

อกินันทนาการ



สำนักหอสมุด



เครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก
(Steel Crack Detector)



นางสาวรัชชก แจงป้อม รหัส 50364768
นายรัฐพร เตือคำรณ รหัส 50364775

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 24 ส.ค. 2561
เลขทะเบียน 17221095
เลขเรียกหนังสือ ปร

รจจค

2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก
 ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวรัชก แสงป้อม รหัส 50364768
 นายรัฐพร เตือคำธณ รหัส 50364775
 ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.ดร.ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
 (ผศ.ดร.ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ
 (ดร.อักรพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ
 (ดร.พรพิสุทธิ์ วรจิรันคน)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวรัชชก แจงป้อม	รหัส 50364768
	นายรัฐพร เสือคำรณ	รหัส 50364775
ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ.ดร. ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2554	

บทคัดย่อ

บริษัทยาพันธ์ฉบับนี้แนะนำเสนอโครงการเกี่ยวกับการนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็ก โดยเกิดจากแนวคิดที่จะประยุกต์นำคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก มาใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเหล็ก ว่าประสิทธิภาพของเหล็กเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ เพื่อลดปัญหาและอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นจากการจากการใช้งานของเหล็กนั้น

โดยในโครงการนี้ได้สร้างเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก และใช้การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กบนชิ้นเหล็กที่ทำการทดสอบ วงจรตรวจจับซึ่งสร้างจากการประยุกต์ใช้งาน ไอซี UGN3503 จะส่งสัญญาณไปยังวงจรที่ต่อเข้ากับเครื่อง โวลต์มิเตอร์ เพื่อแสดงแรงดันที่วัดได้เป็นตัวเลขบนหน้าจอของโวลต์มิเตอร์ แล้วนำเลขที่ได้มาวิเคราะห์ว่าเหล็กที่ทำการทดสอบเหมาะสมแก่การใช้งานหรือไม่ต่อไป

Project title Steel crack detector

Name Mrs. Rutchanok Jangpom ID. 50364768
Mr. Rattaporn Suakhumron ID. 50364775

Project advisor (Assistant Professor Yongyut Chonbodeechalermroong, Ph.D.)

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2011

Abstract

This thesis presents a project that deals with using electromagnetic field to detect cracked steel. The project arose from the idea to apply inductance of magnetic field was used to determine the effectiveness of steel that the performance of steel suitable for use or not. To reduce problems and accidents that can happen from the using.

In this project, Created steel crack detector and use inductance of magnetic field to built a magnetic field on the test piece of steel, and the detector circuit was built using a UGN3503 send a signal to a circuit that is connected to a voltmeter. The voltage is measured as the number on the screen of a voltmeter and it is uses to analyzed the steel quality.

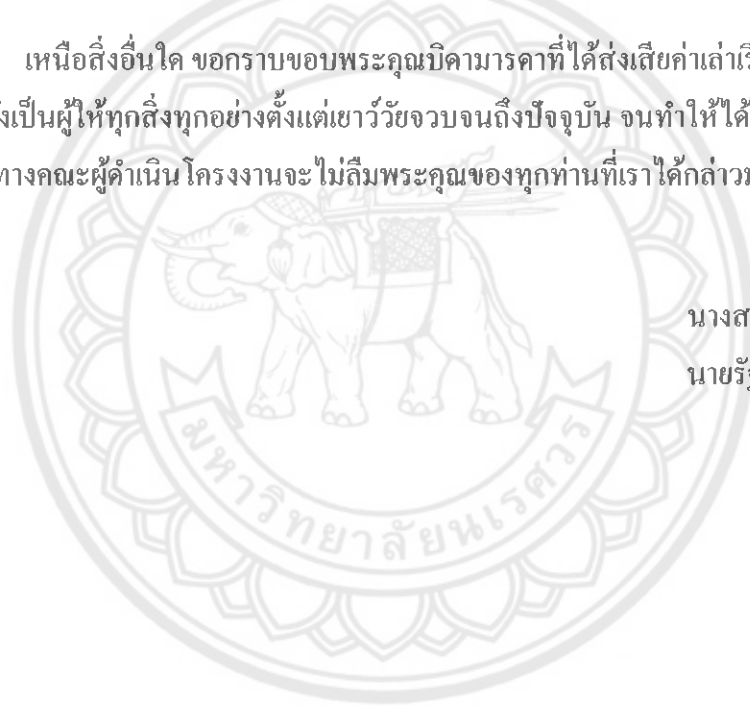
กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมศาสตร์เรื่องการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็กจากการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือรวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำโครงการนี้จาก ผศ.ดร.ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงการ นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการนี้ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ส่งเสียค่าเล่าเรียนและเป็นกำลังใจให้ รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่เยาว์วัยจนจนถึงปัจจุบัน จนทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ ทางคณะผู้ดำเนินโครงการจะไม่ลืมพระคุณของทุกท่านที่เราได้กล่าวมาข้างต้นตลอดไป

นางสาวรัชก แจงป้อม
นายรัฐพร เสือคำรณ



สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.2 คุณสมบัติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.3 แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	7
2.4 ความต้านทานแม่เหล็ก.....	8
2.5 ตัวเหนี่ยวนำ.....	9
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ.....	10
2.7 เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก.....	14
บทที่ 3 ขั้นตอนการทำงานและการเขียนโปรแกรม.....	17
3.1 ออกแบบวิธีการทดสอบ.....	17

สารบัญ

หน้า

3.2	ดำเนินการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	17
3.3	ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก	22
3.4	การใช้งานเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก.....	29
บทที่ 4	บันทึกผลการทดลอง	29
4.1	บันทึกผลการทดลอง	29
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	103
5.1	สรุปผลการดำเนิน โครงการ.....	103
5.2	ความสามารถของเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก	103
5.3	แนวทางในการพัฒนาต่อไป	103
5.4	ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	104
5.5	ข้อเสนอแนะ.....	104
5.6	แนวทางในการพัฒนาต่อไป	104
เอกสารอ้างอิง		106
ภาคผนวก ก.....		107
ภาคผนวก ข.....		112
ภาคผนวก ค.....		118
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ		122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1.....	31
4.2 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1.....	33
4.3 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2.....	35
4.4 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2.....	37
4.5 ตารางบันทึกผลถึงแก่สขนาดใหญ่โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1.....	43
4.6 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1.....	45
4.7 ตารางบันทึกผลถึงแก่สขนาดใหญ่โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2.....	47
4.8 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2.....	49
4.9 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1.....	55
4.10 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1.....	57
4.11 ตารางบันทึกผลการตรวจสอบรอยร้าวของแท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2.....	59
4.12 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2.....	61
4.13 ตารางบันทึกผลการตรวจสอบรอยร้าวของแท่นเครื่องกัดใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1.....	67
4.14 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1.....	69
4.15 ตารางบันทึกผลการตรวจสอบรอยร้าวของแท่นเครื่องกัดใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2.....	71
4.16 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2.....	73
4.17 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องตัดเหล็กหน้าสี่เหลี่ยมตัน ใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1.....	79
4.18 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1.....	81
4.19 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องตัดเหล็กหน้าสี่เหลี่ยมตัน ใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2.....	83
4.20 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2.....	85
4.21 ตารางบันทึกผลเหล็กหล่อแผ่น ครึ่งทรงกลม โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1.....	91
4.22 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1.....	93
4.23 ตารางบันทึกผลเหล็กหล่อแผ่น ครึ่งทรงกลมใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2.....	95
4.24 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2.....	97

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	6
2.3	6
2.4	7
2.5	7
2.6	10
2.7	11
2.8	11
2.9	12
2.10	13
2.11	14
2.12	14
2.13	15
3.1	17
3.2	18
3.3	18
3.4	20
3.5	20
3.6	21
3.7	21
3.8	22
3.9	23
3.10	24
3.11	24
3.12	24
3.13	25
3.14	25
3.15	25

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.16 ต่ออุปกรณ์ต่างเข้าด้วยกัน	25
3.17 อุปกรณ์ตรวจวัดกรวยร้าวของเหล็ก	26
3.18 แสดงการต่อแกนเหล็กเข้ากับแหล่งจ่าย	26
3.19 แสดงการต่ออุปกรณ์	26
3.20 ใช้งานเครื่องตรวจวัดสนามแม่เหล็กโดยไม่ได้ใส่ตัวเก็บประจุให้กับแหล่งจ่าย	27
3.21 บริเวณที่พบการรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก	27
3.22 แสดงการใส่ตัวเก็บประจุให้กับวงจร	27
3.23 บริเวณที่พบการรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก	28
4.1 ด้านหน้าแท่นเครื่องกลึงเหล็ก	29
4.2 แท่นเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ	30
4.3 บริเวณที่ทำการทดลองของเครื่องกลึง	30
4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	34
4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	38
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ	39
4.7 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm.	40
4.8 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm.	40
4.9 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm.	41
4.10 ดึงแก๊สขนาดใหญ่	42
4.11 บริเวณที่ทำการทดลองของดึงแก๊ส	42
4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	46
4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	50
4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของดึงแก๊สขนาดใหญ่	51
4.15 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm.	52
4.16 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm.	52
4.17 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm.	53
4.18 แท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ	54
4.19 แท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ	54
4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	62
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของถังแก๊สขนาดใหญ่	63
4.23 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm	64
4.24 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm	64
4.25 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm	65
4.26 บริเวณที่มีการรั่วของสนามแม่เหล็ก	65
4.27 แท่นเครื่องกัก	66
4.28 บริเวณที่ทำการทดลองของแท่นเครื่องกัก	66
4.29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	70
4.30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	74
4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องกัก	75
4.32 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm	76
4.33 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm	76
4.34 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm	77
4.35 บริเวณที่มีค่าความผิดปกติของสนามแม่เหล็ก	77
4.36 เครื่องตัดเหล็กหนาตันทรงสี่เหลี่ยม	78
4.37 บริเวณที่ทำการทดลอง	78
4.38 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	82
4.39 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	86
4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องตัดเหล็กหนาสี่เหลี่ยมตัน	87
4.41 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm	88
4.42 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm	88
4.43 พื้นที่ผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm	89
4.44 เหล็กหล่อแผ่นครึ่งทรงกลม	90
4.45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	94
4.46 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	98
4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องตัดเหล็กหนาสี่เหลี่ยมตัน	99

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm.....	100
4.49 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm.....	100
4.50 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm.....	101
4.51 บริเวณที่รอยแตกร้าว.....	101
4.52 บริเวณที่พื้นผิวของเหล็กไม่เรียบ เนื่องจากการเกิดสนิม.....	102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Field: EMFs) คือ เส้นสมมติที่เขียนขึ้นเพื่อแสดงอาณาเขตและความเข้มของเส้นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุที่มีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า (เรียกว่า สนามไฟฟ้า) และที่เกิดขึ้นโดยรอบวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้าไหล (เรียกว่า สนามแม่เหล็ก) ในกรณีกล่าวถึงทั้ง สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพร้อมกันมักจะเรียกรวมว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF)

แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) คือ อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำหมายความว่าถ้าปล่อยให้ กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิด สนามแม่เหล็ก รอบ ๆ ตัวนำนั้น

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- 1) จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็น้อยตามไปด้วย
- 2) ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นมากและถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กเกิดน้อย
- 3) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็ก เฟอร์ไรต์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น

- 4) ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย

ในการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็ก เริ่มจากการใส่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้กับชิ้นงาน ที่นำมาทำการตรวจสอบและใช้เครื่องตรวจสอบรอยร้าวตรวจวัดค่าของสนามแม่เหล็กจากชิ้นงาน ถ้าเหล็กมีการแตกร้าวก็จะทำให้มีการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กจากชิ้นงาน จะสามารถวิเคราะห์ต่อไปได้ว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นภายในชิ้นงานเพียงใด จากการตรวจสอบรอยร้าวของชิ้นสามารถทำให้เราสรุปได้ว่า ชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบนั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งานต่อไปอีก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานต่อ
- 2) เพื่อศึกษาหลักการทำงานและวิธีการตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ ของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ต่อ
- 3) เพื่อศึกษาผลจากการตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการประยุกต์ใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์จ่ายสนามแม่เหล็กที่มากพอต่อการตรวจจับได้
- 2) ศึกษาการวัดสนามแม่เหล็กที่รั่วไหลออกจากรอยร้าวของเหล็ก
- 3) ศึกษาวิธีการสร้างและอุปกรณ์การตรวจวัดสนามแม่เหล็กจากรอยร้าวของเหล็ก
- 4) สร้างเครื่องต้นแบบ ของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุที่ได้จากการประยุกต์ทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและหลักการทำงานของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2553						ปี 2554			
	.ย.	.ก.	.ค.	.ย.	.ก.	.ย.	.ค.	.ก.	.พ.	.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีของ สนาม แม่เหล็กไฟฟ้าและ หลักการการทำงานของเครื่อง ตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ										
2. นำข้อมูลที่ได้จาก การศึกษา มาประยุกต์ใช้งาน ร่วมกัน										
3. ดำเนินการสร้าง และวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง ตรวจสอบรอยร้าวคั่นแบบ										
4. สรุปผลการ ดำเนินงานและจัดทำปริญา นิพนธ์ฉบับสมบูรณ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) มีความรู้ความเข้าใจถึงทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2) มีความรู้ความเข้าใจถึงหลักการงานและวิธีการตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ ของ
เครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ
- 3) สามารถนำข้อมูลจากการศึกษาทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและหลักการงาน
ของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัตถุ มาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน

- 4) สามารถสร้างเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัสดุ จากการประยุกต์ใช้งานจากทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและหลักการทํางานของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของวัสดุ

1.6 งบประมาณ

1) ค่าถ่ายเอกสารและค่าเช่าเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์	1,000	บาท
2) ค่าพิมพ์เอกสาร	500	บาท
3) ค่าวัสดุที่ใช้การสร้างเครื่องต้นแบบ	500	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	2000	บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ความหมายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) คือการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้อื่นๆทำให้เกิดสนามไฟฟ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกันและอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นและที่สำคัญคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่มีอาศัยตัวกลางจึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้

2.2 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

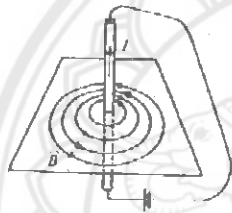
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดก็จะมีสเปกตรัมของความถี่ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิดของตัวมันแต่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดจะต้องมีคุณสมบัติเหมือนกันคือ

1. การสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนทิศทางของคลื่น โดยทันทีเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเดินทางไปถึงกระทบกับผิวของตัวกลางหรือผิวของวัตถุใดๆ
2. การหักเหของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อคลื่นนั้นได้เดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่นแสงเดินทางจากอากาศซึ่งมีความหนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางอีกตัวหนึ่งคือ น้ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเมื่อแสงกระทบน้ำจะมีแสงบางส่วนสะท้อนกลับไปและแสงอีกบางส่วนทะลุผ่านน้ำได้จึงเรียกส่วนที่ทะลุผ่านน้ำนั้นว่า การหักเหของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง
3. การเบี่ยงเบนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านมุมหรือขอบของตัวกลางที่คลื่นไม่สามารถผ่านไปได้ เช่น คลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงมากเดินทางผ่านยอดเขาคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงมากนี้มีคุณสมบัติในการเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นถ้าลากเส้นตรงจากสายอากาศไปยังยอดเขาส่วนที่อยู่หลังยอดเขาโดยโคนเขาบังไว้และต่ำกว่าเส้นนี้ลงไปจะไม่สามารถรับคลื่นสัญญาณวิทยุได้เลยแต่ปรากฏว่าบางส่วนของคลื่นที่อยู่หลังเขาและบางส่วนของคลื่นที่อยู่บนพื้นโลกก็ สามารถรับคลื่นสัญญาณวิทยุได้

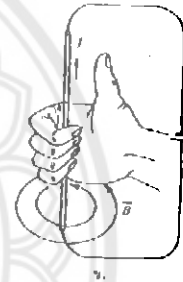
ในปี พ.ศ.2363 Hans Christian Oersted นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์ก พบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านในลวดตัวนำ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น ซึ่งแยกพิจารณาตามลักษณะของลวดตัวนำดังนี้

1. สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในลวดตรงยาว

เมื่อนำเข็มทิศไปวางใกล้ลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน พบว่าแนวเข็มทิศมีการเปลี่ยนแปลงไปจากแนวเหนือ - ใต้เดิมแสดงว่ารอบๆลวดมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น การหาทิศของสนามแม่เหล็กรอบลวดตรงหาได้โดยใช้กฎมือขวา ซึ่งทำได้โดยใช้มือขวากำรอบเส้นลวดตัวนำดังรูปที่ 2.1, 2.2 ในลักษณะให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตามทิศของกระแสไฟฟ้าทิศทางการวนของปลายทั้งสี่จะแสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบๆ ลวดตัวนำ



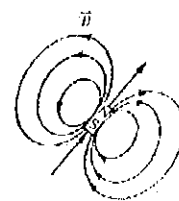
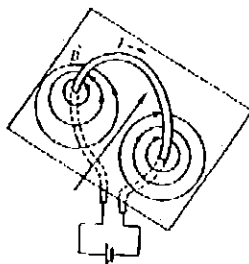
รูปที่ 2.1 กระแสไฟฟ้าและ
ทิศทางของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.2 การใช้กฎมือขวาหา
ทิศทางของสนามแม่เหล็ก

2. สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในขดลวดวงกลม

เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นวงกลมแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนั้น จะเกิดสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.3 จากการตรวจสอบทิศของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดกับทิศทางของกระแสไฟฟ้าพบว่าจะเป็นไปตามกฎมือขวา โดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าตามแนวโค้งของเส้นลวดแทนด้วยนิ้วทั้งสี่ แล้วนิ้วหัวแม่มือชี้ทิศของขั้วเหนือหรือแนวเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

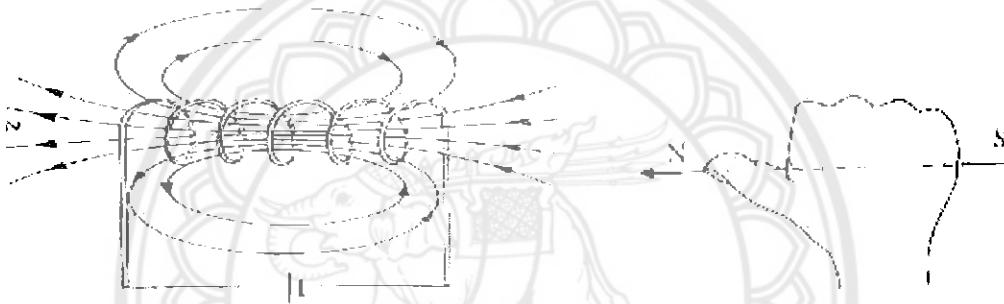


รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กของขดลวดวงกลมและของแท่งแม่เหล็ก

3. สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในโซเลนอยด์

โซเลนอยด์ คือ ลวดตัวนำที่มีจำนวนหุ้มหรือสายไฟ เมื่อนำมาพันเป็นขดลวดวงกลมที่มีรัศมีคงตัวเรียงซ้อนกันที่ขดเป็นรูปร่างคล้ายสปริง จากการศึกษาพบว่า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ โซเลนอยด์คล้ายกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก

การหาทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดโซเลนอยด์ให้ใช้กฎมือขวา โดยใช้มือขวากำรอบขดลวดโซเลนอยด์ โดยให้นิ้วมือทั้งสี่นิ้วไปตามทิศของกระแสไฟฟ้าในขดลวด นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศเส้นแรงแม่เหล็กหรือชี้ไปทางขั้วเหนือที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.4 , 2.5



รูปที่ 2.4 ขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดตัวนำโซเลนอยด์

รูปที่ 2.5 การหาขั้วแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา

2.3 เรืองเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive, mmf, F)

คือ พลังงานรูปหนึ่งที่ใช้ในการเคลื่อนที่หนึ่งขั้วแม่เหล็กหนึ่งรอบ หรืออาจพิจารณาว่าเป็นความสามารถในการทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดใดขดลวดหนึ่ง ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวด กับจำนวนรอบของขดลวด มีหน่วยเป็น A · T ดังนั้นจะได้ว่า

$$F = NI$$

เมื่อ F คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force in Ampere · Turns)

มีหน่วยเป็นแอมแปร์ · เทินส์ (Ampere · Turns) หรืออาจใช้สัญลักษณ์เป็น F_m

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)

N คือ จำนวนรอบขดลวด มีหน่วยเป็นรอบ (Turns)

ถ้าความยาวของแท่งเหล็กที่ขดลวดพัน มีค่า l เมตร

$$H = \frac{F}{l}$$

H คือ ความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กเป็น (Magnetic Intensity หรือ Magnetizing Force)
มีหน่วยเป็น Amp · turn/m

F คือ แรงดันแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นแอมแปร์ · เทินส์ (Ampere-Turns)

l คือ ความยาวขดลวด มีหน่วยเป็นเมตร (m)

2.4 ความต้านทานแม่เหล็ก (Magnetic Reluctance, R)

ความต้านทานแม่เหล็ก คือ ความต้านทานที่เกิดขึ้นในวงจรแม่เหล็ก ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาว (l) และเป็นสัดส่วนผกผันกับพื้นที่หน้าตัด (A) และ (μ) ที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้

$$R = \frac{l}{\mu A}$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น (A/Wb)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวงจรแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น (m^2)

μ คือ จะเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติของสารแม่เหล็กแต่ละชนิดว่ายอมให้เกิดสนามแม่เหล็กได้มากหรือน้อยเพียงใด

ซึ่ง $\mu = \mu_0 \mu_r$

เมื่อ μ_0 คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

μ_r คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (Relative permeability) ของสารตัวกลาง
ซึ่งไม่มีหน่วย

2.5 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำชนิดขดเคียวเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีขดลวดพันไว้ขดเคียวมักเรียกว่า ไซค์ (Choke) หรือคอกซ์ โครงสร้างประกอบด้วยเส้นลวดทองแดงอาบนํ้ายาฉนวนพันเป็นขดลวดอยู่บนแกนหรือฐานรองต่างๆ การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้เรียกตามชื่อของแกนที่ทำเป็นฐานขดลวด แบ่งออกได้เป็น

2.5.1 ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ (Air Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น คาร์บอน พลาสติก ไฟเบอร์และPVC เป็นต้น หรืออาจพันลวดๆไว้โดยไม่มีอะไรรองรับ ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานกับพวกความถี่สูงๆหรือความถี่วิทยุ (RF) จึงมักเรียกตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ว่า RF ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพราะแกนไม่สามารถช่วยเสริมค่าความเหนี่ยวนำได้ การจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ต้องใช้จำนวนรอบในการพันขดลวดเพิ่มขึ้น

2.5.2 ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด (Powdered - Iron Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผงเหล็กชนิดอัดแน่น โดยนำผงเหล็กผสมกับกาวอัดแน่นเป็นแท่งช่วยลดการสูญเสียสัญญาณจากกระแสไหลวน (Eddy Current) ลงได้ สัญญาณส่งผ่านตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัดได้สูงขึ้น เกิดการสูญเสียสัญญาณภายในตัวเหนี่ยวนำลดลง ใช้งานได้ดีในย่านความถี่สูงๆ มีความเหนี่ยวนำสูงแต่มีขนาดเล็ก

2.5.3 ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเฟอร์ไรต์ ส่วนผสมของเฟอร์ไรต์มีความแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี แมกนีเซียมกับแมงกานีส แมกนีเซียมกับทองแดง นิกเกิลกับสังกะสีและแมงกานีสกับสังกะสี เป็นต้น แต่ละชนิดของเฟอร์ไรต์ให้ความเข้มของค่าความเหนี่ยวนำแตกต่างกัน ข้อดีของตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ คือ สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆได้ใช้งานได้ดีทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูง

2.5.4 ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ (Toroidal Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผลเหล็กชนิดอัดแน่นหรือเฟอร์ไรต์ โดยสร้างขึ้นเป็นรูปวงแหวนขดลวดถูกพันรอบแกนทอรอยด์โดยรอบ ข้อดีของการใช้แกนทอรอยด์ คือ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่แพร่กระจายออกไปภายนอก และสนามแม่เหล็กจากภายนอกก็ไม่เข้ามารบกวน สามารถทำให้ตัวเหนี่ยวนำแบบนี้มีความเหนี่ยวนำสูงในขนาดที่สร้างได้เล็กลง นิยมนำไปใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง ที่ต้องการค่าความเหนี่ยวนำสูงและมีสนามแม่เหล็กรบกวนต่ำ

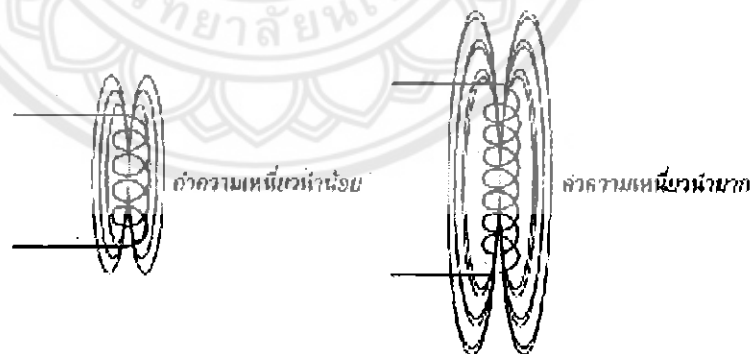
2.5.5 ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่น (Laminated - Iron Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่นเป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเหล็กแผ่นบางวางซ้อนกัน เหล็กแผ่นบางแต่ละแผ่นเคลือบฉนวนไว้เพื่อช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนและช่วยทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น การใช้งานนิยมนำไปใช้งานในย่านความถี่ต่ำในย่านความถี่เสียง (AF) มักเรียกว่า AF เช่น ใช้เป็นตัวกรองไฟ (Filter) แรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง เป็นต้น

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดย 4 ปัจจัย ดังนี้

2.6.1 จำนวนรอบของขดลวด

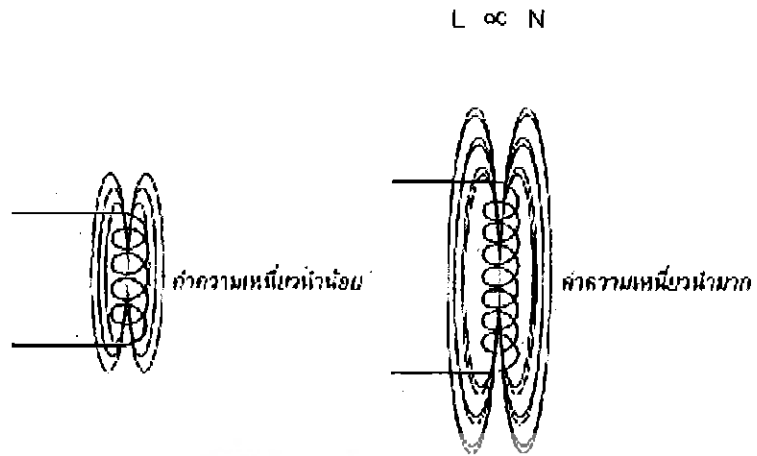
ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำที่เรียกว่า "Counter EMF หรือ Back EMF" และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด (N)



รูปที่ 2.6 แสดงความเหนี่ยวนำของขดลวดของจำนวนขดลวด

2.6.2 พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วยและการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด (A)



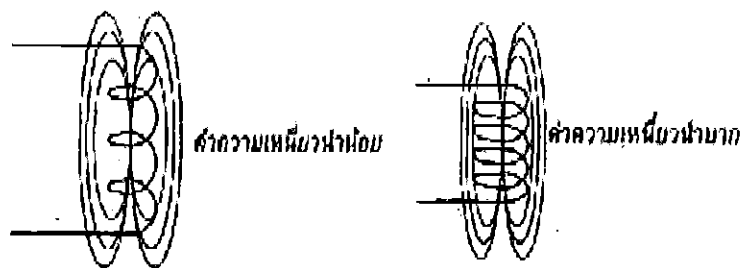
รูปที่ 2.7 แสดงความเหนี่ยวนำของขดลวดของพื้นที่ขดลวด

2.6.3 ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบ ขยายพื้นที่ออก (นั่นคือความยาวของขดลวดเพิ่มขึ้น) ดังรูปที่ 2.8 ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลง ในทางกลับกัน ถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนำมาพันให้ยู่ชิดกันมากขึ้น (ความยาวของขดลวดสั้นลง) สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน

ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด

$$L \propto \frac{1}{l}$$



รูปที่ 2.8 แสดงความเหนี่ยวนำของขดลวดของความยาวขดลวด

2.6.4 วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวกนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เฟอร์ไรต์หรืออัลลอย ซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวมหรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังแสดงในตารางแสดงตัวอย่างของวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้ทำแกน

$$L \propto \mu$$

ค่าความซาบซึมได้ของวัสดุชนิดต่าง ๆ	
วัสดุ	ค่าความซาบซึมได้ (μ)
อากาศ หรือสุญญากาศ	1.26×10^{-6}
นิกเกิล	6.28×10^{-6}
โคบอลต์	7.56×10^{-6}
เหล็กอ่อน	1.1×10^{-4}
เหล็กแข็ง	5.50×10^{-4}
แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า	6.9×10^{-3}
เหล็กซิลิกอน	6.8×10^{-3}
เฟอร์ไรต์ลอย	0.126
ซูเปอร์มาลอย	1.26

รูปที่ 2.9 แสดงความเหนี่ยวนำของขดลวดของวัสดุที่ใช้ทำแกน

สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

จากปัจจัยทั้ง 4 ประการที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาเขียนเป็นสูตรคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$L = \frac{N^2 \times A \times \mu}{l} \quad (2.1)$$

โดยที่

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี (H)

N คือ จำนวนของขดลวด (รอบ)

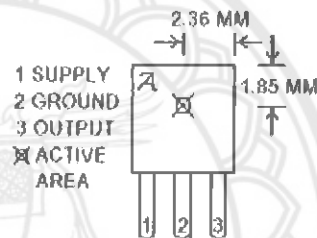
A คือ พื้นที่ของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m²)

- u คือ ค่าความซาบซึมได้ (Permeability)
 l คือ ความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.7 เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้ง เมื่อนำตัวรับรู้ฮอลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

2.7.1 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall sensor)



รูปที่ 2.10 ตัวรับรู้ฮอลล์

ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวม มีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 1 และมีสมบัติดังนี้

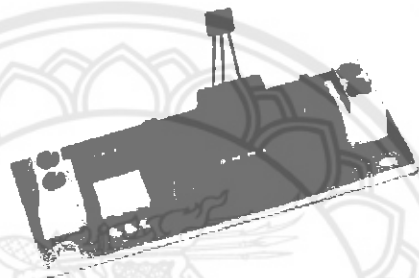
เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5 - 6 โวลต์ เข้ากับขา 1 และขา 2 และต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และ ขา 3 โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็นความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กเรียกว่า offset voltage ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 1 และขา 2 แต่จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ active area ของตัวรับรู้ฮอลล์ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้านำขั้วได้เข้าใกล้ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลงความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux density) ดังนี้

$$B = (V_{\text{out (B)}} - V_{\text{out (O)}}) S^{-1} \quad (2.2)$$

- เมื่อ $V_{out(O)}$ คือ ความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก
 $V_{out(B)}$ คือ ความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก
 S คือ สัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อเทสลา (V/T)
 B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)

