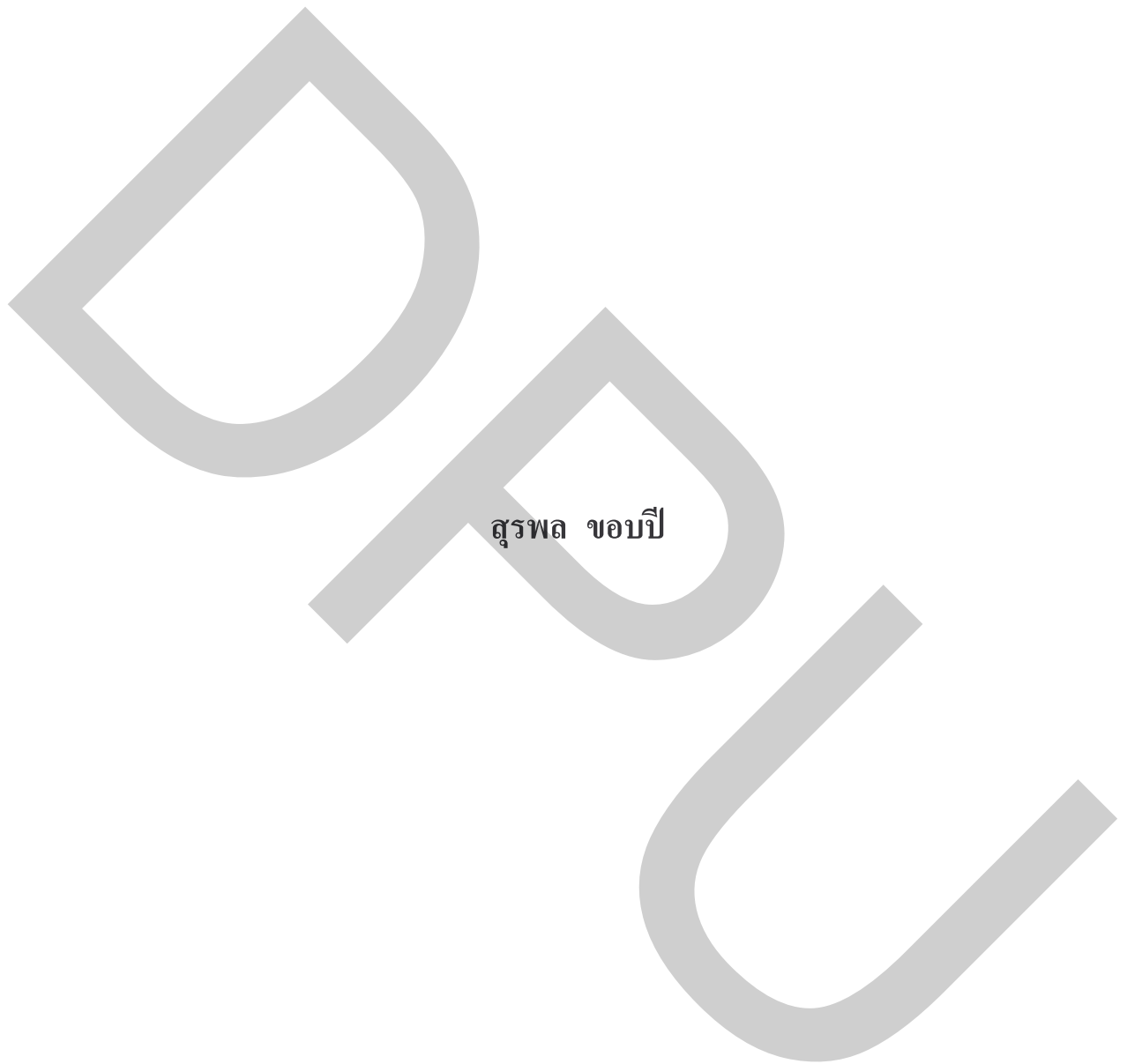


แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำความร้อน
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว



สุรพล ขอบปี

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาการวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2552

**THE IMPROVEMENT OF HEATING SYSTEM WITH
HIGH EFFICIENCY OF LEAD PIPE**



SURAPHON KOBPEE

**A Thematic paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Building Technology Management
Graduate School, Dhurakij Pundit University**

2009

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เรื่อง “แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว” ได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติกะ บุนนาค อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา และตรวจสอบจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งผู้ที่มีความรู้ความสามารถทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด การสนับสนุนและเอื้อเฟื้อข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อสารนิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งทำให้สารนิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์แบบมากที่สุด สุดท้ายขอขอบคุณ นายประยุทธ์ ฤทธิเดช ที่ได้ช่วยสละเวลาในการเรียบเรียงเนื้อหาและจัดรูปเล่มทำให้สารนิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

อนึ่งหากสารนิพนธ์เล่มนี้มีคุณค่า มีประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษา และประเทศชาติ ข้าพเจ้าขอมอบกุศลคุณความดีทั้งหมดนี้ให้กับ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามา จนข้าพเจ้าได้มีความสำเร็จในวันนี้

สุรพล ขอบปี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฉ
รายการสัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.5 วิธีการศึกษา.....	7
2. แนวคิด ทฤษฎี และการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	24
3. ระเบียบวิธีการศึกษา.....	25
3.1 ขั้นตอนพิจารณากรณีศึกษา.....	25
3.2 ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	38
3.3 ขั้นตอนวิธีการตรวจวัด และการจัดเก็บข้อมูล.....	40
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิธีการคำนวณผลการตรวจวัด.....	44
4. ผลการศึกษา.....	49
4.1 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง.....	49
4.2 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง.....	58
4.3 การวิเคราะห์ผลศึกษา.....	62
5. สรุปผลการศึกษา.....	69
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 อภิปรายผล.....	71
5.3 ปัญหาของโครงการ.....	71
5.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป.....	77
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ลำดับและสัดส่วนของก๊าซเรือนกระจก.....	5
2.1 ค่าการนำความร้อนของตัวกลางบางชนิด.....	17
2.2 ความจุความร้อนจำเพาะบางชนิด.....	18
2.3 Physical properties of Mica.....	20
3.1 อุณหภูมิความร้อนและสีเปลวไฟ.....	29
3.2 รายละเอียดของตะกั่วผสม (Lead Alloy).....	33
3.3 ข้อมูลอุณหภูมิของพื้นที่ทำงาน.....	42
3.4 ข้อมูลการใช้พลังงานก๊าซ LPG.....	43
3.5 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	43
3.6 เปรียบเทียบผล การผลิต โคร่งแผ่นธาตุ จากการเผาไหม้..... ด้วยก๊าซ LPG และ ไฟฟ้า	43
4.1 สรุปข้อมูลการใช้พลังงาน LPG ก่อนการปรับปรุง.....	57
4.2 เปรียบเทียบการผลิต โคร่งแผ่นธาตุ โดยพลังงาน LPG และพลังงานไฟฟ้า.....	67

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวโลก.....	1
1.2 อุณหภูมิที่ผันผวนของอากาศใกล้พื้นผิวโลก (Temperature Anomaly).....	2
2.1 กระบวนการผลิต แบตเตอรี่รถยนต์.....	10
2.2 Process Mapping of Battery Production.....	11
2.3 การถ่ายเทความร้อน.....	13
2.4 ท่อทรงกระบอกกลางหุ้มด้วยฉนวนความร้อน.....	16
2.5 Rod Heater.....	19
2.6 Band Heater แบบหุ้มด้วยสแตนเลส.....	20
2.7 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของการผลิตไฟฟ้า 1 kW-hr.....	22
3.1 กระบวนการผลิต โคร่งแผ่นธาตุ.....	26
3.2 เตาหลอมตะกั่ว.....	27
3.3 ระบบท่อส่งตะกั่วเหลว.....	27
3.4 อุปกรณ์เติมความร้อนพลังงาน LPG.....	28
3.5 ป้อนส่งน้ำตะกั่วเหลว.....	30
3.6 เครื่องผลิตโคร่งแผ่นธาตุ.....	31
3.7 โคร่งแผ่นธาตุ.....	31
3.8 ตะกั่ว ingot.....	34
3.9 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	35
3.10 การทดลองโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้ว มาหุ้มเปลวไฟ.....	36
3.11 การติดตั้ง Heater.....	38
3.12 GAS meter.....	39
3.13 Watt hour meter.....	39
3.14 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer).....	40
3.15 การติดตั้งมาตรวัดก๊าซ (Gas meter).....	41
3.16 ตู้ควบคุมไฟฟ้า.....	41
3.17 ตำแหน่งที่ตรวจวัดอุณหภูมิ.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การทดลองพลังงาน LPG.....	50
4.2 การทดลองพลังงาน ไฟฟ้า.....	51
4.3 การเปรียบเทียบ การทดลองพลังงาน LPG และ พลังงานไฟฟ้า.....	52
4.4 พื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง.....	53
4.5 อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงานก่อนการปรับปรุง.....	54
4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง.....	55
4.7 ต้นทุนการใช้พลังงาน LPG ก่อนการปรับปรุง.....	56
4.8 พื้นที่ทำงานหลังการปรับปรุง.....	58
4.9 อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงานหลังการปรับปรุง.....	59
4.10 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานหลังการปรับปรุง.....	60
4.11 ต้นทุนการใช้พลังงาน หลังการปรับปรุง.....	61
4.12 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต.....	63
4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	64
4.14 เปรียบเทียบพลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว.....	64
4.15 เปรียบเทียบ CO ₂ Emission ต่อการผลิต.....	65
4.16 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง.....	65
4.17 การสูญเสียความร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง.....	66
5.1 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของโครงการ.....	70
5.2 ไม่มีฉนวนกันความร้อนช่วงรอยต่อ.....	72
5.3 เพิ่มฉนวนกันความร้อนช่วงรอยต่อ.....	73
5.4 เปรียบเทียบขั้วต่อสายไฟฟ้า.....	74
5.5 ขั้วต่อสายไฟฟ้าโผล่ออกมาจากฉนวน.....	74
5.6 การขยายตัวของท่อ.....	75
5.7 Support หลุดจากจุดเชื่อม.....	76
5.8 Support ใหม่สามารถเลื่อนได้.....	76
5.9 ท่อหดสำหรับลดการขยายตัวของท่อ.....	77
5.10 ความหนาของท่อส่งน้ำตะกั่ว.....	78

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่ผิวของวัตถุ	m ²
As	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ	m ²
BEP	จุดคุ้มทุน	ปี
C	ความจุความร้อนจำเพาะ	J/kg-K
C _{ELEC}	ราคาของไฟฟ้า	บาท /kW
C _{LPG}	ราคาของก๊าซ LPG	บาท /L
CE _a	ต้นทุนพลังงานพลังงานหลังปรับปรุง	บาท/kg
CE _b	ต้นทุนพลังงานพลังงานก่อนปรับปรุง	บาท/kg
CE _{LPG}	ค่า CO ₂ Emission ของพลังงาน LPG	kg-CO ₂
CE _{Elec}	ค่า CO ₂ Emission ของพลังงานไฟฟ้า	kg-CO ₂
CO ₂	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	
CP _{ELEC}	มูลค่าการผลิต โคร่งแผ่นธาตุด้วยไฟฟ้า	บาท/kg
CP _{LPG}	มูลค่าการผลิต โคร่งแผ่นธาตุด้วยก๊าซ LPG	บาท /kg
CP _{Total}	มูลค่าการผลิต โคร่งแผ่นธาตุรวม	บาท/kg
CS _{ELEC}	อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า	kW-hr /kg
CS _{LPG}	อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซ LPG	L /kg
Eff _{EN}	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	%
Ei	ประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์	%
EL _{Pw}	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	kW-hr
Erf _{Elec}	ปัจจัยความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้า	kg-CO ₂ /kW-hr
Erf _{LPG}	ปัจจัยความสัมพันธ์ของพลังงาน LPG	kg-CO ₂ /kg
Ev	มูลค่าพลังงานที่ใส่	บาท

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
e	พลังงาน	
F	เชื้อเพลิง	
H_{in}	ค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้	
H_{out}	ค่าพลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับ	
H_2O	น้ำ	
h	สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน	J/m.s. °C
$I_{d_{ELEC}}$	ดัชนีของตะกั่ว/ไฟฟ้า	kg/kW
$I_{d_{LPG}}$	ดัชนีของตะกั่ว/LPG	kg/L
I_m	มูลค่าจำนวนเงินที่ลงทุน	
I_{nda}	สำหรับการซ่อมบำรุง	บาท/ปี
I_{nda}	ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ	
I_{ndb}	หลังการปรับปรุง	บาท/kg
I_{ndb}	ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ	
I_s	ก่อนการปรับปรุง	บาท/kg
I_s	มูลค่าจำนวนเงินที่ลงทุนสำหรับระบบ	บาท
I_v	มูลค่าจำนวนเงินทั้งหมดที่ลงทุน	บาท
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	J/m.s. °C
L	ความยาวของวัตถุ	m

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
L_h	ความร้อนแฝงจำเพาะของสาร	J/kg
M_{cost}	จำนวนเงินที่ใช้ในการซ่อมบำรุงต่อปี	บาท/ปี
m	มวลของสาร	kg
m_{LPG}	ค่าน้ำหนักของ LPG	g
m_{pb}	ค่าน้ำหนักของตะกั่ว	g
O_2	Oxygen	
P_d	มูลค่าของผลประหยัดทางตรง	บาท/ปี
P_i	มูลค่าของผลประหยัดทางอ้อม	บาท/ปี
P_{quant}	ปริมาณการผลิตทั้งปี	kg/ปี
P	มูลค่าของผลประหยัด	บาท/ปี
P_{va}	มูลค่าของพลังงานหลังการปรับปรุง	บาท/ปี
P_{vb}	มูลค่าของพลังงานก่อนการปรับปรุง	บาท/ปี
Q_{ELEC}	ปริมาณไฟฟ้า	kW-hr
Q_{LPG}	ปริมาณ LPG	Lite
q_{LPG}	ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิง LPG	cal
q_{pb}	พลังงานความร้อนที่จำเป็น สำหรับการหลอมตะกั่ว	cal
ΔQ	พลังงานความร้อนที่ทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงสถานะ	J

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ΔQ_t	พลังงานความร้อนที่ทำให้เกิด	
SEC	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	J
sh	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน	%
T	ค่า specific heat ของตะกั่ว	cal/g°C
Ta	อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ผิวของวัตถุ	K
TC	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	°C
	ค่าการให้พลังงานความร้อน (Thermal Coefficient)	
	ของ LPG	cal/g
TC _{Electric}	พลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้ ไฟฟ้า	Mcal
TC _{LPG}	พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้	
	ของเชื้อเพลิง LPG	Mcal
TC _{Total}	พลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด	Mcal
Ts	อุณหภูมิที่พื้นผิว	°C
ΔT	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง	K
ΔT_{pb}	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	
	ของตะกั่ว	°C
T ₁	อุณหภูมิที่สูง	°C
T ₂	อุณหภูมิที่ต่ำ	°C
Vp	มูลค่าผลผลิต	บาท
W _{Pb}	น้ำหนักตะกั่ว	kg
W _{LPG}	น้ำหนักของ LPG	kg

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์

ความหมาย

หน่วย

 σ

ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann

เท่ากับ 5.67×10^{-8} $\text{J/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ϵ

สภาพเปล่งรังสีมีค่าตั้งแต่ 0-1 (วัตถุยิ่งดำยิ่งมีค่าใกล้ 1)

หัวข้อสารนิพนธ์	แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว
ชื่อผู้เขียน	ศุรพล ขอบปี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตีเกะ บุญนาค
สาขาวิชา	การจัดการเทคโนโลยีในอาคาร
ปีการศึกษา	พ.ศ. 2552

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่อง “แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว” มีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และลดต้นทุนของกระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุ ในการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ รวมถึงเพื่อให้เกิดบรรยากาศในการทำงานที่ดีของพนักงาน และใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์

โดยมีการศึกษาการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณก๊าซ CO₂ รวมถึงวิเคราะห์การลงทุน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และผลกระทบต่อการทำงานของพนักงาน

จากการศึกษาการใช้พลังงานในการให้ความร้อนกับระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว พบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการให้พลังงานของระบบ LPG และระบบไฟฟ้ามีความต่างกัน โดยเมื่อทำการพิจารณาราคาของ LPG ที่ราคา 10.72 บาท/L เปรียบเทียบกับราคาของพลังงานไฟฟ้าที่ราคา 3.10 บาท/kWh พบว่าการให้พลังงานความร้อนของไฟฟ้า จะมีค่าน้อยกว่าการให้พลังงานความร้อนของ LPG โดยพลังงานไฟฟ้าจะให้พลังงานความร้อนเท่ากับ 1.2 MJ/บาท ในขณะที่ LPG จะให้พลังงานความร้อนเท่ากับ 2.5 MJ/บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงาน LPG มีราคาสูงกว่าพลังงานไฟฟ้าถึง 53.2%

อีกปัจจัยที่สำคัญคือ การใช้พลังงานของก๊าซ LPG จะมีการสูญเสียความร้อนประมาณ 20.8% ในขณะที่พลังงานไฟฟ้ามีการสูญเสียความร้อนเพียง 2.0% เท่านั้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามูลค่าของการผลิตแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานไฟฟ้า จะมีต้นทุนต่ำกว่ามูลค่าของการผลิตแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานก๊าซ LPG และในด้านของกระบวนการผลิตยังทำให้พนักงานมีรู้สึกสบายขึ้น โดยที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำงานลดลงถึง 3.39°C

Thematic Paper Title The Improvement of Heating System with High Efficiency of Lead Pipe.
Author Suraphon Kobpee
Thematic Paper Advisor Asst. Prof. Dr. Tika Bunnag
Department Building Technology Management
Academic Year 2009

ABSTRACT

The Purpose of “The Improvement of Heating System with High Efficiency of Lead Pipe” Study are carbon dioxide gas (CO₂) reduction and cost reduction of lead plates battery production for a better working environment and energy reservation in a battery factory.

In order to understand the energy efficient usage and the environmental working effect on the employees there was a study of before and after the energy usage improvement by carbon dioxide gas effect analysis and economic investment analysis.

There was the different cost efficiency in LPG usage electric usage for lead Plates production. The LPG usage will cost 53.2% less than the electric usage by LPG giving heat energy at 1.2 MJ/Baht based on LPG price at 10.72 Baht/liter and 2.5 MJ/Baht for electricity based on electric price at 2.5 MJ/Baht.

Another factor was 20.8% heat loss for LPG usage but only 2.0% heat loss for electric usage. Therefore, the electric usage cost was cheaper than LPG usage cost in battery production and 3.39 °C lower Temperature in working environment for a batter working condition.

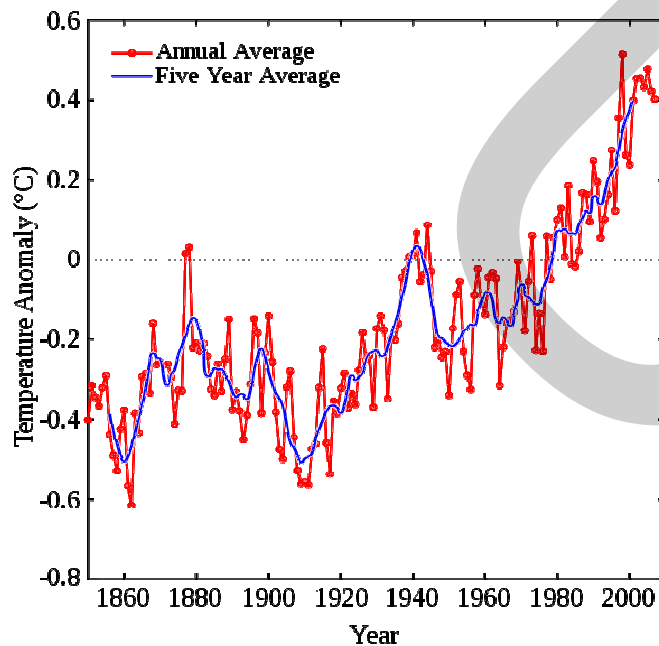
บทที่ 1

บทนำ

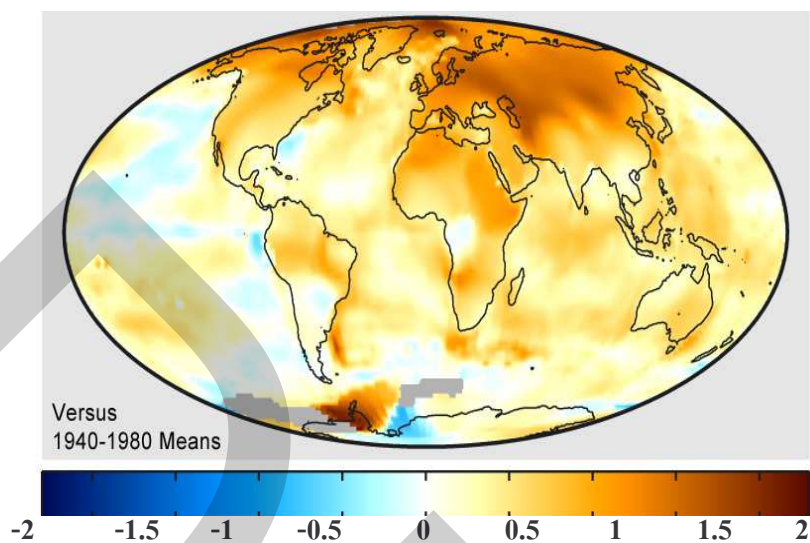
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งเกิดขึ้นจากภาวะเรือนกระจก (Green house effect) ได้ส่งผลกระทบต่อโลกอย่างรุนแรง โดยรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้มาตกกระทบผิวโลก เพื่อให้ความอบอุ่นต่อโลกนั้น รูปแบบของรังสีที่สะท้อนออกจากผิวโลกไป จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน รังสีบางส่วนจะออกไปสู่อวกาศ รังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับเข้ามาหาโลกโดยแก๊สเรือนกระจก และจะทำการกักเก็บความร้อนที่เหลือไว้ในชั้นบรรยากาศ

จากปัญหาภาวะเรือนกระจก ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ทุกๆปี จากการเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 ถึงปี ค.ศ. 2000 (รูปที่ 1.1) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลก มีการเพิ่มขึ้น $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ต่อในช่วง 140 ปีที่ผ่านมา โดยแนวโน้มจะเริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวโลก



รูปที่ 1.2 อุณหภูมิที่ผันผวนของอากาศใกล้พื้นผิวโลก (Temperature Anomaly)

ปรากฏการณ์โลกร้อน (Global warming) เป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลก และน้ำในมหาสมุทรตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 2 และมีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา นับถึง พ.ศ. 2548 อากาศใกล้ผิวดินทั่วโลกโดยเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น $0.74 \pm 0.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของสหประชาชาติได้สรุปไว้ว่า “จากการสังเกตการณ์ การเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกที่เกิดขึ้นตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ประมาณตั้งแต่ พ.ศ. 2490) ค่อนข้างแน่ชัดว่าเกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้น โดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นผลในรูปของปรากฏการณ์เรือนกระจก ปรากฏการณ์ธรรมชาติบางอย่าง เช่น ความผันแปรของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และการระเบิดของภูเขาไฟ อาจส่งผลเพียงเล็กน้อย ต่อการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรมจนถึง พ.ศ. 2490 และจะมีผลเพียงเล็กน้อย ต่อการลดอุณหภูมิหลังจากปี 2490 เป็นต้นมา” ข้อสรุปพื้นฐานดังกล่าวนี้ได้รับการรับรองโดยสมาคมและสถาบันการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ไม่น้อยกว่า 30 แห่ง รวมทั้งราชสมาคมทางวิทยาศาสตร์ระดับชาติที่สำคัญของประเทศอุตสาหกรรมต่างๆ แม้นักวิทยาศาสตร์บางคนจะมีความเห็นโต้แย้งกับข้อสรุปของ IPCC อยู่บ้าง แต่เสียงส่วนใหญ่ของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานด้านการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของโลกโดยตรงเห็นด้วยกับข้อสรุปนี้

แบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศที่สรุปโดย IPCC บ่งชี้ว่าอุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยที่ผิวโลกจะเพิ่มขึ้น 1.1 ถึง 6.4 °C ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 (พ.ศ. 2544–2643) ค่าตัวเลขดังกล่าวได้มาจากการจำลองสถานการณ์แบบต่างๆ ของการแผ่ขยายแก๊สเรือนกระจกในอนาคต รวมถึงการจำลอง ค่าความไวภูมิอากาศอีกหลากหลายรูปแบบ แม้การศึกษาเกือบทั้งหมดจะมุ่งไปที่ช่วงเวลาถึงเพียง ปี พ.ศ. 2643 แต่ความร้อนยังคงเพิ่มขึ้นและระดับน้ำทะเลก็จะสูงขึ้นต่อเนื่องไปอีกหลายสหัสวรรษ แม้ว่าระดับของแก๊สเรือนกระจกจะเข้าสู่ภาวะเสถียรแล้ว การที่อุณหภูมิและระดับน้ำทะเลเข้าสู่สภาวะดุลยภาพได้ช้าเป็นเหตุมาจากความจุความร้อน ของน้ำในมหาสมุทรซึ่งมีค่าสูงมาก การที่อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และคาดว่าทำให้เกิดภาวะลมฟ้าอากาศสุดโต่ง (Extreme weather) ที่รุนแรงมากขึ้น ปริมาณและรูปแบบการเกิดหยาดน้ำฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไป ผลกระทบอื่นๆ ของปรากฏการณ์โลกร้อนได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของผลิตผลทางเกษตร การเคลื่อนถอยของธารน้ำแข็ง การสูญพันธุ์พืช-สัตว์ต่างๆ รวมทั้งการกลายพันธุ์และแพร่ขยายโรคต่างๆ เพิ่มมากขึ้นแต่ยังคงมีความไม่แน่นอนทางวิทยาศาสตร์อยู่บ้าง ได้แก่ปริมาณของความร้อนที่คาดว่าจะเพิ่มในอนาคต ผลของความร้อนที่เพิ่มขึ้นและผลกระทบอื่นๆ ที่จะเกิดกับแต่ละภูมิภาคบนโลกว่าจะแตกต่างกันอย่างไร รัฐบาลของประเทศต่างๆ แทบทุกประเทศได้ลงนามและให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโต ซึ่งมุ่งประเด็นไปที่การลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก แต่ยังคงมีการโต้เถียงกันทางการเมือง และการโต้ว่าที่สาธารณะไปทั่วทั้งโลกเกี่ยวกับมาตรการว่าควรเป็นเป็นอย่างไร จึงจะลดหรือย้อนกลับความร้อนที่เพิ่มขึ้นของโลกในอนาคต หรือจะปรับตัวกันอย่างไรต่อผลกระทบของปรากฏการณ์โลกร้อนที่คาดว่าจะต้องเกิดขึ้น

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบนี้โดยตรง เช่นการเกิดสึนามิที่ 3 จังหวัดภาคใต้ในปี พ.ศ. 2542 และภาวะภัยแล้ง รวมถึงโรคต่างๆ ที่กลับมาระบาด เช่น ไข้มาลาเลีย เป็นต้น อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศไทยในเดือนพฤศจิกายน 2549 ซึ่งอยู่ในช่วงต้นฤดูหนาวได้ต่ำกว่าปกติ 1.7 °C ซึ่งนับเป็นค่าต่ำที่สุดในรอบ 56 ปี และในเดือนธันวาคม 2549 ยังคงมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าค่าปกติประมาณ 1.7 °C (อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C) เมื่อพิจารณาข้อมูลย้อนหลัง 56 ปี ของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2494 (ปีแรกที่เริ่มมีการตรวจวัดข้อมูล อุดุนิยมวิทยา) พบว่าอุณหภูมิของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนปริมาณฝนและวันที่ฝนตกมีแนวโน้มที่จะลดลง ถึงแม้ว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งปริมาณฝนและจำนวนวันที่ฝนตกจะอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าค่าปกติ อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2550 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีปริมาณฝนสูงกว่าค่าปกติ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนและต้นฤดูฝน อีกทั้งยังมีฝนตกเร็วกว่าปกติ และในช่วงฤดูร้อนพบว่ามีอากาศร้อนจัดในหลายพื้นที่ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศสูงกว่าค่าปกติโดยเฉพาะในช่วงครึ่งแรกของปี

จากสถานการณ์โลกร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ภาครัฐดำเนินการกระตุ้น โดยมี การจัดประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้รู้ถึงปัญหา และผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมาจากสภาวะ โลกร้อนดังนี้

- 1) ผลกระทบต่อระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ
- 2) ผลกระทบทางสังคมและเศรษฐกิจ
- 3) เหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรง
- 4) ผลกระทบต่อการเกษตรและแหล่งน้ำ
- 5) ผลกระทบด้านสุขภาพ
- 6) ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น

เพื่อไม่ให้ประชากรโลกรวมทั้งประเทศไทย ได้รับผลกระทบที่รุนแรงจาก การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ จึงควรให้ความร่วมมือในการรักษาสมดุลทางธรรมชาติให้คงอยู่ ทรานานเท่านั้น ด้วยการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น

- 1) ร่วมกันใช้ก๊าซธรรมชาติแทนถ่านหินและน้ำมันในกระบวนการผลิตและการขนส่ง ต่างๆ เพื่อลดปริมาณการปล่อยออกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้น้อยลง
- 2) ใช้พลังงานทดแทน เช่น จากแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล
- 3) รักษาป่าที่มีอยู่ให้คงอยู่ต่อไป ฟื้นฟูสภาพป่าที่เสื่อมโทรม ปลูกป่าเพิ่มเติม
- 4) ศึกษาและปรับปรุงวิธีการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับชนิดของพืช
- 5) ใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรมและครัวเรือน
- 6) เพิ่มประสิทธิภาพในด้านการคมนาคม ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ทดแทนเชื้อเพลิง หรือปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เป็นต้น

จากผลสำรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิของโลกย้อนกลับไปที่เมื่อ 650,000 ปีก่อน โดยวิเคราะห์จากแท่งน้ำแข็งที่อยู่ลึกลงไปได้ทั่วโลก พบว่าอุณหภูมิของโลกมี ความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ช่วงเวลาใดที่ปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์มีมาก อุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้นตามไปด้วย ตลอดระยะเวลา 650,000 ปีที่ผ่านมา ไม่มีช่วงใดเลยที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงเกินระดับ 300 ppm. เหมือนในปัจจุบัน

ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟราเรด ได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ซึ่งหากบรรยากาศ โลกไม่มีก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันร้อนจัด และในตอนกลางคืน หนาวจัด อย่างไรก็ตามก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศถูกทำลายด้วยเรือนกระจก (ตารางที่ 1.1)

เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกขึ้น โดยแสงรังสีคลื่นสั้นที่ผ่านเข้ามาจะสะท้อนออกจากโลกไม่ได้ ทำให้บรรยากาศของโลกยิ่งขึ้นเรื่อยๆ เรียกว่าภาวะโลกร้อน

ตารางที่ 1.1 ลำดับและสัดส่วนของก๊าซเรือนกระจก

ลำดับ	ชื่อก๊าซ	ชื่อทางเคมี	ปริมาณ (ppm.)	สัดส่วน (%)
1	คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	380	53
2	มีเทน	CH ₄	1.8	17
3	โอโซนระดับผิวโลก	O ₃	0.03	13
4	ไนตรัสออกไซด์	N ₂ O	0.3	12
5	ซีเอฟซี	CFCs	1	5

ที่มา : [HTTP://APECTHAI.ORG/2008/TH/ENVIRONMENT.PHP?YEAR=2009&ID=38](http://APECTHAI.ORG/2008/TH/ENVIRONMENT.PHP?YEAR=2009&ID=38)

ปัจจุบันบรรยากาศของโลกมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ล้านล้านตัน และมนุษย์ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศปีละ 26,000 ล้านตัน ขณะที่ในทศวรรษ 1970 มนุษย์ปล่อยก๊าซชนิดนี้เพียงปีละ 15,000 ล้านตัน ทำให้เกิดการไม่สมดุลของธรรมชาติ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มนุษย์ได้ปล่อยออกมานั้น มีมากเกินไปกว่าธรรมชาติที่จะบำบัดได้ ในส่วนที่เหลือจึงเกิดการสะสมกลายเป็นก๊าซเรือนกระจก โดยกิจกรรมของมนุษย์ที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ มีดังนี้

- 1) โรงงานอุตสาหกรรม 40%
- 2) อาคาร สำนักงาน ศูนย์การค้า บ้านพักอาศัย 31%
- 3) การขนส่งทางบก ทางอากาศ และทางน้ำ 22%
- 4) การเกษตรกรรม ประมาณ 4%

ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC) คือข้อตกลงบังคับของโลกที่หลายประเทศลงนามร่วมกัน โดยประเทศที่พัฒนาแล้วจะไม่ปล่อยก๊าซที่จะทำให้โลกร้อน (ก๊าซเรือนกระจก) 6 ชนิด ได้แก่ Carbon Dioxide (CO₂), Methane (CH₄), Nitrous Oxide (N₂O),

Hydro fluorocarbons (HFCs), Perfluorocarbons (PFCs) และ Sulfur hexafluoride (SF₆) ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 โดยมีเงื่อนไขว่าช่วงแรกระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2555 ให้ประเทศพัฒนาแล้วที่เป็นสมาชิกในกลุ่มบัญชี 1 ที่ลงนามไว้ อาทิเช่น สหภาพยุโรป แคนาดา และญี่ปุ่น มีพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 5.2% จากปริมาณการปล่อยปี พ.ศ. 2533 เป็นที่น่าสังเกตว่าประเทศมหาอำนาจอย่างสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับหนึ่งของโลกไม่ยอมลงนามด้วย หากประเทศที่ร่วมโครงการไม่สามารถดำเนินการได้ตามข้อกำหนดจะต้องมีบทปรับ โดยในสหภาพยุโรปมีค่าปรับถึงต้นละ 40 ยูโร ตามแผนการลดมลพิษในระยะที่ 1 (พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ.2550) และเพิ่มค่าปรับเป็นต้นละ 100 ยูโร ตามแผนในระยะที่ 2 (พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ.2555) ส่วนประเทศที่กำลังพัฒนาโดยรวมทั้งประเทศ ไทยด้วย ซึ่งได้เป็นสมาชิกอยู่ในกลุ่มบัญชี 2 จะไม่มีพันธกรณีที่จะต้องทำการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ในปัจจุบันโลกกำลังประสบสภาวะปัญหาโลกร้อนอยู่ และประเทศต่างๆ ได้ร่วมกันแก้ปัญหาโดยการทำพิธีสารเกียวโต เพื่อเป็นการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกโลกหนึ่งของพิธีสารเกียวโตก็คือ Carbon credit ซึ่งเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่พิธีสารเกียวโตจะหมดอายุบังคับใช้ในปี พ.ศ. 2555 นี้จึงได้มีการทำสนธิสัญญาฉบับใหม่เกิดขึ้นคือ บาหลีโรดแมปเมื่อปลายปี พ.ศ. 2550 และคาดว่าจะให้สนธิสัญญาฉบับใหม่นี้ เสร็จสิ้นในปี พ.ศ. 2552

กรณีศึกษา นี้ จะทำการศึกษาโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ ที่มีบริษัทแม่อยู่ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้รับนโยบายให้ดำเนินการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงให้ได้ ปีละ 7 % ทุกๆ ปี โดยทำการลดปริมาณการใช้พลังงาน เปลี่ยนรูปแบบพลังงานหรือ เปลี่ยนอุปกรณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของทางโรงงานที่คณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานจะเห็นชอบ และจัดทำขึ้นมาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อลดปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในกระบวนการผลิต โครงสร้างธาตุของโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ ตามนโยบายของบริษัทแม่ ที่ต้องการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงให้ได้ 23% โดยใช้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ. 2543 เป็นฐาน

1.2.2 เพื่อลดต้นทุนในการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ เพื่อการแข่งขันทางธุรกิจ

1.2.3 เพื่อทำให้เกิดบรรยากาศการทำงานที่ดีขึ้นกับพนักงาน

1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาขั้นตอนการส่งน้ำตะกั่วของกระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุในโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์เท่านั้น

1.3.2 ศึกษาผลการใช้พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ จากก๊าซ LPG เป็นการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าเท่านั้น

1.3.3 ศึกษาการประเมินจุดคุ้มทุน ของโครงการจะใช้วิธีที่ไม่มีการคิดลดกระแสเงินสดในอนาคต (Undiscounted Evaluation Method) จะทำการคิดแบบ Payback Period

1.3.4 ศึกษาถึงผลของปริมาณก๊าซ CO₂ ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต โครงแผ่นธาตุในโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์เท่านั้น

1.3.5 ศึกษาถึงผลของประสิทธิภาพของการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต โครงแผ่นธาตุในโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์เท่านั้น

1.3.6 ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต โครงแผ่นธาตุในโรงงานผลิตแบตเตอรี่รถยนต์เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อลดปริมาณการเกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน

1.4.2 เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันการค้าเงินธุรกิจของอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์

1.4.3 เพื่อลดความร้อนในพื้นที่ทำงาน และสร้างความสุขสบายให้กับพนักงานในโรงงาน

1.4.4 เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของบุคลากรในด้านการอนุรักษ์พลังงาน

1.4.5 เพื่อลดการนำเข้าพลังงานของประเทศไทย จากต่างประเทศ

1.5 วิธีการศึกษา

ทำการศึกษารายละเอียดในส่วนของงาน ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ ซึ่งสามารถแบ่งหัวข้อการศึกษา ออกเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้ 7 ข้อดังนี้

1.5.1 กระบวนการผลิต แบตเตอรี่รถยนต์ (Car Battery Process)

1) ภาพรวมของกระบวนการ

2) กระบวนการที่ต้องปรับปรุง

1.5.2 พลังงานความร้อน (Thermal Energy)

- 1) การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)
 - 2) การนำความร้อน (Conduction)
 - 3) การพาความร้อน (Convection)
 - 4) การแผ่รังสี (radiation)
- 1.5.3 ฉนวนความร้อน (Thermal Insulator)
 - 1.5.4 ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (Specific heat Capacity)
 - 1.5.5 อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)
 - 1.5.6 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Emission)
 - 1.5.7 ประสิทธิภาพพลังงาน (Enthalpy Efficiency)

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

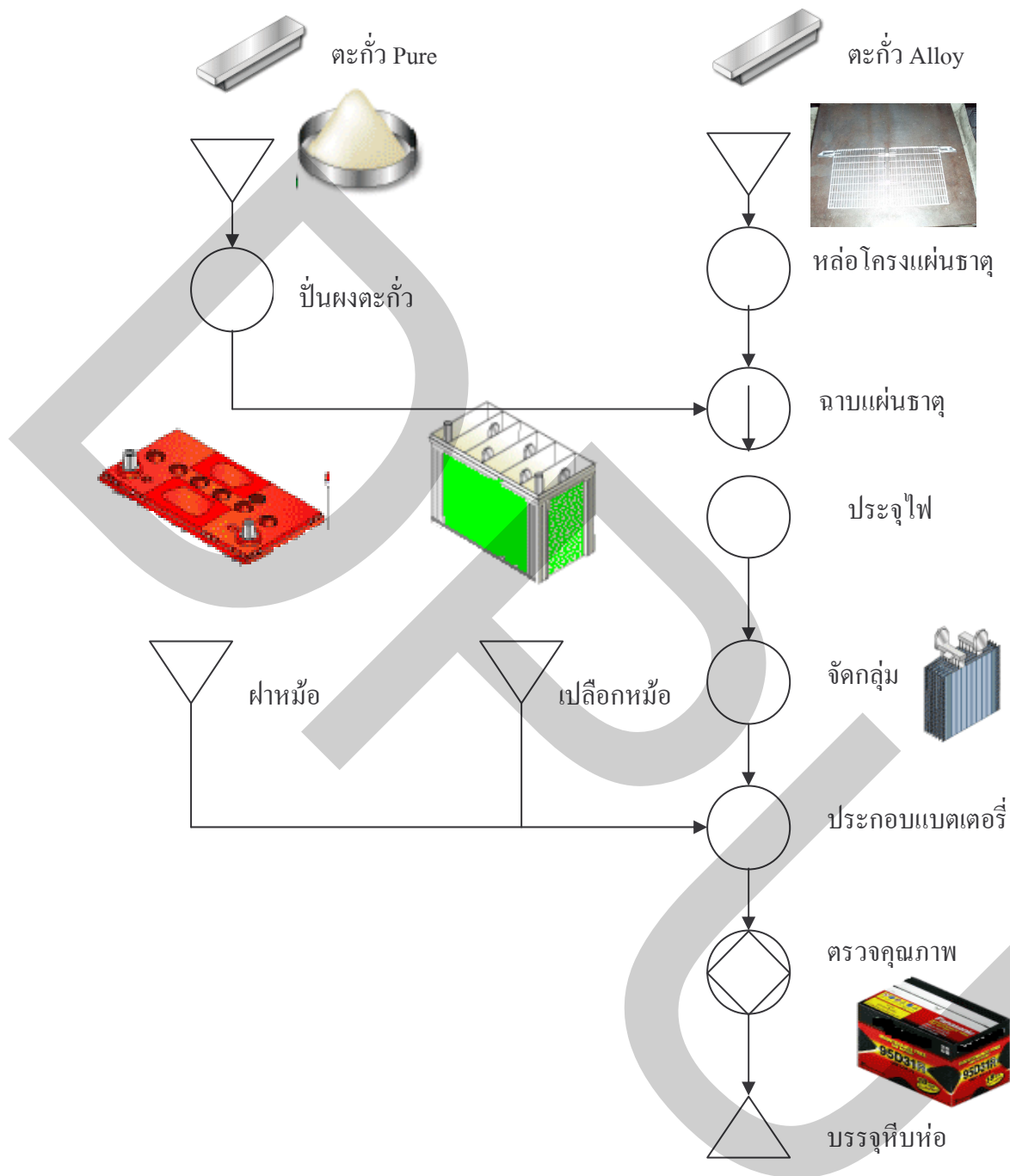
2.1.1 กระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ (Process Mapping of Battery Production)

ในการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ อันดับแรกในการศึกษาต้องทำการศึกษาระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ก่อน เพราะต้องให้เกิดการเรียนรู้และเข้าใจในกระบวนการที่เกี่ยวข้อง และมีความสัมพันธ์กัน กระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ กระบวนการผลิตเริ่มต้นแบ่งเป็น 2 สาย ดังนี้

- 1) กระบวนการเริ่มต้นที่ 1 จะเป็นการนำตะกั่วบริสุทธิ์ มาทำการป้อนเป็นผงตะกั่ว แล้วทำการเก็บไว้ในถังพัก
- 2) กระบวนการเริ่มต้นที่ 2 เป็นกระบวนการนำตะกั่ว Alloy มาทำการหล่อเป็นโครงแผ่นธาตุ

หลังจากที่มีการทำการผลิตในกระบวนการเริ่มต้นแล้ว จะนำผงตะกั่วจากถังพัก มาฉายลงที่โครงแผ่นธาตุ แผ่นธาตุที่ถูกฉายแล้ว จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไปเพื่อทำการประจุไฟลงไปในแผ่นธาตุ แผ่นธาตุที่ประจุไฟฟ้าแล้วจะถูกนำไปทำการจัดกลุ่ม แบตเตอรี่ที่ทำการจัดกลุ่มแล้วจะถูกส่งเข้ากระบวนการประกอบแบตเตอรี่ จากนั้นจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ และทำการบรรจุหีบห่อต่อไป คู่มือกระบวนการได้จากรูปที่ 2.1

กระบวนการที่เกี่ยวข้องสำหรับแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว จะเป็นกระบวนการหล่อโครงแผ่นธาตุ (รูปที่ 2.1) ซึ่งในกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานความร้อนสิ้นเปลืองมากที่สุดของกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ พลังงาน LPG ประมาณ 40% ของปริมาณ LPG ที่ใช้อยู่ในโรงงาน จะถูกใช้เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่กระบวนการนี้ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อศักยภาพสำหรับการปฏิบัติงานของพนักงานเป็นอย่างมาก จากความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการหล่อโครงแผ่นธาตุนี้ สามารถที่จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพ การใช้พลังงานของโรงงานได้ด้วย



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิต แบตเตอรี่รถยนต์

หมายเหตุ :



Input



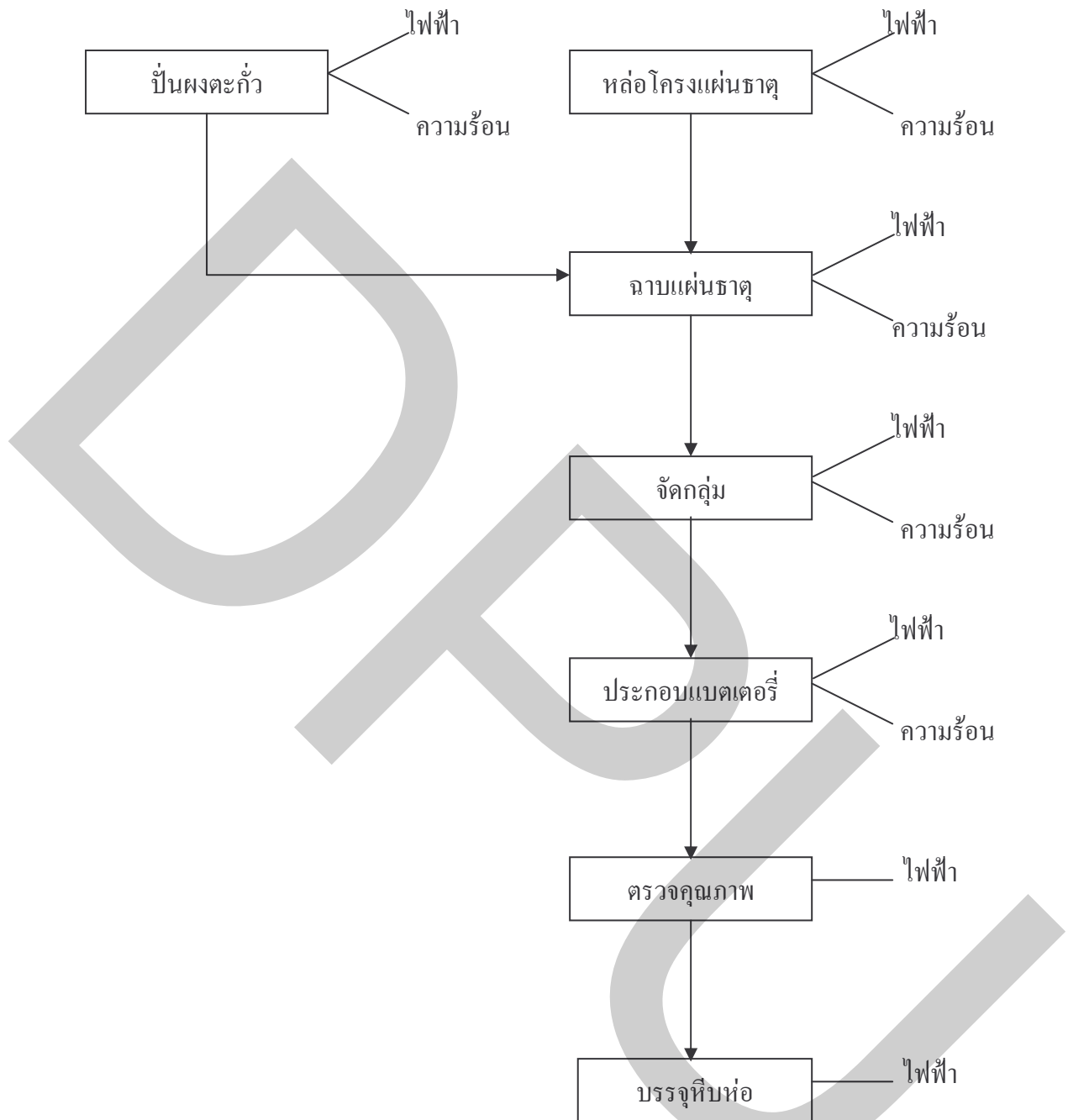
Process



Inspection



Output



รูปที่ 2.2 Process Mapping of Battery Production

2.1.2 พลังงานความร้อน (Thermal Energy)

ความร้อน คือพลังงานรูปแบบหนึ่ง เกิดขึ้นเมื่ออะตอมหรือโมเลกุลของวัตถุเกิดการสั่นมากขึ้น ดังนั้นพลังงานจลน์ของวัตถุจะมากขึ้นด้วย วัตถุนั้นจะร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นงานหรือพลังงานรูปแบบอื่นได้ และงานหรือพลังงาน

รูปแบบอื่น ก็สามารถเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน ความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานภายในของวัตถุ (Internal Energy or Thermal Energy) เพิ่มมากขึ้น

ถ้านำวัตถุที่มีพลังงานภายในไม่เท่ากันมาแตะกัน จะเกิดการส่งผ่านพลังงานจากวัตถุที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังวัตถุที่มีพลังงานต่ำกว่า จนกระทั่งมีพลังงานภายในเท่ากัน ซึ่งตรงกับกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์ (The Zero Law of Thermodynamics) ที่ว่าถ้าระบบสองระบบตั้งอยู่ในสมดุลความร้อนกับระบบที่สาม ระบบสองระบบนั้นจะอยู่ในสมดุลความร้อนซึ่งกันและกันด้วยปริมาณความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ความจุความร้อนจำเพาะ (C) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลของวัตถุ 1 kg มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 °K (จุดต่อกิโลกรัมเคลวิน)

$$\Delta Q_t = mC\Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

เมื่อ ΔQ_t คือพลังงานความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมิหน่วยเป็น J

m คือมวลของสารมีหน่วยเป็น kg

C คือความจุความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็น $J/kg - K$

ΔT คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีหน่วยเป็น K

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลทั้งหมดของวัตถุเปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

ความร้อนแฝงจำเพาะ (L) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้มวล 1 kg เปลี่ยนสถานะ (จุดต่อกิโลกรัม; J/kg)

$$\Delta Q = mL_h \dots\dots\dots (2.2)$$

เมื่อ ΔQ คือพลังงานความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะมีหน่วยเป็น J

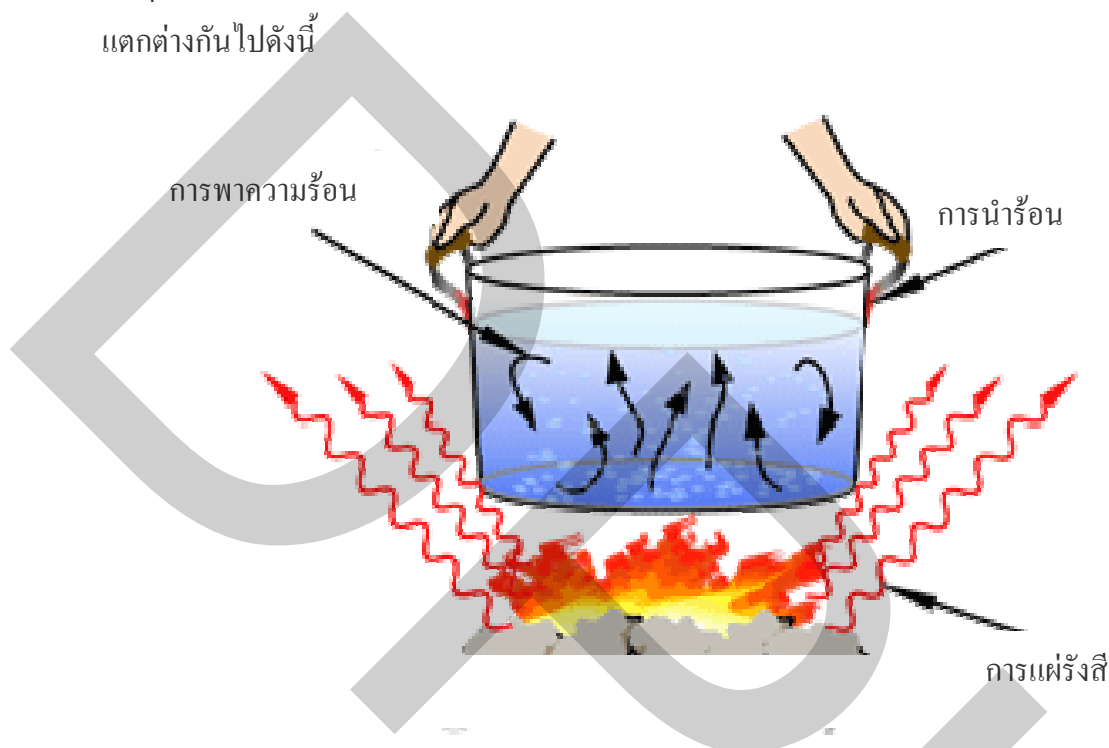
m คือมวลของสาร มีหน่วยเป็น kg

L_h คือความร้อนแฝงจำเพาะของสาร มีหน่วยเป็น J/kg

2.1.2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน (รูปที่ 2.3) เป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ซึ่งเกิดได้เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ

ขึ้น โดยทำการเพิ่มพลังงานภายในของอะตอมที่เย็นกว่าทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และลดพลังงานของอะตอมที่ร้อนกว่า อุณหภูมิจะลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิของทั้งสองบริเวณเท่ากัน สถานะนี้เรียกว่า สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium) ซึ่งจะมีกลไกในการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกันไปดังนี้



รูปที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อน

2.1.2.2 การนำความร้อน (Conduction)

กลไกของการนำความร้อนเกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน ซึ่งความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่าน โมเลกุลของสารนั้น โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความร้อนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็งในลักษณะของพลังงานของความสั่นสะเทือน (Vibration energy) จากสมการทางความร้อนตามทฤษฎีของ Fourier Law สำหรับการนำความร้อน ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการสั่นสะเทือน โมเลกุลของของแข็งที่ได้รับความร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้แก่โมเลกุลในชั้นถัดไป ลักษณะพลังงานความสั่นสะเทือน พลังงานความร้อนก็จะเคลื่อนที่เริ่มลึกเข้าไปในเนื้อของแข็ง เมื่ออิเล็กตรอนได้รับความร้อนก็จะมีพลังงานมากขึ้นและเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA_s(\Delta T)}{L} = \frac{kA_s(T_1 - T_2)}{L} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

เมื่อ	k	คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีหน่วยเป็น $J/m.s.^{\circ}C$
	L	คือความยาวของวัตถุมีหน่วยเป็น m
	A_s	คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ มีหน่วยเป็น m^2
	T_1	คืออุณหภูมิที่สูง มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$
	T_2	คืออุณหภูมิต่ำ มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$

2.1.2.3 การพาความร้อน (Convention)

การพาความร้อน คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลจะเป็นกลไกหรือพาหะในการพาความร้อนเข้าหรือออกจากผิวของแข็ง ซึ่งกลไกหรือพาหะที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพานั้น เกิดจากการอนุรักษ์พลังงานความร้อนที่บริเวณผิวความร้อนระหว่างของแข็งและของไหล โดยพิจารณาจากการนำความร้อน การเก็บสะสมพลังงานความร้อนและการเคลื่อนที่ของของไหล การพาความร้อน เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนผ่านผิวของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น

2) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) หรือแบบตามธรรมชาติ เป็นการพิจารณาการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างของไหลและผิวของแข็งที่เกิดขึ้น โดยไม่มีกลไกใดๆ จากภายนอกทำให้ของไหลเคลื่อนที่ โดยอาศัยหลักการทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าของไหลอาจจะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงลอยตัวของของไหลเองที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล

อัตราการถ่ายเทความร้อนของวัตถุโดยการพาความร้อน จะแปรผันตรงกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุกับอุณหภูมิของของไหลที่เป็นตัวพาความร้อนและพื้นที่ผิวของของไหล อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{Q}{t} = hA(\Delta T) = hA(T_s - T_a) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

เมื่อ	h	คือ สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนมีหน่วยเป็น $J/m.s.^{\circ}C$
	A	คือพื้นที่ผิวของวัตถุ มีหน่วยเป็น m^2
	T_s	คือ อุณหภูมิที่พื้นผิว มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$

T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$

สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของไหล อัตราเร็ว รูปร่าง และทิศทางของการเคลื่อนที่ของความร้อน และการวางตัวของวัตถุด้วย

2.1.2.4 การแผ่รังสี (radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการพิจารณาการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยไม่ต้องอาศัย กลไกต่างๆ หรือตัวกลาง เช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน จะเคลื่อนที่จากผิวตัวกลางที่มี อุณหภูมิสูง ไปสู่ผิวตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจะ เคลื่อนที่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในรูปของโปรตอน โดยที่ความร้อนสามารถเคลื่อนที่ได้ ดีในสุญญากาศสำหรับการแผ่รังสีความร้อน วัตถุทุกชนิดที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะ ถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน

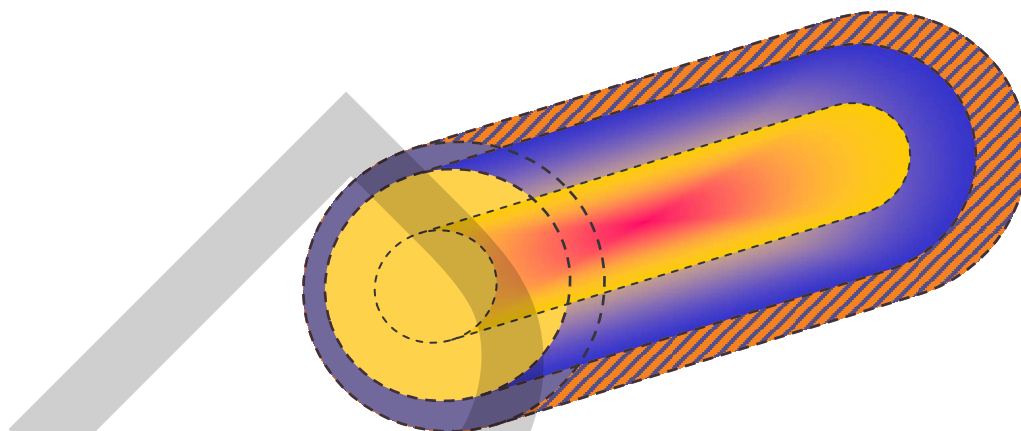
อัตราการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณความร้อนที่แผ่ออกมาในหนึ่งหน่วยเวลา แปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ยกกำลังสี่ ตรงกับกฎของสเตฟาน โบลต์มาน (Stefan Boltzmann Law) มีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$\frac{Q}{t} = \sigma \epsilon AT^4 \dots\dots\dots (2.5)$$

- เมื่อ σ คือค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ J/s. m}^2. \text{K}^4$
- ϵ คือสภาพเปล่งรังสีมีค่าตั้งแต่ 0-1 (วัตถุยิ่งดำยิ่งมีค่าใกล้ 1)
- A คือพื้นที่ผิวของวัตถุ มีหน่วยเป็น m^2
- T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ผิวของวัตถุ มีหน่วยเป็น K

2.1.3 ฉนวนความร้อน (Thermal Insulator)

ฉนวนเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติ ในการต้านทานความร้อน มีกระบวนการนำความร้อน เกิดขึ้นช้ามาก วัสดุเหล่านี้เป็นตัวนำที่ไม่ดี เพราะไม่มี อิเล็กตรอนอิสระ เพียงแต่ถ่ายโอนพลังงาน โดยการสั่นและชนกันโดยอะตอมข้างเคียงนิยามสำหรับความต้านทานคือ อัตราส่วนของ ความต่างศักย์กับอัตราการส่งถ่าย ความต้านทานทางไฟฟ้านั้นจะสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้า และ ในลักษณะเดียวกันความต้านทานความร้อน(Thermal Resistant) ซึ่งสัมพันธ์กับการนำความร้อน ความหนาวิกฤติของฉนวน สำหรับการวิเคราะห์ระบบทางความร้อนเพื่อการลดอัตรา การถ่ายเท ความร้อนที่ไหลเข้าหรือออกจากระบบท่อทรงกระบอกตันขนาดเล็กที่มีการหุ้มฉนวน ในบางครั้ง อาจเป็นผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการหุ้มฉนวนอาจเป็นการเพิ่มรัศมี ของท่อทรงกระบอกตัน (รูปที่ 2.4) ผลทำให้มีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น ตามไปด้วย และถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ผิวจะลดลงเนื่องจากการหุ้มฉนวนก็ตาม



รูปที่ 2.4 ท่อทรงกระบอกกลวงหุ้มด้วยฉนวนความร้อน

ท่อทรงกระบอกกลวงมีฉนวนหุ้ม ซึ่งฉนวนความร้อน คือสารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ และมีการหาอัตราความร้อนเช่นเดียวกันกับการนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก การใช้สมการ Fourier's Law มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของวัสดุซึ่งเรียกว่า คุณสมบัติการส่งถ่าย (Transport property) ซึ่งหมายถึงการส่งถ่ายพลังงานของโมเลกุลสาร ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพ (องค์ประกอบทางไฟฟ้าและลักษณะการยึดเหนี่ยวของ โมเลกุล) และความสัมพันธ์ของวัตถุเอง

จากเงื่อนไขความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) ค่าหนึ่งๆ พลักซ์การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น โดยปกติแล้วค่าการนำความร้อนในของแข็งจะมีค่ามากกว่าของเหลว เนื่องจากโครงสร้างทางกายภาพมีความหนาแน่นของโมเลกุลมากกว่าและของเหลวจะมีค่ามากกว่าแก๊ส ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวกลาง ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ดังตารางที่ 2.1 เห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในของแข็งอาจมากถึง 104 เท่าของแก๊สซึ่งเกิดจากระยะห่างระหว่างโมเลกุล

ตารางที่ 2.1 ค่าการนำความร้อนของตัวกลางบางชนิด

ตัวกลาง	ค่าการนำความร้อนที่ 300 K	
	W/m.K	Btu / hr ft .F
ทองแดง	399	231
อลูมิเนียม	237	137
เหล็กกล้าคาร์บอน (1 % คาร์บอน)	43	25
แก้ว	0.8	0.47
พลาสติก	0.2 – 0.3	0.12 – 0.18
น้ำ	0.6	0.35
เอทิลีน ไกคอล	0.26	0.15
น้ำมันเครื่อง	0.15	0.09
ฟ็อนเหลว	0.07	0.04
ไฮโดรเจน	0.18	0.1
อากาศ	0.026	0.02

ที่มา : th.wikipedia.org/wiki/การนำความร้อนของธาตุ

2.1.4 ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (Specific heat Capacity)

หมายถึงปริมาณของพลังงานความร้อน ที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 หน่วยของศา เช่น ในการทำให้ตะกั่วมวล 1 g มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1°C ต้องให้ความร้อนกับ ตะกั่ว 0.0306 cal เรียกว่าตะกั่วมีความจุความร้อนจำเพาะ $0.0306 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$ ดังตารางที่ 2.2 สามารถคำนวณพลังงานที่จำเป็นสำหรับการหลอมตะกั่วได้ดังสมการที่ 2.15

$$q_{pb} = sh \cdot m_{pb} \Delta T_{pb} \dots\dots\dots (2.6)$$

เมื่อ q_{pb} คือพลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับการหลอมตะกั่ว มีหน่วยเป็น cal
 Sh คือ specific heat ของตะกั่ว มีหน่วยเป็น $\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$
 m_{pb} คือน้ำหนักของตะกั่ว มีหน่วยเป็น g
 ΔT_{pb} คือความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตะกั่ว มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 2.2 ความจุความร้อนจำเพาะบางชนิด

สาร	ความจุความร้อนจำเพาะ	
	cal/g-°C	KJ/kg-k
น้ำ 0°C	1.007	4.22
น้ำแข็ง (-10 ถึง 0 °C)	0.502	2.1
อะลูมิเนียม	0.214	0.896
เหล็ก	0.11	0.5
ทองแดง	0.092	0.385
เงิน	0.0558	0.234
ตะกั่ว	0.0306	0.128

ที่มา : th.wikipedia.org/wiki/ความจุความร้อนจำเพาะ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิง LPG (Liquid Petroleum Gas) ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อทำความร้อนสำหรับท่อส่งน้ำตะกั่วเป็นเชื้อเพลิง LPG (Liquid Petroleum Gas) ซึ่งเป็น LPG ที่มาจากโรงกลั่นโดยตรง มีสัดส่วนโดยประมาณของโพรเพน (Propane = C₃H₈) = 60% และ บิวเทน (Butane = C₄H₁₀) = 40% ค่าการให้พลังงานความร้อน (Thermal Coefficient = TC) ของ LPG grade นี้จะ = 11,997 cal/g

การคำนวณหาการให้ความร้อนของเชื้อเพลิง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$q_{LPG} = m_{LPG} \cdot TC \dots \dots \dots (2.7)$$

เมื่อ q_{LPG} คือค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิง LPG มีหน่วยเป็น cal

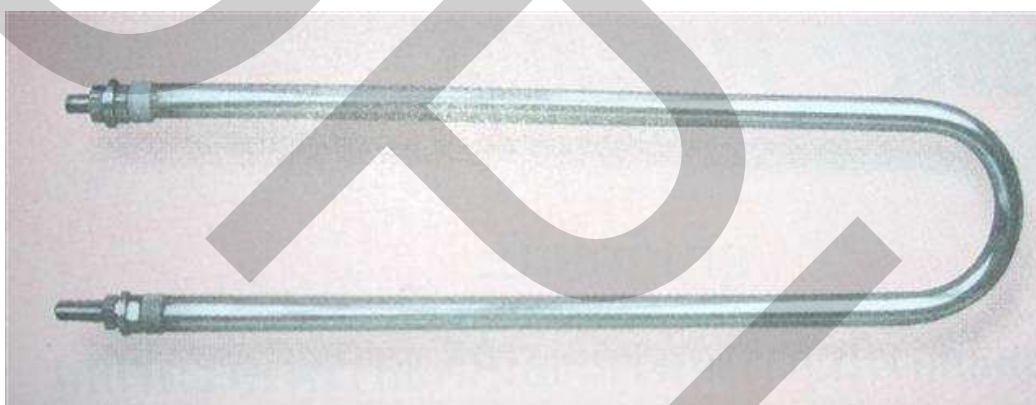
m_{LPG} คือค่าน้ำหนักของ LPG มีหน่วยเป็น g

TC คือค่าการให้พลังงานความร้อน (Thermal Coefficient) ของ LPG มีหน่วยเป็น cal/g

2.1.5 อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)

Heater เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน สามารถถ่ายทอดพลังงานความร้อนจากตัว Heater ไปยังท่อส่งน้ำตะกั่ว Heater จะทำการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน และทำการถ่ายทอดพลังงานจากตัว Heater ไปยังท่อส่งน้ำตะกั่ว โดยมีฉนวนกันความร้อนทำหน้าที่กันความร้อนจาก Heater ไม่ให้ความร้อนกระจายออกสู่อากาศภายนอก Heater ที่จะนำมาเป็นตัวสร้างพลังงานความร้อนให้กับ ระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว นั้นจะมีอยู่ 2 แบบคือ

1) Rod Heater เป็น Heater แบบนำไปใช้ในต้องการต้มของเหลวให้ร้อน (รูปที่ 2.5) ข้อควรระวัง Heater เมื่อใช้งานไปนานๆ จะมีตะกรันมาเกาะติดกับท่อ Heater ถ้าตะกรันติดท่อ Heater มากๆ จะทำให้ Heater ถ่ายทอดความร้อนได้ไม่ดี เพื่อให้ Heater ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ก็ควรจะมีการทำความสะอาดท่อ Heater เป็นประจำ



รูปที่ 2.5 Rod Heater

2) Band Heater เป็น Heater แบบใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต (รูปที่ 2.6) ส่วนใหญ่ใช้ในเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก เครื่องฉีดอัดเม็ดพลาสติก สามารถนำไปใช้อุ่นของเหลวไม่ให้แข็งตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลงในท่อลำเลียง หรือถังพัก เช่น ท่อ ลำเลียงกาว ท่อส่งน้ำมัน และท่อส่งน้ำร้อน เป็นต้น Heater แบบนี้มีข้อเสียคือ กำลังไฟฟ้าที่สามารถทำได้อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำกว่า Heater แบบอื่นๆ



รูปที่ 2.6 Band Heater แบบหุ้มด้วยสแตนเลส

วัสดุที่ใช้ทำ Band Heater คือ Mica ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.3 ส่วนวัสดุที่ใช้หุ้มมี 2 แบบคือ แบบหุ้มด้วยเหล็ก และแบบหุ้มด้วยสแตนเลส ดังรูปที่ 2.6 ข้อดีของ Band Heater คือ สามารถเลือกรูปแบบขนาด กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ได้ตามลูกค้าต้องการ ข้อควรระวังคือ การติดตั้ง ต้องทำการติดตั้งเข้ากับท่อของเครื่องจักรต่างๆ ดังนั้นจึงจะต้องยึด หรือ ขันน็อตให้แน่นสนิท เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ประสิทธิภาพสูง เพื่อส่งผลให้ Heater มีอายุการใช้งานยาวนาน

ตารางที่ 2.3 Physical properties of Mica

Characteristic	Muscovite	Phlogopite	Unit
Color	Ruby/Green	Amber/Yellow	
Calcining	700 – 800	900 – 1000	°C
Temperature	1290 – 1470	1650 – 1830	°F
Maximum operating	500 – 600	800 – 900	°C
Temperature	930 – 1110	1470 – 1650	°F

ที่มา : www.wsu.edu/~genchem/chem10

2.1.6 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Emission)

ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการให้กำเนิดพลังงานนั้น จะมีผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Emission) ออกมาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และการให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก่อให้เกิดปฏิกิริยาหลักที่ปลดปล่อยก๊าซต่างๆ เข้าสู่บรรยากาศของโลก ดังสมการต่อไปนี้



เมื่อ	F	คือ เชื้อเพลิง
	O ₂	คือ oxygen
	e	คือ พลังงาน
	CO ₂	คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	H ₂ O	คือ น้ำ

จากสมการที่ 2.9 สามารถแปลงเป็นสมการการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดังนี้



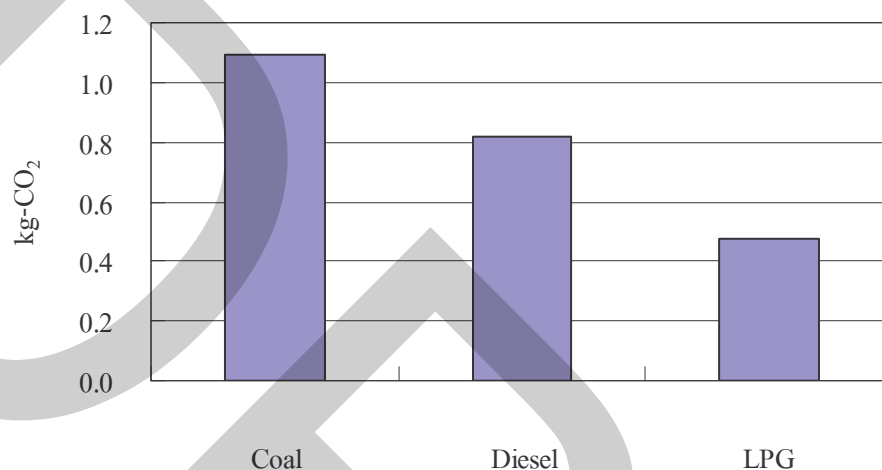
จากสมการที่ 2.10 การคำนวณอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทำได้โดยวิธีการแปลงข้อมูลของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ไปเป็นน้ำมันดิบ โดยที่น้ำมันดิบ 1 ลิตรจะให้ค่าพลังงานเท่ากับ 38,720 kJ หรือคิดเป็น 9,250kcal

2.1.6.1 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ จากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ สำหรับกรณีศึกษา นี้ ทำการคำนวณหาค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ จากการผลิตไฟฟ้าเป็นจำนวน 1 kWh โดยทำการคำนวณเปรียบเทียบตัวอย่างของเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล และถ่านหินลิกไนต์

1) การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าค่าเฉลี่ยของการใช้ก๊าซธรรมชาติก๊าซอยู่ที่ 0.16 kg สำหรับผลิตไฟฟ้า 1 kW-h ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Emission) ของ LPG มีค่าเท่ากับ 3.000 kg-CO₂/kg (ภาคผนวก 6) ดังนั้น LPG จะก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.476 kg-CO₂ (0.159 x 3.000)

2) การผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำมันดีเซล การผลิตไฟฟ้าค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลอยู่ที่ 0.31 L สำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของน้ำมันดีเซลมีปริมาณอยู่ที่ 2.64 kg-CO₂/L (ภาคผนวก 6) ดังนั้นน้ำมันดีเซล จะก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.8184 kg-CO₂(0.31x2.64)

3) การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน การผลิตไฟฟ้าค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองถ่านหิน อยู่ที่ 0.83 kg สำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของถ่านหิน มีปริมาณอยู่ที่ 1.318 kg-CO₂/kg (ภาคผนวก 6) ดังนั้นถ่านหิน จะก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1.094 kg-CO₂ (0.83 x 1.318)



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

จากข้อมูลเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตไฟฟ้า (รูปที่ 2.7) โดยใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ถ่านหิน น้ำมันดีเซล และ LPG การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ประเภทที่แตกต่างกันนั้น จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาหลักที่สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศของโลกไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของพลังงานนั้นๆ โดยที่ถ่านหินจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด โดยปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามากถึง 1.094 kg-CO₂ รองลงมาเป็นน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าถ่านหิน แต่มากกว่า LPG โดยน้ำมันดีเซลปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมากถึง 0.8184 kg-CO₂ และเชื้อเพลิง LPG จะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด โดย LPG จะทำการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเพียง 0.476 kg-CO₂ เท่านั้น

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เท่ากัน การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ได้มีการใช้เชื้อเพลิงอยู่ 5 ชนิดหลักๆ คือ ก๊าซธรรมชาติ 73.3% ถ่านหิน 14% น้ำ 4.7% น้ำมัน 4.5% พลังงานหมุนเวียน 1% และเชื้อจาก

ประเทศเพื่อนบ้าน 2.5% ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยจะมีค่าประมาณ 0.727 kg-CO₂/kW-h (ภาคผนวก 6)

2.1.6.2 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเครื่องใช้ไฟฟ้า

มีเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนทั้งหมด 5 เครื่อง กำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องเท่ากับ 200 W มีจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานเฉลี่ยเครื่องละ 8 hr จะได้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็น 8 kWh ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในประเทศไทยจากการผลิตไฟฟ้าจะมีประมาณ 0.727kg-CO₂/ kWh ดังนั้นการปลดปล่อยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากเครื่องใช้ไฟฟ้าจากข้อมูลข้างต้นนี้จะมีค่าเป็น 5.716 kg-CO₂

2.1.6.3 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้รถยนต์

มีรถยนต์จำนวนทั้งหมด 10 คันระยะทางที่ใช้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 100 km /วันจากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน รถยนต์จะปล่อยก๊าซ CO₂ เท่ากับ 120 g โดยเฉลี่ยจากระยะทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์ 1 km นั้นคือการปลดปล่อยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากรถยนต์จากข้อมูลข้างต้นนี้จะมีค่าเป็น 5.716 kg-CO₂

2.1.7 ประสิทธิภาพพลังงาน (Enthalpy Efficiency)

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นวิธีหนึ่งในการลดการบริโภคพลังงานและส่งผลให้มีการลดการปล่อยออกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การวัดค่าของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพหรือที่เรียกว่า ค่าประสิทธิภาพพลังงาน สำหรับกรณีศึกษาี้จะทำการใช้ตัวชี้วัดเพียง 2 ประเภท ดังนี้

1) ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน (Thermodynamic Indicators)

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนเป็น ตัวชี้วัดที่อธิบายว่า พลังงานที่ใส่ให้กับกระบวนการ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง พลังงานที่ใช้เกิดประโยชน์ได้เท่าไร ตัวชี้วัดต้องการจะอธิบายภาพของประสิทธิภาพพลังงานในลักษณะ ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) หรือในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Specific Energy Consumption (SEC)

$$SEC = (H_{out} / H_{in}) \times 100 \% \dots \dots \dots (2.10)$$

เมื่อ SEC คือประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็น %
 H_{out} คือค่าพลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับหลอมตะกั่ว (q_{pb}) มีหน่วยเป็น cal
 H_{in} คือค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงLPG(q_{LPG}) มีหน่วยเป็น cal

เมื่อแทนค่า H_{out} และ H_{in} ลงในสมการที่ 2.10 จะได้ค่า SEC ดังสมการที่ 2.11

$$SEC = (q_{pb} / q_{LPG}) \times 100 \% \dots\dots\dots (2.11)$$

2.1.7.2 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Indicators)

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นตัวชี้วัดที่อธิบายว่า มูลค่าของพลังงานที่ใส่ให้กับกระบวนการผลิต สามารถเปลี่ยนเป็นมูลค่าทางการตลาดได้เท่าไร ใช้อบภาคส่วนของต้นทุนพลังงานของกระบวนการผลิต ได้จากสมการที่ 2.12

$$E_i = (E_v / V_p) \times 100 \% \dots\dots\dots (2.12)$$

เมื่อ	E_i	คือ ประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์มีหน่วยเป็น %
	E_v	คือ มูลค่าพลังงานที่ใส่ มีหน่วยเป็น บาท
	V_p	คือ มูลค่าผลผลิต มีหน่วยเป็น บาท

2.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง

การประหยัดพลังงานของระบบทำความร้อน สำหรับท่อส่งน้ำตะกั่วเป็นโครงการเฉพาะทางซึ่งเป็นหัวข้อเฉพาะด้าน ในส่วนของกระบวนการท่อส่งน้ำตะกั่วเป็นเรื่องที่ไม่มีมีการดำเนินการศึกษาในที่ไหนมาก่อน อย่างไรก็ตามการศึกษาก็ใกล้เคียงจะมีในทางตรงกันข้าม เช่น การศึกษาการเปลี่ยนพลังงานจากไฟฟ้าไปเป็น LPG

กัมภีร์ ศรีรัตนา (2545) ได้ทำการศึกษาเรื่องการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานในโรงพยาบาลและโรงแรม พบว่า LPG จะมีราคาต้นทุนที่ถูกกว่าในขณะที่ไฟฟ้าจะมีราคาต้นทุนที่สูงกว่า LPG ถึง 2.07 เท่า มูลค่าการทำความร้อนของไฟฟ้าเป็น 0.00361 บาท/kcal ในขณะที่มูลค่าการทำความร้อนของ LPG เป็น 0.001745 บาท/kcal เมื่อไฟฟ้ามีค่าพลังงานความร้อน 860 kcal/kW-h, ราคาเฉลี่ย 2.80 บาท/ kW-h, ส่วน LPG มีค่าพลังงานความร้อน 12,040 kcal / kg, ราคาเฉลี่ย 16.85 บาท/ kg

พงษ์พันธ์ คำทรัพย์ (2549) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนพลังงานจากไฟฟ้าไปเป็น LPG ในเรื่องของการศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับผลิตน้ำร้อนในโรงแรม พบว่า LPG จะถูกกว่าขณะที่ไฟฟ้าจะสูงกว่า LPG ถึง 2.27 เท่า มูลค่าการทำความร้อนของไฟฟ้าเป็น 242.41 บาท / m^3 มูลค่าการทำความร้อนของ LPG เป็น 106.90 บาท / m^3 เมื่อไฟฟ้ามีค่าพลังงานความร้อน 3.6 MJ/kW-h, ราคาเฉลี่ย 2.80 บาท/ kW-h, LPG มีค่าพลังงานความร้อน 50.22 MJ/kg, ราคาเฉลี่ย 16.87 บาท/ kg

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการศึกษา

การปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่
สำหรับการศึกษานี้ เรื่องที่เกี่ยวข้องที่จะต้องทำการศึกษาและเก็บข้อมูล สามารถที่แบ่งออกเป็น
4 ขั้นตอนได้ดังนี้

- 1) ขั้นตอนพิจารณากรณีการศึกษา
- 2) ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัด
- 3) ขั้นตอนวิธีการตรวจวัด และการจัดเก็บข้อมูล
- 4) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการคำนวณผลการตรวจวัด

3.1 ขั้นตอนพิจารณากรณีการศึกษา

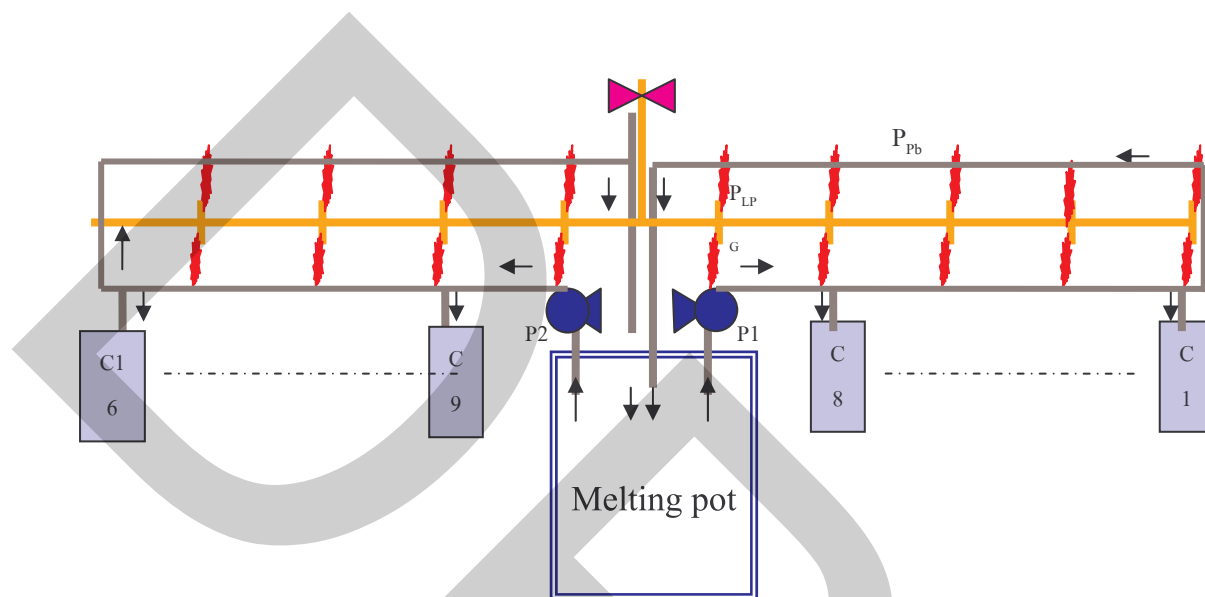
3.1.1 การศึกษากระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุ

กระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุ (รูปที่ 3.1) เป็นกระบวนการผลิตหนึ่งของการผลิต
แบตเตอรี่รถยนต์ กระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุนี้ เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงาน LPG สิ้นเปลือง
มากที่สุดในการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ โดยปริมาณการใช้ LPG ของกระบวนการนี้จะใช้อยู่
ที่ประมาณ 40%ของปริมาณ LPG ที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ และ
กระบวนการนี้ยังเป็นกระบวนการที่มีอุณหภูมิของบริเวณพื้นที่ทำงานสูงที่สุดในกระบวนการผลิต
แบตเตอรี่รถยนต์อีกด้วย องค์ประกอบหลักของกระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุจะประกอบไปด้วย
5 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่

- 3.1.1.1 เตาหลอมตะกั่ว (M_p)
- 3.1.1.2 ระบบท่อส่งตะกั่วเหลว (P_{pb})
- 3.1.1.3 อุปกรณ์เติมความร้อน (P_{LPG})
- 3.1.1.4 ป้อนส่งน้ำตะกั่วเหลว (P_1, P_2)
- 3.1.1.5 เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ ($C_1 \dots\dots C_{16}$)

การทำงานของ กระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุนี้เริ่มต้นจาก การนำตะกั่วไปทำการ
หลอมให้เป็นตะกั่วเหลวที่ เตาหลอมตะกั่ว (M_p) จากนั้น ป้อนส่งน้ำตะกั่วเหลว (P_1 และ P_2) จะทำการ
ส่งน้ำตะกั่วเหลวไปตามท่อส่งตะกั่วเหลว (P_{pb}) เพื่อนำน้ำตะกั่วเหลวไปทำการผลิตโครงแผ่น

ธาตุ ที่เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ ($C_1 \dots\dots C_{16}$) โดยที่ระบบต้องมีอุปกรณ์เดิมความร้อน (P_{LPG}) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำตะกั่วเหลวเกิดการแข็งตัว ในระหว่างการส่งน้ำตะกั่วเหลวภายในท่อ



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุ

3.1.1.1 เตาหลอมตะกั่ว (Melting pot)

การทำงานของเตาหลอมตะกั่ว (รูปที่ 3.2) จะทำหน้าที่หลอมตะกั่วผสม (Lead Alloy) แบบแท่งให้เป็นตะกั่วเหลว โดยที่ก่อนการใช้งานปรกติแล้วอุณหภูมิของตะกั่วผสม (Lead Alloy) แบบแท่งนี้จะอยู่ที่ประมาณ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยเตาหลอมตะกั่ว (Melting pot) จะทำการหลอมตะกั่วผสม (Lead Alloy) แบบแท่งให้เป็นตะกั่วเหลวที่อุณหภูมิ $450 \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

ลักษณะและรูปร่างของเตาหลอมตะกั่ว นั้น จะมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการออกแบบ ในกรณีศึกษาที่เตาหลอมที่ใช้งานอยู่เป็นแบบอ่างเหล็กสี่เหลี่ยม ขนาดของอ่างเหล็กนี้สามารถที่จะบรรจุตะกั่วได้ประมาณ 4,000 kg ระบบการให้ความร้อนของเตาหลอมตะกั่ว (Melting pot) ได้มาจากพลังงาน LPG ซึ่งทำการเผาไหม้ก๊าซ LPG โดย Burner แล้วทำการผันพลังงานความร้อน (เปลวไฟ) ไปที่อ่างเหล็ก และอ่างเหล็กนี้ จะทำการถ่ายเทพลังงาน (นำความร้อน) จากตัวมันเองไปยังตะกั่วผสม (Lead Alloy) แบบแท่งทำให้ตะกั่วผสม (Lead Alloy) แบบแท่งที่อยู่ในสถานะของแข็งกลายเป็นตะกั่วที่อยู่ในสถานะของเหลว โดยที่ระบบจะทำการรักษาอุณหภูมิของตะกั่วเหลวนี้นี้ ที่อุณหภูมิ $450 \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.2 เตาหลอมตะกั่ว

3.1.1.2 ระบบท่อส่งตะกั่วเหลว

เป็นกระบวนการส่งตะกั่วเหลวเข้าไปในท่อทรงกระบอกกลวง(รูปที่ 3.3) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของท่อเท่ากับ 32 mm และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของท่อเท่ากับ 16 mm



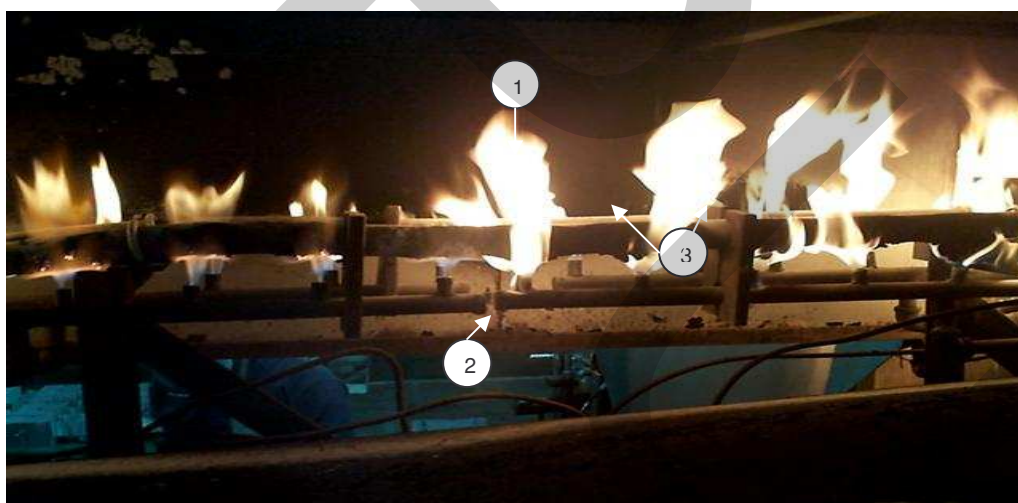
รูปที่ 3.3 ระบบท่อส่งตะกั่วเหลว

ตัวท่อจะทำหน้าที่เป็นทางผ่าน น้ำตะกั่วเหลวจากเตาหลอมตะกั่วไปยัง เครื่องผลิตโครมแผ่นธาตุ โดยที่อุณหภูมิของตะกั่วเหลว ภายในท่อส่งตะกั่ว ต้องมีการควบคุมรักษาความร้อนให้คงที่ ณ อุณหภูมิ $450 \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3.1.1.3 อุปกรณ์เติมพลังงานความร้อน

