

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการทดสอบ connector และ clamp แบบต่าง ๆ ทาง  
ไฟฟ้าแรงสูง

The study of testing High Voltage Connector and Clamp



โดย

นาย ฐากร ปลื้มญาติ

นาย กฤษณ์ กรรขำ

นาย เจนวิทย์ ทิมพ์พา

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62373  
วันเดือนปี 16 ส.ค. 2549

b. 11621813  
i. ....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากระบวนการทดสอบ connector และ clamp แบบต่างๆทางไฟฟ้าแรงสูง  
The study of testing High Voltage Connector and Clamp



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษากระบวนการทดสอบ connector และ clamp แบบต่างๆทาง  
ไฟฟ้าแรงสูง

ผู้จัดทำ

1. นาย จูกร ปลื้มญาติ 46015095

2. นาย กฤษณ์ กรรขำ 46015126

3. นาย เจนวิทย์ พิมพ์พา 46015133



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ นรเศรษฐ พัฒนเดช )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษากระบวนการทดสอบ connector และ clamp แบบต่าง ๆ ทาง ไฟฟ้าแรงสูง

นาย ฐากร	ปลื้มญาติ	
นาย กฤษณ์	กรรขำ	
นาย เจนวิทย์	พิมพ์พา	
รศ. ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.นรเศรษฐ์	พัฒนเดช	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548		

### บทคัดย่อ

ในปฏิญานี้พนธ์เล่มนี้จะนำเสนอการศึกษากระบวนการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบของ connector และ clamp แบบต่าง ๆ ทางไฟฟ้าแรงสูงโดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 และการนำโปรแกรมทางด้านไฟไนท์เอลิเมนต์มาทำการวิเคราะห์ทางด้านความร้อนที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp ขนาด 25-50 และ 70-185 SQ.MM และ Hot Line Clamp ขนาด 25-50 และ 25-185 SQ.MM โดยการทดสอบทางไฟฟ้าจะใช้วิธีการทดสอบแบบ CCT (Current Cycle Test) เพื่อหาอุณหภูมิและความต้านทานที่เกิดขึ้นของ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp และการทดสอบทางกลจะเป็นการทดสอบแบบ Torque Strength Test ผลการวิเคราะห์การกระจายความร้อนด้วยโปรแกรม ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ

ผลจากการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 พบว่าค่าอุณหภูมิ ความต้านทาน และแรงบิดของ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ที่ได้เป็นค่าที่ยอมรับได้ ผลจากการใช้โปรแกรมทางด้าน Finite Element นั้นไม่สามารถที่จะทำนายการกระจายความร้อนของ Hot Line Bail Clamp ได้ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp นั้นเกิดมาจากค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสที่ใช้ขณะทำการทดสอบ และความต้านทานที่เกิดขึ้นจากหน้าสัมผัสของ Hot Line Bail Clamp ที่ประกอบร่วมกับตัวนำนั้นมีค่าไม่แน่นอน

## The study of testing High Voltage Connector and Clamp

Thakorn Pluemyart

Krit Kankham

Janewit Pimpar

Assoc.Prof. Siriwat Potivejkul Advisor

Norasage Pattanadech Advisor

2005

### ABSTRACT

This project presents the study of the tests and analysis of High voltage connector and clamp following ANSI C119.4-1998. Finite element program is also used to analyze the temperature in Hot Line Bail Clamp with sizes of 25-50 and 70-185 sq.mm. and Hot Line Clamp with sizes of 25-50 and 25-185 sq.mm. For electrical test, this project used CCT (Current Cycle Test) to test for temperature and electrical resistance in Hot Line Bail Clamp and Hot Line Clamp. For mechanical test, this project used Torque Strength Test. The heat transfer of Hot Line Bail Clamp obtained from finite element program was compared with the testing results from the experiment.

The testing results following ANSI C119.4-1998 shows that the temperature, resistance, and torque of Hot Line Bail Clamp and Hot Line Clamp were within acceptable ranges. The results from finite element program were unable to predict the heat transfer of Hot Line Bail Clamp because that heat was from the current loss and the resistance from the contact of Hot Line Bail Clamp was uncertain.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และอาจารย์ นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้และคอยแนะนำเกี่ยวกับ โครงสร้างของโครงการ ตลอดจนการดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดีและได้ให้โอกาสในการเรียนรู้และประสบการณ์อันมีค่าในการปฏิบัติงานจริง ทางผู้จัดทำรู้สึกซึ่งใจเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ นายศานิต สมบูรณ์ และรุ่นพี่ปริญญาโททุกท่านที่ให้ความร่วมมือและให้คำปรึกษาต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมห้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

อนึ่งโครงการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความตั้งใจและความมีน้ำใจของทุกท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่คอยให้ความสนับสนุนและส่งเสริมทางด้านปัจจัยต่างๆจนทำให้ปริญญาโทฉบับนี้แล้วเสร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp.....	1
1.2 ลักษณะและส่วนประกอบของ Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp.....	2
1.3 ความสำคัญและที่มา.....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	6
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	7
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 มาตรฐาน ANSI C119.4.....	10
2.1.1 วิธีการทดสอบ.....	10
2.1.2 วิธีการเตรียมอุปกรณ์สำหรับสำหรับทดสอบไซเคิลของกระแส.....	11
2.1.3 กระแสที่ใช้ในการทดสอบ.....	12
2.1.4 ช่วงเวลา ON-OFF แต่ละไซเคิล.....	12
1. ช่วงเวลา ON.....	12
2. ช่วงเวลา OFF.....	12
2.1.5 การวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิ.....	12
2.1.6 การวัดค่าความต้านทาน.....	13
2.1.7 การวัดอุณหภูมิ.....	13
2.1.8 คุณสมบัติของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย.....	13
2.1.9 อุณหภูมิ.....	13
2.1.10 ความต้านทาน.....	14
2.2 ทฤษฎีการคำนวณทางไฟไนท์เอลิเมนต์.....	14
2.3 ทฤษฎีหม้อแปลง.....	23
2.3.1 หม้อแปลงในอุดมคติ.....	23
2.3.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การวัดอุณหภูมิ.....	28
2.4.1 หลักการและแบบของเทอร์โมคัปเปิล.....	28
2.4.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน.....	29
2.4.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K.....	30
บทที่ 3 การทดสอบ.....	33
3.1 การทดสอบหม้อแปลงกระแส 2000 A.....	33
3.1.1 การทดสอบแบบ No Load Test.....	35
1. ทดสอบขดลวดแต่ละขด (50 รอบ 5.2 V/T).....	36
2. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดขนานกันครั้งละ 2 ขด (50 รอบ 5.2 V/T).....	39
3. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดขนานกันทุกขด (50 รอบ 5.2 V/T).....	43
4. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดอนุกรมกันครั้งละ 2 ขด (100 รอบ 2.6 V/T).....	44
5. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดอนุกรมกันครั้งละ 2 ขด (200 รอบ 1.3 V/T).....	48
3.1.2 การทดสอบแบบ On Load Test.....	50
3.2 การทดสอบชุดควบคุมแรงดันกึ่งอัตโนมัติ.....	54
3.2.1 แบบแสดงการทำงานของวงจรควบคุม.....	54
3.2.2 แบบแสดงการทำงานจริง.....	56
3.2.3 วิธีการทดสอบชุดคอนโทรลกับวงจรจำลอง.....	58
3.3 การหาจุดที่มีอุณหภูมิที่สูงที่สุดของ Hot Line Bail Clamp.....	60
3.4 วงจรจำลองการทดสอบ.....	63
3.5 วิธีการทดสอบ Hot line Bail clamp และ Hot line Clamp ตาม มาตรฐาน ANSI C119.4.....	65
3.5.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์.....	65
3.5.2 การทดสอบทางไฟฟ้า.....	68
3.5.3 การทดสอบทางกล.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 ผลการทดสอบ.....	71
3.6.1 การทดสอบ connector กับสายตัวนำขนาด 95 SQ.MM.....	71
1 วัสดุทดสอบ.....	71
2 ผลการทดสอบ.....	73
2.1 ผลของอุณหภูมิ.....	73
2.2 ผลของความต้านทาน.....	81
2.3 ผลของแรงบิด.....	89
3.6.2 การทดสอบ connector กับสายตัวนำขนาด 50 SQ.MM.....	90
1 วัสดุทดสอบ.....	90
2 ผลการทดสอบ.....	92
2.1 ผลของอุณหภูมิ.....	92
2.2 ผลของความต้านทาน.....	100
2.3 ผลของแรงบิด.....	108
3.7 การจำลองวิเคราะห์ค่าการกระจายของความร้อน.....	109
3.8 การวิเคราะห์ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นบน Bail clamp.....	111
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	118
4.1 สรุป.....	118
1.สรุปผลจากการทดสอบหม้อแปลงกระแส.....	118
2.สรุปผลจากการทดสอบชุดควบคุมการทำงานกึ่งอัตโนมัติ.....	118
3.สรุปผลจากการทดสอบหาอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆของ Bail Clamp.....	118
4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะที่พบระหว่างดำเนินงาน.....	119
1.สนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	119
2.พื้นที่ผิวของอุปกรณ์ต่อแยกสาย.....	119
3.การทำความสะอาดผิวตัวนำก่อนประกอบอุปกรณ์ต่อแยกสาย.....	119
4.การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนวัสดุทดสอบ.....	120

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การนำ Hot Line Bail Clamp ไปใช้งาน.....	1
1.2 ลักษณะการต่อ Hot Line Bail Clamp เข้ากับสายตัวนำ.....	2
1.3 ก) Hot Line Clamp : Main 25-50 sq.mm. Tap 25-50 sq.mm.....	2
ข) Hot Line Clamp : Main 25-185 sq.mm. Tap 16-95 sq.mm.....	2
1.4 ลักษณะของ Hot Line Clamp.....	3
1.5 ก) Hot Line Bail Clamp 25-50 sq.mm.....	4
ข) Hot Line Bail Clamp 70-185 sq.mm.....	4
1.6 ลักษณะของ Hot Line Bail Clamp.....	4
1.7 ความร้อนที่เกิดขึ้นของ Bail Clamp และ Hot Line Clamp โดยใช้ กล้อง Thermo scan บันทึกภาพ.....	6
2.1 แผ่นโลหะที่ผลิตความร้อนตัวเอง.....	15
2.2 แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของแผ่นโลหะ.....	15
2.3 ลักษณะการกระจายของผลเฉลยโดยประมาณภายในเอลิเมนต์.....	16
2.4 เอลิเมนต์ที่ 1 กับหมายเลขของจุดต่อทั้งสาม.....	19
2.5 หม้อแปลงในอุดมคติ.....	23
2.6 วงจรสมมูลของค่ากระแสกระตุ้น.....	25
2.7 แบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง.....	26
2.8 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง.....	26
2.9 วงจรการทดลองของซีเบ็ค.....	28
2.10 วงจรการทดลองของเพลเทียร์.....	29
2.11 กราฟความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K.....	30
2.12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด.....	31
3.1 ขดลวดของหม้อแปลง.....	33
3.2 แบบจำลองหม้อแปลงกระแสสูงพร้อมกับการพันขดลวด.....	34
3.3 วงจรการทดสอบแบบ No Load Test.....	35
3.4 การต่อทดสอบขดลวดแต่ละขดลวด.....	36
3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{oc}$ กับ $V_{oc}$ ที่จำนวนขดลวดต่างๆ เท่ากับ 50 รอบ.....	38
3.6 การต่อขนานระหว่างขดลวด 2 ขดลวด.....	39
3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{oc}$ กับ $V_{oc}$ โดยที่ขดลวดขนานกันครั้งละ 2 ขด.....	42
3.8 การต่อขนานขดลวดทุกขดลวด.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{oc}$ กับ $V_{oc}$ โดยที่ขดลวดขนานกันทุกขด.....	44
3.10 การต่ออนุกรมระหว่างขดลวด 2 ขดลวด.....	44
3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{oc}$ กับ $V_{oc}$ โดยที่ขดลวดต่ออนุกรมกัน 2 ขด.....	48
3.12 การต่ออนุกรมทุกขดลวด.....	48
3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{oc}$ กับ $V_{oc}$ โดยที่ขดลวดต่ออนุกรมทุกขดลวด.....	49
3.14 วงจรการทดสอบแบบ On Load Test โดยใช้ตัวนำ.....	50
3.15 การคล้องสายตัวนำเข้ากับต้านหตุยภูมิของหม้อแปลง.....	51
3.16 ชุดควบคุมแรงดัน 0-220 V.....	51
3.17 เครื่อง POWER METER PX120.....	52
3.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{op}$ กับ $I_n$ เพื่อหาค่า Ratio ของหม้อแปลง.....	53
3.19 วงจรควบคุม.....	54
3.20 Flowchart วงจรควบคุมการทำงาน.....	55
3.21 แบบวงจรการทำงานจริง.....	56
3.22 ชุดควบคุมแรงดันกึ่งอัตโนมัติ.....	57
3.23 วงจรการทดลอง.....	58
3.24 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ.....	59
3.25 ก) ข) ตำแหน่งการวางเทอร์โมคัปเปิล ณ จุดต่างๆบน Bail Clamp.....	61
3.26 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp.....	63
3.27 วงจรจำลองการทดสอบเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการทดสอบจริง.....	64
3.28 ก) - ค) การเตรียมวัตถุที่ใช้ในการทดสอบและทำความสะอาด.....	65
3.29 การประกอบ Equalizer กับสายตัวนำ.....	66
3.30 การประกอบวงจรที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์.....	66
3.31 ก) - ค) การขันน็อตของตัว clamp โดยใช้ Torque Wrench.....	66
3.32 วงจรสำเร็จที่ใช้ในการทดสอบ Hot line Bail Clamp และ Hot line Clamp.....	66
3.33 ก) ข) การติดตั้ง Thermocouple.....	67
3.34 การติดตั้ง Thermocouple กับวัตถุทดสอบทั้งวงจร.....	67
3.35 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิกับเวลาใน 1 cycle เมื่ออุณหภูมิขณะทำการทดลอง เป็น 27 °C.....	68
3.36 ก) - ค) การวัดค่าความต้านทาน.....	69
3.37 ก) ข) การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพื่อเลือกค่าแรงบิดตามมาตรฐาน ANSI C119.4...70	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.38 ก) ข) การทดสอบแรงบิดตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998.....	70
3.39 Hot Line Clamp ขนาด 25-185 SQ.MM.....	71
3.40 Hot Line Bail Clamp ขนาด 70-185 SQ.MM.....	71
3.41 Bare stranded aluminum conductors size 95 SQ.MM.....	72
3.42 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/1.....	73
3.43 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/2.....	74
3.44 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/3.....	75
3.45 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/4.....	76
3.46 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/5.....	77
3.47 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/6.....	78
3.48 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/7.....	79
3.49 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/8.....	80
3.50 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/1.....	81
3.51 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/2.....	82
3.52 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/3.....	83
3.53 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/4.....	84
3.54 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/5....	85
3.55 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/6...	86
3.56 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/7...	87
3.57 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/8...	88
3.58 Hot Line Clamp ขนาด 25-50 SQ.MM.....	89
3.59 Hot Line Bail Clamp ขนาด 25-50 SQ.MM.....	90
3.60 Bare stranded aluminum conductors size 50 SQ.MM.....	91
3.61 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/1.....	92
3.62 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/2.....	93
3.63 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/3.....	94
3.64 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/4.....	95
3.65 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/5.....	96
3.66 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/6.....	97
3.67 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/7.....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.68 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/8.....	99
3.69 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/1.....	100
3.70 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/2.....	101
3.71 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/3.....	102
3.72 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/4.....	103
3.73 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM.NO.2/5....	104
3.74 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM.NO.2/6....	105
3.75 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM.NO.2/7....	106
3.76 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM.NO.2/8....	107
3.77 ผลการคำนวณค่าการกระจายความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ.....	109
3.78 ผลของการคำนวณการกระจายความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมFEMLAB..	110
3.79 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และHot Line Clamp ชุดที่ 1.....	112
3.80 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และHot Line Clamp ชุดที่ 2.....	113
3.81 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และHot Line Clamp ชุดที่ 3.....	114
3.82 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และHot Line Clamp ชุดที่ 4.....	115
3.83 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 1.....	116
3.84 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 2.....	116
3.85 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 3.....	117
3.86 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 4.....	117
4.1 การใช้งานจริงของ Hot Line Clampและ Hot Line Bail Clamp จากกล้อง Thermo scan.....	119

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ส่วนประกอบของ Hot Line Clamp.....	3
1.2 ส่วนประกอบของ Hot Line Bail Clamp.....	5
1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	8
2.1 ระยะเวลาการทดสอบ.....	10
2.2 ความยาวของตัวนำสำหรับทดสอบไซเคิลกระแส.....	11
2.3 ความยาวของตัวนำสำหรับทดสอบ (ในหน่วยนิ้ว).....	11
2.4 ช่วงเวลา ON-OFF ในแต่ละไซเคิล.....	12
2.5 คุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน.....	32
2.6 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลโดยไม่ต้องใช้ Protection tubes.....	32
3.1 ค่าพิคัดของหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ.....	33
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการ TAPPING กับแรงดันต่อรอบ Volt/Turn (V/T).....	34
3.3 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T.....	36
3.4 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T.....	37
3.5 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด c จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T.....	37
3.6 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด d จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T.....	38
3.7 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนานกับขดลวด b ที่ 5.2 V/T.....	39
3.8 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนานกับขดลวด c ที่ 5.2 V/T.....	40
3.9 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนานกับขดลวด d ที่ 5.2 V/T.....	40
3.10 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b ขนานกับขดลวด c ที่ 5.2 V/T.....	41
3.11 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b ขนานกับขดลวด d ที่ 5.2 V/T.....	41
3.12 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด c ขนานกับขดลวด d ที่ 5.2 V/T.....	42
3.13 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนานกับ ขดลวด b ขนานกับ ขดลวด c และขดขดลวด d ที่ 5.2 VT.....	43
3.14 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a อนุกรมกับขดลวด b ที่ 2.6 V/T.....	45
3.15 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a อนุกรมกับขดลวด c ที่ 2.6 V/T.....	45
3.16 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a อนุกรมกับขดลวด d ที่ 2.6 V/T.....	46
3.17 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b อนุกรมกับขดลวด c ที่ 2.6 V/T.....	46
3.18 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b อนุกรมกับขดลวด d ที่ 2.6 V/T.....	47
3.19 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด c อนุกรมกับขดลวด d ที่ 2.6 V/T.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.20 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวดทุกขดลวดต่ออนุกรมกันทุกขดลวด ที่ 1.3 V/T.....	49
3.21 ผลการทดลองหม้อแปลงแบบ On Load Test โดยใช้ตัวนำขนาด 50 sq.mm <sup>2</sup> .....	52
3.22 ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ในทุกๆ 5 นาที.....	62
3.23 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/1.....	73
3.24 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/2.....	74
3.25 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/3.....	75
3.26 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/4.....	76
3.27 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/5.....	77
3.28 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/6.....	78
3.29 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/7.....	79
3.30 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/8.....	80
3.31 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/1.....	81
3.32 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/2.....	82
3.33 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/3.....	83
3.34 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/4.....	84
3.35 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/8.....	85
3.36 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/8.....	86
3.37 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/8.....	87
3.38 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/8.....	88
3.39 แรงบิดของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO.1/1-1/4.....	89
3.40 แรงบิดของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/5-1/8.....	89
3.41 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/1.....	92
3.42 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/2.....	93
3.43 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/3.....	94
3.44 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/4.....	95
3.45 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO.2/5.....	96
3.46 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO.2/6.....	97
3.47 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO.2/7.....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.48 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO.2/8.....	99
3.49 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/1.....	100
3.50 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/2.....	101
3.51 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/3.....	102
3.52 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/4.....	103
3.53 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 2/5.....	104
3.54 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 2/6.....	105
3.55 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 2/7.....	106
3.56 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 2/8.....	107
3.57 แรงบิดของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO.2/1-2/4.....	108
3.58 แรงบิดของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO.2/5-2/8.....	108
3.59 ผลการคำนวณค่าการกระจายความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ.....	110
3.60 ตารางบันทึกผลการทดสอบแรงบิด ความต้านทานและอุณหภูมิ.....	111
3.61 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่1.....	112
3.62 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่2.....	113
3.63 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่3.....	114
3.64 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่4.....	115

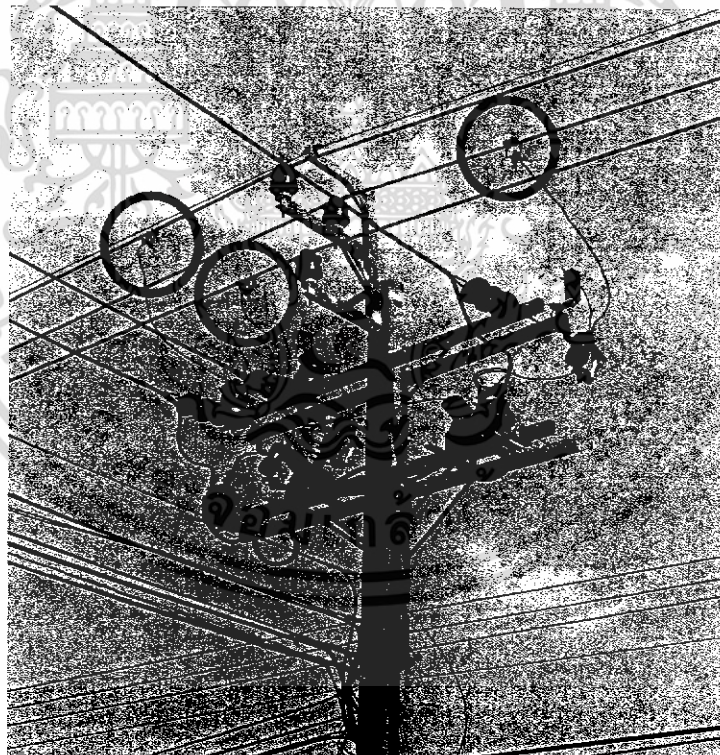
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp

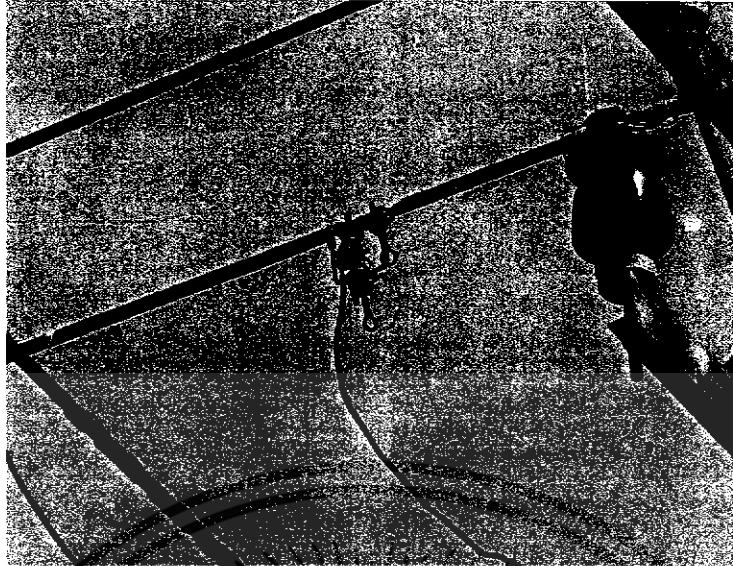
Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp เป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่ใช้ในระบบส่งจ่ายแรงดันสูง มีหน้าที่สำหรับต่อแยกสายออกจากสายเมนหลักเพื่อจ่ายไฟแยกออกไปตามจุดต่างๆที่ต้องการใช้ไฟ

สาเหตุที่ต้องใช้ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการดับไฟในสายเมนเมื่อต้องการที่จะต่อไฟจากสายเมนเข้าสู่หม้อแปลงเพื่อทำการจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟรายย่อย และยังสามารถที่จะยกเลิกการจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟรายย่อยที่ไม่ได้ใช้ไฟ ณ จุดนั้นแล้ว เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ยกเลิกกิจการไปแล้ว จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ไฟ ทางกรไฟฟ้าสามารถยกเลิกการจ่ายไฟโดยการปลดตัว Hot Line Bail Clamp ออกได้โดยที่ไม่ต้องมีการดับไฟที่สายเมน



รูปที่ 1.1 การนำ Hot Line Bail Clamp ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ลักษณะการต่อ Hot Line Bail Clamp เข้ากับสายตัวนำ

## 1.2 ลักษณะและส่วนประกอบของ Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp



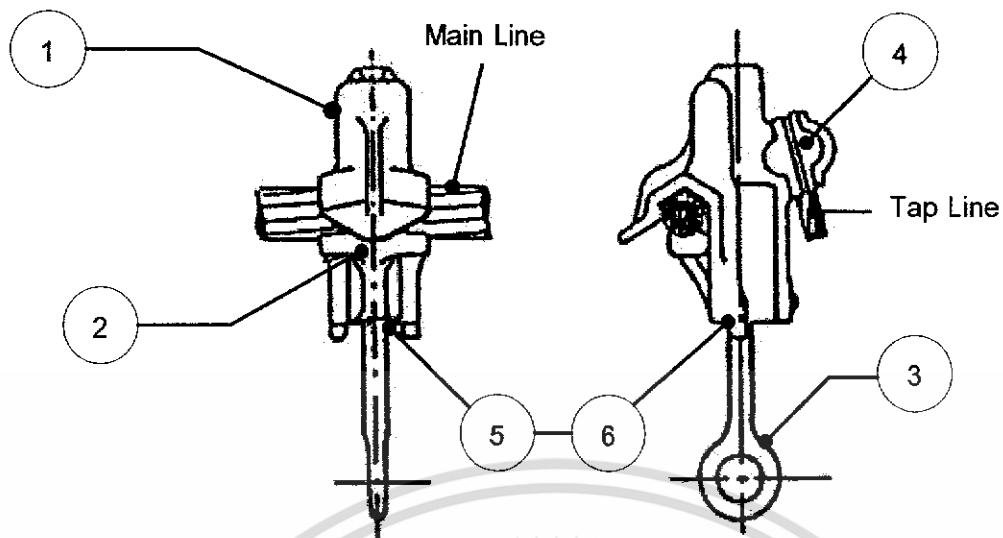
ก)

ข)

รูปที่ 1.3 ก) Hot Line Clamp : Main 25-50 sq.mm. Tap 25-50 sq.mm.

ข) Hot Line Clamp : Main 25-185 sq.mm. Tap 16-95 sq.mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

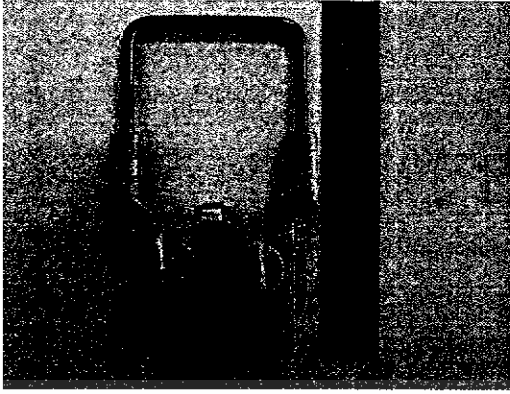


รูปที่ 1.4 ลักษณะของ Hot Line Clamp

ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบของ Hot Line Clamp

รายละเอียด	ชนิดของวัสดุ
1. BODY	ALUMINIUM ALLOY
2. KEEPER	ALUMINIUM ALLOY
3. EYE SCREW	COPPER ALLOY
4. TAP EYE BOLT	PLATED COPPER
5. SPRING	PLATED STEEL
6. SPRING WASHER	STAINLESS STEEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

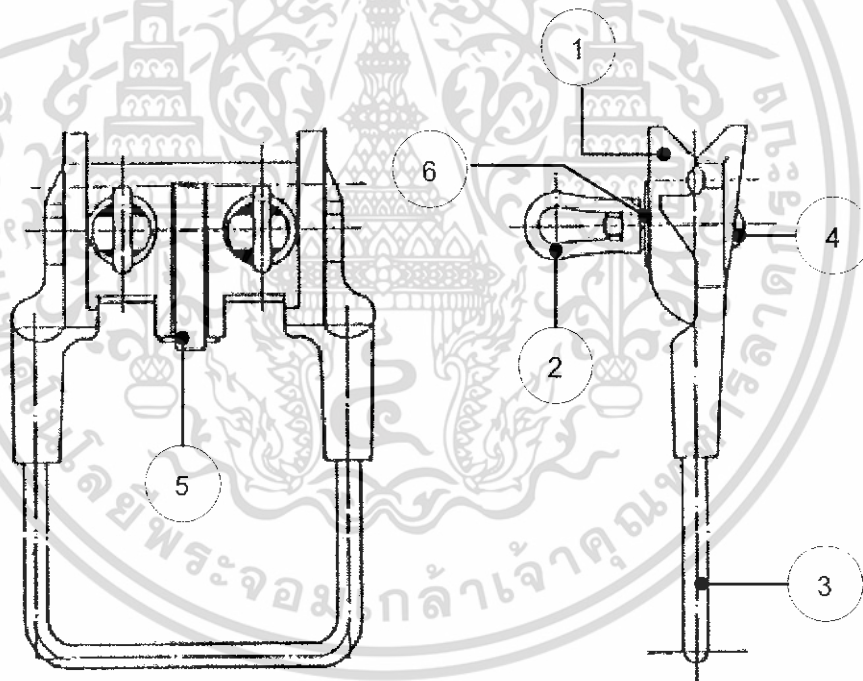


ก)

ข)

รูปที่ 1.5 ก) Hot Line Bail Clamp 25-50 sq.mm.

ข) Hot Line Bail Clamp 70-185 sq.mm.



รูปที่ 1.6 ลักษณะของ Hot Line Bail Clamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 1.2 ส่วนประกอบของ Hot Line Bail Clamp

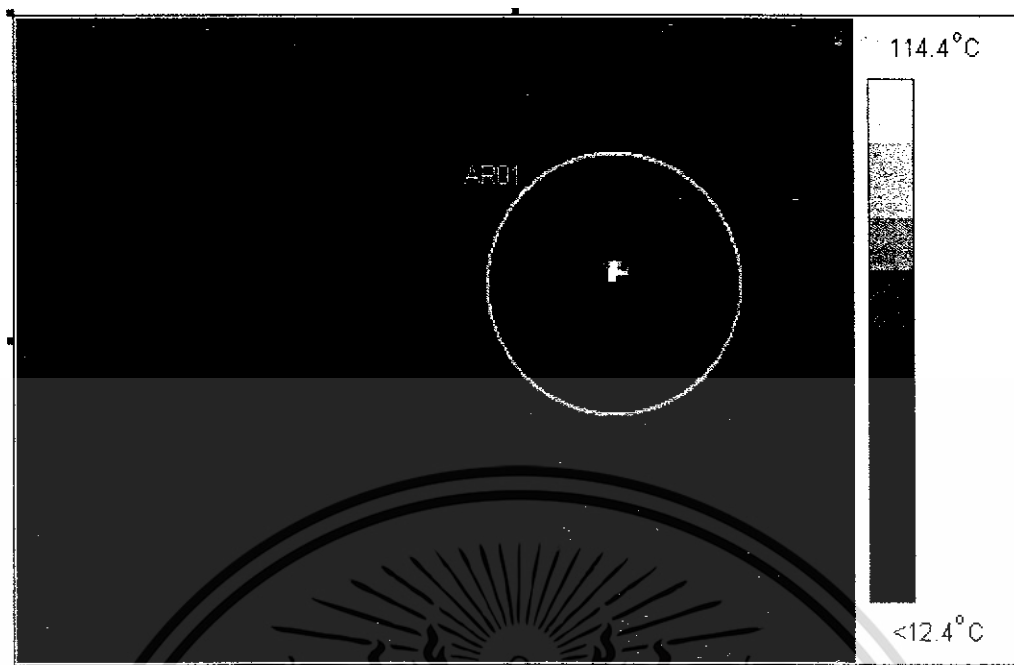
รายละเอียด	ชนิดของวัสดุ
1. BODY	ALUMINIUM ALLOY
2. EYENUTS	ALUMINIUM ALLOY
3. BAIL	PLATED COPPER
4. BOLTS	PLATED STEEL
5. SPRING	PLATED STEEL
6. SPRING WASHER	STAINLESS STEEL

### 1.3 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันมีการใช้งาน connector และ clamp แบบ ต่างๆในระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวงมากมายซึ่งมักจะประสบปัญหา กระแสไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากหลอมละลายหรืออาร์คขาดของ connector และ clamp ก่อให้เกิด ความเสียหายเกิดขึ้นทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้ต่ำ และทำให้เกิด ความเดือดร้อนแก่ผู้ใช้ไฟ

สำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้าแรงสูง (โดยในที่นี้ จะกล่าวถึง Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp) จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยวิธีการทดสอบจะมีอยู่หลายวิธีตามแต่ละมาตรฐาน ปริณญาณิพนธ์นี้นำเสนอการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 [1] เป็นการทดสอบ โดยวิธีการจ่ายกระแสสูง ( Current Cycle Test: CCT)

การทดสอบที่นำเสนอจะเป็นการศึกษาถึงผลของความร้อนและแรงกระทำทาง กลที่กระทำกับ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp โดยใช้โปรแกรมทดสอบไฟไนท์เอ ลีเมนต์ (Finite Element) และนำผลไปทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงว่า สอดคล้องกันหรือไม่เพื่อประโยชน์ในการทำนายผลก่อนการเกิดการอาร์คขาดชำรุดได้ของ clamp



Label	Value
AR01 : max	126.4 °C

รูปที่ 1.7 ความร้อนที่เกิดขึ้นของ Bail Clamp และ Hot Line Clamp โดยใช้กล้อง Thermo scan บันทึกภาพ

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเป็นการศึกษาการทดสอบ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 ในหัวข้อการทดสอบอุณหภูมิ โดยวิธีการจ่ายกระแส การทดสอบความต้านทาน และการทดสอบทางกล
2. ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง โดยการจัดทำคู่มือการทดสอบ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ขึ้นมา โดยอาศัยความรู้และทฤษฎีที่ได้ศึกษามา

#### 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

โครงการนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีและกระบวนการทดสอบ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 ก่อนที่จะนำไปใช้งานในระบบจำหน่าย เพื่อป้องกันไม่ให้เป็นสาเหตุของการเกิดความผิดปกติขึ้น ซึ่งในกระบวนการทดสอบ จะทำการทดสอบทั้งทางด้านไฟฟ้าและทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษามาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ Hot Line Bail Clamp งานวิจัยต่างๆและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรวมทั้งศึกษาการใช้โปรแกรม Finite element เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของความร้อนบนตัว Hot Line Bail Clamp
2. จัดเตรียมอุปกรณ์การทดสอบและทำการทดสอบกับวงจรจำลองเพื่อศึกษาถึงปัญหาต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นพร้อมทั้งแก้ไข้ปัญหา
- 3.ทำการทดสอบ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998(1991) พร้อมทั้งเก็บข้อมูลการทดสอบ
4. นำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมและผลที่ได้จากการทดสอบจริงมาเปรียบเทียบกันเพื่อที่จะสรุปและประเมินผลการทดสอบ
5. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	พ.ศ. 2548							พ.ศ. 2549		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษางานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง	■	■	■							
2. ศึกษามาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ	■	■	■							
3. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	■	■	■	■						
4. ศึกษาการใช้โปรแกรม Finite Element			■	■	■	■	■	■	■	■
5. จัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ			■	■	■					
6. ทดลองวงจรการทดสอบเพื่อศึกษาถึงปัญหาต่างๆที่อาจเกิดขึ้นพร้อมทั้งแก้ไข้ปัญหา				■	■					
7. จัดทำรายงานวิชาโครงงาน 1				■	■					
8. ทำการทดสอบวัสดุทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 พร้อมทั้งเก็บข้อมูลการทดสอบ						■	■	■	■	■
9 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบจริงและโปรแกรมมาเปรียบเทียบกัน									■	■
10. สรุปและประเมินผลการทดสอบ									■	■
11. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์									■	■
	ขั้นตอนที่ได้วางแผนแล้ว							ขั้นตอนที่ปฏิบัติงานจริง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงวิธีการติดตั้งและใช้งาน Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp กับระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้า
2. สามารถใช้ทฤษฎีและโปรแกรม Finite Element คำนวณลักษณะการกระจายทางความร้อนที่เกิดขึ้นกับ Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp
3. ศึกษาการทดสอบ Hot Line Clamp และ Bail Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998
4. สามารถวิเคราะห์และบอกถึงสาเหตุการชำรุดของ Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp ได้
5. นักศึกษาเรียนรู้ถึงการทำงานเป็นทีม
6. เกิดความร่วมมือทางด้านวิชาการระหว่างสถาบันและภาคอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 มาตรฐาน ANSI C119.4-1998

มาตรฐาน ANSI C119.4-1998 “Connectors for Use Between Aluminum-to-Aluminum or Aluminum-to-Copper Bare Overhead Conductors” เป็นมาตรฐานสำหรับทดสอบอุปกรณ์ต่อแยกสายที่เชื่อมต่อระหว่างตัวนำอลูมิเนียม-อะลูมิเนียม หรือ อะลูมิเนียม-ทองแดง เพื่อให้ผู้ใช้มีความเชื่อถือ อุปกรณ์ต่อสายที่ผ่านการทดสอบแล้วได้ในระดับหนึ่ง (หากอุปกรณ์ต่อแยกสายถูกติดตั้งอย่างเหมาะสมตามที่ผู้ผลิตกำหนด)

#### 2.1.1 วิธีการทดสอบ

มาตรฐานได้แบ่งการทดสอบไว้เป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบทางไฟฟ้าและการทดสอบทางกล โดยในส่วนของทดสอบทางกลนั้นอาจประกอบไปด้วย การวัดความแข็งแรงของอุปกรณ์ต่อแยกสาย (Tensile strength) ความสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Reusability) เป็นต้น อย่างไรก็ตามขอบเขตของโครงการนี้จะเน้นศึกษาในส่วนของทดสอบทางไฟฟ้า (Current Cycle Tests) และการทดสอบแรงบิด (Torque strength test) เท่านั้น

วิธีการทดสอบทางไฟฟ้าจะใช้ การทดสอบวัฏจักรกระแส (Current cycle tests) ที่สามารถแบ่งตามขั้นตอนการทดสอบได้อีก 2 ประเภทคือ วิธีธรรมดา (Current Cycle Test (CCT)) กับวิธีเร่งโดยการจุ่มน้ำเย็น (Current Cycle Submersion Test (CCST)) แต่ในการทดสอบนี้เลือกทำการทดสอบโดยใช้วิธีธรรมดา จึงจะนำเสนอแต่เพียงในส่วนของวิธีการทดสอบแบบวิธีธรรมดาเท่านั้น

ช่วงเวลาในการทดสอบวัฏจักรกระแสจะขึ้นกับเงื่อนไขที่จะนำอุปกรณ์ต่อแยกสายไปใช้งาน และขึ้นอยู่กับระดับกระแสของ Connector และการเลือกวิธีการทดสอบ Current Cycle Test (CCT) หรือ Current Cycle Submersion Test (CCST) โดยมาตรฐานได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาการทดสอบ

Connector Class	Number of Test Cycle for:	
	CCT Method	CCST Method
Extra heavy duty (Class AA)	500	NA
Heavy duty (Class A)	500	100
Medium duty (Class B)	250	75
Light duty (Class C)	125	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 วิธีการเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบไซเคิลของกระแส

มาตรฐานไม่ได้ระบุวิธีการการติดตั้งว่าต้องการมีลักษณะใด เพราะการติดตั้งอุปกรณ์ต่อแยกสายควรจะปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ผลิต และควรติดตั้งในสภาวะอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient) อยู่ในช่วง 15-35 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในการทดสอบจะต้องแสดงรายละเอียดไว้ในรายการผลการทดสอบ

ตัวนำที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ตัวนำอลูมิเนียมเนียมตามขนาดที่การไฟฟ้าใช้งาน (ไม่เกิน 3 ขนาด) จะต้องมีความสะอาดบริเวณที่จะสัมผัสกับอุปกรณ์ต่อแยกสายด้วยแปรงลวด (Wire brush) เพื่อขจัดออกไซด์ฟิล์มและสิ่งเปราะเปื้อนต่าง ๆ ออกให้หมด ความยาวของตัวนำที่ใช้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่งจะขึ้นกับขนาดของตัวนำ

อุปกรณ์ต่อแยกสายทั้งหมดที่จะนำมาทดสอบควรจะมีค่าพิกัดกระแสใกล้เคียงกัน นำมาต่ออนุกรมกันในกรณีที่ใช้ ตัวนำแบบตีเกลียว (Stranded conductor) จะต้องใช้อิควอลไลเซอร์ (Equalizers) เพื่อใช้ในการวัดค่าความต้านทาน นอกจากนั้นยังต้องมี ตัวนำควบคุม (Control conductor) ในวงจรทดสอบ เพื่อใช้เป็นตัวนำอ้างอิง สำหรับวัดค่ากระแสที่ไหลในวงจรทดสอบ และควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ

ตารางที่ 2.2 ความยาวของตัวนำสำหรับทดสอบ

Composite aluminum composite	Copper or copper composite	Exposed Length			
		Stranded		Solid	
		in	Cm <sup>*</sup>	in	Cm <sup>*</sup>
≤ 4/0 AWG	≤ 2/0 AWG	12	30.5	24	61.0
4/0 AWG ถึง 795 kcmil	2/0 AWG ถึง 500 kcmil	24	61.0	48	121.9
≥ 795 kcmil	≥ 500 kcmil	36	91.4	72	182.9

ตารางที่ 2.3 ความยาวของตัวนำสำหรับทดสอบ (ในหน่วยนิ้ว)

Composite aluminum Composite (mm <sup>2</sup> )	Copper or copper composite (mm <sup>2</sup> )	Exposed Length			
		Stranded		Solid	
		in	Cm <sup>*</sup>	in	Cm <sup>*</sup>
≤ 21.73	≤ 2/0	12	30.5	24	61.0
21.73 ถึง 402.83	34.65 ถึง 253.35	24	61.0	48	121.9
≥ 402.83	≥ 253.35	36	91.4	72	182.9

\*ค่าต่าง ๆ ถูกเทียบมาจากหน่วย นิ้ว (inch)

\*A = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ

### 2.1.3 กระแสที่ใช้ในการทดสอบ

กระแสที่จ่ายให้วงจรทดสอบจะต้องถูกปรับภายในช่วง ON ของ 25 ไซเคิลแรก เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ตัวนำควบคุมอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady-state temperature) สูงกว่า อุณหภูมิบรรยากาศ 100-105 องศาเซลเซียส สำหรับประเภท A,B,C และประเภท AA [1] จะต้องสูงกว่า 175-180 องศาเซลเซียส ในการทดสอบแต่ละไซเคิลจะต้องมีช่วงจ่ายกระแสสลับ ป้อนให้วงจรทดสอบเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้คอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย ซึ่งจะเรียกว่า ช่วง ON และ ช่วงหยุดจ่ายกระแสจะเรียกว่า ช่วง OFF (ในช่วงเวลา OFF นี้จะเป็นช่วงที่ทำการวัดค่าความต้านทาน โดยจะทำการจ่ายไฟกระแสตรงไม่เกิน 12 A)

### 2.1.4 ช่วงเวลา ON-OFF แต่ละไซเคิล

#### 1. ช่วงเวลา ON

ช่วงเวลา ON เป็นไปตามตารางที่ 2.4 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวนำควบคุม ในกรณีที่ตัวนำควบคุมมีขนาดโตกว่าค่าในตาราง ให้พิจารณา เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ต่อแยกสาย โดยเสถียรภาพทางความร้อนนิยามไว้ว่า "อุณหภูมิจะต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส จากการอ่านค่า 2 ครั้งใน 3 ครั้ง ภายใน ช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 10 นาที"

#### 2. ช่วงเวลา OFF

คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ผ่านช่วง ON มาแล้ว จะถูกทิ้งให้เย็นตัวลงใน บรรยากาศด้วยระยะเวลาเดียวกับกับช่วง ON

### 2.1.5 การวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิ

ค่าความต้านทานและ อุณหภูมิจะกระทำตามไซเคิลที่กำหนด คือ ไซเคิลที่ 25,50,75,100,125,165,205,250,325,405 และไซเคิลที่ 500 โดยบวกลบได้ไม่เกิน 5 ไซเคิล

#### ตารางที่ 2.4 ช่วงเวลา ON-OFF ในแต่ละไซเคิล

Aluminum or Aluminum Composite (kcmil)	Copper or Copper Composite	Current ON Period (Hour)
≤ 336.4	≤ 4/0 AWG	1.0
336.4 ถึง 795	4/0 AWG ถึง 500 kcmil	1.5
795 ถึง 1590	500 kcmil ถึง 1000 kcmil	2.0

### 2.1.6 การวัดค่าความต้านทาน

จะทำการวัดค่าความต้านทานโดยจะทำการวัดตอนสิ้นสุดช่วง OFF โดยป้อนไฟกระแสตรงไม่เกิน 12 A แล้ววัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมอิควอไรเซอร์ (ถ้าเป็นตัวนำดีเกลียว) จะได้ค่าความต้านทานจากสูตร  $V/I$  ค่าความต้านทานที่ได้ควรเปรียบเทียบให้อยู่ที่อุณหภูมิเดียวกัน เพื่อให้ค่าที่วัดได้ทั้งหมดเปรียบเทียบกันได้ เช่น ที่ 20 องศาเซลเซียส อาจคำนวณได้จากสูตร

หมายเหตุ ค่าความต้านทานที่ถูกต้องที่  $20^{\circ}\text{C}$  จะหาได้จากสูตร

$$R_{20} = R_m / [1 + \alpha(T_m - 20)] \quad (2.1)$$

เมื่อ  $R_m$  คือ ค่าความต้านทานที่วัดได้  
 $T_m$  คือ อุณหภูมิของ Connector ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ความเปลี่ยนแปลงของความต้านทานกับอุณหภูมิ

หาได้จาก  $\alpha = 4 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$  สำหรับทองแดง  
 $\alpha = 3.6 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$  สำหรับอลูมิเนียม

### 2.1.7 การวัดอุณหภูมิ

ควรวัดทันทีเมื่อสิ้นสุดช่วง ON และควรใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ในการวัดอุณหภูมิ

### 2.1.8 คุณสมบัติของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย

- ค่าความต้านทาน ที่วัดได้จะต้องมีเสถียรภาพ โดยจะถือว่ามีเสถียรภาพ โดยจะถือว่ามีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อความต้านทานที่วัดได้รวมถึงค่าความผิดพลาด (Error) มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 5\%$  จากค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ในช่วงเวลาทั้งหมด

- อุณหภูมิของคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย ต้องไม่เกินอุณหภูมิของตัวนำ
- ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวนำควบคุมกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย

จะต้องมีเสถียรภาพ โดยจะถือว่ามีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสอง รวมถึงค่าความผิดพลาด (Error) มีค่าไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส จากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้ในช่วงเวลาทั้งหมด

### 2.1.9 อุณหภูมิ

เนื่องจากอุณหภูมิเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความร้อนที่เกิดขึ้นบนคอนเนคเตอร์ต่อแยกสาย ถ้าคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายเกิดความร้อนสูงขึ้นจะทำให้คอนเนคเตอร์ต่อแยกสายเสียคุณสมบัติทางกลไป เช่น แรงกดบนสายไฟลดลง เป็นต้น อันจะส่งผลให้ความต้านทานของผิวหน้าสัมผัสเพิ่มขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.10 ความต้านทาน

เนื่องจากค่าความต้านทานเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานบนตัวคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายไปอยู่ในรูปของความร้อน เมื่อเกิดความร้อนขึ้นอุณหภูมิบนตัวคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายก็จะสูงขึ้นด้วย

## 2.2 ทฤษฎีการคำนวณปัญหาความร้อนด้วยการใช้โปรแกรม Finite Element

การทดสอบทางไฟฟ้าของ Hot Line Bail Clamp ค่าความร้อนที่ไม่มีเสถียรภาพและที่มีค่าสูงเกินเกิดขึ้นกับวัตถุทดสอบนั้น เป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้ Hot Line Bail Clamp เกิดการชำรุดได้ซึ่งอาจจะสามารถคำนวณได้จากการใช้โปรแกรมทางไฟไนท์เอลิเมนต์

ดังนั้นจึงได้นำวิธีการคำนวณไฟไนท์เอลิเมนต์มาช่วยในการคำนวณวิเคราะห์การกระจายความร้อนของวัตถุทดสอบ

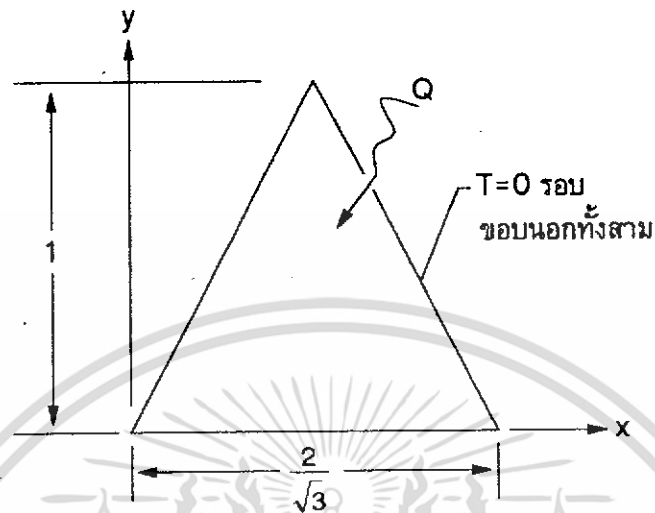
### ตัวอย่างการแก้ปัญหาการกระจายความร้อนแบบสองมิติทาง Finite Element [7]

ตัวอย่าง 2.2.1 สมการ Finite Element ที่สร้างขึ้นมาโดยวิธีการแปรผัน สามารถใช้แก้ปัญหาที่สอดคล้องกันได้ดังตัวอย่าง

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

$$[K]^{(e)} \{T\}^{(e)} = \{F\}^{(e)} \quad (2.2)$$

ตัวอย่าง 2.2.2 แผ่นโลหะรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ  $k$  สามารถผลิตความร้อนได้เอง (internal heat generation) มีค่าเท่ากับ  $Q$  และมีอุณหภูมิรอบขอบนอกเท่ากับศูนย์ แสดงดังรูปที่ 2.1

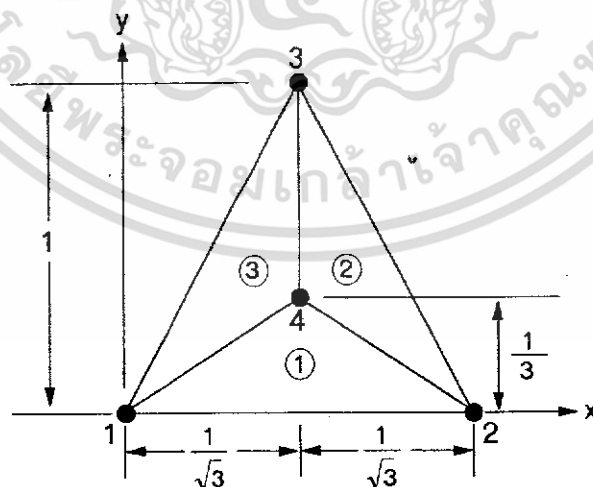


รูปที่ 2.1 แผ่นโลหะที่ผลิตความร้อนได้เอง

หากแผ่นโลหะนี้เกิดการกระจายของอุณหภูมิในสถานะอยู่ตัว ให้ใช้เอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมจำนวน 3 เอลิเมนต์เพื่อหาอุณหภูมิที่จุดกลางแผ่นโลหะ

