

การจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำไฟฟ้าบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์
CLASSIFICATION OF CONDUCTOR MATERIALS
BASED ON HALL EFFECT SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำไฟฟ้าบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์
CLASSIFICATION OF CONDUCTOR MATERIALS
BASED ON HALL EFFECT SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเป็นการศึกษา 2559 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLASSIFICATION OF CONDUCTOR MATERIALS
BASED ON HALL EFFECT SENSOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำไฟฟ้าบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์
CLASSIFICATION OF CONDUCTOR MATERIALS BASED ON HALL EFFECT SENSOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวนิศรา แก้วนามชัย รหัสนักศึกษา 56011050
นางสาวธารินี อนุตรโสทธิ รหัสนักศึกษา 56010606
นางสาวศตพร ส่องแสงเจริญ รหัสนักศึกษา 56011172

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. วิศรุต ศรีรัตน์นะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำไฟฟ้าบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์		
	CLASSIFICATION OF CONDUCTOR MATERIALS BASED ON HALL EFFECT SENSOR		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวนิศรา แก้วนามชัย	รหัสนักศึกษา	56011050
	นางสาวธารินี อนุตรโสทธิ	รหัสนักศึกษา	56010606
	นางสาวศตพร ส่องแสงเจริญ	รหัสนักศึกษา	56011172
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิศรุต	ศรียรัตน์	
ปีการศึกษา	2559		

บทคัดย่อ

การใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำ ที่มีอัตราส่วนผสมของโลหะที่แตกต่างกันบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ ด้วยการวิเคราะห์แรงดันทางไฟฟ้าขาออกที่มีความสัมพันธ์กับวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยวัสดุตัวนำที่ต่างชนิดกันนี้ สามารถทำให้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป เนื่องจากในวัสดุตัวนำแต่ละชนิดจะมีค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งเสมอ ในการตรวจวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ในการตรวจวัดนี้ สามารถแสดงผลออกมาให้อยู่ในรูปของแรงดันทางไฟฟ้า ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างกันได้ระหว่างวัสดุที่ต่างชนิดกัน ซึ่งวัสดุที่ใช้ทดสอบ คือ เหล็ก และ อะลูมิเนียม ค่าเฉลี่ยของแรงดันทางไฟฟ้าจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ที่ได้เท่ากับ 2.7068 V, 2.6558 V ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอนี้สามารถนำมาใช้แยกประเภทของวัสดุได้ ซึ่งในการศึกษา และจัดทำโครงการครั้งนี้มีการนำเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้งานอุตสาหกรรมภายในอนาคตต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	CLASSIFICATION OF CONDUCTOR MATERIALS BASED ON HALL EFFECT SENSOR	
Authors	Ms.Vanisara	Kaewnamchai
	Ms.Tharinee	Anutarasotthi
	Ms.Sataporn	Songsaengcharoen
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Witsarut Sriratana	
Year	2016	

ABSTRACT

This project presents a Hall Effect based material classification system. In this respect, a Hall Effect Sensor is used to sense the intensity of magnetic field change from three different square plates of dimensions made of Steel and Aluminum. The induced Hall voltage is found to vary with different metal components, and is plotted onto a graph to yield distinctive Hall voltage profiles. Because, In each conductor material, There are always a constant inductance and constant resistance. The average Hall voltage profiles of Steel and Aluminum were 2.7068 V , 2.6558 V respectively. Results suggest that the proposed system can be used to identify type of materials, thereby the application of measuring instruments and equipment has been applied and can be applied to future industrial applications.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้นมาจาก ความเมตตากรุณาที่ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆจาก รศ.ดร. วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการทำปริญญาบัตรที่ได้ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และดูแลควบคุมการทำงานอย่างใกล้ชิด ผู้จัดทำมีความรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและคำสั่งสอนเพื่อนำมาจัดทำปริญญาบัตรนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่ในการศึกษาวิจัย และสนับสนุนอุปกรณ์ในการจัดทำปริญญาบัตร

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ พร้อมกำลังใจที่มีให้กันตลอดการเรียนและการจัดทำปริญญาบัตรที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบคุณ บิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาค้นคว้ามาซึ่งการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณความดีที่พึงมีจากการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบอบแด่ บิดา มารดา รวมทั้งคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัด.....	3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์.....	3
2.1.1 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor).....	3
2.1.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect).....	5
2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing).....	8
2.2.1 การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing).....	8
2.2.2 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Testing).....	9
2.2.2.1 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง.....	10
2.2.2.2 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยอ้อม.....	10
2.2.2.3 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยใช้แสงสว่างช่วย.....	10
2.2.3 การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Testing).....	11
2.2.4 การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน (Eddy Current Testing).....	11
2.2.5 การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing).....	12
2.2.6 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing).....	12
2.3 ทฤษฎีกระแสไหลวน.....	13
2.3.1 การเกิดกระแสไหลวน.....	14
2.4 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ/หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....	16
2.4.2 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	17
2.4.3 ประเภทและคุณสมบัติของแม่เหล็ก.....	18
2.5 ทฤษฎีโลหะ.....	18
2.5.1 โลหะที่เป็นเหล็ก (Ferrous Metallurgy).....	19
2.5.1.1 เหล็กกล้า.....	19
2.5.1.2 เหล็กหล่อ.....	20
2.5.2 โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (Nonferrous Metallurgy).....	21
2.5.2.1 โลหะหนัก.....	21
2.5.2.2 โลหะเบา.....	22
2.5.2.3 โลหะผสม.....	23
2.5.3 คุณสมบัติทั่วไปของโลหะ.....	24
2.5.4 คุณสมบัติทางกลของโลหะ.....	24
2.5.4.1 ความแข็ง.....	24
2.5.4.2 ความเหนียว และความเปราะ.....	24
2.5.4.3 ความแข็งแรง.....	24
2.5.5 คุณสมบัติทางเคมีของโลหะ.....	25
2.5.5.1 การออกซิเดชัน (Oxidation).....	25
2.5.5.2 การกัดกร่อนทางไฟฟ้า (Galvanic Corrosion).....	25
2.5.5.3 การเป็นหลุม (Pitting Corrosion).....	26
2.5.5.4 การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion).....	26
2.5.5.5 การกัดกร่อนจากรอยแตกของความเค้น.....	26
(Stress Corrosion Cracking)	
2.6 วัสดุที่ใช้วัด.....	26
2.6.1 อะลูมิเนียม.....	26
2.6.2 ทองแดง.....	28
2.6.3 เหล็ก.....	28
2.6.4 เหล็กกล้าไร้สนิม.....	28
2.7 การตรวจโลหะ.....	30
2.7.1 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจหาโลหะ.....	30
2.7.2 ประเภทของเครื่องตรวจหาโลหะ.....	30
2.7.2.1 เครื่องตรวจหาโลหะแบบ Very Low Frequency (VLF).....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และยืมอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2.2 เครื่องตรวจหาโลหะแบบ Pulse Induction (PI).....	31
2.7.2.3 เครื่องตรวจหาโลหะแบบ Beat Frequency Oscillation (BFO).....	32
บทที่ 3 การออกแบบระบบ อุปกรณ์ และการดำเนินงาน.....	33
3.1 องค์ประกอบและการทำงานโดยรวมของระบบ.....	33
3.2 อุปกรณ์.....	33
3.2.1 ฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์.....	34
3.2.2 ขดลวดและแกน.....	34
3.2.3 โลหะที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.2.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า.....	36
3.2.5 วงจร.....	36
3.2.6 Arduino.....	36
3.3 รายละเอียดการออกแบบส่วนต่างๆ ของระบบ.....	37
3.3.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์.....	37
3.3.1.1 ส่วนของชุดอุปกรณ์รับค่าจากการวัด.....	37
3.3.1.2 ส่วนของวงจรขยายสัญญาณ.....	39
3.3.1.2.1 วงจรขยายสัญญาณ (AD524).....	39
3.3.1.2.2 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter).....	40
3.3.1.2.3 วงจรขยายสัญญาณ (OP07).....	41
3.3.1.3 ส่วนของการประมวลผล.....	41
3.3.2 การออกแบบส่วนของซอฟต์แวร์.....	41
3.3.2.1 ฟังก์ชันการทำงานการรับค่าแรงดันไฟฟ้าและแสดงผล.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
4.1 สมมุติฐานของการทดลอง.....	45
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	45
4.2.1 ทำการกำหนดตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้า.....	45
4.2.2 การทดลองการตรวจวัดแผ่นวัสดุ.....	46
4.3 สรุปผลการทดลอง.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	65
Specification ของอุปกรณ์.....	66



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียม..... ความหนา 1 มิลลิเมตร	46
4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียม..... ความหนา 2 มิลลิเมตร	48
4.3 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียม..... ความหนา 3 มิลลิเมตร	49
4.4 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียม..... ขนาด 8×8 cm ที่ความหนา 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร	51
4.5 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... ความหนา 2 มิลลิเมตร	52
4.6 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... ความหนา 3 มิลลิเมตร	54
4.7 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... ความหนา 4 มิลลิเมตร	55
4.8 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... ความหนา 6 มิลลิเมตร	56
4.9 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร ที่ความหนา 2, 3, 4 และ 6 มิลลิเมตร	57
4.10 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... และแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร	59
4.11 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก..... และแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร	60

