภูมิ T_1 ไปยังวัตถุดำที่อยู่รอบๆ และมีอุณหภูมิเป็น T_2 จะมีค่าเป็น

$$q_r = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (5)$$

เมื่อ

- ε_1 = ค่าการแผ่รังสี (emittance) ของวัตถุเทา มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความร้อนจากการแผ่รังสีของวัตถุเทากับวัตถุดำเมื่อมีอุณหภูมิเท่า ๆ กัน
- T_1 = อุณหภูมิผิวของวัตถุ; K
- T_2 = อุณหภูมิผิวของวัตถุที่อยู่รอบ ๆ (เป็นวัตถุดำ); K

4. อันตรายจากความร้อนต่อร่างกาย

ปีติ (2544) ผลจากความร้อนก็จะทำให้เกิดความเครียดต่อจิตใจเป็นอันดับแรก เมื่อความร้อนสะสมสูงอีก ก็จะขยายผลไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ต่อมา ก็จะเกิดอันตรายต่อร่างกายทำให้ตายได้ในที่สุด ระดับความร้อนที่สะสมที่มีผลต่อร่างกายสรุปได้ ดังนี้

4.1 ระดับความร้อนสะสมต่ำ ในช่วงที่ความร้อนยังสะสมต่ำ ร่างกายและจิตใจของคนเรายังอยู่ในสภาพปกติ เมื่อความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นระดับหนึ่ง ก็จะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย มีอาการระคายเคืองตามบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย แต่จะยังไม่มีปัญหาด้านการเจ็บป่วยเกิดขึ้น ในระดับนี้ถ้าคนงานไม่สามารถทนต่อความร้อนได้ จะพบว่ามีคนงานลาออกเป็นประจำ หรือมีการขาดงานบ่อย ๆ ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

4.2 ระดับความร้อนสะสมปานกลาง เมื่อความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอีกระดับหนึ่ง ก็จะก่อให้เกิดผลขึ้นทั้งด้านร่างกายและจิตใจ ระดับนี้ยังไม่มีอาการเจ็บป่วยทางร่างกายโดยตรง แต่คนงานจะทำงานผิดพลาดมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้นไปด้วย รวมทั้งอุบัติเหตุต่าง ๆ จะเกิดขึ้นมาก

4.3 ระดับความร้อนสะสมสูง ในช่วงนี้จะพบว่ามีการเจ็บป่วยทางด้านร่างกายเกิดขึ้นแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากร่างกายจะสูญเสียสมดุลน้ำและเกลือ เกิดความเค้นในระบบการหมุนเวียนเลือด ความสามารถในการทำงานจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด และจะเกิดการเจ็บป่วย โดยแบ่งตามสาเหตุได้ ดังนี้

4.3.1 การปรับอุณหภูมิของร่างกาย (Temperature regulation)

ก. เป็นลมเนื่องจากความร้อน (Heat stroke) จะมีอาการผิวหนังร้อน และแห้ง แดง เจียวคล้ำ อุณหภูมิร่างกายสูงถึง 40.5 องศาเซลเซียส ระบบการสั่งการของสมองสูญเสีย

ข. ไข้สูงจัดจากความร้อน (Heat hyperpyrexia) จะมีอาการน้อยกว่าการเป็นลม การสูญเสียการสั่งการของสมองมีน้อยกว่าจะมีเหงื่อออกมาบ้าง

4.3.2 สมองขาดเลือดเนื่องจากเลือดไปคั่งที่บริเวณผิวหนังและลำตัวส่วนล่าง (Circulatory hypostasis) จะเกิดอาการเป็นลมเนื่องจากเลือดไปเลี้ยงสมองไม่เพียงพอ (Heat syncope)

4.3.3 การขาดเกลือหรือน้ำ

ก. อ่อนเพลียเนื่องจากความร้อน (Heat exhaustion) จะมีอาการอ่อนเพลีย คลื่นไส้ ปวดศีรษะ วิงเวียน ผิวหนังเย็นชื้นและชื้น หน้าแดงหรือเขียวคล้ำ ซีพจรเบาเร็ว ความดันโลหิตต่ำ

ข. เป็นตะคริวเนื่องจากความร้อน (Heat cramps) กล้ามเนื้อแขนขาหรือท้องเป็นตะคริวในระหว่างการทำงาน หือหลังชั่วโมงการทำงาน

4.3.4 อาการผดผกที่ผิวหนัง (Skin eruption) จะเกิดผื่นบริเวณผิวหนัง 2 ลักษณะ คือ

ก. ผื่นเนื่องจากความร้อน (Heat rash) จะมีตุ่มแดงเล็ก ๆ ขึ้นมากมาย จะรู้สึกเหมือนหนามแทงเมื่อโดนความร้อน

ข. ผื่นจากการกักขังของเหงื่อ (Anhidrotic heat) ทำให้ผิวหนังเกิดผื่นบริเวณกว้าง ไม่มีเหงื่อออกแต่จะมีอาการขนลุกเมื่อโดนความร้อน

4.3.5 ความเหนื่อยล้าเนื่องจากความร้อน (Heat fatigue)

ก. เหนื่อยล้าชั่วคราว (Transient heat fatigue) มีการรับรู้ของผิวหนังและการรับรู้ด้านจิตใจ ขาดความรอบคอบในการทำงาน

ข. เหนื่อยล้าถาวร (Chronic heat fatigue) ทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง สมาธิลดลง บังคับใจตัวเองไม่ได้

คนงานที่ได้รับความร้อนสะสมถึงระดับนี้ จำเป็นต้องมีการแนะนำดูแลจากแพทย์อย่างใกล้ชิด และมีการดำเนินงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานอย่างเหมาะสม

5. กฎหมายและมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับความร้อน

กฎหมายและมาตรฐานของไทยที่เกี่ยวข้องกับความร้อนเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ปัจจุบันมีบังคับใช้ 3 ฉบับ คือ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546 กำหนดให้

"งานเบา" หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงน้อยหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายไม่เกิน 200 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เช่น งานเขียนหนังสือ งานพิมพ์ดีด งานบันทึกข้อมูล งานเย็บจักร งานนั่งตรวจสอบผลิตภัณฑ์ งานประกอบชิ้นงานขนาดเล็ก งานบังคับเครื่องจักรด้วยเท้า การยื่นคুমงาน เป็นต้น หรืองานที่เทียบเคียงได้กับงานดังกล่าว

"งานปานกลาง" หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงปานกลางหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกินกว่า 200 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง ถึง 350 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เช่น งานยก ลาก ดัน หรือเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงปานกลาง งานตอกตะปู งานตะไบ งานจับรถบรรทุก งานจับรถแทรกเตอร์ เป็นต้น หรืองานที่เทียบเคียงได้กับงานดังกล่าว

"งานหนัก" หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงมาก หรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกินกว่า 350 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง ถึง 500 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เช่น งานที่ใช้พลั่วหรือเสียม ขุดตัก งานเลื่อยไม้ งานเจาะไม้เนื้อแข็ง งานทุบโดยใช้ค้อนขนาดใหญ่ งานยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักขึ้นที่สูงหรือที่ลาดชัน เป็นต้น หรืองานที่เทียบเคียงได้กับงานดังกล่าว บริเวณปฏิบัติงานต้องมีระดับความร้อนไม่เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงมาตรฐานระดับความร้อน

ความหนักเบาของงาน	มาตรฐานระดับความร้อนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแวดล้อม (WBGT) กำหนดเป็นองศาเซลเซียส
เบา	34.0
ปานกลาง	32.0
หนัก	30.0

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2546)

ประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2549 กำหนดให้

"งานเบา" หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงน้อยหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายไม่เกิน 200 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เช่น งานเขียนหนังสือ งานพิมพ์ดีด งานบันทึกข้อมูล งานเขียนจักร งานนั่งตรวจสอบผลิตภัณฑ์ งานประกอบชิ้นงานขนาดเล็ก งานบังคับเครื่องจักรด้วยเท้า การยืนคุมงาน เป็นต้น หรืองานที่เทียบเคียงได้กับงานดังกล่าว

"งานปานกลาง" หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงปานกลางหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกินกว่า 200 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง ถึง 350 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เช่น งานยก ลาก ดัน หรือเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงปานกลาง งานตอกตะปู งานตะไบ งานจับรถบรรทุก งานจับรถแทรกเตอร์ เป็นต้น หรืองานที่เทียบเคียงได้กับงานดังกล่าว

"งานหนัก" หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงมาก หรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกินกว่า 350 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง ถึง 500 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง เช่น งานที่ใช้พลั่ว หรือเสียม ขุดตัก งานเลื่อยไม้ งานเจาะไม้เนื้อแข็ง งานทุบโดยใช้ค้อนขนาดใหญ่ งานยกหรือเคลื่อนย้ายของหนักขึ้นที่สูงหรือที่ลาดชัน เป็นต้น หรืองานที่เทียบเคียงได้กับงานดังกล่าว

งานที่ลูกจ้างทำงานในลักษณะงานเบาต้องมีมาตรฐานระดับความร้อนไม่เกินค่าเฉลี่ย อุณหภูมิเวทบัลด์์โกลบ 34 องศาเซลเซียส

งานที่ลูกจ้างทำในลักษณะงานปานกลางต้องมีมาตรฐานระดับความร้อนไม่เกินค่าเฉลี่ย อุณหภูมิเวทบัลด์์โกลบ 32 องศาเซลเซียส

งานที่ลูกจ้างทำในลักษณะงานเบาต้องมีมาตรฐานระดับความร้อนไม่เกินค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ เวทบัลด์์โกลบ 30 องศาเซลเซียส

ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม พ.ศ. 2519

ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างซึ่งทำงานใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิในบริเวณนั้น สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส สวมชุดแต่งกาย รองเท้า และถุงมือสำหรับป้องกันความร้อน ตามมาตรฐานที่กำหนด

มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่า TWA-WBGT index สำหรับงานขนาดเบา งานปานกลาง และงานหนัก ซึ่งใน 1 ชั่วโมง ทำงานต่อเนื่องหรือหยุดพักเป็นระยะ โดยจะเป็นค่าที่พนักงานสามารถทำงานได้ โดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ จากความร้อน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงดัชนี (TWA-WBGT index) หน่วย °C (°F)

ลักษณะการทำงาน	ขนาดของงาน		
	งานขนาดเบา	งานขนาดปานกลาง	งานขนาดหนัก
ทำงานแบบต่อเนื่อง	30.0 (86)	26.7 (80)	25.0 (77)
ทำงาน 75% พัก 25% ของช่วงเวลาการทำงาน	30.6 (87)	28.0 (82)	25.9 (78)
ทำงาน 50% พัก 50% ของช่วงเวลาการทำงาน	31.4 (89)	29.4 (85)	27.9 (82)
ทำงาน 25% พัก 75% ของช่วงเวลาการทำงาน	32.2 (90)	31.1 (88)	30.0 (86)

ที่มา: พรพิมล (2545)

6. อุณหภูมิเวทบัลบ์โกลบ (Wet-bulb Globe Temperature; WBGT)

จากแนวคิดที่ว่าเมื่อร่างกายได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น กระบวนการดำรงชีพของคนก็จะต้องมีการระบายความร้อนออกไปจากร่างกาย เช่น ในรูปของเหงื่อออกตามผิวหนังเพื่อทำให้อุณหภูมิของร่างกายเย็นลง ด้วยลักษณะนี้ OSHA ซึ่งเป็นองค์กรที่ดูแลด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้สร้างดัชนีความเครียดแห่งความร้อน เรียกว่าดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบ (Wet-bulb Globe Temperature) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะขอเรียกสั้น ๆ ว่าอุณหภูมิเวทบัลบ์โกลบ (WBGT) โดยจะใช้ในการประเมินสภาพแวดล้อมของการปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถคำนวณได้จาก 2 กรณีต่อไปนี้

(1) เมื่ออยู่นอกอาคารหรือสถานประกอบการ โดยมีความร้อนจากดวงอาทิตย์จะได้ว่า

$$WBGT = 0.7(T_{nwb}) + 0.2(T_g) + 0.1(T_{na}) \quad (6)$$

(2) เมื่ออยู่ในอาคารหรือนอกอาคารแต่อยู่ในที่ร่มเงาโดยไม่มีแหล่งความร้อนจากดวงอาทิตย์

$$WBGT = 0.7(T_{wb}) + 0.3(T_g) \quad (7)$$

เมื่อ

T_{na} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งหรืออุณหภูมิของอากาศ (Natural Dry-bulb Temperature)

T_{nwb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ (Natural Wet-bulb Temperature)

T_g คือ อุณหภูมิกระเปาะดำหรืออุณหภูมิของโกลบ (Globe Temperature)
ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากความร้อน โดยการแผ่รังสี

สำหรับงานที่สัมผัสความร้อนเป็นช่วงๆ ค่าอุณหภูมิเวทบัลล์โกลบ (WBGT) จึงต้องใช้เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาการทำงานเป็น 8 ชั่วโมง ซึ่งเรียกว่า Time weight averaged WBGT index (TWA-WBGT index) โดยหาจากค่าอุณหภูมิเวทบัลล์โกลบ (WBGT) ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างวันทำงาน (ช่วงเวลาพัก ช่วงเวลาที่ร้อน และที่เย็น) และใช้สมการที่ (3) ในการคำนวณ

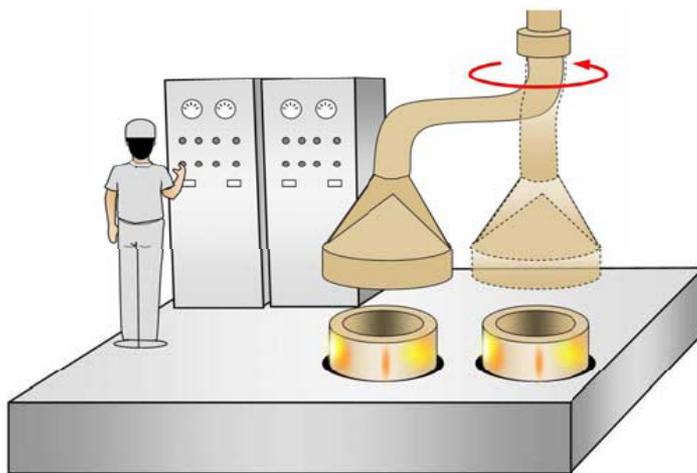
$$AverageTWA = \frac{(WBGT_1)(t_1) + (WBGT_2)(t_2) + \dots + (WBGT_n)(t_n)}{(t_1) + (t_2) + \dots + (t_n)} \quad (8)$$

โดย t_n คือช่วงเวลาที่สนใจ (นาที) โดย n แสดงถึงจำนวนช่วงเวลาที่สนใจมีค่าได้ตั้งแต่ 1 เป็นต้นไป และ $WBGT_n$ คืออุณหภูมิเวทบัลล์โกลบ (WBGT) ที่คำนวณได้เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลา t_n สำหรับโรงงานที่ความร้อนที่เกิดขึ้นมีปริมาณคงที่ ก็ไม่จำเป็นต้องหาค่า (TWA-WBGT)

7. การปรับปรุงแก้ไขเพื่อช่วยลดปัญหาการทำงานสัมผัสความร้อน

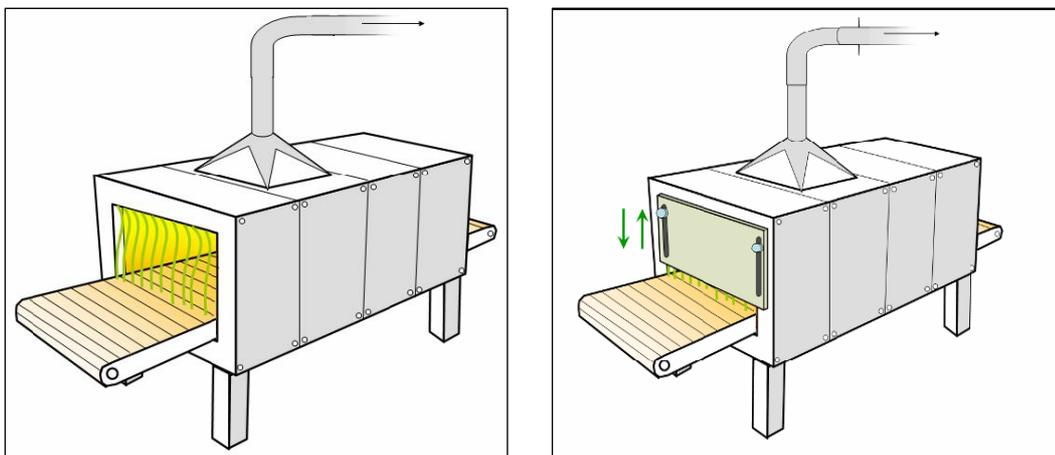
7.1 ปรับปรุงที่แหล่งกำเนิด

7.1.1 การใช้ฉนวนหุ้ม (Insulator) แหล่งกำเนิดความร้อน เช่น การใช้ฉนวนบุเตาอบ ท่อน้ำร้อน หม้อไอน้ำ ท่อนำอากาศของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ที่ใช้ในการระบายความร้อน ออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เป็นต้น เพื่อเป็นการช่วยลดการแผ่รังสี ความร้อน นอกจากนี้เตาอบ เตาหลอม บางลักษณะหากสามารถทำฝาปิดช่องเปิดของเตาและปิดทุกครั้งเมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนของ กระบวนการนั้นจะช่วยลดการแผ่รังสีความร้อนได้อีกทางหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 แสดงการใช้ฉนวนบุเตาเผา และท่อนำความร้อน

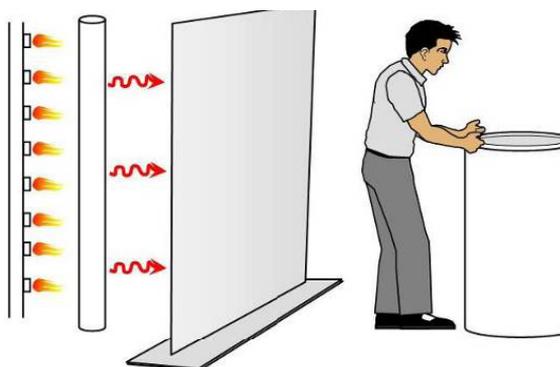
ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)



ภาพที่ 5 แสดงการติดตั้งฝาปิดช่องเตาอบ

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

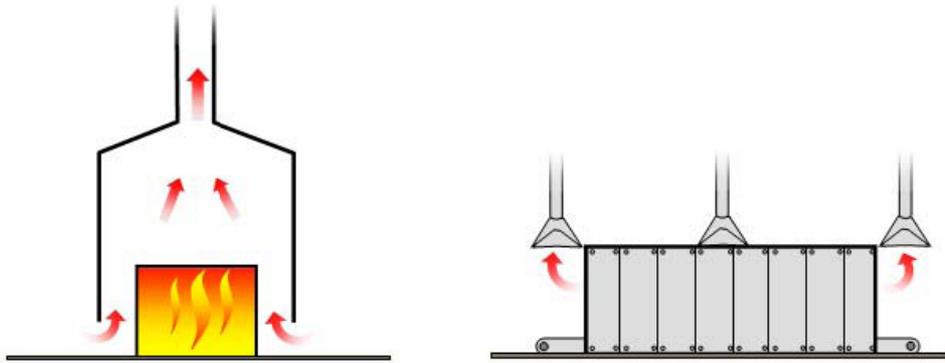
7.1.2 การใช้ฉากกั้นป้องกันรังสีความร้อน (Radiation Shielding) เช่น การใช้ฉากปิดกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนและพนักงาน งานบางลักษณะไม่สามารถปิดคลุมแหล่งความร้อนและทำจนวนหุ้มได้ การใช้ฉากอลูมิเนียมกันจะช่วยลดปัญหาการทำงานสัมผัสรังสีความร้อนจากแหล่งกำเนิด ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการติดตั้งฉากปิดกั้นแหล่งกำเนิดความร้อน