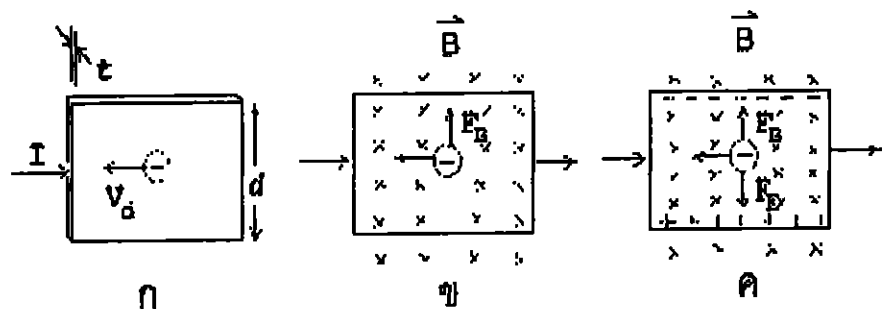
ตัวรับรู้ฮอลล์สามารถวัดสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้แม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณปลาย โซเลนอยด์และสนามแม่เหล็กใกล้เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านได้



รูปที่ 2.11 Hall effect

2.7.2 ปปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ใน ค.ศ.1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปกินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปปรากฏการณ์ฮอลล์



รูปที่ 2.12 ก - ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้โดยใช้ รูปที่ 2.8 ก-ค ดังนี้

รูปที่ 2.12 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน v_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูปที่ 2.12 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบาง หรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบ ด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูปที่ 2.12 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วน ขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจาก ขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

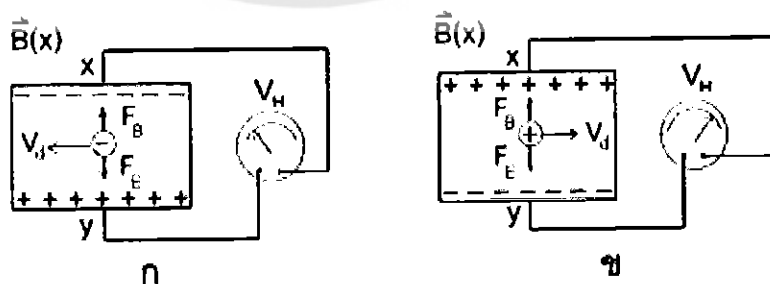
สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = v/d \tag{2.3}$$

ความต่างศักย์หรือ โวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่าความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจาก สารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดีความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อย กว่ามาก (เหตุผลพิจารณาได้จากสมการ (2.9) หรือสมการ (2.10) ในตอนท้าย)

จากสมการ (2.3) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.13 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

เราสามารถวัด V_H โดยต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูปที่ 2.13 ก สภาพขั้ว ของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จากมิลลิโวลต์มิเตอร์ จากรูปที่ 2.13 ก พาหะประจุ คือ อิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูปที่

2.13 ก แต่ทิศของ F_b และ E_e ยังคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้ายและสภาพขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่ทำหะประจุมีประจุลบ

จากรูปที่ 2.12 ก ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$(-e)E_H = (-e)V_d B \quad (2.5)$$

$$E_H = V_d B$$

จากสมการ (2.4) จะได้

$$V_H = E_H d$$

$$V_H = V_d B d \quad (2.6)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = I / neA \quad (2.7)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

แทนสมการ (2.20) ลงในสมการ (2.21) จะได้

$$V_H = IBd / neA \quad (2.8)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = IB / net \quad (2.9)$$

สมการ (2.9) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = net^{-1} V_H \quad (2.10)$$

ปริมาณ $V_H I$ และ t ได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนจนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่าสารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n \cong 10^{22} \text{ m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \cong 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ดังนั้นเราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (2.10) ได้

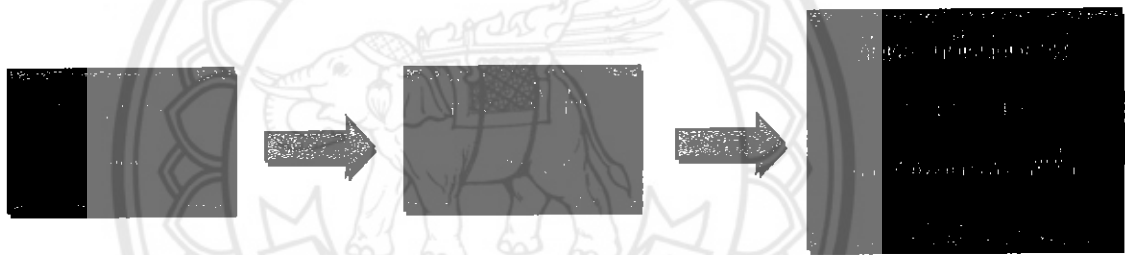
ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็ก คือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานของโครงการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็กจากการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Crack Detector) จะดำเนินการสร้างอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็ก โดยนำข้อมูลจากแหล่งการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา มาประยุกต์ใช้งานและออกแบบอุปกรณ์เพื่อทำการตรวจสอบรอยร้าวของชิ้นงาน ต่อไป

3.1 ออกแบบวิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.1 ออกแบบวิธีการทดสอบ

3.2 ดำเนินการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การดำเนินการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

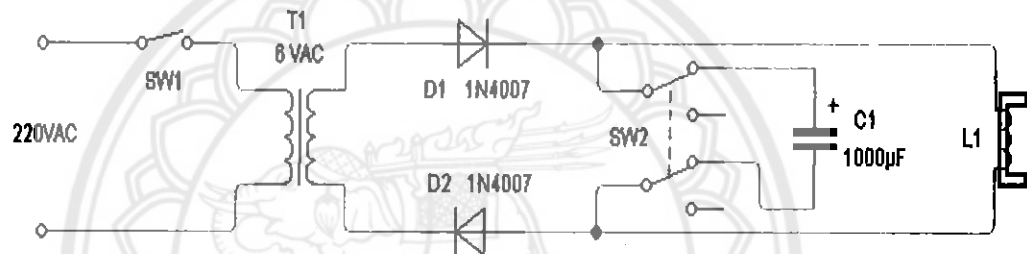
- ส่วนที่ 1 ดำเนินการสร้างแหล่งจ่ายให้กับขดลวดทองแดง
- ส่วนที่ 2 ดำเนินการเลือกแกนเหล็กที่จะนำมาทดลองและดำเนินการพันขดลวด

ส่วนที่ 1 ดำเนินการสร้างแหล่งจ่ายให้กับขดลวดทองแดง

ดำเนินการสร้างแหล่งจ่ายให้กับขดลวดทองแดง เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก โดยใช้ไฟ 220 โวลต์กระแสสลับ ผ่านหม้อแปลงไฟขนาด 6 โวลต์ เข้าไปที่วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก

และครึ่งคลื่นลบ ซึ่งจะให้ทั้งไฟตรงที่มีทั้งไฟบวกและไฟลบกับขดลวดตัวนำ จากวงจรดังกล่าวจะ
ได้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 โวลต์

ในการทดลองเราจะไม่ใส่ตัวเก็บประจุในวงจรแหล่งจ่าย แต่เพื่อทดสอบความเรียบของ
กระแสและแรงดันที่ได้ จึงทดลองใส่ตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในวงจรแหล่งจ่าย โดยทำการต่อ
สวิตช์ที่ต่อกับตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในวงจรแหล่งจ่าย ในเวลาปกติที่ไม่ได้ทำการกดสวิตช์ต่อตัว
เก็บประจุให้กับวงจรแหล่งจ่ายกระแสไฟจะวิ่งไปที่ขา 2 และขา 4 แต่เมื่อทำการกดสวิตช์
กระแสไฟวิ่งอยู่ที่ขา 1 และขา 3 เมื่อทำการทดสอบ กระแสที่ได้จะเรียบกว่าและมีแรงดันของ
สนามแม่เหล็กที่มากกว่า



รูปที่ 3. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)

สวิตช์ต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.3 คอวงจรแหล่งจ่าย

ส่วนที่ 2 ดำเนินการเลือกแกนเหล็กที่จะนำมาทดลองและดำเนินการพันขดลวด

เนื่องจากเราทำการทดลองเกี่ยวกับการวัดค่าของสนามแม่เหล็กที่มีการรั่วไหลจากชิ้นงานที่ทำกรทดลอง จึงทำการเลือกแกนเหล็กรูปตัวยู มีลักษณะแขนแบบก้ามปู เพื่อไม่ให้มีการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กจากรอยต่อของแกน โดยการตัดเหล็กแผ่นให้เป็นรูปตัวยูมีผิวหน้าเรียบไม่มีรอยต่อ เมื่อทำการทดสอบวัดสนามแม่เหล็กผิวหน้าของแกนเหล็กจะแนบสนิทไปกับชิ้นงาน ถ้าหากชิ้นงานมีเกิดการรั่วจะทำให้ทราบได้ว่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้เกิดจากชิ้นงาน

ทำการออกแบบแกนเหล็กให้มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยออกแบบให้แกนเหล็กมีระยะห่างของขั้วทั้งสองด้านไม่เท่ากัน เพื่อตรวจสอบการรบกวนค่าของสนามแม่เหล็กที่ได้จากขั้ว ถ้าหากแกนเหล็กชั้นที่ขั้วอยู่ใกล้กว่ามีค่าของสนามแม่เหล็กที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแกนเหล็กชั้นที่มีขั้วห่างกว่า อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากการรบกวนของสนามแม่เหล็ก

จากสมการคำนวณหาแรงเคลื่อนแม่เหล็ก

$$F = NI$$

เมื่อ F คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force in Ampere-Turns) มีหน่วยเป็น แอมแปร์ · เทินส์ (Ampere · Turns) หรืออาจใช้สัญลักษณ์เป็น F_m

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)

N คือ จำนวนรอบขดลวด มีหน่วยเป็นรอบ (Turns)

จากสมการคำนวณหาความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

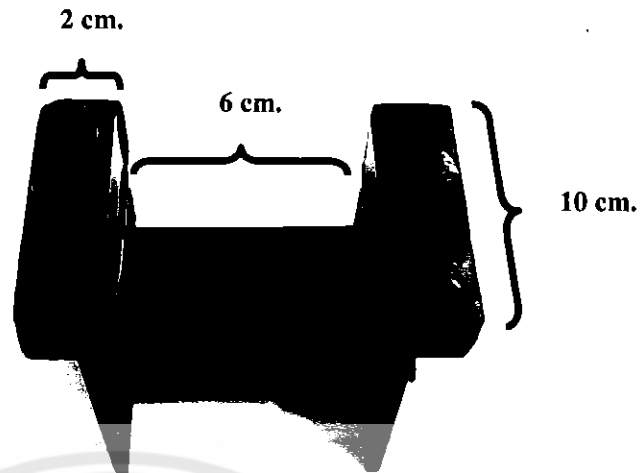
$$H = \frac{F}{l}$$

H คือ ความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กเป็น (Magnetic Intensity หรือ Magnetizing Force) มีหน่วยเป็น Amp · turn/m

F คือ แรงดันแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นแอมแปร์ · เทินส์ (Ampere.Turns)

l คือ ความยาวขดลวด มีหน่วยเป็นเมตร (m)

แกนเหล็กชั้นที่ 1



รูปที่ 3.4 แกนเหล็กชั้นที่ 1

ดำเนินการพันขดลวดทองแดงรอบแกนเหล็กเป็นจำนวน 800 รอบ โดยที่ระยะของการพันขดลวดอยู่ที่ประมาณ 6 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 แกนเหล็กชั้นที่ 1 พันขดลวด 800 รอบ

จากสมการคำนวณหาแรงเคลื่อนแม่เหล็ก

$$F = NI = 240 \times 10^{-3} \times 800 = 192 \text{ A} \cdot \text{T}$$

โดยที่

I คือ กระแสที่วัดได้จากวงจร 240 mA

N คือ 800 รอบ (Turns)

จากสมการคำนวณหาความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

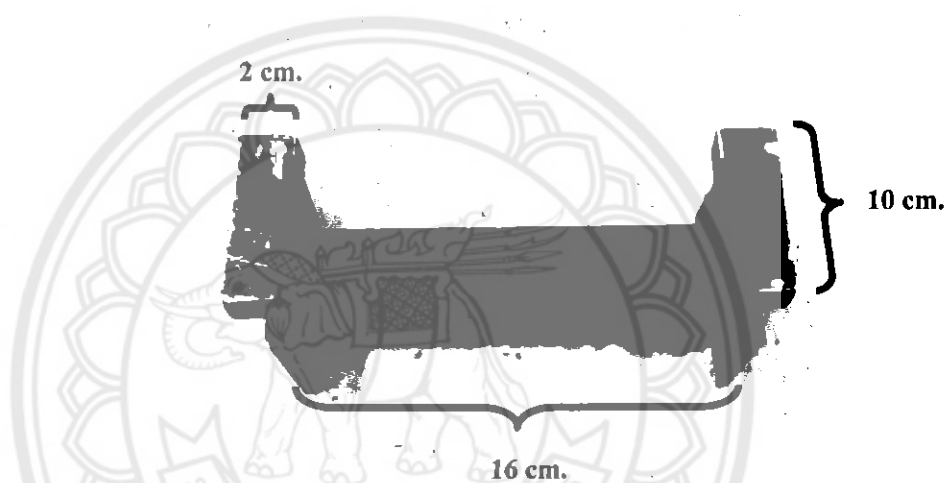
$$H = \frac{F}{l} = \frac{192}{0.06} = 3200 \text{ Amp} \cdot \text{turn/m}$$

โดยที่

F คือ 192 A · T

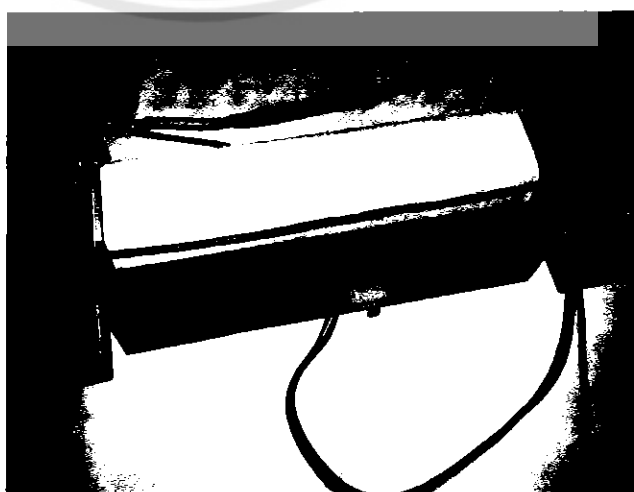
l คือ 0.06 m

แกนเหล็กที่ 2



รูปที่ 3.6 แกนเหล็กชั้นที่ 2

แกนเหล็กชั้นที่ 2 ดำเนินการพันขดลวดทองแดงรอบแกนเหล็กเป็นจำนวน 830 รอบ โดยที่ระยะของการพันขดลวดอยู่ที่ประมาณ 16 เซนติเมตร



รูปที่ 3.7 แกนเหล็กชั้นที่ 2 พันขดลวด 830 รอบ

จากสมการคำนวณหาแรงเคลื่อนแม่เหล็ก

$$F = NI = 240 \times 10^{-3} \times 830 = 199.2 \text{ A} \cdot \text{T}$$

โดยที่

I คือ กระแสที่วัดได้จากวงจร 240 mA

N คือ 830 รอบ (Turns)

จากสมการคำนวณหาความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

$$H = \frac{F}{l} = \frac{199.2}{0.16} = 1245 \text{ Amp} \cdot \text{turn/m}$$

โดยที่

F คือ 199.2 A · T

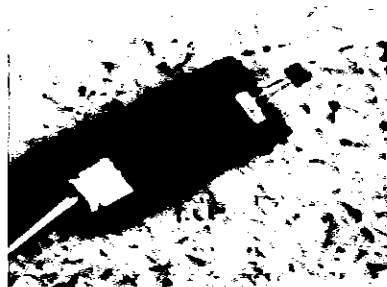
l คือ 0.16 m

3.3 ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

การดำเนินการสร้างเครื่องค้นแบบเครื่องตรวจสอบรอยร้าวเหล็ก แบ่งเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

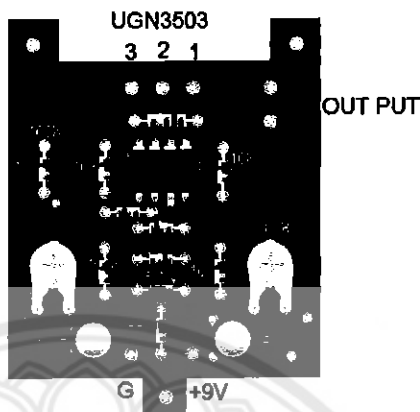
- ส่วนที่ 1 อุปกรณ์สำหรับตรวจจับและวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก
- ส่วนที่ 2 อุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดันแบบ 0 Volt
- ส่วนที่ 3 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแรงดัน
- ส่วนที่ 4 ดำเนินการสร้างเครื่องค้นแบบ

ส่วนที่ 1 อุปกรณ์สำหรับตรวจจับและวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (Magnetic field density sensor)



รูปที่ 3.8 แผงวงจรตรวจจับและวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก IC UGN3503

UIB ค่าแรงดันที่แสดงที่โวลต์มิเตอร์มีค่าเป็นบวก แต่ถ้าแรงดันที่ได้จากออมแปมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่แสดงออกจาก โวลต์มิเตอร์จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งค่าบวกลบที่ได้จากโวลต์มิเตอร์เป็นเพียงการแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กเท่านั้น



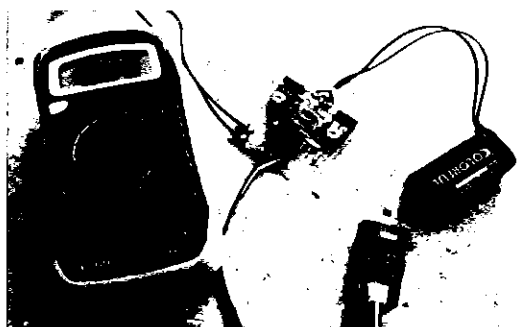
รูปที่ 3.10 ออกแบบแผงวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบ 0 โวลต์



รูปที่ 3.11 แผงวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบ 0 Volt

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและแสดงผลแรงดัน

ในการทดลองเราใช้โวลต์มิเตอร์ในแสดงผลค่าแรงดันที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบ 0 Volt



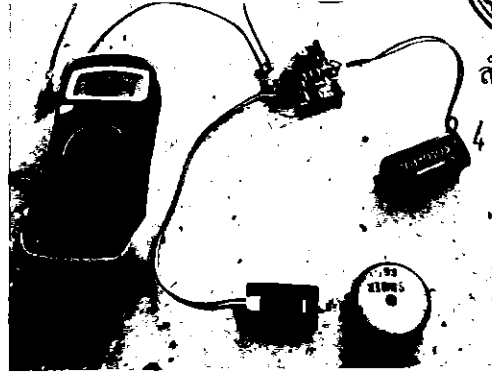
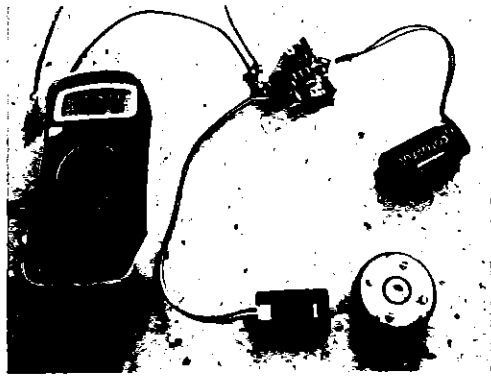
รูปที่ 3.12 แสดงการต่ออุปกรณ์วัดค่าแรงดันกับแผงวงจร

17229095



สำนักหอสมุด

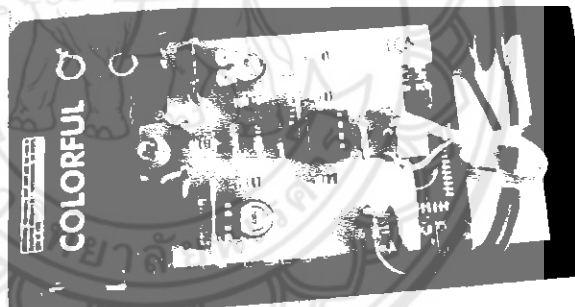
4 ส.ค. 2561



รูปที่ 3.13-3.14 แสดงการทดสอบการตรวจวัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กในทิศเหนือ - ได้

ส่วนที่ 4 คำเนิการสร้างเครื่องต้นแบบ

นำอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น มาดำเนินการสร้างเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับตรวจจับและวัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากความสามารถของเซนเซอร์ UGN3503 สามารถแสดงผลความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กอยู่ -2.5 ถึง 2.5 Volt เราจึงทำการปรับหน่วยของโวลต์มิเตอร์เป็นหน่วย มิลลิโวลต์ (mV) ดังนั้นหน่วยของค่าแรงดันที่ได้จากการทดลองจะมีหน่วยเป็น มิลลิโวลต์ (mV)

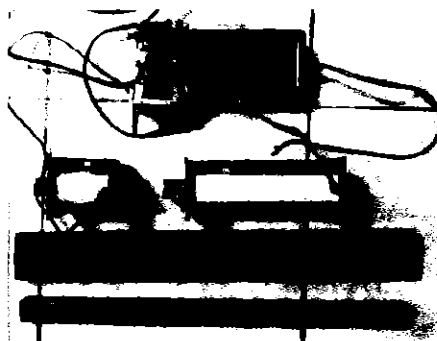


รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องต้นแบบ

3.4 การใช้งานเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก



รูปที่ 3.16 ต่ออุปกรณ์ต่างเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก

การใช้งานเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของสนามแม่เหล็ก

ขั้นตอนที่ 1 ต่อแกนเหล็กเข้ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 3.18 แสดงการต่อแกนเหล็กเข้ากับแหล่งจ่าย

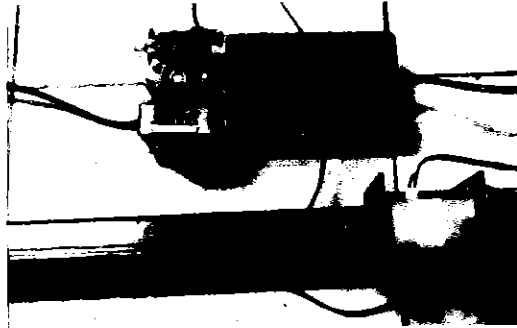
ขั้นตอนที่ 2 ทำการต่ออุปกรณ์แสดงค่าแรงค้ำเข้ากับตัวเซนเซอร์ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของแกนเหล็ก



รูปที่ 3.19 แสดงการต่ออุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเปิดสวิตช์เปิดเครื่องและและหมุนเปิดเครื่องโวลต์มิเตอร์เพื่อแสดงค่าของแรงค้ำที่วัดได้ ทำการตรวจวัดค่าของสนามแม่เหล็ก โดยการนำแกนเหล็กวางให้ผิหน้าแนบ

สนิทไปกับชิ้นงาน แล้วดูการแสดงผลที่จอโวลต์มิเตอร์ ถ้าหากค่าของแรงดันมีค่าบวกแสดงว่า
สนามแม่เหล็กมีทิศเหนือ แต่ถ้ามีค่าติดลบแสดงว่าสนามแม่เหล็กมีทิศใต้



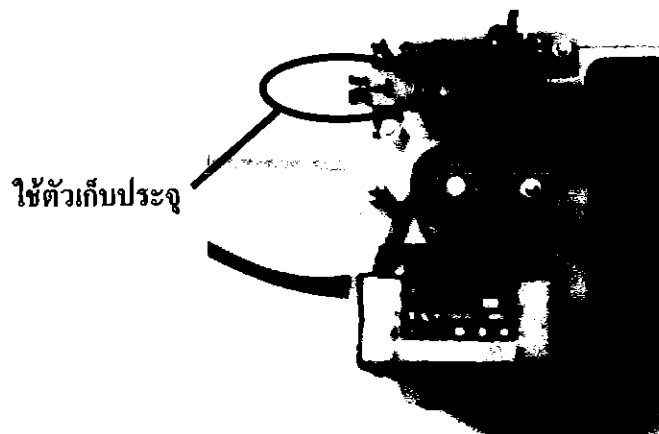
รูปที่ 3.20 ใช้งานเครื่องตรวจวัดสนามแม่เหล็กโดยไม่ได้ใส่ตัวเก็บประจุให้กับแหล่งจ่าย

บริเวณที่มีการรั่วไหลของ



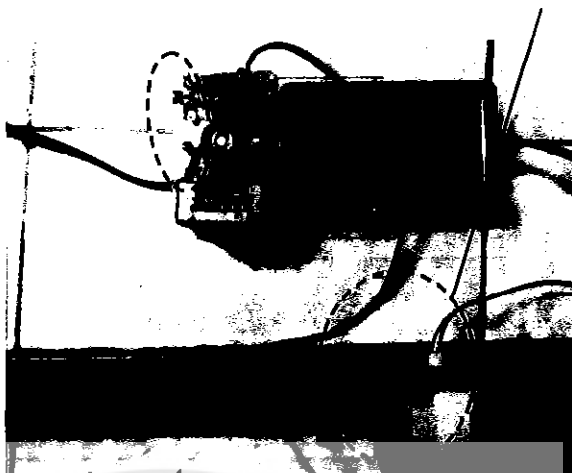
รูปที่ 3.21 บริเวณที่พบการรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าต้องการใส่ตัวเก็บประจุให้กับแหล่งจ่าย ทำการกดสวิตช์เพื่อต่อตัวเก็บ
ประจุก่อนทำการเปิดใช้เครื่อง



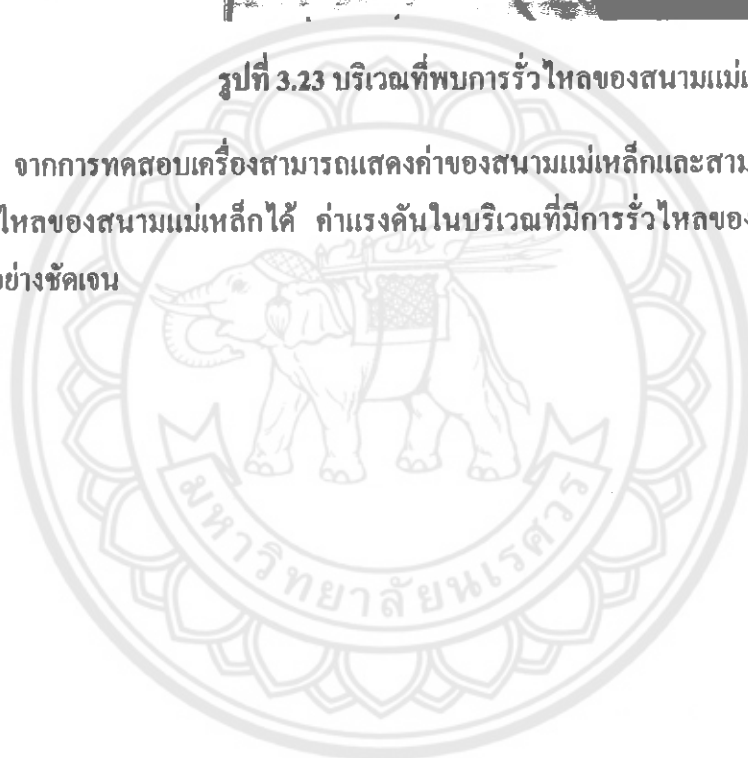
รูปที่ 3.22 แสดงการใส่ตัวเก็บประจุให้กับวงจร

บริเวณที่มีการรั่วไหลของ



รูปที่ 3.23 บริเวณที่พบการรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก

จากการทดสอบเครื่องสามารถแสดงค่าของสนามแม่เหล็กและสามารถตรวจพบบริเวณที่มีการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กได้ ค่าแรงดันในบริเวณที่มีการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กจะมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน



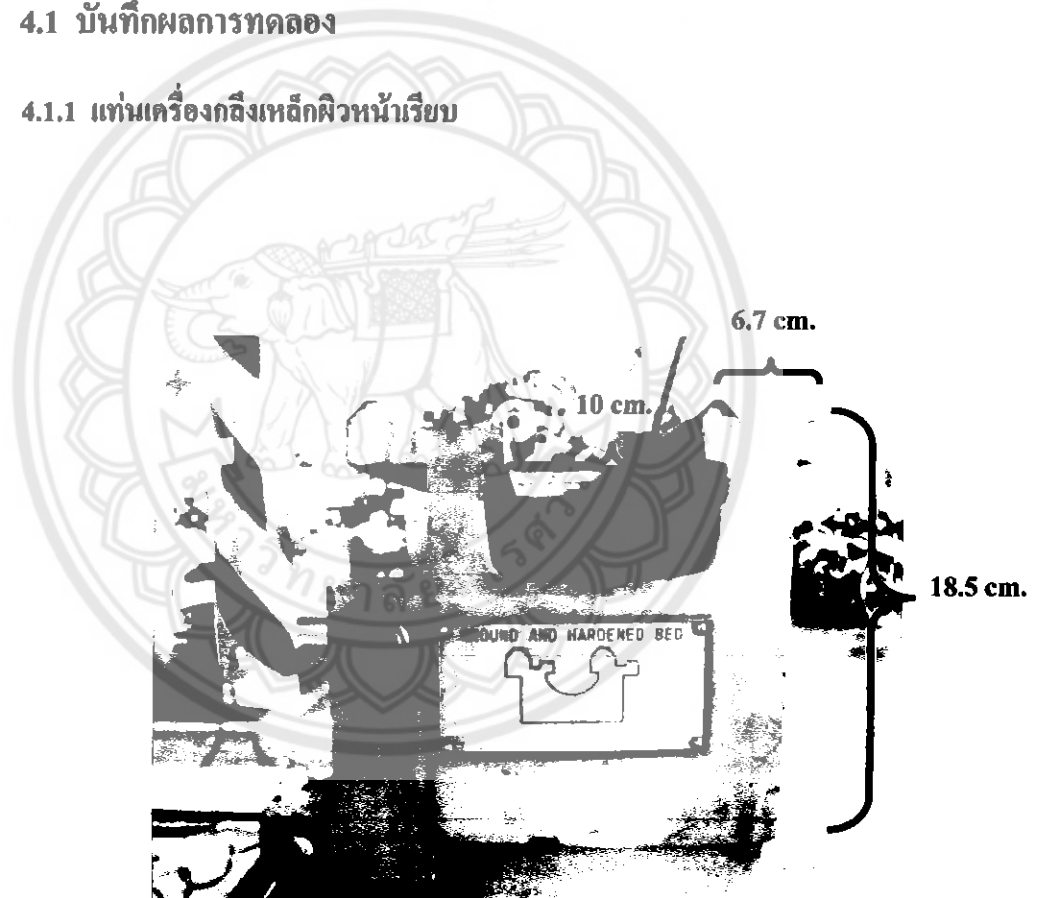
บทที่ 4

บันทึกผลการทดลอง

ในบทที่เราจะดำเนินการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็กตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 และแสดงการเปรียบเทียบการทำงานของแกนเหล็ก

