

ผลของกรรมวิธีทางความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเชื่อม และบริเวณกระทบร้อนของ
ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว เกรด มอก. 27 - 2540 ชั้นคุณภาพ 2

นายทินกร ผดุงวงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4225-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I2127665

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE OF WELD METAL AND
HEAT – AFFECTED ZONE OF
LIQUEFIED PETROLEUM GAS CONTAINER GRADE TIS 27 – 2540 CLASS 2



Mr. Thinnakorn Phadungwong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4225-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของกรรมวิธีทางความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเชื่อม
และบริเวณกระทบร้อนของถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว เกรด มอก.
27 - 2540 ชั้นคุณภาพ 2

โดย

นาย ทินกร ผดุงวงศ์

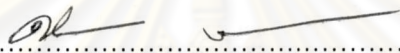
สาขาวิชา

วิศวกรรมโลหการ

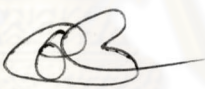
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวณิชย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิสิฐธวัช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสาร์ตนพร)

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทินกร ผดุงวงศ์ : ผลของกรรมวิธีทางความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเชื่อม และบริเวณ
 กระทบร้อนของถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว เกรด มอก. 27-2540 ชั้นคุณภาพ 2. (EFFECT OF
 HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE OF WELD METAL AND HEAT-
 AFFECTED ZONE OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS CONTAINER GRADE TIS
 27-2540 CLASS 2). อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ, 95 หน้า.
 ISBN 974-17-4225-8.

งานวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการอบปกติแนวเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวของ
 บริษัทแห่งหนึ่งเพื่อปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมให้ตรงตามความต้องการพิเศษของ
 ผู้ใช้ในต่างประเทศ วัสดุที่ใช้ทำถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว คือ เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด มอก.
 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2 โครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมที่ต้องการคือเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไรท์ที่มี
 ขนาดเบอร์เกรนมากกว่าหรือเท่ากับขนาดเกรนมาตรฐานเบอร์ 7 (ASTM E112)

จากผลการทดลองอบปกติแนวเชื่อมในห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถอบปกติได้ โดย
 จะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไรท์ที่มีขนาดเบอร์เกรนบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณ
 กระทบร้อนมากกว่าหรือเท่ากับขนาดเกรนมาตรฐานเบอร์ 7 (ASTM E112) ที่อุณหภูมิ 805 °ซ
 เวลา 25 นาที อุณหภูมิ 830 °ซ เวลา 15-25 นาที และอุณหภูมิ 860 - 930 °ซ ใช้เวลา 5-
 25 นาที ผลการอบปกติเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี

จากการนำผลการทดลองอบปกติไปปรับใช้กับการอบเนื้อเชื่อมถังปิโตรเลียมเหลว
 โดยใช้เตาของบริษัทร่วมวิจัย พบว่าควรอบปกติที่อุณหภูมิ 805 °ซ เวลา 25 นาที เพราะถ้า
 ใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะพบปัญหาเกิดสเกลที่ผิว ซึ่งไม่สามารถกำจัดและปรับปรุงโดยวิธีการ
 พันทรายได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470324321 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD : NORMALIZING / MICROSTRUCTURE / GRAIN SIZE / WELD METAL / HEAT-AFFECTED ZONE

THINNAKORN PHADUNGWONG : EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE OF WELD METAL AND HEAT-AFFECTED ZONE OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS CONTAINER GRADE TIS 27-2540 CLASS

2. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. GOBBON LOTHONGKUM, (DR. ING), 95 pp. ISBN 974-17-4225-8

This thesis studies the normalization of liquefied petroleum gas (LPG) container weldment of a company. The study purpose is to improve microstructure of the weldment to meet special requirement of oversea users. The raw material of LPG container is carbon steel (TIS 2060-2543 class 2). The required microstructures in weld metal and heat-affected zone are ferrite/perlite whose grain size number must be greater than or equal to the standard grain size no. 7 (ASTM E112)


The test result in the laboratory revealed that to achieve the microstructure of ferrite/perlite whose grain size number in weld metal and heat-affected zone is greater than or equal to the standard grain size no.7 (ASTM E112). The normalization condition are at temperature of 805 °C for 25 minutes, 830 °C for 15-25 minutes and 860-930 °C for 5-25 minutes. The results are correspondence to the normalizing theory concept.

The laboratory results were applied for normalizing in the weldments of the LPG container using the furnace of the cooperation company. It is suggested that the suitable normalization condition should be at 805 °C for 25 minutes. The higher normalizing temperature led to scaling problem which was difficult to remove by the sand blasting and it was unacceptable.

Department....Metallurgical Engineering... Student's signature.....

Field of study .Metallurgical Engineering... Advisor's signature.....

Academic year.....2003..... Co-advisor's signature.....


Gobbon Lothongkum

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เพราะความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ
รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัย
ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาที่มี
คุณค่ายิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และการทำงานในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิสิฐธร และอาจารย์
ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร ที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ ตลอดระยะเวลาในการ
ทำงานวิจัยนี้ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณสุรศักดิ์ เอ็บสิริสุข คุณมานพ วงศ์เสาวศุก และ คุณลำอานงค์ ศรีช่วย
จากบริษัทสหมิตรถังแก๊ส จำกัด (มหาชน) คุณเสนีย์ มณีเพชร คุณณัฐพล รัตนมาลี
คุณสรวรินทร์ รัตนมหาสกุล คุณนพพล จิรัฐธนากุล คุณสมศักดิ์ จุรกิจ คุณกนกวรรณ
ปัญญา และคุณเฉลิม อังกาทิพย์ ที่ได้แนะนำและช่วยเหลือในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ
ตลอดจนข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนเพื่อน ๆ และรุ่นพี่
ปริญญาโททุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการ
ศึกษาของผู้วิจัยเสมอมา และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็น
กตัญญูตราบาแต่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนสถาบันการศึกษา
อันเป็นที่รักยิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม.....	4
2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์กได้ฟลักซ์.....	4
2.2 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ใช้ทำตัวถังก๊าซ.....	6
2.3 สมบัติทางกลของถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว (มอก. 27-2540 ชั้นคุณภาพ 2)...	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงเฟสในเนื้อเชื่อม(Weld metal) ของเหล็กกล้าคาร์บอน (0.15-0.20เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ขณะเย็นตัว.....	9
2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในบริเวณกระแทกร้อน.....	14
2.6 สมบัติทางกลของรอยเชื่อม.....	16
2.7 การอบปกติ.....	20
2.8 แผนภูมิสมดุลของเหล็กกล้าคาร์บอนและอุณหภูมิการอบปกติ.....	21
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	23
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.2 การเตรียมชิ้นงานทดลอง.....	23
3.3 การเตรียมการทดลอง.....	24

สารบัญ

	หน้า
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบปกติที่ห้องปฏิบัติการ.....	24
3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบปกติของบริษัทที่ร่วมงานวิจัย.....	26
3.4 การออกแบบการทดลอง.....	27
3.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	28
3.6 วิธีการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเพื่อหาขนาดเกรน.....	28
3.7 วิธีการวัดขนาดเกรน.....	29
3.7.1 การใช้เส้นตรง.....	29
3.7.2 การใช้วงกลม 3 วง.....	30
3.7.3 การใช้แผ่นมาตรฐานเปรียบเทียบ.....	30
3.8 การทดสอบสมบัติทางกล.....	31
3.8.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดคราก และความยืด.....	31
3.8.2 การทดสอบการดัดโค้ง.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย.....	33
4.1 สมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน (มอก. 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2).....	33
4.1.1 ส่วนผสมทางเคมี.....	33
4.1.2 สมบัติทางกลของเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนที่ใช้ผลิตถังก๊าซ ปิโตรเลียมเหลว.....	34
4.1.3 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน (มอก. 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2) หลังผ่านการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์และ ยังไม่อบปกติปกติ.....	34
4.2 โครงสร้างจุลภาค และขนาดเกรนภายหลังการอบปกติในห้องปฏิบัติการ...	35

สารบัญ

	หน้า
4.3 การนำผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการมาใช้บอกต้งัก้าชจริงที่โรงงาน ของบริษัทร่วมวิจัย.....	52
4.3.1 ผลการสอบเทียบค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมคัฒเปิดที่ผ่านการ สอบเทียบแล้วกับที่อ่านจากเทอร์โมคัฒเปิดที่เตาบริษัทร่วมวิจัย ณ ตำแหน่งเดียวกัน.....	53
4.3.2 ผลการสอบเทียบค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมคัฒเปิดที่ผ่านการ สอบเทียบแล้วที่ตำแหน่งแนวเชื่อมของดั่งก้าชกับที่อ่านจาก เทอร์โมคัฒเปิดของเตาที่บริษัทร่วมวิจัย.....	54
4.3.3 ผลการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิในเตาของบริษัทร่วมวิจัย....	55
4.3.4 โครงสร้างจุลภาคและขนาดเกรนภายหลังการอบปกติที่เตา ณ โรงงานสภาพปัจจุบัน.....	57
4.3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อนำผลจากห้องปฏิบัติการไปใช้ จริงที่โรงงาน.....	61
4.3.6 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมถึงตัวแทนหลังจากอบปกติ ที่อุณหภูมิ 905 °ซ และ 930 °ซ ที่เตาของบริษัทร่วมวิจัย.....	62
4.3.7 ผลการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคหลังการอบปกติระหว่างชิ้นงาน ห้องปฏิบัติการกับถึงตัวแทนของบริษัทร่วมวิจัย.....	68
4.4 สมบัติทางกลของโลหะพื้นและเนื้อเชื่อมภายหลังการอบปกติ ที่อุณหภูมิ 905 °ซ เวลา 25 นาที.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	95

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตัวแปรการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ที่ใช้ในบริษัทร่วมวิจัย.....	3
ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน รีดร้อน แผ่นม้วน แผ่นแถบ แผ่นหนา และแผ่นบางสำหรับงานถึงก๊าซ (มอก. 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2).....	7
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อน แผ่นม้วน แผ่นแถบ แผ่นหนา และแผ่นบางสำหรับงานถึงก๊าซ (มอก. 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2).....	7
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของถึงก๊าซปีโตรเลียมเหลว (มอก. 27-2540 ชั้นคุณภาพ 2).....	7
ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิการอบปกติสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนมาตรฐานทั่วไป.....	22
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมสารละลายและการใช้งาน สำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	29
ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบแผนภูมิสำหรับวัสดุที่เป็นโลหะ.....	30
ตารางที่ 4.1 แสดงอักษรย่อของโครงสร้างจุลภาคที่พบในเนื้อเชื่อมบริเวณกระทรงร้อนและโลหะพื้น.....	33
ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของเหล็กแผ่นที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Emission Spectrometer เปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 2060-2543.....	33
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกลของเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนที่ใช้ผลิตถึงก๊าซปีโตรเลียมเหลว (มอก. 27-2540 ชั้นคุณภาพ 2).....	34
ตารางที่ 4.4 ขนาดเกรนของชิ้นงานภายหลังการอบปกติในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ.....	50
ตารางที่ 4.5 ผลการสอบเทียบอุณหภูมิระหว่างเทอร์โมคัปเปิลที่สอบเทียบแล้วและเทอร์โมคัปเปิลที่เตาของบริษัท.....	53
ตารางที่ 4.6 ผลการวัดสอบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่แนวเชื่อมถึงก๊าซกับอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิลของเตาบริษัทร่วมวิจัย.....	55

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ(ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 890 °ซ).....	56
ตารางที่ 4.8 ขนาดเกรนภายหลังจากอบปกติที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ.....	67
ตารางที่ 4.9 เวลาที่ใช้ในการอบปกติจริงของถังตัวแทนที่บริษัทร่วมวิจัย.....	68
ตารางที่ 4.10 สมบัติทางกลของแนวเชื่อมและโลหะพื้นภายหลังจากอบปกติ.....	69



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่ไม่สามารถหาขนาดเกรนได้จากกรร ร่องเรียนของลูกค้ำต่างประเทศ x 200 เท่า.....	2
รูปที่ 2.1 อุปกรณ์พื้นฐานของการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) แบบอัตโนมัติ.....	4
รูปที่ 2.2 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงในบ่อหลอมของการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์	5
รูปที่ 2.3 การเพิ่มความแข็งแรงให้กับเฟอร์ไรต์ด้วยสารละลายของแข็ง.....	9
รูปที่ 2.4 (a) รูปแผนภูมิกิ่งสมดุขของเหล็กกล้าคาร์บอน ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง ต่าง ๆ ในแต่ละพื้นที่.....	9
รูปที่ 2.4 (b) คาร์บอนโพรไฟล์ (Carbon profile) ที่ตำแหน่งต่างๆของ γ/α ที่อัตรา การเย็นตัวต่าง ๆ กัน โดย RÄSÄNEN และ TENKULA.....	10
รูปที่ 2.5 รูปโครงสร้างจุลภาคที่พบในรอยเชื่อมหลังการเย็นตัวจากการใช้ TEM โดย RÄSÄNEN และ TENKULA.....	13
รูปที่ 2.6 บริเวณส่วนย่อยต่าง ๆ ของบริเวณกระทบร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอน (0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก).....	14
รูปที่ 2.7 เส้นการเย็นตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในรอยเชื่อม.....	16
รูปที่ 2.8 ผลของคาร์บอนต่อโครงสร้างมาร์เทนไซด์ และ ความแข็ง.....	17
รูปที่ 2.9 การกระจายความแข็งตามแนวภาคตัดขวางของรอยเชื่อมเหล็กที่มีส่วนผสม คาร์บอน แมงกานีสและซิลิกอนเป็น 0.20, 1.38 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามลำดับ.....	18
รูปที่ 2.10 แผนภูมิ CCT ของเหล็กคาร์บอน 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	19
รูปที่ 2.11 ลักษณะและขนาดของเกรนในรอยเชื่อมเหล็กคาร์บอน.....	20
รูปที่ 2.12 แผนภูมิสมดุขของเหล็ก-คาร์บอน.....	21
รูปที่ 3.1 ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวขนาดบรรจุ 4 กิโลกรัม.....	23
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานที่ใช้ในการอบปกติ.....	24
รูปที่ 3.3 เตาทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	24
รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ดิจิทัลเทอร์โมคัมเบิล.....	25

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.5 นาฬิกาจับเวลา.....	25
รูปที่ 3.6 เตาของบริษัทร่วมงานวิจัย.....	26
รูปที่ 3.7 เครื่องบันทึกอุณหภูมิของบริษัทร่วมงานวิจัย.....	26
รูปที่ 3.8 ชุดวัดอุณหภูมิพร้อมตัวบันทึกข้อมูล.....	26
รูปที่ 3.9 ขนาดเกรนมาตรฐาน เบอร์ 7 (ASTM E112) x 100 เท่า.....	27
รูปที่ 4.1 บริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	34
รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2 หลัง ผ่านการเชื่อมอาร์คได้ฟลักซ์ x 100 เท่า.....	36
รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 805 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	37
รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 830 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	39
รูปที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 860 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	41
รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 890 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	43
รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 905 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	45
รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 920 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	47
รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคภายหลังจากการอบปกติที่อุณหภูมิ 930 °ซ ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	49
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของการอบปกติต่อขนาดเกรนมาก กว่าขนาดเกรนมาตรฐาน เบอร์ 7 (ASTM E112).....	52
รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิตำแหน่งเปรียบเทียบที่เตาบริษัทร่วมวิจัย	53
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิที่เตาบริษัทร่วมวิจัยและตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ที่แนวเชื่อม ของถังก๊าซ.....	54

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งที่วัดการกระจายตัวของอนุภาคนิวตริโนในเตาของบริษัทร่วมวิจัย.....	56
รูปที่ 4.14 ผลการวัดอนุภาคนิวตริโนเตาอบที่โรงงานของบริษัทร่วมวิจัยในแต่ละตำแหน่งที่บริเวณ โซนต่าง ๆ.....	57
รูปที่ 4.15 ภาพด้านบน (Top View) แสดงตำแหน่งของถังก๊าซในการอบปกติที่บริษัท ร่วมวิจัย.....	57
รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 1 x 100 เท่า.....	58
รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 4 x 100 เท่า.....	58
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 7 x 100 เท่า.....	58
รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 10 x 100 เท่า.....	59
รูปที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 14 x 100 เท่า.....	59
รูปที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 17 x 100 เท่า.....	59
รูปที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 890°C ณ ตำแหน่งของถังที่ 20 x 100 เท่า.....	60
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของค่าอนุภาคนิวตริโนที่อ่านได้จากเตาห้องปฏิบัติการกับค่าที่อ่านจาก เทอร์โมคัปเปิลของเตาบริษัทร่วมวิจัย.....	61
รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 905 °C ที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที x 100 เท่า.....	63
รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคภายใต้การอบปกติที่อุณหภูมิ 930 °C ที่เวลา 5,10 และ 15 นาที x 100 เท่า.....	65