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

7.1.3 การจัดการระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) สำหรับระบายความร้อนจากแหล่งกำเนิดโดยตรง โดยการปิดคลุม หรือติดตั้งไว้เหนือช่องเปิดของแหล่งกำเนิดความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 7

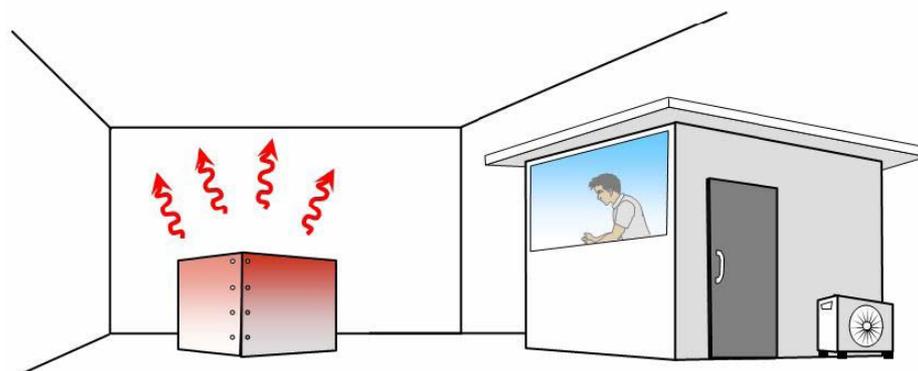


ภาพที่ 7 แสดงการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

7.2 การป้องกันที่ทางผ่าน

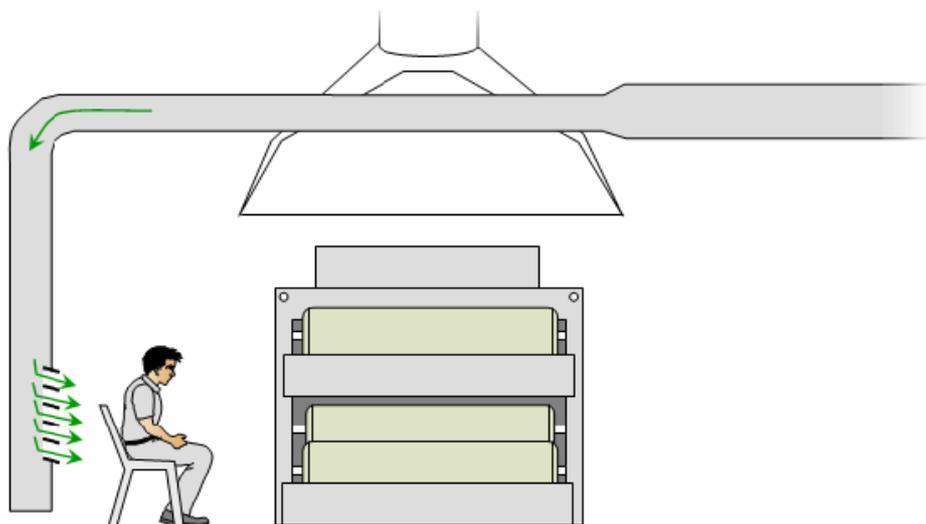
7.2.1 จัดทำห้องพัก หรือห้องควบคุมให้พนักงานเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสความร้อนจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่มีแหล่งกำเนิดความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการสร้างห้องเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสความร้อน

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

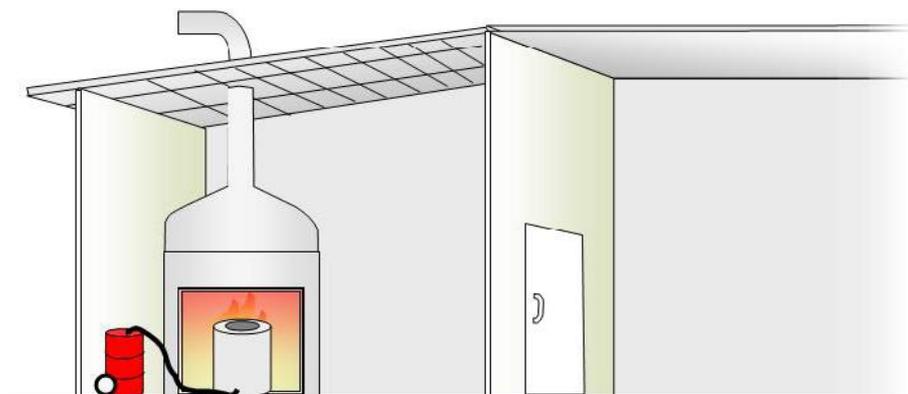
7.2.2 การจ่ายอากาศที่มีความเย็นเฉพาะจุดให้ที่ตัวพนักงาน เพื่อให้พนักงานได้รับอากาศที่มีความเย็นที่ส่งผ่านมาจากด้านนอก ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการจ่ายอากาศเย็นเฉพาะจุด

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

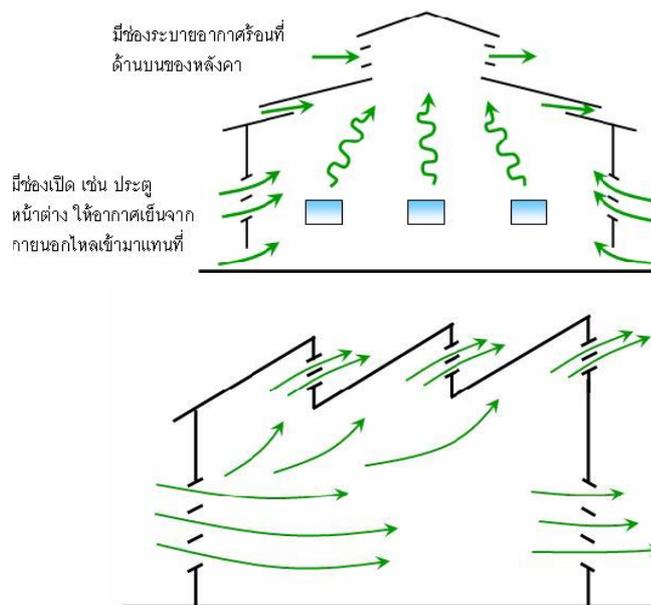
7.2.3 ย้ายแหล่งกำเนิด หรือขั้นตอนการทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อน ไปยังบริเวณกั้นแยกเฉพาะ หรือให้มีระยะทางห่างออกไป ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงการแยกแหล่งกำเนิดความร้อน

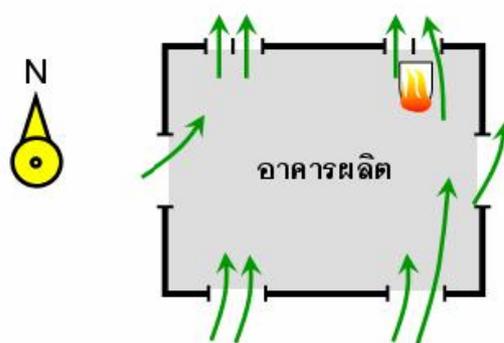
ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

7.2.4 อาศัยการดันอากาศเย็นจากด้านล่าง เพื่อไล่อากาศร้อนสู่ด้านบนโดยอาศัยหลักการตามธรรมชาติ หรือใช้พัดลมช่วยในการดันอากาศเข้าและดึงอากาศออก ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12



ภาพที่ 11 แสดงการดันอากาศเย็นจากด้านล่าง เพื่อไล่อากาศร้อนสู่ด้านบน

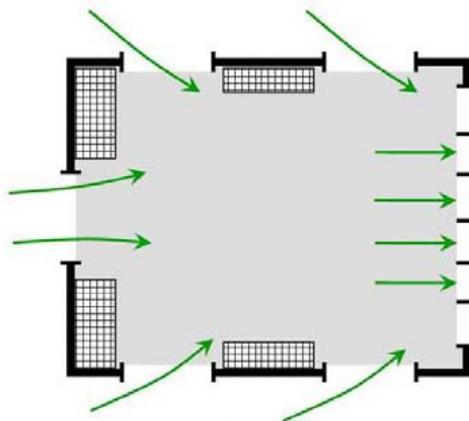
ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)



ภาพที่ 12 แสดงการเปิดช่องประตู หน้าต่าง เพื่อรับกระแสลม ตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

7.2.5 การจัดทิศทางเคลื่อนที่ของอากาศอย่างเหมาะสม เพื่อเป็นการนำอากาศตามธรรมชาติเข้ามาในมาใน โรงงาน ซึ่งต้องทำการพิจารณาการจัดวางสิ่งของให้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศที่เหมาะสม

ที่มา: สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2549)

8. การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล

การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic, เรียกโดยย่อว่า CFD) คือ การคำนวณวิเคราะห์ การไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งพฤติกรรมของการไหลสามารถอธิบายได้ด้วยความเร็ว และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่องของเวลา และมีมติการใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ การจำลองสถานการณ์ผลลัพธ์ที่สนใจส่วนใหญ่คือ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ การคำนวณด้วย CFD มีพื้นฐานมาจาก Finite difference method (FDM) ,Finite element method (FEM) และ Finite volume method (FVM) การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบทางวิศวกรรม หรือการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบโดยอาศัยการทดลองจริง

วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เป็นการนำความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟฟิกส์ (Color Graphics) ทำให้เข้าใจในปรากฏการณ์ของของไหลได้เป็นอย่างดี สามารถปรับปรุง คัดแปลงรูปแบบของการออกแบบ จนได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ก่อนนำไปสร้างจริงหรือทำการทดลองเพื่อความมั่นใจในการออกแบบนั้นต่อไป

กระบวนการแก้ปัญหา การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านกลศาสตร์ของแข็ง การถ่ายเทความร้อน ด้านการไหล หรือปัญหาอื่น ๆ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ปัญหานั้นกับปัจจัยหรือองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ

(1) ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial Differential Equations) ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้น

(2) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา

(3) ลักษณะรูปร่าง (Geometry) ของปัญหา หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย จัดได้ว่าเป็นหัวใจซึ่งแสดงถึงความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในปัญหานั้น ๆ เช่น การวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนจำเป็นต้องเริ่มจากสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายความสมดุลของการถ่ายเทความร้อน การวิเคราะห์ปัญหาการไหลเริ่มจากระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แสดงถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัมและพลังงาน เป็นต้น

เงื่อนไขขอบเขต เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันขึ้น หากปัญหาที่ทำการศึกษาเป็นปัญหาแบบไม่อยู่ตัว (Unsteady) เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Conditions) จำเป็นต้องถูกประยุกต์เข้าด้วยกัน เงื่อนไขขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงไปจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

ลักษณะรูปร่าง รูปแบบของปัญหาคำนวณพลศาสตร์ของไหลโดยทั่วไปในงานวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ล้วนมีรูปร่างซับซ้อน หากลักษณะรูปร่างซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้พฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้นนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่าระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและเงื่อนไขขอบเขตยังเป็นเช่นเดิม

8.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ

8.1.1 Pre-processor คือ ขั้นตอนการสร้างลักษณะรูปร่างของปัญหาและเงื่อนไขขอบเขตเป็นขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้นในการใส่ข้อมูลของปัญหา ได้แก่

- (1) การใส่ขอบเขตทางกายภาพที่จะวิเคราะห์
- (2) ความละเอียดของการวิเคราะห์โดยการตั้งค่า Grid หรือ Mesh
- (3) เลือกประเภทของการวิเคราะห์ หรือเป้าหมายที่สนใจ
- (4) ใส่ข้อมูลของของไหล
- (5) กำหนดช่องเปิดต่างๆที่อยู่บนขอบเขตการวิเคราะห์

Pre-processor กระบวนการขั้นต้นเริ่มจากการสร้างโดเมนส์ของการไหลที่ต้องการทำการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนนับตั้งแต่การสร้างเส้นขอบ (Line) การสร้างพื้นผิว (Surface) รวมไปถึงการสร้างปริมาตร (Volume) หากเป็นการไหลในสามมิติ จากนั้นจึงแบ่งโดเมนของการไหลที่ได้สร้างขึ้นนี้ออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) เล็ก ๆ หรือออกเป็นตาราง (Mesh) ย่อย ๆ โดยเส้นตารางเหล่านี้ตัดกันที่จุดต่อ (Grid หรือ Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาผลลัพธ์ของการไหล ได้แก่ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น จากนั้นจึงกำหนดคุณสมบัติของไหลและเงื่อนไขขอบเขตสำหรับปัญหานั้น ตามลำดับ

8.1.2 Analysis คือขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา เป็นขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขของโปรแกรม ซึ่งเป็นหัวใจของการคำนวณภายในโปรแกรม ซึ่งประกอบด้วย

- (1) การประมาณค่าการไหลของสิ่งที่ศึกษา จากค่าเฉลี่ยของสมการความสัมพัทธ์พื้นฐาน
- (2) แบ่งการคำนวณออกเป็นช่วง ๆ ของการไหล แล้วจึงนำมาจัดเรียงความต่อเนื่องอีกครั้ง
- (3) การคำนวณปัญหาโดยใช้สมการทางพีชคณิต

Analysis ขั้นตอนการวิเคราะห์จัดได้ว่าเป็นหัวใจของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป การแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นเอลิเมนต์หรือตารางขนาดเล็ก ๆ เพื่อสามารถใช้ฟังก์ชันง่ายสำหรับแทนลักษณะของการไหลผ่านเอลิเมนต์ หรือตารางขนาดเล็ก ๆ นั้น ฟังก์ชันดังกล่าวจะถูกแทนลงไปนในสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการไหล ผนวกเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์บางอย่างเพื่อทำการลดค่าผิดพลาด ก่อให้เกิดระบบสมการทางพีชคณิตขนาดใหญ่ ซึ่งจำเป็นต้องแก้โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ต่อไป

การแบ่งโดเมนส์ของการไหลออกเป็นเอลิเมนต์ขนาดเล็กๆหรือเป็นตารางที่มีความถี่มากเกินไป ก่อให้เกิดจำนวนจุดต่อซึ่งประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) มากขึ้นตามไปด้วย อันเป็นผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณและปริมาณหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ในทางตรงกันข้าม จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ (Solution Accuracy) สูงมากขึ้นเป็นการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์เข้ากับระบบสมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อหาผลลัพธ์ของการไหลที่จุดต่อ อันได้แก่ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น

8.1.3. Post-processor เป็นขั้นตอนของกระบวนการขั้นท้าย เพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ได้แก่

- (1) แสดงขอบเขตทางกายภาพและ Grid ที่ใช้ในการคำนวณ
- (2) แสดงทิศทางการไหล
- (3) แสดงทิศทางการไหลในรูปของเส้นและเจดสี
- (4) แสดงเป็น 2D และ 3D
- (5) แสดงภาพขยายในส่วนที่ต้องการ สามารถดูได้ทุกด้านทุกมุม
- (6) คัดลอกภาพผลการคำนวณลงบนโปรแกรมอื่นๆได้

Post-processor ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของการวิเคราะห์การไหลนั้น โดยปกติจะมีจำนวนมากซึ่งขึ้น โดยตรงกับจำนวนของจุดต่อและต่างล้วนอยู่ในแบบของค่าตัวเลข หากต้องการเข้าใจในพฤติกรรมของสภาวะการไหลจะต้องนำค่าเหล่านี้มานำเสนอพร้อมกัน สามารถทำได้ในหลายรูปแบบ ได้แก่ การพล็อตเวกเตอร์ ณ ทุก ๆ จุดต่อตลอดทั้งโดเมนของการไหลเพื่อแสดงขนาดและลักษณะทิศทางของการไหลและสภาวะการหมุนวนในบริเวณต่าง ๆ การพล็อตด้วยเส้นชั้น (Contour Lines) การนำเสนอเหล่านี้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ช่วยให้เกิดความเข้าใจปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาอันจะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุมล (2548) ศึกษาการไหลของอากาศภายในอาคารที่มีการติดตั้งแผงดักลมโดยใช้ การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลมาหาค่าการกระจายความเร็วลมภายในอาคาร จากการคำนวณ พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านอาคารจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมที่เข้ามา ในอาคาร ความเร็วลมที่อยู่ในบริเวณที่มีการไหลของอากาศจากทางเข้าไปยังทางออกมีค่าสูงกว่า ความเร็วลมในบริเวณอื่น ๆ จุดที่อากาศหยุดนิ่งเกิดขึ้นบริเวณมุมของอาคาร มุมของแผงดักลม มีผลต่อการกระจายตัวของอากาศในอาคารพาณิชย์แต่ไม่มีผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่มุมของ แผงดักลม 60 องศา จะทำให้การกระจายของลมสม่ำเสมอภายในอาคารในขณะที่มุมของแผงดักลม 0 องศา จะทำให้ความเร็วลมในบริเวณใกล้ผนังมีค่าสูง ที่ความเร็วลมที่มาปะทะภายนอกอาคาร 0.4 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับผู้ทำงานภายในอาคารและมีการเปลี่ยนแปลง ของอากาศต่อชั่วโมงเป็น 114 เมตรต่อวินาที

อารีรัตน์ (2549) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการระบายความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในสภาวะการไหลแบบคงตัว ตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และพลศาสตร์ของไหล โดยการใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ ทำให้ง่ายต่อการเข้าใจและอธิบายปัญหาของการไหล ได้อย่างละเอียด และทำการปรับปรุงที่สาเหตุได้อย่างเหมาะสม จากผลการวิเคราะห์การสร้าง โมเดลจำลองห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้พบปัญหาการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิที่สะสมสูง และปัญหาความดันลดของระบบระบายอากาศ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิค และการติดตั้ง ซึ่งได้ทำการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของห้องและตัวแปรที่เพิ่มปริมาณการไหลของอากาศ ทำให้สามารถลดอุณหภูมิ และค่าความดันลดของระบบได้ตามวัตถุประสงค์ การปรับปรุงดังกล่าว

มีผลต่อความปลอดภัยของระบบการทำงานแบบต่อเนื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองสำคัญให้ระบบช่วยชีวิต และระบบการป้องกันระงับอัคคีภัย เพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้บริการของโรงพยาบาล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหน่วยประมวลผลความเร็วสูง
2. เครื่องพิมพ์ชนิดใช้แสงเลเซอร์
3. กล้องถ่ายรูปดิจิทัล
4. เครื่องตรวจวัดความเร็วลม
5. เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ
6. เครื่องวัดอุณหภูมิที่ผิว (Infrared Thermometer)
7. โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลที่ใช้ คือ COSMOS Flow Works 2006 และ SolidWorks 2006 ในการจำลองอาคาร โรงงานผลิตแทนรถยนต์

วิธีการ

1. ศึกษาลักษณะแบบแปลนของอาคาร โรงงานผลิตแทนรถยนต์ และองค์ประกอบของเตาเผาที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน สร้างแบบจำลองพื้นที่เตาเผาภายในอาคาร โรงงานตามขนาดจริง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solids Work 2006
2. ศึกษาแหล่งกำเนิดความร้อน ระบบระบายอากาศของพื้นที่เตาเผาภายในอาคาร โรงงานผลิตแทนรถยนต์ ศึกษารูปแบบการกระจายความร้อนปัจจุบัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล COSMOS Flow Works 2006 มาใช้ในการวิเคราะห์

3. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยการตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในพื้นที่เตาเผา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

4. ปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความร้อนจากเตาเผาที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคาร โรงงานผลิตแหนบรยนต์ เพื่อให้อุณหภูมิอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อพนักงาน โดยการนำโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล COSMOS Flow Works 2006 มาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความร้อนในการปรับปรุงแก้ไข

5. วิเคราะห์ผลที่ได้

6. สรุปและจัดทำวิทยานิพนธ์

ข้อมูลในการวิจัย

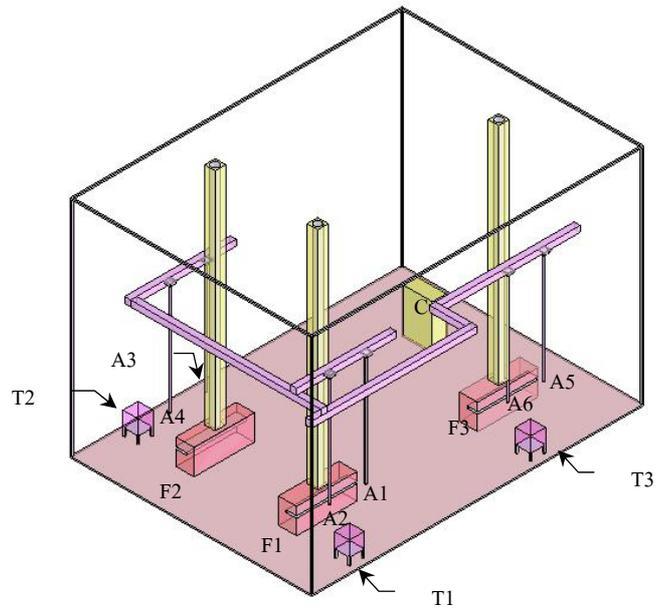
1. พื้นที่เตาเผาภายในอาคาร โรงงานผลิตแหนบรยนต์ที่ใช้ในการศึกษามีความกว้าง 16 เมตร ความยาว 22 เมตร และความสูง 15 เมตร จึงได้สร้างแบบจำลองพื้นที่ดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 14 และ 15 ซึ่งค้ำในประกอบด้วย

1.1 เตาเผาเหล็กแหนบมีจำนวน 3 เตา ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ F1, F2 และ F3 คือ เตาเผาตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ แต่ละเตามีขนาดความกว้าง 1.2 เมตร ความยาว 4 เมตร และความสูง 1.7 เมตร ทุกเตามีระบบดูดอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) สำหรับระบายความร้อนจากเตาเผาออกสู่ภายนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 16 และ 17

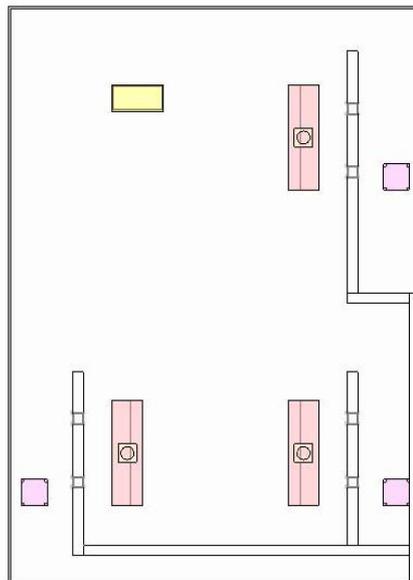
1.2 ตู้เก็บวัสดุดูดซับน้ำมันมีจำนวน 1 ตู้ ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ C ซึ่งมีความกว้าง 1 เมตร ความยาว 2 เมตร และความสูง 3 เมตร

1.3 โต๊ะวางชิ้นงานมีจำนวน 3 ตัว ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ T1, T2 และ T3 คือ โต๊ะวางชิ้นงานตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยการจำลองมาจากการวางเหล็กแหนบเรียงกันที่มีความกว้าง 1 เมตร ความยาว 1 เมตร และความสูง 1.5 เมตร ตั้งอยู่ห่างจากเตาเผาแต่ละเตา 3 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 18

1.4 มีระบบการจ่ายอากาศเย็นเฉพาะจุดให้กับพนักงานทุกคนที่ทำงานในบริเวณนั้น จำนวน 6 จุด ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ A1, A2, A3, A4, A5 และ A6 คือท่อจ่ายอากาศ ท่อที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

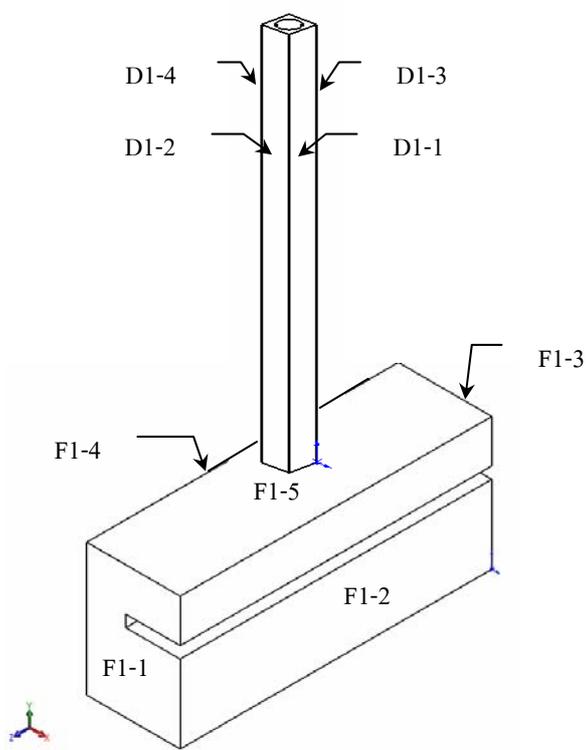


ภาพที่ 14 แสดงการจำลองพื้นที่เดาเผาเหล็กหนักที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 15 แสดงการจำลองพื้นที่เดาเผาเหล็กหนักในมุมมองด้านบน

ในพื้นที่ผลิตแหวนรถยนต์มีแหล่งกำเนิดความร้อนจากเตาเผาเหล็กเหน็บ และท่อระบายความร้อนออกไปยังภายนอกอาคาร เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเผาปลายเหล็กเพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน แหล่งกำเนิดความร้อนที่เกิดจากเตาเผาเหล็กเหน็บจำนวน 3 เตา เตาละ 5 ด้าน ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ F1-1, F1-2, F1-3, F1-4 และ F1-5 คือ ความร้อนจากผนังเตาเผาด้านหัวเตา, ด้านหน้าเตา, ด้านท้ายเตา, ด้านหลังเตา และด้านบนเตา ตามลำดับ ส่วนท่อระบายความร้อนมีแหล่งความร้อนจากผนังทั้งหมด 4 ด้าน ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ D1-1, D1-2, D1-3 และ D1-4 คือความร้อนจากผนังท่อนำความร้อนด้านหน้าเตา, ด้านหัวเตา, ด้านท้ายเตา, ด้านหลังเตา ดังแสดงในภาพที่ 16 และ 17



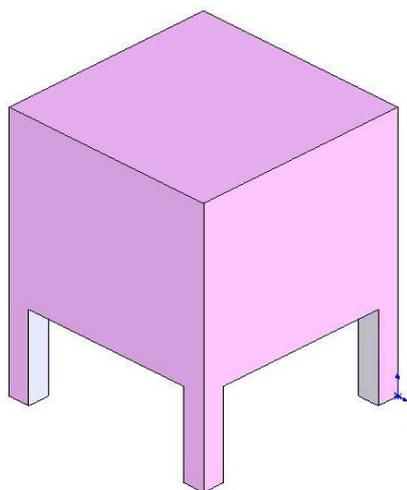
ภาพที่ 16 แสดงแบบจำลองเตาเผาเหล็กเหน็บและปล่องระบายความร้อน



ภาพที่ 17 แสดงเตาเผาเหล็กเหนือบจากพื้นที่จริง

ที่มา: บริษัท เอ็นเอชเค สปรिंग (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

อีกทั้งยังมีแหล่งความร้อนที่เกิดจากโตะวางชิ้นงานมีทั้งหมด 3 ตัว เนื่องจากชิ้นงานที่ออกมาจากเตาเผาต้องนำมาวางเรียงกันไว้บนโตะ เพื่อรอการขนย้ายไปทำการผลิตในขั้นตอนต่อไป ซึ่งทำให้เป็นแหล่งสะสมความร้อน ดังในภาพที่ 18 และ 19



ภาพที่ 18 แสดงแบบจำลองโตะวางชิ้นงาน



ภาพที่ 19 แสดงโต๊ะวางชิ้นงานจากพื้นที่จริง

ที่มา: บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

เนื่องจากบริษัทที่ทำการวิจัยให้ความสำคัญด้านสุขภาพและความปลอดภัยของพนักงานที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีความร้อน จึงได้ทำการติดตั้งระบบการจ่ายอากาศที่มีความเย็นเฉพาะจุดให้กับพนักงาน 6 คน ที่ทำงานในพื้นที่นั้น โดยมีระบบทำความเย็นอยู่ภายนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงระบบการจ่ายอากาศเฉพาะจุดให้กับผู้ปฏิบัติงาน

ที่มา: บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

2. ทำการวิเคราะห์การไหลเป็นแบบ 3 มิติ ของไหลที่ใช้คืออากาศ (Air) ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยโดยทั่วไปภายในพื้นที่เตาเผาเหล็ก แหนบที่ทำการศึกษาความเร็วของอากาศเข้าสู่พื้นที่ (Inlet Velocity) มีความเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ด้านหน้า และความเร็วของอากาศจากท่อจ่ายอากาศเย็น เพื่อให้ความเย็นกับผู้ปฏิบัติงานจำนวน 6 ท่อ มีความเร็วเฉลี่ย 17 เมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) มาจากเตาเผาเหล็กแหนบ และท่อระบายความร้อนจากเตาเผา ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวของผนังเตาเผา และท่อนำความร้อนแต่ละด้าน (Surface source) จำนวน 3 เตาคือเตาเผาที่ 1, เตาเผาที่ 2 และเตาเผาที่ 3 นอกจากนี้ในพื้นที่ผลิตแหวนรถยนต์ยังมีแหล่งความร้อนที่เกิดจากชิ้นงาน (Volume Source) ที่วางบนโต๊ะเพื่อร่อนนำไปผลิตในขั้นตอนต่อไปจำนวน 3 ตัว

3. เนื่องจากอาคารโรงงานผลิตแหวนรถยนต์เป็นอาคารโรงงานขนาดใหญ่ในการวิจัยครั้งนี้ จึงสร้างจำลองเฉพาะพื้นที่เตาเผาเหล็กแหนบที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเท่านั้น เนื่องจากในอาคารโรงงานไม่มีแหล่งความร้อนจากบริเวณอื่นที่มีผลกระทบต่อการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณและปริมาณหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์

4. ทำการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความร้อนในพื้นที่ผลิตแหวนรถยนต์ในปัจจุบัน ต้องทำการศึกษาแหล่งกำเนิดความร้อน และสภาวะแวดล้อมปัจจุบัน ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายของความร้อนภายในพื้นที่เตาเผาในอาคารโรงงานผลิตแหวนรถยนต์ นั้นประกอบด้วยแหล่งกำเนิดความร้อน คือเตาเผาเหล็กแหนบที่ 1, 2 และ 3 และเนื่องจากเป็นความร้อนจากภายในเตาเคลื่อนที่ผ่านผนังชั้นต่าง ๆ ของแต่ละด้านของเตา ออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบเตาเผา ดังนั้นต้องทราบปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่จากด้านในเตา ผ่านผนังแต่ละด้านออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

4.2 ศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหรือวัตถุที่มีความหนา (X) และพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (A) ถ้าผิวด้านหนึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_A) และผิวอีกด้านหนึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (T_B) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในหนึ่งหน่วยเวลาโดยการนำความร้อนของวัตถุ คำนวณได้จาก

$$Q = \frac{AK(T_A - T_B)}{X} \quad (9)$$

โดยที่

Q คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนอย่างสม่ำเสมอ, W

K คือ ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ (Thermal Conductivity of Material), W/mK

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่าน, m^2

$T_A - T_B$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิผิววัตถุ, K

X คือ ความหนาของผนังที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m

4.3 ศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหลายชั้น

หากผนังมีหลายชั้นและทราบค่าของอุณหภูมิของผนังด้านนอก และด้านในแล้ว ค่าอัตราการถ่ายเทของความร้อนผ่านผนังหลายชั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้ความต้านทานความร้อนของผนัง ดังนี้

$$R_i = \frac{X_i}{K_i A} \quad (10)$$

โดยที่

R_i คือ ความต้านทานความร้อนของผนัง i , K/W

X_i คือ ความหนาของผนัง i ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m

K_i คือ ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ i , W/mK

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่าน, m^2

$$R_T = \sum R_i \quad (11)$$

โดยที่

R_T คือ ความต้านทานความร้อนรวม, K/W

ดังนั้น จากสมการที่ (9), (10) และ (11) สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนจากผิวด้านหนึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_A) เคลื่อนที่ผ่านผนังหลายชั้นไปผิวอีกด้านหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (T_B) ได้ดังนี้

$$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T} \quad (12)$$

4.4 ศึกษาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเตาเผาเหล็กเหน็บที่ศึกษา

เตาเผาเหล็กเหน็บประกอบด้วยผนัง 3 ชั้น ชั้นในสุดทำด้วยอิฐทนไฟหนา 300 มิลลิเมตร ตรงกลางเป็นฉนวนกันความร้อนที่ทำด้วยไฟเบอร์กลาส หนา 50 มิลลิเมตร ผนังชั้นนอกเป็นเหล็กหนา 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 21

จากสมการที่ (9), (10), (11) และ (12) สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน (Surface) ของเตาเผาและท่อนำความร้อนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 21 ได้โดย

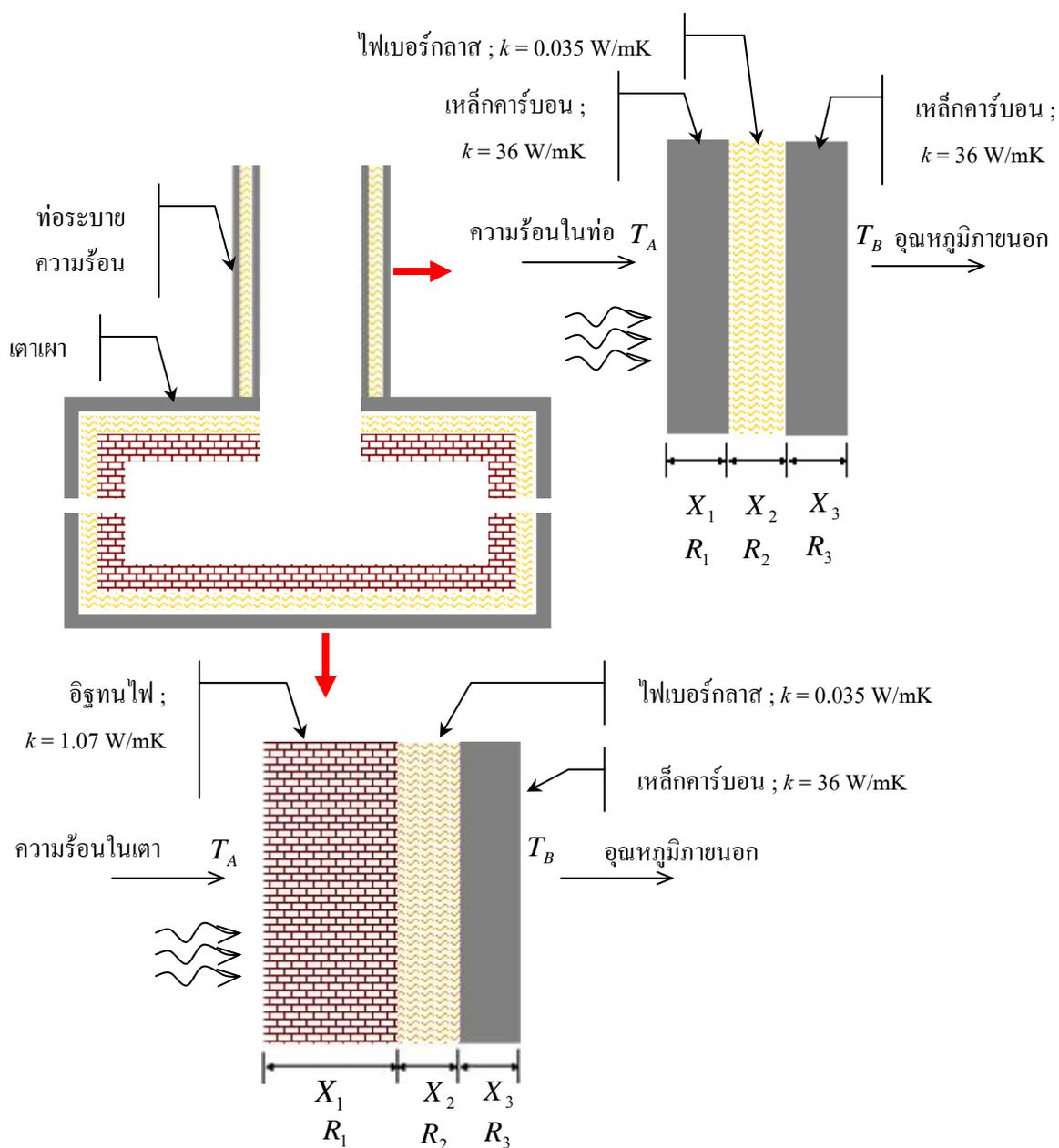
T_A คือ อุณหภูมิของเตาเผาด้านใน มีค่า 1200 องศาเซลเซียส (1473.15 K)

(กรณี Worst Case คิดที่อุณหภูมิสูงสุดในการเผาเหล็กเหน็บ)

T_B คือ อุณหภูมิของผนังเตาเผาด้านนอก; °C

(ได้จากการตรวจวัดอุณหภูมิของผนังเตาเผาแต่ละด้าน)

ผลการคำนวณปริมาณความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้านของเตาเผาที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3



ภาพที่ 21 แสดงผนังเตาเผาเหล็กเหน็บ และท่อระบายความร้อนภาพตัดขวาง

ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังเตาเผา และท่อนำความร้อนแต่ละด้าน (ดูภาพที่ 21 ประกอบ)

Surface	X ; หน่วย m			R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q ; หน่วย W
<u>Furnace1</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F1-1	0.3	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.883894	1,473.15	442.15	1,166.43
F1-2	0.3	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.275860	1,473.15	362.48	4,026.19
F1-3	0.3	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.883894	1,473.15	641.48	940.91
F1-4	0.3	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.251520	1,473.15	330.15	4,544.38
F1-5	0.3	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.356320	1,473.15	383.15	3,059.05
<u>Duct 1</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
D1-1	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	370.15	8,079.84
D1-2	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	446.15	7,523.11
D1-3	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	788.15	5,017.85
D1-4	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	788.15	5,017.85
<u>Furnace2</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
F2-1	0.3	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.883894	1,473.15	376.15	1,241.10
F2-2	0.3	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.275860	1,473.15	324.15	4,165.15