อุปกรณ์เติมพลังงานความร้อน (รูปที่ 3.4) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รักษาความร้อนกับระบบให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 450 ± 20 °C เหตุผลที่ต้องมีอุปกรณ์เติมพลังงานความร้อนก็เพราะว่าหลังจากที่ pump ได้ทำการส่งน้ำตะกั่วเหลวส่งเข้าไปในท่อส่งน้ำตะกั่ว (จุดที่ 1 รูปที่ 3.4) แล้ว ความร้อนแฝงของน้ำตะกั่วเหลวจะถูกถ่ายเทความร้อนออกจากตัวของมันเอง ผ่านระบบท่อส่งน้ำตะกั่ว เป็นผลให้เกิดการสูญเสียความร้อน (Thermal loss) เมื่อสูญเสียความร้อนไปมาก จนอุณหภูมิของตะกั่วต่ำกว่าจุดหลอมเหลว (318 °C) ตะกั่วจะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง

สำหรับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รักษาความร้อนกับระบบให้คงที่ระบบนี้ ได้ทำการใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการกำเนิดพลังงานความร้อน โดยที่ LPG จะถูกส่งผ่านมาทางท่อ LPG (จุดที่ 2 รูปที่ 3.4) แล้วผ่าน Nozzle (จุดที่ 3 รูปที่ 3.4) เพื่อทำการติดไฟและเผาไหม้ LPG ทำให้เกิดเป็นเปลวไฟ เปลวไฟจะทำการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) โดยการพาความร้อน (Convection) ให้กับท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว ส่งผลให้อุณหภูมิของตะกั่วภายในท่อเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าจุดหลอมเหลวของตะกั่ว (318 °C)



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์เติมความร้อนพลังงาน LPG

อุณหภูมิของเปลวไฟในรูปที่ 3.4 นั้น สามารถสังเกตได้จากสีของเปลวไฟว่า อุณหภูมิอยู่ที่กี่ °C เทียบดูได้จาก ตารางที่ 3.1 จากการสังเกตสีของเปลวไฟในรูปที่ 3.4 ได้เห็นว่าสีของเปลวไฟจะเป็นสีแดงเข้ม เมื่อเทียบกับตารางที่ 3.1 แล้ว จะพบว่าอุณหภูมิความร้อนของเปลวไฟจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 650 °C ถึง 750 °C ในขณะที่ความต้องการขั้นต่ำของความร้อน เพื่อการหลอมละลายตะกั่วมีความต้องการอุณหภูมิอยู่ที่เพียง 318 °C เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความร้อนของเปลวไฟมีมากเกินไป ความต้องการ ของการหลอมละลายตะกั่ว

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิความร้อนและสีเปลวไฟ

สีเปลวไฟ	อุณหภูมิ (°C)
สีขาวอ่อน	1540ขึ้นไป
สีขาว	1320-1540
สีเหลืองอ่อน	1090-1320
สีเหลือง	900-1090
สีส้ม	825-900
สีแดงอ่อน	750-825
สีแดงเข้ม	650-750
สีแดงเรื่อๆ	475-650
ไม่มีสีชัดเจน	475

ที่มา : http://nenfe.nfe.go.th/clearning/courses/66/chap4_2p6.html

3.1.1.4 ป้อนน้ำตะกั่วเหลว

ป้อนน้ำตะกั่วเหลว (รูปที่ 3.5) เป็นอุปกรณ์สำหรับเพิ่มความดันของน้ำตะกั่วเหลวในระบบ เพื่อให้ น้ำตะกั่วเหลวมีการเคลื่อนที่ไหลภายในระบบได้ เพื่อที่จะทำให้ระบบการทำงานสามารถเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ จุดป้อนน้ำตะกั่วเหลว เป็นอุปกรณ์หลักในการส่งน้ำตะกั่วเหลวที่อุณหภูมิ $450 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ไปยังเครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุหากไม่มีป้อน น้ำตะกั่วเหลวจะไม่สามารถไหลจาก เตาลอมไปยัง เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุได้ เนื่องจากระยะห่างจากเตาลอมถึง เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ มีระยะห่างสำหรับเครื่องที่ใกล้ที่สุด เริ่มต้นที่ 4 m สำหรับเครื่องที่อยู่ไกลสุด จะมีระยะห่างถึง 14 m และหากทำการส่งน้ำตะกั่วเหลว แบบแรงดันเปิด และเป็นกรไหลแบบ gravity flow นอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน ยังทำให้อุณหภูมิภายในน้ำตะกั่ว ลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้อุณหภูมิ ภายในโรงงานสูงขึ้นอีกด้วย การส่งน้ำตะกั่วเหลว จำเป็นจะต้องใช้ ตะกั่วเหลวเป็นตัวกลางในการพาความร้อนจากเตาลอมตะกั่วไปยังเครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ โดยที่อุณหภูมิของน้ำตะกั่วเหลวจะถูกกำหนดไว้ที่ $450 \pm 20^{\circ}\text{C}$ และเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 318°C (จุดหลอมเหลวของตะกั่ว) อุณหภูมิของน้ำตะกั่วเหลวจะถูกกำหนดเพื่อไว้มากถึง 132°C เมื่อน้ำตะกั่ว

เหลวจะถูกปั๊มส่งเข้าไปในท่อส่งน้ำตะกั่ว อุณหภูมิของน้ำตะกั่วเหลวในท่อส่งน้ำตะกั่วจะถูกระบายออกจากระบบโดยอุณหภูมิที่ลดลงนั้น ขึ้นอยู่กับระยะทาง และ ปริมาณของน้ำตะกั่วเหลวในท่อ ถ้าอุณหภูมิของน้ำตะกั่วในระบบลดลงต่ำมากจนกระทั่งใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวแล้ว เป็นเหตุให้ปั๊มต้องทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ปั๊มมีโอกาสเกิดความเสียหายได้



รูปที่ 3.5 ปั๊มส่งน้ำตะกั่วเหลว

3.1.1.5 เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ (Casting Machine)

เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ(Casting Machine) รูปที่ 3.6 เป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่รับน้ำตะกั่วเหลว ซึ่งมีอุณหภูมิ $450 \pm 20^{\circ}\text{C}$ จากท่อส่งน้ำตะกั่ว แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิของตะกั่วเหลวเป็น $500 \pm 20^{\circ}\text{C}$

จากนั้นทำการส่งน้ำตะกั่วเหลวเข้าสู่แท่นหล่อแบบพิมพ์ เพื่อทำขึ้นรูปตะกั่วให้เป็นโครงแผ่นธาตุตามรูปแบบที่ทำการออกแบบไว้ ตามชนิดของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น ตามความเหมาะสม โครงแผ่นธาตุที่ทำการผลิตออกมาจาก เครื่องทำโครงแผ่นธาตุจะมีอยู่หลากหลายรูปแบบดูได้จากรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 เครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุ



รูปที่ 3.7 โครงแผ่นธาตุ

3.1.2 การศึกษาอุปกรณ์เติมพลังงานความร้อน

กรณีศึกษานี้จะทำการศึกษาที่ขั้นตอนเติมพลังงานความร้อน เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วมากที่สุด และยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะแวดล้อมในการทำงานของพนักงาน โดยการทำให้อุณหภูมิในพื้นที่ทำงานบริเวณกระบวนการผลิต โครงแผ่นธาตุนั้นมีอุณหภูมิที่ร้อนกว่าพื้นที่ทำงานบริเวณอื่น

ในโรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งหัวข้อต่างๆ เหล่านี้ ทุกอย่างล้วนเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การใช้พลังงานความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วเกิดการสูญเสียในรูปแบบต่างๆ โดยที่สามารถแบ่งได้เป็น 5 หัวข้อหลักดังนี้

1) ชนิดของพลังงานที่แตกต่างกัน ที่ได้มีการนำเข้ามาใช้กับระบบท่อส่งตะกั่วเหลว ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนแตกต่างกันออกไป สำหรับกรณีศึกษานี้ พลังงานความร้อนที่ได้ จะเกิดจากการใช้เชื้อเพลิง LPG

2) ชนิดวัสดุของท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว เช่น ท่อเหล็ก SC45 ท่อกราวาไนต์ หรือท่อสแตนเลสวัสดุต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติทางความร้อนแตกต่างกันไป สำหรับกรณีศึกษาวัสดุของท่อส่งน้ำตะกั่วเหลวได้ใช้ ท่อเหล็ก SC45

3) รูปร่างลักษณะของระบบท่อส่งน้ำ รูปทรงการออกแบบที่แตกต่างกันออกไป เช่น ความหนาบางของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อส่งตะกั่วเหลว ได้มากอยู่ ถึงแม้ว่าจะมีการเลือกใช้วัสดุชนิดเดียวกันก็ตาม สำหรับกรณีศึกษานี้ได้ใช้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของท่อเท่ากับ 32 mm. และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของท่อเท่ากับ 16 mm.

4) อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambience Temperature) เป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญตัวแปรหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพระบบท่อส่งตะกั่วเหลว การถ่ายเทความร้อนจากระบบท่อส่งตะกั่วเหลว สู่อากาศรอบข้าง ซึ่งอุณหภูมิของตัวนำในที่นี่หมายถึงระบบท่อส่งตะกั่วเหลว จะต้องมียุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ จึงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ

5) ระบบการป้องกันการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) อันเนื่องจากการพาความร้อน (Convection) ออกจากระบบไปยังบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ระบบการป้องกันการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ของขั้นตอนเดิมพลังงานความร้อนนี้ เป็นระบบเปิด ดังนั้นความร้อนจากระบบสามารถที่จะถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ไปสู่พื้นที่ทำงานได้สะดวก

อุณหภูมิในบริเวณพื้นที่ทำงานของกระบวนการนี้โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 38°C ส่วนในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี อุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวจะสูงถึง 43°C จากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของพื้นที่ทำงานบริเวณนี้กับพื้นที่ทำงานทั่วไปในโรงงาน พบว่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นประมาณ 4 °C ถึง 5 °C อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ เกิดจากการพาความร้อน (Convection) ของท่อส่งน้ำตะกั่วซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 450 ± 20 °C และความร้อนของเปลวซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 650 °C ถึง 750 °C

3.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตโครงแผ่นธาตุ

ในปี พ.ศ. 2550 ทางโรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ ได้ทำการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นจำนวนรวมทั้งสิ้น 437,077 ลูก แบตเตอรี่รถยนต์ 1 ลูกจะมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9.2 kg ดังนั้นสามารถที่คิดคำนวณน้ำหนักของโครงแผ่นธาตุได้ปีนปริมาณ 4,021,108 kg และได้มีการนำก๊าซ LPG มาใช้สำหรับการทำความร้อนในระบบท่อส่งน้ำตะกั่วเป็นปริมาณรวมทั้งสิ้น 257,098 kg

สำหรับวัตถุดิบเริ่มต้นที่ทางโรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ นำมาทำการผลิตโครงแผ่นธาตุนั้น เป็นตะกั่วผสม(Lead Alloy) แบบแท่งดังรูปที่ 3.8 ที่มีมาตรฐานของอัตราส่วนการผสมของโลหะต่างๆ ตามมาตรฐานการผลิตของโรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ อัตราส่วนการผสมส่วนใหญ่เป็นตะกั่ว ซึ่งมีตะกั่วอยู่ที่ร้อยละ 97% โดยประมาณ รายละเอียดของตะกั่วได้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของตะกั่วผสม(Lead Alloy)

ลำดับ	ชื่อโลหะ	ชื่อทางเคมี	ปริมาณ (%)
1	ตะกั่ว	Pb	97
2	พลวง	Sb	2.5
3	สารหนู	As	0.25
4	เงิน	Ag	0.05
5	ดีบุก	Sn	0.02

รายละเอียดของตะกั่วผสม (Lead Alloy) จากตารางที่ 3.2 จะมีปริมาณรวมกันได้ 99.82% ที่เหลืออีก 0.18% จะเป็นโลหะอื่นๆ ซึ่งไม่มีผลต่อคุณภาพของโครงแผ่นธาตุ และมีปริมาณน้อยมาก

จากโครงสร้างของตะกั่ว Alloy ดังตารางที่ 3.2 จะเห็นว่า รายละเอียดของตะกั่วผสม (Lead Alloy) จะมีปริมาณของตะกั่วอยู่ถึง 97% ดังนั้นสำหรับกรณีศึกษา นี้ จะทำศึกษาการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่ ภายใต้สมมุติฐานตามคุณสมบัติของตะกั่วบริสุทธิ์ ที่มีปริมาณของตะกั่วอยู่มากกว่า 99.994% เพื่อใช้สำหรับการแทนค่าคำนวณเบื้องต้นสำหรับค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้เพื่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของตะกั่วบริสุทธิ์ 99.994% จะมีค่าความร้อน (Specific heat) อยู่ที่ $0.0305 \text{ cal} / \text{g}^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.8 ตะกั่ว ingot

จากโครงสร้างของตะกั่ว Alloy ดังตารางที่ 3.2 จะเห็นว่า รายละเอียดของตะกั่วผสม (Lead Alloy) จะมีปริมาณของตะกั่วอยู่ถึง 97% ดังนั้นสำหรับกรณีศึกษา นี้ จะทำศึกษาการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของ โรงงานแบตเตอรี่ ภายใต้สมมุติฐานตามคุณสมบัติของตะกั่วบริสุทธิ์ ที่มีปริมาณของตะกั่วอยู่มากกว่า 99.994% เพื่อใช้สำหรับการแทนค่าคำนวณเบื้องต้น สำหรับค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้เพื่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของตะกั่วบริสุทธิ์ 99.994% จะมีค่าความร้อน (Specific heat) อยู่ที่ $0.0305 \text{ cal / g}^{\circ}\text{C}$

รายละเอียดของข้อมูล และยอดรวมของปริมาณน้ำหนักของโครงแผ่นธาตุ ที่ได้จากยอดการผลิตของโรงงาน

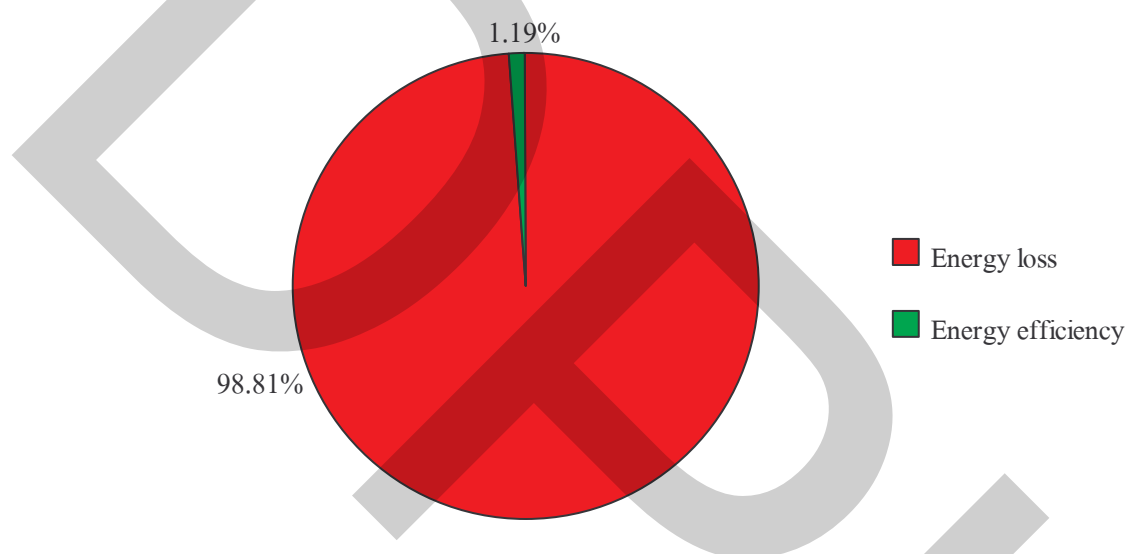
น้ำหนักโครงแผ่นธาตุ	=	4,021,108 kg (ปี พ.ศ. 2550)
อุณหภูมิบริเวณพื้นที่วางตะกั่วแท่ง	=	30°C
อุณหภูมิของน้ำตะกั่ว	=	$450 \pm 20^{\circ}\text{C}$ (อุณหภูมิที่ใช้งาน)

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณพลังงานที่จำเป็นสำหรับการหลอมตะกั่ว โดย แทนค่าลงในสมการที่ 2.15 จะได้ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้สำหรับการหลอมตะกั่ว (q_{pb}) เป็นปริมาณเท่ากับ 51,510.4 Mcal

ในปี พ.ศ. 2550 ทางโรงงานได้ใช้เชื้อเพลิง LPG (Liquefied Petroleum Gas) ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อทำความร้อนสำหรับท่อส่งน้ำตะกั่ว เป็นปริมาณทั้งสิ้น = 257,098 kg

สามารถคำนวณค่าการให้ความร้อนของเชื้อเพลิง โดยแทนค่าลงในสมการที่ 2.16 จะได้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG (q_{LPG}) เป็น 3,084,466 Mcal

ผลการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของ Q_{pb} และ q_{LPG} ดังข้างต้นสามารถคำนวณเป็นประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยแทนค่าลงในสมการที่ 2.18 จะได้ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (SEC) เป็น 1.19 %



รูปที่ 3.9 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ผลจากการคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานรูปที่ 3.9 เห็นได้ว่าพลังงานความร้อนที่เกิดจาก LPG จะถูกนำไปใช้กับระบบทำความร้อน สำหรับท่อส่งน้ำตะกั่วจะมีเพียง 1.19% เท่านั้น พลังงานความร้อนที่เหลืออีก 98.81% กลายเป็นพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการสูญเสียไปในอากาศ และยังก่อให้เกิดมลภาวะความร้อนขึ้นกับตัวพนักงานในพื้นที่การผลิตอีกด้วย

3.1.4 แนวทางการปรับปรุง อุปกรณ์เติมพลังงานความร้อน

แนวทางการปรับปรุงอุปกรณ์เติมความร้อนสำหรับท่อส่งน้ำตะกั่ว โดยหลักการแล้วจะมีอยู่ 2 แนวคิดหลักคือ

- 1) ใช้เชื้อเพลิงแบบเดิมโดยทำการปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 2) เปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง

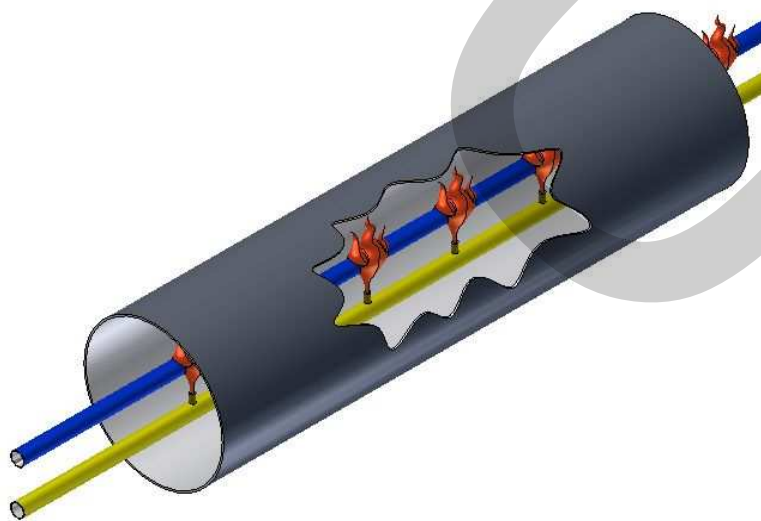
3.1.4.1 ใช้เชื้อเพลิงแบบเดิมโดยทำการปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

พิจารณาจากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าสีของเปลวไฟจากระบบของอุปกรณ์เดิมพลังงานความร้อนจะมีสีแดงเข้ม โดยสีของเปลวไฟที่เป็นสีแดงเข้มนี้ จะมีอุณหภูมิความร้อนอยู่ระหว่าง $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ คูตารางที่ 3.1 แต่อุณหภูมิของจุดหลอมเหลวของตะกั่วจะอยู่ที่เพียง $318\text{ }^{\circ}\text{C}$ เห็นได้ว่าการใช้พลังงานความร้อนมากเกินไปจนเกินความจำเป็นประมาณ $330\text{ }^{\circ}\text{C}$

เนื่องจากพื้นที่ให้ความร้อนกับท่อน้ำส่งตะกั่ว (รูปที่ 3.5) เป็นพื้นที่เปิดโล่งไม่ได้มีการควบคุมการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ดังนั้นพลังงานความร้อนจึงได้มีการสูญเสียความร้อนไปในอากาศ จากการพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) อุณหภูมิสูงกว่าของเปลวไฟเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่ทำงานบริเวณนั้น จะทำการเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงลอยตัว ของอากาศเอง ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของอากาศที่ไม่เท่ากัน

ดังนั้นทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานในโรงงานจึงได้ ทำการทดลองทำท่อหุ้มท่อน้ำตะกั่ว เพื่อทำกันป้องกันไม่ให้ความร้อนเกิดการแผ่กระจายไปยังพื้นที่ทำงานบริเวณอื่น โดยการนำท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าอุปกรณ์เดิมความร้อนที่ใช้งานอยู่ มาทำการครอบอุปกรณ์เดิมความร้อนทั้งหมด ขนาดท่อที่นำมาทำการทดลองนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อประมาณ 20 นิ้ว สำหรับการทดลองนี้ ยังคงใช้เงื่อนไขของการผลิตคงเดิมอยู่ โดยที่อุณหภูมิของท่อส่งตะกั่วเหลวต้องมีค่าที่ $450\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังเดิม ดังรูปที่ 3.10

ผลของการทดลองนี้เปลวไฟภายในท่อ มีการลุกติดไฟไม่คงที่ เนื่องจากออกซิเจน (O_2) เพื่อใช้สำหรับการสันดาปภายในท่อมีไม่เพียงพอต่อการสันดาป จึงเป็นผลทำให้ ไม่สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิของท่อส่งตะกั่วเหลวได้



รูปที่ 3.10 การทดลองโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้วมาหุ้มเปลวไฟ

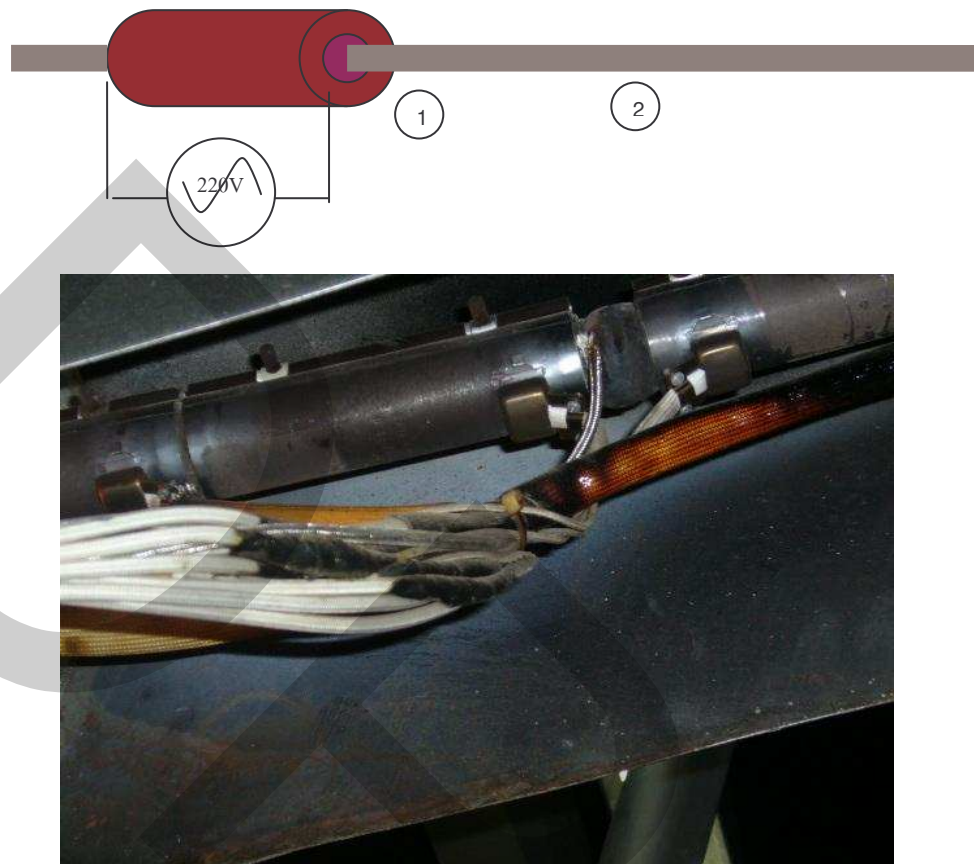
ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานในโรงงานได้ทำการแก้ไขในเรื่องปัญหาออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการสันดาป โดยทำการเติมออกซิเจนเข้าไปในระบบท่อเพื่อให้การสันดาปทำได้สมบูรณ์มากขึ้น แต่เนื่องจากท่อที่นำมาครอบนี้เป็นท่อระบบปิด ทำให้เขม่าที่เกิดขึ้นภายในท่อที่นำมาครอบนี้ไม่สามารถระบายออกไปนอกระบบได้ จึงเกิดการสะสมของเขม่าภายในท่อ และเขม่าที่สะสมในท่อนี้เข้าไปอุดตันที่หัว Nozzle ของ LPG ทำให้ไฟดับ จึงทำให้การทดลองนี้ไม่ประสบความสำเร็จตามที่วางไว้

3.1.4.2 เปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้มีผลทำให้เกิดความแตกต่างต่อประสิทธิภาพ การเปลี่ยนรูปของพลังงานของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน และจะส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนด้วย เชื้อเพลิงอาจจะแบ่งเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส และอาจเป็นเชื้อเพลิงที่พัฒนาให้มีคุณค่าทางการค้า หรือเชื้อเพลิงที่เหลือใช้ การพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ นอกเหนือจากด้านการเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วต้องคำนึงถึง เรื่องของการบำรุงรักษา และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวม และต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้

ระบบการให้พลังงานความร้อนด้วย Heater เป็นระบบที่น่าจะเหมาะสมที่สุดสำหรับกรณีศึกษานี้ หลักการทำงานของ Heater จะทำการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน และทำการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากตัวของ Heater เองส่งตรงไปยังท่อส่งตะกั่วเหลว โดยมีฉนวนกันความร้อนทำหน้าที่กั้นความร้อนจาก Heater ไม่ให้ความร้อนจากระบบ มีการกระจายออกสู่อากาศภายนอก เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อน ทำให้พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นถูกถ่ายเทเข้าสู่ระบบท่อส่งน้ำตะกั่วได้ดียิ่งขึ้น

ชนิดของ Heater (จุดที่ 1 ในรูปที่ 3.11) นำมาใช้ในกรณีศึกษานี้เป็นชนิด Band heater การสร้าง Band Heater นี้ทางผู้ผลิตจะใช้วัสดุหลักคือ Mica คุณสมบัติของ Heater ชนิดนี้จะมีข้อดีในด้านการขึ้นรูปให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ สำหรับกรณีศึกษาผู้ผลิตได้มีการออกแบบ Heater ให้แนบสนิทกับตัวท่อ แต่ Heater ชนิดนี้จะมีข้อเสียในเรื่องของกำลังการให้ความร้อน เนื่องจาก Heater ชนิดนี้จะให้กำลังความร้อนค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามความร้อนที่ใช้สำหรับการหลอมตะกั่วซึ่งมีจุดหลอมเหลวเพียง 318 °C ก็ยังคงอยู่ในย่านที่ Heater ชนิดนี้สามารถให้ค่าความร้อนออกมาได้ การติดตั้ง โดยใช้ Heater ครอบที่ท่อส่งน้ำตะกั่ว (จุดที่ 2 ในรูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 การติดตั้ง Heater

3.2 ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องมือสำหรับตรวจวัดค่าที่ได้จากการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่ ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง สำหรับการศึกษานี้จะมีการใช้เครื่องมือวัดอยู่ทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกันคือ

- 1) มาตรวัดก๊าซ (Gas meter)
- 2) มาตรวัดไฟฟ้า (Watt hour meter)
- 3) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

3.2.1 มาตรวัดก๊าซ (Gas meter)

มาตรวัดก๊าซ (Gas meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาตรของก๊าซ สำหรับกรณีศึกษานี้ ใช้ Gas meter ดังรูปที่ 2.7 มีความสามารถในการวัดจากระดับ Q_{min} ได้ที่ $0.04 \text{ m}^3/\text{h}$ จนถึงระดับ Q_{max} เป็น $10 \text{ m}^3/\text{h}$ มีค่าความถูกต้องของเครื่องวัดอยู่ที่ $\pm 2\%$ ทำการ Calibrate เครื่องวัดโดยผู้ผลิต (Ampy

Email Metering) การใช้มาตรวัดปริมาตรของก๊าซ ต้องใช้ มาตรวัดในย่านที่เหมาะสม โดยค่าอัตราไหลที่แท้จริงของก๊าซควรจะอยู่ในระหว่างค่า Q_{min} ถึงค่า Q_{max}



รูปที่ 3.12 GAS meter

3.2.2 มาตรวัดไฟฟ้า (Watt hour meter)

มาตรวัดไฟฟ้า (Watt hour meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับกรณีศึกษาใช้ KWh meter แบบดิจิตอล (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 3.13 Watt hour meter

