การศึกษาแนวโน้มของค่าแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในคอนกรีตหลังถูกเพลิงไหม้

STUDYING OF BOND STRESS OF STEEL IN CONCRETE AFTER FIRE BURNING

โดย

นายพุทธพงศ์ คัมภิรานนท์

นายมหรรณพ กรรณสูต

นายสัมพันธ์ ชนะบูรณาศักดิ์

วัน เดือน ปี 16 ก.ค. 2541

เลขทะเบียน 039000

เลขเรียกหนังสือ T 624.1 พ 829 ก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039000

STUDYING OF BOND STRESS OF STEEL IN CONCRETE AFTER FIRE BURNING

MR. PUTTAPONG KAMPIRANON
MR. MAHANNOP KARNASUTA
MR. SAMPAN CHANABURANASAK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTICAL FULFILLMENT
OF THE REQUREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

.....

หัวข้อโครงงานพิเศษ แนวโน้มของค่าแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในคอนกรีตหลังถูกเพลิงไหม้

Studying of bond stress of steel in concrete after fire burning

นักศึกษา 1. นายพุทธพงศ์ ตันภิรานนท์ รหัสประจำตัว 37014301

2. นายมหรรณพ กรรณสูต รหัสประจำตัว 37014338

3. นายสันพันธ์ ชนะบูรณาศักดิ์ รหัสประจำตัว 37014483

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เกษม อมันตกุล

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ. เกษม อมันตกุล	.....
อ. สุรัตน์ หวังเจริญ	.....
อ. ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวโน้มของค่าแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในคอนกรีตหลังถูกเพลิงไหม้

STUDYING OF BOND STRESS OF STEEL IN CONCRETE AFTER FIRE BURNING

โดย 1.นายพุทธพงศ์ คัมภิรานนท์
2.นายมหรรณพ กรรณสูต
3.นายสัมพันธ์ ชนะบูรณาศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เกษม อมันตกุล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีทางด้านการก่อสร้างได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก เขตเมืองหลวงหรือเมืองสำคัญต่างๆ มีสิ่งก่อสร้างเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมากมาย ในตึกสูงเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นมาแล้ว ต้องมีการตรวจสอบว่าโครงสร้างจะสามารถรับกำลังต่อไปได้หรือไม่ หรือจำเป็นต้องทุบทิ้งไป การวิจัยนี้จะสามารถทราบแนวโน้มของค่าแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในคอนกรีตหลังเกิดเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆกัน เพื่อนำไปประกอบการพิจารณาตรวจสภาพโครงสร้างได้

ABSTRACT

Nowadays construction technology has progressed gramatically. There are many concrete construction sites in the capitical cities and majar cities. Inspection should be made for each tower offer each burnt. If the structure isn't in good condition, that buikding should be demolished.This research will prove that tend of bond stress of steel in concreteafter fire burning at the temperature and different time in order to use for inspection structure consideration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความร่วมมือจากฝ่ายต่างๆดังนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ SHOP โยธาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาศิลปอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้ความเชื่อเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องเตาเผา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพล พลีคราม หัวหน้าภาควิชาศิลปอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมเครื่องเตาเผาที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เกษม อมันตกุล และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ให้คำแนะนำและแก้ปัญหาต่างๆจนโครงงานพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และท้ายนี้ ขอขอบพระคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้านแรงงานมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายพุทธพงศ์ คัมภิรานนท์

นายมหรรณพ กรรณสูต

นายสัมพันธ์ ชนะบูรณาศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I
กิตติกรรมประกาศ.....I
สารบัญ.....III
สารบัญรูป.....V
สารบัญตาราง.....VIII
บทที่
1. บทนำ
1.1 ความนำ.....1
1.2 ความเป็นมาของปัญหา.....1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ.....1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ.....2
1.5 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ.....2
1.6 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ.....2
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3
2. พฤติกรรมของอัคคีภัย.....4
2.1 ขบวนการเกิดเพลิงไหม้.....4
2.2 ปริมาณไฟ.....7
2.3 พื้นที่ของช่องเปิด.....8
2.4 เส้นโค้งมาตราฐานไฟและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ.....8
2.5 แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ.....8
2.6 เส้นโค้งมาตราฐานอุณหภูมิกับเวลา.....9
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ.....9
3. อัคคีภัยในงานอุตสาหกรรม.....11
3.1 การขยายตัวของไฟ.....13
3.2 ศักยภาพของเชื้อเพลิง.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ลำดับชั้นของเพลิงไหม้.....17
3.4 สารดับเพลิง.....18
3.5 สาเหตุของการเกิดไฟไหม้.....24
4. ผลการทดลอง.....31
4.1 วิธีการทดสอบ.....31
4.2 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....31
4.3 การดำเนินการทดสอบ.....33
5. การนำเสนอผลการศึกษา.....34
5.1 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก.....35
5.2 ค่าของกำลังรับแรงดึงของเหล็ก.....55
5.3 ค่าของความเครียดของเหล็ก.....75
6. การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา.....95
6.1 การวิเคราะห์ผลการศึกษา.....95
6.2 สรุปผลการศึกษา.....97
ภาคผนวก ก.....98
บรรณานุกรม.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง 9
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาตราฐานไฟ ASTM.....10
รูปที่ 3.1 พีระมิดของการติดไฟ.....12
รูปที่ 3.2 การขยายตัวของการเกิดเพลิงไหม้อย่างมีรูปแบบและขั้นตอน.....13
รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงประเภทของวัสดุติดไฟในอาคาร.....17
รูปที่ 5.1 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....36
รูปที่ 5.2 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส.....38
รูปที่ 5.3 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส.....40
รูปที่ 5.4 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส.....42
รูปที่ 5.5 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 1 ชั่วโมง.....44
รูปที่ 5.6 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 2 ชั่วโมง.....46
รูปที่ 5.7 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 3 ชั่วโมง.....48
รูปที่ 5.8 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 4 ชั่วโมง.....50
รูปที่ 5.9 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 5 ชั่วโมง.....52
รูปที่ 5.10 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 6 ชั่วโมง.....54
รูปที่ 5.11 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....56
รูปที่ 5.12 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส.....58
รูปที่ 5.13 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส.....60
รูปที่ 5.14 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส.....62
รูปที่ 5.15 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง.....64
รูปที่ 5.16 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง.....66
รูปที่ 5.17 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง.....68
รูปที่ 5.18 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง.....70
รูปที่ 5.19 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง.....72
รูปที่ 5.20 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 6 ชั่วโมง.....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.21 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส....76
รูปที่ 5.22 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส....78
รูปที่ 5.23 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส....80
รูปที่ 5.24 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส....82
รูปที่ 5.25 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 1 ชั่วโมง....84
รูปที่ 6.26 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 2 ชั่วโมง....86
รูปที่ 5.27 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 3 ชั่วโมง....88
รูปที่ 5.28 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 4 ชั่วโมง....90
รูปที่ 5.29 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 5 ชั่วโมง....92
รูปที่ 5.30 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 6 ชั่วโมง....94
รูปที่ ก.1 แบบหล่อคอนกรีตขนาด 15 * 15 * 15 ซม.
รูปที่ ก.2 ขั้นตอนการเสียบเหล็กลงแบบ
รูปที่ ก.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตโดยใช้โม่ผสม
รูปที่ ก.4 ขั้นตอนการเทคอนกรีตลงแบบ
รูปที่ ก.5 กระทุ้งคอนกรีตตามมาตราฐาน ASTM
รูปที่ ก.6 แสดงรูปหลังจากคอนกรีตแห้งแล้ว
รูปที่ ก.7 แสดงการแกะแบบ
รูปที่ ก.8 ลูกปูนหลังจากแกะแบบแล้ว
รูปที่ ก.9 ขั้นตอนการบ่มคอนกรีต
รูปที่ ก.10 เหล็กที่ถูกตัดไว้เตรียมทดสอบ
รูปที่ ก.11 เครื่องทดสอบ Universal testing
รูปที่ ก.12 เตาเผาคอนกรีต
รูปที่ ก.13 คอนกรีตหลังถูกเผาไฟ
รูปที่ ก.14 เหล็กที่ถูกเผาไฟ ณ อุณหภูมิ 300,500,700,900 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
รูปที่ ก.15 ลักษณะของคอนกรีตที่ระเบิดแตกออก ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ก.16 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็ก
รูปที่ ก.17 การทดสอบการดึงเหล็ก
รูปที่ ก.18 ลักษณะของคอนกรีตหลังทดสอบแล้ว
รูปที่ ก.19 ลักษณะของคอนกรีตหลังทดสอบแล้ว
รูปที่ ก.20 เหล็กหลังจากทดสอบหาแรงดึงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของวัตถุติดไฟ....13
ตารางที่ 3.2 สมบัติของเชื้อเพลิงพื้นฐาน....15
ตารางที่ 3.3 สารฮาลอนบางชนิดและรหัส....21
ตารางที่ 3.4 เกณฑ์วัดความรุนแรงของการระเบิด....22
ตารางที่ 3.5 ลักษณะสมบัติฝุ่นวัสดุในการจุดระเบิด....30
ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ....31
ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาที่จะทำการทดสอบแยกตามอุณหภูมิ....32
ตารางที่ 5.1 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส....35
ตารางที่ 5.2 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส....37
ตารางที่ 5.3 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส....39
ตารางที่ 5.4 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส....41
ตารางที่ 5.5 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง....43
ตารางที่ 5.6 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง....45
ตารางที่ 5.7 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง....47
ตารางที่ 5.8 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง....49
ตารางที่ 5.9 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง....51
ตารางที่ 5.10 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง....53
ตารางที่ 5.11 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส....55
ตารางที่ 5.12 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส....57
ตารางที่ 5.13 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส....59
ตารางที่ 5.14 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส....62
ตารางที่ 5.15 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง....63
ตารางที่ 5.16 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง....65
ตารางที่ 5.17 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง....67
ตารางที่ 5.18 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.19 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง....72
ตารางที่ 5.20 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง....73
ตารางที่ 5.21 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส....75
ตารางที่ 5.22 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส....77
ตารางที่ 5.23 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส....79
ตารางที่ 5.24 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส....81
ตารางที่ 5.24 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส....81
ตารางที่ 5.25 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง....83
ตารางที่ 5.26 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง....85
ตารางที่ 5.27 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง....87
ตารางที่ 5.28 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง....89
ตารางที่ 5.29 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง....91
ตารางที่ 5.30 การทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 6 ชั่วโมง....93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความนำ

ปัจจุบันสถิติเพลิงไหม้เกิดเพิ่มขึ้นมากกับอาคารคอนกรีต เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งก็จะมีความรุนแรงแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ไฟถ้าไหม้ยิ่งนานมากเท่าไรก็ยิ่งจะทวีความรุนแรงและเพิ่มความเสียหายมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นวิศวกรจึงได้เริ่มตระหนักถึงผลกระทบของไฟไหม้ที่มีอิทธิพลต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างกันมากขึ้น เนื่องจากไฟถือว่าเป็นน้ำหนักอย่างหนึ่งที่กระทำต่อชิ้นส่วนของโครงสร้าง ทั้งนี้เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้มีแรงเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีการยึดรั้งและส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างทั้งในด้านกำลังความแข็งและเสถียรภาพได้

1.2 ความเป็นมาของปัญหา

หลังเกิดเพลิงไหม้แรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีต นั้นย่อมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป การที่จะพิจารณาซ่อมแซมหรือใช้อาคารต่อไป จะต้องมีการทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยวของโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยในการใช้สอยอาคารต่อไป ในปัจจุบันการทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในโครงสร้างต้องทำการทดสอบ ที่โครงสร้างจริง ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อโครงสร้าง ดังนั้นถ้ามีกราฟที่สามารถนำมาใช้ประมาณค่าของแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในโครงสร้างโดยไม่มีการทำลายโครงสร้างก็จะเป็นผลดียิ่ง

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาพฤติกรรมกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมจากแท่งตัวอย่างทดสอบที่ถูกไฟไหม้แล้วนำมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง bond stress กับเวลาที่เปลี่ยนไป ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

2. ศึกษาพฤติกรรมกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมจากแท่งตัวอย่างทดสอบที่ถูกไฟไหม้แล้วนำมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง bond stress กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ.เวลาต่าง ๆ

3. ศึกษาพฤติกรรมของเหล็กหลังจากถูกไฟไหม้ แล้วนำมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ เวลาที่เปลี่ยนไป ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ เวลาต่าง ๆ

4. ศึกษาพฤติกรรมของเหล็กหลังจากถูกไฟไหม้ แล้วนำมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง strain กับ เวลาที่เปลี่ยนไป ณ. อุณหภูมิต่าง ๆ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง strain กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ. เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

เมื่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับความร้อนสูง แรงยึดเหนียวของเหล็กเสริม ในโครงสร้างจะลดลงเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเปลี่ยนไป โดยถ้าอุณหภูมิสูง แรงยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมในโครงสร้างจะลดลงมากกว่าในอุณหภูมิต่ำ และถ้าระยะเวลาที่โครงสร้างได้รับความร้อนนาน แรงยึดเหนี่ยวของโครงสร้างจะลดลงมากกว่าการได้รับความร้อนระยะสั้น

1.5 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.5.1 ใช้อุณหภูมิ 300,500,700,900 องศาเซลเซียส

1.5.2 ระยะเวลาในการให้ความร้อนใช้เวลา 1,2,3,4,5,6 ชั่วโมง ในทุกกรณีของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

1.5.3 เหล็กเสริมใช้เหล็ก DB-12 กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก 3,000 kg / cm^2

1.6 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

1.6.1 ทำก้อนทดสอบตัวอย่างคอนกรีต รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. จำนวน 75 ก้อน โดยใส่เหล็กขนาด DB - 12 ยาว 90 ซม. บนก้อนตัวอย่าง แบ่งออกได้ดังนี้

- อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1,2,3,4,5,6 ชั่วโมง กรณีละ 3 ก้อน
- อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1,2,3,4,5,6 ชั่วโมง กรณีละ 3 ก้อน
- อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1,2,3,4,5,6 ชั่วโมง กรณีละ 3 ก้อน
- อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1,2,3,4,5,6 ชั่วโมง กรณีละ 3 ก้อน
- ก้อนทดสอบ 3 ก้อนโดยไม่เผา

1.6.2 นำก้อนทดสอบมาเผาที่อุณหภูมิและเวลาดังที่กล่าวในข้อ 1.6.1

1.6.3 นำก้อนทดสอบที่เผาแล้วมาหาค่าแรงยึดเหนี่ยว โดยใช้เครื่อง Universal Testing ดึงเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผาและเวลาที่เปลี่ยนไป กับค่าแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กในคอนกรีต นำไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ

1.6.4 นำเหล็กขนาด DB - 12 ไปเผาที่อุณหภูมิและเวลาดังข้อ 1.6.1 แล้วนำไปหาค่าYield Stress กับ Elogation เพื่อหากราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถดูแนวโน้มของกำลังแรงดึงต่าง ๆ ดังนี้

1.7.1 ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง bond stress กับเวลาที่เปลี่ยนไป ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ของเหล็กในคอนกรีต

1.7.2 ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง bond stress กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ เวลาต่าง ๆ ของเหล็กในคอนกรีต

1.7.3 ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ เวลาต่าง ๆ ของเหล็ก และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับเวลาที่เปลี่ยนไป ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ของเหล็ก

1.7.4 ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง strain กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ณ เวลาต่าง ๆ ของเหล็ก และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง strain กับเวลาที่เปลี่ยนไป ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
พฤติกรรมของอัคคีภัย

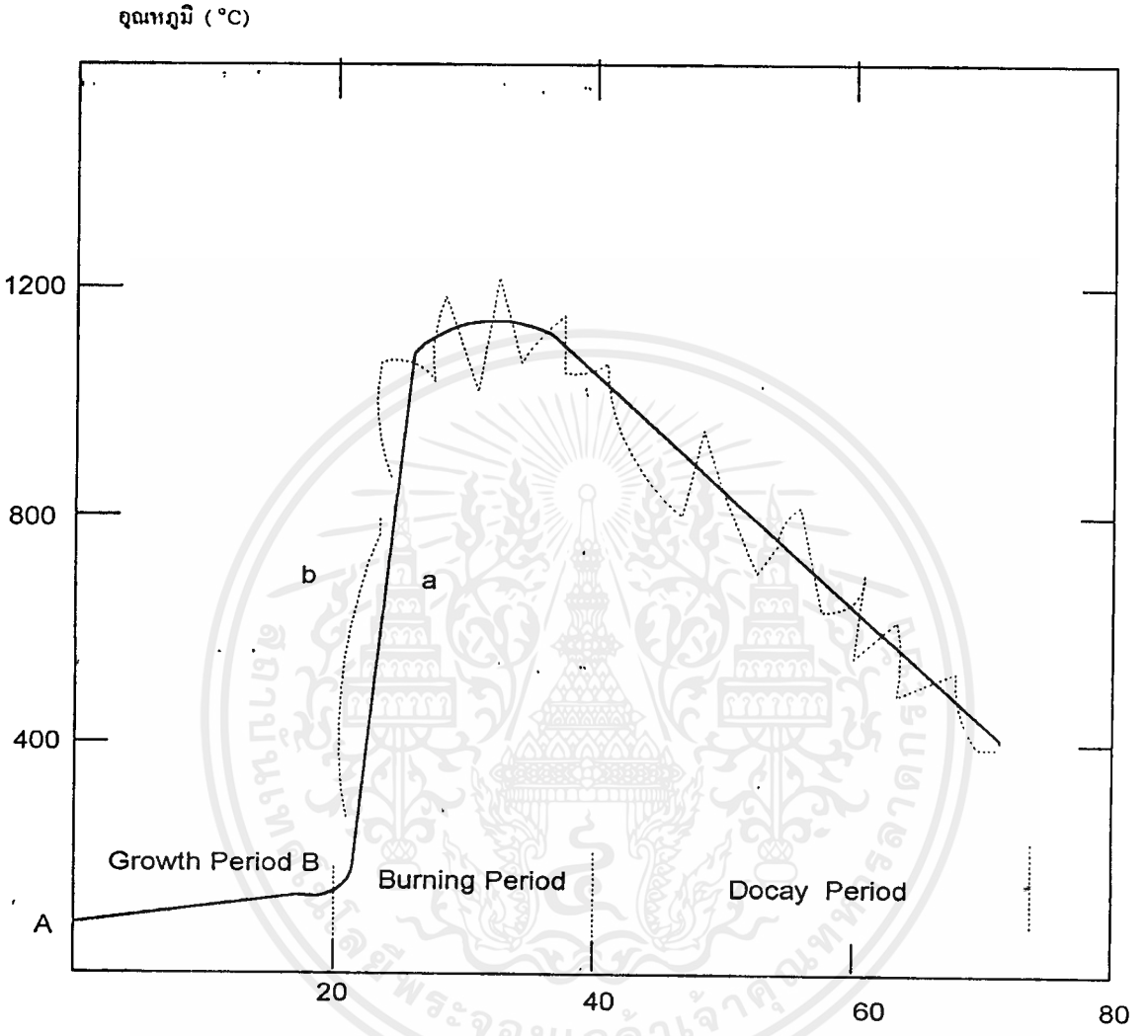
ไฟเป็นอันตราย ร้ายแรงอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความสูญเสียต่อทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์ ธรรมชาติของไฟเกิดจากการพัฒนาตัวเองของความร้อน แต่ไฟที่เกิดขึ้นในอาคารส่วนใหญ่นั้นเกิดจากแหล่งเชื้อเพลิงที่ติดไฟเล็ก ๆ แล้วค่อยเพิ่มตัวขึ้นเรื่อย ๆ แหล่งเชื้อเพลิงหรือที่ให้ความร้อนต่าง ๆ นั้นบางอย่างจะเป็นเปลวไฟจากไม้ขีดไฟ ความร้อนจากเตาเผาในโรงงาน หรือ อาจจะเป็นไฟที่เกิดจากการช็อตของไฟฟ้าก็เป็นได้เป็นต้น อัตราการเพิ่มตัวเองของไฟโดยทั่ว ๆ ไปแล้วขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่เราป้อนเข้าไปนั่นคือ สิ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ทั้งหมดที่มีอยู่ภายในอาคาร กับอัตราของความร้อนที่กระจายออกมา ถ้าความร้อนที่ป้อนเข้าไปมีค่ามากกว่าความร้อนที่กระจายออกมาแล้วอัตราการเพิ่มตัวของไฟก็จะเพิ่มมากขึ้นได้

2.1 ขบวนการเกิดเพลิงไหม้

การเพิ่มตัวเองขึ้นของไฟจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วมากถ้าสภาวะแวดล้อมเอื้ออำนวยไฟที่ไหม้อาคารภายในที่จำกัดเช่น ห้องทำงาน ห้องพักอาศัย ห้องเรียนหรือที่อื่น ๆ ไฟจะสามารถกระจายลุกลามไปได้อย่างรวดเร็วหรือไม่นั้นขึ้นกับว่าภายในห้องนั้นมีสิ่งที่ติดไฟได้สะสมอยู่เป็นปริมาณมากน้อยเท่าไร และมีการถ่ายเทของอากาศได้ดีเพียงใด ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุอื่นหรือสิ่งอื่น ๆ ที่ติดไฟช้าหรือติดไฟได้ยากนั้นจึงอาจติดไฟได้ด้วยและจะเกิดขึ้นภายในเวลาไม่กี่นาที เท่านั้น ซึ่งอุณหภูมิในตอนนั้นจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมาก

จากรูปที่ 2.1 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของไฟในรูปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาภายในห้องหนึ่ง ๆ ซึ่งมีเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งและมีการถ่ายเทอากาศแบบหนึ่ง เส้นกราฟ a เป็นกราฟของข้อมูลจริง ๆ ที่เก็บมาได้ ส่วนกราฟ b เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของกราฟ a ช่วง A - B เป็นช่วงก่อนที่จะเกิดเพลิงไหม้หมดทั้งห้องและเราเรียกช่วงนี้ว่า " ช่วงเริ่มก่อตัวของไฟ " (Growth period) ที่จุด b ช่วงเผาไหม้ (Burning period)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเริ่มต้นขึ้น นั่นหมายความว่าภายในห้องนั้นได้เกิดเพลิงลุกไหม้จนทั่วหมดแล้ว ช่วงนี้ถือว่าการพัฒนาตัวเองของไฟได้เกิดขึ้นเต็มที่ อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ว่าจะเกิดในอัตราที่ลดลงเมื่อใกล้ถึงจุด c ซึ่งเป็นจุดที่ความร้อนได้จากสิ่งที่ถูกเผาไหม้ไปกับความร้อนที่สูญเสียไปกับกำแพงและสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากันพอดี อุณหภูมิในช่วงนี้ยังสูงมากอยู่ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างได้ ถ้าไหม้เป็นเวลานาน ๆ ติดต่อกันหลายชั่วโมง ในระหว่างที่ลุกไหม้ในช่วงของการเผาไหม้หรือช่วงการสลายนั้น อาจจะมีการส่งผ่านความร้อนหรือการกระจายของไฟจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งก็ได้ หรืออาจจะมีการแผ่เปลวไฟความร้อนไปยังตึกข้างเคียงอีกด้วย

2.1.1 ช่วงการก่อตัวของไฟ (Growth Period)

อุณหภูมิในช่วงนี้ค่อนข้างต่ำอยู่ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีผลเท่าใดนัก เวลาของช่วงนี้จะสำคัญกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากว่าถ้าเวลาของช่วงนี้นานก็จะยังพอมีเวลาที่จะหลบหนีออกจากห้องหรือตึกได้อย่างปลอดภัยและยังสามารถดับไฟได้ทันท่วงที อีกด้วย เวลาของช่วงนี้จะนานเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดและขนาดของเชื้อเพลิง ถ้าเชื้อเพลิงติดไฟได้ไวความร้อนที่ออกมาก็จะมากทำให้เวลาของช่วงนี้ก็จะน้อยตามไปด้วย ที่ผิวของกำแพง เพดาน ก็มีผลกระทบเช่นเดียวกัน ถ้าพื้นที่ผิวใหญ่กว้างมากก็จะทำให้ช่วงการก่อตัวของไฟเกิดได้เร็วเพราะว่าความร้อนสามารถส่งผ่านหรือเคลื่อนตัวได้อย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากนี้ยังมีตัวประกอบอื่นอีกที่มีผลกระทบต่อเวลาของช่วงการก่อตัวของไฟอีกก็คือ ระยะห่างของสิ่งที่ติดไฟภายในห้อง ขนาดและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดไฟ ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดภายในห้อง ทิศทางและความเร็วของลม ขนาดและรูปร่างของห้อง และปริมาณและขนาดของเชื้อเพลิงภายในห้อง

2.1.2 ช่วงการเผาไหม้และช่วงการสลายตัว (Burning and Decay period)

ระหว่างที่มีไฟกำลังไหม้อยู่ภายในห้องนั้น ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซที่มาจากสิ่งที่ติดไฟจะมี การเคลื่อนตัวลอยสูงขึ้นและออกไปทางส่วนบนของช่องเปิดหรือทางหน้าต่าง ส่วนอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทางส่วนล่างของช่องเปิดและเข้าร่วมในการเผาไหม้ต่อไป เหตุการณ์นี้ก็เนื่องจากการเกิดความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศร้อนภายในและอากาศเย็นภายนอกนั่นเอง ตัวการที่มีส่วนช่วยให้ช่วงนี้เกิดได้ดีก็คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงและขนาดของช่องเปิดภายในห้องนั้น ถ้าช่องเปิดภายในมีขนาดใหญ่อัตราการเผาไหม้จะยิ่งสูง แต่ความจริงแล้วพื้นที่ผิวของสิ่งที่ติดไฟก็จะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาด้วย สิ่งที่ติดไฟภายในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นพวกเครื่องเฟอร์นิเจอร์ซึ่งในแต่ละห้องก็จะมีจำนวนแตกต่างกันไปและเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไรก็ตามภายในอาคารหลาย ๆ แห่งจะมีพื้นที่ผิวของเฟอร์นิเจอร์อยู่อย่างเพียงพอ สรุปแล้วอัตราการถ่ายเทของอากาศในห้องจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ที่มีผลมากกว่าตัวการอื่น ๆ

ดังนั้นจะเห็นว่าจากขบวนการของการพัฒนาตัวเองของไฟ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะไฟไหม้การกระจายของไฟ ช่วงเวลาที่เกิดไฟไหม้ ความรุนแรงของไฟ และอื่น ๆ อีกนั้นจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นหลายอย่างซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะไฟที่เกิดขึ้นในภายในอาคารมีดังนี้

ก. ปริมาณของไฟ (Fire Load)
ข. ตำแหน่งที่อยู่ของปริมาณไฟ
ค. ชนิด รูปร่างและขนาดของเชื้อเพลิงหรือสิ่งซึ่งติดไฟ
ง. พื้นที่ของช่องเปิดหรือหน้าต่าง
จ. อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์
ฉ. ขนาดของห้อง
ช. การนำความร้อนของโครงสร้าง
ซ. ระดับการแผ่กระจายของไฟ

จากการสำรวจศึกษาและวิจัยพบว่าตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นนั้น ตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลทำให้เส้นกราฟของไฟมีลักษณะต่าง ๆ กันไป ก็คือ ปริมาณของไฟ และ พื้นที่ของช่องเปิด

2.2 ปริมาณไฟ (Fire Load)

ปริมาณของไฟนิยามว่าเป็น ปริมาณความร้อนที่วัดได้จากวัสดุซึ่งติดไฟได้ในห้อง ๆ หนึ่ง หรืออาจจะนิยามปริมาณไฟว่าเป็น ปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟต่อพื้นที่ต่อหนึ่งตารางหน่วยถ้าพูดถึงความหนาแน่นของปริมาณไฟนั่นก็คือ วัดภายในปริมาตรปิดนั่นเอง ปกติแล้วค่าปริมาณไฟจะคิดต่อพื้นที่ผิวของห้อง

ในประเทศต่าง ๆ ได้มีการสำรวจเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของไฟในอาคารกันอย่างกว้างขวางโดยทั่วไป แล้วปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำหนักของไม้ที่ให้ความร้อนออกมาเท่า ๆ กันกับปริมาณความร้อนของวัสดุนั่นเอง ปริมาณไฟสามารถเปลี่ยนแปลงไฟได้ขึ้นอยู่กับการกระจายของวัสดุในอาคารหรือตำแหน่งของวัสดุ ชนิดของห้องภายในอาคารและอื่น ๆ อีก จากข้อมูลที่เก็บมาจากหลาย ๆอาคาร ก็ได้มีการลงความเห็นกันว่าค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของค่าปริมาณไฟในอาคารควรจะมีค่าไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ต่อพื้นที่ หนึ่งตารางฟุตต่อหนึ่งชั่วโมง ซึ่งค่านี้ได้ถูกนำไปใช้กำหนดมาตรฐานไฟเพื่อใช้ในการทดสอบซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พื้นที่ของช่องเปิด (Openning Area)

พื้นที่ของช่องเปิดมีอิทธิพลอย่างมากต่อการลุกไหม้ของไฟ ถ้าพื้นที่ของช่องเปิดมีมากก็จะทำให้อากาศร้อนภายในลอยตัวออกไปแล้วอากาศเย็นก็จะเข้ามาแทนที่ทำให้ไฟมีการลุกไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และยังสามารถกระจายไปยังห้องข้างเคียงหรือตึกข้างเคียงได้ง่าย พื้นที่ของช่องเปิดในที่นี้ไม่ใช่หมายถึง พื้นที่ของหน้าต่างและประตูเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังรวมถึงพื้นที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกภายในห้องได้อีกด้วย

จากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น แล้วนั้น ก็จะสามารถเลียนแบบพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้นจริงได้โดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์เวลากับอุณหภูมิ เมื่อสามารถเลียนแบบไฟได้แล้วก็สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานไฟเพื่อใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมต่าง ๆ ของวัสดุดังจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

2.4 เส้นโค้งมาตรฐานไฟและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ (Standard Fire Curve and Basic Theory of Fire Severity)

การที่จะทราบว่าอาคารที่ถูกไฟไหม้ไปแล้วจะมีพฤติกรรมอย่างไรจะสามารถต้านทานไฟได้มากเพียงใดนั้นก็จะต้องมาจากการทดสอบทั้งสิ้น จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในอาคารได้มีการค้นคว้าเพื่อหามาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้ากันในหลาย ๆ ประเทศสถาบันต่าง ๆ อาทิ เช่น ASTM ISO และอื่น ๆ อีกได้มีการแนะนำมาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ทดสอบโดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (Temperature - Time Relation) เพื่อเลียนแบบไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในอาคาร นักวิจัยชาวอเมริกันชื่อ INGBERG ได้เสนอแนวความคิดในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานไฟโดยเรียกว่า " แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ (Fire Load concept) "

2.5 แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ

แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟมีข้อสมมุติฐานที่สำคัญดังนี้คือ

ก. ความทนทานไฟขององค์อาคาร ขึ้นกับ " ความรุนแรงของไฟ" เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ความรุนแรงของไฟสำหรับอาคารหรือเตาไฟที่ใช้ในการทดสอบซึ่งลอกเลียนแบบไฟจริง ๆ นั้นก็คือ พื้นที่ใต้เส้นกราฟอุณหภูมิกับเวลานั่นเอง

ข. ความรุนแรงของไฟ ขึ้นกับ ความเข้มของปริมาณไฟอย่างเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสมมุติฐานดังกล่าวนั้นง่ายและไม่ถูกต้องเท่าไรนัก เนื่องจากความรุนแรงของไฟไม่ได้ขึ้นกับความเข้มของปริมาณไฟแต่เพียงอย่างเดียว จริง ๆ แล้วยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ของช่องเปิด ชนิด และน้ำหนักของเชื้อเพลิง คุณสมบัติทางความร้อนของกำแพง เพดานเป็นต้น แม้กระนั้นก็ตามก็ถือว่าตัวประกอบเหล่านั้นมีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มของปริมาณไฟ จนถึงบัดนี้ก็ยังไม่มีแนวความคิดอื่นที่สามารถเลียนไฟให้ใกล้เคียงได้เท่านี้ ดังนั้นแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟนี้จึงยังคงเป็นที่ใช้กันอยู่และยังเป็นพื้นฐานในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาด้วย

2.6 เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา (Standard Temperature - Time Curve)

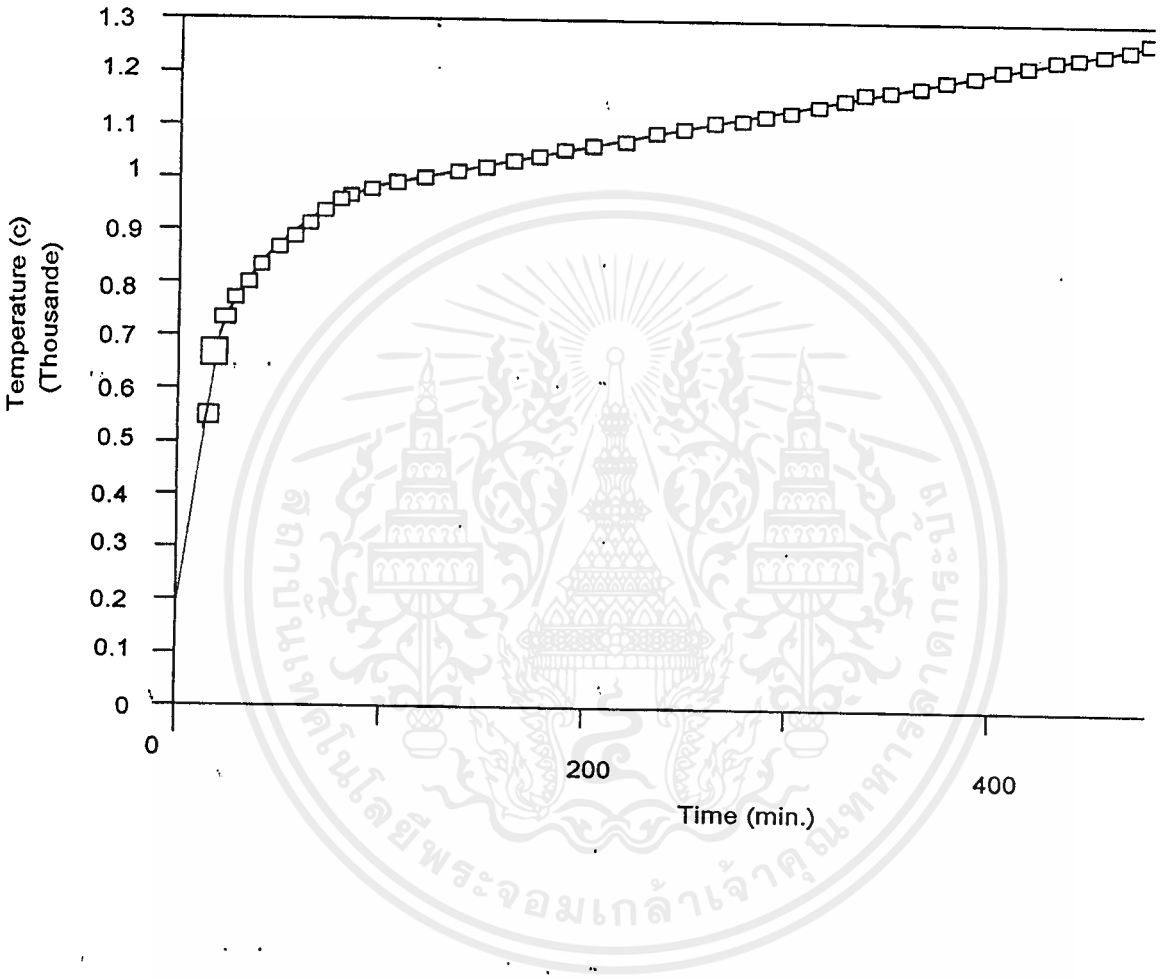
ASTM E 119 ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาที่มีความเข้มของปริมาณไฟใกล้เคียงกันกับไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในอาคารโดยมีค่าความเข้มเท่ากับ 10 ปอนด์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุตต่อหนึ่งชั่วโมง ISO ก็ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM แสดงอยู่ในรูปที่ 2.2

2.7 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ(Basic Theory of Fire Severity) (2)

ความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับตัวประกอบที่สำคัญสองตัวคือ เชื้อเพลิงหรือสิ่งซึ่งติดไฟที่มีอยู่ในอาคารและพื้นที่ของช่องเปิดภายในอาคารแต่ตัวประกอบทั้งสองนั้นสามารถแปรเปลี่ยนได้และไม่สามารถที่จะกำหนดให้ตายตัวได้ว่าในอาคารแบบนั้น ๆ จะมีค่าเป็นเท่าไร ดังนั้นการที่จะกำหนดค่าความรุนแรงของไฟจึงจำเป็นจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิของไฟที่เวลาต่าง ๆ ก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลานั่นเอง

ความรุนแรงของไฟจริง ๆ แล้วก็คือพลังงานความร้อนที่สามารถทำลายคุณสมบัติในการต้านทานไฟและความทนทานไฟของวัสดุ พลังงานความร้อนในที่นี้ก็คือพื้นที่ใต้เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลานั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟที่ว่า ความรุนแรงของไฟก็คือพื้นที่ใต้เส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลา เนื่องจากเส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้น จริง ๆ นั้นจะมีลักษณะแบบหนึ่งที่แตกต่างจากเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาตรฐานไฟ ASTM

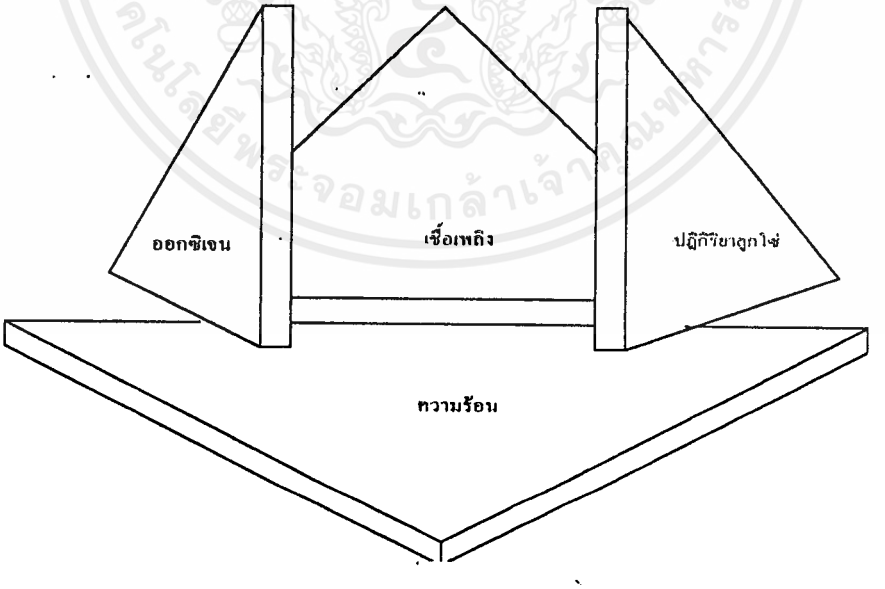
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อัคคีภัยในงานอุตสาหกรรม

ไฟเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงรวมตัวกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น เชื้อเพลิงต้องอยู่ในรูปของก๊าซหรือไอ จึงจะผสมได้กับออกซิเจน และอุณหภูมิต้องสูงถึงระดับที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้น

นักวิชาการชอบที่จะให้คำอธิบายเรื่องไฟในรูปของสามเหลี่ยม หรือรูปพีระมิดที่มี 4 ด้าน ด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมแสดงถึงองค์ประกอบของไฟ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อนที่จะต้องมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้น เป็นด้านที่สี่ของรูปพีระมิด (รูปที่ 3.1) เรื่องรูปพีระมิดนี้มีประโยชน์มากในการอธิบายเรื่องการดับไฟ หรือการควบคุมเพลิงไหม้ เพราะอธิบายได้ง่าย ๆ ว่า เพียงแต่เอาด้านใดด้านหนึ่งออกเท่านั้น ไฟก็จะไม่เกิดขึ้นอีกต่อไปที่จุดนั้น แสดงให้เห็นถึงความเกี่ยวพันกันระหว่างเชื้อเพลิง ความร้อน ออกซิเจนและปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยที่รูปสามเหลี่ยมแสดงถึงขั้นตอนการติดไฟ และพีระมิดแสดงถึงการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องของการติดไฟ

<u>เชื้อเพลิง</u> (Fuel) คือสารใด ๆ ที่จ่ายอิเล็กตรอนให้แก่ออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เชื้อเพลิงอาจมีรูปเป็นธาตุ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน แมกนีเซียม หรืออยู่ในรูปสารประกอบ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH_4) หรือสารประกอบเชิงซ้อน เช่น ไม้ ยาง หรือส่วนผสมของทั้งสองชนิด เป็นต้น



รูปที่ 3.1 พีระมิดของการติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ออกซิไดเซอร์ (Oxidizer)</u> เป็นสารที่ต้องการอิเล็กตรอนจากเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ออกซิไดเซอร์อาจอยู่ในรูปของธาตุ เช่น ฟลูออรีน ออกซิเจน หรือคลอรีน หรือจะอยู่ในรูปของสารประกอบที่จะปล่อยให้ฟลูออรีน ออกซิเจนหรือคลอรีนออกมาอย่างรวดเร็ว เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โพแทสเซียมไฮโปคลอไรต์ ($KClO_3$) หรือตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) หรือกรดเข้าข้น เช่นกรดไนตริก (HNO_3) การซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นต้น

ในบางกรณี ธาตุบางตัวที่คาดว่าจะต้องเป็นเชื้อเพลิงแต่ก็อาจทำหน้าที่เป็นออกซิไดเซอร์ได้ เช่นกำมะถัน ถูกเผาไหม้ได้ในบรรยากาศของออกซิเจนเพื่อให้ได้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แต่ไฮโดรเจนที่ถูกเผาพร้อมซัลเฟอร์จะได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และสารประกอบ (H_2S) ตัวนี้จะเป็นเชื้อเพลิงและถูกเผาไหม้ได้ในอากาศ แม้ว่าออกซิเจนจะเป็นตัวออกซิไดเซอร์ที่มีความสำคัญและมีพลังมากก็ตาม แต่ก็ต้องจ่ายอิเล็กตรอนในบรรยากาศของฟลูออรีนซึ่งเป็นตัวออกซิไดเซอร์

เชื้อเพลิง (ก๊าซหรือไอ) จะต้องผสมกับอากาศ (ออกซิเจน) ด้วยสัดส่วนที่เหมาะสม จึงจะลุกไหม้ได้ ช่วงขีดจำกัดของสัดส่วนนี้เริ่มตั้งแต่ <u>จุดลุกไหม้ล่าง</u> (LFL = Lower Flammability Limit) จนถึง <u>จุดลุกไหม้บน</u> (UFL = Upper Flammability Limit) ซึ่งได้ค่าตัวเลขมาจากอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงโดยปริมาตรต่อเปอร์เซนต์ของอากาศโดยปริมาตร ช่วงขีดจำกัด LFL และ UFL นี้ (flammability range) อาจอธิบายให้เห็นได้ชัดเจน จากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ นั่นคือสัดส่วนของเชื้อเพลิง / อากาศ ถ้ามีอากาศมากเกินไป ก็จะไม่มีการจุดระเบิด ถ้ามีเชื้อเพลิงมากไป น้ำมันจะท่วมคาร์บูเรเตอร์ เป็นต้น ในตำราบางเล่มกำหนดให้ขีดจำกัดการลุกไหม้ (flammability limits) มีความหมายเหมือนกับคำว่า ขีดจำกัดการระเบิด (explosive limits)
ทั้ง ๆ ที่ไม่น่าจะถูกต้องนักตามแนวคิดทางด้านเทคนิค (Hammer, 1981) แต่ก็เป็นที่ยอมรับกัน

<u>จุดวาบไฟ (Flash Point)</u> เป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงเหลวจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอหรือก๊าซ เมื่อของเหลวนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นต่อไปจนเกินจุดวาบไฟ จะทำให้มีไอระเหยออกมาอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการจุดไฟให้เกิดขึ้น (จะโดยการเกิดประกายไฟหรือจุดไฟโดยตรงก็ตาม) ก็จะทำให้มีไฟเกิดขึ้นอย่างเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้เรียกว่า <u>จุดติดไฟ</u> (Fire Point หรือ Ignition point) และเมื่อของเหลวนั้นได้รับความร้อนต่อไปจนเดือดและจะกลายเป็นไอ อุณหภูมิต่ำสุดที่ของเหลวนั้นเดือดเรียกว่า <u>จุดเดือด</u> (Boiling Point)

<u>จุดติดไฟอัตโนมัติ (Autoignition Point)</u> เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ส่วนผสมของไอระเหยจะติดไฟได้เอง โดยไม่อาศัยประกายไฟหรือเปลวไฟจากภายนอก และลุกไหม้ต่อไปโดยไม่ต้องมีความร้อนจากที่อื่นเพิ่มเติม

ความหนาแน่นของไอ ก๊าซและความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงเหลว เป็นเรื่องที่ควรรู้ เพราะถ้าไอเชื้อเพลิงตัวใดมีความหนาแน่นมากกว่า 1 ก็จะลอยตัวต่ำลงบนพื้น ถ้าเชื้อเพลิงเหลวตัวใดมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 และตัวมันเองไม่ละลายน้ำก็จะลอยตัวเหนือผิวน้ำ ตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Marshall, 1994) แสดงลักษณะสมบัติของวัสดุติดไฟบางชนิด และพึงต้องบันทึกความจำไว้ด้วยว่า วัสดุประเภทไม้ อะลูมิเนียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม จะติดไฟได้ง่ายและจะลุกไหม้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในรูปของฝุ่นผง

3.1 <u>การขยายตัวของไฟ</u> ไฟทุกประเภทเริ่มตั้งแต่จุดที่มีประกายไฟเกิดขึ้น และถ้ามีองค์ประกอบครบและสมบูรณ์ ไฟจะขยายตัวเติบโตขึ้นในลักษณะที่จะสามารถทำนายได้ สมมติว่ามีไฟเกิดขึ้นภายในอาคารและมีองค์ประกอบสมบูรณ์ ไฟจะขยายตัวอย่างมีรูปแบบและขั้นตอน (รูปที่ 3.2) ดังนี้

รูปแบบที่ 1 เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อนมารวมกันเพื่อจุดไฟให้เกิดเปลว

รูปแบบที่ 2 กองไฟขยายตัว มีเปลวไฟขึ้นสูงประมาณ 25 ซม.

รูปแบบที่ 3 กองไฟขยายตัว มีเปลวไฟขึ้นสูงประมาณ 1.4 เมตร ไฟลุกอย่างต่อเนื่อง

รูปแบบที่ 4 กองไฟขยายตัว มีเปลวไฟขึ้นสูงจนถึงเพดานห้องและเริ่มขยายออกข้าง

รูปแบบที่ 5 กองไฟขยายตัวออกทุกด้านจนทั่วทั้งห้อง

รูปแบบที่ 6 กองไฟขยายตัวออกจากห้องที่เป็นต้นเพลิง และลุกลามไปห้องอื่น ๆ

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของวัตถุติดไฟบางชนิด

ชนิดของวัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	จุดวูบวาบ °C	จุดเดือด °C	จุดติดไฟ °C	%ส่วนผสมที่จะติดไฟ	
					LFL	UFL
Acetone	0.8	-18	56	521	2.6	12.8
Benzene	0.9	-11	80	561	1.3	7.1
Gasoline 92	0.8		-43	40-200	1.4	7.6
Methyl alcohol	0.8	12	82	399	2.0	12.0
Vinyl acetate	0.9	-8	72	427	2.6	13.4
Paraffin wax	0.9	199	370	245	-	-
Wood	0.9			193-393		
Aluminum	2.70			500 (a)		
Magnesium	1.74			1153 (a)		
Potassium	0.86			156 (s)		

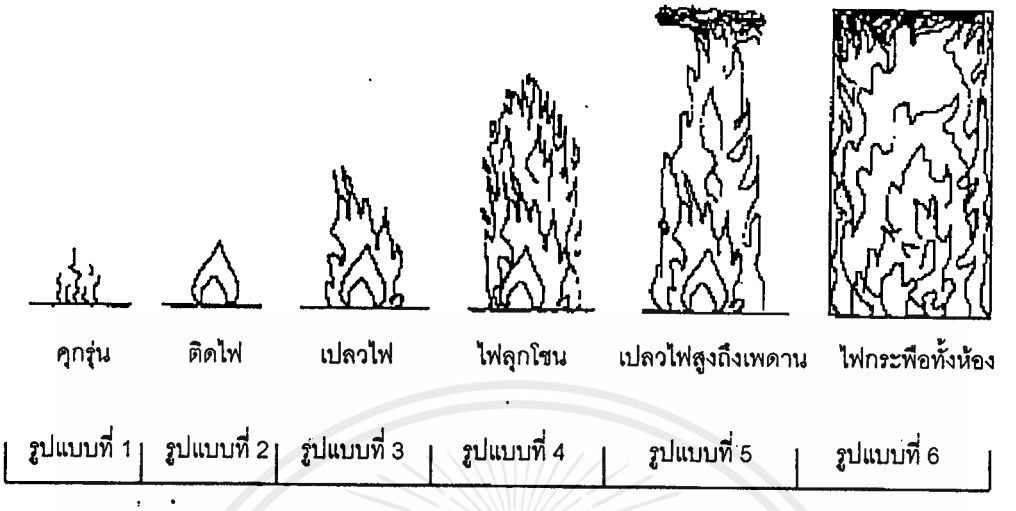
(a) ผงโลหะเหล่านี้จะจุดระเบิดได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดผงและบรรยากาศ

(s) หมายถึง spontaneous ignition การจุดระเบิดแบบค่อยเป็นค่อยไปและเกิดได้เอง

ช่องว่างในเซลล์ หมายความว่า ตัวเลขที่มีไม่เหมาะสมกัน

การขีด - หมายความว่า ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การขยายตัวของไฟอย่างมีขั้นตอน

กองไฟที่มีเปลวไฟสูงไม่เกิน 25 ซม. จะให้ความร้อนมากเพียงพอที่ไฟจะติดอยู่ต่อไปได้ความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีมีไม่มากนัก และถ้าจะดับไฟกองนี้ก็จะทำได้ไม่ยากนัก แต่เมื่อกองไฟขยายและมีเปลวไฟขึ้นสูงถึงประมาณ 1.4 เมตร จะต้องใช้ปริมาณออกซิเจนจากอากาศมาก

การระบายอากาศ เริ่มจะเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการขยายตัวของกองไฟ นั่นคือ ลักษณะของห้องและช่องเปิดตามกำแพง (ประตู หน้าต่าง) และบนเพดาน จะมีความสำคัญเพิ่มขึ้น เมื่อเปลวไฟขึ้นสูงถึงเพดาน มันจะถูกบังคับให้ขยายตัวออกด้านข้าง ความร้อนจะแผ่รังสีออกทุกด้าน ควันไฟจะเริ่มครอบคลุมใต้เพดานห้อง วัสดุทุกประเภทจะกลายเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกองไฟ เมื่อถึงระดับนี้ สิ่งขวางกั้นรอบด้านจะมีผลน้อยมาก แต่คุณสมบัติในการทนไฟของกำแพง เพดานและพื้น ก็จะมีความสำคัญต่อการลุกลามของไฟไปยังบริเวณข้าง ๆ ได้อย่างไร

การที่เปลวไฟจะขยายตัวถึงขั้นตอนที่ 6 จะใช้เวลานานเท่าใดนั้น ต้องขึ้นอยู่กับอัตราการกลายเป็นไอของวัสดุเชื้อเพลิง แต่เนื่องจากวัสดุดังกล่าวประกอบด้วยวัสดุหลายประเภท จึงมีอัตราการกลายเป็นไอที่แตกต่างกัน ไฟจึงมีลักษณะการลุกลามด้วยวิธีการที่หลากหลาย กล่าวคือ บางชนิดก็เผาไหม้อย่างช้า ๆ เป็นต้น

ในการออกแบบระบบการป้องกันอัคคีภัย พึงต้องระลึกไว้เสมอว่า ไฟจะไม่ลุกลาม ถ้าไม่มีวัสดุเชื้อเพลิงให้เผาผลาญ สำหรับในอาคาร วัสดุเชื้อเพลิงจะรวมเอาอุปกรณ์ตกแต่งภายใน โครงสร้างไม้ สีทาผนัง เป็นต้น อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะมีวัสดุติดไฟได้อยู่ในอาคารมาก ถ้าไม่อยู่ใกล้เปลวไฟ ก็จะไม่กลายเป็นเชื้อเพลิงไปได้ จนกว่าอุณหภูมิรอบข้างวัสดุเหล่านั้นจะสูงพอที่จะติดไฟได้ ดังนั้น ในขณะที่กองไฟยังมีขนาดเล็ก หากไม่มีเชื้อเพลิงเพียงพอ กองไฟกองนั้นก็จะดับด้วยตัวเองในระยะเวลาอันสั้น แต่ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กองไฟในอาคารนั้นมีเปลวไฟขั้นสูงประมาณ 1.4 เมตร แล้ว คงจะต้องอุปกรณ์ดับเพลิงที่ทันสมัยและความชำนาญในระดับผู้ผ่านการฝึกอบรมการดับเพลิงมาแล้วเท่านั้น จึงจะดับไฟนั้นได้

เมื่อกองไฟลุกลามมากขึ้นจนเปลวไฟสูงขึ้นจนถึงเพดาน และเริ่มจะขยายตัวออกด้านข้าง ความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีจะมีมากขึ้นและแผ่ออกไปทุกด้าน ทำให้ฝาผนังของห้องร้อนขึ้น ซึ่งก็จะแผ่รังสีย้อนกลับมาที่กองไฟอีก ทำให้กองไฟร้อนขึ้นอีก กลับไปกลับมาด้วยความรวดเร็วทำให้อุณหภูมิในห้องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ไฟเพิ่มพลังในการทำลายล้างอีกเป็นทวีคูณ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์สะท้อนกลับ (Feedback) ดังนั้นการควบคุมเพลิงให้อยู่แต่ในห้องจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนไฟของโครงสร้าง ฝาผนังกำแพง เพดานและพื้นของอาคาร

3.2 <u>ศักยภาพของเชื้อเพลิง</u> (Fuel Load) เป็นปริมาณของเชื้อเพลิงที่จะมีศักยภาพให้ไฟเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ในบริเวณหนึ่ง หรือในห้องหนึ่ง ๆ ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยในอาคาร ความรู้เรื่องศักยภาพของเชื้อเพลิงที่มีอยู่เป็นสิ่งจำเป็น เราอาจแบ่งประเภทของเชื้อเพลิงออกเป็น 2 ประเภทได้ คือ ประเภทมีเส้นใย และประเภทปิโตรเคมี โดยการสมมติว่า วัสดุในกลุ่มเส้นใยมีศักยภาพในการให้ความร้อนเท่ากับไม้ที่มีน้ำหนักเท่ากัน (ไม่ถูกต้องนัก แต่ก็ใกล้เคียง) ส่วนวัสดุในกลุ่มปิโตรเคมีจะมีศักยภาพในการให้ความร้อนเป็นสองเท่าของวัสดุในกลุ่มเส้นใย

ในการวิเคราะห์ศักยภาพของเชื้อเพลิง ได้มีการกำหนดให้ใช้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงในหน่วยที่เทียบเท่ากับน้ำหนักของไม้เป็นกิโลกรัม / พื้นที่เป็นตารางเมตรที่มีเชื้อเพลิงกองสุมอยู่

การประเมินพลังงานความร้อนที่วัสดุเชื้อเพลิงจะสร้างขึ้นมาได้ การทำได้โดยการนำไปเทียบเคียงกับพลังงานความร้อนที่ให้ออกมาเมื่อมีไม้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง ดังในตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นค่าตัวเลขโดยประมาณเท่านั้น ตัวเลขเหล่านี้ใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบฉีดน้ำอัตโนมัติได้ดี

ตารางที่ 3.2
สมบัติของเชื้อเพลิงพื้นฐานที่จะให้ความร้อน

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง D กิโลกรัม / ตารางเมตร	ศักยภาพที่จะให้ความร้อน $\times 10^6$ กิโลจูล / กิโลกรัม
$D < 200$	18.6
$200 < D < 250$	17.7
$D < 250$	16.7

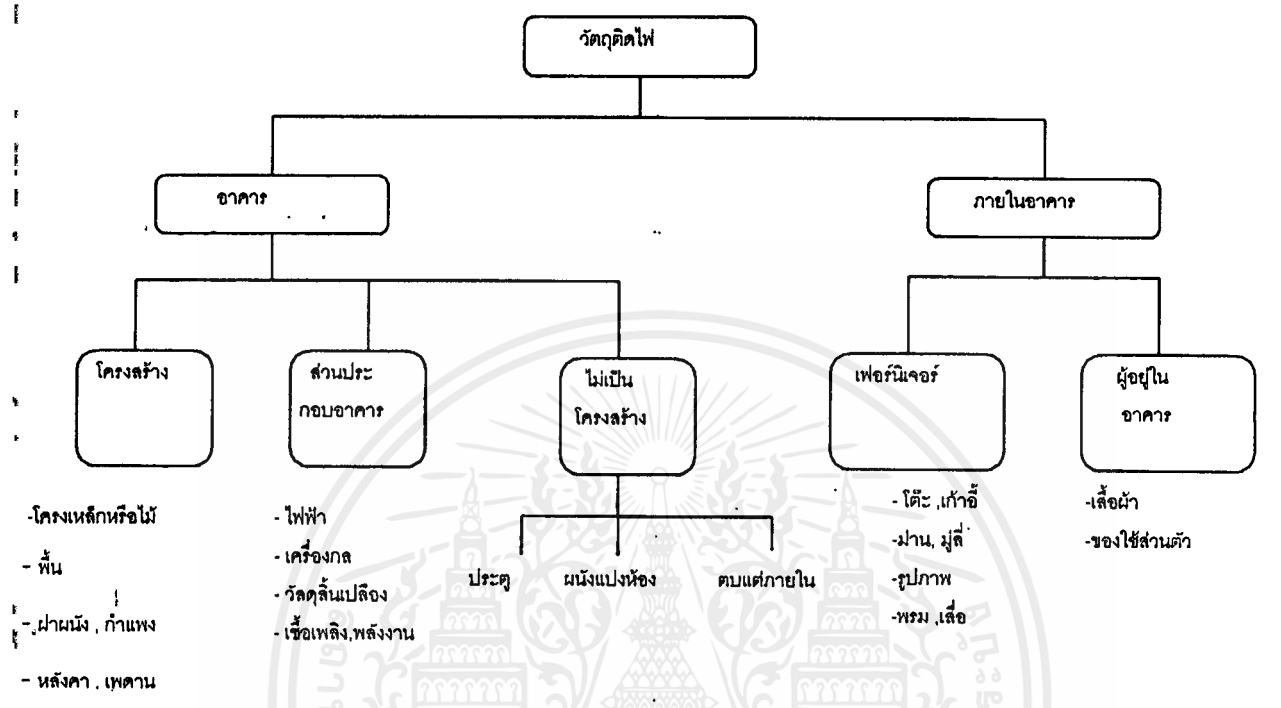
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีให้อย่างต่อเนื่อง เพราะว่าไฟจะลุกลามต่อไปไม่ได้ ถ้าไม่มีเชื้อเพลิงให้ ถ้าเชื้อเพลิงเป็นของแข็งหรือของเหลว ไฟจะไหม้เฉพาะผิวชั้นนอก และผิวชั้นในถัดไปก็พร้อมที่จะระเหยเป็นไอสำหรับการเผาไหม้จะเร็วกว่า การเผาหนังสือเย็บเล่มหนา 100 แผ่น ดังนั้น ขยะมูลฝอยที่กระจัดกระจายอยู่ตามพื้น ย่อมไหม้ไฟหมดเร็วกว่ากองขยะที่กองสุมอัดแน่น

การลุกลามของไฟย่อมไปตามทิศทางของเปลวไฟ อากาศเมื่อถูกความร้อนจะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องสูง และจะนำเปลวขึ้นไปในทางสูงด้วย หากมีลมแรงพัดกองไฟ จะพัดหรือจะเป่าด้วยอะไรก็ตาม การลุกลามของเปลวไฟจะลู่ไปตามลมด้วย ไฟที่เกิดขึ้นในท่อลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศหรือท่อระบายอากาศ ก็มักจะเกิดขึ้นโดยวิธีเช่นนี้ ดังนั้น เราจึงอาจกล่าวได้ว่าเราสามารถทำนายได้ว่าไฟจะลุกลามไปทางใด ถ้าเรามีความรู้เรื่องสภาพภายในของอาคารนั้นดีพอ

รูปที่ 3.3 เป็นแผนผังแสดงถึงประเภทของวัสดุติดไฟได้ในอาคาร เราจำเป็นที่จะต้องแยกวัสดุเชื้อเพลิงเหล่านี้ออกเป็น 2 กลุ่ม เพื่อประโยชน์ต่อการป้องกันอัคคีภัย กลุ่มแรก เป็นอาคารและส่วนประกอบของอาคาร กลุ่มที่สองรวมเอาเครื่องเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ วัสดุอุปกรณ์ของโรงงานและของสำนักงาน กลุ่มแรกจะมีลักษณะติดตายถาวร ไม่สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือโยกย้ายได้ หรือทำได้ยากมาก ดังนั้น จึงต้องมีการออกแบบและสร้างอย่างถูกต้องมาตั้งแต่เริ่มแรกซึ่งมี สถาปนิกและวิศวกรเป็นผู้รับผิดชอบ สำหรับกลุ่มที่สองเป็นสิ่งของที่สามารถโยกย้ายหรือปรับปรุง เปลี่ยนแปลงรูปทรงสันฐานได้ ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของฝ่ายจัดการของผู้ใช้อาคาร ดังนั้นจึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่สถาปนิก วิศวกรและฝ่ายจัดการผู้ใช้อาคาร จะต้องได้รับข้อมูลและข้อเท็จจริงว่า การจัดให้มีวัสดุติดไฟอยู่รวมกันมาก ๆ จะทำให้อาคารนั้นมีความเป็นไปได้ค่อนข้องสูงที่จะถูกทำลายโดยอัคคีภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงประเภทของวัสดุติดไฟในอาคาร

3.3 <u>ลำดับชั้นของเพลิงไหม้</u> องค์กรอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา (OSHA = Occupational Safety and Health Administration) ได้กำหนดชั้นของการเกิดเพลิงไหม้เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้น้ำยาดับเพลิงที่เหมาะสม โดยจำแนกตามชนิดของเชื้อเพลิง เป็น 4 ชั้น (Classes) ด้วยกัน คือ

<u>ชั้น ก.</u> เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากวัสดุติดไฟจำพวกไม้ กระดาษ เศษผ้า หญ้า ฯลฯ สามารถทำการดับได้ด้วยน้ำ หรือเครื่องดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง ชั้น ก. ชั้น ข. หรือ ชั้น ค. ซึ่งสามารถที่จะดับไฟได้อย่างรวดเร็ว

<u>ชั้น ข.</u> เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากไอระเหยของวัสดุติดไฟจำพวกของเหลวและก๊าซ สามารถที่จะดับได้โดยเครื่องดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง หรือน้ำยาโฟม หรือก๊าซจำพวกที่หนักกว่าอากาศ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ฮาลอน เป็นต้น

<u>ชั้น ค.</u> เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากประกายไฟจากเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลัดวงจรไฟฟ้า สามารถที่จะดับเพลิงชนิดนี้ได้โดยใช้เครื่องดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง หรือก๊าซที่หนักกว่าอากาศ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ฮาลอน เป็นต้น **ข้อควรระวัง** ต้องไม่ใช้น้ำหรือน้ำยาโฟมดับไฟนี้เป็นอันขาด เพราะน้ำเป็นสื่อไฟฟ้าจะเป็นอันตรายแก่ผู้ที่ทำการดับไฟ การใช้เครื่องดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง จะทำลายวงจรไฟฟ้าให้ชำรุดเสียหายได้

ชั้น ง. เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากวัสดุติดไฟจำพวกโลหะ เช่นแมกนีเซียม ลิเทียม ไทเทเนียม เซอร์โคเนียมและโซเดียม การดับเพลิงชนิดนี้ต้องใช้วิธีการและเครื่องดับเพลิงชนิดพิเศษ หากเป็นชนิดธรรมดาอาจมีการระเบิดได้

3.4 สารดับเพลิง ก่อนการจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีดับเพลิงประจำจุดต่าง ๆ เราจะต้องมีความรู้เรื่องชนิดและประเภทของไฟที่จะมีขึ้นในบริเวณนั้นด้วย เพื่อที่จะได้ติดตั้งอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

สารเคมีดับเพลิงจะต้องมีรายละเอียดแจ้งไว้อย่างชัดเจน ถึงลักษณะของไฟไหม้ที่จะใช้สารเคมีนั้นได้ วิธีการใช้งาน วิธีการดูแลตรวจสอบ และต้องติดตั้งไว้ในบริเวณที่คาดว่าจะมีความเสี่ยงต่ออัคคีภัย โดยจัดให้ก้นถังสารเคมีอยู่สูงจากพื้นประมาณระดับเอวของพนักงาน (ประมาณ 95-110 ซม.) เพื่อการยกเคลื่อนย้ายด้วยความปลอดภัย (กิตติ อินทรานนท์ และคณะ 2531) ต้องไม่มีการวางสิ่งของขวางกั้นทางเข้าที่จะไปถึงสารเคมีดังกล่าวโดยเด็ดขาด

พนักงานที่รับผิดชอบบริเวณจะต้องรับผิดชอบในการดูแลอุปกรณ์ และสารเคมีดับเพลิงประจำจุดนั้น ซึ่งหัวหน้างานจะต้องคอยกำกับดูแล และรู้สถานที่ไว้อุปกรณ์ดับเพลิงทุกจุดด้วย

โดยปกติ แต่ละองค์กร แต่ละหน่วยงานจะมีกำหนดการที่แน่นอนที่จะดูแลและตรวจสอบสารเคมีและอุปกรณ์และสารเคมีดับเพลิงได้

สารที่ใช้ดับเพลิงมีอยู่หลายชนิด มีตั้งแต่ราคาไม่สูงนัก (น้ำ) จนถึงราคาแพงมาก (สารเคมีที่ใช้ดับเพลิงที่มีสาเหตุจากผงโลหะ)

3.4.1 **น้ำ** เป็นสารประกอบที่มีอยู่โดยทั่วไป ใช้ในการดับเพลิงไหม้ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับ เพลิงไหม้ในชั้น ก. น้ำจะช่วยลดอุณหภูมิและช่วยลดปริมาณอากาศที่จะเข้าไปเผาไหม้ทำให้ไฟลุกลามขยายตัว

ถ้าจะให้ได้ผลดี จะต้องฉีดน้ำดับเพลิงเข้าไปเป็นฝอย ให้ดูเสมือนว่าเป็นเมฆหมอกคลุมบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ ในอัตราที่พอเหมาะจะทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลงและลดการระเหยของเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดวาบไฟสูงกว่า 38 °C อย่างได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การใช้น้ำดับเพลิงผิดวิธี เช่นการฉีดน้ำดับเพลิงเข้าไปเป็นสายจากระยะทางไกล ๆ เพื่อดับเพลิงที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแล้วจะทำให้เกิดการขยายตัวของไฟเพิ่มมากขึ้น เพราะไม่ช่วยให้อุณหภูมิรอบข้างลดลงได้เลย และการใช้น้ำดับไฟที่เกิดจากผงโลหะจะทำให้เพิ่มโอกาสของการระเบิดได้

3.4.2 <u>คาร์บอนไดออกไซด์</u> เป็นสารประกอบที่นำมาใช้ในการดับเพลิงกันอย่างแพร่หลายขณะนี้ เพราะทำหน้าที่ได้ถึง 4 ประการ คือ

ก) <u>สารหล่อเย็น</u> (coolant) กล่าวคือ เมื่อเก็บคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในถังจะอยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันสูง และอุณหภูมิต่ำมาก ๆ เมื่อปล่อยให้ออกมากระทบกับบรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์จะขยายตัวอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนสภาพเป็นคล้าย "หิมะ"
ซึ่งลักษณะการเป็น "หิมะ" และก๊าซเย็นเช่นนี้ จะทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดติดไฟได้

ข) <u>สารคลุมไฟ</u> (blanketing) กล่าวคือ เมื่อมีคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากพอก็จะทำหน้าที่เหมือนผ้าคลุมทนไฟครอบคลุมไฟที่กำลังไหม้ให้แยกอากาศ (ที่มีออกซิเจน) ออกจากกองไฟ

ค) <u>สารลดสัดส่วนออกซิเจน</u> นั่นคือ ถ้ามีคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มากพอก็จะเจือจางสัดส่วนของออกซิเจนในอากาศซึ่งอาจทำให้การลุกไหม้ลดขนาดหรืออาจมอดดับไปในที่สุด

ง) <u>สารหน่วงการเผาไหม้</u> (combustion inhibitor) การตัดปฏิกิริยาลูกโซ่เป็นสิ่งที่คาร์บอนไดออกไซด์ทำได้ดี โดยไฮโดรเจนเกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ซึ่งน้ำกับคาร์บอนที่อยู่โดยอิสระก็จะรวมตัวกันได้สารประกอบมอนอกไซด์ กับไฮโดรเจนขึ้นอีก ปฏิกิริยาทั้งสองเป็นแบบเอนโดเทอร์มิก (endothermic) จะลดปริมาณความร้อนได้มาก ทำให้อุณหภูมิการลุกไหม้ลดลง

อย่างไรก็ตาม คาร์บอนไดออกไซด์ก็มีข้อจำกัดในการดับไฟอยู่บ้างกล่าวคือ สามารถใช้ดับไฟที่เกิดจากผงโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนิเซียม ไทเทเนียมได้ และจะใช้ดับไฟที่เกิดจากสารเคมีประเภทเซลลูโลส ไนเตรต ก็ได้ไม่ดีนักเพราะสารเคมีประเภทนี้มีออกซิเจนอยู่ในตัวสารนั้นอาจแตกตัวออกมาช่วยในการลุกไหม้ต่อไปได้ นอกจากนี้การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ดับไฟในอาคารขณะที่มีคนอยู่รอบข้าง อาจทำให้บุคคลเหล่านั้นได้รับอันตรายถ้าไม่รีบเคลื่อนย้ายคนออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
039000

3.4.3 <u>ไนโตรเจน</u> เมื่อนำมาใช้ดับเพลิงจะทำหน้าที่เป็นตัวทำให้สัดส่วนของออกซิเจนในอากาศเจือจางลงจนกระทั่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ไนโตรเจนไม่อาจทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ ในบางครั้งการใช้ไนโตรเจนช่วยในการดับไฟอาจเป็นอันตรายเพราะอาจรวมตัวกับคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้ได้สารประกอบไซยาโนเจน (cyanogen) หรือ $(CN)_2$ และอาจรวมตัวกับออกซิเจนเป็นไนโตรเจนเปอร์ออกไซด์และออกไซด์อย่างอื่นของออกซิเจน ซึ่งก๊าซเหล่านี้เป็นพิษอย่างยิ่งแม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

3.4.4 <u>ฮาลอน</u> (Hologenated hydrocarbons) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไฮโดรเจนอะตอมตัวหนึ่งหรือหลายตัวถูกแทนที่ด้วยอะตอมของธาตุชุดฮาโลเจน (คือ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน หรือ ไอโอดีน) การแทนที่เช่นนี้จะทำให้เกิดคุณสมบัติไม่ติดไฟขึ้น สารฮาลอนใช้กันมากในอุปกรณ์ดับเพลิงที่หิ้วได้และในระบบของรถดับเพลิง

เนื่องจากสารฮาลอนเป็นสารประกอบหลายตัวจึงนิยมใช้รหัสประจำ กำหนดขึ้นตามจำนวนอะตอมของธาตุที่มีอยู่ กล่าวคือ ตัวเลขตัวแรกเป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอน ตัวที่สองเป็นจำนวนอะตอมของฟลูออรีน ตัวที่สามเป็นจำนวนอะตอมของคลอรีน ตัวเลขตัวที่สี่เป็นจำนวนอะตอมของโบรมีน และ ตัวเลขตัวที่ห้าเป็นจำนวนอะตอมของไอโอดีน (ถ้ามี) ถ้าในสารประกอบไม่มีไอโอดีนอยู่ก็หมายความว่าตัวเลขตัวที่ห้าเป็น 0 แต่ไม่ต้องเติมตัวเลข 0 เข้าไปท้ายรหัสฮาลอน เช่น Bromochloromethane (CH_2BrCl) ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว ไม่มีอะตอมของฟลูออรีน มีอะตอมของคลอรีน 1 ตัว มีอะตอมของโบรมีน 1 ตัว ไม่มีอะตอมของไอโอดีน ได้รหัสเป็น 1011 ไม่ใช่ 10110 ตัวอย่างของสารฮาลอนสำหรับใช้ในการดับเพลิงแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า สารฮาลอนจึงนิยมใช้ในการดับเพลิงที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า โรงงานผลิตสารปิโตรเลียมและเคมีภัณฑ์ ห้องเครื่องยนต์ต่าง ๆ ที่ต้องการให้ไฟดับอย่างรวดเร็วที่สุด

แม้ว่าสารฮาลอนจะใช้ดับไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพมากก็ตาม แต่ได้มีการพบว่าการใช้สารดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบต่อปริมาณโอโซน ที่ปกคลุมในชั้นบรรยากาศของผิวโลก ทำให้รังสีของแสงอัลตราไวโอเลตส่องผ่านลงมาจนถึงพื้นโลก และเมื่อสัมผัสกับผิวหนังของมนุษย์จะทำให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นหลายประเทศในโลกจึงได้มีการห้ามใช้สารฮาลอน เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารนี้ในบรรยากาศ ในประเทศที่ยังไม่มีกฎหมายห้ามก็ได้มีการรณรงค์อย่างแข็งขันให้เลิกใช้สารฮาลอนและสารอื่นใดที่จะมีส่วนทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สารฮาลอนบางชนิดและรหัส
(ดัดแปลงจาก Cote และ Bugbee, 1993)

ชื่อทางเคมี	สูตรทางเคมี	รหัสฮาลอน
Methyl Bromine	CH_3Br	1001
Methyl Lodine	CH_3O	10001
Bromochrolomethane	CH_2BrCl	1011
Dibromodifluoromethane	CF_2Br_2	1202
Bromochrolodifluoromethane	CF_2BrCl	1211
Bromotrifluoromethane	CF_3Br	1301
Carbon tetrachloride	CCl_4	104
Dibromotetrafluoroethane	$C_2F_4Br_2$	2402

3.4.5 **โฟม (Foams)** คือสารเคมีมีสภาพเป็นฟองหนาทึบ นำมาใช้ในการดับเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมัน เมื่อราวปลายศตวรรษที่ 19 แต่เดิมฟองโฟมเกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมี แต่ในปัจจุบัน ได้นำฟองโฟมที่เกิดขึ้นโดยการใช้อุปกรณ์สร้างฟองโฟม (Foam Maker) ที่ดูดอากาศเข้าไปในตัวของมันเองทำให้เกิดการไหลวนอย่างรุนแรงโดยอาศัยหลักการของรูเข็ม (Venturi) ก่อให้เกิดปฏิกิริยาก่อตัวขึ้นไปฟองโฟม อัตราการขยายตัวของโฟมจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาโฟม ปริมาณอากาศที่ใช้ ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์สร้างโฟม คุณภาพของน้ำอุณหภูมิและความดันของน้ำ

โฟมที่ใช้ดับเพลิง แบ่งได้ตามสัดส่วนของปริมาตรสุดท้ายของฟองต่อปริมาตรโฟมก่อนที่จะเติมอากาศ ดังนี้ ก.) **โฟมขยายตัวน้อย** มีสัดส่วนจนถึง 2 : 1 ข.) **โฟมขยายตัวปานกลาง** มีสัดส่วนขยายตัวตั้งแต่ 20:1 ถึง 200:1 และ ค.) **โฟมขยายตัวมาก** มีสัดส่วนขยายตัวตั้งแต่ 200:1 ถึง 1,000 : 1

น้ำยาโฟมที่ใช้ดับเพลิงมีหลายประเภทต่าง ๆกัน เช่น โฟมโปรตีน (Protein) ฟลูออโรโปรตีน (Fluoroprotein) โฟมสังเคราะห์ (Sunthetic) โฟมชั้นที่ฟิล์มบาง (AFFF = Aqueous Film F0rming Foram) โฟมชั้นที่ฟิล์มบางโปรตีน (AFFF Protein) และโฟมชั้นที่ฟิล์มบางต้านแอลกอฮอล์ (AFFF/Alcohol Resietant) เป็นต้น การเลือกใช้โฟมให้ถูกต้องและเหมาะสม ต้องพิจารณาว่าเราจะป้องกันอะไรจากเพลิงไหม้เป็นหลัก และจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นลักษณะอาคารสารดับเพลิงอื่น ๆ ที่มีอยู่แล้วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟมชนิดต่าง ๆ จะทำหน้าที่ดับไฟโดยวิธีการดังนี้