4.1 บันทึกผลการทดลอง

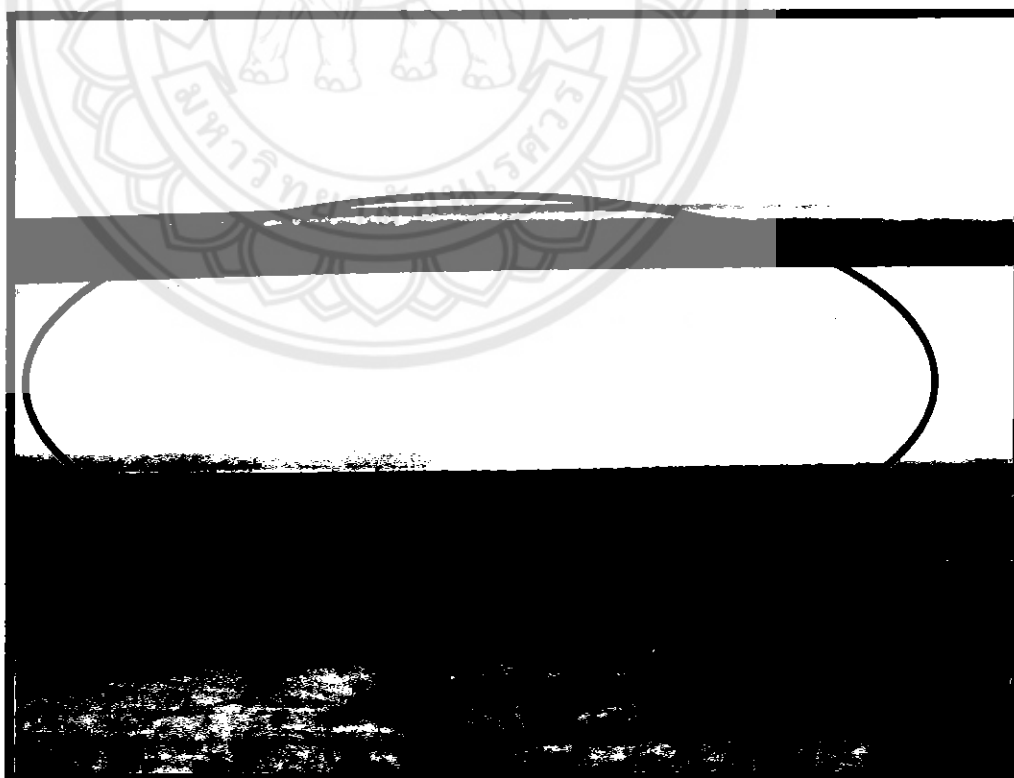
4.1.1 แทนเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ



รูปที่ 4.1 ด้านหน้าแทนเครื่องกลึงเหล็ก



รูปที่ 4.2 แท่นเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ



รูปที่ 4.3 บริเวณที่ทำการทดลองของเครื่องกลึง

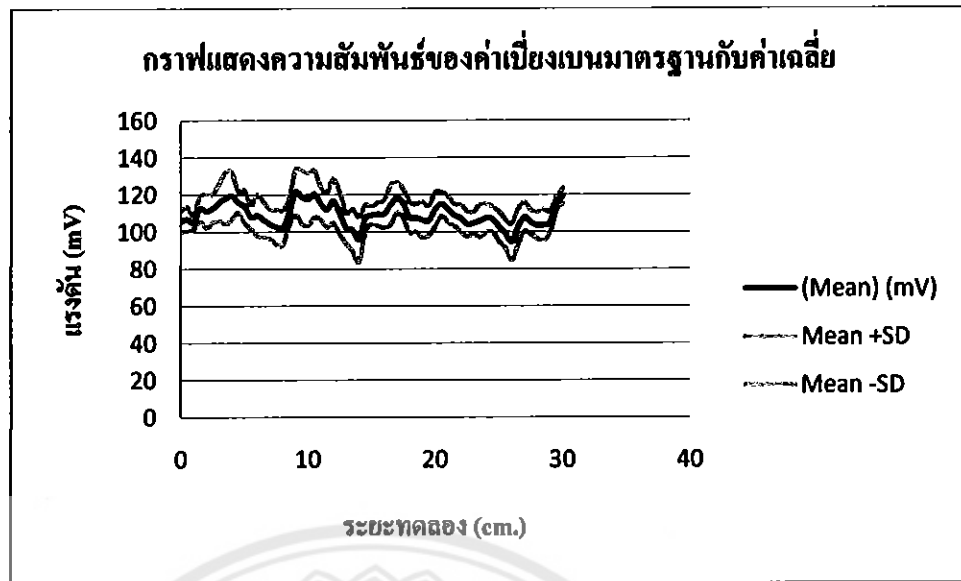
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1 ระยะทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ทำการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (mV)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	99	110	107	105	113	99	102	102	117	103	105.7
0.5	98	100	108	107	111	98	109	105	118	115	106.9
1	102	105	102	106	102	103	112	108	102	112	105.4
1.5	123	122	110	113	101	109	114	116	114	103	112.3
2	102	124	128	112	108	105	99	113	120	102	111.3
2.5	120	116	112	115	123	110	106	104	99	122	112.7
3	126	119	123	115	108	101	123	121	97	127	114.6
3.5	138	111	134	100	102	102	115	129	134	117	115.3
4	129	127	137	102	108	112	116	138	124	102	119.5
4.5	114	123	108	117	112	115	118	126	107	121	116.1
5	111	127	112	109	123	112	103	119	99	123	111.3
5.5	100	110	110	105	121	103	112	108	102	110	108.1
6	96	120	87	110	124	104	115	118	102	114	109.9
6.5	96	95	111	111	114	102	118	113	90	116	105.6
7	94	93	102	100	113	112	119	99	103	108	107.1
7.5	90	87	106	99	116	115	103	104	110	98	101.5
8	90	88	106	97	105	117	99	104	118	99	101.3
8.5	116	109	108	108	118	115	102	103	123	102	110.7
9	117	120	143	112	126	104	121	117	143	111	121.5
9.5	100	133	134	113	128	103	101	112	142	123	118.9
10	105	112	135	123	123	111	98	102	132	136	111.1
10.5	127	104	133	103	134	119	132	132	102	119	120.5
11	108	116	112	95	126	126	123	112	118	118	111.5
11.5	111	128	97	102	115	121	123	102	113	109	110.7
12	129	134	118	112	119	129	116	115	101	94	116.7
12.5	118	134	114	104	117	105	99	113	103	92	109.9
13	116	102	107	94	114	98	87	102	99	102	102.1
13.5	102	98	113	97	112	80	114	87	96	112	101.1
14	75	106	112	98	104	78	97	89	92	110	97.1

รอบ ทดลอง (ปี)	จำนวนครั้งที่ได้รับการทดลอง (ครั้งที่)										รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	102	110	123	103	113	99	115	104	102	102	1097
15	114	112	108	114	117	103	102	106	109	105	1109
15.5	110	114	103	117	114	118	97	109	104	110	1097
16	112	102	103	104	123	117	114	117	103	102	1097
16.5	132	99	121	103	121	104	125	118	104	119	1187
17	128	129	118	113	114	111	126	103	115	127	1187
17.5	125	122	112	117	98	116	117	110	112	122	1157
18	100	103	103	119	98	118	102	111	102	121	1077
18.5	97	105	103	112	103	104	118	121	101	112	1077
19	100	116	127	93	112	104	113	100	98	102	1077
19.5	103	119	112	88	111	109	102	102	111	103	1077
20	100	113	121	97	118	112	128	104	114	115	1117
20.5	121	98	128	103	103	121	120	117	127	112	1157
21	113	108	118	117	103	128	112	112	103	109	1127
21.5	109	110	112	118	104	119	110	103	104	101	1077
22	112	112	97	119	114	102	102	105	97	114	1077
22.5	95	102	98	100	115	99	103	114	103	113	1077
23	102	95	110	99	102	112	103	111	114	99	1077
23.5	94	113	118	104	97	116	99	94	112	112	1077
24	111	118	104	119	105	103	104	93	103	115	1077
24.5	100	115	99	113	104	104	119	110	99	105	1077
25	95	95	94	118	104	104	103	114	95	107	1077
25.5	98	88	88	102	106	107	98	112	97	93	957
26	78	93	103	97	92	97	93	117	88	88	917
26.5	100	106	121	117	93	102	103	102	88	97	1077
27	106	119	128	102	112	97	103	112	98	103	1077
27.5	93	104	104	106	115	103	112	114	99	102	1077
28	94	103	93	110	104	104	118	105	108	97	1077
28.5	97	97	88	108	105	117	103	113	113	95	1077
29	96	110	104	102	107	117	110	105	102	99	1077
29.5	113	117	116	119	108	118	112	119	115	112	1077
30	121	120	119	121	119	129	120	113	117	115	1097

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากเกณฑ์ชั้นที่ 1

105.7	5.71	111.41	99.99	109.6	6.31	115.91	103.29
106.9	6.49	113.39	100.41	109.7	7.40	117.1	102.3
105.4	3.83	109.23	101.57	114.6	10.61	125.21	103.99
112.5	6.77	119.27	105.73	118.4	8.3	126.7	110.1
111.3	8.99	120.29	102.31	115.1	7.88	122.98	107.22
112.7	7.6	120.3	105.1	107.7	8.27	115.97	99.43
116	10.02	126.02	105.98	107.6	7.49	115.09	100.11
118.2	13.88	132.08	104.32	106.5	9.71	116.21	96.79
119.5	12.72	132.22	106.78	106	7.99	113.99	98.01
116.1	5.87	121.97	110.23	112.2	9.05	121.25	103.15
113.8	8.62	122.42	105.18	115	6.5	121.5	108.5
108.1	6.42	114.52	101.68	112.3	7.1	119.4	105.2
109	11.03	120.03	97.97	109	5.85	114.85	103.15
106.6	9.47	116.07	97.13	107.4	7.38	114.78	100.02
104.3	8.07	112.37	96.23	104.2	6.82	111.02	97.38
102.8	9.15	111.95	93.65	104.7	6.08	110.78	98.62
102.3	9.44	111.74	92.86	105.9	8.82	114.72	97.08
110.4	6.92	117.32	103.48	107.5	7.7	115.2	99.8
121.4	12.22	133.62	109.18	106.8	6.72	113.52	100.08
118.9	14.4	133.3	104.5	102.9	7.98	110.88	94.92
117.7	14.26	131.96	103.44	98.9	7.58	106.48	91.32
120.5	12.53	133.03	107.97	94.6	9.79	104.39	84.81
115.4	8.82	124.22	106.58	102.9	9.49	112.39	93.41
112.1	9.5	121.6	102.6	108	7.65	115.65	100.35
116.7	11.81	128.51	104.89	105.2	6.52	111.72	98.68
109.9	11.26	121.16	98.64	103.6	7.2	110.8	96.4
102.1	8.24	110.34	93.86	103.6	8.33	111.93	95.27
101.1	11.15	112.25	89.95	105.2	5.77	110.97	99.43
96.1	12.04	108.14	84.06	114.9	3.42	118.32	111.48
107.3	7.27	114.57	100.03	119.4	4.05	123.45	115.35
109	4.84	113.84	104.16				



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



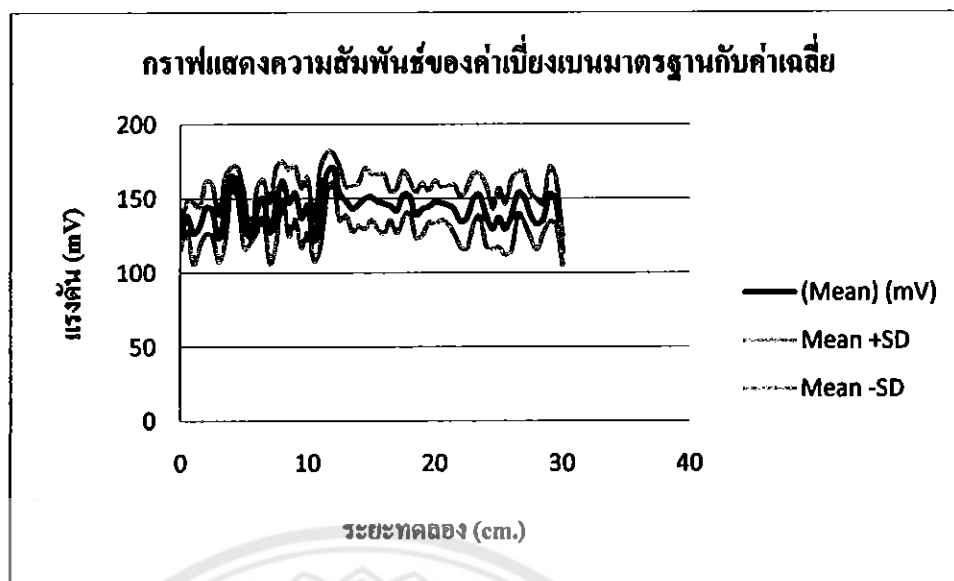
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2
ระยะทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้จากการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	120	123	112	134	125	132	113	122	140	124	124.5
0.5	132	145	154	133	143	124	132	132	132	154	138.1
1	102	97	153	143	104	104	155	132	145	132	116.7
1.5	143	126	113	123	165	98	111	113	154	167	131.3
2	159	154	132	176	145	115	143	158	134	122	140.8
2.5	121	153	165	114	143	154	154	156	115	143	140.8
3	99	123	153	132	114	123	125	143	117	103	121.2
3.5	163	124	104	163	154	154	123	116	156	165	139.5
4	163	165	164	166	173	167	154	165	176	155	160.8
4.5	155	166	163	167	176	145	176	145	151	154	159.8
5	131	132	123	135	145	113	143	104	154	167	135.1
5.5	127	112	124	132	132	119	123	110	134	132	124.8
6	127	114	154	155	154	124	143	154	154	143	142.5
6.5	148	114	144	154	154	165	154	154	154	156	149.2
7	108	125	102	103	132	154	132	115	167	132	123.5
7.5	161	165	105	154	104	165	155	118	164	167	148.8
8	163	167	164	154	172	128	165	166	176	166	160.1
8.5	164	168	161	104	122	125	143	176	147	164	149.2
9	123	167	161	176	143	165	124	145	168	164	150.6
9.5	168	123	103	154	166	145	127	118	132	134	138.5
10	157	154	110	123	176	143	154	154	154	128	145.1
10.5	102	112	114	123	122	112	143	128	112	147	124.8
11	172	113	156	174	166	165	163	115	115	112	143.1
11.5	171	147	180	187	154	168	175	178	165	143	160.8
12	177	165	176	154	176	177	177	184	167	154	167.0
12.5	142	154	134	132	165	176	135	177	177	143	153.8
13	159	157	132	156	143	143	132	154	154	154	148.4
13.5	148	132	145	143	154	123	155	176	134	123	144.5
14	141	145	165	113	134	165	146	143	154	154	146.0

ระยะ กวดอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ทากวากดอง (ครั้งที่)										รวม (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	168	176	124	154	165	154	112	127	156	165	1507
15	145	163	153	167	175	124	143	158	127	154	1509
15.5	139	154	176	143	125	134	176	156	154	122	1499
16	165	130	123	134	165	165	165	111	165	143	1466
16.5	144	143	126	164	143	143	154	137	143	154	1434
17	166	156	156	143	143	154	123	132	123	123	1409
17.5	158	155	134	176	156	123	153	156	176	136	1523
18	131	145	154	147	167	145	142	165	154	165	1508
18.5	142	123	114	143	132	165	153	122	153	143	1409
19	155	156	154	124	165	123	164	132	114	143	1408
19.5	148	158	158	132	123	143	135	145	154	148	1474
20	159	125	152	156	126	154	128	154	154	167	1479
20.5	145	129	143	142	165	143	163	132	152	154	1468
21	155	132	150	143	154	143	154	143	117	165	1480
21.5	152	154	143	149	134	156	165	127	104	143	1408
22	124	158	112	123	111	158	128	132	155	143	1399
22.5	134	115	119	103	154	146	134	176	134	154	1369
23	149	116	154	154	123	153	154	154	165	176	1498
23.5	156	150	155	176	128	165	127	156	155	154	1489
24	120	154	119	103	176	128	148	148	166	123	1382
24.5	122	132	104	121	143	125	147	116	143	143	1386
25	138	103	143	165	154	143	123	114	123	165	1371
25.5	106	117	115	128	129	112	143	156	165	123	1292
26	135	115	104	99	143	156	165	165	143	165	1389
26.5	158	168	145	125	176	145	154	165	154	143	1488
27	152	163	167	165	124	154	123	132	164	167	1481
27.5	126	125	123	167	165	137	134	143	134	132	1386
28	135	112	112	118	139	114	143	145	165	145	1389
28.5	138	127	154	125	121	143	143	134	134	147	1366
29	139	132	123	176	134	154	165	165	164	176	1488
29.5	159	153	134	169	145	165	143	113	148	143	1488
30	106	120	104	114	100	123	132	112	112	122	1152

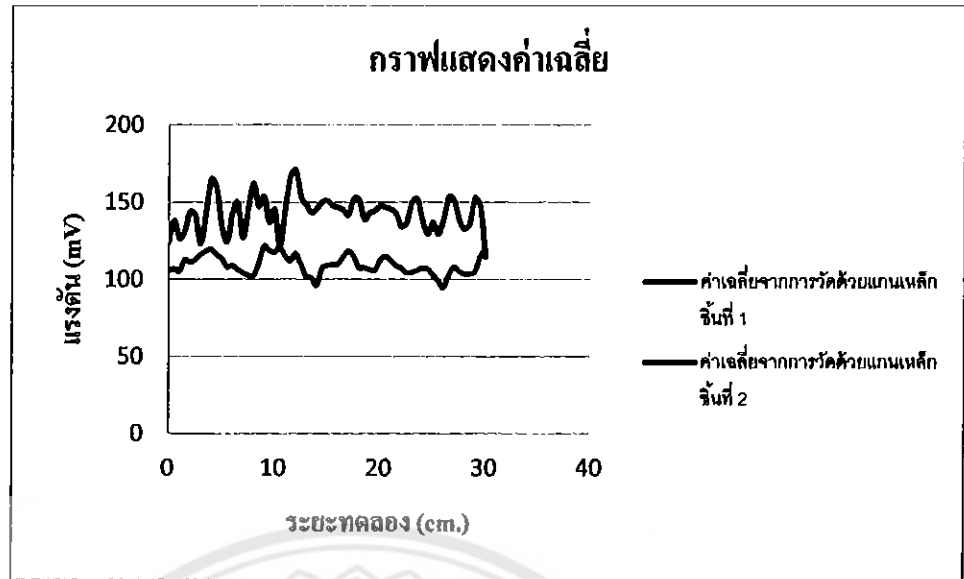
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนหลักชั้นที่ 2

ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	ปีการศึกษา	
124.5	8.39	132.89	116.11		147.9	17.92	165.82	129.98
138.1	9.75	147.85	128.35		146.6	19.91	166.51	126.69
126.7	20.80	147.5	105.9		145.1	9.82	154.92	135.28
131.3	13.48	144.78	117.82		141.9	15.15	157.05	126.75
143.8	17.65	161.45	126.15		152.3	16.28	168.58	136.02
141.8	17.58	159.38	124.22		151.5	11.15	162.65	140.35
123.2	15.74	138.94	107.46		139	15.26	154.26	123.74
142.2	21.68	163.88	120.52		143	17.55	160.55	125.45
164.8	6.43	171.23	158.37		144.4	10.91	155.31	133.49
159.8	10.94	170.74	148.86		147.5	14.42	161.92	133.08
134.7	17.78	152.48	116.92		146.8	11.24	158.04	135.56
124.5	3.91	128.41	120.59		145.6	12.84	158.44	132.76
142.2	14.42	156.62	127.78		142.7	16.58	159.28	126.12
149.7	12.95	162.65	136.75		134.4	17.16	151.56	117.24
127	20.28	147.28	106.72		136.9	20.42	157.32	116.48
145.8	24.67	170.47	121.13		149.8	16.91	166.71	132.89
162.1	12.6	174.7	149.5		152.2	14.15	166.35	138.05
147.4	22.42	169.82	124.98		138.5	20.4	158.9	118.1
153.6	17.83	171.43	135.77		129.6	13.57	143.17	116.03
137	20.00	157	117		137.1	20.02	157.12	117.08
145.3	18.52	163.82	126.78		129.4	17.48	146.88	111.92
121.5	13.65	135.15	107.85		139	24.01	163.01	114.99
145.1	26.02	171.12	119.08		153.3	13.91	167.21	139.39
166.8	14.16	180.96	152.64		151.1	17.04	168.14	134.06
170.7	9.78	180.48	160.92		138.6	14.78	153.38	123.82
153.5	17.80	171.3	135.7		132.8	17.07	149.87	115.73
148.4	9.67	158.07	138.73		136.6	9.89	146.49	126.71
143.3	15.44	158.74	127.86		152.8	18.34	171.14	134.46
146	14.55	160.55	131.45		147.2	15.33	162.53	131.87
150.1	20.41	170.51	129.69		114.5	9.33	123.83	105.17
150.9	15.63	166.53	135.27					



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

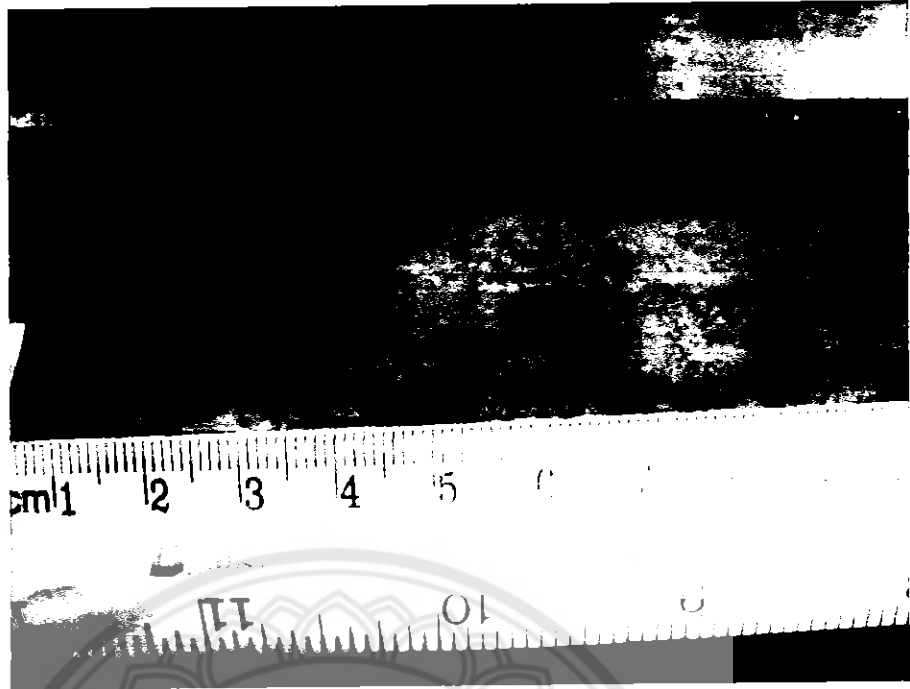




รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องกลึงเหล็กผิวหน้าเรียบ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

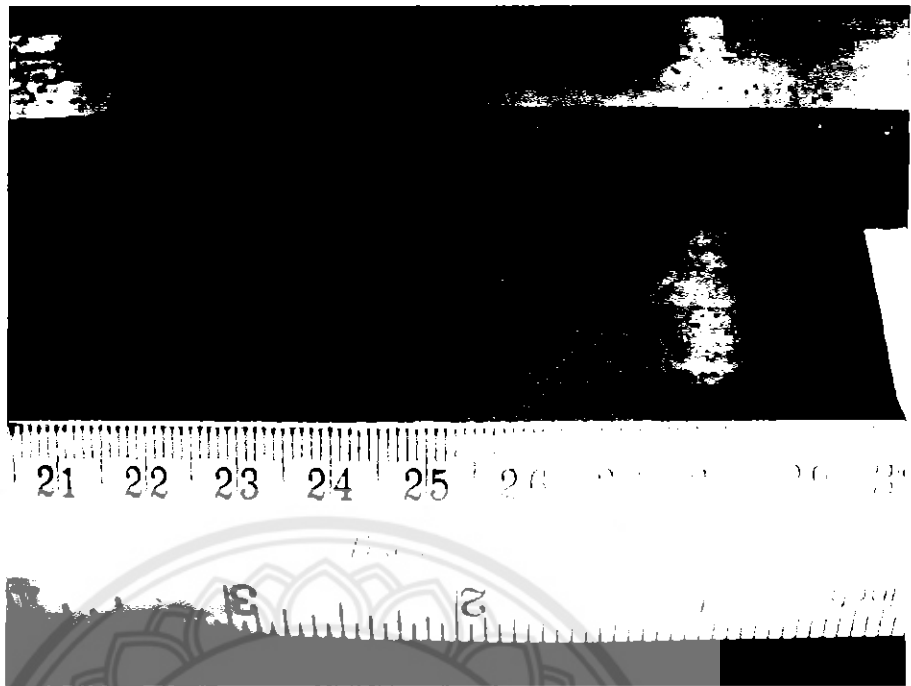
จากกราฟเปรียบเทียบผลการทดลองค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ได้ อยู่ในเกณฑ์ปกติ คือกราฟมีการขึ้นลงที่สม่ำเสมอมีแนวโน้มการขึ้นลงของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน และค่าแรงดันที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักทำให้สามารถสรุปได้ว่า ชิ้นงานมีความปกติ



รูปที่ 4.7 พื้นผิวนบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 - 10 cm.



รูปที่ 4.8 พื้นผิวนบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 - 20 cm.



รูปที่ 4.9 พื้นที่บริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm.



4.1.2 ดั่งแก่ขนาดใหญ่



รูปที่ 4.10 ดั่งแก่ขนาดใหญ่นขนาดสูง 126 cm. เส้นรอบวง 34.5 cm.



รูปที่ 4.11 บริเวณที่ทำการทดลองของดั่งแก่

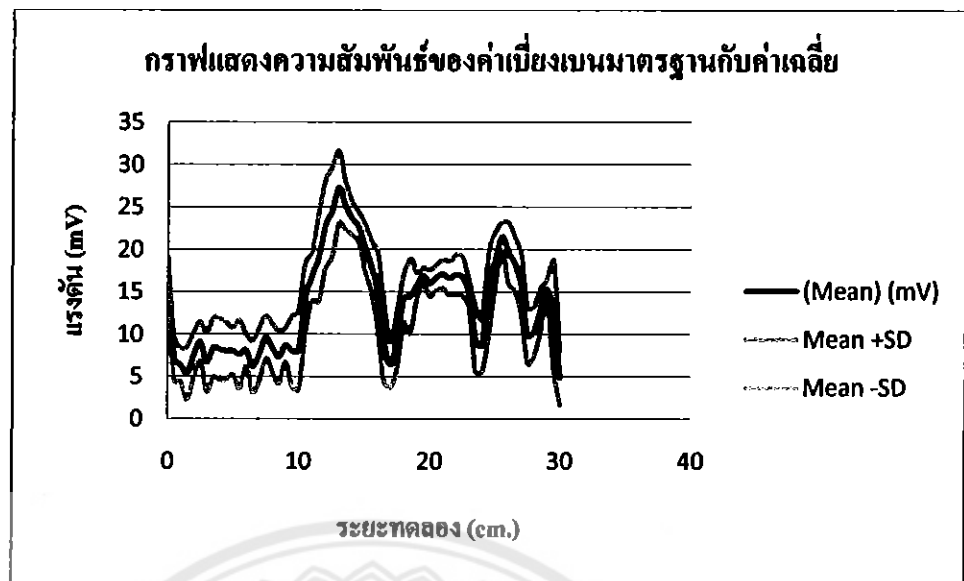
ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลดั่งแก่สขนาคใหญ่โดยใช่แกนเหล็กชั้นที่ 1 ระยะทางการ
ทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ทำการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	17	16	17	18	16	22	15	16	15	18	16.7
0.5	5	5	4	12	6	7	7	9	11	5	7.1
1	6	6	2	5	7	6	8	10	6	8	6.4
1.5	3	9	8	2	2	7	2	6	11	4	5.4
2	9	3	4	7	9	6	6	9	12	10	7.5
2.5	12	7	8	10	12	8	7	8	6	13	9.1
3	7	4	13	3	12	4	5	3	9	7	6.7
3.5	4	12	5	6	3	8	10	12	12	12	8.4
4	7	3	10	1	7	12	9	11	9	13	7.5
4.5	2	9	12	7	7	11	14	6	5	7	7.5
5	9	7	5	11	12	8	11	7	8	2	7.0
5.5	10	3	12	4	5	6	8	12	10	6	7.6
6	6	8	7	7	6	8	9	7	11	12	8.1
6.5	8	5	13	8	3	5	6	2	4	8	6.2
7	4	6	5	3	7	9	11	12	6	13	7.6
7.5	12	13	13	9	12	11	7	6	7	6	9.6
8	10	5	11	8	11	4	9	4	11	11	8.7
8.5	7	12	4	4	6	11	12	8	5	4	7.4
9	10	8	12	7	7	5	7	12	8	11	8.8
9.5	3	12	15	10	2	2	9	8	10	9	7.5
10	6	3	12	2	9	4	5	13	17	10	7.0
10.5	9	17	14	12	15	6	16	17	22	15	10.4
11	12	15	17	15	15	16	17	19	23	19	16.3
11.5	16	12	12	18	17	17	22	26	29	23	19.0
12	17	15	19	19	25	19	29	28	29	29	20.0
12.5	14	18	24	23	25	23	33	29	27	29	23.4
13	15	28	26	27	29	31	32	30	27	28	25.5
13.5	19	22	25	25	25	29	29	27	26	25	25.5
14	25	23	22	22	22	27	26	26	22	22	23.7

ระดับ ความสูง (cm)	จำนวนครั้งที่พบการทดลอง (ครั้ง)										รวม (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	24	21	23	23	20	25	22	21	26	22	220
15	19	18	24	18	17	24	23	19	19	23	207
15.5	17	16	15	16	18	23	24	16	17	19	185
16	4	15	16	14	16	15	21	16	18	18	155
16.5	3	8	14	3	4	9	8	15	16	12	92
17	3	9	10	2	5	2	7	8	9	9	64
17.5	7	14	12	5	8	4	8	9	13	13	94
18	14	15	15	9	10	17	14	12	17	18	141
18.5	7	6	17	12	15	16	18	17	18	19	141
19	13	14	14	17	18	17	16	17	15	16	143
19.5	17	17	16	17	17	18	18	18	16	15	169
20	16	12	17	16	16	19	18	15	15	16	166
20.5	16	14	15	16	17	16	19	18	19	17	166
21	18	16	19	14	19	17	19	16	15	18	171
21.5	13	14	20	17	18	16	16	17	16	19	166
22	15	20	22	18	15	15	17	18	15	15	162
22.5	17	21	21	15	16	17	15	17	14	14	167
23	18	16	16	13	14	14	13	15	13	16	149
23.5	6	7	17	12	3	3	14	11	8	14	98
24	7	4	8	7	8	9	12	16	6	10	87
24.5	16	6	7	22	19	19	12	17	18	12	148
25	20	18	10	21	22	22	19	19	19	19	189
25.5	20	19	19	21	22	23	24	21	24	22	215
26	18	15	22	16	19	14	22	22	25	23	197
26.5	14	16	21	15	18	15	23	21	22	18	183
27	13	12	14	13	12	17	21	17	21	19	189
27.5	9	8	6	9	6	9	8	15	15	14	109
28	13	16	12	11	9	6	7	8	9	12	105
28.5	13	15	15	15	12	10	12	11	8	17	138
29	14	15	13	16	17	15	15	16	16	16	151
29.5	6	5	6	3	18	19	19	11	17	18	142
30	1	2	2	1	5	6	6	6	10	10	69