คุณสมบัติของ Watt hour meter นี้ มีความสามารถในการวัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 99,999.9 kWh และเก็บไว้ในหน่วยความจำ EPROM ได้นานกว่า 10 ปี โดยข้อมูลไม่สูญหาย โดยมีค่าความถูกต้องของเครื่องวัดอยู่ที่ $\pm 0.5\%$ of rated value (at $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) ทำการ calibrate โดย ผู้ผลิต (Yokogawa)

3.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ สำหรับกรณีศึกษาที่ใช้ เครื่องวัดอุณหภูมิ เป็นแบบชนิดพกพา มีการแสดงผลของการวัดเป็นตัวเลขดิจิทัลดังรูปที่ 2.9 ความสามารถในการวัดจากอุณหภูมิต่ำสุด -200°C ไปจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ $1,200^{\circ}\text{C}$ มีค่าความถูกต้องของเครื่องวัดอยู่ที่ $\pm 0.05\%$ ทำการ Calibrate เครื่องวัดโดย Thai Standard Calibration Co., Ltd. วิธีการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดนี้ ทำได้โดยการใช้ตัวเทอร์โมคัปเปิลสัมผัสกับผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

3.3 ขั้นตอนวิธีการตรวจวัด และการจัดเก็บข้อมูล

3.3.1 วิธีการตรวจวัด

วิธีการตรวจวัด และเก็บข้อมูลกรณีศึกษานี้ ทางคณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานได้ ทำการติดตั้งเครื่องมือสำหรับตรวจวัดค่าที่ได้จากการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่ ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงโดย มีการติดตั้งเครื่องมือวัดอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ

- 1) มาตรวัดก๊าซ (Gas meter)
- 2) มาตรวัดการใช้ไฟฟ้า (Watt hour meter)

สำหรับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) นั้น ทางคณะกรรมการอนุรักษ์พลังงาน ได้เลือกใช้ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบพกพา ซึ่งสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและประหยัดงบประมาณด้วย

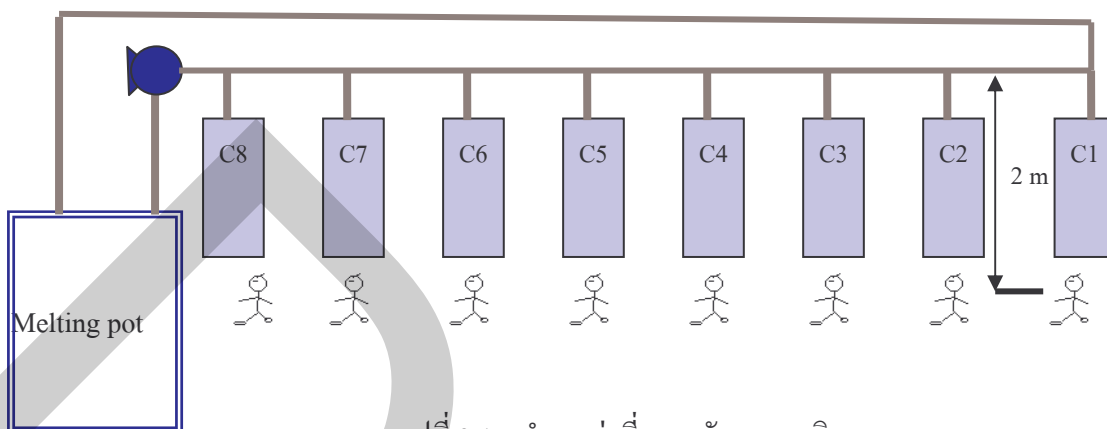


รูปที่ 3.15 การติดตั้งมาตรวัดก๊าซ (Gas meter)

จากรูปที่ 3.15 เป็นรูปของ LPG meter ที่ใช้วัดปริมาณของ LPG และรูปที่ 3.16 เป็นรูปของตู้ควบคุมระบบ และ Amp meter ที่ใช้วัดปริมาณกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.16 ตู้ควบคุมไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งที่ตรวจวัดอุณหภูมิ

3.3.2 การเก็บข้อมูลกรณีศึกษา

การเก็บข้อมูลจำเป็นต้องมีตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทดลอง ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ในกรณีศึกษานี้ มีการใช้ตารางบันทึกข้อมูลอยู่ 4 ตารางด้วยกันคือ

- 1) ตารางเก็บข้อมูลอุณหภูมิของพื้นที่ทำงาน (ตารางที่ 3.3)
- 2) ตารางเก็บข้อมูลหาดัชนีของการใช้ก๊าซ LPG (ตารางที่ 3.4)
- 3) ตารางเก็บข้อมูลหาดัชนีของการใช้ไฟฟ้า (ตารางที่ 3.5)
- 4) ตารางเปรียบเทียบผล การผลิต โคร่งแผ่นธาตุ จากการเผาไหม้ด้วยก๊าซ LPG และ ไฟฟ้า (ตารางที่ 3.6)

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลอุณหภูมิของพื้นที่ทำงาน

Production Date	Machine No.								Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Average									

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการใช้พลังงานก๊าซ LPG

Date	Meter Gas (m ³)	Pb (kg)	LPG (m ³)	LPG (Kg)	Pb / LPG (kg/kg)
Total					

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

Date	Meter (kW-h)	Power (kW)	Grid qtt'y (pcs)	Grid/Power (pcs/kW-h)
Total				

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบผลการผลิตโครงแผ่นธาตุ จากการเผาไหม้ด้วยก๊าซ LPG และ ไฟฟ้า

หัวข้อ	LPG	ไฟฟ้า	Unit
มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุ			kg/B
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน			%
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว			kcal/kg
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่วที่ประสิทธิภาพ 100%			kcal/kg
ดัชนีของ ตะกั่ว/LPG			kg/L
ดัชนีของ ตะกั่ว/ไฟฟ้า			kg/kW-h

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการคำนวณผลการตรวจวัด

สำหรับกรณีศึกษานี้การวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้วิธีการวิเคราะห์ห้อยู่ 4 แบบ คือ

- 1) การเปรียบเทียบมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุ (Cost of Production)
- 2) การประเมินจุดคุ้มทุน (Break Even Point)
- 3) การประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (Enthalpy Efficiency)
- 4) การประเมินค่า CO₂ Emission

3.4.1 เปรียบเทียบมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุ (Cost of Production)

การเปรียบเทียบมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุ (Cost of Production) ทำได้ โดยการนำมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยก๊าซ LPG เทียบกับ มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยไฟฟ้า

การคำนวณหามูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยก๊าซ LPG (CP_{LPG}) สามารถทำการคำนวณหาได้โดย การนำดัชนีของ ตะกั่ว/LPG (Id_{LPG}) จากข้อมูลการใช้พลังงาน LPG (ตารางที่ 3.4) และ ราคาของก๊าซ LPG (C_{LPG}) ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 3.1

$$CP_{LPG} = C_{LPG} / Id_{LPG} \dots\dots\dots (3.1)$$

เมื่อ

CP_{LPG} คือ มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยก๊าซ LPG มีหน่วยเป็น บาท /kg

C_{LPG} คือ ราคาของก๊าซ LPG มีหน่วยเป็น บาท /L

Id_{LPG} คือ ดัชนีของตะกั่ว/LPG มีหน่วยเป็น kg /L

การคำนวณหาอัตราการใช้เปลืองก๊าซ LPG (CS_{LPG}) สามารถทำการคำนวณหาได้โดยการนำปริมาณ LPG (Q_{LPG}) หารด้วย / น้ำหนักตะกั่ว (W_{pb}) ดังสมการที่ 3.2

$$CS_{LPG} = Q_{LPG} / W_{pb} \dots\dots\dots (3.2)$$

เมื่อ

CS_{LPG} คือ อัตราการใช้เปลืองก๊าซ LPG มีหน่วยเป็น L /kg

Q_{LPG} คือ ปริมาณ LPG มีหน่วยเป็น L

W_{pb} คือ น้ำหนักตะกั่ว มีหน่วยเป็น kg

การคำนวณหามูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยไฟฟ้า (CP_{ELEC}) สามารถทำการคำนวณหาได้โดยการนำดัชนีของ ตะกั่ว/ไฟฟ้า (C_{ELEC}) จาก ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (ตารางที่ 3.5) และราคาของไฟฟ้า (Id_{ELEC}) ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 3.3

$$CP_{ELEC} = C_{ELEC} / Id_{ELEC} \dots\dots\dots (3.3)$$

เมื่อ

CP_{ELEC} คือ มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยไฟฟ้า มีหน่วยเป็น บาท/kg

C_{ELEC} คือ ราคาของไฟฟ้า มีหน่วยเป็น บาท /kW

Id_{ELEC} คือ ดัชนีของตะกั่ว/ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kg /kW

การคำนวณหาอัตราการใช้เปลืองไฟฟ้า (CS_{ELEC}) สามารถทำการคำนวณหาได้โดยการนำปริมาณ LPG (Q_{ELEC}) หารด้วย / น้ำหนักตะกั่ว (W_{pb}) ดังสมการที่ 3.4

$$CS_{ELEC} = Q_{ELEC} / W_{pb} \dots\dots\dots (3.4)$$

เมื่อ

CS_{ELEC} คือ อัตราการใช้เปลืองไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kW-h /kg

Q_{ELEC} คือ ปริมาณไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kW-h

W_{pb} คือ น้ำหนักตะกั่ว มีหน่วยเป็น kg

$$CP_{Total} = CP_{LPG} + CP_{ELEC} \dots\dots\dots (3.5)$$

เมื่อ

CP_{Total} คือ มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุรวม มีหน่วยเป็น บาท/kg

- CP_{LPG} คือ มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยก๊าซ LPG มีหน่วยเป็น บาท/kg
- CP_{ELEC} คือ มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุด้วยไฟฟ้า มีหน่วยเป็น บาท/kg

3.4.2 การประเมินจุดคุ้มทุน (Break Even Point)

ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ จะใช้วิธีที่ไม่มีการคิดลดกระแสเงินสดในอนาคต (Undiscounted Evaluation Method) จะทำการคิดแบบ Payback Period โดยการนำมูลค่าจำนวนเงินทั้งหมดของโครงการนี้ (รวมค่าติดตั้ง และการรื้อถอนอุปกรณ์ของเดิมออกทั้งหมด)หารด้วย ผลต่างของมูลค่าของผลประหยัดที่เกิดขึ้น และ ค่าซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.6

$$BEP = Iv / (Pd + Pi - Mcost) \dots \dots \dots (3.6)$$

เมื่อ

BEP คือ จุดคุ้มทุน มีหน่วยเป็น ปี

$$Iv = Is + Im \dots \dots \dots (3.7)$$

เมื่อ

- Iv คือ มูลค่าจำนวนเงินทั้งหมดที่ลงทุน มีหน่วยเป็น บาท
- Is คือ มูลค่าจำนวนเงินที่ลงทุนสำหรับระบบ มีหน่วยเป็น บาท
- Im คือ มูลค่าจำนวนเงินที่ลงทุนสำหรับการซ่อมบำรุง มีหน่วยเป็น บาท/ปี
- Pd คือ มูลค่าของผลประหยัดทางตรง มีหน่วยเป็น บาท/ปี
- Pi คือ มูลค่าของผลประหยัดทางอ้อม มีหน่วยเป็น บาท/ปี
- Mcost คือ จำนวนเงินที่ใช้ในการซ่อมบำรุงต่อปี มีหน่วยเป็น บาท/ปี

$$Pv = Pvb - Pva \dots \dots \dots (3.8)$$

เมื่อ

Pv คือ มูลค่าของผลประหยัด มีหน่วยเป็น บาท/ปี

$$Pvb = Pquant \times Indb \dots \dots \dots (3.9)$$

เมื่อ

- Pvb คือ มูลค่าของพลังงานก่อนการปรับปรุง มีหน่วยเป็น บาท/ปี
- Pquant คือ ปริมาณการผลิตทั้งปี มีหน่วยเป็น kg/ปี
- Indb คือ ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุก่อนการปรับปรุง มีหน่วยเป็น บาท/kg

$$P_{va} = P_{quant} \times Inda \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

เมื่อ

P_{va} คือ มูลค่าของพลังงานหลังการปรับปรุง มีหน่วยเป็น บาท/ปี
 P_{quant} คือ ปริมาณการผลิตทั้งปี มีหน่วยเป็น kg/ปี
 $Inda$ คือ ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุหลังการปรับปรุง มีหน่วยเป็น บาท/kg

3.4.3 การประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (Enthalpy Efficiency)

การประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (Enthalpy Efficiency) คือการวัดค่าของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าประสิทธิภาพพลังงาน ซึ่งการประเมินจะมีอยู่หลากหลายวิธีการสำหรับกรณีศึกษานี้จะทำการใช้ตัวชี้วัดเพียง 2 ประเภท ดังนี้

1) ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน (Thermodynamic Indicators)

การหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน ทำได้โดยการหาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้สำหรับการหลอมตะกั่ว (q_{pb}) และค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด (TC_{Total}) ดังสมการที่ 3.11

$$Eff_{EN} = (q_{pb} / TC_{Total}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

เมื่อ

Eff_{EN} คือ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน มีหน่วยเป็น %
 q_{pb} คือ พลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับการหลอมตะกั่ว มีหน่วยเป็น cal
 TC_{Total} คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด มีหน่วยเป็น cal

$$TC_{Total} = TC_{LPG} + TC_{Electric} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

เมื่อ

TC_{LPG} คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง LPG มีหน่วยเป็น cal

$TC_{Electric}$ คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น cal

2) ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Indicators)

การหาค่าประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์ ทำได้โดยการหาค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยก่อนการปรับปรุง และต้นทุนพลังงานต่อหน่วยหลังการปรับปรุง ดังสมการที่ 3.13

$$E_i = ((CE_b - CE_a) / CE_b) \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

เมื่อ

E_i คือ ประสิทธิภาพพลังงานเชิงเศรษฐศาสตร์มีหน่วยเป็น %

CE_b คือ ต้นทุนพลังงานพลังงานก่อนปรับปรุง มีหน่วยเป็น บาท/kg

CE_a คือ ต้นทุนพลังงานพลังงานหลังปรับปรุง มีหน่วยเป็น บาท/kg

3.4.4 การประเมินค่า CO₂ Emission

การประเมินค่า CO₂ Emission สำหรับการศึกษานี้จะทำการนำค่า CO₂ Emission ก่อนการปรับปรุง เปรียบเทียบกับค่า CO₂ Emission หลังการปรับปรุง โดยมีการใช้ค่าปัจจัยความสัมพันธ์ของพลังงาน (Energy related factors: Erf) (ตาราง ผ6) โดยมีค่าดังนี้

- พลังงานLPG จะใช้ค่า Energy related factors เท่ากับ 3.000 kg-CO₂ /kg

- พลังงานไฟฟ้าจะใช้ค่า Energy related factors เท่ากับ 0.727 kg-CO₂ /kW-h

การคิด CO₂ Emission ของพลังงานLPG สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.14

$$CE_{LPG} = Erf_{LPG} \times W_{LPG} \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

เมื่อ

CE_{LPG} คือ ค่า CO₂ Emission ของพลังงาน LPG มีหน่วยเป็น kg-CO₂

Erf_{LPG} คือ ปัจจัยความสัมพันธ์ของพลังงาน LPG มีหน่วยเป็น kg-CO₂ /kg

W_{LPG} คือ น้ำหนักของ LPG มีหน่วยเป็น kg

การคิด CO₂ Emission ของพลังงานไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.15

$$CE_{Elec} = Erf_{Elec} \times EL_{Pw} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

เมื่อ

CE_{Elec} คือ ค่า CO₂ Emission ของพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kg-CO₂

Erf_{Elec} คือ ปัจจัยความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kg-CO₂ /kWh

EL_{Pw} คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kW-h

การประเมินค่า CO₂ Emission เป็นการประเมินหลักที่สำคัญของโครงการ เพราะว่าโครงการนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากความต้องการในเรื่องการลด CO₂

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ขั้นตอนการเก็บผล และวิเคราะห์ผลศึกษาสำหรับบทที่ 4 เรื่องแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่ ขั้นตอนของกรณีศึกษานี้ มีเรื่องที่เกี่ยวข้องซึ่งจะต้องทำการเก็บผล และวิเคราะห์ผลศึกษา สามารถที่แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ผลศึกษา

4.1 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองเก็บข้อมูลก่อนการออกแบบปรับปรุง

ก่อนการดำเนินการปรับปรุง ทางผู้บริหารโครงการ ได้มีความเห็นให้มีการทำการทดลองการใช้พลังงานทั้ง 2 รูปแบบ เพื่อทำการเปรียบเทียบกันถึงข้อดีข้อด้อย โดยมีการใช้ข้อกำหนดที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน ก่อนที่จะลงมือทำการปรับปรุงคือ

4.1.1.1 ทำการทดลองการใช้พลังงานความร้อนจาก LPG โดยทำการละลายตะกั่วในท่อส่งน้ำตะกั่ว ซึ่งมีการบรรจุตะกั่วเหลวไปจนเต็ม แล้วปล่อยให้ให้อุณหภูมิลดลงมาที่ อุณหภูมิห้อง (30 °C) รูปที่ 3.18 ความยาวของท่อส่งน้ำตะกั่ว ที่ใช้ในกรณีศึกษานี้ยาวเท่ากับ 1 m พลังงานความร้อนจาก LPG ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ ได้มีการสิ้นเปลืองพลังงาน LPG ไปทั้งสิ้น 0.15 L คิดเป็นมูลค่าของ LPG ได้เท่ากับ 1.61 บาท (ราคา LPG ลิตรละ 10.72บาท)

ระยะเวลาการถ่ายเทความร้อนของพลังงาน LPG เพื่อให้ตะกั่วที่บรรจุในท่อ ที่ทำการทดลองละลายทั้งหมด โดยมีตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นตั้งแต่ 32 °C ไปจนถึง อุณหภูมิที่คงที่ 395 °C ได้มีการใช้เวลาไปทั้งสิ้น 20 นาที



รูปที่ 4.1 การทดลองพลังงาน LPG

4.1.1.2 การทดลองละลายตะกั่วในท่อส่งน้ำตะกั่ว (รูปที่ 4.2) โดยใช้ความยาวของท่อส่งน้ำตะกั่วเท่ากับ 1 m พลังงานความร้อนจากไฟฟ้าจากการทดลองนี้ มีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 0.3 kWh คิดเป็นมูลค่าของไฟฟ้า 0.93 บาท (ราคาไฟฟ้า kWh ละ 3.10 บาท) ทำการทดลองโดยใช้ Heater 5 ตัว ค่ากำลังไฟฟ้าของ Heater แต่ละตัวเท่ากับ 450 W

ระยะเวลาการถ่ายเทความร้อนของพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ตะกั่วที่บรรจุในท่อที่ทำกรทดลองละลายทั้งหมด โดยมีตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นตั้งแต่ 32°C ไปจนถึงอุณหภูมิที่คงที่ 450°C ได้มีการใช้เวลาทำความร้อนเพียง 8 นาที 3 วินาที

จากผลของการทดลองพบว่า เมื่อใช้ Heater ไฟฟ้าจะสามารถถ่ายเทความร้อน ได้เร็วกว่า พลังงาน LPG ดูจากรูปที่ 4.2 และให้ค่าความร้อนมากกว่าด้วย โดยที่เวลาการถ่ายเทความร้อนของพลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 32°C ไปจนถึงอุณหภูมิคงที่ 450°C จะใช้เวลา 8 นาที 3 วินาที เท่านั้น ส่วนพลังงาน LPG จะใช้เวลาการถ่ายเทความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 32°C ไปจนถึงอุณหภูมิคงที่ 395°C ความร้อนสูงสุดที่ได้จะมีเพียง 395°C เท่านั้น และมีการใช้เวลามากถึง 20 นาที เป็นเวลาที่มากกว่าการให้ความร้อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้า 12 นาที เนื่องจากการใช้

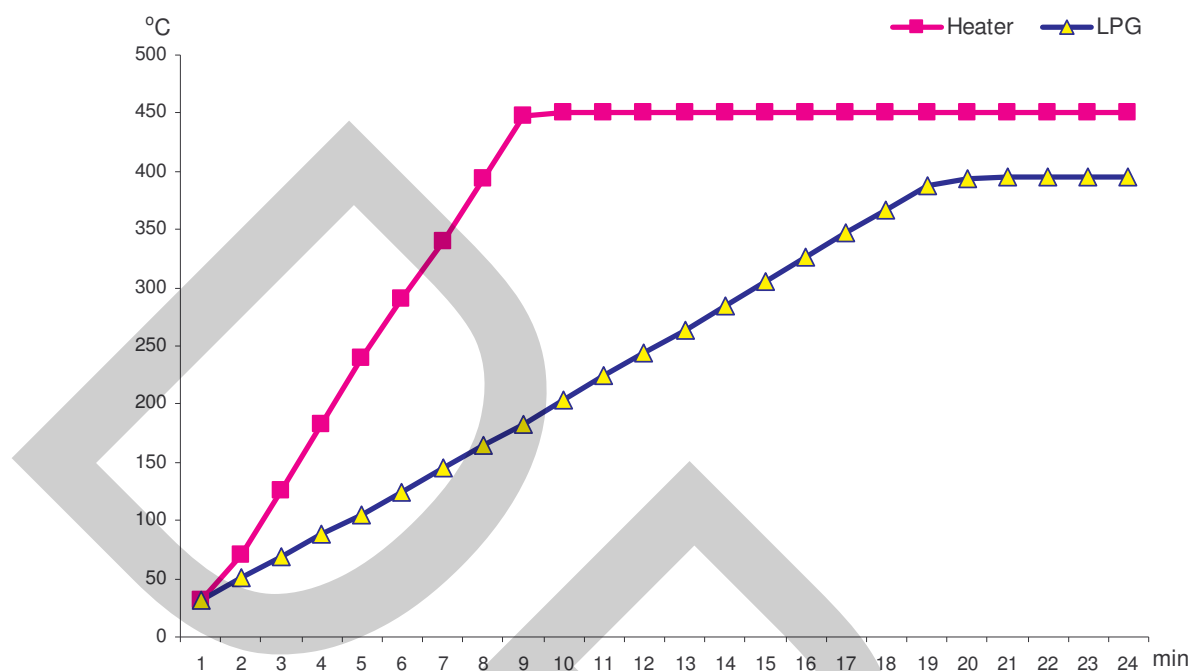
LPG เป็นการพ่นไฟในพื้นที่เปิด ส่งผลให้ความร้อนสูญเสียในระบบมีสูงกว่าการใช้ Heater ไฟฟ้าที่หุ้มฉนวนมาก ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าจึงมีความเร็วในการทำงานที่สูงกว่า



รูปที่ 4.2 การทดลองพลังงานไฟฟ้า

การพิจารณาในเรื่องพลังความร้อน (Thermal Coefficient) จะพบว่าพลังงาน LPG จะให้พลังความร้อนเท่ากับ 1,387 cal โดยใช้ค่าความร้อนของ LPG ที่ 11,997 cal/g ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าให้พลังความร้อน 735 cal โดยที่ค่าการให้ความร้อนของไฟฟ้าเท่ากับ 2,451 cal /W จะเห็นได้ว่าพลังงาน LPG จะให้พลังความร้อนมากกว่า พลังงานไฟฟ้าประมาณ 1.89 เท่า

เมื่อพิจารณาในเรื่องมูลค่าของพลังงาน (Energy Cost) จะพบว่ามูลค่าพลังงาน LPG จะเท่ากับ 2.5 MJ/บาท โดยใช้ราคาของ LPG ที่ 10.72 บาท/L ในขณะที่มูลค่าพลังงานไฟฟ้าจะเท่ากับ 1.2 MJ/บาท โดยใช้ราคาของไฟฟ้าเท่ากับ 3.10 บาท/kW จะเห็นได้ว่ามูลค่าพลังงานของ LPG จะมีมูลค่าพลังความร้อนถูกกว่า พลังงานไฟฟ้าประมาณ 2.14 เท่า



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบ การทดลองพลังงาน LPG และ พลังงานไฟฟ้า

จากข้อมูลในเรื่องของพลังความร้อน (Thermal Coefficient) เป็นความจริงที่ว่าพลังงาน LPG ให้ค่าพลังความร้อน (Thermal Coefficient) มากกว่าพลังงานไฟฟ้า

แต่สำหรับการทดลองของกรณีศึกษา นี้ จะพบว่าพลังงาน LPG ได้เกิดการสูญเสียความร้อนไปมากกว่าพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่การสูญเสียความร้อนของพลังงานไฟฟ้าจะมีน้อยกว่า จึงทำให้ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของไฟฟ้าสูงมากกว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ LPG จึงเป็นผลทำให้ต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตลดลงไปด้วย

พื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง (รูปที่ 4.4) มีแสงสีแดงปรากฏให้เห็นอยู่ แสดงถึงพื้นที่ทำงานบริเวณนี้มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง การศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูล ณ บริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงาน (รูปที่ 3.17) สำหรับการเก็บข้อมูลนี้เป็นการเก็บข้อมูลของแต่ละเครื่องจักร โดยทำการเก็บข้อมูลทุกวันเป็นเวลา 28 วันทำงาน



รูปที่ 4.4 พื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงานก่อนการปรับปรุง (รูปที่ 4.6) จะพบว่า อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 6 จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยมีอุณหภูมิอยู่เพียง 38.02°C เท่านั้น ส่วนอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 8 จะมีอุณหภูมิอยู่สูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิสูงถึง 41.70°C

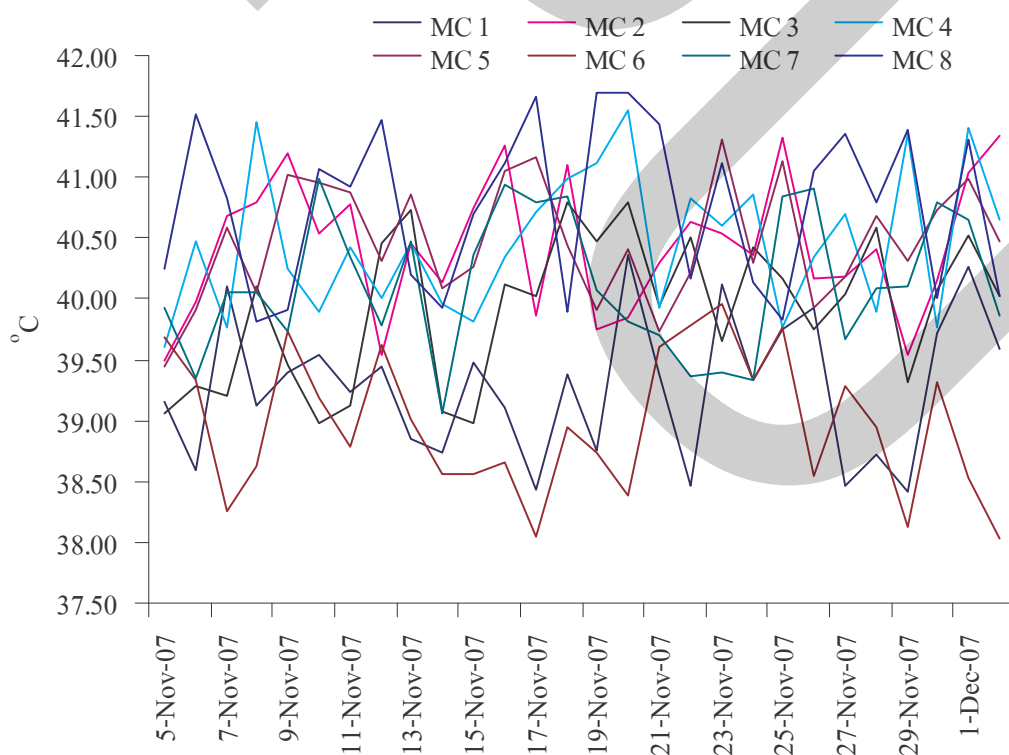
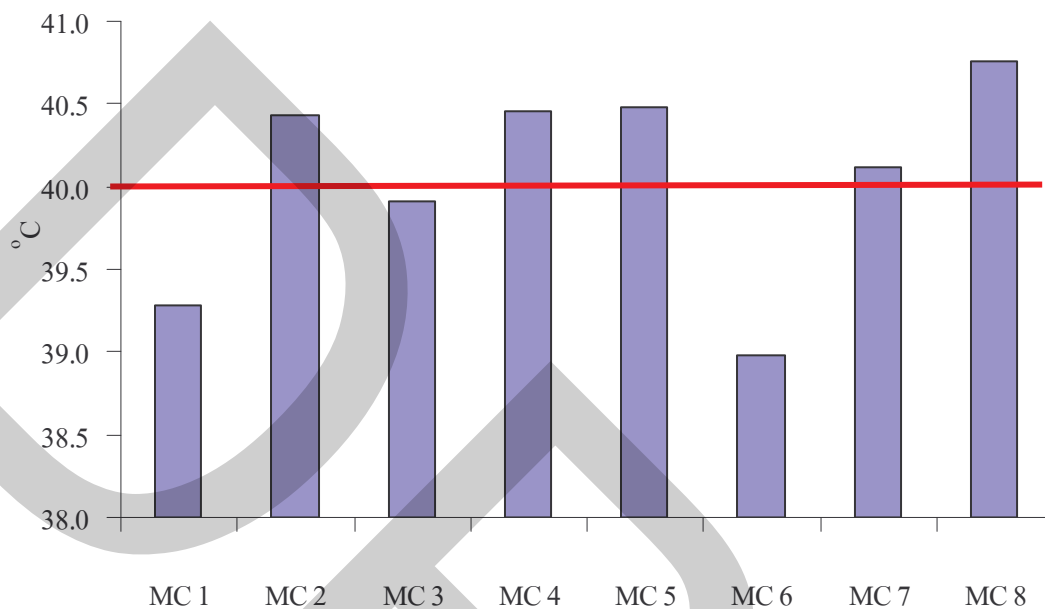
จากการตรวจสอบข้อมูลของอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง (รูปที่ 4.6) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 6 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่เพียง 38.98°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 8 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่สูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงถึง 40.76°C และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานของทั้ง 8 เครื่อง มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 40.05°C