ก.) ป้องกันอากาศไม่ให้ผสมกับกับไอระเหยของวัสดุเชื้อเพลิง จนไฟต้องดับไปในที่สุด

ข.) ระงับและป้องกันไม่ให้ไอของวัสดุเชื้อเพลิงระเหยออกมา

ค.) แยกเปลวไฟออกจากแหล่งเชื้อเพลิง

ง.) ลดอุณหภูมิของวัสดุเชื้อเพลิงและภาชนะที่ใช้บรรจุวัสดุเชื้อเพลิงนั้น

คุณสมบัติที่ดีของโฟมที่ใช้ในการดับไฟมีดังนี้

ก.) ต้องสามารถไหลคลุมพื้นผิวของวัสดุเชื้อเพลิงได้เร็ว และในขณะเดียวกันต้องป้องกันไม่ให้ไอระเหยของวัสดุเชื้อเพลิงขึ้น

ข.) ต้องสามารถทนต่อการเสื่อมคุณภาพจากความร้อน ต้องไม่รวมตัวกับวัสดุเชื้อเพลิงต้องสามารถบรรจุน้ำ อยู่ภายในขณะที่อยู่บนผิวโลหะที่มีความร้อน

ค.) ต้องมีน้ำหนักเบาเพียงพอที่จะลอยอยู่บนวัสดุเชื้อเพลิงที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ในขณะเดียวกันต้องมีน้ำหนักมากพอที่จะไม่ถูกลมพัดพาไป

สารเคมีแห้ง สารเคมีที่ใช้ในการดับเพลิงมักจะถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์ดับเพลิงประเภทหิ้วได้ หรือระบบที่ใช้คนเพียงคนเดียวก็สามารถทำการดับไฟได้ สารเคมีแห้งสามารถที่จะดับเพลิงที่เกิดจากของเหลวติดไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากว่าได้ฉีดให้สารเคมีที่เป็นผงครอบคลุมบริเวณเพลิงไหม้อย่างทั่วถึงก็จะระงับปฏิกิริยาลูกโซ่ให้ขาดตอนด้วยการกั้นการเติมออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการเผาไหม้ ทำให้ไฟดับได้โดยทันที แต่ความร้อนของเถ้าถ่านกับการแผ่รังสีก็ยังคงมีอยู่ นอกจากนี้ ในปัจจุบันไม่พบว่าสารเคมีเป็นพิษต่อมนุษย์ แต่หากใช้ในปริมาณที่มากก็อาจทำให้ผู้อยู่ใกล้เคียงหายใจไม่สะดวก และอาจทำให้แสบตาหรือตาพร่าได้

สารเคมีแห้งนิยมใช้ในการดับเพลิงไหม้ที่เกิดจากน้ำมันรั่ว ในระยะ เริ่มแรกจะได้ผลดีมาก แต่อาจทำให้ไฟที่ดับไปแล้ว กลับมาลุกไหม้ต่อไปอีกถ้าแหล่งความร้อนยังเหลืออยู่และการรั่วไหลของน้ำมันยังไม่ถูกกำจัดให้หมดสิ้นไป ดังนั้น ถ้าได้ใช้น้ำฉีดให้เป็นฝอยครอบคลุมบริเวณไฟไหม้จะช่วยลดอุณหภูมิในบริเวณนั้น เป็นการเพิ่มความมั่นใจว่าจะไม่มีเพลิงไหม้เกิดขึ้นอีกเนื่องจากไฟ ที่ดับไปแล้ว

สารเคมีแห้งที่ใช้ในการดับเพลิงมีหลายประเภทด้วยกัน แต่คุณสมบัติหลักก็คือ จะต้องมีลักษณะเป็นผงละเอียด ไหลเคลื่อนตัวได้สะดวกและไม่รวมตัวกับน้ำ ในปัจจุบันมีสารเคมีที่ใช้ดับเพลิงกันอย่างแพร่หลายอยู่ 5 ประเภท คือ 1.) **โซเดียมไบคาร์บอเนต** เป็นสารเคมีชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ในกิจการดับเพลิง แต่เอามาใช้ร่วมกับโฟมไม่ได้ เพราะมีซิงก์เตียเรตผสมอยู่,ซึ่งจะทำให้โฟมแตกตัวออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมฟองไว้ไม่ได้ ต่อมาในราวปี 2503 ก็ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงของเดิมให้มีคุณภาพดี คือ 2.) **โซเดียมไบคาร์บอนเนตที่สามารถใช้งานร่วมกับโฟมที่มีสัดส่วนการขยายตัวน้อย** เพราะมีสารเคมีซิลิโคน โพลิเมอร์อีกตัวหนึ่งผสมเข้ามาด้วย การใช้สารเคมีตัวนี้ดับไฟ จะต้องฉีดพ่นเข้าไปในบริเวณไฟไหม้ก่อน และต้องฉีดโฟมเพิ่มอีกก็ให้ทำการฉีดตามหลัง สารเคมีที่เป็นกลุ่มอเนกประสงค์ คือ 3.) **โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต และ " ม่วง - เค" (Purple - K) โพแทสเซียม ไบคาร์บอเนต** มีคุณสมบัติในการดับเพลิงเป็น 2 เท่า (โดยน้ำหนัก) เมื่อเทียบกับ ชนิดที่ 1 และ 2 เหมาะที่จะใช้ในงานดับเพลิงในโรงงานปิโตรเลียม ใช้ ร่วมกับโฟมได้ด้วย ต่อมาในราวปี 2510 ก็มีการพัฒนา 4.) **"ซุปเปอร์เค" (Super - K) หรือ โพแทสเซียมคลอไรด์** ออกสู่ตลาด เพื่อใช้ในงานดับเพลิง เหมาะที่จะใช้งานดับเพลิงในโรงงานปิโตรเลียม ซึ่งจะใช้งานร่วมกับโฟมเทียบเท่ากับ "ม่วง-เค" (Purple-k) หรือ โฟแทสเซียมไบคาร์บอเนต ประมาณปี 2512-2513 ในสหราชอาณาจักรก็ได้มีการนำเสนอสารเคมีตัวใหม่ออกมาใช้งานดับเพลิง คือ 5.) **ยูเรีย - โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต** เป็นสารเคมีที่ผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง ยูเรีย - กับเกลือของโพแทสเซียม ซึ่งทำให้การดับเพลิงมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีทั้ง 4 ประเภทที่กล่าวมาแล้วทุกชนิด

3.4.7 **ข้อจำกัดการใช้สารเคมีแห้ง** โดยทั่วไปสารเคมีแห้งจะใช้ในการดับไฟจากเชื้อเพลิงเหลวแต่เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า จึงมักจะนำไปใช้ในการดับไฟจากไฟฟ้าลัดวงจรด้วย (ลักษณะไฟ ชั้น ข. และชั้น ค.) นอกจากนี้สารเคมีแห้งสามารถที่จะดับไฟได้อย่างรวดเร็วจึงนำไปใช้ในการดับไฟที่เกิดจากวัสดุเชื้อเพลิงทั่วไป (ลักษณะไฟ ชั้น ก.) อีกด้วย ข้อควรปฏิบัติในการดับไฟประเภท ก. นี้ คือควรต้องใช้น้ำฉีดให้เป็นฝอยครอบคลุมบริเวณไฟไหม้อีกครั้งหนึ่ง เพื่อป้องกันการติดไฟจากที่คุกรุนอยู่ภายในกองวัสดุเชื้อเพลิง(ซึ่งอาจมีอยู่)

สารเคมีแห้งไม่ควรนำไปใช้ดับไฟในเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่นอุปกรณ์ในห้องคอมพิวเตอร์ ตู้สลับสายโทรศัพท์ เป็นต้น เพราะสารเคมีเหล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าหลังจากไฟดับแล้ว การทำความสะอาดเพื่อชำระล้างเอาฉนวนออกจากตัวนำไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ไม่ใช่เรื่องง่ายเลย และสารเคมีแห้งบางชนิดก็มีคุณสมบัติทำให้ ผิวของโลหะที่ใช้ทำอุปกรณ์สึกกร่อนได้เหมือนกัน

การใช้อุปกรณ์ดับเพลิงแบบหิ้วได้ที่บรรจุสารเคมีแห้งเป็นน้ำยาดับเพลิงนั้น มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน พึงระลึกไว้ว่า การใช้อุปกรณ์ดับเพลิงแบบหิ้วได้จะต้องมั่นใจว่า

ก.) ใช้อุปกรณ์ดับเพลิงเป็นแบบที่ถูกต้องกับชนิดของเพลิงไหม้

ข.) ขนาดของเพลิงไหม้จะต้องไม่ใหญ่โตมากนัก

ค.) ผู้ใช้ต้องสามารถใช้อุปกรณ์ดับเพลิงแบบหิ้วได้ ใช้เป็น และมีความต้องการที่จะทำ

3.5 <u>สาเหตุของการเกิดไฟไหม้</u> สาเหตุของเพลิงไหม้มีได้หลายอย่าง แต่ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นความเห็นโดยย่อของสาเหตุที่น่าจะเกิดได้ในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 **อุปกรณ์ไฟฟ้า** มอเตอร์ไฟฟ้า สวิตช์ ไฟแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต้องใช้งานอยู่ในบรรยากาศของก๊าซหรือไอ ฝุ่นผงหรือเส้นใยต่าง ๆที่ติดไฟได้ จะมีความเสี่ยงสูง ต่ออัคคีภัย ดังนั้น การออกแบบ การติดตั้ง การใช้อุปกรณ์ ต้องปฏิบัติตามกฎและระเบียบของทางราชการอย่างเคร่งครัด อันเป็นมาตรฐานขั้นต่ำ

สายไฟเก่า การต่อเชื่อมสายไฟ และการซ่อมแซมอุปกรณ์ไฟฟ้า จะต้องทำให้มีมาตรฐาน ฟิวส์ และอุปกรณ์ตัดไฟ ต้องอยู่ในสภาพดี และเป็นแบบที่ถูกต้องเหมาะสมกับการใช้งาน

การทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องไฟฟ้าด้วยตัวทำละลาย อาจมีอันตรายเพราะว่าสารละลายบางชนิดมีพิษและติดไฟได้ จึงต้องพิจารณาใช้เฉพาะสารที่ปลอดภัย

3.5.2 **การเสียดสี** แรงเสียดทานที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะอาจทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นสูง เช่นเพลาหมุนในโรงสีข้าวที่มีฝุ่นและละอองข้าวเกิดขึ้นมาก อาจเป็นสาเหตุแห่งการติดไฟได้ ลูกปืนควรได้รับการอัดฉีดและหล่อลื่นเป็นประจำเพื่อมิให้มีความร้อนมากจนเกินไป ควรทำความสะอาดบริเวณที่เสียดสีกัน โดยขูดเอาฝุ่นผงที่อาจติดไฟได้ออกให้หมด ควรหาอะไรมาปิดหัวอัดจารบีและหล่อลื่นให้มิดชิด เพื่อป้องกันฝุ่นผงตกลงไปในนั้น

3.5.3 **สารเคมีพิเศษ** วัสดุและสารเคมีบางอย่างจะต้องมีการเก็บรักษาเป็นพิเศษเพื่อป้องกันการลุกไหม้ เช่นโซเดียมและโพแทสเซียมจะสลายตัวอย่างรุนแรงเมื่อถูกน้ำ และไล่เอาไฮโดรเจนออกมาซึ่งก็จะค่อย ๆ ติดไฟได้ ในทำนองเดียวกันฟอสฟอรัสเหลือง เมื่ออยู่ในบรรยากาศปกติก็จะค่อย ๆ ติดไฟได้เช่นกัน

ไม่ว่าสารเหล่านี้จะเก็บไปไว้ที่ใด ผู้เก็บจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับการติดไฟได้และอันตรายที่มีที่เกี่ยวเนื่องกับสารนั้นทุกประการ เพื่อเป็นการเตรียมการระวังภัย การปิดบังสมบัติที่อันตรายของสารเคมีแล้วส่งไปให้ผู้อื่นดูแลรักษา หรือใช้ เป็นการกระทำที่ไร้มนุษยธรรมโดยสิ้นเชิง

3.5.4 **การเชื่อมและการตัด** การเชื่อมและการตัดโลหะจะต้องพยายามให้ทำงานอยู่แยกกันในห้องที่มีการถ่ายเทของอากาศดี และบนพื้นที่สร้างด้วยวัสดุทนไฟ และก่อนที่จะเริ่มงานเชื่อมหรือตัดจะต้อง 1) ทำการสำรวจพื้นที่ที่จะทำงานก่อนว่าจะมีภัยเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยสูงเกินไปหรือไม่ 2) มีแผนการที่จะป้องกันมิให้มีอัคคีภัยเกิดขึ้น และ 3) งานเชื่อมและตัดโลหะไม่ว่าจะเป็นงานใหญ่หรืองานเล็กจะต้องได้รับใบ อนุญาตให้ทำงาน (Permit) จากวิศวกรควบคุมโครงการเพื่อให้มั่นใจว่ามีการทำงานสอดคล้องกับกฎและระเบียบทุกประการ

ต้องทำความสะอาดพื้นให้สะอาดปราศจากคราบน้ำมัน หรือคราบฝุ่น ก่อนที่จะทำการเชื่อมหรือตัดโลหะ แต่หากว่าจำเป็นจะต้องทำในห้องที่เป็นพื้นไม้ ต้องหาวัสดุทนไฟมาปูพื้นให้เรียบก่อน และต้องมีผ้าใบทนไฟมาแขวนกั้นเป็นฉาก และที่สำคัญก็คือต้องไม่ทำการเชื่อมหรือตัดในจุดที่ใกล้กับบริเวณที่เก็บวัสดุไวไฟ เช่นน้ำมัน หรือ ก๊าซ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำงานเสร็จ จะต้องคอยเฝ้าดูบริเวณนั้นต่อไปอีกอย่างน้อย ครึ่งชั่วโมงเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีไฟคุกรุ่นอยู่

3.5.5 **เปลวไฟ** ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกิจกรรมการพ่นสี หรือพ่นสารเคมีไวไฟใด ๆ จะต้องไม่มีการก่อกองไฟ มีเปลวไฟ หรือมีประกายไฟในละแวก ใกล้เคียง สาเหตุที่สำคัญในเรื่องนี้คือ ประกายไฟจากเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ช่วยในการพ่น และการสูบบุหรี่ในบริเวณที่ไม่อนุญาตให้สูบ หากกิจกรรมเหล่านี้ต้องทำในอาคารต้องมีการระบายอากาศที่ดีประกอบด้วย

การจุดไฟตะเกียงที่มีน้ำมันก๊าดหรือแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิง จะต้องอยู่ห่างจากพื้นไม้ไม่น้อยกว่า 45 ซม. ไม่ควรจุดในห้องที่มีก๊าซไวไฟหรือมีฝุ่นผงมาก และไม่ควรทิ้งไว้โดยไม่มีคนเฝ้า

3.5.6 **การสูบบุหรี่** สาเหตุเพลิงไหม้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 เหตุที่ได้รับการกล่าวอ้างมากที่สุดก็คือ ไฟฟ้าลัดวงจรและก้นบุหรี่ การพิสูจน์ว่ามาจากสาเหตุใดนั้นบางครั้งก็ค่อนข้างชัดเจนแต่ในบางครั้งก็เป็นเพียงสมมุติฐาน ในเรื่อการสูบบุหรี่ ฝ่ายจัดการจะต้องมีนโยบายและวิธีปฏิบัติที่ชัดเจนในการกำหนดพื้นที่ให้สูบ ซึ่งจะต้องมีเครื่องหมายให้เห็นอย่างเด่นชัด การทิ้งก้นบุหรี่จะต้องกระทำในบริเวณที่สูบและลงในภาชนะที่จัดไว้ให้เท่านั้น ไม่มีข้อยกเว้นสำหรับบุคคลที่ปฏิบัติผิดระเบียบ พนักงานทำความสะอาดจะต้องช่วยอีกแรงหนึ่งด้วยการหมั่นตรวจดูบริเวณบันไดขึ้นลง ใต้บันได ซอกมุมต่าง ๆ ซึ่งมักจะมีก้นบุหรี่ที่ยังไม่ดับซุกอยู่

โรงงานบางประเภทที่มีความเสี่ยงต่ออัคคีภัยสูง เช่นโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น นอกจากจะไม่อนุญาติให้สูบบุหรี่ในบริเวณโรงงานแล้ว ยังห้ามพกไม้ขีด ไฟแช็ก เข้าไปในบริเวณโรงงานอีกด้วย

3.5.7 **การติดไฟแบบค่อยเป็นไปเอง** (Spontaneous Ignition) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อวัสดุติดไฟได้จับกลุ่มรวมกันโดยมีอากาศแทรกเข้าไปอยู่ วัสดุเหล่านั้นจะเริ่มสลายตัวและแยกตัวเองอย่างช้า ๆ ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละน้อยโดยไม่มีการระบายเอาความร้อนออกไปได้เร็วกว่าอัตราที่ความร้อนได้เพิ่มขึ้น จนถึงจุดติดไฟ ที่เรียกว่าจุดติดไฟอัตโนมัติ (Autoignition Point) สารเคมีประเภทโซเดียม คลอเรต มักจะเกิดกรณีติดไฟแบบนี้ โดยเฉพาะในขณะที่กำลังเปียก จึงต้องเก็บไว้ในที่เย็นและแห้ง และให้อยู่ห่าง ๆ กับวัสดุไวไฟอื่น ๆ เศษผ้าและขยะอย่างอื่นที่ชุ่มด้วยน้ำมันหรือสีมักจะทำให้เกิดไฟได้บ่อยในถัง เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นหนีไม่เร็วพอทำให้ความร้อนสะสมจนถึงติดไฟ วิธีแก้กระทำได้ 2 วิธี คือโดยการเก็บถังที่ปิดมิดชิดที่อากาศผ่านเข้าออกได้ยากทำให้มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ ถังขยะเหล่านี้ต้องได้รับการเอาใจใส่ทุกวัน อีกวิธีหนึ่งเก็บไนที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเพื่อให้ระบายความร้อนออกได้เร็วก่อนที่จะสะสมจนถึงจุดติดไฟ

3.5.8 **ไฟฟ้าสถิต** ไฟฟ้าสถิตจะมีเกิดขึ้นเสมอในทุกแห่งที่มีวัตถุสองชนิดมาเสียดสีกันโดยเฉพาะในกิจการอุตสาหกรรม เช่นการหมุนของสายพาน การไหลของวัตถุในท่อด้วยความเร็วเป็นต้น ซึ่งสนามไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นมีมากพอที่จะผ่านความต้านทานของอากาศและเป็นประกายไฟลงดิน (grounded) ประกายไฟ (Sparks) ดังกล่าวอาจมีพลังมากพอที่จะจุดระเบิดวัสดุไวไฟ เช่น ก๊าซ ไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหย ผงฝุ่น ที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ หรืออาจทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรง หากวัสดุไวไฟที่อยู่ในทางผ่านของประกายไฟเป็นกลุ่มที่สลายตัวง่าย เช่นสารในกลุ่มเพอร์ออกไซด์ เป็นต้น

การวิจัยในเรื่องการเกิดไฟฟ้าสถิตย์และการป้องกันในกลุ่มประเทศตะวันตกมีอยู่มาก และเป็นเรื่องเฉพาะทางของสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้สนใจควรติดตามจาก Gibson (1997) เนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงการสรุปเบื้องต้นเท่านั้น

อัตราการเกิดขึ้นของไฟฟ้าสถิตจากการไหลของวัสดุจะค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ ถ้าเป็นของเหลวที่ไหลผ่านท่อจะอยู่ในระหว่าง 1 ถึง 1,000 พิโกแอมป์ (Picoamps) และสำหรับผงที่ออกมาจากเครื่องบดจะประมาณ 10 ถึง 100,000 พิโกแอมป์ แต่การไหลของวัสดุดังกล่าวจะสร้างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 10 ถึง 40 กิโลวัตต์ เว้นแต่ว่าจะมีการนำเอาประจุที่เกิดขึ้นลงดินหรือนำไปที่อื่นเสียก่อน พลังงานไฟฟ้าของตัวนำกระแสจะคำนวณได้ดังนี้

$$E = 10^{-3} \frac{CV^2}{2}$$

เมื่อ E = พลังงานเป็นไมโครจูล (= 10^{-6} จูล)

C = ความจุไฟฟ้าของสื่อตัวนำเป็นพิโกฟารัด (= 10^{-12} ฟารัด)

V = ศักย์ไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ (= 10^{3} โวลต์)

ฝากระป๋องมีความจุไฟฟ้าประมาณ 10 พิโกฟารัด ดังนั้น ฝากระป๋องที่มีประจุมากจนมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 20 กิโลโวลต์ จะมีพลังงานประมาณ 2 ไมโครจูล

ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิตจะส่งกระแสฝ่าอากาศต้องการพลังงานน้อยที่สุดเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับวัสดุและวิธีการทดสอบ เช่นพลังงานระหว่าง 0.1 ถึง 1 ไมโครจูลก็เพียงพอแล้วสำหรับส่วนผสมของไอระเหยกับอากาศ ถ้าเป็นผงฝุ่นที่ติดไฟได้ก็จะต้องการพลังงานถึง 5 ไมโครจูลหรือมากกว่า ในขณะที่ชนวนระเบิดที่ไวไฟ มีพลังงานเพียง 0.1 ไมโครจูลก็เกินพอแล้วสำหรับการจะระเบิด

เงื่อนไขที่จะทำให้ไฟฟ้าสถิต เป็นเหตุปัจจัยของเพลิงไหม้หรือของการระเบิดคือ

1. มีส่วนผสมไอระเหยกับอากาศ หรือส่วนผสมของผงฝุ่นกับอากาศอยู่ในละแวกใกล้ชิด
2. ปริมาณประจุไฟฟ้าต้องมีเพิ่ม ขึ้นบนสื่อตัวนำที่มีฉนวนกั้นแยกออกจากตัวนำตัวอื่นทำให้มีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพียงพอที่จะเป็นประกายไฟข้ามไปยังตัวนำ (โดยปกติ จะต่อลงดินอยู่แล้ว) ที่อยู่ใกล้เคียง
3. ประกายไฟต้องมีพลังงานที่มากพอที่จะจุดระเบิดส่วนผสมที่ติดไฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุป จะเห็นได้ว่าการเกิดประกายไฟอันเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสถิตเป็นภัยเสี่ยงสูงมาก เมื่อมีไอหรือก๊าซไวไฟหรือฝุ่นผงที่ติดไฟได้อยู่บริเวณใกล้เคียง ไฟฟ้าสถิตย์เกิดขึ้นได้หลายวิธี การไหล ของของเหลวที่ติดไฟได้ในท่อที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า หรือการปล่อยให้สารเคมีที่เป็นผงและแห้งลงมาตามท่อที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เข้าสู่เครื่องผสม

การป้องกันมิให้ไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นในกรณีข้างบนนี้คงจะทำได้ยากมาก แต่เราอาจลดภัยเสี่ยงอันเนื่องจากการเกิดประการไฟของไฟฟ้าสถิตได้ โดยการป้องกันมิให้มีการสะสมของไฟฟ้าสถิตย์ได้ วิธีที่เหมาะสมที่สุดขณะนี้ คือ การต่อลงดิน (Grounded) ซึ่งอาจต่อลงดินจากเครื่องได้ โดยตรง หรือทำให้ทั้งพื้นและอาคารต่อลงดินให้หมดเพื่อว่าเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์จะได้ถูกต่อลงดินหมด แต่พื้นคงจะต้องไม่มีการเคลือบขี้ผึ้งหรือทาน้ำมันใด ๆ

อีกวิธีหนึ่งที่จะทำได้ คือการใช้รองเท้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเดินบนพื้น และทางเข้าทางออกอาจมีแผ่นตัวนำไฟฟ้าเพื่อให้กระแสไฟฟ้าสถิตลงดินให้หมดก่อนที่จะมีปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เกิดประกายไฟขึ้นมาได้

ประเทศไทยมีความชื้นค่อนข้างสูง (บ่อยครั้งอยู่ระหว่าง 60 %- 70 %) โอกาสที่กระแสไฟฟ้าสถิตจะสะสมมากพอที่จะสร้างประกายไฟได้นั้นมีน้อย แต่ข้อเสียก็คือเครื่องมืออุปกรณ์เหล่านั้นเกิดสนิมได้ง่าย ดังนั้นในห้องปฏิบัติการจึงมักจะมีการควบคุมความชื้นให้ต่ำลง ซึ่งก็เป็นทางให้การสะสมของไฟฟ้าสถิตมีมากขึ้น

3.5.9 ฝุ่นระเบิด (Dust Explosion) ฝุ่นผงเม็ดละเอียดขนาดเล็กกว่า 400 ไมครอน ของสารที่ติดไฟได้ถ้าอยู่รวมกันในสภาพที่เหมาะสมในบรรยากาศก็จะระเบิดได้ และมีความแน่นอยู่ในช่วงขีดจำกัดของจุดระเบิด (ระหว่าง LEL กับ UEL) ฝุ่นผงโดยทั่วไปที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน จะมีค่าจุดระเบิดล่างอยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 กรัม / ลบ.เมตร และมีค่าจุดระเบิดบนอยู่ระหว่าง 2,000 ถึง 6,000 กรัม / ลบ.เมตร (Bartknecht , 1981) อย่างไรก็ตาม ตัวเลขนี้เป็นเพียงการประมาณเท่านั้น เพราะการวัดหาค่าจุดระเบิดขนของฝุ่นผงนั้นยากมาก ดังนั้น ในการคำนวณเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันฝุ่นระเบิดจะต้องใช้ค่าของจุดระเบิดล่างหรือค่าจุดระเบิดที่น้อยที่สุด (Minimum Explosive Limit) เป็นเกณฑ์ โดยปกติกฝุ่นผงที่มีขนาดยิ่งเล็ก ค่าจุดระเบิดก็จะยิ่งลดต่ำลง และค่าจุดระเบิดของฝุ่นผงต่างชนิดกัน จะมีค่าไม่เท่ากัน

อันตรายเนื่องจากฝุ่นระเบิดย่อมสัมพันธ์กับความยากง่ายของการจุดระเบิดและความรุนแรงของการระเบิด กรมการเหมืองแร่ของกระทรวงมหาดไทย สหรัฐอเมริกา ได้คิดวิธีการวัดเสี่ยงจากการระเบิด โดยกำหนดให้ความไวของการจุดระเบิด (IS = ignition sensitivity) เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิจุดระเบิด (IT = ignition temperature) และพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการจุดระเบิด (MEI = minimum energy ignition) ที่ความหนาแน่นน้อยที่สุดค่า หนึ่ง (MC = minimum concentration of dust) ส่วนความรุนแรงของการระเบิด (ES = explosive severity) ก็เป็นฟังก์ชั่นของความดันระเบิดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุด (MEP = maximum explosive pressure) กับอัตราสูงสุดของความดันที่เพิ่มขึ้น (MRPR = maximum rate of pressure rise) และนำเอาค่ามาเปรียบเทียบกับค่าของผงถ่านหินสเบอร์กที่มีความหนาแน่น 500 กรัม / ลบ เมตร (Schwab , 1990) ดังนี้

$$IS = \frac{IT \times MEI \times MC \text{ for Pittsburg Coal Dust}}{IT \times MEI \times MC \text{ for Sample Dust}}$$

และ

$$ES = \frac{MEP \times MRPR \text{ for Sample Dust}}{MEP \times MRPR \text{ for Pittsburg Coal Dust}}$$

ดัชนีการระเบิด (EI = explosibility indes) คือผลคูณของ IS กับ Es ซึ่งก็ได้มีการกำหนดเป็นเกณฑ์วัดความรุนแรงของการระเบิดไว้ (ตารางที่ 3.4) นั่นคือ

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์วัดความรุนแรงของการระเบิด

ประเภทของการระเบิด	IS	ES	EI
อ่อน	< 0.2	< 0.5	<0.1
ปานกลาง	0.2 - 1.0	0.5-1.0	0.1-1.0
รุนแรง	0.3 1.0 - 5.0	1.0-2.0	1.0-10.0
รุนแรงมาก	> 5.0	>2.0	>10.0

วัสดุติดไฟได้เกือบทุกชนิด เมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นฝุ่นถ้ารวมกันจนเป็นหมอกหนาก็อาจระเบิดได้ รวมทั้งโลหะเบา เช่นอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม พลาสติกจำพวกโพลิสไตรีนผลิตภัณฑ์การเกษตร เช่น แป้ง น้ำตาล กาแฟ รำข้าว นอกจากนี้ยังมีถ่านหิน ขี้เลื่อย กำมะถัน เป็นต้น

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าตัวเลขเกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่นที่ได้มาจากรายงานของกรมการเหมืองแร่ กระทรวงมหาดไทย สหรัฐอเมริกา ที่รวบรวมไว้ในรายงานของ Schwab (1990)

ตัวอย่าง เหมืองถ่านหินแห่งหนึ่งขุดเอาถ่านหินชั้นที่ดีประเภท Bituminous Coal ขึ้นมาบด โดยใช้เครื่องบด 2 เครื่องหมายเลข ลป 02-001 บดถ่านหิดได้เร็ว 1.9 กก/วินาที มีลมพัดด้วยความเร็ว 7.1 ลบ.เมตร/วินาที และเครื่องหมายเลข ลป 02-002 บดถ่านหินได้เร็ว 13.9 กก/วินาทีมีลมพัดด้วยความเร็วที่เท่ากันคือ 7.1ลบ.เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จงพิจารณาว่ากิจกรรมนี้จะมีโอกาสให้ผลถ่านหินระเบิดได้หรือไม่

คำอธิบาย ความหนาแน่นของฝุ่นผงขณะที่ไหลเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ กิโลกรัม/วินาที หารด้วย ลบ.เมตร/วินาที จะได้เป็นความแน่นในหน่วย กิโลกรัม/ลบ.เมตรนั่นคือ ที่เครื่องบดหมายเลข ลป 02-001 ความแน่นของฝุ่นผง ช 1.9/7.1 = 0.27 กก/ลบ.เมตร และ ที่เครื่องบดหมายเลข ลป 02-002 ความแน่นของฝุ่นผง = 13.9/7.1 = 1.96 กก/ลบ.เมตร

เมื่อตรวจดูค่าของความแน่นต่ำสุดที่ Bituminous Coal จะระเบิดได้ (MEL) จากตารางที่ 3.5 คือ 0.05 กก/ลบ.เมตร แม้ว่าค่า 0.27 และ 1.96 กก/ลบ.เมตร จะดูเหมือนเป็นค่าที่ห่างไกลจากค่า MEL ในตารางมากก็ตาม แต่ก็จัดว่ามีความเสี่ยงที่จะระเบิดได้เพียงแต่ว่าอัตราเสี่ยงนั้นจะมากหรือน้อยเท่านั้นเอง และก็ได้กล่าวไว้แล้วในเบื้องต้นแล้วว่า ค่าจุดระเบิดบนของฝุ่นผงใด ๆ เป็นค่าที่จะหาจากการทดลองได้ยากมาก ต้องใช้วิธีกะประมาณเอา หรือหาเอาจากตัวเลขที่ได้ที่มีการระเบิดของฝุ่นมาแล้วในอดีต สำหรับข้อนี้กรมการเหมืองแร่ กระทรวงมหาดไทยสหรัฐอเมริกาได้รายงานสรุปจากเหตุการณ์ฝุ่นระเบิดครั้งก่อน ๆ ว่าค่าจุดระเบิดบนของ Bituminous Coal จะอยู่ในช่วง 2 ถึง 4 กก/ลบ.เมตร นั่นหมายความว่า ช่วงความแน่น ที่ ถ่านหิน Bituminous จะจุดระเบิดได้ (Explosive Limit) อยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 2 กก/ลบ.เมตร เป็นอย่างแคบ และระหว่าง 0.05 ถึง 4 กก/ลบ.เมตร เป็นอย่างกว้าง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่เครื่องบดทั้งสองเครื่องมีโอกาสที่จะมีเหตุร้ายจากฝุ่นระเบิดเกิดขึ้นได้

การระเบิดของฝุ่นที่เกิดขึ้นในโรงงานมักจะเกิดในบริเวณที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ประจำ แม้ว่าในสถานที่ที่มีผู้คนเข้าออกมากนั้น จะมีฝุ่นผงอยู่มากและมีสภาพที่พร้อมจะระเบิดอยู่เวลาก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าบริเวณเหล่านั้นมีการดูแลทำความสะอาดยังอยู่บ้าง อย่างไรก็ดี ใช้วิธีทำความสะอาดที่ไม่เหมาะสม เช่นใช้ลมอัด (Compressed air) อาจเพิ่มโอกาสที่จะมีการระเบิดของฝุ่นผงมากขึ้น

โดยทั่วไป การจุดระเบิดของฝุ่นจะเกิดขึ้นได้ยากกว่า ก๊าซหรือไอระเหยที่ไวไฟ เพราะต้องอาศัยประกายไฟที่แรงหรืออุณหภูมิและความดันค่อนข้างสูงเช่น เซลลูโลส อะซีเตต จะติดไฟได้ ต้องมีอุณหภูมิสูงถึง 300 °C แต่ถ้าเป็นผงถ่านหินจะสูงขึ้นไปถึง 700 °C ในขณะที่ผงกำมะถันเมื่ออุณหภูมิถึง 193 °C ก็ติดไฟแล้ว ยิ่งถ้าหมอกฝุ่นเหล่านั้นอยู่ในห้องซึ่งมีท่อไอน้ำผ่าน การสะสมความร้อนก็จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปอย่างทั่วถึง และการลุกไหม้ก็อาจเกิดขึ้นก่อนที่อุณหภูมิจะถึงจุดระเบิดได้

การป้องกันมิให้มีการระเบิดของฝุ่นอาจกระทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการเก็บและเคลื่อนย้ายฝุ่นผงที่มีอยู่ในโรงงาน กล่าวคือ 1) ใช้ก๊าซเฉื่อยแทนที่จะใช้อากาศเป่าเพื่อไล่ออกซิเจน แต่ค่าใช้จ่ายจะสูงมาก ดังนั้นจึงต้องเป็นกรณีจำเป็นจริง ๆ 2) ใช้กระบวนการเปียกแทนที่จะเป็นแบบแห้งในกระบวนการผลิต แต่การรักษาความสะอาดคงจะเป็นเรื่องใหญ่พอควร ซึ่งก็มีหลายครั้งทีเดียวที่เป็นไปไม่ได้ 3) แยกเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต ซึ่งมีโอกาสทำให้ฝุ่นระเบิดขึ้นมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกออกไปอยู่ห่างออกไปและทำให้เข็งแรงมากขึ้น 4) ออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย หรือขนถ่ายวัสดุผงในแต่ละครั้งได้ไม่มากจนเกินไป และจัดให้มีที่ระบายความร้อนและความดันออกบ้างเพื่อลดภัยเสี่ยงจากการระเบิด

ตารางที่ 3.5 ลักษณะสมบัติฝุ่น วัสดุในการจุดระเบิด

(ดัดแปลงจาก Schwab , 1990)

ชนิดของฝุ่นวัสดุ	EI	IS	ES	MEL กรัม/ลบ.เมตร
coffee , fully roasted	<0.1	0.2	0.1	85
Corn	6.9	2.3	3.0	55
Milk , skimmed	1.4	1.6	0.9	50
Rice	0.3	0.5	0.5	85
Soy flour	0.7	0.6	1.1	60
Sugar , Powdered	9.6	4.0	2.4	45
Charcoal , hardwood mixture	1.3	1.4	0.9	140
Coal , bituminous	4.1	2.2	1.8	50
Coal , Pennsylvania,Pittsburg	1.0	1.0	1.0	55
Lignite , California	>10	5.0	3.8	30
Pthalic anhydride	>10	13.8	1.6	15
Aluminum tristearate	>10	21.3	1.9	15
Sulfur	>10	20.2	1.2	35
Magesium,milled Grade B	>10	3.0	7.4	30
Zinc (97% Zn, 2% Pb)	>10	<0.1	<0.1	460
Cellulose acetate	<10	8.0	1.6	40
Rubber,crude,hard	7.4	4.6	1.6	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง

4.1 วิธีการทดสอบ

4.1.1 การเตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบ

คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบนั้นผสมจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง มวลรวมมีขนาดโตสุดประมาณ ¾ นิ้ว งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยที่จะใช้ในการทดสอบที่ 210 KSC และมีค่าสัดส่วนผสมดังนี้

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตใช้ในการทดสอบ

กำลังที่ออกแบบ (กก. ต่อ ตร.ซม.)	ปริมาณซีเมนต์ (กก.)	ปริมาณหิน (กก.)	ปริมาณทราย (กก.)	ปริมาณน้ำ (กก.)	ค่าการยุบต่าง (ซม.)
210	270	1088	828	200	9.5

4.1.2 เหล็ก

คุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ในการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่าง คอนกรีตกับเหล็กมีดังนี้คือ เหล็กที่ใช้เป็นเหล็กข้ออ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร กำลังรับแรงสูงสุด 3,000 กิโลกรัมต่อหนึ่ง ตารางเซนติเมตร (SD30)

4.1.3 แบบหล่อคอนกรีต

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้สนใจเรื่องของกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีต หลังจากที่ไฟไหม้ไปแล้วดังนั้นแบบหล่อจะเป็นดังนี้

แบบหล่อรูปลูกบาศก์มาตรฐาน

- ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.