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m			R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q; หน่วย W
	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F2-3	0.3	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.883894	1,473.15	430.48	1,179.63
F2-4	0.3	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.251520	1,473.15	419.15	4,190.53
F2-5	0.3	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.356320	1,473.15	375.15	3,081.50
<u>Duct 2</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
D2-1	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	327.15	8,394.82
D2-2	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	319.15	8,453.43
D2-3	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	327.65	8,391.16
D2-4	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	673.65	5,856.60
<u>Furnace3</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
F3-1	0.3	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.144896	1,473.15	338.15	1,284.09
F3-2	0.3	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.045222	1,473.15	337.15	4,118.03
F3-3	0.3	0.05	0.05	0.144896	0.7382798	0.00071777	0.8838936	1473.15	417.15	1194.7139
F3-4	0.3	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.041231	1,473.15	380.82	4,342.93
F3-5	0.3	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.058411	1,473.15	348.65	3,155.87

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m			R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q ; หน่วย W
Duct 3	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
D3-1	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	361.15	8,145.76
D3-2	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	349.15	8,233.67
D3-3	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	394.15	7,904.03
D3-4	0.005	0.05	0.005	0.000445	0.136054	0.000013	0.136513	1,473.15	683.15	5,787.01

ตารางที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิที่ผิว ($^{\circ}C$) ที่เกิดจากโต๊ะวางชิ้นงาน

ความร้อนจากโต๊ะตัวที่	อุณหภูมิที่ผิว ($^{\circ}C$)
1	387
2	356
3	387

ตารางที่ 5 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน จากการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาส ภายในเตาเผา และท่อนำความร้อนเป็น 0.1 เมตร

Surface	X ; หน่วย m			R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q ; หน่วย W
<u>Furnace1</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F1-1	0.3	0.1	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	1.622173	1,473.15	442.15	635.57
F1-2	0.3	0.1	0.05	0.045222	0.460829	0.000224	0.506275	1,473.15	362.48	2,193.80
F1-3	0.3	0.1	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	1.622173	1,473.15	641.48	512.69
F1-4	0.3	0.1	0.05	0.041231	0.420168	0.000204	0.461604	1,473.15	330.15	2,476.15
F1-5	0.3	0.1	0.05	0.058411	0.595238	0.000289	0.653939	1,473.15	383.15	1,666.82
<u>Duct 1</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
D1-1	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	370.15	4,046.71
D1-2	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	446.15	3,767.88
D1-3	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	788.15	2,513.14
D1-4	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	788.15	2,513.14
<u>Furnace2</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
F2-1	0.3	0.1	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	1.622173	1,473.15	376.15	676.25
F2-2	0.3	0.1	0.05	0.045222	0.460829	0.000224	0.506275	1,473.15	324.15	2,269.52

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m			R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q ; หน่วย W
	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F2-3	0.3	0.1	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	1.622173	1,473.15	430.48	642.76
F2-4	0.3	0.1	0.05	0.041231	0.420168	0.000204	0.461604	1,473.15	419.15	2,283.34
F2-5	0.3	0.1	0.05	0.058411	0.595238	0.000289	0.653939	1,473.15	375.15	1,679.06
<u>Duct 2</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
D2-1	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	327.15	4,204.47
D2-2	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	319.15	4,233.82
D2-3	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	327.65	4,202.63
D2-4	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	673.65	2,933.22
<u>Furnace3</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$							
F3-1	0.3	0.1	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	1.622173	1,473.15	338.15	699.68
F3-2	0.3	0.1	0.05	0.045222	0.460829	0.000224	0.506275	1,473.15	337.15	2,243.84
F3-3	0.3	0.1	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	1.622173	1,473.15	417.15	650.98
F3-4	0.3	0.1	0.05	0.041231	0.420168	0.000204	0.461604	1,473.15	380.82	2,366.39
F3-5	0.3	0.1	0.05	0.058411	0.595238	0.000289	0.653939	1,473.15	348.65	1,719.58

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m			R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q; หน่วย W
<u>Duct 3</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
D3-1	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	361.15	4,079.73
D3-2	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	349.15	4,123.76
D3-3	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	394.15	3,958.66
D3-4	0.005	0.1	0.005	0.000445	0.272109	0.000013	0.272567	1,473.15	683.15	2,898.37

ตารางที่ 6 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน จากการติดตั้งไฟเบอร์กลาสรอบผนังเตาเผา และผนังท่อนำความร้อน ที่ความหนา 0.05 เมตร

Surface	X ; หน่วย m				R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q; หน่วย W	
<u>Furnace1</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_4 = \frac{X_4}{K_4 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F1-1	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	442.15	635.57
F1-2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.230415	0.506275	1,473.15	362.48	2,193.80
F1-3	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	641.48	512.69
F1-4	0.3	0.05	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.210084	0.461604	1,473.15	330.15	2,476.15
F1-5	0.3	0.05	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.297619	0.653939	1,473.15	383.15	1,666.82

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m				R ; หน่วย K/W					T ; หน่วย K		Q ; หน่วย w
<u>Duct 1</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_4 = \frac{X_4}{K_4 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
D1-1	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	370.15	4,046.71
D1-2	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	446.15	3,767.88
D1-3	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	788.15	2,513.14
D1-4	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	788.15	2,513.14
<u>Furnace2</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
F2-1	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	376.15	676.25
F2-2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.230415	0.506275	1,473.15	324.15	2,269.52
F2-3	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	430.48	642.76
F2-4	0.3	0.05	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.210084	0.461604	1,473.15	419.15	2,283.34
F2-5	0.3	0.05	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.297619	0.653939	1,473.15	375.15	1,679.06
<u>Duct 2</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
D2-1	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	327.15	4,204.47
D2-2	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	319.15	4,233.82
D2-3	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	327.65	4,202.63
D2-4	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	673.65	2,933.22

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m				R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q ; หน่วย w	
<u>Furnace3</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_4 = \frac{X_4}{K_4 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F3-1	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	338.15	699.68
F3-2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.230415	0.506275	1,473.15	337.15	2,243.84
F3-3	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	417.15	650.98
F3-4	0.3	0.05	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.210084	0.461604	1,473.15	380.82	2,366.39
F3-5	0.3	0.05	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.297619	0.653939	1,473.15	348.65	1,719.58
<u>Duct 3</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
D3-1	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	361.15	4,079.73
D3-2	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	349.15	4,123.76
D3-3	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	394.15	3,958.66
D3-4	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	683.15	2,898.37

ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณปริมาณความร้อน (Q) ที่เคลื่อนที่ผ่านผนังแต่ละด้าน จากการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาส ภายในเตาเผาที่ 3 เป็น 0.1 เมตร, ผนังเตาเผาที่ 1, 2, และ 3 เป็น 0.05 เมตร และผนังท่อนำความร้อนที่ 1, 2, และ 3 เป็น 0.05 เมตร

Surface	X ; หน่วย m				R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K		Q; หน่วย w	
<u>Furnace1</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_4 = \frac{X_4}{K_4 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F1-1	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	442.15	635.57
F1-2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.230415	0.506275	1,473.15	362.48	2,193.80
F1-3	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	641.48	512.69
F1-4	0.3	0.05	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.210084	0.461604	1,473.15	330.15	2,476.15
F1-5	0.3	0.05	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.297619	0.653939	1,473.15	383.15	1,666.82
<u>Duct 1</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
D1-1	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	370.15	4,046.71
D1-2	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	446.15	3,767.88
D1-3	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	788.15	2,513.14
D1-4	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	788.15	2,513.14
<u>Furnace2</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
F2-1	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	376.15	676.25
F2-2	0.3	0.05	0.05	0.05	0.045222	0.230415	0.000224	0.230415	0.506275	1,473.15	324.15	2,269.52

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m				R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K	Q ; หน่วย W		
<u>Furnace2</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_4 = \frac{X_4}{K_4 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
F2-3	0.3	0.05	0.05	0.05	0.144896	0.738280	0.000718	0.738280	1.622173	1,473.15	430.48	642.76
F2-4	0.3	0.05	0.05	0.05	0.041231	0.210084	0.000204	0.210084	0.461604	1,473.15	419.15	2,283.34
F2-5	0.3	0.05	0.05	0.05	0.058411	0.297619	0.000289	0.297619	0.653939	1,473.15	375.15	1,679.06
<u>Duct 2</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
D2-1	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	327.15	4,204.47
D2-2	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	319.15	4,233.82
D2-3	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	327.65	4,202.63
D2-4	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	673.65	2,933.22
<u>Furnace3</u>	$X_{firebrick}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$								
F3-1	0.3	0.1	0.05	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	0.738280	2.360453	1,473.15	338.15	480.84
F3-2	0.3	0.1	0.05	0.05	0.045222	0.460829	0.000224	0.230415	0.736690	1,473.15	337.15	1,542.03
F3-3	0.3	0.1	0.05	0.05	0.144896	1.476560	0.000718	0.738280	2.360453	1,473.15	417.15	447.37
F3-4	0.3	0.1	0.05	0.05	0.041231	0.420168	0.000204	0.210084	0.671688	1,473.15	380.82	1,626.25
F3-5	0.3	0.1	0.05	0.05	0.058411	0.595238	0.000289	0.297619	0.951558	1,473.15	348.65	1,181.75

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Surface	X ; หน่วย m				R ; หน่วย K/W				T ; หน่วย K	Q ; หน่วย w		
<u>Duct 3</u>	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$X_{carbonsteel}$	$X_{fiberglass}$	$R_1 = \frac{X_1}{K_1 A}$	$R_2 = \frac{X_2}{K_2 A}$	$R_3 = \frac{X_3}{K_3 A}$	$R_4 = \frac{X_4}{K_4 A}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$	T_A	T_B	$Q = \frac{(T_A - T_B)}{R_T}$
D3-1	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	361.15	4,079.73
D3-2	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	349.15	4,123.76
D3-3	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	394.15	3,958.66
D3-4	0.005	0.05	0.005	0.05	0.000445	0.136054	0.000013	0.136054	0.272567	1,473.15	683.15	2,898.37

5. กำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรม CFD

การตั้งค่าเริ่มต้นมีการกำหนดรูปแบบการคำนวณของปัญหาการไหล ได้แก่ ชนิดของการวิเคราะห์สภาพทางกายภาพ ประเภทของการไหล วัสดุของแหล่งกำเนิดความร้อน ลักษณะของผนัง สภาวะอุณหภูมิ คุณสมบัติของวัสดุ หน่วย ความละเอียดในการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 แสดงปัจจัยนำเข้าของรูปแบบการคำนวณของปัญหาการไหล

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Units system	SI(m-kg-s)	
Analysis type	Internal	การไหลภายในปริมาตร
Exclude cavities without flow	Off	
Coordinate system	Global Coordinate System	
Reference Axis	X	
Fluid type	Air	
Physical Feature	Laminar and Turbulent	
High Mach number flow	Off	
Default roughness	0 micrometer	
Default wall conditions	Adiabatic wall	ไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ผนัง เนื่องจากการสร้างผนังจำลอง

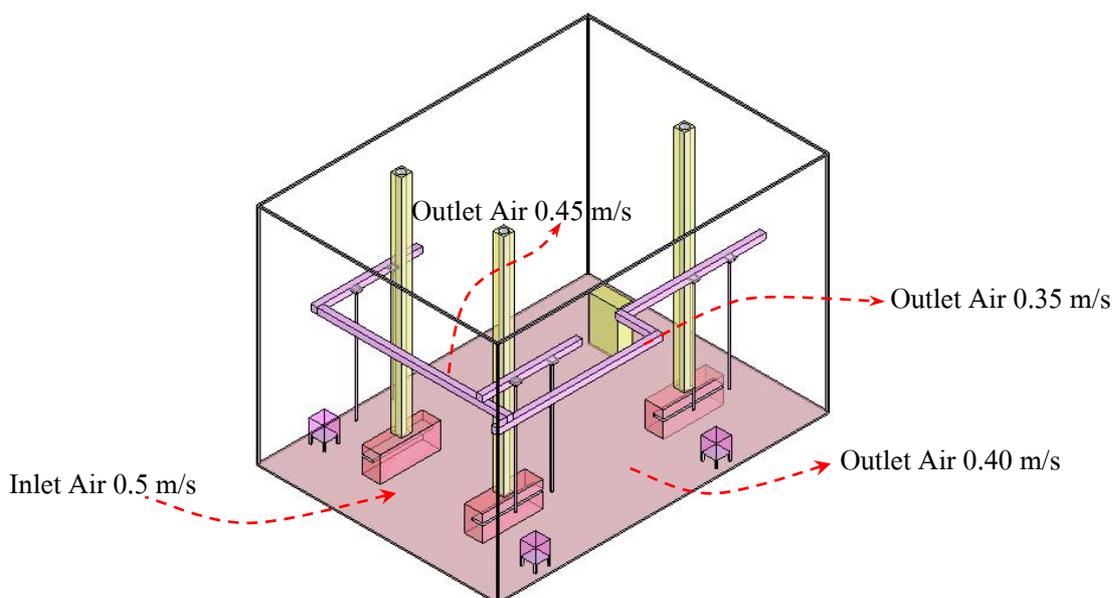
ตารางที่ 9 แสดงปัจจัยนำเข้าของสภาวะเริ่มต้น (Initial Conditions)

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Thermodynamic parameters		
Static Pressure	101325 Pa	ความดันบรรยากาศ
Temperature	39.0 °C	
Velocity parameters	0 m/s	ใช้ในการหา External Flows
Turbulence Parameters		
Initial solid parameter	38.0 °C	เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นภายในอาคาร

ตารางที่ 10 แสดงปัจจัยนำเข้าของความละเอียดในการคำนวณ (Mesh Settings)

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Initial Mesh Setting		Mesh ของทั้งปริมาตร
Automatic Initial Mesh	On	
Result resolution level	3	เป็นช่องค้ำยันต่อขนาดของช่องว่างที่น้อยที่สุด
Minimum gap size	0.5 m	
Minimum wall thickness	-	

สร้างเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา (Boundary Condition) ได้กำหนดแหล่งความร้อนมาจากผนังเตาเผาและท่อนำความร้อนแต่ละด้าน และความร้อนที่เกิดจากโถะวางชิ้นงาน อีกทั้งมีการกำหนดทิศทางและอัตราการไหลเข้าของอากาศทางด้านหน้าพื้นที่เตาเผาเหล็กเหน็บ บริเวณเตาเผาที่ 1 และ 2 เป็น 0.50 เมตรต่อวินาที กำหนดทิศทางและอัตราการไหลออกของอากาศด้านข้างบริเวณเตาที่ 3 เป็น 0.40 เมตรต่อวินาที, บริเวณด้านตู้เก็บอุปกรณ์ดูดซับน้ำมันเป็น 0.45 เมตรต่อวินาที และด้านหลังของพื้นที่เตาเผาเป็น 0.35 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วของอากาศเป็นค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องตรวจวัดความเร็วลมที่ความสูง 1.5 เมตร โดยอาศัยหลอดควัน เป็นเครื่องมือในการวัดทิศทางการไหลของอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 22



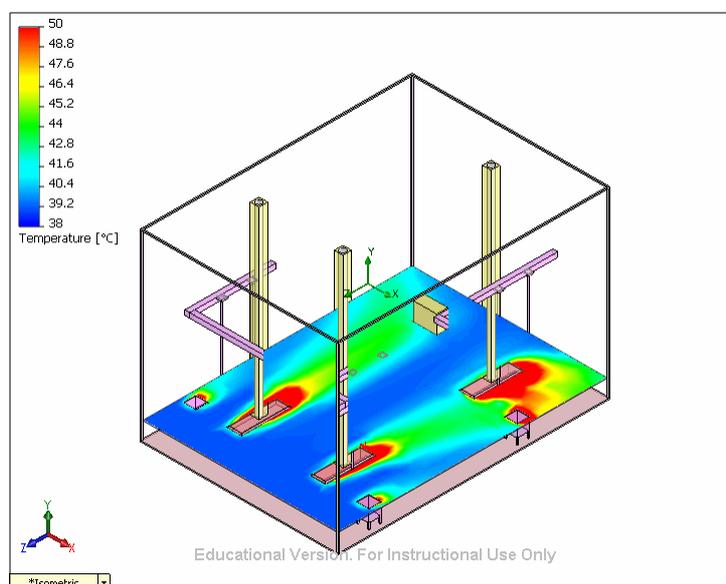
ภาพที่ 22 แสดงทิศทางการไหลและความเร็วของอากาศในพื้นที่เตาเผาเหล็กเหน็บ

ผลและวิจารณ์

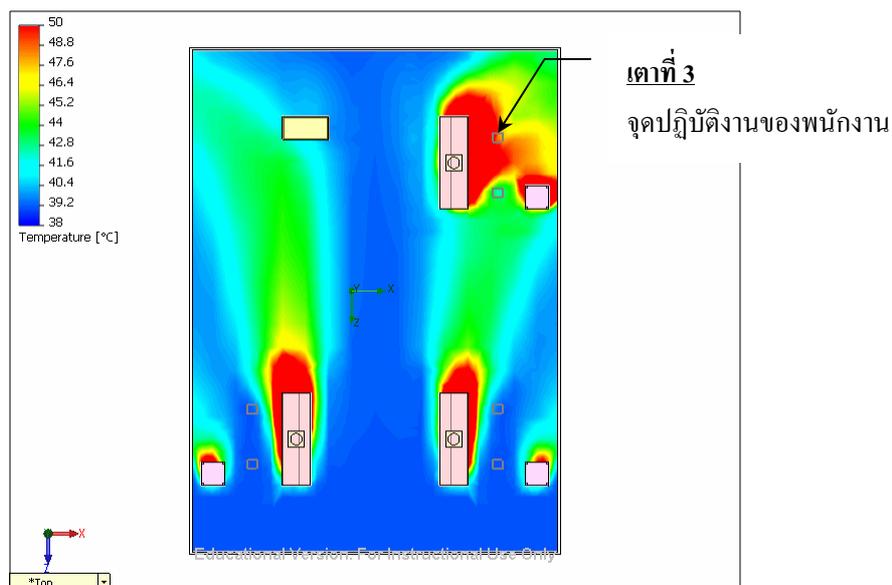
การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความร้อนในพื้นที่เตาเผาก่อนการปรับปรุง ส่วนที่ 2 ตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความร้อนหลังการปรับปรุงแก้ไข และส่วนที่ 4 เปรียบเทียบผลการศึกษากับค่ามาตรฐานที่มีการกำหนดไว้สำหรับความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวกับความร้อน

1. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิในพื้นที่เตาเผาก่อนการปรับปรุง

สำหรับด้านความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับความร้อนนั้นได้ทำการศึกษาค่าอุณหภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่เตาเผาที่ระดับความสูงจากพื้น 1.5 เมตร พิจารณาตามลักษณะการทำงานที่เป็นการทำงานในระดับปกติ (ปีติ, 2535) ที่มีผลทางด้านสุขภาพต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ค่าความเร็วและอุณหภูมิของของไหลที่ระดับความสูง 1.5 เมตร โดยวัดจากระดับพื้นของอาคาร ผลการวิเคราะห์การไหลของอากาศก่อนทำการปรับปรุงได้แสดงในภาพที่ 23 และ 24