หลังจากที่ดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตโครงแผ่นธาตุสำหรับการผลิตปกติ ของเดือน พฤศจิกายน 2550 โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 5 พฤศจิกายน 2550 ไปจนถึง วันที่ 3 ธันวาคม 2550 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 29 วัน สามารถรวบรวมข้อมูลได้ดังนี้

น้ำหนักตะกั่ว	=	463,745 kg
ปริมาณ LPG	=	54,115 Liter
ราคา LPG (ราคาวันที่ 19 ส.ค. 51)	=	10.72 บาท/Liter
อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน	=	40.05°C
อุณหภูมิของตะกั่วก้อน	=	33.7°C
อุณหภูมิของตะกั่วเหลว	=	450°C

อุณหภูมิของอากาศ (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm) = 127.2 °C

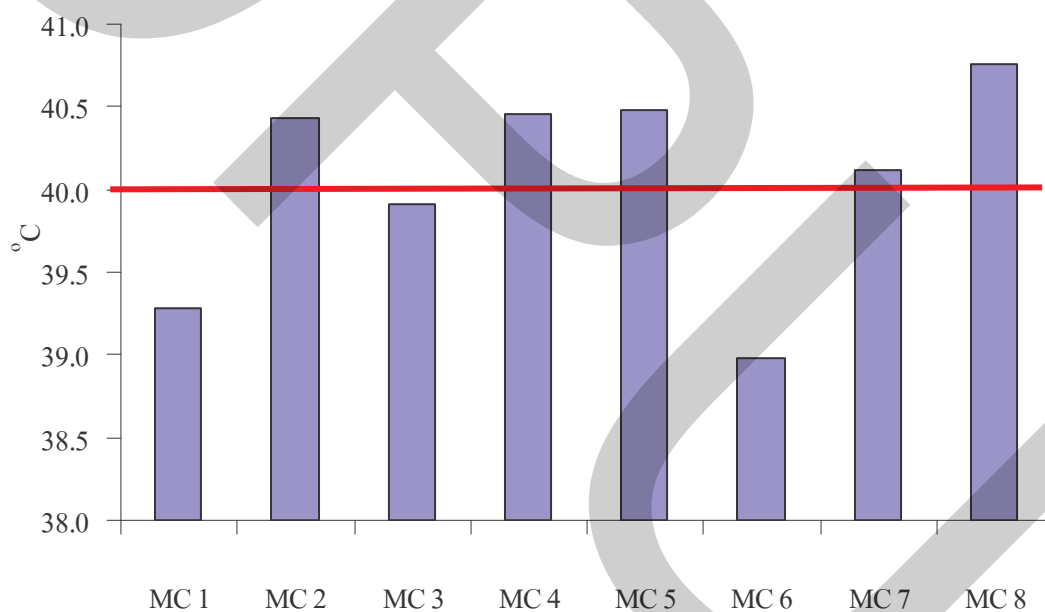
ค่า Specific heat ของตะกั่ว = 0.0306 cal/g °C



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงานก่อนการปรับปรุง

หลังจากที่ดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตโครงแผ่นธาตุสำหรับการผลิตปรกติ ของเดือน พฤศจิกายน 2550 โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 5 พฤศจิกายน 2550 ไปจนถึงวันที่ 3 ธันวาคม 2550 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 29 วัน สามารถรวบรวมข้อมูลได้ดังนี้

น้ำหนักตะกั่ว	=	463,745 kg
ปริมาณ LPG	=	54,115 Liter
ราคา LPG (ราคาวันที่ 19 ส.ค. 51)	=	10.72 บาท/Liter
อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน	=	40.05 °C
อุณหภูมิของตะกั่วก้อน	=	33.7 °C
อุณหภูมิของตะกั่วเหลว	=	450 °C
อุณหภูมิของอากาศ (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm)	=	127.2 °C
ค่า Specific heat ของตะกั่ว	=	0.0306 cal/g °C

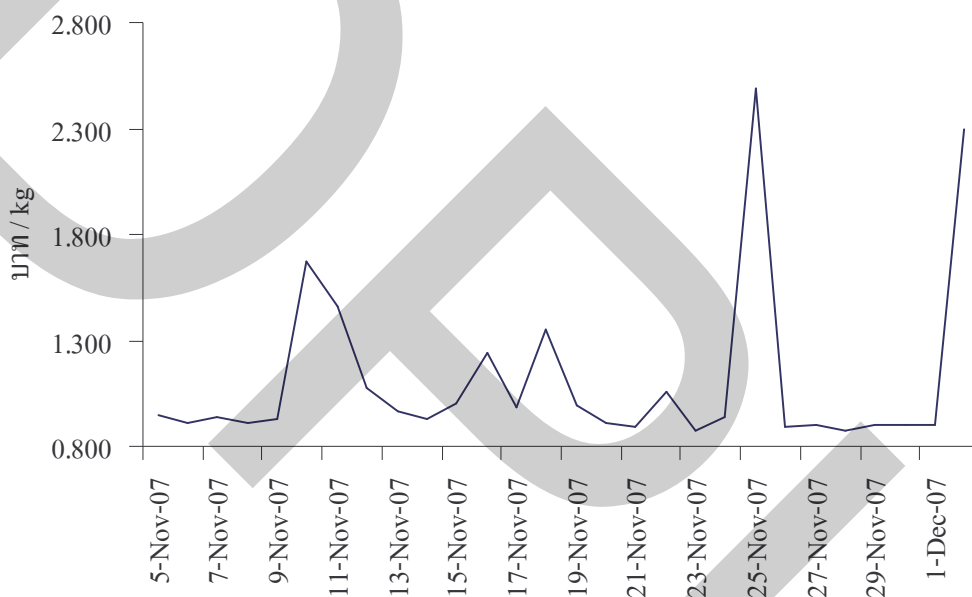


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง

4.1.2 ต้นทุนการผลิตก่อนการปรับปรุง

จากการหาต้นทุนการผลิตก่อนการปรับปรุงโดยการใช้ข้อมูลข้างต้นพบว่าอัตราการผลิตแผ่นเปลือง LPG มีค่าเท่ากับ 0.1167 L/ kg คิดเป็นมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุโดย LPG ได้เท่ากับ 1.251 บาท/ kg

ต้นทุนการใช้พลังงาน LPG (รูปที่ 4.7) ก่อนการปรับปรุง ในวันที่ 11Nov, 25Nov และ 2Dec จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าวันอื่นๆ เนื่องจากในวันที่ 11Nov, 25Nov และ 2Dec นั้นตรงกับวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันหยุด แต่ได้มีการทำงานล่วงเวลาเป็นบางส่วน จึงทำให้การใช้ประโยชน์จากพลังงาน ไม่สามารถใช้ได้อย่างเต็มที่เนื่องจากการเปิดใช้เครื่องจักรจำนวนน้อยชดเชยการผลิตในวันทำงานปกติ แต่ชุดท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว ได้ถูกต่อไว้รวมกันทั้งหมด จึงส่งผลให้การใช้พลังงานไม่คุ้มค่างับประสิทธิภาพของระบบรวม ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 4.7 ต้นทุนการใช้พลังงาน LPG ก่อนการปรับปรุง

4.1.3 ค่าการใช้ความร้อนก่อนการปรับปรุง

จากการหาค่าการใช้ความร้อนก่อนการปรับปรุงโดยการใช้ข้อมูลข้างต้น พบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง LPG มีค่าเท่ากับ 500,546 Mcal โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของ LPG มีค่าเท่ากับ 0.771 kg/ L ดังนั้นน้ำหนักของ LPG จะเป็น 41,722,665 g ค่าการให้พลังงานความร้อน (Thermal Coefficient = TC) ของ LPG grade นี้ มีค่าเท่ากับ 11,997 cal/g และมีค่าการให้ความร้อนของไฟฟ้าเท่ากับ 2,451 cal/ W

4.1.4 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

ในการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงโดยการใช้ข้อมูลข้างต้นพบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้สำหรับการหลอมตะกั่ว (q_p) มีค่าเท่ากับ 5,960 Mcal แต่ค่าพลังงาน

ความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง LPG มีค่ามากถึง 500,546 Mcal ดังนั้นค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนจะมีเพียง 1.19% ซึ่งจัดได้ว่าเป็นค่าประสิทธิภาพที่ต่ำมาก

4.1.5 ค่า CO₂ Emission ของพลังงานก่อนการปรับปรุง

จากการหาค่า CO₂ Emission ของพลังงานก่อนการปรับปรุงโดยใช้ข้อมูลข้างต้น พบว่าค่า CO₂ Emission ของการใช้พลังงาน LPG มีค่าเท่ากับ 125,170 kg-CO₂ /kg

4.1.6 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง

จากการพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุงโดยใช้ข้อมูลข้างต้น พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานมีค่าสูงถึง 40.05 °C ซึ่งถ้าเป็นช่วงฤดูร้อนประมาณเดือน เมษายน ถึงเดือน พฤษภาคม อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน ณ ตำแหน่งเดียวกันนี้จะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2 °C ถึง 3 °C

4.1.7 การสูญเสียความร้อนก่อนการปรับปรุง

จากการพิจารณาการสูญเสียความร้อนก่อนการปรับปรุง โดยใช้ข้อมูลของอากาศ (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm) พบว่าอุณหภูมิของอากาศปกติที่ 33.7 °C ได้มีค่าเป็น 127.2 °C ซึ่งคิดเป็นอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้น 93.5 °C ดังนั้นการสูญเสียความร้อนก่อนการปรับปรุงที่ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm จะมีค่าเท่ากับ 20.8%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนการปรับปรุงทั้งหมด สามารถที่สรุปข้อมูลต่างๆ ได้เพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบ ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลการใช้พลังงาน LPG ก่อนการปรับปรุง

หัวข้อ	LPG	Unit
มูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุ	1.018	บาท/kg
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	1.19	%
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว	1079.36	kcal/kg
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่วที่ประสิทธิภาพ 100%	12.85	kcal/kg
ดัชนีของ ตะกั่ว/LPG	8.57	kg/L
อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน	40.05	°C
การสูญเสียความร้อน (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm)	20.8	%

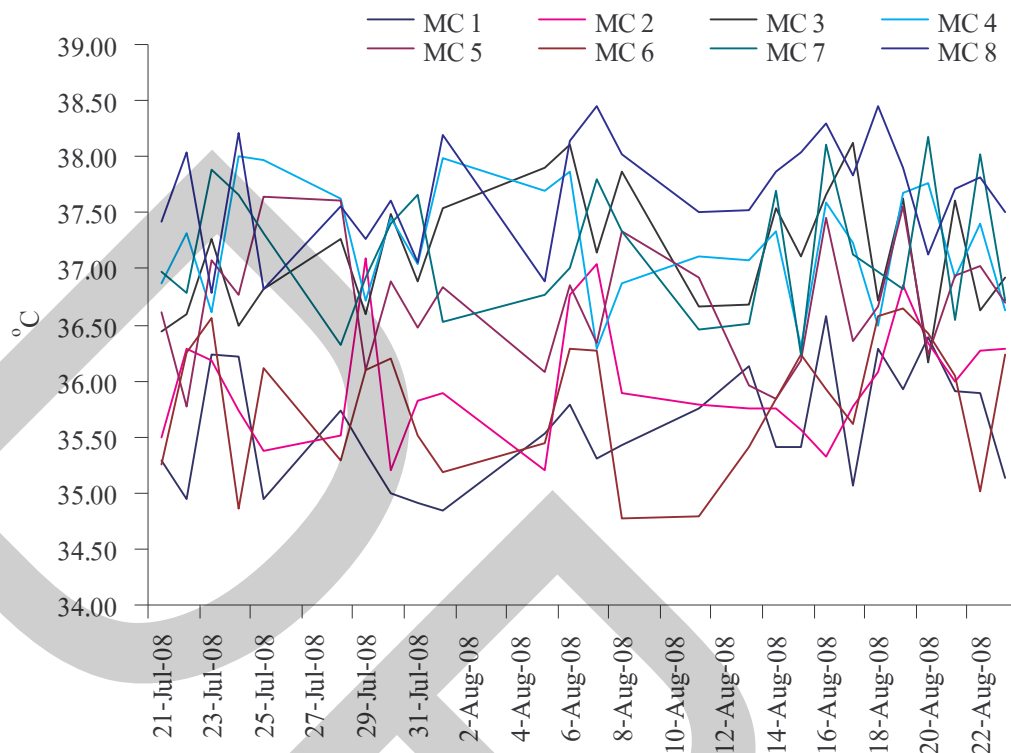
4.2 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

พื้นที่ทำงานหลังการปรับปรุง (รูปที่ 4.8) จะไม่มีแสงสีแดงปรากฏให้เห็นอยู่ แสดงถึงพื้นที่ทำงานบริเวณนี้ได้มีการแก้ไขปรับปรุงแล้ว และมีอุณหภูมิพื้นที่ทำงานใกล้เคียงกับพื้นที่ทำงานอื่น การศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูล ณ บริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงาน (รูปที่ 3.17) สำหรับการเก็บข้อมูลนี้เป็นการเก็บข้อมูลของแต่ละเครื่องจักร โดยทำการเก็บข้อมูลทุกวันเป็นเวลา 28 วันทำงาน



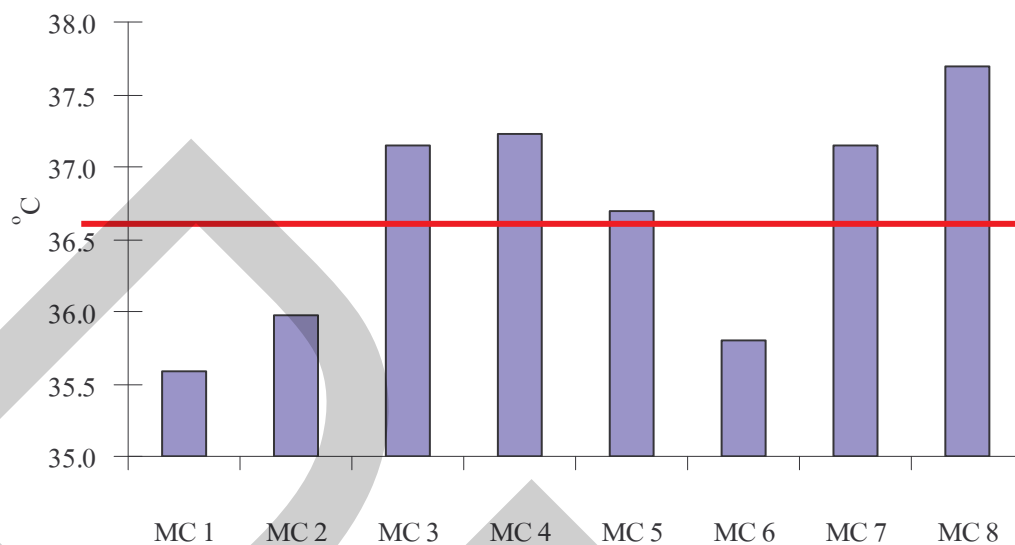
รูปที่ 4.8 พื้นที่ทำงานหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงแล้ว อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 6 ยังคงมีอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยมีอุณหภูมิอยู่เพียง $34.77\text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น ส่วนอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 8 ก็ยังคงมีอุณหภูมิสูงสุดเหมือนเดิม โดยมีอุณหภูมิสูงถึง $38.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำงานของพนักงานหลังการปรับปรุง

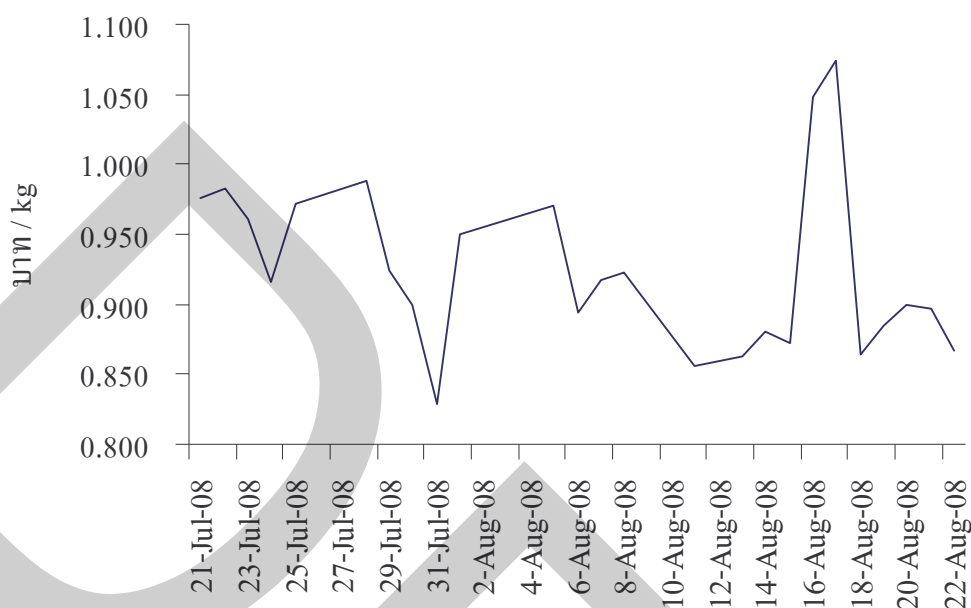
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานหลังการปรับปรุง (รูปที่ 4.10) อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 1 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่เพียง 35.67 °C เท่านั้น ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ทำงานของเครื่องที่ 8 นั้น ยังคงมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่สูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงถึง 37.72 °C ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานทั้ง 8 เครื่องมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36.67 °C



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานหลังการปรับปรุง

จากตาราง (ภาคผนวก 2) เป็นการเก็บข้อมูลการผลิตโครงแผ่นชาตุการทดลองการใช้ Heater ซึ่งได้ทำการติดตั้งแล้วเสร็จในวันที่ 20 กรกฎาคม 2551 โดยเริ่มเก็บข้อมูล ตั้งแต่ 21 กรกฎาคม 2551 ไปจนถึง 22 สิงหาคม 2551 รวมเป็นระยะเวลาการทำงานทั้งสิ้น 25 วันสามารถที่จะรวบรวมข้อมูลได้ดังนี้

น้ำหนักตะกั่ว	=	82,679 kg
ปริมาณไฟฟ้า	=	4,464.4 kWh
ปริมาณ LPG	=	7,388 L
ราคา LPG (ราคาวันที่ 19 ส.ค. 51)	=	10.72 บาท/L
ราคาไฟฟ้า	=	3.10 บาท/kW-h
อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน	=	36.66 °C
อุณหภูมิของตะกั่วก้อน	=	33.70 °C
อุณหภูมิของตะกั่วเหลว	=	450 °C
อุณหภูมิของอากาศ (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm)	=	42.50 °C
ค่า Specific heat ของตะกั่ว	=	0.0306 cal/g °C



รูปที่ 4.11 ต้นทุนการใช้พลังงาน หลังการปรับปรุง

ต้นทุนการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง ในวันที่ 16 และ 17 สิงหาคม จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าวันอื่นๆ เนื่องจากในวันที่ 16 และ 17 สิงหาคม ตรงกับวันหยุด แต่ได้มีการทำงานล่วงเวลาเป็นบางส่วน จึงทำให้การใช้ประโยชน์จากพลังงาน ไม่สามารถใช้อย่างเต็มที่

4.2.1 ต้นทุนการผลิตหลังการปรับปรุง

จากการหาต้นทุนการผลิตหลังการปรับปรุงโดยการใช้ข้อมูลข้างต้น พบว่าอัตราการสิ้นเปลือง LPG เท่ากับ 0.089 L/ kg คิดเป็นมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุโดยพลังงาน LPG มีค่าเท่ากับ 0.958 บาท/ kg

อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าเมื่อใช้ Heater ไฟฟ้า จะมีค่าเป็น 0.054 kW-h/ kg, คิดเป็นมูลค่าการผลิตโครงแผ่นธาตุโดยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.167 บาท/ kg

เมื่อรวมต้นทุนรวม ของพลังงานจะได้ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุหลังการปรับปรุงเป็นมูลค่าเท่ากับ 1.125 บาท/ kg

4.2.2 ค่าการใช้ความร้อนหลังการปรับปรุง

เมื่อหาค่าการใช้ความร้อนหลังการปรับปรุงโดยการใช้ข้อมูลข้างต้น พบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ด้วยเชื้อเพลิง LPG มีค่าเท่ากับ 68.3 Mcal และมีค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 10.9 Mcal ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนรวมที่ใช้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 79.2 Mcal โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของ LPG มีค่าเท่ากับ 0.771 kg/ L คิดเป็นน้ำหนักของ LPG ได้

เท่ากับ 5,696,148 g ค่าการให้พลังงานความร้อน (Thermal Coefficient = TC) ของ LPG grade นี้มีค่าเท่ากับ 11,997 cal/g และมีค่าการให้ความร้อนของไฟฟ้าเท่ากับ 2,451 cal/ W

4.2.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

จากการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงโดยการใช้ข้อมูลข้างต้นพบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้สำหรับการหลอมตะกั่ว (q_{pb}) มีค่าเท่ากับ 1,062.6 Mcal แต่ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง LPG มีค่ามากถึง 500,546 Mcal ดังนั้นค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนจะมีค่าเป็น 7.45% ซึ่งได้เพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการปรับปรุง

4.2.4 ค่า CO₂ Emission ของพลังงานหลังการปรับปรุง

ค่า CO₂ Emission ของพลังงานหลังการปรับปรุงจะมีค่าเป็น 19,493 kg-CO₂ /kg โดยที่ค่า CO₂ Emission ของการใช้พลังงาน LPG มีค่าเท่ากับ 17,089 kg-CO₂ /kg และค่า CO₂ Emission ของการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2,404 kg-CO₂ /kg

โดยมีน้ำหนักตะกั่วทั้งหมด 82,679 kg ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 4,464.4 kW-h ปริมาณ LPG ที่ใช้ 7,388 L อุณหภูมิของตะกั่วก่อนอยู่ที่ 33.7°C อุณหภูมิของตะกั่วเหลวอยู่ที่ 450 °C และค่า Specific heat ของตะกั่วเท่ากับ 0.0306 cal/g °C

4.2.5 การสูญเสียความร้อนหลังการปรับปรุง

จากการพิจารณาการสูญเสียความร้อนหลังการปรับปรุง โดยการใช้อุณหภูมิของอากาศ (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm) พบว่าอุณหภูมิของอากาศปกติที่ 33.7°C ได้มีค่าเป็น 42.5°C ซึ่งคิดเป็นอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้น 8.8°C ดังนั้นการสูญเสียความร้อนหลังการปรับปรุงที่ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm จะมีค่าเท่ากับ 2.0%

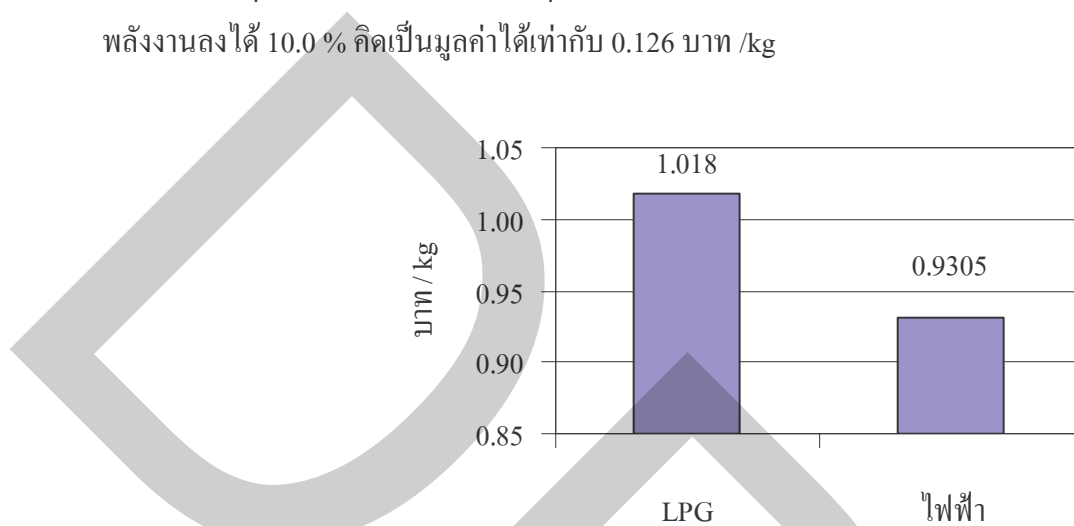
4.3 การวิเคราะห์ผลศึกษา

จากการศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง ได้มีการวิเคราะห์ผลศึกษาแบ่งออกเป็น 6 หัวข้อคือ

- 1) ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ
- 2) ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
- 3) พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว
- 4) CO₂ Emission ต่อการผลิต
- 5) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน
- 6) การสูญเสียความร้อน

4.3.1 ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ

ต้นทุนพลังงานก่อนการปรับปรุง จะมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 1.251 บาท/ kg แต่การผลิตโครงแผ่นธาตุโดยการใช้ไฟฟ้าจะมีต้นทุนพลังงานเพียง 1.125 บาท/kg ซึ่งสามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานลงได้ 10.0 % คิดเป็นมูลค่าได้เท่ากับ 0.126 บาท /kg



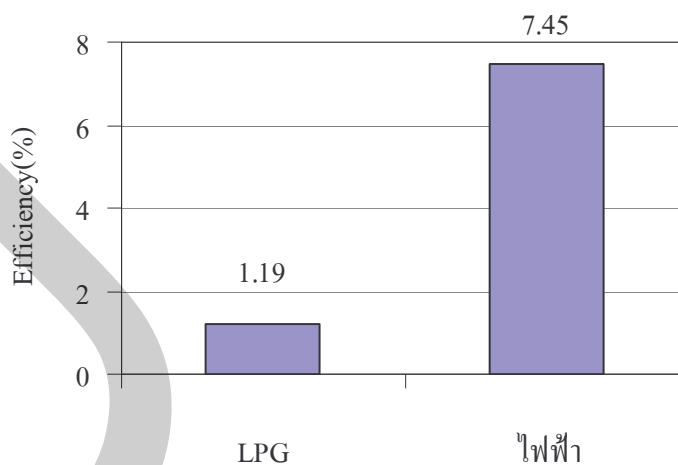
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

ถึงแม้ว่ามูลค่าพลังงานของ LPG จะมีมูลค่าพลังความร้อนถูกกว่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 2.14 เท่า แต่พลังงาน LPG มีการสูญเสียพลังงานความร้อนไปในอากาศเป็นจำนวนมาก ขณะที่พลังงานไฟฟ้ามีการสูญเสียความร้อนที่น้อยกว่า เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตโดยพลังงานไฟฟ้ามีมูลค่าถูกกว่าต้นทุนการผลิตโดย พลังงาน LPG

4.3.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงมีเพียง 1.19 % เท่านั้น แต่การผลิตโครงแผ่นธาตุโดยการใช้ไฟฟ้า จะให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานถึง 7.45 % สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น 6.26%

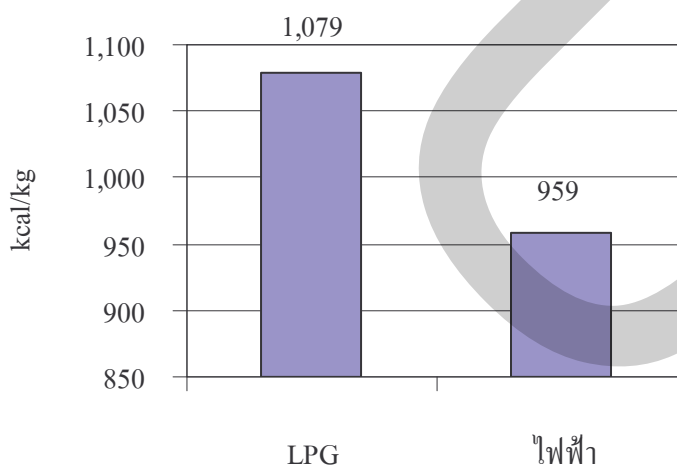
ปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดย LPG มีประสิทธิภาพน้อยคือ การสูญเสียพลังงานความร้อนไปในอากาศเป็นจำนวนมาก เนื่องจากไม่สามารถที่ทำความร้อนมาหุ้มกันความร้อนไว้ ในขณะที่พลังงานไฟฟ้ามีการสูญเสียความร้อนที่น้อยกว่า เนื่องจากมีฉนวนกันความร้อนหุ้มไว้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยไฟฟ้า สูงกว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดย LPG



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

4.3.3 พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว

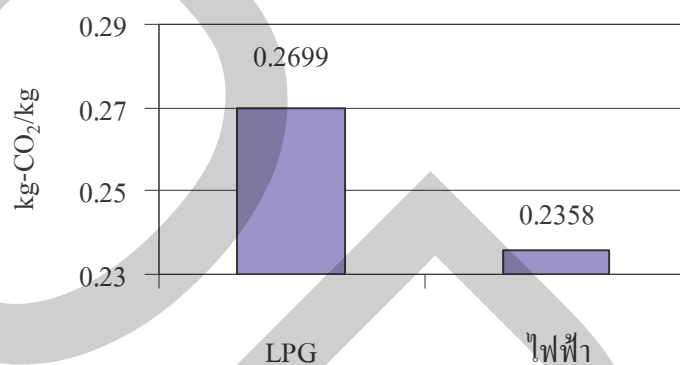
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว ก่อนการปรับปรุงมีปริมาณการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1079.36 kcal/kg แต่การผลิตโครงแผ่นธาตุโดยการใช้ไฟฟ้า มีปริมาณการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยอยู่เพียง 958.88 kcal/kg ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานความร้อนลงได้ 11.2% คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ลดได้เท่ากับ 120.48 kcal/kg