4.1.4 การผสมคอนกรีตและการเทคอนกรีต

การผสมจะใช้โม่ผสมตามอัตราส่วนผสมขั้นต้น แล้วทำการเทลงแบบหล่อ โดยการเทคอนกรีตจะทำการเทใส่กระบะก่อนแล้วใช้จอบหรือพลั่ว เทลงแบบหล่อมาตรฐานรูปลูกบาศก์ (ในที่นี้ใช้ไม้ทำแบบหล่อ) เท 2 ชั้นที่ แต่ละชั้นทำการกระทุ้ง 30 ครั้งตามมาตรฐาน ASTM C 192 ขณะที่เทคอนกรีตลงแบบจะทำการคลุกคอนกรีตที่อยู่ในกระบะเสมอ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ เมื่อเทคอนกรีตเสร็จก็ทำการปาดผิวหน้าให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตที่เทเสร็จแล้วเมื่อทิ้งไว้ครบ 24 ชั่วโมงก็จะทำการถอดแบบออกเสร็จแล้วนำไปบ่มในบ่อบ่ม เวลาบ่มจะบ่มอย่างต่อเนื่องทั้งหมด 28 วัน ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 192-79 เสร็จแล้วจึงนำขึ้นมาทดสอบต่อไป

4.1.6 จำนวนแท่งตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบในครั้งนี้ใช้จำนวนแท่งตัวอย่าง 3 ตัวอย่างต่อเวลาและอุณหภูมิหนึ่งครั้งจำนวนแท่งตัวอย่างทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต ที่กำลังอัดประลัยเริ่มต้นเท่ากับ 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีทั้งหมด 75 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาที่จะทำการทดสอบแยกตามอุณหภูมิ

กำลังอัด (กก. / ซม^2)	เวลาที่ทำการทดสอบ (ชั่วโมง)			
	300° C	500° C	700° C	900° C
210	1,2,3,4,5,6	1,2 ,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6

หมายเหตุ จำนวนแท่งตัวอย่างจะทำการทดสอบเวลาละ 3 ตัวอย่าง

4.2 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.1 เตาไฟที่ใช้ในการทดสอบ

เตาไฟที่ใช้ในการทดสอบ ลักษณะของเตาเป็นรูปลูกบาศก์ มีปริมาตรหนึ่งลูกบาศก์เมตร สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยมีเทอร์โมคัฟเปิลเป็นเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิภายในเตา เตาจะใช้แก๊สเป็นตัวจุดไฟ ด้านล่างของเตาจะมีหัวจุดเชื้อเพลิง 8 หัว ส่วนบนของเตาจะมีปล่องระบายความร้อนภายในเตาจะมีแผ่นอิฐทนความร้อน เรียงไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กและกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีต

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ใช้เครื่อง Universal Testing Machine โดยใช้ มาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C39-72

4.3 การดำเนินการทดสอบ

เมื่อคอนกรีตบ่มในบ่อบ่มมีอายุครบ 28 วันแล้ว นำไปตากแดดทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน จึงนำไปทดสอบเผาไฟ ในการทดสอบเริ่มแรกได้ทดสอบเผาแท่งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เผาไล่ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง ถึง 6 ชั่วโมง เมื่อเผาถึงอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ตัวอย่างคอนกรีตบางก้อนจะเริ่มมีการระเบิดขึ้นแต่ไม่ทั้งหมด ซึ่งลักษณะการระเบิดจะเป็นการแตกในบางส่วน ซึ่งยังสามารถนำมาทดสอบหากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวได้อยู่ การเผาจะทำการเผาเหล็ก 3 ตัวอย่าง และคอนกรีตที่เสียบเหล็กโผล่ออกมาอีก 3 ตัวอย่าง พร้อมกัน อุณหภูมิที่ทำการเผาทั้งหมด คือ 300,500,700,900 เมื่อเผาตัวอย่างเสร็จแล้วนั้นจะปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงไปภายในเตาจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 150 องศา แล้วจึงนำตัวอย่างออกจากเตา จากนั้นรอตัวอย่างเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง เสร็จแล้วจึงค่อยนำไปทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็ก และกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีต ตามเวลาและอุณหภูมิ

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กจะทำการทดสอบโดย Universal Testing Machine ซึ่งจะทำการดึงจนถึงจุดที่รับแรงได้มากที่สุด คือ จุดที่เหล็กขาดออกจากกัน ทำการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ในแต่ละกรณี ส่วนการทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กนั้น จะทำการทดสอบโดยใช้ Universal Testing Machine เช่นกัน การทดสอบ 3 ตัวอย่าง ดึงจนกระทั่ง เหล็กที่เสียบติดอยู่กับลูกคอนกรีตหลุดออกมา แล้วบันทึกค่าสุดท้ายที่อ่านได้จาก Universal Testing Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การนำเสนอผลการศึกษา

การนำเสนอจะแบ่งออกเป็น 2 เรื่องใหญ่ คือ

1. ค่าของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก

   ตารางที่ 5.1 - 5.10 และกราฟที่ 5.1 - 5.10

2. ค่าของกำลังรับแรงดึงและค่าความเครียดของเหล็ก

   ตารางที่ 5.11 - 5.20 และกราฟที่ 5.11 - 5.20 เป็นค่าของกำลังรับแรงดึง

   ตารางที่ 5.21 - 5.30 และกราฟที่ 5.21 - 5.30 เป็นค่าของความเครียด

ลักษณะสีของคอนกรีตหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

300 °C	500 °C	700 °C	900 °C
ไม่เปลี่ยนแปลง	ชมพู - ส้ม	เทา	ขาว

ลักษณะสีของเหล็กหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

300 °C	500 °C	700 °C	900 °C
ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	แดง	น้ำเงิน - เทา

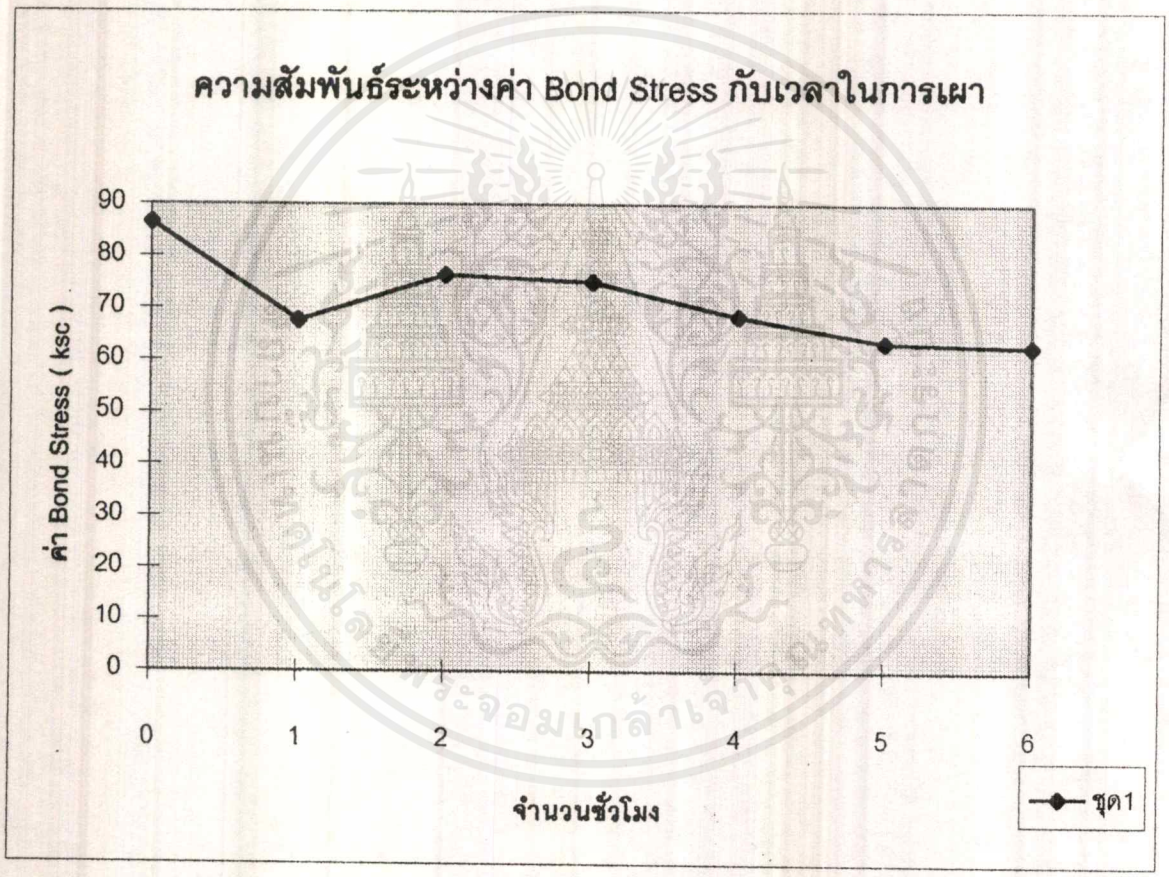
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
300	0	1	1.2	5100	90.23	
300	0	2	1.2	4575	80.94	
300	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	1	1	1.2	3750	66.35	
300	1	2	1.2	3675	65.02	
300	1	3	1.2	4050	71.66	
					เฉลี่ย	67.68
300	2	1	1.2	3975	70.33	
300	2	2	1.2	4200	74.31	
300	2	3	1.2	4800	84.93	
					เฉลี่ย	76.52
300	3	1	1.2	3975	70.33	
300	3	2	1.2	4425	78.29	
300	3	3	1.2	4350	76.96	
					เฉลี่ย	75.19
300	4	1	1.2	3360	59.45	
300	4	2	1.2	4500	79.62	
300	4	3	1.2	3750	66.35	
					เฉลี่ย	68.47
300	5	1	1.2	3330	58.92	
300	5	2	1.2	3530	62.46	
300	5	3	1.2	3900	69.00	
					เฉลี่ย	63.46
300	6	1	1.2	3825	67.68	
300	6	2	1.2	2850	50.42	
300	6	3	1.2	3975	70.33	
					เฉลี่ย	62.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.1 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



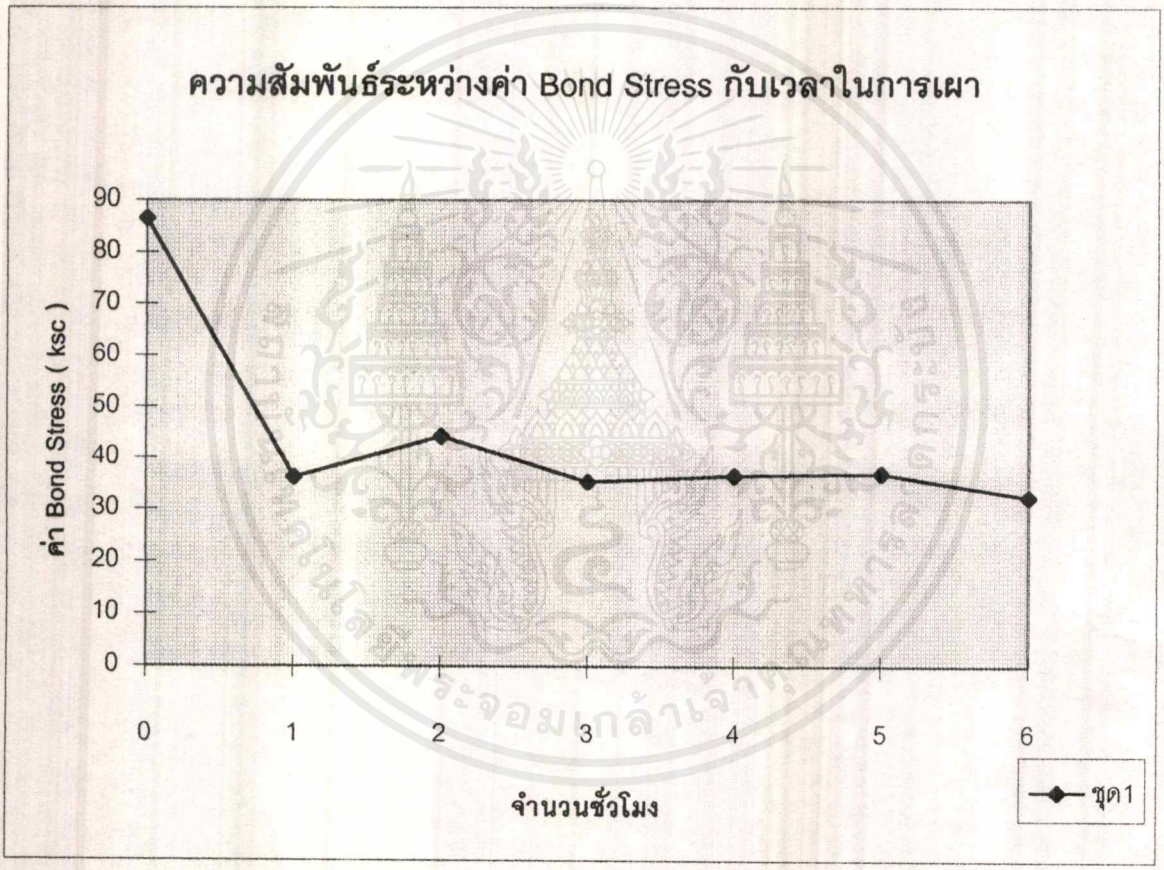
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
500	0	1	1.2	5100	90.23	
500	0	2	1.2	4575	80.94	
500	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
500	1	1	1.2	1800	31.85	
500	1	2	1.2	2250	39.81	
500	1	3	1.2	2100	37.15	
					เฉลี่ย	36.27
500	2	1	1.2	2850	50.42	
500	2	2	1.2	2250	39.81	
500	2	3	1.2	2400	42.46	
					เฉลี่ย	44.23
500	3	1	1.2	1650	29.19	
500	3	2	1.2	2475	43.79	
500	3	3	1.2	1875	33.17	
					เฉลี่ย	35.39
500	4	1	1.2	1425	25.21	
500	4	2	1.2	2400	42.46	
500	4	3	1.2	2400	42.46	
					เฉลี่ย	36.71
500	5	1	1.2	1950	34.50	
500	5	2	1.2	2250	39.81	
500	5	3	1.2	2100	37.15	
					เฉลี่ย	37.15
500	6	1	1.2	1300	23.00	
500	6	2	1.2	1800	31.85	
500	6	3	1.2	2400	42.46	
					เฉลี่ย	32.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.2 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



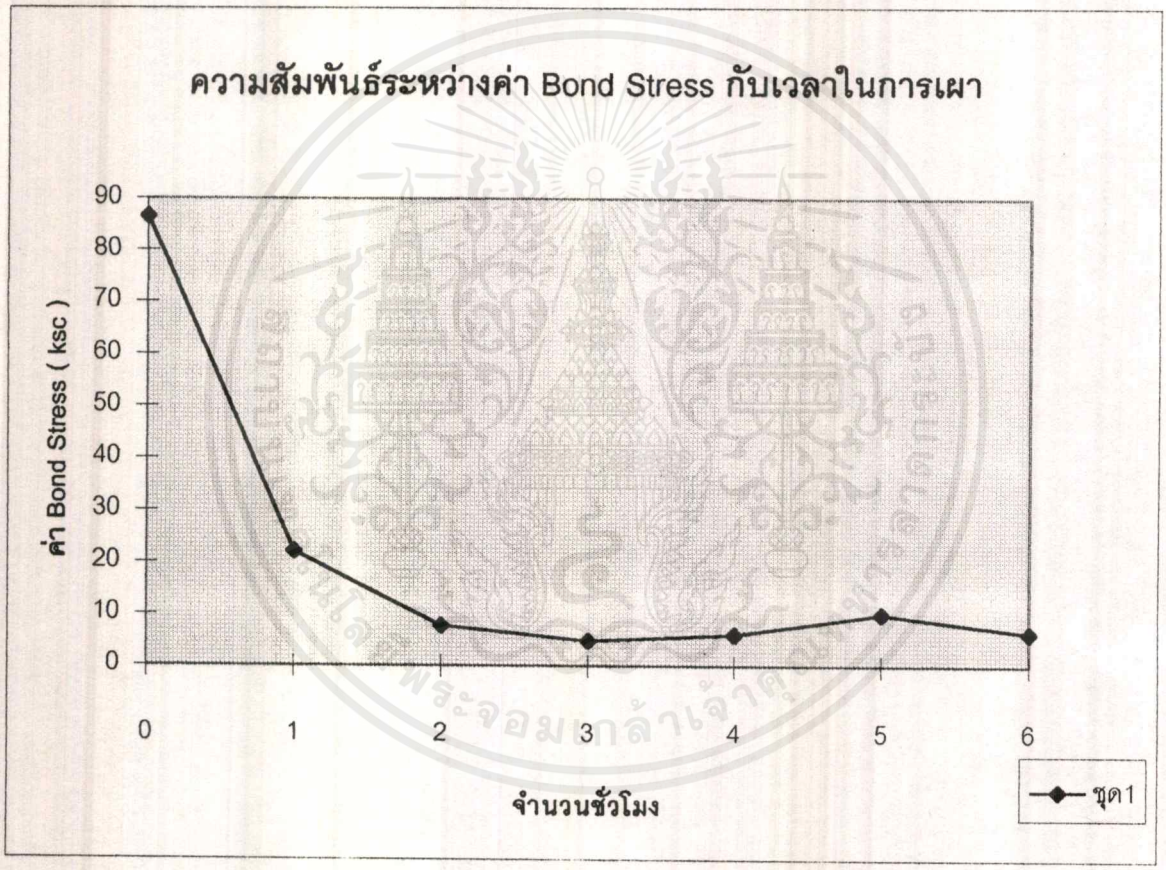
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
700	0	1	1.2	5100	90.23	
700	0	2	1.2	4575	80.94	
700	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
700	1	1	1.2	1200	21.23	
700	1	2	1.2	900	15.92	
700	1	3	1.2	1650	29.19	
					เฉลี่ย	22.12
700	2	1	1.2	450	7.96	
700	2	2	1.2	540	9.55	
700	2	3	1.2	335	5.93	
					เฉลี่ย	7.81
700	3	1	1.2	235	4.16	
700	3	2	1.2	270	4.78	
700	3	3	1.2	330	5.84	
					เฉลี่ย	4.92
700	4	1	1.2	615	10.88	
700	4	2	1.2	420	7.43	
700	4	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	6.10
700	5	1	1.2	660	11.68	
700	5	2	1.2	660	11.68	
700	5	3	1.2	390	6.90	
					เฉลี่ย	10.08
700	6	1	1.2	420	7.43	
700	6	2	1.2	675	11.94	
700	6	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	6.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.3 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส



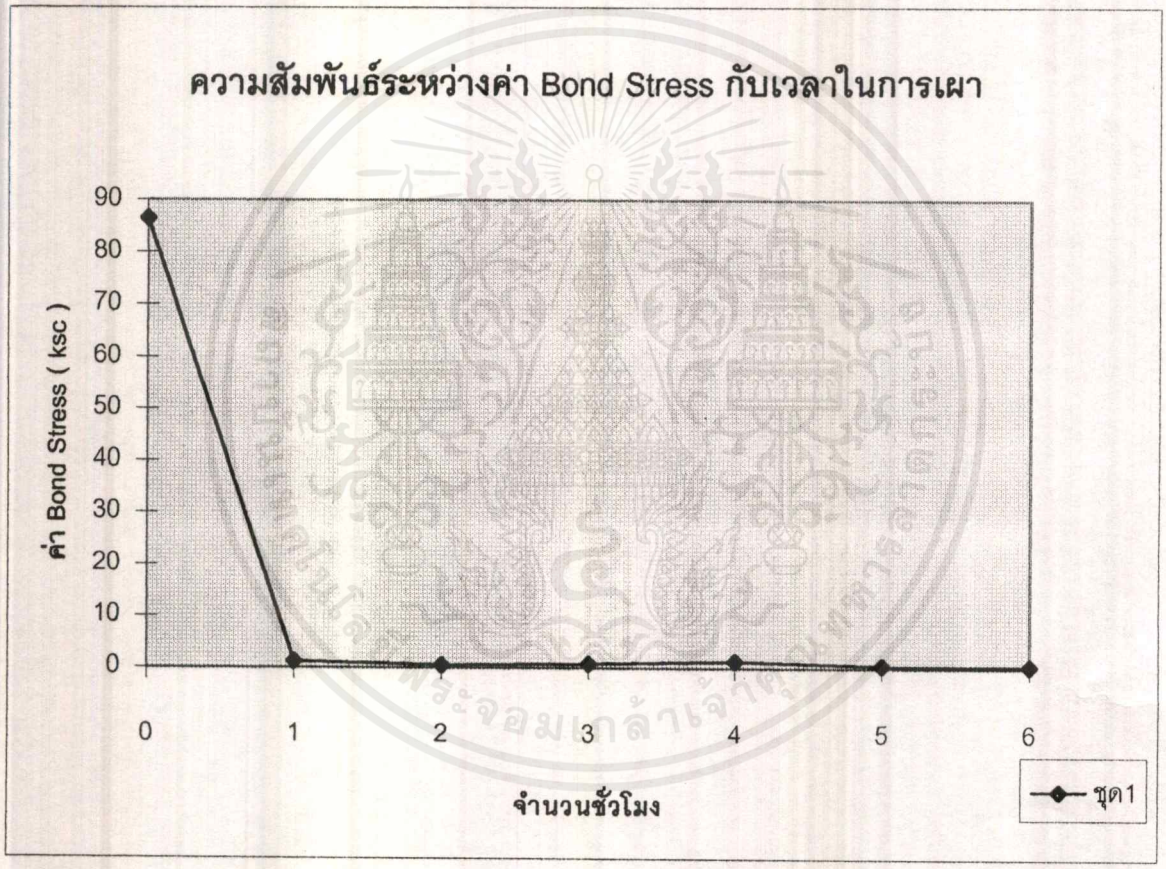
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
900	0	1	1.2	5100	90.23	
900	0	2	1.2	4575	80.94	
900	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
900	1	1	1.2	0	0.00	
900	1	2	1.2	165	2.92	
900	1	3	1.2	45	0.80	
					เฉลี่ย	1.24
900	2	1	1.2	0	0.00	
900	2	2	1.2	90	1.59	
900	2	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	0.53
900	3	1	1.2	90	1.59	
900	3	2	1.2	45	0.80	
900	3	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	0.80
900	4	1	1.2	60	1.06	
900	4	2	1.2	100	1.77	
900	4	3	1.2	60	1.06	
					เฉลี่ย	1.30
900	5	1	1.2	0	0.00	
900	5	2	1.2	35	0.62	
900	5	3	1.2	45	0.80	
					เฉลี่ย	0.47
900	6	1	1.2	40	0.71	
900	6	2	1.2	30	0.53	
900	6	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.4 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส



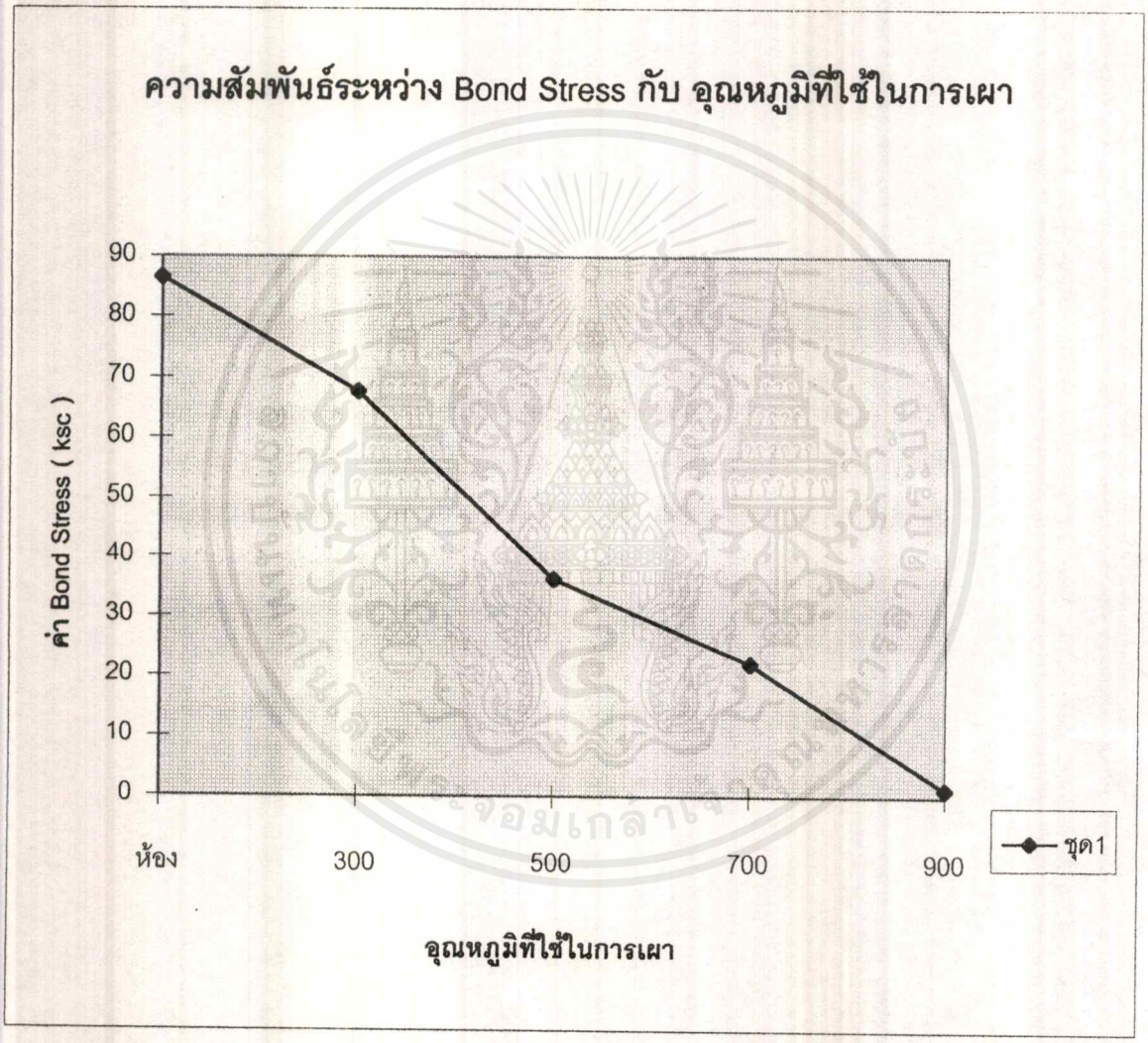
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
ห้อง	0	1	1.2	5100	90.23	
ห้อง	0	2	1.2	4575	80.94	
ห้อง	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	1	1	1.2	3750	66.35	
300	1	2	1.2	3675	65.02	
300	1	3	1.2	4050	71.66	
					เฉลี่ย	67.68
500	1	1	1.2	1800	31.85	
500	1	2	1.2	2250	39.81	
500	1	3	1.2	2100	37.15	
					เฉลี่ย	36.27
700	1	1	1.2	1200	21.23	
700	1	2	1.2	900	15.92	
700	1	3	1.2	1650	29.19	
					เฉลี่ย	22.12
900	1	1	1.2	0	0.00	
900	1	2	1.2	165	2.92	
900	1	3	1.2	45	0.80	
					เฉลี่ย	1.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.5 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 1 ชั่วโมง



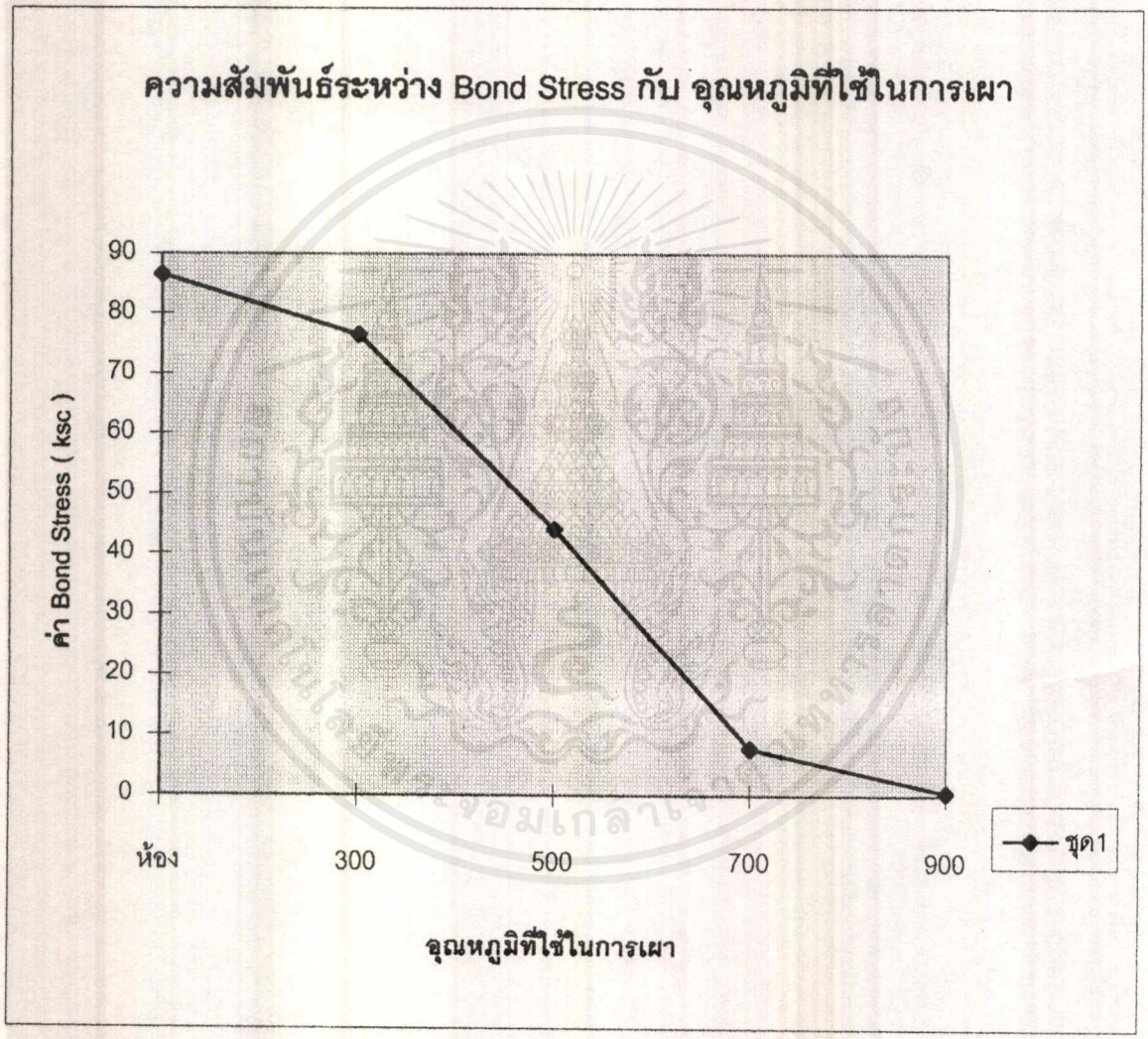
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
ห้อง	0	1	1.2	5100	90.23	
ห้อง	0	2	1.2	4575	80.94	
ห้อง	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	2	1	1.2	3975	70.33	
300	2	2	1.2	4200	74.31	
300	2	3	1.2	4800	84.93	
					เฉลี่ย	76.52
500	2	1	1.2	2850	50.42	
500	2	2	1.2	2250	39.81	
500	2	3	1.2	2400	42.46	
					เฉลี่ย	44.23
700	2	1	1.2	450	7.96	
700	2	2	1.2	540	9.55	
700	2	3	1.2	335	5.93	
					เฉลี่ย	7.81
900	2	1	1.2	0	0.00	
900	2	2	1.2	90	1.59	
900	2	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.6 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 2 ชั่วโมง



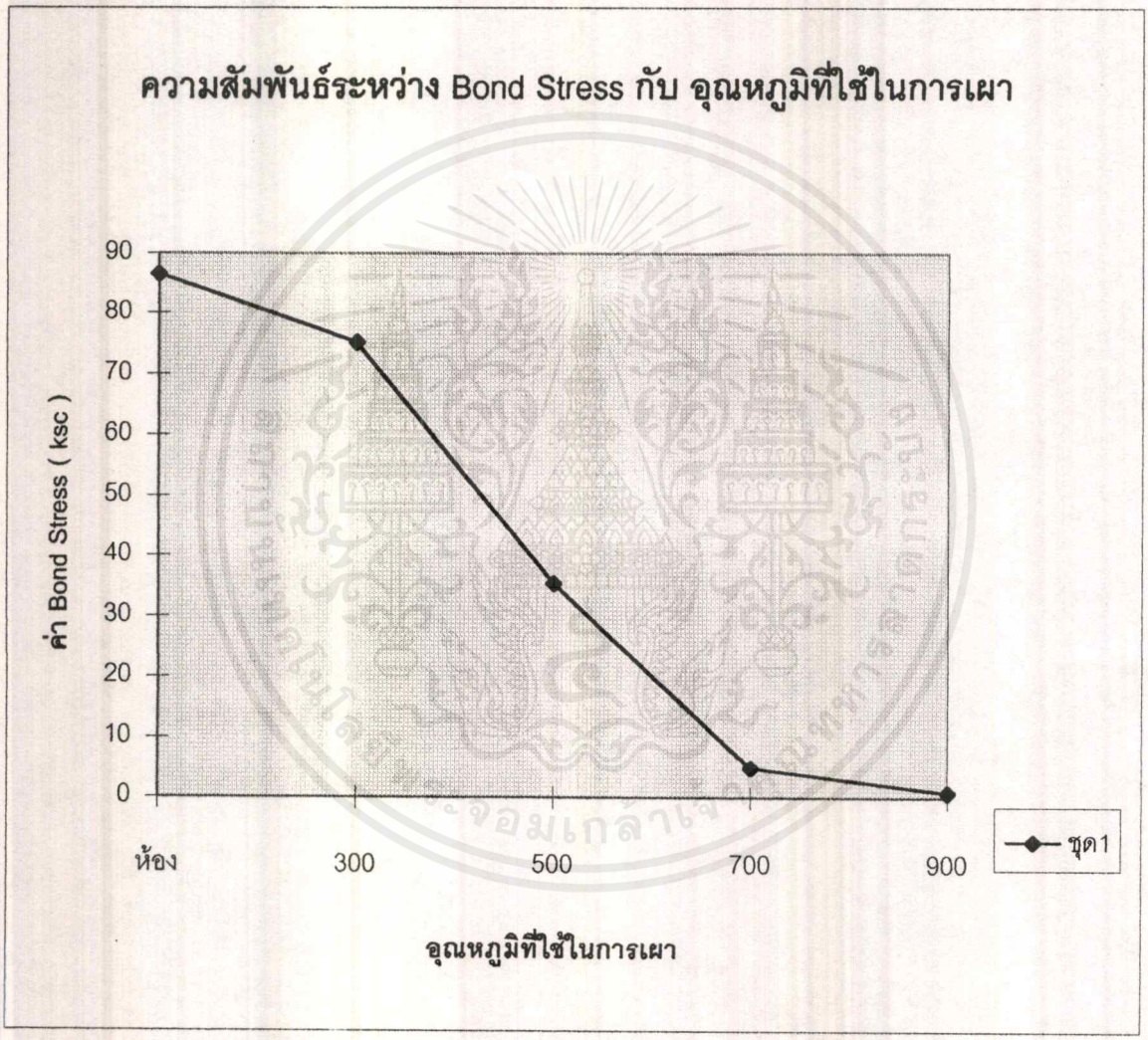
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
ห้อง	0	1	1.2	5100	90.23	
ห้อง	0	2	1.2	4575	80.94	
ห้อง	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	3	1	1.2	3975	70.33	
300	3	2	1.2	4425	78.29	
300	3	3	1.2	4350	76.96	
					เฉลี่ย	75.19
500	3	1	1.2	1650	29.19	
500	3	2	1.2	2475	43.79	
500	3	3	1.2	1875	33.17	
					เฉลี่ย	35.39
700	3	1	1.2	235	4.16	
700	3	2	1.2	270	4.78	
700	3	3	1.2	330	5.84	
					เฉลี่ย	4.92
900	3	1	1.2	90	1.59	
900	3	2	1.2	45	0.80	
900	3	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.7 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 3 ชั่วโมง



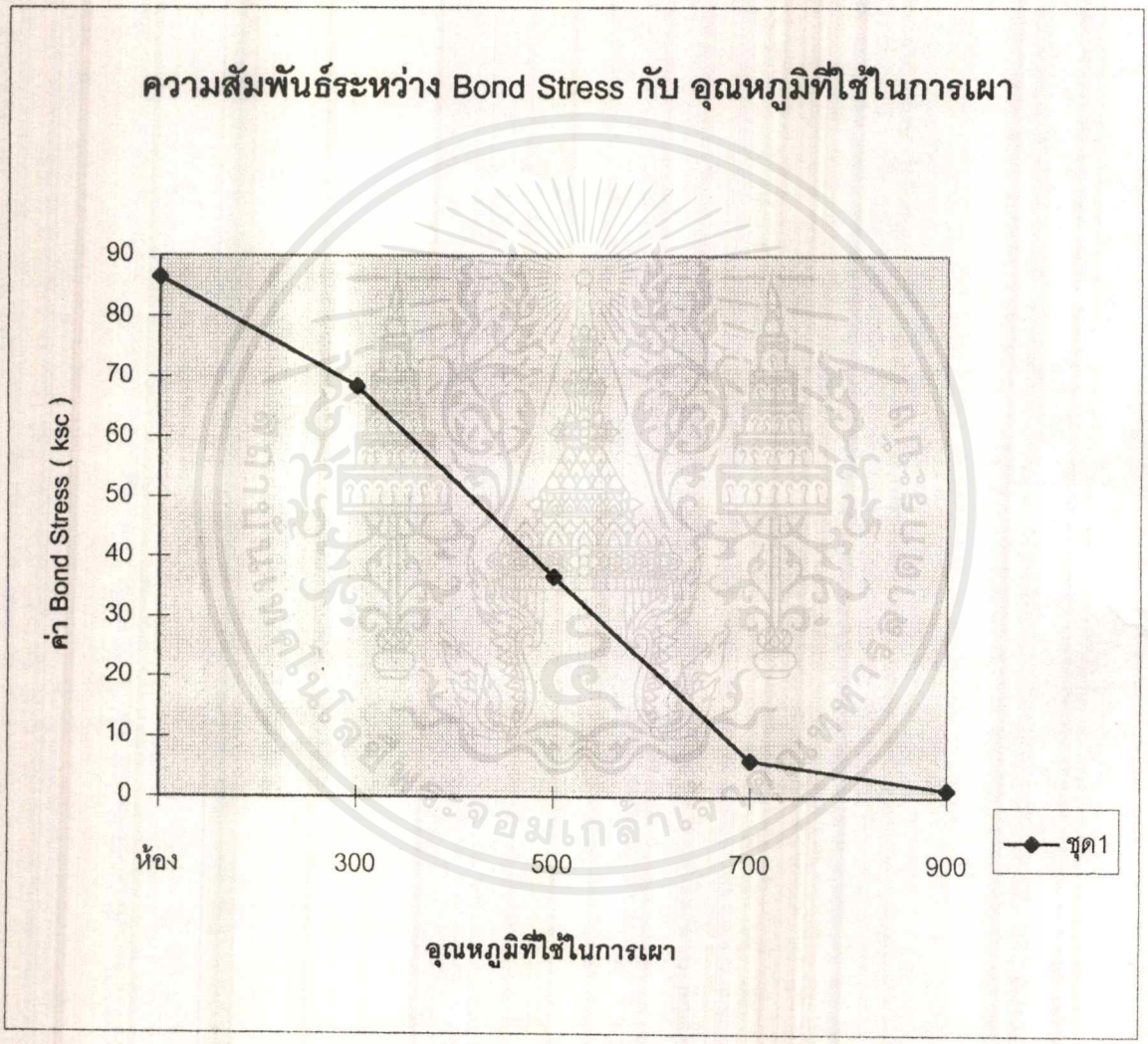
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
ห้อง	0	1	1.2	5100	90.23	
ห้อง	0	2	1.2	4575	80.94	
ห้อง	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	4	1	1.2	3360	59.45	
300	4	2	1.2	4500	79.62	
300	4	3	1.2	3750	66.35	
					เฉลี่ย	68.47
500	4	1	1.2	1425	25.21	
500	4	2	1.2	2400	42.46	
500	4	3	1.2	2400	42.46	
					เฉลี่ย	36.71
700	4	1	1.2	615	10.88	
700	4	2	1.2	420	7.43	
700	4	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	6.10
900	4	1	1.2	60	1.06	
900	4	2	1.2	100	1.77	
900	4	3	1.2	60	1.06	
					เฉลี่ย	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.8 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 4 ชั่วโมง



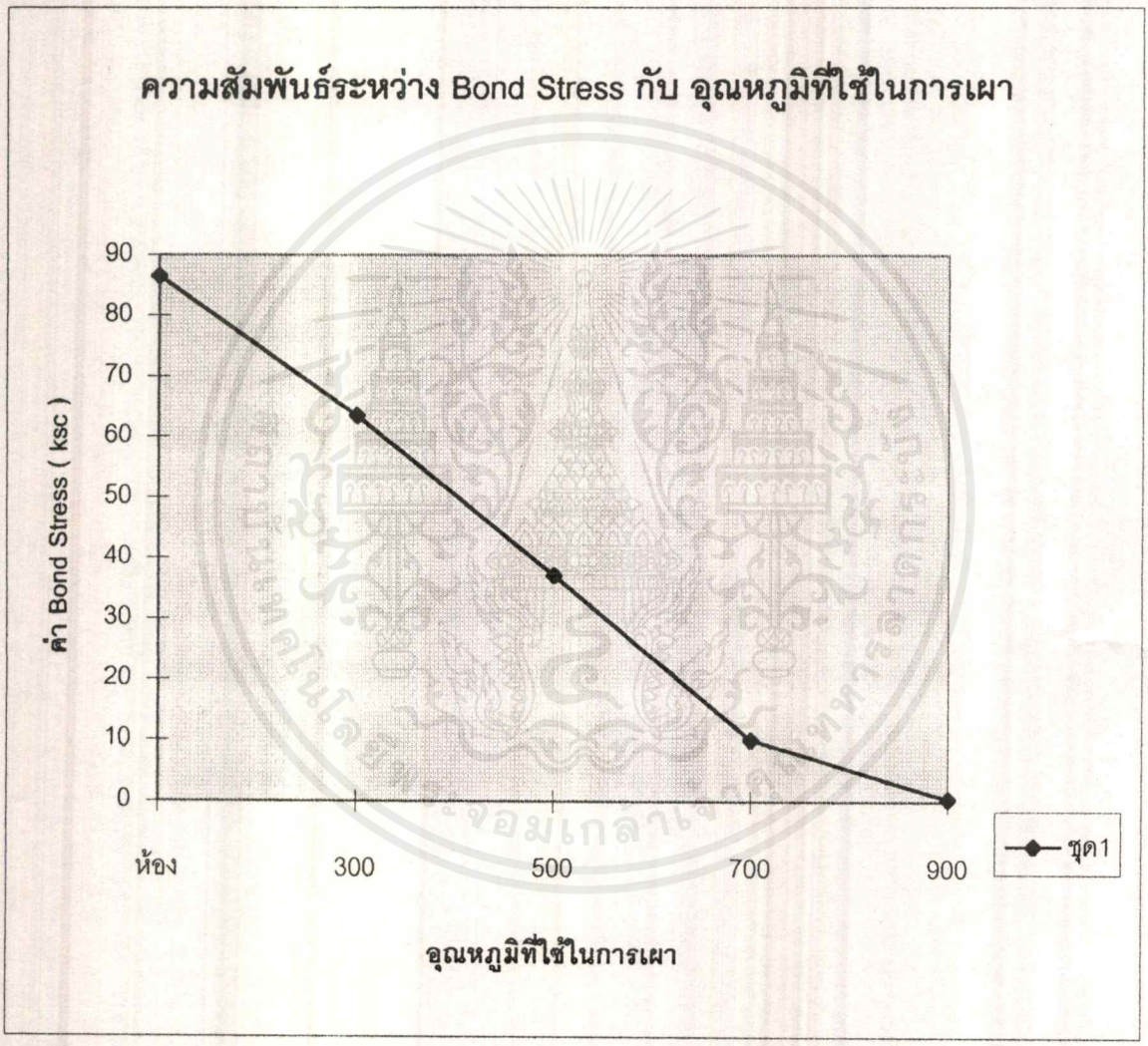
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
ห้อง	0	1	1.2	5100	90.23	
ห้อง	0	2	1.2	4575	80.94	
ห้อง	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	5	1	1.2	3330	58.92	
300	5	2	1.2	3530	62.46	
300	5	3	1.2	3900	69.00	
					เฉลี่ย	63.46
500	5	1	1.2	1950	34.50	
500	5	2	1.2	2250	39.81	
500	5	3	1.2	2100	37.15	
					เฉลี่ย	37.15
700	5	1	1.2	660	11.68	
700	5	2	1.2	660	11.68	
700	5	3	1.2	390	6.90	
					เฉลี่ย	10.08
900	5	1	1.2	0	0.00	
900	5	2	1.2	35	0.62	
900	5	3	1.2	45	0.80	
					เฉลี่ย	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.9 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 5 ชั่วโมง



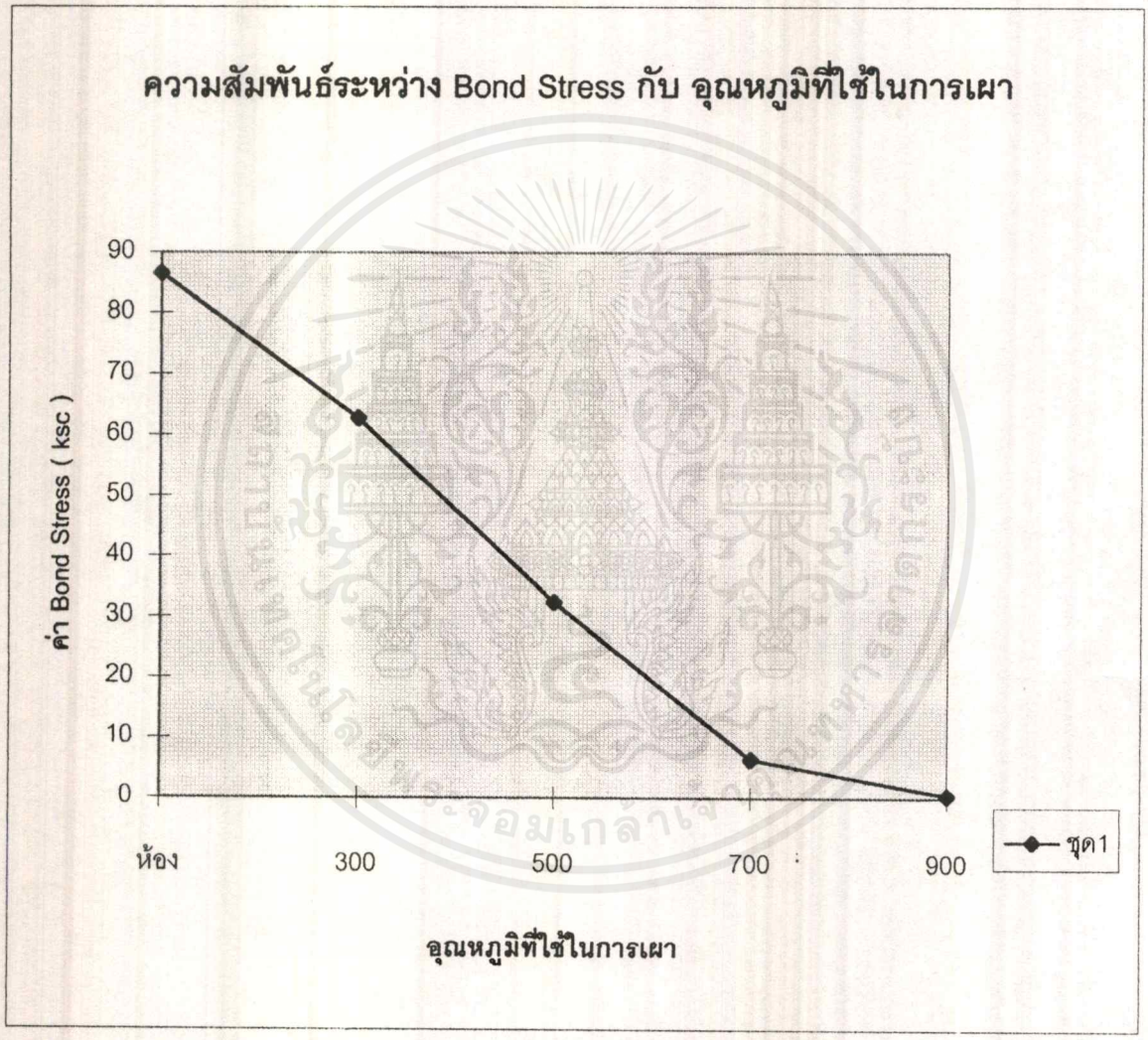
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยการเผาที่ 6 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาที่เผา (ชม.)	ก้อนตัวอย่าง	ขนาดของเหล็กเสริม (เส้นผ่านศูนย์กลาง /cm.)	แรงดึง (kg.)	Bond Stress (ksc.)	
ห้อง	0	1	1.2	5100	90.23	
ห้อง	0	2	1.2	4575	80.94	
ห้อง	0	3	1.2	5000	88.46	
					เฉลี่ย	86.55
300	6	1	1.2	3825	67.68	
300	6	2	1.2	2850	50.42	
300	6	3	1.2	3975	70.33	
					เฉลี่ย	62.81
500	6	1	1.2	1300	23.00	
500	6	2	1.2	1800	31.85	
500	6	3	1.2	2400	42.46	
					เฉลี่ย	32.44
700	6	1	1.2	420	7.43	
700	6	2	1.2	675	11.94	
700	6	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	6.46
900	6	1	1.2	40	0.71	
900	6	2	1.2	30	0.53	
900	6	3	1.2	0	0.00	
					เฉลี่ย	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.10 ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่การเผา 6 ชั่วโมง



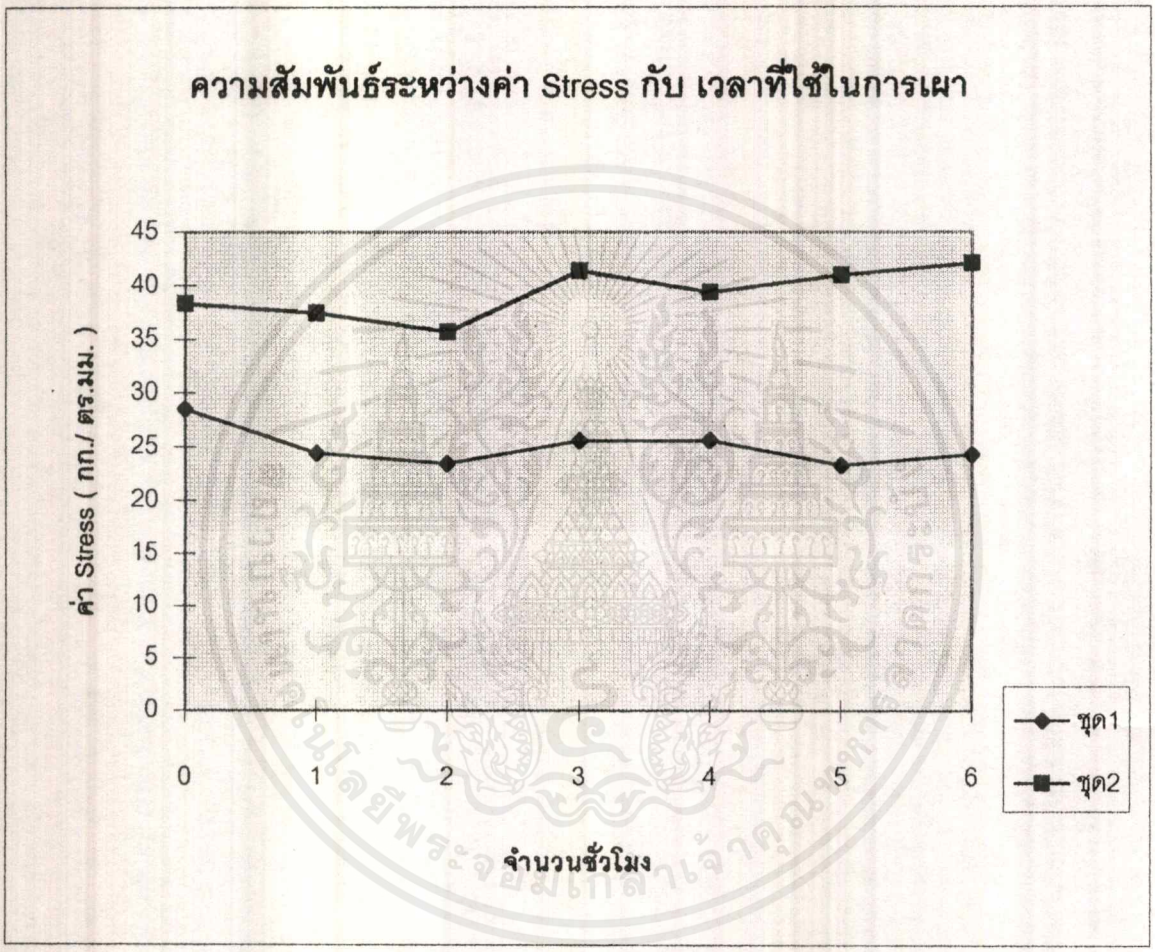
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	เวลาเผา	เหล็ก	ขนาดของเหล็ก	แรงดึง (kg)		พื้นที่หน้าตัด	Yield stress		Ultimate stress	
(เซลเซียส)	(ชม.)	ตัวอย่าง	Diameter/(cm)	Yield	Ultimate	(ตร.มม.)	(กก./ตร.มม.)		(กก./ตร.มม.)	
300	0	1	1.2	3225	4650	113.04	28.53		41.14	
300	0	2	1.2	3150	4050	113.04	27.87		35.83	
300	0	3	1.2	3300	4300	113.04	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	1	1	1.2	2900	5500	113.04	25.65		48.66	
300	1	2	1.2	2600	3675	113.04	23.00		32.51	
300	1	3	1.2	2775	3525	113.04	24.55		31.18	
							เฉลี่ย	24.40	เฉลี่ย	37.45
300	2	1	1.2	2550	3700	113.04	22.56		32.73	
300	2	2	1.2	3000	4900	113.04	26.54		43.35	
300	2	3	1.2	2400	3525	113.04	21.23		31.18	
							เฉลี่ย	23.44	เฉลี่ย	35.75
300	3	1	1.2	2925	5550	113.04	25.88		49.10	
300	3	2	1.2	3050	4050	113.04	26.98		35.83	
300	3	3	1.2	2700	4425	113.04	23.89		39.15	
							เฉลี่ย	25.58	เฉลี่ย	41.36
300	4	1	1.2	2325	3600	113.04	20.57		31.85	
300	4	2	1.2	2325	3600	113.04	20.57		31.85	
300	4	3	1.2	4050	6150	113.04	35.83		54.41	
							เฉลี่ย	25.65	เฉลี่ย	39.37
300	5	1	1.2	2325	6300	113.04	20.57		55.73	
300	5	2	1.2	2950	4000	113.04	26.10		35.39	
300	5	3	1.2	2625	3600	113.04	23.22		31.85	
							เฉลี่ย	23.30	เฉลี่ย	40.99
300	6	1	1.2	3250	5400	113.04	28.75		47.77	
300	6	2	1.2	2850	4575	113.04	25.21		40.47	
300	6	3	1.2	2150	4300	113.04	19.02		38.04	
							เฉลี่ย	24.33	เฉลี่ย	42.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.11 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



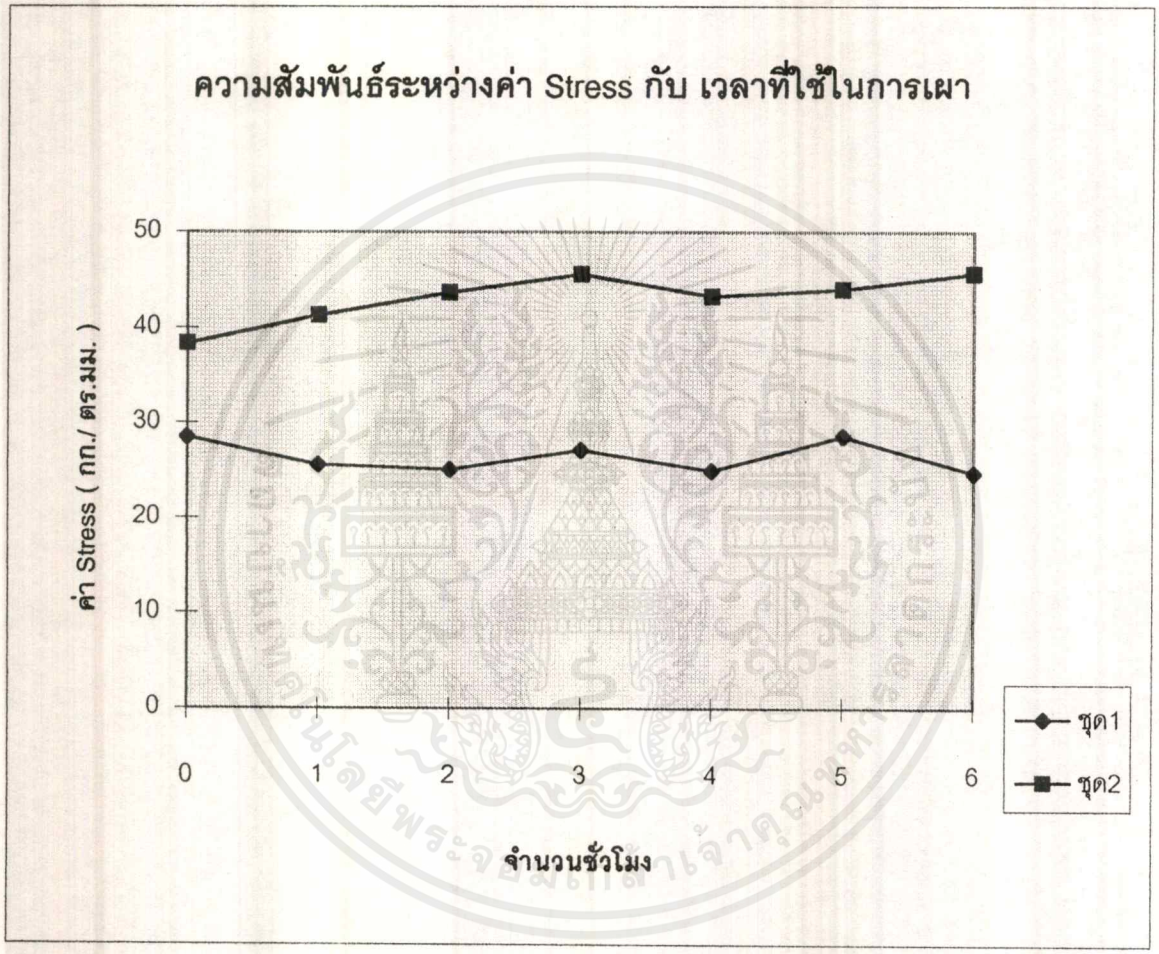
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง (kg) Yield	แรงดึง (kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield stress (กก./ตร.มม.)	Ultimate stress (กก./ตร.มม.)
500	0	1	1.2	3225	4650	113.04	28.53	41.14
500	0	2	1.2	3150	4050	113.04	27.87	35.83
500	0	3	1.2	3300	4300	113.04	29.19	38.04
							เฉลี่ย 28.53	เฉลี่ย 38.33
500	1	1	1.2	2900	5250	113.04	25.65	46.44
500	1	2	1.2	2775	4250	113.04	24.55	37.60
500	1	3	1.2	3000	4500	113.04	26.54	39.81
							เฉลี่ย 25.58	เฉลี่ย 41.28
500	2	1	1.2	3100	4510	113.04	27.42	39.90
500	2	2	1.2	2850	5800	113.04	25.21	51.31
500	2	3	1.2	2550	4500	113.04	22.56	39.81
							เฉลี่ย 25.06	เฉลี่ย 43.67
500	3	1	1.2	2925	4800	113.04	25.88	42.46
500	3	2	1.2	3050	5100	113.04	26.98	45.12
500	3	3	1.2	3250	5550	113.04	28.75	49.10
							เฉลี่ย 27.20	เฉลี่ย 45.56
500	4	1	1.2	3100	5500	113.04	27.42	48.66
500	4	2	1.2	3050	5800	113.04	26.98	51.31
500	4	3	1.2	2325	3375	113.04	20.57	29.86
							เฉลี่ย 24.99	เฉลี่ย 43.27
500	5	1	1.2	3300	4200	113.04	29.19	37.15
500	5	2	1.2	3500	6300	113.04	30.96	55.73
500	5	3	1.2	2925	4425	113.04	25.88	39.15
							เฉลี่ย 28.68	เฉลี่ย 44.01
500	6	1	1.2	2700	6300	113.04	23.89	55.73
500	6	2	1.2	3450	5800	113.04	30.52	51.31
500	6	3	1.2	2250	3375	113.04	19.90	29.86
							เฉลี่ย 24.77	เฉลี่ย 45.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.12 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



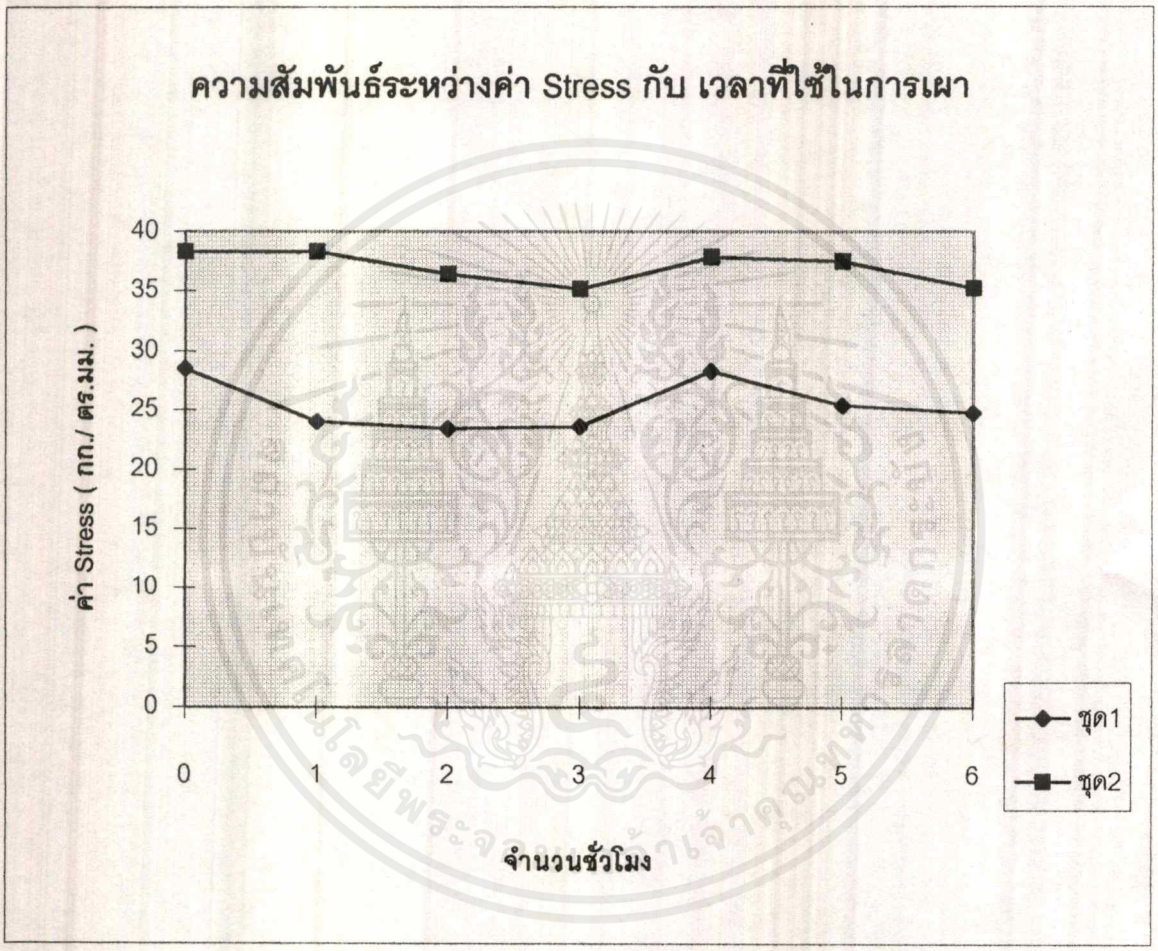
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง (kg) Yield	แรงดึง (kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield stress (กก./ตร.มม.)		Ultimate stress (กก./ตร.มม.)	
700	0	1	1.2	3225	4650	113.04	28.53		41.14	
700	0	2	1.2	3150	4050	113.04	27.87		35.83	
700	0	3	1.2	3300	4300	113.04	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
700	1	1	1.2	2800	4250	113.04	24.77		37.60	
700	1	2	1.2	2775	4300	113.04	24.55		38.04	
700	1	3	1.2	2570	4450	113.04	22.74		39.37	
							เฉลี่ย	24.02	เฉลี่ย	38.33
700	2	1	1.2	2750	4250	113.04	24.33		37.60	
700	2	2	1.2	2650	4300	113.04	23.44		38.04	
700	2	3	1.2	2550	3800	113.04	22.56		33.62	
							เฉลี่ย	23.44	เฉลี่ย	36.42
700	3	1	1.2	2400	3225	113.04	21.23		28.53	
700	3	2	1.2	2700	4200	113.04	23.89		37.15	
700	3	3	1.2	2900	4500	113.04	25.65		39.81	
							เฉลี่ย	23.59	เฉลี่ย	35.16
700	4	1	1.2	3250	4500	113.04	28.75		39.81	
700	4	2	1.2	3050	4300	113.04	26.98		38.04	
700	4	3	1.2	3300	4050	113.04	29.19		35.83	
							เฉลี่ย	28.31	เฉลี่ย	37.89
700	5	1	1.2	3300	5050	113.04	29.19		44.67	
700	5	2	1.2	2400	3225	113.04	21.23		28.53	
700	5	3	1.2	2925	4450	113.04	25.88		39.37	
							เฉลี่ย	25.43	เฉลี่ย	37.52
700	6	1	1.2	2100	3150	113.04	18.58		27.87	
700	6	2	1.2	3450	4300	113.04	30.52		38.04	
700	6	3	1.2	2850	4500	113.04	25.21		39.81	
							เฉลี่ย	24.77	เฉลี่ย	35.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.13 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส



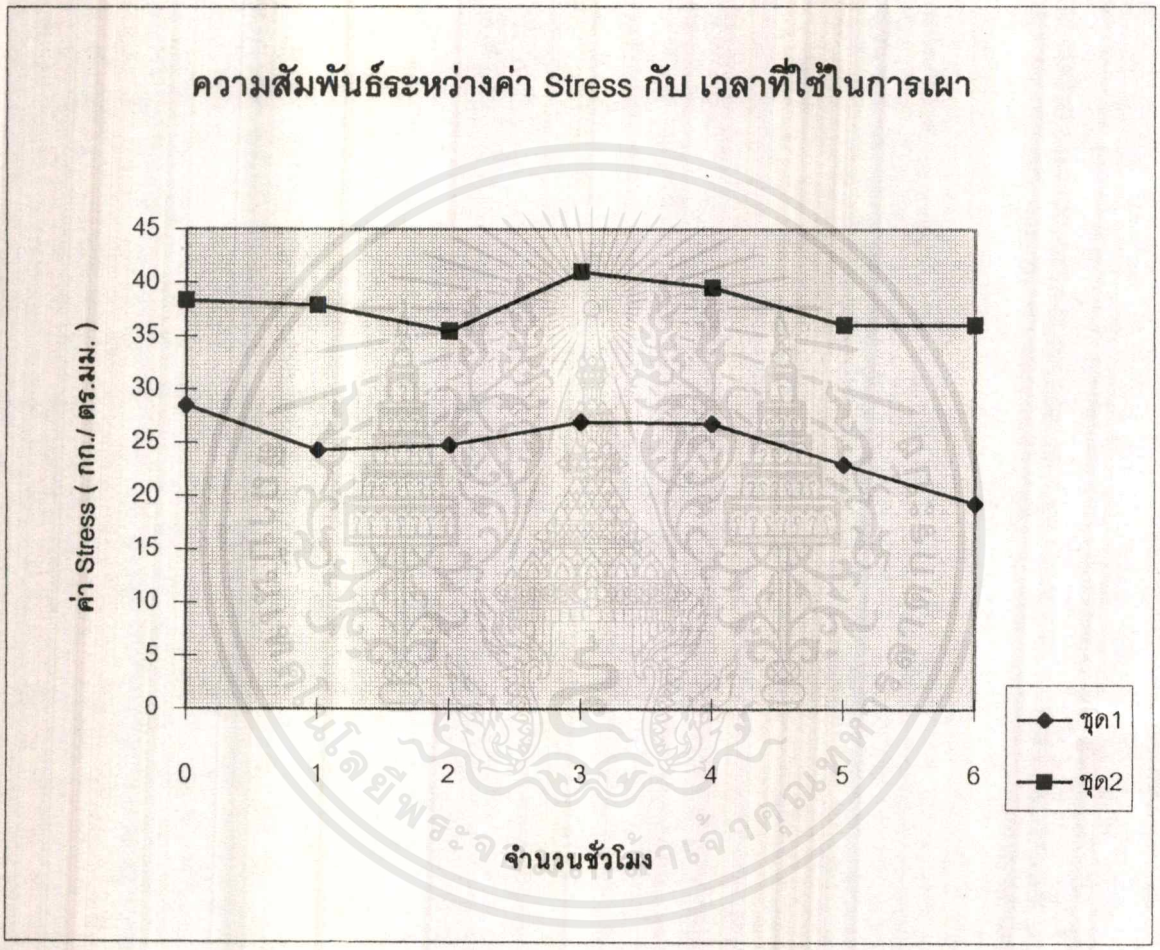
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง (kg) Yield	แรงดึง (kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield stress (กก./ตร.มม.)	Ultimate stress (กก./ตร.มม.)
900	0	1	1.2	3225	4650	113.04	28.53	41.14
900	0	2	1.2	3150	4050	113.04	27.87	35.83
900	0	3	1.2	3300	4300	113.04	29.19	38.04
							เฉลี่ย 28.53	เฉลี่ย 38.33
900	1	1	1.2	3750	5750	113.04	33.17	50.87
900	1	2	1.2	2250	3050	113.04	19.90	26.98
900	1	3	1.2	2250	4050	113.04	19.90	35.83
							เฉลี่ย 24.33	เฉลี่ย 37.89
900	2	1	1.2	3750	5775	113.04	33.17	51.09
900	2	2	1.2	2100	3000	113.04	18.58	26.54
900	2	3	1.2	2550	3250	113.04	22.56	28.75
							เฉลี่ย 24.77	เฉลี่ย 35.46
900	3	1	1.2	1650	2700	113.04	14.60	23.89
900	3	2	1.2	3600	5750	113.04	31.85	50.87
900	3	3	1.2	3900	5450	113.04	34.50	48.21
							เฉลี่ย 26.98	เฉลี่ย 40.99
900	4	1	1.2	2100	3900	113.04	18.58	34.50
900	4	2	1.2	3900	5450	113.04	34.50	48.21
900	4	3	1.2	3100	4050	113.04	27.42	35.83
							เฉลี่ย 26.83	เฉลี่ย 39.51
900	5	1	1.2	2100	2550	113.04	18.58	22.56
900	5	2	1.2	3750	6750	113.04	33.17	59.71
900	5	3	1.2	1950	2925	113.04	17.25	25.88
							เฉลี่ย 23.00	เฉลี่ย 36.05
900	6	1	1.2	2025	3000	113.04	17.91	26.54
900	6	2	1.2	2400	6370	113.04	21.23	56.35
900	6	3	1.2	2100	2850	113.04	18.58	25.21
							เฉลี่ย 19.24	เฉลี่ย 36.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.14 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส



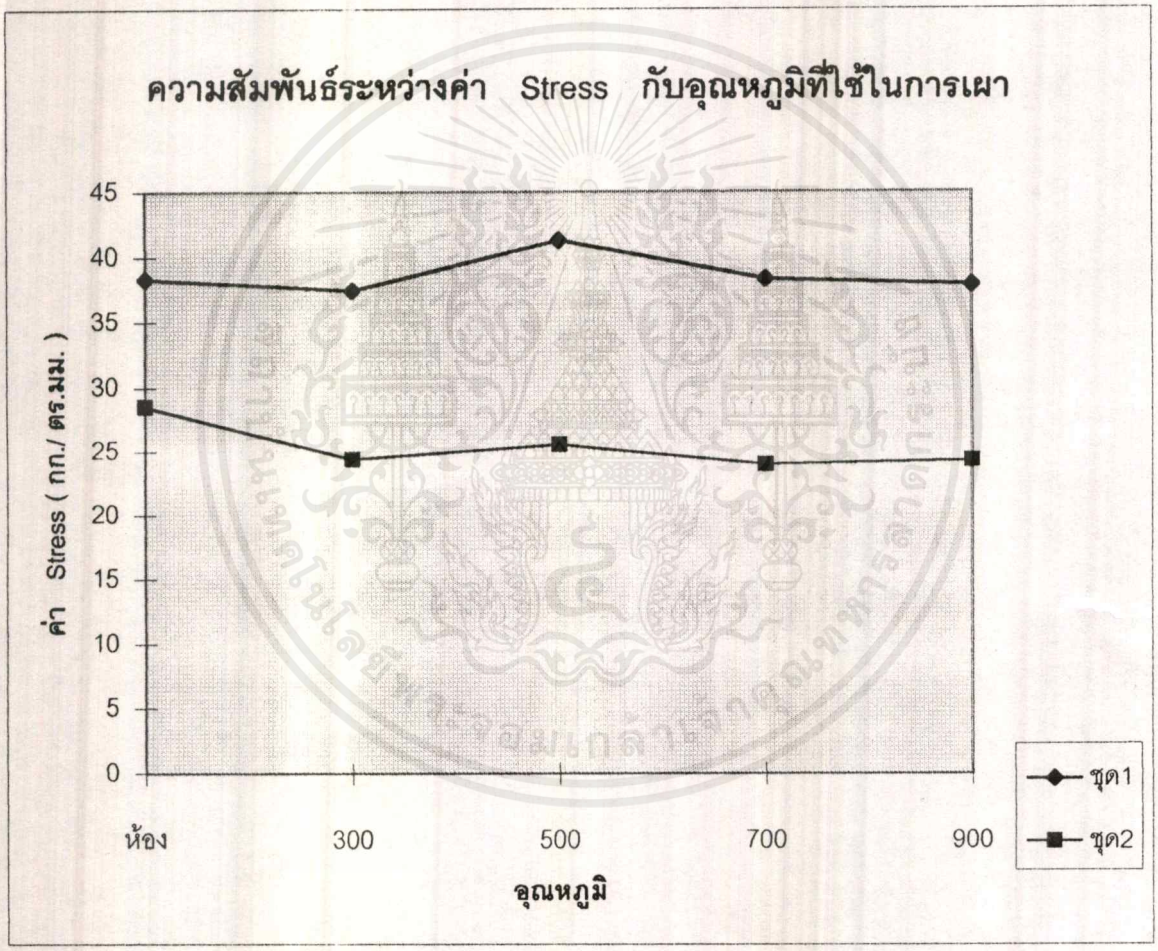
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง(kg) Yield	แรงดึง(kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield Stress (กก./ ตร.มม.)		Ultimate Stress (กก./ ตร.มม.)	
ห้อง	0	1	1.2	3225	4650	113	28.53		41.14	
ห้อง	0	2	1.2	3150	4050	113	27.87		35.83	
ห้อง	0	3	1.2	3300	4300	113	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	1	1	1.2	2900	5500	113	25.65		48.66	
300	1	2	1.2	2600	3675	113	23.00		32.51	
300	1	3	1.2	2775	3525	113	24.55		31.18	
							เฉลี่ย	24.40	เฉลี่ย	37.45
500	1	1	1.2	2900	5250	113	25.65		46.44	
500	1	2	1.2	2775	4250	113	24.55		37.60	
500	1	3	1.2	3000	4500	113	26.54		39.81	
							เฉลี่ย	25.58	เฉลี่ย	41.28
700	1	1	1.2	2800	4250	113	24.77		37.60	
700	1	2	1.2	2775	4300	113	24.55		38.04	
700	1	3	1.2	2570	4450	113	22.74		39.37	
							เฉลี่ย	24.02	เฉลี่ย	38.33
900	1	1	1.2	3750	5750	113	33.17		50.87	
900	1	2	1.2	2250	3050	113	19.90		26.98	
900	1	3	1.2	2250	4050	113	19.90		35.83	
							เฉลี่ย	24.33	เฉลี่ย	37.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.15 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง



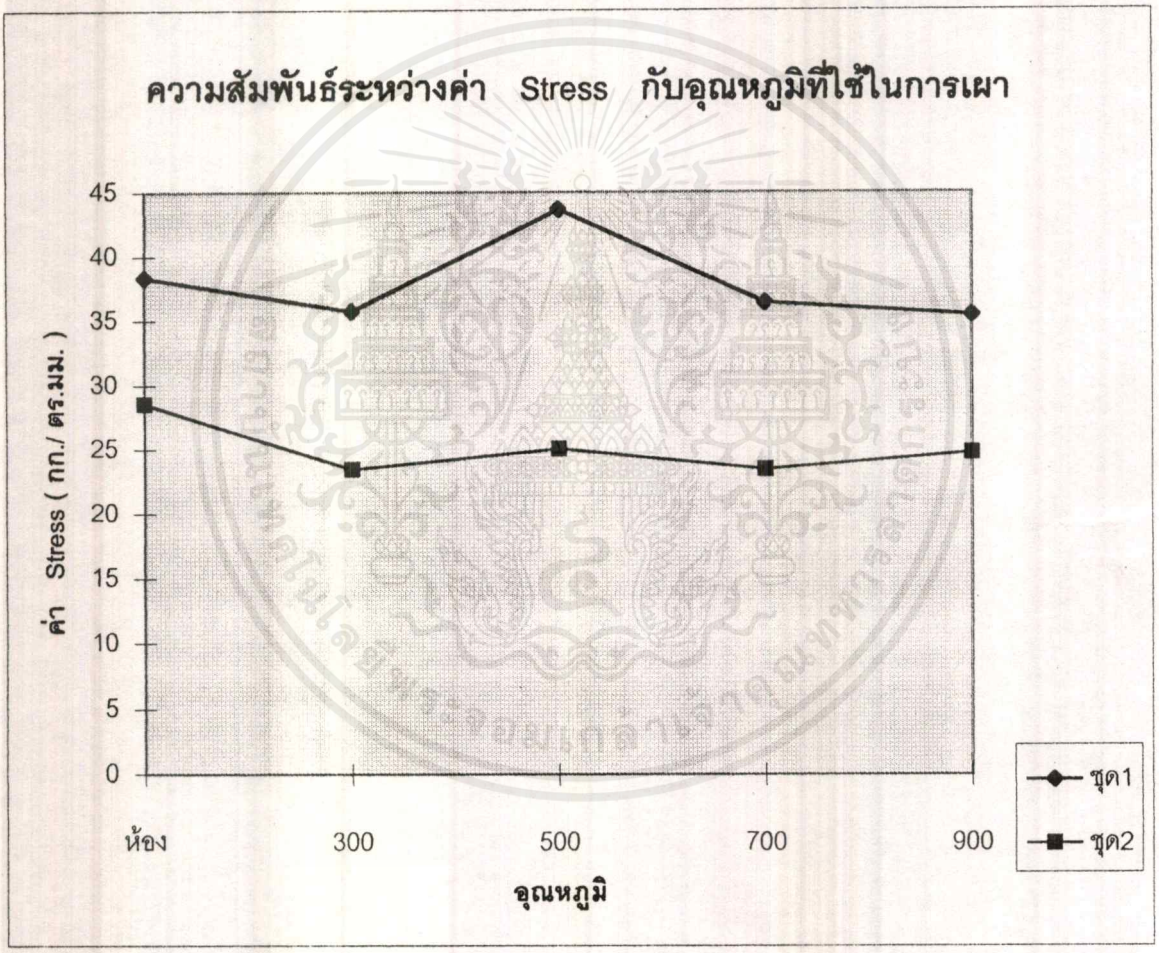
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง(kg) Yield	แรงดึง(kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield Stress (กก./ ตร.มม.)		Ultimate Stress (กก./ ตร.มม.)	
ห้อง	0	1	1.2	3225	4650	113	28.53		41.14	
ห้อง	0	2	1.2	3150	4050	113	27.87		35.83	
ห้อง	0	3	1.2	3300	4300	113	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	2	1	1.2	2550	3700	113	22.56		32.73	
300	2	2	1.2	3000	4900	113	26.54		43.35	
300	2	3	1.2	2400	3525	113	21.23		31.18	
							เฉลี่ย	23.44	เฉลี่ย	35.75
500	2	1	1.2	3100	4510	113	27.42		39.90	
500	2	2	1.2	2850	5800	113	25.21		51.31	
500	2	3	1.2	2550	4500	113	22.56		39.81	
							เฉลี่ย	25.06	เฉลี่ย	43.67
700	2	1	1.2	2750	4250	113	24.33		37.60	
700	2	2	1.2	2650	4300	113	23.44		38.04	
700	2	3	1.2	2550	3800	113	22.56		33.62	
							เฉลี่ย	23.44	เฉลี่ย	36.42
900	2	1	1.2	3750	5775	113	33.17		51.09	
900	2	2	1.2	2100	3000	113	18.58		26.54	
900	2	3	1.2	2550	3250	113	22.56		28.75	
							เฉลี่ย	24.77	เฉลี่ย	35.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.16 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง



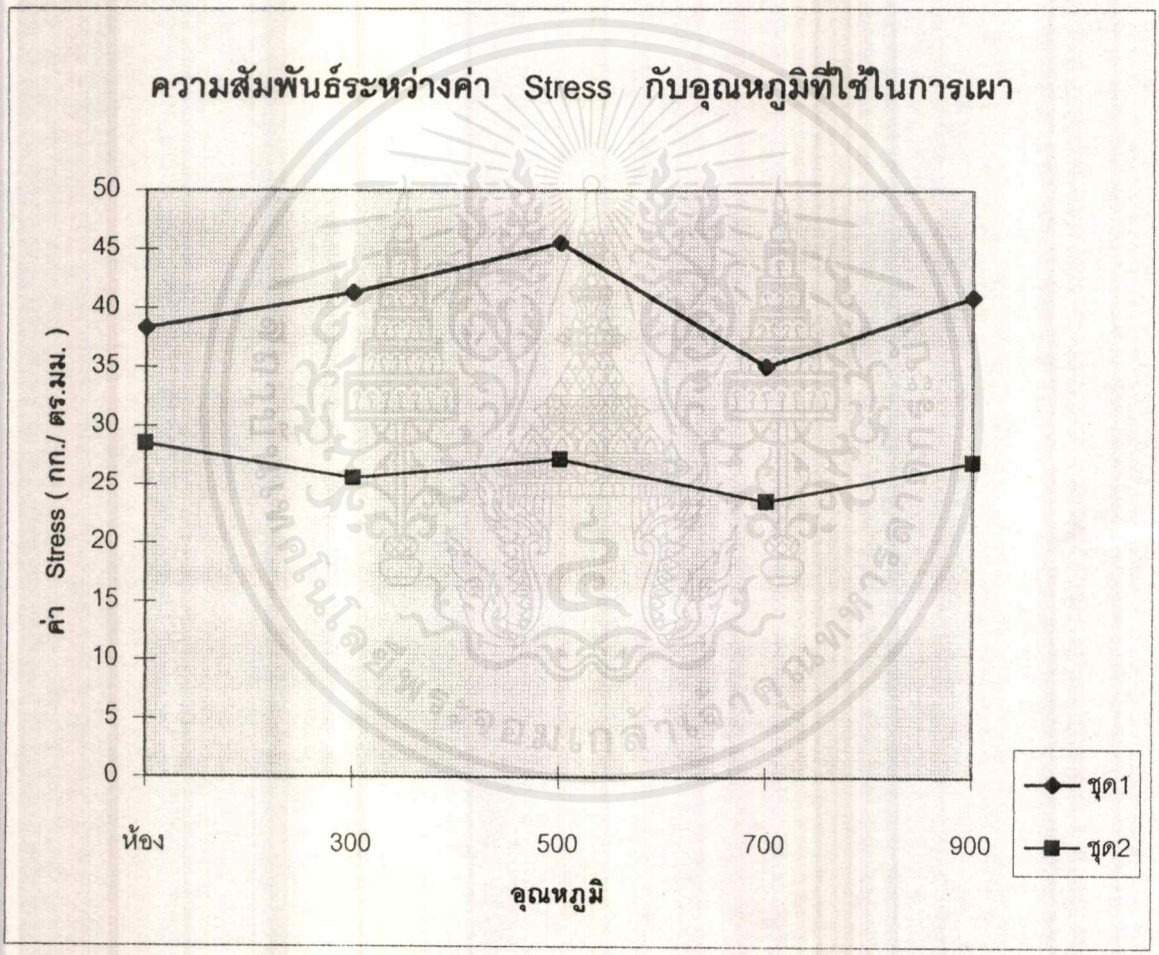
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิ	เวลาเผา	เหล็ก	ขนาดของเหล็ก	แรงดึง(kg)		พื้นที่หน้าตัด	Yield Stress		Ultimate Stress	
(เซลเซียส)	(ชม.)	ตัวอย่าง	Diameter/(cm)	Yield	Ultimate	(ตร.มม.)	(กก./ ตร.มม.)		(กก./ ตร.มม.)	
ห้อง	0	1	1.2	3225	4650	113	28.53		41.14	
ห้อง	0	2	1.2	3150	4050	113	27.87		35.83	
ห้อง	0	3	1.2	3300	4300	113	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	3	1	1.2	2925	5550	113	25.88		49.10	
300	3	2	1.2	3050	4050	113	26.98		35.83	
300	3	3	1.2	2700	4425	113	23.89		39.15	
							เฉลี่ย	25.58	เฉลี่ย	41.36
500	3	1	1.2	2925	4800	113	25.88		42.46	
500	3	2	1.2	3050	5100	113	26.98		45.12	
500	3	3	1.2	3250	5550	113	28.75		49.10	
							เฉลี่ย	27.20	เฉลี่ย	45.56
700	3	1	1.2	2400	3225	113	21.23		28.53	
700	3	2	1.2	2700	4200	113	23.89		37.15	
700	3	3	1.2	2900	4500	113	25.65		39.81	
							เฉลี่ย	23.59	เฉลี่ย	35.16
900	3	1	1.2	1650	2700	113	14.60		23.89	
900	3	2	1.2	3600	5750	113	31.85		50.87	
900	3	3	1.2	3900	5450	113	34.50		48.21	
							เฉลี่ย	26.98	เฉลี่ย	40.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.17 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง



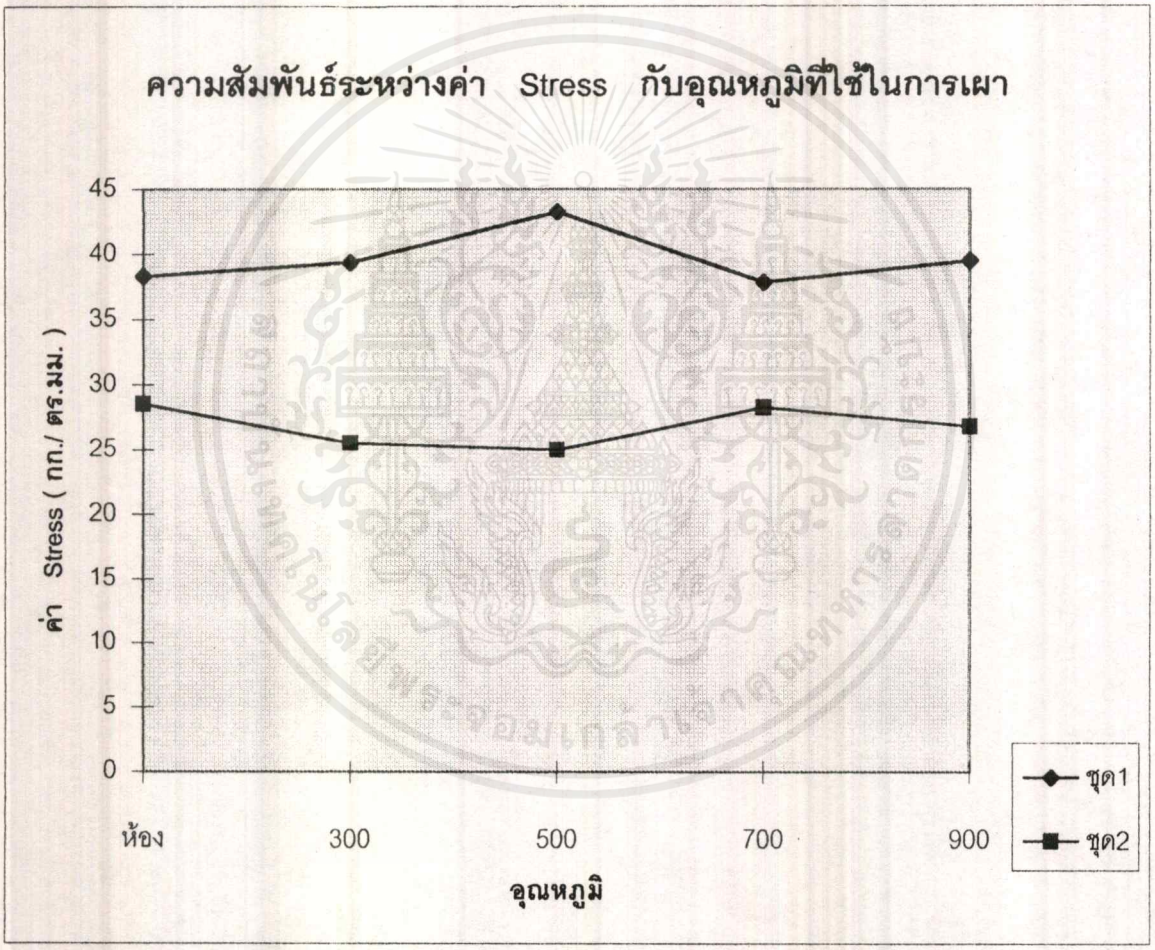
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง(kg) Yield	แรงดึง(kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield Stress (กก./ ตร.มม.)		Ultimate Stress (กก./ ตร.มม.)	
ห้อง	0	1	1.2	3225	4650	113	28.53		41.14	
ห้อง	0	2	1.2	3150	4050	113	27.87		35.83	
ห้อง	0	3	1.2	3300	4300	113	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	4	1	1.2	2325	3600	113	20.57		31.85	
300	4	2	1.2	2325	3600	113	20.57		31.85	
300	4	3	1.2	4050	6150	113	35.83		54.41	
							เฉลี่ย	25.65	เฉลี่ย	39.37
500	4	1	1.2	3100	5500	113	27.42		48.66	
500	4	2	1.2	3050	5800	113	26.98		51.31	
500	4	3	1.2	2325	3375	113	20.57		29.86	
							เฉลี่ย	24.99	เฉลี่ย	43.27
700	4	1	1.2	3250	4500	113	28.75		39.81	
700	4	2	1.2	3050	4300	113	26.98		38.04	
700	4	3	1.2	3300	4050	113	29.19		35.83	
							เฉลี่ย	28.31	เฉลี่ย	37.89
900	4	1	1.2	2100	3900	113	18.58		34.50	
900	4	2	1.2	3900	5450	113	34.50		48.21	
900	4	3	1.2	3100	4050	113	27.42		35.83	
							เฉลี่ย	26.83	เฉลี่ย	39.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.18 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง



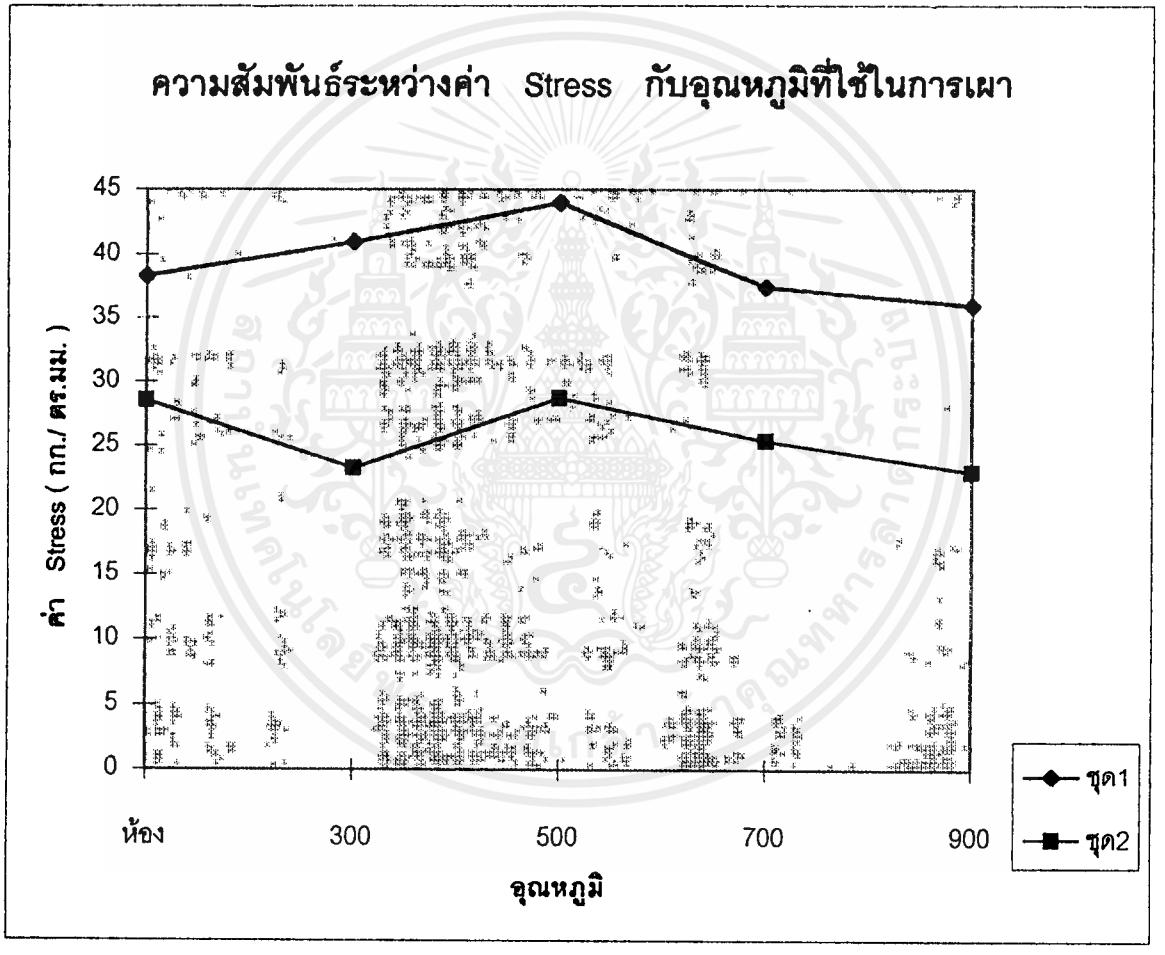
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง(kg) Yield	แรงดึง(kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield Stress (กก./ ตร.มม.)		Ultimate Stress (กก./ ตร.มม.)	
ห้อง	0	1	1.2	3225	4650	113	28.53		41.14	
ห้อง	0	2	1.2	3150	4050	113	27.87		35.83	
ห้อง	0	3	1.2	3300	4300	113	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	5	1	1.2	2325	6300	113	20.57		55.73	
300	5	2	1.2	2950	4000	113	26.10		35.39	
300	5	3	1.2	2625	3600	113	23.22		31.85	
							เฉลี่ย	23.30	เฉลี่ย	40.99
500	5	1	1.2	3300	4200	113	29.19		37.15	
500	5	2	1.2	3500	6300	113	30.96		55.73	
500	5	3	1.2	2950	4425	113	26.10		39.15	
							เฉลี่ย	28.75	เฉลี่ย	44.01
700	5	1	1.2	3300	5050	113	29.19		44.67	
700	5	2	1.2	2400	3225	113	21.23		28.53	
700	5	3	1.2	2925	4450	113	25.88		39.37	
							เฉลี่ย	25.43	เฉลี่ย	37.52
900	5	1	1.2	2100	2550	113	18.58		22.56	
900	5	2	1.2	3750	6750	113	33.17		59.71	
900	5	3	1.2	1950	2925	113	17.25		25.88	
							เฉลี่ย	23.00	เฉลี่ย	36.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.19 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง



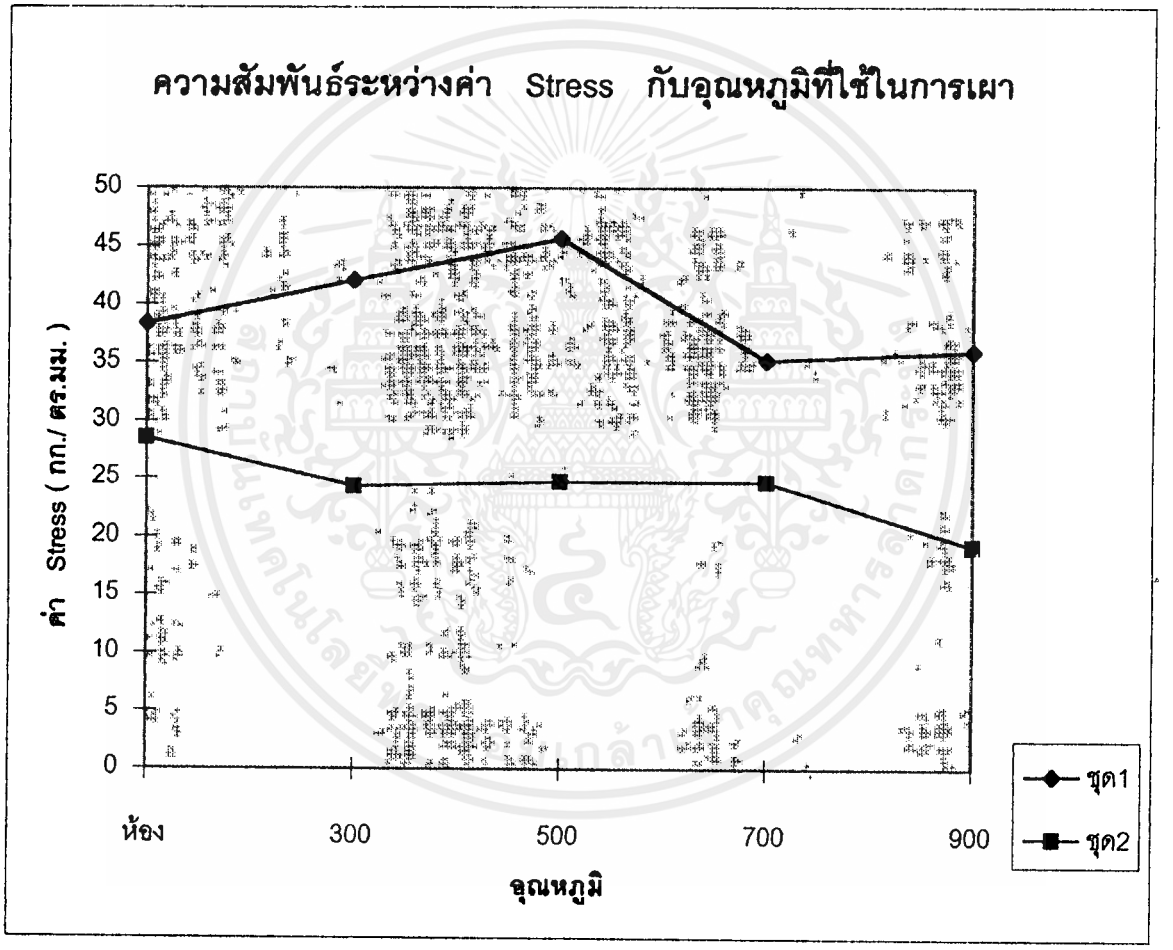
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.20 ทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 6 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter/(cm)	แรงดึง(kg) Yield	แรงดึง(kg) Ultimate	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	Yield Stress (กก./ ตร.มม.)		Ultimate Stress (กก./ ตร.มม.)	
ห้อง	0	1	1.2	3225	4650	113	28.53		41.14	
ห้อง	0	2	1.2	3150	4050	113	27.87		35.83	
ห้อง	0	3	1.2	3300	4300	113	29.19		38.04	
							เฉลี่ย	28.53	เฉลี่ย	38.33
300	6	1	1.2	3250	5400	113	28.75		47.77	
300	6	2	1.2	2850	4575	113	25.21		40.47	
300	6	3	1.2	2150	4300	113	19.02		38.04	
							เฉลี่ย	24.33	เฉลี่ย	42.09
500	6	1	1.2	2700	6300	113	23.89		55.73	
500	6	2	1.2	3450	5800	113	30.52		51.31	
500	6	3	1.2	2250	3375	113	19.90		29.86	
							เฉลี่ย	24.77	เฉลี่ย	45.63
700	6	1	1.2	2100	3150	113	18.58		27.87	
700	6	2	1.2	3450	4300	113	30.52		38.04	
700	6	3	1.2	2850	4500	113	25.21		39.81	
							เฉลี่ย	24.77	เฉลี่ย	35.24
900	6	1	1.2	2025	3000	113	17.91		26.54	
900	6	2	1.2	2400	6370	113	21.23		56.35	
900	6	3	1.2	2100	2850	113	18.58		25.21	
							เฉลี่ย	19.24	เฉลี่ย	36.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.20 ค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กโดยการเผาที่ 6 ชั่วโมง



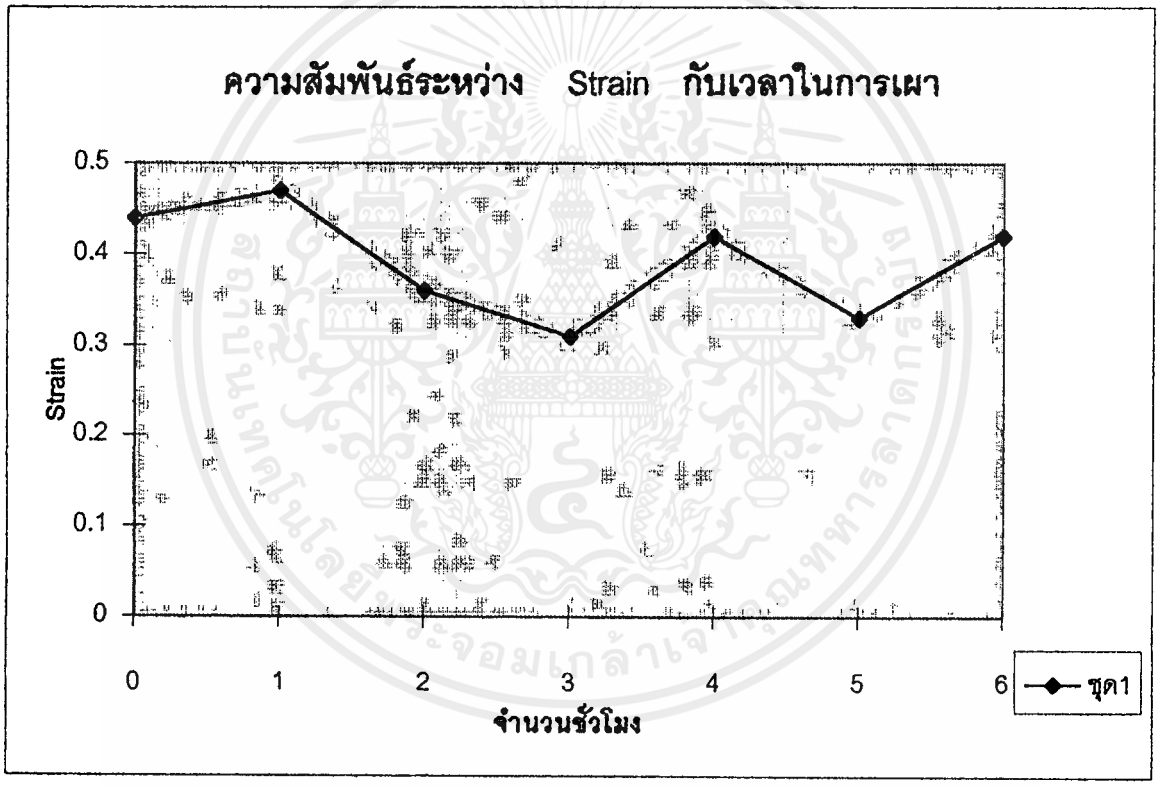
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
300	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
300	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
300	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	1	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
300	1	2	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
300	1	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.47
300	2	1	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
300	2	2	1.2	1.1304	1	6	0.17	
300	2	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.36
300	3	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
300	3	2	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
300	3	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.31
300	4	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
300	4	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
300	4	3	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
							เฉลี่ย	0.42
300	5	1	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
300	5	2	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
300	5	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.33
300	6	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
300	6	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
300	6	3	1.2	1.1304	1	6	0.17	
							เฉลี่ย	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.21 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



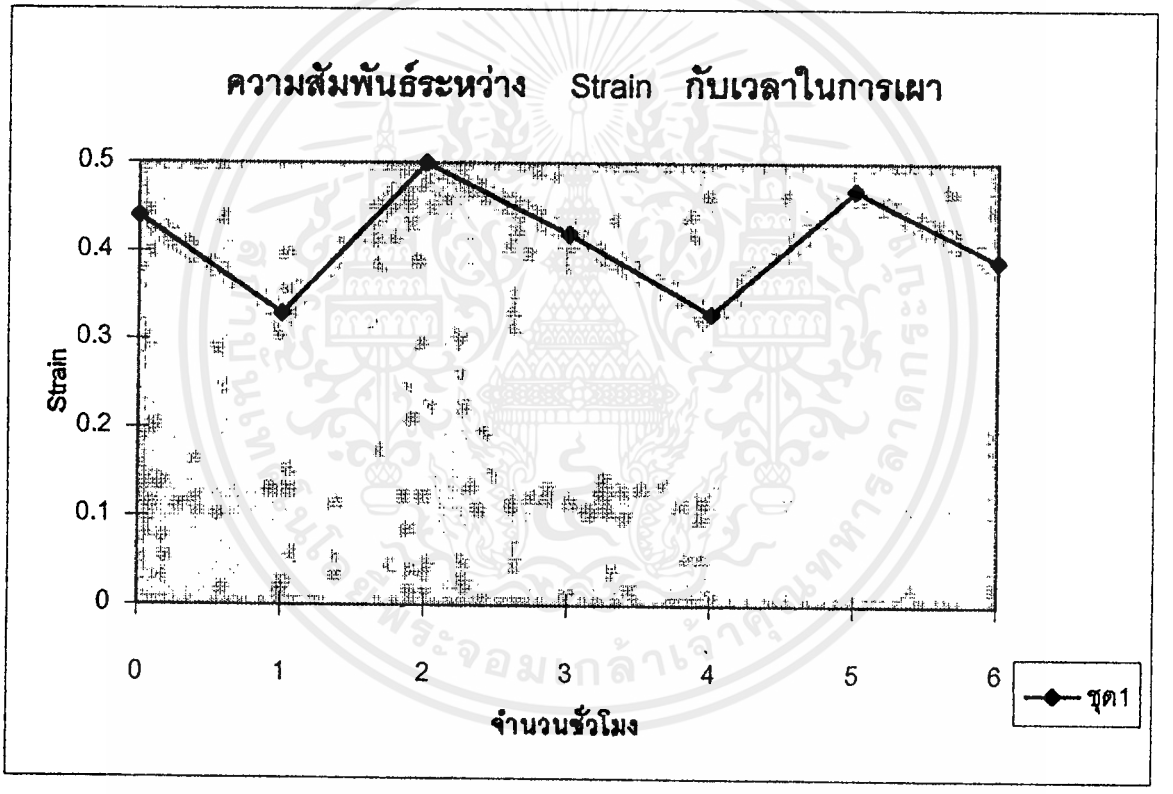
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.22 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็กตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
500	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
500	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
500	1	1	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
500	1	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	1	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.33
500	2	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
500	2	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
500	2	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.50
500	3	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
500	3	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
500	3	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.42
500	4	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	4	2	1.2	1.1304	1	6	0.17	
500	4	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.33
500	5	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
500	5	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
500	5	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.47
500	6	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	6	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	6	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.22 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



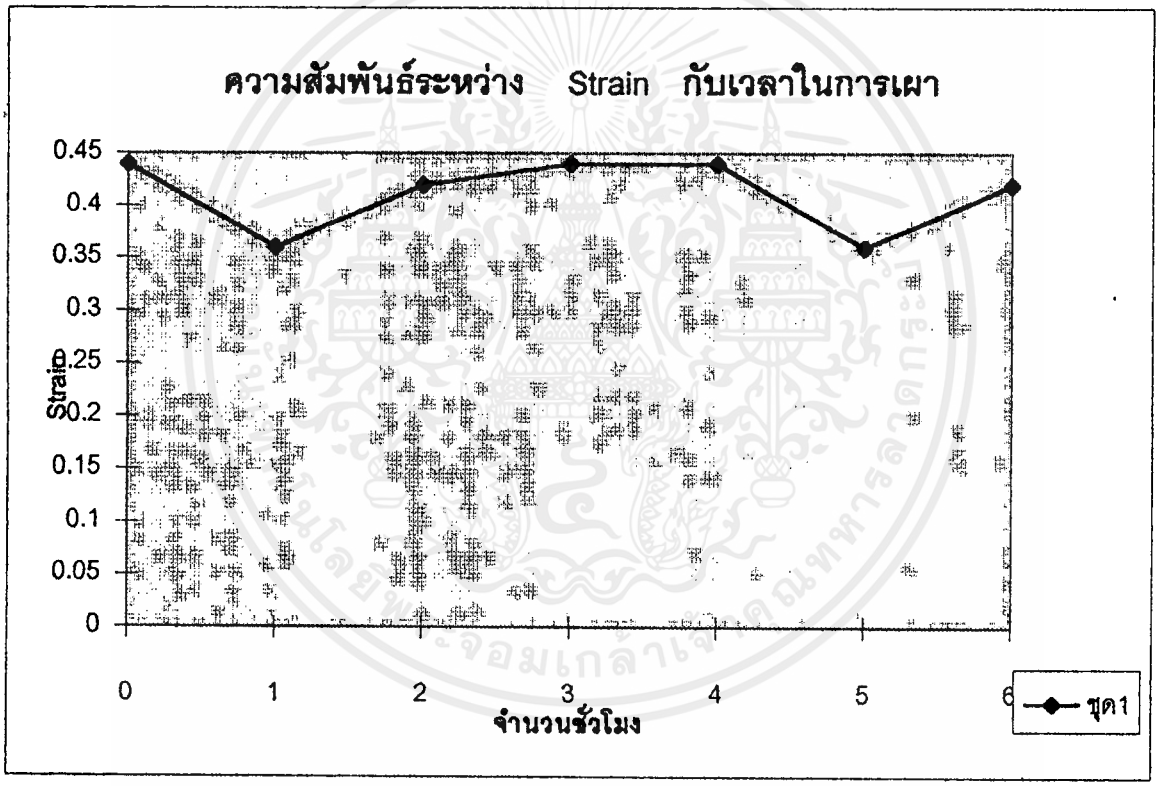
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.23 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
700	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
700	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
700	1	1	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
700	1	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	1	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.36
700	2	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	2	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	2	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.42
700	3	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
700	3	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
700	3	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.44
700	4	1	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
700	4	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	4	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
700	5	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	5	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	5	3	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
							เฉลี่ย	0.36
700	6	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	6	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	6	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.23 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส



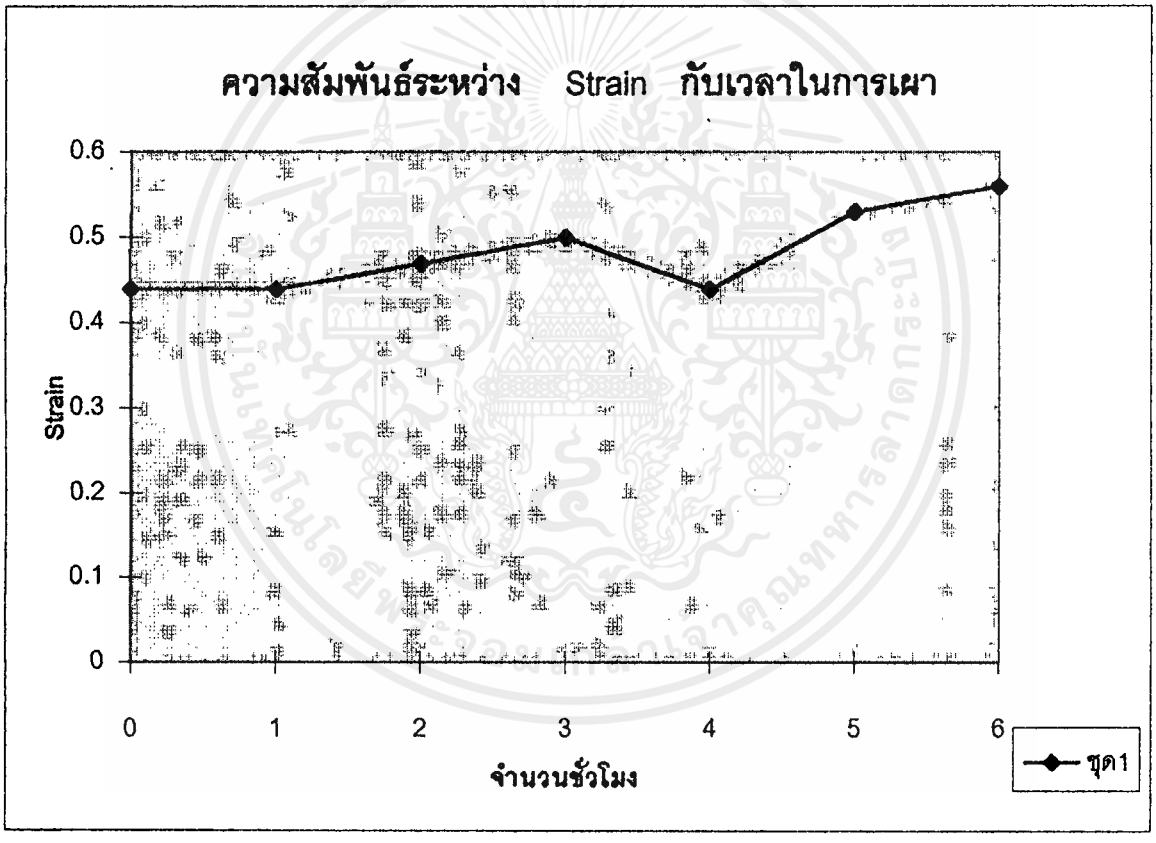
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.24 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็กตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
900	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
900	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
900	1	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	1	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	1	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.44
900	2	1	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
900	2	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
900	2	3	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
							เฉลี่ย	0.47
900	3	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	3	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
900	3	3	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
							เฉลี่ย	0.50
900	4	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	4	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
900	4	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.44
900	5	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	5	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	5	3	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
							เฉลี่ย	0.53
900	6	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	6	2	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	6	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.24 ค่าความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส



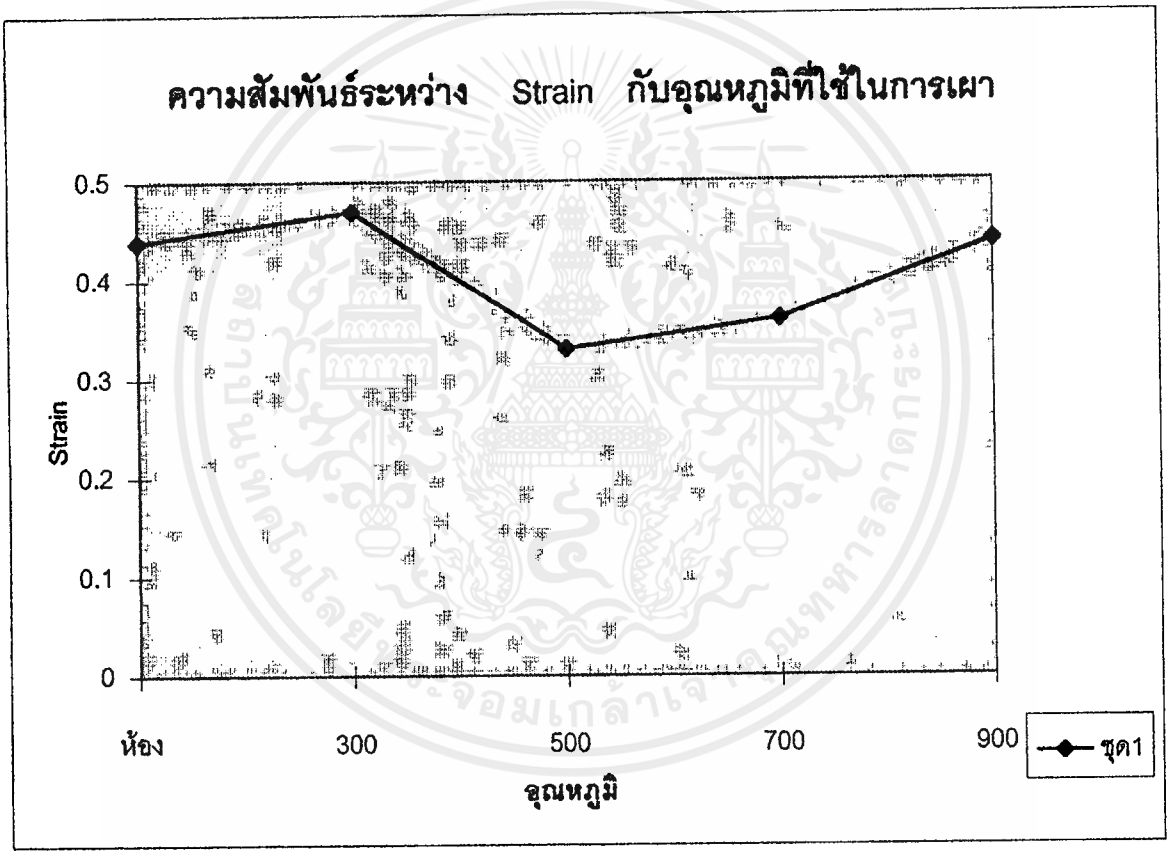
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.25 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
ห้อง	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
ห้อง	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
ห้อง	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	1	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
300	1	2	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
300	1	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.47
500	1	1	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
500	1	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	1	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.33
700	1	1	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
700	1	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	1	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.36
900	1	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	1	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	1	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.25 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 1 ชั่วโมง



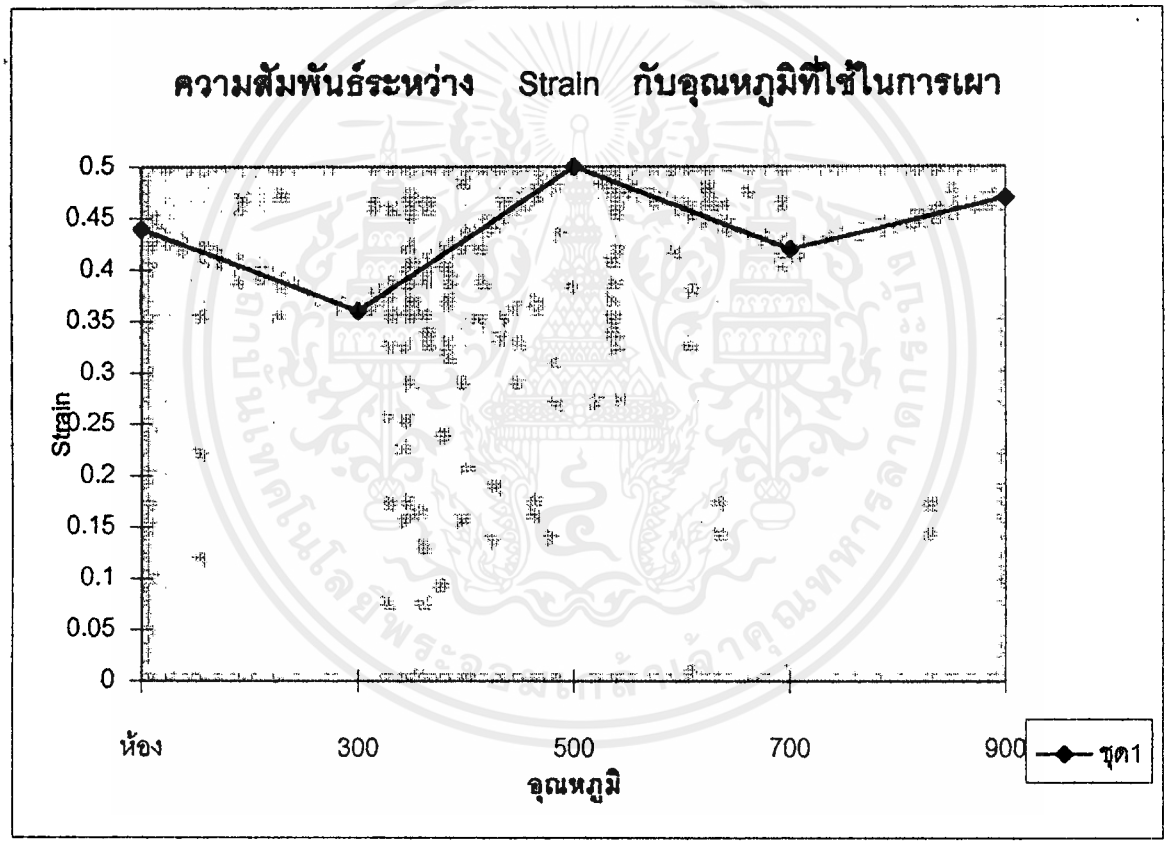
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.26 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
ห้อง	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
ห้อง	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
ห้อง	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	2	1	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
300	2	2	1.2	1.1304	1	6	0.17	
300	2	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.36
500	2	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
500	2	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
500	2	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.50
700	2	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	2	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	2	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.42
900	2	1	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
900	2	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
900	2	3	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
							เฉลี่ย	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.26 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 2 ชั่วโมง



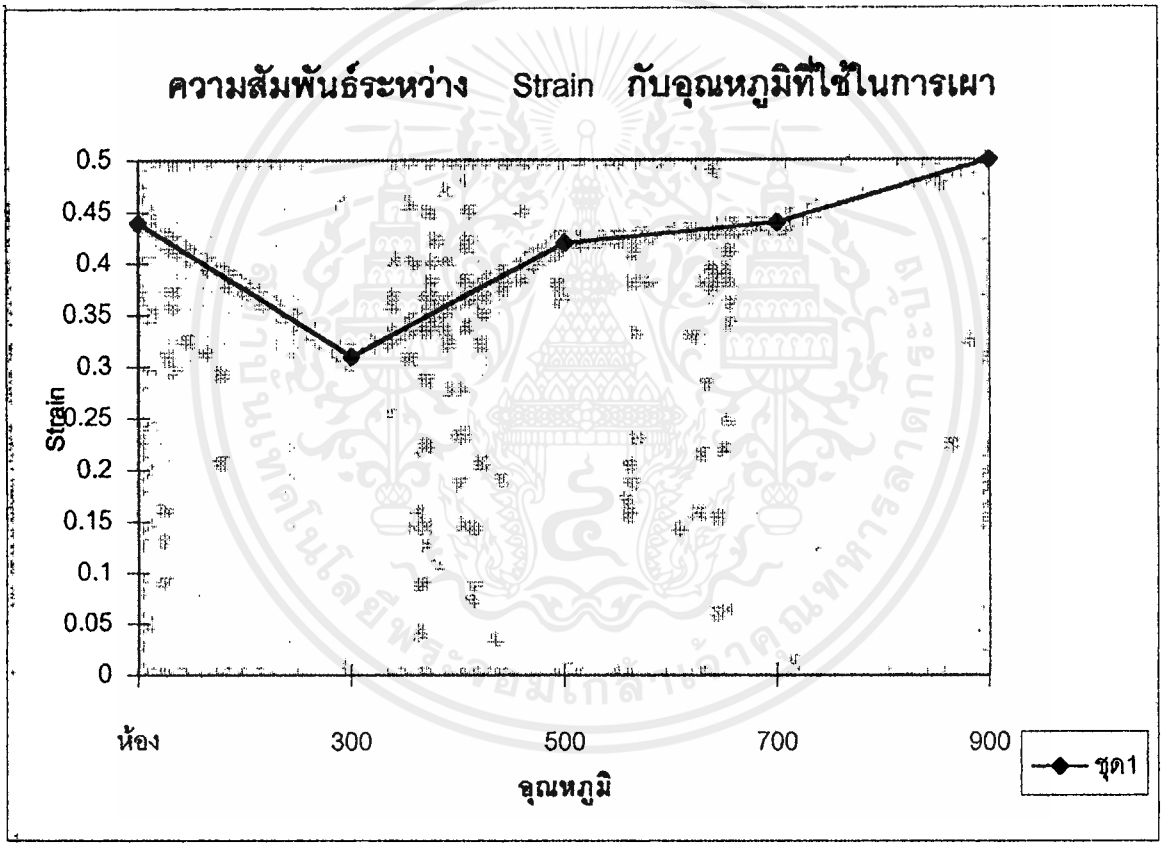
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.27 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
ห้อง	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
ห้อง	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
ห้อง	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	3	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
300	3	2	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
300	3	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.31
500	3	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
500	3	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
500	3	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.42
700	3	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
700	3	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
700	3	3	1.2	1.1304	2	6	0.33	
							เฉลี่ย	0.44
900	3	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	3	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
900	3	3	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
							เฉลี่ย	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.27 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 3 ชั่วโมง



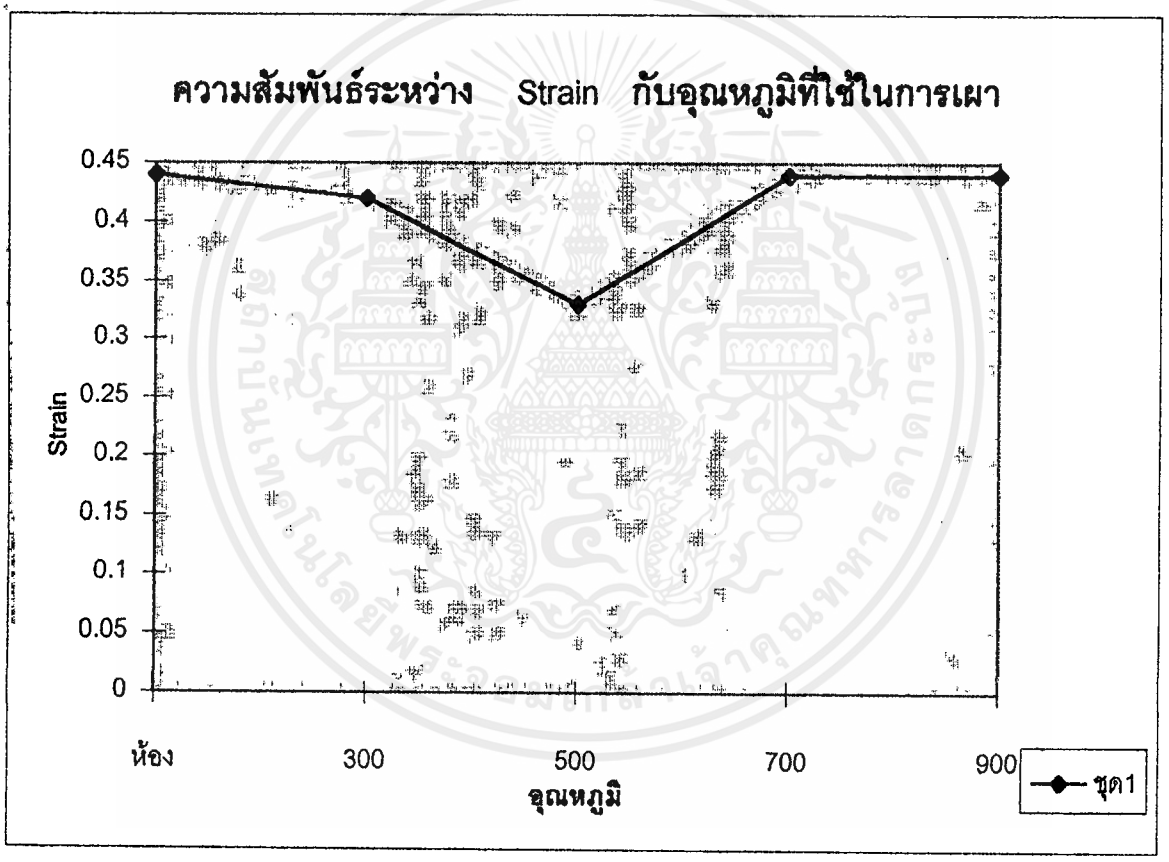
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.28 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
ห้อง	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
ห้อง	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
ห้อง	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	4	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
300	4	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
300	4	3	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
							เฉลี่ย	0.42
500	4	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	4	2	1.2	1.1304	1	6	0.17	
500	4	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.33
700	4	1	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
700	4	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	4	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
900	4	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	4	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
900	4	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.28 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 4 ชั่วโมง



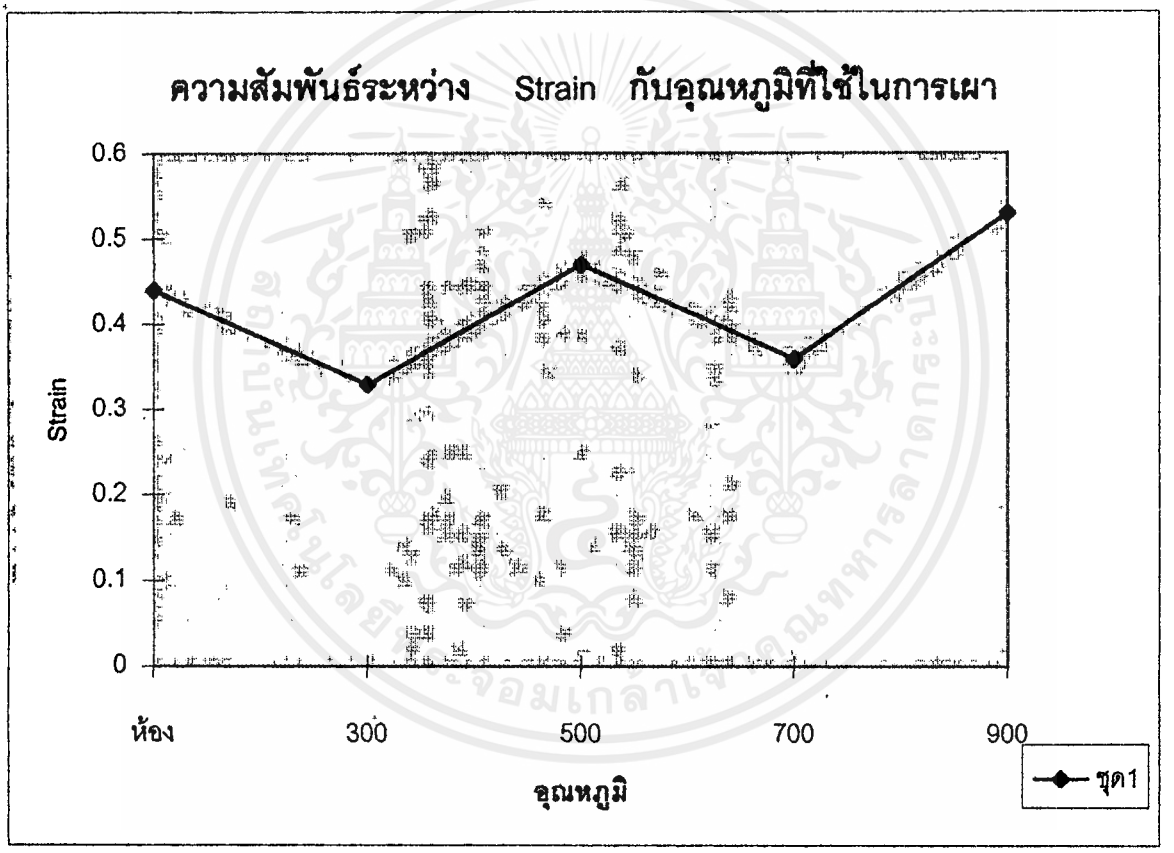
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.29 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 5 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
ห้อง	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
ห้อง	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
ห้อง	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	5	1	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
300	5	2	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
300	5	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.33
500	5	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
500	5	2	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
500	5	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.47
700	5	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	5	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	5	3	1.2	1.1304	1.5	6	0.25	
							เฉลี่ย	0.36
900	5	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	5	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
900	5	3	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
							เฉลี่ย	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.29 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 5 ชั่วโมง



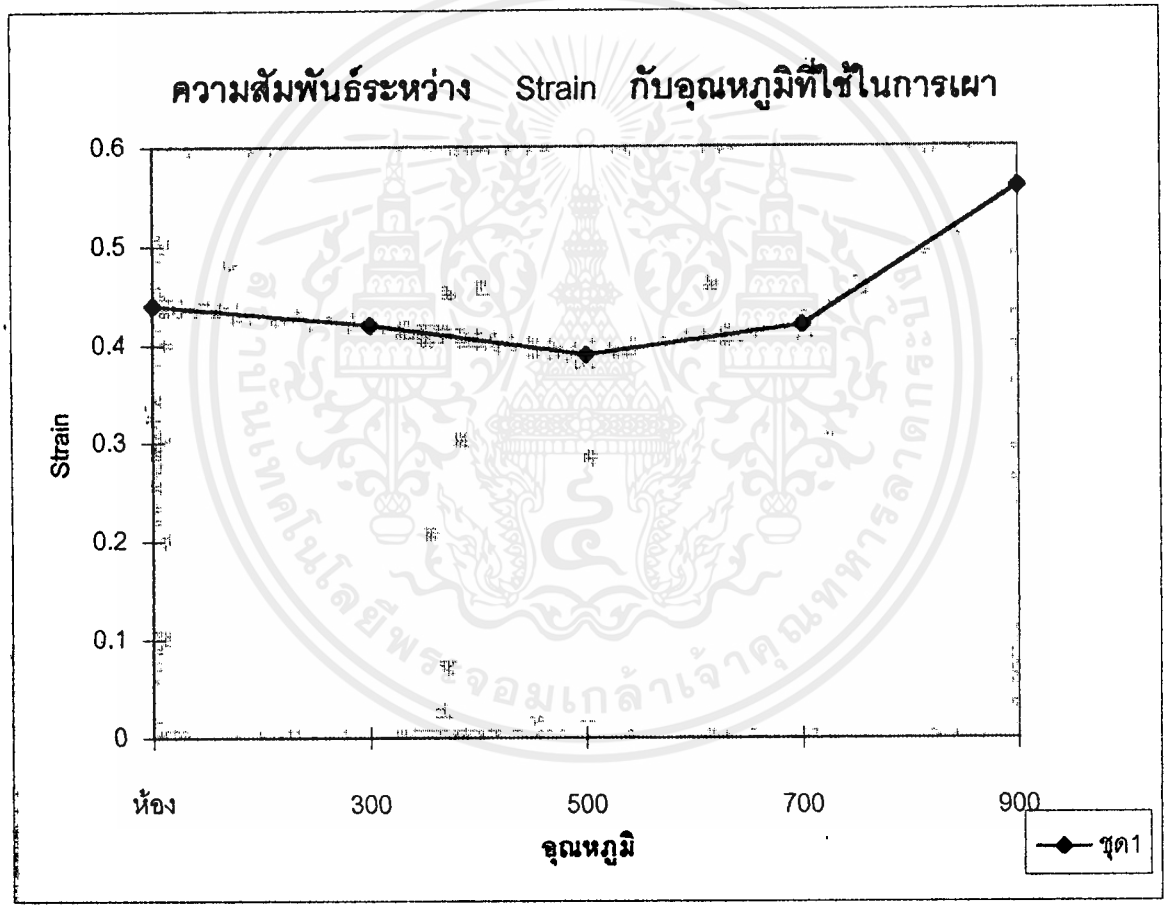
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.30 ทดสอบค่าการยืดตัวของเหล็กโดยการเผาที่ 6 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	เวลาเผา (ชม.)	เหล็ก ตัวอย่าง	ขนาดของเหล็ก Diameter(cm)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	L-L(0) (cm.)	Gauge length (cm.)	Strain	
ห้อง	0	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
ห้อง	0	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
ห้อง	0	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.44
300	6	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
300	6	2	1.2	1.1304	3	6	0.50	
300	6	3	1.2	1.1304	1	6	0.17	
							เฉลี่ย	0.42
500	6	1	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	6	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
500	6	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.39
700	6	1	1.2	1.1304	3	6	0.50	
700	6	2	1.2	1.1304	2	6	0.33	
700	6	3	1.2	1.1304	2.5	6	0.42	
							เฉลี่ย	0.42
900	6	1	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	6	2	1.2	1.1304	3.5	6	0.58	
900	6	3	1.2	1.1304	3	6	0.50	
							เฉลี่ย	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5.30 ค่าความเครียดของเหล็กที่การเผา 6 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

6.1 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

6.1.1 <u>การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีตหลังจากถูกเพลิงไหม้</u>

6.1.1.1) <u>กรณีหยุดอุณหภูมิไว้ และเปรียบเทียบชั่วโมงการเผาที่เปลี่ยนไป 1,2,3,4,5 และ 6 ชั่วโมง</u>

ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่ยังไม่ได้เผา มีค่าประมาณ 87 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. จากกราฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการเผาที่มากขึ้น ค่าของแรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าลดลงจากขณะที่ยังไม่ได้เผา มีค่าใกล้เคียงกับเวลาการเผาที่เปลี่ยนไปคืออยู่ที่ประมาณ 70 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม.

จากกราฟที่อุณหภูมิ 500 , 700 และ 900 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเหมือนกับที่อุณหภูมิ 300 องศา คือ ค่าที่เวลาการเผาเปลี่ยนไป ไม่มีผลทำให้ค่าของแรงยึดเหนี่ยวเปลี่ยนไปมากนักโดย

อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 40 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม.

อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 10 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม.

อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 1 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม.

6.1.1.2) <u>กรณีหยุดเวลาไว้ และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ 300 ,500 ,700 และ 900 องศาเซลเซียส</u>

จากผลการทดลองเมื่อนำผลที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 300, 500, 700 และ 900 ° C มา Plot กราฟ ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่ได้ มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด จนเมื่อถึงอุณหภูมิ 900 °C ค่าของแรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าน้อยลงมากจนเกือบจะเป็นศูนย์ คือมีค่าประมาณ 1 กิโลกรัมต่อตร.ซม.

ตามมาตรฐาน วสท. ค่าของแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปจะกำหนดไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 35 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. เมื่อการเผาไหม้ถึงอุณหภูมิที่ประมาณ 500 ° C ค่าของแรงยึดเหนี่ยว มีค่าลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับ 35 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ ค่าแรงยึดเหนี่ยวจะเริ่มน้อยกว่าค่าที่มาตรฐาน วสท. กำหนดไว้

6.1.2 <u>การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กหลังจากถูกเพลิงไหม้</u>

6.1.2.1) ค่าของ Yeild Stress และ Ultimate Stress หลังจากถูกเผาที่อุณหภูมิ 300 ° C เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้จากกราฟคือค่าของ Yeild Stress จะแปรผันอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 22 - 28 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. ค่าของ Ultimate Stress จะอยู่ระหว่าง 35 - 40 กก.ต่อ ตร.ซม.

ค่าของ Yeild Stress และ Ultimate Stress หลังจากถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 ° C เป็นเวลา 1, 2, 3, 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 และ 6 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้จากกราฟคือค่าของ Yeild Stress จะแปรผันอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 25 - 30 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. ค่าของ Ultimate Stress จะอยู่ระหว่าง 38 - 45 กก. ต่อ ตร.ซม.

ค่าของ Yeild Stress และ Ultimate Stress หลังจากถูกเผาที่อุณหภูมิ 700 ° C เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้จากกราฟคือค่าของ Yeild Stress จะแปรผันอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 23 - 28 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. ค่าของ Ultimate Stress จะอยู่ระหว่าง 35 - 40 กก. ต่อ ตร.ซม.

ค่าของ Yeild Stress และ Ultimate Stress หลังจากถูกเผาที่อุณหภูมิ 900 ° C เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้จากกราฟคือค่าของ Yeild Stress จะแปรผันอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 22 - 28 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. ค่าของ Ultimate Stress จะอยู่ระหว่าง 35 - 40 กก. ต่อ ตร.ซม.

ที่อุณหภูมิ 500 °C ค่า Ultimate Stress ของเหล็กจะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิอื่นเล็กน้อย เนื่องมาจากเหล็กมีส่วนผสมของธาตุ จำพวกโครเมี่ยม โมลิบดินั่ม ทังสเตน วาเนเดียม อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งธาตุเหล่านี้เมื่อรวมกับคาร์บอนจะให้ คาร์ไบด์ จะมีผลทำให้ความแข็งแรงของเหล็กมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิ 400 - 600 °C ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์ Secondary Hardening มีผลทำให้ค่า Ultimate Stress เพิ่มมากขึ้นด้วย

สาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ Secondary Hardening ซึ่งเกิดเฉพาะในช่วงอุณหภูมิ 400 - 600 °C คือในช่วงอุณหภูมินี้อัตราการเคลื่อนไหวในลักษณะแพร่ซึม (Disfusion) ของอะตอมของธาตุผสมจะเป็นไปได้ดี

6.1.2.2) ค่าของความเครียดของเหล็กที่อุณหภูมิ

300 ° C ค่าความเครียดจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากขณะที่ยังไม่ได้เผาอยู่ในช่วง +/- 0.1 คืออยู่ระหว่าง 0.3 - 0.5

500 ° C ค่าความเครียดจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากขณะที่ยังไม่ได้เผาอยู่ในช่วง +/- 0.1 คืออยู่ระหว่าง 0.3 - 0.5

700 ° C ค่าความเครียดจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากขณะที่ยังไม่ได้เผาอยู่ในช่วง +/- 0.1 คืออยู่ระหว่าง 0.35 - 0.45

900 ° C ค่าความเครียดจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากขณะที่ยังไม่ได้เผาอยู่ในช่วง +/- 0.1 คืออยู่ระหว่าง 0.4 - 0.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สรุปผลการศึกษา

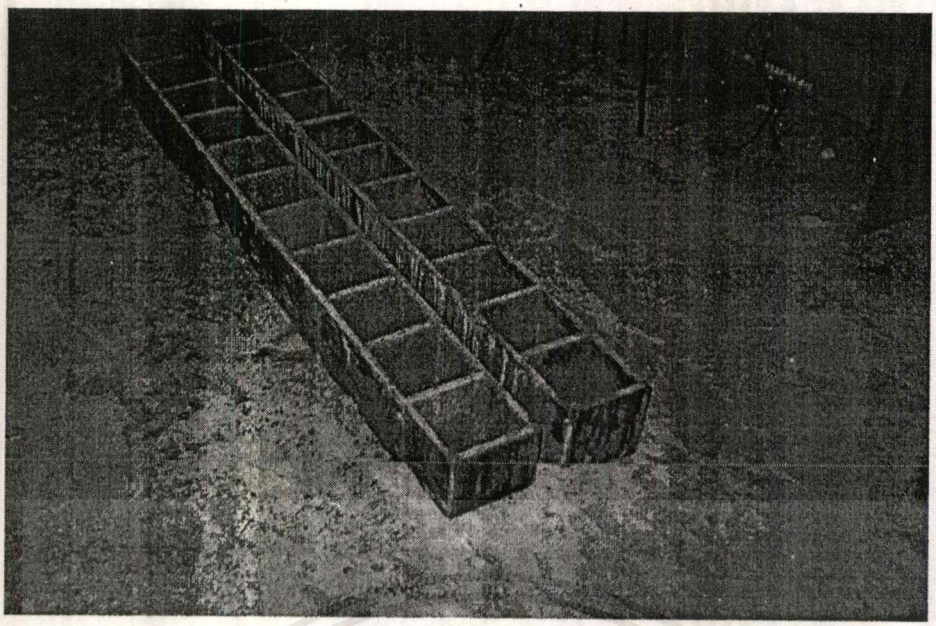
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต

1. ค่าของแรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าลดลง จนแทบจะไม่เหลือแรงยึดเหนี่ยวเลยที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส
2. ค่าของแรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าลดลงต่ำกว่ามาตรฐาน วสท. คือ 35 กิโลกรัม ต่อ ตร.ซม. เริ่มจากอุณหภูมิ 500 ° C
3. ชั่วโมงการเผาที่มากขึ้น ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าของแรงยึดเหนี่ยวมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

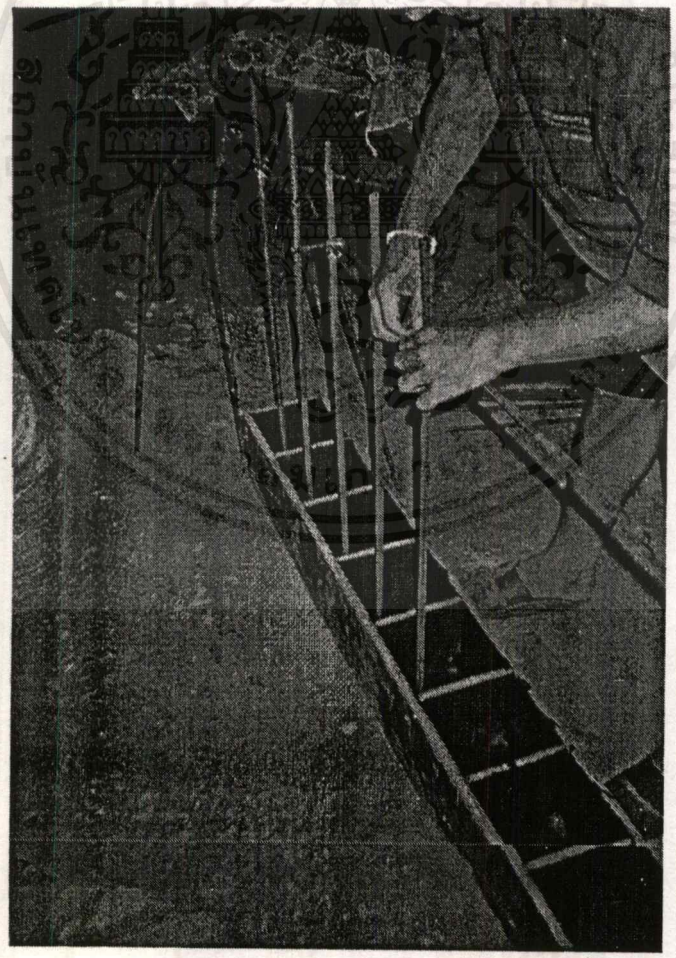
กำลังรับแรงดึงของเหล็ก

1. กำลังรับแรงดึงของเหล็ก จะมีค่าเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเล็กน้อยหลังจากเผาที่ 500 ° C และลดลงเล็กน้อยที่ 700 ° C และ 900 ° C
2. ค่าของความเครียดของเหล็กหลังการเผามีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน อาจมีการเพิ่มมากขึ้นหรือลดลง ซึ่งจะอยู่ในช่วง +/- 0.1 จากค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

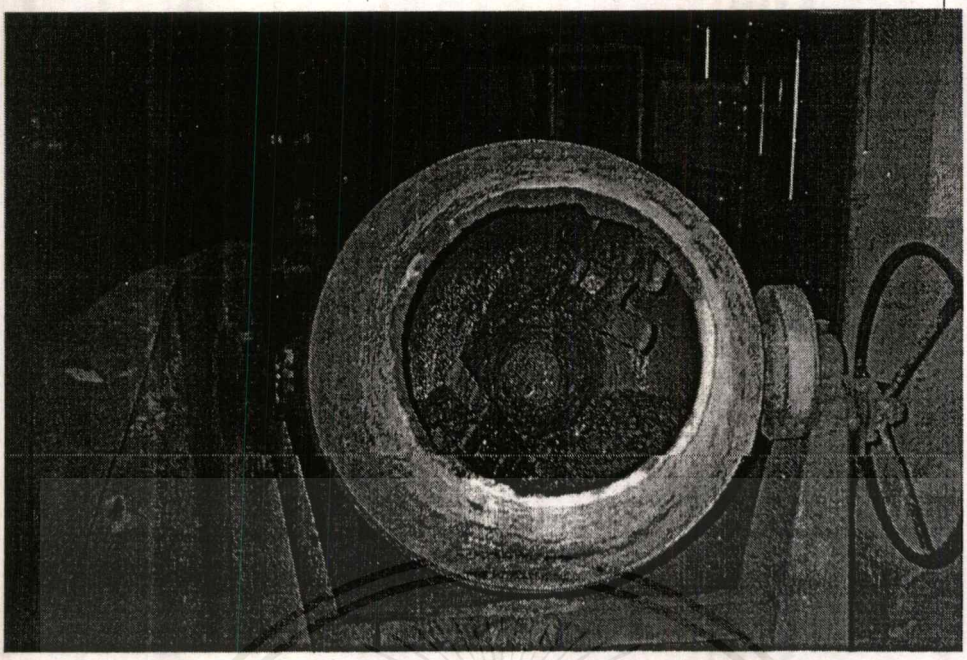


-รูปที่ ก.1 แบบหล่อคอนกรีตขนาด 15x15x15 ซ.ม.

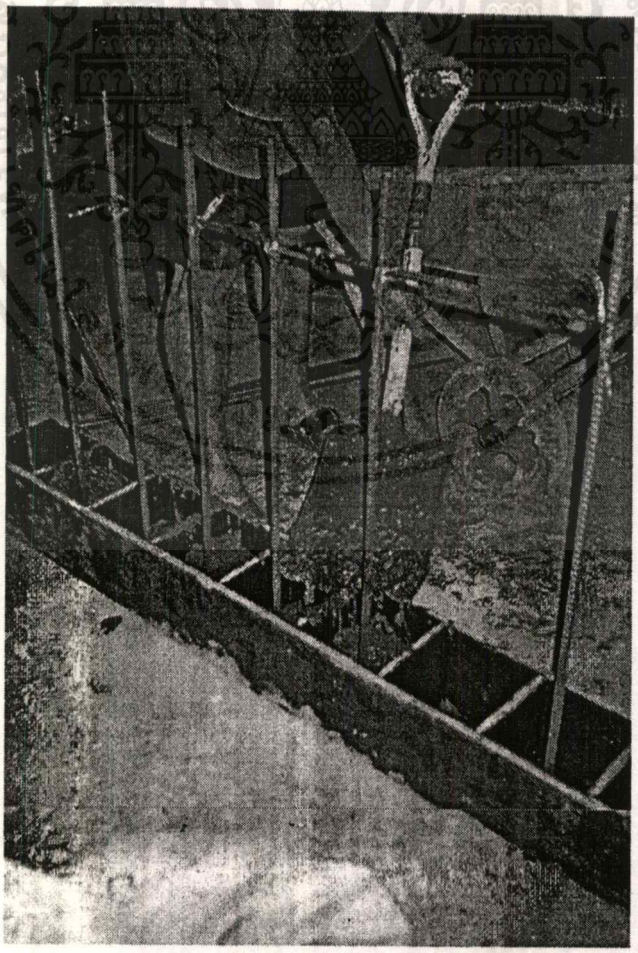


-รูปที่ ก.2 ขั้นตอนการเสียบเหล็กลงแบบ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

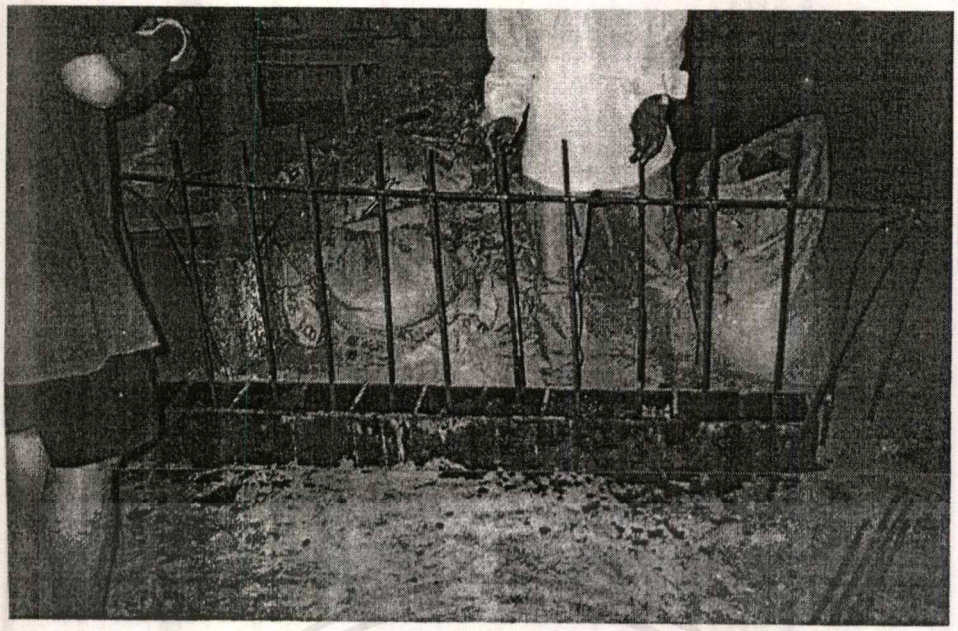


-รูปที่ ก.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตโดยใช้โม่ผสม

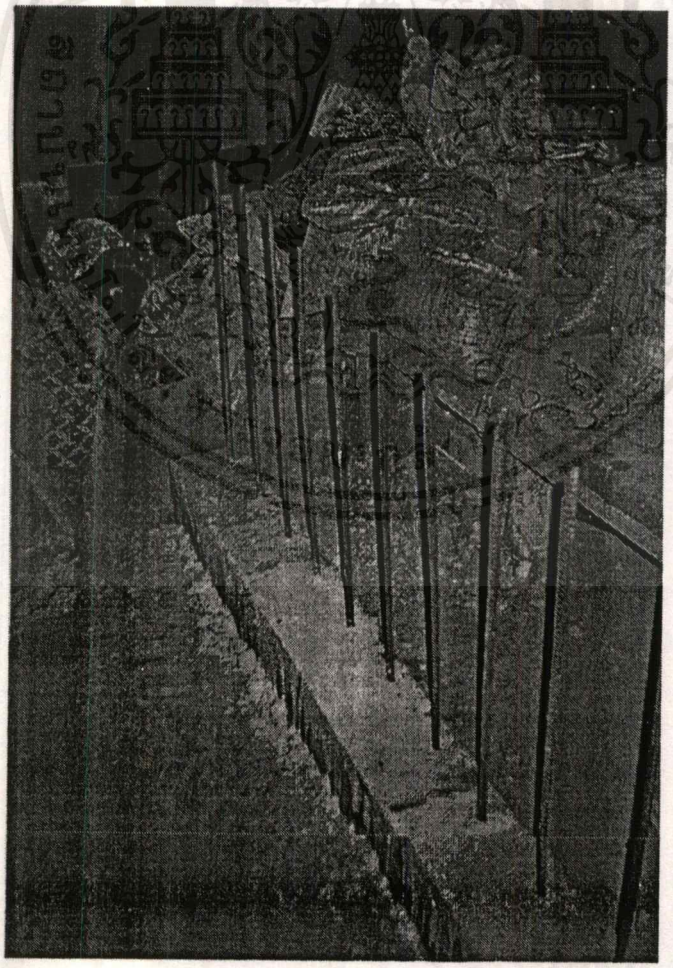


-รูปที่ ก.4 ขั้นตอนคอนกรีตลงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



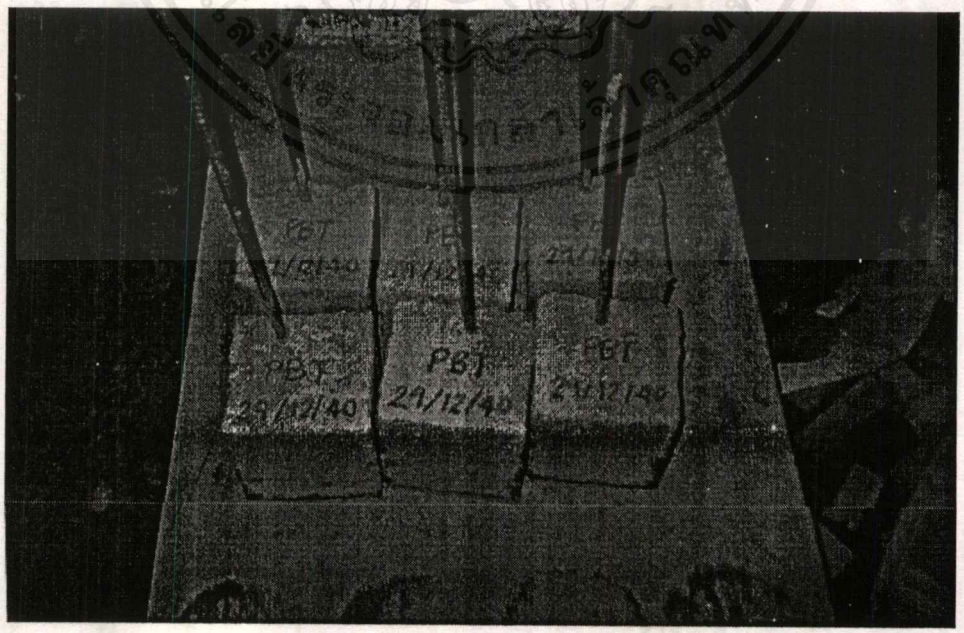
-รูปที่ ก.5 กระทุ้งคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM



-รูปที่ ก.6 รูปหลังจากคอนกรีตแห้งแล้ว

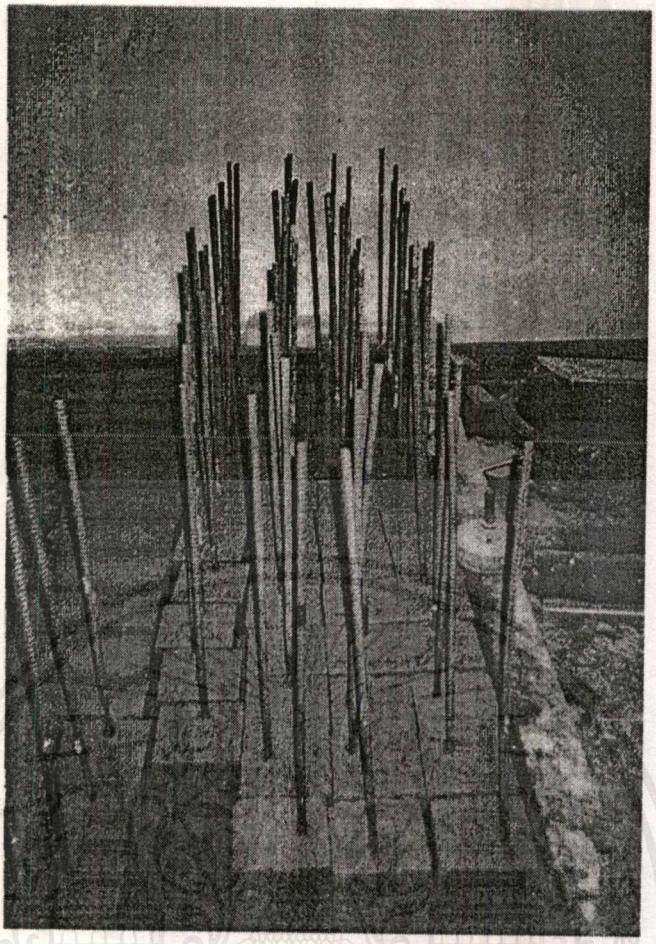
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-รูปที่ ก.7 ขั้นตอนการแกะแบบ

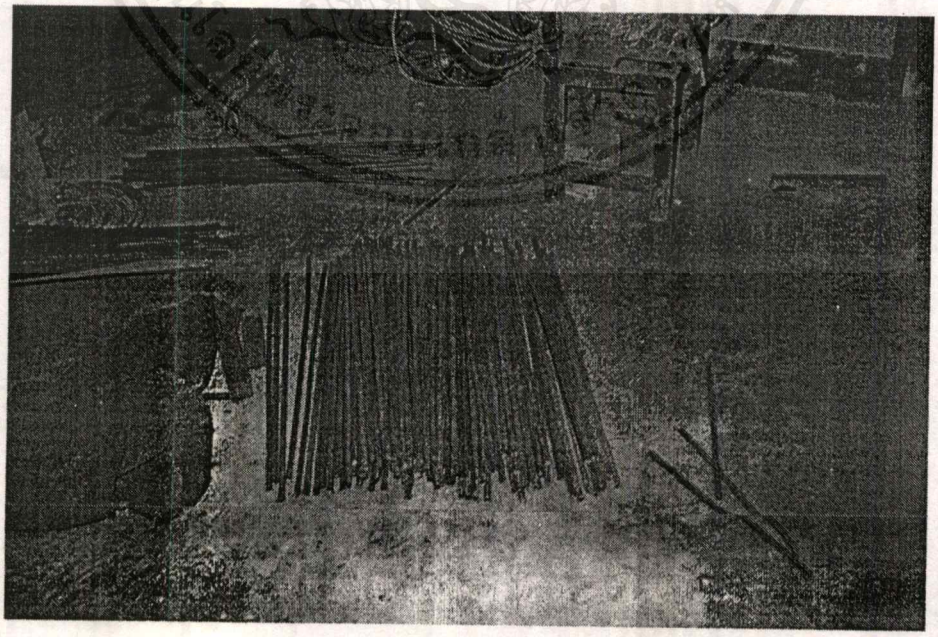


-รูปที่ ก.8 ลูกปูนหลังจากแกะแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

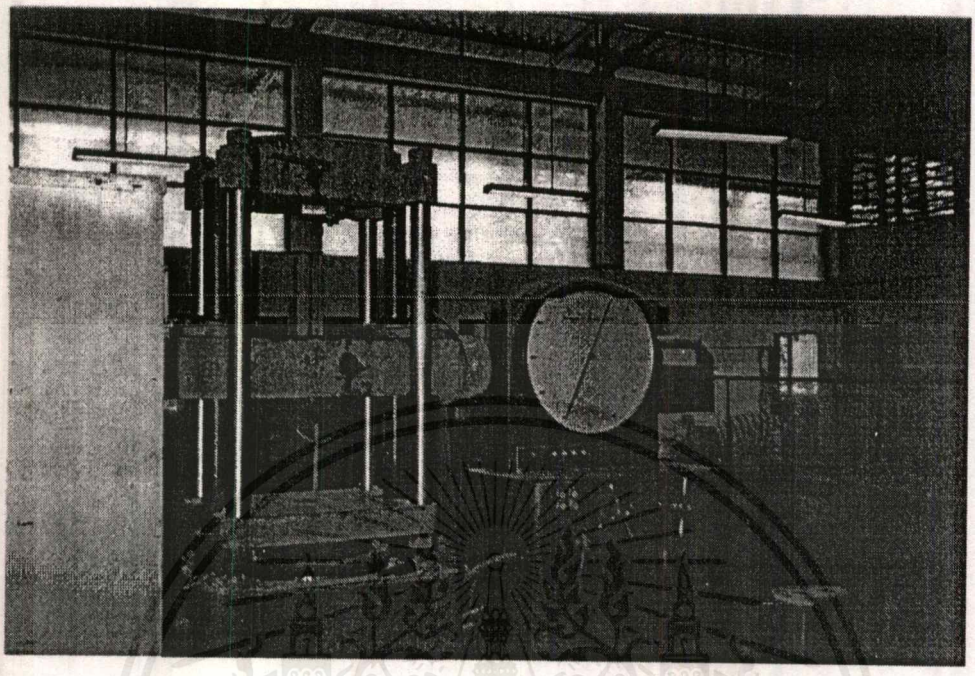


-รูปที่ ก.9 ขั้นตอนการบ่มคอนกรีต

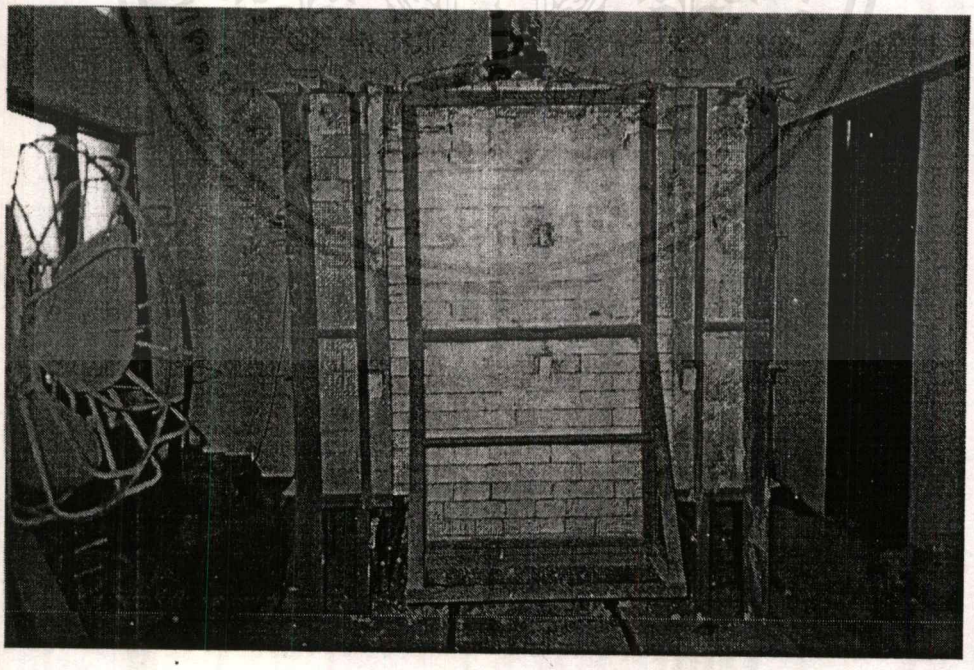


-รูปที่ ก10 เหล็กที่ถูกตัดไว้เตรียมทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

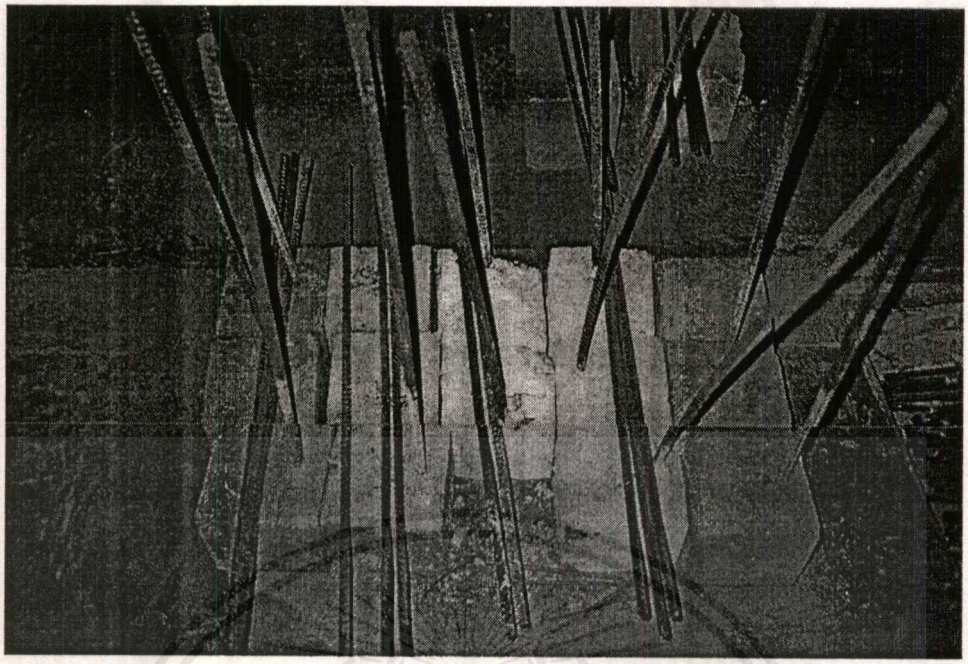


-รูปที่ ก.11 เครื่องทดสอบ Universal Testing

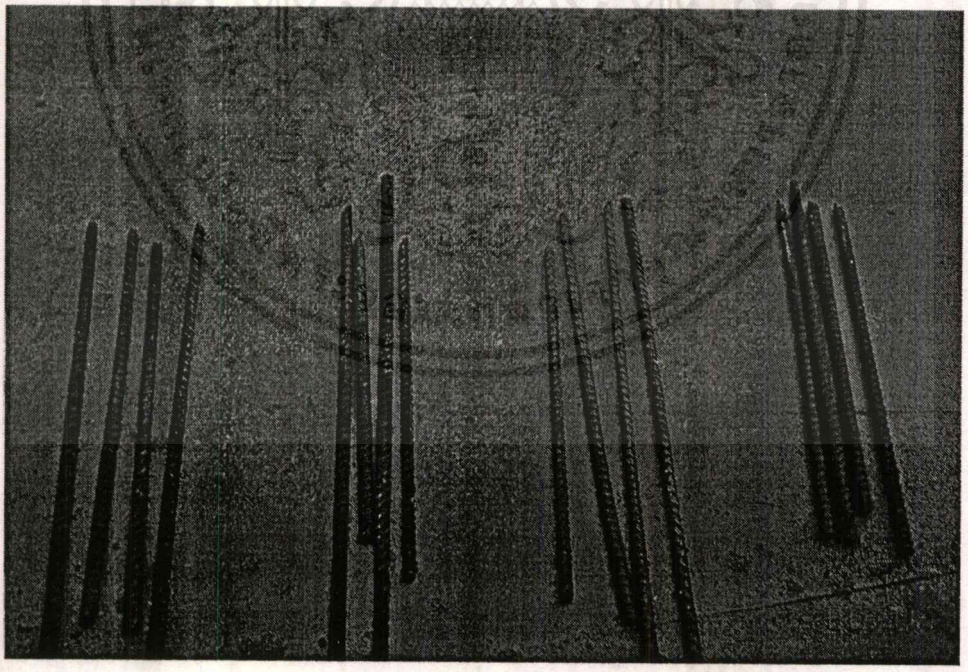


-รูปที่ ก.12 เตาเผาคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

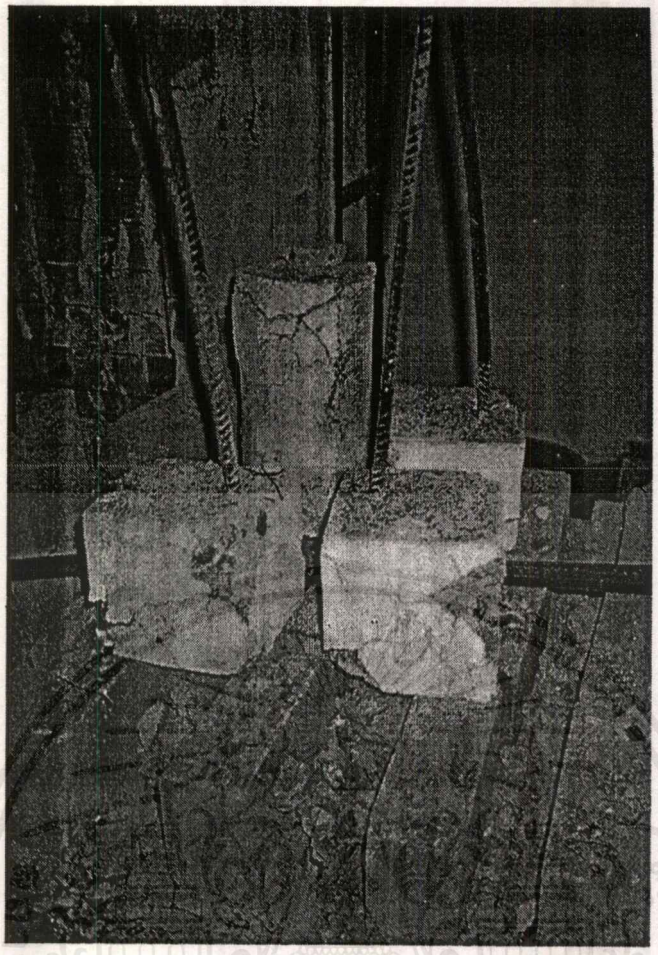


-รูปที่ ก.13 คอนกรีตหลังถูกเผาไฟ

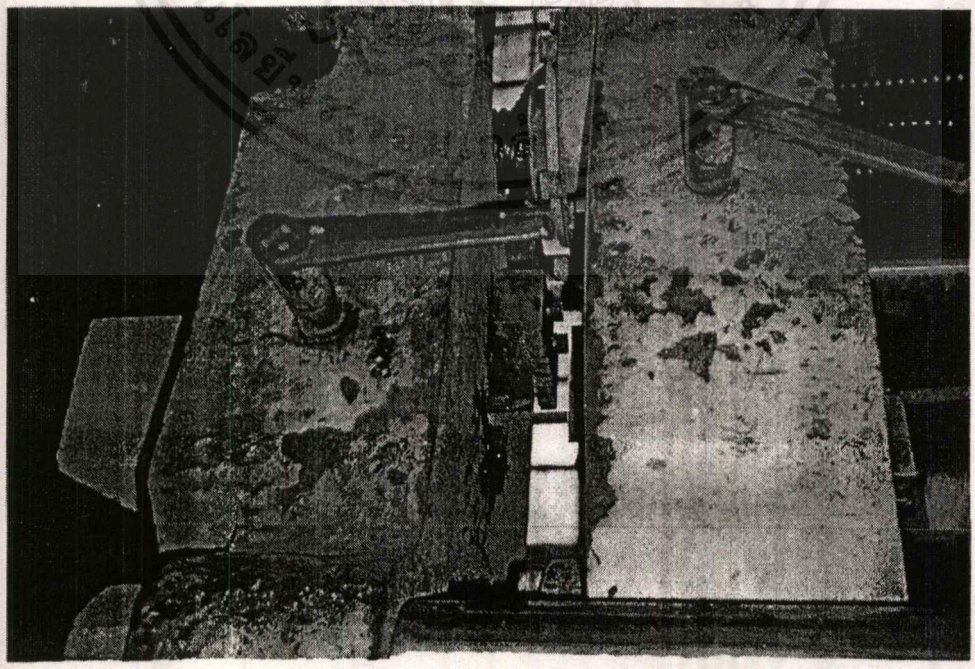


-รูปที่ ก.14 .เหล็กที่ถูกเผาไฟ ณ. อุณหภูมิ 300 c, 500c,700c,900c ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

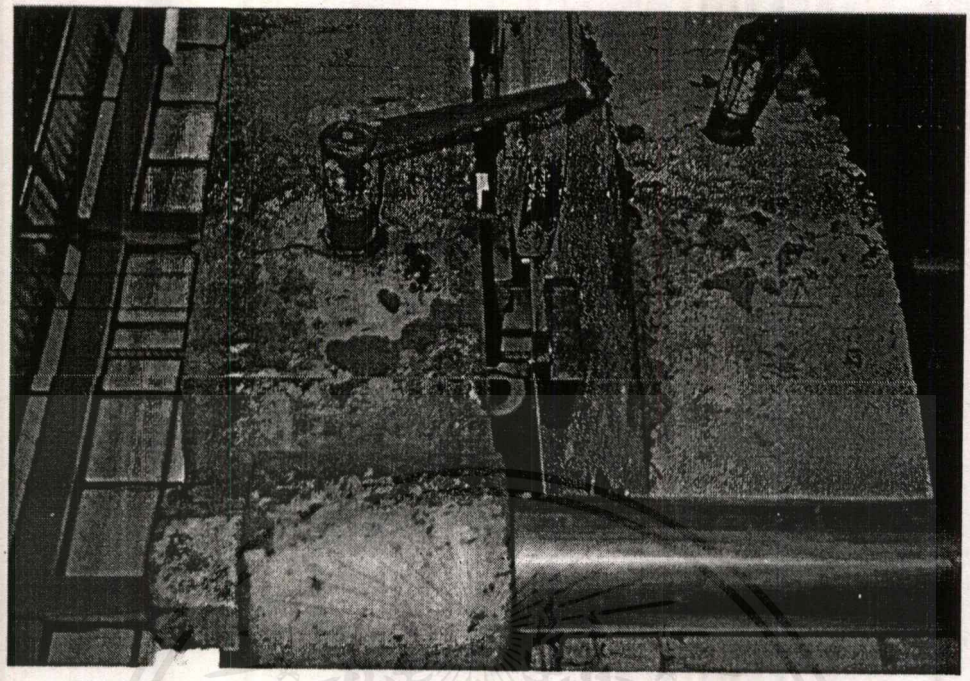


-รูปที่ ก.15 ลักษณะของคอนกรีตที่ระเบิดแตกออก ณ. อุณหภูมิ 900 c

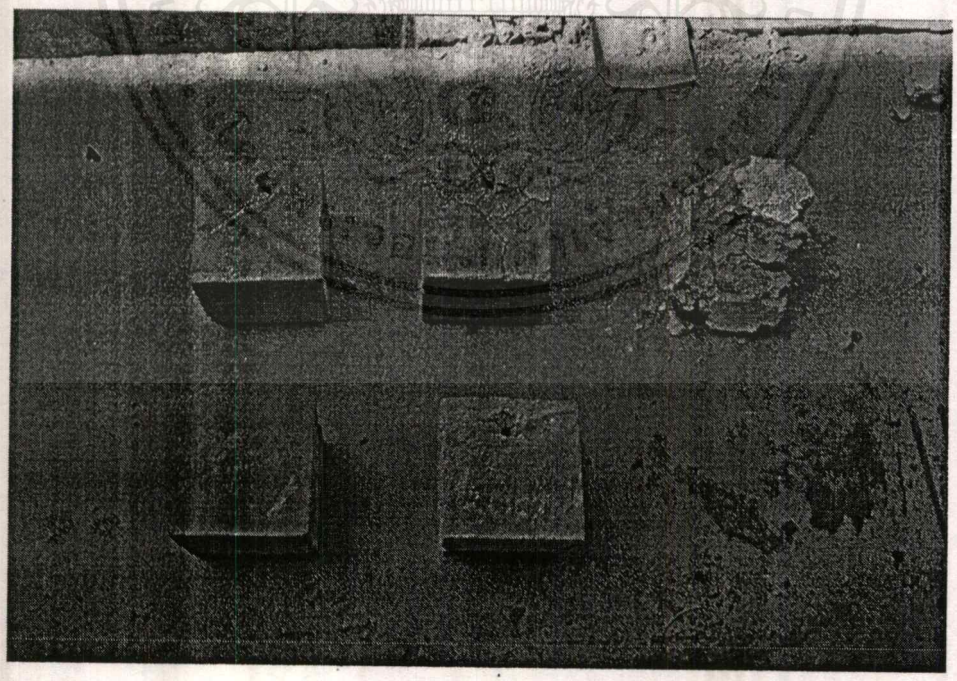


-รูปที่ ก.16 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

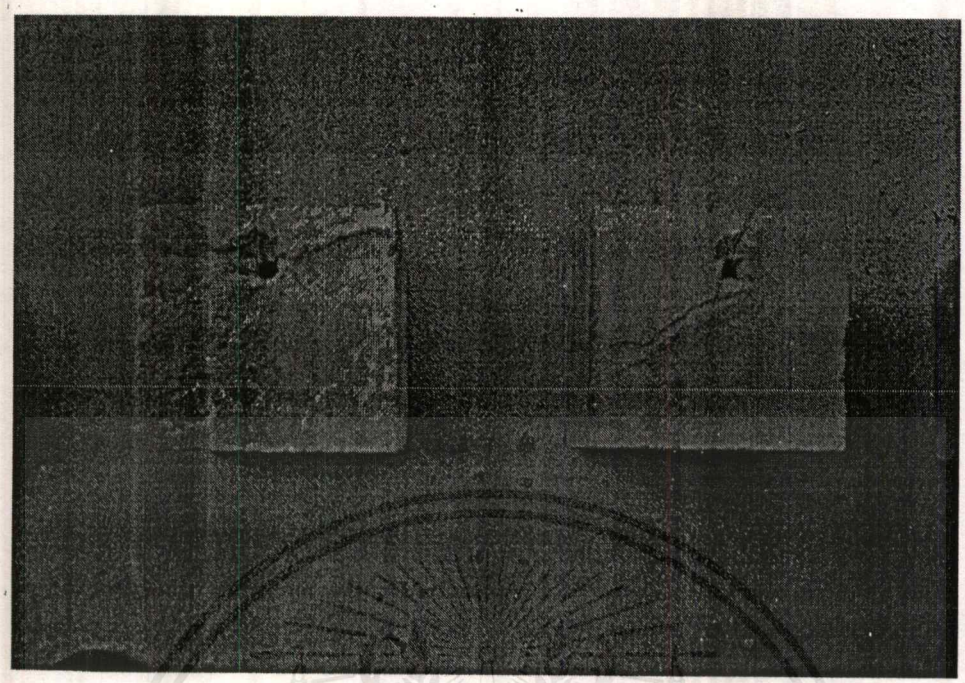


-รูปที่ ก.17 การทดสอบดึงเหล็ก

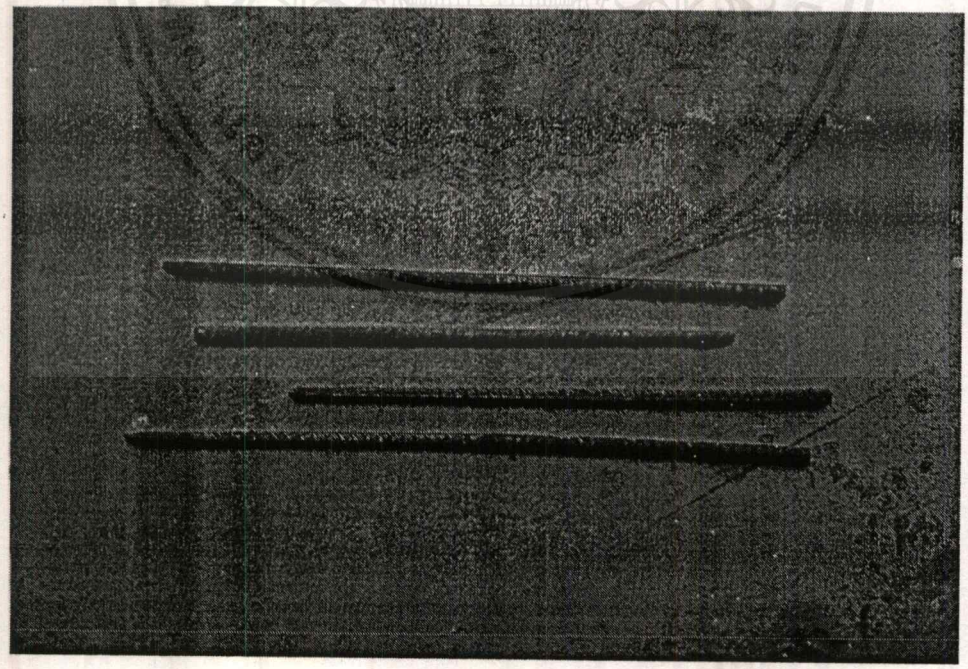


-รูปที่ ก.18 ลักษณะของคอนกรีตหลังทดสอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



-รูปที่ ก.19 ลักษณะของคอนกรีตหลังทดสอบแล้ว



-รูปที่ ก.20 เหล็กหลังจากทดสอบหาแรงดึงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASTM Designation : C234-86

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบคอนกรีตบนพื้นฐานของแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริม

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบนี้ครอบครุมถึงการเปรียบเทียบของคอนกรีตบนพื้นฐานของแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริม และไม่เจาะจงว่าจะต้องใช้เหล็กขนาดเท่าใด หรือชนิดใด หรือจะต้องได้แรงยึดเหนี่ยวเท่าใด สามารถปรับเปลี่ยนให้ใช้ในจุดประสงค์การวิจัยต่าง ๆ ได้ โดยเปลี่ยนสภาพตามต้องการ

1.2 ค่าที่เป็นหน่วย นิ้ว-ปอนด์ จะพิจารณาให้เป็นมาตรฐาน

1.3 มาตรฐานนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับวัสดุ, การปฏิบัติการ และเครื่องมือต่าง ๆ ต้องเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้เองที่จะกำหนดความปลอดภัยที่เหมาะสมและตัดสินใจกำหนดขอบเขตในการใช้อย่างมีกฎเกณฑ์ตามลำดับการใช้

2. ความสำคัญและการใช้

2.1 ไม่เจาะจงว่าจะต้องใช้เหล็กขนาดเท่าใด หรือชนิดใด หรือจะต้องได้แรงยึดเหนี่ยวเท่าใด สามารถปรับเปลี่ยนให้ใช้ในจุดประสงค์การวิจัยต่างๆได้โดยเปลี่ยนสภาพตามต้องการ

2.2 วิธีการทดสอบนี้อาจใช้ได้โดยอนุโลมให้สำหรับผลิตภัณฑ์หรือการปฏิบัติการอื่นด้วยการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยข้องกับผลของการพัฒนาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

3. อุปกรณ์

3.1 แบบหล่อของชิ้นทดสอบแรงยึดเหนี่ยว

- แบบหล่อชนิดลูกบาศก์ 150 mm. โดยมีเหล็กฝังในแนวดิ่ง 1 เส้น
- แบบหล่อควรเป็นแบบเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 6 mm. ถ้าทำจากไม้จะต้องมีแผ่นเหล็กบางหนาประมาณ 3 mm. ประกบตามรอยต่อของชิ้นไม้
- แบบหล่อจะต้องไม่ให้น้ำรั่วซึมได้

3.2 เครื่องมือวัด

- เครื่องมือวัดจะต้องวัดการเคลื่อนตัวของเหล็กเสริมในการออกแรงดึงเหล็กได้โดยใช้ dial gages

3.3 เครื่องมือทดสอบ

- ผิวหน้าของชิ้นทดสอบจะต้องอยู่บนแผ่นเหล็กกว้างอย่างน้อย 150 mm. รูปสี่เหลี่ยมจตุรัสและหนา 19 mm. และมีรูเจาะตรงกลางให้เพียงพอกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม

4. ชิ้นทดสอบ

4.1 ชิ้นทดสอบจะต้องมี 3 ตัวอย่างเพื่อประกอบกันขึ้นเป็นชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ชิ้นทดสอบที่มีเหล็กเสริมฝังในแนวดิ่ง – ชิ้นทดสอบจะประกอบด้วยลูกบาศก์คอนกรีต ขนาด 150 mm. และมีเหล็กเสริมฝังในแนวดิ่งตรงกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ เหล็กเสริมจะต้องหยั่งลงไปถึงผิวด้านล่างของชิ้นทดสอบ โดยมีระยะจากผิวล่างขึ้นมาประมาณ 10 mm. และโผล่ขึ้นมาทางด้านบนด้วยความยาวนี้เราต้องการเพื่อความสะดวกในการทดสอบ

4.3 เหล็กเสริม- ควรจะเป็น DB 6 ตาม specification A 6155 และต้องเป็นชุดเหล็กทดสอบที่เป็นชนิดเดียวกัน, ขนาดเดียวกัน, รูปร่างและรูปแบบของการเสียรูปเหมือนกัน

5. <u>การผสมคอนกรีต</u>

5.1 คอนกรีตควรจัดเป็นชุด, เครื่องผสม; แบบหล่อ,และการบ่มตามวิธี C 192 หลังจากการผสมเสร็จกันที่ต้องทดสอบตามวิธี C 143 ปริมาณอากาศในคอนกรีตสดจะพิจารณาตามวิธี C 173 สำหรับคอนกรีตมวลรวมเบา หรือ C 231 สำหรับคอนกรีตมวลรวมตามธรรมชาติหนาแน่น

6. <u>การหล่อชิ้นทดสอบ</u>

6.1 ก่อนการหล่อชิ้นทดสอบต้องชโลมผิวของแบบหล่อด้วยน้ำมัน, ปิโตรเลียม เจลลี่ หรือ เบสของกรดสเตอริก และทำความสะอาดสนิมของเหล็กเสริมด้วยแปรงลวด และทำความนะอาดคราบน้ำมันด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม

6.2 สำหรับคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 150 mm. ต้องเทคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยความหนาเท่ากัน และกระทุ้งแต่ละชั้น ชั้นละ 25 ครั้งด้วยเหล็กกระทุ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm.

6.3 หลังจากผิวหน้าเริ่มแข็งตัว, ทำการใช้เกรียงปาดผิวหน้าให้เรียบเพื่อป้องกันการระเหยของความชื้น ตาม C 192

6.4 ทำชิ้นทดสอบอย่างน้อย 3 ก้อน ขนาด 6×12 in หรือ 150×300 mm. หรือ 4×8 in หรือ 100×200 mm. เป็นแบบทรงกระบอกของชุดคอนกรีตนั้น ๆ เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด

7. <u>การบ่มชิ้นทดสอบ</u>

7.1 เริ่มแกะแบบได้โดยต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 20 ชั่วโมงหลังจากการหล่อระมัดระวังเหล็กเสริมให้มากเป็นพิเศษ

7.2 หลังจากแกะแบบออกแล้วให้นำชิ้นทดสอบไปบ่มในห้องตาม specification C 511 จนถึง เวลาของการทดสอบ ชิ้นทดสอบจะต้องมีอายุที่ 28 วัน

8. <u>การเตรียมชิ้นทดสอบ</u>

8.1 แคปผิวหน้าของชิ้นทดสอบขนาด 150 mm. ลูกบาศก์ที่มีเหล็กเสริมฝังอยู่ในแนวดิ่ง โดยใช้ Practice C 617 ซึ่งเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้แคปและวิธีการแคป

9. <u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

9.1 นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบเพื่อให้ผิวหน้าและเหล็กเสริมวางอยู่บนเครื่องทดสอบให้เหมาะสมและพอดีตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2 ในการประกอบเครื่องทดสอบกับชิ้นทดสอบให้บันทึกระยะระหว่างผิวหน้าของคอนกรีต ฯลฯ ระนาบแนวราบซึ่งผ่านจุดบนเหล็กเสริม เพื่อจะคำนวณหาระยะ slip

9.3 ใน Losd ให้กับเหล็กเสริมด้วยอัตราที่น้อยกว่า 22 kN/นาที หรือ ไม่ให้มีความเร็วของการใส่ Load ของเครื่องทดสอบ หรือ ความเร็วที่น้อยกว่า 1.27 mm/นาที

9.4 อ่านและบันทึกผล Load ที่ใช้และอ่านค่าจาก dial gage

9.5 อ่านค่า Load ณ จุดต่าง ๆ ดังนี้

1) yield point ของเหล็กเสริม

2) คอนกรีตที่หุ้มเกิดแตกปริออก

หรือ 3) เกิดระยะเคลื่อนอย่างน้อย 2.5 mm.

10. <u>การคำนวณ</u>

10.1 คำนวณค่าแรงยึดเหนี่ยวโดยใช้ค่า Load เฉลี่ยหารด้วยค่าพื้นที่ของเหล็กที่มีคอนกรีตหุ้ม

10.2 คำนวณระยะเคลื่อนที่ของเหล็กเสริม ด้วยระยะเฉลี่ยของ dial gage 2 ตัว ปรับแก้ระยะยืดของเหล็กเสริม

<u>มาตรฐาน ว.ส.ท. สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก</u>

1. การคำนวณหาค่าหน่วยแรงยึดหน่วงในองค์อาคารรับแรงดึง

ก) ในองค์อาคารรับแรงอัด ซึ่งมีเหล็กเสริมรับแรงดึงขนานกับผิวที่รับแรงอัด หน่วยแรงยึดหน่วงอันเกิดจากแรงดัดที่หน้าตัดใด ๆ หาจาก

$$U = \frac{V}{\Sigma ojd}$$

ทั้งนี้อาจนับรวมเหล็กคอม้าที่วางห่างจากระดับของเหล็กเสริมหลักตามแนวยาวไม่เกิน d/3 เข้าไว้ด้วย หน้าตัดวิกฤตเกิดที่ของของที่รองรับหรือที่จุดซึ่งเหล็กรับแรงดึงสิ้นสุดในช่วงนั้น ๆ และหรือที่จุดดัดกลับ

ข) เพื่อป้องกันการรูดของเหล็กเสริมหรือการแตกปริเนื่องจากแรงยึดหน่วง เหล็กเสริมที่หน้าตัดใด ๆ ต้องมีความยาวระยะฝัง การยึดปลาย หรือ มีของสำหรับเหล็กเสริม รับแรงดึงที่เพียงพอทั้ง 2 ข้างของหน้าตัดนั้น เพื่อรับแรงดึงหรือแรงอัดที่คำนวณได้ในเหล็กเสริมเส้นนั้น ๆ หน่วยแรงยึดหน่วง U ที่เกิดจากการยึด คำนวณจากแรงในเหล็กเสริม หารด้วยผลคูณของ Σo กับความยาวระยะฝัง

ค) หน่วยแรงดึงหน่วง u ที่คำนวณตามข้อ ก)และ ข) ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดให้ไว้ต่อไปนี้ ในกรณีที่หน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดจากแรงดัดในเหล็กเสริมรับแรงอัดหรือเหล็กเสริมรับแรงดึงซึ่งหน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดจากการยึดปลายมีค่าน้อยกว่า 0.8 ของค่าที่ยอมให้ไม่ต้องนำมาพิจารณา

1. สำหรับเหล็กรับแรงดึงประเภทข้ออ้อย ตามมาตรฐาน ASTM A 305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กบน $\frac{2.29\sqrt{f'_c}}{D}$ หรือไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2}

เหล็กอื่นนอกจากเหล็กบน $\frac{3.23\sqrt{f'_c}}{D}$ หรือไม่เกิน 35 กก/ซม.^{2}

2. สำหรับเหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 408 เหล็กบน $0.556\sqrt{f'_c}$

   เหล็กอื่นนอกเหนือจากเหล็กบน $0.795\sqrt{f'_c}$

3. สำหรับเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัด $1.72\sqrt{f'_c}$ หรือไม่เกิน 28 กก/ซม.^{2}
4. สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ใช้เท่าเดิมครึ่งหนึ่งของค่าที่ให้ไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย ตามมาตรฐาน ASTM A 305 แต่ต้องไม่เกิน 11 กก/ซม.^{2}

ง) ในองค์อาคารที่รับแรงดัดที่ไม่สามารถใช้สมการ $U = \frac{V}{\Sigma ojd}$ ได้เช่น ฐานราก แป้นหูช้าง หรือ คาน ซึ่งเหล็กเสริมรับแรงดึงไม่ขนานกับผิวที่รับแรงอัดต้องอกแบบเหล็กเสริมรับแรงดึงให้มีการยึดปลายอย่างเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

รศ.มนัส สถิรจินดา , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , "เหล็กกล้า'

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , "มาตราฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก" , ตุลาคม พ.ศ. 2534

กิตติ อินทรานนท์ , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , "วิศวกรรมความปลอดภัย" , สิงหาคม พ.ศ. 2538

Annual book of ASTM standards C 234-86 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้