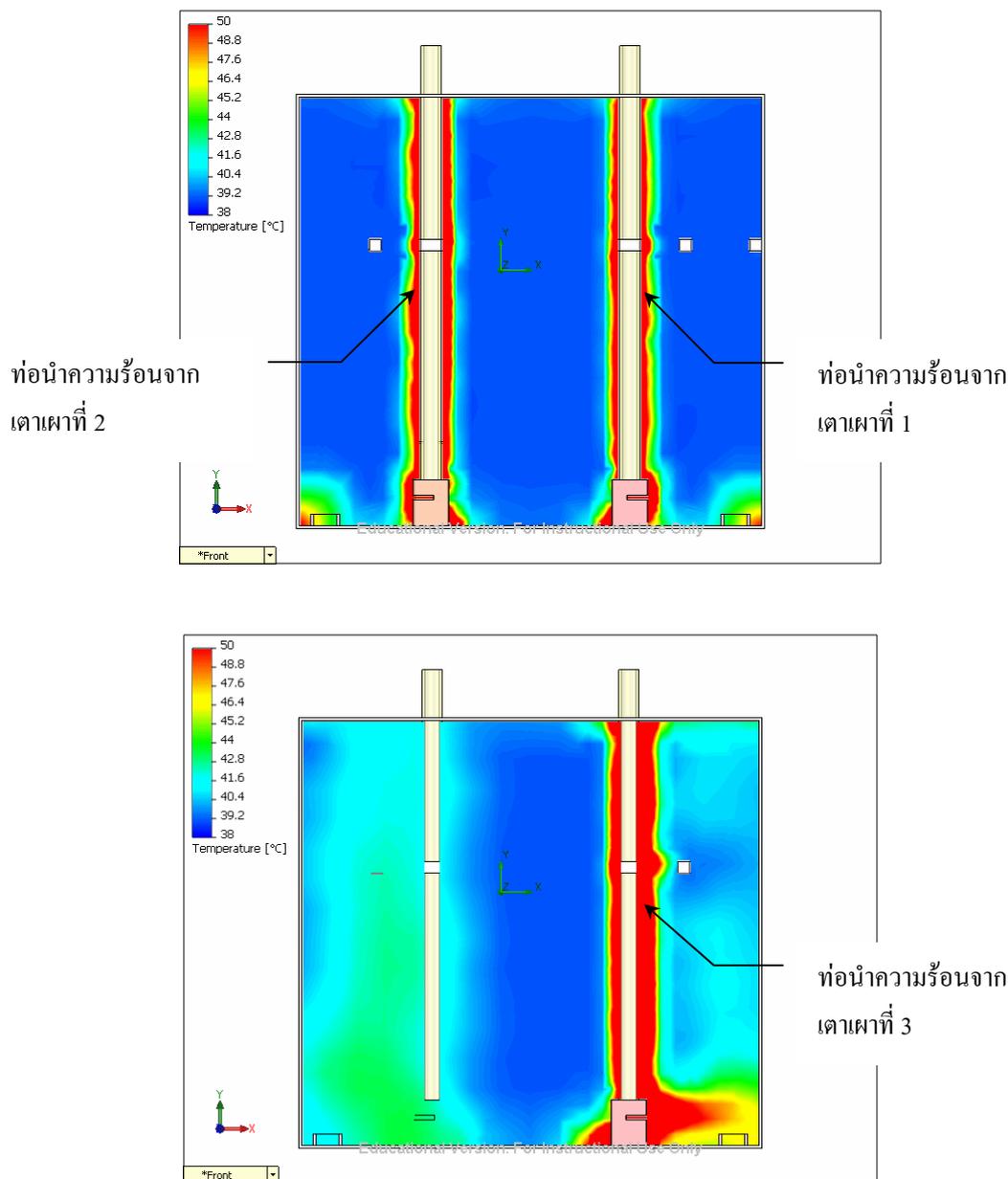
ภาพที่ 23 แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความสูง 1.5 เมตร



ภาพที่ 24 แสดงอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่เตาเผาที่มุมมองด้านบน

จากภาพที่ 23 และ 24 ที่ระดับความสูง 1.50 เมตรจากพื้นอาคาร พบว่าในบริเวณพื้นที่เตาเผาเหล็กเหนบนั้น มีแหล่งกำเนิดความร้อนที่เกิดจากเตาเผาและโต๊ะวางชิ้นงานที่ระยะห่างจากเตาเผา 1 เมตร มีอุณหภูมิรอบเตาสูงถึง 50 องศาเซลเซียส และเป็นบริเวณที่มีผู้ปฏิบัติงานซึ่งทำให้มีผลต่อสุขภาพและความปลอดภัยของพนักงาน โดยเฉพาะพนักงานที่ปฏิบัติงานบริเวณเตาเผาที่ 3 จะมีผลกระทบมากกว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในบริเวณเตาเผาที่ 1 และ 2

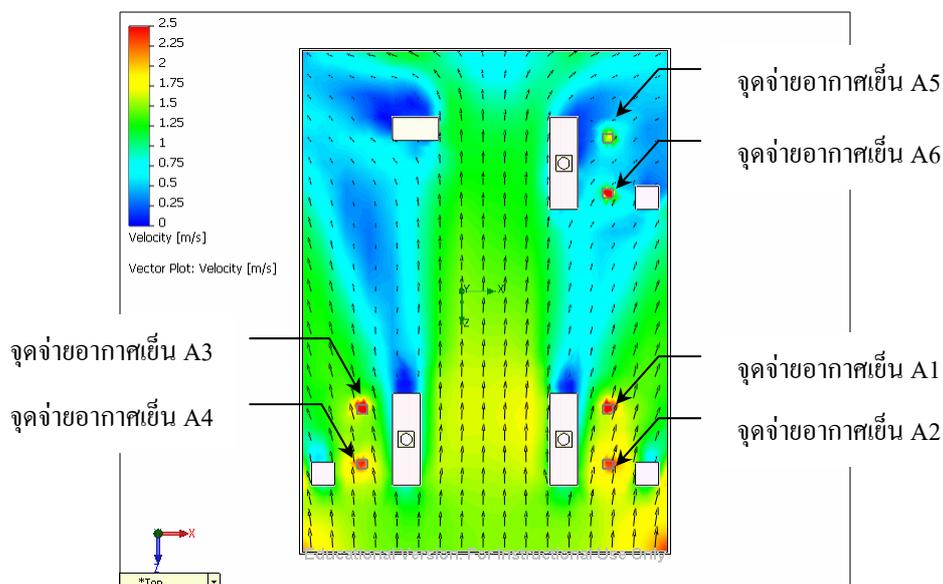
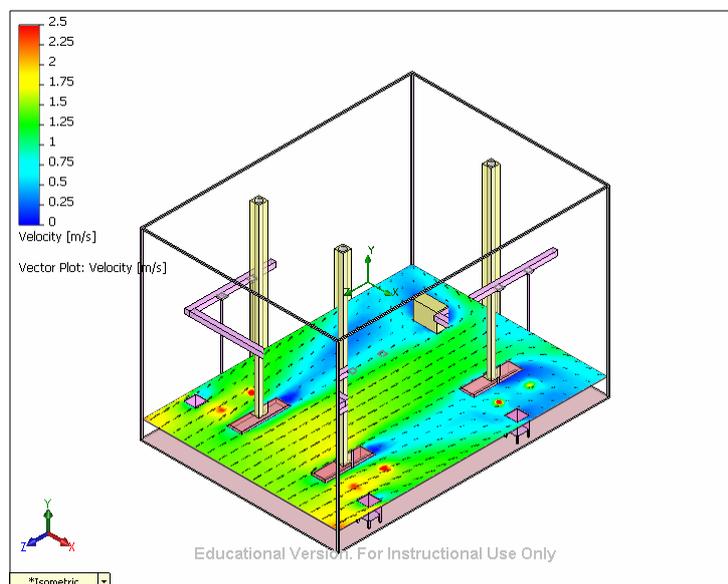
นอกจากนี้ยังพบแหล่งความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอกอาคาร โดยความร้อนจะแผ่ออกรอบ ๆ ท่อนำความร้อนจากเตาที่ 1, 2 และ 3 ส่วนเตาที่ 3 นั้นจะสังเกตเห็นว่าระยะของความร้อนที่แผ่ออกมานั้นจะมากกว่า ท่อนำความร้อนของเตาที่ 1 และ 2 ซึ่งส่งผลทำให้ความร้อนในพื้นที่เตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงด้วย โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่เตาเผาที่ 3 ความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนทั้ง 3 ท่อ มีค่าสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนของเตาเผาที่ 1, 2 และ 3

จากผลการวิเคราะห์ในครั้งนี พบว่ามีอัตราการไหลเข้าของอากาศบริเวณหน้าเตาเผาที่ 1 และ 2 สูง และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่ออากาศไปกระทบกับเตาเผา แล้วไหลออกทั้งหมด 3 ด้าน ด้านแรกระหว่างเตาเผาที่ 1 และ 3 ด้านที่สองระหว่างเตาเผาที่ 2 และตู้เก็บวัสดุชุดชั้นน้ำมัน และด้านสุดท้ายอากาศจะไหลออกทางด้านหลังบริเวณเตาเผาที่ 3 ซึ่งทิศทางการไหลของอากาศจุดนี้ จะนำความร้อนจากเตาเผาที่ 1 มาสะสมบริเวณเตาเผาที่ 3 จึงทำให้บริเวณนี้มีความร้อนสูงกว่า

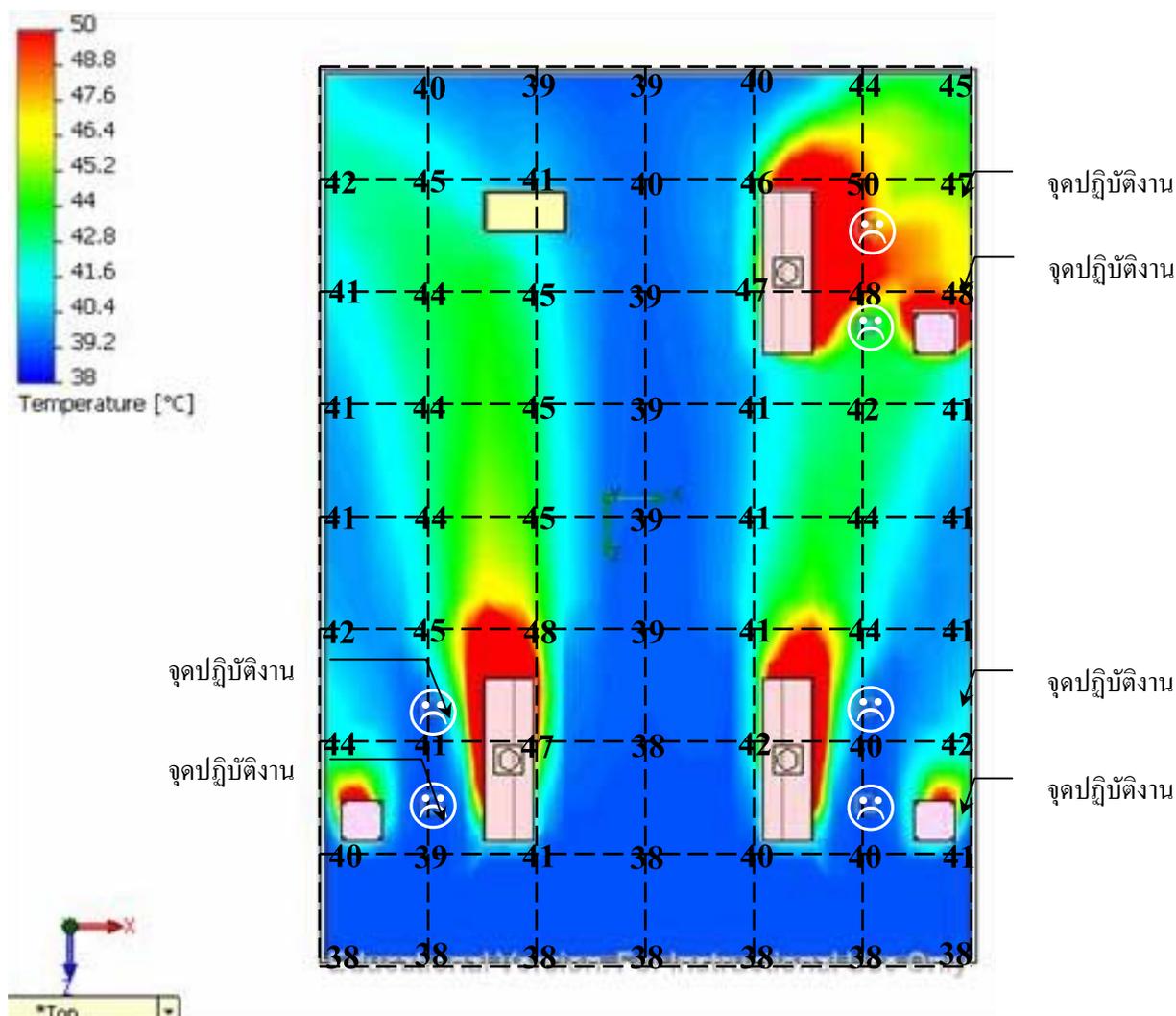
บริเวณอื่น ส่วนจุดที่พนักงานปฏิบัติงานนั้น จะมีอัตราการไหลของอากาศสูงมาก เนื่องจากมีการจ่ายอากาศเย็นเฉพาะจุดให้กับพนักงานจำนวน 6 จุด ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงทิศทางการไหลของอากาศ

2. ตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

เพื่อให้งานวิจัยนี้มีความถูกต้องแม่นยำ จึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์อูณหภูมิด้วยโปรแกรมการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล โดยทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิจริง ณ บริเวณตำแหน่งต่าง ๆ ภายในพื้นที่เตาเผา ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.50 เมตร จากนั้นนำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาซ้อนทับ (Overlay) ลงบนรูปแสดงการกระจายของอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล ที่ระดับความสูงจากพื้น 1.50 เมตรเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 27 พบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล มีค่าสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง แสดงว่าโปรแกรมการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลที่เลือกใช้นี้มีความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ผล และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิหลังการปรับปรุงได้



ภาพที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจริงและที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมด้านพลศาสตร์ของไหล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และบริเวณที่มีพนักงานปฏิบัติงาน

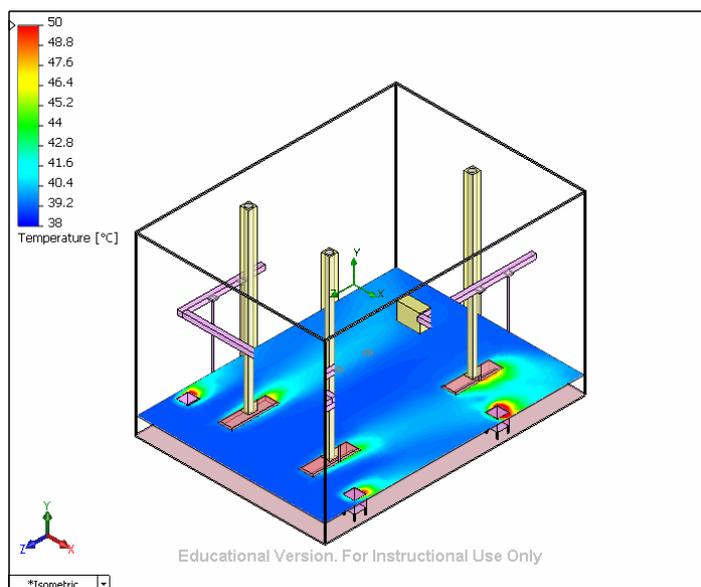
จากผลการวิเคราะห์ พบว่าตำแหน่งของพนักงานที่ยืนทำงานในบริเวณหน้าเตาเผามีอุณหภูมิสูงถึง 48 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะพนักงานที่ปฏิบัติงานบริเวณพื้นที่เตาเผาที่ 3 จะได้รับผลกระทบจากความร้อนมากกว่าพื้นที่เตาเผาที่ 1 และ 2 ดังแสดงในภาพที่ 27 ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน เนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียสที่เป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยกำหนด

ดังนั้นเพื่อไม่ให้ความร้อนในบริเวณพื้นที่ผลิตแทนบรอนด์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน จึงได้พิจารณาทำการปรับปรุงแก้ไขโดยการติดตั้งฉนวนหุ้ม (Insulator) แหล่งกำเนิดความร้อนเป็นอันดับแรก ซึ่งเป็นการปรับปรุงแก้ไขที่เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำแต่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ไขวิธีอื่น เช่น การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ดังแสดงในภาพที่ 7 หรือการป้องกันที่ทางผ่าน เช่น การทำห้องพักหรือห้องควบคุมให้กับพนักงาน ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายสูงอยู่แล้ว

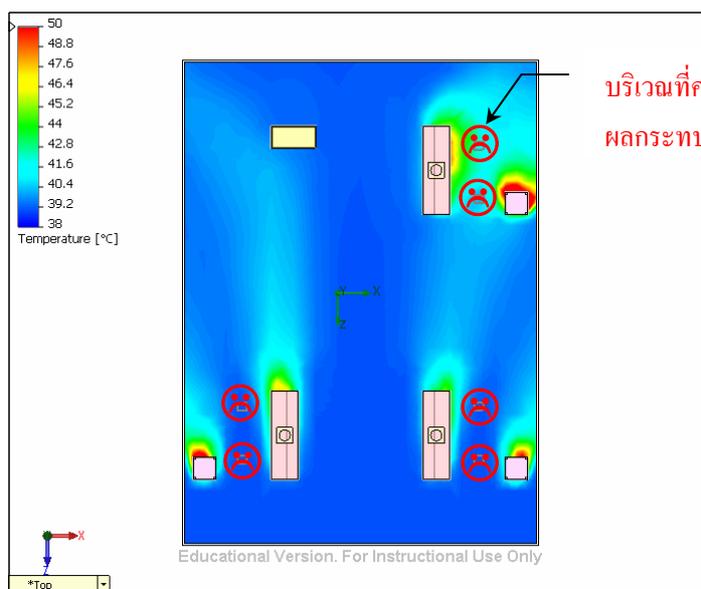
จากผลการวิเคราะห์ความร้อนภายในพื้นที่เตาเผาเหล็กแทน พบว่ามีแหล่งกำเนิดความร้อนที่เกิดจากเตาเผา ท่อระบายความร้อน และโต๊ะวางชิ้นงาน ดังนั้นจึงได้พิจารณาปรับปรุงแก้ไขที่แหล่งกำเนิดความร้อน โดยพิจารณาเรื่องของฉนวนกันความร้อนที่จะนำมาใช้ในการลดความร้อนจากเตาเผา และท่อระบายความร้อน ฉนวนกันความร้อนที่นิยมคือไฟเบอร์กลาส ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาไฟเบอร์กลาสที่มีความหนาแน่น 16 kg/m^3 เนื่องจากค่าการนำความร้อนไม่แตกต่างจากความหนาแน่นอื่น จึงได้ทำการวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขดังต่อไปนี้

3. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิในพื้นที่เตาเผาหลังการปรับปรุงแก้ไข

พิจารณาการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 โดยการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาสจากความหนา 50 มิลลิเมตร เป็น 100 มิลลิเมตร โดยทำการติดตั้งทุกเตาเผาทั้ง 5 ด้าน ระหว่างอิฐทนไฟกับเหล็กคาร์บอน และติดตั้งที่ท่อระบายความร้อนทุกท่อทั้ง 4 ด้าน ระหว่างเหล็กคาร์บอนด้านนอกกับเหล็กคาร์บอนด้านใน จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมด้านพลศาสตร์ของไหล พบว่าอุณหภูมิเตาเผาที่ 1, 2 และท่อระบายความร้อน มีอุณหภูมิลดลงจาก 50 องศาเซลเซียส ลดลงเหลือ 44 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิเตาที่ 3 ยังไม่ลดลง และมีผลกระทบกับพนักงานที่ปฏิบัติงานในบริเวณนั้น อาจมีสาเหตุจากการไหลของอากาศที่พาความร้อนจากเตาที่ 1 ไปยังเตาที่ 3 ทำให้อุณหภูมิสะสมสูงขึ้น เนื่องจากเตาที่ 3 ก็มีความร้อนสูงอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิรอบ ๆ เตาทั้ง 3 เตา เตาเผาที่ 3 จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดดังแสดงในภาพที่ 28 และ 29