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนหลักชิ้นที่ 1

17	1.95	18.95	15.05	18.1	2.91	21.01	15.19
7.1	2.59	9.69	4.51	15.3	4.22	19.52	11.08
6.4	2.01	8.41	4.39	9.2	4.69	13.89	4.51
5.4	3.10	8.5	2.3	6.4	2.71	9.11	3.69
7.5	2.65	10.15	4.85	9.3	3.35	12.65	5.95
9.1	2.34	11.44	6.76	14.1	2.84	16.94	11.26
6.7	3.44	10.14	3.26	14.5	4.41	18.91	10.09
8.4	3.47	11.87	4.93	15.7	1.55	17.25	14.15
8.2	3.64	11.84	4.56	16.9	0.94	17.84	15.96
8	3.38	11.38	4.62	16	1.55	17.55	14.45
8	2.80	10.8	5.2	16.7	1.55	18.25	15.15
7.6	4.02	11.62	3.58	17.1	1.7	18.8	15.4
8.1	1.92	10.02	6.18	16.6	2.01	18.61	14.59
6.2	3.03	9.23	3.17	17	2.37	19.37	14.63
7.6	3.11	10.71	4.49	16.7	2.25	18.95	14.45
9.6	2.52	12.12	7.08	14.8	1.6	16.4	13.2
8.4	2.83	11.23	5.57	9.5	3.85	13.35	5.65
7.3	3.13	10.43	4.17	8.7	3.19	11.89	5.51
8.7	2.03	10.73	6.67	14.8	5.07	19.87	9.73
8	4.15	12.15	3.85	18.9	3.24	22.14	15.66
8.1	4.66	12.76	3.44	21.5	1.75	23.25	19.75
14.3	4.24	18.54	10.06	19.6	3.55	23.15	16.05
16.8	2.86	19.66	13.94	18.3	3.1	21.4	15.2
19.2	5.38	24.58	13.82	15.9	3.37	19.27	12.53
22.9	5.34	28.24	17.56	9.9	3.3	13.2	6.6
24.5	5.26	29.76	19.24	10.3	2.9	13.2	7.4
27.3	4.26	31.56	23.04	12.8	2.6	15.4	10.2
25.2	2.87	28.07	22.33	15.3	1.1	16.4	14.2
23.7	1.95	25.65	21.75	12.2	6.30	18.5	5.9
22.7	1.79	24.49	20.91	4.9	3.21	8.11	1.69
20.4	2.61	23.01	17.79				



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



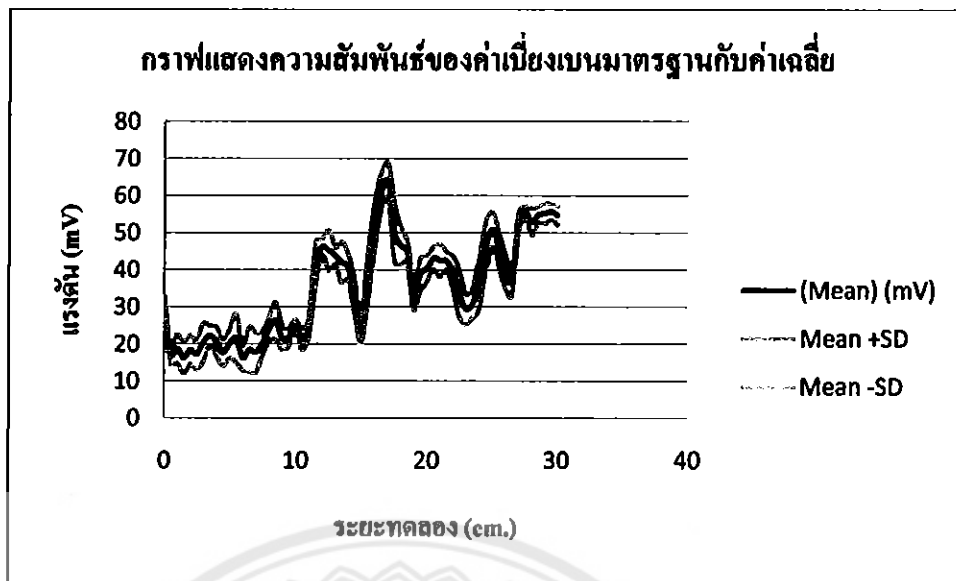
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลดั่งแก่สขนาดใหญ่โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2 ระยะทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้จากการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (V)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	30	32	33	28	31	29	34	32	30	25	30.7
0.5	14	18	16	15	18	16	23	18	16	16	17.7
1	22	14	19	23	23	19	12	14	22	19	18.7
1.5	15	11	22	13	16	22	15	11	15	22	16.9
2	23	16	14	26	16	14	18	16	18	22	18.9
2.5	18	12	15	22	23	15	17	12	23	15	17.9
3	15	18	27	25	18	27	15	18	15	27	20.7
3.5	23	22	21	16	27	23	23	22	23	23	22.7
4	16	21	23	27	21	23	13	21	24	17	20.6
4.5	23	16	15	14	16	15	23	16	23	15	17.6
5	19	17	18	16	17	26	25	17	19	26	20.7
5.5	14	12	24	26	17	24	14	32	28	24	21.7
6	23	13	16	22	13	16	15	13	15	16	16.9
6.5	14	14	19	17	22	34	14	14	14	22	18.9
7	22	12	12	27	12	21	15	12	23	21	17.9
7.5	20	16	24	21	16	24	20	16	20	24	20.1
8	24	22	22	24	24	22	33	22	24	22	24.9
8.5	32	21	29	20	21	27	26	21	33	32	27.9
9	23	19	22	28	15	22	23	19	23	22	21.9
9.5	16	23	24	21	23	24	22	23	22	19	21.9
10	24	26	28	24	26	25	24	26	24	25	24.9
10.5	24	21	19	21	18	19	28	21	23	19	21.9
11	27	25	25	18	25	25	24	25	24	22	24.9
11.5	32	45	46	43	39	47	32	55	32	45	38.6
12	45	47	47	44	46	47	45	52	45	44	46.4
12.5	36	45	49	47	48	55	45	45	46	36	45.9
13	43	42	46	49	42	46	43	42	43	42	43.9
13.5	44	43	46	42	26	43	45	43	45	43	43.9
14	36	44	42	41	44	42	36	44	36	42	40.7

ความ สูง (cm)	จำนวนนักเรียนโดยภาคเรียน (นักเรียน)										รวม (N)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	36	34	34	39	32	34	28	34	22	34	307
15	27	18	24	26	27	22	27	18	27	22	238
15.5	43	34	36	28	34	38	44	34	54	38	385
16	46	65	55	60	52	53	46	55	46	49	507
16.5	55	61	67	62	64	67	54	61	55	67	615
17	68	55	69	63	66	66	63	56	64	69	659
17.5	66	43	54	55	48	54	41	43	41	54	499
18	43	43	53	51	43	53	42	43	41	53	468
18.5	43	42	44	51	42	44	47	47	43	44	461
19	34	33	24	36	36	32	33	33	33	32	326
19.5	33	34	43	45	36	43	43	39	32	39	387
20	44	42	37	46	46	37	39	38	38	37	410
20.5	39	44	46	47	44	46	39	42	39	46	415
21	35	44	44	43	44	48	35	44	40	48	415
21.5	37	43	42	44	41	42	43	43	47	42	415
22	42	42	38	37	37	35	42	44	45	31	399
22.5	33	32	26	44	32	36	34	32	23	43	375
23	24	25	34	32	33	34	27	25	27	34	309
23.5	31	28	35	33	28	35	31	28	23	35	309
24	28	46	38	35	46	38	28	46	28	32	385
24.5	46	47	55	45	42	55	34	47	39	55	465
25	46	53	53	55	53	55	44	53	42	55	519
25.5	55	42	47	43	42	43	46	42	52	43	455
26	43	39	34	33	41	34	43	41	43	46	403
26.5	39	35	36	37	39	32	39	46	34	32	369
27	49	55	54	55	55	49	55	55	54	49	559
27.5	54	55	57	58	55	57	54	55	54	57	558
28	56	53	47	55	53	49	59	53	56	49	519
28.5	53	54	55	55	53	59	53	54	53	59	519
29	58	49	56	53	55	56	58	53	58	56	549
29.5	57	59	55	56	59	52	56	55	53	55	549
30	56	54	58	55	53	55	58	54	55	49	547

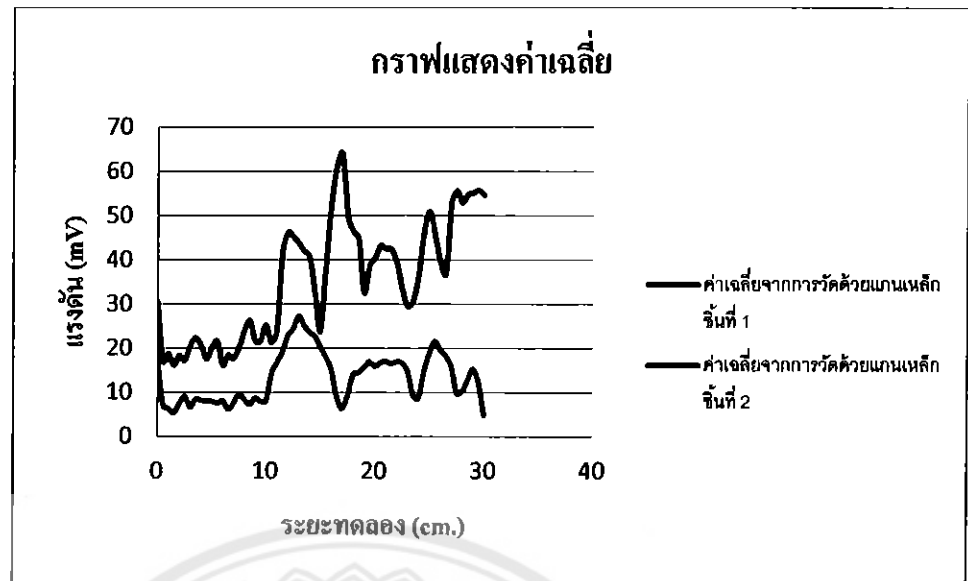
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากเกมเหล็กชั้นที่ 2

ลำดับ	ความถี่	พิสัย	ความถี่	พิสัย	ความถี่	พิสัย	ความถี่	พิสัย
1	30.4	2.5	32.9	27.9	38.3	6.84	45.14	31.46
2	17	2.37	19.37	14.63	52.7	6.08	58.78	46.62
3	18.7	3.85	22.55	14.85	61.3	4.88	66.18	56.42
4	16.2	4.12	20.32	12.08	63.9	4.7	68.6	59.2
5	18.3	3.85	22.15	14.45	49.9	7.7	57.6	42.2
6	17.2	3.99	21.19	13.21	46.5	4.97	51.47	41.53
7	20.5	5.06	25.56	15.44	44.7	2.58	47.28	42.12
8	22.3	2.57	24.87	19.73	32.6	3.17	35.77	29.43
9	20.6	3.95	24.55	16.65	38.7	4.49	43.19	34.21
10	17.6	3.58	21.18	14.02	40.4	3.55	43.95	36.85
11	20	3.82	23.82	16.18	43.2	3.06	46.26	40.14
12	21.5	6.44	27.94	15.06	42.5	4.34	46.84	38.16
13	16.2	3.35	19.55	12.85	42.4	2.37	44.77	40.03
14	18.4	6.07	24.47	12.33	39.3	4.2	43.5	35.1
15	17.7	5.40	23.1	12.3	33.5	6.17	39.67	27.33
16	20.1	3.11	23.21	16.99	29.5	4.03	33.53	25.47
17	23.9	3.18	27.08	20.72	30.7	3.77	34.47	26.93
18	26.2	4.92	31.12	21.28	36.5	7.17	43.67	29.33
19	21.6	3.23	24.83	18.37	46.5	6.73	53.23	39.77
20	21.7	2.37	24.07	19.33	50.9	4.68	55.58	46.22
21	25.2	1.25	26.45	23.95	45.5	4.36	49.86	41.14
22	21.3	2.86	24.16	18.44	39.7	4.31	44.01	35.39
23	24	2.32	26.32	21.68	36.9	3.96	40.86	32.94
24	41.6	5.97	47.57	35.63	53	2.64	55.64	50.36
25	46.2	2.23	48.43	43.97	55.6	1.43	57.03	54.17
26	45.2	5.4	50.6	39.8	53	3.55	56.55	49.45
27	43.8	2.27	46.07	41.53	54.8	2.23	57.03	52.57
28	42	5.46	47.46	36.54	55.2	2.71	57.91	52.49
29	40.7	3.23	43.93	37.47	55.7	2.15	57.85	53.55
30	32.7	4.43	37.13	28.27	54.7	2.45	57.15	52.25
31	23.8	3.26	27.06	20.54				



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

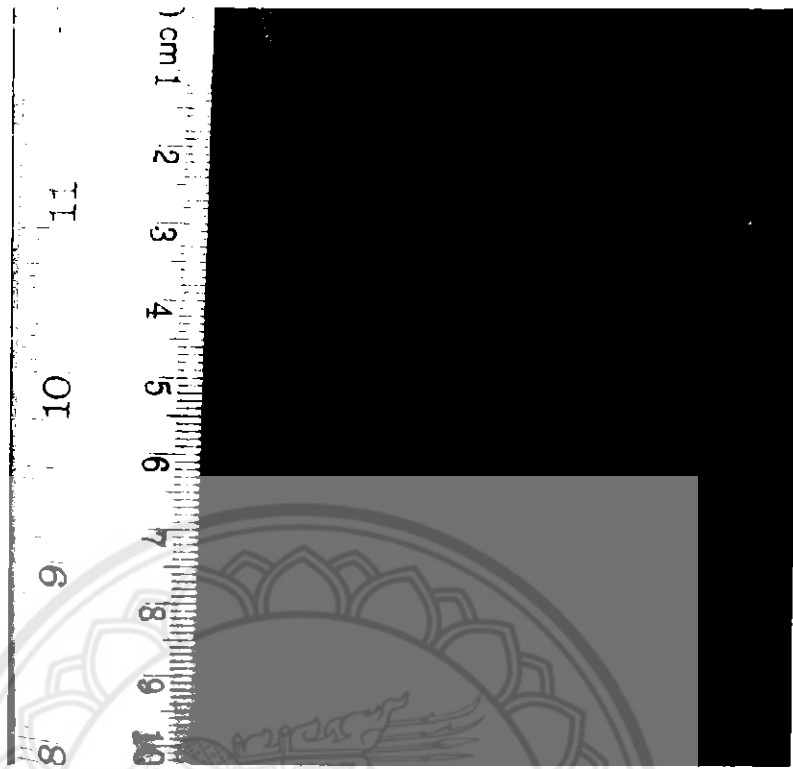




รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของดั่งแก่สขนาดใหญ่

วิเคราะห์ผลการทดลอง

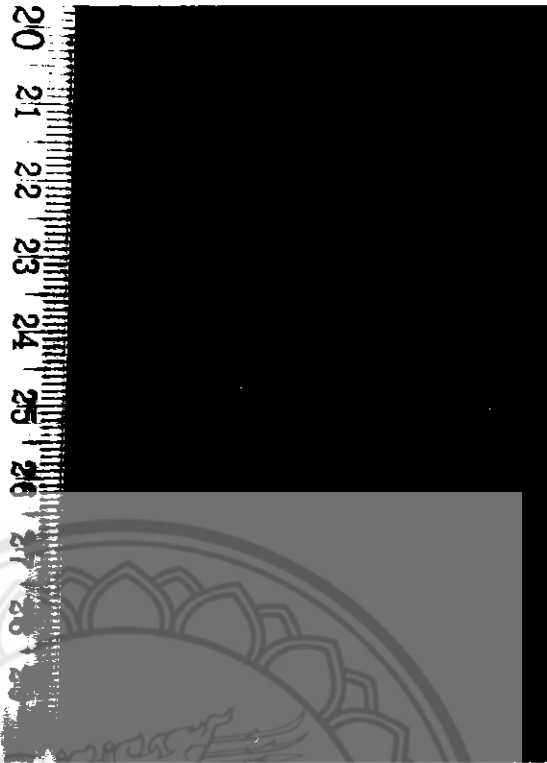
จากกราฟในช่วง 1-10cm ค่าเฉลี่ยของแรงดันเริ่มต้นมีค่าสูงแล้วเริ่มปกติ เนื่องจากช่วง 1cm มีรอยสนิมของเหล็กอยู่ ทำให้ค่าแรงดันที่วัดได้สูง แต่พอเข้าช่วง 10-30cm ค่าเฉลี่ยแรงดันมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างผิดปกติ แนวโน้มแนวการผิดปกติของกราฟมีความผิดปกติเป็นช่วงๆ คือช่วง 10-20cm, ช่วง 20-25cm และช่วง 25-30cm ซึ่งเกิดจากการตรวจสอบที่พื้นผิวเป็นสนิมที่อยู่หลายจุด ทำให้ช่วงกราฟที่ได้มีช่วงความผิดปกติหลายช่วง



รูปที่ 4.15 พื้นที่บริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 - 10 cm.



รูปที่ 4.16 พื้นที่บริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 - 20 cm.



รูปที่ 4.17 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm.



4.1.3 แท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ

แท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ ขนาดยาว 105 cm. สูง 2.8 cm. กว้าง 5.5 cm.



รูปที่ 4.18 แท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ ขนาดยาว 105 cm. สูง 2.8 cm. กว้าง 5.5 cm.



รูปที่ 4.19 บริเวณที่ทำการทดลองของแท่นเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ

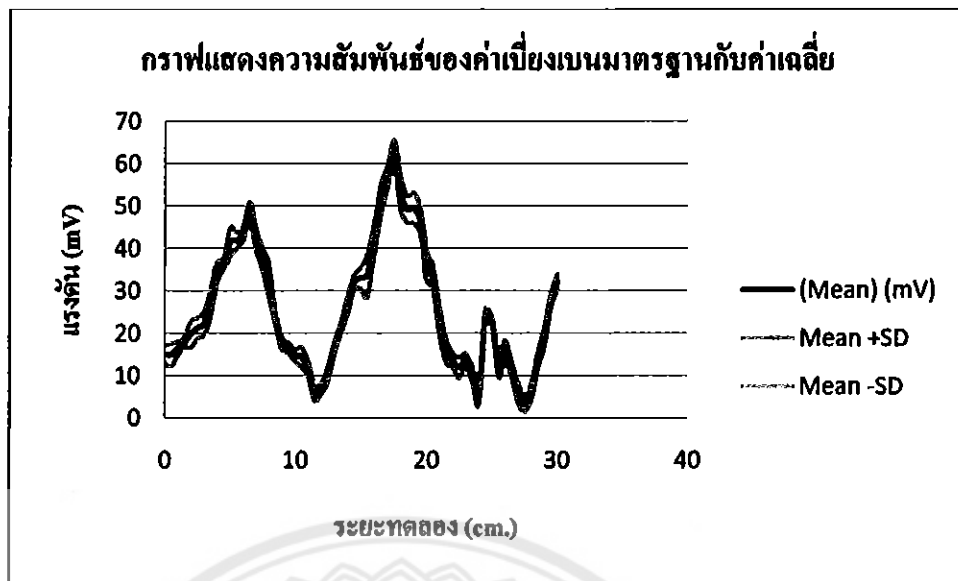
ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1 ระยะ
ทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ทำการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	12	15	17	16	12	17	15	12	17	17	15.5
0.5	17	14	17	17	9	18	14	15	12	16	14.9
1	16	17	18	16	16	20	14	17	14	16	16.7
1.5	19	16	19	19	18	19	17	16	18	17	17.8
2	21	18	17	21	22	22	19	17	22	17	19.6
2.5	19	17	22	23	26	22	19	20	23	21	20.2
3	18	19	23	26	25	24	21	19	25	22	21.6
3.5	22	29	33	27	26	27	29	25	26	23	26.6
4	30	35	36	32	33	35	38	37	34	32	34.6
4.5	35	36	36	35	37	36	39	38	38	35	36.6
5	41	43	38	45	39	37	44	42	48	39	41.6
5.5	43	42	39	44	42	40	45	43	40	41	41.9
6	44	44	42	43	46	42	46	45	42	43	43.6
6.5	45	49	53	49	47	46	49	48	52	47	48.6
7	41	39	42	44	47	43	39	43	40	39	41.6
7.5	37	35	39	35	37	41	35	42	36	37	37.6
8	30	32	34	26	28	39	32	37	33	32	32.6
8.5	23	22	24	22	23	26	24	26	23	22	23.6
9	19	16	18	19	16	18	16	21	17	17	17.6
9.5	19	16	15	17	16	15	16	18	16	17	16.6
10	17	13	14	15	13	14	14	15	16	17	14.6
10.5	19	16	14	12	11	16	12	16	13	14	14.6
11	11	13	11	9	13	15	11	9	12	11	11.6
11.5	5	10	6	6	4	6	4	5	8	5	6.9
12	7	6	7	9	8	5	6	7	8	6	6.9
12.5	8	8	11	12	9	11	13	12	9	10	10.6
13	16	18	17	16	15	19	16	17	16	15	16.6
13.5	22	22	20	21	23	23	22	21	19	20	21.6
14	28	25	28	27	25	26	29	24	25	30	26.6

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ท่ากรรทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (\bar{X})
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	31	29	32	35	32	33	31	31	34	31	31.9
15	29	32	33	36	36	36	34	33	32	29	33.5
15.5	22	26	36	38	34	37	33	37	38	36	36.7
16	44	35	39	42	47	48	41	44	42	43	42.9
16.5	52	46	56	55	53	49	47	54	55	49	51.6
17	56	52	61	60	56	57	58	55	57	58	57.2
17.5	60	59	66	64	64	60	64	58	67	63	62.5
18	46	48	49	54	54	56	52	55	59	54	54.2
18.5	50	50	53	51	44	51	46	46	54	47	50.2
19	52	53	51	48	47	54	46	42	52	50	50.1
19.5	51	47	42	43	44	51	45	46	48	47	48.1
20	36	35	31	34	41	42	35	33	37	34	36.8
20.5	35	32	31	33	35	39	32	31	32	31	33.1
21	22	26	24	21	19	24	19	23	21	30	23.0
21.5	17	13	16	14	23	15	16	14	13	17	16.8
22	16	15	12	12	16	12	15	12	13	13	14.6
22.5	15	15	15	13	11	12	8	11	10	9	13.9
23	16	15	13	12	14	11	15	13	13	14	13.6
23.5	11	11	12	9	12	12	9	12	7	8	10.4
24	9	7	3	10	5	10	5	5	2	4	7.6
24.5	21	24	21	28	22	26	22	24	27	26	24.0
25	22	21	22	23	25	22	24	23	21	22	22.5
25.5	12	14	15	12	10	12	8	9	16	14	13.7
26	19	10	16	18	15	18	14	16	14	18	15.8
26.5	10	10	13	12	15	12	11	10	11	9	11.5
27	8	5	3	2	5	9	9	7	4	6	6.8
27.5	2	1	4	5	1	4	6	4	5	1	3.9
28	7	7	8	3	5	8	5	9	5	6	6.8
28.5	13	15	17	13	15	11	14	12	11	15	13.6
29	18	23	22	17	21	19	18	16	17	19	19.0
29.5	25	29	30	26	29	29	27	25	28	28	27.6
30	31	30	31	33	34	32	35	31	30	34	32.1

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากเกณฑ์ขั้นต่ำที่ 1

15	2.1	17.1	12.9	33.7	5.16	38.86	28.54
14.9	2.62	17.52	12.28	42.5	3.52	46.02	38.98
16.4	1.68	18.08	14.72	51.6	3.41	55.01	48.19
17.8	1.14	18.94	16.66	57	2.41	59.41	54.59
19.6	3.11	22.71	16.49	62.5	2.91	65.41	59.59
21.2	2.42	23.62	18.78	52.7	3.77	56.47	48.93
22.2	2.71	24.91	19.49	49.2	3.12	52.32	46.08
26.7	3.00	29.7	23.7	49.5	3.53	53.03	45.97
34.2	2.34	36.54	31.86	46.4	2.90	49.3	43.5
36.5	1.36	37.86	35.14	35.8	3.25	39.05	32.55
41.6	3.29	44.89	38.31	33.1	2.43	35.53	30.67
41.9	1.81	43.71	40.09	22.9	3.18	26.08	19.72
43.7	1.49	45.19	42.21	15.8	2.78	18.58	13.02
48.5	2.38	50.88	46.12	13.6	1.62	15.22	11.98
41.7	2.49	44.19	39.21	11.9	2.45	14.35	9.45
37.4	2.40	39.8	35	13.6	1.43	15.03	12.17
32.3	3.66	35.96	28.64	10.3	1.79	12.09	8.51
23.5	1.43	24.93	22.07	6	2.72	8.72	3.28
17.7	1.55	19.25	16.15	24.1	1.43	25.53	22.67
16.5	1.19	17.69	15.31	22.5	1.11	23.61	21.39
14.8	1.4	16.2	13.4	12.2	2.48	14.68	9.72
14.3	2.32	16.62	11.98	15.8	2.5	18.3	13.3
11.5	1.75	13.25	9.75	11.3	1.68	12.98	9.62
5.9	1.76	7.66	4.14	5.8	2.31	8.11	3.49
6.9	1.19	8.09	5.71	3.3	1.79	5.09	1.51
10.3	1.68	11.98	8.62	6.3	1.73	8.03	4.57
16.5	1.20	17.7	15.3	13.6	1.85	15.45	11.75
21.3	1.27	22.57	20.03	19	2.19	21.19	16.81
26.7	1.9	28.6	24.8	27.6	1.68	29.28	25.92
31.9	1.64	33.54	30.26	32.1	1.7	33.8	30.4
33	2.49	35.49	30.51				



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



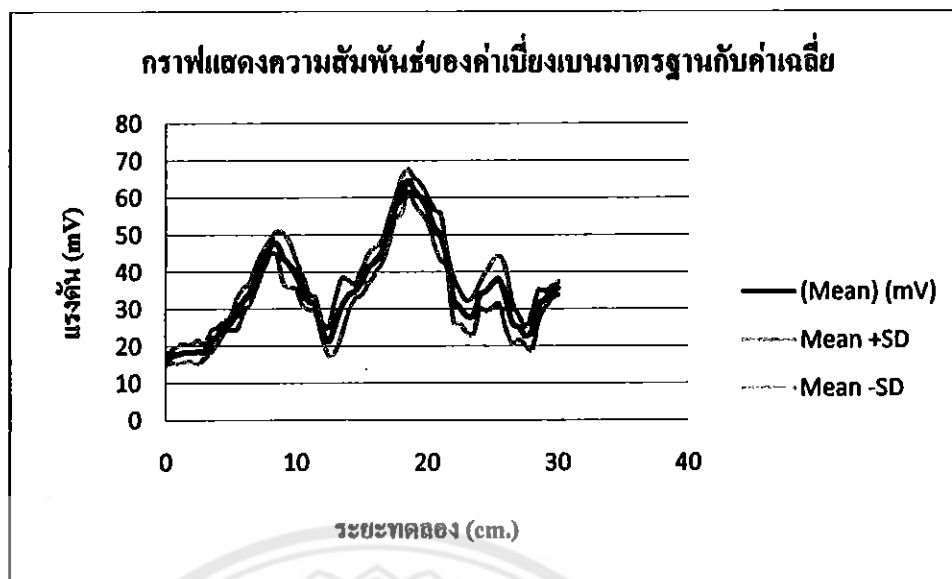
ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกัดผิวหน้าเรียบ โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2 ระยะ
ทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้จากการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (ค่า)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	18	15	14	16	18	16	15	17	18	16	16.3
0.5	17	16	18	17	14	19	18	21	17	16	17.1
1	16	17	19	16	17	15	15	22	22	19	17.5
1.5	17	16	21	13	16	19	22	17	21	21	18.5
2	18	17	17	17	18	14	21	18	23	19	18.2
2.5	16	18	15	19	15	16	19	19	25	23	18.8
3	16	19	16	20	19	17	21	20	21	17	18.6
3.5	23	23	17	24	20	21	24	17	25	19	21.0
4	25	24	22	23	21	22	25	19	27	22	23.0
4.5	25	26	26	27	23	26	23	24	28	24	25.0
5	29	28	27	28	25	25	24	23	28	26	26.5
5.5	32	24	26	30	26	23	31	33	37	27	28.0
6	35	26	27	32	32	34	35	36	35	32	30.0
6.5	36	29	31	37	36	35	33	39	36	34	31.6
7	41	33	37	43	38	37	41	38	42	44	37.9
7.5	42	38	43	44	44	41	45	43	48	46	41.5
8	46	42	48	48	49	46	46	48	46	49	45.3
8.5	42	45	49	52	46	47	48	48	46	54	47.5
9	38	36	42	51	45	43	49	51	32	52	43.5
9.5	35	32	41	48	47	43	41	49	34	48	40.5
10	36	34	37	42	46	42	39	43	35	38	38.0
10.5	34	33	39	35	35	32	38	44	29	33	35.0
11	32	31	37	31	34	33	32	32	26	32	32.0
11.5	32	30	32	29	35	29	33	33	29	29	31.1
12	25	21	27	22	24	25	28	25	22	26	25.0
12.5	29	22	22	16	21	26	19	23	17	18	22.0
13	35	28	25	15	34	27	25	34	19	15	24.0
13.5	38	34	28	19	37	35	34	35	33	15	30.0
14	30	33	32	28	36	39	37	38	37	27	32.9

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ทำการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (mV)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	34	36	38	33	34	34	39	32	35	33	35.5
15	41	37	38	36	38	37	34	33	45	34	37.5
15.5	47	41	41	42	39	42	36	39	48	34	40.9
16	42	39	43	44	45	43	42	36	45	51	43
16.5	45	42	48	43	43	46	49	42	46	51	48.3
17	49	47	49	47	48	52	49	54	56	55	50.6
17.5	53	55	59	55	56	59	53	57	59	62	56.8
18	57	57	62	66	55	64	57	66	55	67	60.6
18.5	62	67	64	68	59	64	67	69	62	63	61.2
19	59	62	59	62	59	61	66	70	58	62	61.8
19.5	62	63	55	63	55	61	67	56	57	59	59.5
20	57	58	52	59	51	58	61	62	55	54	56
20.5	54	53	52	54	49	52	53	63	48	44	52.2
21	49	48	46	55	44	51	54	62	44	40	49.3
21.5	45	44	42	44	39	43	43	43	45	41	41.9
22	31	32	28	26	28	39	42	33	25	42	33.6
22.5	33	33	29	34	27	32	39	22	22	32	30.8
23	37	28	22	26	26	32	32	27	23	27	28.5
23.5	30	21	26	24	25	33	22	34	32	36	28.2
24	35	33	33	32	30	31	29	42	34	36	33.8
24.5	31	29	32	34	35	29	32	46	42	38	35.3
25	26	30	34	32	36	36	44	42	45	44	36.9
25.5	25	25	32	35	44	44	43	41	44	45	36.9
26	22	21	29	25	36	42	46	34	35	34	33.4
26.5	21	19	21	22	27	32	33	22	33	31	26.1
27	23	22	23	26	26	24	24	24	34	24	24.4
27.5	21	24	24	26	22	24	21	26	17	22	22.4
28	20	25	26	27	24	34	19	29	15	23	21.5
28.5	29	32	32	33	31	35	26	36	22	34	31.1
29	30	34	33	32	35	33	28	36	31	34	31.6
29.5	34	37	35	34	33	36	32	37	32	35	34.1
30	34	38	37	35	37	37	32	37	32	37	35.6

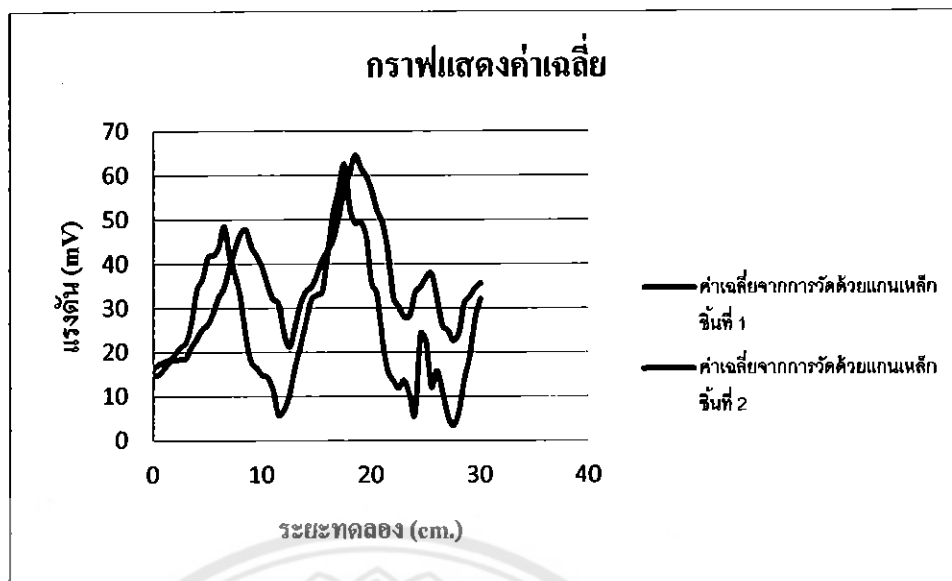
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2

ลำดับ	ความสูง	ความยาว	ความหนา	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่
	16.3	1.34	17.64	14.96		40.9	4.11	45.01	36.79
	17.3	1.79	19.09	15.51		43	3.74	46.74	39.26
	17.8	2.48	20.28	15.32		45.5	2.94	48.44	42.56
	18.3	2.54	20.84	15.76		50.6	3.2	53.8	47.4
	18.2	2.31	20.51	15.89		56.8	2.78	59.58	54.02
	18.5	3.17	21.67	15.33		60.6	4.63	65.23	55.97
	18.6	1.85	20.45	16.75		64.5	3.01	67.51	61.49
	21.3	2.79	24.09	18.51		61.8	3.51	65.31	58.29
	23	2.19	25.19	20.81		59.8	3.84	63.64	55.96
	25.2	1.6	26.8	23.6		56.7	3.46	60.16	53.24
	26.3	1.89	28.19	24.41		52.2	4.69	56.89	47.51
	28.9	4.20	33.1	24.7		49.3	6.12	55.42	43.18
	32.4	3.26	35.66	29.14		42.9	1.76	44.66	41.14
	34.6	2.83	37.43	31.77		32.6	6.04	38.64	26.56
	39.4	3.2	42.6	36.2		30.3	4.37	34.67	25.93
	43.4	2.61	46.01	40.79		28	4.29	32.29	23.71
	46.8	1.86	48.66	44.94		28.3	5.08	33.38	23.22
	47.7	3.26	50.96	44.44		33.5	3.53	37.03	29.97
	43.9	6.61	50.51	37.29		34.8	5.34	40.14	29.46
	41.8	6.01	47.81	35.79		36.9	6.43	43.33	30.47
	39.2	3.71	42.91	35.49		37.8	6.40	44.2	31.4
	35.2	3.99	39.19	31.21		32.4	7.79	40.19	24.61
	32	2.16	34.16	29.84		26.1	5.39	31.49	20.71
	31.1	1.98	33.08	29.12		25	3.22	28.22	21.78
	24.5	2.16	26.66	22.34		22.7	2.57	25.27	20.13
	21.3	3.85	25.15	17.45		24.2	5.11	29.31	19.09
	25.7	7.11	32.81	18.59		31	4.07	35.07	26.93
	30.8	7.42	38.22	23.38		32.6	2.29	34.89	30.31
	33.7	4.1	37.8	29.6		34.5	1.75	36.25	32.75
	34.8	2.13	36.93	32.67		35.6	1.77	37.37	33.83
	37.3	3.41	40.71	33.89					



รูปที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

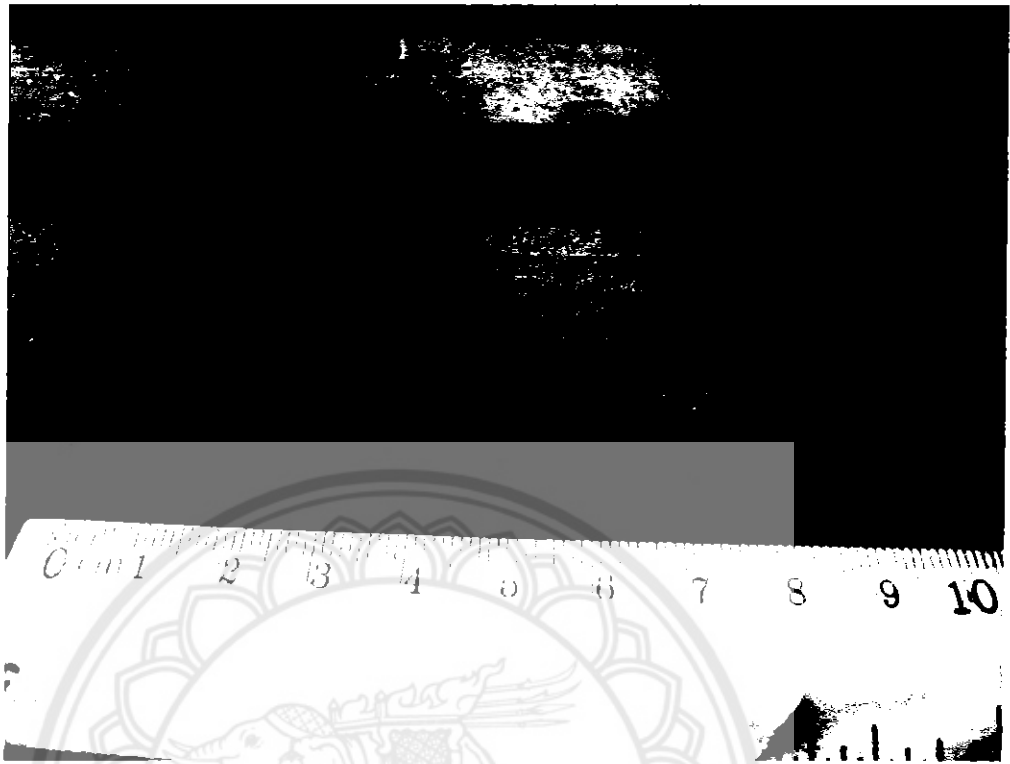




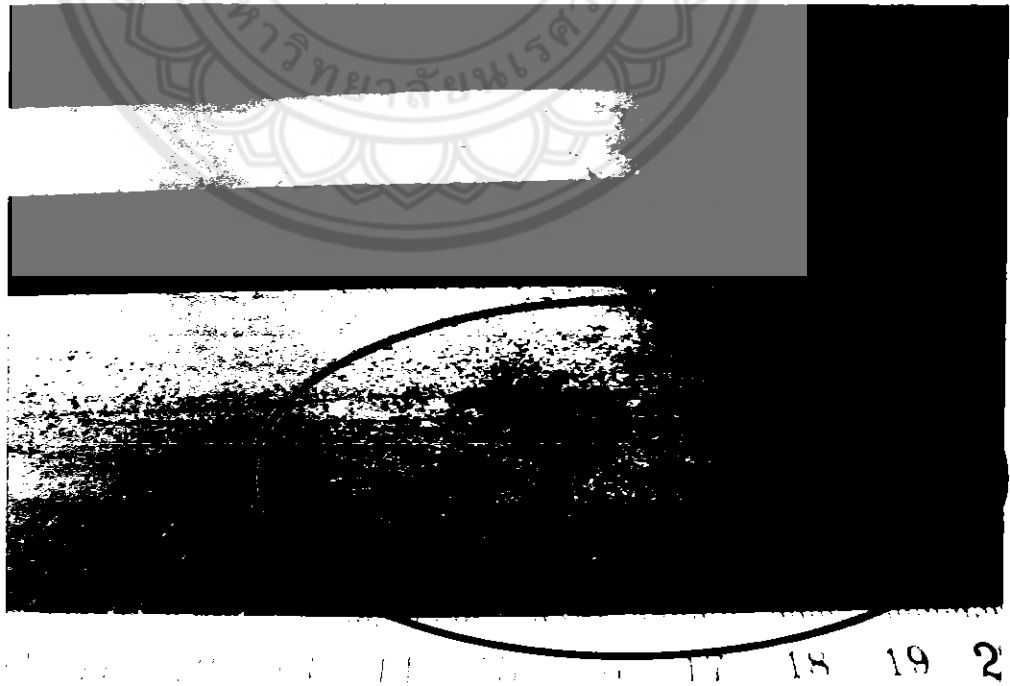
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของถังเก็บขนาดใหญ่

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟค่าเฉลี่ยแรงดันที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่า กราฟมีความผิดปกติ ในช่วง 1-10cm และช่วง 10-25cm ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบที่ชิ้นงาน จะพบว่าพื้นผิวบริเวณ 4 cm มีรอยหลุมอยู่ ในบริเวณ 18 -22 cm ก็จะมีรอยหลุมกระจายอยู่เป็นกลุ่มใหญ่ และในบริเวณ 25 - 30cm กราฟที่ได้มีแนวโน้มจะผิดปกติ เมื่อทำการตรวจสอบ พบรอยขีดบริเวณ



รูปที่ 4.23 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 - 10 cm.



รูปที่ 4.24 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 - 20 cm.

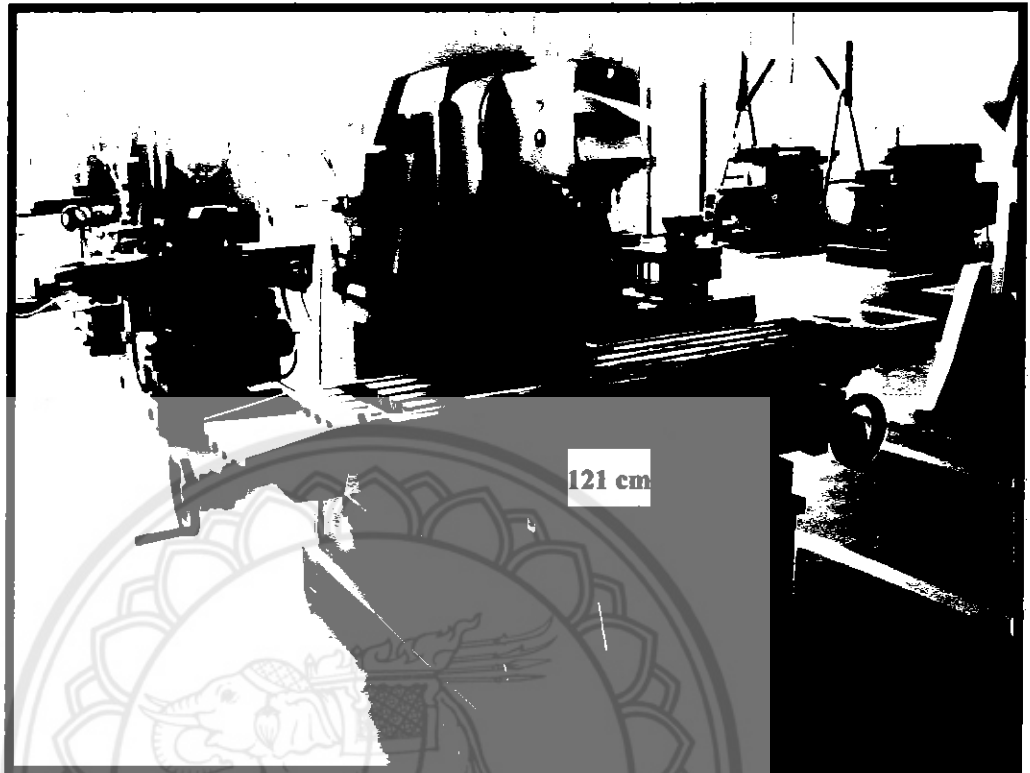


รูปที่ 4.25 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลอง 20 - 30 cm.

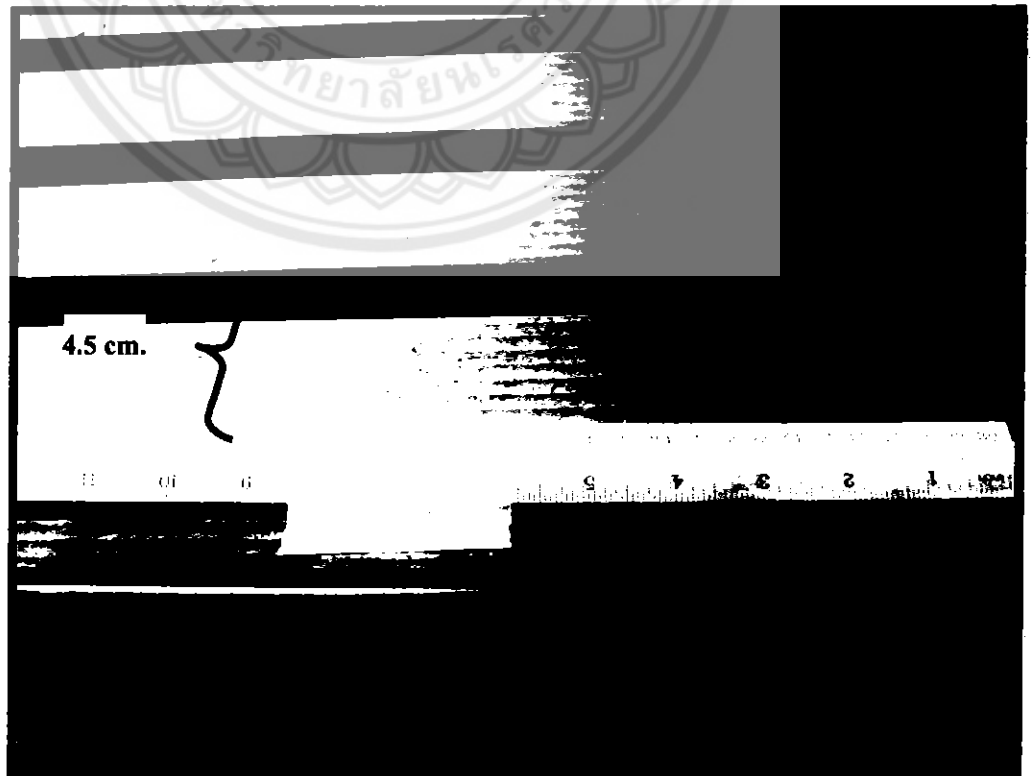


รูปที่ 4.26 บริเวณที่มีการรั่วของสนามแม่เหล็ก

4.1.4 แท่นเครื่องกัก



รูปที่ 4.27 แท่นเครื่องกัก ขนาดยาว 121 cm. สูง 3 cm. กว้าง 4.5 cm



รูปที่ 4.28 บริเวณที่ทำการทดลองของแท่นเครื่องกัก

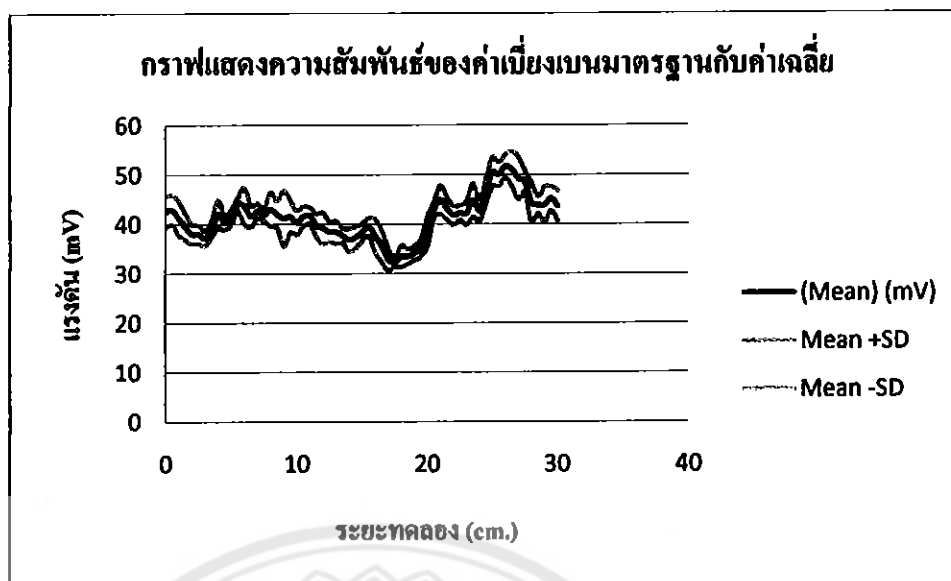
ตารางที่ 4.13 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกัดโดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1 ระยะทางการ
ทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ผลตรงตามต้องการ (%)										ค่าเฉลี่ย (ค่า %)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	45	48	37	42	45	41	41	39	42	45	41.5
0.5	44	48	39	41	44	42	42	38	44	47	41.9
1	39	50	40	38	40	41	39	41	40	45	41.3
1.5	40	47	38	38	40	39	37	38	39	39	40.7
2	37	36	37	40	43	37	38	37	37	38	38.5
2.5	35	39	39	39	41	35	40	37	37	38	38.5
3	35	37	37	37	40	40	38	38	35	35	37.5
3.5	41	38	39	40	41	39	39	40	35	39	39.1
4	41	41	43	39	49	43	41	43	42	38	41.3
4.5	42	40	42	38	38	41	39	41	41	42	40.1
5	46	42	41	42	41	40	41	41	41	40	41.5
5.5	47	45	45	44	43	43	43	45	43	43	44.1
6	49	46	45	39	37	43	40	47	45	46	43.8
6.5	45	37	41	42	38	43	41	41	41	43	41.6
7	47	42	43	42	37	44	43	41	43	45	42.5
7.5	41	43	42	42	39	41	43	42	40	41	41.6
8	48	49	43	43	39	45	44	40	39	40	43.5
8.5	49	39	43	41	39	41	42	43	43	40	42.9
9	49	26	42	42	39	41	39	40	41	39	41.2
9.5	47	46	42	39	35	43	40	42	42	40	40.6
10	42	46	37	40	38	40	41	39	39	41	40.3
10.5	41	41	40	46	42	41	45	40	40	40	41.6
11	44	43	41	44	39	39	42	42	41	42	41.7
11.5	45	43	38	40	36	39	39	40	39	39	40.8
12	42	45	36	39	34	41	42	38	37	38	39.5
12.5	37	43	38	37	35	39	38	39	39	40	38.8
13	36	41	39	36	34	38	38	41	40	41	38.4
13.5	35	39	37	38	35	39	40	38	38	38	37.7
14	36	39	38	34	34	40	35	34	39	39	36.8

ระยะ ทิศทาง (อน)	จำนวนครั้งที่ได้ค่าภายในสอง (ครั้ง)										ค่า (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	35	40	38	37	36	39	34	35	40	40	37.1
15	38	39	39	40	38	35	38	37	39	41	38.1
15.5	38	40	41	38	35	40	39	40	41	42	39.1
16	39	43	38	30	36	39	34	38	39	40	37.6
16.5	36	41	35	32	34	37	32	35	34	39	36.5
17	32	38	32	30	30	34	30	33	34	35	32.5
17.5	30	33	32	32	33	34	32	32	33	33	32.5
18	31	30	33	35	31	33	36	35	37	34	33.5
18.5	32	34	35	33	30	35	34	34	35	33	33.5
19	31	35	34	34	32	36	35	35	36	34	34.5
19.5	32	34	35	36	37	36	33	37	38	35	35.5
20	36	34	40	39	44	41	36	38	40	38	37.6
20.5	42	40	44	44	45	45	40	42	43	44	42.9
21	42	40	48	43	46	49	41	47	46	47	43.9
21.5	43	43	44	39	44	44	39	44	45	46	43.5
22	39	45	42	40	42	43	40	41	41	45	41.8
22.5	42	40	43	42	46	42	42	41	42	43	42.5
23	46	41	43	37	44	42	40	43	42	44	43.5
23.5	43	44	49	38	42	45	43	47	49	48	44.5
24	43	41	40	44	48	41	44	43	42	42	43.5
24.5	48	41	48	48	49	49	46	47	44	45	46.5
25	55	46	52	49	50	53	45	52	52	51	50.5
25.5	53	51	50	48	47	51	46	51	50	54	50.1
26	51	50	53	50	47	56	51	52	54	53	51.5
26.5	53	49	50	44	48	54	53	50	55	56	51.1
27	50	43	51	49	39	55	50	50	55	51	49.8
27.5	51	43	49	48	47	51	49	49	49	50	48.6
28	49	34	42	48	45	45	48	44	44	45	45.1
28.5	47	42	43	47	44	43	45	43	42	43	45.9
29	51	38	41	45	48	42	46	42	44	42	45.9
29.5	46	48	44	46	50	43	47	43	42	43	45.9
30	45	41	43	44	51	41	45	45	39	43	44.5

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 1

42.5	3.11	45.61	39.39	39.4	1.91	41.31	37.49
42.9	3.01	45.91	39.89	37.6	3.38	40.98	34.22
41.3	3.41	44.71	37.89	35.5	3.14	38.64	32.36
39.5	2.65	42.15	36.85	32.8	2.14	34.94	30.66
38	1.95	39.95	36.05	32.4	1.02	33.42	31.38
38	1.9	39.9	36.1	33.5	2.20	35.7	31.3
37.2	1.52	38.72	35.68	33.5	1.5	35	32
39.1	1.64	40.74	37.46	34.2	1.54	35.74	32.66
42	2.83	44.83	39.17	35.3	1.76	37.06	33.54
40.4	1.5	41.9	38.9	38.6	2.98	41.58	35.62
41.5	1.56	43.06	39.94	42.9	1.63	44.53	41.27
44.1	1.3	45.4	42.8	44.9	2.91	47.81	41.99
43.7	3.66	47.36	40.04	43.1	2.21	45.31	40.89
41.6	2.26	43.86	39.34	41.8	1.94	43.74	39.86
42.7	1.49	44.19	41.21	42.3	1.49	43.79	40.81
42	1.34	43.34	40.66	42.2	2.35	44.55	39.85
43	3.41	46.41	39.59	44.8	3.34	48.14	41.46
42	2.76	44.76	39.24	42.8	2.13	44.93	40.67
41.2	5.56	46.76	35.64	46.5	2.42	48.92	44.08
41.6	3.26	44.86	38.34	50.5	2.94	53.44	47.56
40.3	2.37	42.67	37.93	50.1	2.38	52.48	47.72
41.6	2.06	43.66	39.54	51.7	2.37	54.07	49.33
41.7	1.67	43.37	40.03	51.2	3.49	54.69	47.71
39.8	2.4	42.2	37.4	49.3	4.31	53.61	44.99
39.2	3.12	42.32	36.08	48.6	2.2	50.8	46.4
38.5	2.01	40.51	36.49	44.4	4.13	48.53	40.27
38.4	2.33	40.73	36.07	43.9	1.76	45.66	42.14
37.7	1.55	39.25	36.15	43.9	3.56	47.46	40.34
36.8	2.31	39.11	34.49	45.2	2.48	47.68	42.72
37.4	2.2	39.6	35.2	43.7	3.1	46.8	40.6
38.4	1.71	40.11	36.69				



รูปที่ 4.29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



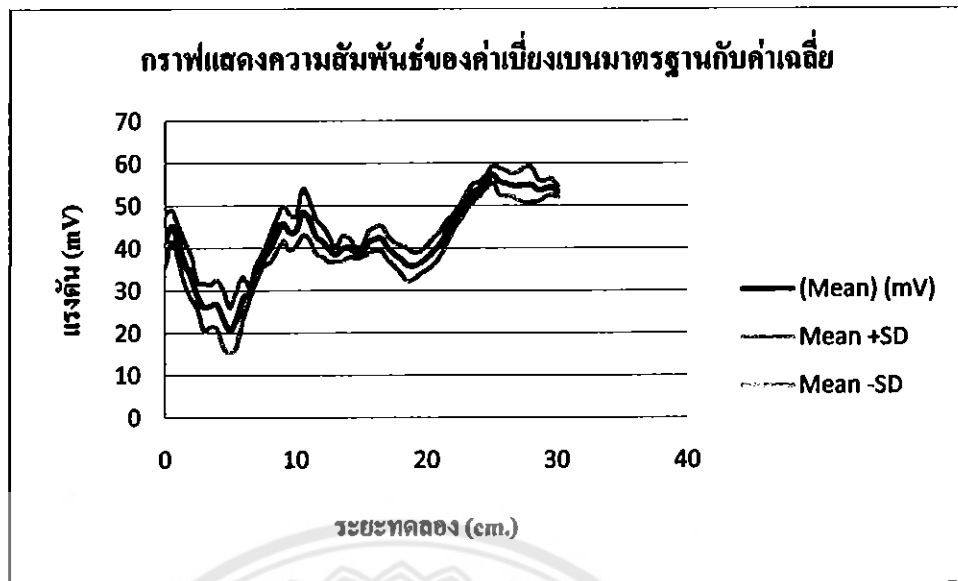
ตารางที่ 4.15 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องกัดโดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2 ระยะทางการ
ทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะทาง (cm)	จำนวนครั้งที่ใช้สกรูทดลองต่างๆ										ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	53	43	38	32	40	41	35	40	50	46	40.2
0.5	47	44	41	49	42	51	45	39	49	45	43.5
1	46	35	43	42	35	45	42	41	46	38	40.5
1.5	41	30	37	36	29	44	34	38	43	36	36.5
2	34	33	28	28	31	43	28	36	36	35	33.5
2.5	33	28	23	27	30	30	26	28	34	29	28.5
3	34	17	23	31	20	24	30	26	34	23	26.5
3.5	35	26	25	22	25	20	23	25	36	27	26.5
4	35	27	23	17	28	27	23	22	37	28	26.5
4.5	32	25	20	11	24	25	16	19	34	28	23.7
5	28	19	18	14	22	18	15	18	32	23	20.5
5.5	37	17	22	23	19	19	22	20	35	20	23.5
6	37	26	27	29	24	25	28	24	38	24	28.5
6.5	30	30	30	28	31	26	30	29	32	29	29.5
7	34	37	33	33	35	31	33	33	38	35	33.5
7.5	38	39	36	36	37	38	36	34	40	39	37.5
8	45	42	36	38	40	39	37	35	44	41	39.5
8.5	46	47	38	44	43	44	40	35	47	45	42.0
9	52	46	42	46	43	46	44	39	53	47	46.5
9.5	51	44	40	42	42	41	40	40	52	46	45.5
10	50	45	39	45	41	46	42	39	48	45	44.0
10.5	50	57	40	46	55	47	45	42	47	55	48.5
11	53	50	43	48	49	40	40	43	51	51	46.5
11.5	45	47	37	41	45	45	38	37	46	48	42.0
12	44	44	37	42	40	43	36	38	48	44	41.6
12.5	42	41	36	42	39	40	37	35	45	41	40.5
13	40	39	36	39	36	39	40	37	38	41	38.5
13.5	42	41	35	43	40	38	42	34	41	42	39.5
14	43	41	37	41	39	39	43	36	40	43	40.2

2007 2008 2009	2007-2008										2009
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	41	40	37	40	37	41	38	38	39	40	39.1
15	40	39	37	38	38	39	41	40	38	40	39
15.5	44	42	38	44	41	36	43	39	43	43	41.5
16	43	43	41	43	42	35	43	41	44	46	41
16.5	44	40	42	44	43	38	37	43	45	47	42.5
17	41	39	42	39	39	38	34	42	45	42	40.1
17.5	38	39	36	32	42	39	41	38	41	40	38.6
18	43	40	35	37	35	36	32	36	42	39	38.5
18.5	42	38	31	32	35	34	34	34	43	38	36.1
19	40	38	31	34	34	34	34	35	42	36	38.8
19.5	39	40	32	36	38	35	35	33	40	38	39.6
20	39	42	34	37	41	34	37	33	41	40	38.8
20.5	41	43	36	39	40	35	38	35	42	44	39.5
21	41	44	38	43	43	36	42	37	42	45	41.1
21.5	44	46	40	47	45	39	45	41	45	46	43.8
22	47	48	45	48	48	44	47	43	47	45	46.7
22.5	49	50	48	51	48	44	50	45	50	49	48.4
23	50	52	49	51	54	49	53	48	51	52	50.9
23.5	52	53	50	53	56	52	57	51	53	54	51.1
24	53	53	54	55	57	53	55	52	52	56	53.8
24.5	55	54	58	57	57	53	57	56	56	54	55.1
25	55	57	61	59	58	54	57	59	55	58	57.3
25.5	53	53	61	57	55	52	58	61	54	54	55.8
26	55	56	59	52	49	57	53	59	57	56	55.8
26.5	53	55	58	54	52	60	52	58	52	54	56.8
27	54	54	59	51	50	61	52	57	53	56	56.9
27.5	57	56	59	47	49	59	50	57	58	57	56.9
28	57	56	54	50	51	62	49	54	60	56	56.9
28.5	52	53	57	49	52	59	54	53	54	54	54.1
29	53	52	56	51	53	58	55	55	54	53	54.1
29.5	56	54	57	52	51	55	56	56	55	52	54.7
30	54	55	55	52	52	54	52	54	54	51	53.3

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชั้นที่ 2

41.8	6.13	47.93	35.67	41.3	2.58	43.88	38.72
45.2	3.65	48.85	41.55	42.1	2.74	44.84	39.36
41.3	3.9	45.2	37.4	42.3	2.97	45.27	39.33
36.8	4.78	41.58	32.02	40.1	2.80	42.9	37.3
33.2	4.89	38.09	28.31	38.6	2.76	41.36	35.84
28.8	3.06	31.86	25.74	37.5	3.26	40.76	34.24
26.2	5.55	31.75	20.65	36.1	3.83	39.93	32.27
26.4	4.94	31.34	21.46	35.8	3.12	38.92	32.68
26.7	5.67	32.37	21.03	36.6	2.69	39.29	33.91
23.4	6.73	30.13	16.67	37.8	2.96	40.76	34.84
20.7	5.39	26.09	15.31	39.3	3.1	42.4	36.2
23.4	6.53	29.93	16.87	41.1	2.91	44.01	38.19
28.2	4.93	33.13	23.27	43.8	2.64	46.44	41.16
29.5	1.56	31.06	27.94	46.2	1.72	47.92	44.48
34.2	1.99	36.19	32.21	48.4	1.88	50.28	46.52
37.3	1.73	39.03	35.57	50.9	1.92	52.82	48.98
39.7	3.16	42.86	36.54	53.1	2.02	55.12	51.08
42.9	3.81	46.71	39.09	54	1.61	55.61	52.39
45.8	4.04	49.84	41.76	55.7	1.55	57.25	54.15
43.8	4.26	48.06	39.54	57.3	2.05	59.35	55.25
44	3.49	47.49	40.51	55.8	3.12	58.92	52.68
48.4	5.42	53.82	42.98	55.3	3.00	58.3	52.3
46.8	4.6	51.4	42.2	54.8	2.75	57.55	52.05
42.9	4.04	46.94	38.86	54.7	3.35	58.05	51.35
41.6	3.58	45.18	38.02	54.9	4.23	59.13	50.67
39.8	2.93	42.73	36.87	54.9	4.01	58.91	50.89
38.5	1.63	40.13	36.87	53.7	2.61	56.31	51.09
39.8	2.96	42.76	36.84	54	1.95	55.95	52.05
40.2	2.36	42.56	37.84	54.4	1.96	56.36	52.44
39.1	1.45	40.55	37.65	53.3	1.34	54.64	51.96
39	1.18	40.18	37.82				



รูปที่ 4.30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน





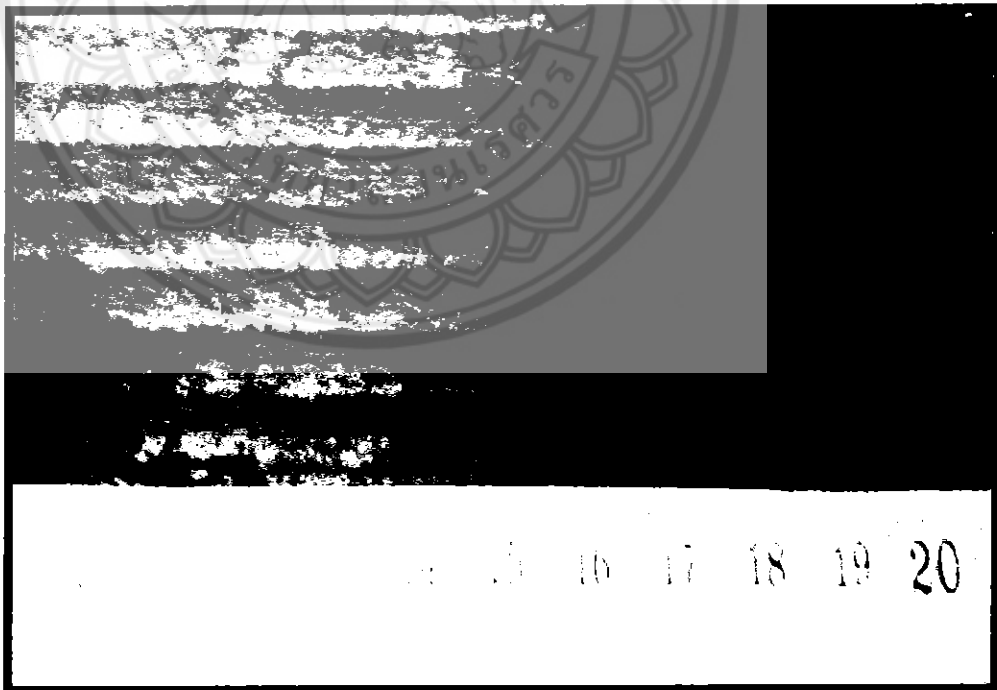
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่งเครื่องกัก

วิเคราะห์ผลการทดลอง

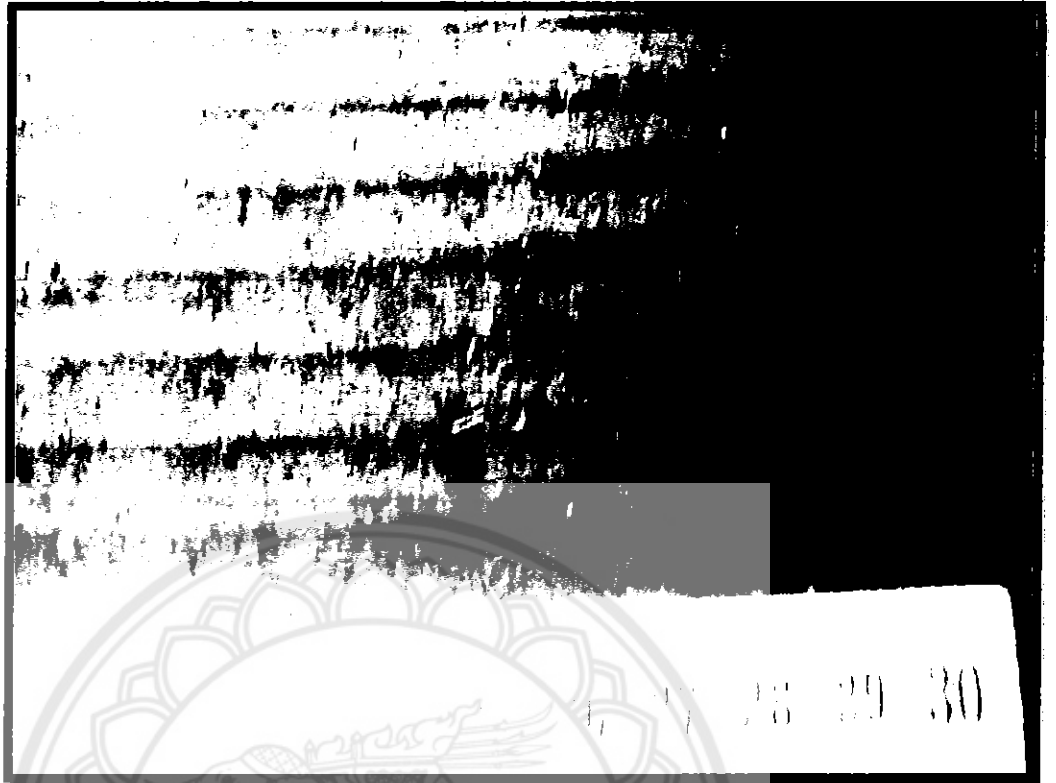
จากกราฟผลเฉลี่ยรวมทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่ากราฟบริเวณ 3 - 8 cm. ของเหล็กชั้นที่ 1 มีการผิดปกติขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อดูที่บริเวณที่เราทำการทดสอบไม่พบว่ามี ความผิดปกติบนชั้นเหล็ก และเมื่อถึงบริเวณ 23 - 28 cm. กราฟมีลักษณะเพิ่มขึ้นจากปกติ ทั้งจาก เหล็กชั้นที่ 1 และ 2 เนื่องจากบริเวณดังกล่าว มีรอยหลุมบนเหล็กบริเวณที่เราทำการทดลอง



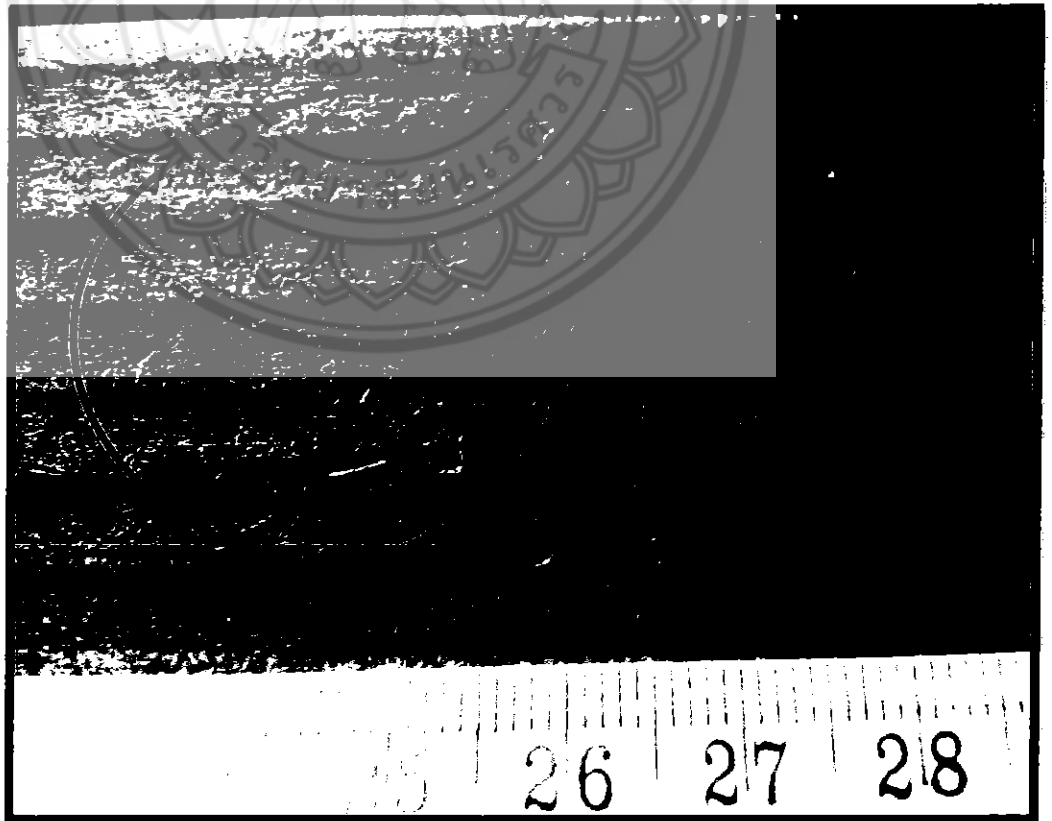
รูป 4.32 บริเวณที่ทำการทดสอบช่วง 0 – 10 cm.



รูป 4.33 บริเวณที่ทำการทดสอบช่วง 10 – 20 cm.

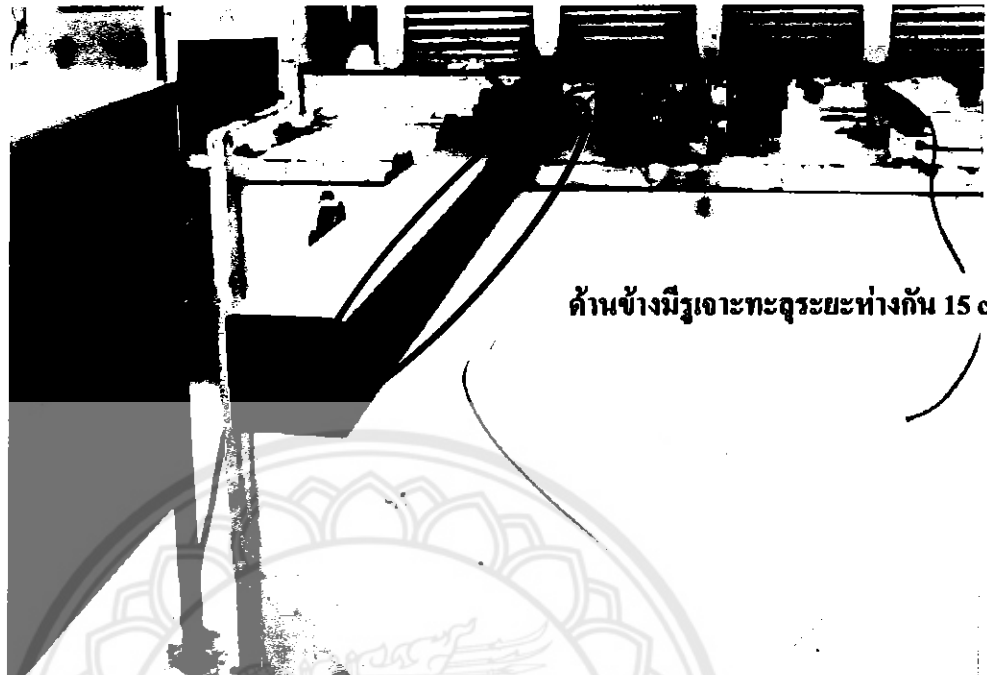


รูปที่ 4.34 บริเวณที่ทำการทดสอบช่วง 20 – 30 cm.



รูปที่ 4.35 บริเวณที่มีค่าความชื้นปกติของสนามแม่เหล็ก

4.1.5 เครื่องตัดเหล็กหนาตันทรงสี่เหลี่ยม



ด้านข้างมีรูเจาะทะลุระยะห่างกัน 15 cm.

รูปที่ 4.36 เครื่องตัดเหล็กหนาตันทรงสี่เหลี่ยมขนาด $5.7 \times 5.7 \times 100$ cm.



รูปที่ 4.37 บริเวณที่ทำการทดลอง

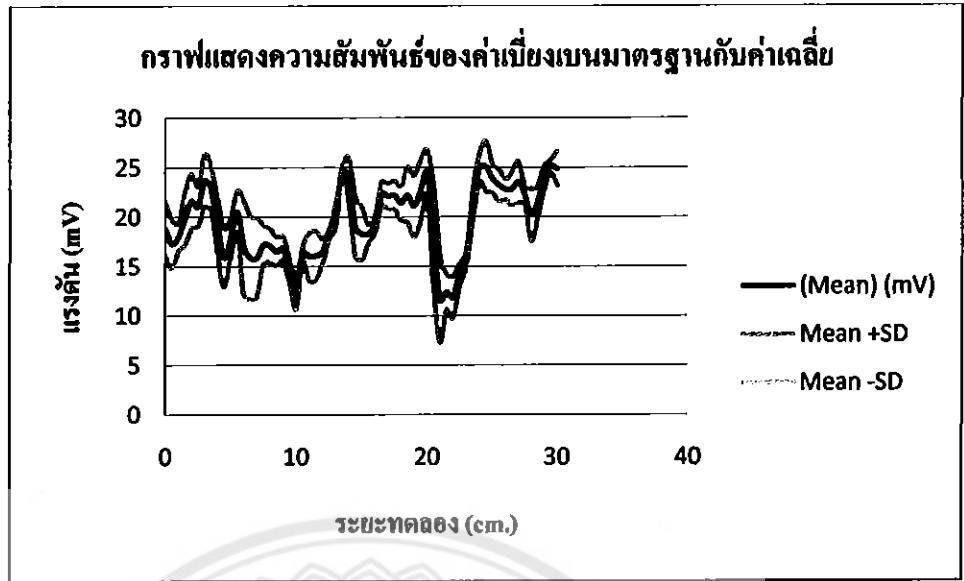
ตารางที่ 4.17 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องตัดเหล็กหน้าสี่เหลี่ยมตัน โดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1 ระยะทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะทาง ทดสอบ (cm)	น้ำหนักแกนเหล็กที่ยอมรับทดลอง (ตารางกิโลกรัม)										เฉลี่ย (kg)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	23	20	13	20	17	17	22	18	19	20	18.8
0.5	21	18	12	19	16	15	20	17	17	18	17.8
1	21	18	16	18	17	17	20	17	18	18	18
1.5	25	19	15	22	19	17	22	20	20	21	19.9
2	24	24	16	23	20	20	24	21	22	23	21.6
2.5	25	22	17	22	20	20	24	22	22	22	21.1
3	29	24	19	24	22	22	27	23	24	25	24.1
3.5	26	23	18	25	22	21	25	23	23	24	23.8
4	25	19	15	19	17	17	22	17	20	20	19.2
4.5	21	15	10	19	15	13	18	17	15	17	15.9
5	22	16	15	20	18	16	19	19	17	19	18.3
5.5	25	20	17	22	20	19	23	19	21	21	20.8
6	27	13	10	20	15	12	20	18	16	19	17.9
6.5	25	10	12	19	16	11	18	17	14	17	15.9
7	20	7	20	20	20	14	14	17	14	15	15.9
7.5	18	18	20	13	17	19	18	15	19	16	17.1
8	19	14	18	18	18	16	14	18	16	17	17.1
8.5	18	17	17	13	15	17	18	16	17	17	16.7
9	16	19	15	17	16	17	18	17	17	17	16.8
9.5	15	16	12	15	14	14	16	14	15	15	15.5
10	15	11	10	15	13	11	13	12	12	12	12.1
10.5	15	17	15	18	17	16	16	17	16	17	16.3
11	16	12	16	20	18	14	14	19	14	17	16
11.5	18	12	16	21	19	14	15	16	15	16	16.1
12	17	15	15	19	17	15	16	18	16	17	16.5
12.5	18	18	19	18	19	19	18	18	18	18	18.3
13	21	19	19	23	21	19	20	20	20	20	20.2
13.5	25	24	25	25	25	25	25	25	25	25	24.8
14	20	21	27	26	27	24	21	26	22	23	25.2

အမှတ် (No.)	အောင်မြင်မှုနှုန်း (Percentage)										ပျမ်း မျှ (Avg)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
145	13	18	24	19	22	21	16	21	18	18	19
146	13	17	21	21	21	19	15	21	17	18	18.5
147	17	19	17	20	19	18	18	19	18	19	18.5
148	18	20	20	18	19	20	19	20	20	19	19.2
149	22	24	23	20	22	24	23	21	23	22	22.2
150	24	21	24	20	22	23	23	21	23	22	22.1
151	25	19	23	23	23	21	22	22	22	22	22.2
152	23	18	21	24	23	20	21	23	20	22	21.1
153	22	19	20	28	24	20	21	26	20	23	22.2
154	25	16	20	27	24	18	21	21	19	21	21.1
155	22	18	23	28	26	21	20	27	20	23	22.2
156	25	20	25	28	27	23	23	27	23	25	24.1
157	15	11	23	26	25	17	13	21	15	17	18.5
158	5	8	14	18	16	11	7	17	9	12	11.6
159	10	11	12	16	14	12	11	15	11	13	12.1
160	11	9	13	16	15	11	10	13	11	11	11.9
161	13	13	14	16	15	14	13	16	13	14	14.1
162	15	15	16	17	17	16	15	17	15	16	16.2
163	24	21	22	18	20	22	23	21	22	22	21.8
164	30	20	25	26	26	23	25	26	24	25	25.5
165	26	20	27	28	28	24	23	28	23	25	25.1
166	24	21	26	25	26	24	23	25	23	24	24.0
167	23	20	25	25	25	23	22	25	22	23	23.5
168	22	21	24	24	24	23	22	24	22	23	23.2
169	26	21	21	25	23	21	24	22	22	23	23.5
170	27	20	22	26	24	21	24	25	22	24	24.0
171	23	20	24	22	23	22	22	23	22	22	22.5
172	20	16	26	18	22	21	18	22	20	20	20.2
173	22	22	24	18	21	23	22	20	23	21	21.1
174	24	26	24	22	23	25	25	23	25	24	24.5
175	24	25	26	25	26	26	25	26	25	25	25.5
176	22	24	28	25	27	26	23	26	25	24	24.8

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากเกณฑ์กึ่งขั้นที่ 1

18.8	2.70	21.5	16.1	18.3	0.92	19.22	17.38
17.3	2.45	19.75	14.85	19.2	0.79	19.99	18.41
18	1.41	19.41	16.59	22.3	1.20	23.5	21.1
19.9	2.65	22.55	17.25	22.1	1.28	23.38	20.82
21.6	2.75	24.35	18.85	22.2	1.47	23.67	20.73
21.1	1.99	23.09	19.11	21.4	1.75	23.15	19.65
23.7	2.63	26.33	21.07	22.2	2.8	25	19.4
22.8	2.2	25	20.6	21.1	3.09	24.19	18.01
19	2.74	21.74	16.26	22.7	3.07	25.77	19.63
15.9	2.97	18.87	12.93	24.4	2.3	26.7	22.1
18	2.02	20.02	15.98	18.2	4.90	23.1	13.3
20.5	2.16	22.66	18.34	11.6	4.24	15.84	7.36
16.9	4.67	21.57	12.23	12.4	1.86	14.26	10.54
15.9	4.19	20.09	11.71	11.9	2.1	14	9.8
15.9	3.99	19.89	11.91	14.1	1.13	15.23	12.97
17.2	2.00	19.2	15.2	15.8	0.84	16.64	14.96
17.1	1.69	18.79	15.41	21.3	1.58	22.88	19.72
16.5	1.43	17.93	15.07	24.9	1.41	26.31	23.49
16.8	1.18	17.98	15.62	25.1	2.56	27.66	22.54
14.5	1.12	15.62	13.38	23.9	1.46	25.36	22.44
12.3	1.56	13.86	10.74	23.2	1.62	24.82	21.58
16.3	0.92	17.22	15.38	22.8	1.05	23.85	21.75
16	2.41	18.41	13.59	22.8	1.66	24.46	21.14
16.1	2.44	18.54	13.66	23.5	2.11	25.61	21.39
16.5	1.28	17.78	15.22	22.2	1.01	23.21	21.19
18.3	0.46	18.76	17.84	20.2	2.61	22.81	17.59
20.2	1.17	21.37	19.03	21.5	1.63	23.13	19.87
24.7	0.36	25.06	24.34	24	1.14	25.14	22.86
23.7	2.35	26.05	21.35	25.1	0.67	25.77	24.43
19	3	22	16	24.9	1.73	26.63	23.17
18.3	2.68	20.98	15.62				



รูปที่ 4.38 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



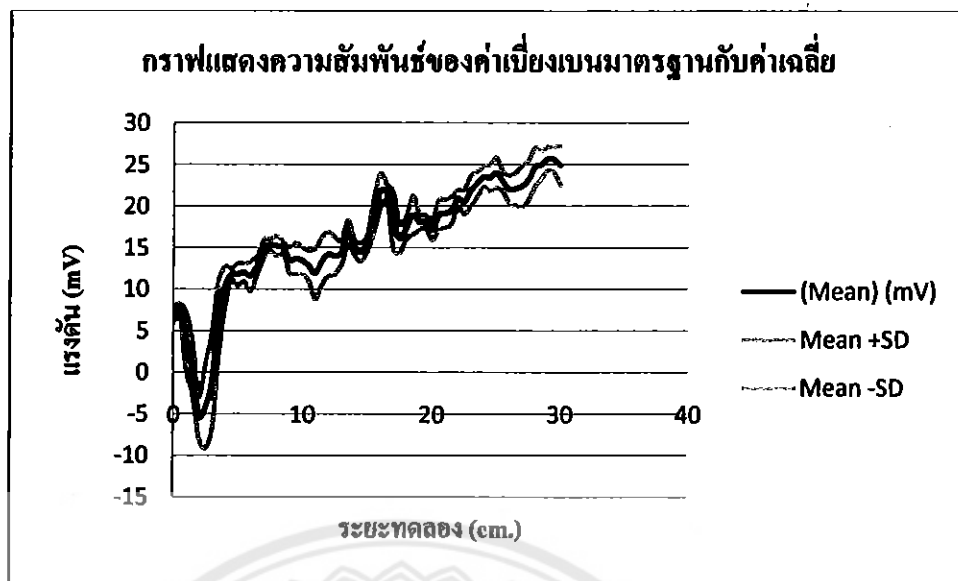
ตารางที่ 4.19 ตารางบันทึกผลแทนเครื่องตัดเหล็กหน้าสี่เหลี่ยมตันโดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2 ระยะทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะทาง (cm)	จำนวนรอบที่ใช้เหล็กแกน (ครั้ง)										ค่าเฉลี่ย (cm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	5	8	6	7	8	7	6	7	7	7	6.8
0.5	7	7	8	7	8	9	7	7	8	8	7.6
1	1	8	-3	4	7	8	4	6	3	0	3.8
1.5	-4	5	-2	-5	4	3	1	3	2	-1	1.6
2	-7	-8	-1	-8	-5	-2	-7	-7	-5	-3	-5.2
2.5	-2	-10	6	-10	-8	-4	-6	-8	-2	2	-4.2
3	6	-10	8	2	-9	-5	-2	-6	-1	4	-1.5
3.5	11	0	14	9	2	1	5	3	7	11	7.6
4	11	8	15	11	7	8	9	9	12	13	10.8
4.5	12	11	13	13	11	12	11	11	12	12	11.8
5	10	12	13	9	12	13	11	12	13	13	11.8
5.5	10	13	12	10	12	13	12	13	13	12	11.2
6	11	14	8	10	14	12	13	13	11	10	11.6
6.5	12	14	11	12	13	13	15	14	13	12	12.9
7	15	16	13	16	14	16	14	16	15	14	14.9
7.5	14	15	16	15	15	17	14	15	16	16	15.5
8	13	16	16	13	16	16	15	15	16	16	15.8
8.5	16	14	15	16	15	15	14	14	15	15	15.0
9	14	15	11	15	14	11	15	15	13	12	13.5
9.5	14	17	10	14	14	12	14	16	14	12	13.5
10	13	16	12	13	15	10	13	15	14	13	13.0
10.5	13	14	11	14	16	9	13	13	13	12	12.5
11	17	9	10	13	17	8	14	11	10	10	11.9
11.5	13	15	9	16	18	10	16	15	12	10	13.4
12	14	18	9	14	17	13	15	17	14	11	14.5
12.5	13	17	10	13	15	17	14	16	14	11	14.1
13	15	14	16	12	16	14	16	14	15	12	14.4
13.5	16	17	19	14	16	18	15	17	18	18	16.8
14	15	16	15	15	13	16	14	16	15	15	15.5

Year Year (AD)	Annual Rainfall (mm)										Annual (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14.5	16	13	14	16	15	13	16	14	14	14	145
15	17	16	15	15	17	14	15	16	16	15	156
15.5	23	18	19	17	23	18	14	19	19	19	189
16	24	24	21	22	22	22	16	22	23	22	218
16.5	20	23	21	23	22	21	20	23	22	21	216
17	16	22	14	22	15	15	24	20	18	16	184
17.5	14	16	16	15	16	16	21	15	16	16	161
18	17	17	19	14	17	18	19	17	18	18	174
18.5	17	18	23	18	18	19	15	18	21	22	189
19	18	19	19	17	17	17	17	19	19	19	184
19.5	17	18	18	17	19	20	18	18	18	18	181
20	16	16	17	16	18	19	19	16	17	17	171
20.5	18	17	22	17	20	20	17	17	20	21	189
21	20	19	21	16	19	21	16	19	20	20	191
21.5	16	20	22	18	20	20	18	19	21	21	195
22	20	20	23	21	20	21	20	20	22	22	209
22.5	22	20	22	18	20	22	18	21	21	21	201
23	23	20	25	19	21	22	20	21	23	24	214
23.5	23	20	25	21	23	23	24	21	23	24	214
24	24	23	25	22	22	25	22	23	24	25	221
24.5	22	22	25	23	23	27	22	22	24	24	221
25	22	22	27	25	24	25	22	22	25	26	226
25.5	23	23	25	23	20	22	23	23	24	24	224
26	22	24	22	22	18	20	23	23	23	23	223
26.5	20	20	25	23	22	25	20	20	22	24	221
27	21	19	26	23	23	26	20	19	23	24	221
27.5	22	21	26	20	25	27	21	21	24	25	227
28	24	24	27	19	26	28	24	24	25	26	241
28.5	24	24	28	22	25	26	24	24	26	27	241
29	26	24	28	23	26	27	25	25	26	27	251
29.5	25	24	28	24	26	28	24	24	26	27	256
30	26	21	29	25	24	27	23	22	25	27	249

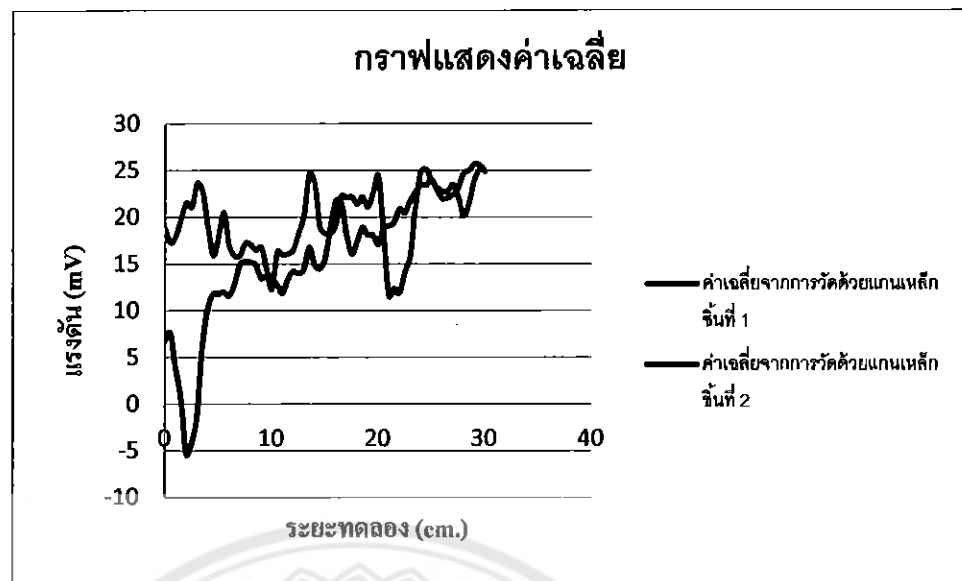
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากเกณฑ์ชั้นที่ 2

6.8	0.87	7.67	5.93	18.9	1.97	20.87	16.93
7.6	0.66	8.26	6.94	21.8	2.13	23.93	19.67
3.8	3.46	7.26	0.34	21.6	0.99	22.59	20.61
0.6	3.26	3.86	-2.66	18.2	3.37	21.57	14.83
-5.3	2.41	-2.89	-7.71	16.1	1.76	17.86	14.34
-4.2	5.02	0.82	-9.22	17.4	1.36	18.76	16.04
-1.3	5.92	4.62	-7.22	18.9	2.3	21.2	16.6
6.3	4.58	10.88	1.72	18.1	0.94	19.04	17.16
10.3	2.41	12.71	7.89	18.1	0.83	18.93	17.27
11.8	0.75	12.55	11.05	17.1	1.14	18.24	15.96
11.8	1.33	13.13	10.47	18.9	1.81	20.71	17.09
12	1.09	13.09	10.91	19.1	1.7	20.8	17.4
11.6	1.80	13.4	9.8	19.5	1.62	21.12	17.88
12.9	1.13	14.03	11.77	20.9	1.04	21.94	19.86
14.9	1.04	15.94	13.86	20.5	1.43	21.93	19.07
15.3	0.75	16.05	14.55	21.8	1.83	23.63	19.97
15.2	1.17	16.37	14.03	22.7	1.49	24.19	21.21
14.9	0.7	15.6	14.2	23.5	1.20	24.7	22.3
13.5	1.56	15.06	11.94	23.4	1.56	24.96	21.84
13.7	1.9	15.6	11.8	24	1.79	25.79	22.21
13.4	1.62	15.02	11.78	23	1.26	24.26	21.74
12.8	1.78	14.58	11.02	22	1.67	23.67	20.33
11.9	3.05	14.95	8.85	22.1	1.97	24.07	20.13
13.4	2.90	16.3	10.5	22.4	2.46	24.86	19.94
14.2	2.64	16.84	11.56	23.2	2.36	25.56	20.84
14	2.24	16.24	11.76	24.7	2.33	27.03	22.37
14.4	1.43	15.83	12.97	25	1.67	26.67	23.33
16.8	1.47	18.27	15.33	25.7	1.42	27.12	24.28
15	0.89	15.89	14.11	25.6	1.56	27.16	24.04
14.5	1.12	15.62	13.38	24.9	2.34	27.24	22.56
15.6	0.92	16.52	14.68				



รูปที่ 4.39 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน





รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องตัดเหล็กหน้า
สี่เหลี่ยมตัน

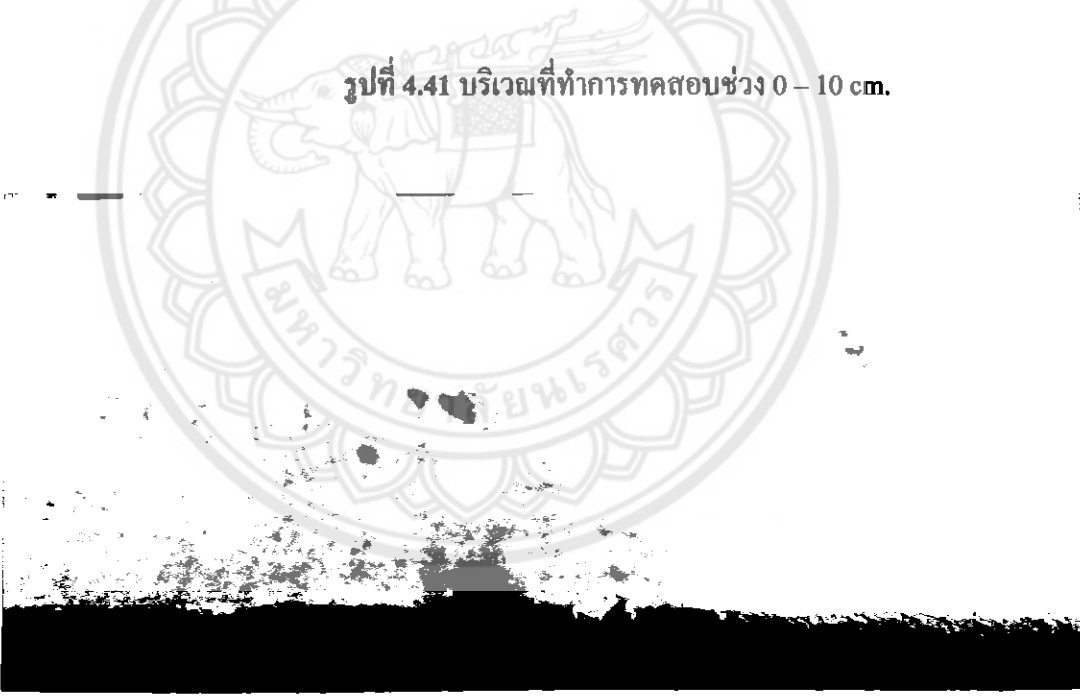
วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากการทดลอง พบว่าในช่วงบริเวณ 2 – 6 cm. ของเหล็กทั้ง 2 ชั้น มีความผิดปกติของกราฟเกิดขึ้น เมื่อสังเกตบนผิวหน้าบริเวณที่เราทำการทดลองไม่พบความผิดปกติใดๆ แต่บริเวณดังกล่าวภายในมีรู เป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 cm. อยู่ลึกลงไปประมาณ 3 cm. หลังจากนั้น บริเวณ 10 – 20 cm. กราฟไม่มีแนวโน้มความผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น และในช่วง 20 – 26 cm. มีความผิดปกติบนกราฟ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีรูภายในบริเวณที่ทำการทดลองเช่นเดียวกับช่วงบริเวณ 2 – 6 cm และมียอดสี่เหลี่ยมที่บริเวณดังกล่าวด้วย จึงทำให้กราฟแสดงความผิดปกติขึ้น

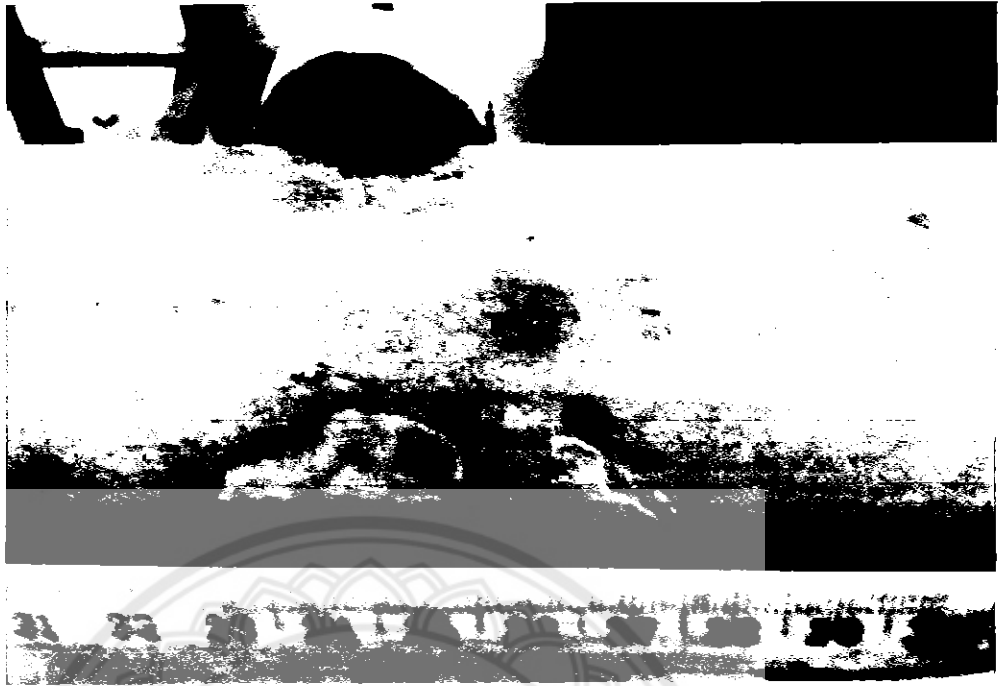
วิเคราะห์การทดลองจากบริเวณที่พบรูอยู่ภายในชิ้นงาน อิทธิพลของรูทำให้ค่าแรงดันที่วัดได้มีค่าขึ้นสูงเหมือนกราฟที่ตรวจพบรอยแตก เป็นไปได้ว่าอุปกรณ์ที่เราใช้ทำการทดลองนั้นสามารถตรวจพบรอยแตกร้าวภายในชิ้นงานที่อยู่ลึกลงไปได้



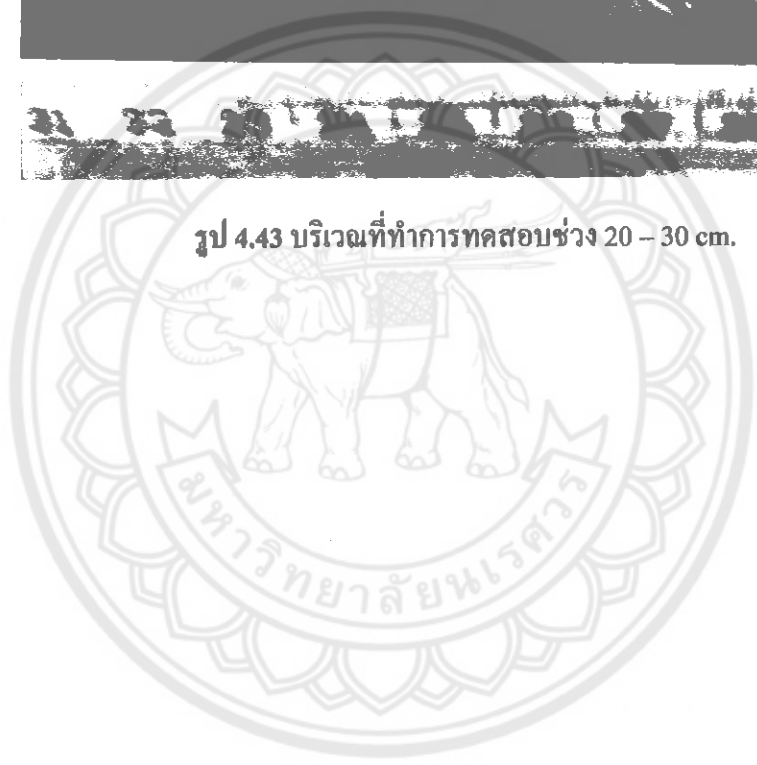
รูปที่ 4.41 บริเวณที่ทำการทดสอบช่วง 0 – 10 cm.



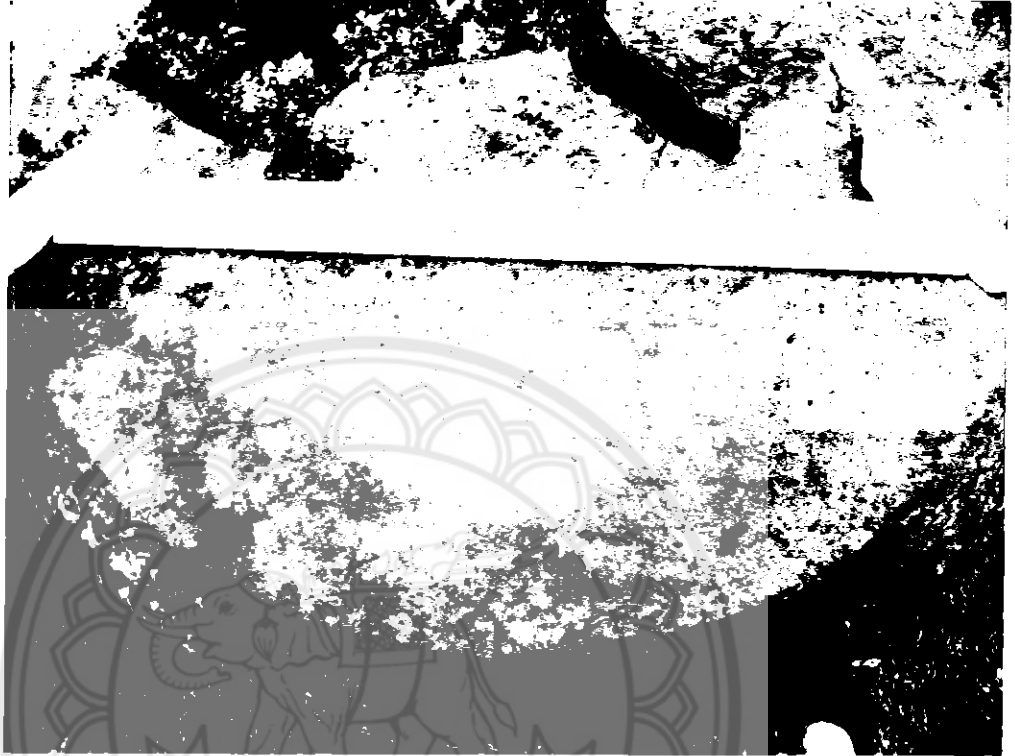
รูปที่ 4.42 บริเวณที่ทำการทดสอบช่วง 10 – 20 cm.



รูป 4.43 บริเวณที่ทำการทดสอบช่วง 20 – 30 cm.



4.1.6 เหล็กหล่อแผ่น ครึ่งทรงกลม



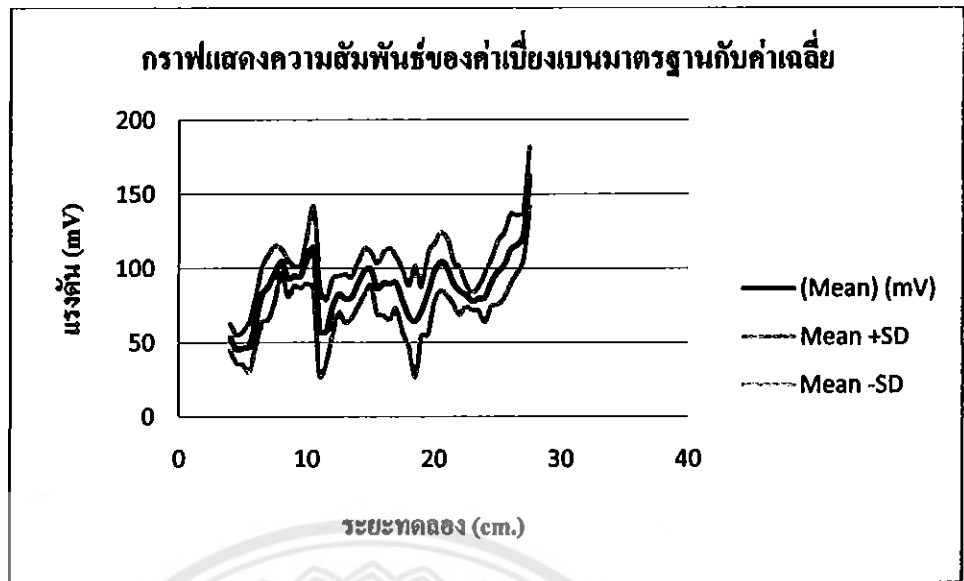
รูปที่ 4.44 เหล็กหล่อแผ่นครึ่งทรงกลม

ตารางที่ 4.21 ตารางบันทึกผลเหล็กหล่อแผ่น ครึ่งทรงกลมโดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 1 ระยะ
ทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ขนาดของ (cm)	จำนวนครั้งที่ให้ผลของการทดลอง(ครั้งที่)										ค่าเฉลี่ย (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0											
0.5											
1											
1.5											
2											
2.5											
3											
3.5											
4	44	42	56	44	43	58	65	56	60	67	53.5
4.5	42	23	54	52	37	59	47	44	48	50	45.6
5	54	34	58	27	31	44	49	58	51	56	46.6
5.5	76	11	45	33	46	39	51	56	58	60	48.5
6	86	36	56	44	68	71	62	57	79	86	61.5
6.5	114	49	80	51	87	82	85	81	95	100	73.5
7	118	49	79	58	94	93	87	85	92	126	88.1
7.5	125	75	93	83	96	85	104	73	113	125	92.5
8	101	96	95	106	101	97	115	106	117	114	102.1
8.5	93	117	102	94	91	79	79	87	83	109	95.2
9	92	83	88	100	98	90	103	92	105	98	92.9
9.5	96	111	80	91	88	95	101	93	99	93	92.5
10	113	116	68	101	87	109	129	113	118	112	105.6
10.5	51	121	111	103	98	150	138	115	103	145	101.5
11	56	54	140	46	49	28	38	64	71	33	59.9
11.5	82	91	24	48	64	33	61	50	81	39	61.6
12	104	94	47	45	61	76	81	66	94	71	71.9
12.5	104	104	75	66	68	82	86	81	82	79	81.5
13	105	95	95	56	55	74	78	88	67	84	78.5
13.5	111	87	97	78	63	72	74	82	69	73	80.6
14	132	87	96	87	70	89	78	81	90	88	89.55

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองจากแกนเหล็กชิ้นที่ 1

				86.7	17.04	103.74	69.66
				90	21.45	111.45	68.55
				89.6	23.73	113.33	65.87
				90	17.03	107.03	72.97
				78.1	21.02	99.12	57.08
				67.8	20.56	88.36	47.24
				64.4	37.18	101.58	27.22
				71.2	16.48	87.68	54.72
53.5	9.01	62.51	44.49	83.2	27.67	110.87	55.53
45.6	9.58	55.18	36.02	97.2	19.97	117.17	77.23
46.2	11.04	57.24	35.16	104.4	19.59	123.99	84.81
47.5	16.69	64.19	30.81	100.9	18.77	119.67	82.13
64.5	15.99	80.49	48.51	90.2	14.06	104.26	76.14
82.4	18.98	101.38	63.42	85	15.78	100.78	69.22
88.1	22.21	110.31	65.89	82	7.58	89.58	74.42
97.2	18.14	115.34	79.06	78	6.11	84.11	71.89
104.8	7.77	112.57	97.03	79.6	8.13	87.73	71.47
93.4	12.02	105.42	81.38	80.4	16.19	96.59	64.21
94.9	6.65	101.55	88.25	90.6	16.26	106.86	74.34
94.7	7.78	102.48	86.92	97.4	21.49	118.89	75.91
106.6	16.56	123.16	90.04	102.2	22.28	124.48	79.92
113.5	27.12	140.62	86.38	112.8	23.8	136.6	89
57.9	30.16	88.06	27.74	115.8	19.6	135.4	96.2
57.3	21.31	78.61	35.99	122.1	16.66	138.76	105.44
73.9	18.88	92.78	55.02	162	19.71	181.71	142.29
82.7	12.21	94.91	70.49				
79.7	16.27	95.97	63.43				
80.6	13.65	94.25	66.95				
89.8	15.4	105.2	74.4				
97.9	15.46	113.36	82.44				
99.4	10.96	110.36	88.44				

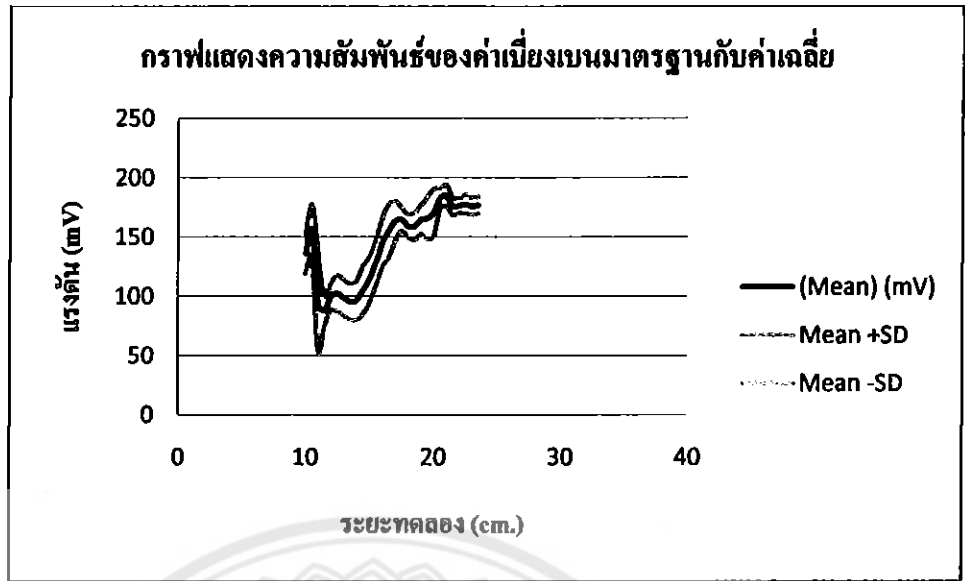


รูปที่ 4.45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



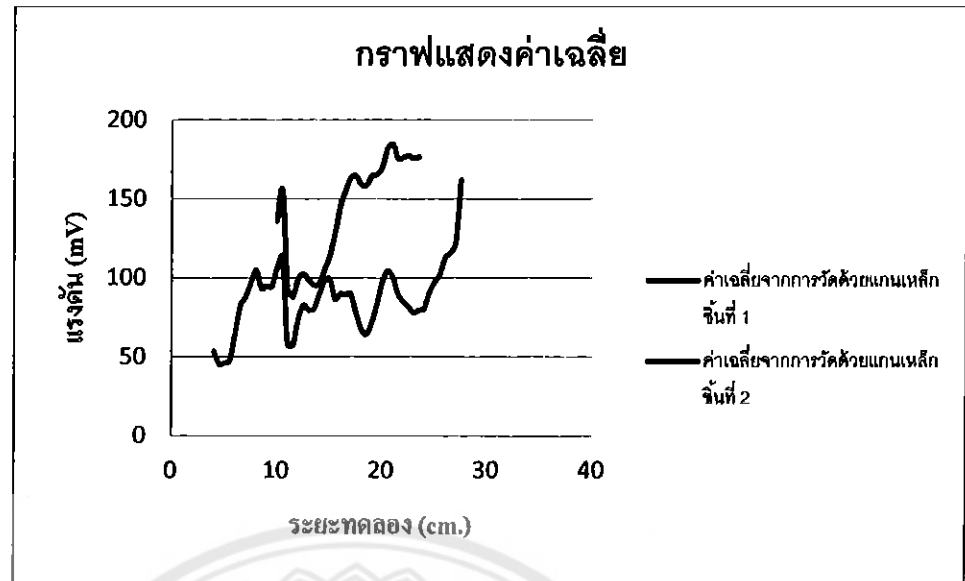
ตารางที่ 4.23 ตารางบันทึกผลเหล็กหล่อแผ่น ครึ่งทรงกลมโดยใช้แกนเหล็กชั้นที่ 2 ระยะ
ทางการทดลอง 30 cm. จำนวน 10 ครั้ง

ระยะ ทดลอง (cm)	จำนวนครั้งที่ได้ผลการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0											
0.5											
1											
1.5											
2											
2.5											
3											
3.5											
4											
4.5											
5											
5.5											
6											
6.5											
7											
7.5											
8											
8.5											
9											
9.5											
10	154	155	106	135	129	151	124	113	140	154	125.4
10.5	163	178	137	148	141	154	160	109	181	182	150.7
11	74	93	62	92	74	193	73	70	64	137	98.7
11.5	102	97	88	95	94	55	92	80	82	95	86.6
12	107	115	94	111	93	86	102	87	84	113	99.0
12.5	114	122	91	114	95	109	95	83	79	122	100.2
13	96	117	91	115	88	111	89	83	77	122	98.0
13.5	77	113	82	117	84	109	85	94	81	114	90.6
14	68	94	95	127	90	93	82	106	91	118	90.4



รูปที่ 4.46 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



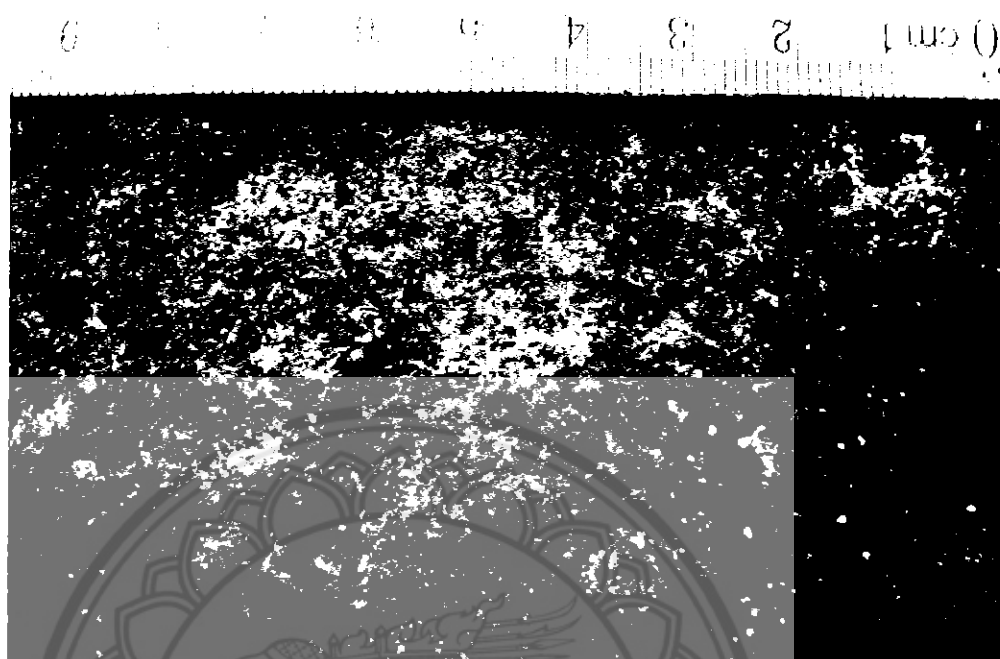


รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยของแท่นเครื่องตัดเหล็กหน้าสีเหลี่ยมต้น

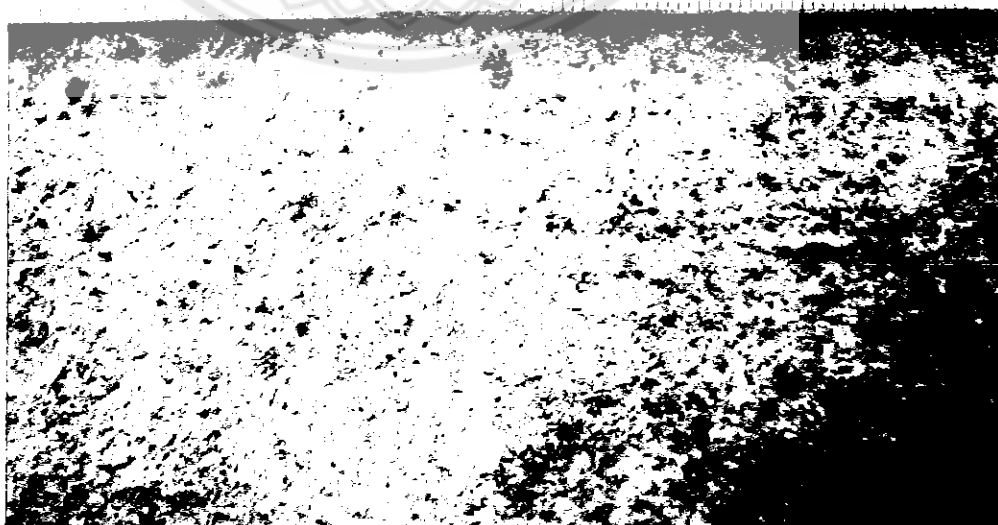
วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟผลการทดลองที่ได้จากแกนเหล็กชั้นที่ 1 กราฟมีการขึ้นลงที่ผิดปกติในช่วง 0 – 10 cm กราฟมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการตรวจสอบพบรอยแตกร้าวแตกออกเป็นลานคล้ายรอยดินแตก บริเวณที่ 9 – 11 cm ทำให้บริเวณนี้ค่าแรงดันที่วัดได้มีค่าสูง ในบริเวณ 15 cm เหล็กมีหลุมสนิม อยู่กราฟที่ได้ในบริเวณนี้จึงมีค่าสูงอย่างชัดเจน ในช่วง 20 – 30 cm บริเวณนี้ปลายแกนของแกนเหล็กสัมผัสกับพื้นผิวที่ไม่เรียบของเหล็กเนื่องจากรอยสนิม ทำให้กราฟที่ได้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ

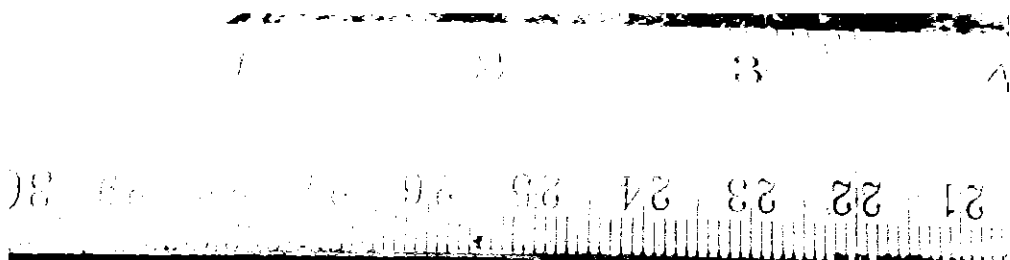
จากการทดลองกราฟที่ได้จากแกนเหล็กชั้นที่ 2 มีค่าไม่ชัดเจน เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือเพราะชนิดงานมีขนาดจำกัด



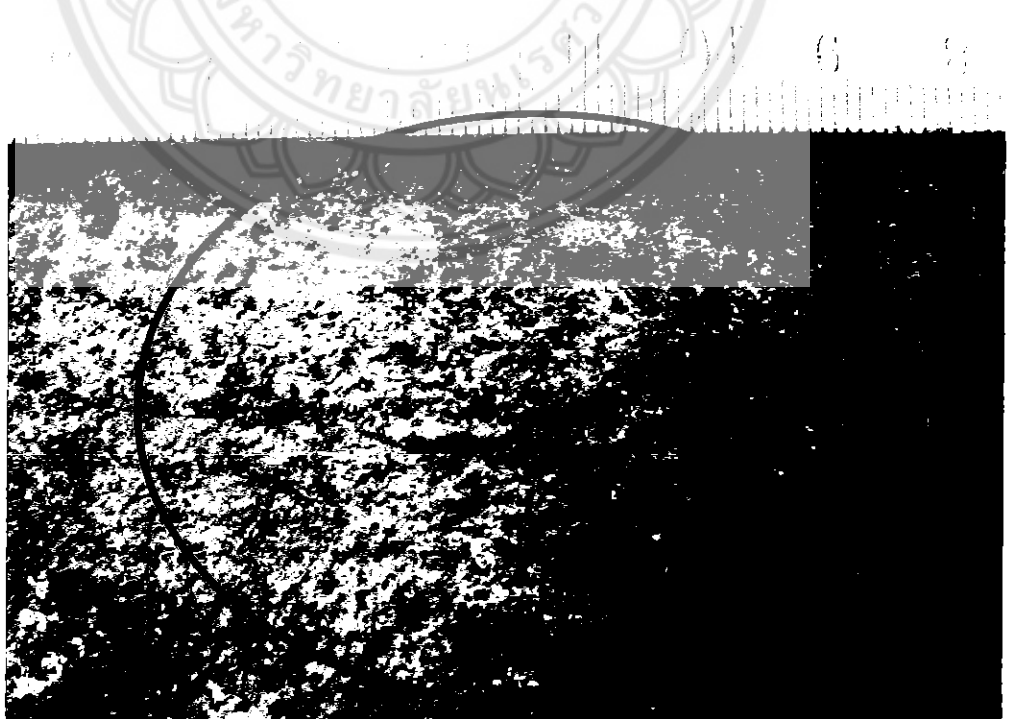
รูปที่ 4.48 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 0 – 10 cm.



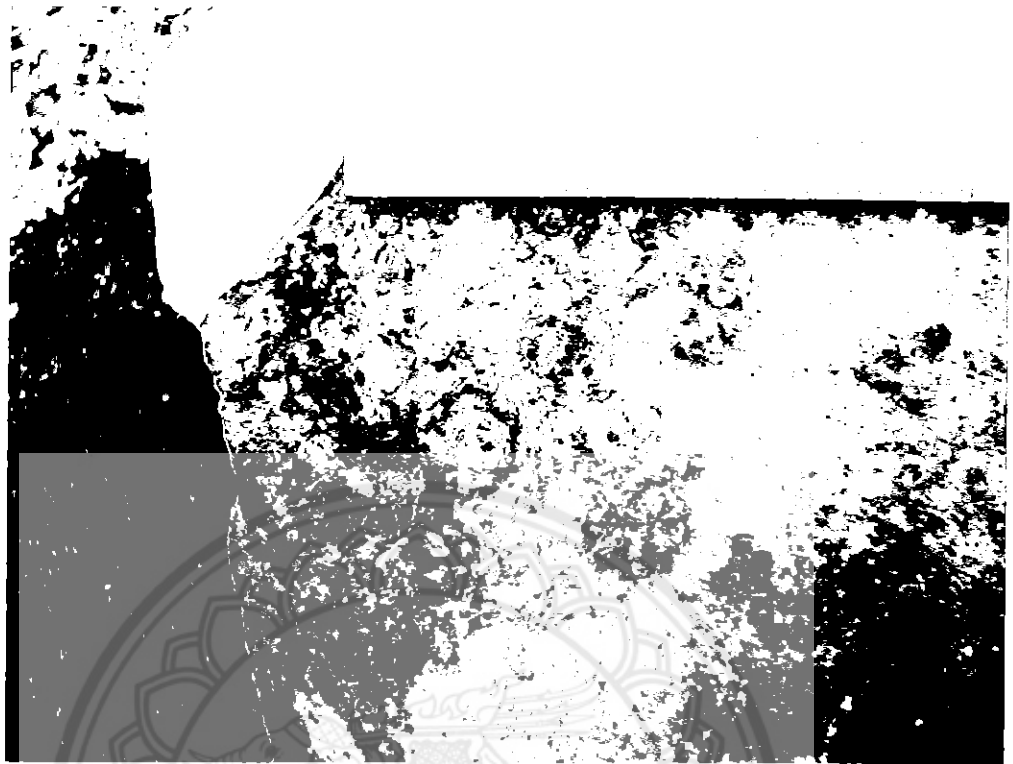
รูปที่ 4.49 พื้นผิวบริเวณที่ทำการทดลองช่วง 10 – 20 cm.



รูปที่ 4.50 พื้นที่บริเวณที่ทำการทดลองช่วง 20 – 30 cm.



รูปที่ 4.51 บริเวณที่รอยแตกร้าว



รูปที่ 4.52 บริเวณที่พื้นผิวของเหล็กไม่เรียบ เนื่องจากการเกิดสนิม



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผล

จากการทดลองเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็กสามารถตรวจวัดค่าของสนามแม่เหล็กที่ได้จากชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานที่ทำการตรวจวัดมีความปกติ ค่าของสนามแม่เหล็กที่ได้จะมีค่าสม่ำเสมอ และมีแนวโน้มการขึ้นลงของค่าสนามแม่เหล็กไปในทิศทางเดียวกัน แต่ถ้าชิ้นงานเกิดความผิดปกติซึ่งเกิดจากเหล็กมีรอยร้าว พื้นผิวขรุขระหรือถูกกระแทก ค่าแรงดันที่วัดได้จากบริเวณที่ถูกทดสอบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และแนวโน้มของกราฟก็จะเป็นการขึ้นลงที่ไม่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน

5.2 ความสามารถของเครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็ก

- 5.2.1 สามารถแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง $-2.5 - 0 - 2.5$ mV หลังจากใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันเท่ากับ 0 V
- 5.2.2 เครื่องสามารถตรวจวัดบริเวณที่มีการแตกร้าว และสามารถแสดงผลค่าแรงดันได้อย่างถูกต้องและชัดเจน

5.3 ประเมินผล จากการดำเนินงานโครงการ เมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

- 5.3.1 สามารถดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวของเหล็กได้
- 5.3.2 สามารถออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบรอยร้าวของเหล็ก และสามารถแสดงผลทางหน้าจอของโวลต์มิเตอร์ได้
- 5.3.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเหล็ก ไปใช้ในการช่วยตัดสินใจเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

5.4 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

- 5.4.1 การสร้างแหล่งจ่ายให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ให้มีความเหมาะสม เนื่องจากแหล่งจ่ายที่สูงเกินไปจะทำให้อุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรเสียหายได้
- 5.4.2 เหล็กที่ทำกรทดสอบมีขนาดเล็กเกินไป ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้มีค่าไม่ชัดเจน เนื่องจากค่าแรงดันที่วัดได้นั้น อาจเกิดจากการไม่ครบวงจรของสนามแม่เหล็ก จากการที่ขาของแกนเหล็กยาวเกินชิ้นงาน
- 5.4.3 การหาชิ้นงานตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบที่มีความแตกต่างหาได้ค่อนข้างยาก
- 5.4.4 ในตัวอย่างบางชิ้น เมื่อทำการตรวจสอบแล้วให้ค่าที่ไม่มีความถูกต้อง เนื่องจากชิ้นงานมีสนิมมากเกินไปทำให้แกนเหล็กสามารถเหนี่ยวนำได้น้อย
- 5.4.5 มีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากอุปกรณ์ออกแบบมาให้ใช้เสียบไฟบ้าน 220 V จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถเสียบปลั๊กไฟได้
- 5.4.6 ความผิดพลาดที่อาจเกิดจากขั้นตอนในการทดลองเวลากับค่าแรงดันในแต่ละครั้ง บริเวณของหัวเซนเซอร์อาจอยู่ไม่ตรงกัน ทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อน

5.5 ข้อเสนอแนะ

เครื่องตรวจวัดรอยร้าวของเหล็กสามารถตรวจหาความผิดปกติที่เกิดจากรอยแตก ร้าว รอยยุบ สนิม หรือรอยอื่นๆ ที่ส่งผลให้เหล็กไม่สมบูรณ์ดั้งเดิม แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่ารอยร้าวที่ตรวจพบเป็นรอยร้าวประเภทไหน เพราะค่าแรงดันที่วัดได้สามารถบอกได้ว่าขนาดของบริเวณที่ทำการทดลองมีใกล้เคียงกันค่าของแรงดันที่วัดได้จะแสดงค่าที่สูงไม่ต่างกันมากนัก แต่ไม่สามารถจำแนกออกมาได้ว่าที่ค่าแรงดันเท่าไรเป็นรอยแตก ร้าว ประเภทไหน

5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องตรวจสอบคุณภาพของเหล็กที่ต้องการความสมบูรณ์ของเหล็กที่ค่อนข้างสูง เพื่อนำไปช่วยในการตัดสินใจว่าเหล็กที่ใช้งานมีคุณภาพเหมาะสมต่อการใช้งานหรือไม่ เพราะถ้าหากเหล็กเกิดความผิดปกติแม้เพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานต่อไป อย่างเช่น ในอุตสาหกรรมท่อส่งน้ำมัน ที่ต้องการความสมบูรณ์ของท่อที่สูงเพราะถ้าหากฝังท่อลงไปในดินแล้ว เมื่อท่อมักรอยแตก ร้าว จะส่งผลกระทบเป็นอย่างมากต่อการเปลี่ยนถ่ายท่อ เนื่องจากท่อถูกฝังลงไปในดินจึงต้องตรวจสอบคุณภาพที่สมบูรณ์ที่สุดก่อนการใช้งาน และเครื่องตรวจสอบรอยร้าวยังสามารถนำไปพัฒนารูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานที่มีวัสดุผสมในลักษณะต่างๆ

จากการทดสอบเครื่องมีการแสดงค่าแรงดันที่ค่อนข้างสูงในบริเวณที่มีรูหรือรอยยุบภายในชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าเครื่องสามารถตรวจวัดความผิดปกติที่อยู่ลึกลงไปชิ้นงานได้ แต่ผลที่ได้จากการทดลองยังไม่สามารถบอกได้ว่า เครื่องประสิทธิภาพที่จะตรวจสอบรอยแตกร้าวอยู่ในระดับความลึกแค่ไหน ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อหาว่าเครื่องสามารถตรวจสอบรอยแตกร้าวได้ที่ระดับความลึกเท่าใด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] ไชยชาญ หินเกิด, เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2543
- [2] ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ ที่มงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. รวมวงจรมำสร้าง นำล่อง. กรุงเทพฯ : สมาร์ตเลิร์นนิ่ง. 2553
- [3] ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. การเรียนการสอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต, สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2554, [Online]:
<http://www.rmutphysics.com/physic-for-internet/index.htm>
- [4] กองวิจัยและพัฒนา, ฝ่ายวิจัยและพัฒนา, การไฟฟ้าานครหลวง - มกราคม 2549. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสายส่งไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2554, [Online]:
http://www.mea.or.th/internet/understanding_emf_web/emf_thai/webpage_thai/page01_thai.htm
- [5] คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. อิเล็กทรอนิกส์ 1. สืบค้นเมื่อ 24 กันยายน 2554, [Online]: <http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/elearning/electronics1/index.php>
- [6] บทความเรื่อง Hall Effect, จากเว็บไซต์ <http://bmesensor.blogspot.com/p/hall-effect.html>

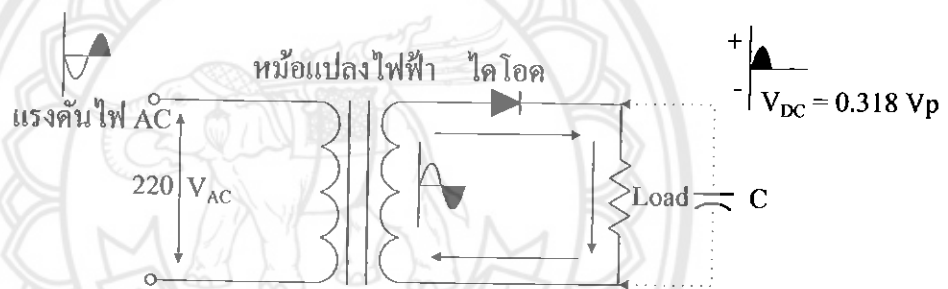
ภาคผนวก ก



วงจรเรียงกระแส (Wave Rectifier)

1. ลักษณะวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตัดเอาแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามา อาจเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบแล้วแต่การจับวงจร ไดโอด แรงดันที่ส่งออกมาที่พู่ทจะเป็นช่วงๆ คือ ช่วงมีแรงดันและช่วงไม่มีแรงดันสลับกันไป วงจรประกอบด้วยไดโอดตัวเดียวดังรูปที่ 1 การทำงานของวงจร ไฟกระแสสลับจะมาปรากฏที่ขาแอโนด โดยไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทางเดียว คือช่วงที่ได้รับไบอัสตรง ดังนั้นวงจรจะมีกระแสไหลเพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น ถ้าช่วงลบจะไม่มีกระแสไหล แรงไฟตรงที่เอาที่พู่ทนี้ยังนำไปใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้ เพราะเป็นไฟตรงที่ไม่เรียบพอ (Pulse D.C) จึงต้องมีการกรอง (Filter) ให้เรียบโดยใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรอง



รูปที่ 1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

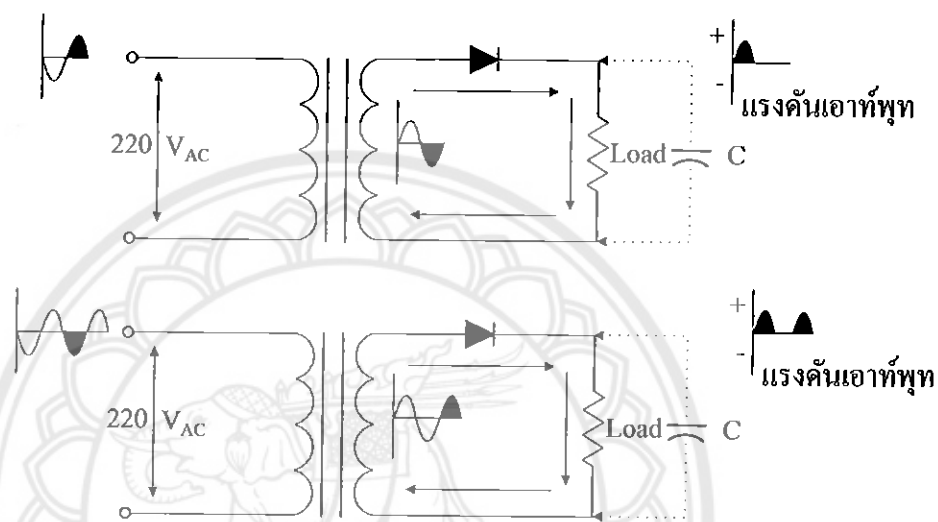
2. การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

การเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 1 การทำงานเมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V เข้าทางขดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้า จะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้ามายังขดทุติยภูมิ (Secondary) การเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง เฟสของสัญญาณเข้ากับเฟสของสัญญาณออกจะต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา เมื่อขั้วบนของขดปฐมภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบได้เฟสบวก จะทำให้ขดทุติยภูมิขั้วบนเป็นเฟสบวก ขาแอโนด (A) ของไดโอดได้รับแรงดันซีกบวก ขาแคโทด (K) ได้รับแรงดันซีกลบเป็นผลให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดนำกระแส มีกระแสไหลเข้าขาแอโนด ออกขาแคโทดผ่านโหลด (Load) ครบวงจรที่ขั้วล่างของทุติยภูมิ มีแรงดันซีกบวกตกคร่อมที่โหลด

ในช่วงเวลาต่อมาครึ่ง ไซเกิลหลังของไฟสลับ ขั้วบนของทุติยภูมิเป็นเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เป็นเฟสบวก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขาแอโนดของไดโอดได้รับแรงดันซีกลบและขาแคโทด

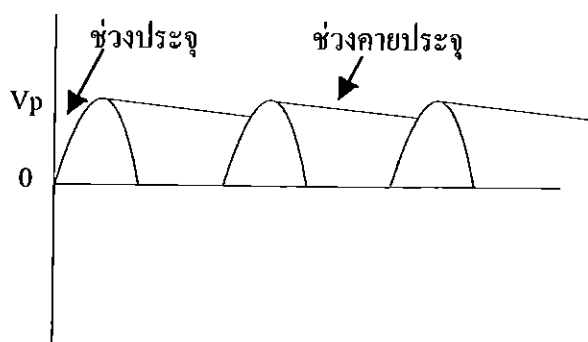
ได้รับแรงดันซีกบวก ไดโอดได้รับไบอัสกลับจะไม่นำกระแสเป็นผลให้ไม่มีแรงดันปรากฏที่โหลด ในรอบต่อมาการทำงานก็จะจะเป็นไปตามลักษณะเดิมซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ โดยมีแรงดันปรากฏที่เอาต์พุตเป็นช่วงๆ (ช่วงเว้นช่วง) นอกจากนี้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นยังสามารถแบ่งออกเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวกและวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นลบ

2.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวก



รูปที่ 2 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก

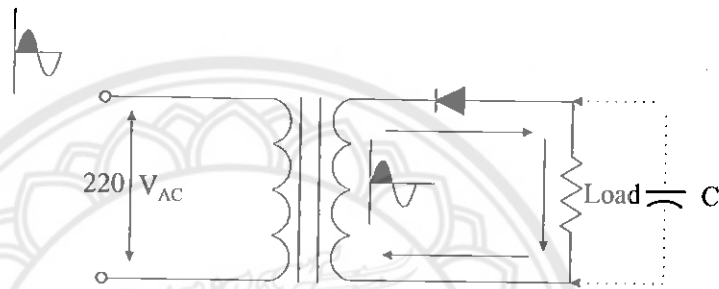
เป็นการจัดวงจร ไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกบวกของไฟสลับ ทำให้แรงดันที่ได้จากการเรียงกระแสออกมาที่เอาต์พุตเพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น แรงดันไฟตรงเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสูตร $V_{DC} = 0.318 V_P$ หรือ $V_{DC} = 0.45 V_{AC}$ แต่แรงดันไฟตรงที่ได้จะยังไม่เรียบมีลักษณะเป็นพัลส์ที่เรียกว่าพัลส์ดี.ซี. (Pulse D.C) ในการใช้งานจะต้องทำการกรองให้เรียบโดยใช้ตัวเก็บประจุทำการกรอง ก็จะทำให้แรงดันที่ได้เรียบขึ้นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟตรงเมื่อใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

จากรูปที่ 3 พัลส์ดี.ซี ที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะเป็นซีกบวก ตัวเก็บประจุฟิเตอร์จะทำการประจุแรงดันในช่วงที่พัลส์ดี.ซี มีค่าเพิ่มขึ้นและจะคายประจุในช่วงที่พัลส์ดี.ซี มีค่าลดลงจะเป็นไปในลักษณะเช่นนี้เรื่อยๆ แรงดันดี.ซี ที่ได้จะเรียบขึ้น ตัวเก็บประจุฟิเตอร์ยิ่งมีค่ามากแรงดันไฟตรงที่ได้ก็ยิ่งมีความเรียบขึ้น (ตัวเก็บประจุฟิเตอร์ค่ามากเกินไปมีผลเสียกับไดโอด) แรงดันไฟตรงที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวเก็บประจุ จะประจุแรงดันสูงสุดของแรงดันพีก จึงทำให้แรงดันเพิ่มสูงขึ้น

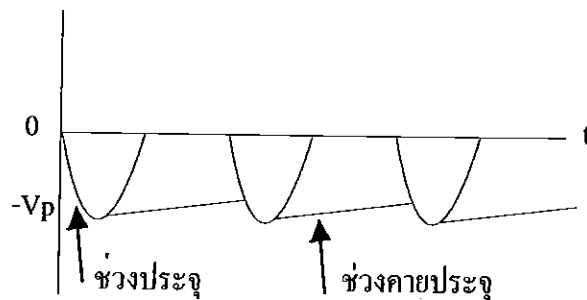
2.2 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นลบ



รูปที่ 4 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ

เป็นการจัดวงจรไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกลบของไฟสลับก็จะได้อวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ จากรูปที่ 4 เมื่อขั้วบนของขดลวดทุติยภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เฟสบวก จะทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดสามารถนำกระแสได้ กระแสจะไหลจากขั้วล่างของหม้อแปลงผ่านโหลดเข้าทางขาแอนโอด ออกทางแคโทดครบวงจรที่ขั้วบนของหม้อแปลง ลักษณะเช่นนี้ จะทำให้ขั้วบนของโหลดมีศักย์เป็นลบขั้วล่างมีศักย์เป็นบวก

เมื่อขั้วบนของหม้อแปลงได้รับเฟสบวกขั้วล่างเทียบศักย์ได้เฟสลบ จะทำให้ไดโอดไม่สามารถนำกระแสได้ เพราะไดโอดได้รับไบอัสกลับ จังหวะนี้จึงไม่มีแรงดันออกมาที่โหลด



รูปที่ 5 แสดงรูปคลื่นเมื่อใช้ตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรอง

เมื่อต่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์เข้าไปในวงจร ตัวเก็บประจุก็จะทำหน้าที่ประจุแรงดันเอาไว้ในช่วงแรงดันที่มีค่าสูง และจะคายประจุในช่วงแรงดันที่มีค่าลดลง โดยเสริมรูปคลื่นที่ขาดหายไปให้เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เป็นการทำให้แรงดันที่ไม่เรียบมีความเรียบยิ่งขึ้น การใช้วงจรเรียงกระแสแบบนี้จะได้ไฟกระแสตรงออกมาในลักษณะพัลส์ครั้งคลื่นเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพต่ำ คือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น



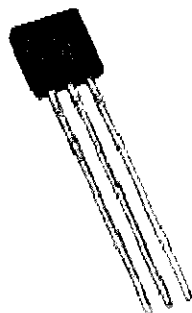
ภาคผนวก ข



หลักการทํางาน

- C_1 และ C_2 ทำหน้าที่กรองกระแสไฟให้เรียบขึ้น
- R_{10} ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟลง
- $2D_1$ ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไฟให้ได้ 5.1 โวลต์ตามที่วงจรต้องการ
- ในภาวะที่ไม่มีมีการตรวจจับความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กแรงดันที่ขา 3 ของ Sensor UGN3503 จะเท่ากับ 2.5 โวลต์ ไปเข้าที่ขา 5 ของออปแอมป์
- R_4 และ R_5 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันอ้างอิงป้อนให้ขา 2
- R_1 และ R_2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันและส่งมาให้ R_4 และ VR_1 ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันเปรียบเทียบกับไปเข้าที่ขา 3 เพื่อให้เอาต์พุตที่ขา 1 ได้ 2.5 โวลต์ ผ่าน R_7 ไปเข้าที่ขา 6 ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงของออปแอมป์ ดังนั้นขา 5 และขา 6 จะมีแรงดันเท่ากัน คือ 2.5 โวลต์ ทำให้เอาต์พุตที่ขา 7 ได้ 2.5 โวลต์ เมื่อขา 1 และขา 7 มีแรงดันเท่ากันจึงอ่านค่าหน้าจอดี 0 โวลต์และเมื่อมีการตรวจวัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่เป็นบวกแรงดันที่ขา 3 ของ Sensor จะมีค่าสูงกว่า 2.5 โวลต์ ทำให้เอาต์พุตที่ขา 7 สูงกว่าเอาต์พุตขา 1 จึงอ่านค่าได้เป็นบวก ในทางกลับกันเมื่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเป็นลบจะทำให้ขา 3 ของ Sensor มีค่าต่ำกว่า 2.5 โวลต์ ทำให้เอาต์พุตที่ขา 7 มีค่าต่ำกว่าขา 1 จึงอ่านค่าออกมาเป็นลบ
- VR_2, R_1, R_2 เป็น R ฟิคแบค (บ๊องกลับ) เพื่อให้เอาต์พุตมีค่าคงที่
- R_3 ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวต้านทานสำหรับแบ่งแรงดันจากขา 3 ของ Sensor ให้โวลต์คงที่

ไอซี UGN3503

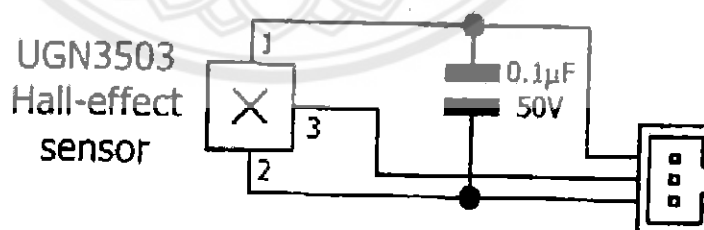


รูปที่ 7 ไอซี UGN3503

คุณสมบัติทางเทคนิค

- ใช้กำหนดแรงดัน 0 – 5 โวลต์ ตามการหมุนแกน
- ใช้วัดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก
- ให้ผลลัพธ์เป็นแรงดันบวกเมื่อที่สนามแม่เหล็กพุ่งออก และถ้าสนามแม่เหล็กพุ่งเข้า จะให้ผลเป็นลบ เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กจะได้ค่ากลาง 2.5 โวลต์

A Magnetic field sensor



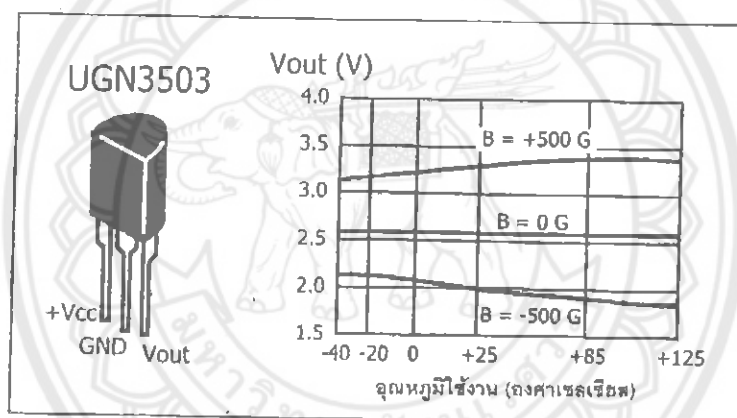
รูปที่ 8 วงจรตรวจจับและวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

คุณสมบัติเบื้องต้น

- ตรวจจับสนามแม่เหล็กที่มีความไวถึง 23 kHz
- ให้แรงดันเอาต์พุตที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ
- แรงดันเอาต์พุตที่มีความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก 0 G คือ 2.5 โวลต์ ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์

- ความไวในการทำงาน 1.30 mV/G ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์
- ทำงานที่ไฟเลี้ยง 4.5 – 6 โวลต์
- ต้องการกระแสไฟฟ้า 9 -13 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์
- ความต้านทานเอาต์พุต 50 – 220 Ω ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์

UGN3503 มีขาต่อใช้งาน 3 ขา คือ ขาไฟเลี้ยง (Vcc), ขาแรงดันเอาต์พุต (Vout), ขากราวด์ (GND) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 พร้อมกันนั้นในรูปยังแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุตกับค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก จะเห็นได้ว่า ถ้าค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีทิศทางเป็นบวก ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มสูงขึ้นจากระดับ 0 เกาส์ซึ่งมีค่าแรงดันเท่ากับ 2.5 โวลต์ และถ้าหากความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีทิศทางเป็นลบ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะลดลงจากระดับแรงดัน 2.5 โวลต์



รูปที่ 9 การจัดขาของ UGN3503 และตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้

การแปลความหมายจาก UGN3503

ในการแปลความหมายจากแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก UGN3503 เพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กออกมาจะสามารถประมาณค่าเป็นแบบเชิงเส้น โดยใช้ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ที่ให้แรงดันเอาต์พุต 2.5 โวลต์ เป็นจุดอ้างอิง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตทุกๆ 1.3 mV จะทำให้ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไป 1 เกาส์ (G) ดังนั้นการแปลงค่าข้อมูลโดยการประมาณอย่างง่ายจะใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$B_G = \frac{v_{out} - 2.5}{0.0013}$$

โดยที่ B คือ ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กในหน่วย เกาส์

V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตที่อ่านได้จาก UGN3503

แต่ในการเขียน โปรแกรมใช้งานเพื่อให้ค่าเริ่มต้นของ B_G เท่ากับศูนย์ในขณะยังไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทบ UGN3503 จะได้เป็น

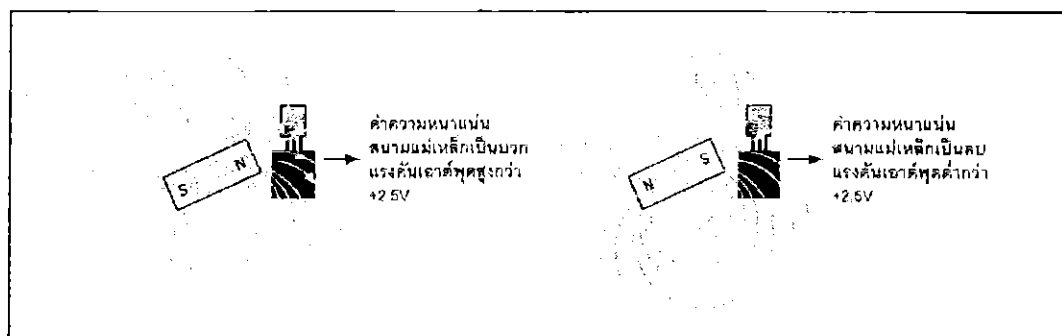
$$B_G \approx \frac{(A_{out} - A_{init})}{0.0013} \times \left(\frac{5}{225}\right)$$

โดยที่ A_{init} คือ ค่าข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอะนาลอกที่ได้จาก UGN3503 ในขณะไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทบ ได้มาจากการทดสอบ

A_{out} คือ ค่าข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอะนาลอกที่ได้จาก UGN3503 ณ เวลาใดๆ

นอกจากนี้ทิศทางของสนามแม่เหล็กภายนอกที่มากระทบบริเวณด้านหน้าของ UGN3503 ยังมีผลต่อเครื่องหมายของค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่อ่านได้ กล่าวคือ ถ้าสนามแม่เหล็กภายนอกมีทิศพุ่งเข้าหาด้านหน้าของ UGN3503 ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่อ่านได้จะเป็นบวก แต่ถ้าสนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากด้านหน้าของ UGN3503 ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กจะเป็นลบ

ถ้านำแม่เหล็กมาเข้าใกล้ด้านหน้าของ UGN3503 แล้วอ่านค่าจากการแปลความหมายออกมามีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า ด้านที่อยู่ใกล้ตัว UGN3503 ของแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือ (เพราะเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กเหนือ) แต่ถ้าหากค่าที่อ่านได้มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าด้านที่อยู่ใกล้ UGN3503 เป็นขั้วใต้ ในรูป แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กกับการตรวจจับของ UGN3503



รูปที่ 10 แสดงผลการทำงานของ UGN3503 เมื่อได้รับสนามแม่เหล็กในทิศทางที่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ก



ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: s.d.)

ในทางสถิติศาสตร์และความน่าจะเป็น เป็นการวัดการกระจายแบบหนึ่งของกลุ่มข้อมูล สามารถนำไปใช้กับการแจกแจงความน่าจะเป็น ตัวแปรสุ่ม ประชากร หรือมัลติเซต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมักเขียนแทนด้วยอักษรกรีกซิกมาตัวเล็ก (σ) นิยามขึ้นจากส่วนเบี่ยงเบนแบบ root mean square (RMS) กับค่าเฉลี่ย หรือนิยามขึ้นจากรากที่สองของความแปรปรวน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม X มีการนิยามไว้ดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{E((X - E(X))^2)} = \sqrt{E(X^2) - (E(X))^2} \\ &= \sqrt{\text{Var}(X)}\end{aligned}$$

เมื่อ $E(X)$ หมายถึงค่าคาดหวังของ X (เป็นอีกความหมายหนึ่งของมัธยฐาน) และ $\text{Var}(X)$ หมายถึงความแปรปรวนของ X แต่ก็ไม่ใช่ที่ตัวแปรสุ่มทุกตัวจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถ้าหากค่าคาดหวังไม่มีอยู่จริงหรือไม่นิยาม ตัวอย่างเช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มภายใต้การแจกแจงโคชี (Cauchy distribution) จะไม่นิยาม เพราะว่า $E(X)$ ก็ไม่นิยามเช่นกัน

ถ้าตัวแปรสุ่ม X มีพื้นฐานอยู่บนเซตข้อมูล x_1, \dots, x_N ซึ่งสมาชิกเป็นจำนวนจริงและมีความน่าจะเป็นเท่ากัน ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสูตรข้างล่างนี้ อันดับแรกต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ X เสียก่อน ค่าเฉลี่ยเขียนแทนด้วย \bar{x} ซึ่งนิยามด้วยผลรวม (summation) ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$$

เมื่อ N คือจำนวนสมาชิกของเซตข้อมูล จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จาก

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

ในทางปฏิบัติ การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่องข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สำหรับแต่ละค่าของ x_i ให้คำนวณผลต่างของ $x_i - \bar{x}$
2. นำผลต่างแต่ละตัวมายกกำลังสอง

3. บวกผลลัพธ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วหารด้วย N ค่าที่ได้นี้คือความแปรปรวน σ^2
4. คำนวณหารากที่สองที่เป็นบวกของความแปรปรวน จะได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

นอกจากนั้นสูตรดังกล่าวสามารถดัดแปลงให้เป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - N\bar{x}^2 \right)}$$

ซึ่งความเท่ากันของทั้งสองสูตร สามารถพิสูจน์ได้ด้วยความรู้ทางพีชคณิต

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 &= \sum_{i=1}^N (x_i^2 - 2x_i\bar{x} + \bar{x}^2) \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \left(2\bar{x} \sum_{i=1}^N x_i \right) + N\bar{x}^2 \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - 2\bar{x}(N\bar{x}) + N\bar{x}^2 \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - 2N\bar{x}^2 + N\bar{x}^2 \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - N\bar{x}^2 \end{aligned}$$

การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

ในความเป็นจริง การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรทั่วทั้งหมดนั้น อาจไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นจริงได้ เว้นแต่ในกรณีเฉพาะเช่นการทดสอบมาตรฐาน (standardized test) ซึ่งทุกสมาชิกของประชากรจะถือว่าเป็นกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด แต่ในกรณีส่วนใหญ่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะถูกคาดคะเนจากจากส่วนเบี่ยงเบนของตัวอย่างกลุ่มหนึ่งที่มาจากประชากร การวัดที่มักถูกใช้เป็นปกติทั่วไปคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (sample standard deviation) ซึ่งนิยามโดย

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

เมื่อ $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ คือตัวอย่างและ \bar{x} คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ตัวส่วน $N - 1$ คือองศาเสรี (degrees of freedom) ของเวกเตอร์ $(x_1 - \bar{x}, \dots, x_N - \bar{x})$

เหตุผลของการนิยามเช่นนี้คือ s^2 เป็นตัวประมาณค่าไม่เอนเอียง (unbiased estimator) สำหรับความแปรปรวน σ^2 บนประชากรที่เป็นพื้นฐาน ถ้าหากความแปรปรวนนั้นมีค่า และค่าต่างๆ ของตัวอย่างได้รับการสุ่มออกมาโดยอิสระต่อกัน อย่างไรก็ตาม s ไม่ใช่ตัวประมาณค่าไม่เอนเอียงของ σ แต่เป็นการประเมินค่าที่ต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร และถึงแม้ว่าตัวประมาณค่าไม่เอนเอียงของ σ จะสามารถทราบได้เมื่อตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงปกติ แต่สูตรดังกล่าวจะซับซ้อนขึ้นและมีการปรับแต่งตัวเลข ยิ่งกว่านั้นความไม่เอนเอียงก็ไม่ได้เป็นที่ต้องการเสมอไป

ตัวประมาณค่าอีกแบบหนึ่งบางครั้งก็ถูกใช้เหมือนสูตรเดิม

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

รูปแบบนี้จะทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนประเภท mean squared error น้อยกว่าตัวประมาณค่าไม่เอนเอียง และเป็นการประมาณความควรจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood) เมื่อการกระจายของประชากรนั้นเป็นการแจกแจงปกติ