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ตัวรับรูดฮอลล์.....3
2.2	การต่อตัวรับรูดฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์.....4
2.3	การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....4
2.4	แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์.....5
2.5	การวัดความต่างศักย์ฮอลล์6
2.6	แสดงการถ่ายภาพรังสี.....8
2.7	แสดงการเกิดกระแสไหลวน.....11
2.8	แสดงการแทรกซึมของรอยร้าว.....12
2.9	การทดลองกฎของฟาราเดย์.....14
2.10	การทดลองกฎของเลนซ์.....14
2.11	การเกิดกระแสไหลวน.....15
ก. พิจารณาว่าแผ่นวัตถุตัวนำประกอบด้วยขดลวดจำนวนมาก	
ข. การเกิดกระแสเหนี่ยวนำบนแผ่นวัตถุตัวนำ	
2.12	กระแสไหลวนบนวัตถุตัวนำ.....15
2.13	แสดงเครื่องตรวจโลหะ.....30
2.14	แสดงเครื่องตรวจหาโลหะแบบ VLF.....31
2.15	แสดงเครื่องตรวจหาโลหะแบบ Pulse Induction (PI).....32
3.1	แสดงองค์ประกอบโดยรวมของระบบ.....33
3.2	แสดงฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ และการต่อใช้งาน.....34
3.3	แสดง AC/DC Magnetic Field Meter.....34
3.4	แสดงขดลวดที่พันกับแกนเฟอร์ไรท์.....35
3.5	แสดงแผ่นเหล็ก.....35
3.6	แสดงแผ่นอะลูมิเนียม.....35
3.7	แสดงแหล่งจ่ายไฟให้วงจรและฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์.....36
3.8	แสดงวงจรขยายสัญญาณ.....36
3.9	แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3.....37
3.10	แสดงชุดอุปกรณ์รับค่าที่ได้จากการวัด.....38
3.11	แสดงภาพรวมของวงจรขยายสัญญาณ.....39
3.12	แสดงวงจรภายในของ AD524.....40
3.13	แสดงวงจรรองความถี่ต่ำ.....40
3.14	แสดงวงจรขยายสัญญาณ (OP07).....41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 แสดงการดำเนินการโดยรวมของการประมวลผล.....	41
3.16 แสดงขั้นตอนการทำงาน.....	42
4.1 แสดงตำแหน่งการวัดแรงดัน.....	45
4.2 การต่อใช้งานชุดอุปกรณ์จำแนกชนิดของวัสดุ.....	46
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม.....	47
ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม.....	49
ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง	
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม.....	50
ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม.....	52
ซึ่งมีขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร ที่ความหนาต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก.....	53
ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก.....	54
ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก.....	56
ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง	
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก.....	57
ที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก.....	58
ซึ่งมีขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร ที่ความหนาต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง	
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของวัสดุที่ต่างชนิดกัน.....	60
ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 8×8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง	
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของวัสดุที่ต่างชนิดกัน.....	61
ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 8×8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องตรวจหาโลหะถูกใช้งานในหลายประเภท เช่น การตรวจหาโลหะที่มีมูลค่าซึ่งอยู่ใต้ดินตามชายหาด การตรวจในงานก่อสร้างที่ต้องการทราบว่ามีท่อน้ำหรือสายเคเบิลฝังอยู่ การตรวจหาอาวุธก่อนเข้าสนามบิน เป็นต้น ซึ่งในที่นี่จะกล่าวถึงเครื่องตรวจหาโลหะที่ใช้ในการตรวจหาโลหะใต้พื้นดิน เนื่องจากใช้หลักการเดียวกับโครงการนี้

เครื่องตรวจหาโลหะส่วนใหญ่จะมีที่เสียบหูฟัง กล้องควบคุม และหน้าจอบอกสถานะขณะค้นหาให้ทราบ การใช้งานสามารถทำได้โดยการกวาดไปพื้นที่ที่จะค้นหา เมื่อคอยล์อยู่เหนือโลหะสัญญาณจะดังขึ้น หากมีโลหะอยู่ใต้พื้นบริเวณนั้น เครื่องตรวจหาโลหะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) Pulse Induction (PI) ประเภทนี้มีคอยล์ขดเดียวเป็นทั้งตัวส่งและตัวรับ เป็นการส่งพลังงานลูกคลื่นออกไป เมื่อไปกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมา เครื่องตรวจหาโลหะประเภทนี้สามารถหาโลหะที่อยู่ใต้ดินลึกๆได้ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกแยะชนิดของโลหะได้ 2) Very Low Frequency (VLF) ใช้คลื่นวิทยุในย่าน VLF ซึ่งเป็นย่านความถี่ต่ำมาก มีหลักการคือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในคอยล์ส่ง จะเกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นรอบคอยล์ เมื่อคลื่นที่ส่งออกไปกระทบกับโลหะ จะเกิดการสะท้อนของคลื่นกลับมา จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ และออกทางลำโพง ตามลำดับ เครื่องตรวจหาแบบนี้สามารถแยกแยะชนิดของวัตถุได้ โดยอาศัยการเลื่อนเฟสของสัญญาณที่ส่งออกไป การเลื่อนเฟสนี้จะเกิดจาก 2 ปัจจัย คือ ค่าความเหนี่ยวนำ และความต้านทาน ซึ่งวัตถุที่นำไฟฟ้าทุกชนิด จะมีค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งเสมอ ทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของโลหะแต่ละชนิดได้จึงส่งผลให้เครื่องตรวจหาโลหะประเภทนี้มีราคาแพงมาก 3) Beat Frequency Oscillation (BFO) มีคอยล์ 2 อัน อันหนึ่งจะเป็นหัวค้นหา อีกอันจะอยู่ในกล่องควบคุม ทั้งสองอันจะต่อเข้ากับเครื่องออสซิลเลเตอร์ ให้กำเนิดความถี่เป็นสัญญาณวิทยุ และส่งไปยังวัตถุใต้พื้นดิน ทำให้ความถี่ของวิทยุเปลี่ยนไป คอยล์ที่อยู่ในกล่องควบคุมจะทำการเปรียบเทียบความถี่ที่เปลี่ยนไป ความแตกต่างของความถี่ทำให้เกิดเสียงบีตส์ขึ้น BFO ง่ายต่อการผลิต และราคาถูกเนื่องจากไม่มีการปรับความละเอียดเหมือนเครื่องตรวจโลหะแบบ VLF และ PI

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เราสามารถนำอุปกรณ์ที่มีอยู่ รวมไปถึงหลักการการทำงาน และทฤษฎีต่างๆมาประยุกต์ใช้แทนอุปกรณ์วัดเฉพาะทางได้ จึงได้จัดทำโครงการนี้ขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดต้นทุนในการจัดทำอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์มีราคาถูก และวงจรที่ใช้จัดทำโครงการนี้มีการนำไอซี และอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายมาประกอบรวมกันแล้ว ยังมีราคาต้นทุนที่ถูกกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดซื้อเครื่องมือที่มีราคาแพง ซึ่งโครงการนี้อาจจะเป็นต้นแบบให้ผู้อื่นนำไปพัฒนาต่อยอดให้ดีขึ้นได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อนำหลักการต่างๆที่ศึกษามาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้
4. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือการวัดโดยคำนึงถึงโครงสร้างและการทำงานที่ไม่ซับซ้อน
5. เพื่อลดต้นทุนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งบางวิธีมีค่าใช้จ่ายสูง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานการศึกษาอยู่ภายใต้หลักการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีวัสดุที่ต่างชนิดกันซึ่งมีความเหนียวนำ และค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่างกัน ที่มีขนาด และความหนาที่ต่างกัน ตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไป มีการนำฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์มาทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็ก เพื่อแสดงผลแรงดันทางไฟฟ้าออกมาให้ทราบได้

1.4 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

1. ศึกษาหลักการเกิดความเข้มของสนามแม่เหล็ก
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องตรวจวัดวัสดุที่ใช้ทดสอบซึ่งเป็นวัสดุทดสอบที่ต่างชนิดกัน ด้วยการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก บนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์
3. สร้างแบบจำลองของสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการตรวจวัดวัสดุที่ต่างชนิดกัน
4. ใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาทดสอบกับวัสดุทดสอบ แสดงผลการทดลองออกมาทางโปรแกรมแสดงผล เพื่อเปรียบเทียบค่าของแรงดันทางไฟฟ้าที่ต่างกันของวัสดุที่ใช้ทดสอบ
5. สรุปผลของการสร้างแบบจำลองและผลของการทดลอง

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานเพื่อวางแผนการดำเนินงาน
2. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีรวมไปถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำไฟฟ้าบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์
3. ศึกษารายละเอียดโดยรวมในการทำโครงงาน
4. ออกแบบและสร้างแบบจำลองของสนามแม่เหล็ก
5. ทดสอบระบบและทดลองแบบจำลองของสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้น
6. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
7. ปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
8. จัดทำเอกสารปริญญาานิพนธ์
9. สรุปผลการทำปริญญาานิพนธ์และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

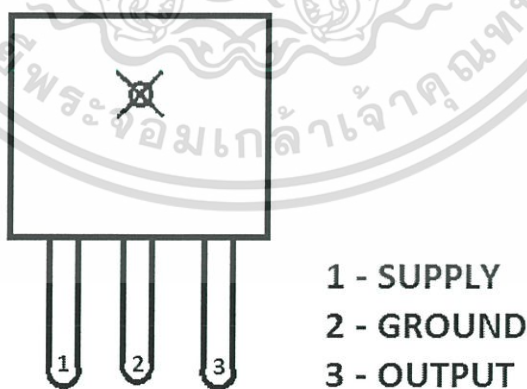
หลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัด

เนื่องจากโครงการนี้เป็นกรจำแนกชนิดของวัสดุตัวนำไฟฟ้า บนพื้นฐานของอุปกรณ์ตรวจรู้ตัวอย่างฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการเกิดสนามแม่เหล็ก การเกิดกระแสไหลวน หรือที่เรียกกันว่า Eddy Current และในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ตรวจรู้ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ การเกิดสนามแม่เหล็ก การเกิดกระแสไหลวน การทดสอบวัสดุแบบไม่ทำลายที่มีอยู่ในปัจจุบัน เครื่องตรวจหาโลหะที่มีการใช้ทฤษฎีเช่นเดียวกับโครงการนี้ และทฤษฎีเกี่ยวกับโลหะที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ [1]