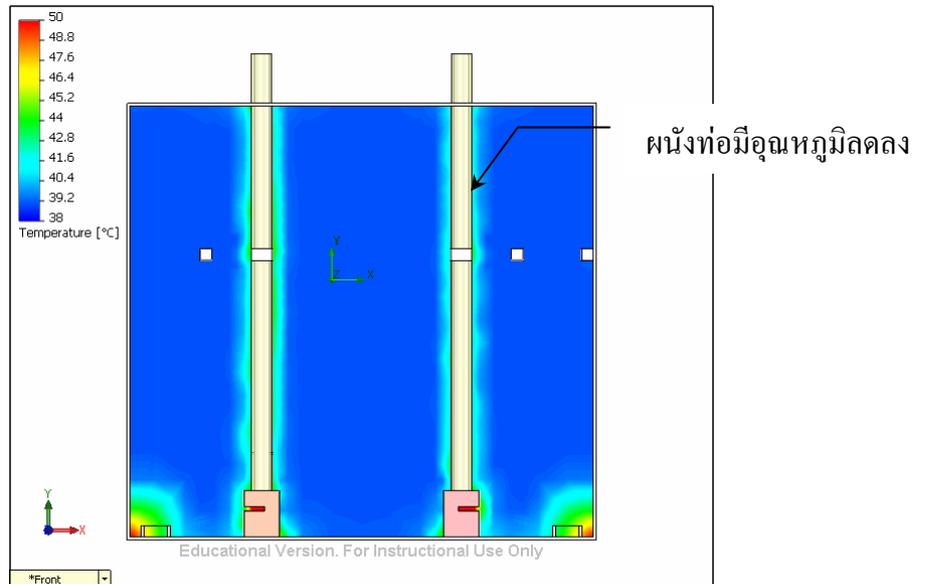
(a)



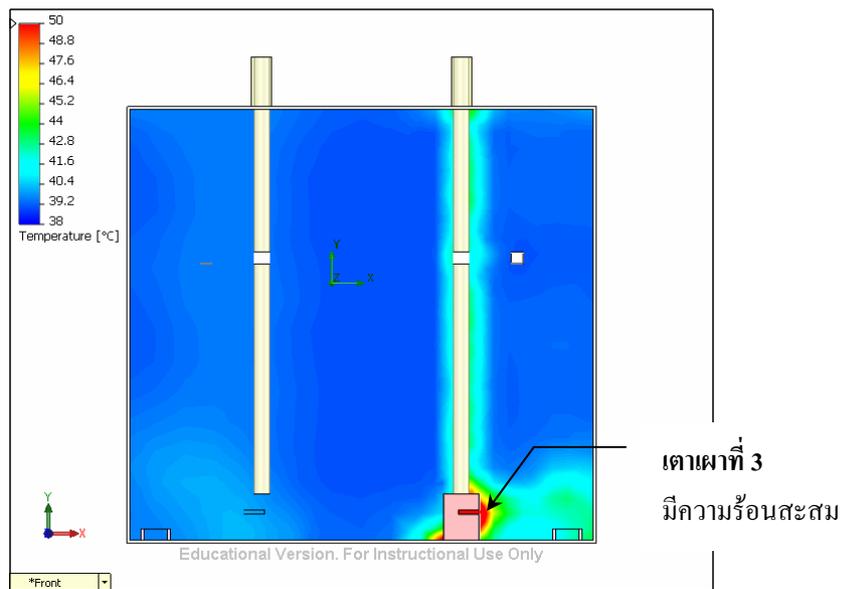
(b)

ภาพที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์โดยการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาสจาก 0.05 เมตร เป็น 0.1 เมตร

- แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความสูง 1.50 เมตร
- แสดงอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่เตาเผาที่มุมมองด้านบน
- แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนจากเตาที่ 1 และ 2
- แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนจากเตาที่ 3

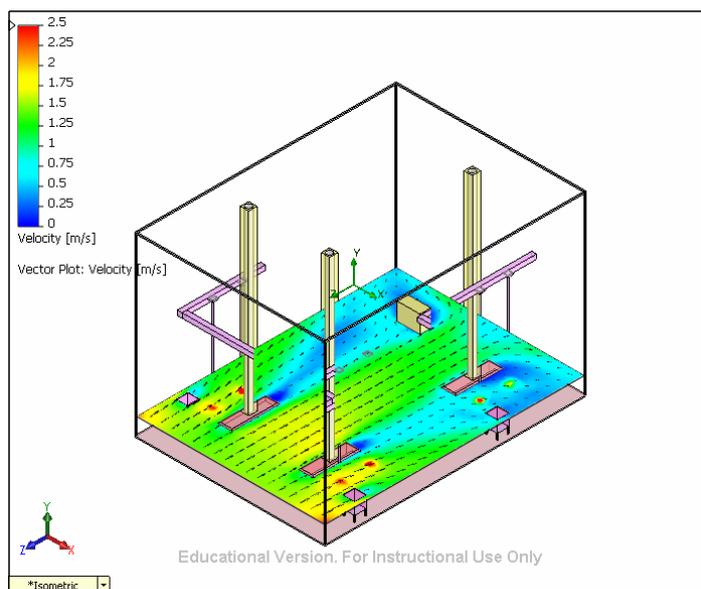


(c)

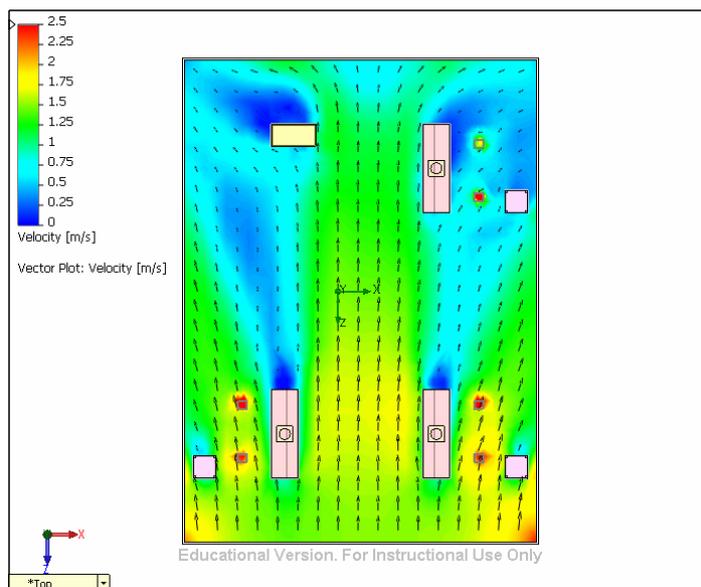


(d)

ภาพที่ 28 (ต่อ)



(a)



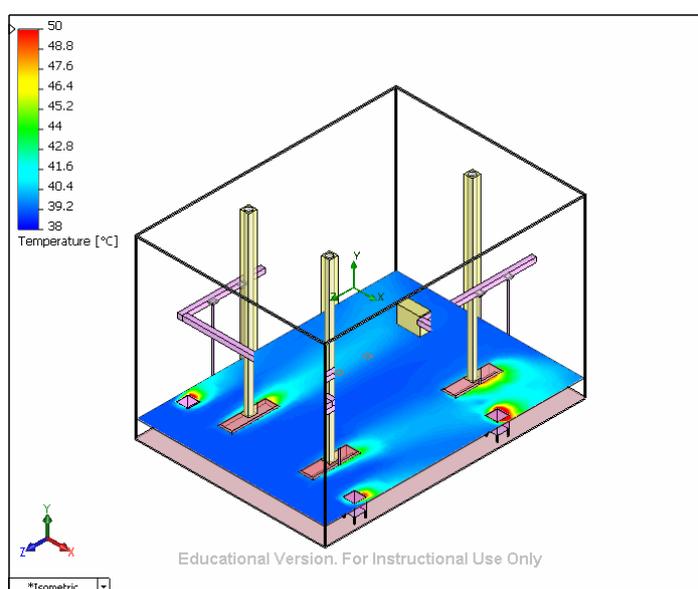
(b)

ภาพที่ 29 แสดงทิศทางการไหลของอากาศมีผลกระทบกับบริเวณเตาที่ 3

a) แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่ความสูง 1.5 เมตร

b) แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่มุมมองด้านบน

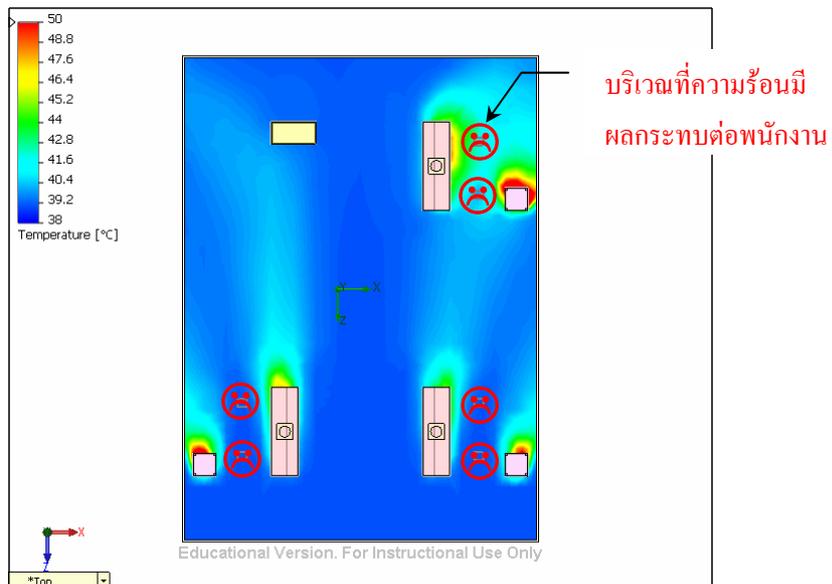
จากการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 บริเวณเตาเผาที่ 3 ยังมีความร้อนที่มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งถ้าทำการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาสระหว่างอิฐทนไฟกับเหล็กคาร์บอน จะต้องทำการรื้อเตาเผาเพื่อให้มีช่องว่างมากขึ้นทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสูง จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 โดยการติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่มีความหนา 0.05 เมตร รอบผนังเตาเผาและท่อระบายความร้อนทั้งหมดทุกด้าน พบว่าอุณหภูมิลดลงเท่ากับการเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาสในการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 30 แต่การติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ผนังด้านนอก จะมีความสะดวกและเสียค่าใช้จ่ายน้อย เพราะไม่ต้องรื้อเตาเผาสามารถทำการติดตั้งได้เลย



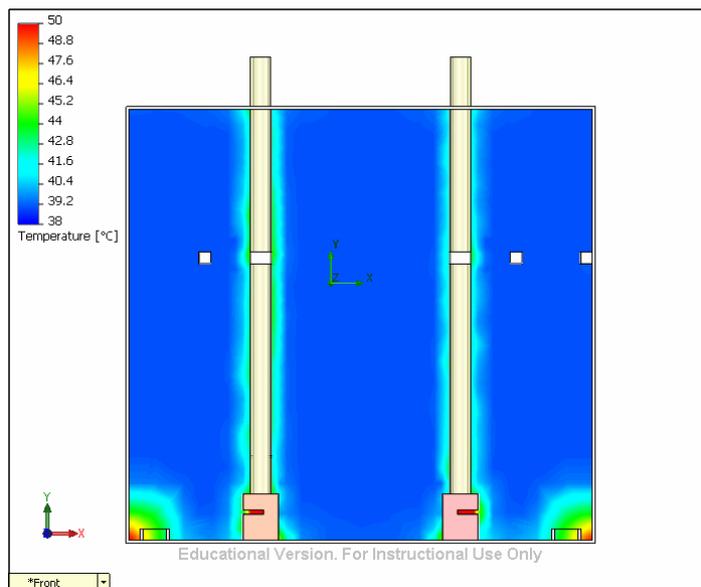
(a)

ภาพที่ 30 แสดงผลการติดตั้งไฟเบอร์กลาสรอบเตาเผา

- a) แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความสูง 1.50 เมตร
- b) แสดงอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่เตาเผาที่มุมมองด้านบน
- c) แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนจากเตาที่ 1 และ 2
- d) แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนจากเตาที่ 3
- e) แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่ความสูง 1.5 เมตร
- f) แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่มุมมองด้านบน

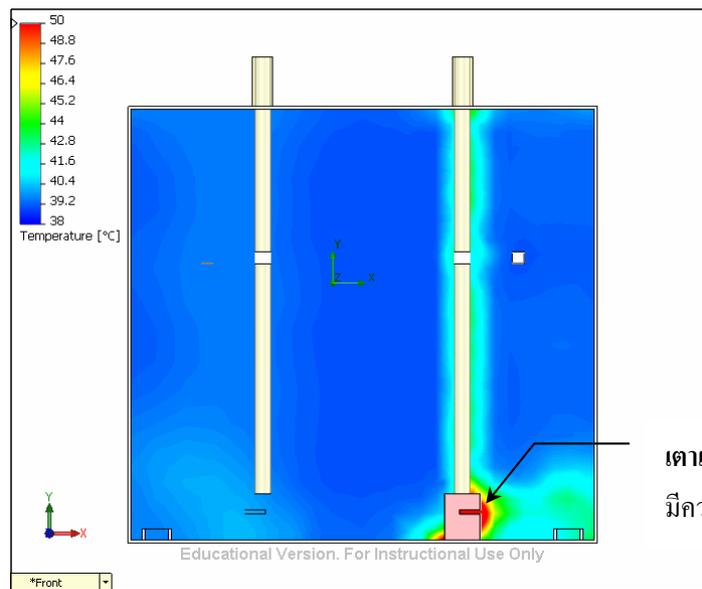


(b)



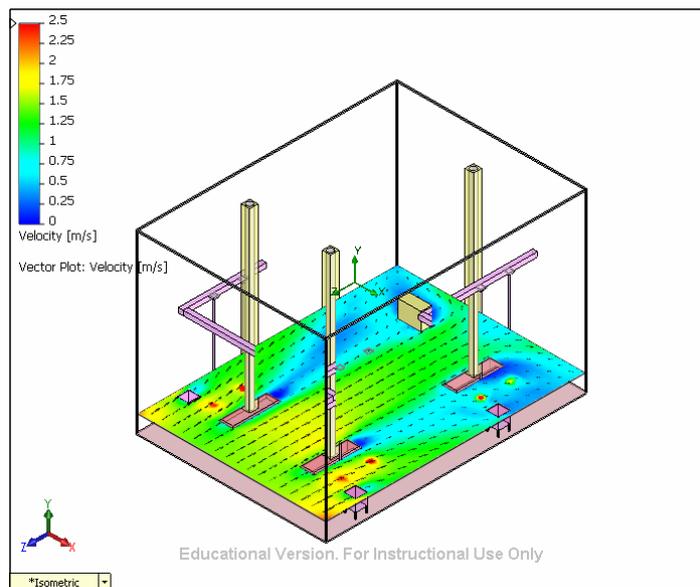
(c)

ภาพที่ 30 (ต่อ)



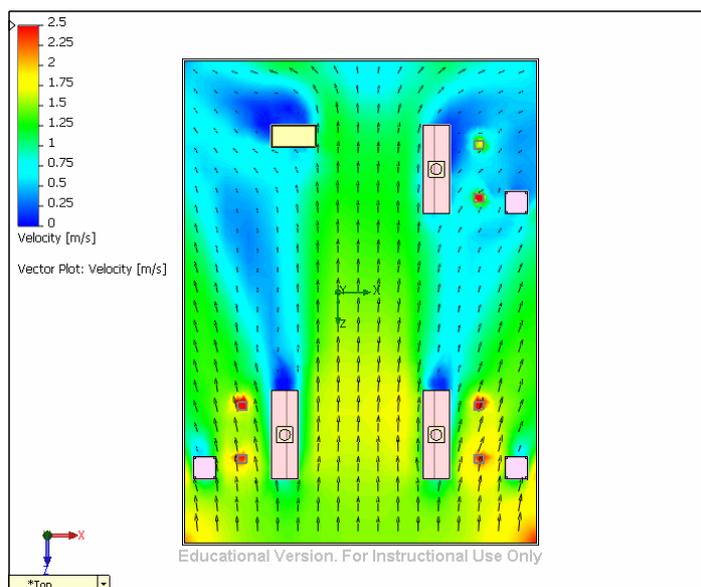
เตาเผาที่ 3
มีความร้อนสะสม

(d)



(e)

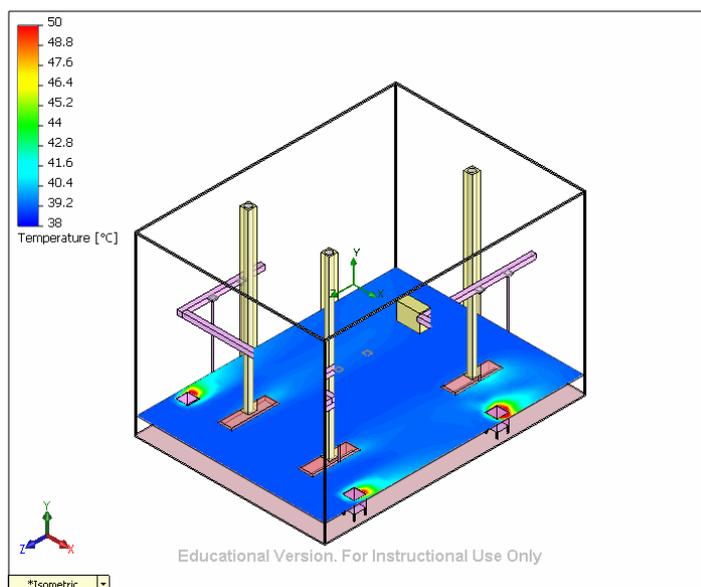
ภาพที่ 30 (ต่อ)



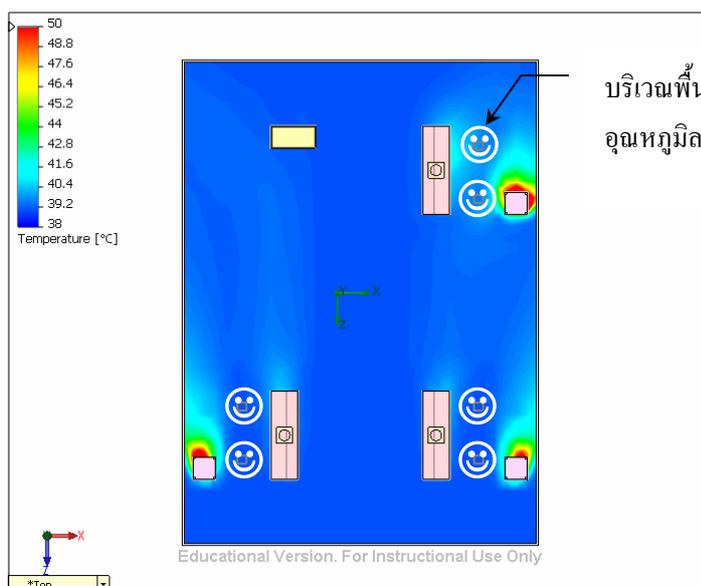
(f)

ภาพที่ 30 (ต่อ)

จากการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 และ 2 ที่ผ่านมา บริเวณเตาเผาที่ 3 ยังมีความร้อนเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดจึงพิจารณาทำการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 3 ในเตาเผาที่ 3 ทำการติดตั้งไฟเบอร์กลาสระหว่างอิฐทนไฟกับเหล็กคาร์บอนที่มีความหนา 0.1 เมตรทั้งหมด 5 ด้าน และติดตั้งไฟเบอร์กลาสรอบผนังเตาทั้ง 5 ด้านที่มีความหนา 005 มิลลิเมตร เพื่อทำการลดความร้อนจากเตาเผาที่ 3 ให้ลดลงมากที่สุด เพื่อไม่ให้เป็นที่สะสมความร้อน จากผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิลดลงเหลือเพียง 39 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความปลอดภัยต่อพนักงาน ดังแสดงในภาพที่ 31



(a)

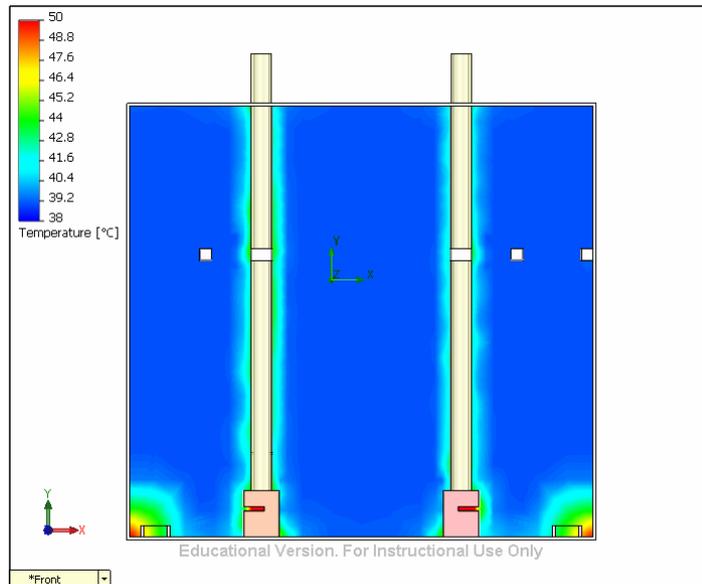


บริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานมี
อุณหภูมิลดลง

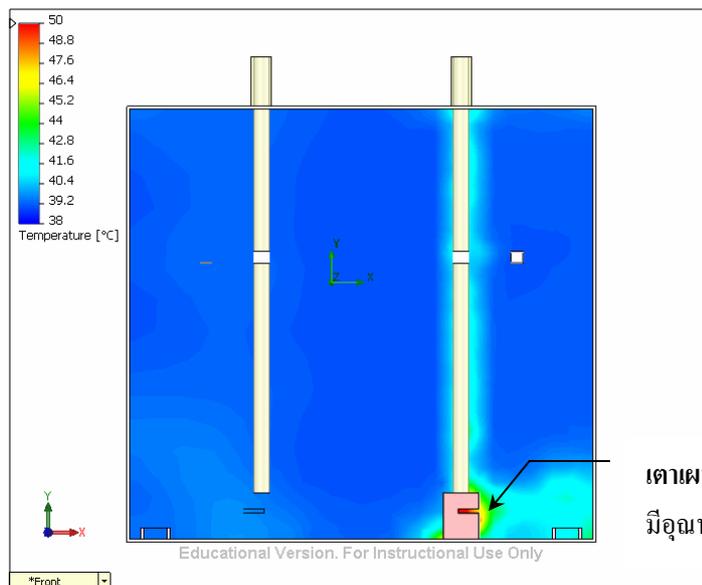
(b)

ภาพที่ 31 แสดงผลการติดตั้งไฟเบอร์กลาสในเตาเผาและรอบเตาเผา ที่ 3

- a) แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความสูง 1.50 เมตร
- b) แสดงอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่เตาเผาที่มุมมองด้านบน
- c) แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนจากเตาที่ 1 และ 2
- d) แสดงความร้อนที่เกิดจากท่อระบายความร้อนจากเตาที่ 3
- e) แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่ความสูง 1.5 เมตร
- f) แสดงทิศทางการไหลของอากาศที่มุมมองด้านบน

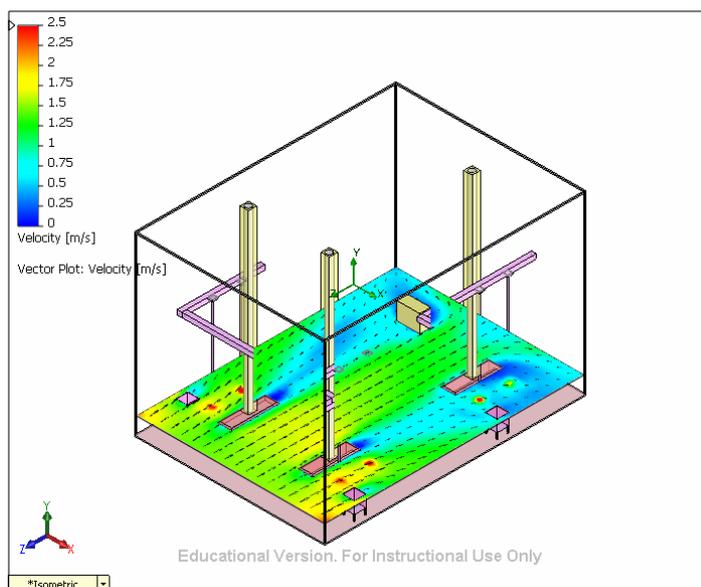


(c)

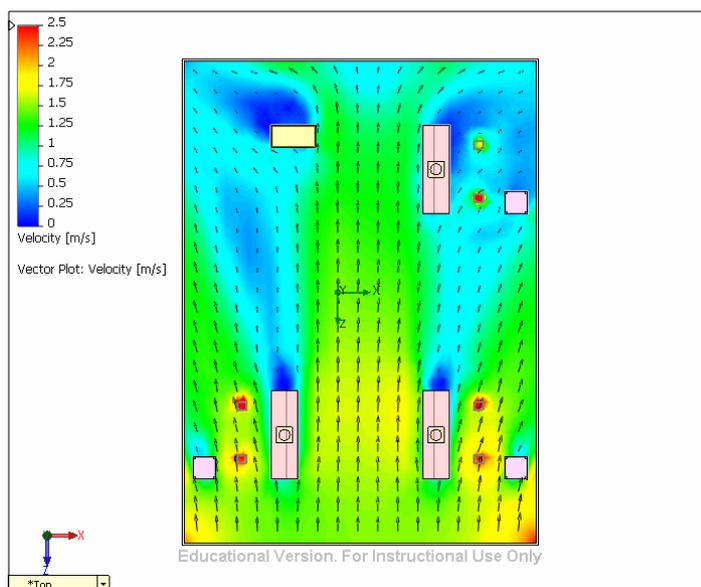


(d)

ภาพที่ 31 (ต่อ)



(e)

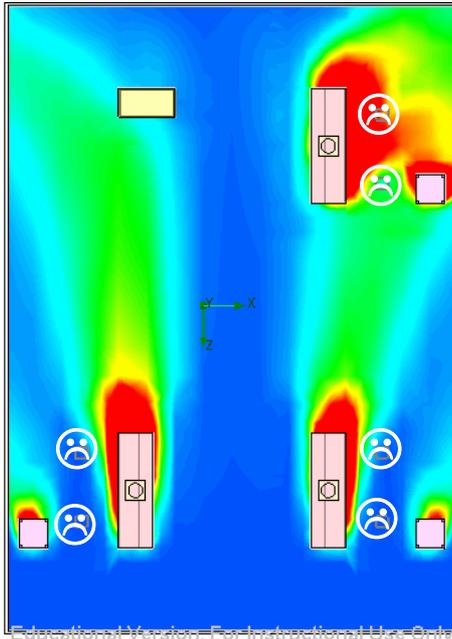


(f)

ภาพที่ 31 (ต่อ)

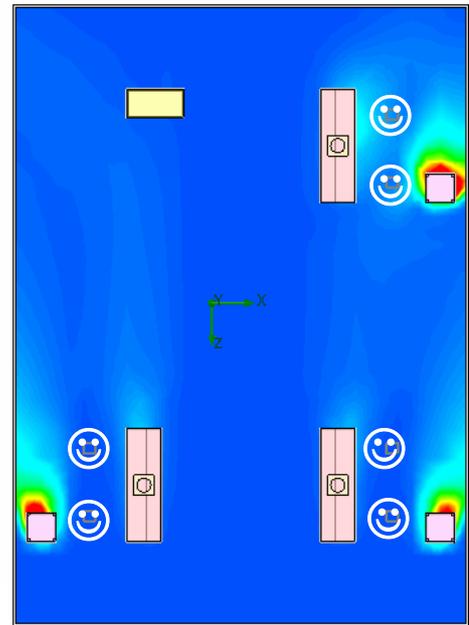
จากการวิจัยในครั้งนี้ก่อนปรับปรุงแก้ไขพื้นที่เตาเผา ที่ระยะ 1 เมตร จากเตาเผาที่มีพนักงานปฏิบัติงานอยู่ มีอุณหภูมิสูงถึง 48 – 50 องศาเซลเซียส แต่หลังจากมีการปรับปรุงแก้ไขปรากฏว่าอุณหภูมิลดลงที่ 38 – 39 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 32

ก่อนการปรับปรุงแก้ไข

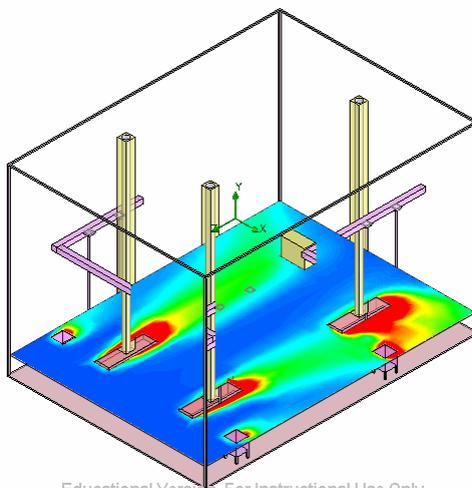
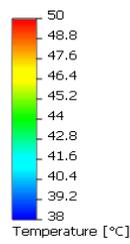


บริเวณที่พนักงานได้รับผลกระทบจากความร้อน

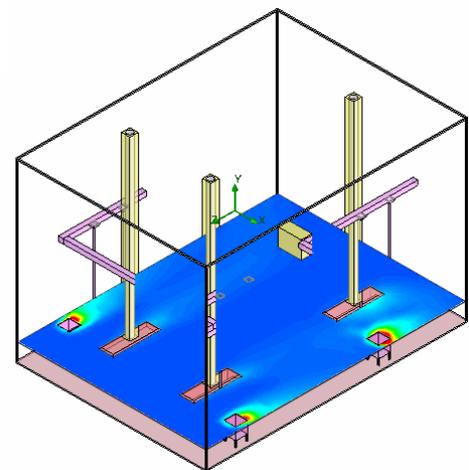
หลังการปรับปรุงแก้ไข



พนักงานปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัย

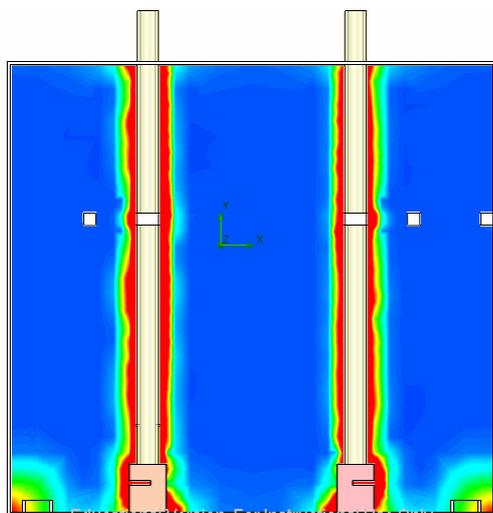


Educational Version. For Instructional Use Only

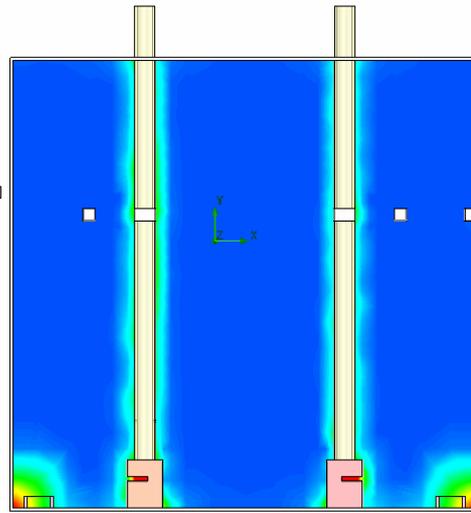


Educational Version. For Instructional Use Only

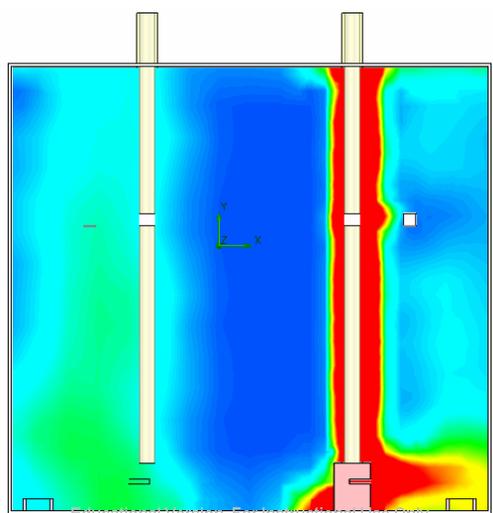
ภาพที่ 32 แสดงผลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



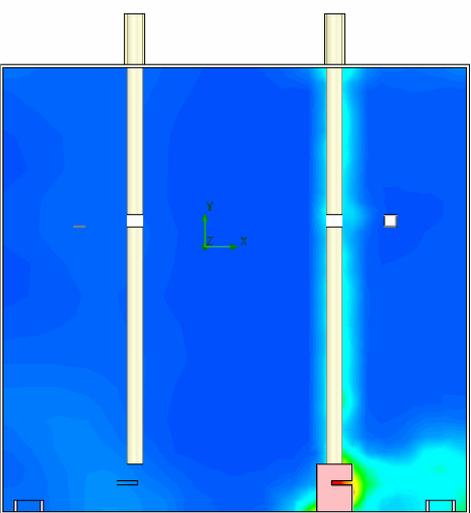
ท่อนำความร้อนที่ 1 และ 2 มีอุณหภูมิสูง



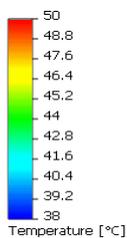
ท่อนำความร้อนที่ 1 และ 2 มีอุณหภูมิต่ำ



ท่อนำความร้อนที่ 3 มีอุณหภูมิสูง



ท่อนำความร้อนที่ 3 มีอุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 32 (ต่อ)

4. เปรียบเทียบผลการศึกษากับค่ามาตรฐานความร้อนตามกฎหมายกำหนด

การศึกษาการลดความร้อนที่เตาเผาเหล็กเหน็บ ก่อนการปรับปรุงแก้ไขอุณหภูมิในพื้นที่ปฏิบัติงานบริเวณหน้าเตาเผา มีค่าสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานกำหนด หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขแล้วปรากฏว่าอุณหภูมิลดลงเหลือ 39 องศาเซลเซียส ซึ่งผ่านมาตรฐานที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519 เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (ความร้อน) ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในพื้นที่เตาเผาเหล็กเหน็บที่ได้ศึกษากับค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน

ผลการวิจัย	ค่าอุณหภูมิ, หน่วย องศาเซลเซียส	
	บริเวณด้านหน้าเตาที่ระยะ 1 เมตรจากเตาเผา	พื้นที่ทั่วไป
1) ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในพื้นที่เตาเผาเหล็กเหน็บ	39-50	38 – 47
2) ผลการวิเคราะห์ก่อนการปรับปรุง	48-50	38 -47
3) ผลการวิเคราะห์หลังจากติดตั้งไฟเบอร์กลาส ที่ความหนา 0.1 ม.ในเตาเผา และท่อนำความร้อน ทั้งหมด	39-44	38-47
4) ผลการวิเคราะห์หลังจากติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ความหนา 0.05 ม. รอบผนังเตาเผาและท่อนำความร้อน ทั้งหมด	39-44	38-47
5) ผลการวิเคราะห์หลังจากติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ความหนา 0.05 มม.รอบผนังเตาเผา และท่อนำความร้อน ทั้งหมด ส่วนเตาเผาที่ 3 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสในเตาเผา ที่ความหนา 0.1 ม.	38-39	38-39
- ค่ามาตรฐานความปลอดภัยของกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม	45	

ในการวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาค่าใช้จ่ายของวัสดุที่นำมาปรับปรุงแก้ไขโดยเลือกไฟเบอร์กลาสที่มีความหนาแน่น $16 \text{ kg} / \text{m}^3$ ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 411 เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 12 แล้วค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น เช่น การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อพัดลมดูดอากาศตัวละหลายหมื่นบาท ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของพัดลมด้วย

ตารางที่ 12 แสดงค่าใช้จ่ายของวัสดุในการปรับปรุงแก้ไข

จุดที่ปรับปรุง	รายการ ที่ปรับปรุง	พื้นที่ (m^2)	ราคาไฟเบอร์กลาส ต่อ (m^2)	ราคาที่ใช้ใน การปรับปรุง (บาท)
เดาเผาที่ 1	ติดตั้งไฟเบอร์กลาส รอบผนังเดาทุกด้านที่ ความหนา 0.05 ม.	21.67	220	4,767.4
เดาเผาที่ 2	ติดตั้งไฟเบอร์กลาส รอบผนังเดาทุกด้านที่ ความหนา 0.05 ม.	21.67	220	4,767.4
เดาเผาที่ 3	ติดตั้งไฟเบอร์กลาส รอบผนังเดาทุกด้านที่ ความหนา 0.05 ม.	21.67	220	4,767.4
เดาเผาที่ 3	ติดตั้งไฟเบอร์กลาสใน เดาระหว่างอิฐทนไฟ กับเหล็กคาร์บอนที่ ความหนา 0.1 ม.	21.67	440	9,534.8
ท่อนำความร้อนที่ 1	ติดตั้งไฟเบอร์กลาส รอบผนังท่อทุกด้านที่ ความหนา 0.05 ม.	42	220	9,240

ตารางที่ 12 (ต่อ)

จุดที่ปรับปรุง	รายการ ที่ปรับปรุง	พื้นที่ (m^2)	ราคาไฟเบอร์กลาส ต่อ (m^2)	ราคาที่ใช้ใน การปรับปรุง (บาท)
ท่อน้ำความร้อนที่ 2	ติดตั้งไฟเบอร์กลาส รอบผนังท่อทุกด้านที่ ความหนา 0.05 ม.	42	220	9,240
ท่อน้ำความร้อนที่ 3	ติดตั้งไฟเบอร์กลาส รอบผนังท่อทุกด้านที่ ความหนา 0.05 ม.	42	220	9,240
ราคารวมในการปรับปรุงทั้งสิ้น				51,557

ที่มา: ราคาจากบริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด (2550)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษารูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากเตาเผาที่มีผลต่อสภาวะแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงาน ในบริเวณพื้นที่เตาเผาในสภาวะการไหลแบบคงตัวตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศ โดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล (CFD) ช่วยในการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศและค่าของอุณหภูมิ รวมทั้งทราบปัญหาของการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้กำหนดรูปแบบการปรับปรุงได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ควรพิจารณาความเหมาะสมในการปรับปรุงแก้ไข อาทิเช่น ความสะดวกในการติดตั้ง และพิจารณาค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง หากเพิ่มความหนาของไฟเบอร์กลาสในเตาเผาจะต้องทำการรี้อเตาใหม่จะเสียค่าใช้จ่ายสูงในการปรับปรุง จึงเสนอให้ทำการปรับปรุงแก้ไขโดยทำการติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ผนังเตาทุกด้านทั้งหมด 3 เตา และผนังท่อระบายความร้อนทุกด้านทั้งหมด 3 ท่อ ส่วนเตาที่ 3 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสในเตาระหว่างอิฐทนไฟกับเหล็กคาร์บอนที่มีความหนา 0.1 เมตร จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และการปรับปรุงที่เสนอแนะยังสามารถลดอุณหภูมิลงได้ถึง 11 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิก่อนการปรับปรุงที่ 50 องศาเซลเซียส หลังการปรับปรุงเหลือเพียง 39 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519 เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (ความร้อน) พนักงานที่ปฏิบัติงานในพื้นที่นี้ จึงมีความปลอดภัยในการทำงาน

ผลการนำโปรแกรมการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล มาช่วยในการวิเคราะห์ พบว่า ทำให้วิเคราะห์รูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากเตาเผาออกสู่สิ่งแวดล้อมในการทำงาน ภายในพื้นที่เตาเผาได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาปรับปรุงแก้ไขแหล่งความร้อนที่เกิดจากโต๊ะวางชิ้นงาน ถึงแม้ว่าจะมีการวางไม่นานนัก แต่ความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่ผ่านการเผาแล้วอาจส่งผลกระทบต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานในบริเวณพื้นที่เผาเผาได้

การปรับปรุงแก้ไขความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปฏิบัติงานนั้นควรพิจารณาการแก้ไขหลายองค์ประกอบ เช่น การป้องกันที่ทางผ่านของความร้อน เช่น การปิดกั้นแยกจากแหล่งความร้อนกับพนักงานด้วยการติดตั้งฉากกันความร้อนที่จะส่งผ่านมายังพนักงาน และการป้องกันที่ตัวบุคคล เช่น การสวมใส่ชุดป้องกันความร้อน เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร และการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549.