วิธีทำ แก้ปัญหานี้โดยทำตามลำดับขั้นตอนของวิธีการแปรผัน

**ขั้นที่ 1** ทำการแบ่งขอบเขตเนื้อที่ของปัญหาดังรูปที่ 2.1 ออกเป็นเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมทั้ง 3 เอลิเมนต์แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นที่ 2** ทำการเลือกลักษณะฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ ซึ่งสมการดังกล่าวก่อให้เกิดลักษณะการกระจายของอุณหภูมิบนเอลิเมนต์

$$T_{(x,y)} = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

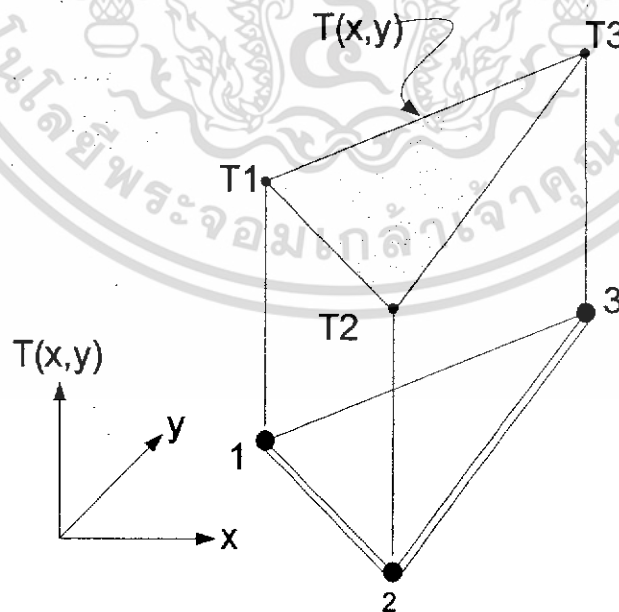
**ขั้นที่ 3** ทำการหาฟังก์ชันแปรผัน  $J$  ของปัญหานี้ เนื่องจากสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเชิงเส้นของปัญหานี้ คือ

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = -\frac{Q}{k} \quad (2.4)$$

โดยที่  $T = T_{(x,y)}$  แทนการกระจายของอุณหภูมิสมการดังกล่าวสอดคล้องกับฟังก์ชันแปรผัน  $J$  ที่อยู่ในรูป

$$J(T) = \int \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 - \frac{Q}{k} T \right] dx dy \quad (2.5)$$

หากเราใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมซึ่งมี 3 จุดต่อ โดยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อคือ  $T_1, T_2, T_3$  ดังแสดงดังรูปที่ 2.3 เราจะได้สมการเอลิเมนต์ทั้งหมด 3 สมการจากการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันแปรผัน  $J$  ที่เกี่ยวข้องกับตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อทั้งสามจุด



รูปที่ 2.3 ลักษณะการกระจายของผลเฉลยโดยประมาณภายในเอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราเริ่มทำการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันแปรผัน  $J$  ที่เกี่ยวข้องกับ  $T_1$  จะได้

$$\frac{\partial J(T)}{\partial T_1} = \int \left[ \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial}{\partial T_1} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial}{\partial T_1} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{\partial T}{\partial T_1} \frac{Q}{k} \right] dx dy \quad (2.6)$$

เนื่องจาก

$$T_{(x,y)} = N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial N_1}{\partial x} T_1 + \frac{\partial N_2}{\partial x} T_2 + \frac{\partial N_3}{\partial x} T_3$$

และ

$$\frac{\partial}{\partial T_1} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial N_1}{\partial x}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial N_1}{\partial y} T_1 + \frac{\partial N_2}{\partial y} T_2 + \frac{\partial N_3}{\partial y} T_3$$

$$\frac{\partial}{\partial T_1} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial N_1}{\partial y}$$

และ

$$\frac{\partial T}{\partial T_1} = N_1$$

#### ขั้นที่ 4

สร้างฟังก์ชันแปรผันนี้สำหรับแต่ละเอลิเมนต์ ซึ่งสามารถทำได้โดยแทนสมการการประมาณภายในเอลิเมนต์ลงในสมการของฟังก์ชันแปรผัน และจะได้ฟังก์ชันแปรผัน  $J$  ที่อยู่ในรูปของอุณหภูมิ  $T_1, T_2, T_3$  ที่จุดต่อทั้งสามจุด

$$\frac{\partial J(T)}{\partial T_1} = \int \left\{ \left( \frac{\partial N_1}{\partial x} T_1 + \frac{\partial N_2}{\partial x} T_2 + \frac{\partial N_3}{\partial x} T_3 \right) \frac{\partial N_1}{\partial x} + \left( \frac{\partial N_1}{\partial y} T_1 + \frac{\partial N_2}{\partial y} T_2 + \frac{\partial N_3}{\partial y} T_3 \right) \frac{\partial N_1}{\partial y} - \frac{Q}{k} N_1 \right\} dx dy$$

$$\frac{Q}{k} \int_A N_1 dx dy = \int_A \left[ \frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_1}{\partial y} \right] dx dy T_1 + \int_A \left[ \frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_2}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_2}{\partial y} \right] dx dy T_2$$

$$+ \int_A \left[ \frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_3}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_3}{\partial y} \right] dx dy T_3 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นที่ 5** ทำการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันแปรผัน  $J$  โคนเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่จุดต่อ  $T_1, T_2, T_3$  ซึ่งจะก่อให้เกิดระบบสมการเอลิเมนต์ที่ประกอบด้วย 3 สมการ

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

$$[K]^{(e)} \{T\}^{(e)} = \{F\}^{(e)}$$

โดย

$$K_{11} = \int_A \left[ \frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_1}{\partial y} \right] dx dy \quad (2.8)$$

$$F_1 = \frac{Q}{k} \int_A N_1 dx dy \quad (2.9)$$

สมการฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่เราได้สร้างมาแล้วคือ

$$N_1 = \frac{1}{2A} (a_1 + b_1 x + c_1 y) \quad (2.10)$$

ดังนั้น  $\frac{\partial N_1}{\partial x} = \frac{b_1}{2A}$  และ  $\frac{\partial N_1}{\partial y} = \frac{c_1}{2A}$  แทนกลับลงในสมการ จะได้

$$K_{11} = \int_A \left[ \frac{b_1 b_1}{4A^2} + \frac{c_1 c_1}{4A^2} \right] dx dy$$

$$K_{11} = \frac{b_1 b_1 + c_1 c_1}{4A^2} \int_A dx dy \quad ; \quad K_{11} = \frac{b_1 b_1 + c_1 c_1}{4A} \quad (2.11)$$

ทำนองเดียวกัน

$$K_{12} = \int_A \left[ \frac{b_1 b_2}{4A^2} + \frac{c_1 c_2}{4A^2} \right] dx dy$$

$$K_{12} = \frac{b_1 b_2 + c_1 c_2}{4A^2} \int_A dx dy \quad ; \quad K_{12} = \frac{b_1 b_2 + c_1 c_2}{4A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$K_{13} = \int_A \left[ \frac{b_1 b_3}{4A^2} + \frac{c_1 c_3}{4A^2} \right] dx dy$$

$$K_{13} = \frac{b_1 b_3 + c_1 c_3}{4A^2} \int_A dx dy \quad ; \quad K_{13} = \frac{b_1 b_3 + c_1 c_3}{4A}$$

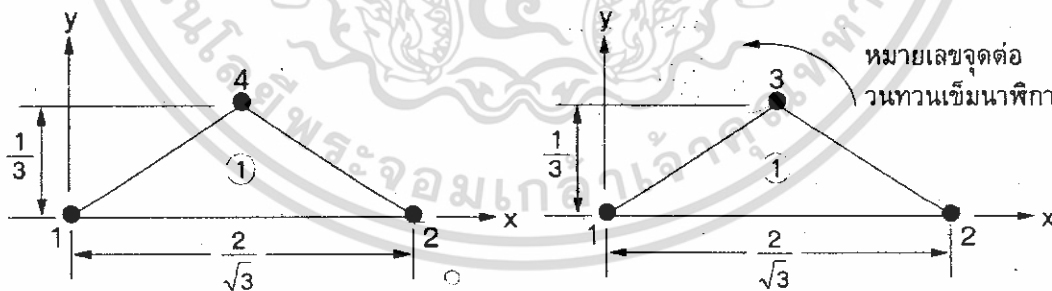
ในทำนองเดียวกัน ค่า  $\frac{Q}{k}$  ในสมการเป็นค่าคงที่ที่เราจะได้

$$F_1 = \frac{Q}{k} \int_A N_1 dx dy$$

$$F_1 = \frac{Q}{k} \int_A \frac{1}{2A} (a_1 + b_1 x + c_1 y) dx dy$$

$$F_1 = \frac{QA}{k3} \tag{2.12}$$

และจากนี้เราสามารถหาสมการ Finite Element ของทุกเอลิเมนต์ในรูป 2.4 ข) ได้ หากเราพิจารณาเอลิเมนต์ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยจุดต่อหมายเลข 1,2,4 เราสามารถใช้สมการ ซึ่งใช้หมายเลขจุดต่อมาตรฐาน 1,2,4 มาสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของเอลิเมนต์นี้ได้ การพิจารณาจากรูปที่ 2.4



ก) หมายเลขจุดต่อจริง

ข) หมายเลขจุดต่อในสมการ(2.12)

รูปที่ 2.4 เอลิเมนต์ที่ 1 กับหมายเลขของจุดต่อทั้งสาม

จากสมการที่ (2.10)

$$N_i(x,y) = \frac{1}{2A} (a_i + b_i x + c_i y)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $A =$  พื้นที่ของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

$$A = \frac{1}{2} [x_2(y_3 - y_1) + x_1(y_2 - y_3) + x_3(y_1 - y_2)] \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= x_2 y_3 - x_3 y_2 & b_1 &= y_2 - y_3 & c_1 &= x_3 - x_2 \\ a_2 &= x_3 y_1 - x_1 y_3 & b_2 &= y_3 - y_1 & c_2 &= x_1 - x_3 \\ a_3 &= x_1 y_2 - x_2 y_1 & b_3 &= y_1 - y_2 & c_3 &= x_2 - x_1 \end{aligned} \quad (2.14)$$

จากตำแหน่งของจุดต่อทั้งสามและสมการ (2.14)

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= 0 & b_1 &= -\frac{1}{3} & c_1 &= -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ x_2 &= \frac{2}{\sqrt{3}} & y_2 &= 0 & b_2 &= \frac{1}{3} & c_2 &= -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ x_3 &= \frac{1}{\sqrt{3}} & y_3 &= \frac{1}{3} & b_3 &= 0 & c_3 &= \frac{2}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

และพื้นที่สามเหลี่ยม  $A = 1/3\sqrt{3}$  จากนั้นจึงใช้สมการ 2.11 คำนวณเอลิเมนต์เมตริกซ์ เมื่อ  $i=2$   $j=3$  เราจะได้สัมประสิทธิ์

$$k_{23} = \frac{b_2 b_3 + c_2 c_3}{4A} = \frac{\left(\frac{1}{3}\right)(0) + \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)}{4\left(\frac{1}{3\sqrt{3}}\right)} = -\frac{3}{2\sqrt{3}}$$

เป็นต้น และท้ายสุด เมตริกซ์ต่างๆของเอลิเมนต์ที่ 1 นี้คือ

$$[K]_{\text{ele1}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2 & 1 & -3 \\ 1 & 2 & -3 \\ -3 & -3 & 6 \end{bmatrix}$$

และ

$$\{F\}_{\text{ele1}} = \frac{1}{9\sqrt{3}} \frac{Q}{k} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สมการไฟฟ้ายอดของเอลิเมนต์ที่ 1 นี้ คือ

$$\frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2 & 1 & -3 \\ 1 & 2 & -3 \\ -3 & -3 & 6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{9\sqrt{3}} \begin{matrix} Q \\ k \\ 1 \end{matrix} \quad (2.15)$$

ทำนองเดียวกัน สมการไฟฟ้ายอดของเอลิเมนต์ที่ 2 คือ

$$\frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2 & 1 & -3 \\ 1 & 2 & -3 \\ -3 & -3 & 6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{9\sqrt{3}} \begin{matrix} Q \\ k \\ 1 \end{matrix} \quad (2.16)$$

และสมการไฟฟ้ายอดของเอลิเมนต์ที่ 3 คือ

$$\frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2 & 1 & -3 \\ 1 & 2 & -3 \\ -3 & -3 & 6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{9\sqrt{3}} \begin{matrix} Q \\ k \\ 1 \end{matrix} \quad (2.17)$$

**ขั้นที่ 6** ทำการรวมสมการ (2.15-2.17) จากทั้งสามเอลิเมนต์เข้าด้วยกันก่อให้เกิดสมการระบบรวม ดังนี้

$$\frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 2+2 & 1 & 1 & -3-3 \\ 1 & 2+2 & 1 & -3-3 \\ 1 & 1 & 2+2 & -3-3 \\ -3-3 & -3-3 & -3-3 & 6+6+6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{9\sqrt{3}} \begin{matrix} Q \\ k \\ 1 \\ 1+1+1 \end{matrix} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูป ที่ 2.4 ก และ ข เราจะพบว่า

จุดต่อ	ค่าอุณหภูมิ	ความร้อนจากภายนอก
1	$T_1 = 0$	$Q_1$
2	$T_2 = 0$	$Q_2$
3	$T_3 = 0$	$Q_3$
4	$T_4 = ?$	0

โดย  $Q_1, Q_2, Q_3$  เป็นปริมาณความร้อนที่ไหลออกจากจุดต่อ 1,2,3 ตามลำดับอันเนื่องมาจากแผ่นโลหะผลิตความร้อนได้เอง ดังนั้นสมการ 2.18 จะกลายมาเป็น

$$\frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 4 & 1 & 1 & -6 \\ 1 & 4 & 1 & -6 \\ 1 & 1 & 4 & -6 \\ -6 & -6 & -6 & 18 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ T_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{9\sqrt{3}k} \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

จากนั้นเราสามารถใส่สมการสุดท้ายของระบบสมการ 2.19 หาอุณหภูมิ  $T_4$  ที่อยู่ตำแหน่งกลางแผ่นโลหะได้

$$\frac{1}{2\sqrt{3}} (0 + 0 + 0 + 18T_4) = \frac{1}{9\sqrt{3}k} Q \quad (3)$$

$$T_4 = \frac{1}{27} \frac{Q}{k}$$

และจากนั้นใช้สามสมการแรกของระบบสมการรวม 2.19 หาปริมาณความร้อนที่ไหลออกจากจุดต่อ 1,2,3 ของแผ่นโลหะนี้ได้

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = -\frac{6}{2\sqrt{3}} T_4 - \frac{2}{9\sqrt{3}k} Q$$

$$= -\frac{1}{3\sqrt{3}k} Q$$

อนึ่ง ปัญหาตัวอย่างนี้ได้ถูกแก้อีกครั้งเพื่อหาลักษณะการกระจายอุณหภูมิตามแผ่นโลหะโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์คอมพิวเตอร์โปรแกรม โดยใช้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 3 เอลิเมนต์เหมือนกับดังที่แสดงไว้ในตัวอย่างนี้

## 2.3 ทฤษฎีหม้อแปลง

### 2.3.1 หม้อแปลงในอุดมคติ (Ideal Transformer)[4]

ในการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นต้องพยายามทำให้มีค่าสูญเสียรวมทั้งหมดน้อยที่สุด(ประสิทธิภาพสูงสุด) ทั้งนี้เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังในทางปฏิบัติแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆ จะมีค่าสูญเสียในแกนเหล็กและขดลวดน้อย ดังนั้นจะกำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นอุดมคติ (ideal transformer) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. ค่าความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าน้อยมากสามารถตัดไม่นำมาคิด (ไม่เกิดค่าความสูญเสียจากลวดทองแดง)

2. เส้นแรงแม่เหล็กจะเรียงตัวอยู่ในแกนแม่เหล็กและคล้องขดลวดทั้ง 2 ขดเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กรั่ว (Leakage Flux)

3. ความสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด

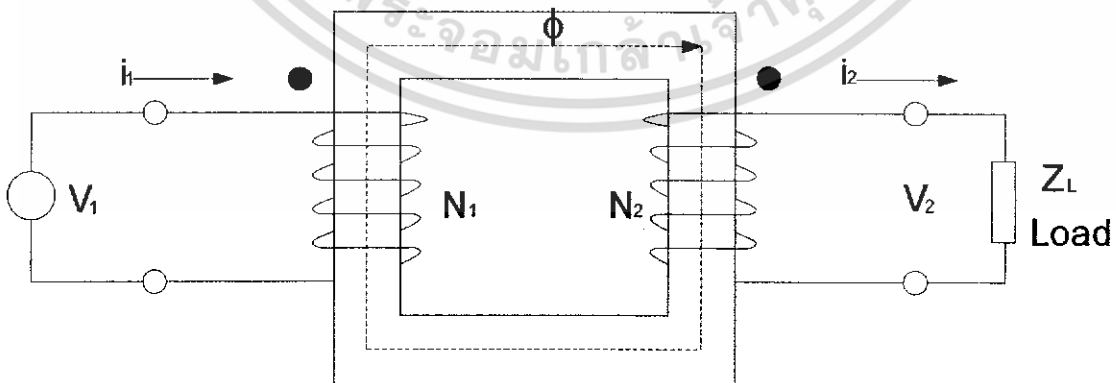
4. ค่า Permeability  $\mu$  ของแกนเหล็กมีค่าสูงมาก ๆ ดังนั้นกระแสกระตุ้นจึงมีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 2.5 เมื่อเป็นหม้อแปลงทางอุดมคติจะเห็นได้ว่า  $V_1=E_1$  และ  $V_2=E_2$  ดังนั้นจะได้ค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage ratio)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.20)$$

จะทำให้ได้อัตราส่วนกระแสไฟฟ้า(current ratio) ดังนี้

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.5 หม้อแปลงในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.20) และ (2.21) จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าดังนี้

$$V_1 I_1^* = V_2 I_2^* \quad (2.22)$$

ถ้า  $Z_2$  เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของภาระไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ จะได้ค่าอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ (impedance ratio)

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{1}{a^2} \frac{V_1}{I_1} = \frac{1}{a^2} Z_1 \quad (2.23)$$

$$Z_1 = a^2 Z_2, \quad \frac{Z_1}{Z_2} = a^2 \quad (2.24)$$

### 2.3.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า (Equivalent Circuit of Transformer)

จากการพิจารณาการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยกำหนดให้เป็นหม้อแปลงอุดมคตินั้นจะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า อัตราส่วนกระแสไฟฟ้า และอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพิจารณาสร้างวงจรสมมูลทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง (actual transformer) ได้ในกรณีเมื่อต้องคิดถึงผลของค่ากระแสกระตุ้น  $I_0$  ค่าสนามแม่เหล็กรั่วและค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวด ในการสร้างวงจรสมมูลทางไฟฟ้าเพื่ออธิบายถึงผลที่เกิดจากค่ากระแสกระตุ้นจะเห็นได้ว่าค่ากระแส  $I_c$  เป็นส่วนประกอบของ กระแสกระตุ้น  $I_0$  ที่ทำให้เกิดค่าสูญเสียในแกนเหล็กซึ่งเกิดขึ้นที่ด้านปฐมภูมิ ถ้ากำหนดให้  $R_c$  เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าสมมูลของการสูญเสียในแกนเหล็ก (equivalent core loss resistance) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_c = \frac{E_1}{R_c} \quad (2.25)$$

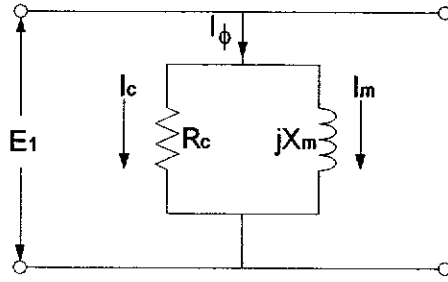
ค่ากระแส  $I_m$  เป็นส่วนประกอบของสนามกระตุ้น  $I_0$  ที่ทำให้เกิดค่าสนามแม่เหล็กซึ่งมีลักษณะเป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ถ้ากำหนดให้  $X_m$  เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือนสมมูลของการสร้างสนามแม่เหล็ก (equivalent magnetizing reactance) จะได้ว่า

$$I_m = \frac{E_1}{jX_m} \quad (2.26)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.25) และ (2.26) สามารถแสดงเป็นรูปแบบของวงจรสมมูล

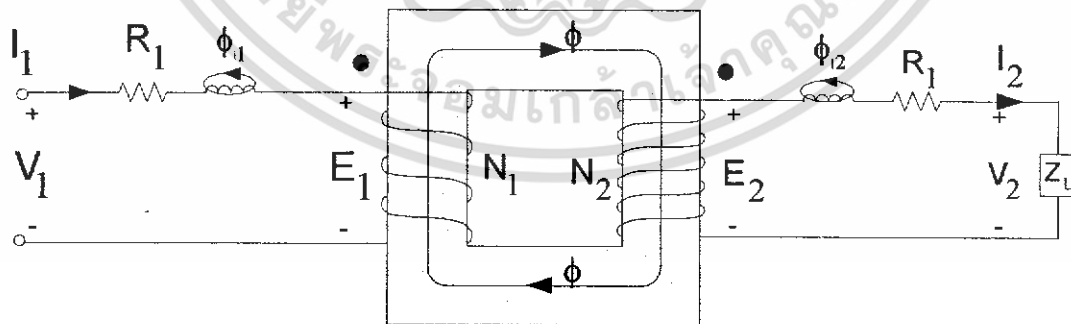
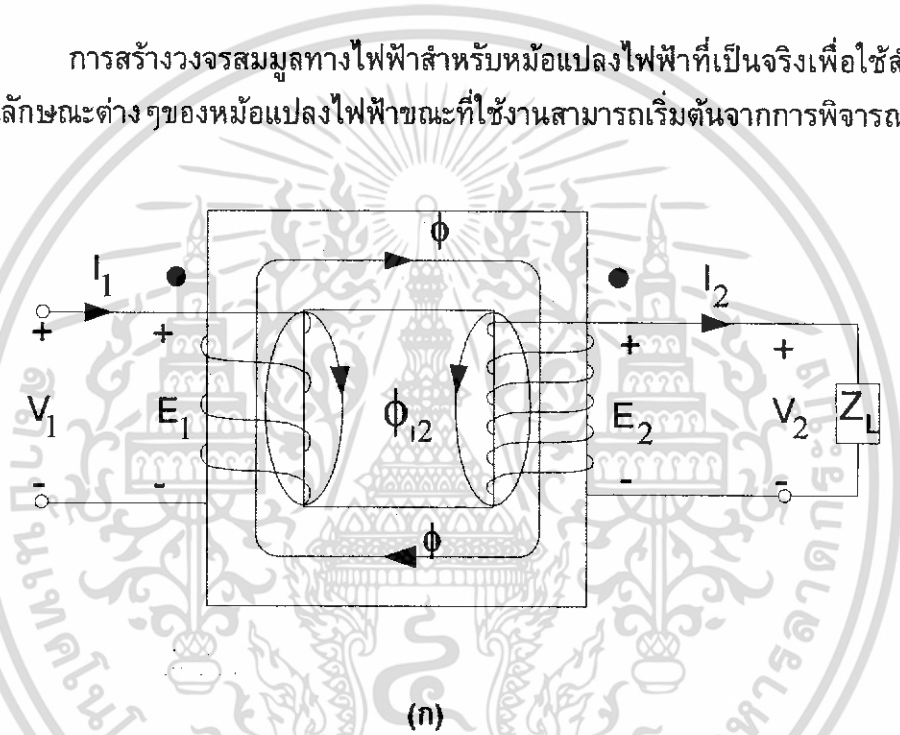
ได้ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



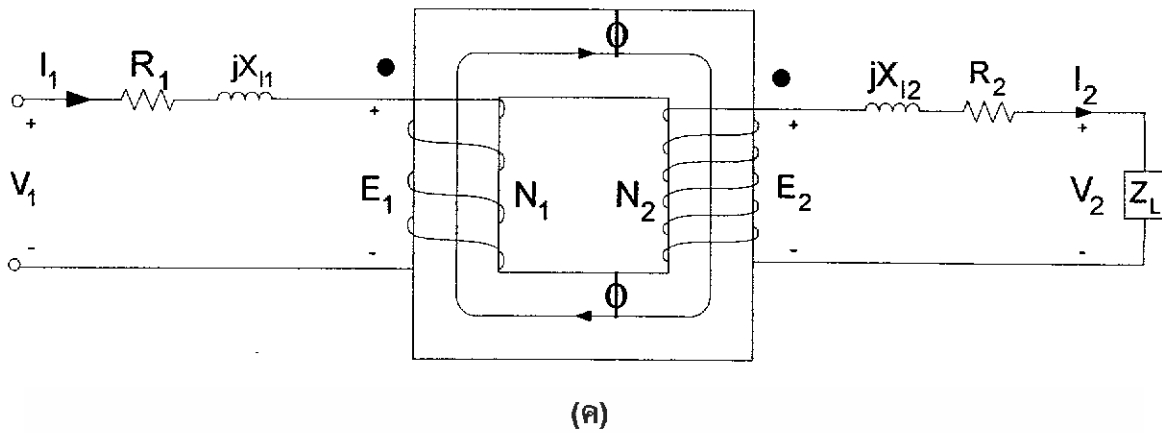
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของค่ากระแสกระตุ้น

การสร้างวงจรสมมูลทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริงเพื่อใช้สำหรับการหาค่าคุณลักษณะต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะที่ใช้งานสามารถเริ่มต้นจากการพิจารณาดังนี้



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

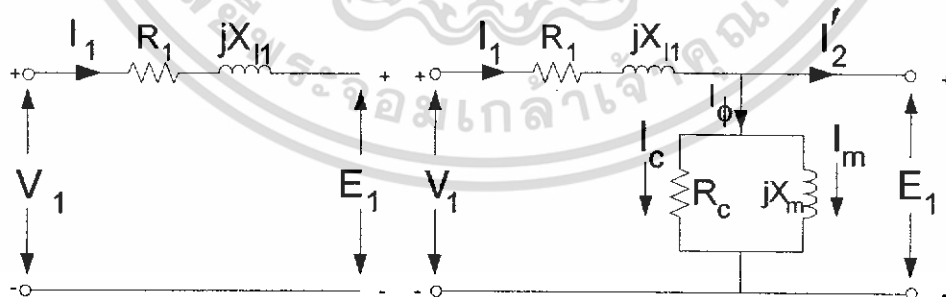


รูปที่ 2.7 แบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง

จากรูปที่ 2.7 ก) แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริงขณะจ่ายภาระไฟฟ้า  $Z_L$  โดยมีการเกิดสนามแม่เหล็กทั่ว  $\Phi$  เมื่อคิดถึงผลของค่าสนามแม่เหล็กทั่วและค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวด จะสามารถแสดงเป็นแบบจำลองได้ดังรูปที่ 2.7 ข) และ ค)

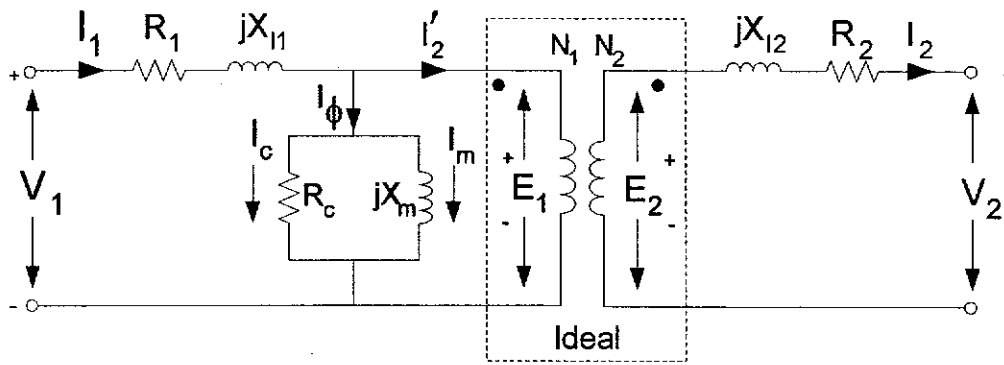
จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 สามารถแสดงเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง (exact equivalent circuit) ได้ดังรูปที่ 2.8

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| $R_c$ : core loss resistance | $X_m$ : magnetizing reactance          |
| $R_1$ : primary resistance   | $X_{l1}$ : primary leakage reactance   |
| $R_2$ : secondary resistance | $X_{l2}$ : secondary leakage reactance |

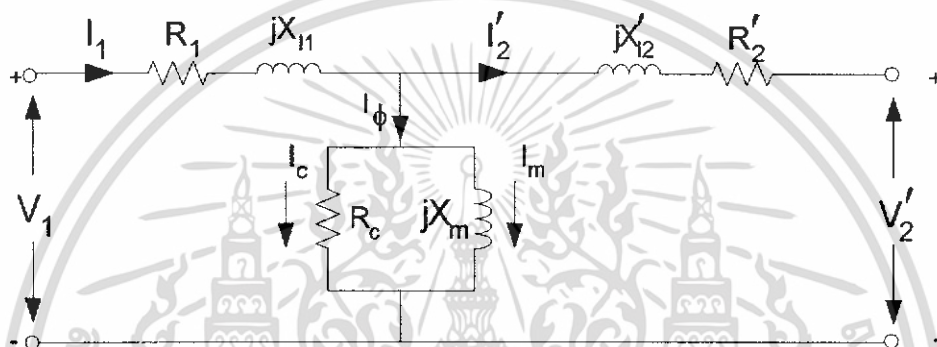


ก)

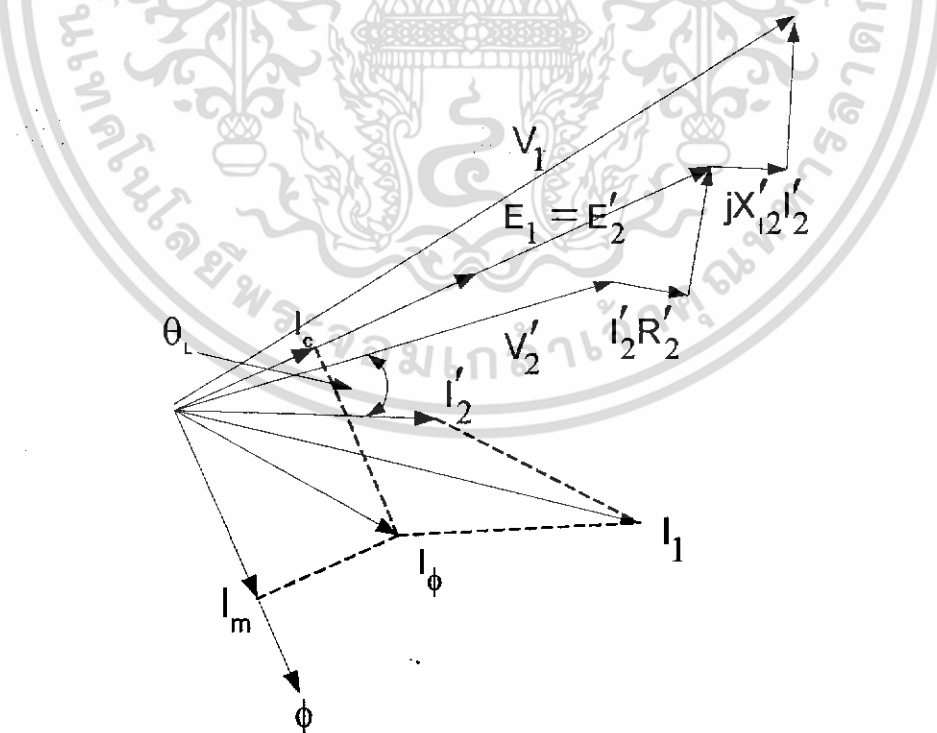
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข)



ค)



ง)

**รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง**  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 จะได้สมการคือ

$$E_1 = aE_2 = E'_2 = V'_2 + I'_2 (R'_2 + jX'_{l2}) \quad (2.27)$$

$$V_1 = E_1 + I_1 (R_1 + jX_{l1}) \quad (2.28)$$

## 2.4 การวัดอุณหภูมิ

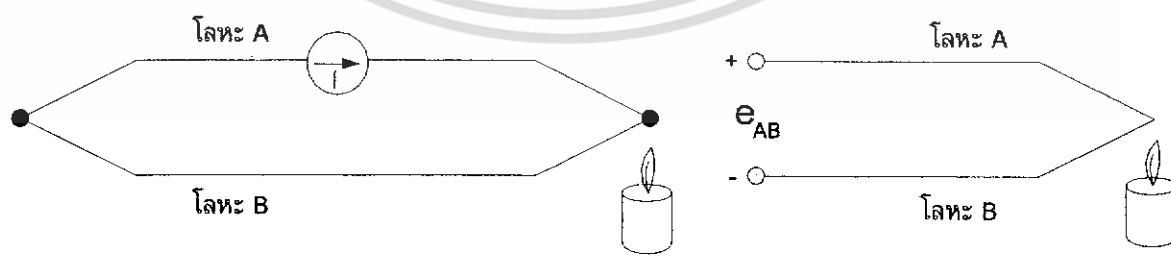
### 2.4.1 หลักการและแบบของเทอร์โมคัปเปิล[2-3]

หลักการเทอร์โมคัปเปิลคือ การที่ลวดโลหะ 2 เส้น ต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองตามรูปที่ 2.9 โดยปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ ซีเบ็คโวลเตจ ”

$$e_{AB} = \alpha \Delta T \quad (2.29)$$

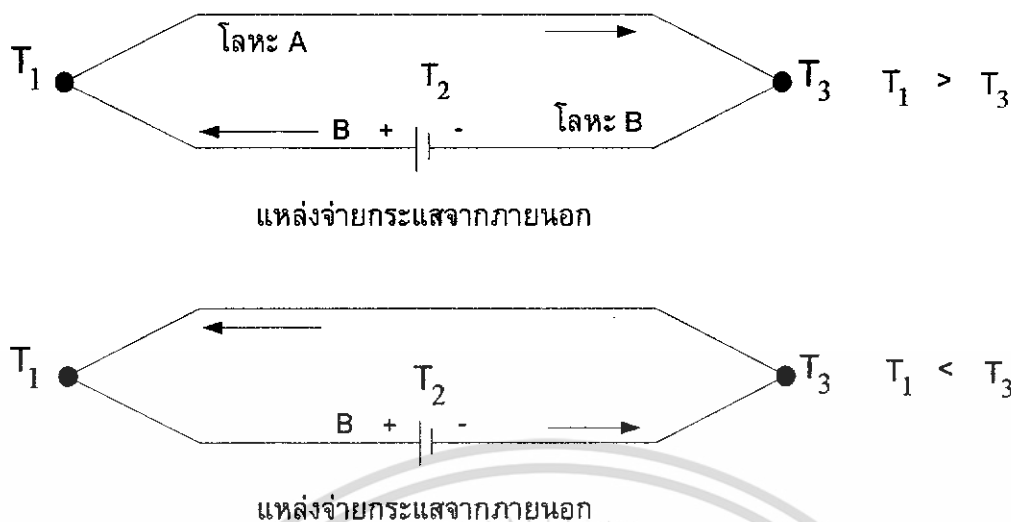
เมื่อ  $\alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค ( Seebeck Coefficient ) เป็นค่าคงที่  
 $\Delta T$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิ  
 $e_{AB}$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้

และถ้าทำการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันนี้จะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองของจุดต่อแตกต่างกันขึ้น โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนและปลายข้างหนึ่งจะเย็นลง วงจรการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 2.9 ลวดทั้งสองทำจากบิสมัทและแอนติโมนี



รูปที่ 2.9 วงจรการทดลองของซีเบ็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรการทดลองของเพลเทียร์

เมื่อมีกระแสจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจรจะทำให้ปลายข้างขวามีอุณหภูมิสูงขึ้นและปลายข้างซ้ายมีอุณหภูมิลดลง ในทางกลับกันเมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสก็จะทำให้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองกลับกันด้วย

#### 2.4.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

ตั้งแต่ค้นพบหลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลนั้นรายละเอียดในหลักการได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมาโดยตลอด และได้เกิดเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานขึ้นมาหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ

1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S
2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ R
3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ B
4. เทอร์โมคัปเปิลแบบ J
5. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K
6. เทอร์โมคัปเปิลแบบ T
7. เทอร์โมคัปเปิลแบบ E
8. เทอร์โมคัปเปิลแบบ Nonstandard

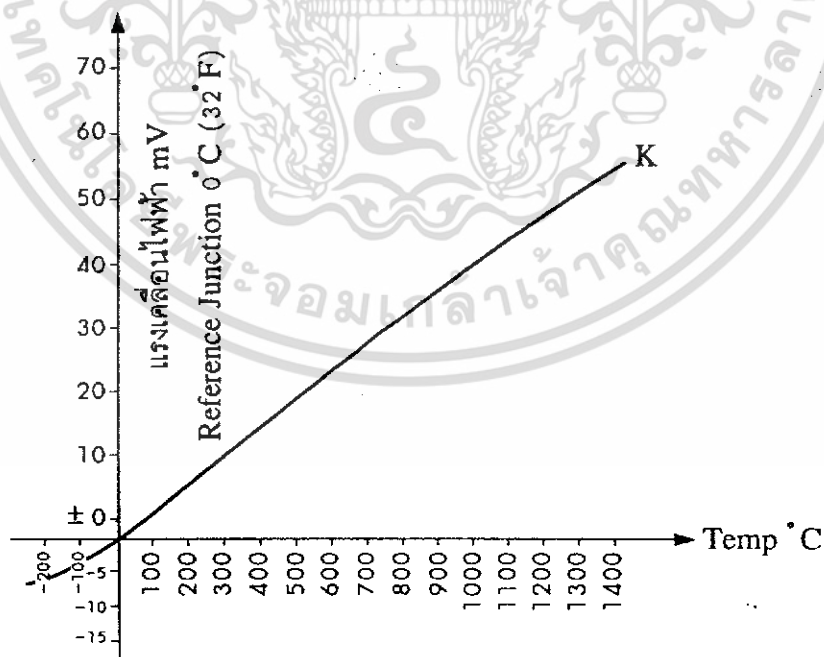
ในการวิเคราะห์ถึงปัญหาของการทดสอบนี้จะใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ในการวัดอุณหภูมิของชิ้นงานที่จะทำการทดสอบโดยจะกล่าวถึงลักษณะและคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ให้ทราบพอสังเขป

### 2.4.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่สายขั้วบวกทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90% + โครเมียม 10% และสายขั้วลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิคอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐาน K เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง  $1260^{\circ}\text{C}$  ( $2300^{\circ}\text{F}$ ) และที่อุณหภูมิต่ำถึง  $-250^{\circ}\text{C}$  ( $-420^{\circ}\text{F}$ ) ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน แบบ K ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกัน คุณสมบัติที่เด่นมากของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูง

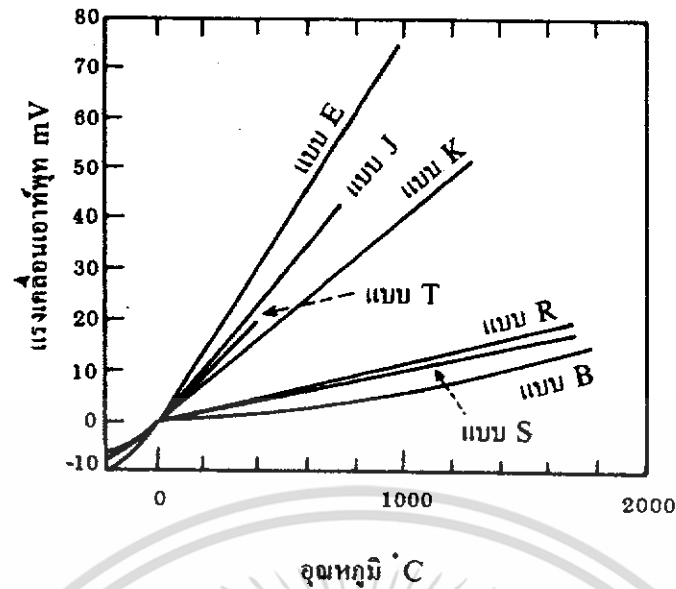
ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K สัมผัสกับวัตถุโดยตรงในกรณีดังต่อไปนี้

1. ในสภาวะงานที่เป็น Reducing หรือเป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing
2. สภาวะงานที่มีไอของซัลเฟอร์ เพราะซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะสายลบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
3. สภาวะงานที่เป็น Vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ถ้าจำเป็นต้องใช้งานเทอร์โมคัปเปิลกับสภาพดังกล่าวนี้จะต้องใช้ Protection Tube ป้องกันเสียก่อน อายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้ประมาณ 20 ปี เพราะหลังจากนั้นส่วนผสมจะเปลี่ยนไปโดยจะมีเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 2% และส่วนผสมบางอย่าง เช่น แมงกานีส จะลดปริมาณลง



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

รูปที่ 2.12 เป็นกราฟแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลโดยชนิด E , J , T และ K มีความชันหรือสโลปมากซึ่งจะมีความไวต่อการวัดอุณหภูมิสูง ส่วนชนิด R , S และ B มีความชันน้อยจะมีความไวต่อการวัดอุณหภูมिन้อย

สรุป เหตุที่เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ในการวัดอุณหภูมิเนื่องจากมีความทนทานสูงเหมาะกับงานที่ใช้งานเป็นเวลานานติดต่อกัน, มีระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง และมีราคาไม่แพงมากนัก อีกทั้งยังใช้ได้ดีในสภาวะงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนเป็นเวลานาน, มีความไวในการวัดอุณหภูมิสูงและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด

สรุปส่วนผสม,ย่านอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน  
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่ได้ mV
		°C	°F	
B	พลาทินัม – 30% โรเดียม พลาทินัม – 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	-0 ถึง 13.814
R	พลาทินัม – 13% โรเดียม พลาทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-2.26 ถึง 21.108
S	พลาทินัม – 10% โรเดียม พลาทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อลูเมล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	-450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	-450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358

- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ

ตารางที่ 2.6 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลโดยไม่ต้องใช้ Protection tubes

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
TC Type	บรรยากาศ oxidizing	บรรยากาศ reducing	บรรยากาศ inert	vacuum	บรรยากาศ sulfurous	อุณหภูมิ < 0°C	มีไอของ โลหะ
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้ในช่วง สั้นๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ ถ้า>500°C	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้+	ได้

\* ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E, J และ T เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น  
+ โดยเฉพาะกับอุณหภูมิ < 0°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การทดสอบ

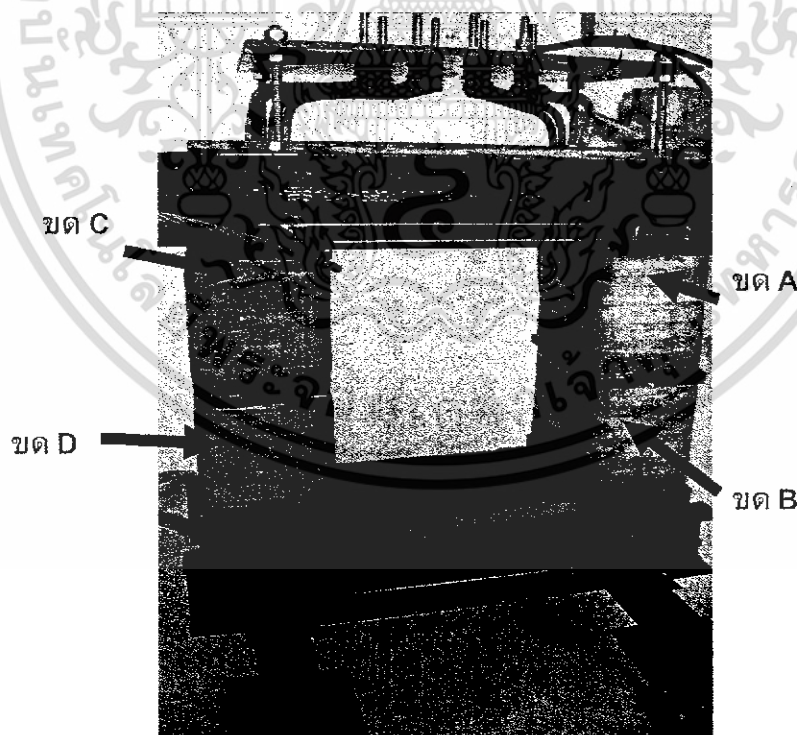
#### 3.1 การทดสอบหม้อแปลงกระแส 2000 แอมป์

การทดสอบหม้อแปลงจัดทำขึ้นเพื่อที่จะทดสอบคุณสมบัติของหม้อแปลง ว่าเป็นไปตามพิกัดที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ สามารถใช้งานได้ดีหรือไม่ แบ่งการทดสอบหม้อแปลง ออกเป็น 2 แบบได้แก่ การทดสอบ No Load และการทดสอบ On Load โดยที่หม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบจะมีพิกัดดังรายการต่อไปนี้

หม้อแปลง บริษัท TUSCO TRAF0 CO., LTD

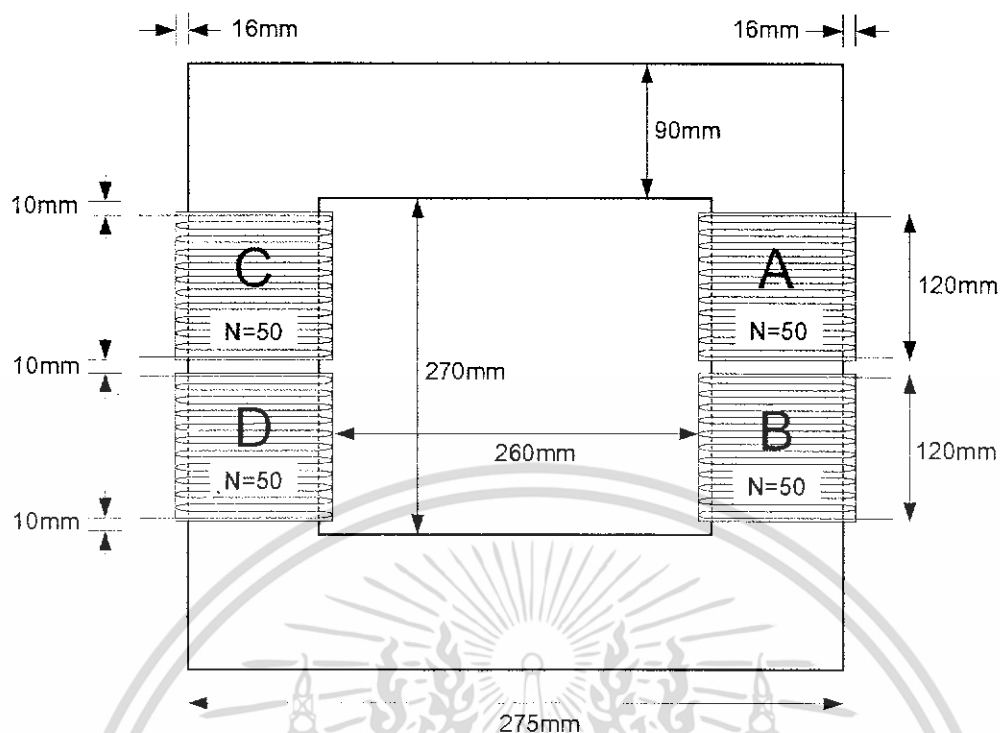
ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดของหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ

กำลังไฟฟ้า (kVA)	PRIMARY		SECONDARY		Phase	FREQUENCY Hz
	VOLT (V)	AMP (A)	VOLT (V)	AMP (A)		
10	0-260	38.46	1.3,2.6,5.2	0-2000	1	50



รูปที่ 3.1 ขดลวดของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แบบจำลองหม้อแปลงกระแสสูงพร้อมกับการพันขดลวด (โดยไม่มีขดลวดด้านทุติยภูมิ)

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการ TAPPING กับแรงดันต่อรอบ Volt/Turn (V/T)

ลักษณะการต่อขดลวด	จำนวนขดลวดรวม (รอบ)	Volt/Turn (V/T)	กระแสที่พิกัด (A)
อนุกรม	200	1.3	7692.30
ขนาน 2 ชุด/อนุกรม 2 ชุด	100	2.6	3846.15
ขนานกันหมด	50	5.2	1923.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 การทดสอบแบบ No Load Test

#### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบคุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงที่จะนำมาทดลอง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

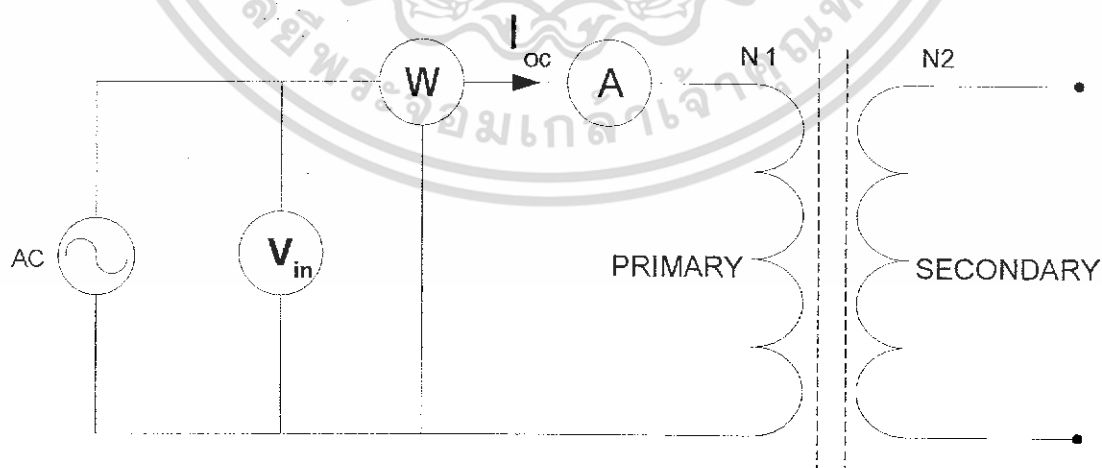
- VARIAC 1Phase, 0-220 V
- POWER METER PX120

#### วิธีการทดสอบ

1. ต้องวงจรตามรูปที่ 3.3
2. ป้อนแรงดันที่ขดลวดด้าน primary ที่ 25,50,75,80,85,90,95 และ 100% ของพิกัดหม้อแปลงตามลำดับ
3. ทำการบันทึกค่าที่อ่านจาก POWER METER ทั้งค่าของกระแส แรงดัน และกำลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็ก รวมทั้งค่า Power Factor ที่เกิดขึ้นของขดลวดในแต่ละขด โดยจะทำการทดสอบเรียงลำดับดังต่อไปนี้

- ทดสอบขดลวดแต่ละขด (50 รอบ 5.2 V/T)
- ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดขนานกันครั้งละ 2 ขด (50 รอบ 5.2 V/T)
- ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดขนานกันทุกขดลวด (50 รอบ 5.2 V/T)
- ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดอนุกรมกันครั้งละ 2 ขด (100 รอบ 2.6 V/T)
- ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดอนุกรมกันทุกขดลวด (200 รอบ 1.3 V/T)

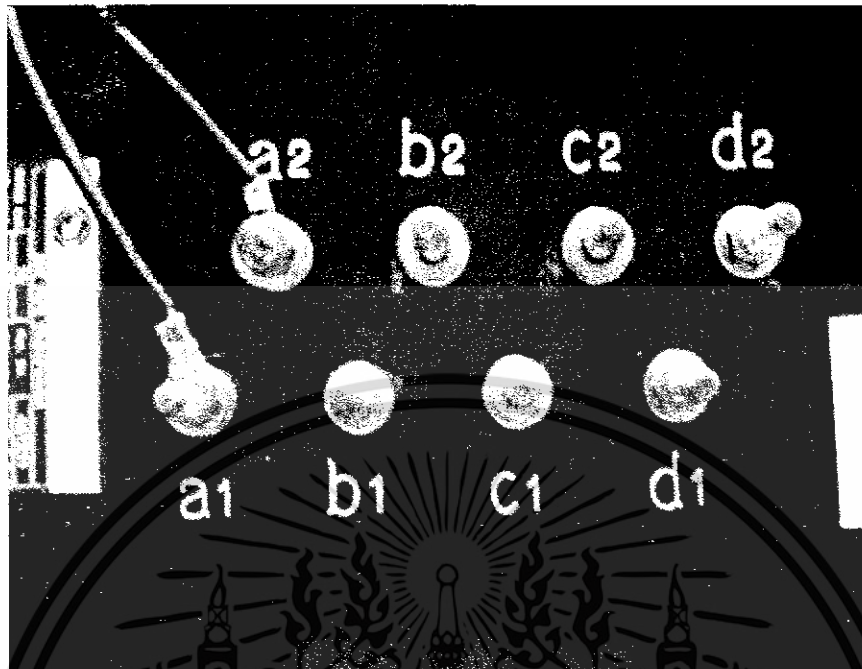
#### วงจรที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.3 วงจรการทดสอบแบบ No Load Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. ทดสอบขดลวดแต่ละขด (50 รอบ 5.2 V/T)



รูปที่ 3.4 การต่อทดสอบขดลวดแต่ละขดลวด

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T

Rated(%)	$V_{in}$ (V)	$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
	V				
25%	55.67	0.24	0.008	0.66	0.013
50%	111.35	0.44	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.078	0.52	0.150
80%	178.16	1.10	0.090	0.46	0.196
85%	189.30	1.35	0.100	0.40	0.256
90%	200.43	1.68	0.117	0.35	0.336
95%	211.57	2.25	0.134	0.28	0.475
100%	223.00	3.33	0.154	0.20	0.780

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.24	0.008	0.66	0.013
50%	111.35	0.44	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.077	0.52	0.151
80%	178.16	1.08	0.090	0.46	0.196
85%	189.30	1.35	0.100	0.40	0.256
90%	200.43	1.68	0.117	0.35	0.337
95%	211.57	2.25	0.134	0.28	0.475
100%	223.00	3.47	0.157	0.20	0.792

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด c จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/T

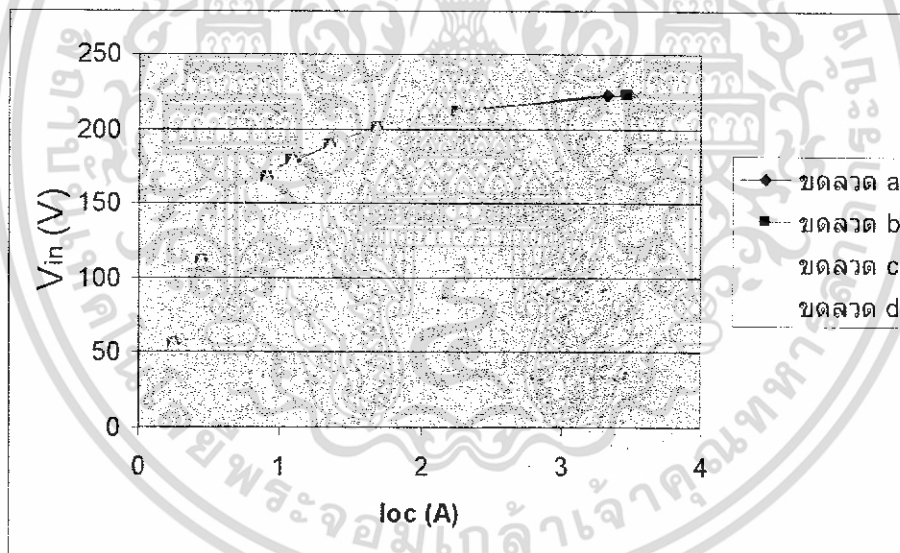
$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.24	0.008	0.66	0.013
50%	111.35	0.44	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.079	0.52	0.152
80%	178.16	1.09	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.34	0.100	0.41	0.255
90%	200.43	1.68	0.117	0.35	0.338
95%	211.57	2.26	0.134	0.28	0.477
100%	223.00	3.55	0.159	0.20	0.796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด d จำนวน 50 รอบที่ 5.2 V/Τ

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.24	0.008	0.66	0.013
50%	111.35	0.44	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.078	0.52	0.150
80%	178.16	1.10	0.090	0.46	0.196
85%	189.30	1.33	0.100	0.42	0.256
90%	200.43	1.68	0.117	0.35	0.336
95%	211.57	2.24	0.134	0.28	0.475
100%	223.00	3.53	0.155	0.20	0.780

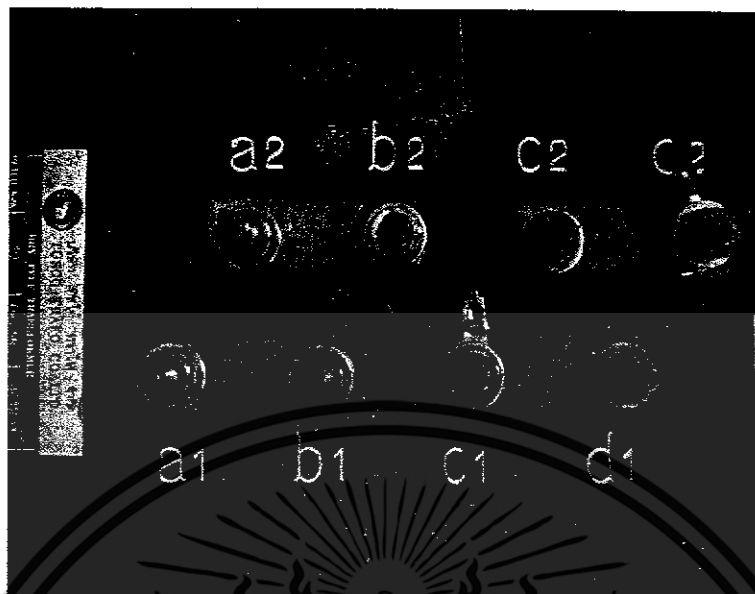
ผลการทดสอบ  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  จากตารางที่ 3.3 ถึงตารางที่ 3.6 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  ที่จำนวนขดลวดต่างๆ เท่ากับ 50 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดขนาดกันครั้งละ 2 ขด (50 รอบ 5.2 V/T)



รูปที่ 3.6 การต่อขดลวดระหว่างขดลวด 2 ขดลวด

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนาดกับขดลวด b ที่ 5.2V/T

Rated(%)	$V_{in}$ (V)	$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
	V				
25%	55.67	0.23	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.43	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.078	0.52	0.152
80%	178.16	1.10	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.36	0.103	0.40	0.257
90%	200.43	1.70	0.118	0.35	0.340
95%	211.57	2.20	0.134	0.28	0.478
100%	223.00	3.60	0.160	0.20	0.827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนาดกับขดลวด c ที่ 5.2V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.23	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.43	0.032	0.69	0.047
75%	167.02	0.90	0.079	0.52	0.152
80%	178.16	1.10	0.087	0.46	0.190
85%	189.30	1.37	0.103	0.40	0.257
90%	200.43	1.70	0.118	0.35	0.340
95%	211.57	2.20	0.133	0.28	0.477
100%	223.00	3.50	0.152	0.20	0.760

ตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนาดกับขดลวด d ที่ 5.2V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.23	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.43	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.078	0.52	0.152
80%	178.16	1.10	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.36	0.103	0.40	0.257
90%	200.43	1.70	0.118	0.35	0.340
95%	211.57	2.20	0.134	0.28	0.478
100%	223.00	3.44	0.160	0.20	0.795

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b ขนานกับขดลวด c ที่ 5.2V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.23	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.43	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.078	0.52	0.152
80%	178.16	1.09	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.36	0.102	0.40	0.256
90%	200.43	1.69	0.118	0.35	0.340
95%	211.57	2.27	0.130	0.28	0.466
100%	223.00	3.60	0.158	0.20	0.790

ตารางที่ 3.11 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b ขนานกับขดลวด d ที่ 5.2V/T

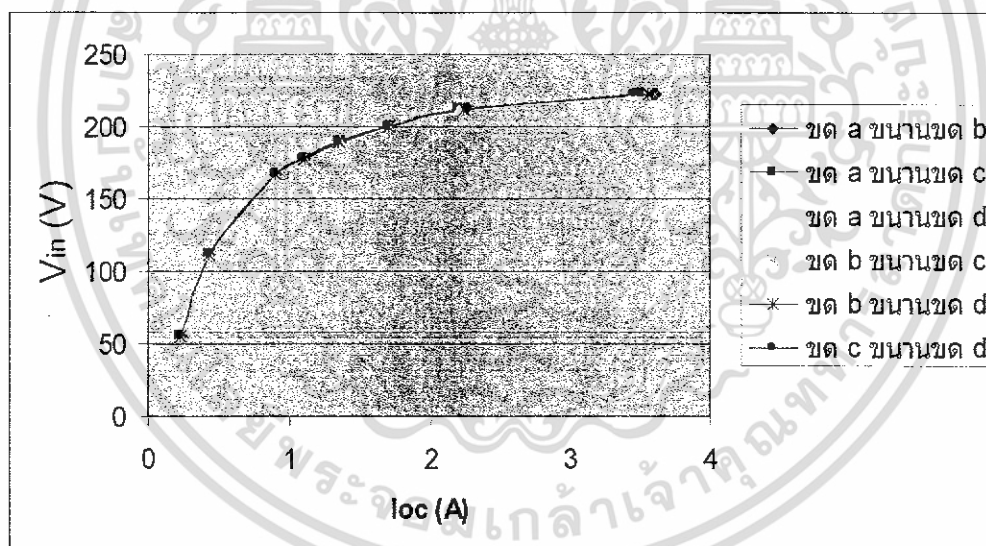
$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.23	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.43	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.078	0.52	0.152
80%	178.16	1.10	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.35	0.103	0.40	0.257
90%	200.43	1.70	0.118	0.35	0.340
95%	211.57	2.24	0.134	0.28	0.478
100%	223.00	3.55	0.149	0.20	0.747

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด c ขนานกับขดลวด d ที่ 5.2V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.23	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.43	0.033	0.69	0.048
75%	167.02	0.90	0.079	0.52	0.152
80%	178.16	1.09	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.35	0.100	0.41	0.256
90%	200.43	1.69	0.117	0.35	0.340
95%	211.57	2.27	0.134	0.30	0.460
100%	223.00	3.45	0.156	0.20	0.770

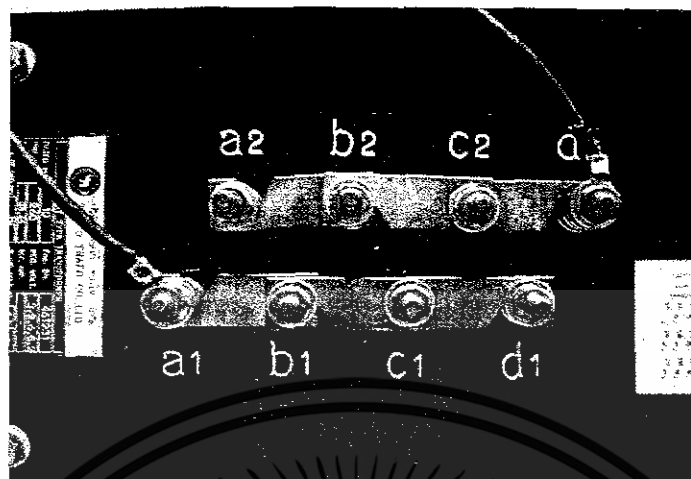
นำผลการทดสอบ  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  จากตารางที่ 3.7 ถึงตารางที่ 3.12 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  โดยที่ขดลวดขนานกันครั้งละ 2 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดขนานกันทุกขด (50 รอบ 5.2 V/T)



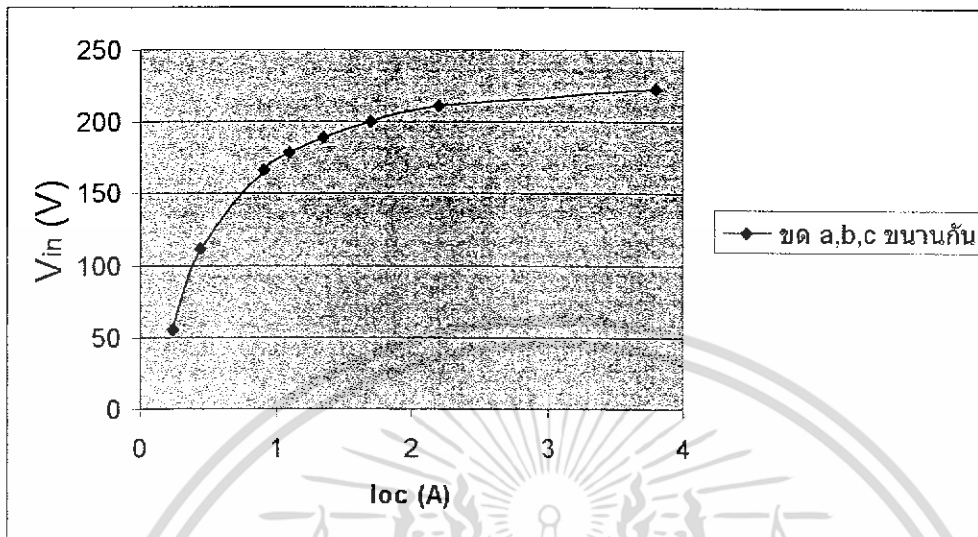
รูปที่ 3.8 การต่อขนานขดลวดทุกขดลวด

ตารางที่ 3.13 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a ขนานกับ ขดลวด b ขนานกับขด c และขดขดลวด d ที่ 5.2 V/T

Rated(%)	$V_{in}$ (V)	$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
	V				
25%	55.67	0.24	0.008	0.65	0.013
50%	111.35	0.44	0.032	0.68	0.048
75%	167.02	0.91	0.078	0.52	0.152
80%	178.16	1.10	0.090	0.46	0.195
85%	189.30	1.36	0.103	0.40	0.257
90%	200.43	1.71	0.118	0.35	0.340
95%	211.57	2.20	0.134	0.28	0.478
100%	223.00	3.80	0.165	0.20	0.822

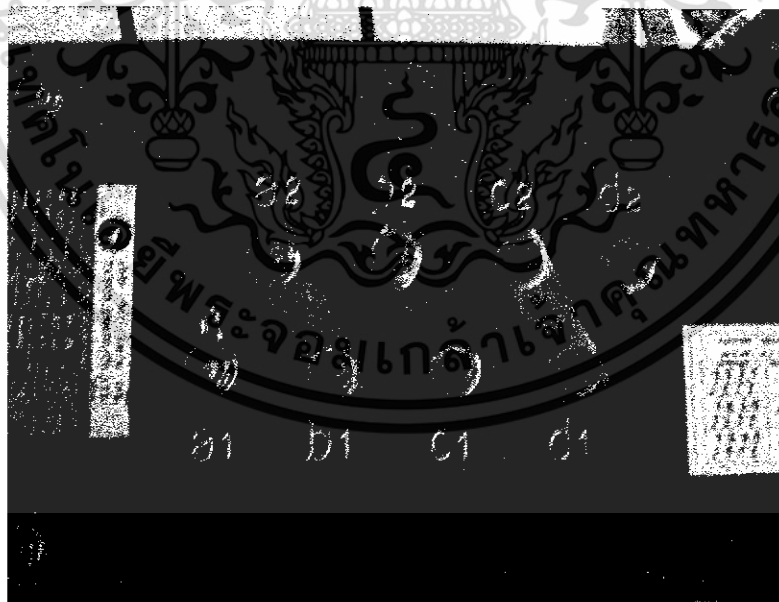
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผลการทดสอบ  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  จากตารางที่ 3.13 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  โดยที่ขดลวดขนาดกันทุกขด

#### 4. ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดอนุกรมกันครั้งละ 2 ขด (100 รอบ 2.6 V/T)



รูปที่ 3.10 การต่ออนุกรมระหว่างขดลวด 2 ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a อนุกรมกับขดลวด b ที่ 2.6V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.07	0.002	0.50	0.004
50%	111.35	0.12	0.008	0.66	0.013
75%	167.02	0.16	0.019	0.70	0.027
80%	178.16	0.17	0.021	0.70	0.031
85%	189.30	0.18	0.024	0.70	0.035
90%	200.43	0.19	0.027	0.70	0.039
95%	211.57	0.21	0.031	0.70	0.044
100%	223.00	0.22	0.035	0.70	0.050

ตารางที่ 3.15 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a อนุกรมกับขดลวด c ที่ 2.6V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.07	0.002	0.50	0.004
50%	111.35	0.12	0.008	0.68	0.012
75%	167.02	0.16	0.019	0.70	0.028
80%	178.16	0.17	0.021	0.70	0.031
85%	189.30	0.18	0.024	0.70	0.035
90%	200.43	0.19	0.028	0.70	0.040
95%	211.57	0.21	0.031	0.70	0.044
100%	223.00	0.22	0.037	0.70	0.052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.16 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด a อนุกรมกับขดลวด d ที่ 2.6 V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.07	0.002	0.50	0.004
50%	111.35	0.12	0.009	0.69	0.013
75%	167.02	0.16	0.019	0.70	0.027
80%	178.16	0.17	0.021	0.70	0.031
85%	189.30	0.18	0.024	0.70	0.035
90%	200.43	0.19	0.027	0.70	0.039
95%	211.57	0.21	0.030	0.70	0.043
100%	223.00	0.22	0.034	0.68	0.050

ตารางที่ 3.17 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวด b อนุกรมกับขดลวด c ที่ 2.6 V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.07	0.002	0.50	0.004
50%	111.35	0.12	0.008	0.66	0.013
75%	167.02	0.16	0.019	0.70	0.027
80%	178.16	0.17	0.021	0.70	0.031
85%	189.30	0.18	0.024	0.70	0.035
90%	200.43	0.19	0.027	0.70	0.039
95%	211.57	0.21	0.031	0.70	0.044
100%	223.00	0.22	0.035	0.70	0.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.18 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขนาดอนุกรมกับขนาด d ที่ 2.6 V/T

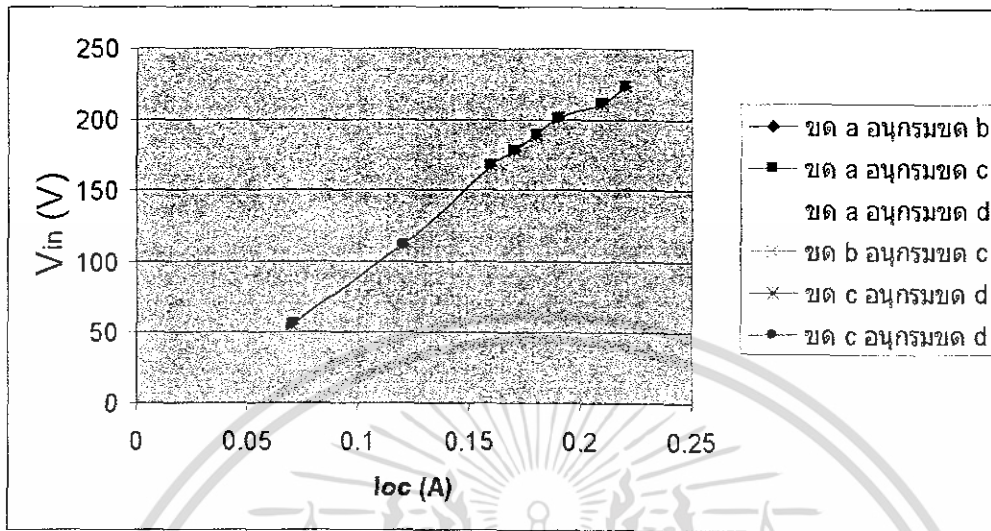
$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.07	0.002	0.50	0.004
50%	111.35	0.12	0.008	0.66	0.013
75%	167.02	0.16	0.019	0.70	0.027
80%	178.16	0.17	0.021	0.70	0.031
85%	189.30	0.18	0.024	0.70	0.035
90%	200.43	0.19	0.027	0.70	0.039
95%	211.57	0.21	0.031	0.70	0.044
100%	223.00	0.22	0.035	0.70	0.050

ตารางที่ 3.19 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขนาดอนุกรมกับขนาด d ที่ 2.6 V/T

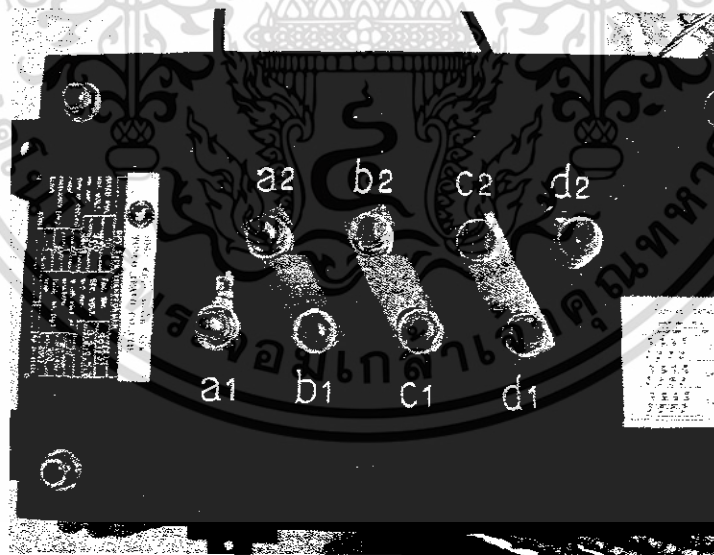
$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.07	0.002	0.50	0.004
50%	111.35	0.12	0.008	0.66	0.013
75%	167.02	0.16	0.019	0.70	0.027
80%	178.16	0.17	0.021	0.70	0.031
85%	189.30	0.18	0.024	0.70	0.035
90%	200.43	0.19	0.026	0.70	0.038
95%	211.57	0.21	0.031	0.70	0.044
100%	223.00	0.22	0.035	0.70	0.051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผลการทดสอบ  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  จากตารางที่ 3.14 ถึงตารางที่ 3.19 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  โดยที่ขดลวดต่ออนุกรมกัน 2 ขด 5 ทดสอบขดลวดโดยต่อขดลวดอนุกรมกันทุกขดลวด (200 รอบ 1.3 V/T)



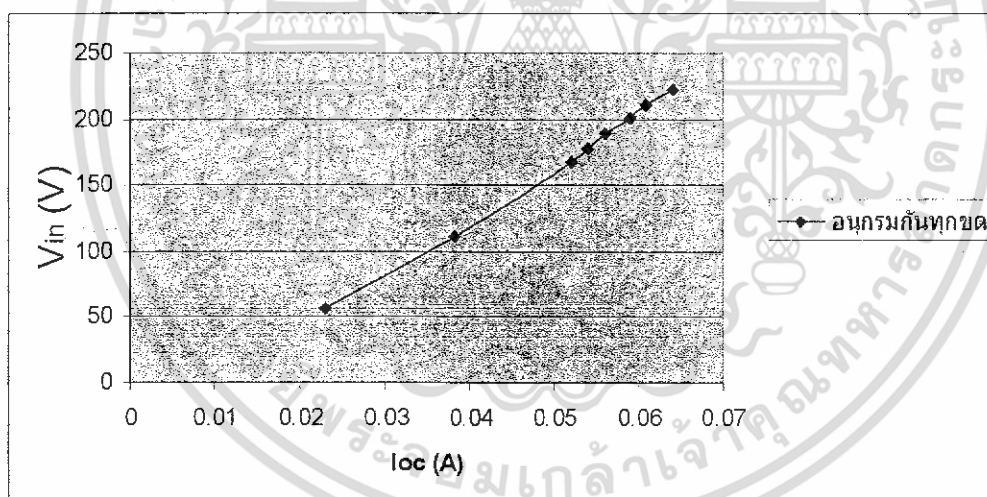
รูปที่ 3.12 การต่ออนุกรมทุกขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.20 ผลการทดสอบ Open Circuit Test ที่ขดลวดทุขขดลวดต่ออนุกรมกันทุก  
ขดลวด ที่ 1.3 V/T

$V_{in}$ (V)		$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (kW)	p.f.	S (kVA)
Rated(%)	V				
25%	55.67	0.023	0.0007	0.54	0.0013
50%	111.35	0.038	0.0026	0.60	0.0043
75%	167.02	0.052	0.006	0.66	0.0086
80%	178.16	0.054	0.006	0.67	0.0096
85%	189.30	0.056	0.007	0.68	0.0106
90%	200.43	0.059	0.008	0.68	0.0117
95%	211.57	0.061	0.008	0.69	0.0120
100%	223.00	0.064	0.009	0.70	0.0142

นำผลการทดสอบ  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  จากตารางที่ 3.20 มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์  
ระหว่างกระแสกับแรงดัน



รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{oc}$  กับ  $V_{in}$  โดยที่ขดลวดต่ออนุกรมทุกขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การทดสอบแบบ On Load Test

#### วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นการทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างกระแสทางขาเข้า ( $I_{in}$ ) กับกระแสขาออก ( $I_{out}$ )

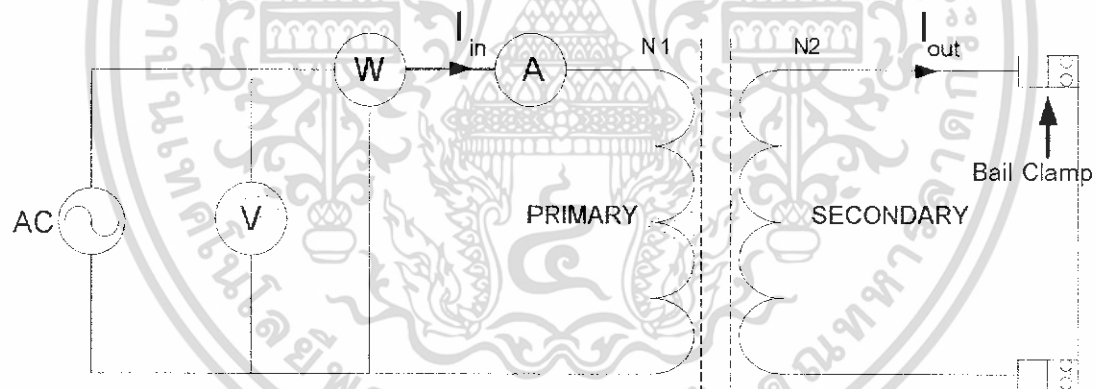
#### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- POWER METER PX120
- VARIAC 1Phase, 0-220 V
- Close Loop ใช้เป็นตัวนำ 50 sq.mm ขนาดที่ต่อกับ Bail Clamp

#### วิธีการทดสอบ

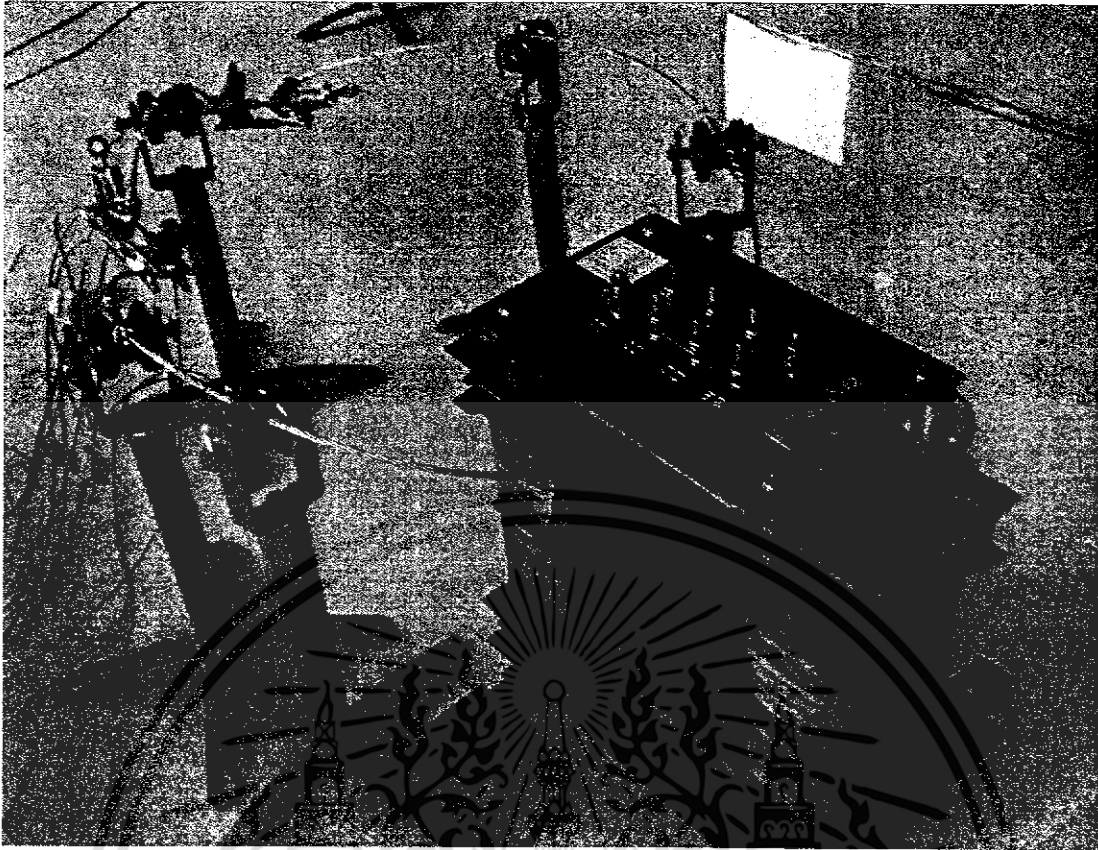
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.14 โดยกำหนดให้ขดลวด N2 มี 1 รอบ
2. ทำการป้อนกระแสอินพุตให้กับหม้อแปลง 1 ถึง 7 A ตามลำดับ
3. บันทึกค่าแรงดันขาเข้า กระแสขาเข้า กำลังด้านขาเข้าและกระแสด้านขาออก

#### วงจรที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.14 วงจรการทดสอบแบบ On Load Test โดยใช้ตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การคล้องสายตัวนำเข้ากับด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง  
โดยขดลวด A,B,C และ D ต่อขนานกัน



รูปที่ 3.16 ชุดควบคุมแรงดัน 0-220 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



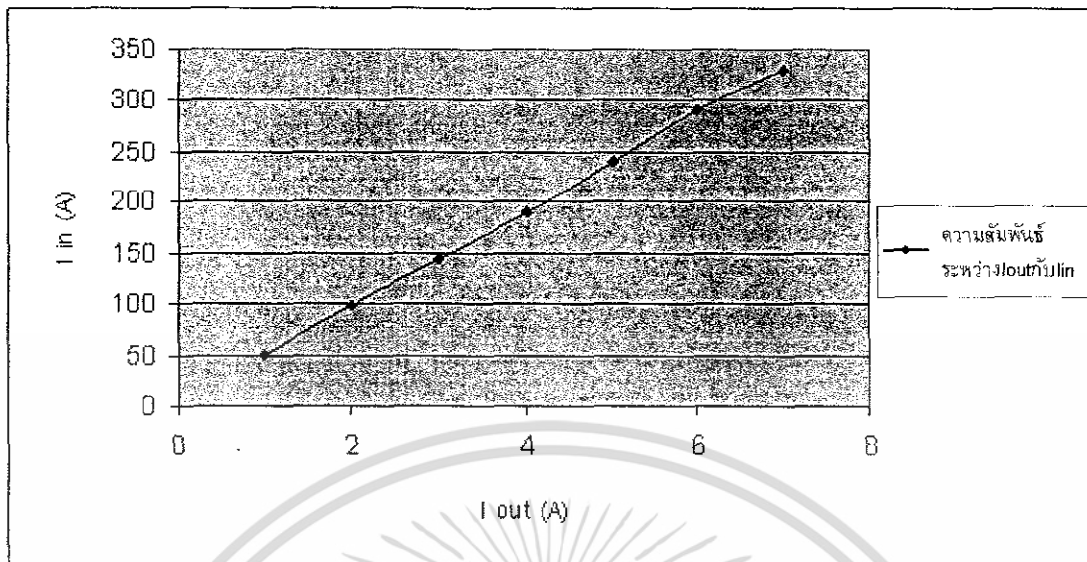
รูปที่ 3.17 เครื่อง POWER METER PX120

ตารางที่ 3.21 ผลการทดลองหม้อแปลงแบบ On Load Test โดยใช้ตัวนำขนาด 50 sq.mm

$V_{in}$ (V)	Input		Output
	$I_{in}$ (A)	$P_{in}$ (kW)	$I_{out}$ (A)
18.3	1	0.018	50
32.2	2	0.068	99
42.0	3	0.124	145
54.9	4	0.207	190
66.7	5	0.311	240
86.3	6	0.500	290
104.0	7	0.675	330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{out}$  กับ  $I_{in}$  เพื่อหาค่า Ratio ของหม้อแปลง

จากตารางที่ 3.21 เมื่อทำการป้อนแรงดันอินพุตจนได้กระแส  $I_{in}$  ตามต้องการ และทำการวัดกระแส  $I_{out}$  ที่ทำการลัดวงจร เพื่อที่จะหาอัตราส่วนของหม้อแปลงโดยดูความสัมพันธ์ ระหว่างกระแส  $I_{in}$  ที่กำหนดและค่ากระแส  $I_{out}$  ที่วัดได้ เมื่อทำการทดลองจะสังเกตว่าค่าของกระแส  $I_{out}$  ที่อยู่ใน loop ลดลงเนื่องจากสายตัวนำเกิดความร้อนเนื่องจากมีกระแสไหลในตัวนำ ( $I^2R$ ) เป็นสาเหตุทำให้ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นจากสมการ ที่ (3.1)

$$R_{12} = R_{11} \frac{M + t_2}{M + t_1} \quad (3.1)$$

โดยที่กำหนดให้

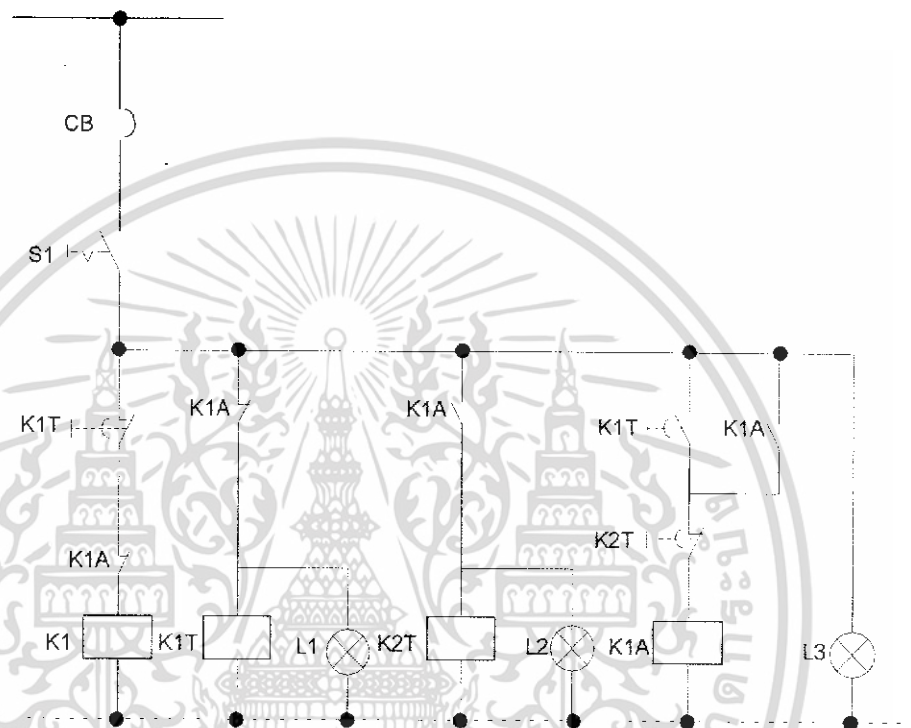
- $R_{11}$  = ความต้านทานที่อุณหภูมิ  $t_1$
- $R_{12}$  = ความต้านทานที่อุณหภูมิ  $t_2$
- $M$  = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของโลหะตัวนำ
  - 228.1 สำหรับตัวนำอลูมิเนียม
  - 241.5 สำหรับตัวนำทองแดง

จากนั้นทำการเพิ่มกระแสตามที่กำหนดเพื่อรักษาอุณหภูมิให้สูงขึ้นและสัมพันธ์กับเวลาที่กำหนด

### 3.2 การทดสอบชุดควบคุมแรงดันกึ่งอัตโนมัติ

ชุดควบคุมแรงดันกึ่งอัตโนมัติที่ใช้จะเป็นชุดควบคุมที่มีการออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้คอนแทกเตอร์ (Contactor) และรีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) เป็นตัวตัดต่อวงจร และกำหนดเวลาการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.19 ดังนี้

#### 3.2.1 แบบแสดงการทำงานของวงจรควบคุม

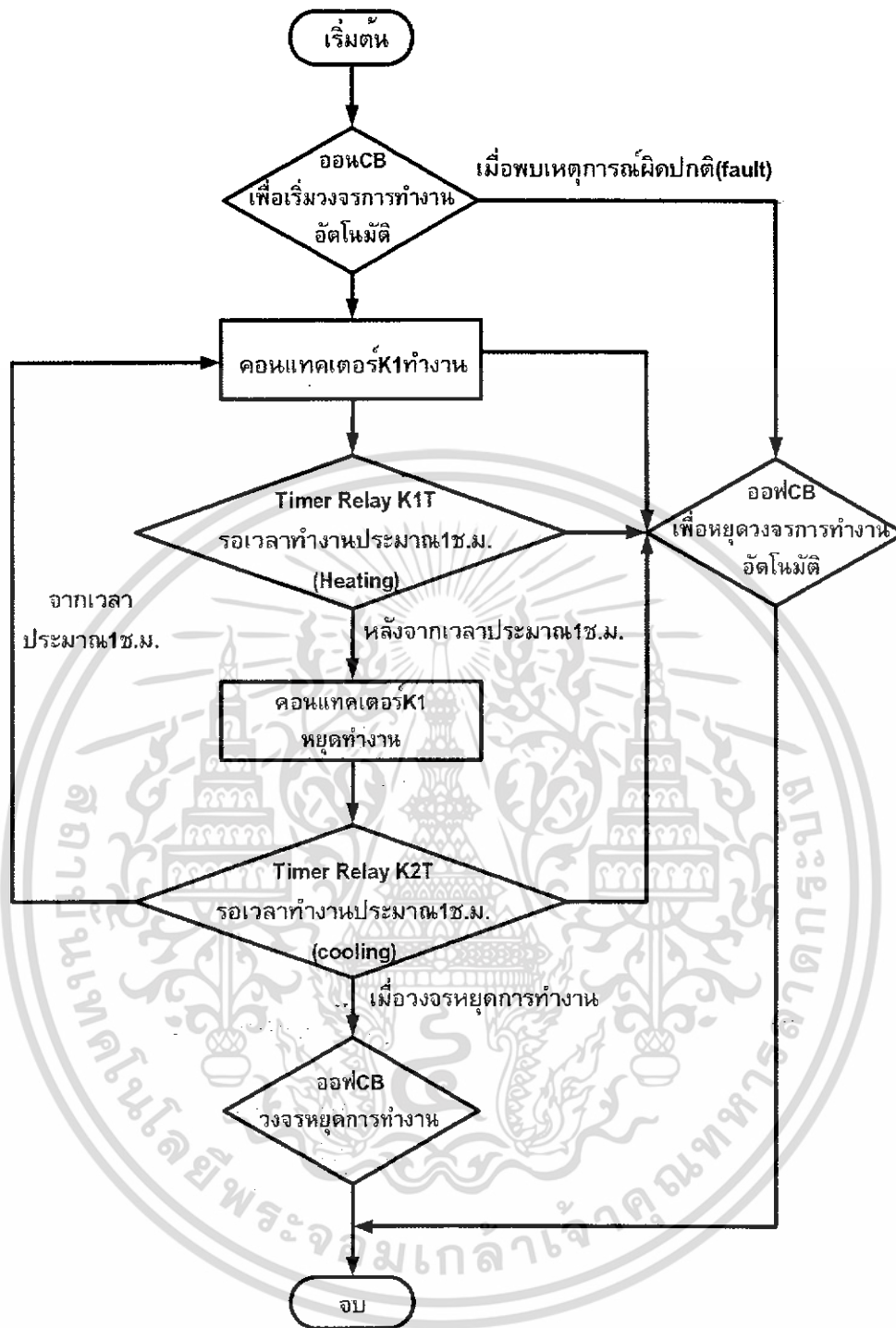


รูป 3.19 วงจรควบคุม

โดยกำหนดให้

CB	คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ 40 A.T.
K1	คือ คอนแทกเตอร์ ขนาด 80 A
K1A	คือ Auxiliary Contactor ขนาด 80A
K1T	คือ รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) หน่วงเวลาการทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าป้อนขด Coil ประมาณ 1 ชั่วโมง
K2T	คือ รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) หน่วงเวลาการทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าป้อนขด Coil ประมาณ 1 ชั่วโมง
S1	คือ Selector switch
L1,L2,L3	คือ หลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน

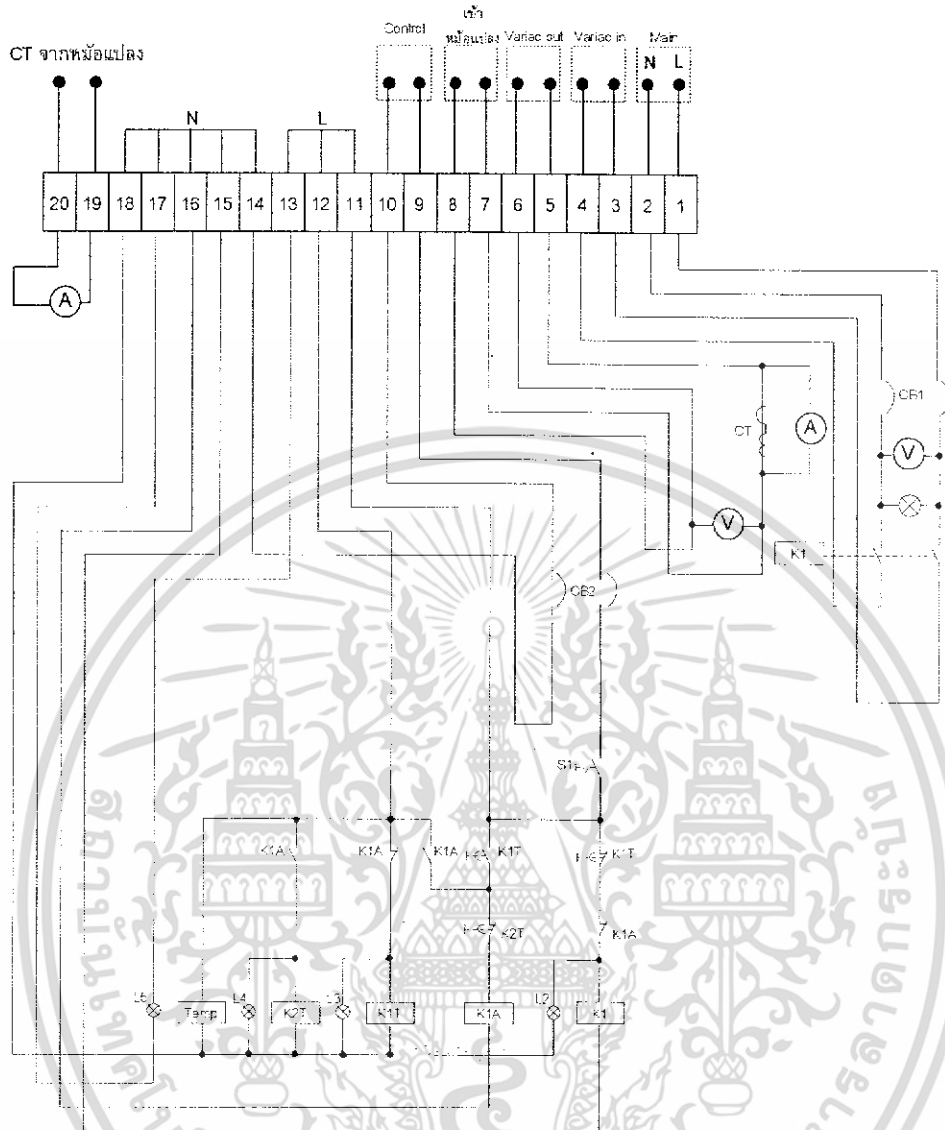
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 Flowchart วงจรควบคุมการทำงาน

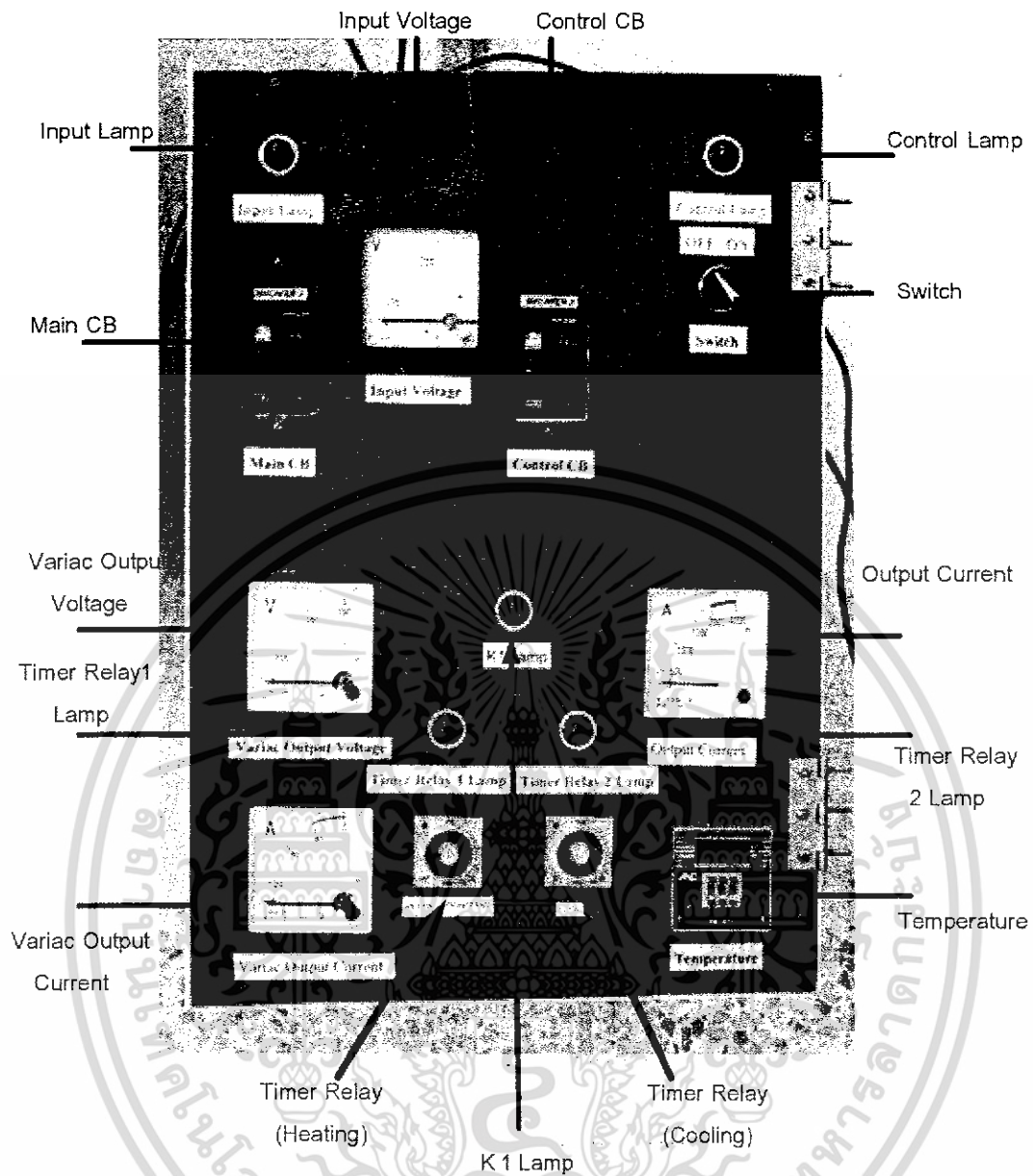
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 แบบแสดงต่อวงจรภายในชุดควบคุม



รูป 3.21 แบบวงจรการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

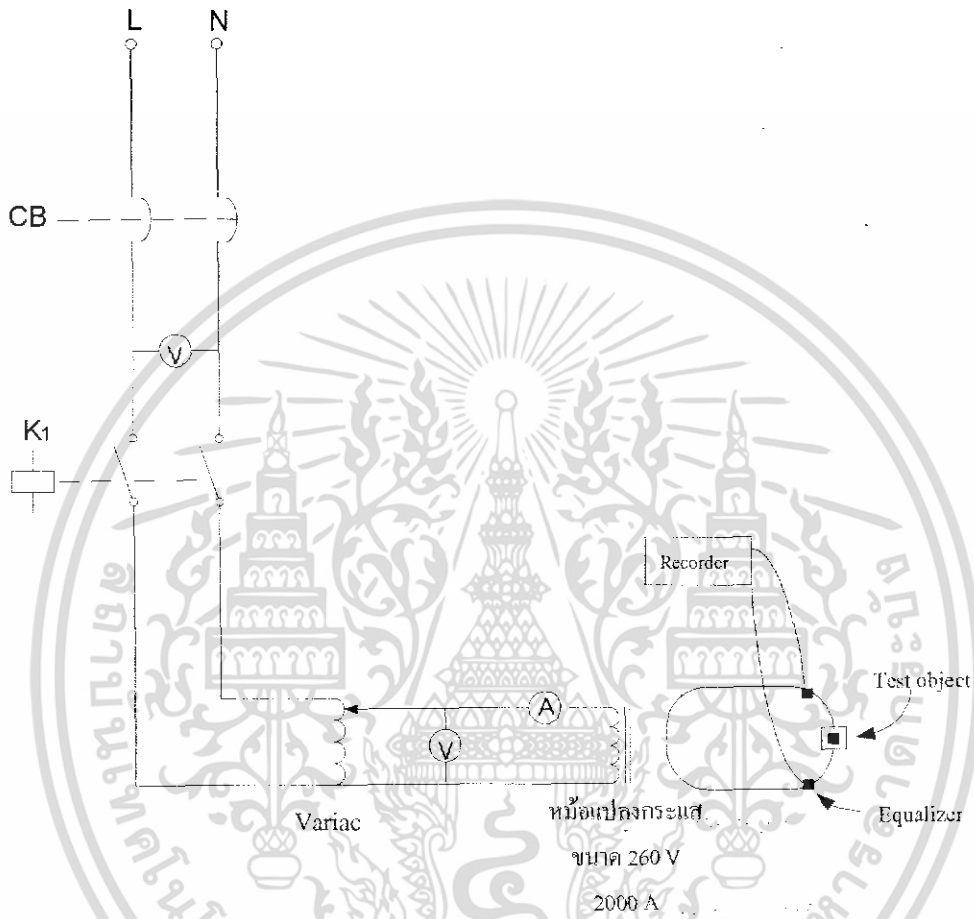


รูปที่ 3.22 ชุดควบคุมแรงดันกึ่งอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

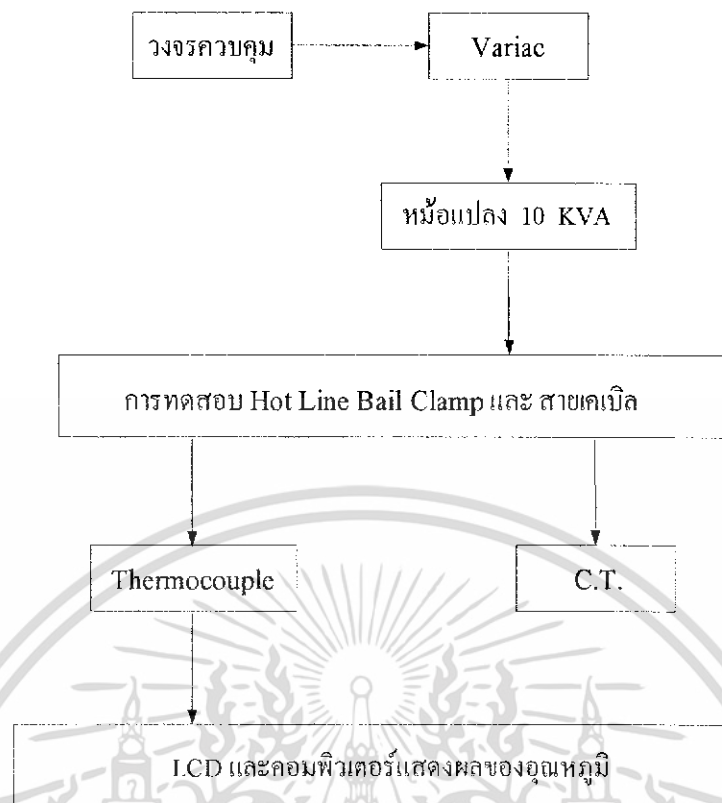
### 3.2.3 การทดสอบชุดคอนโทรลกับวงจรจำลอง

1. ทำการควบคุมอุณหภูมิห้องที่ใช้ทำการทดสอบให้ได้  $25^{\circ}\text{C}$  ตามมาตรฐานกำหนด
2. ต่อวงจรการทดลองตามรูป



รูปที่ 3.23 วงจรการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ

3. ป้อนแรงดันให้ชุดควบคุม ส่งผ่านไปสู่อุปกรณ์ Variac
4. ปรับเวลาของ Timer Relay ทั้งช่วง on และ off ที่ชุดควบคุมให้ได้ตามเวลาที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ( 1 ชั่วโมง )
5. ON ชุดควบคุมและทำการปรับ Variac เพื่อจ่ายแรงดันไปที่หม้อแปลงกระแส
6. ปรับแรงดันที่ Variac เพื่อให้กระแสไหลเข้าสู่วงจร
7. รอเวลาจน Timer ตัดการทำงาน เพื่อเข้าสู่ช่วง off
8. เมื่อเข้าสู่ช่วง Off ( ผ่านมาแล้ว 1 ชั่วโมง ตามที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 4 ) ให้ทำการบันทึกอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ชุด Hot-Line Bail Clamp โดยใช้ชุด Recorder ในการบันทึก
9. เมื่อ Timer Relay ตัดวงจรเข้าสู่ช่วง on จึงจะครบ 1 cycle
10. ทำการ off แรงดันที่ป้อนเข้าสู่ชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

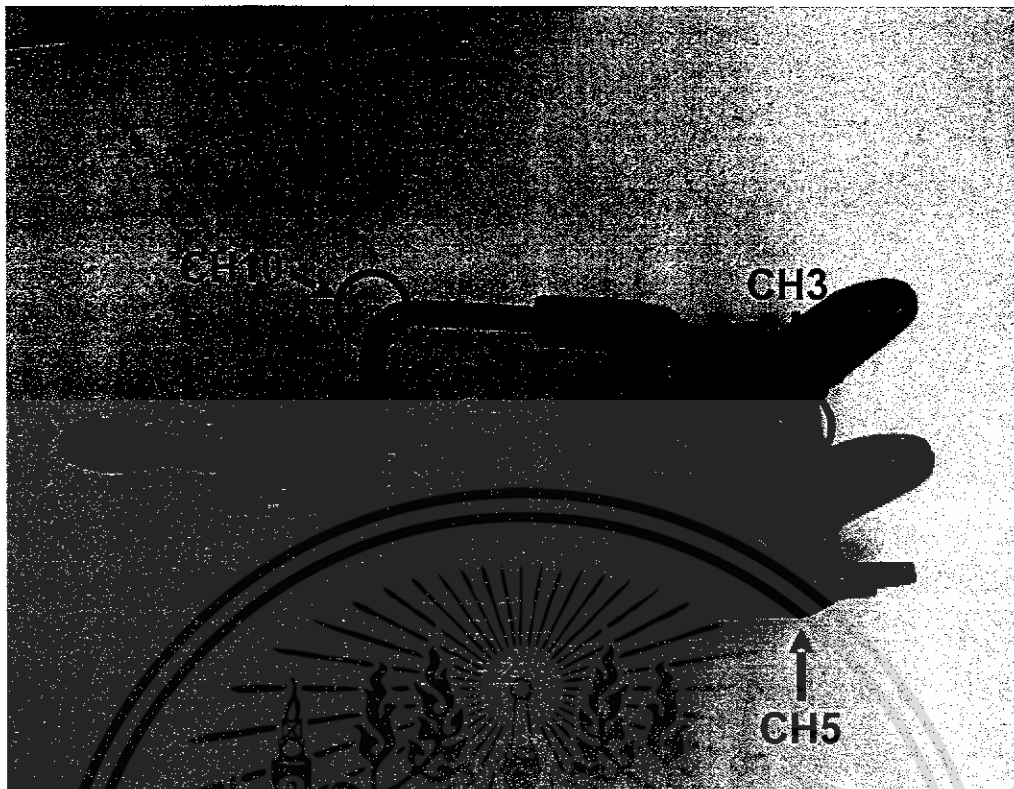
### 3.3 การหาจุดที่มีอุณหภูมิที่สูงที่สุดของ Hot Line Bail Clamp

ในการทดสอบหาอุณหภูมิของ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp แต่ละตัวนั้น จะต้องนำเทอร์โมคัปเปิลแต่ละเส้นไปติดตั้ง ณ จุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดของ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ในแต่ละตัว ดังนั้นจะต้องทำการหาจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดของ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ให้ได้เสียก่อนโดยวิธีการดังต่อไปนี้

#### การทดสอบ

นำเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 10 เส้นมาติดตั้งบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ตัวเดียวกันที่จุดต่างๆดังรูปที่ 3.25 แล้วทำการทดสอบตามมาตรฐานประมาณ 1 ไซเคิล โดยดูผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดเปรียบเทียบกับกันว่า ณ จุดใดมีอุณหภูมิสูงสุด โดยค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลนี้จะทำการบันทึกผลโดยใช้ Temperature Recorder

หลังจากที่ได้ข้อมูลของอุณหภูมิจาก Temperature Recorder มาแล้วจะนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น



ก)



ข)

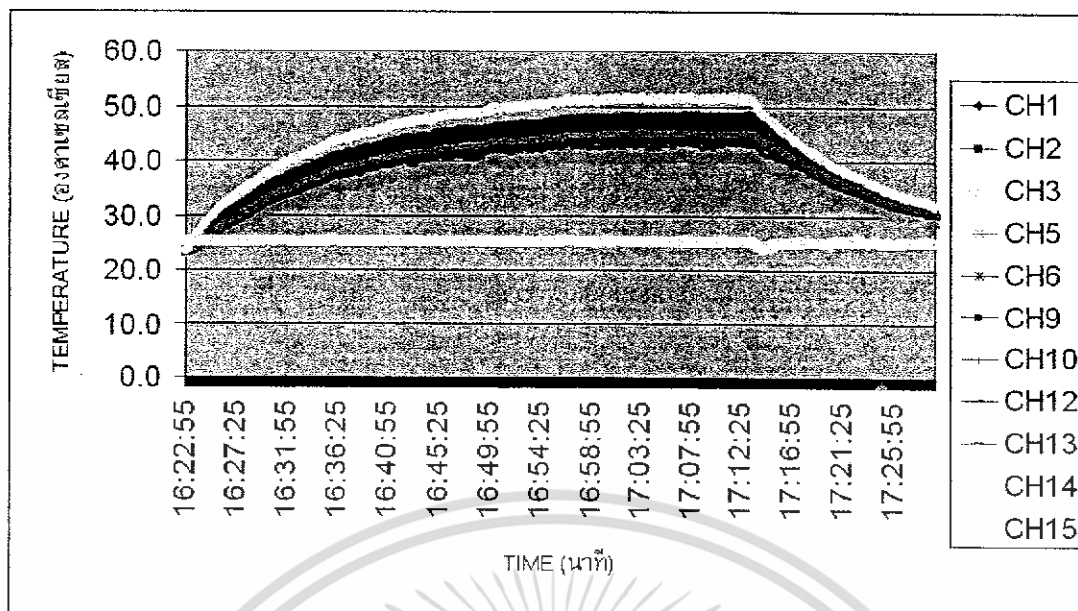
รูปที่ 3.25 ก) ข) ตำแหน่งการวางเทอร์โมคัปเปิล ณ จุดต่างๆบน Bail Clamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.22 ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ทุกๆ 5 นาที

เวลา	อุณหภูมิของแต่ละ Channel (°C)										
	CH1	CH2	CH3	CH5	CH6	CH9	CH10	CH12	CH13	CH14	CH15
16:22:55	22.9	23.5	23.2	22.9	23.3	22.9	23.3	23.3	23.3	23.5	25.0
16:27:55	31.7	30.9	30.6	28.1	31.6	29.3	31.4	29.5	30.1	34.5	25.4
16:32:55	37.3	36.3	35.8	32.4	37.6	34.7	36.7	34.0	35.5	40.4	24.9
16:37:55	40.2	40.5	39.2	35.5	41.5	38.3	40.4	37.6	39.0	44.6	25.5
16:42:55	42.9	42.3	41.3	37.2	44.1	40.4	42.7	39.1	41.2	46.9	25.0
16:47:55	44.4	43.7	43.0	38.4	45.5	41.9	44.3	40.4	42.6	48.7	25.3
16:52:55	44.6	45.6	44.1	40.3	46.5	42.7	45.0	42.3	43.7	50.0	25.3
16:57:55	45.8	46.1	44.5	40.3	47.6	43.5	46.0	42.5	44.5	50.8	25.0
17:02:55	46.3	46.3	45.0	40.1	47.8	43.8	46.2	42.5	45.0	51.3	25.4
17:07:55	46.3	46.8	45.3	40.9	48.2	44.2	46.4	43.0	45.1	51.5	25.4
17:12:55	46.5	45.3	45.3	40.5	47.9	44.1	46.5	43.0	45.0	51.2	25.2
17:17:55	39.4	40.4	39.4	36.9	41.7	39.1	40.1	38.4	39.7	42.6	25.3
17:22:55	34.6	35.3	34.3	32.8	36.2	34.3	35.2	34.2	34.7	36.8	25.3
17:27:55	31.1	31.8	31.2	29.8	32.3	31.2	31.7	31.0	31.5	33.0	24.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp

จากรูปที่ 3.26 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp จะสังเกตเห็นจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ CH14 จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ดังนั้นในการทดสอบจริงจะทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ ณ จุดนี้

### 3.4 วงจรจำลองการทดสอบ

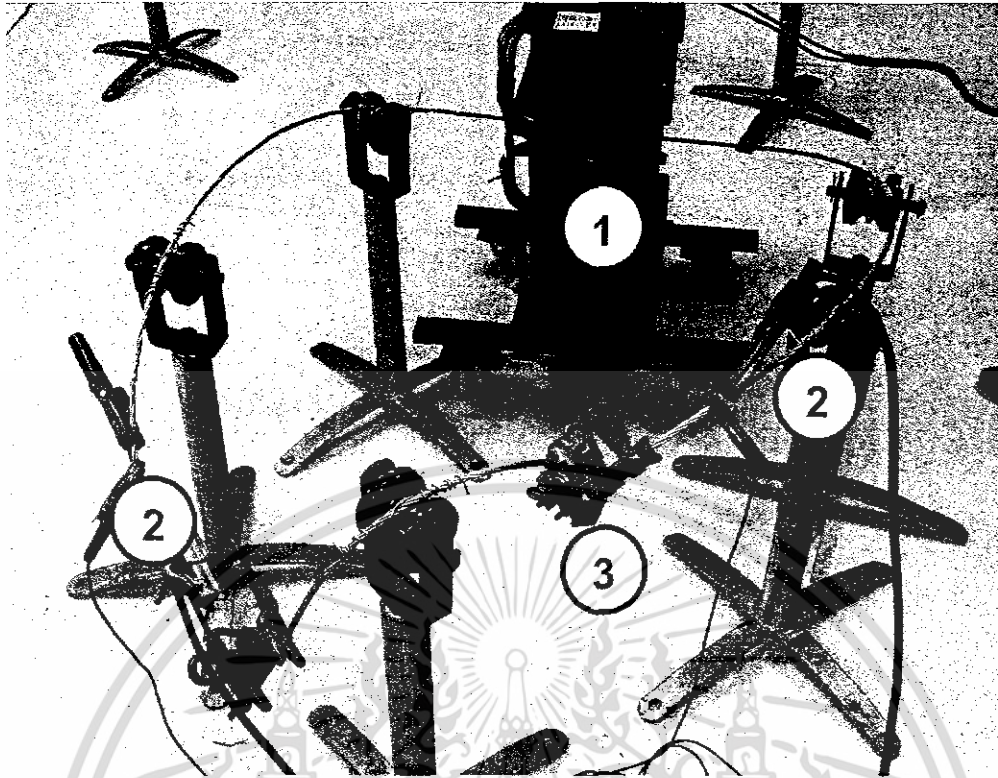
ก่อนที่จะทำการทดสอบจริง ต้องทำการจำลองวงจรการทดสอบขึ้นมาก่อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อให้เกิดทักษะในการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละตัว
2. เพื่อลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบจริง
3. เพื่อที่จะได้เรียนรู้ถึงปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้กับการทดสอบในวงจรจริง

### รูปแบบของวงจรจำลอง

ในวงจรการจำลองจะนำอุปกรณ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับ การทดสอบในวงจรจริง ซึ่งอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วก็ได้ โดยนำอุปกรณ์มาต่อเป็นลูปตามความเหมาะสมแล้วจึงทำการทดสอบตามมาตรฐาน เพื่อหาค่าอุณหภูมิและความต้านทาน ที่เกิดขึ้นกับวงจรทดสอบ ซึ่งในการทดสอบวงจรจำลองจะทำพร้อมๆกันกับการทดสอบชุดควบคุม การทดสอบหาจุดที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของ Bail Clamp และการทดสอบ ชุด Temperature Recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 วงจรจำลองการทดสอบเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการทดสอบจริง

- 1 คือ หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสูง 2000 A
- 2 คือ การวัดค่าความต้านทานโดยใช้วิธี V-I method
- 3 คือ Hot Line Bail Clamp ประกอบกับ Hot line Clamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วิธีการทดสอบ Hot line Bail clamp และ Hot line Clamp ตามมาตรฐาน

#### ANSI C119.4

การทดสอบ Hot line Bail clamp และ Hot line Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ

1. การทดสอบทางไฟฟ้า
2. การทดสอบทางกล

#### 3.5.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์

- จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ เช่น Hot line Bail Clamp, Hot Line Clamp และสายตัวนำ โดยในวงจรที่จะทำการทดสอบนั้นจะประกอบด้วย Hot Line Bail Clamp จำนวน 4 ตัว Hot Line Clamp 8 ตัว และ Equalizer ที่ต่อเข้ากับตัวนำ

- ทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อไม่ให้มีสิ่งสกปรกปะปนกับหน้าสัมผัส ซึ่งจะก่อให้เกิดความต้านทานขึ้นในวงจรการทดสอบ

- ประกอบวงจรที่ใช้ในการทดสอบโดยการประกอบวงจรที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะประกอบเป็นรูปซิกแซกและคล้องผ่านหม้อแปลง



ก)

ข)

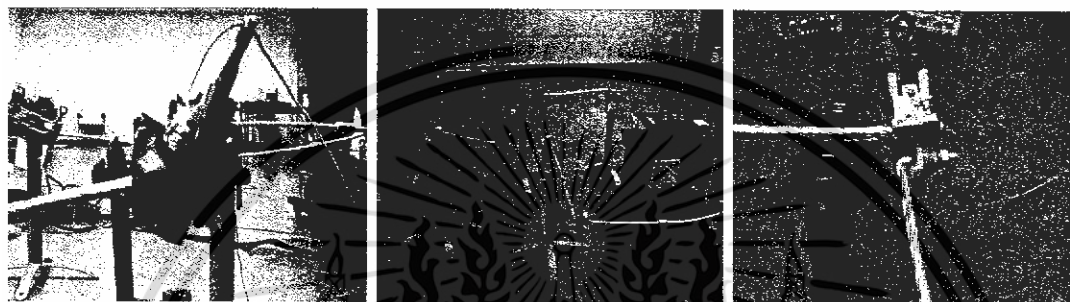
ค)

รูปที่ 3.28 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบและทำความสะอาด

- ก) ทำความสะอาด Hot line Bail Clamp
- ข) ทำความสะอาด Hot line Clamp
- ค) ทำความสะอาด ตัวนำ



รูปที่ 3.29 การประกอบ Equalizer กับสายตัวนำ



รูปที่ 3.30 การประกอบวงจรที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์

- การประกอบวงจรมันจะต้องคำนึงถึงค่าแรงบิดที่ใช้ขันตัว Hot line Bail Clamp และ Hot Line Clamp เข้ากับสายตัวนำ เพราะถ้าค่าแรงบิดที่ใช้ไม่สามารถทำให้อุปกรณ์ยึดจับกับตัวนำไม่สนิทนั้น จะมีผลทำให้ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นกับวัตถุทดสอบนั้นมีค่าสูงและส่งผลถึงความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัตถุทดสอบ



ก)

ข)

ค)

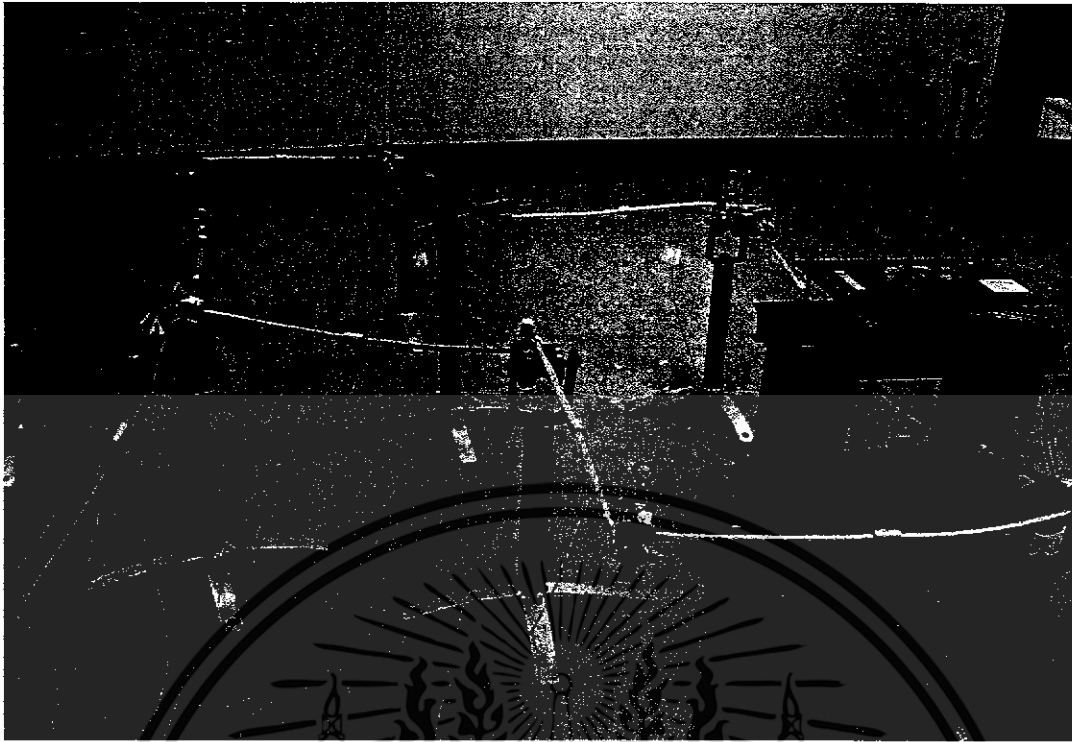
รูปที่ 3.31 การขันน็อตของตัว clamp โดยใช้ Torque Wrench

ก) การขันน็อตโดยใช้ Torque wrench ที่ Hot Line Bail Clamp

ข) การขันน็อตโดยใช้ Torque wrench ที่ Hot Line Clamp

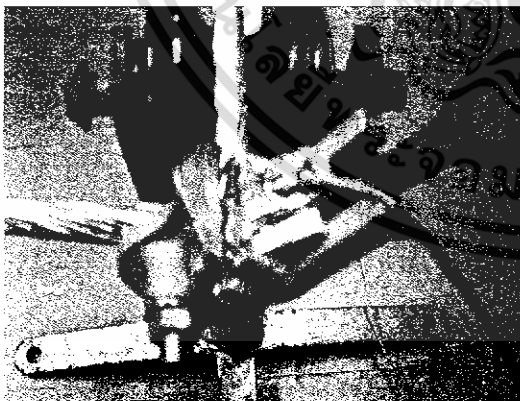
ค) การขันน็อตโดยใช้ Torque wrench ที่ Hot Line Clamp ส่วนที่แยกออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

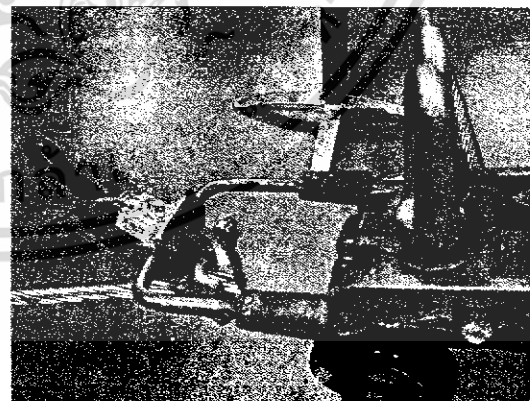


รูปที่ 3.32 วงจรสำเร็จที่ใช้ในการทดสอบ Hot line Bail Clamp และ Hot line Clamp

- ในการทดสอบ Hot line Bail Clamp และ Hot line Clamp จะทำการบันทึกอุณหภูมิของวัตถุทดสอบ ดังนั้นจึงใช้ Thermocouple มาช่วยในการวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้น โดย Thermocouple จะติดตั้งในส่วนของวัตถุทดสอบ ณ จุดที่มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดซึ่งจุดที่มีอุณหภูมิที่สูงที่สุดได้ทำการทดสอบมาเรียบร้อยแล้ว



ก)



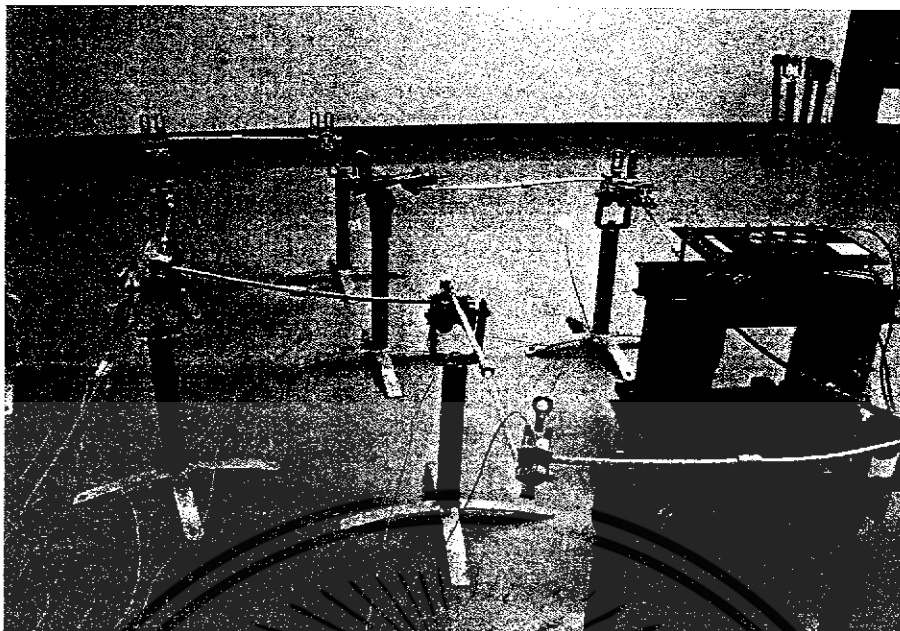
ข)

รูปที่ 3.33 การติดตั้ง Thermocouple

ก) การติดตั้ง Thermocouple ที่ Hot Line Clamp

ข) การติดตั้ง Thermocouple ที่ Hot Line Bail Clamp ประกอบกับ Hot Line Clamp

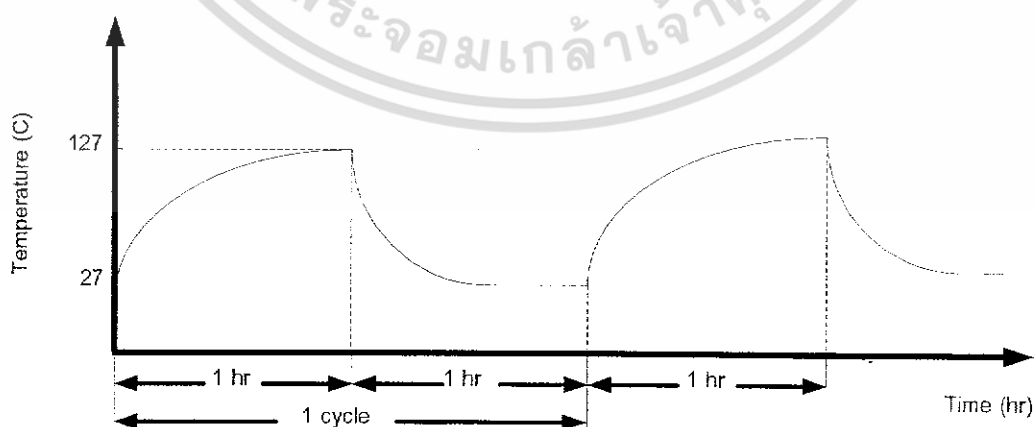
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 การติดตั้ง Thermocouple กับวัตถุทดสอบทั้งวงจร

### 3.5.2 การทดสอบทางไฟฟ้า

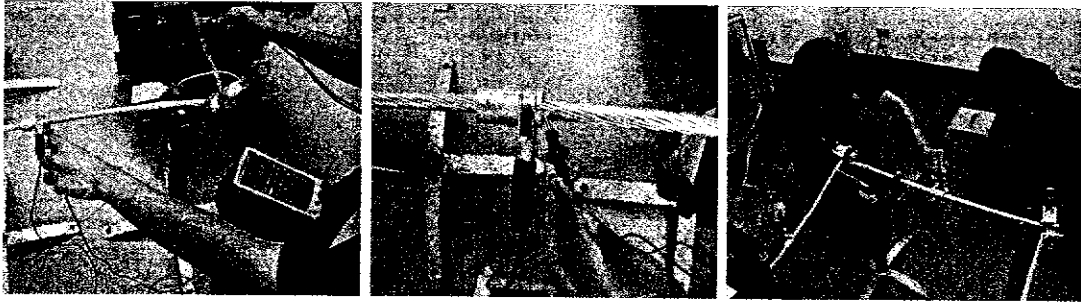
- การทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4 โดยจ่ายกระแสให้กับวงจรที่ทำการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหยุดจ่ายกระแสประมาณ 1 ชั่วโมง ช่วงที่จ่ายกระแสประมาณ 1 ชั่วโมง และหยุดจ่ายกระแสประมาณ 1 ชั่วโมงนั้นจะนับเป็น 1 cycle เมื่อเริ่มจ่ายกระแสให้กับวงจรใหม่จะนับเป็น cycle ที่ 2 การทดสอบจะทำการทดสอบอยู่ที่ 500 cycle โดยกระแสที่จ่ายให้กับวงจรการทดสอบนั้นใช้ค่าจากมาตรฐานที่แนะนำไว้ ยกตัวอย่างเช่น ที่ตัวนำขนาด 95 sq.mm. จะใช้กระแสที่ 380 A แต่บางกรณีได้เพิ่มค่าของกระแสจากเดิมไปที่ประมาณ 400 A จะทำการเปลี่ยนแปลงกระแสในช่วง 25 cycle แรกเท่านั้นเพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิโดยรอบๆและอุณหภูมิที่ตัว control conductor ให้ต่างกัน  $100-105^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.35 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิกับเวลาใน 1 cycle เมื่ออุณหภูมิขณะทำการทดลอง

เป็น  $27^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)

ข)

ค)

### รูปที่ 3.36 การวัดค่าความต้านทาน

ก) วิธีการวัดค่าความต้านทานโดยใช้วิธี V-I method

ข) ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดความต้านทาน

ค) แหล่งจ่ายไฟ DC และ Digital MultiMeter ที่ทำการวัดค่า

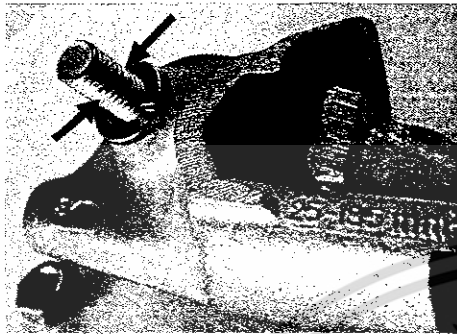
- การวัดค่าความต้านทานจะทำการวัดค่าความต้านทานของ Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ที่อยู่ในระบบ การวัดค่าความต้านทานนั้นจะวัดที่ตัว Equalizer ติดตั้งอยู่กับตัวนำ โดยจะใช้วิธี V-I method และคำนวณค่าความต้านทานออกมา

- การบันทึกผลของค่าความต้านทาน จะบันทึกผลในช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุทดสอบทุกตัวลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิโดยรอบของห้อง และจะบันทึกค่าความต้านทาน ณ cycle ที่ 25,50,75,100,125,165,205,250,320,405,500

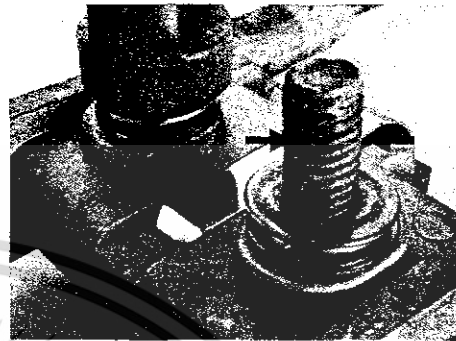
- ค่าอุณหภูมิและค่าความต้านทานของวัตถุทดสอบที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ว่าวัตถุที่ทดสอบนั้นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดหรือไม่

### 3.5.3 การทดสอบทางกล

- เป็นการทดสอบความคงทนของ Hot line bail clamp และ Hot line clamp โดยทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C119.4 การทดสอบโดยเพิ่มแรงบิดที่นอตซึ่งค่าของแรงบิดที่ใช้จะพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของนอตตั้งรูปที่ 1ก) และ ข)



ก)



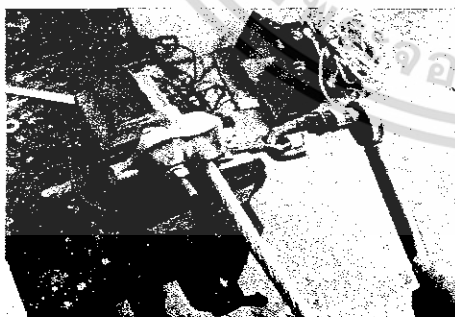
ข)

รูปที่ 3.37 การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพื่อเลือกค่าแรงบิดตามมาตรฐาน ANSI C119.4

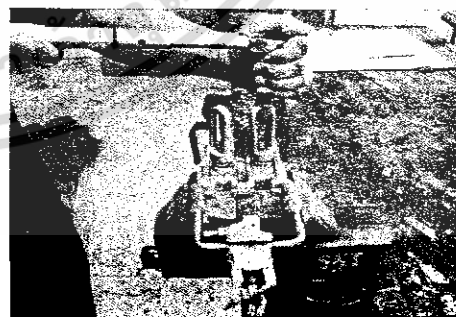
ก) เส้นผ่าศูนย์กลางของนอตที่ Hot line clamp

ข) เส้นผ่าศูนย์กลางของนอตที่ Hot line bail clamp

- ค่าแรงบิดที่ใช้การทดสอบต้องมีค่าที่ 120 เปอร์เซ็นต์ของแรงบิดตามที่มาตรฐานกำหนด โดยประกอบตัวนำเข้ากับ Hot line bail clamp และ Hot line clamp ในขณะที่ทำการทดสอบ ทำการยึด Hot line bail clamp และ Hot line clamp ให้ล็อกอยู่กับที่โดยใช้ปากกาจับชิ้นงาน จากนั้นจึงทำการทดสอบแรงบิดโดยใช้ Torque Wrench ด้วยค่าแรงบิด 120 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงบิดตามที่มาตรฐานกำหนด ถ้าในการทดสอบเกิดมีรอยแตกร้าวหรือเกิดความเสียหายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าขึ้นกับ Hot line Bail clamp และ Hot line clamp แสดงว่าไม่ผ่านข้อกำหนดของมาตรฐาน



ก)



ข)

รูปที่ 3.38 การทดสอบแรงบิดตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998

ก) ทดสอบแรงบิดที่ Hot line clamp

ข) ทดสอบแรงบิดที่ Hot line bail clamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ผลการทดสอบ

#### 3.6.1 การทดสอบ connector กับสายตัวนำขนาด 95 SQ.MM.

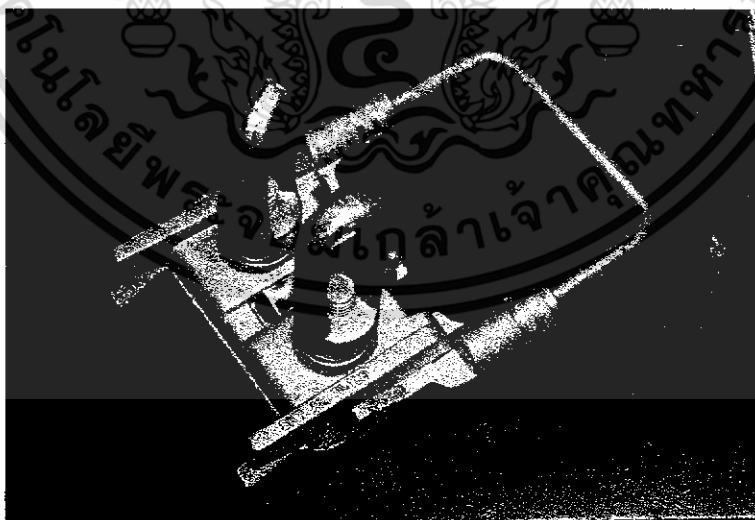
##### 1 วัสดุทดสอบ

1. Hot Line Clamp ขนาด 25-185 SQ.MM.



รูปที่ 3.39 Hot Line Clamp ขนาด 25-185 SQ.MM.

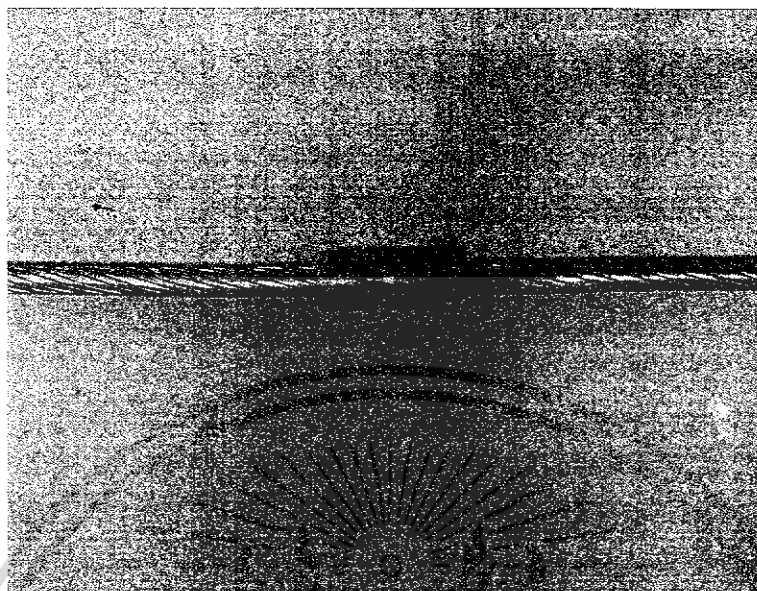
2. Hot Line Bail Clamp ขนาด 70-185 SQ.MM.



รูปที่ 3.40 Hot Line Bail Clamp ขนาด 70-185 SQ.MM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Bare stranded aluminum conductors size 95 SQ.MM



รูปที่ 3.41 Bare stranded aluminum conductors size 95 SQ.MM

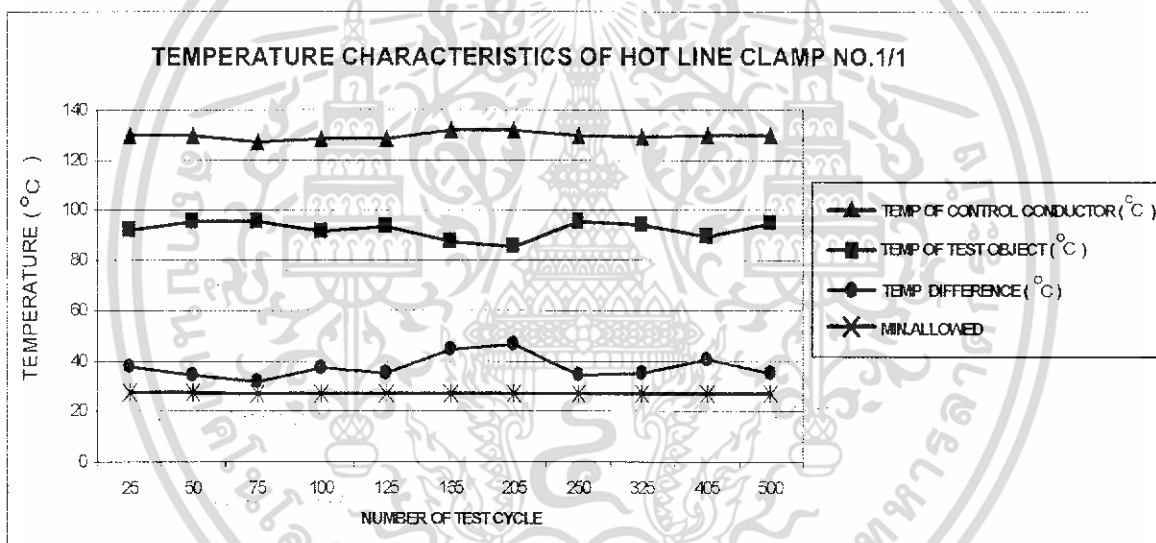
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 ผลการทดสอบ

### 2.1 ผลของอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.23 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/1

OBJECT NO. 1/1											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT TEMPT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	92.2	95.6	95.8	91.6	93.3	87.4	85.7	95.9	94.2	89.4	94.6
TEMP DIFFERENCE (°C)	37.6	34.3	31.3	36.8	35.0	44.6	46.3	34.3	35.2	40.6	35.1
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	37.37 - 10 = 27.37										

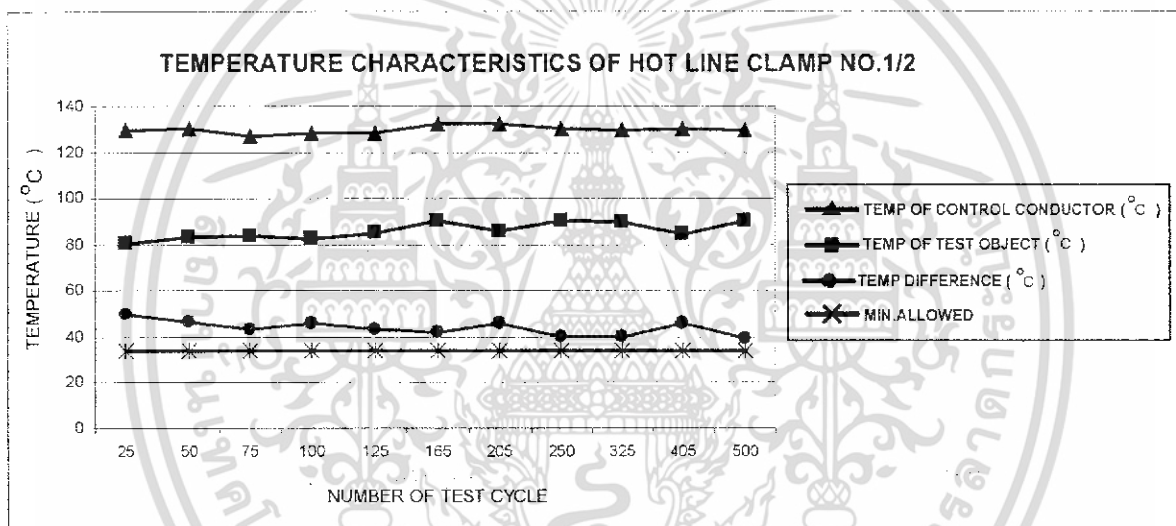


รูปที่ 3.42 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.24 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO.1/2

OBJECT NO. 1/2											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	80.3	83.2	83.6	82.4	85.1	90.1	96.0	90.5	89.7	84.4	90.6
TEMP DIFFERENCE (°C)	49.5	46.7	43.5	46.0	43.2	41.9	46.0	39.7	39.7	45.6	39.1
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	43.72 - 10 = 33.72										

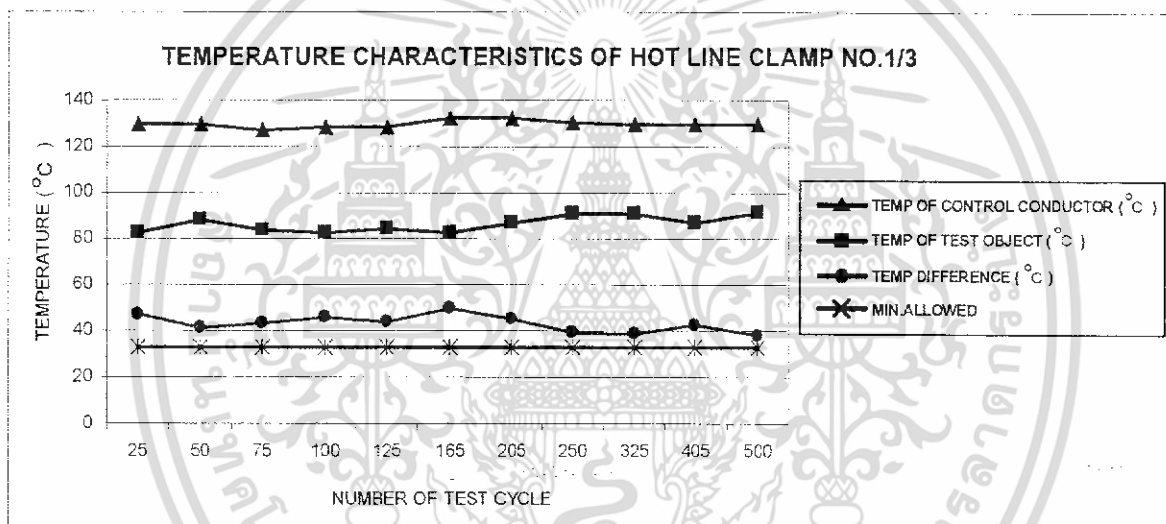


รูปที่ 3.43 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.25 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/3

OBJECT NO. 1/3											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	125.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	82.7	88.6	83.9	82.7	84.7	82.5	87.1	90.9	90.7	87.1	91.8
TEMP DIFFERENCE (°C)	47.1	41.3	43.2	45.7	43.6	49.5	44.9	39.3	38.7	42.9	37.9
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C) )										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	43.1 - 10 = 33.1										

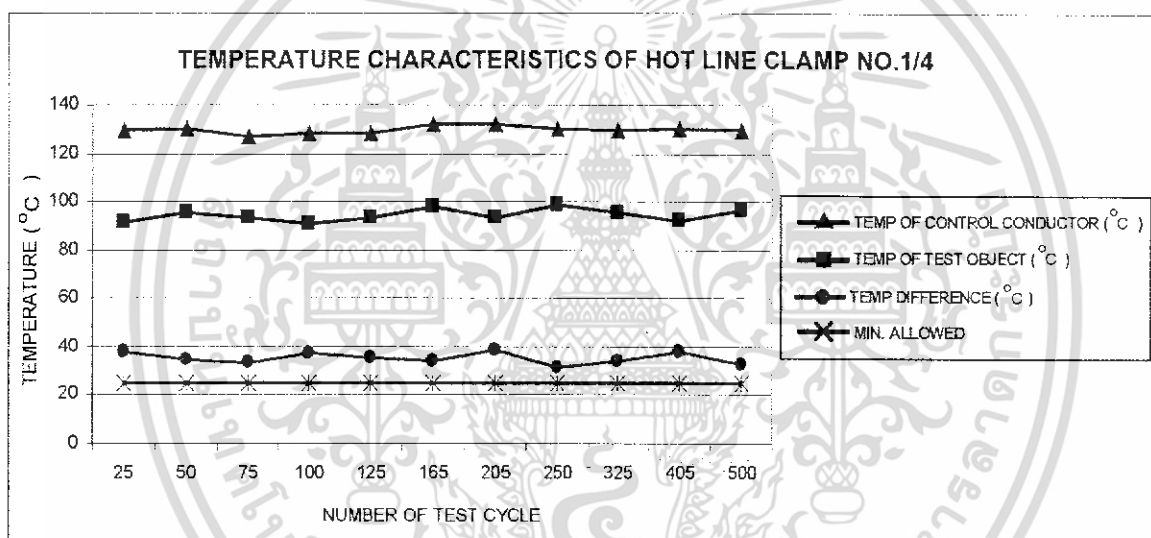


รูปที่ 3.44 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.26 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/4

OBJECT NO. 1/4											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	91.6	95.5	93.5	91.2	93.3	98.2	93.6	98.8	95.2	92.1	96.9
TEMP DIFFERENCE (°C)	38.2	34.4	33.6	37.2	35.0	33.8	38.4	31.4	34.2	37.9	32.8
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°c))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	35.17 - 10 = 25.17										

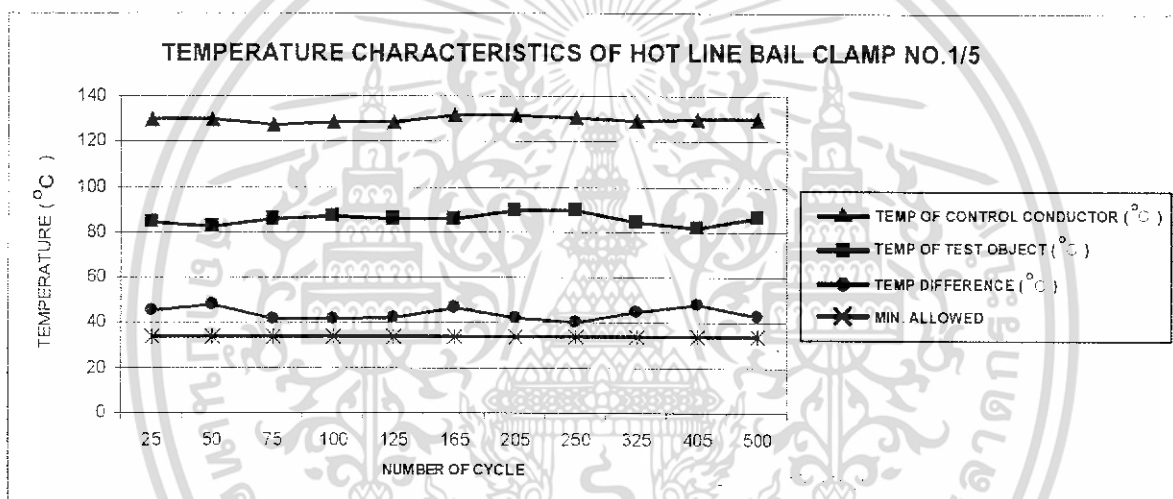


รูปที่ 3.45 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM NO. 1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.27 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/5

OBJECT NO. 1/5											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	84.2	82.2	85.5	87.1	85.8	85.6	89.8	89.7	84.4	82.1	86.6
TEMP DIFFERENCE (°C)	45.6	47.7	41.6	41.3	42.5	46.4	42.2	40.5	45.0	47.9	43.1
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	43.98 - 10 = 33.98										

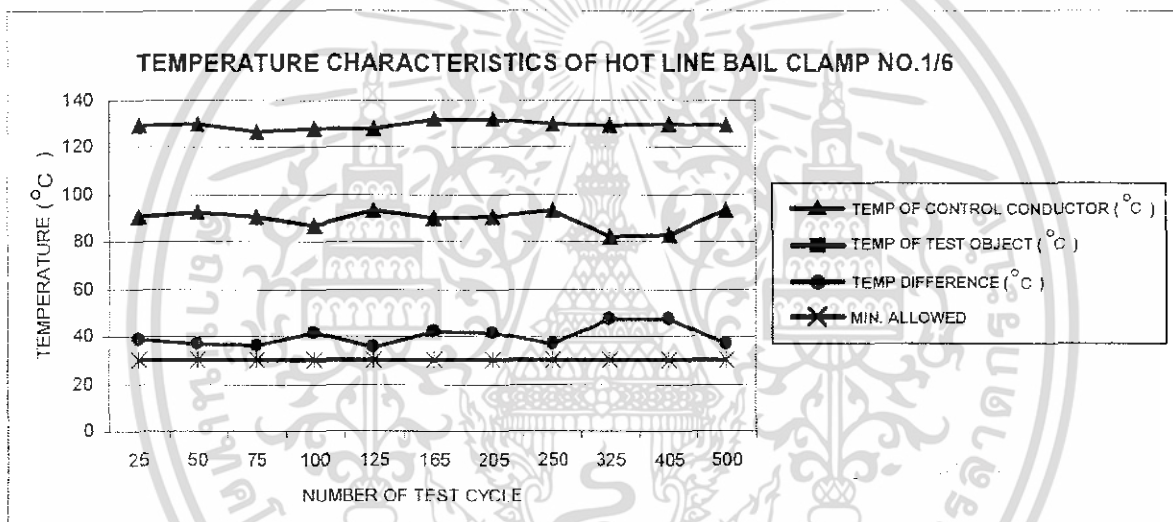


รูปที่ 3.46 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.28 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/6

OBJECT NO. 1/6											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	91.0	92.8	90.7	88.7	93.1	90.2	90.4	93.2	82.3	82.5	93.1
TEMP DIFFERENCE (°C)	38.8	37.1	36.4	41.7	35.2	41.8	41.6	37.0	47.1	47.5	36.6
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	40.07 - 10 = 30.07										

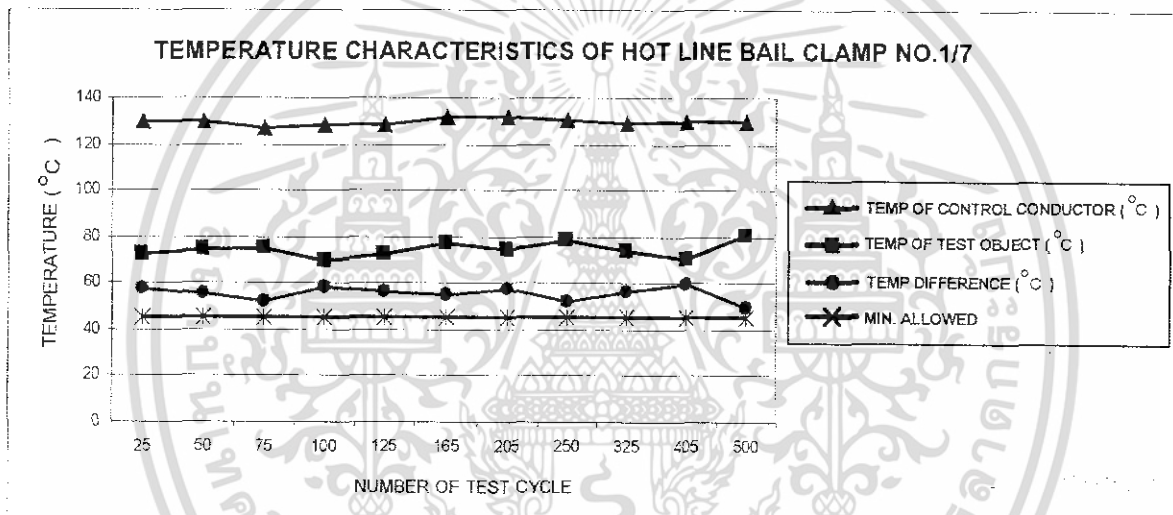


รูปที่ 3.47 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.29 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/7

OBJECT NO. 1/7											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	72.6	74.7	75.2	69.9	72.5	77.0	74.3	78.3	73.5	70.2	80.2
TEMP DIFFERENCE (°C)	57.2	55.2	51.9	58.5	55.8	55.0	57.7	51.9	55.9	59.8	49.5
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	55.31 - 10 = 45.31										

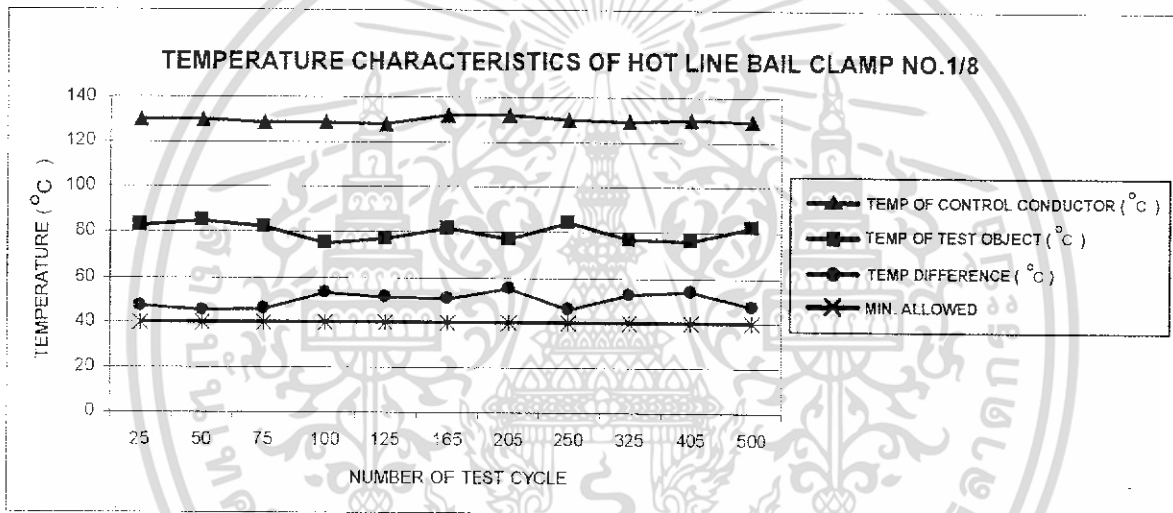


รูปที่ 3.48 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.30 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/8

OBJECT NO. 1/8											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	410.2	410.1	409.9	409.8	409.6	409.5	410.1	410.2	410.5	410.3	410.4
AMBIENT (°C)	28.7	28.4	27.7	27.2	27.5	26.6	27.7	28.2	27.9	26.8	27.9
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	129.8	129.9	127.1	128.4	128.3	132.0	132.0	130.2	129.4	130.0	129.7
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	83	84.6	82.6	75.2	76.9	81.9	76.9	84.3	76.8	76.2	82.6
TEMP DIFFERENCE (°C)	46.6	45.3	45.9	53.2	51.4	50.1	55.1	45.9	52.6	53.8	47.1
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	49.75 - 10 = 39.75										



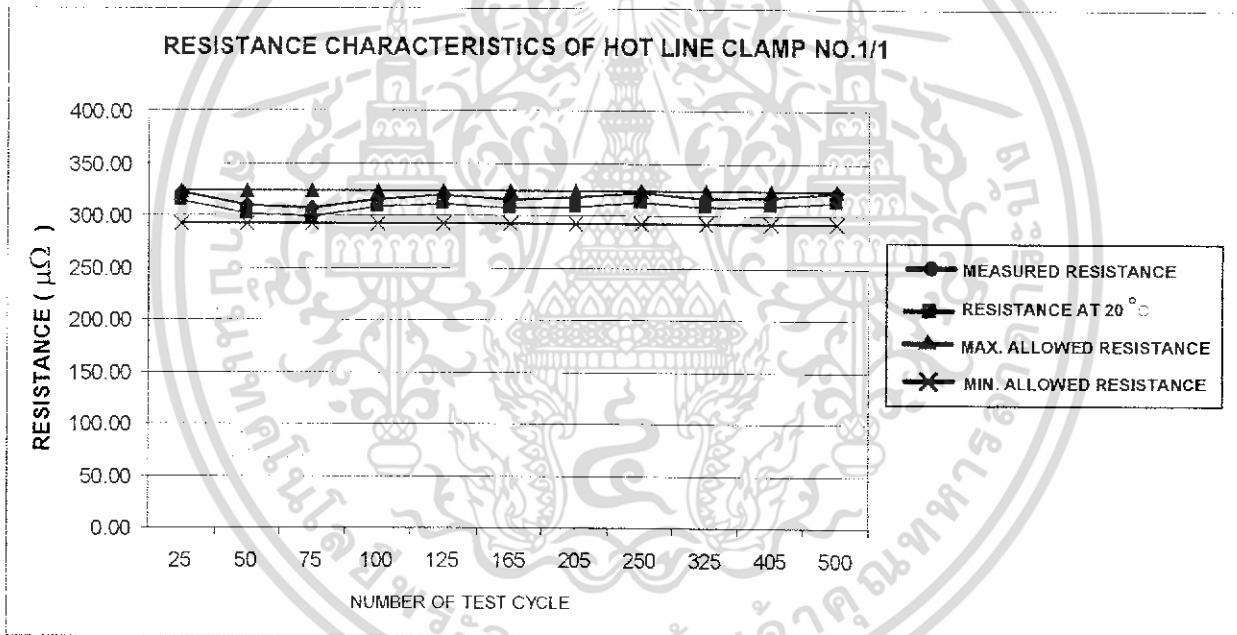
รูปที่ 3.49 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO. 1/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ผลของความต้านทาน

ตารางที่ 3.31 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/1

NUMBER 1/1	HOT LINE CLAMP 25-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	27.5	27.8	28	27.1	26.9	27.2	27.8	27.9	27.2	27.8	27.9
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	322.35	309.36	307.21	315.59	319.33	315.06	317.67	321.67	315.98	317.95	321.28
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	313.88	300.91	298.61	307.72	311.59	307.10	308.99	312.77	308.00	309.27	312.50
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	308.29										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	323.71										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	292.88										

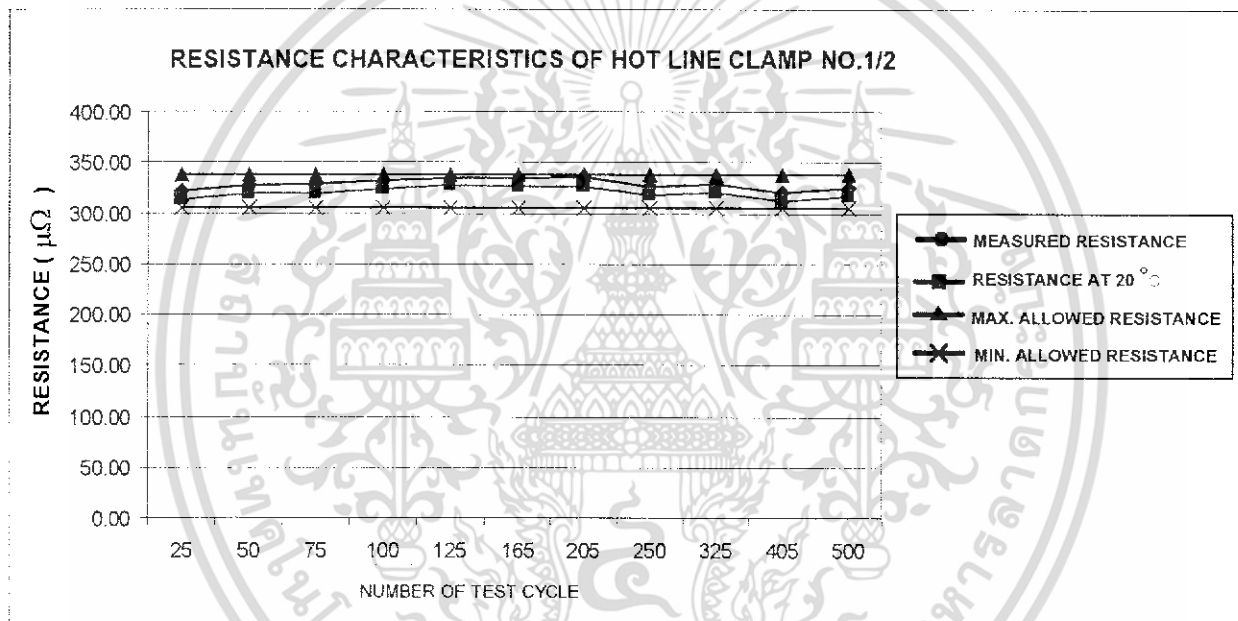


รูปที่ 3.50 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.32 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/2

NUMBER1/2	HOT LINE CLAMP 25-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	28.10	27.80	27.30	27.10	26.90	27.50	28.10	27.30	27.60	26.20	27.30
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	321.82	327.78	328.43	331.25	335.14	334.51	335.56	326.48	329.31	321.26	325.46
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	313.36	318.63	319.24	322.99	327.02	326.06	326.39	317.45	320.99	312.49	315.46
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	320.12										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	336.12										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	304.11										

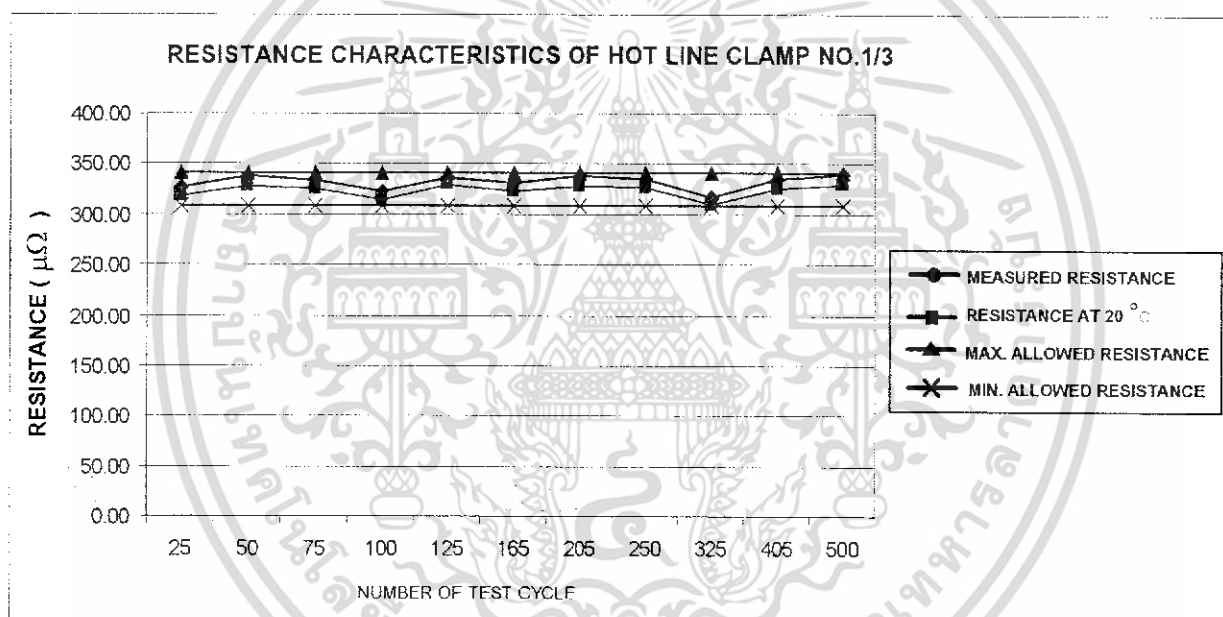


รูปที่ 3.51 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.33 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/3

NUMBER1/3	HOT LINE CLAMP 25-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	25.00	27.80	27.40	27.00	27.70	27.40	27.50	27.70	27.60	26.30	27.10
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	327.2	337.83	333.73	322.09	336.89	330.89	337.29	335.68	317.31	334.55	338.59
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	318.6	328.60	324.39	314.06	328.72	322.53	328.08	326.40	309.29	325.41	329.23
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	323.21										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	339.37										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	307.05										

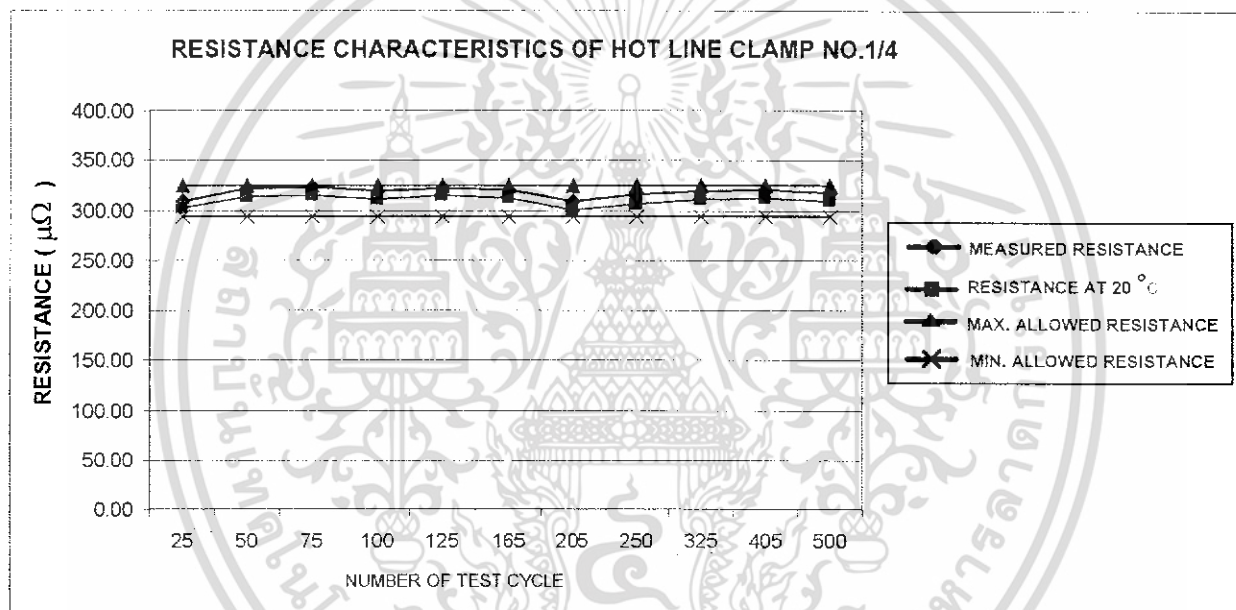


รูปที่ 3.52 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.34 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/4

NUMBER 1/4	HOT LINE CLAMP 25-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	28.00	28.10	27.40	26.80	27.20	27.30	27.50	27.30	27.90	27.10	27.10
RESISTANCE (μΩ)	309.59	322.48	323.60	319.22	322.15	320.68	309.36	315.63	318.82	320.59	318.13
RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	301.45	313.67	314.54	311.26	314.34	312.58	300.91	306.90	310.76	311.83	309.33
AV. RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	309.78										
MAX ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	325.27										
MIN ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	294.29										

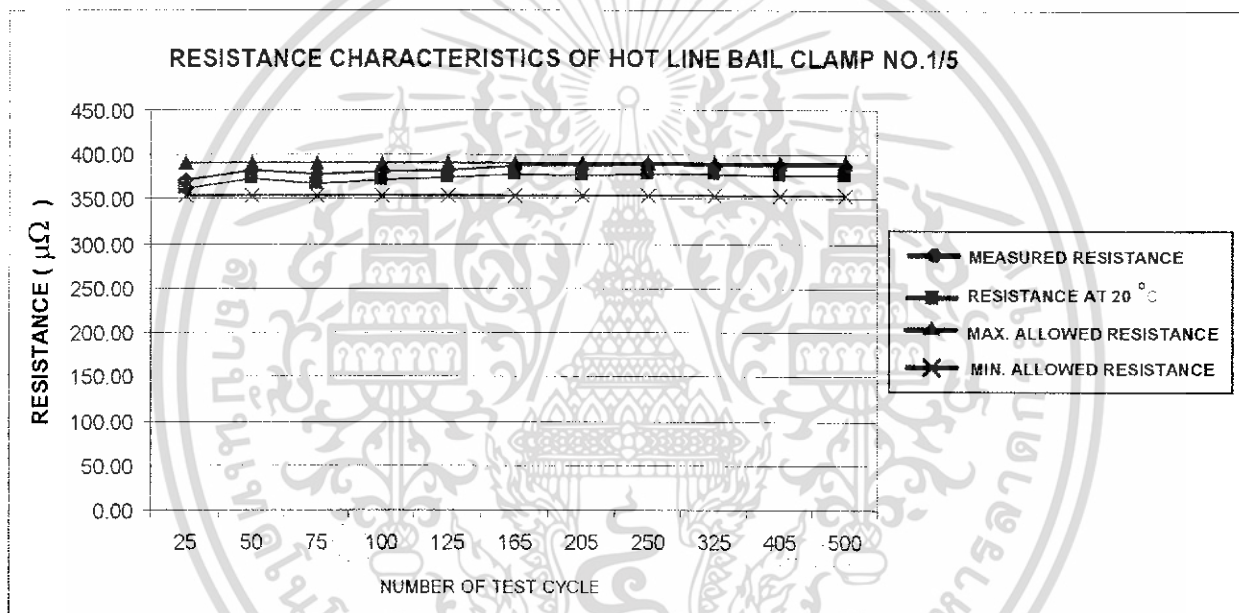


รูปที่ 3.53 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO. 1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.35 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/5

NUMBER1/5	HOT LINE BAIL CLAMP 70-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	28.10	27.90	28.30	26.80	27.00	27.50	27.30	27.40	27.70	26.40	27.10
RESISTANCE (μΩ)	371.12	385.31	377.52	380.72	383.33	368.05	387.24	388.48	386.19	386.92	387.39
RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	361.36	372.84	366.95	371.23	374.03	378.25	376.66	377.74	378.38	376.35	376.68
AV. RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	373.68										
MAX ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	392.36										
MIN ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	355.00										

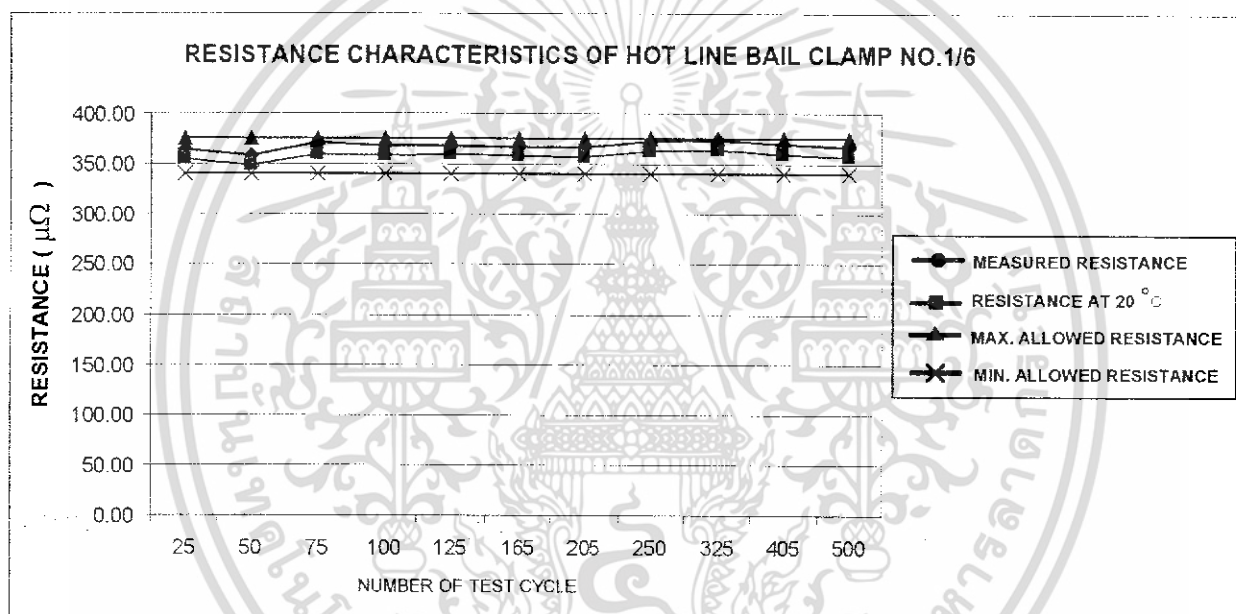


รูปที่ 3.54 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.36 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/6

NUMBER1/6	HOT LINE BAIL CLAMP 70-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	28.10	28.40	28.00	27.20	27.10	27.80	27.80	27.80	27.50	26.80	27.40
RESISTANCE (μΩ)	363.89	359.21	370.99	368.42	369.22	367.90	367.24	373.59	374.34	370.09	366.99
RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	354.32	349.4	360.60	359.24	360.27	358.60	357.21	363.26	364.68	359.98	356.64
AV. RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	358.60										
MAX ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	376.53										
MIN ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	340.67										

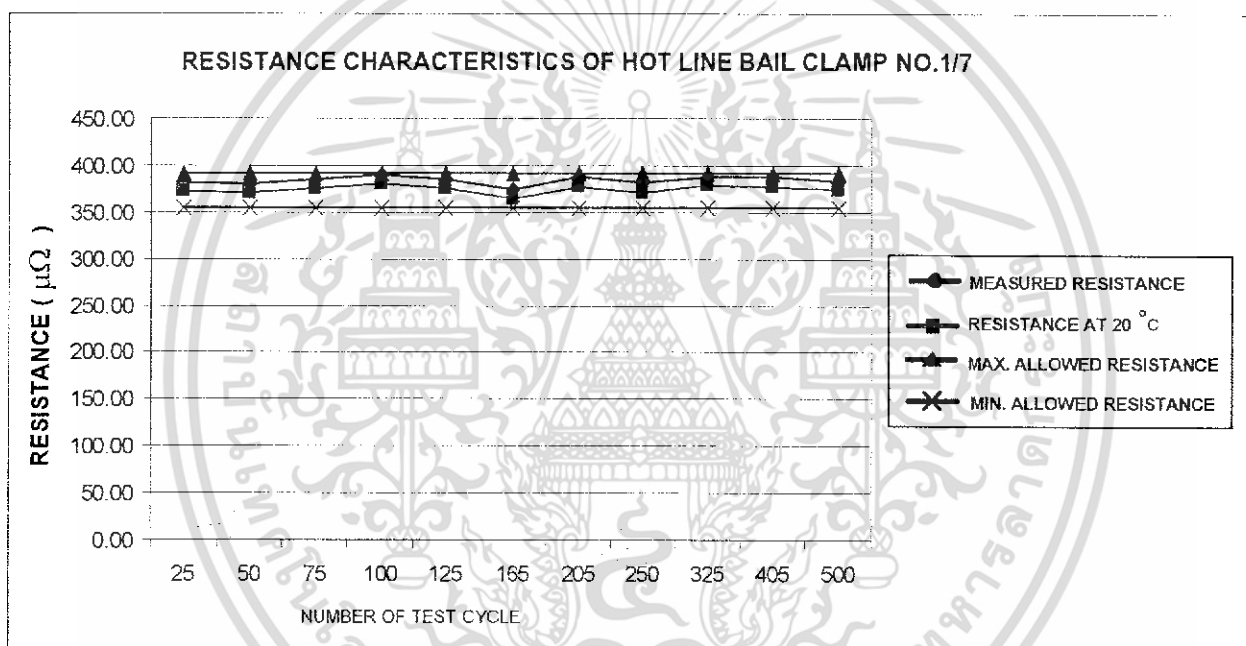


รูปที่ 3.55 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.37 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/7

NUMBER1/7	HOT LINE BAIL CLAMP 70-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	28.10	28.30	27.50	27.10	28.30	27.30	27.90	27.50	27.60	27.10	27.20
RESISTANCE (μΩ)	381.73	380.38	385.70	390.69	385.01	374.15	388.21	381.85	387.97	388.39	383.83
RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	371.69	369.99	374.90	380.95	375.68	364.7	377.61	371.29	378.17	377.78	373.22
AV. RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	374.18										
MAX ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	392.89										
MIN ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	355.47										

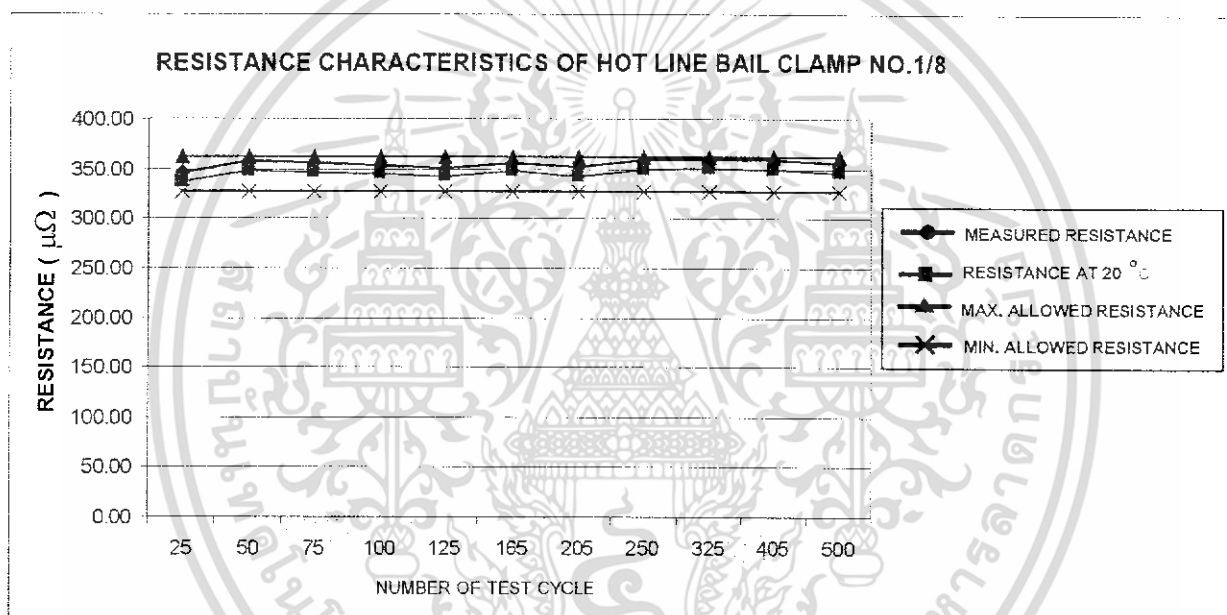


รูปที่ 3.56 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.38 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO. 1/8

NUMBER 1/8	HOT LINE BAIL CLAMP 70-185 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	28.40	27.80	27.90	26.80	26.90	27.40	27.50	27.30	27.50	26.80	27.20
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	346.25	357.68	356.55	354.17	350.52	356.39	352.37	358.96	359.47	359.01	355.91
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	337.14	347.91	346.57	345.34	342.02	347.39	342.75	349.03	350.39	349.20	346.07
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	345.80										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	363.09										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	328.51										



รูปที่ 3.57 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM. NO.1/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ผลของแรงบิด

ตารางที่ 3.39 แรงบิดของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-185 SQ.MM. NO.1/1-1/4

Test description	Spec.	Test result			
		No.1/1	No.1/2	No.1/3	No.1/4
Dimension	Dwg.No.160/97	Passed	Passed	Passed	Passed
Assembled with bare conductor	Aluminium 25-185 SQ.MM	Passed	Passed	Passed	Passed
Torque Strength Test with Aluminium 25-185 SQ.MM	201.6 lbs.-in	Passed	Passed	Passed	Passed

ตารางที่ 3.40 แรงบิดของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 70-185 SQ.MM NO.1/5-1/8

Test description	Spec.	Test result			
		No.1/5	No.1/6	No.1/7	No.1/8
Dimension	Dwg.No.159/97	Passed	Passed	Passed	Passed
Assembled with bare conductor	Aluminium 70-185 SQ.MM	Passed	Passed	Passed	Passed
Torque Strength Test with Aluminium 70-185 SQ.MM	360 lbs.-in	Passed	Passed	Passed	Passed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 การทดสอบ connector กับสายตัวนำขนาด 50 SQ.MM.

#### 1 วัสดุทดสอบ

1. Hot Line Clamp ขนาด 25-50 SQ.MM.



รูปที่ 3.58 Hot Line Clamp ขนาด 25-50 SQ.MM.

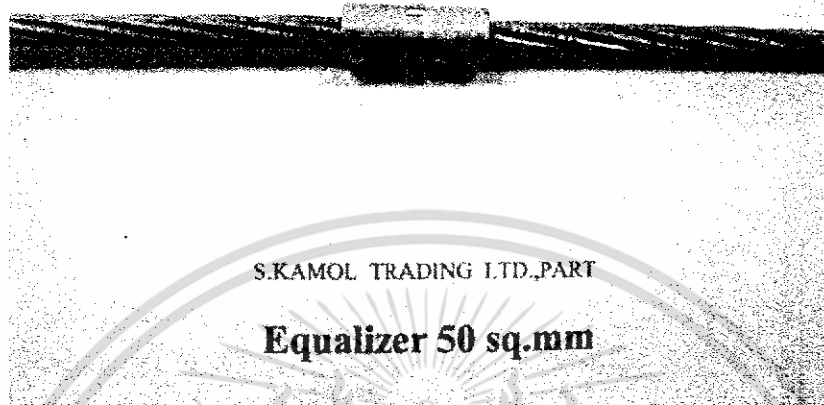
2. Hot Line Bail Clamp ขนาด 25-50 SQ.MM.



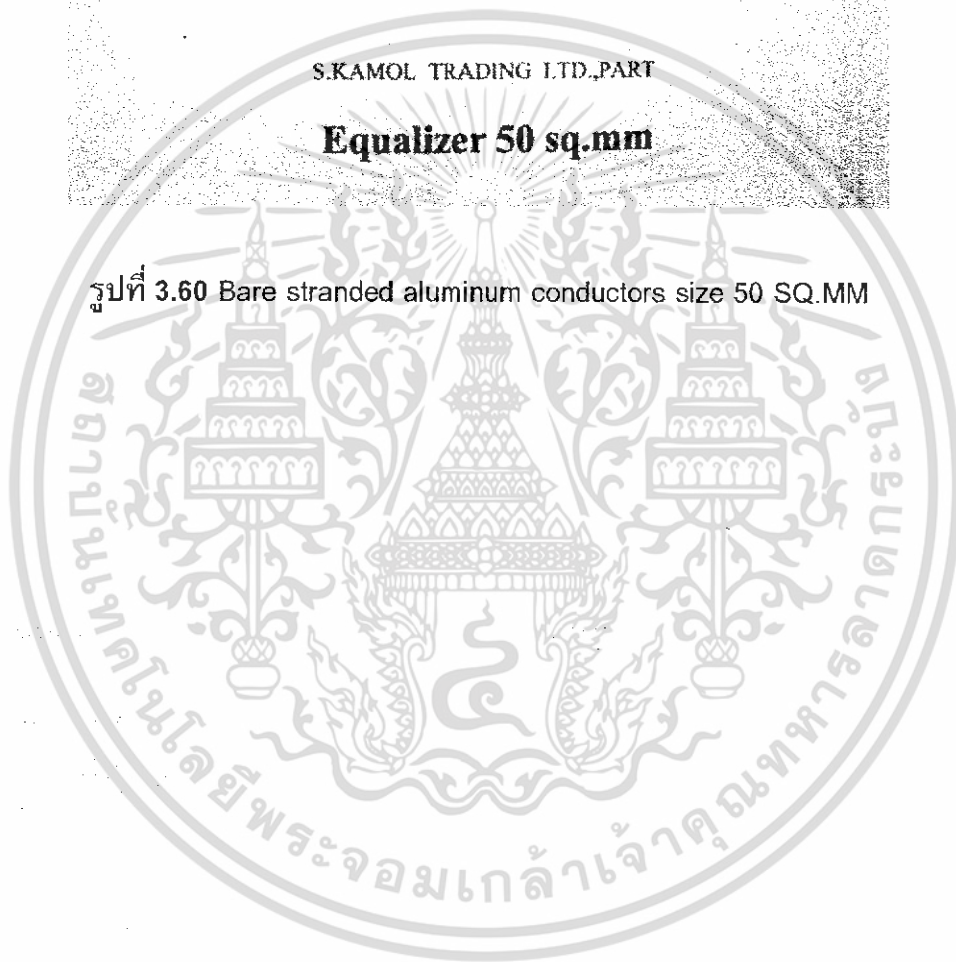
รูปที่ 3.59 Hot Line Bail Clamp ขนาด 25-50 SQ.MM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Bare stranded aluminum conductors size 50 SQ.MM



รูปที่ 3.60 Bare stranded aluminum conductors size 50 SQ.MM



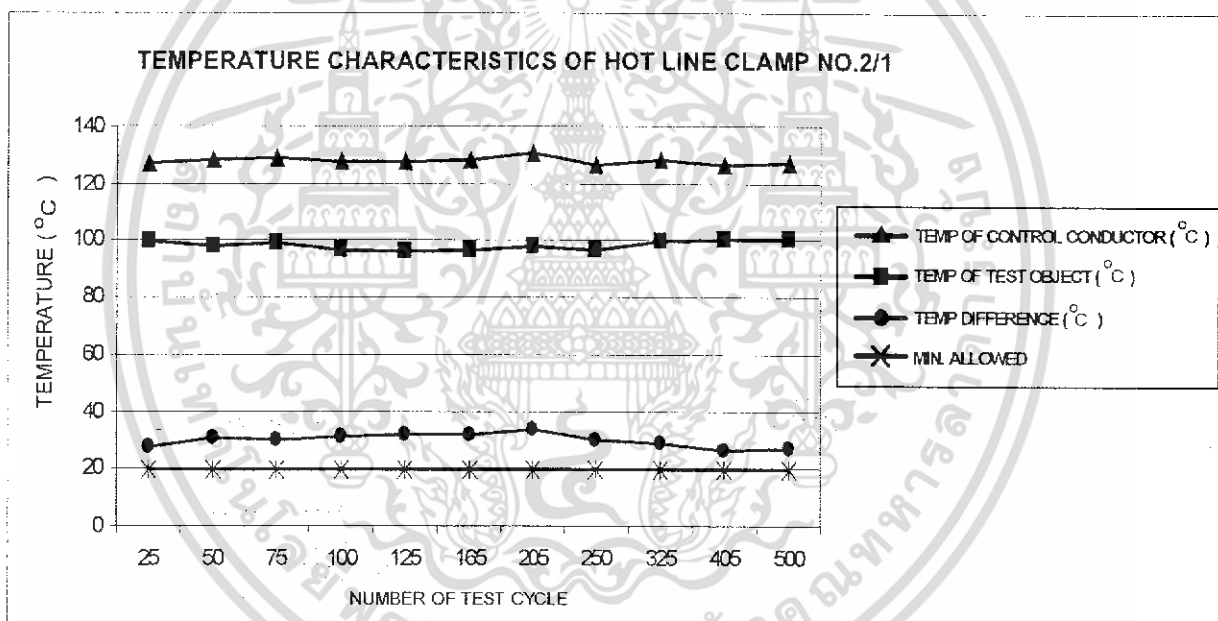
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 ผลการทดสอบ

### 2.1 ผลของอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.41 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/1

OBJECT NO. 2/1											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	25.8	26.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	99.4	97.9	99.1	96.4	96.1	96.7	97.6	96.6	99.5	100.1	100.5
TEMP DIFFERENCE (°C)	27.5	30.7	29.9	31.4	31.9	31.5	33.5	30.0	28.9	26.3	26.9
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	29.86 - 10 = 19.86										

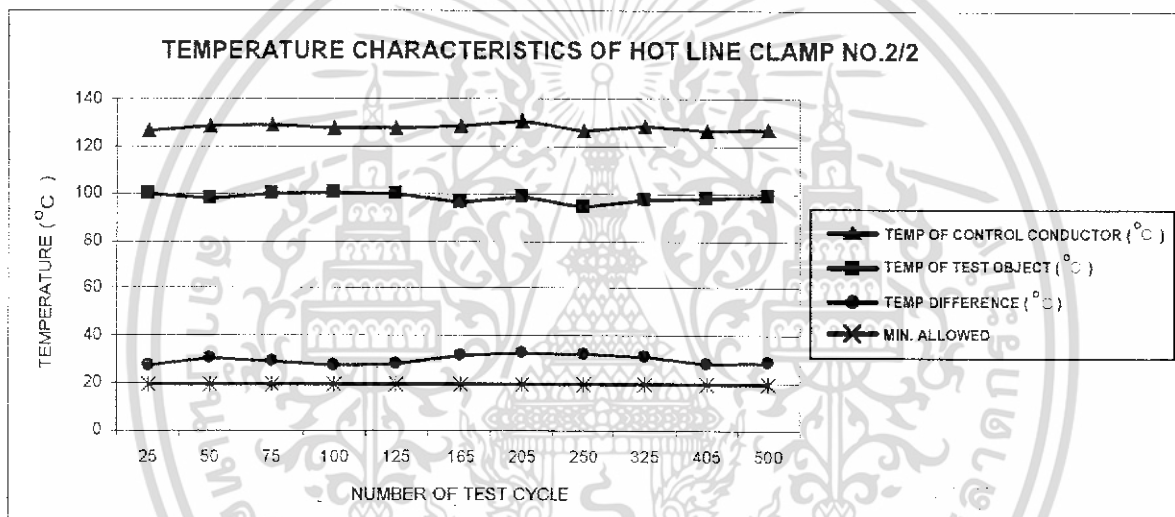


รูปที่ 3.61 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.42 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/2

OBJECT NO. 2/2											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	25.8	26.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	99.8	98.1	100.0	100.6	100.1	96.4	96.4	94.5	97.6	98.1	98.8
TEMP DIFFERENCE (°C)	27.1	30.5	29.0	27.2	27.9	31.8	32.7	32.1	30.8	28.3	28.6
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	29.64 - 10 = 19.64										

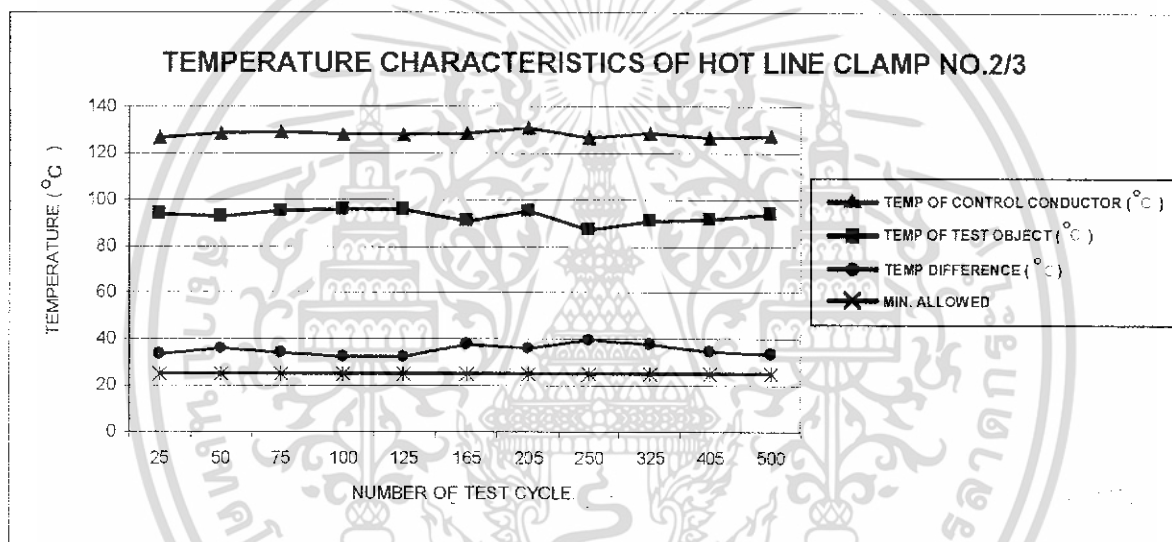


รูปที่ 3.62 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.43 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/3

OBJECT NO. 2/3											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	25.8	26.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	93.7	92.7	94.9	95.6	95.8	90.7	94.9	87.2	90.9	91.6	93.9
TEMP DIFFERENCE (°C)	33.2	35.9	34.1	32.2	32.2	37.5	36.2	39.4	37.5	34.8	33.5
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	35.14 - 10 = 25.14										

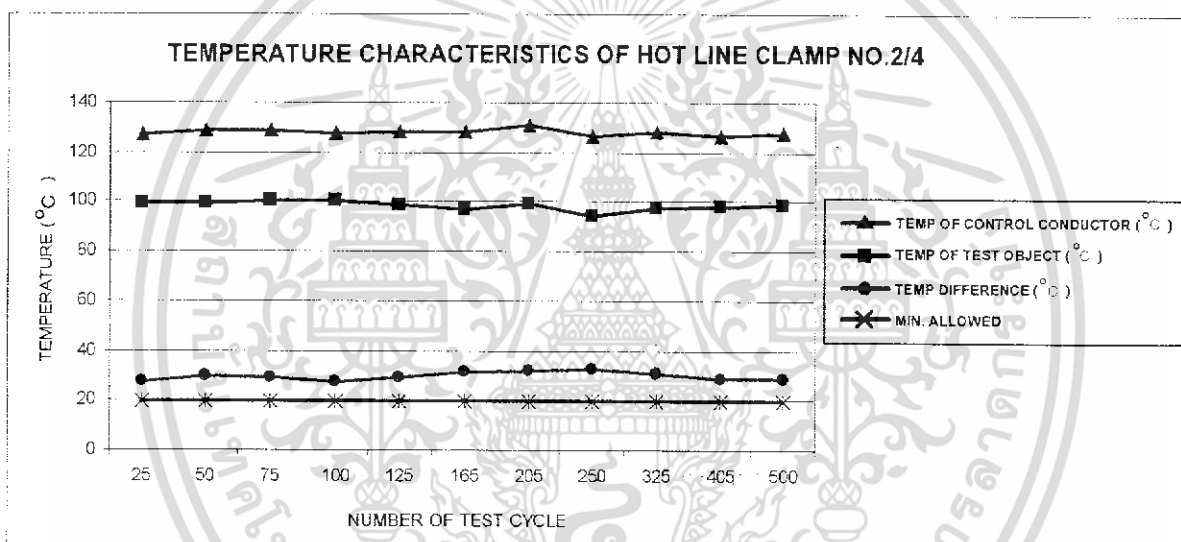


รูปที่ 3.63 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.44 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/4

OBJECT NO. 2/4											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	26.6	26.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	99.3	99.0	100.0	100.5	98.8	97.0	98.9	94.1	97.6	97.8	98.6
TEMP DIFFERENCE (°C)	27.6	29.6	29.0	27.3	29.2	31.2	32.2	32.5	30.8	28.6	28.8
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	29.71 - 10 = 19.71										

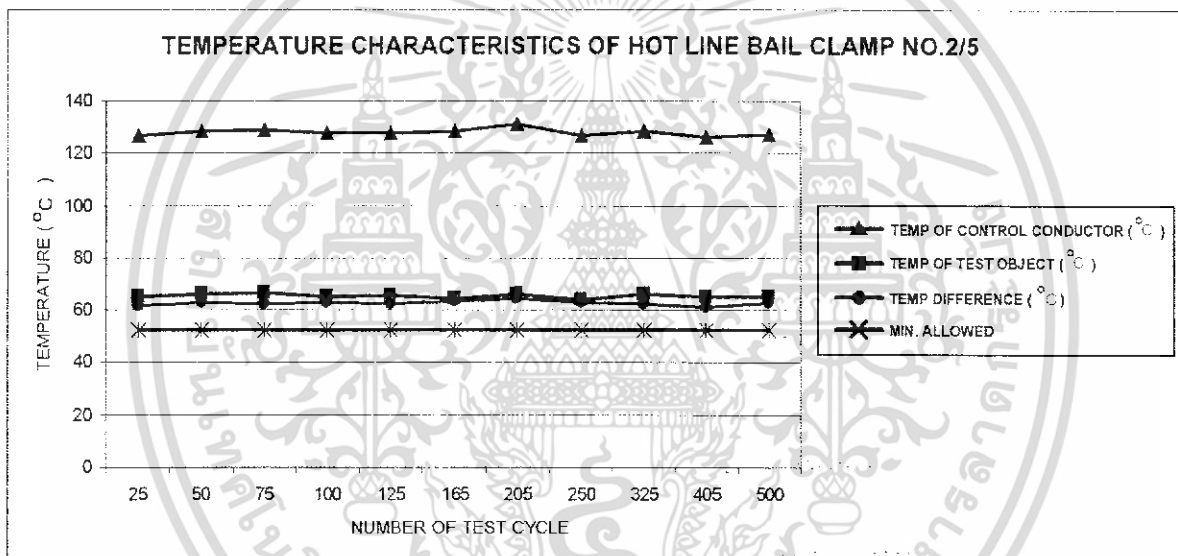


รูปที่ 3.64 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.45 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/5

OBJECT NO. 2/5											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	25.8	25.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	65.2	66.0	66.6	65.1	65.6	64.7	66.4	63.8	65.9	65.3	64.8
TEMP DIFFERENCE (°C)	61.7	62.6	62.4	62.7	62.4	63.5	64.7	62.8	62.5	61.1	62.6
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C)) .										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	62.64 - 10 = 52.64										

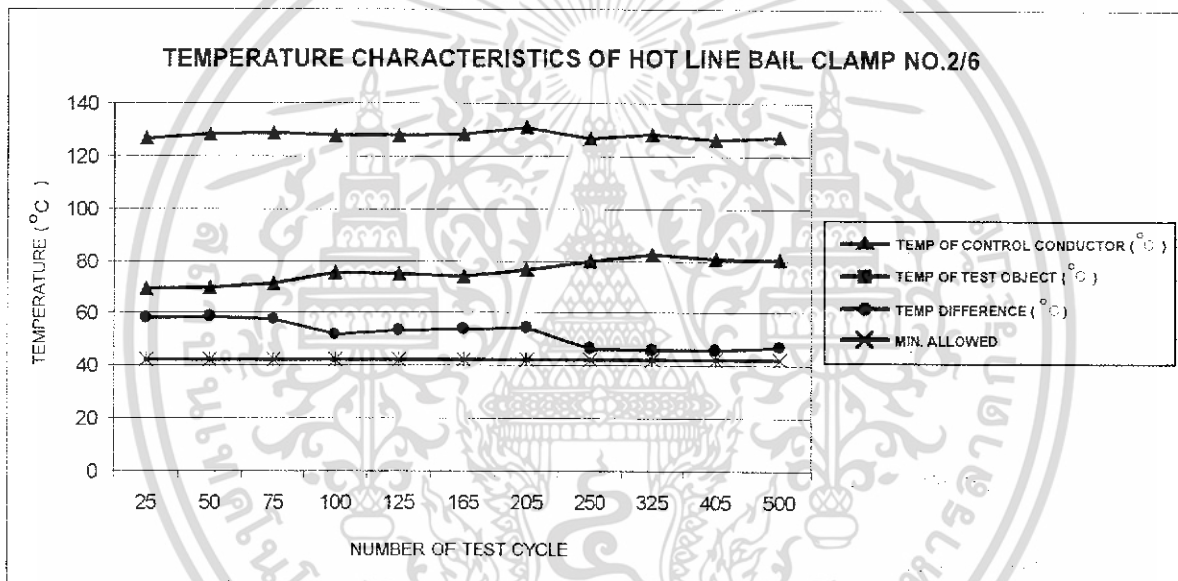


รูปที่ 3.65 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.46 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/6

OBJECT NO. 2/6											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT ( $^{\circ}\text{C}$ )	26.9	26.6	27.1	27.6	27.7	25.8	26.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR ( $^{\circ}\text{C}$ )	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT ( $^{\circ}\text{C}$ )	69.0	69.9	71.3	75.8	74.8	74.1	76.5	80.0	82.2	80.7	80.2
TEMP DIFFERENCE ( $^{\circ}\text{C}$ )	57.9	58.7	57.7	52.0	53.2	54.1	54.6	46.6	46.2	45.7	47.2
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 ( $^{\circ}\text{C}$ ))										
TEMP. DIFFERENCE ( $^{\circ}\text{C}$ )	52.17 - 10 = 42.17										

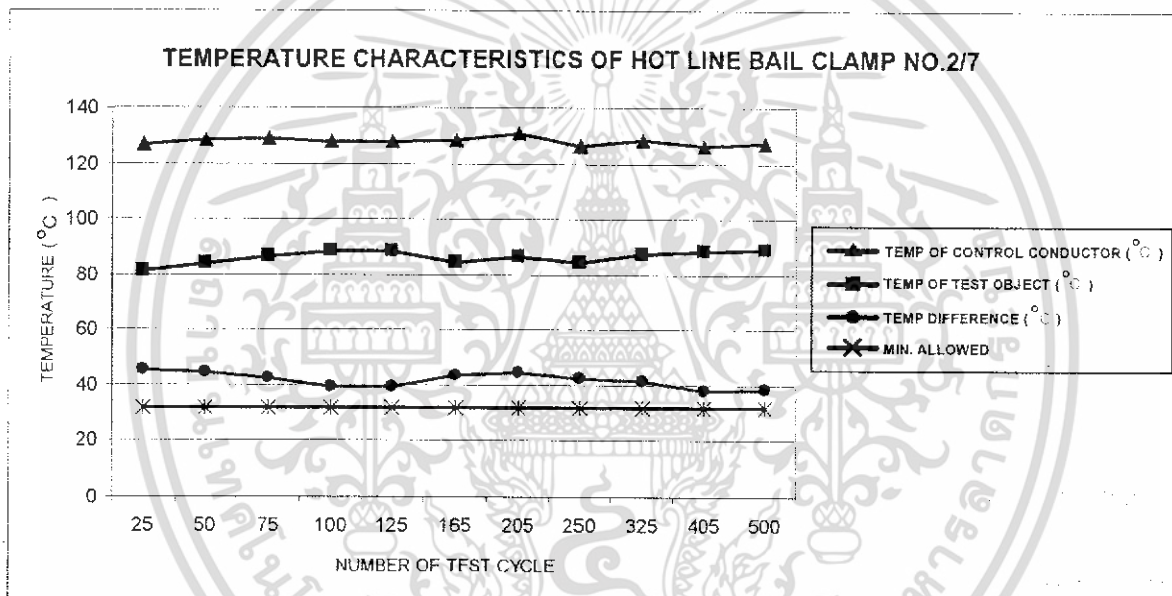


รูปที่ 3.66 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.47 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/7

OBJECT NO. 2/7											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	25.8	26.5	25.1	25.6	25.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	81.6	84.1	86.3	88.6	88.7	84.5	86.6	84.2	87.2	88.6	88.9
TEMP DIFFERENCE (°C)	45.3	44.5	42.7	39.2	39.3	43.7	44.5	42.4	41.2	37.8	38.5
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	41.74 - 10 = 31.74										

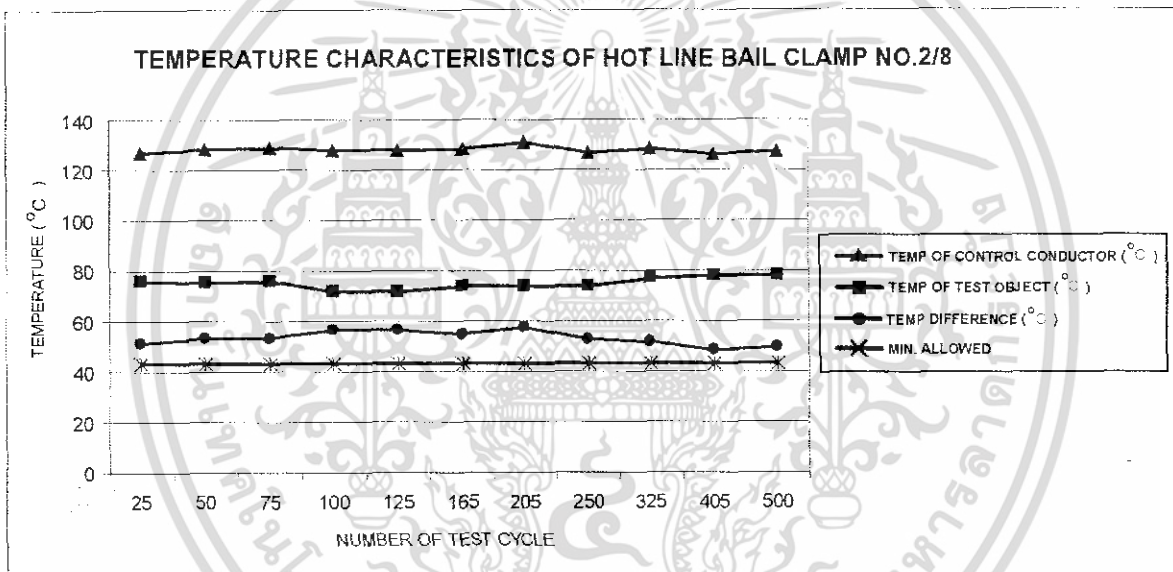


รูปที่ 3.67 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.48 ผลอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/8

OBJECT NO. 2/8											
NUMBER OF TEST CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
CURRENT (A)	285.3	286.4	286.2	284.6	286.1	286.5	285.8	286.7	287.3	285.9	287.6
AMBIENT (°C)	26.9	26.8	27.1	27.6	27.7	26.8	26.5	25.1	25.6	26.2	26.3
TEMP OF CONTROL CONDUCTOR (°C)	126.9	128.6	129.0	127.8	128.0	128.2	131.1	126.6	128.4	126.4	127.4
TEMP OF TEST OBJECT (°C)	76.0	75.2	75.6	71.6	71.6	73.6	73.9	73.8	76.6	78.0	78.1
TEMP DIFFERENCE (°C)	50.9	53.4	53.4	56.2	56.4	54.6	57.2	52.8	51.8	48.4	49.3
MIN. ALLOWED	(AVERAGE TEMP.DIFFERENCE - 10 (°C))										
TEMP. DIFFERENCE (°C)	53.13 - 10 = 43.13										



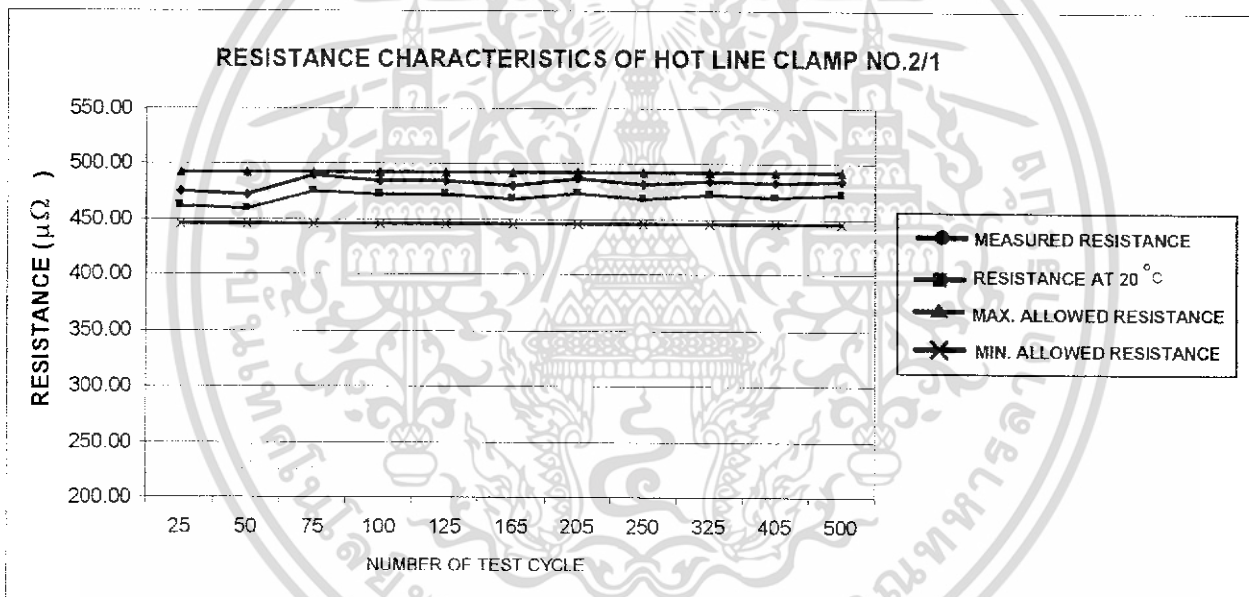
รูปที่ 3.68 กราฟอุณหภูมิของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO. 2/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ผลของความต้านทาน

ตารางที่ 3.49 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/1

NUMBER 2/1	HOT LINE CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	28.90	27.00	26.20	28.10	27.40	27.10	25.40	26.50	25.20	25.60	25.00
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	474.80	471.97	489.51	484.2	484.24	480.53	486.9	482.37	484.60	483.36	485.16
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	462.32	459.08	475.81	472.13	472.50	468.39	473.60	469.03	472.55	470.16	471.74
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	469.76										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	493.24										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	446.27										

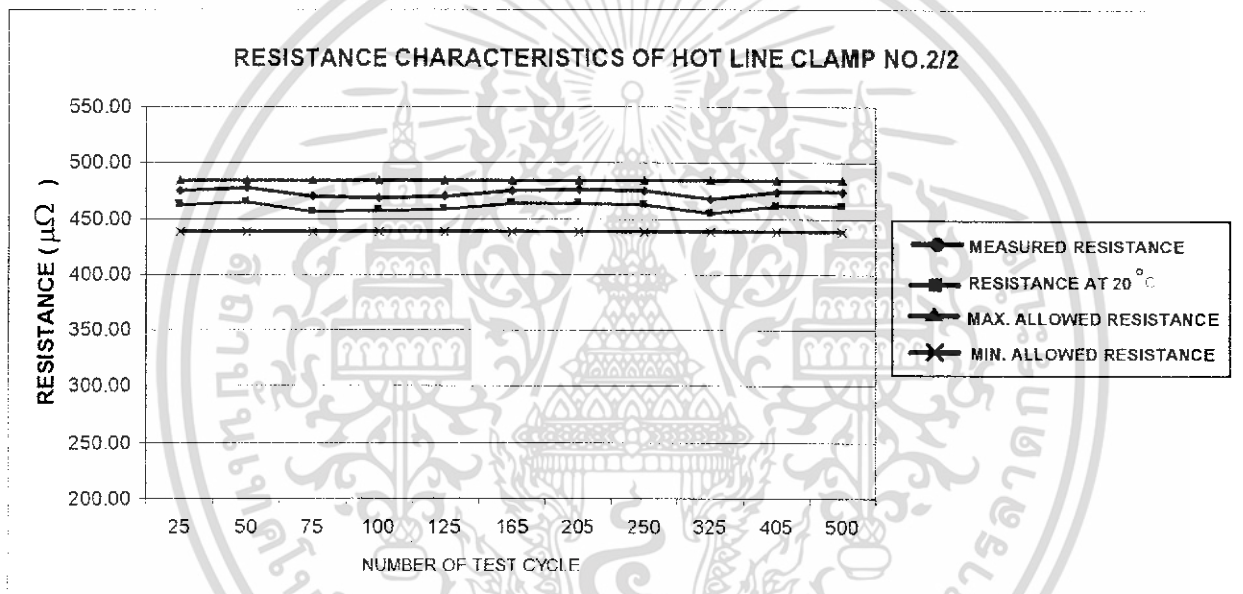


รูปที่ 3.69 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.50 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/2

NUMBER2/2	HOT LINE CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	27.00	27.10	26.20	28.40	27.50	27.30	26.50	24.60	26.50	25.30	25.60
RESISTANCE (μΩ)	475.14	477.14	469.21	468.63	470.31	474.94	476.41	474.76	466.91	473.87	473.94
RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	462.65	464.11	456.08	456.95	458.91	462.94	463.40	461.63	455.11	460.93	460.83
AV. RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	460.32										
MAX ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	483.34										
MIN ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	437.31										

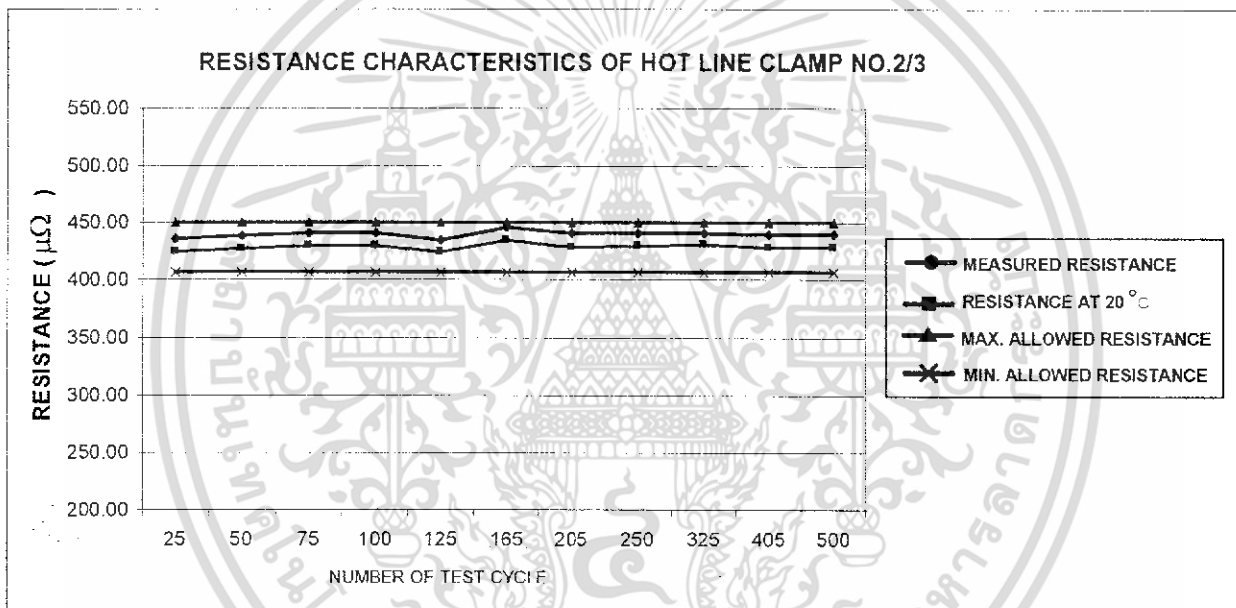


รูปที่ 3.70 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.51 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/3

NUMBER2/3	HOT LINE CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	26.90	26.50	26.50	28.50	27.20	27.10	26.30	25.20	27.30	25.30	26.20
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	436.77	438.77	441.93	441.07	435.49	446.20	441.08	441.9	441.97	440.30	440.35
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	425.29	426.79	429.56	430.08	424.93	434.93	429.03	429.68	430.80	428.27	428.17
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	428.87										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	450.31										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	407.42										

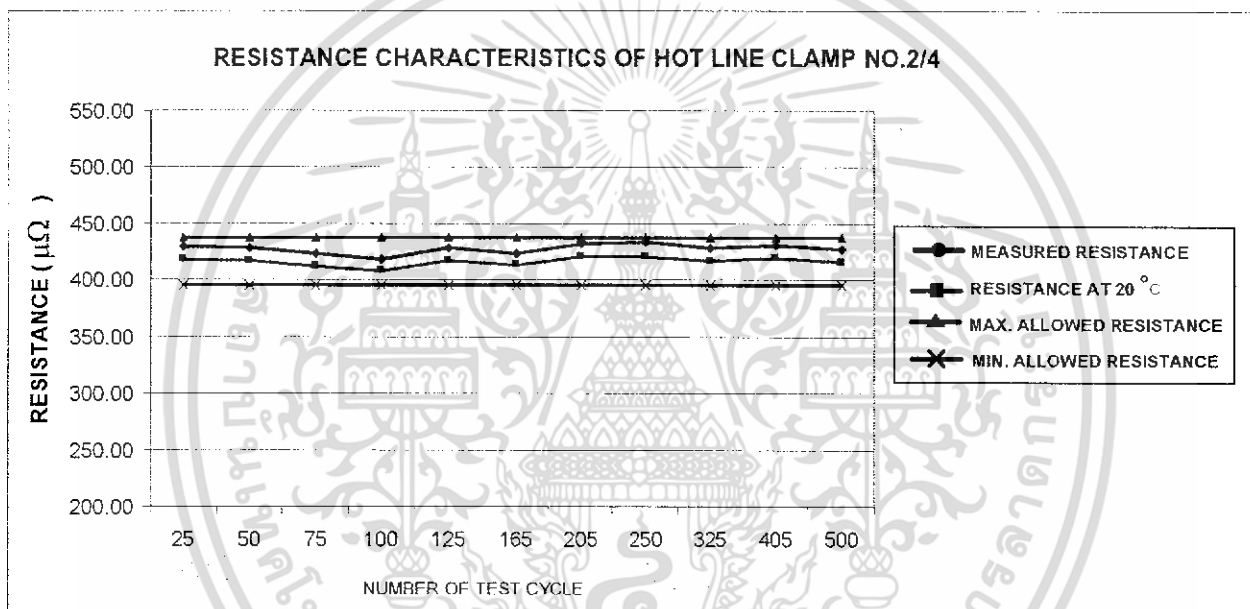


รูปที่ 3.71 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.52 ความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/4

NUMBER 2/4	HOT LINE CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT (°C)	26.90	26.90	26.90	28.60	27.30	27.10	28.30	26.70	28.00	24.30	25.50
RESISTANCE (μΩ)	430.38	428.54	423.91	419.02	428.16	423.71	432.84	433.36	428.26	431.72	426.97
RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	419.07	416.84	412.04	408.58	417.78	413.00	421.02	421.38	417.44	419.93	415.16
AV. RESISTANCE AT 20 °C (μΩ)	416.57										
MAX ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	437.39										
MIN ALLOWED RESISTANCE (μΩ)	395.74										

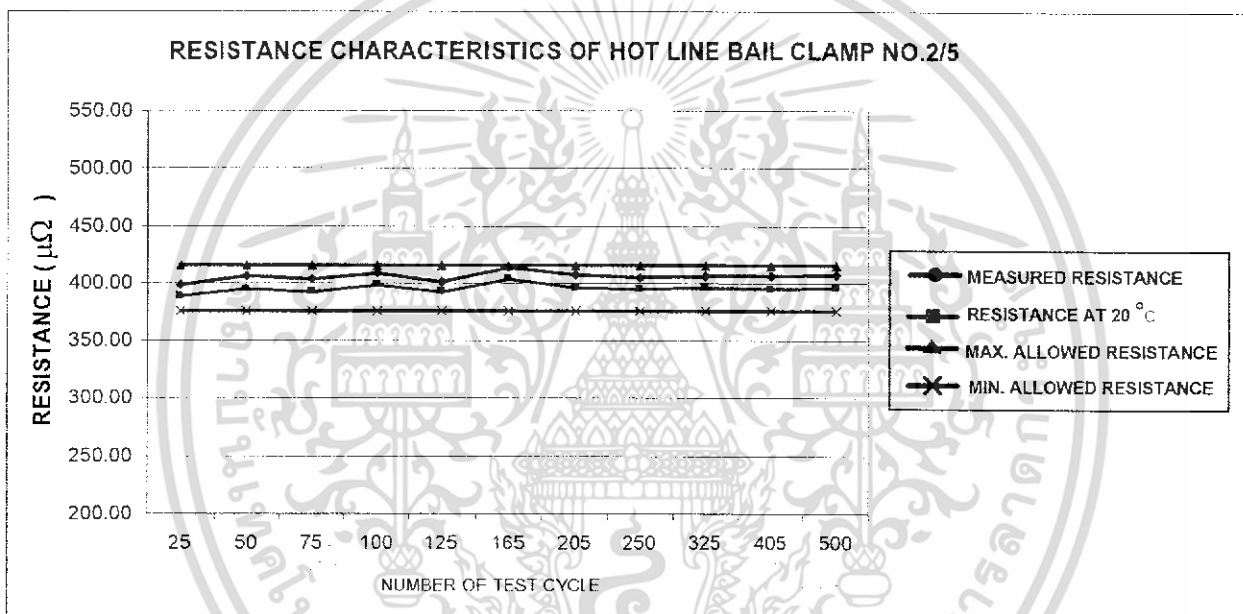


รูปที่ 3.72 กราฟความต้านทานของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.53 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/5

NUMBER 2/5	HOT LINE BAIL CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	26.70	26.50	26.70	27.50	27.10	26.40	26.00	27.20	25.90	25.80	26.00
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	399.12	405.82	404.02	408.12	401.49	413.58	407.05	405.42	406.63	406.46	406.88
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	388.63	394.74	392.71	397.95	391.76	403.13	395.93	394.21	396.36	395.36	395.63
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	395.13										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	414.68										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	375.37										

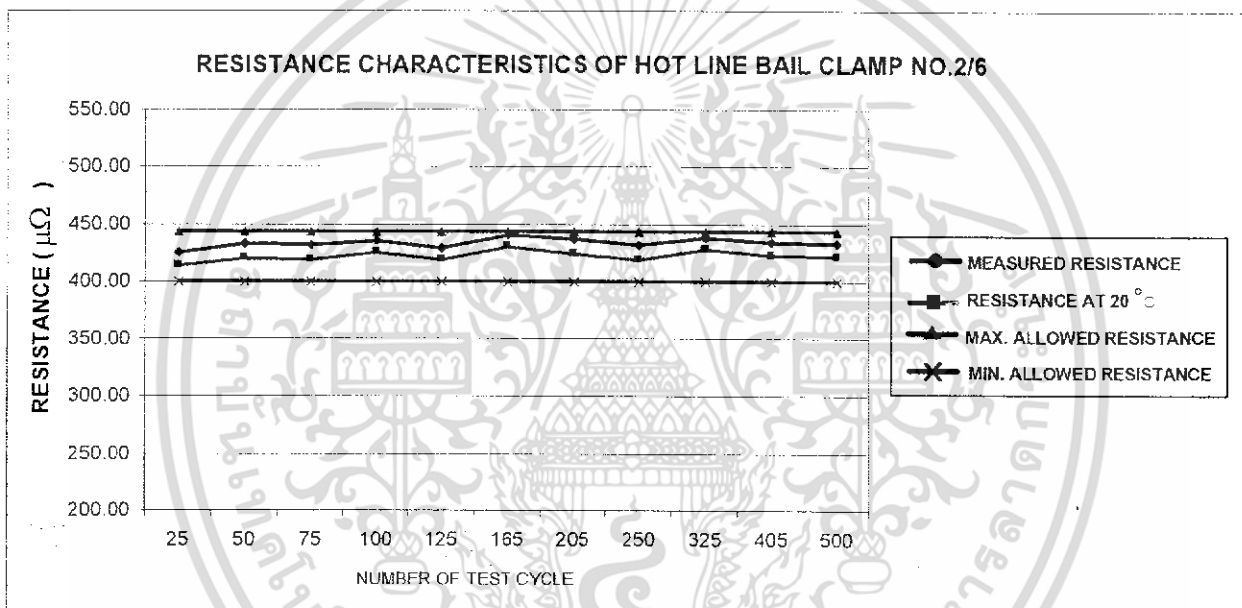


รูปที่ 3.73 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.54 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/6

NUMBER 2/6	HOT LINE BAIL CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	27.00	26.80	26.90	28.00	27.40	26.70	26.40	28.40	26.20	24.50	27.60
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	425.35	432.44	431.07	435.56	429.3	441.07	436.56	431.18	438.54	434.28	433.08
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	414.17	420.63	419	424.70	418.89	429.93	424.64	419.26	427.46	422.42	421.10
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	422.02										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	443.12										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	400.92										

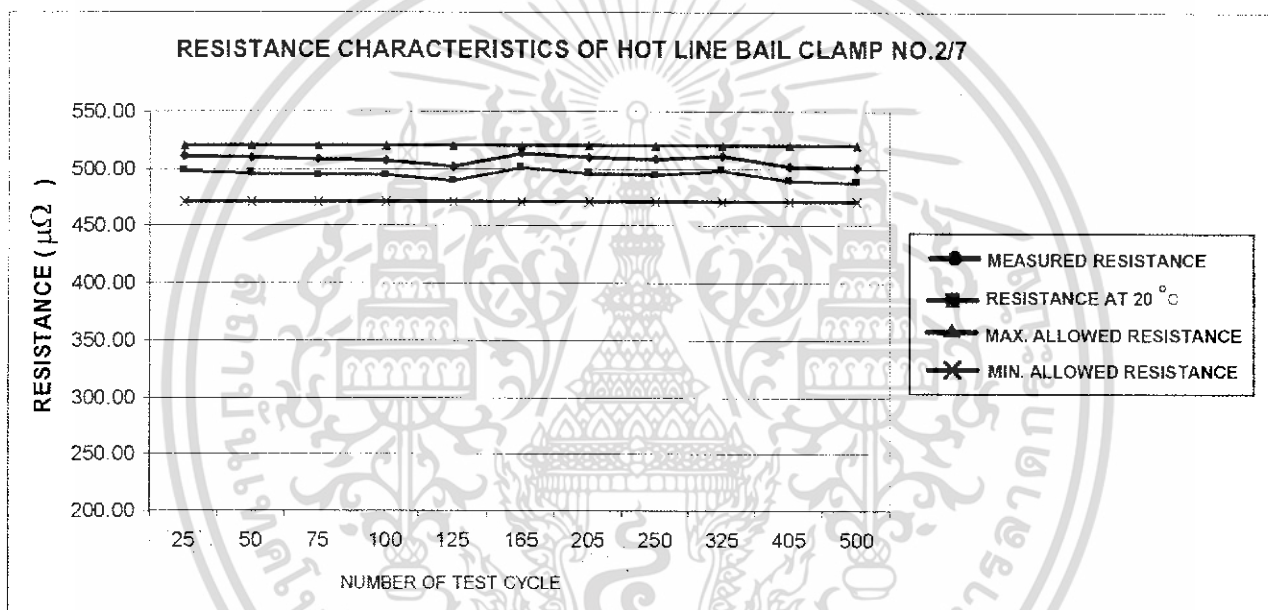


รูปที่ 3.74 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.55 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/7

NUMBER 2/7	HOT LINE BAIL CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	26.90	26.80	26.80	28.60	27.80	27.10	26.90	24.50	26.70	23.20	25.30
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	511.23	509.46	508.33	507.29	501.81	513.85	509.67	509.04	510.99	502.5	501.52
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	497.79	495.55	494.10	494.65	489.65	500.87	495.75	494.96	498.08	488.78	487.65
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	494.35										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	519.06										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	469.63										

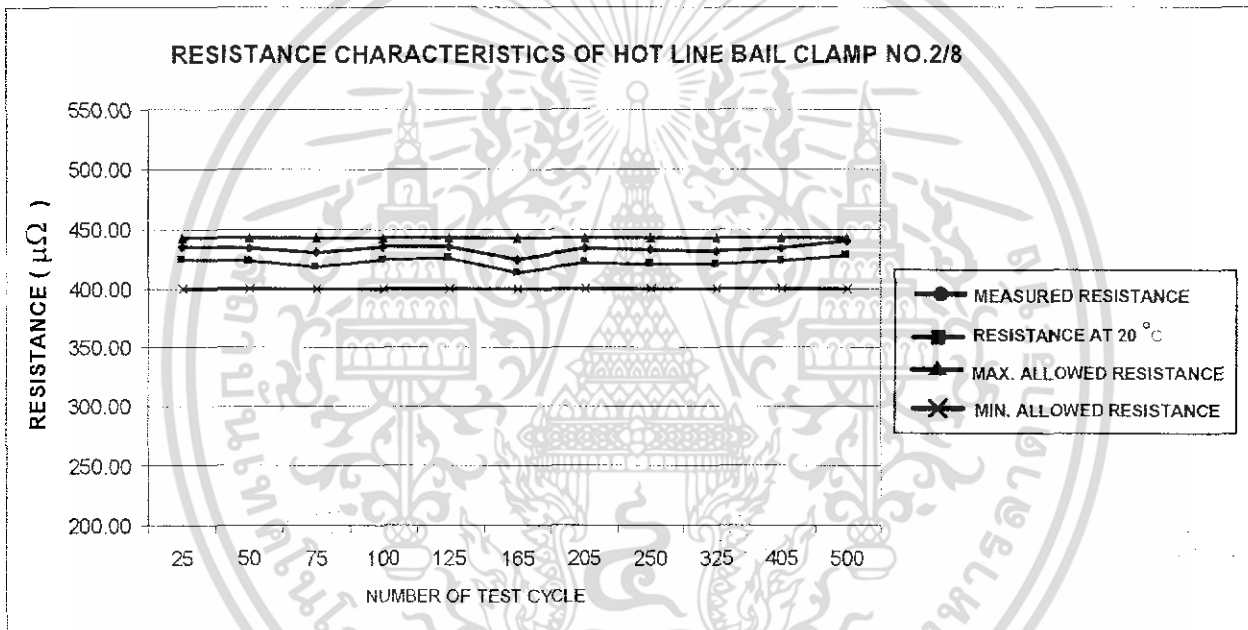


รูปที่ 3.75 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.56 ความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/8

NUMBER2/8	HOT LINE BAIL CLAMP 25-50 SQ.MM										
NUMBER OF CYCLE	25	50	75	100	125	165	205	250	325	405	500
TEMP OBJECT ( °C )	26.80	26.80	26.40	27.80	27.30	26.70	26.20	24.80	25.10	25.90	25.10
RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	435.48	434.34	429.65	434.75	435.43	424.22	433.81	432.16	431.53	434.07	440.06
RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	424.03	422.48	417.62	423.91	424.88	413.50	421.96	420.21	420.63	422.21	427.89
AV. RESISTANCE AT 20 °C ( $\mu\Omega$ )	421.76										
MAX ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	442.84										
MIN ALLOWED RESISTANCE ( $\mu\Omega$ )	400.67										



รูปที่ 3.76 กราฟความต้านทานของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO. 2/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 ผลของแรงบิด

ตารางที่ 3.57 แรงบิดของ HOT LINE CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM. NO.2/1-2/4

Test description	Spec.	Test result			
		No.2/1	No.2/2	No.2/3	No.2/4
Dimension	Dwg.No.83/97	Passed	Passed	Passed	Passed
Assembled with bare conductor	Aluminium 25-50 SQ.MM	Passed	Passed	Passed	Passed
Torque Strength Test with Aluminium 25-50 SQ.MM	201.6 lbs.-in	Passed	Passed	Passed	Passed

ตารางที่ 3.58 แรงบิดของ HOT LINE BAIL CLAMP SIZE 25-50 SQ.MM NO.2/5-2/8

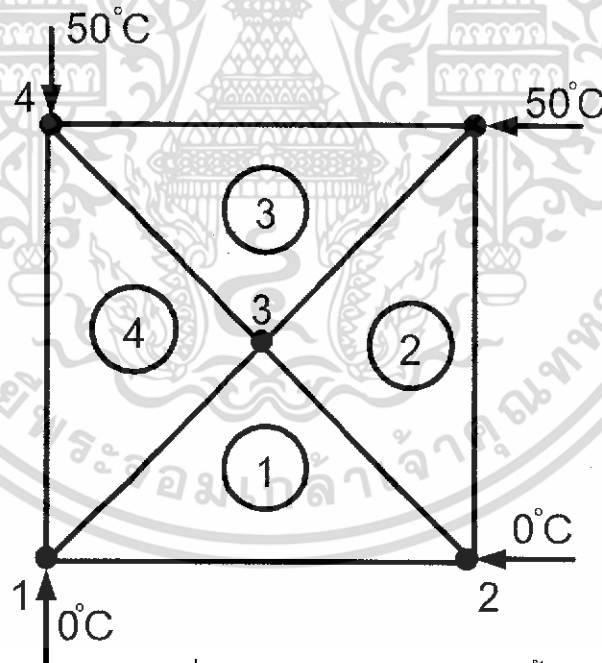
Test description	Spec.	Test result			
		No.2/5	No.2/6	No.2/7	No.2/8
Dimension	Dwg.No.82/97	Passed	Passed	Passed	Passed
Assembled with bare conductor	Aluminium 25-50 SQ.MM	Passed	Passed	Passed	Passed
Torque Strength Test with Aluminium 25-50 SQ.MM	201.6 lbs.-in	Passed	Passed	Passed	Passed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การจำลองวิเคราะห์ค่าการกระจายของความร้อน [6]

#### การเปรียบเทียบผลการคำนวณการกระจายของความร้อนระหว่างการคำนวณด้วยมือกับโปรแกรม FEM LAB

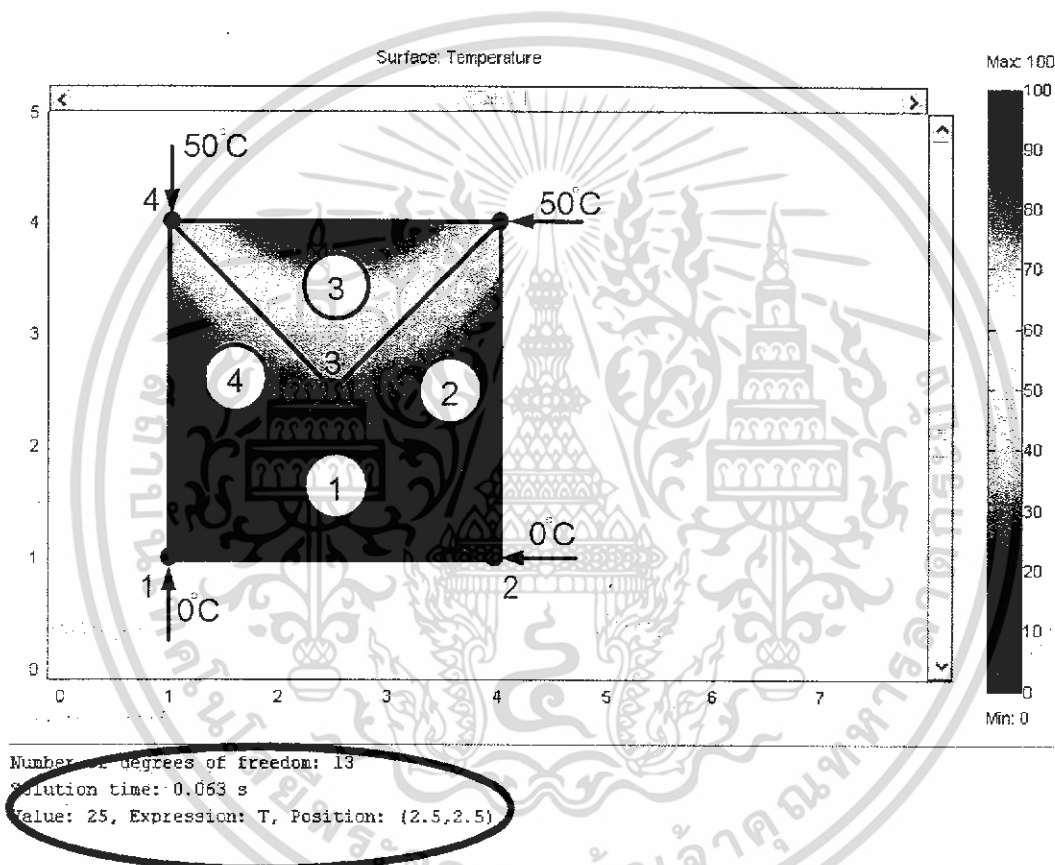
เพื่อเป็นการตรวจสอบ และยืนยันว่าโปรแกรมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายของความร้อน มีความน่าเชื่อถือ ก่อนที่จะนำไปจำลองเพื่อวิเคราะห์ความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน Hot Line Bail Clamp ที่จะนำมาใช้งานในระบบส่งจ่ายแรงสูง จึงได้ทำการทดสอบโปรแกรมโดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ กับค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมว่ามีค่าตรงกัน หรือต่างกันอย่างไร ดังรูปที่ 3.75 เป็นการจำลองรูปแบบที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 3 หน่วย ยาว 3 หน่วย โดยภายในรูปสี่เหลี่ยมแบ่งเป็นรูปสามเหลี่ยม 4 รูปประกอบกัน ที่มุมของสามเหลี่ยมแต่ละรูปจะกำหนดเป็น node โดยจะมี node ที่ 1,2,4,5 และ node ที่ 3 เป็น node ร่วมของสามเหลี่ยมทั้ง 4 รูปประกอบกัน และกำหนดอุณหภูมิที่ node 1,2 มีอุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  และ node 4,5 มีอุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  โดยหาผลลัพธ์ของอุณหภูมิที่ node 3 และรูปที่ 3.75 เป็นผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม (FEMLAB Version 3.1) โดยนำผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือมาเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.77 การกำหนดเงื่อนไขการให้ค่าความร้อนแก่ชิ้นงาน

ตารางที่ 3.59 ผลการคำนวณค่าการกระจายความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ

โหนด	X	Y	อุณหภูมิ	
			คำนวณด้วยมือ	โปรแกรม FEMLAB
1	1.0	1.0	0.00	0.00
2	4.0	1.0	0.00	0.00
3	2.5	2.5	25.00	25.00
4	1.0	4.0	50.00	50.00
5	4.0	4.0	50.00	50.00



รูปที่ 3.78 ผลของการคำนวณการกระจายความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม FEM LAB

### วิเคราะห์ผลการจำลอง

จากการจำลองเพื่อพิสูจน์ว่าโปรแกรม FEM LAB มีความสามารถที่จะคำนวณผลได้ถูกต้องเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือ พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละโหนดจะมีค่าเท่ากันซึ่งผลจากการคำนวณโดยโปรแกรม สามารถดูระดับความร้อนที่เกิดขึ้นที่แต่ละโหนดได้โดยแถบสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 การวิเคราะห์ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นบน Bail Clamp

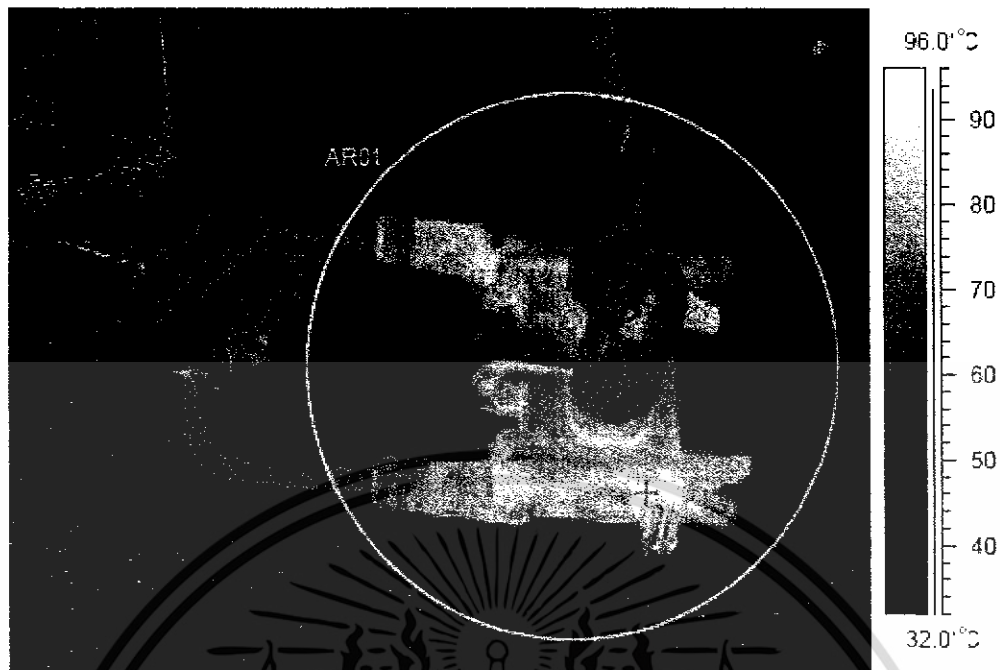
จากการทดสอบ Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp ตามมาตรฐาน ANSI C119.4 -1998 โดยทำการจ่ายกระแส 400 A เข้าไปยังชุด Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp ขนาด 25-185 Sq.mm. ที่ต่อกันเป็น Zigzag loop แล้วใช้ Thermo Couple วัดค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตัว Hot Line Clamp ใช้แรงเพื่อขันน็อตลิ้อระหว่าง Hot Line Bail Clamp ขนาด 25-185 Sq.mm. กับสายตัวนำขนาด 95 Sq.mm. ให้มีขนาดเท่ากันคือ 75 ft-lb พบว่าค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากการวัดมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากค่าความต้านทานที่วัดจากการทดลองนี้เป็นค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสรวมทุกจุดของการประกอบกันระหว่างชุด Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp ดังนั้นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นก็จะมีผลมาจากการประกอบอุปกรณ์ทั้ง 2 อย่าง เข้าด้วยกันด้วย ดังตารางบันทึกผลที่ 3.60

ผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ชุด Bail Clamp จะเกิดผลจากค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส เนื่องจากการประกอบชุด Bail Clamp ขนาด 95-185 Sq.mm. กับสายตัวนำขนาด 95 Sq.mm. ตามมาตรฐาน ANSI C119.4 :1998 การประกอบทุกชุดใช้แรงที่ทำเท่ากันแต่ความขรุขระของหน้าสัมผัสไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดความต้านทานไม่เท่ากันแล้วส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานดังตาราง 3.60

ตารางที่ 3.60 ผลการทดสอบแรงบิด ความต้านทาน และอุณหภูมิ

อุปกรณ์ชุดที่	Torque (ft-lb)	$R_{at 25^{\circ}C}$ ( $\mu\Omega$ )					$R_{av}$ ( $\mu\Omega$ )	Temp ( $^{\circ}C$ )	I (A)
		1	2	3	4	5			
1	7.5	534	548.5	520.7	524.7	522.4	530	95.9	400
2	7.5	323	347	345.7	349.3	320.4	337	74.8	400
3	7.5	341	363	338	339.7	345.2	345	83.9	400
4	7.5	1326	1388.5	1348.7	1463.5	1350.8	1375	112.0	400

จากการทดสอบหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp โดยใช้กล้อง Thermo Scan :AGMA รุ่น 550 ภายใต้สภาวะการจ่ายกระแส 400 A ผ่านวัสดุทดสอบเป็นเวลา 50 นาที โดยจะแสดงผลได้ดังรูปที่ 3.79 – 3.82



รูปที่ 3.79 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 1

ตารางที่ 3.61 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 1

IR information	Value
Date of creation	11/3/2006
Time of creation	20:18:00
File name	G0311-33.img
Label	Value
SP01	90.0 °C
AR01 : max	95.9 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.380 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 2

ตารางที่ 3.62 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 2

IR information	Value
Date of creation	11/3/2006
Time of creation	20:18:17
File name	G0311-34.img
Label	Value
SP01	72.2 °C
AR01 : max	74.8 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.81 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 3

ตารางที่ 3.63 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 2

IR information	Value
Date of creation	11/3/2006
Time of creation	20:18:29
File name	G0311-35.img
Label	Value
SP01	81.7°C
AR01 : max	83.9°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



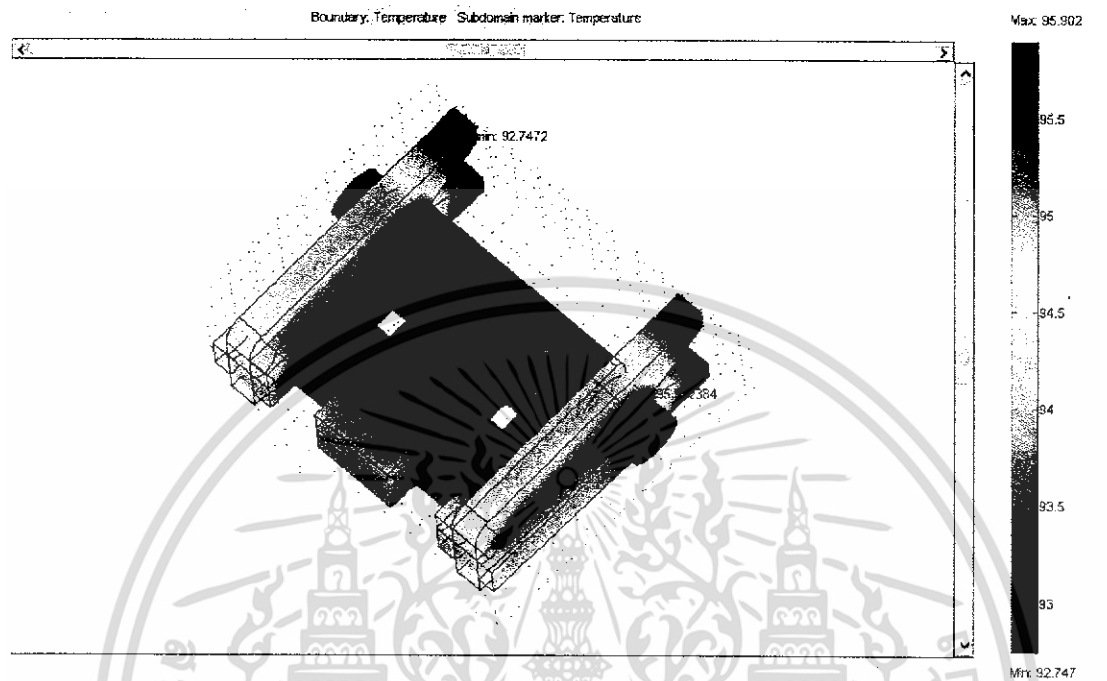
รูปที่ 3.82 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 4

ตารางที่ 3.64 ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp ชุดที่ 4

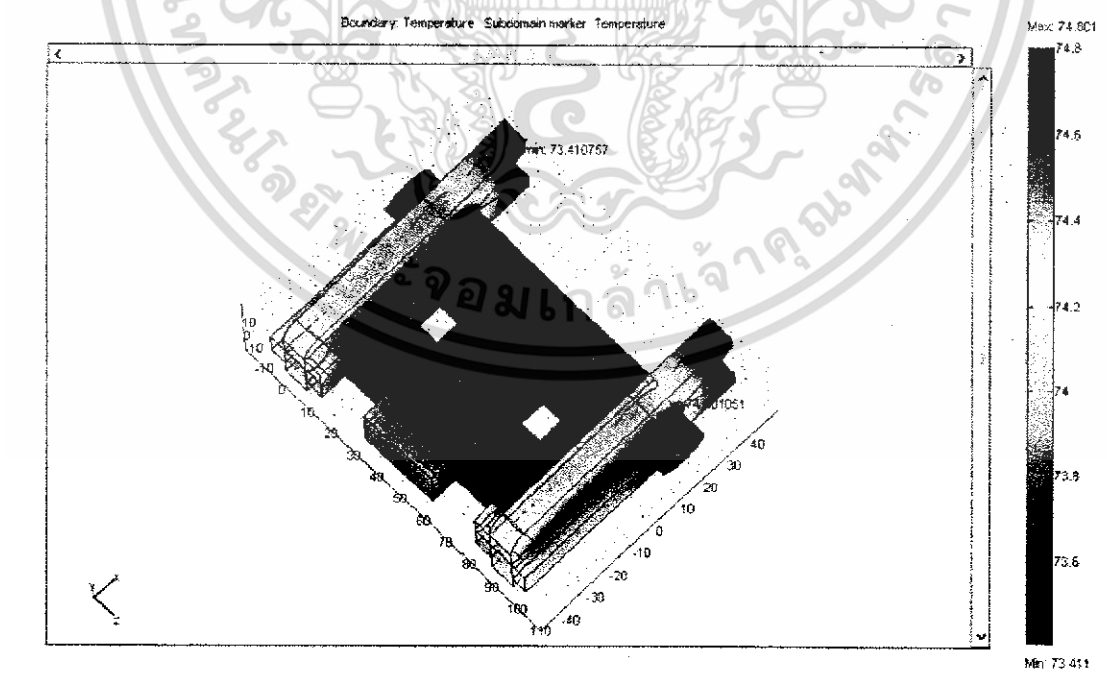
IR information	Value
Date of creation	11/3/2006
Time of creation	20:18:41
File name	G0311-36.img
Label	Value
SP01	110.7 °C
AR01 : max	112.0 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้จากกล้อง Thermo Scan นำค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่สายตัวนำมา กำหนดเป็นค่าอุณหภูมิเริ่มต้น ( $T_0$ ) ให้กับโปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite Element) Fem lab Version 3.1 เพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิภายในสายตัวนำและวัสดุทดสอบ

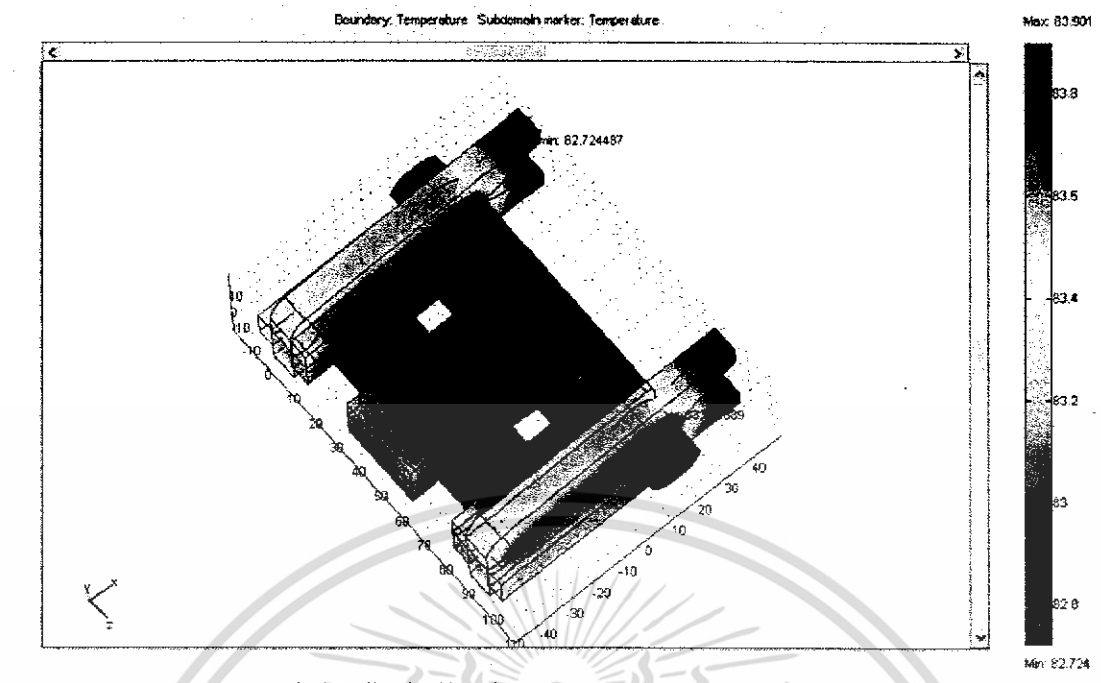


รูปที่ 3.83 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 1

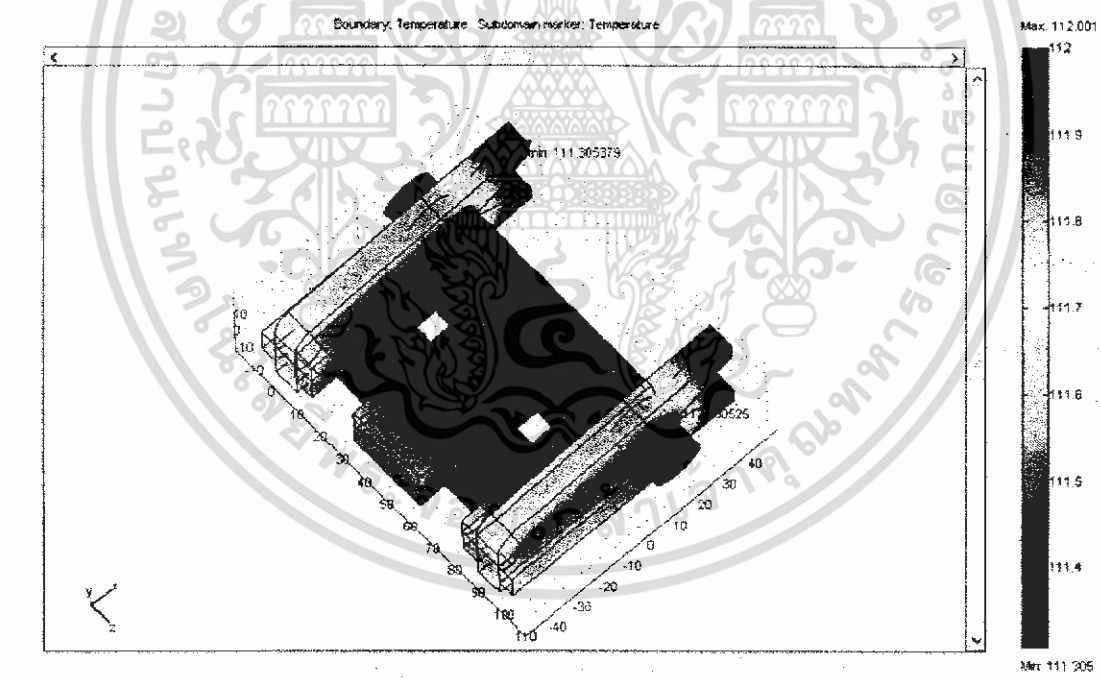


รูปที่ 3.84 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.85 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 3



รูปที่ 3.86 ผลการ simulation ของ Hot Line Bail Clamp ตัวที่ 4

จากรูปที่ 3.83-3.86 แสดงผลการ simulation โดยใช้โปรแกรม Femlab 3.1 พบว่าผลการกระจายของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน Hot Line Bail Clamp กับสายตัวนำมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากกล้อง Thermo scan ดังรูปที่ 3.79-3.82 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 4.1สรุปผลการทดลอง

##### 1 สรุปผลจากการทดสอบหม้อแปลงกระแส

จากที่ได้ทำการทดสอบหม้อแปลงกระแสทั้งแบบ Open Circuit Test และ Short Circuit Test พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันได้เป็นไปตามพิกัดอ้างอิง แต่ในการทดสอบนี้ยังไม่สามารถทำการป้อนแรงดันตามพิกัดของหม้อแปลงเนื่องจากชุดควบคุมแรงดันมีความสามารถในการจ่ายแรงดันเพียง 220 V ดังนั้นในการทดสอบจึงใช้แรงดันที่พิกัดของเครื่องควบคุมแรงดันเพียง 220 V จากพิกัดของหม้อแปลงซึ่งมีพิกัดที่แรงดัน 260 V ในส่วนของชุดป้อนกระแสซึ่งสามารถจ่ายกระแสเต็มพิกัดได้ที่ 2000 A แต่เนื่องจากตัวนำขนาด 50 sq.mm.ที่ใช้ในการทดสอบแบบ Short Circuit ไม่สามารถที่จะทนกระแสได้ที่พิกัด ซึ่งขณะทดสอบนั้นได้ใช้กระแสสูงสุดประมาณ 330 A จึงได้ยุติการทดสอบ

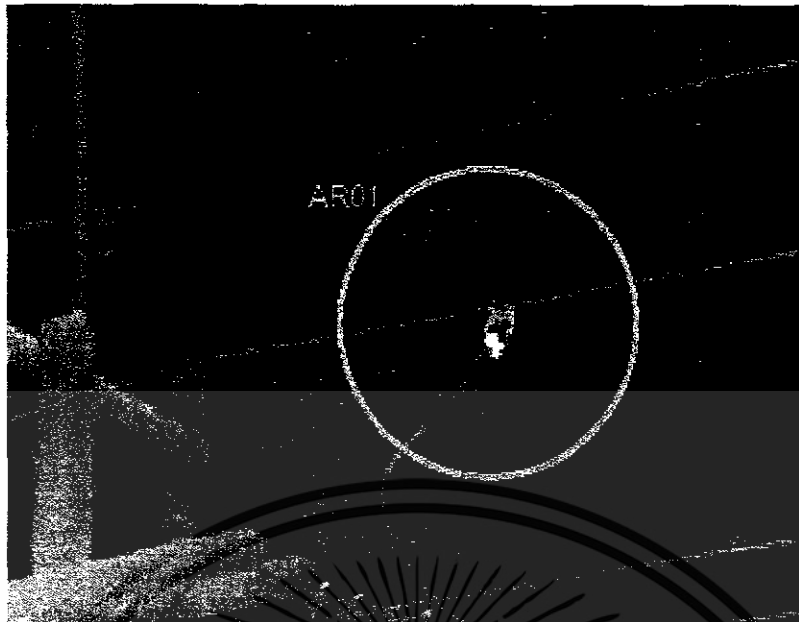
##### 2 สรุปผลจากการทดสอบชุดควบคุมการทำงานกึ่งอัตโนมัติ

เมื่อทำการทดสอบกับวงจรจำลองโดยใช้ชุดคอนโทรลในการควบคุมเวลาของการจ่ายกระแสในช่วงเวลา on และ ตัดกระแสในช่วง off ทำให้ได้ทราบว่า ตัว Timer Relay (K1T) ไม่ตัดวงจรจากสภาวะ on เข้าสู่สภาวะ off ตามที่ได้ตั้งเวลาไว้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการตั้งเวลาให้มากกว่าเวลาที่ต้องการจริงๆไปอีก ซึ่งจากเดิมที่ตั้งไว้ 1 ชั่วโมงเป็น 1 ชั่วโมง 36 นาที ตามสเกลบนหน้าปัดของ Timer Relay ซึ่งสามารถที่จะแก้ปัญหาของ Timer ที่ตัดการทำงานก่อนเวลาที่กำหนดได้ ปัญหาที่ตรวจพบอีกคือชุดของ Current Transformer ที่อยู่ภายในชุดควบคุมไม่ได้ต่อเข้ากับวงจร โดย Current Transformer มีหน้าที่วัดกระแสใน Loop ทดสอบ จึงนำ Clip Amp มาวัดค่าของกระแสที่ Loop แทน และปัญหาที่สุดท้ายที่ตรวจพบคือ ชุดของ Temperature Detector ที่ติดตั้งไว้บนชุดคอนโทรลไม่สามารถบันทึกค่าของอุณหภูมิตามที่ต้องการได้ จึงใช้ชุดของ Temperature Recorder มาบันทึกผลการทดสอบของอุณหภูมิแทน

##### 3 สรุปผลจากการทดสอบหาอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ของ Bail Clamp

จากการทดสอบ ณ จุดต่างๆเพื่อหาอุณหภูมิบน Hot Line Bail Clamp และ Hot Line Clamp นั้นว่าจะจุดไหนเป็นจุดที่ร้อนที่สุด เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิตามมาตรฐาน ANSI C119.4-1998 จากตารางที่ 3.22 ในบทที่ 3 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองที่ใช้ Thermocouple เป็นตัวตรวจจับ ปรากฏว่าค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ด้วย Thermocouple Channel 14 มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลจากกล้อง Thermo scan และลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ตรวจพบได้เมื่อมีการนำ clamp ดังกล่าวไปใช้งานจริงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การใช้งานจริงของ Hot Line Clamp และ Hot Line Bail Clamp จากกล้อง Thermo scan

#### 4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะที่พบระหว่างดำเนินงาน[5]

##### 1. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ปัญหาที่พบอีกอย่างหนึ่งในการทดสอบอุปกรณ์ต่อแยกสายคือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการที่ป้อนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปในวงจรที่เป็นรูป และรูปทดสอบที่ใช้ก็จะประพฤติตัวเป็นตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ส่งผลรบกวนต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียง เช่น จอคอมพิวเตอร์จะสั่น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถแก้ไขได้ จึงต้องแก้ปัญหาด้วยการย้ายอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ให้ห่างจากจุดทดสอบมากที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

##### 2. พื้นที่ผิวของอุปกรณ์ต่อแยกสาย

จากผลการทดสอบที่ได้จะพบว่า อุปกรณ์ต่อแยกสายที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถที่จะระบายความร้อนได้ดีกว่า ทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ต่อแยกสายมีค่าต่ำกว่าเดิม

##### 3. การทำความสะอาดผิวตัวนำก่อนประกอบอุปกรณ์ต่อแยกสาย

จากผลการทดสอบได้มีผลที่แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ต่อแยกสายที่มีการทำความสะอาดโดยใช้กระดาษทรายกับสายตัวนำก่อนประกอบเข้ากับอุปกรณ์ต่อแยกสายจะให้ผลการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบที่ดีกว่าชุดที่ไม่มีการทำความสะอาดตัวนำก่อนเนื่องจาก ตัวนำที่ไม่มีการทำความสะอาดสะอาดสายก่อนจะมีฉนวนไฟฟ้าบาง ๆ จากฝุ่นหรือคราบสกปรกอยู่พื้นที่สัมผัสทางไฟฟ้าจึงมีค่าน้อย

#### 4. การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนวัสดุทดสอบ

การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนวัสดุทดสอบโดยการใช้เทปติดโลหะ จะต้องคอยหมั่นตรวจเช็คดูตามจุดต่างๆที่ได้มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเสมอ เพราะเทปที่ติดอาจจะหลุด-หลวมได้ การที่จะทราบว่าจุดใดมีปัญหาการหลุด-หลวมของเทปติดโลหะนั้นสังเกตได้จากอุณหภูมิบนของวัสดุทดสอบซึ่งวัสดุทดสอบที่มีปัญหาจะมีอุณหภูมิต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบตัวอื่นๆหรือเปรียบเทียบกับผลของอุณหภูมิในไซเคิลที่ผ่านมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ANSi C119.4-1998
- [2] สมศักดิ์ กীরตวิมุติเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),2539
- [3] ศักรินทร์ โสนันทะ. เครื่องมือวัดและการวัดทางไฟฟ้า.บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ,2545
- [4] รศ.ดร. ชัยวุฒิ จิตรอุทัย. " การแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเชิงกล " สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2547
- [5] ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โครงการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดกับคอนเนคเตอร์ต่อแยกสายที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,2546
- [6] Matthew N.O. Sadiku, Senior Member, IEEE, Amer Z. Makki, and Lawrence C. Agba, Member, IEEE, A Further Introduction to Finite Element Analysis of Electromagnetic Problems, IEEE TRANSACTION ON EDUCATION, VOL. 34, NO. 4,NOVEMBER 1991
- [7] ปราโมทย์ เดชะอำไพ,ไฟไนท์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม,สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2547,พิมพ์ครั้งที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่อง Recorder MW 100 Data Acquisition Unit YOGOGAWA

ส่วนประกอบของเครื่อง Recorder MW 100 จะแบ่งเป็นส่วนหลักๆได้ 2 ส่วน คือ

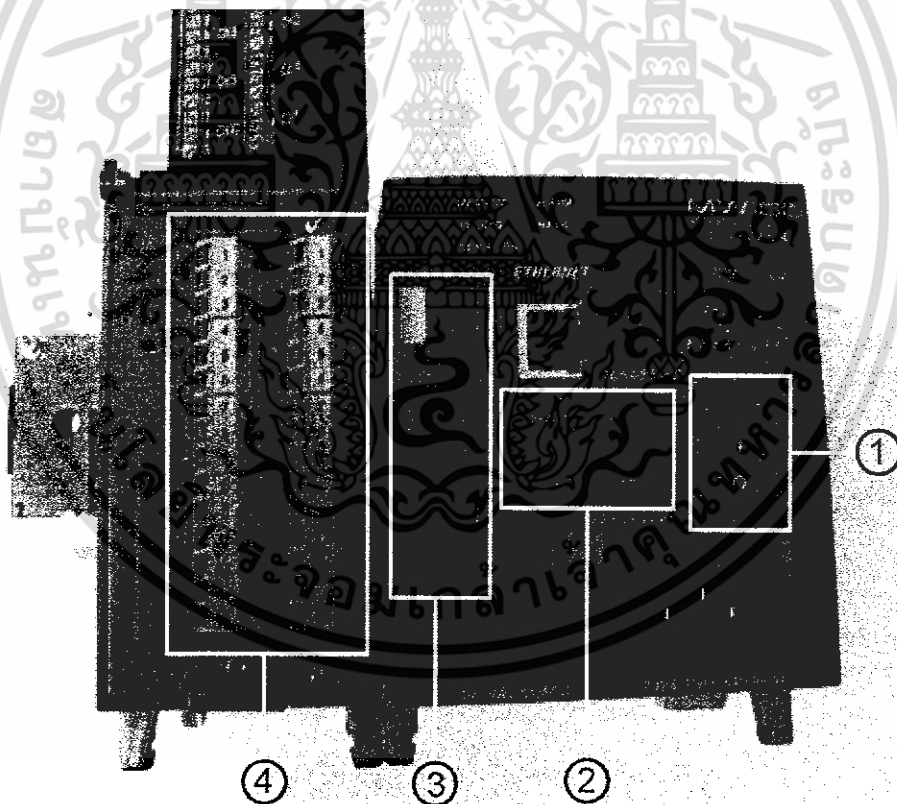
1. ส่วนฮาร์ดแวร์ (ตัวเครื่อง Recorder)
2. ส่วนซอฟต์แวร์ (ตัวโปรแกรม)

โดยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงวิธีการใช้ Recorder ในส่วนของการวัดอุณหภูมิ เพื่อวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนวัสดุทดสอบเท่านั้น

### 1. ส่วนฮาร์ดแวร์ (ตัวเครื่อง Recorder)

ด้านหน้าของเครื่อง Recorder นี้ จะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆคือ

- ปุ่มเปิด/ปิดเครื่อง (หมายเลข 1)
- ปุ่ม Start/Stop (หมายเลข 2)
- ช่องใส่ MMC Card (หมายเลข 3)
- ช่องต่อตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัด (หมายเลข 4)



รูปที่ ก.1 เครื่อง Recorder

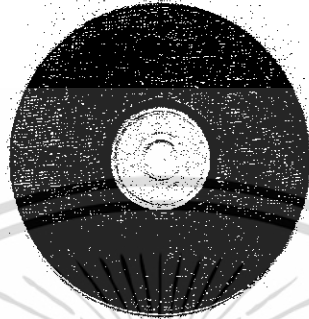
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ส่วนซอฟต์แวร์ (ตัวโปรแกรม)

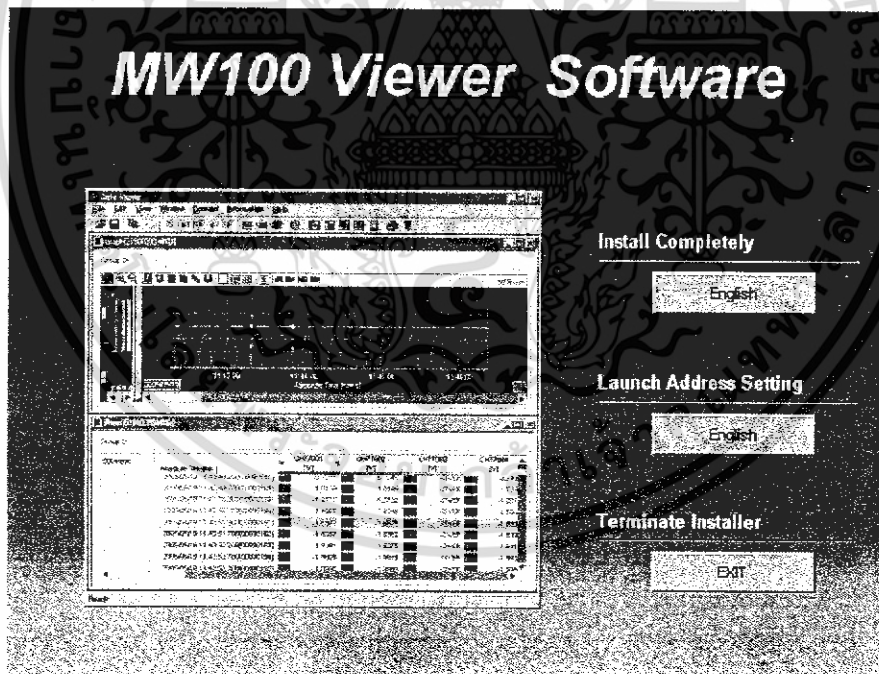
ก่อนที่จะเข้าสู่ตัวโปรแกรมต้องทำการลงไดรฟ์เวอร์ของเครื่อง Recorder ก่อน

### 2.1 ขั้นตอนการลงไดรฟ์เวอร์

2.1.1 เมื่อใส่แผ่นโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ ก.3



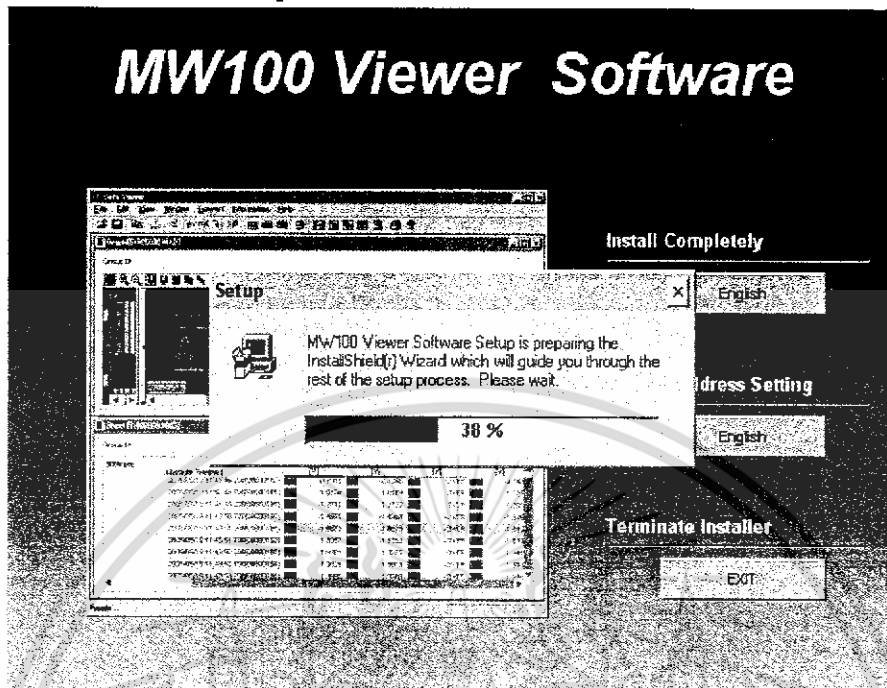
รูปที่ ก.2 แผ่นโปรแกรมของเครื่อง Recorder



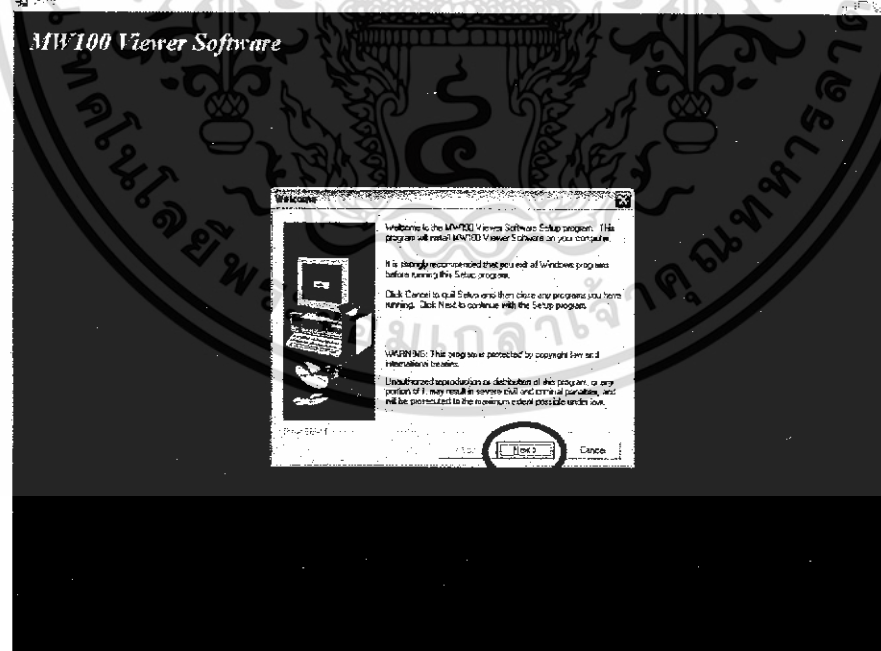
รูปที่ ก.3 หน้าต่างเมื่อใส่แผ่นโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คลิกที่ Install Completely จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก.4 รออนครบ 100% หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ ก.5



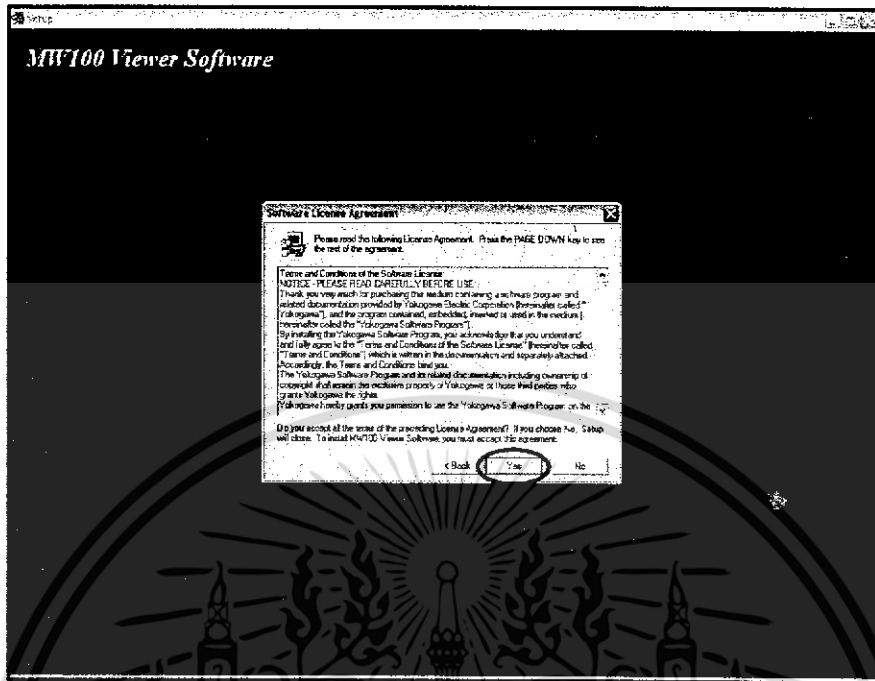
รูปที่ ก.4 โปรแกรมทำการโหลดเพื่อเซทอัพ



รูปที่ ก.5 หน้าจอของคอมพิวเตอร์เมื่อรันครบ 100 %

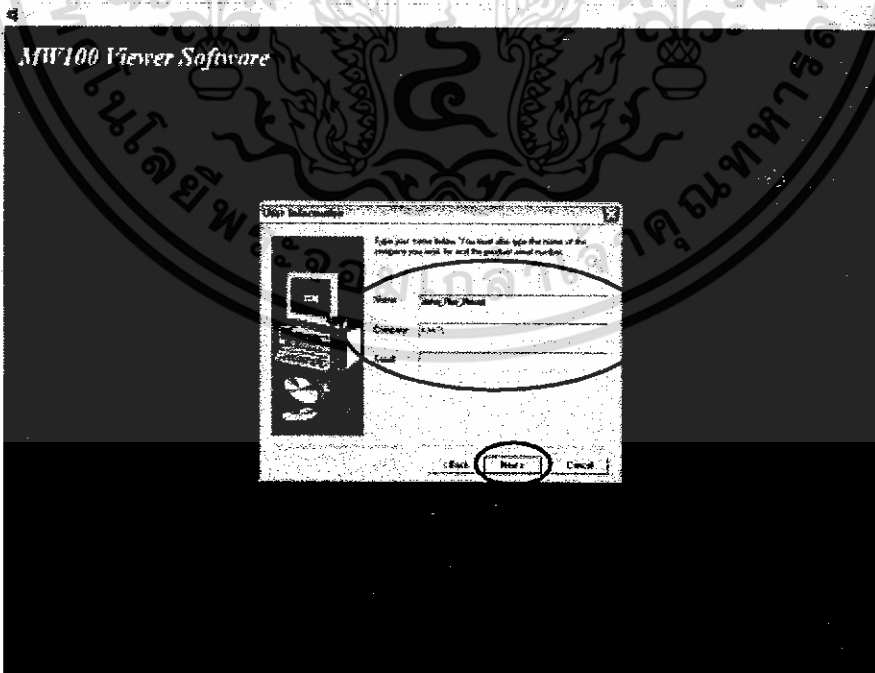
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 คลิก next และจะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 หน้าจอของคอมพิวเตอร์เมื่อคลิกคำสั่ง next

### 2.1.4 หลังจากนั้นคลิก Yes จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ ก.7



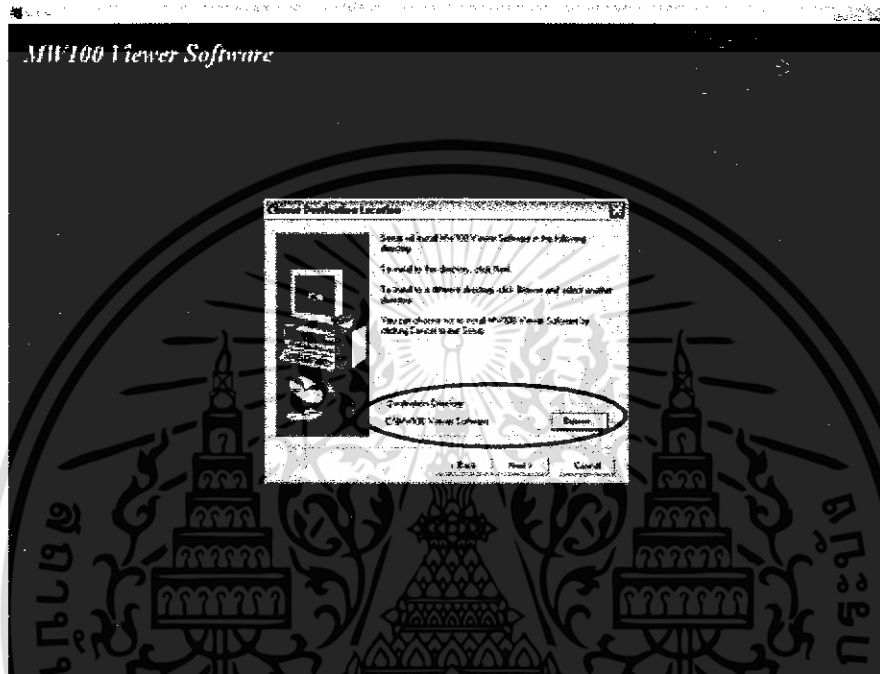
รูปที่ ก.7 หน้าจอของคอมพิวเตอร์เพื่อให้กรอก Serial number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ก.7 ทำการกรอกข้อมูลลงในส่วนที่ 1 ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย

- Name : ในส่วนนี้แล้วแต่ผู้ใช้งานจะใส่อะไร
- Company : ในส่วนนี้แล้วแต่ผู้ใช้งานจะใส่อะไร
- Serial : ใส่หมายเลขดังนี้ **182-004180-1928**

เมื่อเติมข้อมูลต่างๆครบแล้วจึงคลิกที่ Next (หมายเลข 2) จะแสดงหน้าจอตั้งรูปที่ ก.8



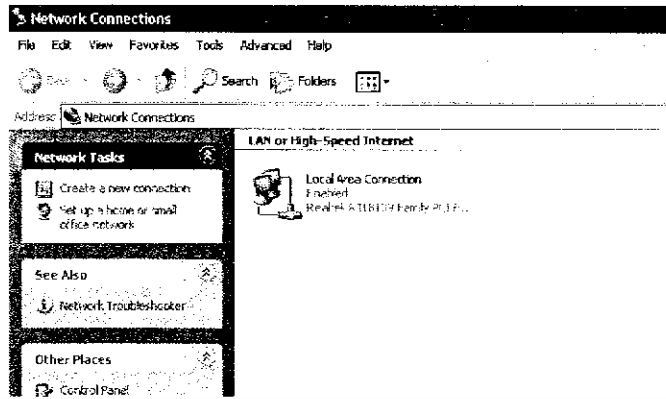
รูปที่ ก.8 หน้าจอของคอมพิวเตอร์เพื่อให้เลือกไดรฟ์ในการลงโปรแกรม

2.1.5 ในส่วนนี้จะให้ผู้ใช้เลือกตำแหน่งที่จะทำการลงโปรแกรมว่า เลือกแล้วจึงคลิกที่ Next ไปเรื่อยๆเครื่องจะทำการลงโปรแกรมและเมื่อลงโปรแกรมเสร็จแล้วให้คลิก Finish เป็นขั้นตอนสุดท้าย เท่านั้นก็เป็นทำการลงโปรแกรมเสร็จเรียบร้อย

## 2.2 การเซต IP ของเครื่อง Recorder

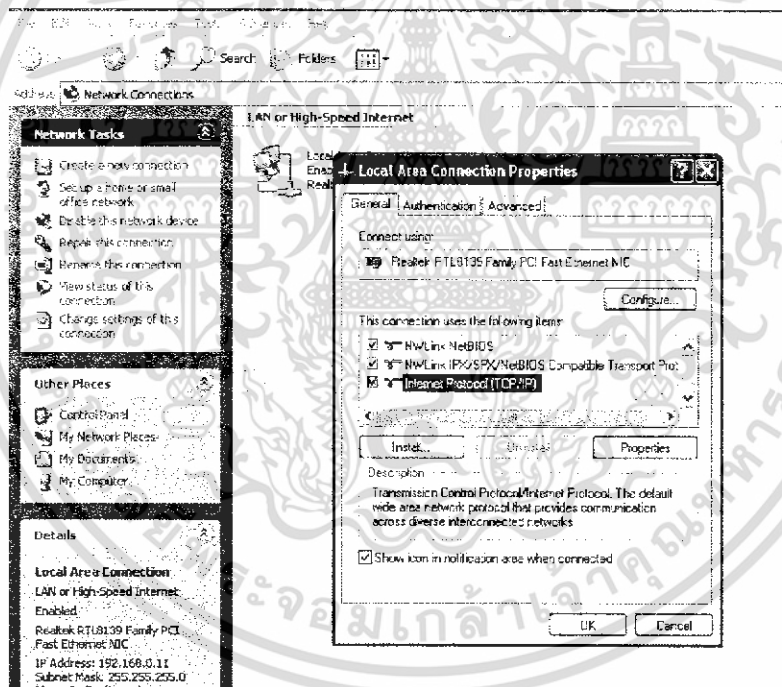
เมื่อติดตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องทำการเซต IP ของเครื่อง Recorder เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์

2.2.1 เซต IP ของเครื่องโดยคลิกขวาที่ไอคอน My Network Places แล้วเลือก Properties จะแสดงหน้าจอตั้งรูปที่ ก.9



รูปที่ ก.9 ไอคอนที่จะทำการเชื่อมต่อเน็ตเวิร์คเข้ากับเครื่อง recorder

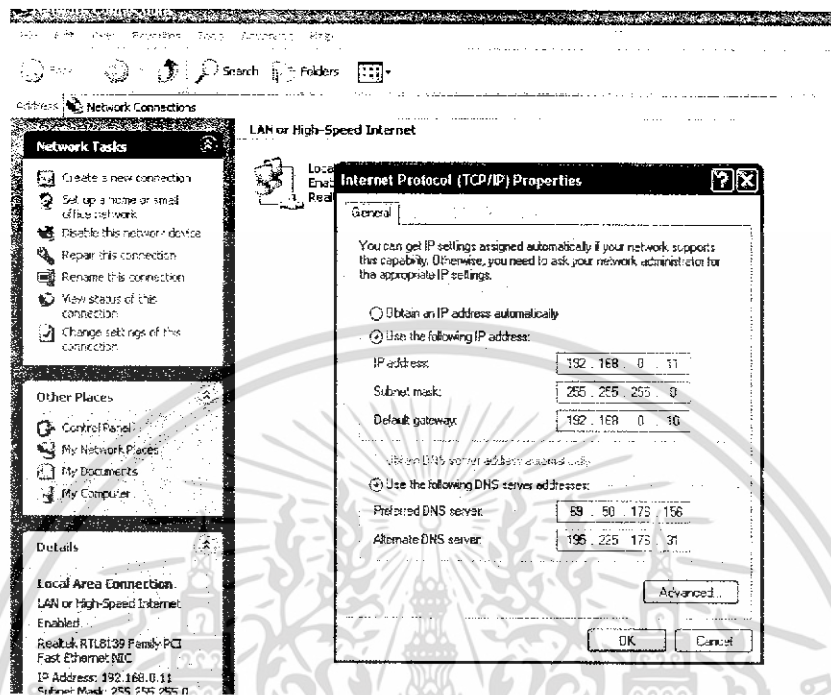
2.2.1 จากนั้นคลิกขวาที่ไอคอนที่ปรากฏอยู่ในรูปที่ ก.9 แล้วเลือกที่ Properties จะ  
 แสดงหน้าจอตั้งรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.10 เมนูคำสั่งที่จะเข้าไปทำการเซต IP ของเครื่อง recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เลือกคลิกที่ Internet Product (TCPAP) ให้เป็นแถบสีน้ำเงินขึ้นดังรูปและคลิกที่ Properties หน้าจอจะแสดงดังรูปที่ ก.11



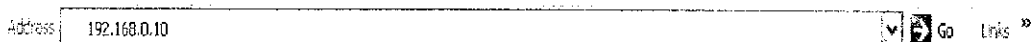
รูปที่ ก.11 ช่องใส่หมายเลข IP ของเครื่อง recorder

2.2.4 ทำการเซท IP ดังนี้

IP address : 192.168.0.11  
 Subnet mask : 255.255.255.0  
 Default gateway : 192.168.0.10

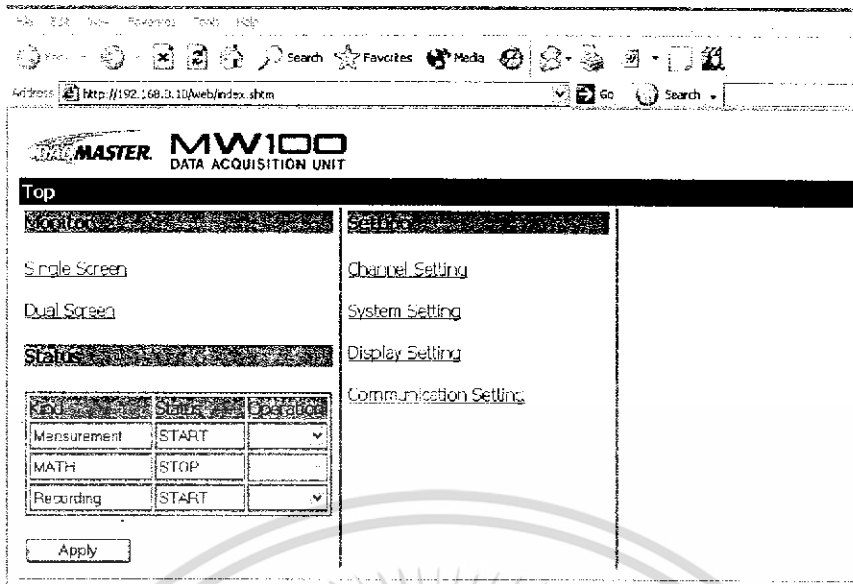
หลังจากทำการเซท IP เสร็จแล้วกดที่ปุ่ม OK

2.2.5 เมื่อทำการเซท IP ของเครื่องแล้วให้เชื่อมต่อเนทเวิร์คโดยเข้าที่ Internet Explorer ป้อน Address ดังนี้ 192.168.0.10 (ตามเลข Default gateway ที่ได้ตั้งไว้) ดังแสดงในรูปที่ ก.12 และเมื่อเข้าแล้วหน้าจอจะแสดงดังรูปที่ ก.13



รูปที่ ก.12 การใส่ค่า Address เพื่อเชื่อมต่อกับ Recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 หน้าจอของคอมพิวเตอร์เมื่อทำการต่อเน็ตแล้ว

## 2.3 คำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่อง recorder

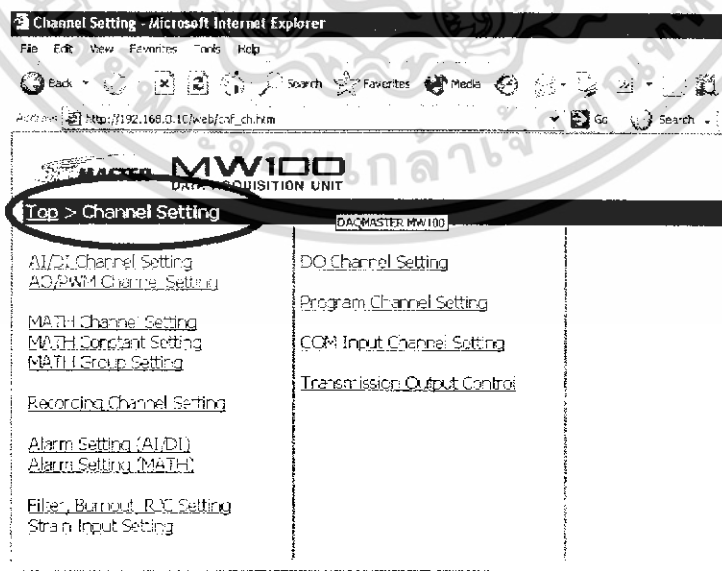
จากรูปที่ ก.13 จะเป็น menu คำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่อง recorder โดยจะกล่าวถึงคำสั่งต่าง ๆ แบบพอสังเขป โดยจะแบ่งเป็นส่วนหลัก ๆ ได้ 3 ส่วน คือ

### 1. Setting

ก่อนที่จะทำการ setting คำต่าง ๆ นั้นต้องให้ส่วนของ status อยู่ในสถานะ stop ทั้งหมดก่อนจึงทำการเซตค่าต่าง ๆ ได้ โดยในส่วน setting นี้จะประกอบด้วย menu ต่าง ๆ ดังนี้

#### 1.1 Channel Setting

เมื่อเราคลิกเข้ามาใน menu นี้ หน้าจอของคอมพิวเตอร์จะแสดงดังรูปที่ ก.14

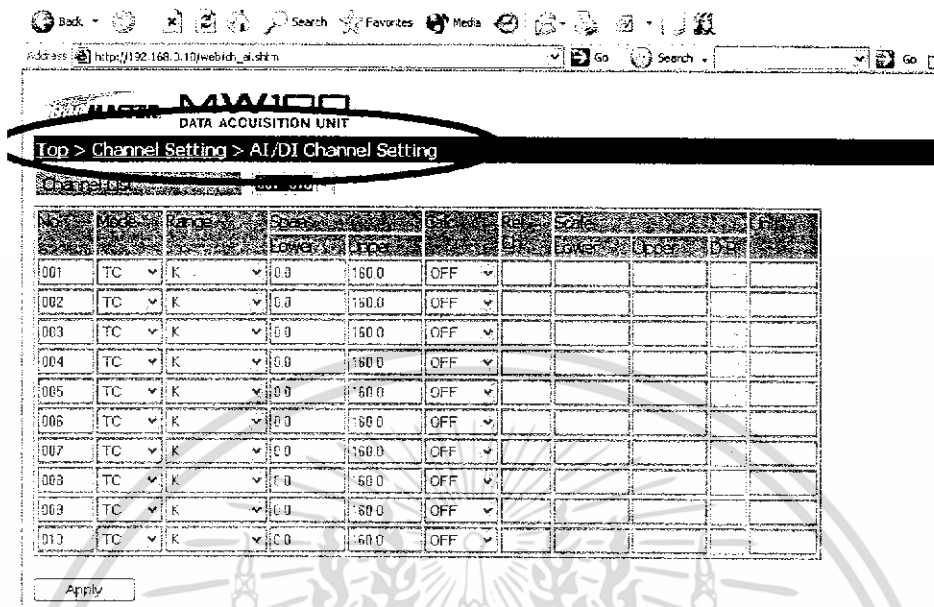


รูปที่ ก.14 menu ต่าง ๆ เมื่อเข้ามาใน Channel Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งในพจนานุกรมหรือในเอกสารอื่น ๆ เมื่อผู้ดูแลระบบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน menu นี้จะแนะนำเฉพาะคำสั่งที่ใช้ในการบันทึกผล ดังนี้

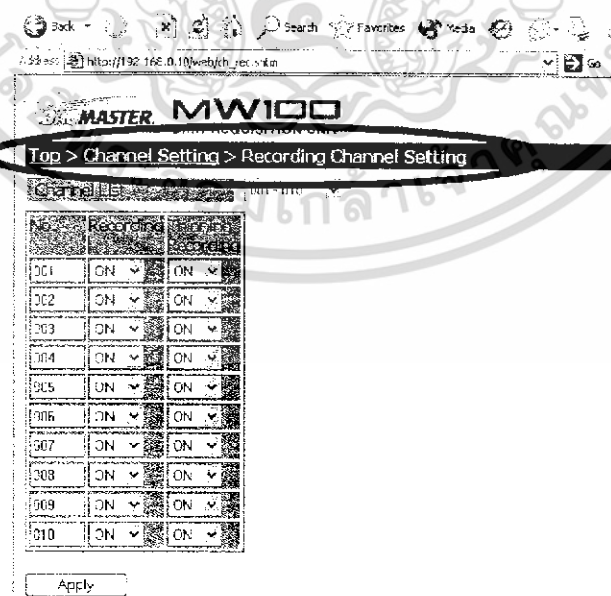
### 1.2 AI/DI Channel Setting



รูปที่ ก.15 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน AI/DI Channel Setting

ในส่วนของ AI/DI Channel Setting นี้จะแสดงถึงรายละเอียดของการเลือกชนิดของเซ็นเซอร์ที่จะนำมาใช้ในการบันทึกผลโดยเครื่อง recorder นี้สามารถที่จะวัดได้ทั้งอุณหภูมิและยังสามารถวัดแรงดันและค่าต่างๆได้อีกหลายชนิดโดยจะขึ้นอยู่กับตัวเซ็นเซอร์ที่เรานำมาใช้

### 1.3 Recording Channel Setting



รูปที่ ก.16 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Recording Channel Setting

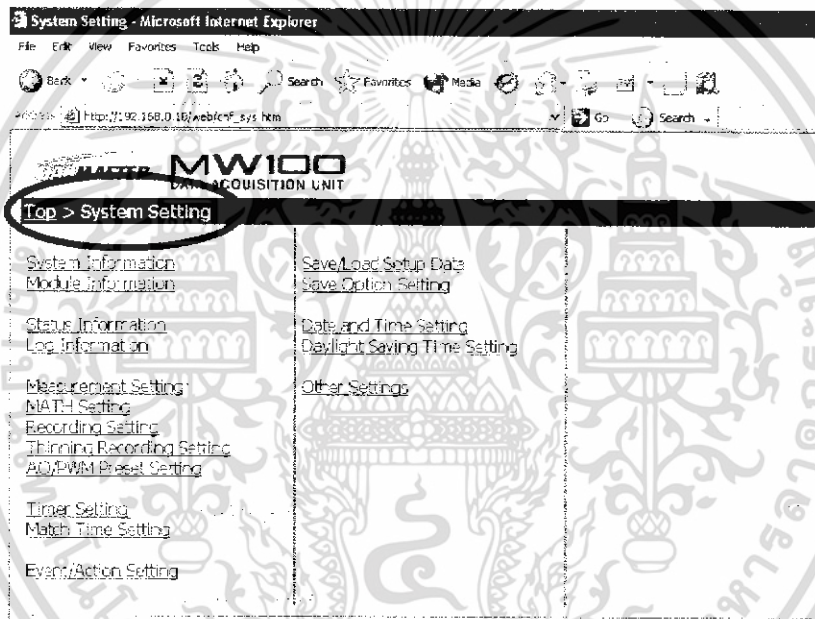
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ Recording Channel Setting จะเป็นการสั่งให้เครื่อง recorder ทำการบันทึกข้อมูลหรือไม่บันทึกข้อมูลก็ได้

## 2. System Setting

เมื่อเราคลิกเข้ามาใน menu นี้หน้าจอของคอมพิวเตอร์จะแสดงดังรูปที่ ก.17

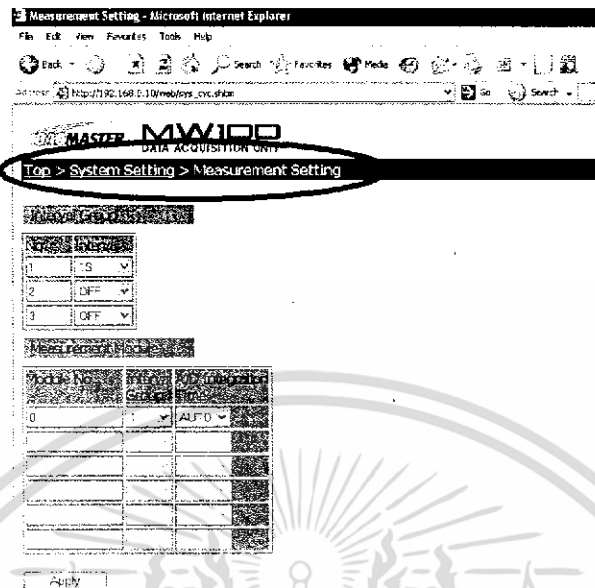
ส่วนใหญ่ menu ต่างๆใน System Setting จะเป็นการตั้งค่าของเครื่องมาอยู่แล้วและบอกถึงรุ่นกับสถานะต่างๆของเครื่องไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงคำสั่งเพียง 2 คำสั่ง ดังนี้



รูปที่ ก.17 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน System Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

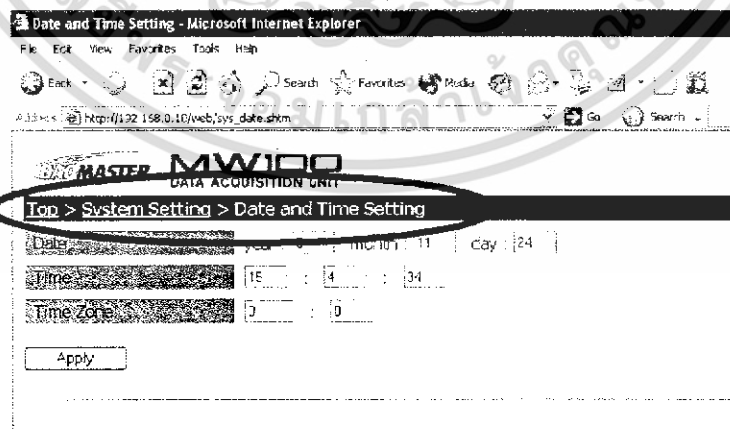
## 2.1 Measurement Setting



รูปที่ ก.18 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Measurement Setting

ในส่วนของ Measurement Setting นี้ จะเป็นการตั้งค่าสั่งให้เครื่อง recorder จะทำการบันทึกผลทุกๆช่วงเวลาเท่าไร เช่น 1s,2s,5s หรือ 60s เป็นต้น

## 2.2 Date And Time Setting



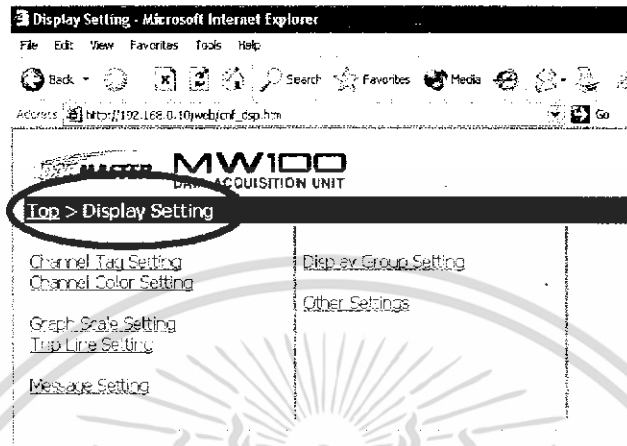
รูปที่ ก.19 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Date And Time Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของหน้าจอนี้จะเป็นการตั้งค่า วันและเวลาที่จะทำการบันทึกผล

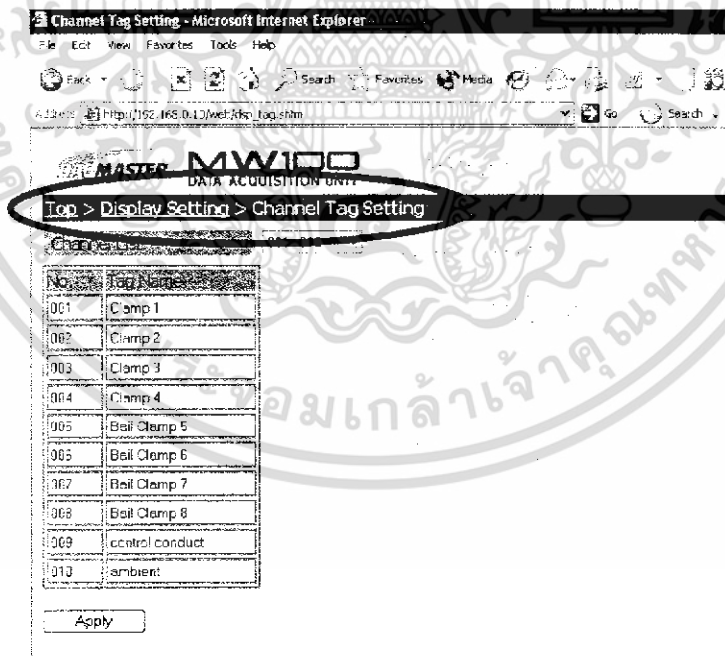
### 3. Display Setting

เมื่อเรากดเข้ามาใน menu นี้หน้าจอของคอมพิวเตอร์จะแสดงดังรูปที่ ก.20



รูปที่ ก.20 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Display Setting

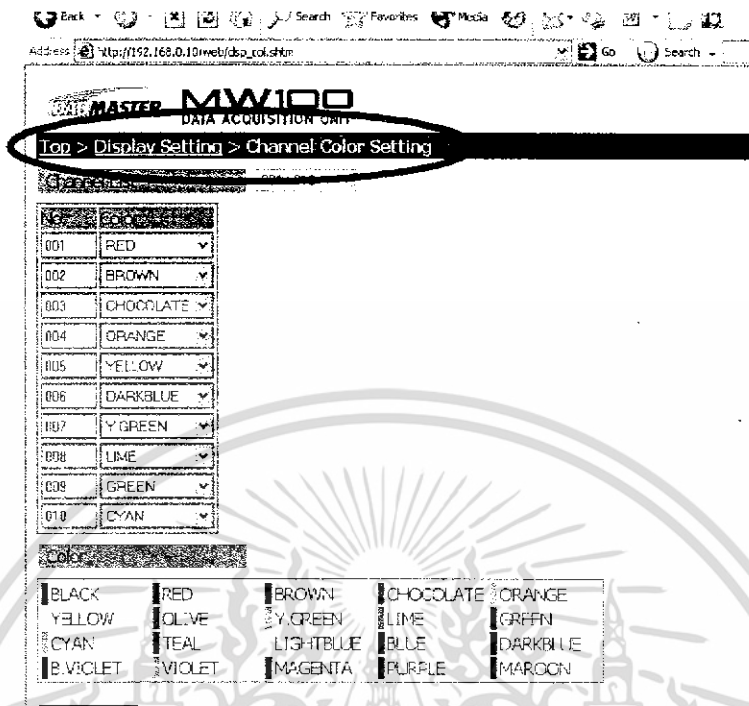
#### 3.1 Channel Tag Setting



รูปที่ ก.21 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Channel Tag Setting

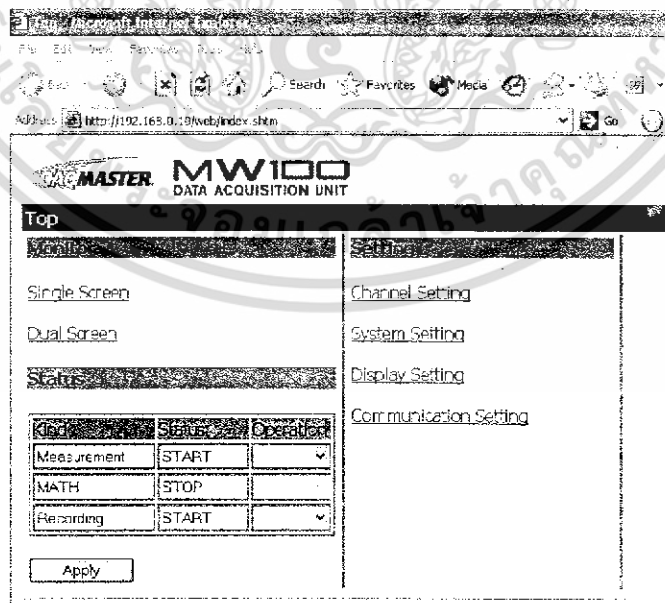
ในส่วนนี้จะเป็นคำสั่งที่ใช้ในการตั้งชื่อของแต่ละ Channel เพื่อความสะดวกในการดูผล และบันทึกผล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 Channel Color Setting



รูปที่ ก.22 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Channel Color Setting

ในส่วนนี้จะป็นคำสั่งที่ใช้ในการระบุสีของแต่ละ Channel เพื่อความสะดวกในการดูผลและบันทึกผล



รูปที่ ก.23 หน้าจอคำสั่งที่ใช้ในการระบุสีของแต่ละ Channel

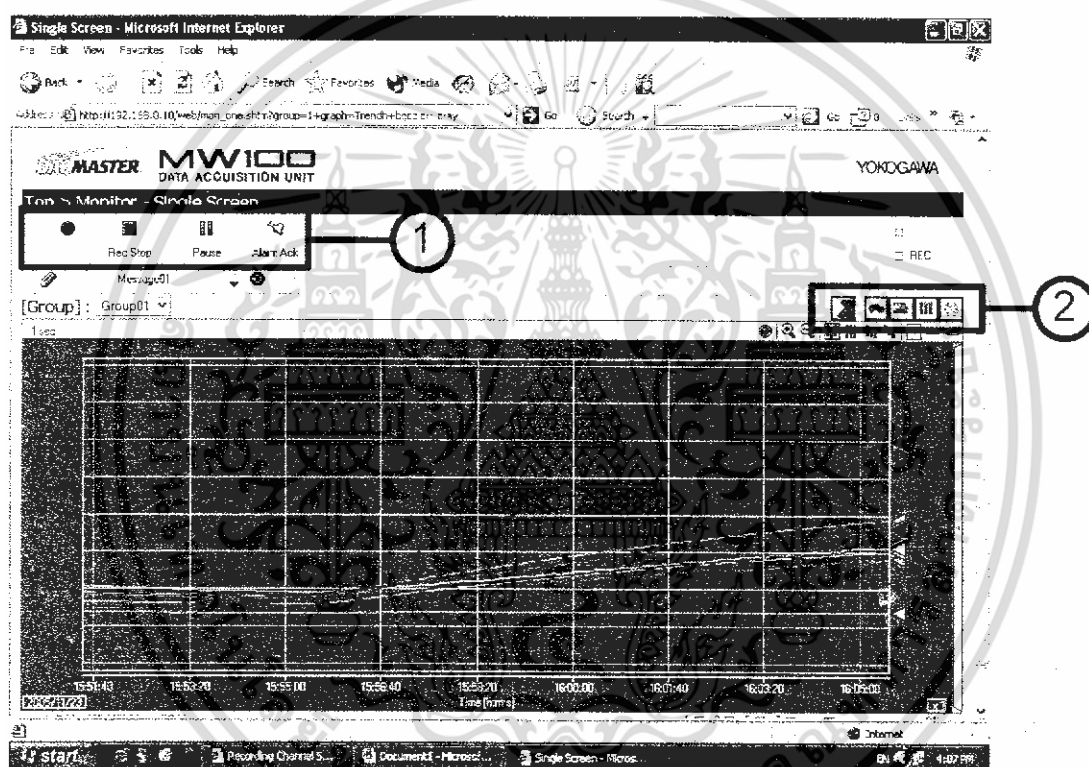
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. Monitor

เมื่อทำการ Setting ค่าต่างๆเสร็จแล้วจะมาดูในส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นส่วนของ Monitor หรือการแสดงผลทางหน้าจอของคอมพิวเตอร์ แต่ก่อนที่จะทำการใช้ส่วนของ Monitor นั้นต้องสังเกตที่ Status โดยให้ Measurement อยู่ในสถานะ Start ก่อน โดยในส่วนของ Monitor นี้ จะมีอยู่ 2 Menu คือ

- Single Screen คือการแสดงผลที่หน้าจอแบบกลุ่มเดียว
- Dual Screen คือการแสดงผลที่หน้าจอแบบ 2 กลุ่มเปรียบเทียบกัน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Single Screen เนื่องจากในการบันทึกผลนี้จะแบ่งเป็นเพียง 1 กลุ่มเท่านั้น



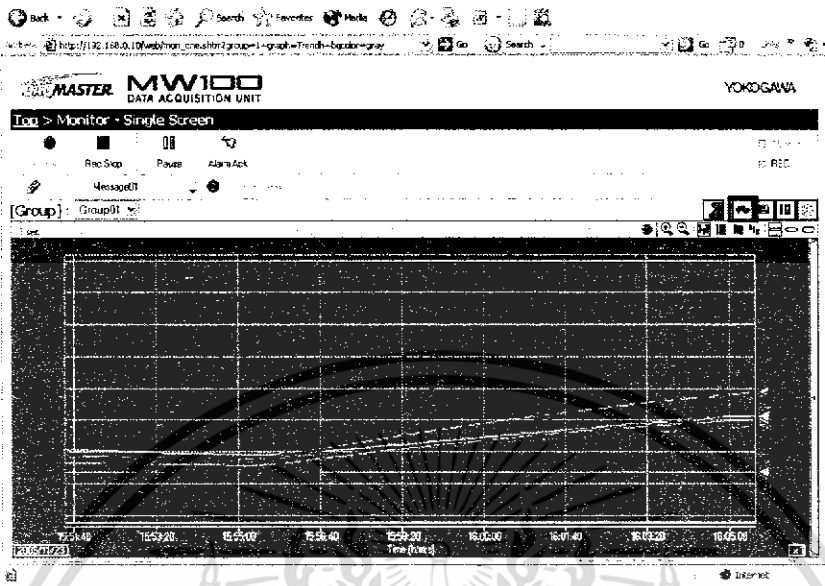
รูปที่ ก.24 menu ต่างๆเมื่อเข้ามาใน Single Screen

ในส่วนของ menu นี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 คือคำสั่ง start/stop ของการสั่งให้เครื่องทำการบันทึกผล

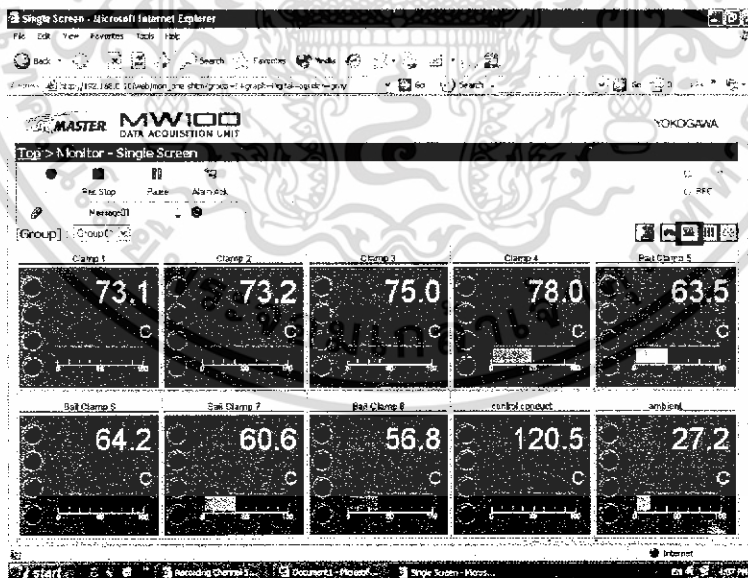
ส่วนที่ 2 คือคำสั่งเลือกให้หน้าจอแสดงผลเป็นรูปแบบต่างๆโดยจะมีทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

- แบบ Trend



รูปที่ ก.25 หน้าจอแสดงผลแบบ Trend

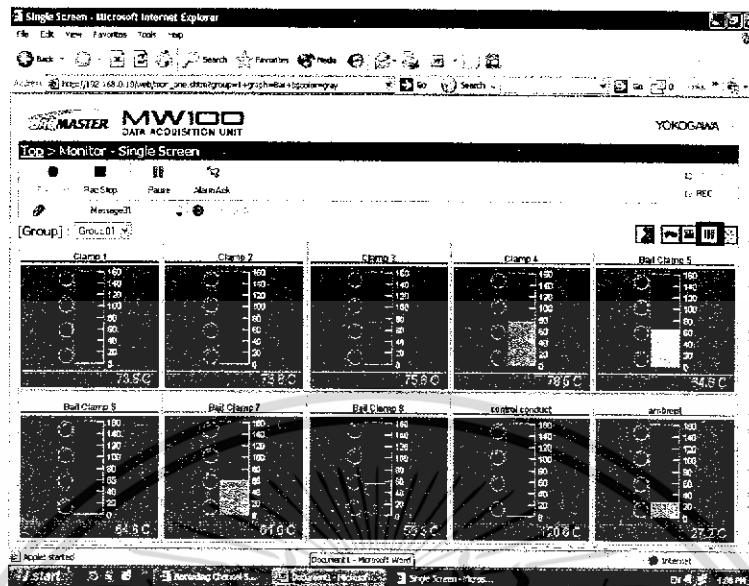
- แบบ Numeric value



รูปที่ ก.26 หน้าจอแสดงผลแบบ Numeric value

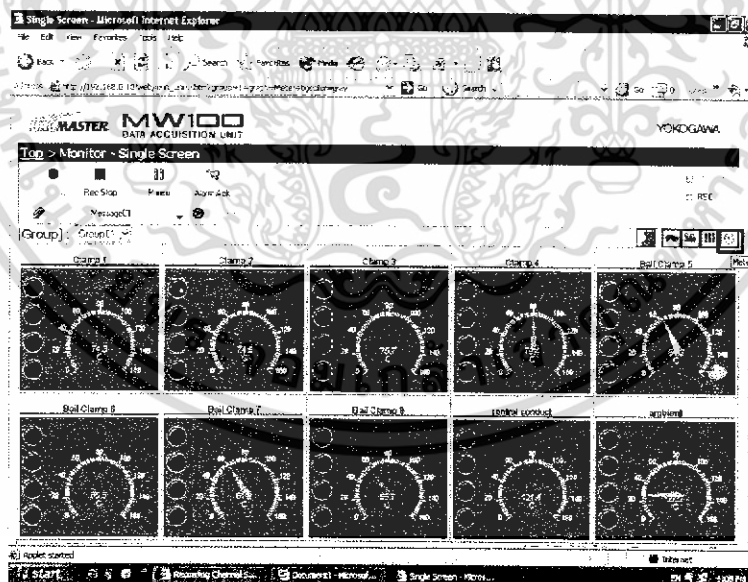
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบ Bar Graphs



รูปที่ ก.27 หน้าจอแสดงผลแบบ Bar Graphs

- แบบ Meters



รูปที่ ก.28 หน้าจอแสดงผลแบบ Meters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

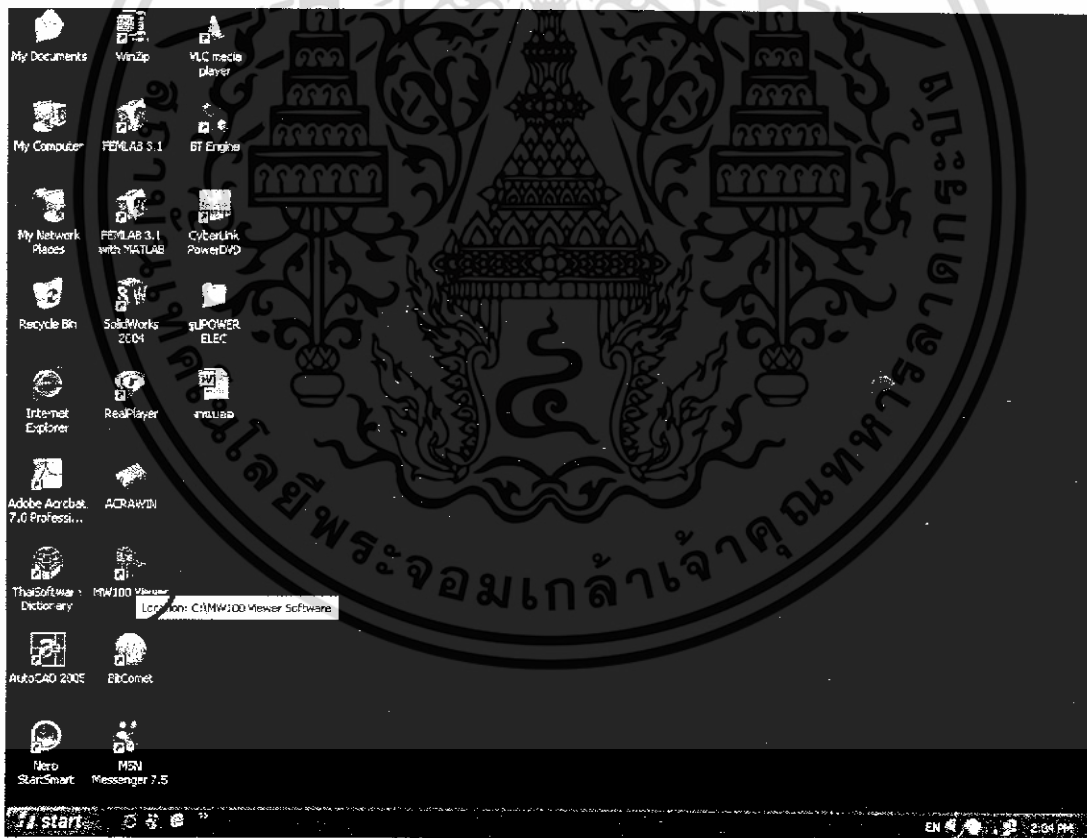
## 5. Status

ในคำสั่งนี้จะเป็นการสั่ง start/stop เพื่อให้เครื่อง Recorder ทำหน้าที่ในการเริ่มบันทึกข้อมูลหรือหยุดบันทึกข้อมูลอีกทางหนึ่งโดยในเครื่อง Recorder เครื่องนี้จะสามารถสั่ง start/stop ได้ 3 ที่ คือ

- ที่ตัวเครื่อง Recorder
- ที่ menu ในโหมด Single Screen
- ที่ส่วนของคำสั่ง Status

## 6. การนำผลที่ได้จากการบันทึกมาใช้

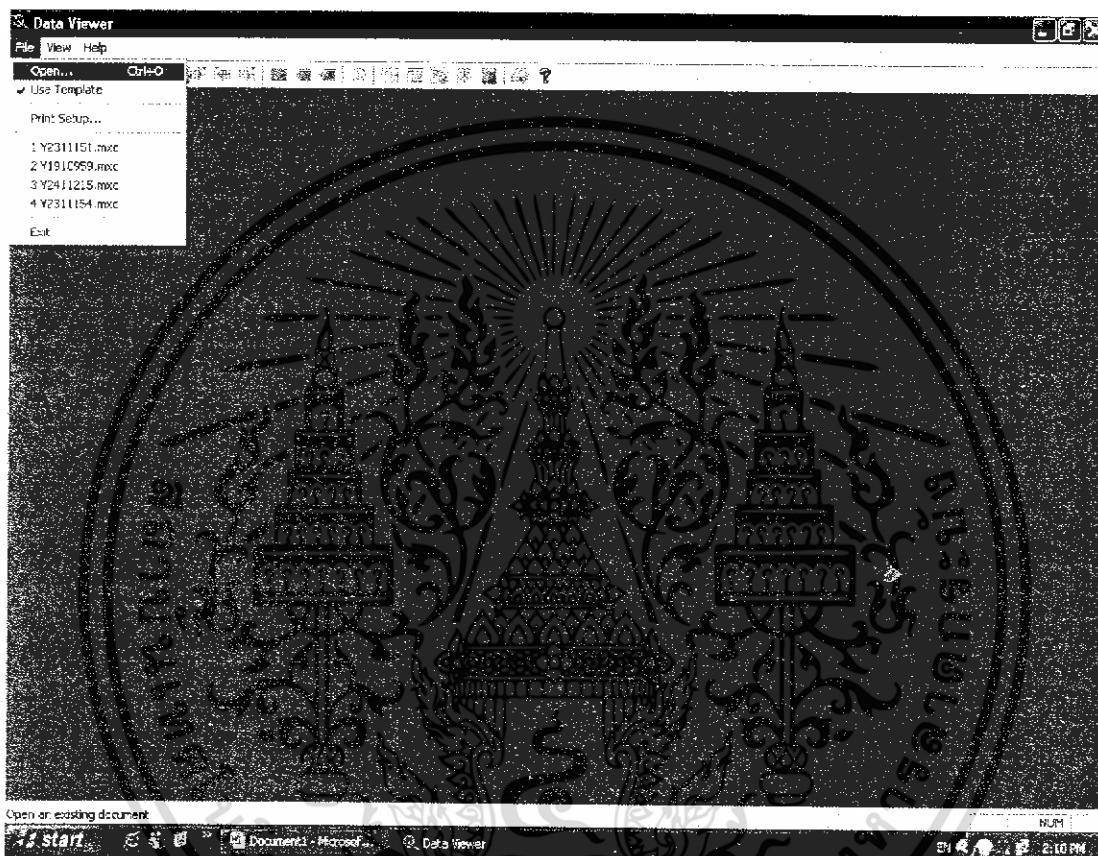
ผลของอุณหภูมิที่ทำการบันทึกนั้นจะถูกเก็บอยู่ที่ MMC card ที่อยู่ภายในของเครื่อง Recorder โดยผู้ใช้นั้นต้องมี Card Reader หรือ พอร์ตที่ใช้อ่าน MMC card นี้ได้จึงจะสามารถนำผลของอุณหภูมิที่บันทึกมาใช้ได้ เมื่อนำ MMC card ต่อกับพอร์ตแล้วให้เปิดโปรแกรมของเครื่อง Recorder ที่ได้ลงไว้โดยคลิก Icon MW100 Viewer ในรูปที่ ก.29



รูปที่ ก.29 Icon ของ MW100 Viewer

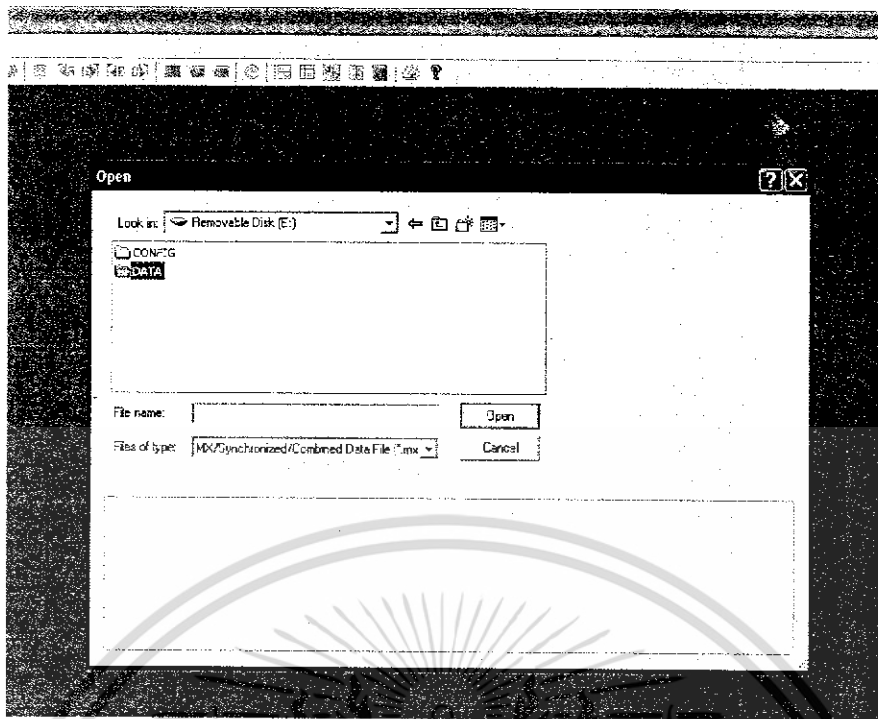
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปิดโปรแกรมแล้วคลิกที่ File แล้วเลือก Open ดังรูปที่ ก.30 ก) หน้าจอจะแสดงดังรูปที่ ก. 30 ข) เลือกที่ DATA แล้วเลือก Open หน้าจอจะแสดงดังรูปที่ ก.30 ค) เลือกไฟล์ที่ต้องการ แล้ว Open หน้าจอจะโหลด ไฟล์ออกมาดังรูปที่ ก.31 เมื่อโหลดเสร็จแล้วให้ทำการ Convert ผลที่ได้จากการทดสอบ ไปลงโปรแกรม Excel เมื่อ Convert แล้ว ก็จะได้ค่าเป็นโปรแกรม Excel นำมาใช้งาน ดังรูปที่ ก.32

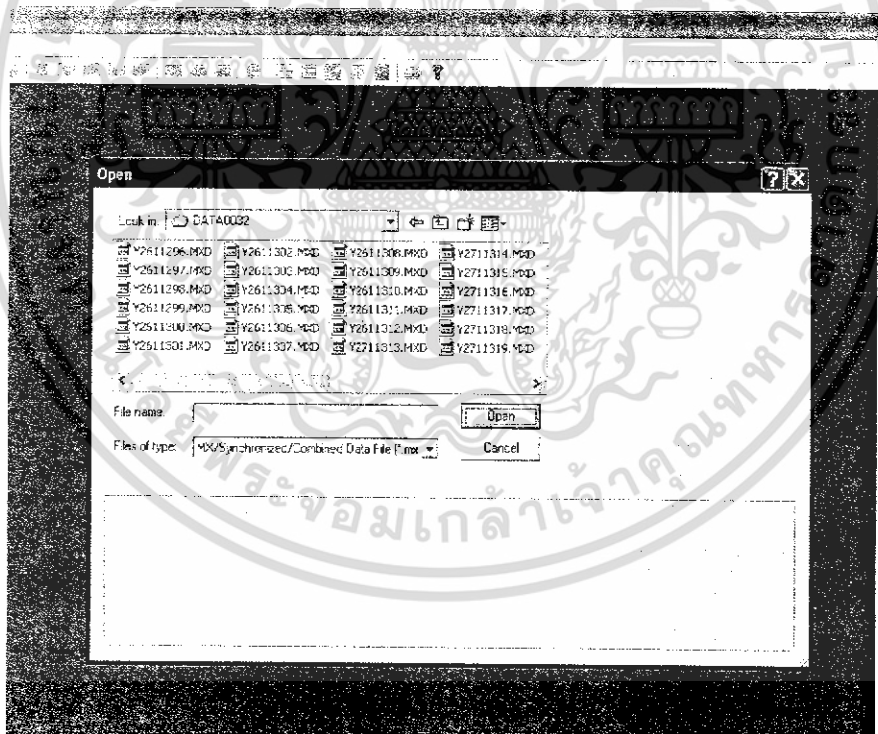


ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



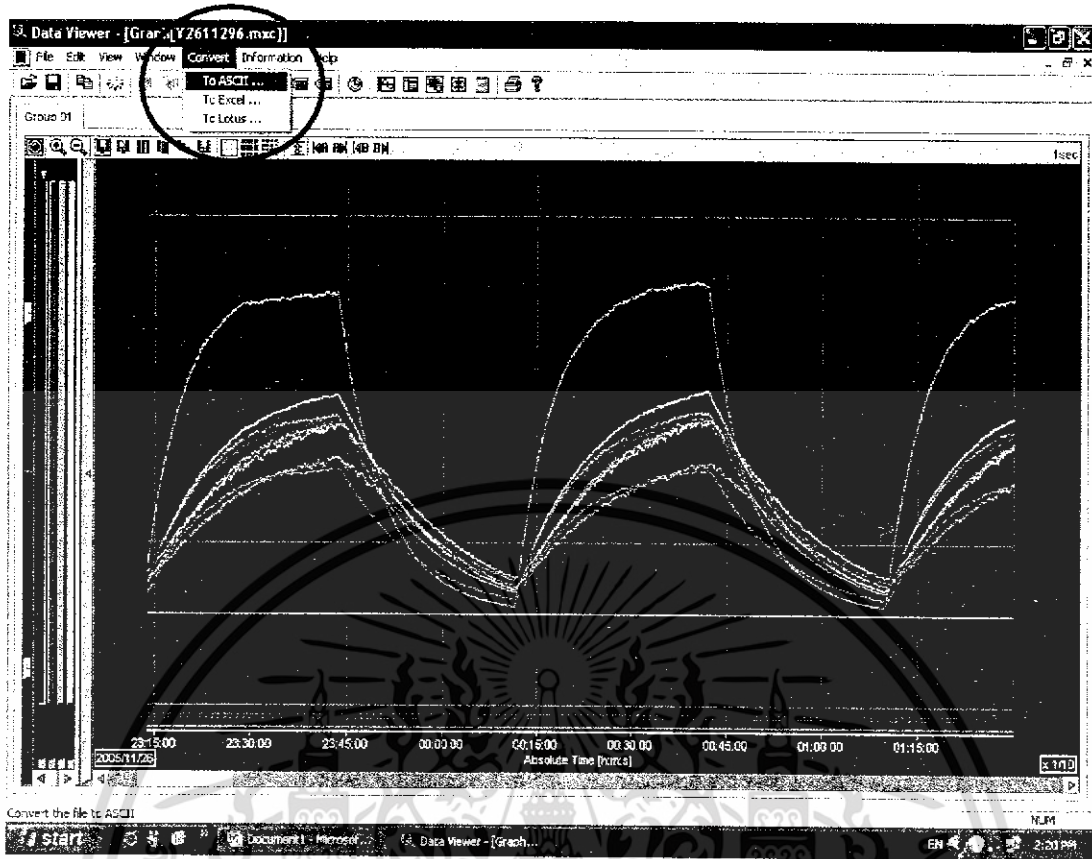
ข)



ค)

รูปที่ ก.30 ขั้นตอนการเปิดโปรแกรมของ MW100 Viewer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.31 การ Convert ผลที่ได้ไปไว้ในโปรแกรม Excel



รูปที่ ก.32 File ของโปรแกรม Excel เมื่อทำการ Convert แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 จำนวนไซเคิลที่ใช้ในการทดสอบ

Connector Class	Number of Test Cycle for:	
	CCT Method	CCST Method
Extra heavy duty (Class AA)	500	NA
Heavy duty (Class A)	500	100
Medium duty (Class B)	250	75
Light duty (Class C)	125	50

เมื่อ CCT Method คือ วิธีการทดสอบที่ปล่อยให้วัสดุทดสอบเย็นตัวลงโดยใช้อากาศรอบๆ  
 CCST Method คือ วิธีการทดสอบที่ปล่อยให้วัสดุทดสอบเย็นตัวลงโดยการแช่น้ำ

ตารางที่ ข.2 ค่าแรงบิด

Threaded Fastener Size		Aluminum Fastener		Galvanized steel, Stainless Steel or Silicon Bronze Fastener	
in	mm	lb in	N m	lb in	N m
5/16	7.9	-	-	180	20.3
3/8	9.5	168	19.0	240	27.1
13/38	10.3	204	23.0	288	32.5
7/16	11.1	240	27.1	360	40.6
1/2	12.7	300	33.9	480	54.2
9/16	14.3	384	43.4	576	65.0
5/8	15.9	480	54.2	660	74.5

ตารางที่ ข.3 Conductor lengths for current cycle tests

Composite aluminum composit	Copper or copper composite	Exposed Length			
		Stranded		Solid	
		in	Cm	in	Cm
Up through 4/0 AWG	Up through 2/0 AWG	12	30.5	24	61.0
Over 4/0 AWG Through 795 kcmil	Over 2/0 AWG Through 500 kcmil	24	61.0	48	121.9
Over 795 kcmil	Over 500 kcmil	36	91.4	72	182.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ค่าของกระแสที่แนะนำให้ใช้ในการป้อนให้กับวงจรเพื่อทำให้ Control Conductor มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิรอบข้างประมาณ 100°C

Aluminum or Aluminum Composite		Copper or Copper Composite	
Conductor (AWG)	Current (Amperes)	Conductor (AWG)	Current (AWG)
6	90	8	95
4	125	6	130
2	170	4	180
1	200	2	245
1/0	230	1/0	340
2/0	270	2/0	400
3/0	320	3/0	470
4/0	380	4/0	550
(kcmil)		(kcmil)	
266.8	450	250	615
336.4	525	300	700
397.5	590	350	780
477	670	400	850
556.5	750	500	990
636	820	750	1300
795	955	1000	1565
954	1085	-	-
1033.5	1150	-	-
1113	1220	-	-
1192	1275	-	-
1272	1350	-	-
1351.5	1390	-	-
1431	1450	-	-
1590	1560	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ช่วงเวลาในการจ่ายกระแส

Aluminum or Aluminum Composite (kcmil)	Copper or Copper Composite	Current ON Period (Hour)
Up through 336.4	Up through #4/0 AWG	1.0
Over 336.4 through 795	Over #4/0 AWG through 500 kcmil	1.5
Over 795 through 1590	Over 500 kcmil through 10000 kcmil	2.0

ตารางที่ ข.6 ช่วงเวลาในการวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิ

Current Cycle Test Method (CCT)	Current Cycle Submersion Test Method (CCST)
25-30	5-7
45-55	8-12
70-80	18-22
95-105	28-32
120-130	38-42
160-170	48-52
200-210	58-62
245-255	68-72
320-330	78-82
40-410	88-92
495-505	98-102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

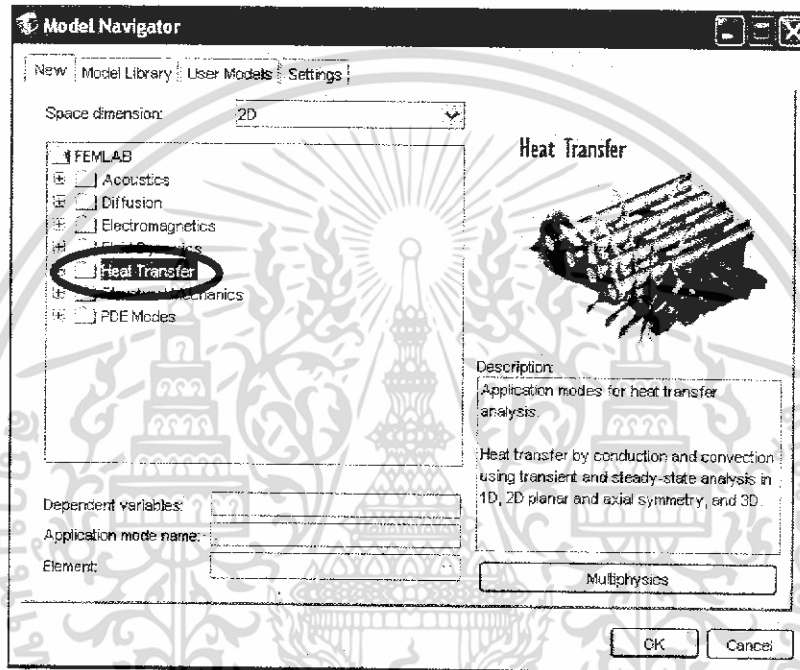


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

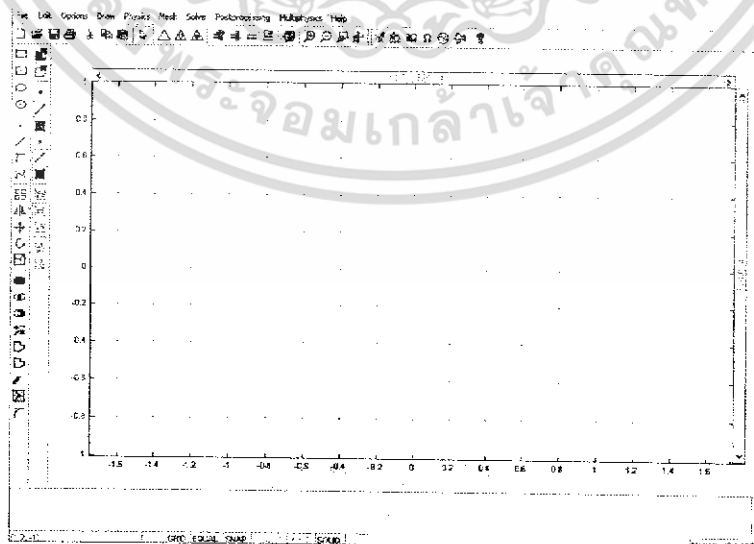
## การใช้โปรแกรม FEMLAB

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการใช้โปรแกรมการคำนวณทาง Finite element ในการวิเคราะห์ความร้อนในรูปแบบ 2 มิติ  
วิธีการใช้โปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม  ทำการเลือกวิธีการคำนวณโดยเลือกคำนวณในหัวข้อ Heat transfer ในรูปแบบ 2 มิติแล้วกดปุ่ม OK



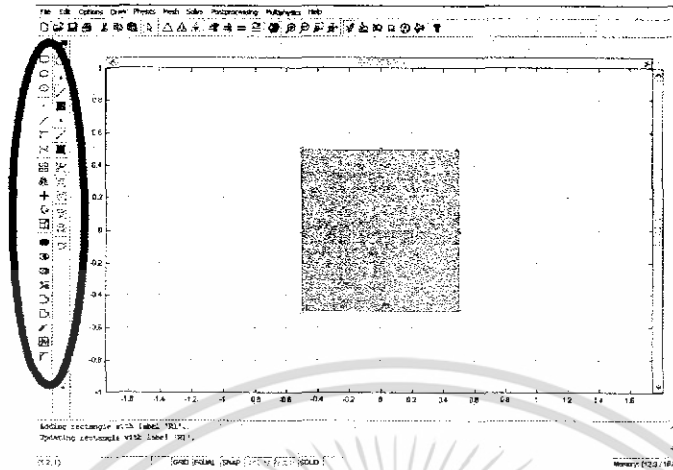
รูปที่ ค.1 เลือกวิธีการคำนวณของโปรแกรมทาง Finite element



รูปที่ ค.2 หน้าต่างการเตรียมใช้โปรแกรม

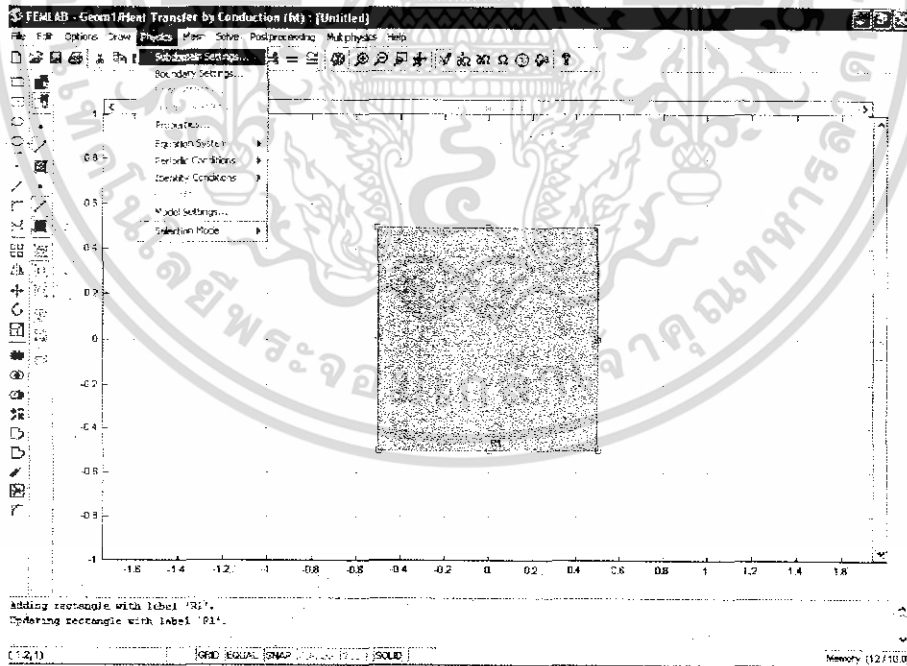
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้แถบอุปกรณ์เป็นเครื่องมือการวาด โดยทำการวาดแบบสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 1 หน่วย ยาว 1 หน่วยดังรูปที่ ค.3



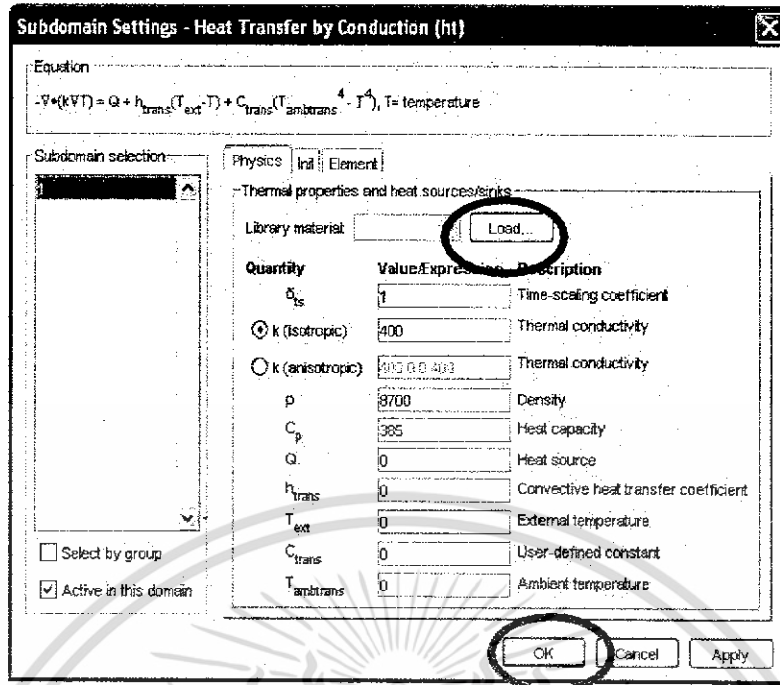
รูปที่ ค.3 การวาดแบบจำลอง

3. ตั้งค่าให้กับชิ้นงานที่ได้สร้างขึ้นมาโดยไปที่ menu bar เลือก Physics>Subdomain setting ดังรูปที่ ค.4 จะปรากฏ Block ของ Subdomain เพื่อกำหนดค่าของวัสดุที่จะทำการคำนวณ ดังรูปที่ ค.5



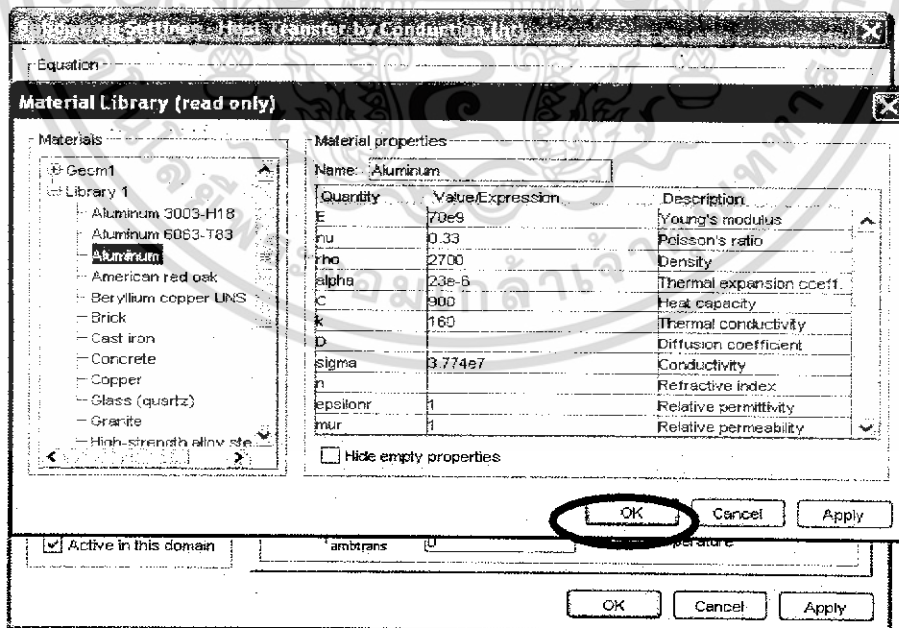
รูปที่ ค.4 การเข้า menu bar เพื่อกำหนดค่าของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



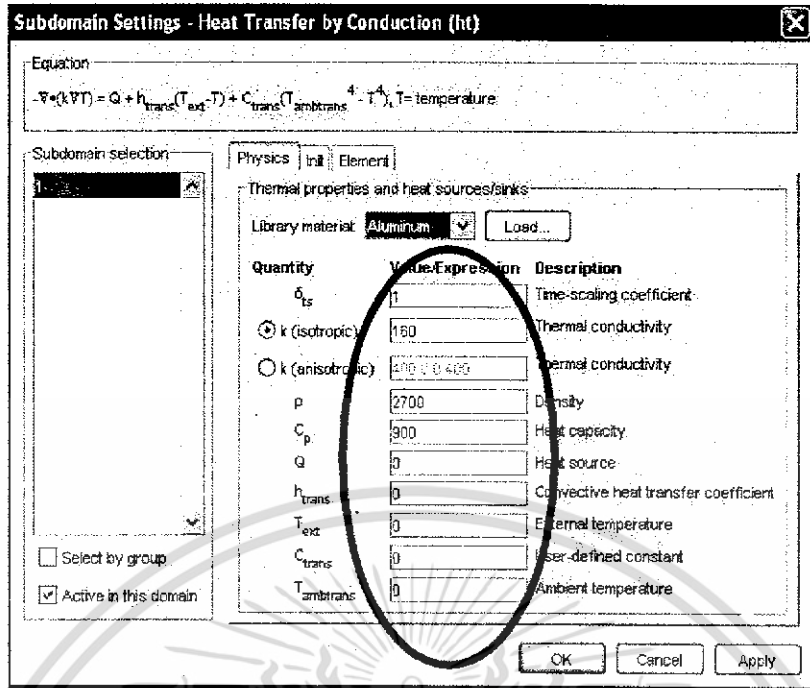
รูปที่ ค.5 Block ของ subdomain setting

4. คลิกที่ Load แล้วเลือกวัสดุ ดังรูปที่ ค.6 จะปรากฏรายการที่บอกค่าคุณสมบัติวัสดุต่างๆ เลือกวัสดุที่ใช้คือ Aluminum กด OK รายการที่เลือกจะปรากฏอยู่ที่ Block ของ subdomain setting ดังรูปที่ ค.7 แล้วกด OK



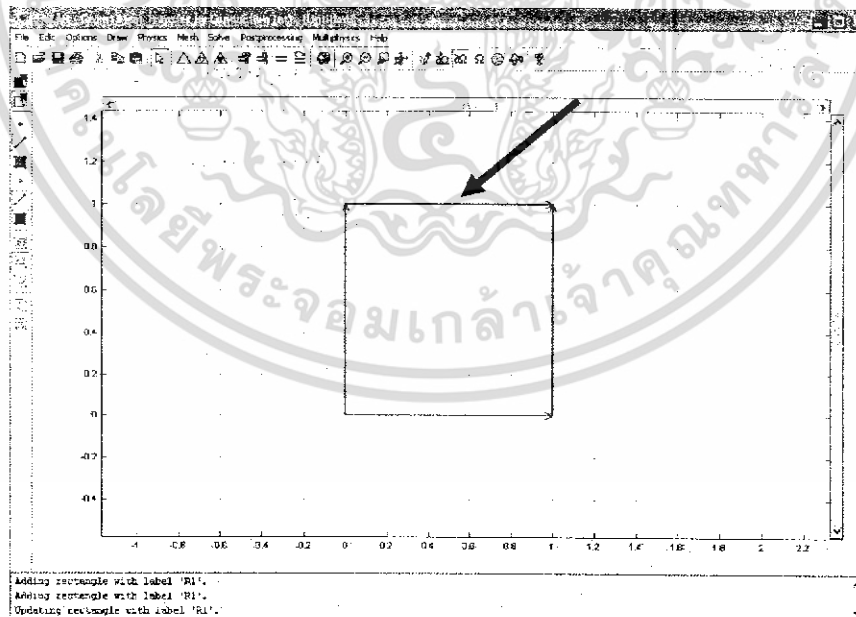
รูปที่ ค.6 รายการค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุที่ Load มาที่ Block ของ Subdomain setting

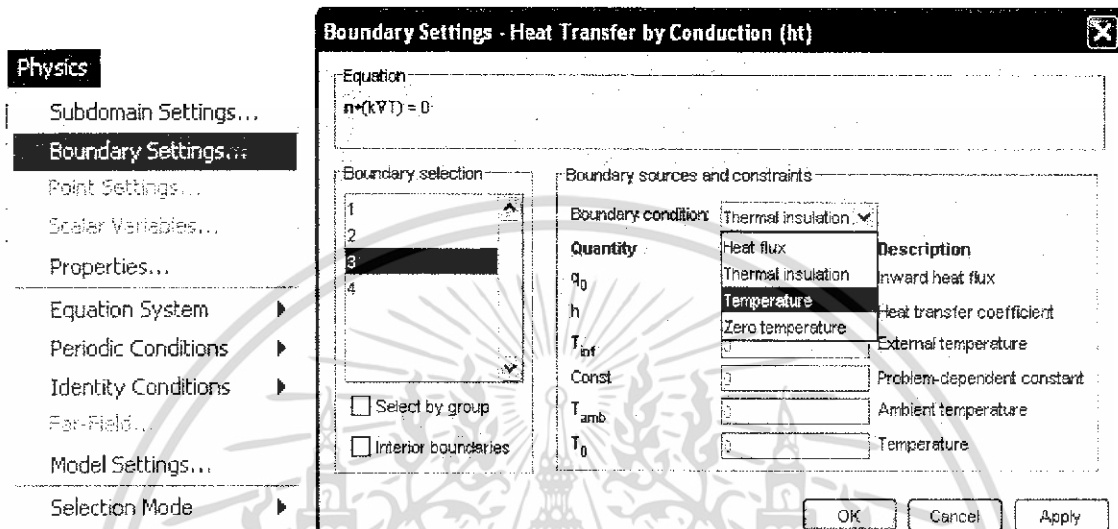
5. ทำการตั้งค่าของขอบเขตที่จะกำหนดอุณหภูมิให้กับเส้นขอบเขต โดยจะให้อุณหภูมิ ด้านบนมีค่า 200 องศา เพื่อสังเกตการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้น





รูปที่ ค.8 การกำหนดอุณหภูมิที่ขอบเขต

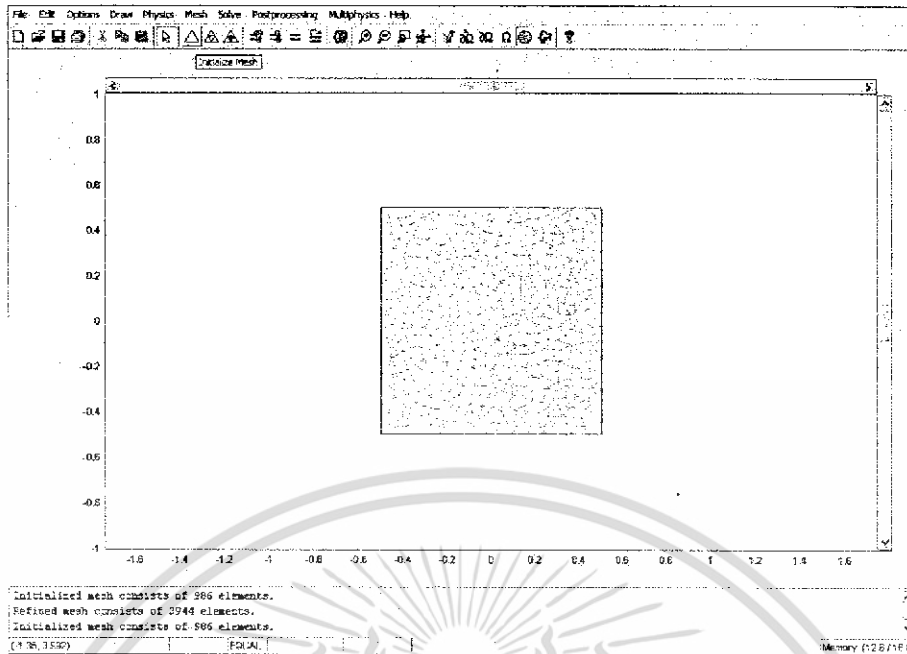
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการกำหนดค่าโดยไปที่ menu bar เลือก Physics>Boundary setting จะปรากฏ Block ของ Boundary setting ดังรูปที่ ค.10 กำหนดขอบเขต โดยให้อุณหภูมิขอบเขตที่ 3 ด้านบนเป็น 200 องศา และขอบเขตที่ 1, 4 ด้านข้าง เลือกที่ Heat flux กำหนดค่าเท่ากับ 250 ที่ heat transfer coefficient ซึ่งเป็นค่าการกระจายความร้อน แล้วให้ขอบเขตที่ 2 ด้านล่าง เป็นค่า Zero temperature



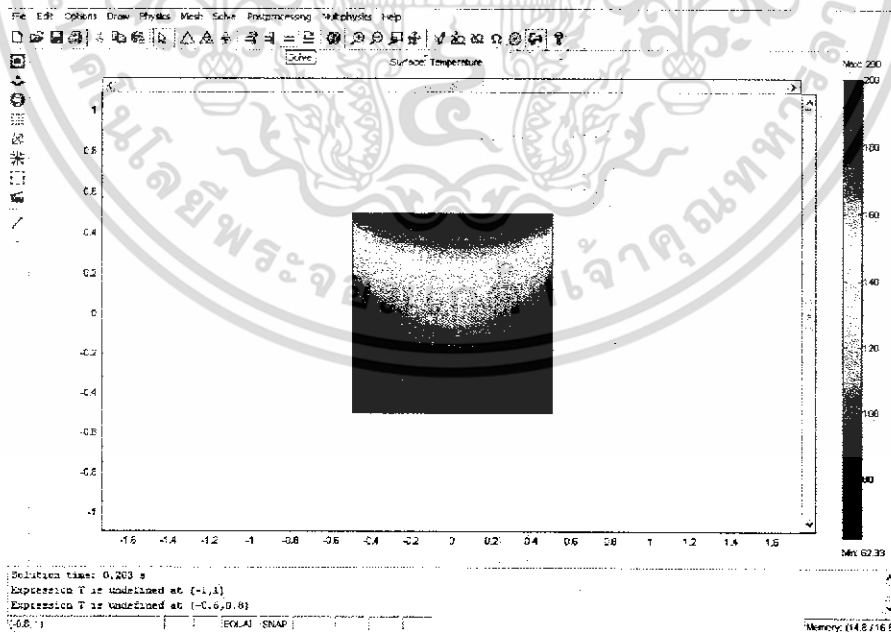
รูปที่ ค.9 การกำหนดค่าของขอบเขต

7. ทำการตี Mesh ให้กับโปรแกรมโดยไปที่เมนูบาร์ เลือกไอคอน Initialize Mesh  ซึ่งสามารถที่ตี Mesh ได้มากขึ้นโดยไปที่ไอคอน Refine Mesh  จะสามารถตี Mesh เพิ่มมากขึ้นเพื่อความละเอียดของผลที่แสดงในรูปของความร้อน ดังรูปที่ ค.10




รูปที่ ค.10 การตี Mesh ของแบบที่สร้างขึ้นมา

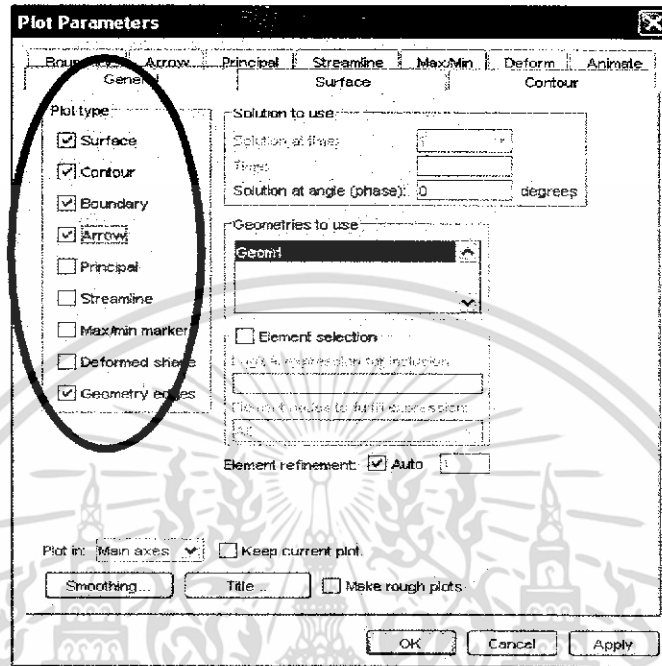
8.ทำการแสดงผลที่ได้จากการกำหนดค่าต่างๆ จากรูปแบบที่ได้ทำการกำหนดขึ้นมา โดยไปที่ menu bar จะมี ไอคอน Solve = คลิกเลือกที่ไอคอน solve โปรแกรมจะเข้าสู่กระบวนการการคำนวณ และแสดงผลของการกระจายความร้อน ดังรูปที่ ค.13



รูปที่ ค.11 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมทาง Finite element

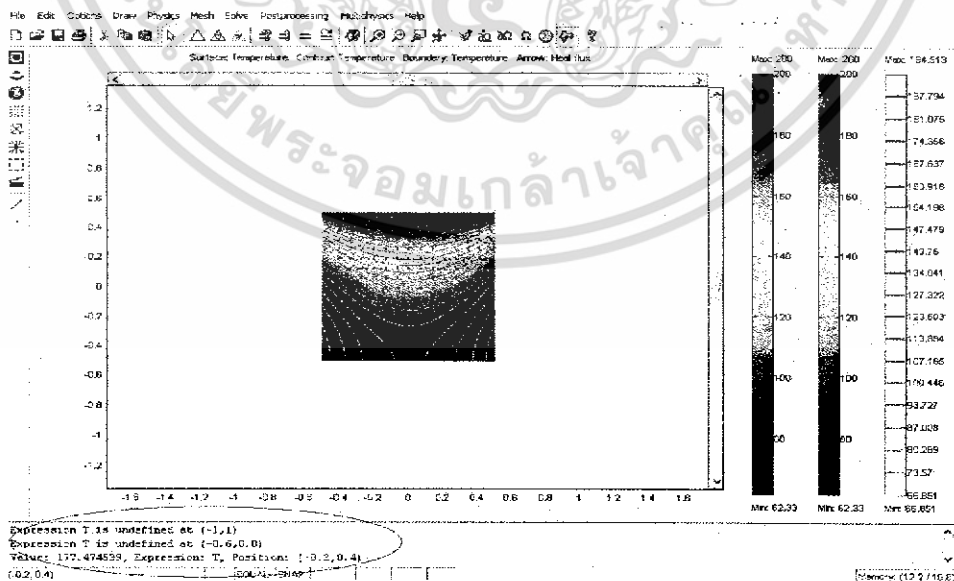
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การแสดงผลพีชของการคำนวณโดยใช้โปรแกรมทาง Finite element นั้นเราสามารถที่จะแสดงผลพีชได้หลายแบบโดยไปที่ menu bar เลือก  Postprocessing>Post parameter จะปรากฏ Block ของ plot parameter เลือกคลิกที่ Plot type ดังแสดงในรูปที่ ค.12



รูปที่ ค.12 Block ของ Plot Parameter

จะมีการ Plot กราฟแบบที่กำหนดให้ดู สามารถที่จะดูค่าได้จากการเลื่อนเม้าท์นั้นไปที่จุดต่างๆจะปรากฏค่าขึ้นที่ บาร์ข้างล่างซ้ายมือดังรูปที่ ค.11



รูปที่ ค.13 ค่าที่ได้กำหนดทั้งหมดจาก Block ของ Plot Parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้