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบพลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว

4.3.4 CO₂ Emission ต่อการผลิต

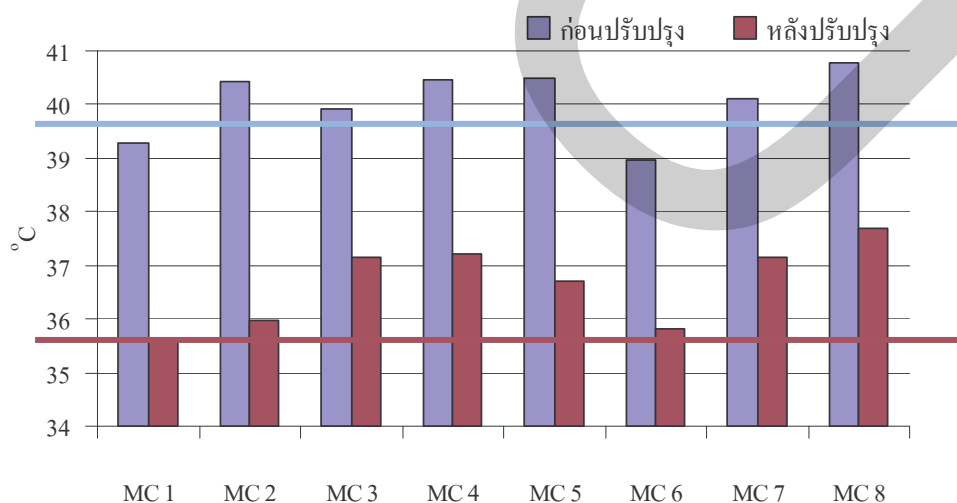
CO₂ Emission ต่อการผลิต ก่อนการปรับปรุงมี CO₂ Emission อยู่ที่ 0.2699 kg-CO₂/kg แต่การผลิตโครงแผ่นธาตุโดยการใช้ไฟฟ้าจะมี CO₂ Emission อยู่เพียง 0.2358 kg-CO₂/kg ซึ่งสามารถลด CO₂ Emission ลงได้ถึง 12.6% คิดเป็นปริมาณ CO₂ ได้เท่ากับ 0.0341 kg-CO₂/kg (การคำนวณ ดูได้จากภาคผนวก 7)



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบ CO₂ Emission ต่อการผลิต

4.3.5 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน

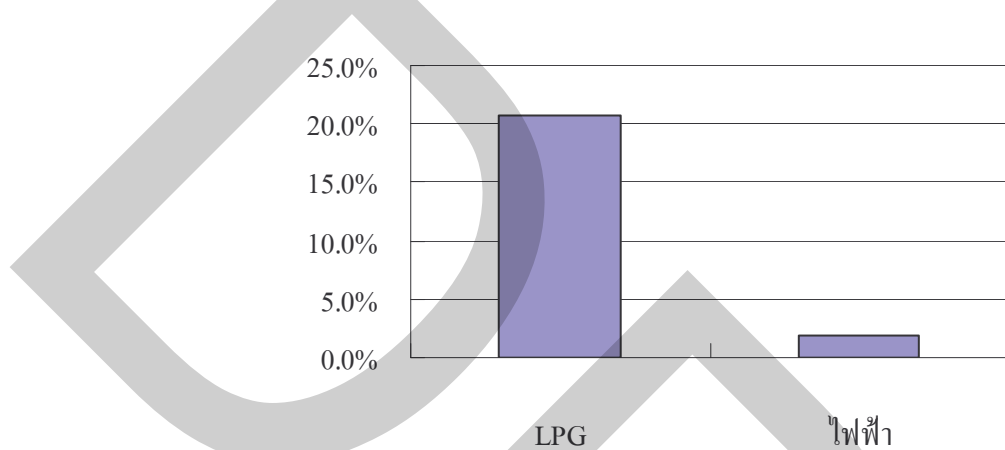
อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานก่อนการปรับปรุง มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 40.05°C แต่การผลิตโครงแผ่นธาตุโดยการใช้ไฟฟ้าจะอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานอยู่เพียง 36.66°C ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยลงได้ 8.5% คิดเป็นอุณหภูมิที่ลดลงได้เท่ากับ 3.39°C



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

4.3.6 การสูญเสียความร้อน

ความร้อนก่อนการปรับปรุงที่ระยะห่างจากตะกั่วเหลวมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 127.2°C แต่การผลิตโครงแผ่นธาตุโดยใช้ไฟฟ้า ทำให้อุณหภูมิที่ระยะห่างจากตะกั่วเหลวมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่เพียง 42.5°C ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยลงได้ 18.8% คิดเป็นอุณหภูมิที่ลดลงได้เท่ากับ 84.7°C



รูปที่ 4.17 การสูญเสียความร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นทั้งหมด สามารถที่สรุปเปรียบเทียบได้ให้เห็นอย่างชัดเจนในทุกๆ ด้านดังตารางที่ 4.2 ทั้งต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว CO_2 Emission ต่อการผลิต อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน และ การสูญเสียความร้อน

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการผลิตโครงแผ่นธาตุ โดยพลังงาน LPG และพลังงานไฟฟ้า

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการปรับปรุง	Unit
ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ	1.018	0.9305	-0.0875	บาท/kg
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	1.19	7.45	6.26	%
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว	1079.36	958.88	-120.48	kcal/kg
พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่วที่ประสิทธิภาพ 100%	12.85	-	-	kcal/kg
CO ₂ Emission ต่อการผลิต	0.2699	0.2358	-0.0341	kg-CO ₂ /kg
อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน	40.05	36.66	-3.39	°C
การสูญเสียความร้อน (ระยะห่างจากท่อตะกั่วเหลว 10 cm)	20.8	2.0	18.8	%

4.3.6 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในมุมมองต่างๆ เริ่มต้นจากเรื่องต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่ว ค่า CO₂ Emission ต่อการผลิต และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงาน สามารถที่สรุปข้อมูลได้ดังนี้

1) ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุได้ลดลง 10.0% เป็นจำนวนเงินที่ลดลงได้ 0.126 บาท/kg โดยที่ก่อนการปรับปรุงมีต้นทุนพลังงานอยู่ที่ 1.251 บาท/kg และหลังการปรับปรุงมีต้นทุนพลังงานอยู่ที่ 1.125 บาท/kg

2) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้เพิ่มขึ้น 6.26% โดยที่ก่อนการปรับปรุงมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ที่ 1.19% และหลังการปรับปรุงมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ที่ 7.45%

3) พลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่วได้ลดลง 11.2% เป็นจำนวนพลังงานความร้อนที่ลดลงได้ 120.48 kcal/kg โดยที่ก่อนการปรับปรุงมีพลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่วอยู่ที่ 1079.36 kcal/kg และหลังการปรับปรุงมีพลังงานความร้อนที่ใช้หลอมตะกั่วอยู่ที่ 958.88 kcal/kg

4) CO₂ Emission ต่อการผลิตได้ลดลง 12.6% เป็นจำนวน CO₂ ที่ลดลงได้ 0.0341 kg-CO₂/kg โดยที่ก่อนการปรับปรุงมี CO₂ Emission ต่อการผลิตอยู่ที่ 0.2699 kg-CO₂/kg และหลังการปรับปรุงมี CO₂ Emission ต่อการผลิตอยู่ที่ 0.2358 kg-CO₂/kg

5) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทำงานได้ลดลง 8.5% เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลดลงได้ 3.39°C โดยที่ก่อนการปรับปรุงมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 40.05°C และหลังการปรับปรุงมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36.66°C

6) การสูญเสียความร้อนได้ลดลง 18.8% เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลดลงได้ 84.7°C โดยที่ก่อนการปรับปรุงมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 127.2°C และหลังการปรับปรุงมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 42.5°C

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

โครงการแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วของโรงงานแบตเตอรี่มีมูลค่าการลงทุนรวมทั้งโครงการเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 1,450,000 บาท ปริมาณการผลิต Battery ทั้งปีของปี พ.ศ. 2550 มีจำนวนผลผลิตประมาณ 1,250,000 ลูก

ปริมาณตะกั่วที่ใช้สำหรับการผลิตแบตเตอรี่ 1 ลูก มีค่าเฉลี่ยความสิ้นเปลืองตะกั่วตะกั่วอยู่ที่ 9.2 kg/ลูก สามารถคิดเป็นน้ำหนักตะกั่วที่ใช้สำหรับการผลิตทั้งปี พ.ศ. 2550 ได้เท่ากับ 11,500,000 kg

จากข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ ในบทที่ 4 ได้ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 1.251 บาท/kg ต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุหลังการปรับปรุงเท่ากับ 1.125 บาท/kg อายุการใช้งานของ Heater มีระยะเวลาประมาณ 4 เดือน ราคาของ Heater เท่ากับ 800 บาท/ตัว จำนวนที่ใช้ Heater มีทั้งสิ้น 192 ตัว

ทำการแทนค่าน้ำหนักตะกั่วที่ใช้สำหรับการผลิตทั้งปี (Pquant) และต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุก่อนการปรับปรุง (Indb) ลงในสมการที่ 3.6 จะได้มูลค่าของพลังงานก่อนการปรับปรุง (Pvb) เท่ากับ 11,707,000 บาท/ปี

ทำการแทนค่าน้ำหนักตะกั่วที่ใช้สำหรับการผลิตทั้งปี (Pquant) และต้นทุนพลังงานสำหรับการผลิตโครงแผ่นธาตุหลังการปรับปรุง (Inda) ลงในสมการที่ 3.7 จะได้มูลค่าของพลังงานหลังการปรับปรุง (Pva) เท่ากับ 10,700,750 บาท/ปี

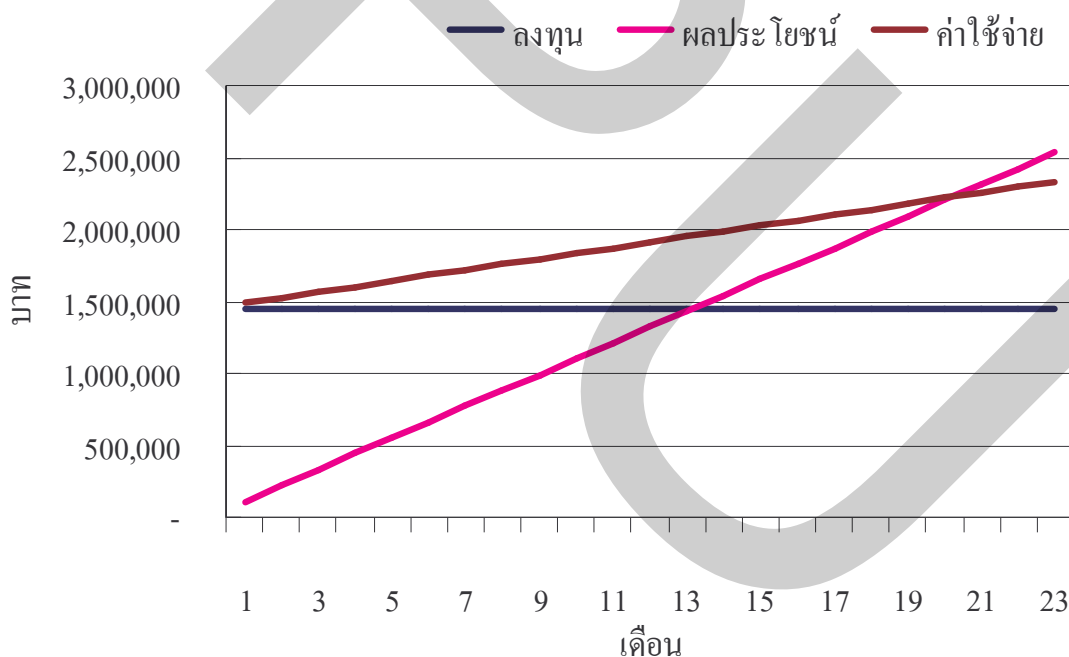
ทำการแทนค่ามูลค่าของพลังงานก่อนการปรับปรุง (Pvb) และมูลค่าของพลังงานหลังการปรับปรุง (Pva) ลงในสมการที่ 3.5 จะได้มูลค่าของผลประหยัด (Pv) เท่ากับ 1,006,250 บาท/ปี มูลค่าการบำรุงรักษาเมื่อทำการคำนวณจากจำนวนของ Heater ที่ใช้ใน ระบบ ราคาของ Heater ต่อชิ้นคิดเป็น 1,440 บาท รวมทั้งหมด 360 ชิ้น เป็นราคาเท่ากับ 460,800 บาท/ปี

นอกจากนั้นโครงการนี้ยังได้รับผลทางอ้อมโดยสามารถลดการใช้เครื่องกำจัดฝุ่นควัน (Dust collector) ลงไปได้อีกจำนวน 1 เครื่อง (รูปที่ 4.1) ส่งผลให้ท่อดูดฝุ่นควันซึ่งติดตั้งอยู่ในรูปที่ 4.6 สามารถรูดถอนออกได้จำนวน 8 ชุด โดยที่เมื่อลดจำนวนเครื่องกำจัดฝุ่นควัน จะทำให้สามารถ

ลดการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าได้ 43.44 kWh เมื่อตัดเวลาการทำงานของเครื่องอยู่ที่ประมาณ 12 hr/day และมีการทำงานเดือนละ 18 วัน สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เท่ากับ 315,270บาท/ปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยราคาหน่วยละ 3.10 บาท

จากการแทนค่าข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าต้นทุนคงที่ คือต้นทุนที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ มีมูลค่าเท่ากับ 1,450,000 บาท และมีต้นทุนแปรผันจากการซ่อมบำรุงเท่ากับ 460,800 บาท/ปี และผลประโยชน์ที่ได้ คือ มูลค่าที่ประหยัดได้ของโครงการรวม และผลทางอ้อมที่เกิดจากการลดการใช้เครื่องดูดฝุ่นควันมีมูลค่ารวมเท่ากับ 1,321,520 บาท/ปี

จากมูลค่าการลงทุน (Iv) ของการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานจาก LPG เป็น Heater ไฟฟ้า พบว่าจำนวนเงินที่ใช้เท่ากับ 1,450,000 บาท ต้นทุนในการซ่อมบำรุงต่อปี (M-cost) จำนวนเงินที่ใช้เท่ากับ 460,800 บาท/ปี มูลค่าผลประหยัดทางตรง (Pi) รวมกับมูลค่าของผลประหยัดทางอ้อม (Pd) จำนวนเงินที่ใช้เท่ากับ 1,321,520บาท/ปี ทำให้โครงการนี้สามารถคุ้มทุนได้ภายในเวลา 1 ปี 8 เดือน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของโครงการ

5.2 อภิปรายผล

การเปรียบเทียบข้อมูล การใช้พลังงานเมื่อใช้ระบบ LPG และระบบไฟฟ้า พบว่าปัจจัยสำคัญสิ่งหนึ่งซึ่งที่คนส่วนใหญ่มองข้ามคือ เรื่องมูลค่าของพลังงาน โดยหากพิจารณามูลค่าของ LPG ที่มีมูลค่า 10.72 บาท / L และมูลค่าของไฟฟ้าที่ 3.10 บาท / kW-h พบว่าการให้พลังงานความร้อนของไฟฟ้าจะน้อยกว่าการให้พลังงานความร้อนของ LPG โดยที่ไฟฟ้าจะให้พลังงานความร้อนเท่ากับ 1.2 MJ/บาท แต่ LPG จะให้พลังงานความร้อนเท่ากับ 2.5 MJ/บาท ซึ่งพลังงาน LPG จะมีมูลค่าสูงกว่าพลังงานไฟฟ้าถึง 53.2%

ในกรณีศึกษาที่ผลที่ได้เป็นไปได้เป็นไปในทางตรงกันข้ามกัน เนื่องจากการใช้พลังงาน LPG ได้มีการสูญเสียความร้อนไปมากถึง 98.81% ในขณะที่พลังงานไฟฟ้ามีการสูญเสียความร้อนไปเพียง 92.55% ซึ่งหากพิจารณามูลค่าพลังงานความร้อน ประกอบกับการสูญเสียความร้อนแล้ว จะพบว่ามูลค่าของการผลิตโดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกกว่ามูลค่าของการผลิตโดยพลังงาน LPG

ผลทางอ้อมของโครงการนี้ ได้เกิดขึ้นกับพนักงานที่ปฏิบัติงาน ณ กระบวนการผลิตนี้ ด้วยทำให้พนักงานมีความสบายขึ้น โดยที่อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำงานนี้ได้ลดลง 3.39°C

โครงการนี้ได้ทำการสมัครเข้าร่วมกับ โครงการสิทธิประโยชน์ทางภาษี เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 2 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับ 2,645,892 บาท/ปี แต่มีผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าที่คาดไว้ ประมาณ 881,964 บาท/ปี เนื่องจากราคาของ LPG ได้มีการปรับตัวสูงขึ้นถึง 3 บาท/ลิตร ขณะที่ไฟฟ้ามีการปรับราคาขึ้นเพียง 0.3 บาท / kWh

5.3 ปัญหาของโครงการ

จากการศึกษาปัญหาของโครงการพบว่า มีปัจจัยหลัก อยู่ 2 ปัจจัย ดังนี้

- 1) ปัจจัยของการติดตั้ง
- 2) ปัจจัยของการออกแบบ

5.3.1 ปัจจัยของการติดตั้ง

เมื่อพิจารณาการติดตั้ง พบว่ามีการใช้วัสดุไม่ตรงตามแบบโดยในการออกแบบได้กำหนดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของท่อส่งน้ำตะกั่วเป็น 32 mm. โดยที่ท่อมีขนาดความหนาเท่ากับ 8 mm.

อย่างไรก็ตามในการสั่งซื้อท่อส่งน้ำตะกั่วเกิดความผิดพลาดจากเจ้าหน้าที่จัดซื้อ ทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ลดไปจากค่าออกแบบเป็น 35 mm. เข้ามา ส่งผลให้ต้องมีการตัดแปลงโดยทำการกลึงผิวด้านนอกของท่อออกไปทั้งสิ้น 1.5 mm. เพื่อให้ Heater สามารถประกอบลงบนท่อได้

อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาของท่อส่งน้ำตะกั่วโดยวิธีข้างต้นนี้ ส่งผลให้เกิดการยึดตัวของท่อส่งน้ำตะกั่วขึ้นเป็นความยาวประมาณ 40 mm. ขึ้นอยู่กับความร้อนที่ผิวท่อ ทำให้เกิดการแตกบริเวณรอยเชื่อมของท่อส่งน้ำตะกั่ว

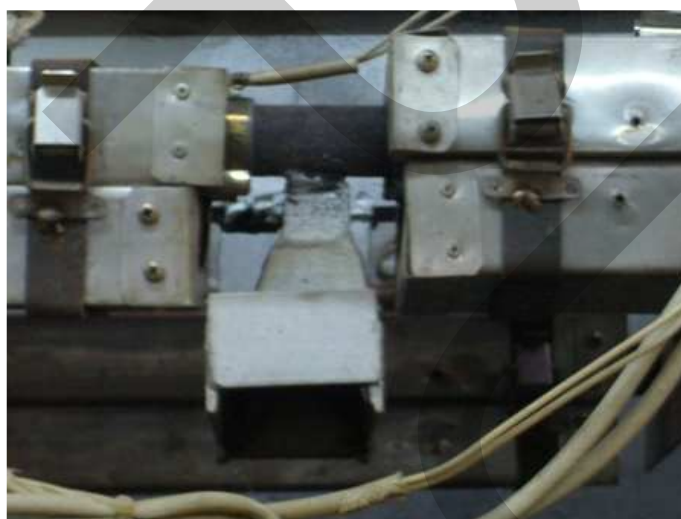
แนวทางการแก้ไข

แนวทางการแก้ไขปัญหานี้ ทำได้โดยการเปลี่ยนท่อส่งน้ำตะกั่วใหม่ จากขนาดเดิม เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 35 mm. เป็นท่อส่งน้ำตะกั่ว ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 32 mm.

5.3.2 ปัญหาจากการออกแบบ

1) ใช้เวลาละลายตะกั่วในเวลานาน

การละลายตะกั่วในช่วงเริ่มต้นทำการผลิตใช้เวลานานประมาณ 1 ชั่วโมง ทำให้เสียเวลาการผลิตนานเกินไป จากข้อมูลการทดลองตามขั้นตอนการทดลองเก็บข้อมูลก่อนการออกแบบปรับปรุงในบทที่ 3 นั้น เวลาการหลอมละลายตะกั่วจะใช้เวลา 8 นาที 3 วินาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าการทดลองถึง 50 นาที



รูปที่ 5.2 ไม่มีฉนวนกันความร้อนช่วงรอยต่อ

การศึกษาปัญหาพบว่า การออกแบบของระบบไม่ได้มีการกำหนดให้ใช้ฉนวนกันความร้อนตามบริเวณช่วงรอยต่อของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว (รูปที่ 5.2) เป็นผลให้ความร้อนของท่อส่งน้ำตะกั่วบริเวณรอยต่อได้เกิดการสูญเสียความร้อนไปค่อนข้างมาก ทำให้ Heater ต้องทำงานมากขึ้น และทำให้ใช้เวลานานในการหลอมละลายตะกั่วภายในท่อให้หลอมเหลว

แนวทางการแก้ไข

แนวทางการแก้ไขปัญหานี้ ทำได้โดยการนำฉนวนกันความร้อน ซึ่งเป็นชนิดผ้ากันความร้อน ที่มีความทนอุณหภูมิได้มากกว่า 400°C มาทำการหุ้มที่ช่วงรอยต่อระหว่าง Heater รูปที่

5.3.3 ทำให้การสูญเสียความร้อนลดลง



รูปที่ 5.3 เพิ่มฉนวนกันความร้อนช่วงรอยต่อ

Heater ขาดบ่อย

การขาดของ Heater ส่วนใหญ่จะเป็นการขาดเนื่องจากการ Short ของสายไฟที่จ่ายไฟให้กับ Heater ในตำแหน่งที่ใกล้กับขั้วต่อของ Heater สาเหตุเนื่องจากขั้วต่อของ Heater ที่ต่อเข้ากับสายไฟสั้นเกินไป ทำให้ขั้วต่อสายไฟไม่ไหลออกมาจากฉนวน เป็นผลให้สายไฟที่อยู่ในฉนวนถูกอบด้วยไอความร้อน ทำให้สายไฟกรอบและเกิดการลัดวงจรเกิดขึ้น (รูปที่ 5.4)



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบขั้วต่อสายไฟฟ้า

แนวทางการแก้ไข

แนวทางการแก้ไขปัญหานี้ ทำได้โดยการออกแบบ Heater ใหม่ ซึ่งมีการกำหนดความสูงของขั้วต่อสายไฟฟ้ามากกว่า Heater แบบเดิมประมาณ 20 mm. ดังรูปที่ 5.4 ทำให้หลังจากที่ประกอบลงในกล่องกันความร้อนที่มีฉนวนหุ้มแล้ว ขั้วต่อสายไฟฟ้ามีการโผล่พ้นออกมาด้านนอกของกล่อง ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งทำให้สายไฟไม่ถูกอบด้วยไอความร้อน



รูปที่ 5.5 ขั้วต่อสายไฟฟ้าโผล่ออกมาจากฉนวน

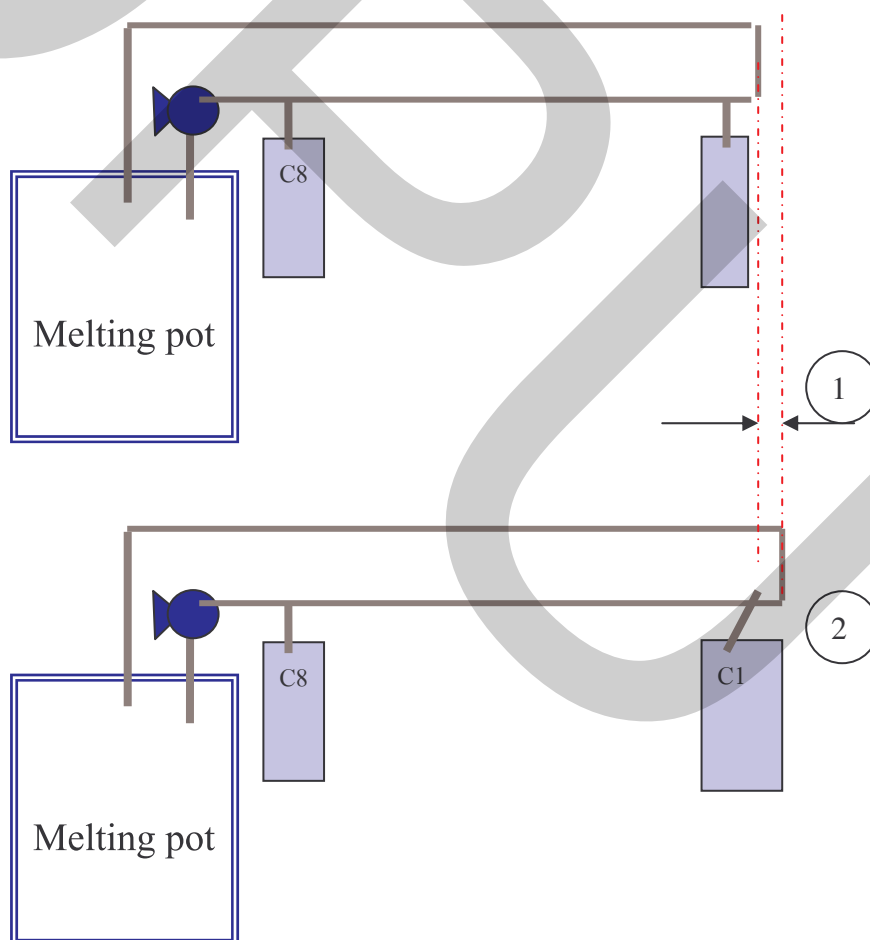
การขยายตัวของท่อส่งน้ำตะกั่ว

ในขณะที่ท่อส่งน้ำตะกั่ว มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามความร้อนของ Heater ซึ่งส่งผ่านมานั้น ท่อส่งน้ำตะกั่วจะเกิดการขยายตัว แต่การออกแบบของระบบไม่ได้มีการคำนึงค่าการขยายตัวของท่อส่งน้ำตะกั่ว จากการติดตั้งการขยายตัวของท่อส่งน้ำตะกั่ว ได้มีการขยายตัวมากถึง 40 mm. (จุดที่ 1 ของรูปที่ 5.6) ทำให้ตัว Support ในจุดที่อยู่ด้านปลายของระบบ เกิดการแตกร้าวขึ้นได้ดังรูปที่ 5.7 ทั้งยังส่งผลให้จุดแยกที่ส่งน้ำตะกั่วเหลวเข้าเครื่องผลิตโครงแผ่นธาตุเกิดการรั่วขึ้น (จุดที่ 2 ของรูปที่ 5.6) ทำให้น้ำตะกั่วเหลวไหลโดน Heater ส่งผลให้ Heater เกิดการลัดวงจร

แนวทางการแก้ไข

แนวทางการแก้ไขปัญหานี้ มีการทำการแก้ไขได้ 2 วิธีคือ

- 1) ทำการเปลี่ยน Support แบบใหม่
- 2) ทำการใส่ท่อหดเพื่อลดการขยายตัวของท่อส่งน้ำตะกั่ว



รูปที่ 5.6 การขยายตัวของท่อ

เปลี่ยน Support แบบใหม่ โดยทำการรื้อ Support แบบเดิมที่ติดอยู่กับโครงสร้างของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 Support หลุดจากจุดเชื่อม

ทำตัว Support แบบใหม่ โดยที่ Support ถูกออกแบบให้สามารถเลื่อนตัวไปมาได้ โดยที่ไม่มีการเชื่อมยึดติดระหว่างระบบท่อส่งน้ำตะกั่วเหลวกับ Support แต่ได้มีการทำฐานรองรับขึ้นมาใหม่ในแต่ละจุดดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 Support ใหม่สามารถเลื่อนได้

ทำการเพิ่มท่อหดสำหรับลดการขยายตัวของท่อ (รูปที่ 5.9) โดยท่อหดที่นำมาติดตั้งนี้เป็นท่อที่มีการหดตัว ตั้งแต่ 0 mm. ไปจนถึง 50 mm. ซึ่งคุณสมบัติของท่อหดนี้มีมากเกินพอสำหรับการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงซึ่งมีเพียง 40 mm.



รูปที่ 5.9 ท่อหดสำหรับลดการขยายตัวของท่อ

5.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

แนวทางการดำเนินงานต่อไป ยังคงเป็นแนวคิดในการปรับปรุงพัฒนาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใช้ความร้อนของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วอย่างต่อเนื่อง โดยมีแนวคิดการพัฒนาได้ 3 รูปแบบ คือ

5.4.1 การศึกษาแนวทางการลดอุณหภูมิของระบบการให้ความร้อนที่ท่อส่งน้ำตะกั่ว ปัจจุบันได้ทำการตั้งค่าอุณหภูมิใช้งานของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วอยู่ที่ 450°C แต่ความต้องการความร้อนสำหรับการหลอมละลายของตะกั่ว ต้องการอุณหภูมิส่งน้ำตะกั่วเพียง 318°C เท่านั้น ซึ่งอุณหภูมิใช้งานของระบบท่อส่งน้ำตะกั่วในปัจจุบันมีการตั้งค่าไว้มากกว่าจุดหลอมละลายของตะกั่วถึง 132°C

เพื่อต้องการลดความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับ Heater ลงเนื่องจากการใช้พลังงานความร้อนที่ไม่จำเป็น ในการให้ความร้อนกับท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว อุณหภูมิการหลอมละลายของตะกั่ว โดยทำการทดลองลดอุณหภูมิใช้งานให้ลงเหลือเพียง 400°C เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการลดอุณหภูมิลงนี้ต้องมีการคำนึงถึง คุณภาพของชิ้นงาน และความหนืดของน้ำตะกั่ว ซึ่งจะส่งผลต่อ ความสามารถในการผลิต และการไหลในท่อส่งน้ำตะกั่วเหลว

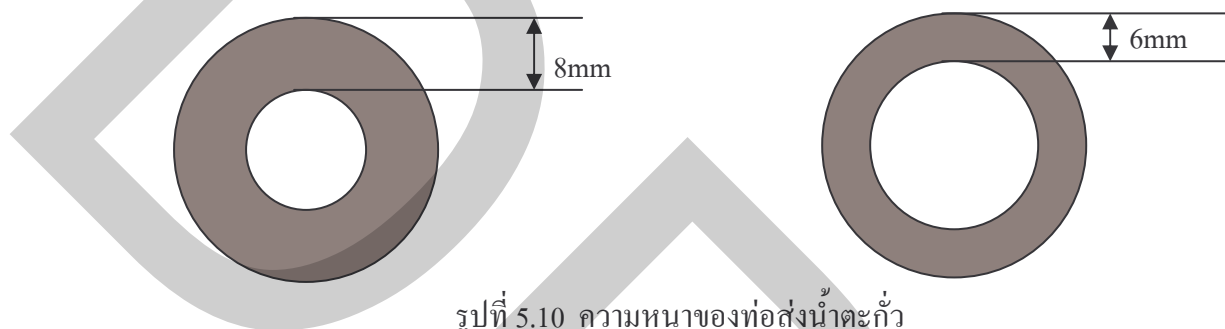
5.4.2 การศึกษาการอนุรักษ์พลังงาน โดยลดความเร็วรอบของ pump ส่งน้ำตะกั่ว ปัจจุบันความเร็วรอบที่ใช้งานจะถูกตั้งค่าไว้ที่ 850 รอบต่อนาที โดยการสังเกตที่ระบบส่งกลับคืนน้ำตะกั่ว พบว่ามีน้ำตะกั่วไหลคืนกลับมายังเตาหลอมในปริมาณที่มาก

เพื่อต้องการลดความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับ Pump ลงเพื่อลดปริมาณตะกั่วที่ส่งเข้าไปในท่อส่งน้ำตะกั่ว ในขณะที่น้ำตะกั่วที่ส่งเข้าไปในท่อส่งน้ำตะกั่ว น้อยลงนั้น จะทำ

ให้การแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงไปด้วยโดยทำการลดความเร็วรอบของ Pump ส่งน้ำตะกั่ว ลงเหลือ 600 รอบต่อนาที

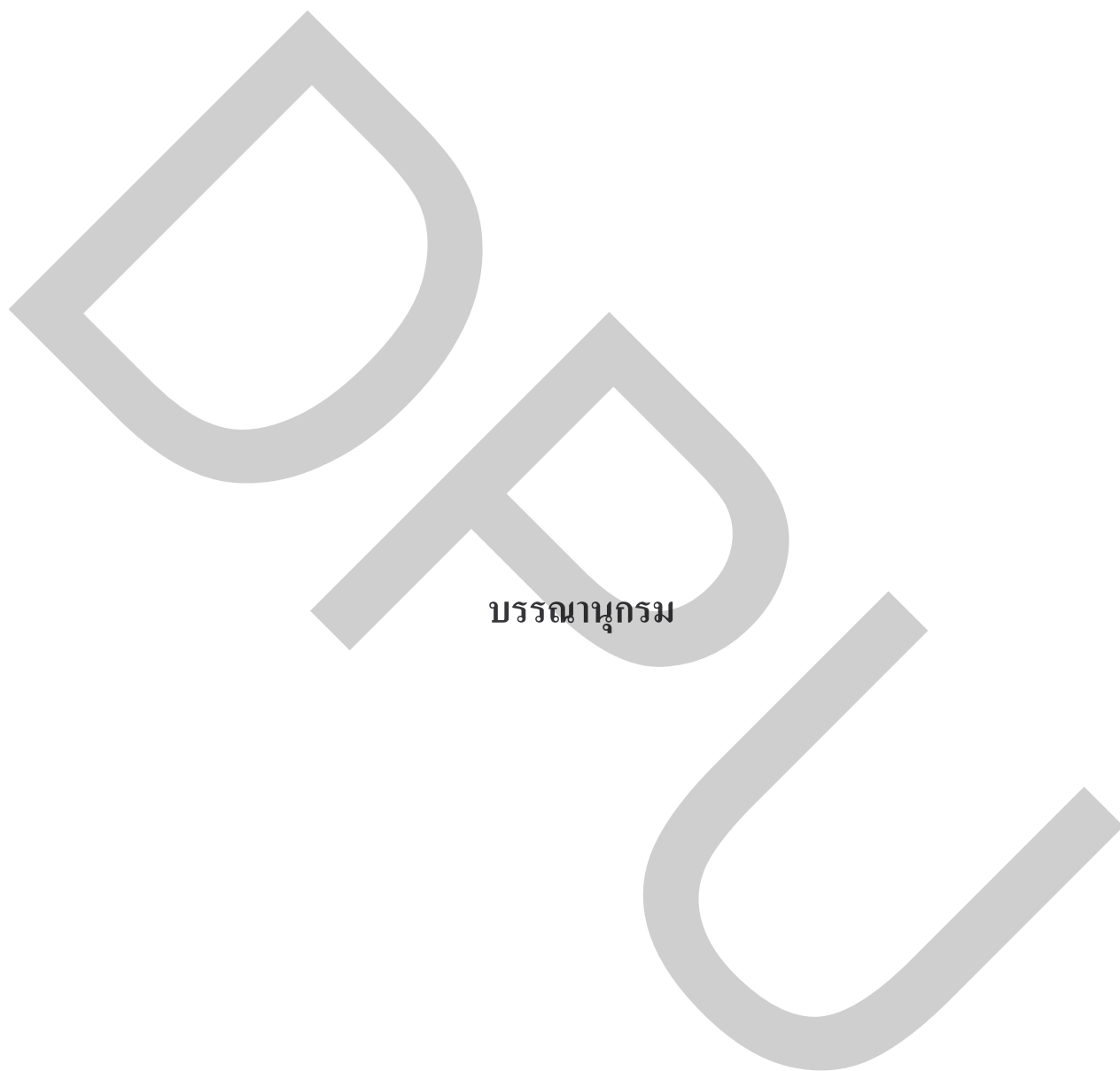
5.4.3 การศึกษาผลกระทบของเปลี่ยนขนาดความหนาของท่อส่งน้ำตะกั่ว

ปัจจุบันความหนาของท่อส่งน้ำตะกั่วจะอยู่ที่ 8 mm. (รูปที่ 5.10) การถ่ายเทความร้อนจาก Heater ไปยังน้ำตะกั่วเหลว ต้องทำการส่งถ่ายความร้อนไปตามท่อส่งน้ำตะกั่ว ถ้าท่อส่งน้ำตะกั่วมีความหนามากเกินไปจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองของพลังงานมากตามไปด้วย



รูปที่ 5.10 ความหนาของท่อส่งน้ำตะกั่ว

เพื่อต้องการลดความสิ้นเปลืองของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับ Heater ลง เนื่องจากความหนาของท่อส่งน้ำตะกั่วที่มากเกินไป จะทำการลดความหนาของท่อส่งน้ำตะกั่วลงเหลือ 6 mm. (รูปที่ 5.10) เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในท่อส่งน้ำตะกั่ว



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

คัมภีร์ ศรีรัตนา. (2545). การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานในโรงพยาบาล
และโรงแรม. ลำพูน : มปป.

พงษ์พันธ์ คำทรัพย์. (2549). การศึกษาการประหยัดพลังงานสำหรับผลิตน้ำร้อนในโรงแรม.
ลำพูน : มปป.

สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

Administrator, (2551). มาช่วยกันลดภาวะโลกร้อน. สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2552, จาก
<http://salt.dpc7.net/content/view/30/1>

ข่าวกองฟูกอบรม, (2551). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน : บทสัมภาษณ์
PRE อวสุโส “พลังงานกับชีวิต พลังงานมีผลต่อความร้อนอย่างไร” สืบค้นเมื่อ 7
มกราคม 2552, จาก <http://metason homepage.html>

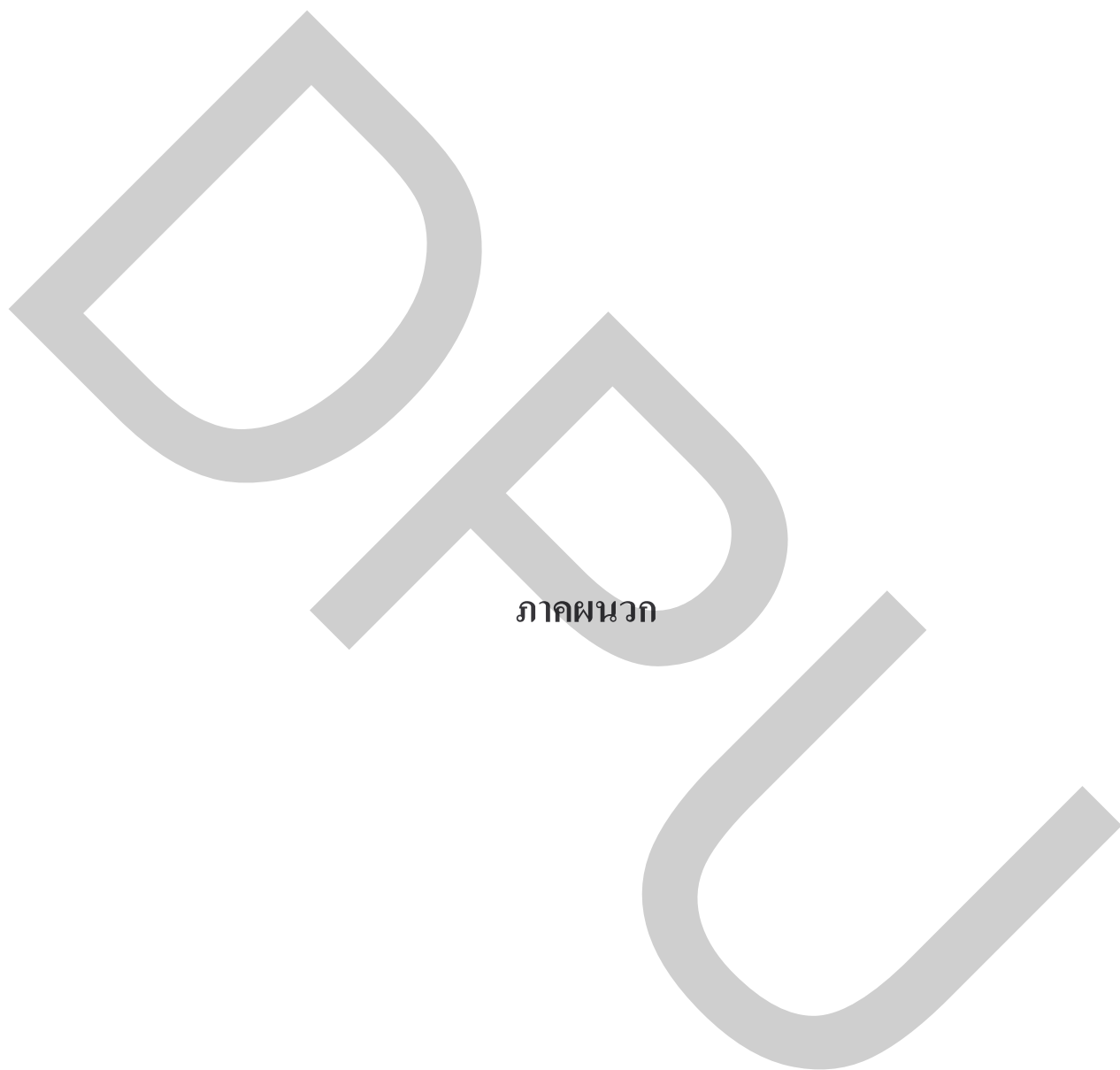
ความร้อน สมบัติของก๊าซและทฤษฎีจลน์. สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2552, จาก
<http://202.129.0.133/PRCKnowledge/kbPLLevel4/Science/Physics/heat.doc>

รักษ์พลังงาน. (กุมภาพันธ์, 2551). ภาวะโลกร้อนหาชนะแห่งทศวรรษ. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2551,
จาก [http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/web-gm/Ebook/
pdf_energy_saving/45-02-2551.pdf](http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/web-gm/Ebook/pdf_energy_saving/45-02-2551.pdf)

รักษ์พลังงาน. (กันยายน, 2551). ดันโครงการ CDM เปิดตลาดคาร์บอนเครดิต.
สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2551, จาก [http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/
nov50/web-gm/Ebook/pdf_energy_saving/52-09-51.pdf](http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/web-gm/Ebook/pdf_energy_saving/52-09-51.pdf)

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี: การนำความร้อนของธาตุ. สืบค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2552, จาก
<http://th.wikipedia.org/wiki/>

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี: ปรากฏการณ์โลกร้อน. สืบค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2552, จาก
<http://th.wikipedia.org/wiki/>



ภาคผนวก

ภาคผนวก 1 ตารางแสดง Energy-related factor

Category	Unit	Calorific value (kJ)	Crude oil equivalent (Liter)	CO ₂ emissions (kg-CO ₂)
Electricity	kW-hr	10,250	0.265	0.539
Town gas	m ³	46,050	1.189	2.290
LPG	kg	50,200	1.297	3.000
Fuel oil (Heating)	l	38,900	1.005	2.710
Diesel	l	38,500	0.995	2.640
Kerosene	l	37,250	0.962	2.489
Coal	kg	17,800	0.460	1.318
Steam	t	3,113,100	80.4	267.1
Air	m ³	1,395	0.036	0.137

ภาคผนวก 2 ตารางแสดง Physical Properties of Mica

Characteristic	Unit	Muscovite	Phlogopite
Color		Ruby / Green	Amber / Yellow
Density	gm/cm ³	2.6 - 3.2	2.6 - 3.2
	lb/in ³	0.095 - 0.116	0.095 - 0.116
Specific Heat		0.21	0.21
Hardness	Moh Scale	2.8 - 3.2	2.3 - 3.0
	Shore Test	80 - 105	70 - 100
Optic Axial Angle		55 - 75	5 - 25
Tensile Strength	kgf/cm ²	about 1,750	about 1,000
	lbf/in ²	about 25,000	about 15,000
Shear Strength	kgf/cm ²	2,200 - 2,700	1,000 - 1,300
	lbf/in ²	31,000 - 38,000	14,000 - 19,000
Compression Strength	kgf/cm ²	1,900 - 2,850	---
	lbf/in ²	27,000 - 32,000	---
Modulus of Elasticity	kgf/cm ²	1,400 - 2,100	1,400 - 2,100
	lbf/in ²	20 - 30	20 - 30

ภาคผนวก 2 ตารางแสดง Physical Properties of Mica (ต่อ)

Characteristic	Unit	Muscovite	Phlogopite
Coefficient of expansion per °C		9 x 10 ⁻⁶ - 36 x 10 ⁻⁶	30 x 10 ⁻⁶ - 60 x 10 ⁻⁶
perpendicular to cleavage plane			
Calcining Temperature	°C	700 - 800	900 - 1,000
	°F	1,290 - 1,470	1,650 - 1,830
Maximum operating Temperature	°C	500 - 600	800 - 900
	°F	930 - 1,110	1,470 - 1,650
Thermal conductivity	Gm.cal/sec/cm ² /C/cm	about 0.0013	about 0.0001
perpendicular to cleavage plane	BTU/hr/ft ² /0f/ft	about 0.31	about 0.24
Parallel to cleavage planes	Gm.cal/sec/cm ² /C/cm	---	about 0.012
	BTU/hr/ft ² /0f/ft	---	about 3.0
Water of constitution %		4.5	3.0
Moisture absorption		Very low	Very low
Apparent electric strength	0.001" to 0.003" kV/mm	120 - 200	---
	thick Volts per 0.001"	3,000 - 5,000	---
R.M.S. at 15°C (60°F)	0.01" to 0.05" kV/mm	40 - 80	30 - 60
	thick Volts per 0.001"	1,000 - 2,000	750 - 1,500
Permittivity at 15°C (60°F)		6 - 7	5 - 6
Power Factor (loss tangent)	@ 15°C (60°F)	0.0001 - 0.0004	0.001 - 0.005
Volume Resistivity	25°C (77°F) ohm cm	40 x 10 ¹³ - 2 x 10 ¹⁷	1 x 10 ¹² - 1 x 10 ¹²
Acid reaction		Affected by Hydrofluoric Acid	Affected by Sulfluric Acid

ภาคผนวก 3 ตารางเก็บข้อมูลดัชนีการใช้ LPG ก่อนการปรับปรุง

Production date	Production	Meter		Consumption		
	quantity	LPG	Electric	LPG	LPG	Cost
	(kg)	(m ³)	(kW-hr)	(m ³ /day)	(L/day)	(B/kg)
5-Nov-07	19,995	60,461		375	2,164	0.944
6-Nov-07	20,227	60,836		367	2,118	0.913
7-Nov-07	19,780	61,203		369	2,129	0.939
8-Nov-07	20,641	61,572		373	2,153	0.910
9-Nov-07	20,024	61,945		371	2,141	0.932
10-Nov-07	11,307	62,316		375	2,164	1.669
11-Nov-07	7,490	62,691		217	1,252	1.458
12-Nov-07	16,535	62,908		352	2,031	1.071
13-Nov-07	21,036	63,260		404	2,331	0.966
14-Nov-07	21,654	63,664		398	2,297	0.925
15-Nov-07	16,570	64,062		330	1,904	1.002
16-Nov-07	13,345	64,392		330	1,904	1.244
17-Nov-07	10,784	64,722		211	1,218	0.985
18-Nov-07	6,691	64,933		179	1,033	1.346
19-Nov-07	18,536	65,112		366	2,112	0.994
20-Nov-07	20,034	65,478		361	2,083	0.907
21-Nov-07	20,156	65,839		356	2,054	0.889
22-Nov-07	16,670	66,195		350	2,020	1.057
23-Nov-07	20,350	66,545		354	2,043	0.875
24-Nov-07	10,825	66,899		201	1,160	0.934
25-Nov-07	7,191	67,100		355	2,049	2.485
26-Nov-07	20,992	67,455		372	2,147	0.892
27-Nov-07	21,228	67,827		381	2,199	0.903
28-Nov-07	19,853	68,208		344	1,985	0.872
29-Nov-07	20,441	68,552		366	2,112	0.901
30-Nov-07	20,115	68,918		361	2,083	0.903

ภาคผนวก 3 ตารางเก็บข้อมูลดัชนีการใช้ LPG ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

Production date	Production	Meter		Consumption		
	quantity	LPG	Electric	LPG	LPG	Cost
	(kg)	(m ³)	(kW-hr)	(m ³ /day)	(L/day)	(B/kg)
1-Dec-07	11,552	69,279		207	1,195	0.902
2-Dec-07	7,721	69,486		352	2,031	2.294
3-Dec-07		69,838				
Total	463,745			987.1	54,115	

ภาคผนวก 4 ตารางข้อมูลความร้อนบริเวณพื้นที่ทำงานหน่วยเป็น °C ก่อนการปรับปรุง

Production Date	Machine No.								Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	
5-Nov-07	39.16	39.50	39.07	39.61	39.44	39.68	39.93	40.25	39.58
6-Nov-07	38.59	39.97	39.28	40.48	39.92	39.33	39.34	41.52	39.80
7-Nov-07	40.10	40.69	39.20	39.77	40.58	38.26	40.05	40.83	39.93
8-Nov-07	39.12	40.80	40.10	41.46	40.06	38.63	40.06	39.82	40.01
9-Nov-07	39.40	41.20	39.46	40.25	41.03	39.74	39.74	39.91	40.09
10-Nov-07	39.53	40.54	38.97	39.89	40.96	39.19	40.99	41.07	40.14
11-Nov-07	39.23	40.78	39.13	40.42	40.88	38.79	40.35	40.93	40.06
12-Nov-07	39.44	39.54	40.46	40.00	40.31	39.62	39.78	41.47	40.08
13-Nov-07	38.86	40.46	40.73	40.45	40.86	39.02	40.47	40.20	40.13
14-Nov-07	38.74	40.14	39.08	39.96	40.09	38.57	39.06	39.93	39.45
15-Nov-07	39.48	40.74	38.99	39.82	40.27	38.56	40.35	40.70	39.86
16-Nov-07	39.10	41.25	40.12	40.35	41.05	38.66	40.94	41.11	40.32
17-Nov-07	38.43	39.87	40.02	40.71	41.17	38.04	40.80	41.66	40.09
18-Nov-07	39.37	41.10	40.79	40.99	40.44	38.95	40.84	39.90	40.30
19-Nov-07	38.75	39.75	40.47	41.12	39.91	38.73	40.07	41.70	40.06
20-Nov-07	40.36	39.84	40.80	41.55	40.40	38.39	39.81	41.69	40.35
21-Nov-07	39.38	40.29	39.94	39.93	39.73	39.60	39.70	41.44	40.00
22-Nov-07	38.47	40.64	40.51	40.82	40.22	39.79	39.37	40.17	40.00

ภาคผนวก 4 ตารางข้อมูลความร้อนบริเวณพื้นที่ทำงานหน่วยเป็น °C ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

Production Date	Machine No.								Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	
23-Nov-07	40.13	40.53	39.65	40.61	41.30	39.96	39.39	41.11	40.34
24-Nov-07	39.33	40.36	40.42	40.86	40.29	39.33	39.34	40.14	40.01
25-Nov-07	39.75	41.33	40.16	39.76	41.13	39.76	40.84	39.84	40.32
26-Nov-07	39.93	40.16	39.74	40.34	39.93	38.54	40.91	41.04	40.08
27-Nov-07	38.47	40.19	40.05	40.70	40.18	39.29	39.68	41.36	39.99
28-Nov-07	38.73	40.42	40.59	39.89	40.68	38.94	40.09	40.80	40.02
29-Nov-07	38.42	39.54	39.32	41.36	40.31	38.12	40.10	41.39	39.82
30-Nov-07	39.73	40.15	40.08	39.77	40.72	39.31	40.80	40.01	40.07
1-Dec-07	40.27	41.03	40.52	41.40	40.98	38.53	40.65	41.31	40.59
2-Dec-07	39.59	41.35	40.02	40.65	40.47	38.02	39.86	40.02	40.00
Average									40.05

ภาคผนวก 5 ตารางข้อมูลการใช้พลังงาน Heater หลังการปรับปรุง

Production date	Production quantity (kg)	Meter		Consumption		
		LPG (m ³)	Electric (kW-hr)	LPG (m ³ /day)	LPG (L/day)	Electric (kW-hr/day)
21-Jul-08	3,123	5,850.0	3,717.3	39.1	292.7	187.9
22-Jul-08	3,421	5,889.1	3,905.2	43.7	327.1	193.8
23-Jul-08	3,512	5,932.8	4,099.0	43.9	328.7	193.2
24-Jul-08	3,488	5,976.7	4,292.2	41.8	312.8	177.6
25-Jul-08	3,318	6,018.5	4,469.8	41.8	312.8	188.4
26-27-Jul-08		6,060.3	4,658.2			
28-Jul-08	3,221	6,060.3	4,658.2	41.1	307.6	190.3
29-Jul-08	3,443	6,101.4	4,848.5	41.3	309.1	184.9
30-Jul-08	3,321	6,142.7	5,033.4	38.7	289.7	174.7
31-Jul-08	3,567	6,181.4	5,208.1	38.2	285.9	175.2
1-Aug-08	3,128	6,219.6	5,383.3	38.5	288.2	173.6

ภาคผนวก 5 ตารางข้อมูลการใช้พลังงาน Heater หลังการปรับปรุง (ต่อ)

Production date	Production quantity (kg)	Meter		Consumption		
		LPG (m ³)	Electric (kW-hr)	LPG (m ³ /day)	LPG (L/day)	Electric (kW-hr/day)
2,3-Aug-08		6,258.1	5,556.9			
4-Aug-08		6,258.1	5,556.9			
5-Aug-08	3,138	6,258.1	5,556.9	39.7	297.2	173.3
6-Aug-08	3,339	6,297.8	5,730.2	38.6	288.9	176.2
7-Aug-08	3,246	6,336.4	5,906.4	38.6	288.9	174.2
8-Aug-08	3,208	6,375.0	6,080.6	38.3	286.7	174.9
9,10-Aug-08		6,413.3	6,255.5			
11-Aug-08	3,496	6,413.3	6,255.5	38.7	289.7	176.3
12-Aug-08		6,452.0	6,431.8			
13-Aug-08	3,451	6,452.0	6,431.8	38.5	288.2	176.1
14-Aug-08	3,448	6,490.5	6,607.9	39.5	295.7	174.3
15-Aug-08	3,388	6,530.0	6,782.2	38.2	285.9	174.9
16-Aug-08	2,829	6,568.2	6,957.1	38.4	287.4	174.4
17-Aug-08	2,781	6,606.6	7,131.5	38.7	289.7	174.9
18-Aug-08	3,513	6,645.3	7,306.4	39.4	294.9	175.4
19-Aug-08	3,287	6,684.7	7,481.8	37.5	280.7	174.9
20-Aug-08	3,278	6,722.2	7,656.7	38.1	285.2	174.8
21-Aug-08	3,319	6,760.3	7,831.5	38.5	288.2	175.4
22-Aug-08	3,416	6,798.8	8,006.9	38.3	286.7	174.8
23-Aug-08		6,837.1	8,181.7			
Total	82,679			87.1	7,388.4	4,464.4

ภาคผนวก 6 ตารางข้อมูลความร้อนบริเวณพื้นที่ทำงานหน่วยเป็น °C ก่อนการปรับปรุง

Production Date	Machine No.								Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	
21-Jul-08	35.29	35.50	36.44	36.87	36.61	35.25	36.98	37.42	36.30
22-Jul-08	34.94	36.29	36.59	37.31	35.77	36.24	36.78	38.04	36.50
23-Jul-08	36.24	36.17	37.26	36.61	37.07	36.57	37.89	36.78	36.82
24-Jul-08	36.22	35.73	36.49	38.00	36.76	34.85	37.67	38.21	36.74
25-Jul-08	34.95	35.37	36.82	37.97	37.65	36.11	37.31	36.82	36.62
26-27-Jul-08									
28-Jul-08	35.74	35.52	37.27	37.63	37.61	35.28	36.33	37.56	36.62
29-Jul-08	35.35	37.09	36.59	36.72	36.10	36.09	36.92	37.26	36.52
30-Jul-08	35.00	35.21	37.50	37.45	36.88	36.20	37.40	37.60	36.65
31-Jul-08	34.91	35.82	36.89	37.04	36.48	35.52	37.66	37.06	36.42
1-Aug-08	34.85	35.90	37.53	37.99	36.83	35.19	36.53	38.19	36.63
2,3,4-Aug-08									
5-Aug-08	35.52	35.20	37.90	37.70	36.08	35.44	36.76	36.88	36.44
6-Aug-08	35.79	36.76	38.11	37.87	36.84	36.29	37.01	38.14	37.10
7-Aug-08	35.30	37.05	37.14	36.29	36.34	36.27	37.80	38.46	36.83
8-Aug-08	35.43	35.89	37.86	36.87	37.34	34.77	37.34	38.02	36.69
9,10-Aug-08									
11-Aug-08	35.76	35.79	36.66	37.12	36.92	34.80	36.45	37.50	36.37
12-Aug-08									
13-Aug-08	36.14	35.76	36.68	37.07	35.96	35.41	36.51	37.52	36.38
14-Aug-08	35.40	35.75	37.54	37.33	35.84	35.84	37.70	37.87	36.66
15-Aug-08	35.41	35.56	37.10	36.31	36.18	36.23	36.23	38.03	36.38
16-Aug-08	36.58	35.32	37.66	37.59	37.46	35.93	38.10	38.29	37.12
17-Aug-08	35.06	35.77	38.12	37.24	36.35	35.62	37.13	37.84	36.64
18-Aug-08	36.29	36.08	36.71	36.50	36.67	36.58	36.97	38.44	36.78
19-Aug-08	35.93	36.85	37.62	37.68	37.55	36.64	36.82	37.90	37.12
20-Aug-08	36.38	36.34	36.17	37.77	36.24	36.42	38.17	37.14	36.83

ภาคผนวก 6 ตารางข้อมูลความร้อนบริเวณพื้นที่ทำงานหน่วยเป็น °C ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

Production Date	Machine No.								Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	
21-Aug-08	35.90	35.98	37.61	36.92	36.94	36.04	36.54	37.71	36.71
22-Aug-08	35.88	36.27	36.63	37.40	37.02	35.01	38.02	37.82	36.76
23-Aug-08	35.14	36.28	36.93	36.63	36.71	36.23	36.72	37.51	36.52
Total									36.66

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล

ประวัติการศึกษา

ตำแหน่งหน้าที่ทำงานปัจจุบัน

นายสุรพล ขอบปี

ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา อิเลคโทรนิคส์

สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2530

ผู้จัดการอาวุโส ฝ่ายสนับสนุนส่งเสริมโรงงาน

บริษัทพานาโซนิค (ประเทศไทย) จำกัด