แหล่งที่มา: <http://www.shawpat.or.th/newweb/laws.htm>, 6 กันยายน 2549.

กิตติ อินทรานนท์. 2544. วิศวกรรมความปลอดภัย: พื้นฐานของวิศวกร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ประเสริฐ เทียนนิมิต. 2545. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์. บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

ปิติ พูนไชยศรี. 2544. การฝึกปฏิบัติการประเมินอันตรายจากความร้อน, น. 65-109.

การฝึกปฏิบัติงานอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และเออร์گونอมิกส์ หน่วย 1-8 .

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ 469, กรุงเทพฯ.

พรพิมล กองทิพย์. 2545. สุขศาสตร์อุตสาหกรรม ตระหนัก ประเมิน ควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

วันที พันธุ์ประสิทธิ์. 2549. การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับ นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและนักอาชีวอนามัย. ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ธรรมสาร, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ เทพสุทิน. 2549. กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ.2549. กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร และการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549. แหล่งที่มา: <http://www.siamsafety.com/lawlabour490309.pdf>, 6 กันยายน 2549.

สุคนธ์ ขาวกริบ. 2549. การศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนภายในโรงงานหลอมอะลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนันท์ ศรัณยนิษฐ์. 2545. การถ่ายเทความร้อน. ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

สุมล แซ่เฮง. 2548. แบบจำลองการไหลของอากาศในอาคารที่มีแผงดักลม.
แหล่งที่มา:http://www2.psu.ac.th/Graduate/grad_research/check_abstract.php,
23 สิงหาคม 2549.

ACGIH. 2003. **Threshold Limit Values and Biological Exposure Indic.** The ACGIH Publication.

C.McQuiston, J. Faye, D. Parker and D. S. Jeffrey. 2005. **HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING.** Sixth Edition ed. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ.

kongsi, L. 1972. **A Physiological Evaluation of the WBGT Index at Different Humidity, Radiant Heat and Air Movement Levels of the Environment.** MS. thesis, Pittsburgh University USA.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของฉนวนและวัสดุก่อสร้าง

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของฉนวนและวัสดุก่อสร้าง

โลหะ	ส่วนผสม (%)	คุณสมบัติที่ 293 K หรือ 20°C			
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m ² /s)
อะลูมิเนียม (aluminum)					
ดิวาลูมิน (duralumin)	94-96 Al, 3-5 Cu, trace Mg	2,787	833	164	6.676
ซิลูมิน (silumin)	87 Al, 13 Si	2,659	871	164	7.099
ทองแดง (copper)					
อะลูมิเนียมบรอนซ์ (aluminum bronze)	95 Cu, 5 Al	8,666	410	83	2.330
บรอนซ์ (bronze)	75 Cu, 25 Al	8,666	343	26	0.859
ทองเหลืองแดง (red brass)	85 Cu, 9 Sn, 6 Zn	8,714	385	61	1.804
ทองเหลือง (brass)	70 Cu, 30 Zn	8,522	385	111	3.413
เงินเยอรมัน (german silver)	62 Cu, 15 Ni, 22 Zn	8,618	394	24.9	0.733
คอนสแตนแตน (constantan)	60 Cu, 40 Ni	8,922	410	22.7	0.612
เหล็ก (iron)					
เหล็กหล่อ (cast iron)	≈ 4°C	7,272	420	52	1.702
เหล็กตี (wrought iron)	0.5 CH	7,849	460	59	1.626
เหล็กเหนียว (steel)					
เหล็กคาร์บอน (carbon steel)	1°C	7,801	473	43	1.172
	1.5°C	7,753	486	36	0.970
เหล็กผสมโครเมียม (chrome steel)	1 Cr	7,865	460	61	1.665
	5 Cr	7,833	460	40	1.110
	10 Cr	7,785	460	31	0.867
เหล็กผสมโครเมียมนิกเกิล (chrome-nickle steel)	15 Cr, 10 Ni	7,865	460	19	0.526
	20 Cr, 15 Ni	7,833	460	15.1	0.415
เหล็กผสมนิกเกิล (nickle steel)	10 Ni	7,945	460	26	0.720
	20 Ni	7,993	460	19	0.526
	40 Ni	8,169	460	10	0.279
	60 Ni	8,378	460	19	0.493
เหล็กผสมนิกเกิลโครเมียม (nickle-chrome steel)	80 Ni, 15°C	8,522	460	17	0.444
	40 Ni, 15°C	8,073	460	11.6	0.305
เหล็กผสมแมงกานีส (manganese steel)	1 Mn	7,865	460	50	1.388
	5 Mn	7,849	460	22	0.637
เหล็กผสมซิลิคอน (silicon steel)	1 Si	7,769	460	42	1.164
	5 Si	7,417	460	19	0.555
เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel)	type 304	7,817	461	14.4	0.387
	type 347	7,817	461	14.3	0.387
เหล็กผสมทังสเตน (tungsten steel)	5 W	7,913	448	66	1.858

แหล่งข้อมูล : E.R.G. Eckert and R.M. Drake, *Analysis of Heat and Mass Transfer*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1972. F. Krieth, *Principle of Heat Transfer*, 3rd ed., Crowell, New York, 1973.

ที่มา: สุนันท์ (2545)

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของโลหะผสม

วัสดุ	คุณสมบัติที่อุณหภูมิ 293 K หรือ 20°C			
	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m ² /s)
ใยหิน (asbestos)	383	816	0.113	0.036
ยางแอสฟัลต์ (asphalt)	2,120		0.698	
เบกาไลต์ (bakelite)	1,270		0.233	
อิฐ (brick)				
ทั่วไป (common)	1,800	840	0.38-0.52	0.28-0.344
คาโบรันดัม (carborundum, 50% SiC)	2,200		5.82	
แมกนีไซต์ (magnesite, 50% MgO)	2,000		2.68	
มาซอนรี่ (masonry)	1,700	837	0.658	0.046
ซิลิกา (silica, 95% SiO ₂)	1,900		1.07	
เซอร์คอน (zircon, 62% ZrO ₂)	3,600		2.44	
คาร์ดบอร์ด (cardboard)			0.14-0.35	
ซีเมนต์แข็ง (cement, hard)			1.047	
ดิน, ชื้น 47.8% (clay, 48.7% moisture)	1,545	880	1.26	0.101
ถ่านหินแอนทราไซต์ (coal, anthracite)	1,370	1,260	0.238	0.013-0.015
คอนกรีตแห้ง (concrete, dry)	500	837	0.128	0.049
แผ่นไม้คอร์ก (cork, boards)	150	1,880	0.042	0.015-0.044
ฟองไม้คอร์ก (cork, expanded)	120		0.036	
ดินดีคลอน (diatomaceous earth)	466	879	0.126	0.031
ดินเหนียว, ชื้น 28% (earth, clay; 28% moisture)	1,500		1.51	
ดินปนทราย, ชื้น 8% (earth, sandy; 8% moisture)	1,500		1.05	
ไฟเบอร์กลาส (glass fiber)	220		0.035	
แผ่นกระจก (glass, window)	2,800	800	0.81	0.034
ใยแก้ว (glass wool)	50		0.037	
	100		0.036	
	200	670	0.040	0.028
หินแกรนิต (granite)	2,750		3.0	
น้ำแข็ง ที่ 0°C (ice, 0°C)	913	1,830	2.22	0.124
kapok (kapok)	25		0.035	
ลินินเลียม (linoleum)	535		0.081	
ไมกา (mica)	2,900		0.523	
เปลือกไม้ไผ่ (pine bark)	342		0.080	
ปูนปลาสเตอร์ (plaster)	1,800		0.814	
แก้วพลาสติก (plexiglass)	1,180		0.195	
ไม้ฉลัด (plywood)	590		0.109	
พอลิสไตรีน (polystyrene)	1,050		0.157	
ยางบุนา (rubber, buna)	1,250		0.465	
ยางแข็งอีบไนต์ (hard, ebonite)	1,150	2,009	0.163	0.0062
ยางพรม (sponge)	224		0.055	
ทรายแห้ง (sand, dry)			0.582	
ทรายชื้น (sand, moist)	1,640		1.13	
ขี้เลื่อย (saw dust)	215		0.071	
ไม้ (wood)				
ไม้โอ๊ก (oak)	609-801	2,390	0.17-0.21	0.0111-0.0121
สนไพน์, สนเฟอร์, สนสปรูซ (pine, fir, spruce)	416-421	2,720	0.15	0.0124
แผ่นไฟเบอร์ของไม้ (wood fiber sheet)	200		0.047	
เซลเท็กซ์ (celotex)	400		0.055	
ผ้าขนสัตว์ (wool)	222		0.038	

แหล่งข้อมูล: E.R.G. Eckert and R.M. Drake, *Analysis of Heat and Mass Transfer*, McGraw-Hill, Book Company, New York, 1972; Raznjevic, *Handbook of Thermodynamic Tables and Charts*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976; F. Krieth, *Principle of Heat Transfer*, 3rd ed., Crowell, New York, 1973.

ที่มา: สุนันท์ (2545)

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงคุณสมบัติ และราคาของไฟเบอร์กลาส

ฉนวนกันความร้อนตราช้าง รุ่น HI-TEMP

(ฉนวนใยแก้วทนอุณหภูมิสูง High Temperature Resistant Insulation)

HI-TEMP

FAX OUT

รายละเอียด

ฉนวนตราช้างรุ่น HI-TEMP เป็นฉนวนใยแก้วสำหรับใช้งานทนอุณหภูมิสูง ซึ่งผลิตจากใยแก้วผสมด้วยกาวยานิตพิเศษที่ไม่ลามไฟ และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 540°C (1000°F)

ฉนวนตราช้างรุ่น HI-TEMP มีทั้งแบบชนิดม้วน และแบบแผ่น น้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย ทนแรงกดทับได้ดี สามารถใช้ติดตั้งในงานปูผนัง เครื่องจักร เตาหลอมหรือหุ้มเครื่องจักรกลในโรงงาน อุตสาหกรรมต่างๆ สามารถใช้กับงานติดตั้งที่มีพื้นผิวไม่เรียบได้



คุณสมบัติและประโยชน์

- น้ำหนักเบา**
 ฉนวนตราช้างรุ่น HI-TEMP มีน้ำหนักเบา ทำให้ติดตั้งง่าย ขนย้ายสะดวก
- ไม่มีฝุ่นผง**
 ฉนวนตราช้างรุ่น HI-TEMP ผลิตจากเส้นใยแก้วที่ละเอียดปราศจากฝุ่นผงภายหลังการติดตั้ง สามารถใช้หุ้มเครื่องจักรที่ต้องใช้แรงสั่นสะเทือนได้
- ไม่ลุกไหม้**
 ฉนวนตราช้างรุ่น HI-TEMP สามารถใช้ติดตั้งกับวัสดุประเภทเหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม โดยไม่มีผลทำให้วัสดุดังกล่าวลุกไหม้



HI-TEMP

ตารางแสดงคุณสมบัติ

Property	Test Method	Specification
Operating Temperature Limit	ASTM C 411	Up to 540°C (1,000°F)
Nominal Density	ASTM C 167	16 Kg/m ³ , 26 Kg/m ³
		32 Kg/m ³ , 38 Kg/m ³
Water Vapor Sorption	ASTM C 1104	<0.2% by Volume
Surface Burning	ASTM E 84	Flame Spread <25
Characteristics		Smoke Developed ≤50

SPECIFICATION COMPLIANCE

- ASTM C 553 , Mineral Fiber Blanket Thermal Insulation for Commercial and Industrial Application
- ASTM C 612 , Mineral Fiber Block and Board Thermal Insulation
- ASTM C 795 , Thermal Insulation for Use Over Austenitic Stainless Steel

ผลิตภัณฑ์

	แบบม้วน						แบบแผ่น	
	16	26	32	32	38			
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	16	26	32	32	38			
ความหนา (mm.)	25	50	75	100	25	50	75	100
ความกว้าง (m.)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.6	1.2
ความยาว (m.)	30	15	10	7	15	10	5	1.2



ภาพผนวกที่ ข1 แสดงคุณสมบัติของไฟเบอร์กลาส

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงราคาของไฟเบอร์กลาส

ราคาแนะนำจนวนตราช้าง

188.7

บริษัท อานีไฟเบอร์กลาส จำกัด

1 ซอย 33 อ.บึงฉลวย กิ่ง อ.บ้านค่าย จ.ชลบุรี 20150 Tel.0-3595-2223-4 Fax.0-3595-2225

ชนิดสินค้า SPEC	หน่วยนับ UNIT	ขนาด (M.M.) SIZE (M.X.M.)	ความหนาแน่น (กก./ม. ³) DENSITY (kg/m ³)	ความหนา (mm) THICKNESS (mm)	HTI : จนวนตราช้างทนอุณหภูมิสูงแบบไม่มีฟิล์ม					HTF : จนวนตราช้างทนอุณหภูมิสูงฟิล์ม 1 ด้าน แบบ Single Side Aluminum Foil				
					น้ำหนัก (กก.) WEIGHT (kg)	รหัสประจำ EAN CODE	ชนิดสินค้า CODE	ราคาแนะนำ บาท/ม.บ.	ราคาแนะนำ บาท/ม.บ.	น้ำหนัก (กก.) WEIGHT (kg)	รหัสประจำ EAN CODE	ชนิดสินค้า CODE	ราคาแนะนำ บาท/ม.บ.	ราคาแนะนำ บาท/ม.บ.
1650	ม้วน	1.22 X 15.25	16	50	10.979	8852424067594	ZOEI0YE30500002	2,320	325	97.103	8852424067688	ZOEI0YE30600004	2,610	351
2650	ม้วน	1.22 X 15.25	26	50	24.504	8852424067600	ZOEI0YE305000003	3,490	188	26.577	8852424067695	ZOEI0YE306000005	4,050	218
3250	ม้วน	1.22 X 15.25	32	50	30.158	8852424067617	ZOEI0YE305000004	4,280	230	32.136	8852424067709	ZOEI0YE306000006	4,860	262
3275	ม้วน	1.22 X 7.50	32	75	22.546	8852424067624	ZOEI0YE305000005	3,220	352	23.532	8852424067716	ZOEI0YE306000007	3,590	392
3250	ม้วน	1.22 X 2.44	32	50	4.763	8852424067631	ZOEI0YE305000001	690	229	5.098	8852424067723	ZOEI0YE306000002	780	263
3275	ม้วน	1.22 X 2.44	32	75	7.144	8852424067648	ZOEI0YE305000002	1,020	343	7.479	8852424067730	ZOEI0YE306000003	1,140	384
3650	แผ่น	1.22 X 2.44	36	50	5.696	8852424067655	ZOEI0YE305000003	810	273	6.029	8852424067747	ZOEI0YE306000004	920	310
3675	แผ่น	1.22 X 2.44	36	75	8.484	8852424067662	ZOEI0YE305000004	1,210	407	8.855	8852424067754	ZOEI0YE306000005	1,350	455
4650	แผ่น	1.22 X 2.44	46	50	7.144	8852424067679	ZOEI0YE305000005	1,020	343	7.516	8852424067761	ZOEI0YE306000006	1,150	387

ชนิดสินค้า SPEC	หน่วยนับ UNIT	ขนาด (M.M.) SIZE (M.X.M.)	ความหนาแน่น (กก./ม. ³) DENSITY (kg/m ³)	ความหนา (mm) THICKNESS (mm)	HTFD : จนวนตราช้างทนอุณหภูมิสูงฟิล์ม 2 ด้าน แบบ Double Sided Aluminum Foil				
					น้ำหนัก (กก.) WEIGHT (kg)	รหัสประจำ EAN CODE	ชนิดสินค้า CODE	ราคาแนะนำ บาท/ม.บ.	ราคาแนะนำ บาท/ม.บ.
1650	ม้วน	1.22 X 15.25	16	50	19.007	8852424067778	ZOEI0YE309000008	4,090	230
2650	ม้วน	1.22 X 15.25	26	50	38.462	8852424067785	ZOEI0YE309000009	5,780	311
3250	ม้วน	1.22 X 15.25	32	50	34.117	8852424067792	ZOEI0YE309000010	6,900	371
3275	ม้วน	1.22 X 7.50	32	75	24.516	8852424068523	ZOEI0YE309000013	4,990	545
3250	ม้วน	1.22 X 2.44	32	50	5.410	8852424067808	ZOEI0YE306000007	1,100	370
3275	ม้วน	1.22 X 2.44	32	75	7.792	8852424067815	ZOEI0YE306000008	1,090	535
3650	แผ่น	1.22 X 2.44	36	50	6.341	8852424067822	ZOEI0YE306000009	1,290	434
3675	แผ่น	1.22 X 2.44	36	75	9.169	8852424067839	ZOEI0YE306000010	1,680	626
4650	แผ่น	1.22 X 2.44	46	50	7.829	8852424067846	ZOEI0YE306000011	1,590	535

- ราคาที่เสนอเป็นราคาสุทธิของสินค้าโรงงาน ราคานี้รวมค่าขนส่งเรียบร้อยแล้ว
- All prices quoted are ex-factory and subject to change without notice.
- ราคานี้รวมค่าเป็นราคาที่ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
- All prices quoted are ex-factory value added tax.
- สินค้าทั้งหมด

ลิขสิทธิ์ © 2007 บริษัท อานีไฟเบอร์กลาส จำกัด สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับที่ 01.00
EFFECTIVE / SINCE 01.2007
หน้า 188.7 จาก 190 หน้า

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสนั่นศิลป์ สีท่ามี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 กรกฎาคม 2516
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์
ประวัติการศึกษา	ค.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สศ.บ. (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	หัวหน้าแผนกความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด