



เครื่องขยายตลับลูกปืน
AN INDUCTION HEATER FOR BEARING

นาย ประเวทย์ วุฒิประเสริฐสง

นาย ระคมบุญ ทักขณา

นาย สุริยงค์ จันทรวงศ์

นาย พิเชษฐ์ จันทราทรกุล

วัน เดือน ปี.....-5.ต.ค.2541
เลขทะเบียน.....038575
เลขเรียกหนังสือ.....T.40025.10839

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038575

ปีการศึกษา 2540

เครื่องขยายคลื่นถูกป้อน
AN INDUCTION HEATER FOR BEARING

โดย

นาย ประเวทย์ วุฒิประเสริฐส่ง

นาย ระดมบุญ ทักษณา

นาย สุริยงค์ จันทรวงศ์

นาย พิเชษฐ์ จันทราทรกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ประภาส ไพรสวรรณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2540


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องขยายตัวลูกปืน

ผู้จัดทำ

นาย ประเวทย์ วุฒิประเสริฐส่ง
นาย ระคนบุญ ทักษณา
นาย สุริยงค์ จันทรวงศ์
นาย พิเชษฐ์ จันทราธรรกุล


(ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

ABSTRACT

สารบัญภาพ

สารบัญตารางและกราฟ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วัสดุที่ใช้ทำ ตลับลูกปืนและการประกอบเพลลา	2
	2.1 วัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืน	2
	2.2 วิธีการประกอบตลับลูกปืนกับเพลลา	3
	2.3 การขยายตัวทางกลศาสตร์ของวัสดุ	5
บทที่ 3	วงจรแม่เหล็กและหม้อแปลงเบื้องต้น	6
	3.1 หลักการพื้นฐานทางไฟฟ้า	6
	3.2 ค่าสูญเสียทางไฟฟ้า	13
บทที่ 4	การออกแบบและผลการทดลอง	15
	4.1 การออกแบบแกนเหล็กและขดลวด	15
	4.2 การออกแบบวงจรของเครื่องขยายตลับลูกปืน	22
	4.3 การออกแบบกล่องบรรจุ	22
	4.4 การติดตั้งอุปกรณ์ภายใน	23
	4.5 การต่อวงจรการทดลอง	26
	4.6 ผลการทดลอง	27
	4.6.1 ผลการทดลองทั่วไปของตลับลูกปืน	27
	4.6.2 ผลค่าเฉลี่ยจากการทดลองขั้นต้น	82
	4.6.3 ผลการเปรียบเทียบตลับลูกปืนขนาดต่างๆของ แกนเหล็ก แบบใหญ่และแบบเล็ก	94
	4.6.4 ผลการทดลองการขยายตัวของตลับลูกปืน	98
บทที่ 5	สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	104

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องขยายตลับลูกปืน

นาย ประเวทย์ วุฒิประเสริฐส่ง
 นาย ระคมบุญ ทักษณา
 นาย สุริยงค์ จันทรวงศ์
 นาย พิเชษฐ์ จันทราทรกุล
 ผ.ศ. ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

การขยายตลับลูกปืนเพื่อที่จะสามารถประกอบกับเพลาด้านนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับตลับลูกปืน จนทำให้ตลับลูกปืนเกิดการขยายตัว ประมาณ 100-160 μ m การให้ความร้อนสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับปริญาณิพนธ์นี้จะทำการสร้างเครื่องที่ทำให้เกิดความร้อน กับตลับลูกปืนด้วยวิธีการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้เกิดกระแสไหลวนในตลับลูกปืนทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนที่เราต้องการอยู่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส โดยจะเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ตลับลูกปืนเกิดขยายตัว ซึ่งโครงการนี้จะทำการสร้างชุดหม้อแปลงขนาด 3.5 kVA ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแกนค้ำตลับลูกปืน 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (5.5 x 5.5 ตร.ซม.) ซึ่งใช้กับตลับลูกปืนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 8 - 14 ซม. และขนาดเล็ก (3 x 3 ตร.ซม.) ซึ่งใช้กับตลับลูกปืนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 5 - 8 ซม. โดยตัวหม้อแปลงไฟฟ้านี้ เมื่อจ่ายแรงดันเข้าไปจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก แล้วเกิดกระแสไหลวนไหลในตลับลูกปืน โครงการนี้จะทำการทดสอบหาจุดที่เหมาะสมกับการใช้งานขยายตลับลูกปืน หลายๆขนาด โดยทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ การขยายตัว และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN INDUCTION HEATER FOR BEARING

Prawate Wuttiprasertsong

Radomboon Taksana

Suriyong Chantarawong

Pichet Chantratronkul

Assis.Prof.Prapas Praisuwanna Advisor

1995

ABSTRACT

The expansion of bearing is composed of an axle by using heat that is proper for the bearing. This is made the bearing enlarged about 100 - 160 μm . Doing heat can be made several ways. For this project, which built the machine, makes both heat and bearing by utilizing the induction method to make an eddy current. The heat happening in the bearing is the heat that we need approximately 120 $^{\circ}\text{C}$. This temperature makes the bearing extended. In this project, we built the series of transformer which has 3.5 kVA. It consists of a yoke snaring with two sizes of bearing: large size (5.5 x 5.5 cm^2), which uses with the Bearing, has a diameter between 5 and 14 cm. And small size (3 x 3 cm^2), which uses with the Bearing, has a diameter between 5 and 8 cm. For this transformer, when the voltage is pushed into it, it makes a magnetic field in core, after that it made the eddy current. This project does make the experiment for discovering the suitable point to the enlargement of the bearing in various sizes by a test for seeking the relationship of the temperature, the expansion and the time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 วิธีการประกอบตลับลูกปืนแบบแน่นเล็กน้อย	3
รูปที่ 2 แสดงระยะการขยายตัวของตลับลูกปืนที่อุณหภูมิต่างๆ	4
รูปที่ 3 แสดงการขยายตัวของวัสดุ เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น	5
รูปที่ 4 แสดงวงจรมูลย์ของหม้อแปลงที่คิดด้านปรุหมุมิ	12
รูปที่ 5 แสดงขนาดแผ่นเหล็ก ที่นำมาวางซ้อนกันเป็นแกนเหล็ก	16
รูปที่ 6 แสดงขนาดแกนเหล็กที่ออกแบบ	17
รูปที่ 7 แสดงขนาดบอบบี้น(bobbins)ที่ใช้พันขดลวดด้านปรุหมุมิ	18
รูปที่ 8 แสดงวงจรทั้งหมดของเครื่องขยายตลับลูกปืน	22
รูปที่ 9 แสดงกล่องบรรจุเครื่องขยายตลับลูกปืน	22
รูปที่ 10 แสดงการต่อวงจรอุปกรณ์ภายในของเครื่องขยายตลับลูกปืน	23
รูปที่ 11 แสดงการต่อวงจรอุปกรณ์ภายในของเครื่องขยายตลับลูกปืน	23
รูปที่ 12 แสดงแกนเหล็กขนาดใหญ่และขนาดเล็ก	24
รูปที่ 13 แสดงภาพของเครื่องขยายตลับลูกปืน	24
รูปที่ 14 แสดงภาพการขยายตลับลูกปืน โดยสวมตลับลูกปืนกับแกน ขนาด $3 \times 3 \text{ cm}^2$	25
รูปที่ 15 แสดงภาพการขยายตลับลูกปืน โดยสวมตลับลูกปืนกับแกน ขนาด $5.5 \times 5.5 \text{ cm}^2$	25
รูปที่ 16 แสดงวงจรการต่อเครื่องวัดต่างๆ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางและกราฟ

		หน้า
หมวดที่1	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	28
หมวดที่2	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	34
หมวดที่3	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	40
หมวดที่4	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	46
หมวดที่5	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.9 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	52
หมวดที่6	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 ซม.ทรงกลม -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	58
หมวดที่7	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 ซม.ทรงกระบอก -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	64
หมวดที่8	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	70
หมวดที่9	ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.7 ซม. -ตารางผลการทดลองของค่าเวลา อุณหภูมิ กระแส กำลัง เพาเวอร์แฟคเตอร์ -กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับ เวลา	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ วัฒนศิริ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
หมวดที่10 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ย แสดง ความ สัมพันธ์ ของ อุณหภูมิกับเวลา	83
หมวดที่11 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	84
หมวดที่12 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	85
หมวดที่13 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	86
หมวดที่14 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.9 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	87
หมวดที่15 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 ซม. ทรงกลม -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	89
หมวดที่16 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 ซม. ทรงกระบอก -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	90
หมวดที่17 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.5 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	92

หมวดที่18	แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.7 ซม. -ตารางค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของค่าเวลากับอุณหภูมิ -กราฟค่าเฉลี่ยแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา	93
หมวดที่19	ตารางแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยกับเวลาของตลับลูกปืนขนาดต่าง ๆ	95
หมวดที่20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยกับเวลาของตลับลูกปืนขนาด 5.5 ซม. 6.0 ซม. 6.5 ซม. 7.5 ซม. 7.9 ซม. ซึ่งใช้กับแกนเหล็กแบบเล็ก	96
หมวดที่21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยกับเวลาของตลับลูกปืนขนาด10.0 ซม. ทรงกลม10.0ซม.ทรงกระบอก 10.5 ซม.13.7 ซม. ซึ่งใช้กับแกนเหล็กแบบเล็ก	97
หมวดที่22	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 ซม.	99
หมวดที่23	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 ซม.	99
หมวดที่24	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 ซม.	100
หมวดที่25	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม.	100
หมวดที่26	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.9 ซม.	101
หมวดที่27	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 ซม. ทรงกระบอก	101
หมวดที่28	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 ซม. ทรงกลม	102
หมวดที่29	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.5 ซม.	102
หมวดที่30	ตารางแสดงระยะเวลาขยายตัวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสของตลับลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.7 ซม.	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใคร่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการเรื่อง เครื่องขยายคลื่นลูกป็น สร้างขึ้นเพื่อความสะดวก ปลอดภัย และทำให้เสียเวลาน้อยที่สุด สำหรับการติดตั้งคลื่นลูกป็นในวงการอุตสาหกรรม โดยวิธีการติดตั้งแบบเดิมนั้นจะใช้วิธีการต้มคลื่นลูกป็นในน้ำมันร้อน โดยจะต้องรักษาระดับอุณหภูมิในน้ำมันให้คงที่ที่ 120 องศาเซลเซียส นานประมาณ 10-15 นาที จนทำให้คลื่นลูกป็นมีความร้อนซึ่งจะส่งผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางวงในของคลื่นลูกป็นเกิดการขยายตัวได้ประมาณ 100-150 μm จนสามารถประกอบเข้ากับเพลลาได้

วิธีการต้มในน้ำมันร้อน	ใช้เครื่องขยายคลื่นลูกป็น
1. มีความยุ่งยากในการควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่	1. สามารถทำการขยายโดยปราศจากเปลวไฟ
2. มีอันตรายจากความร้อนของน้ำมันและเปลวไฟ	2. เมื่อขยายเสร็จแล้วไม่จำเป็นต้องทำความสะอาด
3. ต้องใช้น้ำมันจำนวนมากและเมื่อเสร็จจากการต้มแล้วต้องทำความสะอาดด้วย	3. สามารถใช้กับคลื่นลูกป็นได้ทุกชนิด ง่ายต่อการใช้งาน และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้
4. ต้องคอยควบคุมและสังเกตน้ำมันอยู่เสมอตลอดเวลาต้ม	4. ค่าใช้จ่ายต่อครั้งตลอดอายุการใช้งานจะมีราคาถูก

สำหรับเครื่องขยายคลื่นลูกป็น จะใช้ วิธีเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า โดยการป้อนไฟทางด้านปฐมภูมิ แล้วอาศัยหลักการของหม้อแปลงเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลทางด้านทุติยภูมิ แต่ในเครื่องขยายคลื่นลูกป็นนี้จะเปรียบตัวคลื่นลูกป็นเป็นเสมือนขดลวดทางด้านทุติยภูมิ 1 ขดที่ลัดวงจรอยู่ขณะใช้งานและด้วยความแตกต่างทางด้านจำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกระแสทางด้านทุติยภูมิไหลในตัวคลื่นลูกป็นและในตัวคลื่นลูกป็นก็มีความต้านทานจำเพาะอยู่ ทำให้เมื่อมีกระแสไหลจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นคล้ายกับ การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กของหม้อแปลงจากกระแสไหลวน (eddy current) ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของคลื่นลูกป็นแต่ละชนิดที่นำมาทำการให้ความร้อนเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืนและประกอบกับเพลลา

2.1 วัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืน

วัสดุสำหรับวงแหวนและตลับลูกปืนผิวสัมผัสของแหวน และเม็ดลูกปืนของตลับลูกปืนรับความเค้นหนักที่เกิดขึ้นซ้ำๆกัน ดังนั้นวงแหวนและเม็ดลูกปืนจะต้องสามารถรักษาความเที่ยงตรงและความคลาดเคลื่อนในการหมุนให้ได้ตามต้องการ วงแหวนและลูกปืนจะต้องทำมาจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงสามารถต้านทานต่อความเค้นล้า (stress & strain) มีความต้านทานต่อความสึกหรอและสามารถรักษาขนาดได้ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและโครเมียมสูง ผ่านกรรมวิธีชุบแข็ง และเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งแบบ Carburized ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุทำวงแหวนและลูกปืนของตลับลูกปืนมาตรฐาน ความแข็งของแหวนและลูกปืนปกติจะมีค่า HRC 58 องศา ถึง HRC 65 องศา วัสดุที่ใช้กับตลับลูกปืน คือ เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของคาร์บอนสูง ส่วนผสมทางเคมีตามมาตรฐาน JIS G 4805 เหล็กกล้าคาร์บอนและโครเมียมสูง เหล็กกล้า SUJ2 เป็นวัสดุที่นิยมกันอย่างแพร่หลายซึ่งสามารถเทียบได้เท่ากับเหล็กกล้า AISI 5210 (สหรัฐอเมริกา) DIN 100 Cr 6 (เยอรมันตะวันตก) และ GS 534 A 99 (สหรัฐอเมริกา) สำหรับ SUJ3 หรือ SUJ5 มีคุณสมบัติของความแข็งดีสามารถใช้กับตลับลูกปืนขนาดใหญ่

สำหรับเหล็กกล้าชุบแข็งจะต้องเป็นเหล็กกล้าโครม (Scr) เหล็กกล้า (Chromemolyddenum)(SCM) และเหล็กกล้า Nikel chrom molyddenum (SCM) ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเนื่องจากการชุบแข็ง และการเติมคาร์บอนให้กับเหล็กกล้าจะได้เนื้อของเหล็กกล้าแข็งเป็นชั้นๆ ที่ระยะความลึกเหมาะสม เหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งจะให้คุณสมบัติต้านทานต่อแรงเสียดทานดีเยี่ยม

สาเหตุของความล้าทำให้ตลับลูกปืนเกิดการแตกร้าวเกิดจากสิ่งแปลกปลอม ที่ไม่ใช่โลหะผสมอยู่ในวัสดุทำตลับลูกปืน ถ้าไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่โลหะผสมในวัสดุทำตลับลูกปืน จะสามารถยืดอายุการใช้งานของตลับลูกปืนได้ สำหรับตลับลูกปืนทุกชนิด ที่ใช้เหล็กกล้าที่มีออกซิเจนและมีส่วนผสมของสิ่งแปลกปลอมโลหะต่ำซึ่งผ่านกระบวนการสุญญากาศ ทำให้บริสุทธิ์ สำหรับตลับลูกปืนที่ต้องการความมั่นใจในการใช้งาน เหล็กกล้าที่หลอมเหลวใน สุญญากาศ (CVEM) และเหล็กกล้าที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า (ESR) จะเป็นเหล็กกล้าที่มีความบริสุทธิ์สูง สำหรับตลับลูกปืนที่ทำงานในสภาวะอุณหภูมิสูง ควรใช้เหล็กกล้าความเร็วสูง (MSD) สำหรับงานที่ต้องการความต้านทานต่อการกัดกร่อน ควรใช้เหล็กกล้าสแตนเลส (SUS 440 C) สำหรับลูกปืนที่ผิวทางเดินลูกปืนได้

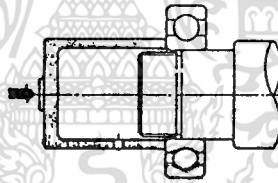
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำเอกสารนี้ไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการชุบแข็งด้วยวิธี เหนียว นำไฟฟ้าควรใช้เหล็กกล้า machine structural carbon (S 48 C ถึง S 50 C) และเหล็กกล้า Chrome molydenum (SCM 440)

2.2 วิธีการประกอบตลับลูกปืนกับเพลา

การประกอบตลับลูกปืนที่มีรูเพลาทรงกระบอก ตลับลูกปืนที่มีการประกอบแน่นเล็กน้อยสามารถใช้ประกอบที่อุณหภูมิธรรมดาในห้องโดยใช้ปลอกอัดที่แหวนในคังรูปที่ 1 โดยการส่งแรงดันบริเวณศูนย์กลางของตลับลูกปืน แรงดันบนเส้นรอบวงของแหวนจะต้องสม่ำเสมอ ตามปกติการประกอบตลับลูกปืนสามารถทำได้โดยการตีปลอกด้วยหมอน อย่างไรก็ตามเมื่อติดตั้ง ตลับลูกปืนส่วนใหญ่จะให้การอัดด้วยเครื่องอัดทางกลหรือ เครื่องอัดไฮดรอลิก

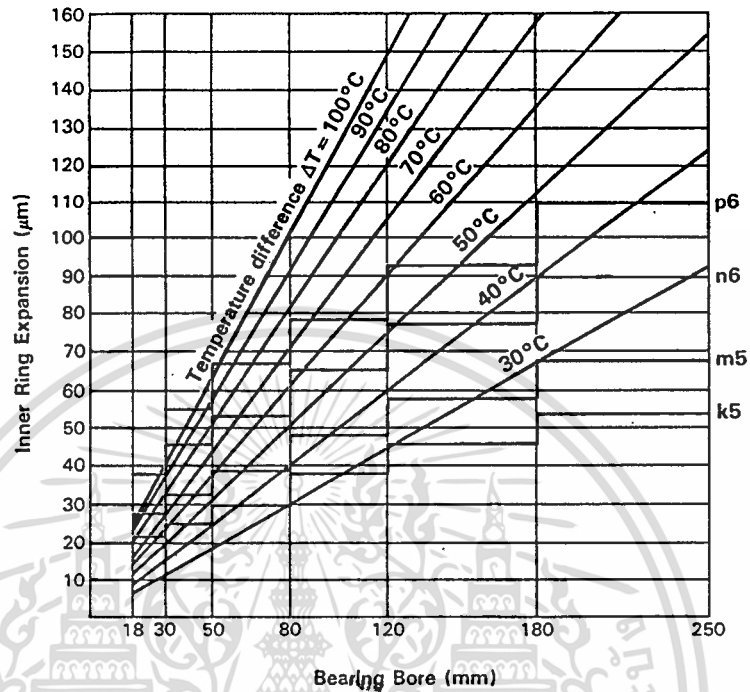


รูปที่ 1 วิธีการประกอบตลับลูกปืนแบบแน่นเล็กน้อย

เมื่อประกอบตลับลูกปืนที่ไม่สามารถอัดบนเพลา และเสื่อตลับลูกปืนในเวลาเดียวกัน จำเป็นต้องมีแผ่นรองเพื่อกระจายแรงดันให้ทั่วบนแหวนในและแหวนนอก

การประกอบตลับลูกปืนที่มีค่าความเผื่อมากที่แหวนใน หรือประกอบกับตลับลูกปืนบนเพลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ จำเป็นต้องใช้แรงจำนวนมากในการประกอบตลับลูกปืนที่อุณหภูมิธรรมดาในห้อง การประกอบสามารถทำได้ง่ายขึ้นในการใช้ความร้อนที่แหวนในให้ขยับตัวก่อน ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหวนในและงานที่สวม ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าความเผื่อ

และขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเพลา รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหวนในและทางปริมาณความร้อนที่ใช้กับตลับลูกปืนไม่ควรเกิน 120 องศาเซลเซียสนำไปใช้



รูปที่ 2 รูปแสดงระยะการขยายตัวที่อุณหภูมิต่างๆกันหลายขนาด

ถ้าให้ความร้อนแก่ตลับลูกปืนแบบแห้งเช่นเตาไฟฟ้า ตลับลูกปืนดังกล่าวสามารถสวมประกอบได้โดยไม่ต้องใช้แรงอัด วิธีนี้สามารถใช้กับตลับลูกปืนแบบมีซิลิโอสารหล่อลื่นก่อนใช้งาน หรือตลับลูกปืนที่มีซิล

สำหรับการให้ความร้อนแก่แหวนในของตลับลูกปืนเม็ดทรงกระบอกชนิด NJ, NU หรือ NUP หรือตลับลูกปืนชนิดคล้ายกับตลับลูกปืนที่ได้กล่าว ที่ไม่มีหน้าแปลนหรือมีหน้าแปลนเพียงหน้าเดียว สามารถใช้ความร้อนจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้สามารถประกอบตลับลูกปืนได้รวดเร็ว

การสวมประกอบเพลากับตลับลูกปืนที่กำลังร้อน นั้นแหวนในจะต้องยันกับบ่าเพลาสวม เมื่อตลับลูกปืนเย็นลงไม่เกิดช่องว่างระหว่างแหวนและบ่าเพลลา การใช้ความร้อนด้วยไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นวิธีที่ได้อธิบายแล้วนั้นยังสามารถช่วยในการถอดแหวนในแล้วใช้เครื่องดึงออก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การขยายตัวของวัสดุ

เมื่อวัตถุได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะอยู่ห่างกันมากขึ้นทำให้ขนาดของวัตถุขยายตัวเพิ่มขึ้นจากหลัก การข้างต้น เมื่อกำหนดขอบเขตในการศึกษา เช่น ในวัตถุรูปทรงที่มีความยาว ก็จะมีการเพิ่มขึ้นของความยาว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามสูตร

$$\Delta l = \alpha l \Delta t$$

เมื่อ

α = ส.ป.ส การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

Δ = ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดกับการใช้งาน เมื่อมีการให้อุณหภูมิแก่วัตถุ เช่น แบร็งชดามรูป ก็จะทำให้วงแหวนด้านใน และด้านนอก เกิดการขยายตัวออกตามความยาวเป็น $l + \Delta l$ ทำให้ความยาวจากเดิม $l = 2\pi r$ ดังนั้นเมื่อให้อุณหภูมิกับวัตถุ

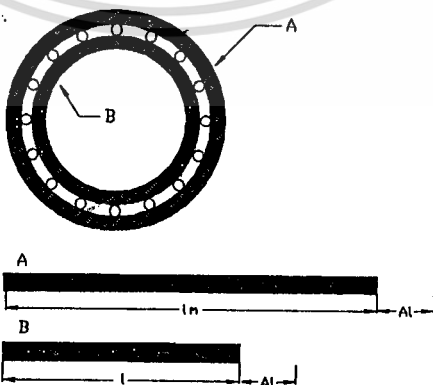
$$l_n = l + \Delta l$$

$$r_n = \frac{l_n}{2\pi}$$

เมื่อ

r_n = รัศมีหลังจากเพิ่มอุณหภูมิ

จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำให้อุณหภูมิที่แบร็งชดามสูงขึ้น ตัวแบร็งจะสามารถขยายเส้นผ่านศูนย์กลางได้เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ $r_n > r_{เดิม}$



รูปที่ 3 แสดงการขยายตัวของวัสดุเนื่องจากความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรแม่เหล็กและหม้อแปลงเบื้องต้น

3.1 หลักการ พื้นฐานทางไฟฟ้า

ขดลวด 2 ชุด มีจำนวนรอบ N_1, N_2 ตามลำดับ พันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกัน ซึ่งปกติแกนจะทำด้วยวัสดุ Ferromagnetic ที่มีค่า permeability, μ สูงเมื่อเทียบกับอากาศ ค่า $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ส่วน permeability ของวัสดุอื่น, μ ซึ่งมีค่าเท่ากับ μ_0, μ_r โดยที่ μ_r คือ relative permeability. ในกรณีของแกนหม้อแปลงไฟฟ้า ค่า μ_r อาจจะสูงถึง 2000-4000

โดยทั่วไปแล้วฟลักซ์ (flux) ที่เกิดจากขดลวดแต่ละชุด สามารถถูกแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ leakage flux, ϕ_1 และ magnetizing flux, ϕ_m ทั้ง 2 ส่วนจะถูกกำหนดทิศทางให้เป็น + ตามกฎมือขวา เทียบกับทิศทางการไหลของกระแสในขดลวด

ในการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้า บ่อยครั้งที่จะกำหนดให้ มีค่าบวก และมีทิศทางการไหลออกจากส่วนบนของขดลวดชุดที่ 2 และใช้เครื่องหมาย (dot) กำกับที่ส่วนบนของขดลวด ฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดแต่ละชุด สามารถถูกอธิบายได้ ดังนี้

$$\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{m1} + \phi_{m2} \quad (3-1)$$

$$\phi_2 = \phi_{12} + \phi_{m2} + \phi_{m1} \quad (3-2)$$

leakage flux, ϕ_1 เกิดจากกระแสไหลในขดลวดชุดที่ 1 และ link เฉพาะกับขดลวดชุดที่ 1 เท่านั้น เช่นเดียวกับ leakage flux, ที่เกิดจากกระแสไหลในขดลวดชุดที่ 2 และ link เฉพาะกับขดลวดชุดที่ 2 เท่านั้น

magnetizing flux, ϕ_m เกิดจากกระแสไหลในขดลวดชุดที่ 1 และ ขดลวดชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ทุกรอบ เช่นเดียวกับ magnetizing flux, ϕ_{m2} , ที่เกิดจากกระแสไหลในขดลวดชุดที่ 2 และ link ขดลวดชุดที่ 2 และชุดที่ 1 ทุกรอบ

ถึงขณะนี้ ควรทำความเข้าใจด้วยว่า ที่อธิบายผ่านมานั้นเป็นกรณีของจินตภาพ (ideal) เพราะในความเป็นจริงแล้ว leakage flux, ϕ_1 อาจจะไม่ใช่ link ทุกรอบของขดลวดที่ทำให้เกิดมันขึ้น เช่น อาจจะไม่ใช่ทุกรอบของขดลวดชุดที่ 1 และ magnetizing flux, ϕ_m ของขดลวดชุดหนึ่งก็อาจจะไม่ใช่ link ทุกรอบของขดลวดอีกชุดหนึ่ง (เช่น ϕ_{m1} อาจจะไม่ใช่ link ทุกรอบของขดลวดชุดที่ 2) เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติควรที่จะต้องพิจารณาถึงจำนวนรอบสมมูลย์ (equivalent number) แทนที่จะ

พิจารณาถึงจำนวนรอบจริงของขดลวด ดังนั้น ค่าอินดักแทนซ์ของวงจรไฟฟ้าที่เชื่อมโยงกันทางแม่เหล็กกับวงจรไฟฟ้าอื่น จึงต้องคำนวณจากการทดสอบ สมการแรงดันไฟฟ้า สามารถถูกเขียนในรูปของ matrix ได้ดังนี้

$$v = Ri + \frac{d}{dt} \lambda \quad (3-3)$$

โดยที่ $R = \text{diag} [R_1 \ R_2]$

ความต้านทาน R_1 , R_2 และ flux linkage λ_1, λ_2 สัมพันธ์กับขดลวดชุดที่ 1,2 ตามลำดับ เมื่อสมมติให้ ϕ_1 (ϕ_2) อยู่กับจำนวนรอบสมมูล N_1 (N_2) ของขดลวดชุดที่ 1 (2), จะได้ความสัมพันธ์ของ flux linkage , ดังนี้

$$\lambda_1 = N_1 \phi_1 \quad (3-4)$$

$$\lambda_2 = N_2 \phi_2 \quad (3-5)$$

โดยที่ ϕ_1 และ ϕ_2 เป็นไปตามสมการ (3-1) และ (3-2) ตามลำดับ

วงจรที่เชื่อมโยงกันทางแม่เหล็กโดยที่มี ในระบบแม่เหล็กที่มีลักษณะเชิงเส้น

ถ้าไม่เกิดการอิ่มตัว (saturation) ในระบบแม่เหล็ก ก็สามารถพิจารณาได้ว่าระบบแม่เหล็กนั้นมีลักษณะเชิงเส้น (linear) และ ฟลักซ์ มีค่าดังนี้

$$\phi_{11} = \frac{N_1 i_1}{R_{l1}} \quad (3-6)$$

$$\phi_{m1} = \frac{N_1 i_1}{R_m} \quad (3-7)$$

$$\phi_{12} = \frac{N_2 i_2}{R_{l2}} \quad (3-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_{m2} = \frac{N_2 i_2}{R_m} \quad (3-9)$$

โดยที่ R_{l1} และ R_{l2} คือ reluctance ของเส้นทางที่มีการ leak ของฟลักซ์ (reluctance of leakage path) ผลคูณระหว่าง I กับ N (ampere-turns) คือ mmf (magnetomotive force) ซึ่งคำนวณได้จากกฎของแอมแปร์ (Ampere 's)

Reluctance ของเส้นทางในแกนที่ฟลักซ์ผ่าน (reluctance of leakage path) , R_m ของที่แสดงในรูป 1-1 สามารถถูกคำนวณได้โดยที่มีความถูกต้องเพียงพอ จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad \text{Amp/Wb} \quad (3-10)$$

โดยที่ l : ความยาวเฉลี่ยของเส้นทางที่ฟลักซ์ผ่าน
(mean of equivalent length of magnetic path)

A: พื้นที่หน้าตัดของแกน

μ : permeability ของแกน

แทนค่าสมการ (3-6) ถึง (3-9) ลงในสมการ (3-1)และ(3-2) จะได้

$$\phi_1 = \frac{N_1 i_1}{R_{l1}} + \frac{N_1 i_1}{R_m} + \frac{N_2 i_2}{R_m} \quad (3-11)$$

$$\phi_2 = \frac{N_2 i_2}{R_{l2}} + \frac{N_2 i_2}{R_m} + \frac{N_1 i_1}{R_m} \quad (3-12)$$

แทนค่าสมการ (3-11)และ(3-12) ลงในสมการ (3-4)และ(3-5) จะได้

$$\lambda_1 = \frac{N_1^2}{R_{l2}} i_1 + \frac{N_1^2}{R_m} i_1 + \frac{N_1 N_2}{R_m} i_2 \quad (3-13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_2 = \frac{N_2^2}{R_{l2}} i_2 + \frac{N_2^2}{R_m} i_2 + \frac{N_1 N_2}{R_m} i_1 \quad (3-14)$$

จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ของ 2 เทอมแรกในสมการ (3-13) ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด จุดที่ 1 และ reluctance ของระบบแม่เหล็ก แต่ไม่ขึ้นอยู่กับจุดที่ 2 ในทำนองเดียวกัน, สำหรับสมการ (3-14)

ดังนั้น จึงกำหนด (define) เทอม self - inductance ได้ดังนี้

$$L_{11} = \frac{N_1^2}{R_{l1}} + \frac{N_1^2}{R_m} = L_{l1} + L_{m1} \quad (3-15)$$

$$L_{22} = \frac{N_2^2}{R_{l2}} + \frac{N_2^2}{R_m} = L_{l2} + L_{m2} \quad (3-16)$$

โดยที่ L_{l1} และ (L_{l2}) คือ leakage inductance ของขดลวดที่ 1 และ (2) ตามลำดับ และ L_{m1} , (L_{m2}) คือ magnetizing inductance ของขดลวดจุดที่ 1 และ (2) ตามลำดับ และจากสมการ (3-15) และ (3-16) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{L_{m2}}{N_2^2} = \frac{L_{m1}}{N_1^2} \quad (3-17)$$

ส่วนสัมประสิทธิ์ของเทอมที่ 3 ในสมการ (3-13) และ (3-14) ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทั้ง 2 จุด ถูกกำหนดให้เป็น mutual inductance , ดังนี้

$$L_{12} = \frac{N_1 N_2}{R_m} \quad (3-18)$$

$$L_{21} = \frac{N_2 N_1}{R_m} \quad (3-19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าารคดีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เห็นได้ว่า $L_{12} = L_{21}$ และ mutual inductance มีความสัมพันธ์กับ magnetizing inductance ดังนี้

$$L_1 = \frac{N_2}{N_1} L_{m1} \quad (3-20)$$

$$= \frac{N_1}{N_2} L_{m2}$$

ดังนั้น สามารถเขียน flux linkage ในรูป matrix ได้

$$\lambda = Li \quad (3-21)$$

โดยที่

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} + L_{m1} & \frac{N_2}{N_1} L_{m1} \\ \frac{N_1}{N_2} L_{m2} & L_{12} + L_{m2} \end{bmatrix} \quad (3-22)$$

และสามารถแทนค่า inductance matrix ลงในสมการแรงดันไฟฟ้า (3-3) เพื่อหาวงจรสมมูลที่มีลักษณะเป็นรูป T ได้ (equivalent T circuit) ดังนี้

จากสมการ (3-21),

$$\lambda_1 = L_{11}i_1 + L_{m1} \left(i_1 + \frac{N_2}{N_1} i_2 \right) \quad (3-23)$$

$$\lambda_2 = L_{12}i_2 + L_{m2} \left(\frac{N_1}{N_2} i_1 + i_2 \right) \quad (3-24)$$

ซึ่งอาจจะแทนค่าเทอม $\frac{N_2}{N_1} i_2$ หรือ $\frac{N_1}{N_2} i_2$ ด้วยตัวแปรอื่นได้ ในที่นี้เลือกแทนค่าเทอม $\frac{N_2}{N_1} i_2$ ด้วยตัวแปร i_2 ดังนี้

$$i_2' = \frac{N_2}{N_1} i_2$$

หรือ $N_1 i_2' = N_2 i_2$ (3-25)

ซึ่งหมายความว่าเมื่อ i_2' ไหลในขดลวดชุดที่ 1 จะทำให้เกิด mmf (ampere-turn) เท่ากับ mmf ที่เกิดจากกระแส i_2 ไหลในขดลวดชุดที่ 2 ซึ่งเท่ากับเป็นการโอนย้าย (transfer) กระแสในขดลวดชุดที่ 2 ไปยังขดลวดชุดที่ 1 โดยที่ใช้ขดลวดชุดที่ 1 เป็นขดลวดอ้างอิง (reference coil)

ในทำนองเดียวกัน ถ้าเลือกแทนค่าเทอม $\frac{N_1}{N_2} i_1$ ด้วยตัวแปร i_1' จะได้

$$N_2 i_1' = N_1 i_1 \quad (3-26)$$

ในที่นี้ i_1' คือ กระแสเมื่อไหลในขดลวดชุดที่ 2 จะทำให้เกิด mmf เท่ากับ mmf ที่เกิดจาก i_1 ไหลในขดลวดชุดที่ 1 ซึ่งเท่ากับเป็นการโอนย้าย กระแสในขดลวดชุดที่ 1 ไปยังขดลวดชุดที่ 2 จากสมการ (3-25)

$$i_2' = \frac{N_2}{N_1} i_2 \quad (3-27)$$

ซึ่งการเปลี่ยนตัวแปรจะไม่ทำให้กำลังงาน (power) เปลี่ยน ดังนั้น

$$i_2' v_2' = i_2 v_2$$

นั่นคือ

$$v_2' = \frac{N_1}{N_2} v_2 \quad (3-28)$$

เนื่องจากเทอม flux linkage มีหน่วยเป็น volt - second ดังนั้นในการแทนตัวแปรใหม่ ก็จะทำให้
ในทำนองเดียวกับแรงดันไฟฟ้าเช่นในสมการ (3-28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหา $\lambda_2' = \frac{N_1}{N_2} \lambda_2$ เมื่อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง (3-29) นำไปใช้

แทนค่าสมการ(3-27)ลงในสมการ(3-24) และคูณ (3-24)ด้วย $\frac{N_1}{N_2}$ จะได้เทอม λ_2' และเมื่อแทน

L_{m2} ด้วย $\frac{N_2^2}{N_1^2} L_{m1}$ ในสมการ (3-23)จะได้

$$\lambda_1 = L_{11}i_1 + L_{m1}(i_1 + i_2') \quad (3-30)$$

$$\lambda_2' = L_{12}'i_2' + L_{m1}(i_1 + i_2') \quad (3-31)$$

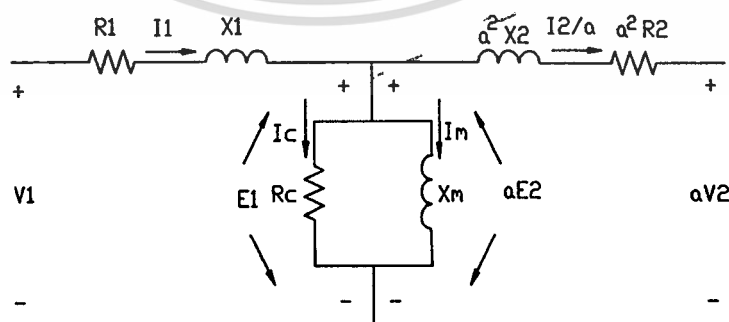
โดยที่ $L_{12}' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 L_{12}$ (3-32)

สมการแรงดันไฟฟ้า จะมีรูปดังนี้

$$v_1 = R_1 i_1 + \frac{d}{dt} \lambda_1 \quad (3-33)$$

$$v_2' = R_2 i_2' + \frac{d}{dt} \lambda_2' \quad (3-34)$$

โดยที่ $R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2$ (3-35)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 แสดงวงจรสมมูลของ หม้อแปลงที่คิดค่านปฐมภูมิ

3.2 ค่าสูญเสียทางไฟฟ้า

ค่าสูญเสียในขดลวด (Copper loss) เป็น กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในขดลวดทองแดงที่มาใช้พันเป็นขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ นั้นเอง โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียนี้จะเปลี่ยนรูปเป็น ความร้อน ซึ่งค่าเท่ากับ $I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = (I_1')^2 R_{eq}$ กำลังสูญเสียนี้ ขึ้นกับปริมาณกระแสที่ไหลยกกำลังสอง และจะเห็นว่ากระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ แล้วแต่ขนาดของโหลดว่าจะมีค่าเป็นเท่าไร

ค่าสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current loss) เป็นกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กได้ไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในแกนแกนเหล็ก เมื่อแกนเหล็กของหม้อแปลงเป็นเหล็กทั้งก้อน ในนั้นจะมีเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ผ่านไป ดังนั้นจึงเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นในแกนเหล็กได้ เมื่อมีแรงดันจะมีกระแสไหลวน (Eddy current) ขึ้นในเนื้อเหล็ก กระแสไหลวนในทิศทางเข็มนาฬิกา เนื่องจากทางที่กระแสไหลวนนั้นมีค่าความต้านทาน จึงทำให้มีกำลังสูญเสียเท่ากับ $I^2 R = V^2 / R$ ซึ่งกำลัง ไฟฟ้าที่สูญเสียนี้จะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนในแกนเหล็ก จะเห็นว่าการเกิดความร้อนขึ้นในตลับลูกปืนได้นั้นคล้ายๆกับการเกิดความร้อนในแกนเหล็ก เนื่องจากกระแสไหลวน

กฎของโอห์ม (Ohm's law) พิจารณาขดลวดทองแดง ซึ่งต่อปลายทั้งสองเข้ากับขั้วเบดเตอร์ที่มีความต่างศักย์ V จะมีกระแสในเส้นลวด โดยกระแส I จะเป็นสัดส่วนกลับกับความต้านทาน R และจากกฎของโอห์ม กระแสไฟฟ้า I ที่ไหลจะเป็นสัดส่วนตรงกับความต่างศักย์ที่ประยุกต์เข้าไป และเป็นสัดส่วนกลับกับความต้านทานของลวด โดยที่

$$i = \frac{V}{R} \quad (3-36)$$

เมื่อ	i =	กระแสไฟฟ้า A (แอมแปร์)
	V =	ความต่างศักย์ V (โวลต์)
	R =	ความต้านทาน Ω (โอห์ม)

ความต้านทานไฟฟ้า R ของลวดตัวนำไฟฟ้า จะเป็นสัดส่วนตรงกับความยาวและเป็นสัดส่วนกลับกับพื้นที่หน้าตัด A ปริมาณเหล่านี้จะสัมพันธ์ โดยมีค่าคงที่ของวัสดุ เรียกว่า สภาพต้านทานไฟฟ้า ρ ดังนี้ คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3-37)$$

หน่วยของสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งมีค่าคงที่สำหรับวัสดุที่อุณหภูมิเฉพาะ คือ

$$\rho = R \frac{A}{l} = \frac{\Omega m^2}{m} = \Omega - m \quad (3-38)$$

การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดอาจพิจารณาอยู่ในรูปของสภาพนำไฟฟ้าแทนที่จะอยู่ในรูปของสภาพต้านทานไฟฟ้า คือ

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3-39)$$

จากสมการต่างๆข้างบนนั้นจะเห็นว่า พลังงานความร้อนสะสมจะมีค่า

$$P = I^2 R \quad (3-40)$$

ซึ่งพลังงาน ความร้อนจะแปรผันตาม I และ R ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อกระแส (I) มีค่าสูงขึ้นก็ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในโลหะ เครื่องขยายตลับลูกปืน (Induction Bearing Heater) เปรียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้หลักการ พันขลวดด้านปฐมภูมิจำนวนรอบมาก และพันขลวดด้านทุติยภูมิด้วยจำนวนรอบน้อยๆบนแกนเหล็กเดียวกัน อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับอัตราส่วนของการพันขลวด ขณะที่กำลังไฟฟ้ายังคงเท่ากัน ดังนั้นขลวดด้านทุติยภูมิที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำๆจะมีกระแสไฟฟ้าสูง

ในกรณีของเครื่องขยายตลับลูกปืน ตลับลูกปืนเป็นเสมือนขลวดทุติยภูมิซึ่งถูกลัดวงจรและมีจำนวนรอบเพียงรอบเดียว ซึ่งทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวน (eddy current) ในตลับลูกปืนสูงมาก ดังนั้นเกิดปริมาณความร้อนจำนวนมากที่ตลับลูกปืน ขณะที่คาน (Yoke) ยังคงมีอุณหภูมิปกติเหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบ

4.1 การออกแบบแกนเหล็กและขดลวด

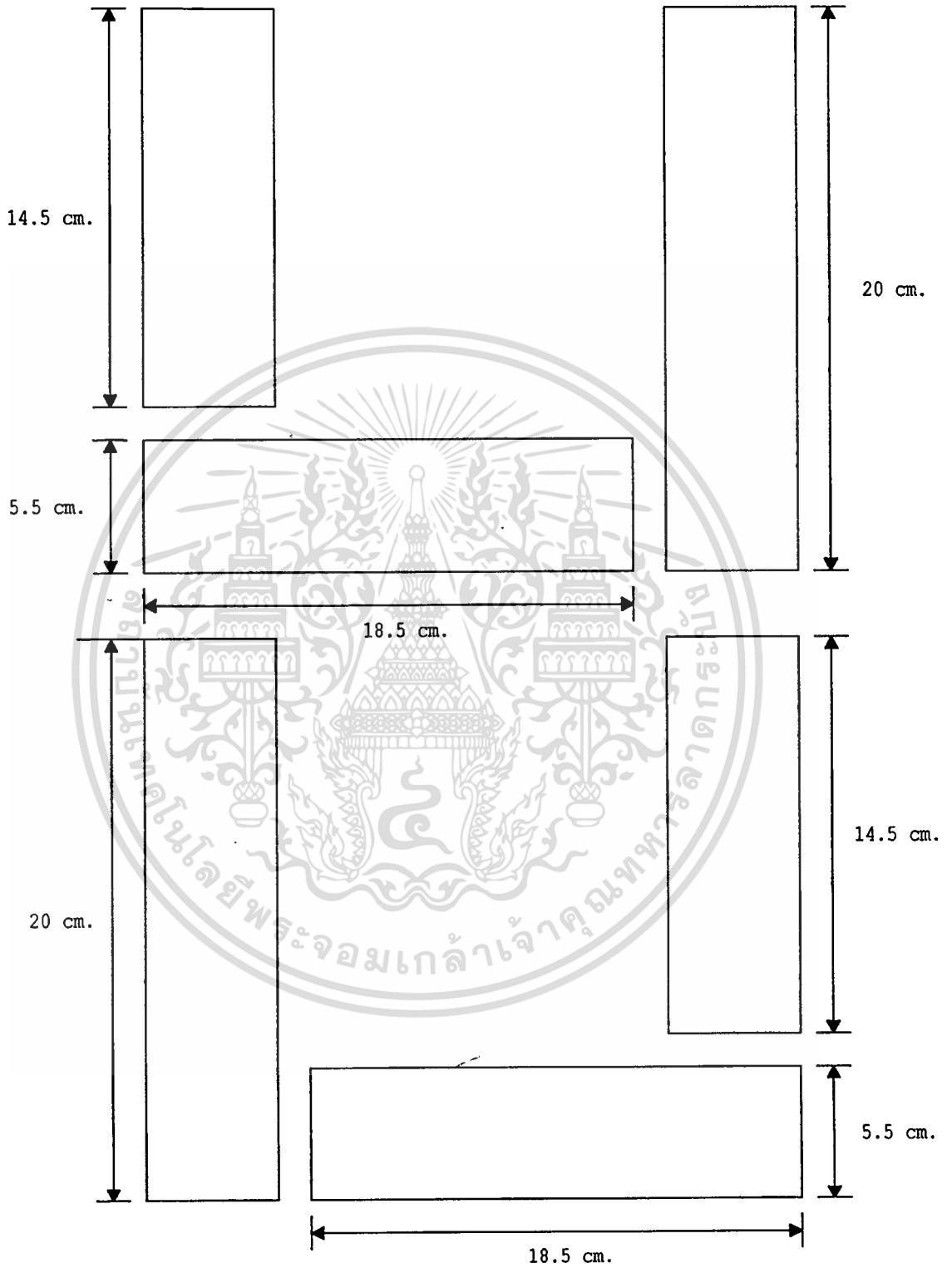
ในการออกแบบแกนในที่นี้เราออกแบบพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กตามความเหมาะสมของ คลับลูกปิ่น โดยในที่นี้กำหนดให้ใช้พื้นที่หน้าตัดขนาด 5.5×5.5 ตร.ซม. ซึ่งจะมีแกนเท่ากับ 5.5×5.5 ตร.ซม. ทำให้สามารถใช้กับคลับลูกปิ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน ตั้งแต่ 8 ซม. -14 ซม. และทำการสร้างคาน ที่มีขนาดเล็ก โดยมีขนาด 3×3 ตร.ซม. เพื่อที่จะสามารถใช้กับคลับลูกปิ่นที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน ตั้งแต่ 5 ซม. -8 ซม.

ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก = 5.5×5.5 ตร.ซม.

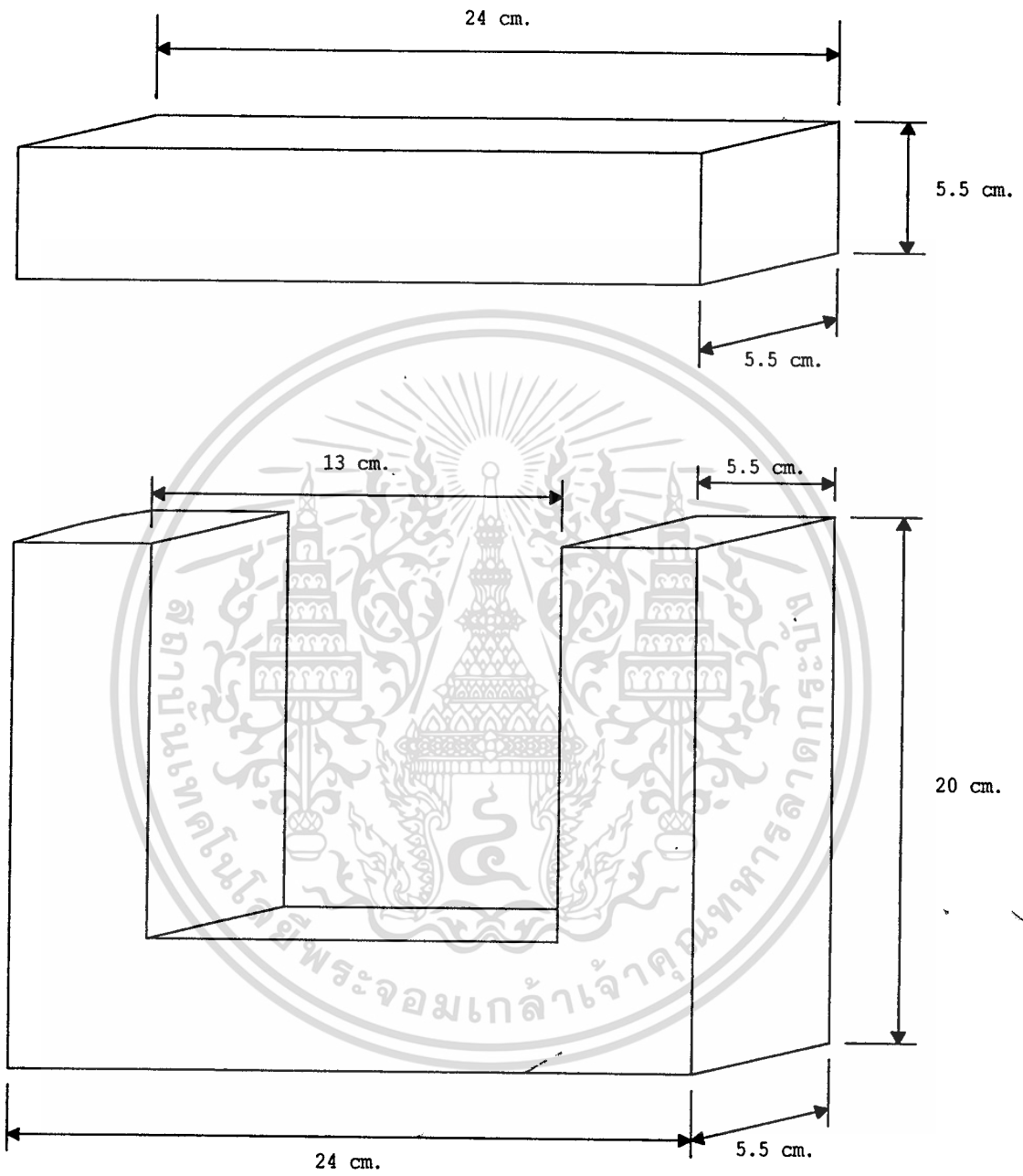
ขนาด kVA = 3.5 kVA

ขนาดความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) = 1.2 T

ซึ่งในการออกแบบขนาดของแกนเหล็ก โดยทั้งหมด จะออกแบบโดยคำนึงถึงลักษณะของ การใช้งานจริงให้ มีขนาดเหมาะสมได้ตามรูปที่ 6 โดยใช้แผ่นเหล็กวางซ้อนกันตามรูปที่ 5 ให้ได้ ขนาดตามรูปที่ 6 แล้วใช้ตัวจับยึด บีบให้แน่นที่สุด เพื่อลดช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กที่วางซ้อนกันให้ มีน้อยที่สุด

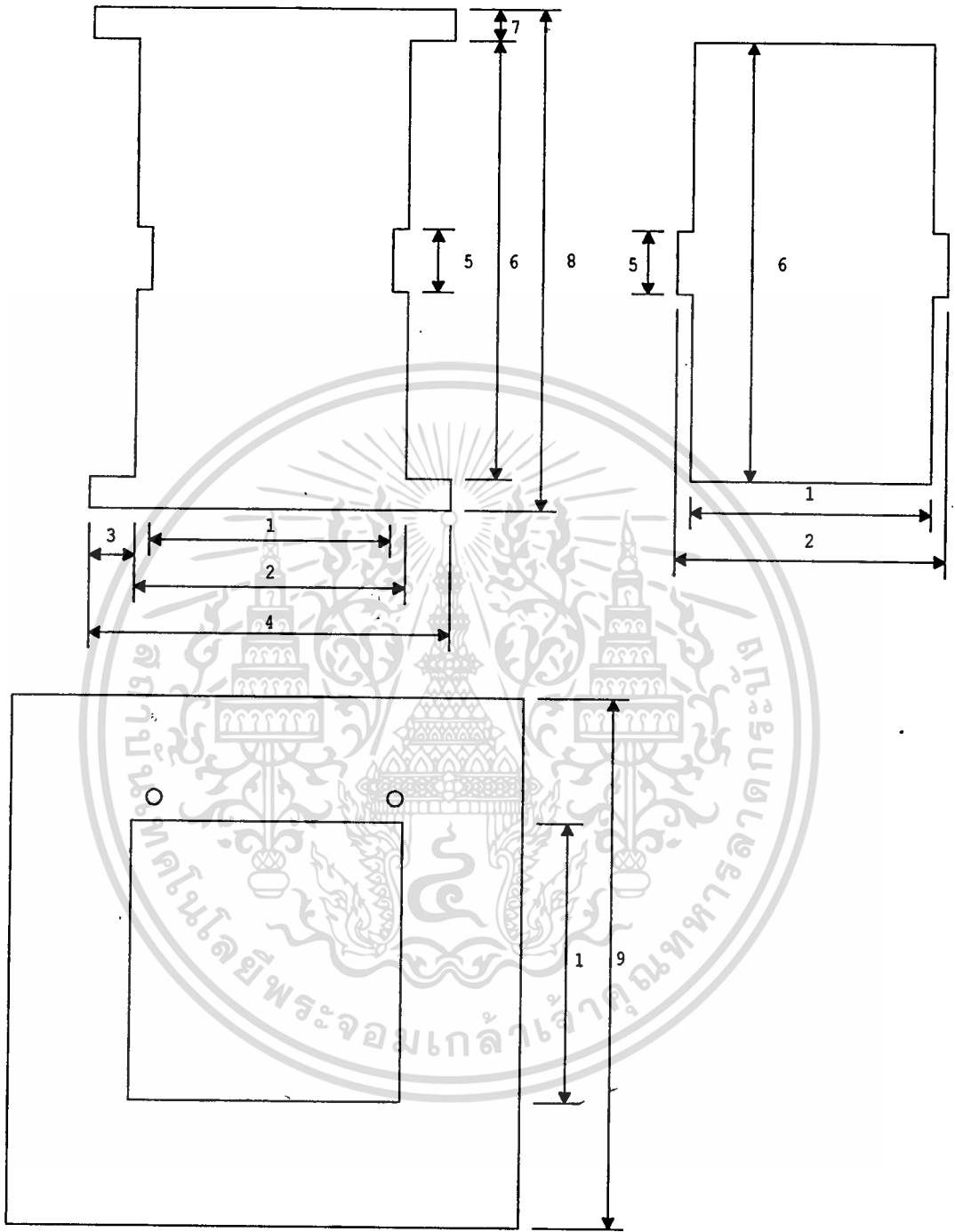


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 5 แสดงขนาดแผ่นเหล็กที่นำมาวางซ้อนกันเป็นแกนเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ซ้ำหรือเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 แสดงขนาดแกนหลักที่ ออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณระยะต่าง ๆ ของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ บอบบิ้น

$$\begin{aligned} \text{หมายเลข 1} &= \text{ความกว้างแกนเหล็ก} + \text{ค่าเผื่อ 2 มม.} \\ &= 55 + 2 = 57 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หมายเลข 2} &= \text{หมายเลข 1} + 2 \text{ เท่าความหนาแผ่น เบคคาไลต์ (Bekalite)} \\ &= 57 + (2 \times 4) = 65 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\text{หมายเลข 3} = 10 \text{ มม.}$$

$$\begin{aligned} \text{หมายเลข 4} &= \text{หมายเลข 2} + (2 \times \text{หมายเลข 3}) \\ &= 65 + (2 \times 10) = 85 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\text{หมายเลข 5} = 20 \text{ มม.}$$

$$\begin{aligned} \text{หมายเลข 6} &= \text{ความกว้างบอบบิ้น ที่ใช้พันขดลวด} \\ &= 120 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\text{หมายเลข 7} = 5 \text{ มม.}$$

$$\begin{aligned} \text{หมายเลข 8} &= \text{หมายเลข 6} + (2 \times \text{หมายเลข 5}) \\ &= 120 + (2 \times 5) = 130 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หมายเลข 9} &= \text{หมายเลข 1} + (2 \times \text{ความหนาของขดลวดทั้งหมด}) \\ &= 65 + (2 \times 30) = 125 \text{ มม.} \end{aligned}$$

หาจำนวนรอบในการพันขดลวด

$$V = 4.44 f N B_m A_m \quad (4-1)$$

$$\text{จะได้} \quad N = V / (4.44 f B_m A_m)$$

$$\text{กำหนดให้ } B = 1.2 \text{ T}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$A = 30.25 \text{ ตร.ซม.}$$

$$\text{ได้ } N = 275 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดง

$$S \times I = \text{พื้นที่หน้าตัด ของลวด (ตร.มม.)} \quad (4-2)$$

$$I = VA / V \quad (4-3)$$

$$= 3.5 \text{ kVA} / 220$$

$$= 1.6 \text{ A}$$

S = ส่วนกลับของความหนาแน่นของกระแส

ซึ่ง S มีค่าอยู่ ในช่วง 0.25 ถึง 0.5 ตร.มม./A โดยที่ในการคำนวณนี้ใช้ค่า 0.4 ตร.มม./A ถ้าเราใช้ค่า S มากจะทำให้พื้นที่หน้าตัดลวดทองแดงมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้อุณหภูมิขณะใช้งานมีค่าน้อย แต่ราคาขดลวดทองแดงขนาดใหญ่จะสูงกว่าขดลวดทองแดงขนาดเล็กและเมื่อพันลวดทองแดงลงบน Bobbin แล้วทำให้พื้นที่หน้าตัดรวมของขดลวดทองแดงมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะไม่เหมาะสมกับแกนเหล็ก ดังนั้นการเลือกใช้ค่า S ที่เหมาะสมในการออกแบบ จะส่งผลให้โครงการมีขนาดที่เหมาะสม

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดของลวด} &= 0.4 \times (3.5 \text{ kVA} / 220) \\ &= 6.364 \text{ ตร.มม.} \end{aligned}$$

เทียบจากตาราง WIRE GAUGES TABLE เลือกลวดขนาดเบอร์ S.W.G. 11 (มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2.946 มม.)

หาจำนวนชั้น และ จำนวนรอบ / ชั้นของการพันขดลวด

จากความกว้างช่องหน้าต่างแกนเหล็ก = 13 ซม.

เมื่อเผื่อขอบบิ้นแล้วเหลือ = 12 ซม.

ลวด S.W.G. 11 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง = 2.946 มม. เมื่อเผื่อ 10 % จะมีขนาดเท่ากับ 2.946×1.1 มม.

$$\begin{aligned} \text{ได้จำนวนรอบ / ชั้น} &= 120 / (2.946 \times 1.1) \\ &= 37 \text{ รอบ / ชั้น} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้จำนวนชั้น} &= 275 / 37 \\ &= 8 \text{ ชั้น} \end{aligned}$$

สรุปพันขดลวดลงบนบิ้น 37 รอบ / ชั้น จำนวน 8 ชั้น เต็มได้ 296 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณน้ำหนักของเหล็กในการสั่งซื้อ

จากคุณสมบัติของเหล็ก 1 ลบ.ซม.หนัก 7.6 กรัม

แผ่นเหล็กขนาด $14.5 \times 5.5 \times 5.5 = 438.625$ ลบ.ซม.

$$438.625 \times 7.6 = 3.5 \text{ kg}$$

แผ่นเหล็กขนาด $18.5 \times 5.5 \times 5.5 = 559.620$ ลบ.ซม.

$$559.620 \times 7.6 = 4.5 \text{ kg}$$

แผ่นเหล็กขนาด $20 \times 5.5 \times 5.5 = 605$ ลบ.ซม.

$$605 \times 7.6 = 5 \text{ kg}$$

แผ่นเหล็กขนาด $24 \times 5.5 \times 5.5 = 726$ ลบ.ซม.

$$726 \times 7.6 = 6 \text{ kg}$$

การประมาณน้ำหนักของลวดในการสั่งซื้อ

จากแกนเหล็กขนาด 5.5×5.5 ซม. มีเส้นรอบวง = 22 ซม. เมื่อเผื่อ โดยเฉลี่ยให้มีความยาวลวดใน

1 รอบ = 30 ซม. พื้นที่ทั้งหมด 296 รอบ จึงใช้ลวดยาว = $296 \times 30 = 8880$ ซม.

ปริมาตรทรงกระบอก = พื้นที่หน้าตัด \times ความยาว

$$= 6.818 \times 8880$$

$$= 605.43 \text{ ลบ.ซม. (ประมาณ 610 ลบ.ซม.)}$$

จากคุณสมบัติของลวดทองแดง 1 ลบ.ซม.หนัก 9 กรัม

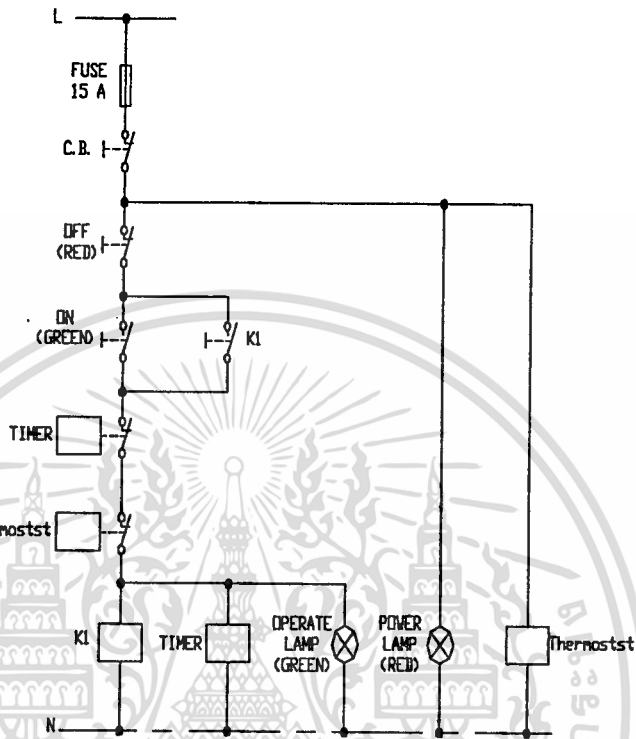
ได้น้ำหนักของลวดทั้งหมด = 610×9

$$= 5.4 \text{ kg}$$

สั่งซื้อลวดทองแดง = 6 kg

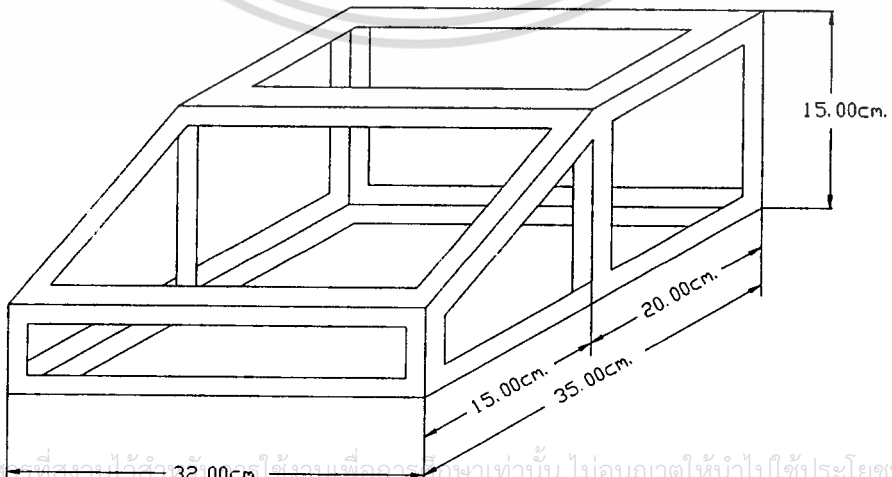
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบวงจร



รูปที่ 8 แสดงวงจรทั้งหมดของเครื่องขยายตัวลูกปืน

4.3 การออกแบบกล่องบรรจุ

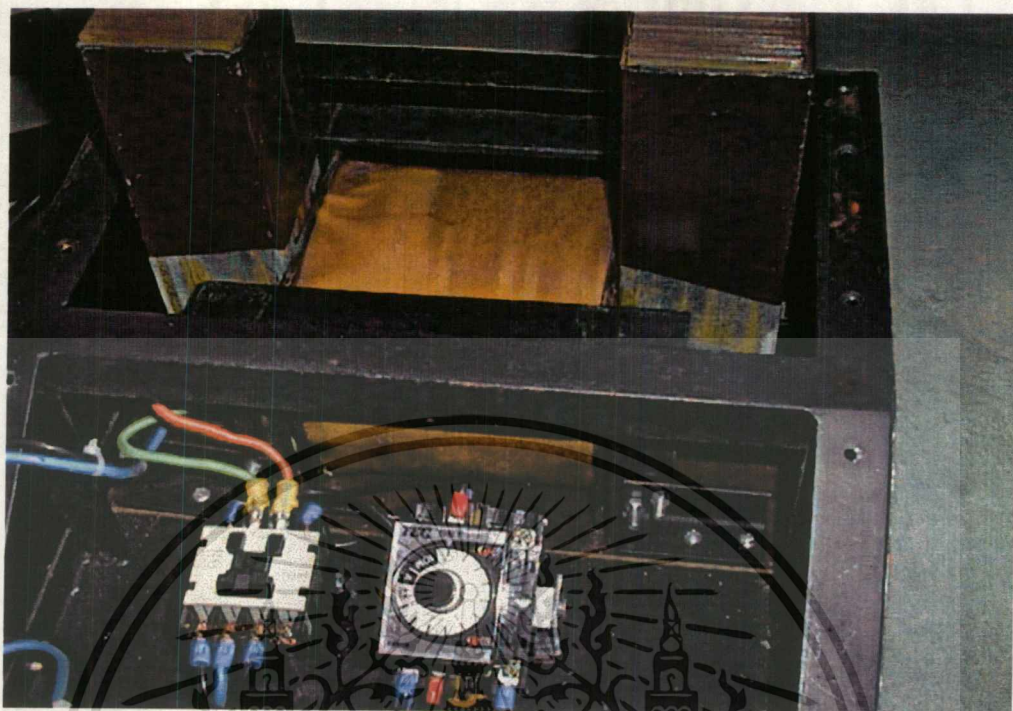


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 32.00cm. ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 แสดงกล่องบรรจุเครื่องขยายตัวลูกปืน

4.4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ภายใน



รูปที่ 10 แสดงการต่อวงจรอุปกรณ์ภายใน

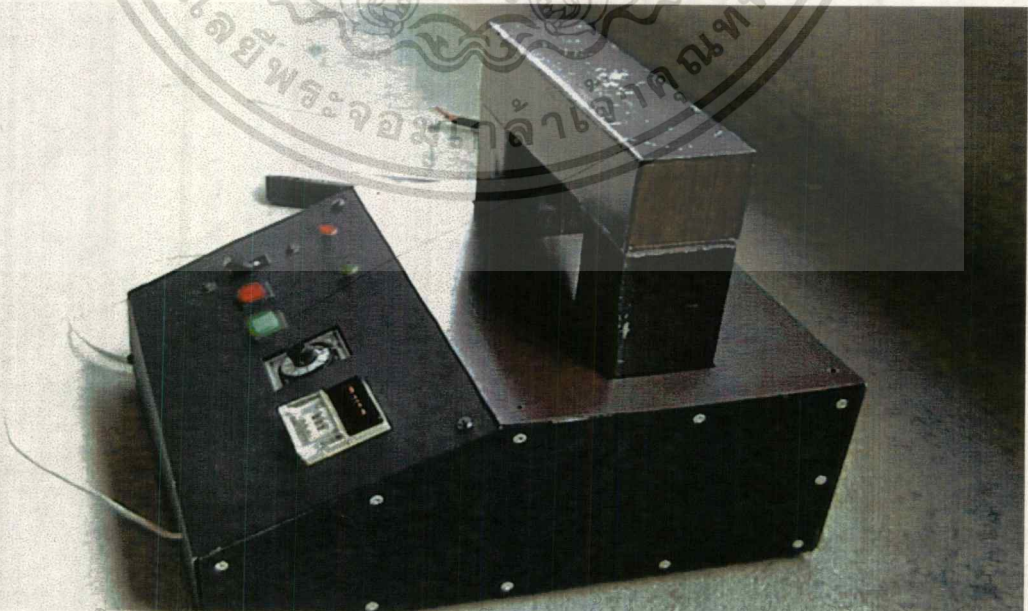


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11 แสดงการต่อวงจรอุปกรณ์ภายใน

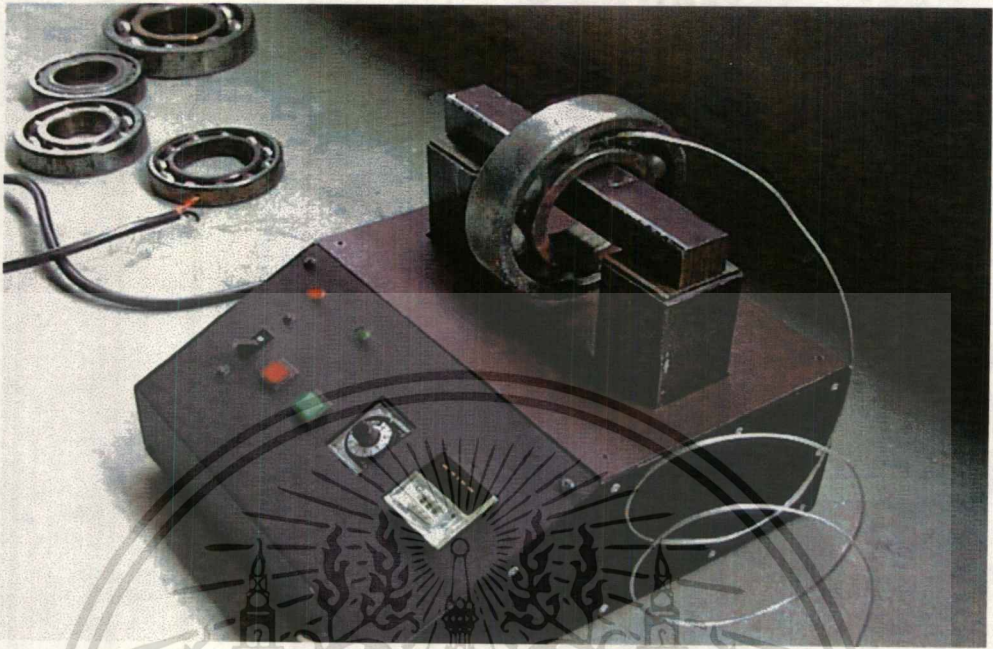


รูปที่ 12 แสดงแกนเหล็กใหญ่และขนาดเล็ก



รูปที่ 13 แสดงภาพของเครื่องขยายตัวกลับรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงภาพการขยายตับลูกปืนโดยสวมตับลูกปืนในแกนขนาด $3 \times 3 \text{ cm}^2$

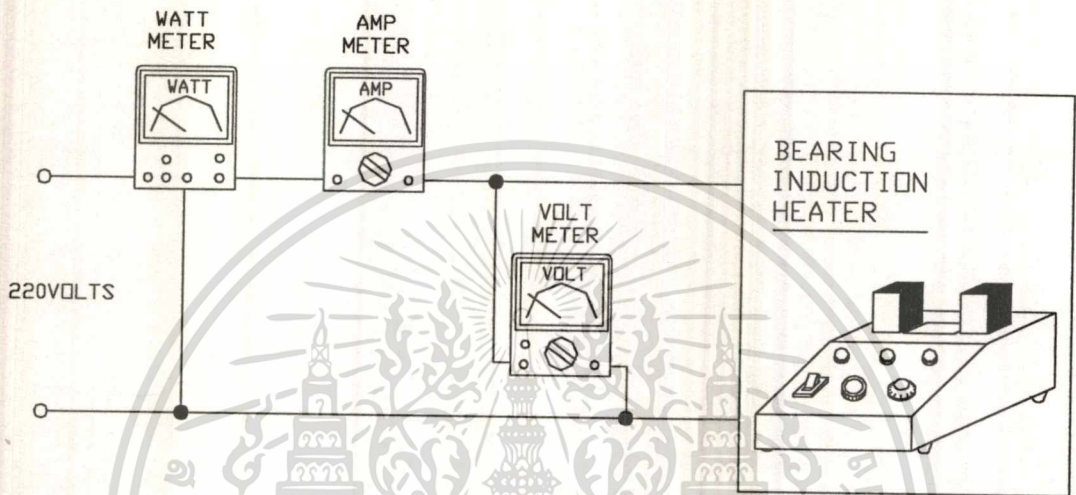


รูปที่ 15 แสดงภาพการขยายตับลูกปืนโดยสวมตับลูกปืนในแกนขนาด $5.5 \times 5.5 \text{ cm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

4.5 การต่อวงจรทดลอง



รูปที่ 16 แสดงการต่อเครื่องวัดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลอง



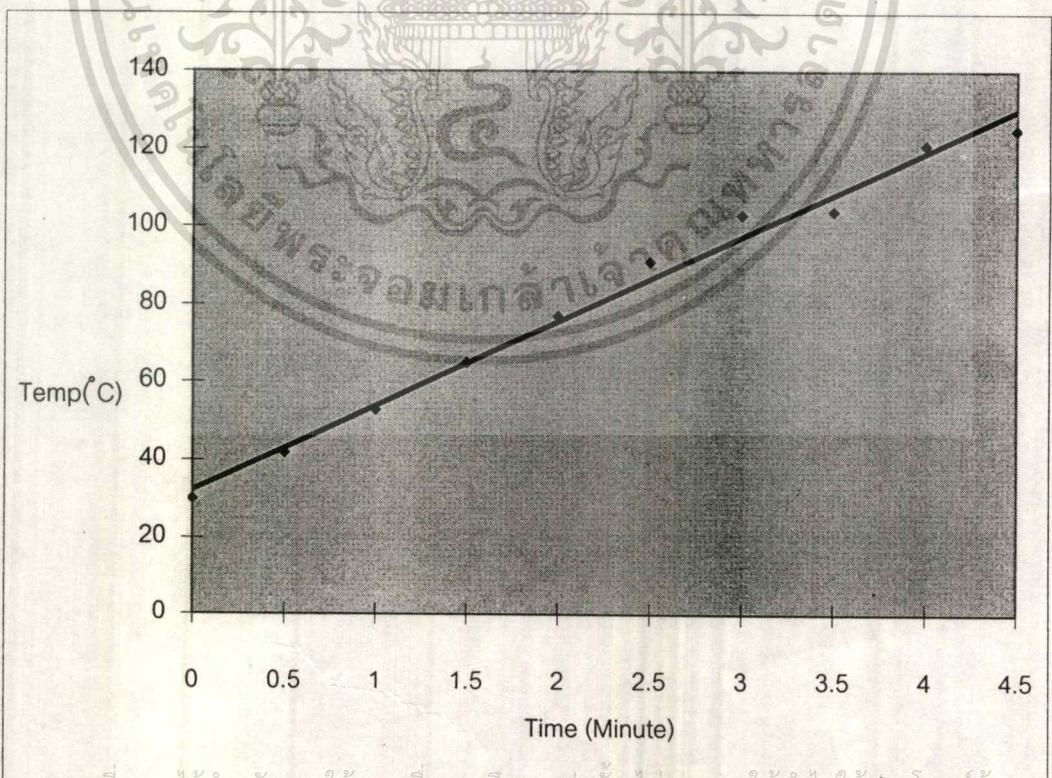
4.6.1 ผลการทดลองของตลับลูกปืนขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 1 Inner diameter 5.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	30	6.6	730	0.487
0.5	42	5.95	670	0.496
1	53	5.85	670	0.505
1.5	65	5.74	670	0.514
2	77	5.68	670	0.520
2.5	91	5.6	670	0.527
3	103	5.55	660	0.524
3.5	104	5.5	658	0.527
4	121	5.4	650	0.530
4.5	125	5.15	650	0.556

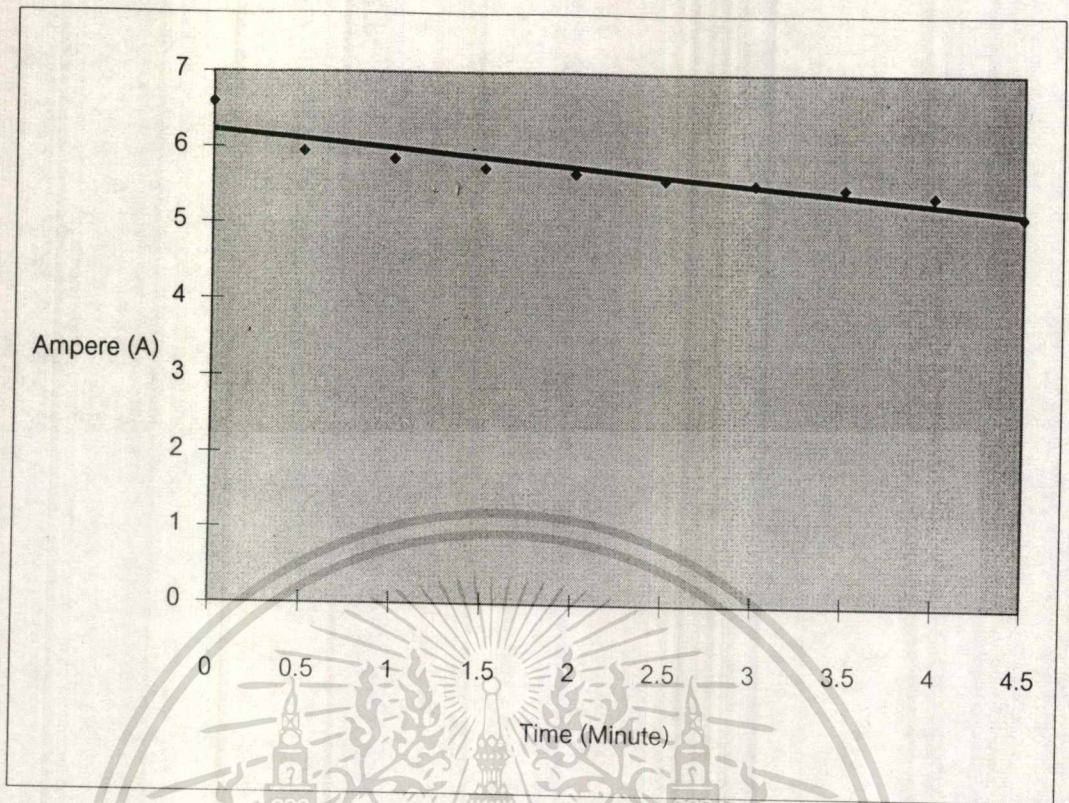
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.



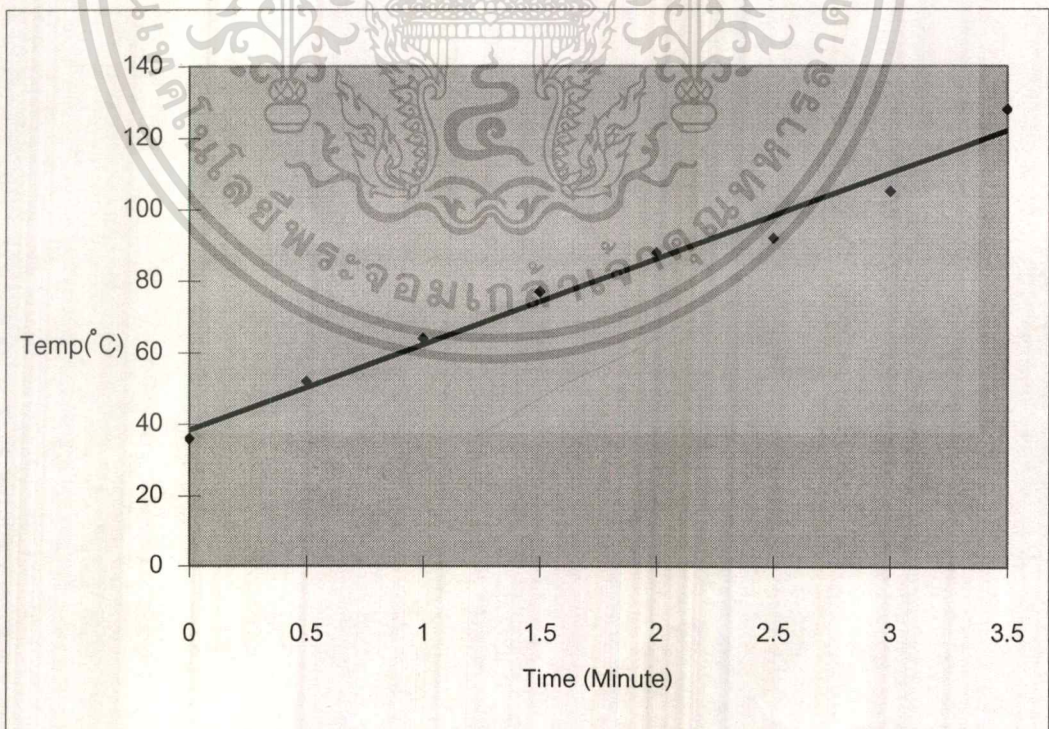
กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

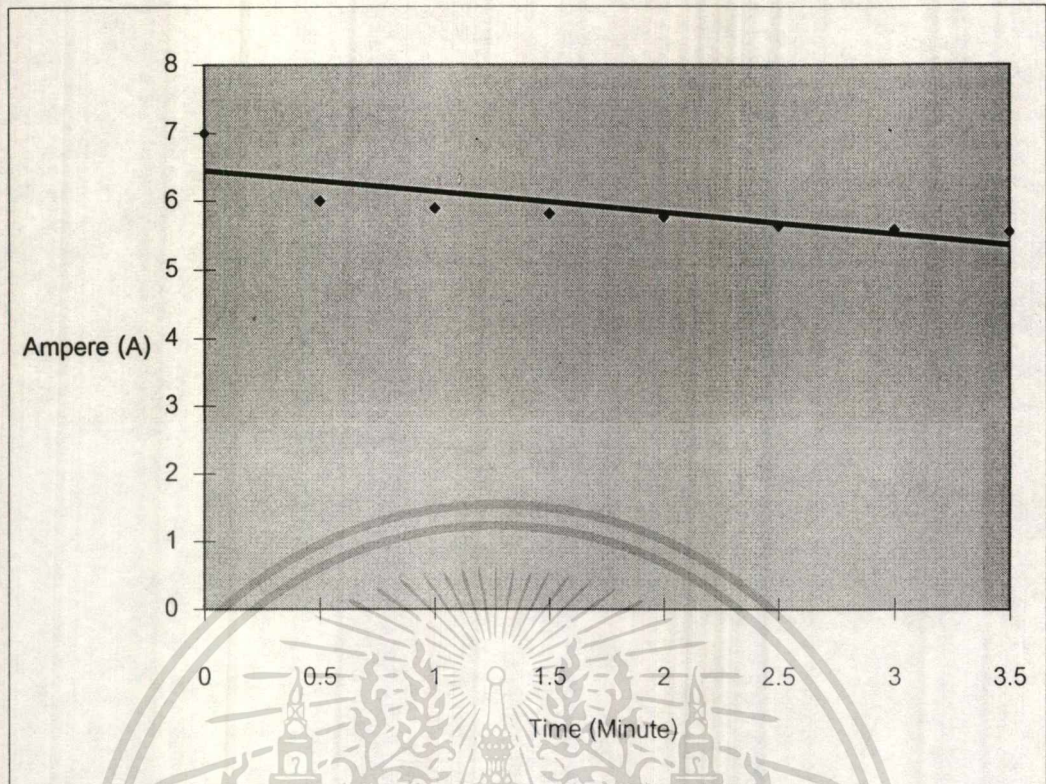
ครั้งที่ 2 Inner diameter 5.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	36	7	760	0.478
0.5	52	6	690	0.507
1	64	5.9	690	0.515
1.5	77	5.82	690	0.522
2	88	5.78	680	0.518
2.5	92	5.65	680	0.530
3	105	5.6	680	0.535
3.5	128	5.58	670	0.529

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm



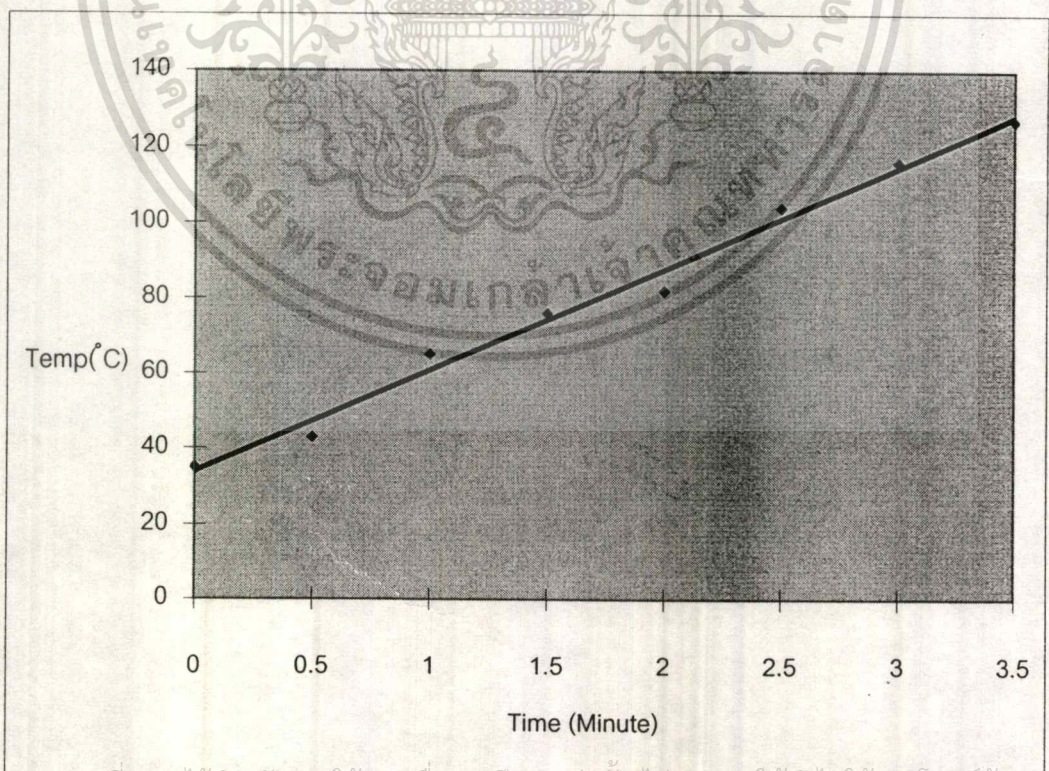
กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของดัลบูลเป็นขนาด Diameter 5.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3 Inner diameter 5.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	35	6.3	700	0.489
0.5	43	6.1	700	0.506
1	65	6	700	0.514
1.5	76	5.95	695	0.515
2	82	5.9	695	0.519
2.5	104	5.75	695	0.532
3	116	5.7	695	0.537
3.5	127	5.6	695	0.547

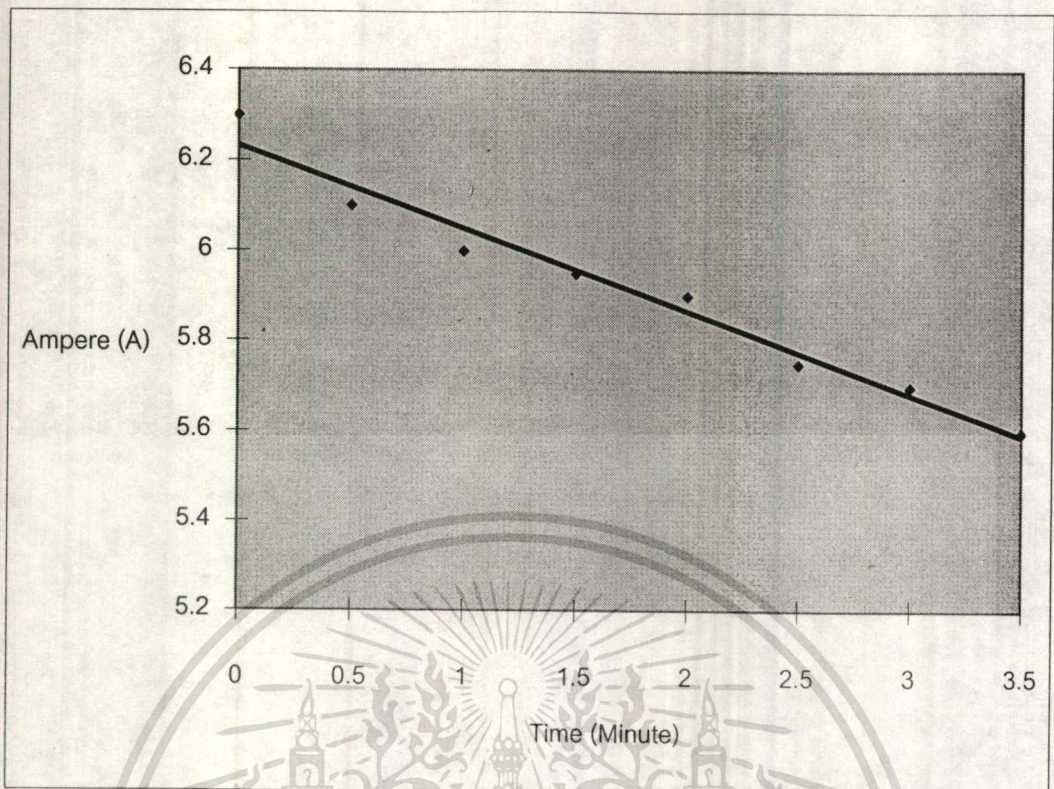
ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือทั้งห้าเป็นให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm



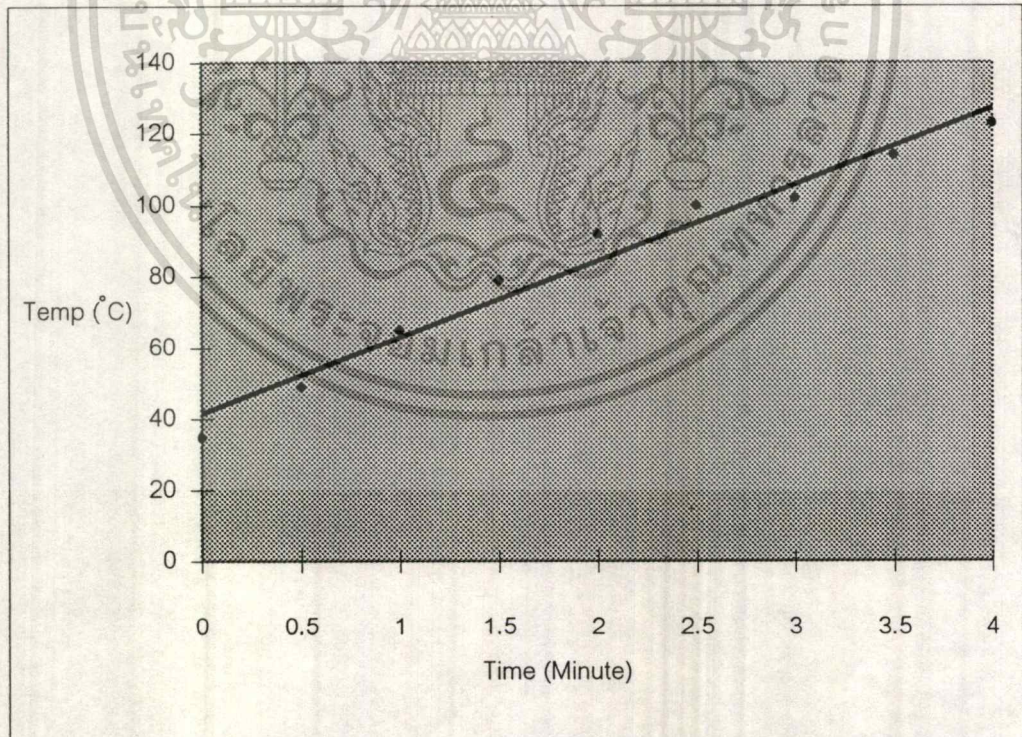
กราฟที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลล์ลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 1 Inner diameter 6 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature($^{\circ}\text{C}$)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	35	6.3	660	0.462
0.5	49	6.1	660	0.477
1	65	6	660	0.485
1.5	79	5.87	660	0.495
2	92	5.84	660	0.498
2.5	100	5.81	655	0.497
3	102	5.78	655	0.499
3.5	114	5.71	655	0.505
4	123	5.7	655	0.506

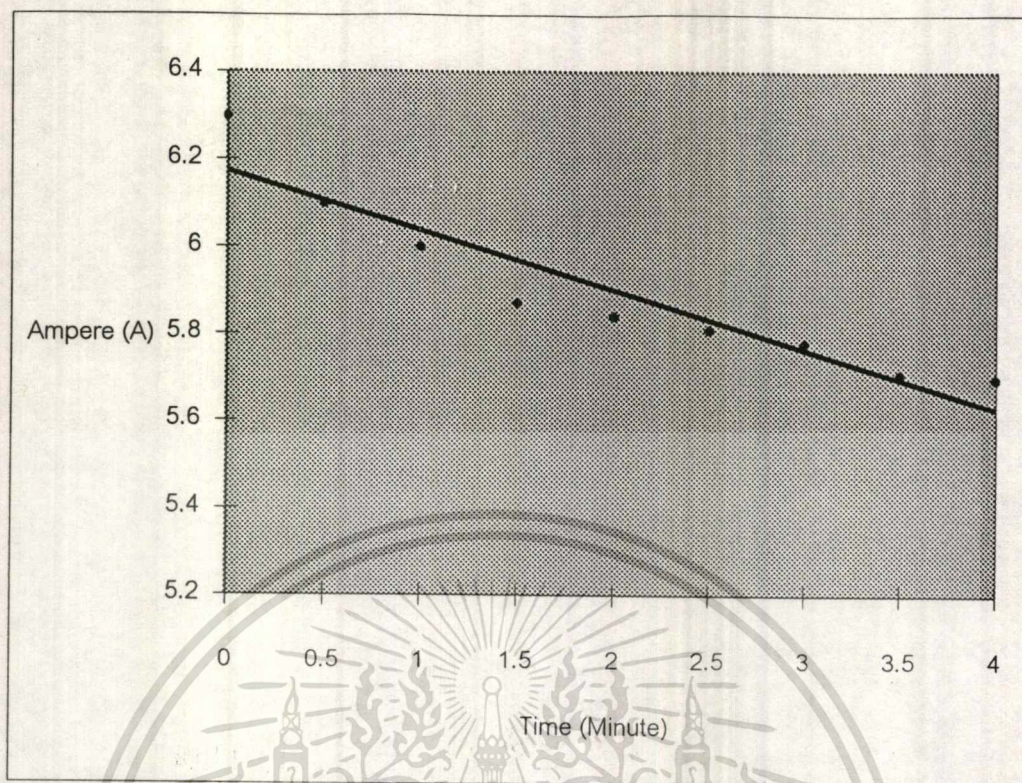
ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.



กราฟที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของสถาบันการศึกษานี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



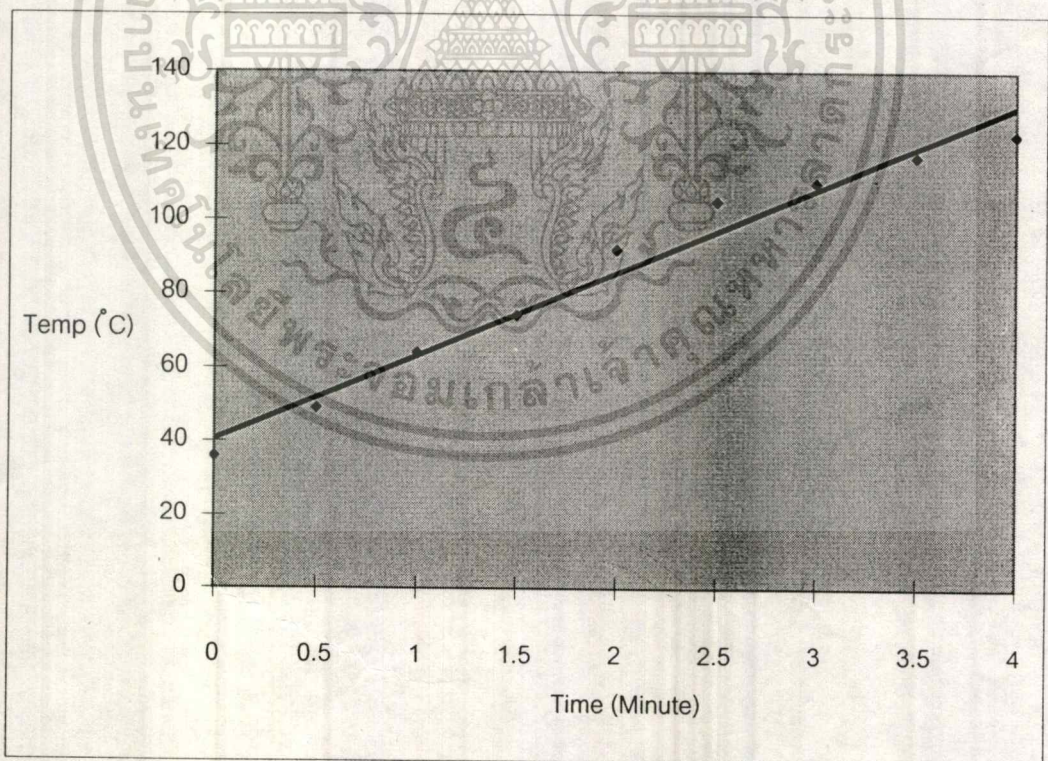
กราฟที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2 Inner diameter 6 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	36	7	760	0.478
0.5	49	6.1	700	0.506
1	64	6.08	696	0.504
1.5	74	6	695	0.510
2	92	5.95	695	0.515
2.5	105	5.88	695	0.521
3	110	5.8	690	0.524
3.5	117	5.76	690	0.528
4	123	5.72	686	0.528

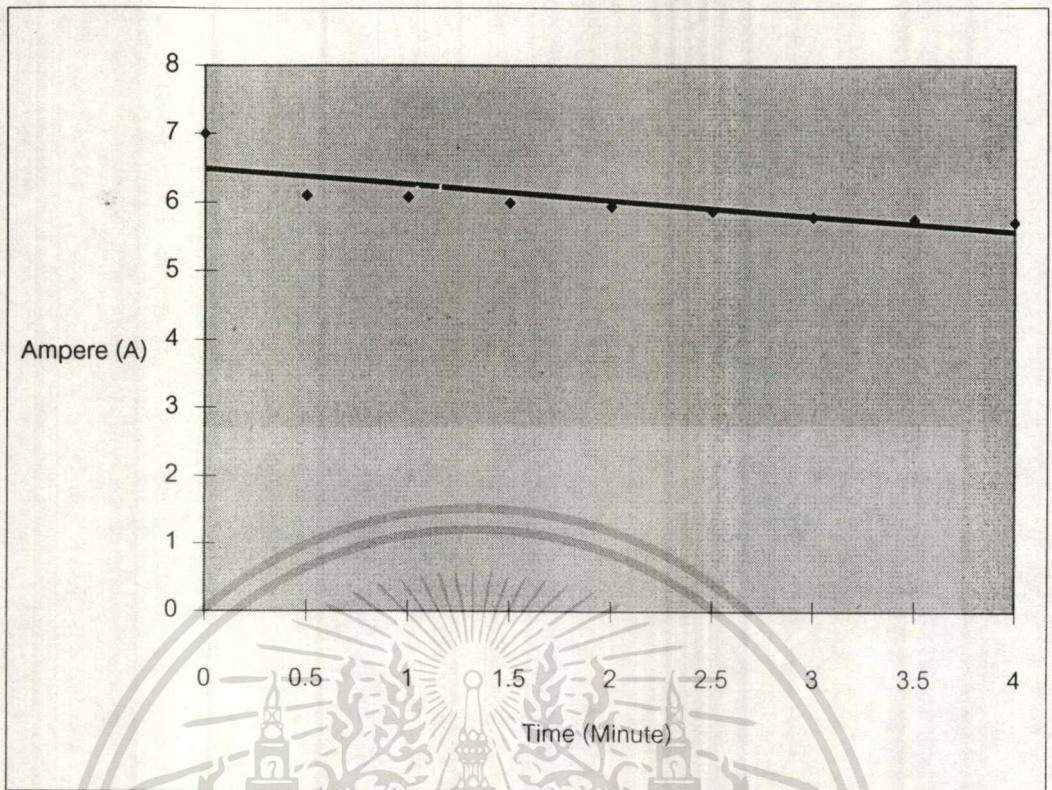
ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.



กราฟที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



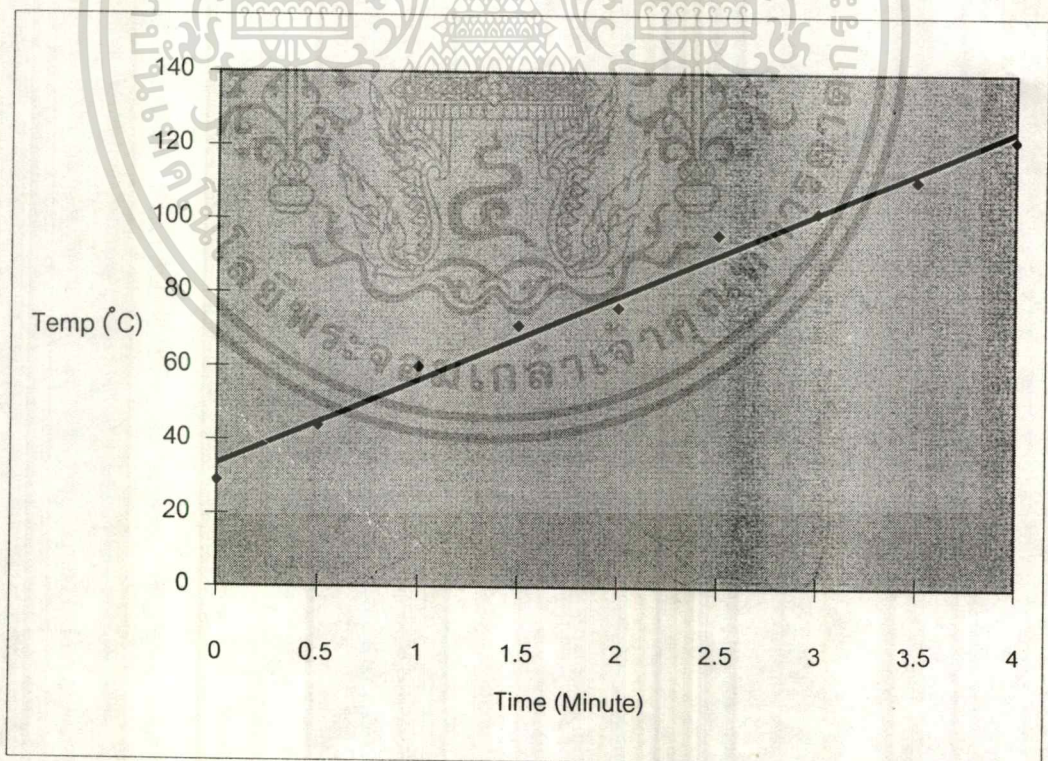
กราฟที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

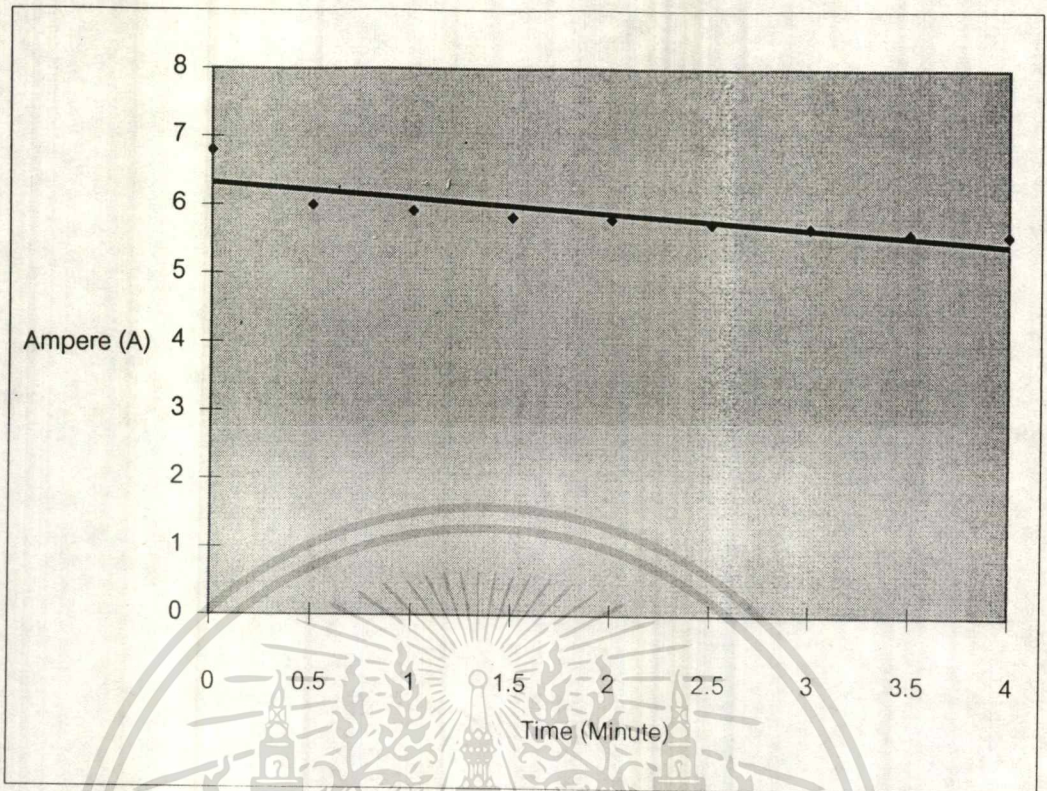
ครั้งที่ 3 Inner diameter 6 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	29	6.8	720	0.466
0.5	44	6	662	0.486
1	60	5.92	660	0.491
1.5	71	5.82	660	0.500
2	76	5.8	660	0.501
2.5	96	5.74	660	0.507
3	102	5.68	650	0.504
3.5	111	5.6	650	0.511
4	122	5.58	650	0.513

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.



กราฟที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ข้อมูลที่ใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



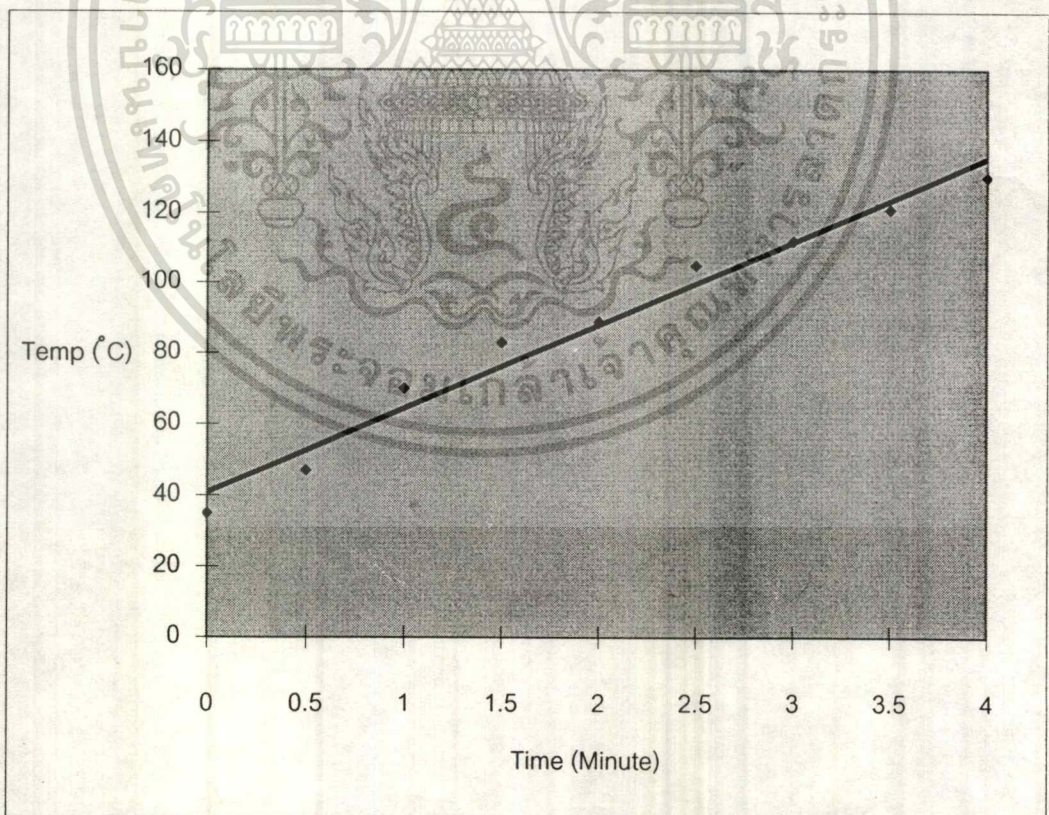
กราฟที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

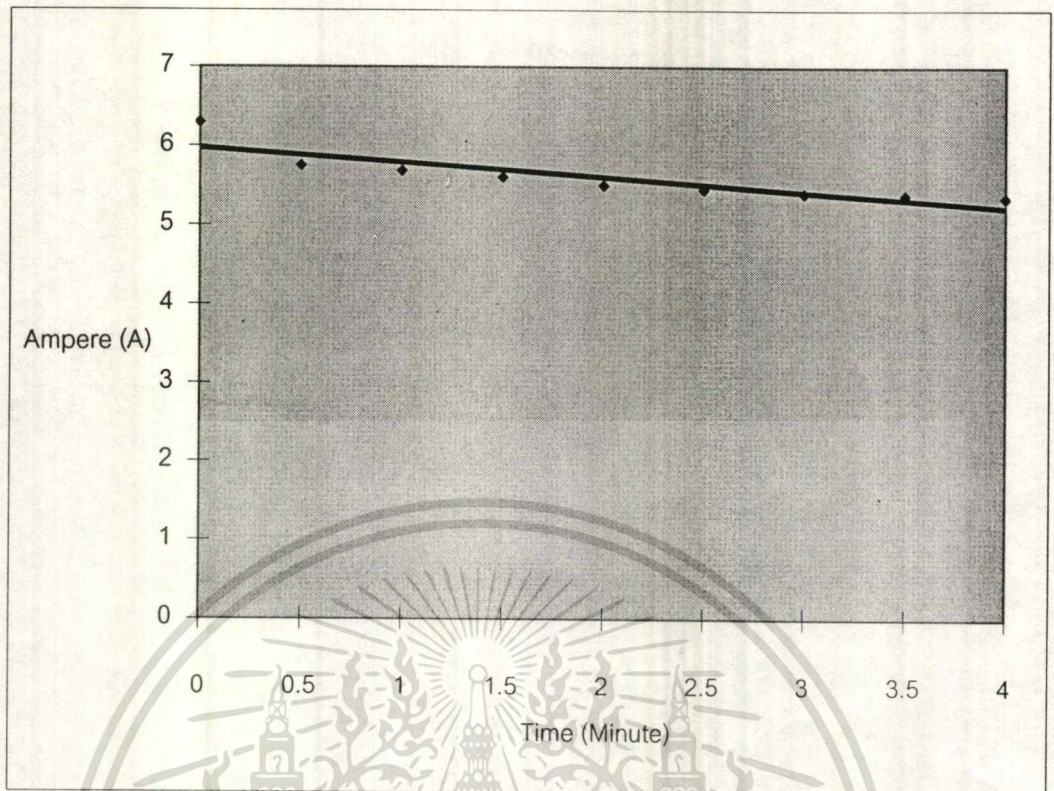
ครั้งที่ 1 Inner diameter 6.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	35	6.3	650	0.455
0.5	47	5.75	645	0.494
1	70	5.68	645	0.500
1.5	83	5.6	640	0.503
2	89	5.5	625	0.501
2.5	105	5.45	615	0.497
3	112	5.4	615	0.502
3.5	121	5.38	610	0.499
4	130	5.35	600	0.494

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลล์ลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลล์ลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



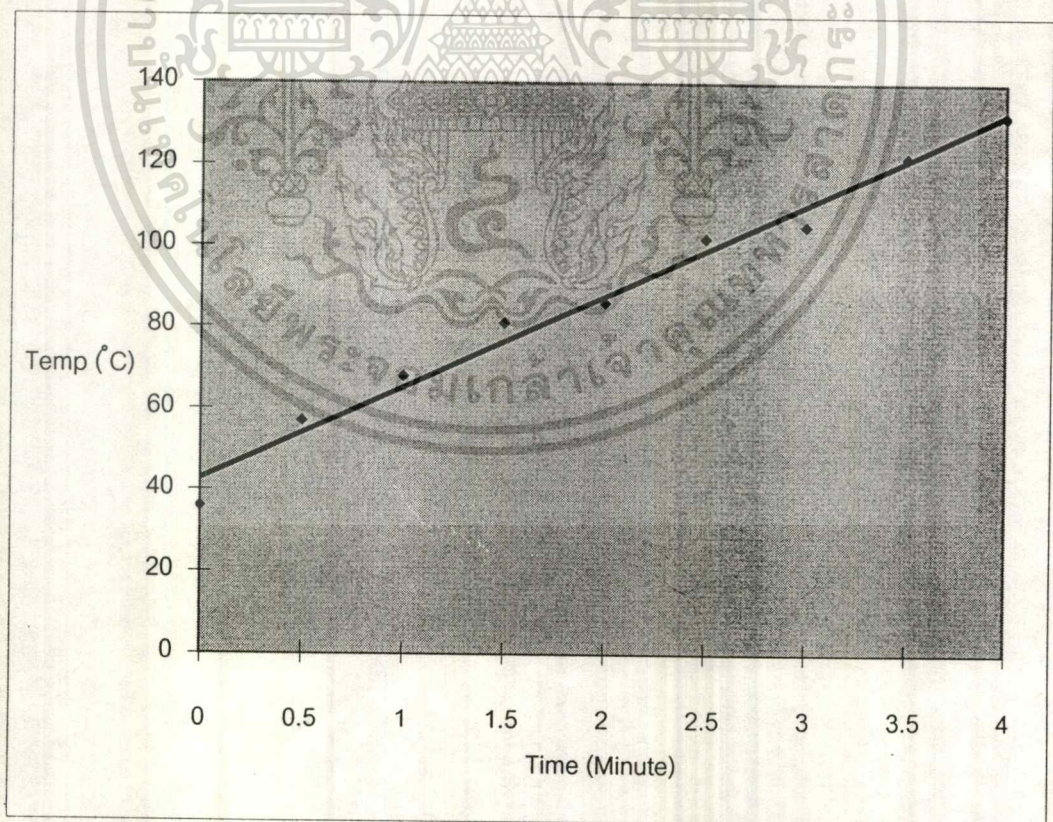
กราฟที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

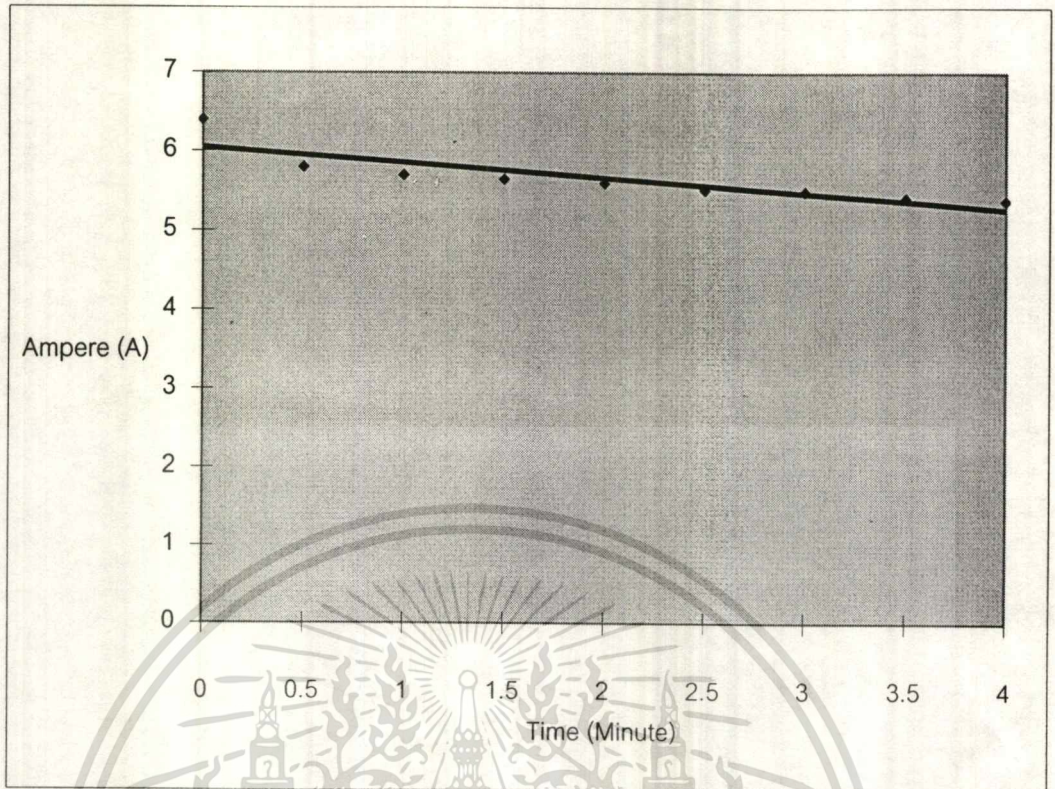
ครั้งที่ 2 Inner diameter 6.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	36	6.4	700	0.482
0.5	57	5.8	650	0.494
1	68	5.7	648	0.501
1.5	81	5.65	645	0.503
2	86	5.6	640	0.503
2.5	102	5.52	638	0.509
3	105	5.5	638	0.511
3.5	122	5.42	638	0.519
4	132	5.4	628	0.512

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



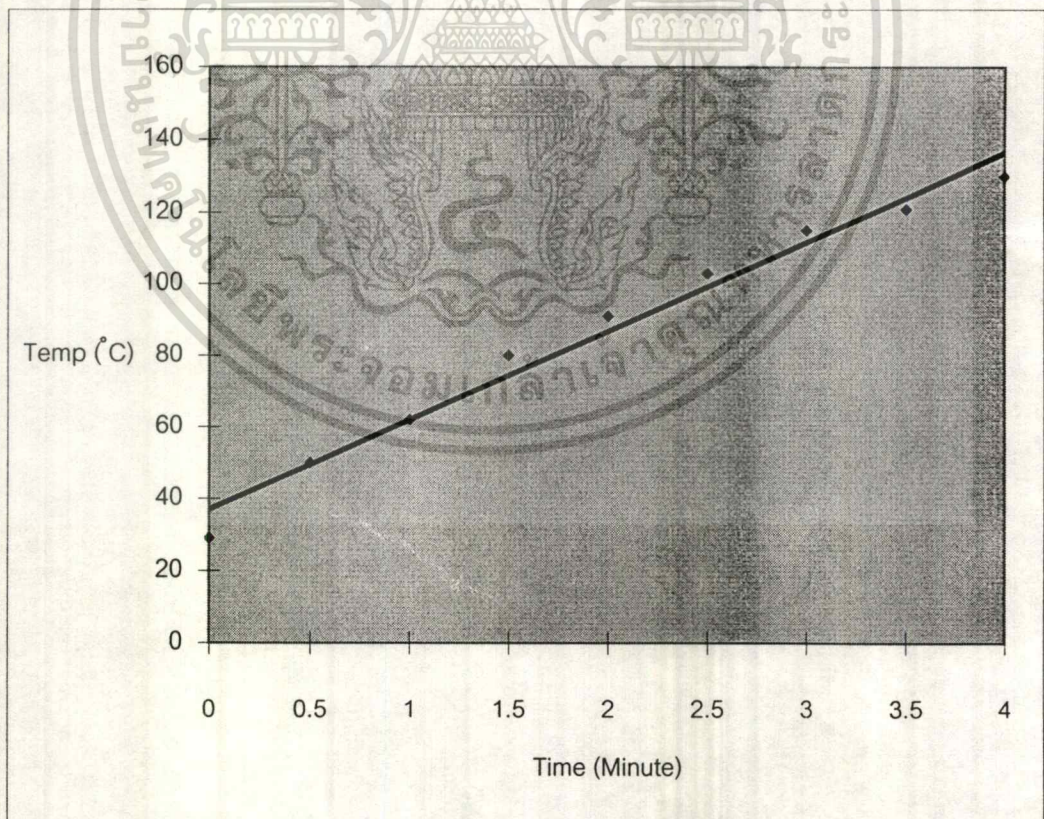
ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

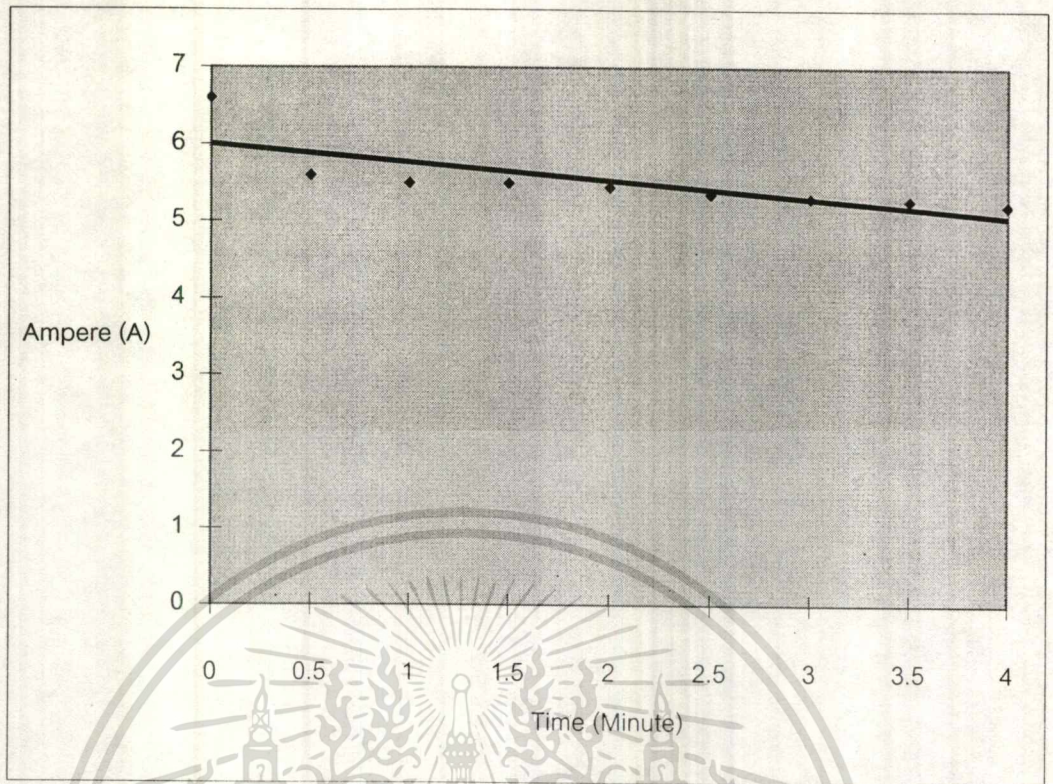
ครั้งที่ 3 Inner diameter 6.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature($^{\circ}$ C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	29	6.6	690	0.461
0.5	50	5.6	630	0.496
1	62	5.5	615	0.493
1.5	80	5.5	610	0.489
2	91	5.45	610	0.493
2.5	103	5.36	610	0.501
3	115	5.31	610	0.506
3.5	121	5.28	608	0.507
4	130	5.22	605	0.511

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลลูปปืนขนาด Diameter 6.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลลูปปืนขนาด Diameter 6.5 cm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้



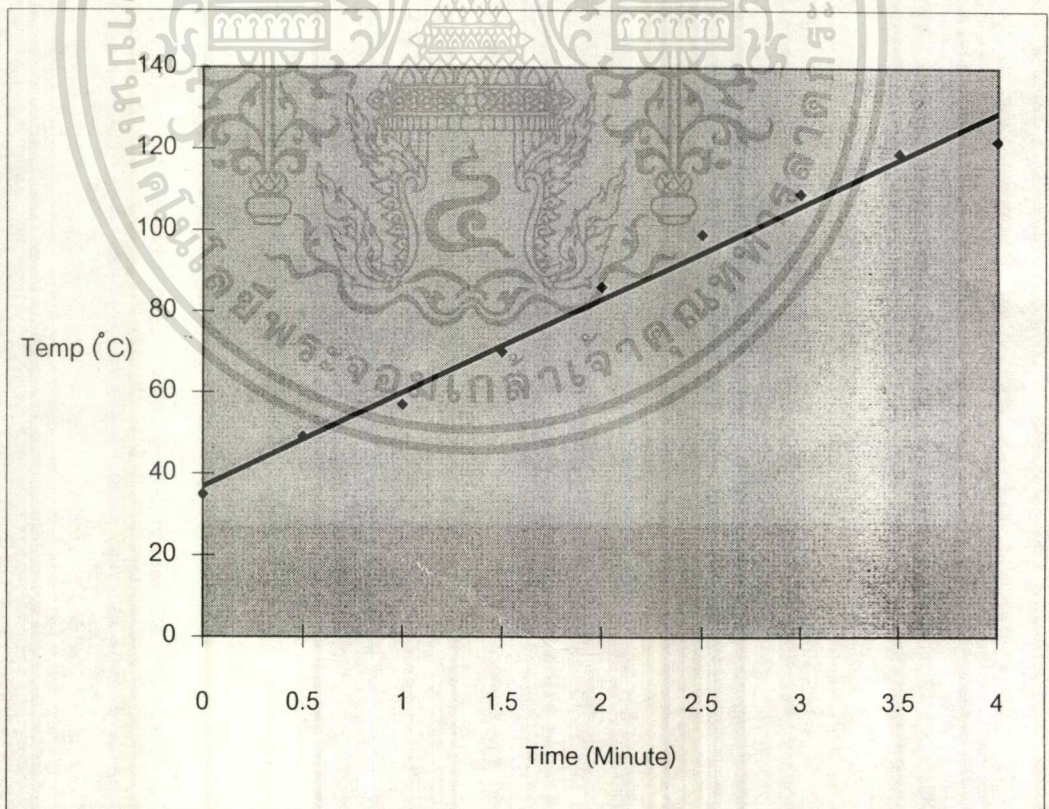
กราฟที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

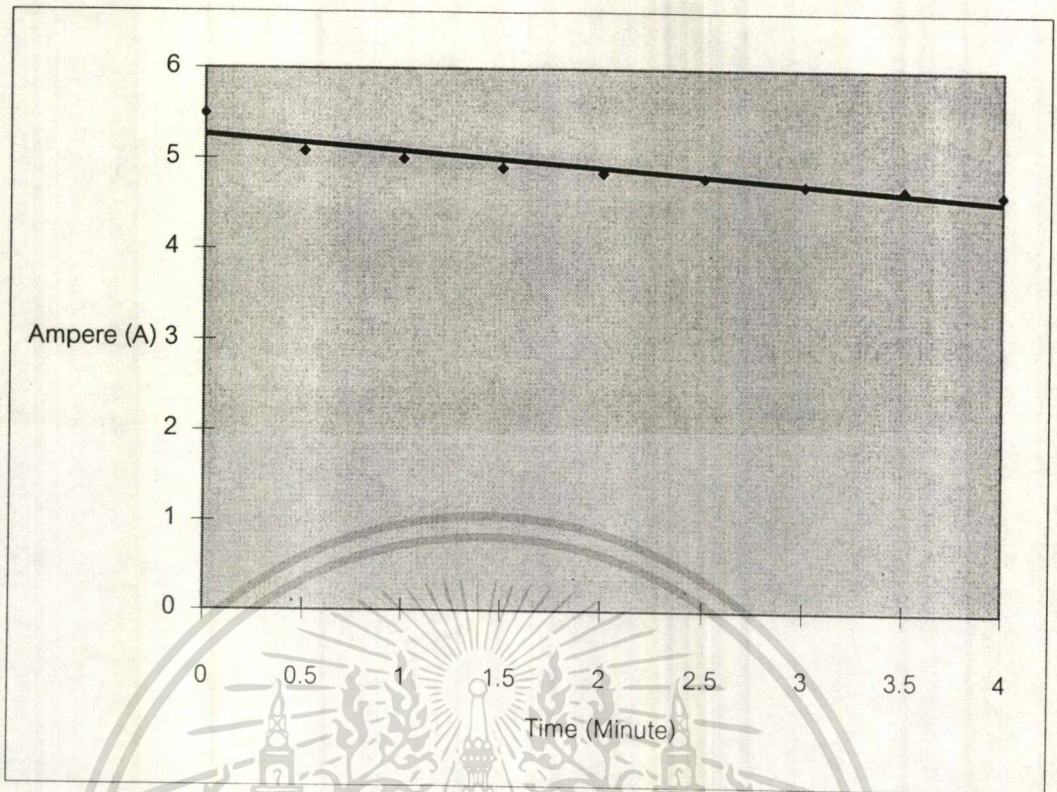
ครั้งที่ 1 Inner diameter 7.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	35	5.5	600	0.481
0.5	49	5.08	600	0.520
1	57	5	585	0.515
1.5	70	4.9	570	0.512
2	86	4.85	565	0.513
2.5	99	4.8	555	0.509
3	109	4.72	540	0.504
3.5	119	4.68	530	0.499
4	122	4.63	524	0.499

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลล์ลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวารสารวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลล์ลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



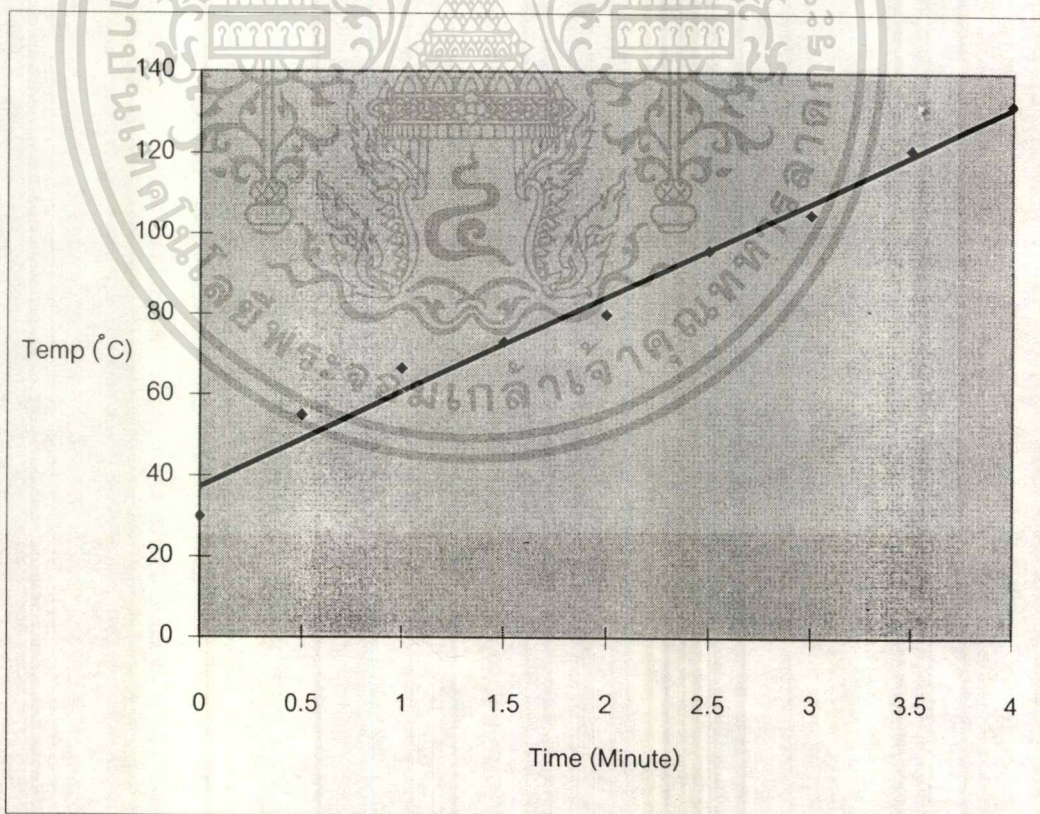
กราฟที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

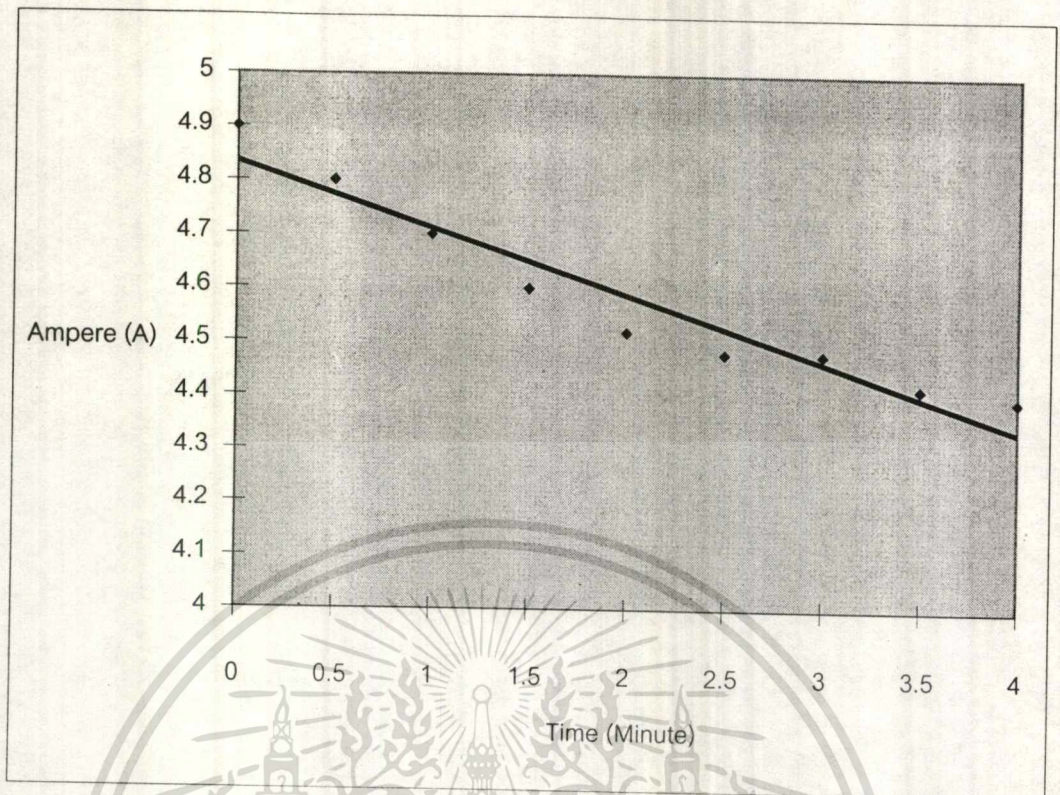
ครั้งที่ 2 Inner diameter 7.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	30	4.9	225	0.202
0.5	55	4.8	225	0.206
1	66.5	4.7	225	0.211
1.5	73	4.6	225	0.215
2	80	4.52	225	0.219
2.5	96	4.48	225	0.221
3	105	4.48	225	0.221
3.5	121	4.42	225	0.224
4	132	4.4	225	0.225

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



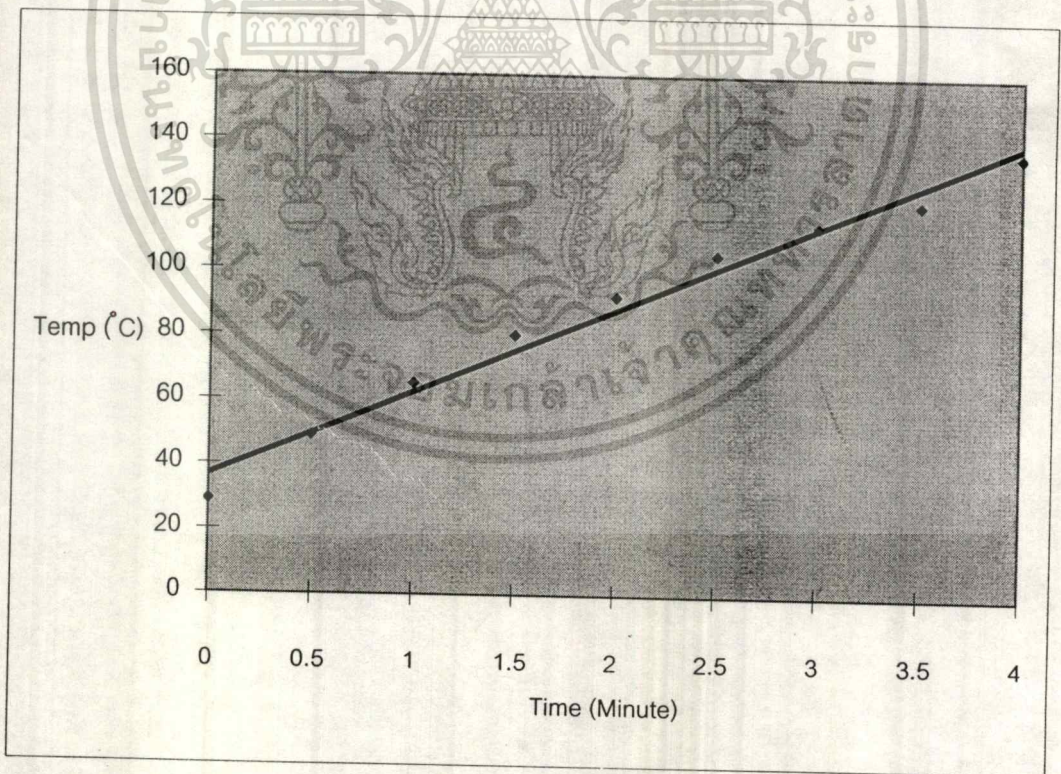
กราฟที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของดัลบูลเป็นขนาด Diameter 7.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

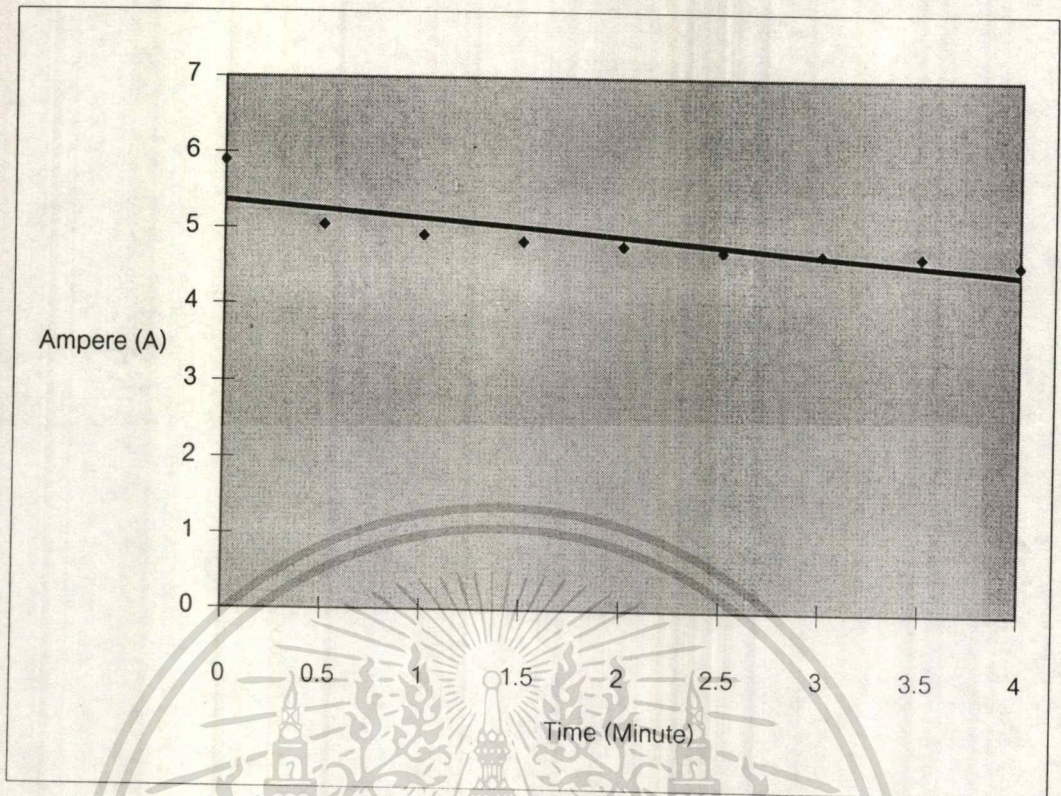
ครั้งที่ 3 Inner diameter 7.5 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	29	5.9	650	0.485
0.5	49	5.05	585	0.510
1	65	4.92	570	0.510
1.5	80	4.85	560	0.509
2	92	4.8	550	0.505
2.5	105	4.74	540	0.502
3	114	4.72	535	0.499
3.5	121	4.7	520	0.487
4	136	4.6	520	0.498

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลบูกเป็นขนาด Diameter 7.5 cm.



เอกสารนี้ กราฟที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลบูกเป็นขนาด Diameter 7.5 cm. ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.

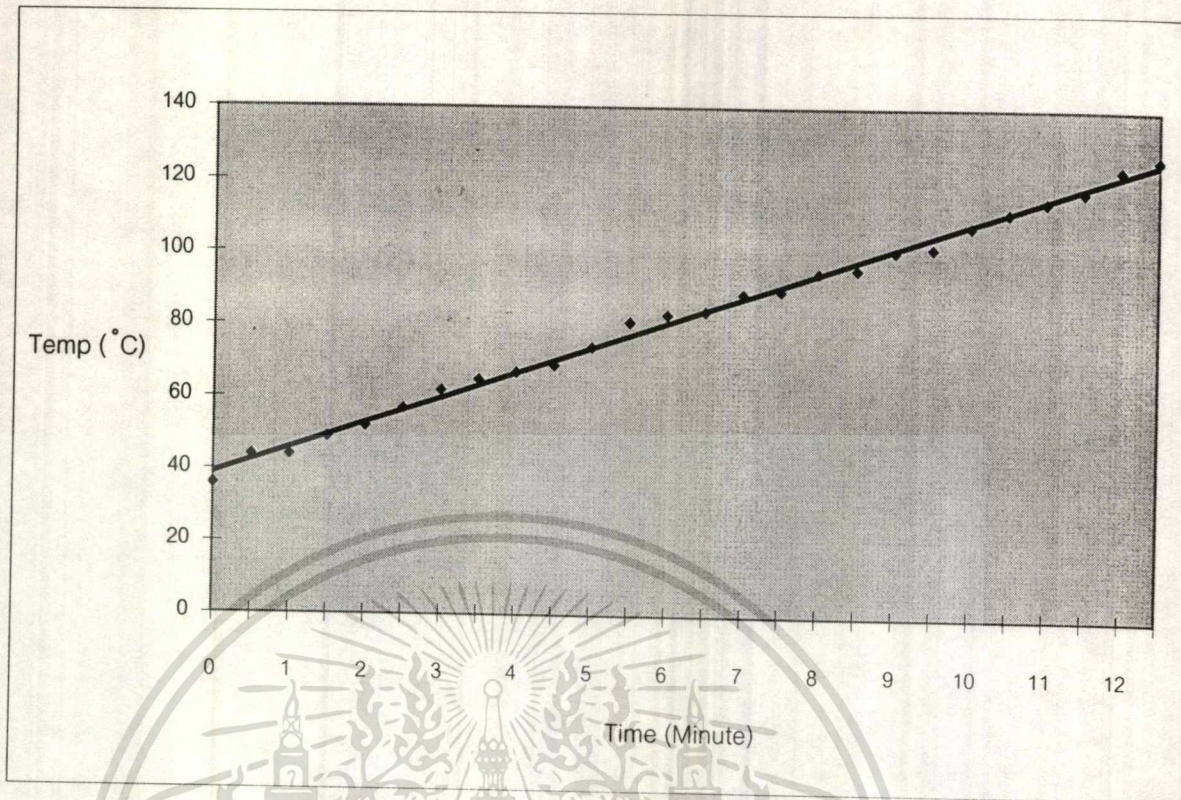
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 1 Inner diameter 7.9 cm. (Small Yoke)

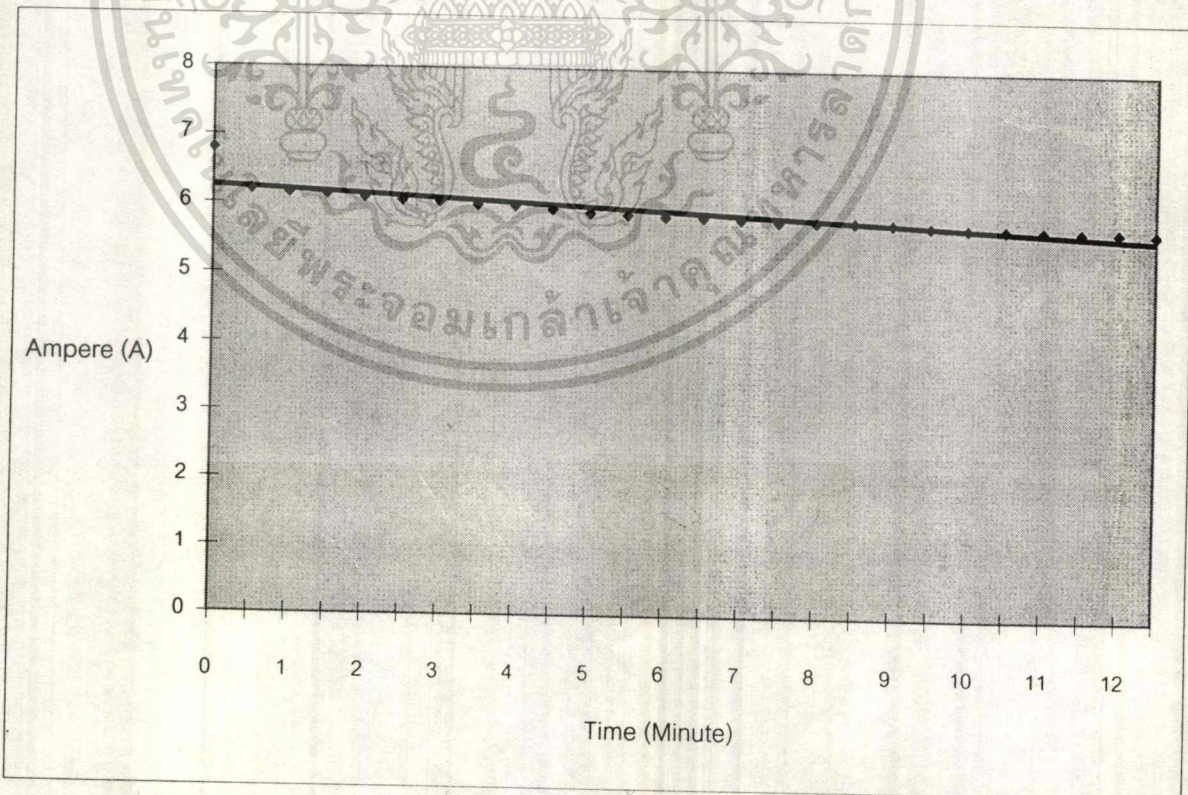
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	36	6.8	750	0.486
0.5	44	6.2	690	0.490
1	44	6.16	690	0.493
1.5	49	6.14	690	0.495
2	52	6.1	690	0.498
2.5	57	6.06	690	0.502
3	62	6.04	685	0.500
3.5	65	6	685	0.503
4	67	5.99	680	0.500
4.5	69	5.95	680	0.503
5	74	5.9	680	0.508
5.5	81	5.88	675	0.506
6	83	5.86	675	0.507
6.5	84	5.85	675	0.508
7	89	5.83	675	0.510
7.5	90	5.8	675	0.513
8	95	5.8	675	0.513
8.5	96	5.8	675	0.513
9	101	5.78	675	0.514
9.5	102	5.75	670	0.513
10	108	5.73	670	0.515
10.5	112	5.72	670	0.516
11	115	5.71	670	0.517
11.5	118	5.7	670	0.518
12	124	5.7	670	0.518
12.5	127	5.68	670	0.520

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตุ้บลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตุ้บลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

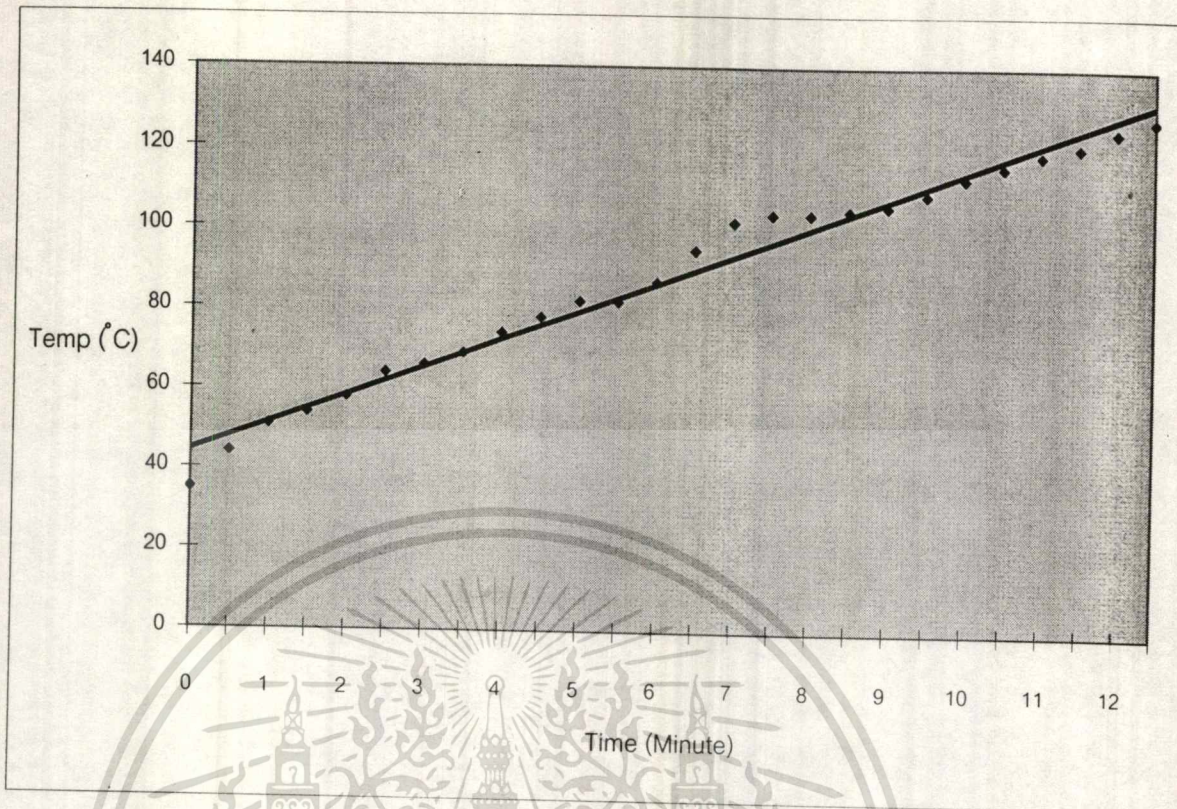
ครั้งที่ 2 Inner diameter 7.9 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	35	6.5	660	0.447
0.5	44	6.1	660	0.477
1	51	6.02	660	0.483
1.5	54	6	660	0.485
2	58	5.96	660	0.488
2.5	64	5.94	660	0.489
3	66	5.9	660	0.493
3.5	69	5.86	660	0.496
4	74	5.83	655	0.495
4.5	78	5.82	650	0.492
5	82	5.8	650	0.494
5.5	82	5.78	650	0.495
6	87	5.72	650	0.501
6.5	95	5.7	645	0.498
7	102	5.7	645	0.498
7.5	104	5.68	640	0.496
8	104	5.72	647	0.498
8.5	105	5.72	660	0.508
9	106	5.7	655	0.506
9.5	109	5.68	650	0.504
10	113	5.65	650	0.507
10.5	116	5.55	647	0.514
11	119	5.48	640	0.514
11.5	121	5.43	638	0.518
12	125	5.4	635	0.518
12.5	128	5.32	630	0.522

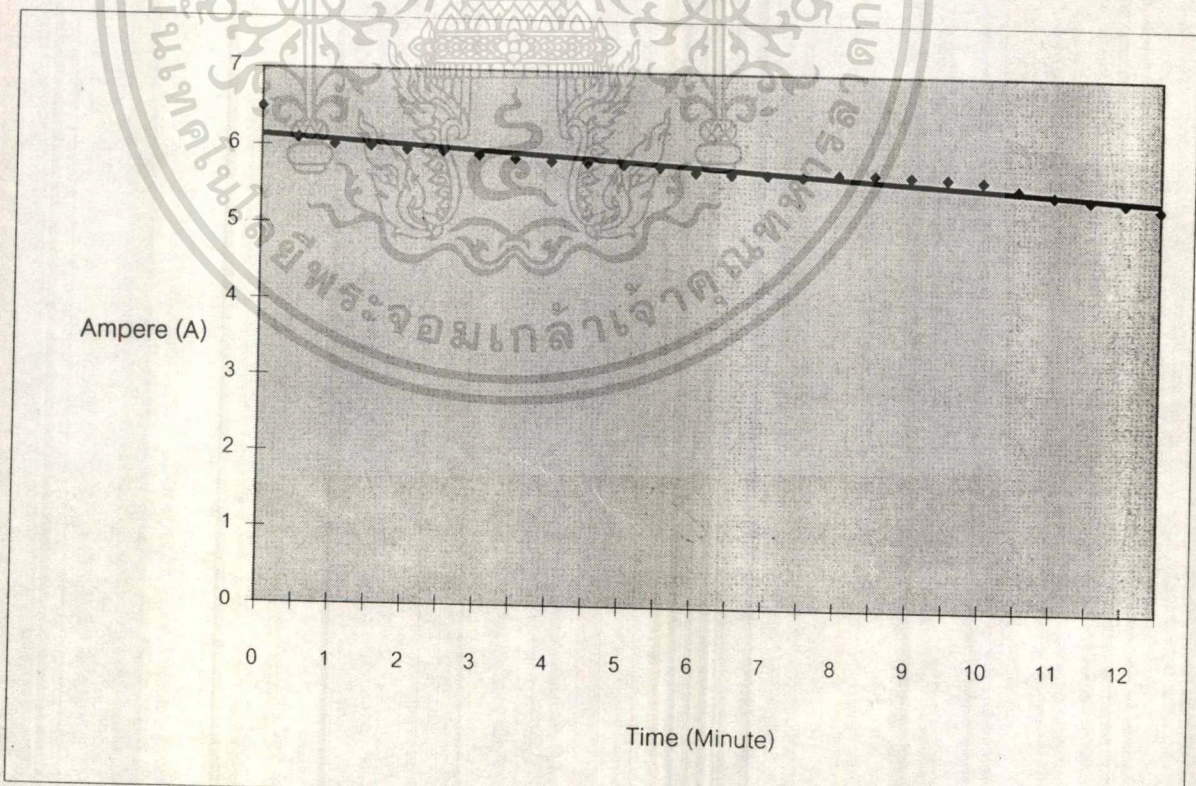
ตารางที่ 14 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

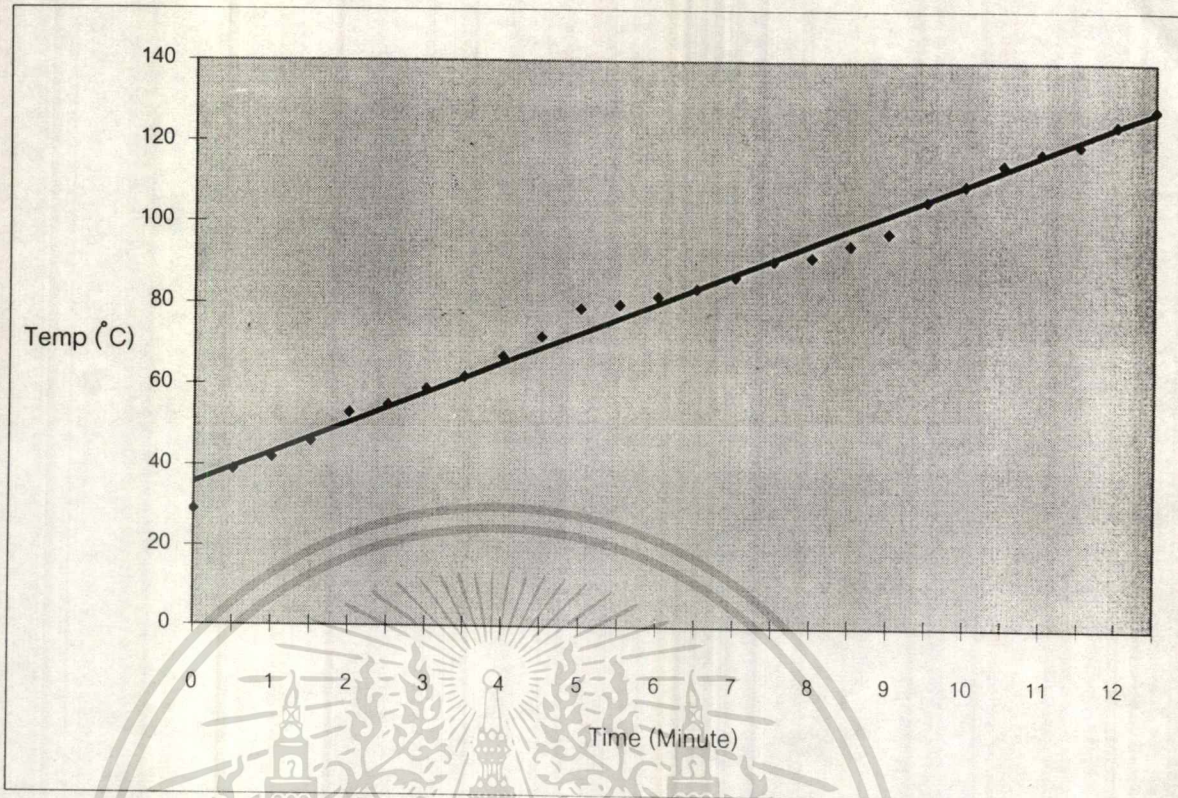
ครั้งที่ 3 Inner diameter 7.9 cm. (Small Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	29	6.7	710	0.467
0.5	39	6.02	650	0.476
1	42	6	650	0.477
1.5	46	5.98	648	0.477
2	53	5.92	650	0.484
2.5	55	5.9	648	0.484
3	59	5.88	650	0.487
3.5	62	5.85	650	0.489
4	67	5.82	650	0.492
4.5	72	5.76	648	0.496
5	79	5.72	648	0.499
5.5	80	5.72	645	0.497
6	82	5.7	643	0.497
6.5	84	5.7	642	0.496
7	87	5.68	648	0.503
7.5	91	5.66	645	0.502
8	92	5.65	642	0.501
8.5	95	5.65	642	0.501
9	98	5.62	640	0.502
9.5	106	5.6	640	0.503
10	110	5.59	640	0.504
10.5	115	5.56	640	0.507
11	118	5.55	638	0.506
11.5	120	5.55	626	0.497
12	125	5.45	618	0.500
12.5	129	5.42	610	0.496

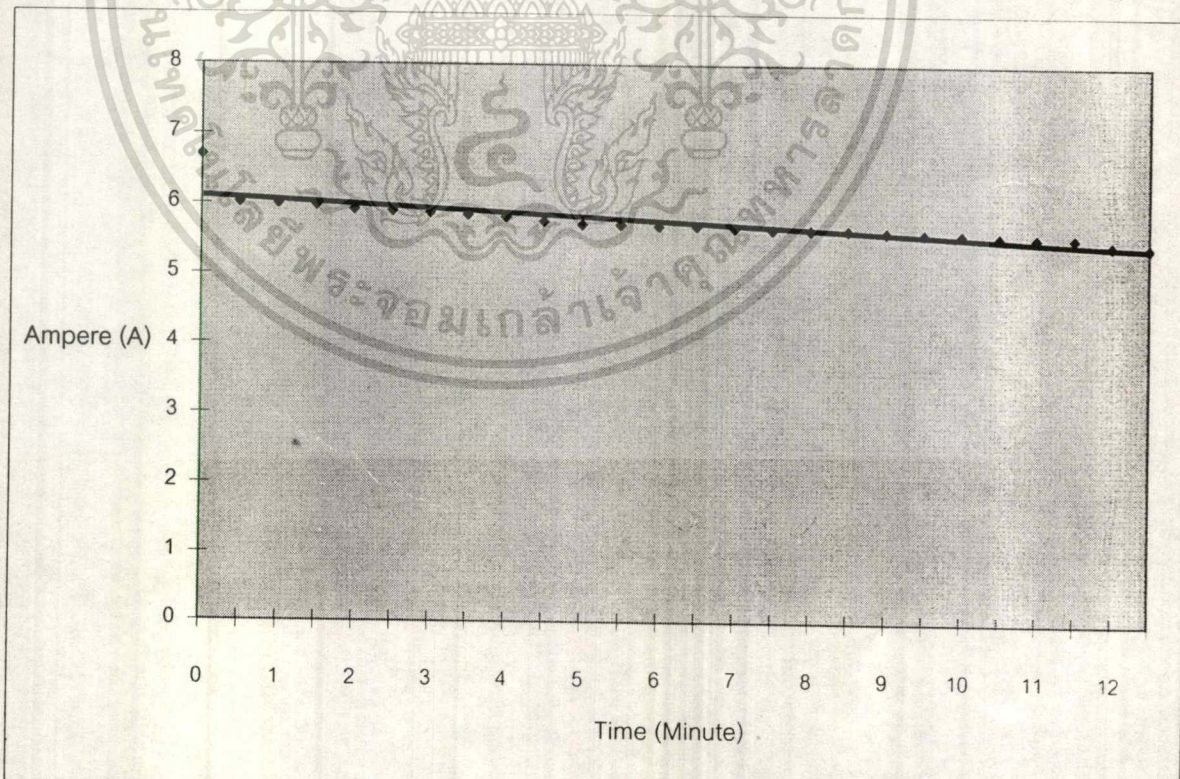
ตารางที่ 15 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลบลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

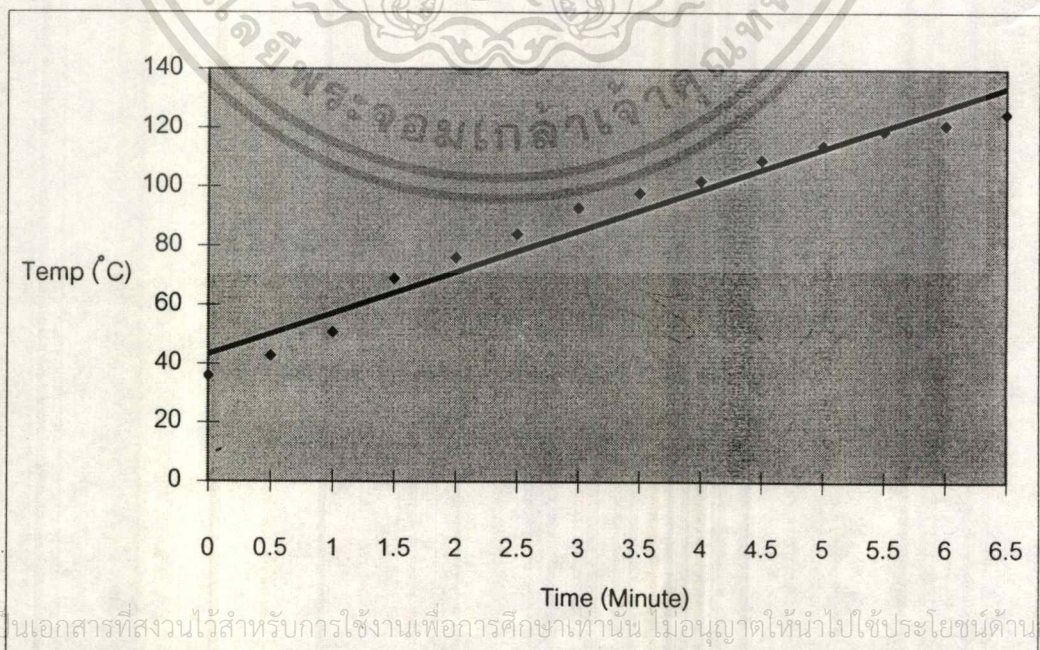


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรสิทธิ์ กราฟที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลบลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

ครั้งที่ 1 Inner diameter 10 cm. (Big Yoke)

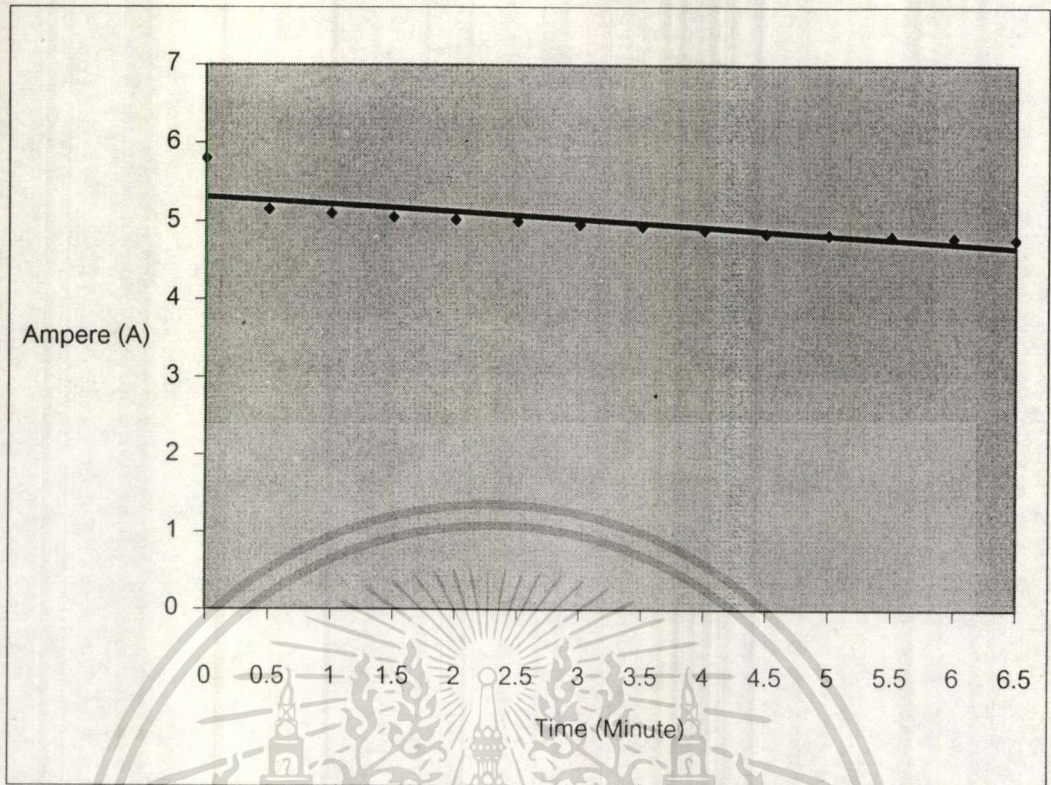
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	36	5.8	710	0.539
0.5	43	5.15	650	0.556
1	51	5.1	650	0.561
1.5	69	5.05	650	0.567
2	76	5.02	650	0.570
2.5	84	5	650	0.573
3	93	4.96	650	0.577
3.5	98	4.94	650	0.580
4	102	4.9	650	0.584
4.5	109	4.86	645	0.585
5	114	4.85	645	0.586
5.5	119	4.83	645	0.588
6	121	4.82	645	0.590
6.5	125	4.8	645	0.592

ตารางที่ 16 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.



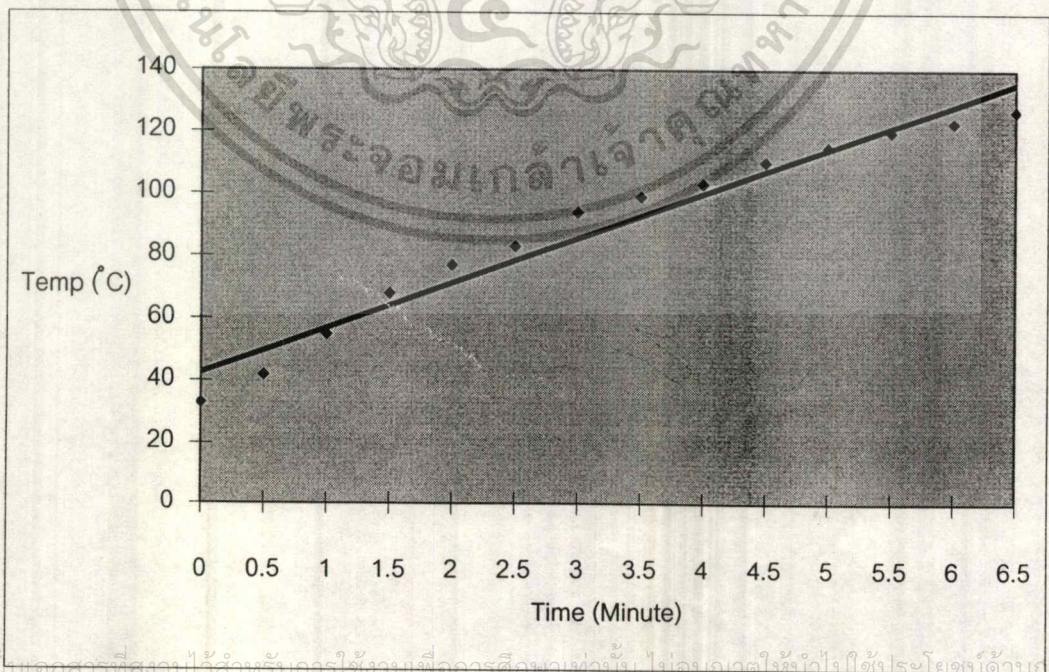
กราฟที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูลูกเป็นขนาด Diameter 10 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2 Inner diameter 10 cm. (Big Yoke)

Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	33	5.85	700	0.527
0.5	42	5.2	640	0.542
1	55	5.25	640	0.537
1.5	68	5.1	635	0.549
2	77	5	630	0.555
2.5	83	4.98	630	0.557
3	94	4.95	630	0.561
3.5	99	4.94	630	0.562
4	103	4.93	630	0.563
4.5	110	4.87	625	0.565
5	115	4.84	625	0.569
5.5	120	4.82	625	0.571
6	123	4.8	620	0.569
6.5	127	4.78	645	0.594

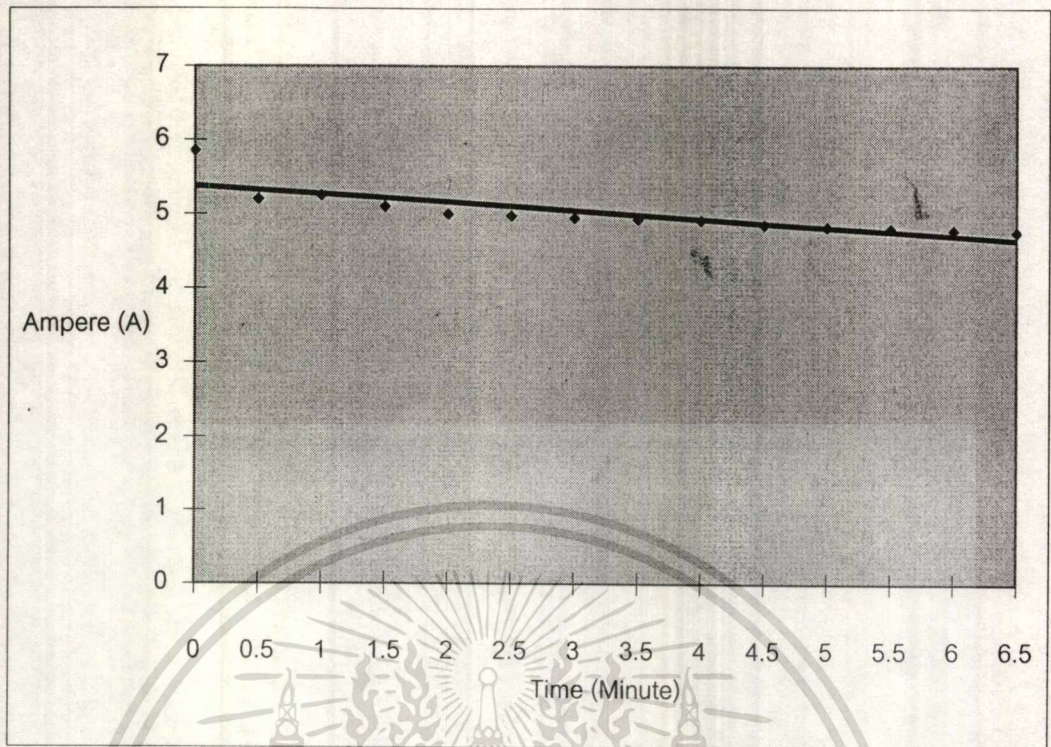
ตารางที่ 17 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.



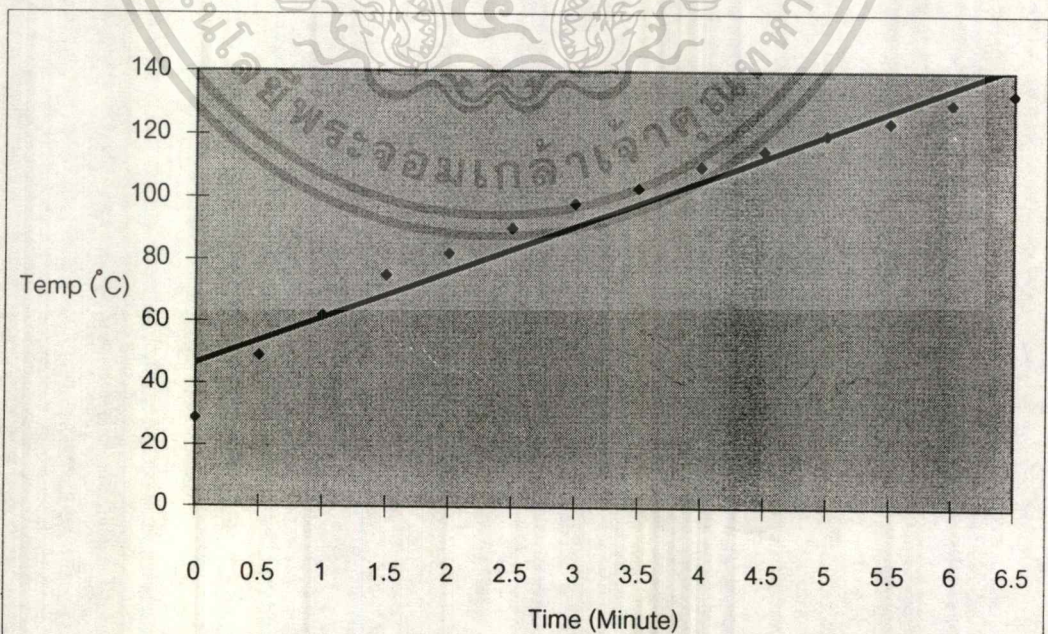
กราฟที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3 Inner diameter 10 cm. (Big Yoke)

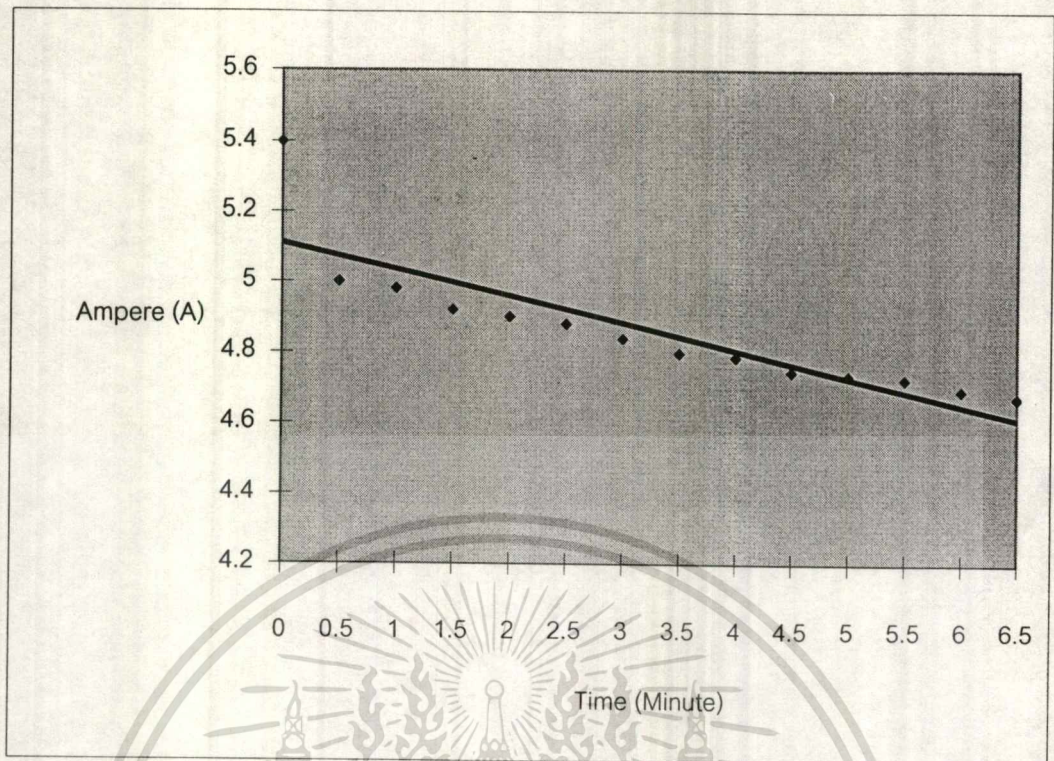
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	29	5.4	680	0.555
0.5	49	5	660	0.581
1	62	4.98	650	0.575
1.5	75	4.92	650	0.582
2	82	4.9	650	0.584
2.5	90	4.88	645	0.582
3	98	4.84	645	0.587
3.5	103	4.8	645	0.592
4	110	4.79	640	0.589
4.5	115	4.75	635	0.589
5	120	4.74	635	0.590
5.5	124	4.73	635	0.591
6	130	4.7	635	0.595
6.5	133	4.68	634	0.597

ตารางที่ 18 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 กราฟที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.



กราฟที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของดัลลิ่งเป็นขนาด Diameter 10 cm.

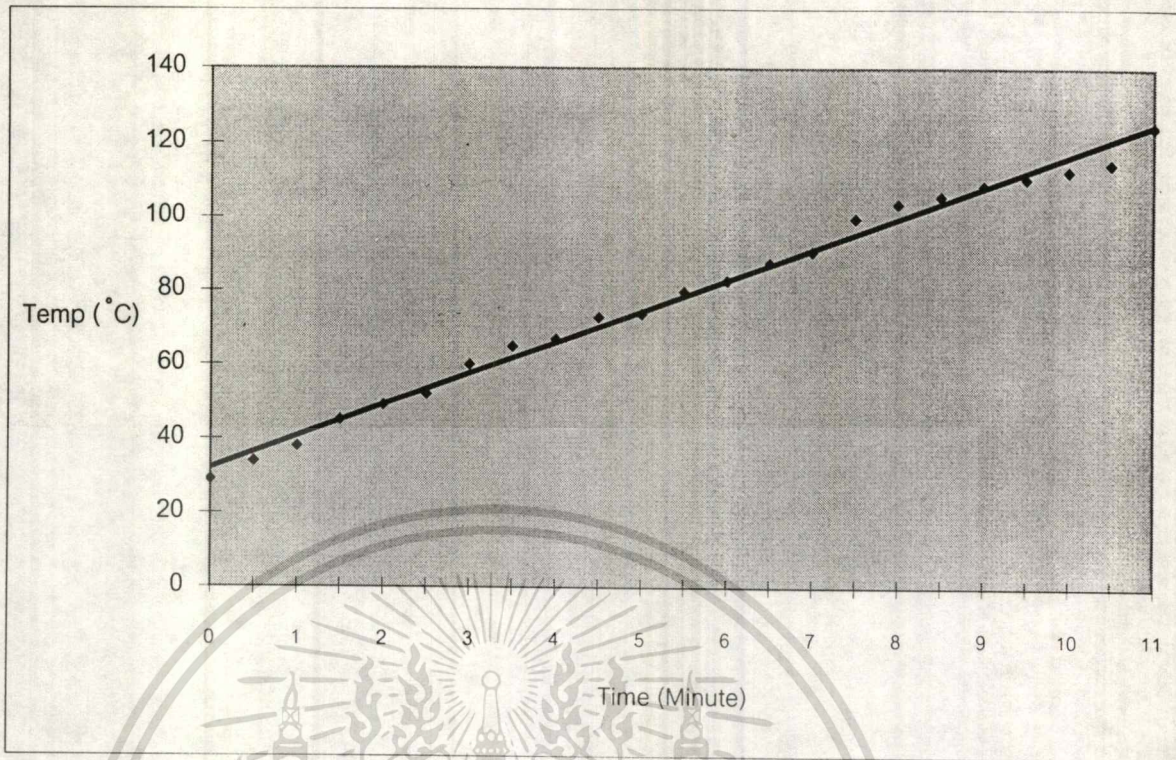
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 1 Inner diameter 10 cm. Thin (Big Yoke)

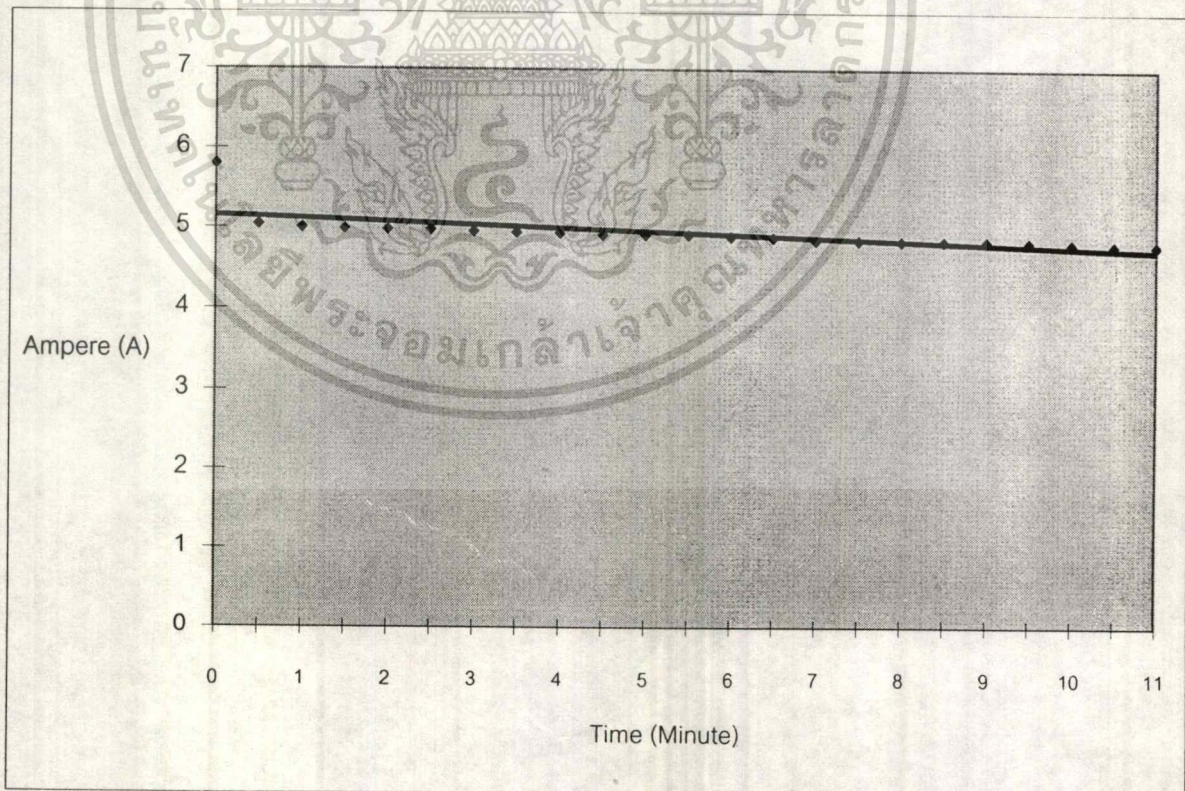
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	29	5.8	560	0.425
0.5	34	5.04	520	0.455
1	38	5	515	0.454
1.5	45	4.99	512	0.452
2	49	4.98	512	0.453
2.5	52	4.98	512	0.453
3	60	4.96	512	0.455
3.5	65	4.95	512	0.456
4	67	4.94	512	0.457
4.5	73	4.92	512	0.458
5	74	4.92	512	0.458
5.5	80	4.92	512	0.458
6	83	4.9	512	0.460
6.5	88	4.89	508	0.458
7	91	4.86	508	0.460
7.5	100	4.86	508	0.460
8	104	4.85	507	0.461
8.5	106	4.85	507	0.461
9	109	4.85	505	0.459
9.5	111	4.84	505	0.460
10	113	4.82	504	0.461
10.5	115	4.8	503	0.462
11	125	4.8	500	0.459

ตารางที่ 19 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลลิ่งปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)



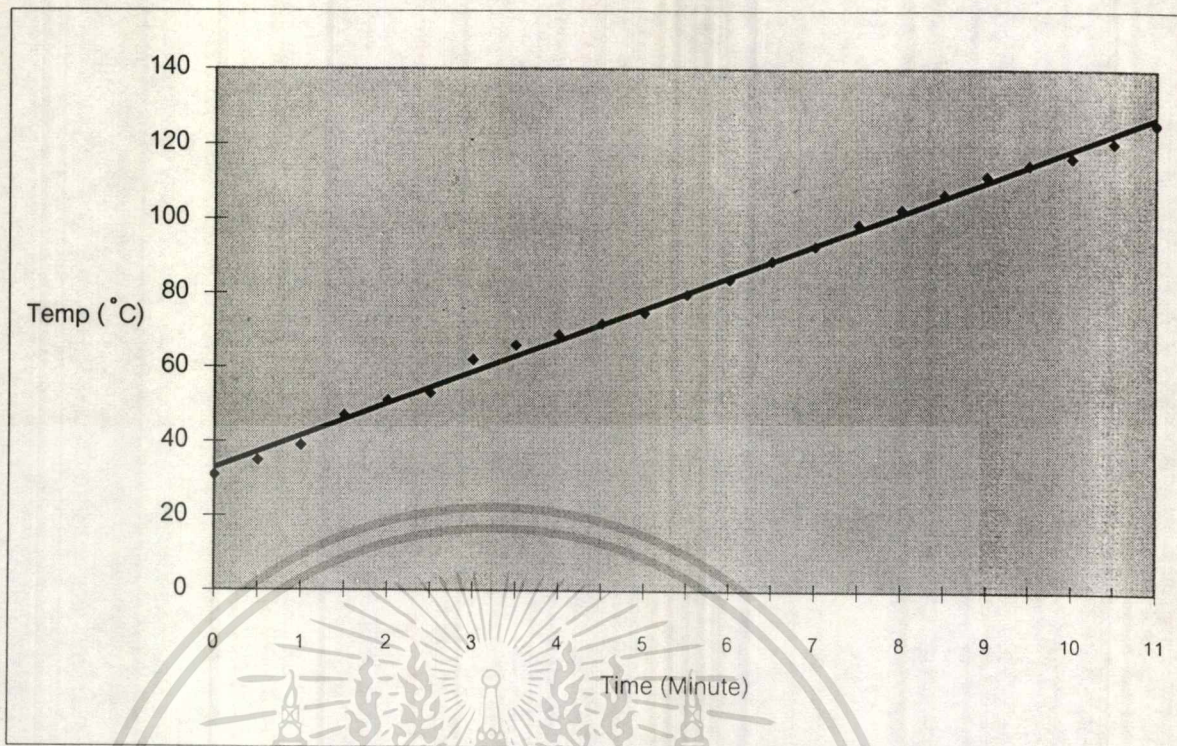
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2 Inner diameter 10 cm. Thin (Big Yoke)

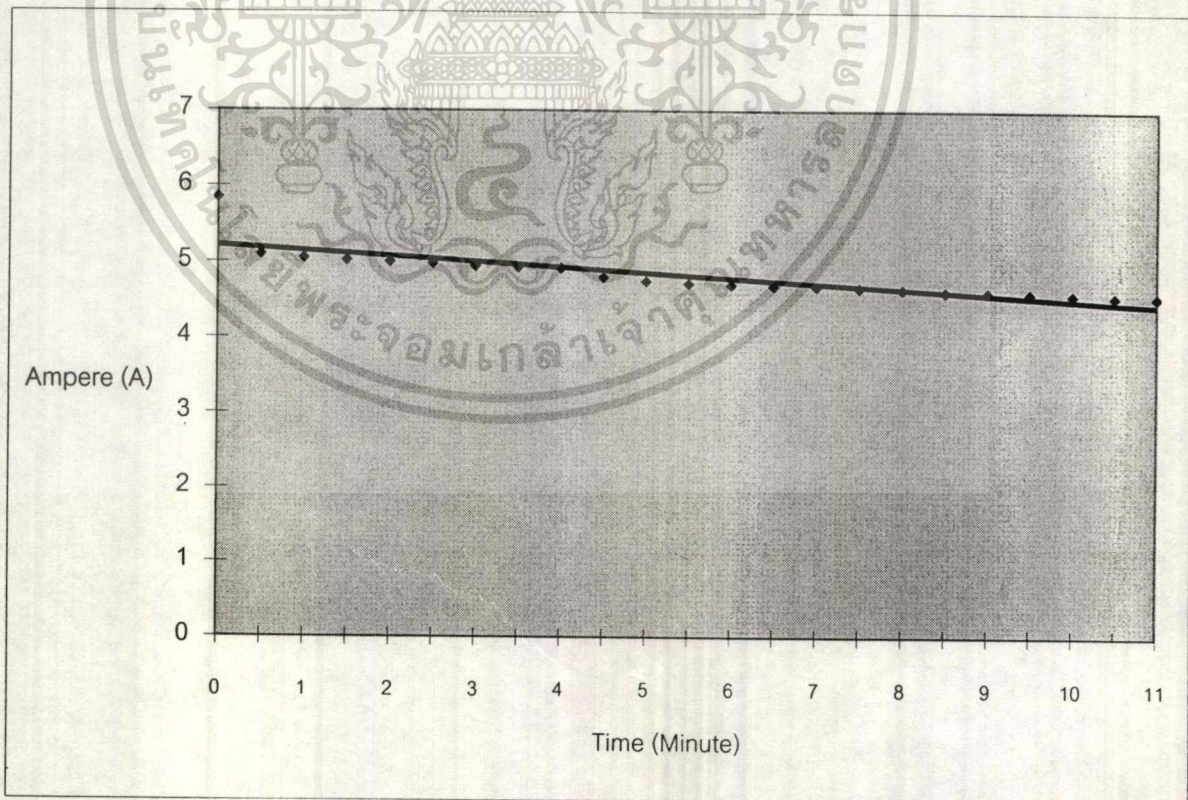
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	31	5.85	580	0.437
0.5	35	5.1	530	0.458
1	39	5.05	525	0.458
1.5	47	5.02	525	0.461
2	51	5	520	0.458
2.5	53	4.98	520	0.460
3	62	4.95	520	0.463
3.5	66	4.93	520	0.465
4	69	4.92	515	0.461
4.5	72	4.8	515	0.473
5	75	4.75	515	0.478
5.5	80	4.72	510	0.476
6	84	4.7	510	0.478
6.5	89	4.69	510	0.479
7	93	4.68	510	0.480
7.5	99	4.66	510	0.482
8	103	4.64	505	0.479
8.5	107	4.61	505	0.483
9	112	4.6	505	0.484
9.5	115	4.59	505	0.485
10	117	4.57	502	0.484
10.5	121	4.55	502	0.486
11	126	4.54	500	0.485

ตารางที่ 20 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 39 แสดงความล้มพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)



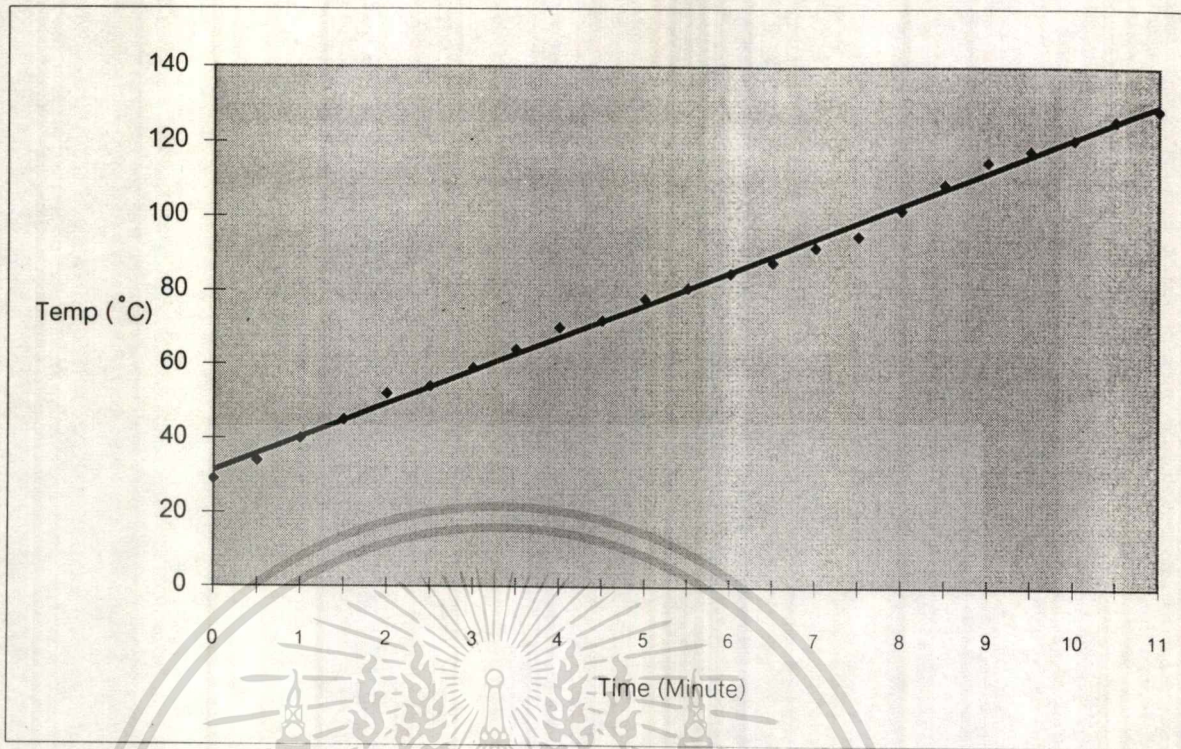
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 40 แสดงความล้มพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

ครั้งที่ 3 Inner diameter 10 cm. Thin (Big Yoke)

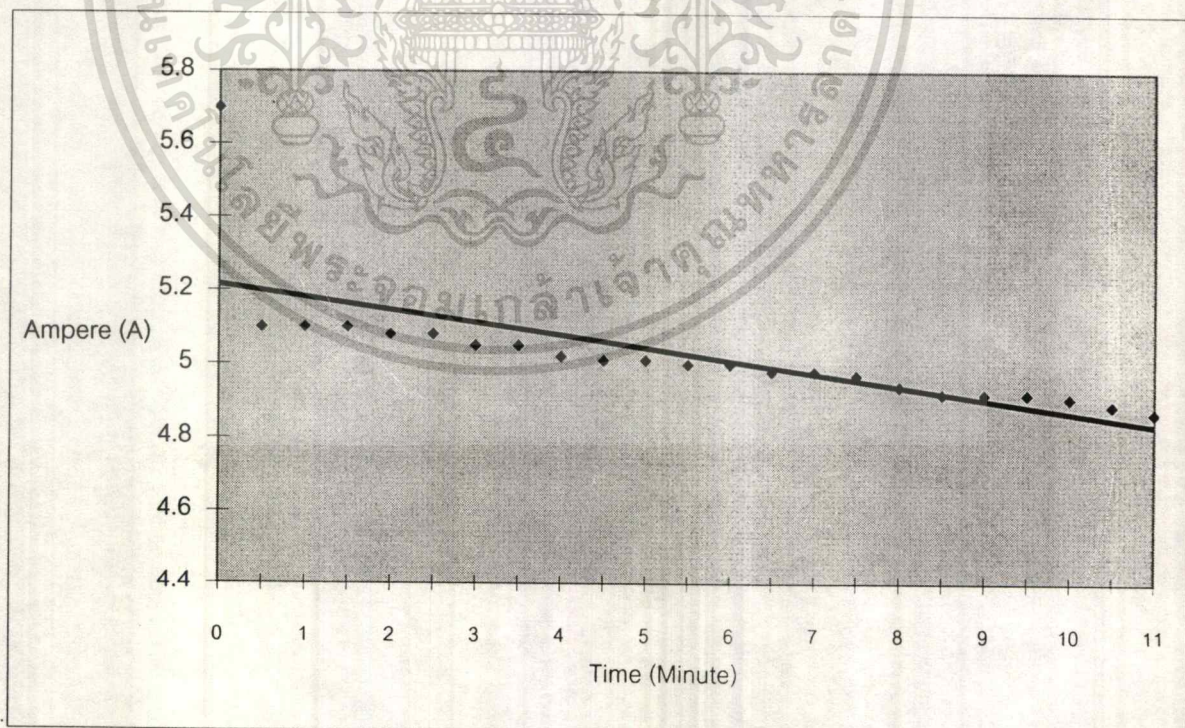
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	29	5.7	550	0.425
0.5	34	5.1	506	0.437
1	40	5.1	506	0.437
1.5	45	5.1	505	0.436
2	52	5.08	505	0.438
2.5	54	5.08	505	0.438
3	59	5.05	505	0.441
3.5	64	5.05	505	0.441
4	70	5.02	505	0.443
4.5	72	5.01	503	0.442
5	78	5.01	503	0.442
5.5	81	5	503	0.443
6	85	5	502	0.442
6.5	88	4.98	502	0.444
7	92	4.98	502	0.444
7.5	95	4.97	502	0.445
8	102	4.94	502	0.448
8.5	109	4.92	500	0.448
9	115	4.92	500	0.448
9.5	118	4.92	500	0.448
10	121	4.91	498	0.447
10.5	126	4.89	498	0.449
11	129	4.87	495	0.448

ตารางที่ 21 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

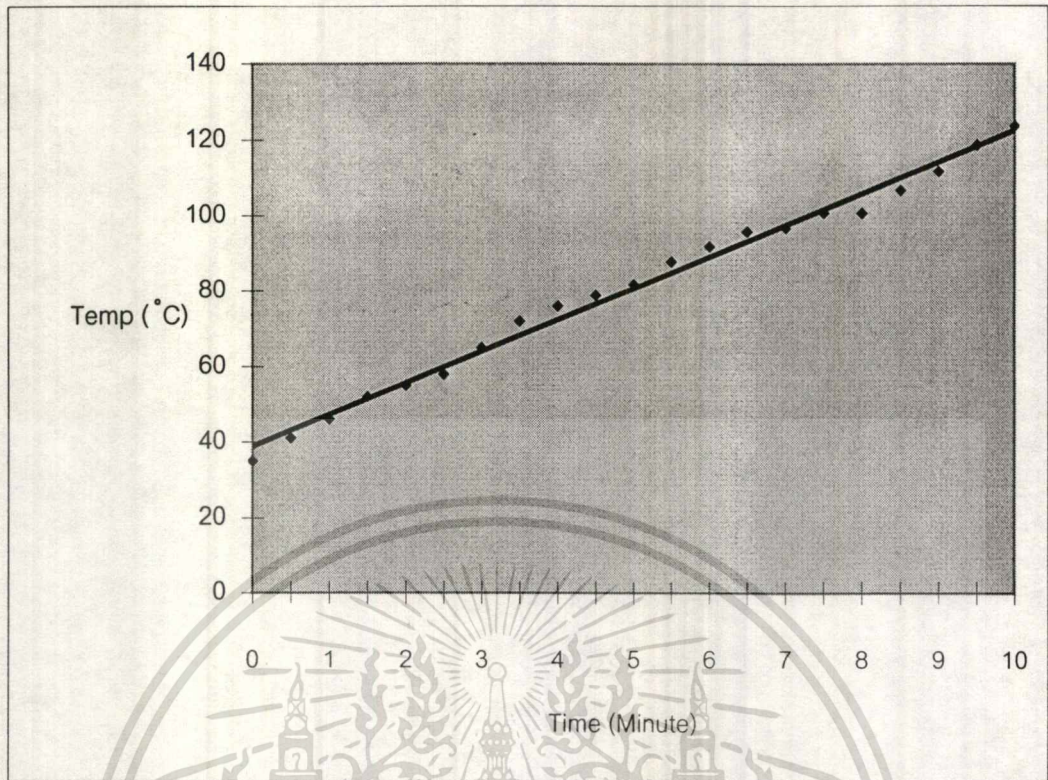


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์มอบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

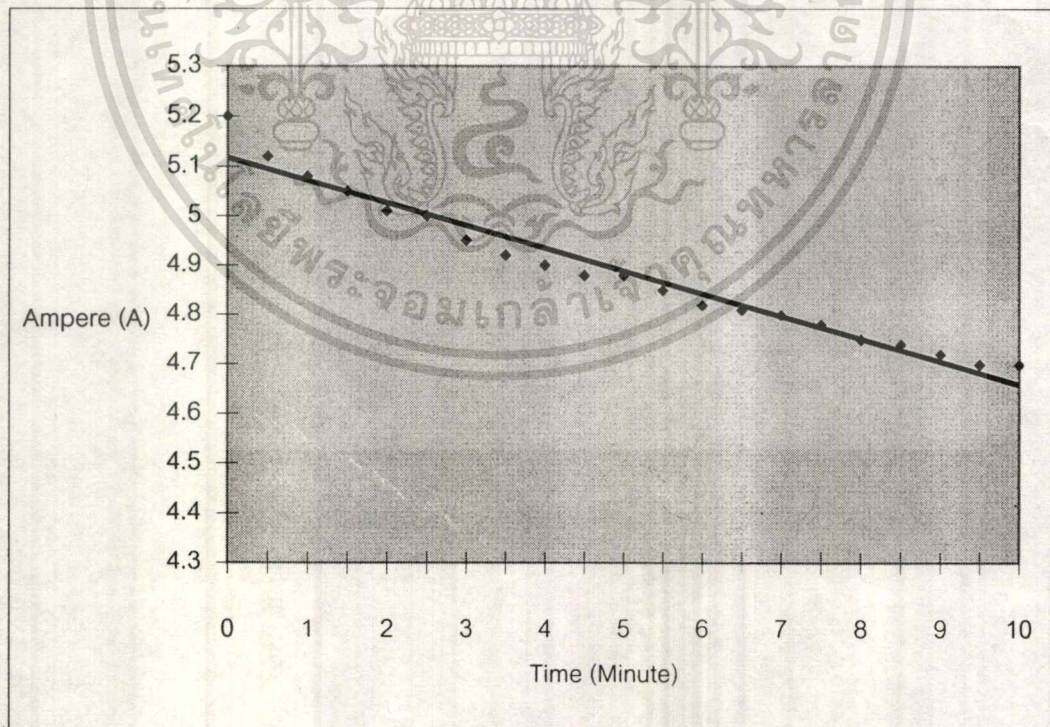
ครั้งที่ 1 Inner diameter 10.5 cm. (Big Yoke)				
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	35	5.2	620	0.525
0.5	41	5.12	620	0.533
1	46	5.08	620	0.538
1.5	52	5.05	620	0.541
2	55	5.01	620	0.545
2.5	58	5	620	0.546
3	65	4.95	620	0.552
3.5	72	4.92	620	0.555
4	76	4.9	620	0.557
4.5	79	4.88	620	0.560
5	82	4.88	620	0.560
5.5	88	4.85	620	0.563
6	92	4.82	620	0.567
6.5	96	4.81	620	0.568
7	97	4.8	620	0.569
7.5	101	4.78	620	0.571
8	101	4.75	620	0.575
8.5	107	4.74	620	0.576
9	112	4.72	620	0.579
9.5	119	4.7	620	0.581
10	124	4.7	620	0.581

ตารางที่ 22 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 43 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.



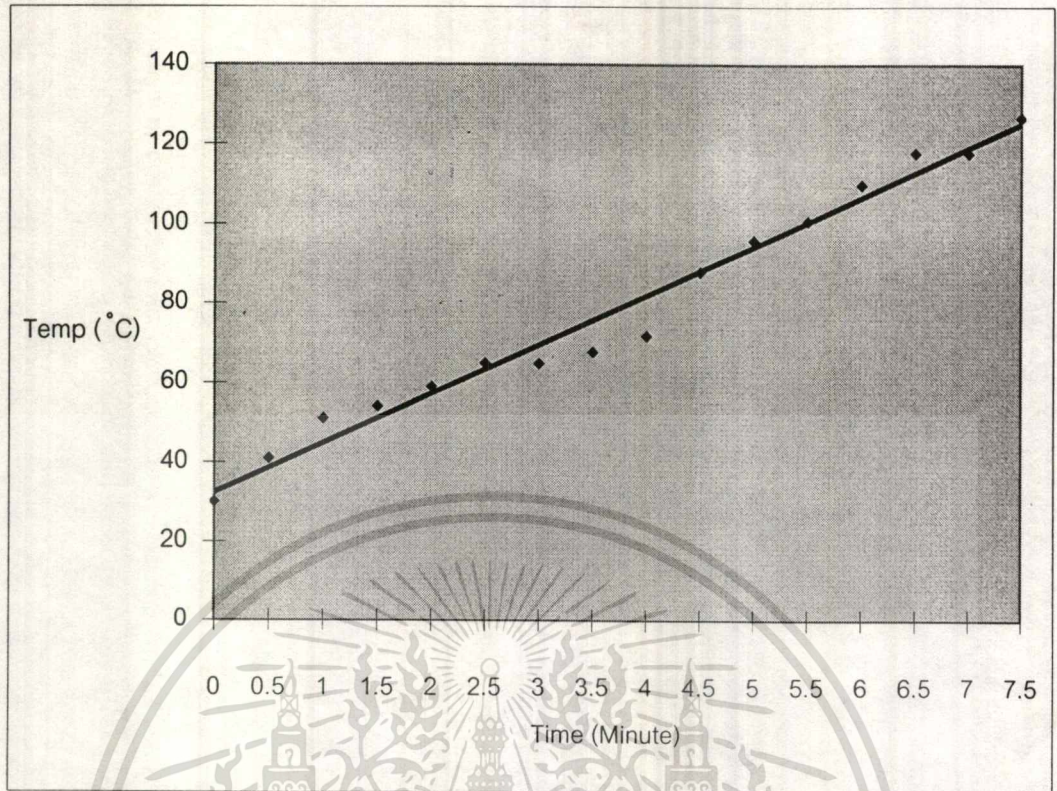
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่ควรนำเอาไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 กราฟที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2 Inner diameter 10.5 cm. (Big Yoke)

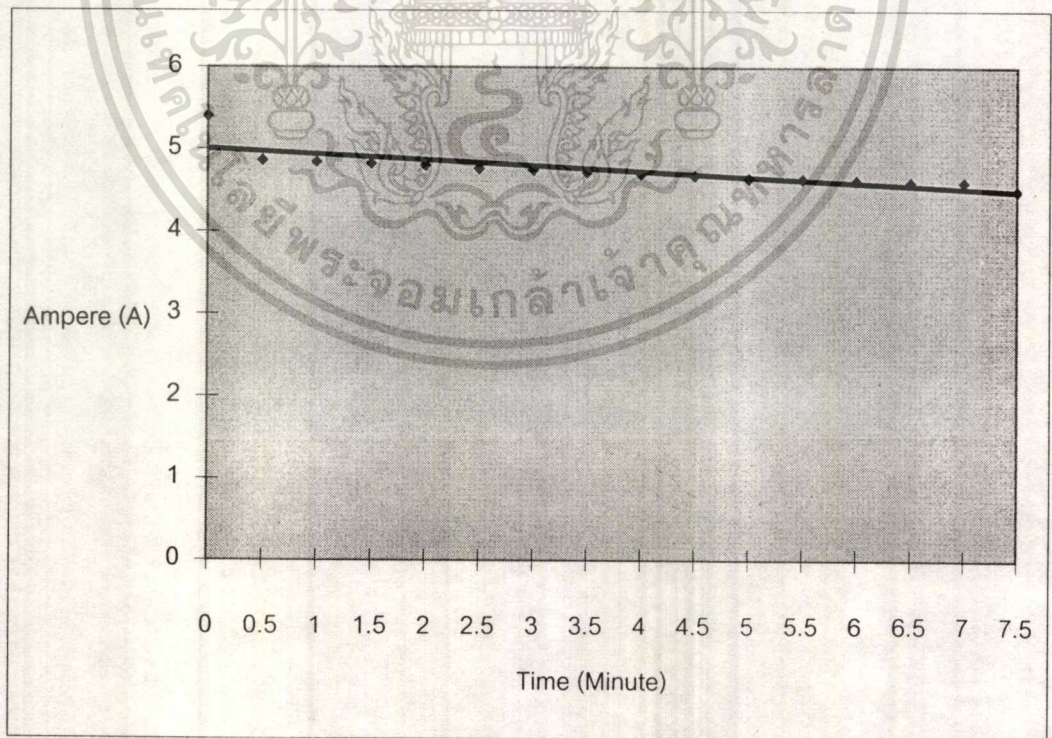
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(φ)
0	30	5.4	640	0.522
0.5	41	4.86	585	0.530
1	51	4.84	585	0.532
1.5	54	4.82	585	0.535
2	59	4.8	585	0.537
2.5	65	4.76	585	0.541
3	65	4.75	585	0.543
3.5	68	4.72	585	0.546
4	72	4.7	585	0.548
4.5	88	4.68	585	0.551
5	96	4.65	585	0.554
5.5	101	4.64	585	0.555
6	110	4.62	585	0.558
6.5	118	4.6	585	0.560
7	118	4.6	585	0.560
7.5	127	4.5	585	0.573

ตารางที่ 23 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของดัลล์ลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.



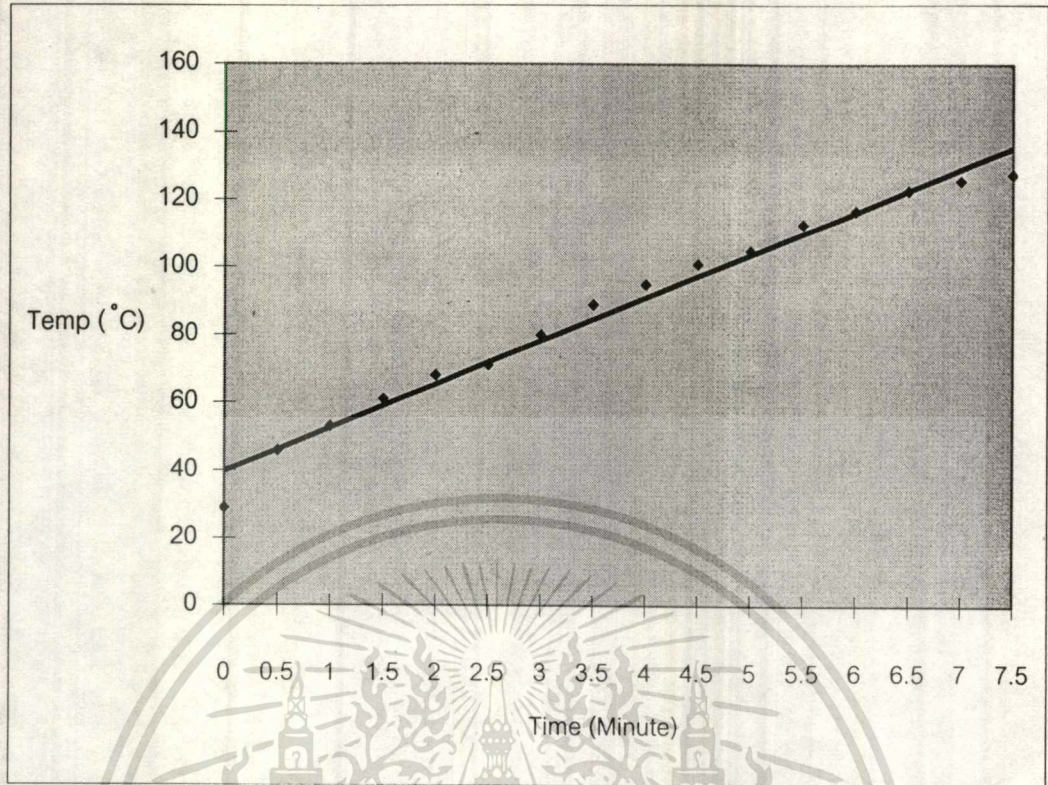
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 46 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3 Inner diameter 10.5 cm. (Big Yoke)

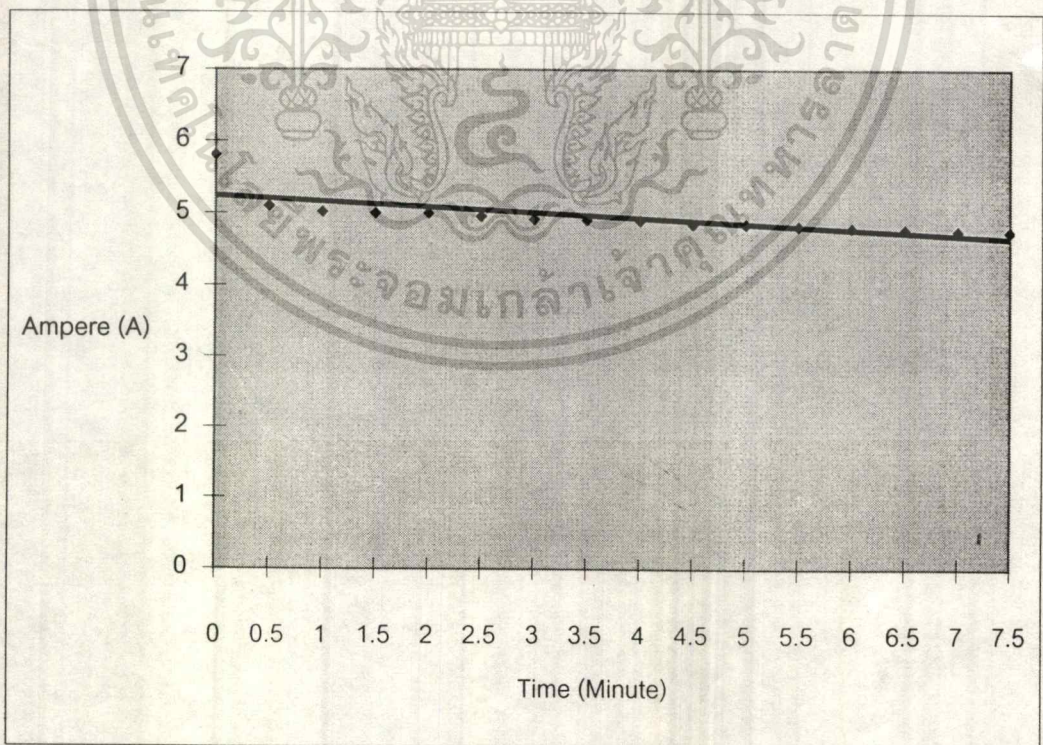
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	29	5.8	650	0.494
0.5	46	5.1	600	0.518
1	53	5.02	595	0.522
1.5	61	5	595	0.524
2	68	5	595	0.524
2.5	71	4.96	595	0.528
3	80	4.92	595	0.533
3.5	89	4.91	595	0.534
4	95	4.9	595	0.535
4.5	101	4.85	595	0.540
5	105	4.85	595	0.540
5.5	113	4.82	595	0.544
6	117	4.8	590	0.541
6.5	123	4.78	590	0.544
7	126	4.76	590	0.546
7.5	128	4.75	588	0.545

ตารางที่ 24 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



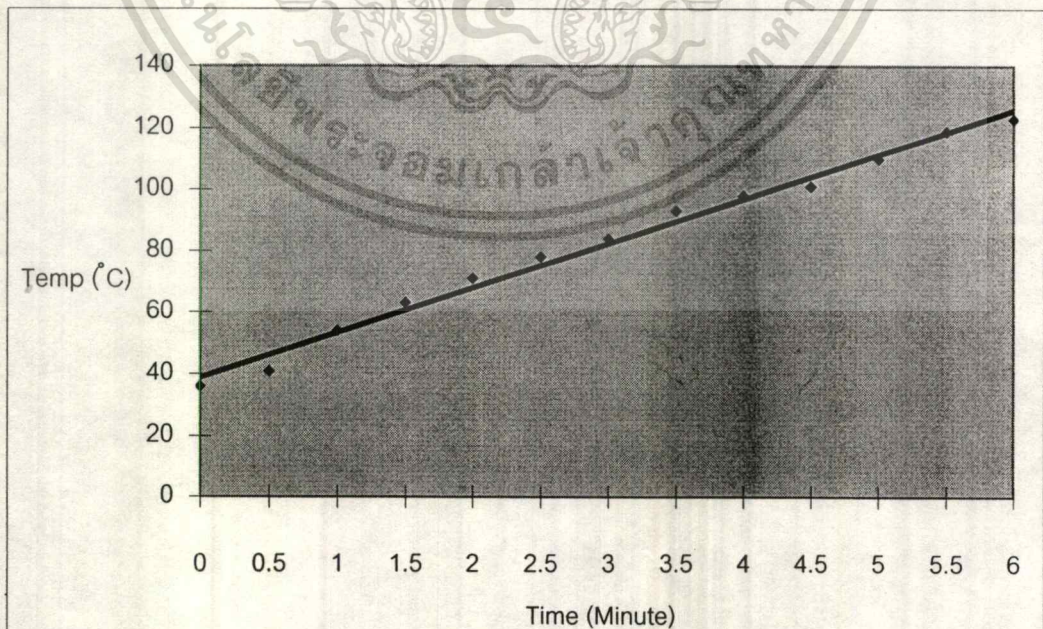
กราฟที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.

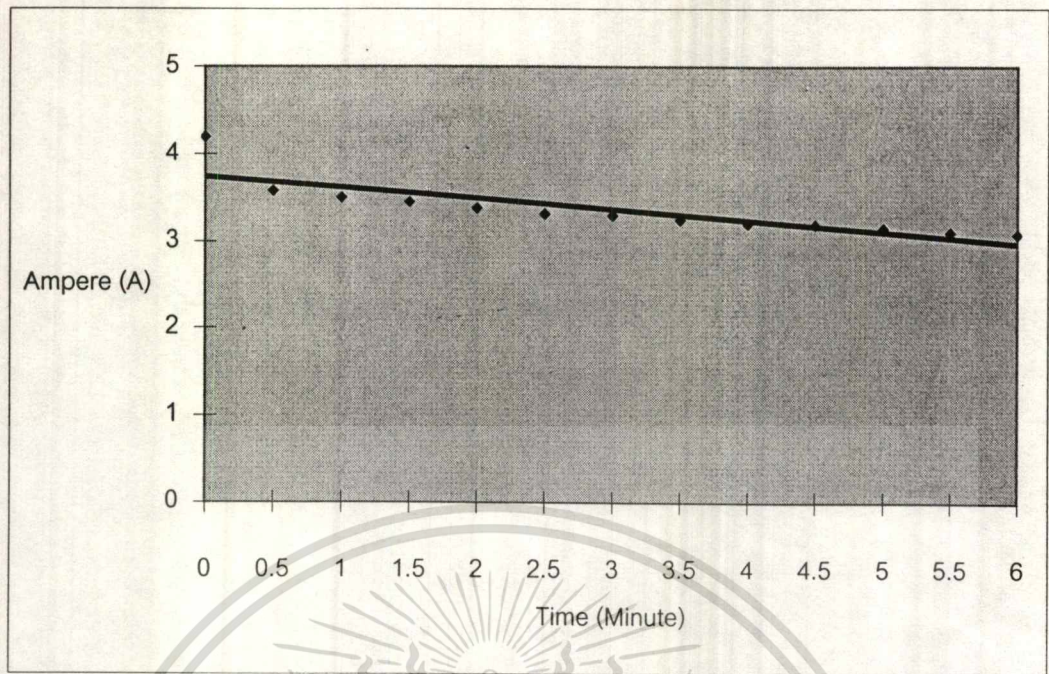
ครั้งที่ 1 Inner diameter 13.7 cm. (Big Yoke)				
Time(Minute)	Temperature($^{\circ}$ C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos(ϕ)
0	36	4.2	600	0.629
0.5	41	3.58	540	0.664
1	54	3.5	538	0.677
1.5	63	3.45	530	0.677
2	71	3.38	520	0.678
2.5	78	3.32	518	0.687
3	84	3.3	512	0.683
3.5	93	3.25	510	0.691
4	98	3.21	505	0.693
4.5	101	3.2	500	0.688
5	110	3.16	500	0.697
5.5	119	3.12	495	0.699
6	123	3.1	490	0.696

ตารางที่ 25 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูล์ปืนขนาด Diameter 13.7 cm.

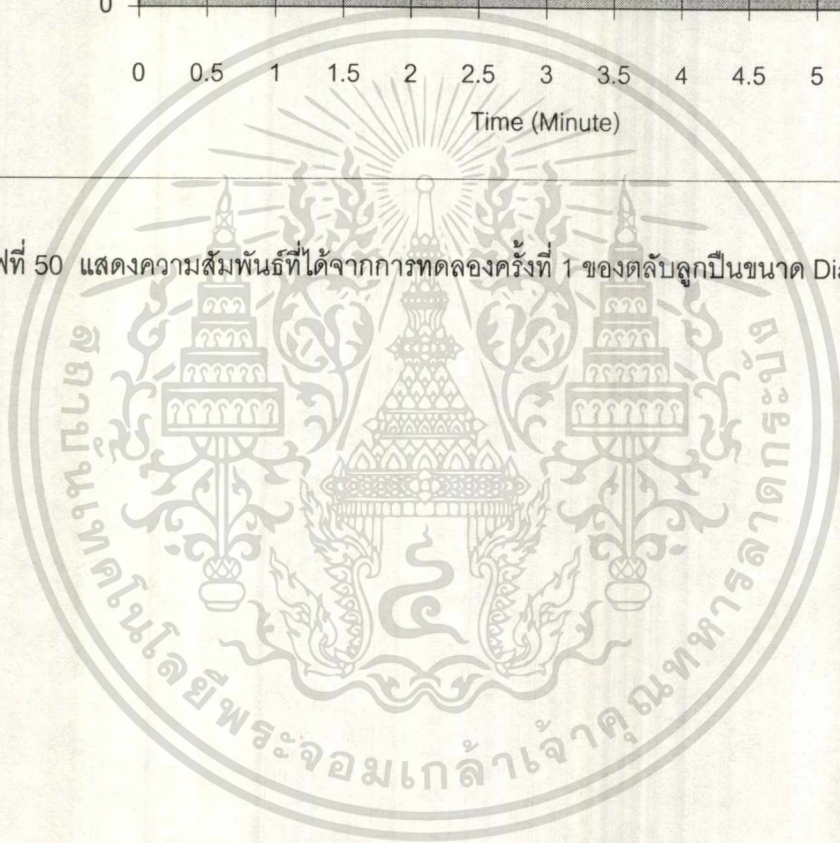


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 กราฟที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของดัลบูล์ปืนขนาด Diameter 13.7 cm.



กราฟที่ 50 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.

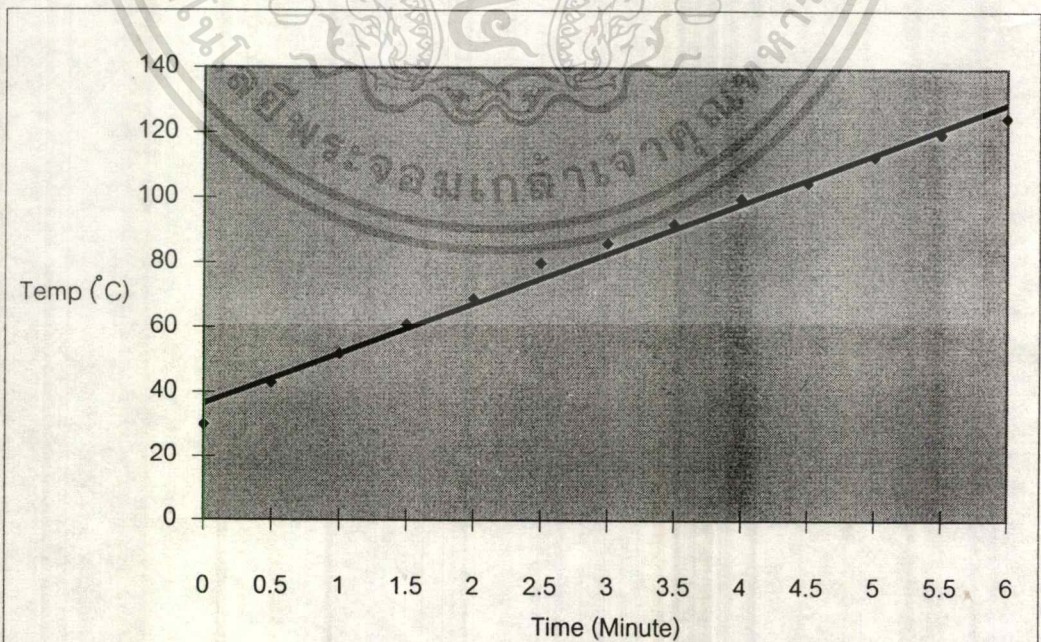


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2 Inner diameter 13.7 cm. (Big Yoke)

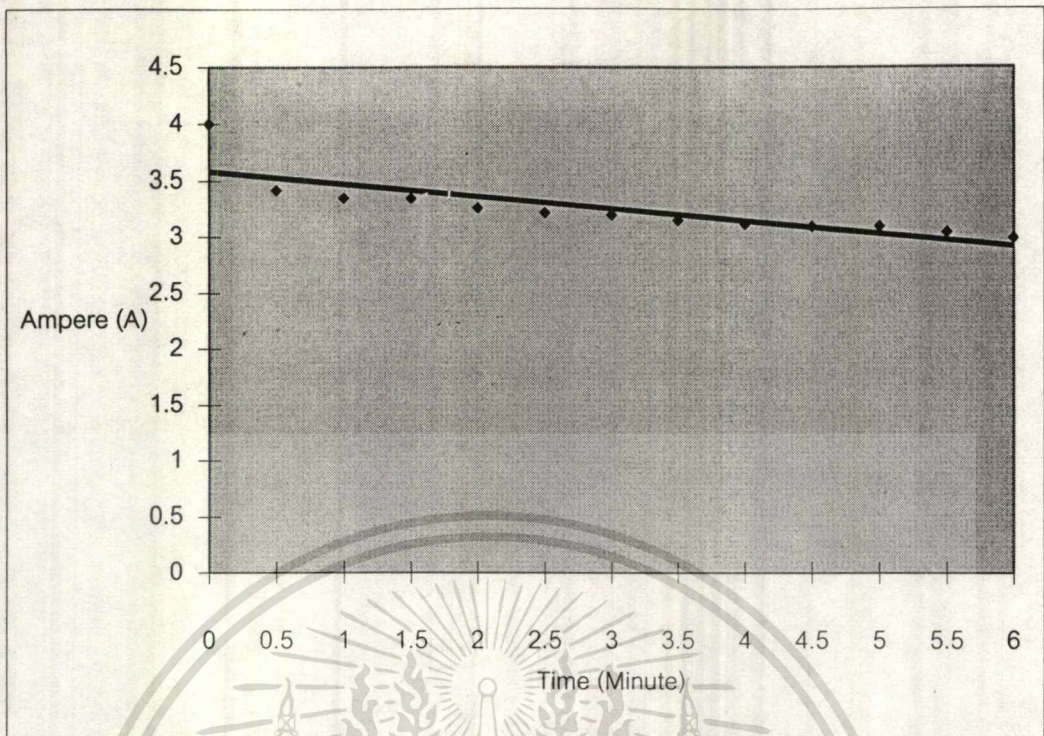
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cos ϕ
0	30	4	550	0.606
0.5	43	3.42	500	0.644
1	52	3.35	490	0.644
1.5	61	3.35	490	0.644
2	69	3.26	485	0.655
2.5	80	3.22	480	0.657
3	86	3.2	475	0.654
3.5	92	3.15	470	0.657
4	100	3.12	465	0.657
4.5	105	3.1	460	0.654
5	113	3.1	460	0.654
5.5	120	3.05	455	0.657
6	125	3	450	0.661

ตารางที่ 26 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
กราฟที่ 51 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.



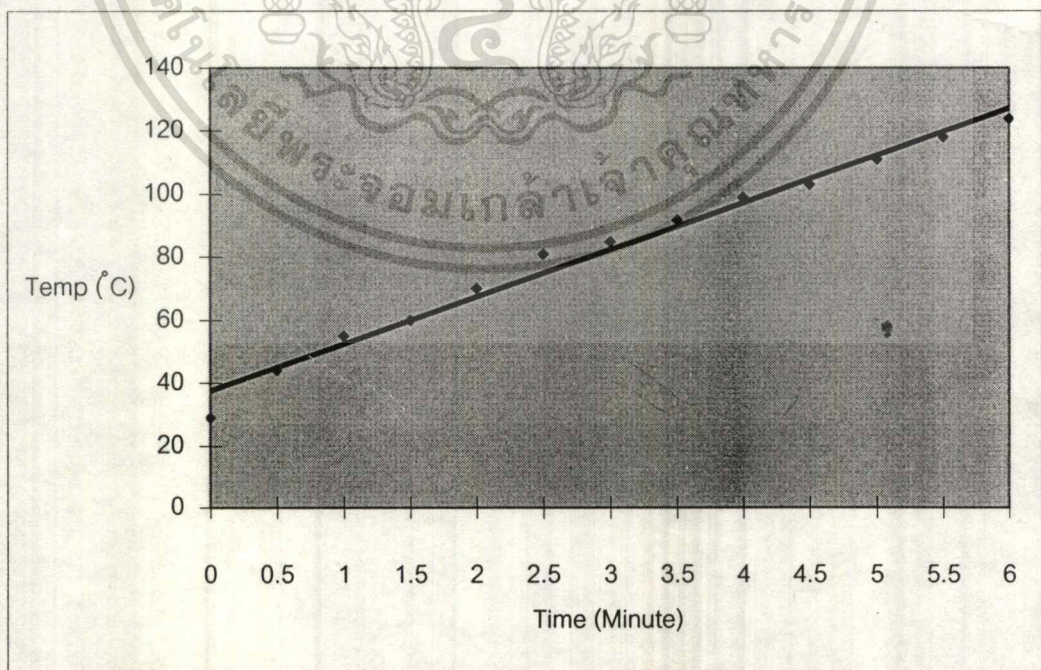
กราฟที่ 52 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3 Inner diameter 13.7 cm. (Big Yoke)

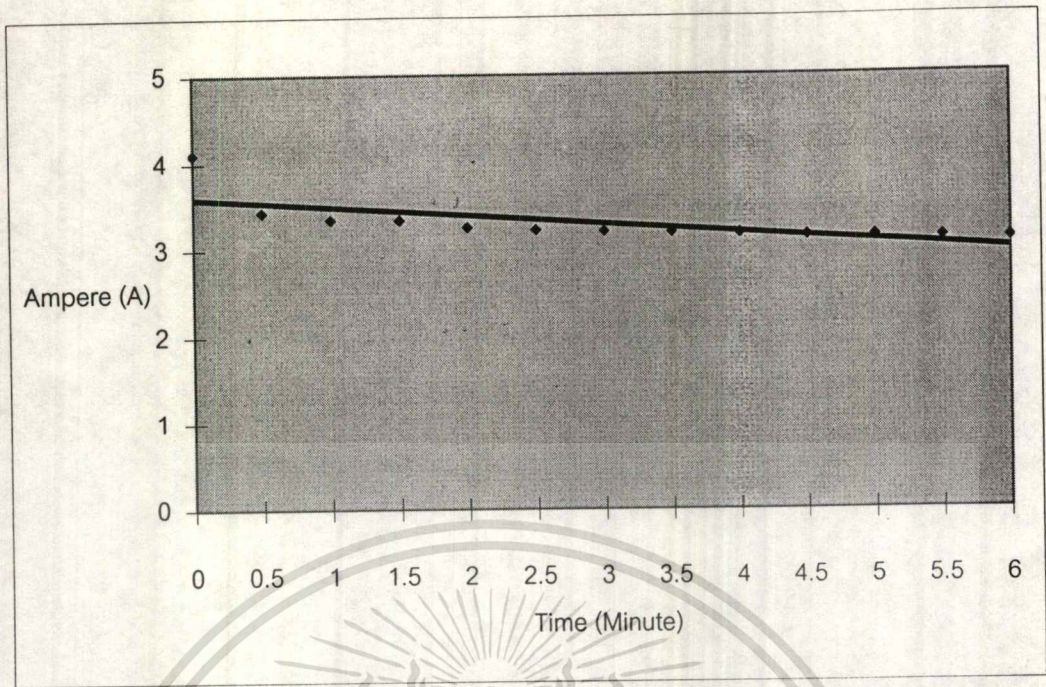
Time(Minute)	Temperature(°C)	Ampere(A)	Power(Watt)	Cosφ
0	29	4.1	560	0.602
0.5	44	3.43	510	0.655
1	55	3.35	500	0.658
1.5	60	3.34	490	0.646
2	70	3.25	485	0.657
2.5	81	3.22	480	0.657
3	85	3.2	475	0.654
3.5	92	3.19	475	0.656
4	99	3.18	465	0.644
4.5	103	3.15	465	0.650
5	111	3.14	450	0.631
5.5	118	3.12	445	0.628
6	124	3.11	440	0.623

ตารางที่ 27 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ

กราฟที่ 53 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.



กราฟที่ 54 แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 3 ของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.

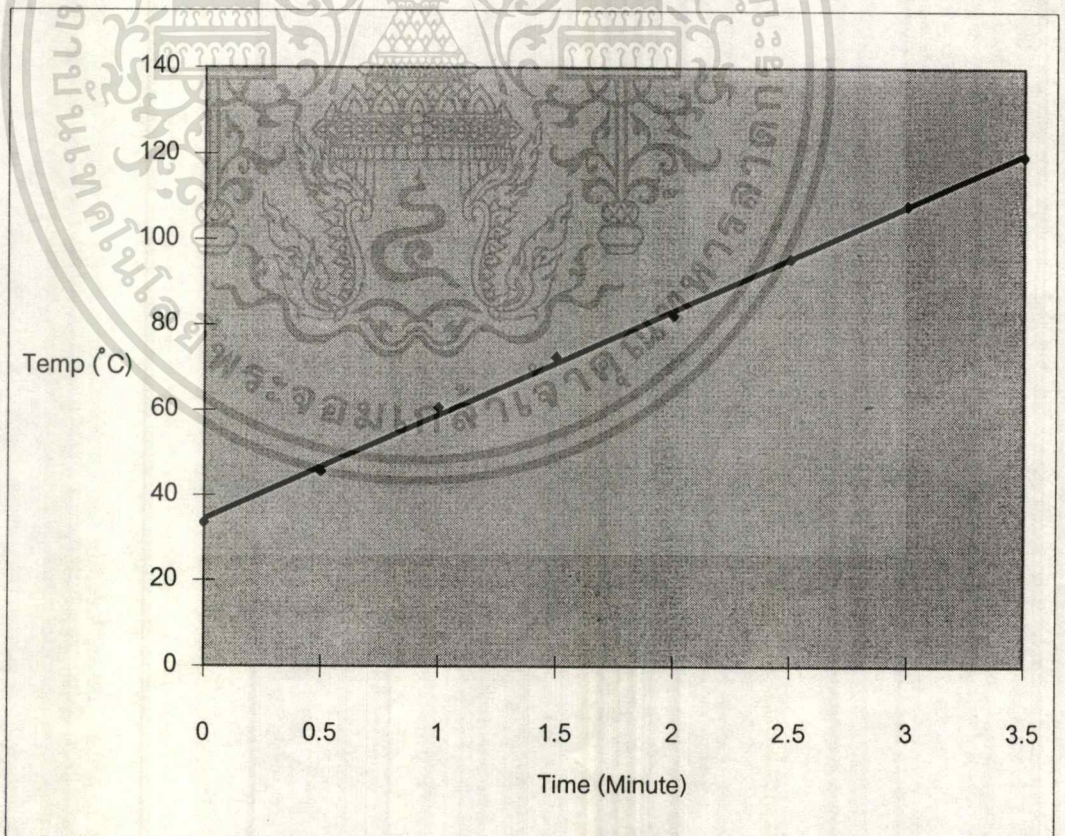
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	33.60	3.21
0.5	45.66	5.51
1	60.66	6.66
1.5	72.60	6.66
2	82.33	5.51
2.5	95.66	7.23
3	108.00	7.00
3.5	119.60	13.58

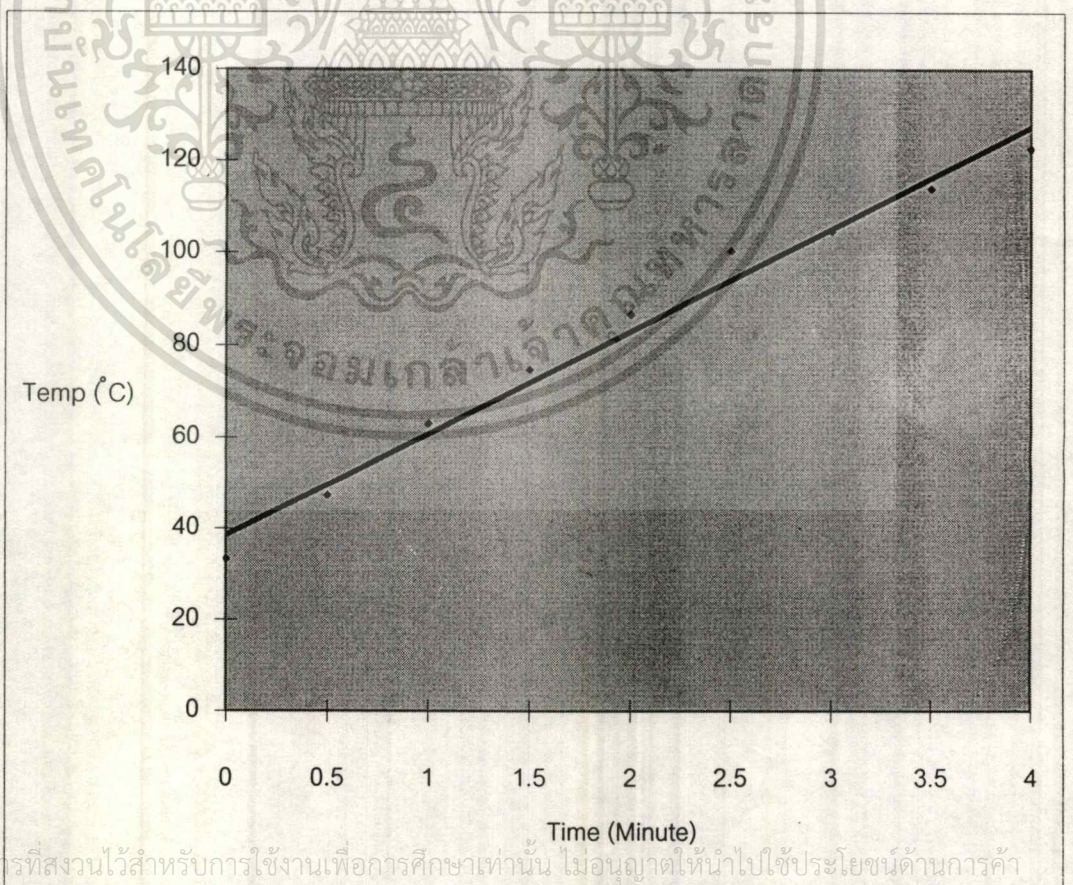
ตารางที่ 28 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
กราฟที่ 55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 5.5 cm.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	33.33	3.79
0.5	47.33	2.89
1	63.00	2.65
1.5	74.67	4.04
2	86.67	9.24
2.5	100.33	4.51
3	104.67	4.62
3.5	114.00	3.00
4	122.67	0.58

ตารางที่ 29 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.

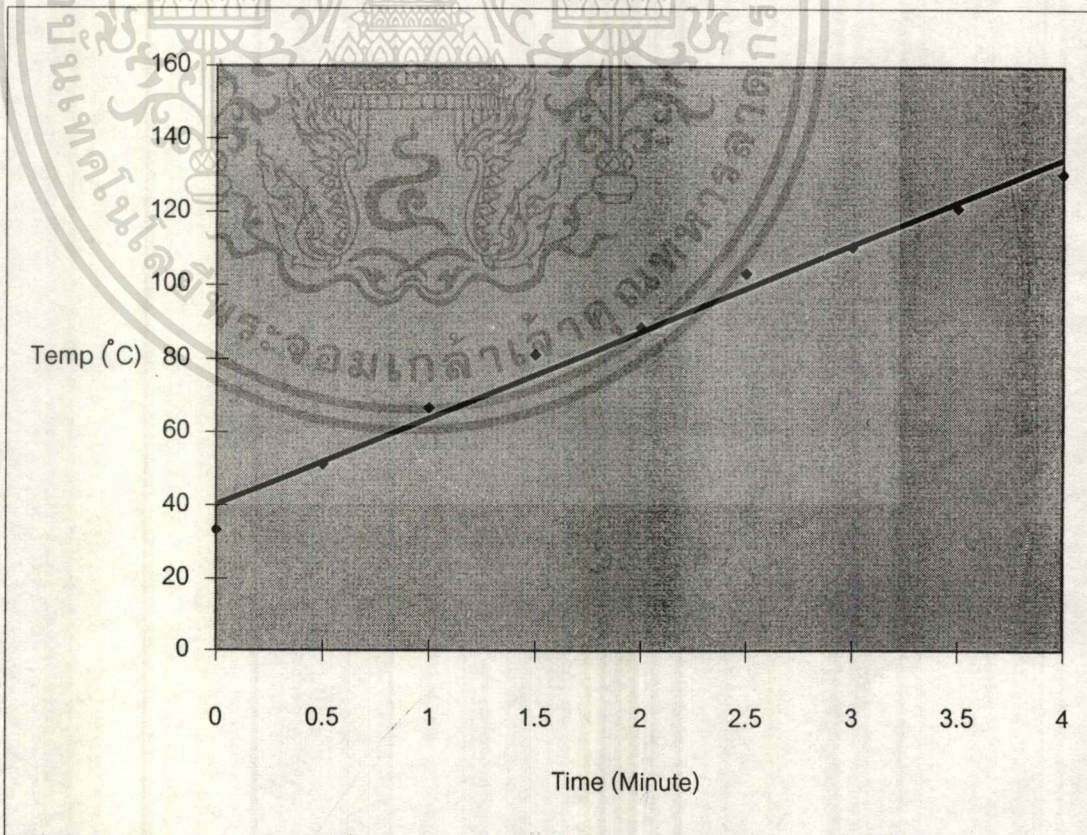


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6 cm.

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	33.33	3.79
0.5	51.33	5.13
1	66.67	4.16
1.5	81.33	1.53
2	88.67	2.52
2.5	103.33	1.53
3	110.67	5.13
3.5	121.33	0.58
4	130.67	1.15

ตารางที่ 30 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.

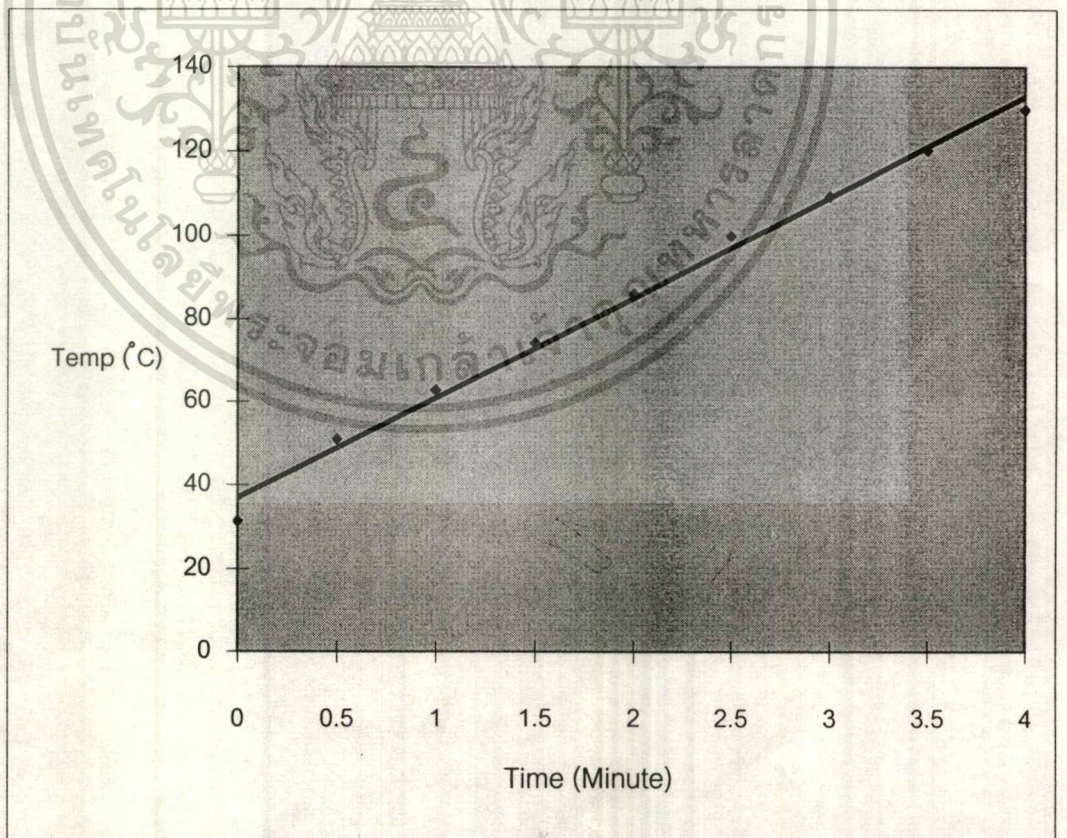


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ที่ใช้ฐานนี้ตั้งคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะและเครื่องพิมพ์ที่ใช้
 กราฟที่ 57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 6.5 cm.

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	31.33	3.21
0.5	51.00	3.46
1	62.83	5.11
1.5	74.33	5.13
2	86.00	6.00
2.5	100.00	4.58
3	109.33	4.51
3.5	120.33	1.15
4	130.00	7.21

ตารางที่ 31 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ที่นำข้อมูลนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

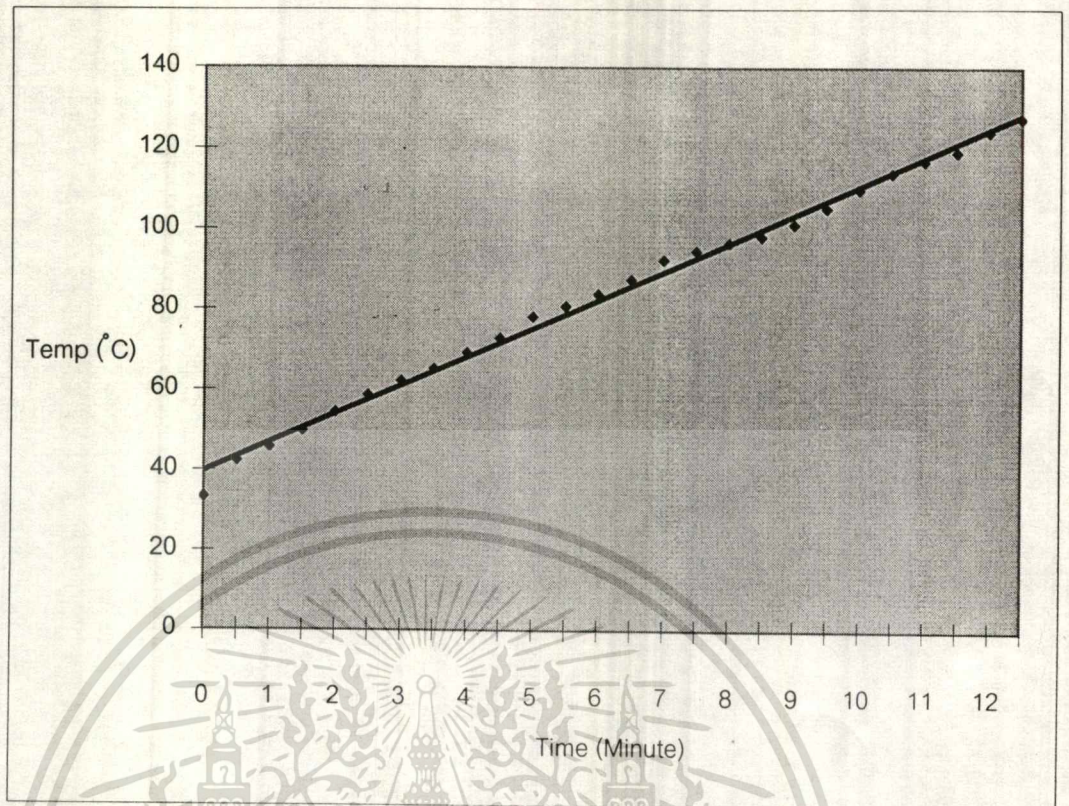
กราฟที่ 58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.5 cm.

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	33.33	3.79
0.5	42.33	2.89
1	45.67	4.73
1.5	49.67	4.04
2	54.33	3.21
2.5	58.67	4.73
3	62.33	3.51
3.5	65.33	3.51
4	69.33	4.04
4.5	73.00	4.58
5	78.33	4.04
5.5	81.00	1.00
6	84.00	2.65
6.5	87.67	6.35
7	92.67	8.14
7.5	95.00	7.81
8	97.00	6.24
8.5	98.67	5.51
9	101.67	4.04
9.5	105.67	3.51
10	110.33	2.52
10.5	114.33	2.08
11	117.33	2.08
11.5	119.67	1.53
12	124.67	0.58
12.5	128.00	1.00

ตารางที่ 32 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

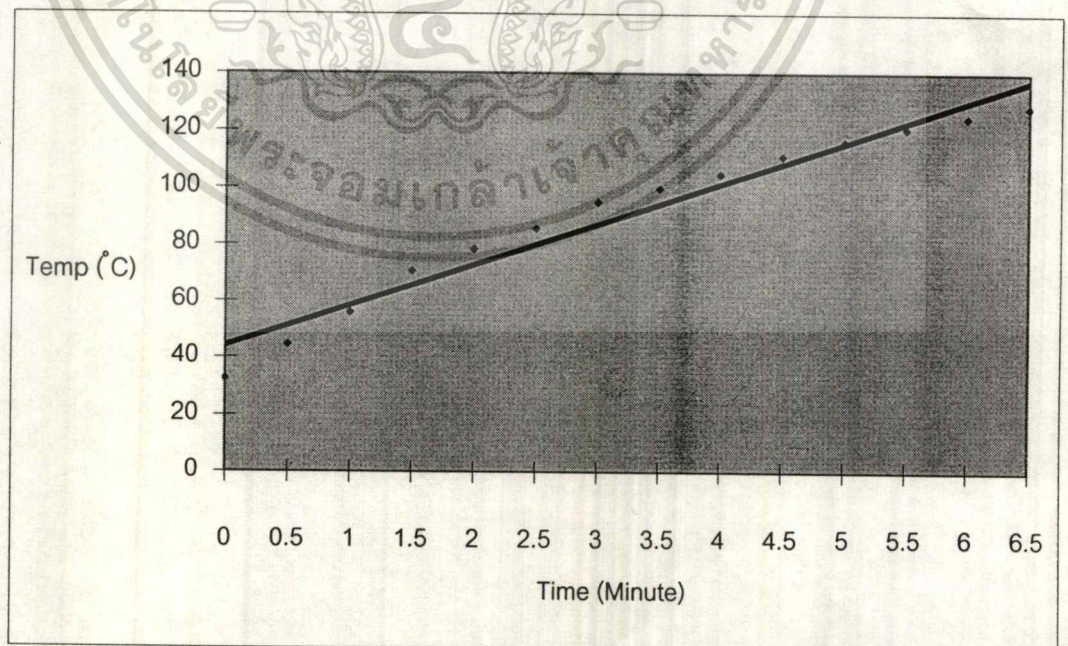


กราฟที่ 59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตุ้มลูกปืนขนาด Diameter 7.9 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	32.67	3.51
0.5	44.67	3.79
1	56.00	5.57
1.5	70.67	3.79
2	78.33	3.21
2.5	85.67	3.79
3	95.00	2.65
3.5	100.00	2.65
4	105.00	4.36
4.5	111.33	3.21
5	116.33	3.21
5.5	121.00	2.65
6	124.67	4.73
6.5	128.33	4.16

ตารางที่ 33 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.

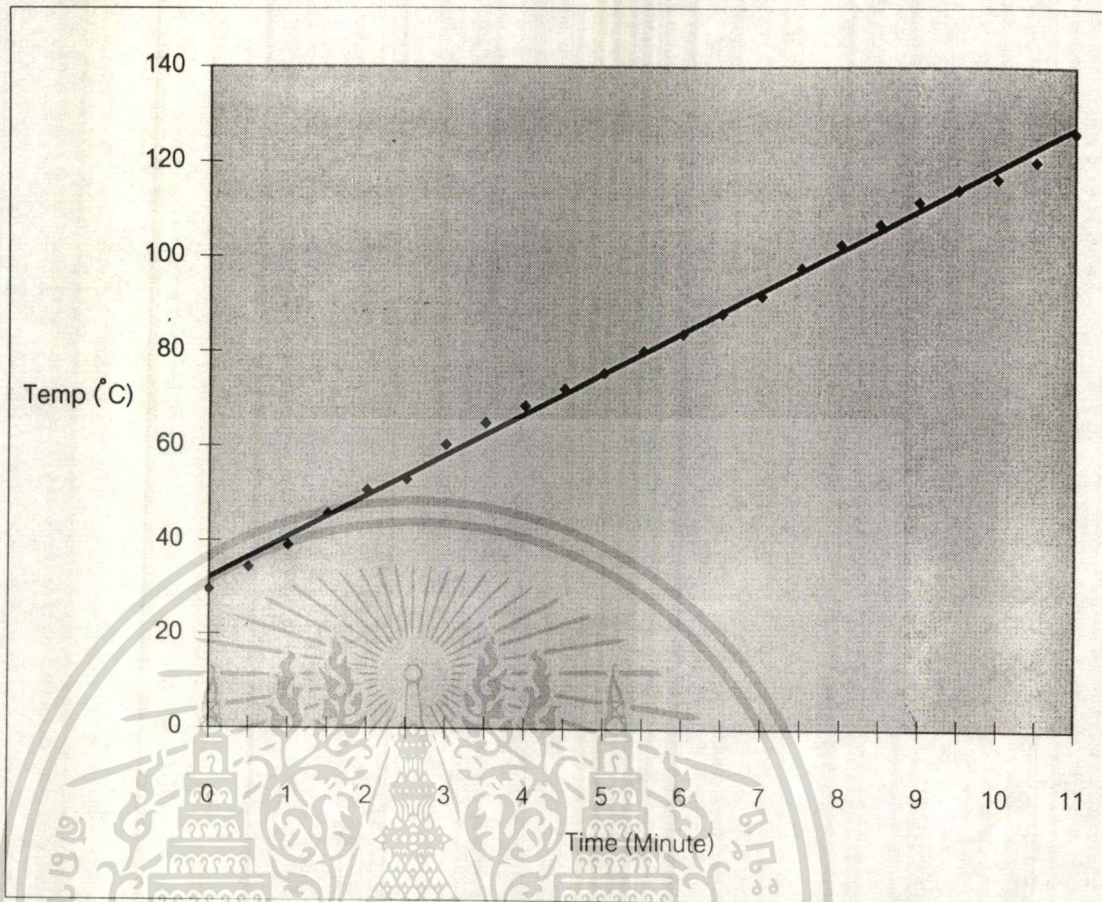


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm.

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	29.67	1.15
0.5	34.33	0.58
1	39.00	1.00
1.5	45.67	1.15
2	50.67	1.53
2.5	53.00	1.00
3	60.33	1.53
3.5	65.00	1.00
4	68.67	1.53
4.5	72.33	0.58
5	75.67	2.08
5.5	80.33	0.58
6	84.00	1.00
6.5	88.33	0.58
7	92.00	1.00
7.5	98.00	2.65
8	103.00	1.00
8.5	107.33	1.53
9	112.00	3.00
9.5	114.67	3.51
10	117.00	4.00
10.5	120.67	5.51
11	126.67	2.08

ตารางที่ 34 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

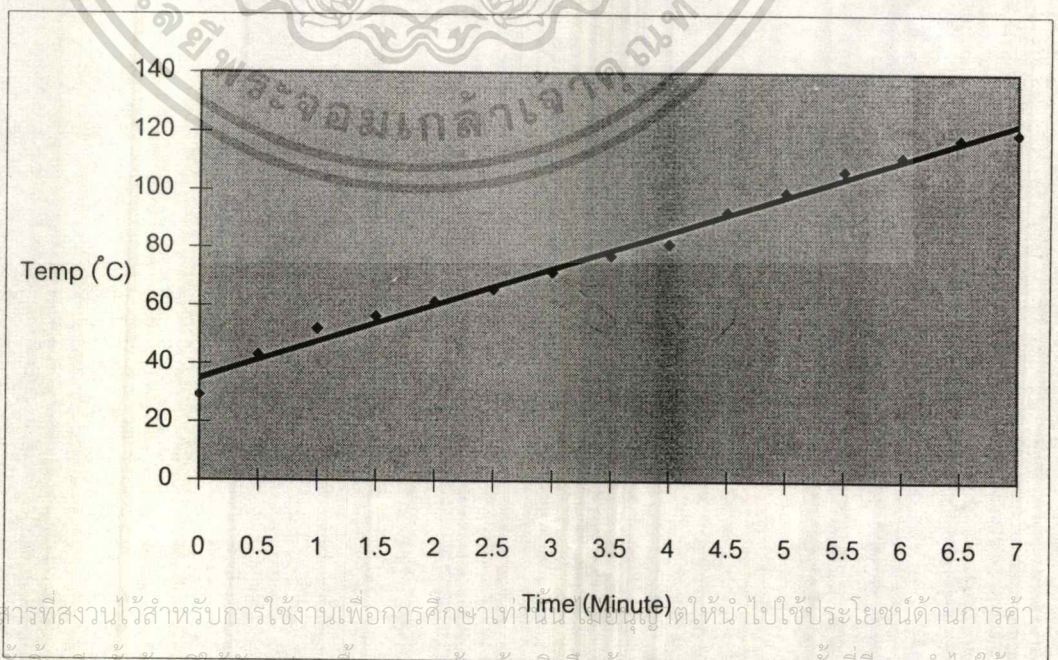


กราฟที่ 61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของดัลลิ่งลูกปืนขนาด Diameter 10 cm. (Thin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	29.33	0.58
0.5	43.00	2.65
1	52.00	1.00
1.5	56.33	4.04
2	61.33	5.86
2.5	65.67	5.03
3	71.67	7.64
3.5	77.33	10.69
4	81.33	12.10
4.5	92.67	7.23
5	99.33	4.93
5.5	106.67	6.03
6	111.67	4.73
6.5	117.67	5.51
7	119.67	5.69
7.5	125.00	4.36

ตารางที่ 35 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.

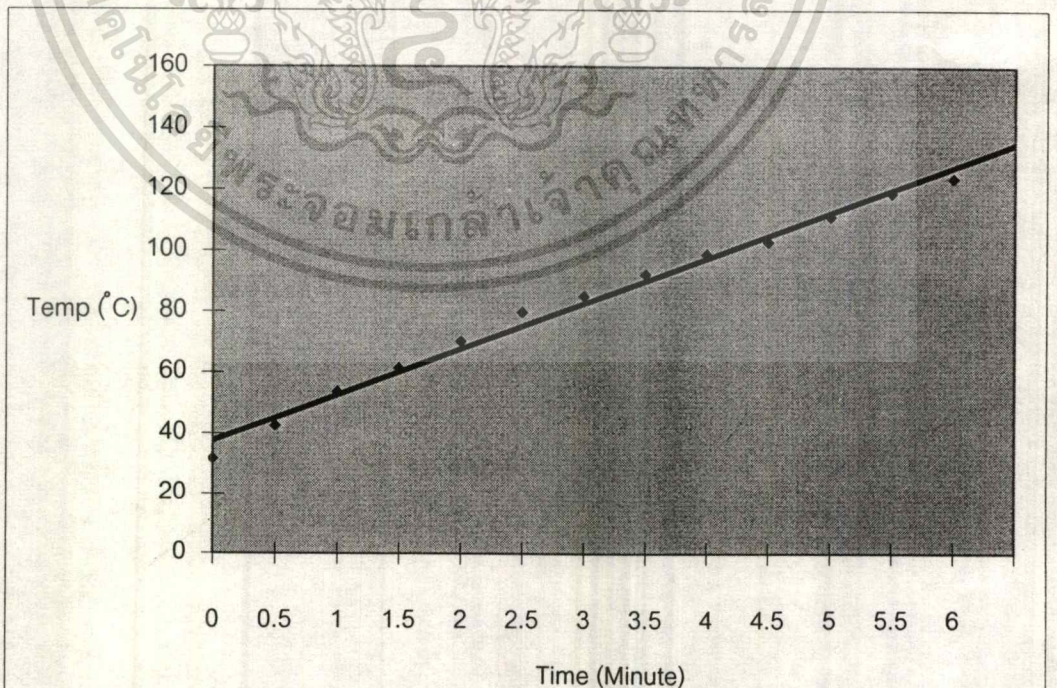


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา - อุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 10.5 cm.

Time (Minute)	Temperature (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	31.67	3.79
0.5	42.67	1.53
1	53.67	1.53
1.5	61.33	1.53
2	70.00	1.00
2.5	79.67	1.53
3	85.00	1.00
3.5	92.33	0.58
4	99.00	1.00
4.5	103.00	2.00
5	111.33	1.53
5.5	119.00	1.00
6	124.00	1.00

ตารางที่ 36 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

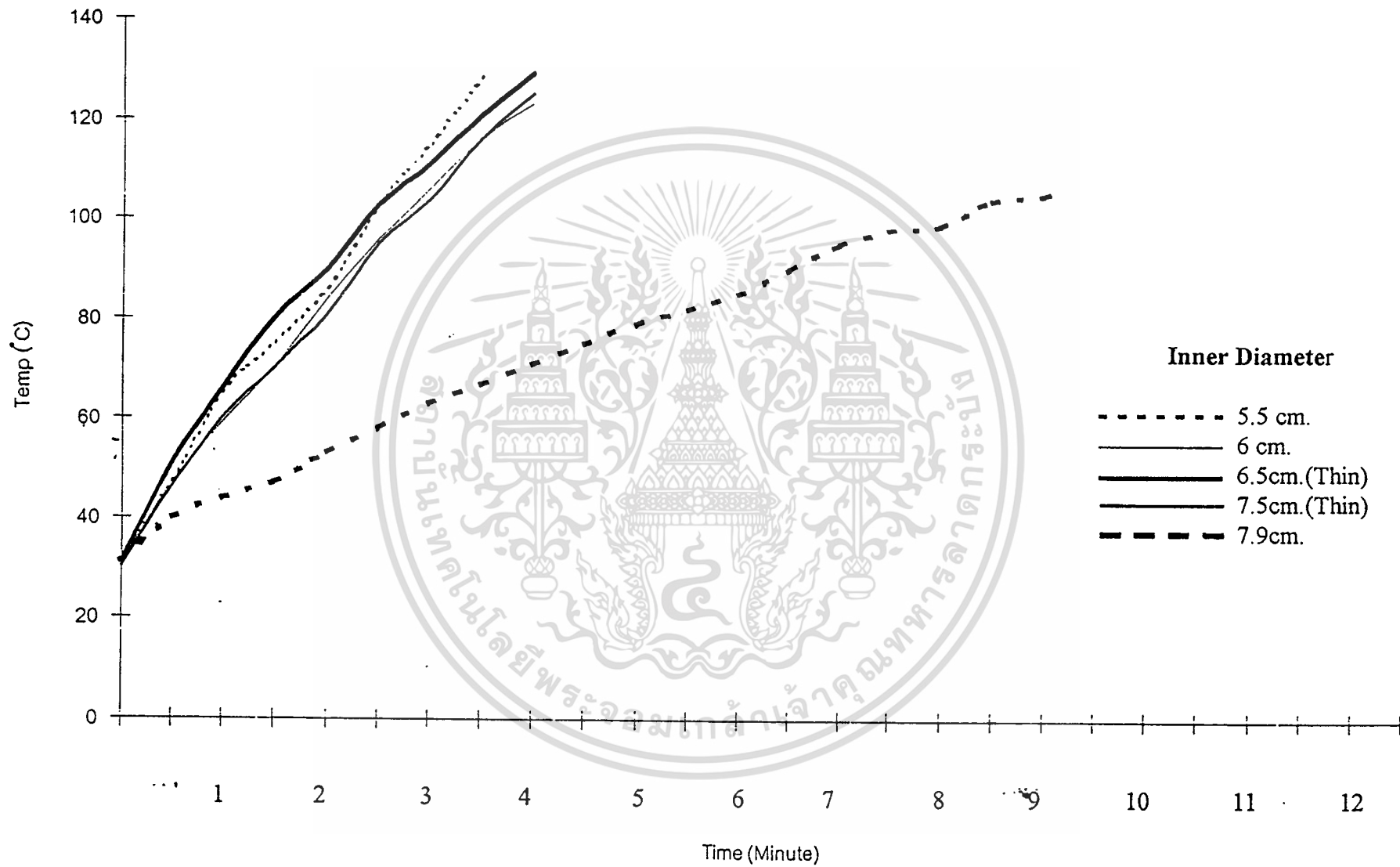
กราฟที่ 63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของตลับลูกปืนขนาด Diameter 13.7 cm.

4.6.3 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์เป็นขนาดต่างๆ ของแกนแบบใหญ่และแกนแบบเล็ก

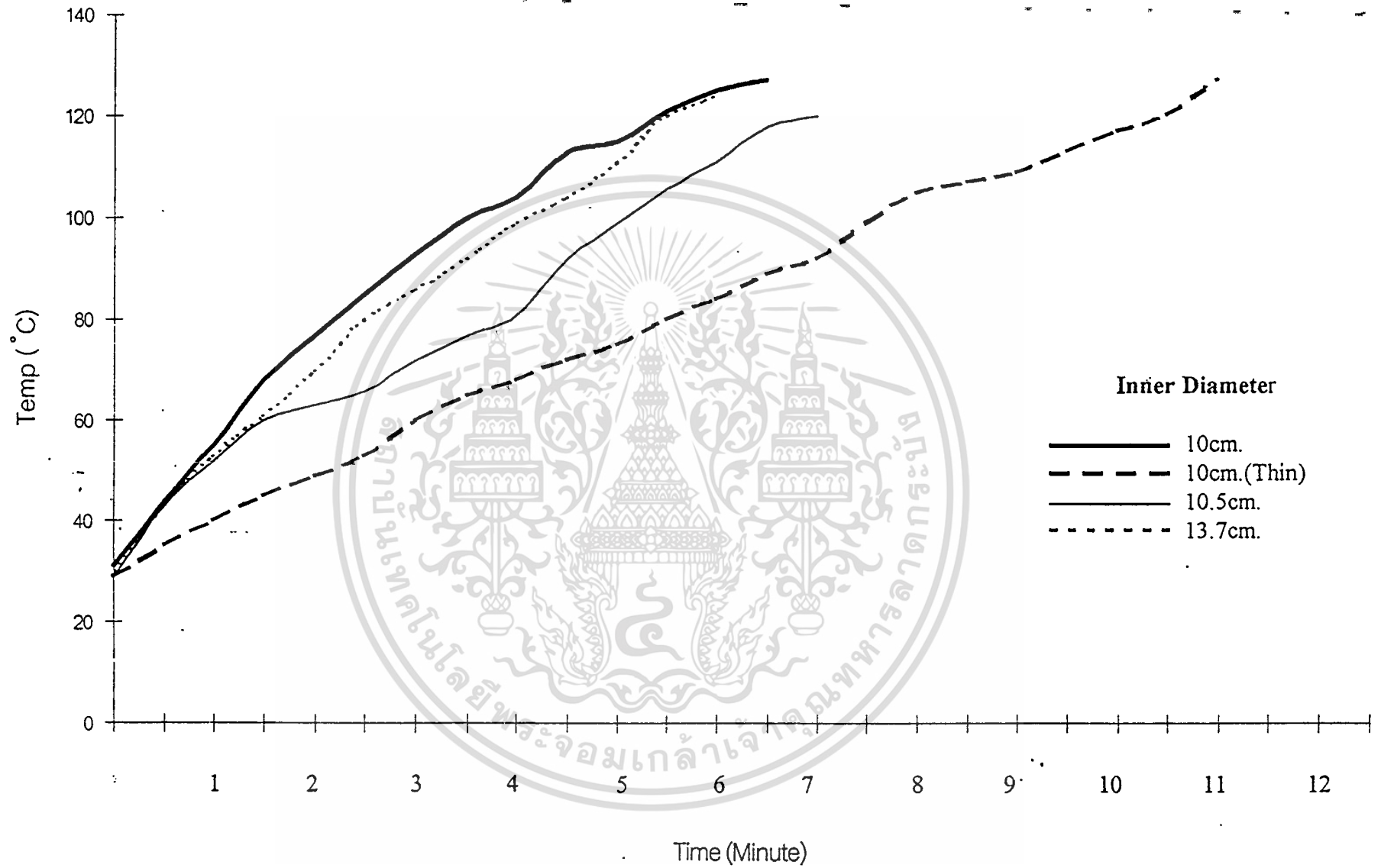
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (Minute)	อุณหภูมิของดัลบลูกปืนขนาดต่างๆ								
	Yoke ขนาดเล็ก					Yoke ขนาดใหญ่			
	5.5cm.	6cm.	6.5cm.(Thin)	7.5cm.(Thin)	7.9cm.	10cm.	10cm.(Thin)	10.5cm.	13.7cm.
0	32	31	31'	30	31	31	29	29	30
0.5	47	47	51	46	40	44	35	43	43
1	65	59	66	60	44	55	40	52	53
1.5	75	70	80	70	47	68	45	60	61
2	86	84	90	81	53	77	49	63	70
2.5	103	96	103	95	58	85	53	66	80
3	115	106	111	104	63	93	60	72	86
3.5	128	116	121	116	67	100	65	77	92
4		123	129	125	71	104	68	81	99
4.5					75	113	72	92	104
5					79	115	75	99	111
5.5					82	121	80	106	120
6					85	125	84	111	124
6.5					90	127	89	118	
7					95		92	120	
7.5					98		99		
8					99		105		
8.5					104		107		
9					105		109		
9.5					109		113		
10					113		117		
10.5					117		120		
11					120		127		
11.5					123				
12					126				

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ทางใดๆ
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ



กราฟที่ 101 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-อุณหภูมิเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาดต่างๆ (ลูกปืนขนาดเล็กใช้กับ Small Yoke)



กราฟที่ 102 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-อุณหภูมิเฉลี่ยของตลับลูกปืนขนาดต่างๆ (ลูกปืนขนาดใหญ่ใช้กับ Big Yoke)



4.6.4 ผลการทดลองการขยายตัวของคลັบลูกปืนแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	130
2	160
3	110
4	200
5	130
6	140
7	170
8	180
9	120
10	110
เฉลี่ย	145
S.D.=31.00	

ตารางที่ 38 แสดงขนาดการขยายตัวของตลับลูกปืนขนาด Inner diameter 5.5 cm.

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	200
2	230
3	150
4	120
5	180
6	160
7	190
8	150
9	200
10	140
เฉลี่ย	172
S.D.=33.59	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 39 แสดงขนาดการขยายตัวของตลับลูกปืนขนาด Inner diameter 6 cm.

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	180
2	120
3	150
4	170
5	190
6	120
7	140
8	120
9	160
10	150
เฉลี่ย	150
S.D.=25.38	

ตารางที่ 40 แสดงขนาดการขยายตัวของดรัมลูกปืนขนาด Inner diameter 6.5 cm.

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	210
2	190
3	205
4	180
5	210
6	220
7	190
8	150
9	210
10	200
เฉลี่ย	196.5
S.D.=20.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ตารางที่ 41 แสดงขนาดการขยายตัวของดรัมลูกปืนขนาด Inner diameter 7.5 cm.

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	170
2	200
3	190
4	180
5	150
6	200
7	180
8	190
9	170
10	200
เฉลี่ย	183
	S.D.=26.84

ตารางที่ 42 แสดงขนาดการขยายตัวของตลับลูกปืนขนาด Inner diameter 7.9 cm.

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	100
2	140
3	250
4	190
5	180
6	150
7	210
8	200
9	130
10	140
เฉลี่ย	169
	S.D.=31.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 43 แสดงขนาดการขยายตัวของตลับลูกปืนขนาด Inner diameter 10 cm.

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	220
2	140
3	210
4	240
5	190
6	210
7	220
8	170
9	180
10	230
เฉลี่ย	201
S.D.=30.71	

ตารางที่ 44 แสดงขนาดการขยายตัวของตลับลูกปืนขนาด Inner diameter 10 cm. (Thin)

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	150
2	190
3	140
4	150
5	160
6	150
7	170
8	180
9	150
10	140
เฉลี่ย	158
S.D.=16.86	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งตารางที่ 45 แสดงขนาดการขยายตัวของตลับลูกปืนขนาด Inner diameter 10.5 cm. การนำไปใช้

อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
ครั้งที่	การขยายตัว (ไมโครเมตร)
1	340
2	260
3	180
4	280
5	290
6	210
7	270
8	230
9	240
10	290
เฉลี่ย	259
	S.D.=31.23

ตารางที่ 46 แสดงขนาดการขยายตัวของดรัมลูกปืนขนาด Inner diameter 13.7 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น กระแสที่จ่ายให้แก่หม้อแปลงจะมีค่าลดลง และ อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่าแรงดันที่จ่ายให้หม้อแปลงจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใน แกนเหล็ก ซึ่งจะเกิดกระแสไหลวนในตลับลูกปืน ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการสั่น และไม่เสถียรของโมเมนต์ของตลับลูกปืน ส่งผลทำให้ค่า Magnetic strength มีค่าลดลง จึงทำ ให้กระแสที่จ่ายให้แก่เครื่องขยายตลับลูกปืนนี้มีค่าลดลง เพราะค่า Magnetic strength ของตลับ ลูกปืนลดลง จากการทดลองของตลับลูกปืนหลายๆขนาดนั้น พบว่าเครื่องขยายตลับลูกปืน สามารถทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางวงในของตลับลูกปืนขยายตัวได้ เช่น ตลับลูกปืนขนาด 10.5 ซม. ใช้กับคานขนาด 5.5 x 5.5 ตร.ซม. มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวเท่ากับ 158 μm เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2 แล้ว ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้และค่าการขยายตัวโดยเฉลี่ยของตลับลูกปืนทุก ขนาดที่ใช้ทดลองก็มีผลออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้ แต่เรื่องการวัฏระยะการขยายตัวของเส้น ผ่านศูนย์กลางวงในของตลับลูกปืนนั้นมีความผิดพลาดบ้างเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดไม่ละเอียด เพียงพอแต่ได้ทำการทดลองหลายๆครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยจึงได้ค่าเฉลี่ยการขยายตัวและจาก กราฟการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นในช่วง 0 - 120 องศาเซลเซียส แต่ใน ช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะไม่เป็นเชิงเส้น

ฉะนั้นจากการทดลองเครื่องขยายตลับลูกปืนสามารถใช้งานได้กับตลับลูกปืน ขนาดตั้งแต่ 5 ซม. ถึง 14 ซม. และมีการขยายตัวอยู่ในช่วง 150 - 250 μm และการขยายตลับลูกปืน ด้วยวิธีนี้ จะให้ความสะดวกคือ สามารถใช้งานในพื้นที่ที่จำกัดได้ มีความปลอดภัย และใน ด้านค่าใช้จ่ายจะมีราคาถูก เมื่อเทียบกับสั่งซื้อจากบริษัทที่ผลิตขาย ซึ่งจะมีราคาก่อนข้างสูง (ประมาณ 30,000 - 42,000 บาท) แต่ในโครงการนี้ จะใช้ต้นทุนเพียง 9,400 บาท จะทำให้ สามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้

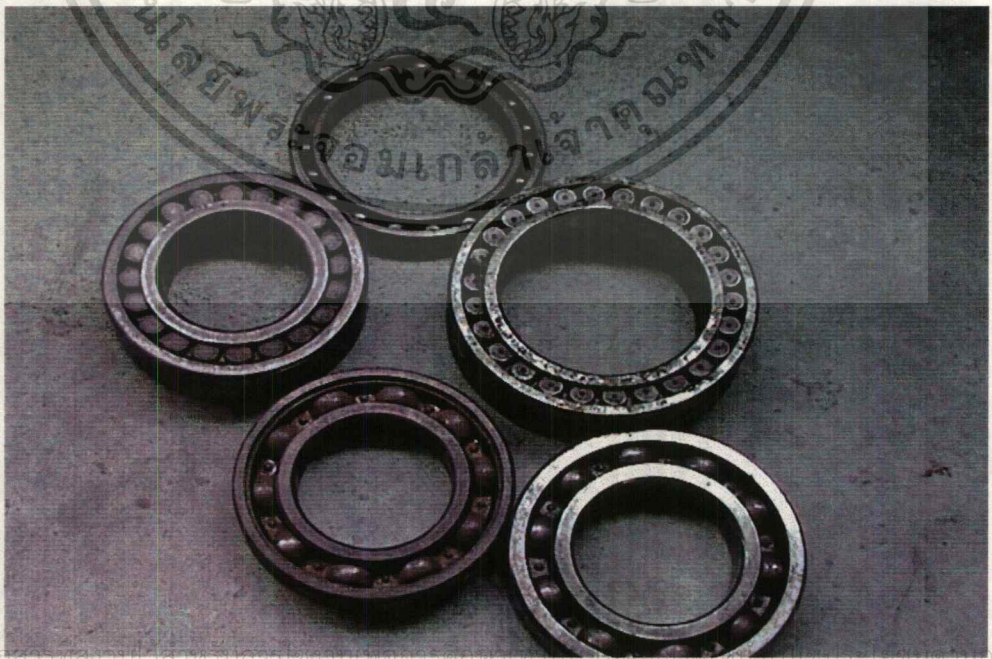


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

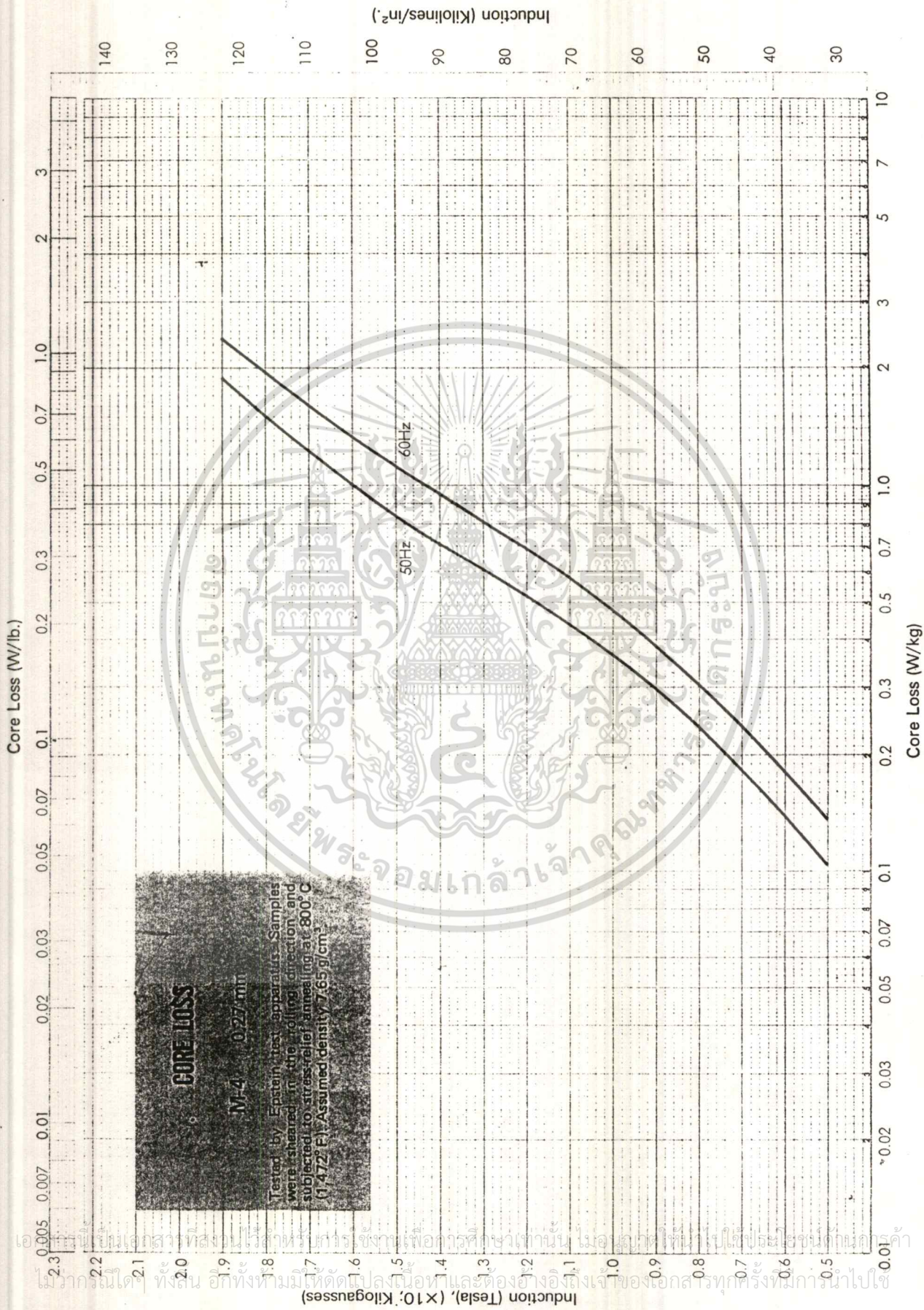
ขั้นตอนการใช้งานเครื่องขยายตัวลูกปืน

1. จ่ายไฟ 220 V_{AC} ให้กับเครื่องขยายตัวลูกปืน
2. นำตัวลูกปืนที่ต้องการจะขยายสอดเข้ากับแกนเหล็ก(Yoke)
3. นำแกนเหล็กพร้อมตัวลูกปืนวางบนแกนให้หน้าแกนเหล็กสัมผัสกันสนิท
4. นำสายวัดอุณหภูมิสอดเข้าไปในรังของตัวลูกปืน
5. ตั้งอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส และตั้งเวลาโดยดูจากผลการทดลองที่แสดงให้ดูในส่วนของผลการทดลอง หรือในกรณีที่ไม่ทราบเวลาที่แน่นอนควรจะตั้งเวลาให้สูงที่สุดไว้ก่อน
6. ทำการเปิด เบรกเกอร์ หลอดไฟสีแดงจะสว่างแสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำงานแล้ว
7. กดสวิทช์สีเขียวเพื่อเริ่มต้นการทำงานและในกรณีที่ต้องการหยุดการ ทำงานของเครื่องก็สามารถกดสวิทช์สีแดงให้เครื่องหยุดการ ทำงานทันที
8. เมื่อเครื่อง ทำงานแล้วอุณหภูมิ หรือเวลาถึงตามที่ตั้งไว้เครื่องจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ
9. ปิดเบรกเกอร์และถอดสายวัดอุณหภูมิออกจากตัวตัวลูกปืน
10. นำตัวลูกปืน ไปประกอบเข้ากับเพลา

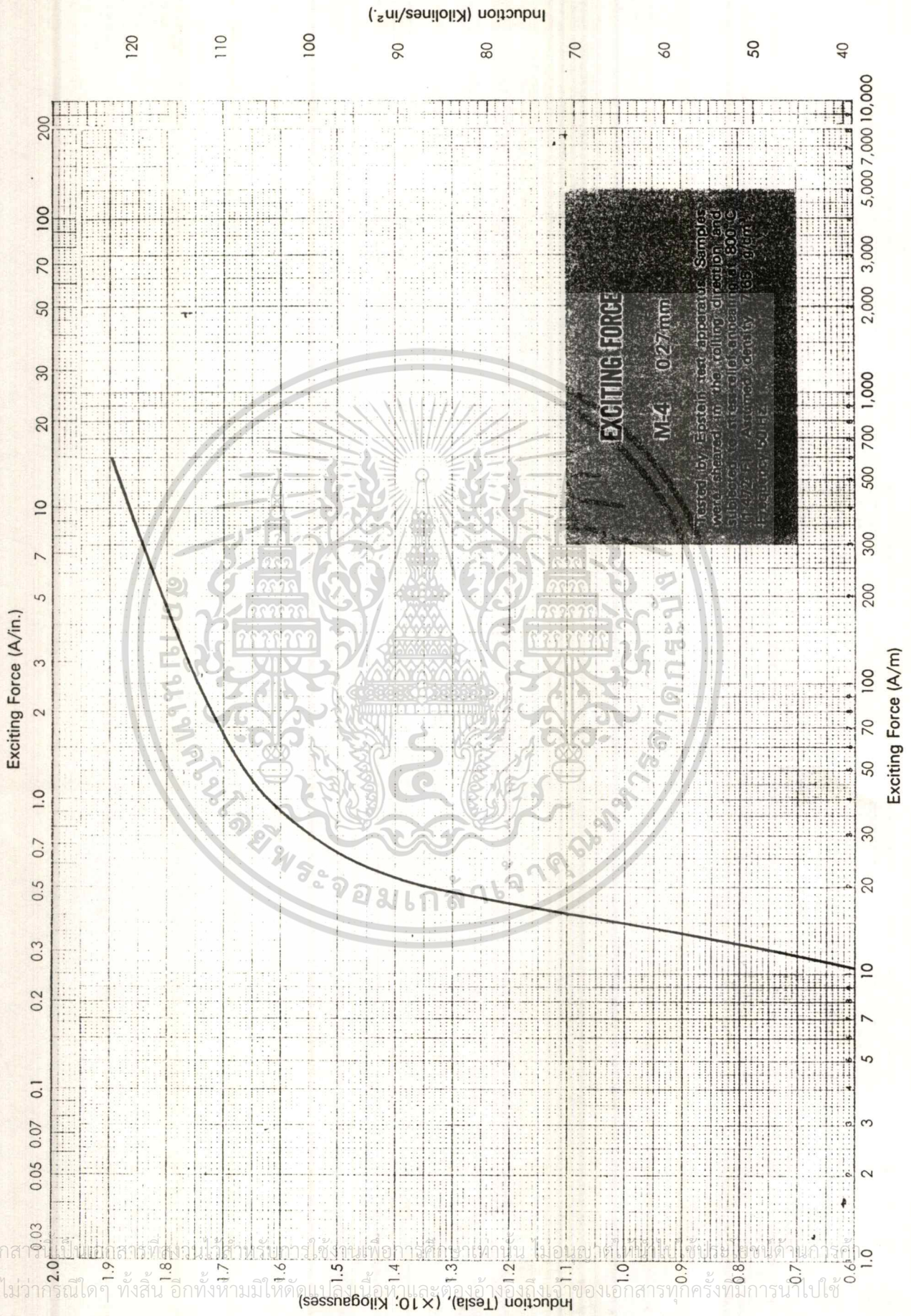
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



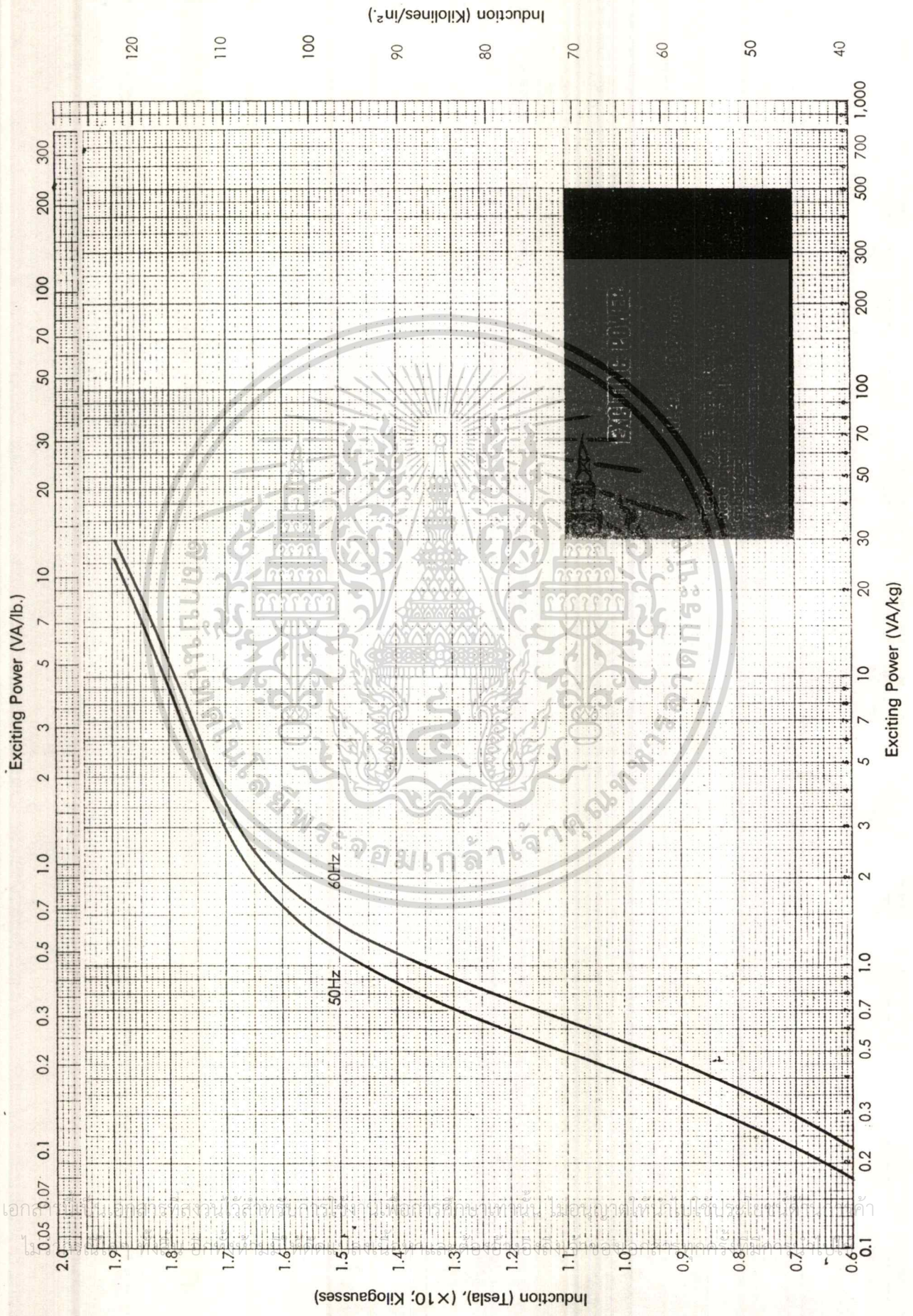
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูทิตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอ...นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ
 2.3
 2.2
 2.1
 2.0
 1.9
 1.8
 1.7
 1.6
 1.5
 1.4
 1.3
 1.2
 1.1
 1.0
 0.9
 0.8
 0.7
 0.6
 0.5
 0.4
 0.3
 0.2
 0.1
 0.01



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงไปเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Gauge S.W.G	Diameter(mm.)	Sectional area (mm ²)
7/0	12.7	126.7
6/0	11.786	109.1
5/0	10.973	94.56
4/0	10.16	81.07
3/0	9.44	70.12
2/0	8.839	61.36
0	8.23	53.19
1	7.629	45.6
2	7.01	39.6
3	6.401	32.18
4	5.893	27.27
5	5.385	22.77
6	4.877	18.68
7	4.47	15.7
8	4.064	12.97
9	3.658	10.52
10	3.251	8.302
11	2.946	6.818
12	2.642	5.481
13	2.337	4.289
14	2.032	3.243
15	1.829	2.627
16	1.626	2.075
17	1.422	1.589
18	1.219	1.167
19	1.016	0.8107
20	0.9144	0.6576
21	0.8128	0.5189
22	0.7112	0.3973
23	0.6096	0.2919
24	0.5583	0.2452
25	0.508	0.2027
26	0.4572	0.1642

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ

ผศ. ประภาพร ไพรสวรรณา ที่ได้ให้ คำปรึกษาในการ ทำโครงการนี้
รศ. อัครเดช สนิมฐักกร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องวัดไมโครมิเตอร์
อ. สมโภชน์ ประไพ ที่ได้ให้ คำปรึกษา
คุณนนท์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องวัดอุณหภูมิ
คุณมารช และ คุณสมพร ที่เอื้อเฟื้อเครื่องพิมพ์และกล้องถ่ายรูป
ทั้งนี้รวมถึง คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อน ๆ ทุกคน และที่ได้ให้การช่วยเหลือ ในการทำโครงการครั้งนี้

ประเวทย์ วุฒิประเสริฐส่ง

ระดมบุญ ทักษณา

สุริยงค์ จันทรวงศ์

พิเชษฐ จันทราชสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารอ้างอิง

- [1] B.L. THERAJA,A.K. THERAJA, "A TEXT-BOOK OF ELECTRICAL TECHNOLOGY" , 1961
- [2] พิษิต ถ้ายอง, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 ,” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537
- [3] ดร. โกวิท มาศรัตน์ , “เครื่องจักรกลไฟฟ้า” ,โครงการตำราวิชาการมหาวิทยาลัยมหานคร , 2534
- [4] พรศักดิ์ อรรถวานิช , “ วัสดุศาสตร์ ” , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2536
- [5] บริษัท NTN BEARING ประเทศไทย , “ NTN คู่มือตลับ ลูกปืนทั่วไป ” , 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้