แม่เหล็ก (Magnet) เป็นสิ่งที่สามารถดูดวัสดุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) เป็นต้น การที่แม่เหล็กดูดสารบางอย่างได้ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ในบริเวณโดยรอบแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยใช้เข็มทิศ แต่เราไม่สามารถทราบได้ว่ามีขนาดเท่าใด นักวิทยาศาสตร์พยายามวัดสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการต่างๆ แต่ในปัจจุบันเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวกและรวดเร็วโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้ง เมื่อนำตัวรับรู้ฮอลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

2.1.1 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor)



รูปที่ 2.1 ตัวรับรู้ฮอลล์

ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวม มีขนาดและลักษณะ ดังรูปที่ 2.1 และมีคุณสมบัติดังนี้

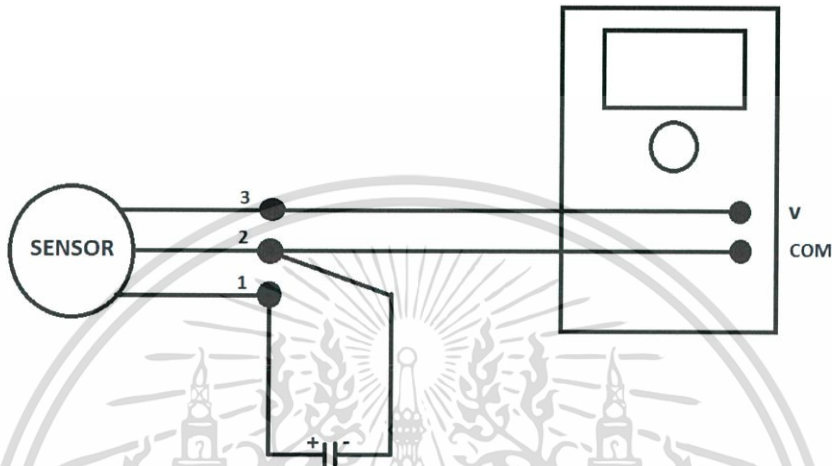
- Input Voltage 4.5-6 V

- Offset Voltage 2.5 V (โดยประมาณ)

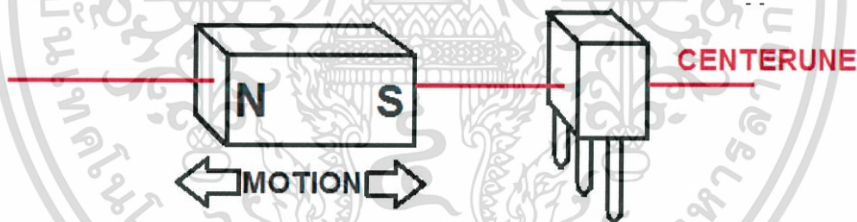
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเรียงพิมพ์ที่ขอสงวนไว้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sensitivity 2.5 mV/G

เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5-6 โวลต์ เข้ากับขา 1 และขา 2 และ ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และขา 3 ดังรูปที่ 2.2 โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็นความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก เรียกว่า Offset Voltage ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 1 และขา 2 แต่จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



รูปที่ 2.2 การต่อตัวรับรู้ฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 2.3 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้พื้นที่ใช้งานของตัวรับรู้ฮอลล์ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็กกล่าวคือถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ดังนี้

$$B = (V_{out(B)} - V_{out(O)})S^{-1} \quad (2.1)$$

เมื่อ $V_{out(O)}$ คือ ความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

$V_{out(B)}$ คือ ความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

S คือ สัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา (V/T)

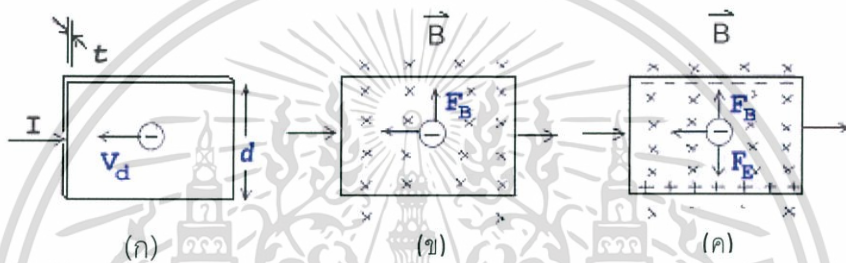
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์ของแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

ตัวรับรู้ฮอลล์สามารถวัดสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้แม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณปลายโซลินอยด์ และสนามแม่เหล็กใกล้เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านได้

2.1.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (Charge Carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำแผ่นบางๆ ในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้ เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

- (ก) แผ่นตัวนำแผ่นบางที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า
- (ข) เมื่อใส่สนามแม่เหล็กที่แผ่นตัวนำบาง ทำให้เกิดแรงกระทำกับอิเล็กตรอน ส่งผลให้อิเล็กตรอนมีการเบน
- (ค) อิเล็กตรอนถูกผลักไปด้านบนของแผ่นตัวนำ และด้านล่างจะเกิดประจุบวกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์

รูปที่ 2.4 (ก) แสดงตัวนำแผ่นบางๆ ที่มีความกว้าง (d) หนา (t) และมีกระแสไฟฟ้า (Conventional Current (I)) ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน (V_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า (I) จากด้านขวาไปด้านซ้าย รูปที่ 2.4 (ข) เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก (B) ในทิศพุ่งเข้าหา และตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบาง จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง รูปที่ 2.4 (ค) เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall Field) E_H ในแผ่นตัวนำบาง มีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน สนามไฟฟ้าที่เกิด ในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

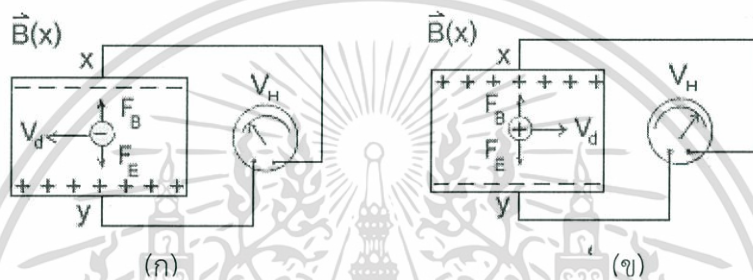
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงอื่นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณผู้ใดเห็นประโยชน์จะเขียนขึ้นการคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_H = \frac{V}{d} \quad (2.2)$$

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall Potential Difference หรือ Hall Voltage) V_H พบว่าความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อนำตัวนำแผ่นบางๆ ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผล พิจารณาได้จากสมการที่ (2.8) หรือสมการที่ (2.9) ในตอนท้าย)

จากสมการที่ (2.2) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

- (ก) วัด V_H โดยต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์ที่จุด x และจุด y พาหะประจุ คือ อิเล็กตรอน
 (ข) พาหะประจุเป็นบวก ส่งผลให้ทิศของ V_d ตรงข้ามกับรูปที่ 2.5 (ก)

เราสามารถวัด V_H โดยต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูปที่ 2.5 (ก) สภาวะขั้วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 2.5 (ก) พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูปที่ 2.5 (ก) แต่ทิศของ F_B และ F_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาวะขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ และ จากรูปที่ 2.4 (ค) ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน จะได้

$$\begin{aligned} (-e)E_H &= (-e)V_d B \\ E_H &= V_d B \end{aligned} \quad (2.4)$$

แทนสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.3)

$$V_H = E_H d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_H = V_d B d \quad (2.5)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (2.6)$$

เมื่อ n คือ จำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ)

e คือ ขนาดของอิเล็กตรอน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำแผ่นบางๆ

แทนสมการที่ (2.6) ลงในสมการที่ (2.5) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \quad (2.7)$$

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

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (2.8)$$

สมการที่ (2.8) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$B = netI^{-1}V_H \quad (2.9)$$

ปริมาณ $V_H I$ และ t ในสมการที่ (2.9) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมากแต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n = 10^{22} m^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n = 10^{28} m^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการที่ (2.9) ได้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (Tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (Gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1T = 10^4 G$

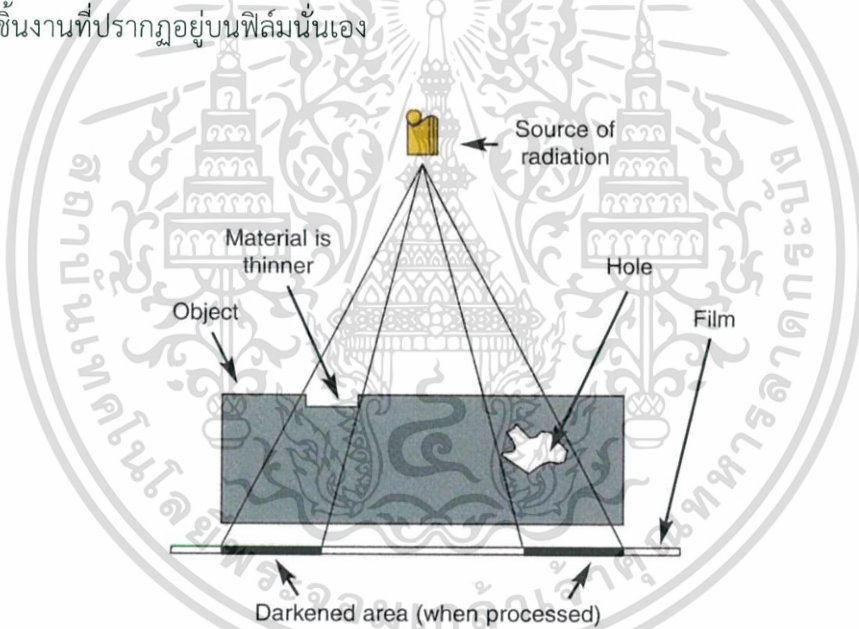
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) [2] [3]

การทดสอบเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของชิ้นงาน ที่ถูกทดสอบโดยการหารอยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ในชิ้นงาน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประเมินความเหมาะสมในการใช้งานของชิ้นงาน การทดสอบจะไม่มีผลกระทบต่อ หรือก่เกิดความเสียหายต่อการนำชิ้นงานไปใช้งานหรือลดประโยชน์ของชิ้นงานนั้น มีหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้หลากหลายวิธี เช่น รังสี แสง คลื่นเสียง แม่เหล็ก และไฟฟ้า เป็นต้น การทดสอบโดยไม่ทำลายในแต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบ และข้อเสียเปรียบ ความสามารถในการทดสอบ ความเหมาะสม ความไวในการทดสอบ และต้นทุนที่ต่างกัน

2.2.1 การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing)

เป็นการทดสอบโดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง จากแหล่งกำเนิดรังสี ผ่านชิ้นงาน ซึ่งอาจทำจากวัสดุชนิดต่างๆ อาศัยหลักการดูดซับพลังงานที่ไม่เท่ากันของวัสดุหรือการที่วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่น มีโพรงอากาศอยู่ภายใน ทำให้พลังงานของรังสีผ่านชิ้นงานตรงบริเวณที่เป็นโพรงได้มากกว่า และทำปฏิกิริยากับสารไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวฟิล์มได้มากกว่าส่วนอื่น เมื่อล้างฟิล์มออกมาแล้วก็มีสีคล้ำกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยรังสีจึงเป็นการแปรผลจากเงาของภาพชิ้นงานที่ปรากฏอยู่บนฟิล์มนั่นเอง



รูปที่ 2.6 แสดงการถ่ายภาพรังสี

สรุปเบื้องต้นได้ว่าส่วนประกอบหลักของการทดสอบด้วยวิธีถ่ายภาพรังสีมีอยู่ 3 ส่วน คือ

- 1) ต้นกำเนิดรังสี (Source of Radiation) ใช้รังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์
- 2) ชิ้นงานทดสอบ
- 3) ฟิล์ม

ข้อเด่นของการทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี

- 1) สามารถแปรผลจากฟิล์ม ทำให้ง่ายกว่าการแปรผลจากสัญญาณการทดสอบบาง

วิธี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ภาพจากฟิล์มเก็บไว้เป็นหลักฐาน สามารถตรวจสอบผลย้อนหลังได้
- 3) สามารถทดสอบได้กับวัตถุที่เป็นโลหะ และอโลหะ
- 4) การสอบเทียบเครื่องมืออยู่ที่ 1-2 ครั้งต่อปี และไม่ต้องปรับเทียบทุกครั้งก่อนทดสอบ

ข้อดีของการทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี

- 1) ต้องมีวิธีการป้องกันอันตรายจากรังสีที่ใช้ทดสอบ
- 2) ต้องเข้าถึงชิ้นงานทั้งสองด้าน (ด้านหนึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสี ส่วนอีกด้านหนึ่งติดฟิล์ม) ซึ่งอาจไม่สะดวกต่อการทำงานในบางสภาวะ
- 3) ในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนาแน่นมาก รังสีไม่สามารถส่งผ่านทะลุถึงฟิล์มได้
- 4) ค่าใช้จ่ายตั้งต้นของเครื่องมือมีราคาสูง และมีค่าใช้จ่ายในการใช้ฟิล์มทุกครั้งที่มีการทดสอบ
- 5) ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

2.2.2 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Testing)

การตรวจพินิจหรืออาจเรียกได้ว่าการทดสอบด้วยสายตา อาจใช้อุปกรณ์อื่นช่วยตรวจสอบได้ เช่น แว่นขยาย ใช้ทดสอบผิวชิ้นงาน และมักทำก่อนการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีอื่นบ่อยครั้งที่ชิ้นงานจะถูกตัดสินเป็นของเสีย และเมื่อผ่านการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจนี้ในบางครั้งไม่จำเป็นต้องทดสอบด้วยวิธีอื่นอีกต่อไป

การทดสอบวิธีการตรวจสอบแบบพินิจนี้ ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับชิ้นงาน และรู้จักรอยความไม่ต่อเนื่องที่จะเกิดกับชิ้นงานนั้น อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์และประเมินชิ้นงานว่าเป็นของเสียหรือไม่ จะเห็นว่าการทดสอบวิธีนี้ต้องใช้ความรู้ ความชำนาญ ลักษณะการใช้งานของชิ้นงาน กระบวนการผลิตและรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น รวมไปถึงประวัติการใช้งาน ในกรณีชิ้นงานผ่านการใช้งานมาแล้ว ต่อไปจะกล่าวถึง ข้อดีและข้อเสียของการทดสอบโดยการตรวจพินิจโดยสายตาว่ามีผลกระทบต่อสิ่งต่างๆ อย่างไรบ้าง

ข้อดีของการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยสายตา

- 1) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่าย
- 2) ใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่น
- 3) ต้นทุนในการทดสอบต่ำ
- 4) การอบรมบุคลากรในการทดสอบใช้เวลาสั้น
- 5) สามารถทำการทดสอบได้ทุกขั้นตอนการผลิต
- 6) เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อนหรือไม่ใช้เลย
- 7) สถานที่และรูปร่างของวัสดุไม่เป็นข้อจำกัด

ข้อเสียของการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยสายตา

- 1) ต้องใช้คนที่มีความรู้และความชำนาญสูง
- 2) ไม่มีมาตรฐานในการกำหนดการตัดสินใจว่าชิ้นงานเป็นของเสียหรือไม่
- 3) สามารถทดสอบได้บริเวณผิวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) การทดสอบต้องใช้สายตาเป็นหลัก ถ้าสายตาอ่อนล้าอาจทำให้การตัดสินใจผิดพลาด

2.2.2.1 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง

การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง (Direct Visual Examination) ผู้ทดสอบต้องผ่านการตรวจสอบสายตา และผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานที่อ้างอิง วิธีการทดสอบโดยการตรวจพินิจโดยตรง คือสายตาต้องอยู่ห่างจากชิ้นงานไม่เกิน 24 นิ้ว และทำมุมไม่ต่ำกว่า 30° กับผิวชิ้นงาน ในพื้นที่ทดสอบต้องมีความเข้มแสงตามมาตรฐานที่อ้างอิง (แต่ละมาตรฐานมีข้อกำหนดต่างกัน)

2.2.2.2 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยอ้อม

การทดสอบโดยการตรวจพินิจโดยอ้อมหรือที่เรียกว่า (Remote Visual Examination) จะใช้วิธีนี้ในกรณีที่ต้องการทดสอบในบริเวณที่ไม่สามารถมองด้วยสายตาโดยตรงได้ ซึ่งจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยทดสอบระยะไกล เช่น กระจกเงา (Mirror) กล้องโทรทรรศน์ (Telescope) บอรัสโคป (Borescope) และกล้องถ่ายรูป หรือเครื่องมืออื่นๆ ที่มีความเหมาะสม และมีความสามารถในการแยกแยะ ไม่น้อยกว่าการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง

2.2.2.3 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยใช้แสงสว่างช่วย

เป็นการช่วยเสริมการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง โดยใช้แสงสว่างที่สร้างขึ้นมาใช้เฉพาะงาน เช่น การใช้แสงสว่างจากหลอดไฟจำกัดการส่องสว่างเฉพาะที่ เพื่อให้พื้นที่ทดสอบมีความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอได้ตามมาตรฐาน และต้องควบคุมไม่ให้แสงสะท้อนผิวงานเข้าตา

ลักษณะเด่นของการทดสอบแบบ Visual Testing

- 1) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่าย
- 2) ใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่น
- 3) ต้นทุนในการทดสอบต่ำ
- 4) การอบรมบุคลากรใช้เวลาสั้น
- 5) สามารถทำการทดสอบได้ทุกขั้นตอนการผลิต
- 6) เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อนหรือไม่ใช้เลย
- 7) สถานที่และรูปร่างของวัสดุไม่เป็นข้อจำกัด

ลักษณะด้อยของการทดสอบแบบ Visual Testing

- 1) ถึงแม้เป็นวิธีทดสอบที่ง่าย แต่ต้องใช้ความรู้ และความชำนาญสูง
- 2) บางครั้งไม่มีมาตรฐานในการกำหนดการตัดสินใจว่า เป็นของเสียหรือไม่
- 3) สามารถทดสอบบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานเท่านั้น
- 4) การทดสอบต้องใช้สายตาเป็นหลัก สายตาที่อ่อนล้าอาจทำให้ตัดสินใจผิดพลาดได้

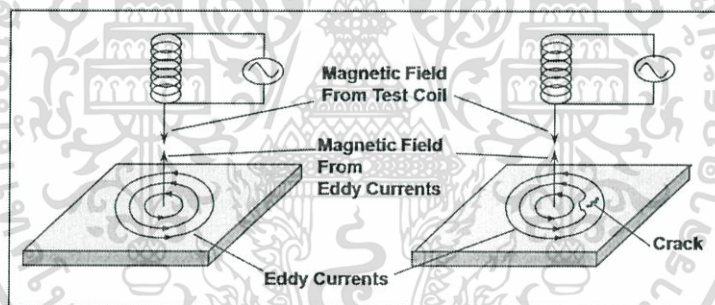
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Testing)

วิธีการทดสอบโดยอาศัยคลื่นเสียงความถี่สูงที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน (คลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์) เสียงเดินทางในของแข็งเร็วกว่าในอากาศหรือก๊าซ เนื่องจากโมเลกุลอยู่ชิดกันมากกว่า เช่น ความเร็วของเสียงในอากาศ และอะลูมิเนียมเท่ากับ 333 เมตร/วินาที และ 6320 เมตร/วินาที ตามลำดับ เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solids) ความเข้มของเสียงจะลดลงไม่มากนัก แต่ถ้าเสียงผ่านรอยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) ที่มีขนาดประมาณเท่ากับความยาวคลื่นหรือใหญ่กว่า เสียงจะเกิดการสะท้อน (Reflect) หรือถูกดูดกลืนโดยรอยความไม่ต่อเนื่องนั้น คลื่นเสียงความถี่สูงจะถูกสร้างขึ้นจากผลึกซึ่งอยู่ภายในหัวทดสอบ (Probe) คลื่นเสียงจะเคลื่อนที่สู่ชิ้นงานโดยผ่านสารช่วยสัมผัส (Couplant) ถ้าชิ้นงานไม่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง จากหน้าจอของเครื่องมือก็จะมีสัญญาณสะท้อนจากผิวด้านล่างของชิ้นงาน (Back Wall Echo)

2.2.4 การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

วิธีการทดสอบโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism) ทำให้เกิดกระแสไหลวนบนชิ้นงานทดสอบ และสังเกตค่าอิมพีแดนซ์ของหัวทดสอบที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสไหลวนบนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความแตกต่างกันของคุณสมบัติ รูปร่าง หรือรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ในวัสดุโดยสามารถทดสอบวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเท่านั้น



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดกระแสไหลวน

ข้อได้เปรียบของการทดสอบ

- 1) มีความไวในการทดสอบสูง เหมาะสำหรับชิ้นงานที่บาง
- 2) หัวทดสอบมีให้เลือกหลายชนิดเหมาะสำหรับงานที่มีรูปร่างซับซ้อนต่างกัน
- 3) หัวทดสอบสามารถทนอุณหภูมิได้สูง
- 4) การทดสอบเป็นแบบไม่สัมผัสกับชิ้นงาน จึงทำให้สามารถทดสอบได้อย่างรวดเร็ว
- 5) อุปกรณ์เป็นแบบพกพา ใช้งานได้สะดวก และสามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้

ข้อเสียเปรียบของการทดสอบ

- 1) สามารถทดสอบได้เฉพาะวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเท่านั้น
- 2) ทดสอบได้เฉพาะรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่บนผิวหรือใต้ผิวลงไปเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ลักษณะพื้นผิวและการสั่นของหัวทดสอบมีผลต่อผลการทดสอบ
- 4) ต้องใช้ชิ้นงานมาตรฐานสำหรับปรับเทียบ (Calibration) สัญญาณจำนวนมาก
- 5) การแปรผลสัญญาณการทดสอบค่อนข้างซับซ้อนและต้องใช้ทักษะสูง

2.2.5 การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing)

การทดสอบหารอยร้าวบนผิวของวัตถุ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก วิธีการคือ โรยผงเหล็กย้อมสีขนาดเล็กลงบนบริเวณที่ทดสอบ (ส่วนใหญ่จะเป็นสเปรย์ผงเหล็ก) จากนั้นนำอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็ก อาจเป็นแม่เหล็กถาวร หรือแบบใช้ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electromagnetic) ก็ได้ หากพบรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนผิวชิ้นงานบริเวณดังกล่าว จะปรากฏเป็นผงเหล็กให้เกาะกันเป็นแนวเส้นตามรอยร้าว เนื่องจากผงเหล็กไม่สามารถกระโดดข้ามผ่านรอยแตกร้าวไปตามเส้นแรงแม่เหล็กได้

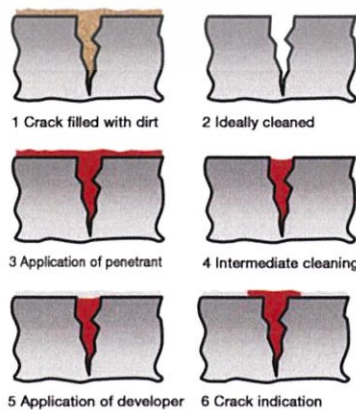
2.2.6 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing)

การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม เป็นวิธีการหารอยบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่องที่เปิดสู่ผิว สามารถทดสอบกับวัสดุทุกชนิดที่ไม่เป็นรูพรุน เช่น แก้ว พลาสติก เซรามิก โลหะ อโลหะ เป็นต้น

การทดสอบโดยวิธีการนี้อาศัยหลักของปฏิกิริยาแทรกซึม (Capillary Action) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ โดยการทาหรือพ่นของเหลวย้อมสีที่มีคุณสมบัติแทรกซึมเข้าไปในรอยร้าวหรือรูเล็กๆ ได้ดี จากนั้นจะใช้สารเคมีหรือน้ำยาที่มีคุณลักษณะคล้ายกระดาษซับ พ่นหรือโรยตรงบริเวณที่ต้องการทดสอบ หากมีรอยแตกร้าวหรือรอยบกพร่องใดๆ บนผิวงาน จะเกิดเป็นเส้นหรือแนวของสารย้อมสีให้เห็นอย่างเด่นชัด การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึมมีทั้งแบบที่เห็นด้วยตาเปล่า (Color Contrast) และแบบที่ต้องทำในห้องมืดโดยใช้แสงแบคไลท์ (เรืองแสง)

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ทำความสะอาดผิวชิ้นงาน
- 2) ใช้ของเหลวทำให้ทั่วผิวหน้าให้ซึมลงไป ในรอยแยก ทิ้งไว้สักระยะ 3-20 นาที
- 3) ขจัดส่วนที่อยู่เฉพาะผิวหน้าออกไป
- 4) ใช้สารละลายอีกชนิดหนึ่งดูดของเหลวที่ซึมลงไป ในรอยแยกออกมา ทำให้มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



รูปที่ 2.8 แสดงการแทรกซึมของรอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นของวิธีการทดสอบแบบใช้สารแทรกซึม

- 1) ชิ้นงานไม่ถูกทำลาย
- 2) ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว
- 3) สามารถทำให้มองเห็นด้วยตาเปล่า
- 4) เทคนิคไม่ซับซ้อน
- 5) ประหยัด

จุดด้อยของวิธีการทดสอบแบบใช้สารแทรกซึม

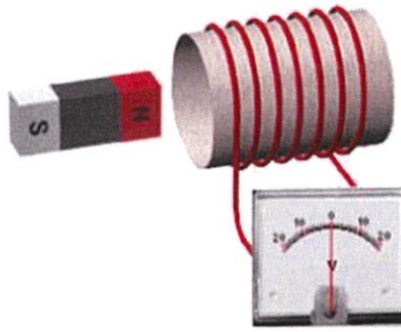
- 1) ไม่สามารถทราบความลึกของรอยร้าวได้
- 2) ไม่สามารถตรวจสอบบริเวณที่เข้าไม่ถึงได้
- 3) สารเคมีอาจเสื่อมประสิทธิภาพได้

2.3 ทฤษฎีกระแสไหลวน [4]

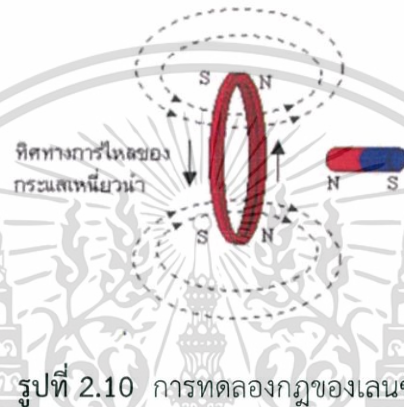
“กระแสไหลวน” ในทางฟิสิกส์มีใช้อยู่ในสองสาขา คือ พลศาสตร์ของไหลและแม่เหล็กไฟฟ้า ในพลศาสตร์ของไหล กระแสไหลวน (Eddy Current หรือ Vortex) คือ กระแสของของไหลที่เคลื่อนที่แตกต่างไปจากกระแสหลักของของไหล โดยปกติกระแสไหลวนจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ก้นหอย หรือเกลียว ตัวอย่างปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดกระแสไหลวน เช่น กระแสไหลวนเกิดขึ้นบริเวณรอบๆพื้นที่ที่มีความดันต่ำและดึงดูดของไหลเข้าหาจุดศูนย์กลางของมัน (พายุไต้ฝุ่น) วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ในของไหล (กระแสไหลวนด้านหลังเครื่องบิน) กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (น้ำไหลผ่านก้อนหินที่ไหลเหนือน้ำในแม่น้ำที่มีกระแสไหลเชี่ยว หรือท้ายกระแสน้ำตื้นที่ส่อสะพานที่สร้างแม่น้ำข้ามลำคลอง)

สำหรับในแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสไหลวน (Eddy Current) คือกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในวัตถุตัวนำโดยกระบวนการที่เรียกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า หลักการทางฟิสิกส์ที่สำคัญที่ใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับการเกิดกระแสไหลวนคือ กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) และ กฎของเลนซ์ ในปีค.ศ. 1824 เออร์สเตดได้ค้นพบกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่สามารถทำให้เข็มทิศเบี่ยงเบน อีก 7 ปี ต่อมา ฟาราเดย์ ได้ศึกษาและทดลอง เกี่ยวกับกระแสเหนี่ยวนำ โดยใช้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าไปในขดลวดโซลินอยด์ที่ต่อครบวงจร จากการทดลองพบว่าเกิดกระแสขึ้นทุกครั้งที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้า-ออกจากขดลวด หรือขดลวดเคลื่อนที่เข้า-ออกจากแท่งแม่เหล็ก ซึ่งกระแสที่เกิดขึ้นในขดลวดในขณะที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าหากับออกจากขดลวดมีทิศตรงข้ามกัน และเมื่อกลับขั้วของแท่งแม่เหล็กก็จะทำให้กระแสไหลเปลี่ยนทิศไป ด้วยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า กระแสเหนี่ยวนำ การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวด จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า เรียกว่า การเหนี่ยวนำในขดลวด การเปลี่ยนแปลงสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยการเคลื่อนที่แม่เหล็กถาวรเข้าหรือออกจากขดลวด ซึ่งฟาราเดย์กล่าวว่า “เมื่อใดก็ตามที่สนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นหรือลดลงตัดผ่านตัวนำไฟฟ้า มันจะสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นบนตัวนำไฟฟ้านั้น ยิ่งสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเร็วเท่าใด แรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะมากขึ้นเท่านั้น” ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดหรือตัวนำไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การทดลองกฎของฟาราเดย์



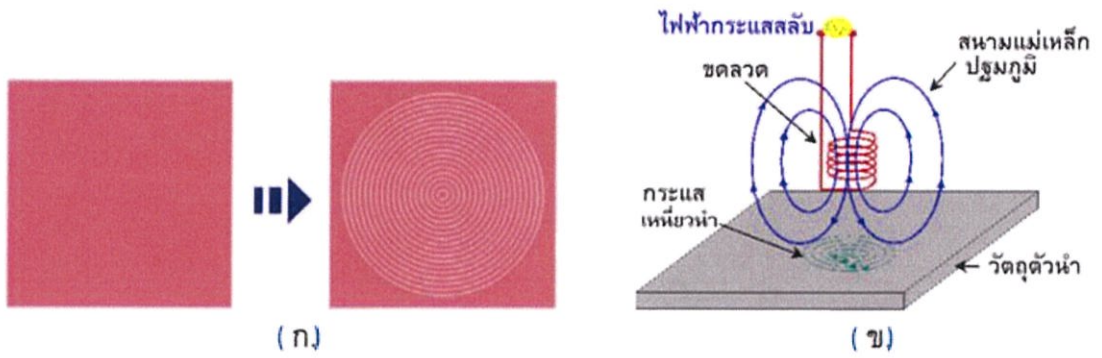
รูปที่ 2.10 การทดลองกฎของเลนซ์

หลังจากฟาราเดย์พบว่า เมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดที่ต่อครบวงจรจะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดนั้น ต่อมาในปี 1834 นักฟิสิกส์รัสเซีย เฮนริชเลนซ์ ได้ค้นพบความสัมพันธ์ของทิศทางของสนามแม่เหล็กและกระแสเหนี่ยวนำ เลนซ์สามารถหาทิศของกระแสที่ไหลในขดลวดนั้นได้ และได้ตั้งเป็นกฎของเลนซ์ ซึ่งกล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กภายนอกที่อยู่รอบๆวัตถุตัวนำ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเป็นไปในลักษณะที่สร้างสนามแม่เหล็ก ที่ต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กภายนอก”

2.3.1 การเกิดกระแสไหลวน

อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิดจะล้อมรอบด้วยสนามแม่เหล็ก ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขณะที่มีไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านอุปกรณ์นั้นๆ สนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่างคงตัว ตามการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้ากระแสสลับ (~50Hz) การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ในวัตถุตัวนำที่อยู่ในบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำไหลในวัตถุตัวนำนั้น กระแสเหนี่ยวนำเหล่านี้ เกิดขึ้นได้อย่างไร ลองนึกถึงลวดที่ขดเป็นวงกลมที่ต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันเมื่อนำลวดขดนี้ไปอยู่ในสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงจะมีกระแสไหลในขดลวด ตามกฎของฟาราเดย์ ถ้าพิจารณาว่าแผ่นวัตถุตัวนำประกอบด้วยขดลวดขนาดต่างกันจำนวนมาก มาวางเรียงซ้อนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) แล้วนำไปวางในบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง ในขดลวดแต่ละขดจะมีกระแสเหนี่ยวนำไหลวนอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

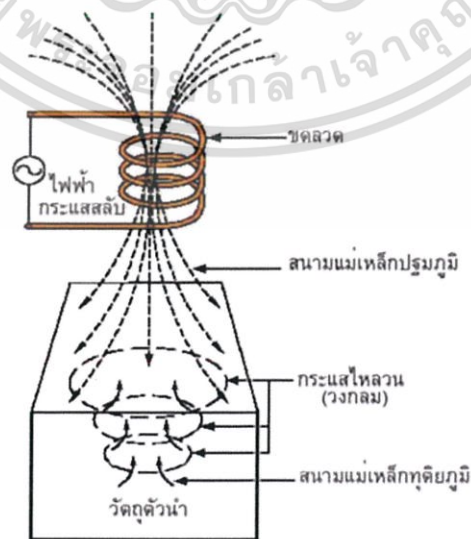


รูปที่ 2.11 การเกิดกระแสไหลวน

- (ก) แผ่นวัสดุตัวนำประกอบด้วยขดลวดจำนวนมาก
 (ข) การเกิดกระแสเหนี่ยวนำบนแผ่นวัสดุตัวนำ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่ขดลวด

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้จะไหลเป็นวงกลม นักวิทยาศาสตร์เรียกว่า กระแสไหลวน เนื่องจากมีรูปแบบคล้ายกับกระแสไหลวนของของเหลว เมื่อไหลผ่านสิ่งกีดขวาง และอยู่ในสภาวะที่ถูกต้อง กระแสไหลวนจะเกิดผลอย่างไร โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.11 เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับให้กับตัวนำ เช่น ลวดทองแดง จะเกิดสนามแม่เหล็กปฐมภูมิ (Primary Magnetic Field) ขึ้นบริเวณรอบๆตัวนำ สนามแม่เหล็กนี้ จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นสูงสุด และหายไปเมื่อกระแสลดลงเป็นศูนย์ ถ้านำวัสดุตัวนำอีกอันหนึ่ง เข้ามาอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงนี้ สนามแม่เหล็กปฐมภูมิจะสร้างกระแสไหลวนขึ้นบนวัสดุตัวนำไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลวนปริมาณมากอยู่ในวัสดุตัวนำนานๆ จะทำให้วัสดุตัวนำมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าของกระแสไหลวนจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ตัวอย่างเช่น แกนของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในขณะที่เกิดกระแสไหลวนขึ้น ตัวกระแสไหลวนเองก็จะสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กปฐมภูมิด้วยตามกฎของเลนซ์ เรียกว่า สนามแม่เหล็กทุติยภูมิ (Secondary Magnetic Field)



รูปที่ 2.12 กระแสไหลวนบนวัสดุตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการนำกระแสไหลวนไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ด้านอุตสาหกรรม การตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วยกระแสไหลวน ใช้ตรวจสอบรอยร้าวหรือความผิดปกติของโลหะที่อยู่ลึกลงไปใต้ผิว บริเวณที่มีรอยร้าวหรือมีฟองอากาศจะทำให้กระแสไหลวนผิดปกติ สนามแม่เหล็กหุติยภูมิจะผิดปกติไปด้วย และตัวรับรู้กระแสไหลวนจะแสดงให้ผู้ตรวจสอบทราบ

2.4 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า [5]

แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำ หมายความว่า ถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

2.4.1 ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- 1) จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมาก จะส่งผลให้เกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกัน ถ้าพันจำนวนรอบน้อย การเกิดสนามแม่เหล็กจะน้อยตามไปด้วย
- 2) ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมาก สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นมาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กก็จะเกิดน้อย
- 3) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนวัสดุต่างชนิดกัน จะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศ จะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็ก เฟอร์ไรต์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวด ทำให้บริเวณโดยรอบ มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น
- 4) ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย

การหาความเข้มสนามแม่เหล็กในแกนของขดลวดหาได้จาก

$$H = \frac{NI}{l} \quad (2.10)$$

เมื่อ H คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (At/m)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (t)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- I คือ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด (A)
 l คือ ความยาวเส้นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก (m)

และเราสามารถหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ที่สร้างโดยแรงดันแม่เหล็ก มีค่าแปรผันโดยตรงกับความซึมซาบแม่เหล็ก และความเข้มสนามแม่เหล็ก

$$B = \mu H \quad (2.11)$$

- เมื่อ B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Weber/ m^2 , Tesla)
 μ คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Weber/A.m)

2.4.2 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

แต่เดิมไฟฟ้าและแม่เหล็กถูกคิดว่าเป็นสองแรงแยกออกจากกัน ความคิดนี้เปลี่ยนไปเมื่อหนังสือของ เจมส์ เคลิค แมกซ์เวลล์ พิมพ์ขึ้นในปี ค.ศ.1873 บ่งบอกว่า ปฏิสัมพันธ์ของประจุบวกและประจุลบถูกควบคุมโดยแรงเดียว ผลของการปฏิสัมพันธ์ ทำให้เกิดผลกระทบที่เรื่องหลักๆ ผลกระทบเหล่านี้สามารถสาธิตให้ดูได้จากการทดลอง ประจุไฟฟ้าดูดหรือผลักกันด้วยแรงที่เป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสองระหว่างประจุนั้น ประจุต่างกันดูดกัน ประจุเหมือนกันผลักกัน ขั้วแม่เหล็ก (หรือสภาวะการวางตัวที่จุดใดๆ) ดูดและผลักกัน และขั้วแม่เหล็กมาเป็นคู่ คือขั้วเหนือและขั้วใต้ ไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดสร้างสนามแม่เหล็กเป็นวงกลมรอบเส้นลวดนั้น ทิศทางของสนามแม่เหล็ก (ตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา) ขึ้นอยู่กับกระแสซึ่งกระแสจะถูกเหนี่ยวนำในขดลวดเมื่อขดลวดเคลื่อนที่เข้า หรือออกจากสนามแม่เหล็กหรือแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากขดลวด ทิศทางของกระแสขึ้นอยู่กับทิศเคลื่อนที่ ในขณะที่กำลังเตรียมเพื่อการสอนในตอนเย็นของวันที่ 21 เมษายน ค.ศ.1820 ฮันส์ คริสเตียน ออร์สเต็ด ได้สังเกตเห็นสิ่งน่าแปลกใจบางอย่าง เขาสังเกตเห็นเข็มทิศขยับออกจากทิศเหนือเมื่อกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่เขาใช้อยู่ถูกปิดหรือเปิด การเคลื่อนไหวนี้ทำให้เขามั่นใจว่าสนามแม่เหล็กถูกแผ่ออกมาจากทุกด้านของลวดที่มีกระแสไหลผ่าน เหมือนกับที่แสงและความร้อนแผ่รังสีออกมา เป็นการยืนยันความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างไฟฟ้าและอำนาจแม่เหล็ก ในตอนนั้นออร์สเต็ดไม่ได้ให้คำอธิบายของปรากฏการณ์นั้นให้เป็นที่น่าพอใจได้ และก็ไม่ได้พยายามที่จะนำเสนอปรากฏการณ์ในรูปแบบของคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม อีก 3 เดือนต่อมาเขาก็เริ่มค้นคว้าหาสาเหตุอย่างจริงจัง ไม่นานเขาก็พิมพ์สิ่งที่เขาค้นพบพิสูจน์ว่ากระแสไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวด คำว่า ออร์สเต็ด จึงเป็นหน่วยวัดการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กถูกตั้งให้เป็นเกียรติแก่เขา ในฐานะมีคุณูปการต่อวิชาการด้านทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า การค้นพบของออร์สเต็ดมีผลทำให้มีการค้นคว้าในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์กันอย่างมากมาย ในเรื่องของอิเล็กโทรไดนามิกส์ (หรือพลศาสตร์ไฟฟ้าหรือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก) สาขานี้มีอิทธิพลต่อนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ อังเดร-มาเรีย แอมแปร์ ที่พัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบเดียวเพื่อแสดงอำนาจแม่เหล็กระหว่างตัวนำหลายตัวที่มีกระแสไหลผ่าน การค้นพบของออร์สเต็ด ยังเป็นก้าวสำคัญในการทำให้กรอบความคิดเกี่ยวกับพลังงานเป็นหนึ่งเดียว การเป็นหนึ่งเดียวทำให้ทฤษฎีของไมเคิล ฟาราเดย์ นำไปใช้ขยายเพิ่มเติมโดย เจมส์ เคลิค แมกซ์เวลล์ และสร้างสูตรบางส่วนขึ้นมาโดย โอลิเวอร์ เฮฟวีไซด์ และ ไฮน์ริช เฮิทส์ เป็นความสำเร็จอย่างสำคัญสำหรับฟิสิกส์คณิตศาสตร์ในศตวรรษที่

19 ผลที่ตามมา ไปไกลมากหนึ่งในนั้นก็คือความเข้าใจในธรรมชาติของแสงไม่เหมือนกับสิ่งที่นำเสนอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า แสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆในปัจจุบันถูกมองว่าอยู่ในรูปของปริมาณที่แน่นอน เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่รังสีออกไปด้วยตัวเอง ในรูปคลื่นแกว่งไปมา ซึ่งถูกเรียกว่า โฟตอน ความถี่ในการแกว่งที่ต่างกันทำให้รูปแบบการแผ่อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้ามีรูปแบบที่แตกต่างกันด้วย จากคลื่นวิทยุความถี่ต่ำสุดจนถึงความถี่ขนาดกลางเป็นแสงที่มองเห็นได้ และความถี่สูงสุดเป็นรังสีแกมมา ออร์สตัดไม่ใช่คนเดียวที่ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับแม่เหล็กในปี ค.ศ.1802 เกียน โดมินิก โรแมคนอลี นักวิชาการกฎหมายชาวอิตาลี ขยับเข็มแม่เหล็กด้วยประจุไฟฟ้าสถิต สิ่งที่เกิดขึ้นจริงคือไม่มีกระแสไหล ในการจัดทำจึงไม่มีอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น การค้นพบถูกตีพิมพ์ในหนังสือพิมพ์อิตาลี แต่ถูกมองข้ามไปโดยชุมชนนักวิทยาศาสตร์สมัยนั้น

2.4.3 ประเภทและคุณสมบัติของแม่เหล็ก

แม่เหล็ก คือ สารที่สามารถดูดเหล็กหรือเหนี่ยวนำให้เหล็กหรือสารแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กได้

- 1) แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnetic) คือแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพง เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการนำเอาลวดทองแดงอาบน้ำยาพันรอบแท่งเหล็กกล้า แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดูดและผลักโมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้า ให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบตลอดไป เหล็กกล้าดังกล่าวก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวรต่อไป
- 2) แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ แม่เหล็กชั่วคราว (Electro Magnetic) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแม่เหล็กถาวร แต่เหล็กที่นำมาใช้เป็นเพียงเหล็กอ่อนธรรมดา เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กอ่อน แท่งเหล็กอ่อนก็จะมีสภาพเป็นแม่เหล็กไปทันที แต่ถ้าหากหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า อำนาจแม่เหล็กก็จะหมดไปด้วย เช่น อุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) โซลินอยด์ (Solenoid) กระดิ่งไฟฟ้า

คุณสมบัติของแม่เหล็ก ถ้าแฉวนแท่งแม่เหล็กให้เคลื่อนที่อย่างอิสระ เมื่อหยุดนิ่งแล้วจะชี้ตามแนวทิศเหนือ ทิศใต้ ขั้วที่ชี้ไปทางทิศเหนือ เรียกว่า ขั้วเหนือ (N) ขั้วที่ชี้ไปทางทิศใต้ เรียกว่าขั้วใต้ (S) ขั้วแม่เหล็กทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้จะดูดสารแม่เหล็กเสมอ ขั้วเหมือนกันเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักกัน และขั้วต่างกันเมื่อเข้าใกล้กันจะเกิดแรงดูด อำนาจแรงดึงดูดจะมีมากที่สุดที่บริเวณขั้วทั้งสองแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

2.5 ทฤษฎีโลหะ [6] - [8]

โลหะ คือ วัสดุที่ประกอบด้วยธาตุโลหะที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่มากมาย นั่นคืออิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่ได้เป็นของอะตอมใดอะตอมหนึ่งโดยเฉพาะ ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ

- 1) เป็นตัวนำไฟฟ้า และความร้อนได้ดีมาก
- 2) ผิวของโลหะที่ขัดเรียบจะเป็นมันวาว
- 3) โลหะมีความแข็งแรงพอสมควร และสามารถแปรรูปได้ จึงถูกใช้งานในด้านโครงสร้างอย่างกว้างขวาง

โลหะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 โลหะที่เป็นเหล็ก (Ferrous Metallurgy)

เป็นโลหะประเภทที่มีการผลิตและใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเหล็กเป็นทรัพยากรที่มีอยู่มากในเปลือกโลก สามารถผลิตและขึ้นรูปด้วยวิธีที่ประหยัดกว่าโลหะชนิดอื่น และสามารถพบเจอมากในอุตสาหกรรม มีสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเทียบกับราคาโลหะที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบขั้นพื้นฐาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

2.5.1.1 เหล็กกล้า

- 1) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.25% ซึ่งทำให้ไม่สามารถอบชุบเพิ่มความแข็งแรงด้วยวิธีทางความร้อนได้ แต่ใช้วิธีการขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working) โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำประกอบไปด้วย เฟอไรต์ (Ferrite) และ เพิร์ลไลท์ (Pearlite) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีความเหนียวและอ่อนมาก ทำให้สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีทางกล เชื่อมได้ง่าย และต้นทุนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อีกกลุ่มหนึ่ง คือ โลหะผสมต้านความแข็งแรงสูง HSLA ย่อมาจาก High Strength Low Alloy Steel มีการเติม ทองแดง (Cu), วาเนเดียม (V), นิกเกิล (Ni), โมลิบดีนัม (Mo) ในปริมาณเล็กน้อยทำให้โลหะผสมต้านความแข็งแรงสูง มีความแข็งแรงมากกว่าพวก Plain Low Carbon Steel โดยทั่วไปโลหะผสมต้านความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนดีกว่าพวก Plain Carbon Steel แต่ว่าโลหะผสมต้านความแข็งแรงสูง ราคาแพงกว่า Plain Carbon Steel มาก
- Tensile Strength 415 – 550 MPa
- Elongation 25%
- Yield Strength 200 – 300 MPa
- 2) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) มีคาร์บอนระหว่าง 0.25 – 0.6% เหล็กกล้าประเภทนี้สามารถอบชุบด้วยกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ (Quench and Tempering) Plain Medium Carbon Steel มีความสามารถในการอบชุบต่ำ ดังนั้นจึงมีการเติมธาตุผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการอบชุบ เช่น โครเมียม (Cr), นิกเกิล (Ni), โมลิบดีนัม (Mo) Alloyed Medium Carbon Steel มีความแข็งแรงสูงกว่า Plain Low Carbon Steel แต่มีความเหนียว และขึ้นรูปยากกว่าเช่นกัน
- 3) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.6% - 1.4% มีความแข็งแรง และแข็งมากที่สุดแต่มีความเหนียวน้อยที่สุดในบรรดาเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกัน โดยเหล็กกล้าคาร์บอนสูงเกือบทั้งหมดถูกใช้งานในสภาพที่ผ่านการอบชุบ สามารถทนการสึกหรอได้ดี ใช้ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์ ธาตุผสมทั่วไป ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียม (Cr), โมลิบดีนัม (Mo), วาเนเดียม (V) และทังสเตน (W) ธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกับคาร์บอนให้สารประกอบคาร์ไบด์ (Carbide) ที่มีความแข็ง และจุดหลอมตัวสูง

- 4) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นเหล็กกล้าที่ต้านทานการกัดกร่อนสูงเป็นพิเศษโดยไม่เป็นสนิมในบรรยากาศปกติ (เหล็กกล้าทั่วไปเป็นสนิม) โดยความต้านทานการกัดกร่อนได้มาจากการเติมธาตุโครเมียม (Cr) อย่างน้อย 13% เป็นหลัก ทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ที่ผิวป้องกันเนื้อโลหะ อาจเติมธาตุอื่น ๆ ช่วยเพิ่มสมบัติบางประการ เช่น Ni และ Mo แบ่งตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานได้เป็น 3 ประเภทได้แก่
 - Ferritic Stainless Steel โครงสร้างพื้นฐานเป็น เฟอร์ไรท์ (Ferrite) ออบชุบให้เป็น Martensite ไม่ได้
 - Austenitic Stainless Steel สามารถเติม นิกเกิล (Ni) ทำให้ออสเทนไนต์ (Austenite) เสถียรที่อุณหภูมิห้อง
 - Martensitic Stainless Steel โครงสร้างพื้นฐานเป็น มาร์เทนไนต์ (Martensite)
 - โดยที่ Austenitic Stainless Steel ไม่เป็นแม่เหล็กในขณะที่ มาร์เทนไนต์ (Martensitic) และ เฟอร์ไรท์ (Ferritic) เป็นแม่เหล็ก

2.5.1.2 เหล็กหล่อ

ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยทั่วไปแล้วจะมีคาร์บอนอยู่ร้อยละ 2.5–4 ของคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Ductility) คือเปราะและแตกหักได้ง่ายจึงไม่สามารถขึ้นรูปโดยการรีดหรือการดึงขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง เหล็กหล่อมีราคาถูก มีจุดหลอมตัวต่ำสามารถหล่อขึ้นรูปได้รูปร่างง่ายกว่าเหล็กกล้า ชนิดของเหล็กหล่อมักจำแนกประเภทได้หลายลักษณะแต่ที่แพร่หลายเป็นที่ยอมรับกันนั้น อาศัยลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน และลักษณะการรวมตัวของคาร์บอน

- 1) เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) มีคาร์บอนผสมอยู่ตั้งแต่ ร้อยละ 1.7–2% มีความแข็งเปราะแตกหักง่าย เนื้อเหล็กจะมีสีขาว เหล็กหล่อขาวนี้จะมีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 380–550 HB
- 2) เหล็กหล่อสีเทาหรือเหล็กหล่อดำ (Gray Cast Iron) มีโครงสร้างคล้ายกับเหล็กดิบสามารถตกแต่งขึ้นรูปได้ง่าย มีจุดหลอมเหลวต่ำ อัตราการขยายตัวน้อย ทนต่อแรงอัด และรับแรงสั่น (Damping Capacity) ได้ดี
- 3) เหล็กหล่อเหนียว (Ductile and Malleable Cast Iron) จะมีความเค้นแรงดึงสูง ทั้งยังมีความเหนียว ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ในการทดสอบแรงดึงเหล็กหล่อเหนียวจะพบว่า คล้ายคลึงกับเหล็กกล้า คือ จะมีความยืดหยุ่น (Elastic) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลโดยวิธีการทางความร้อนได้ดีอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เหล็กหล่อผสมหรือเหล็กหล่อพิเศษ (Alloy or Special Cast Iron) มีธาตุผสมเช่น โครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัม เป็นต้น

2.5.2 โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (Nonferrous Metallurgy)

เป็นการศึกษาโลหะที่ไม่ได้เป็นเหล็ก แต่จะเป็นธาตุโลหะอื่นๆ ผสมอยู่เป็นหลัก เช่น อะลูมิเนียม, ไทเทเนียม, ทองแดง ฯลฯ สามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด

2.5.2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า $4 \text{ kg} / \text{dm}^3$ ซึ่งโลหะหนัก มีความสำคัญในงานอุตสาหกรรมอย่างมาก และยังเป็นต้นกำเนิดโลหะผสมอีกหลายชนิดด้วยกัน โลหะหนักที่นิยมใช้กันทั่วไปมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ทองแดง มีความหนาแน่น $8.9 \text{ kg} / \text{dm}^3$ จุดหลอมเหลว $1,073\text{--}1,093 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และดึงเป็นเส้นได้ดีมาก นอกจากนั้นยังสามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี อีกทั้งยังทนต่อการสึกหรอและทนต่อการกัดกร่อน พิล์มของทองแดงจะมีสีเขียว เรียกว่า พาตินา (Patina) ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันการแทรกตัวของอากาศได้ดี แต่ถ้านำทองแดงไปใช้ทำเป็นภาชนะเก็บกรดน้ำส้ม จะเกิดสารประกอบที่มีพิษต่อร่างกาย กรรมวิธีถลุงทองแดงมี 2 วิธีใหญ่ๆ คือ กรรมวิธีแห้ง และกรรมวิธีเปียก นอกจากนี้ทองแดงยังสามารถแปรรูปด้วยวิธีอื่นๆได้ เช่น ทองแดงตีขึ้นรูป ทองแดงรีดขึ้นรูป เป็นต้น ทองแดงสามารถนำไปใช้ทำสายไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า หัวแรงขับเคลื่อน เครื่องประดับต่าง ๆ หรืออุปกรณ์เครื่องเย็บ และอุปกรณ์เครื่องกล เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถทำเป็นวัสดุผสม เช่น ทองเหลืองบรอนซ์ ได้อีกด้วย
- 2) เงิน มีความหนาแน่น $10.5 \text{ kg} / \text{dm}^3$ จุดหลอมเหลว $960 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นโลหะมีสีขาวผิวเป็นมัน มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด มีราคาแพง เงินสามารถนำไปใช้ทำหลอดกัลกัวสและหน้าสัมผัสส่งงานไฟฟ้า เครื่องวัดด้วยแสง ที่ต้องการความเที่ยงตรงของสเกล เช่น กล้องโทรทรรศน์ กล้องทีโอโดไลต์ (สำหรับวัดมุมระดับในงานก่อสร้าง) โลหะรูปพรรณ งานชุบเงิน เครื่องใช้ต่าง ๆ เงินตรา และใช้ผสมกับโลหะอื่น ๆ ทำเหรียญต่างๆ
- 3) ตะกั่ว มีความหนาแน่น $11.2 \text{ kg} / \text{dm}^3$ จุดหลอมเหลว $327 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นโลหะที่มีความเหนียว และนิ่มขึ้นรูปได้ง่าย มีความหนาแน่นมาก อีกทั้งยังมีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะกรด แต่สารประกอบของตะกั่วนั้นมีพิษต่อร่างกาย โดยปกติแล้วตะกั่วมักเกิดร่วมกับสังกะสี นอกจากนี้ตะกั่วยังมีคุณสมบัติเป็นตัวหล่อลื่นที่ดีอีกด้วย แต่ตะกั่วมีความแข็งแรงต่ำ ตะกั่วสามารถนำไปใช้ทำแผ่นตะกั่วในหม้อแบตเตอรี่ โลหะหุ้มสายเคเบิล ฉาบป้องกันกัมมันตภาพรังสีต่างๆ สามารถใช้ในงานอุตสาหกรรมทำสี ทำน้ำหนักถ่วงความสมดุล

บุผาผนังห้อง และพื้นห้อง เพื่อเก็บเสียง และลดการสั่นสะเทือนได้อีกด้วย

- 4) ดีบุก มีความหนาแน่น 7.3 kg / dm^3 จุดหลอมเหลว $232 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดีบุกเป็นโลหะที่มีสีขาวคล้ายเงิน มีจุดหลอมเหลวต่ำ เนื้อโลหะอ่อนและรีดเป็นแผ่นได้ง่าย อีกทั้งยังทนต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศปกติได้ดีไม่เป็นพิษจึงนำไปเคลือบแผ่นเหล็กทำกระป๋องบรรจุอาหาร และถ้านำแท่งดีบุกตัดโค้งงอเราจะได้ยินเสียงจากภายในเนื้อของดีบุก แต่ถ้าอุณหภูมิของแท่งดีบุกน้อยกว่า $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดีบุกนั้นจะสลายตัวเป็นเม็ดป่นสีเทา ดีบุกนี้ถลุงมาจากสินแร่ดีบุกออกไซด์ สามารถนำดีบุกไปใช้เป็นโลหะบัดกรีแข็ง ทั้งยังใช้เคลือบแผ่นเหล็กเพื่อป้องกันการกัดกร่อน และใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

2.5.2.2 โลหะเบา

โลหะเบา คือโลหะที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำ จุดแบ่งแยกระหว่างโลหะหนักกับโลหะเบาอาจมีการแบ่งที่ไม่เหมือนกัน แต่โลหะเบาก็มักจะมีธาตุลิเทียม เบริลเลียม โซเดียม แมกนีเซียม และอะลูมิเนียมรวมอยู่ด้วย บางครั้งโลหะเบาก็รวมไปถึงโลหะอื่นที่มีน้ำหนักอะตอมน้อยกว่าธาตุ निकเกิด และหลังจาก निकเกิดเป็นต้นไปก็เป็นโลหะหนัก ปกติแล้วโลหะเบาจะเป็นพิษน้อยกว่าโลหะหนัก โลหะเบาหลายชนิดจะเป็นพิษเมื่อมีปริมาณมาก โลหะเบาที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 4 kg / dm^3 โดยทั่วไป ได้แก่

- 1) อะลูมิเนียม มีความหนาแน่น 2.7 kg / dm^3 มีจุดหลอมเหลว 658°C อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่สำคัญ และใช้งานมากที่สุดในจำพวกโลหะเบาด้วยกัน ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติเด่นหลายประการคือ มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ซึ่งความแข็งแรงดังกล่าว มีมากกว่าเหล็กกล้า มีความเหนียวมากสามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆได้ง่าย และมีจุดหลอมตัวต่ำ หลอมได้ง่าย ค่าการนำไฟฟ้าเป็นร้อยละ 62 IACS (International Anneal Copper Standard) ซึ่งไม่สูงมากเมื่อเทียบกับเงินและทองซึ่งเป็นโลหะหนัก แต่เนื่องจากอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา จึงนิยมใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า ในกรณี que คิดถึงเรื่องน้ำหนักเบาเป็นเรื่องสำคัญ อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย และมีค่าการนำความร้อนสูง จึงใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร เป็นโลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็ก ไม่เกิดการสปาร์คและถ้าเป็นอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงกลับสูงมาก ทนทานต่อการผุกร่อน แต่กลับไม่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างต่างๆไป อีกทั้งยังมีราคาไม่แพง ซื้อง่าย อะลูมิเนียมสามารถนำไปใช้เป็นชิ้นส่วน อย่างเช่นเครื่องจักรกล เครื่องบิน จรวด และชิปนาวูธ ทำฝาครอบอุปกรณ์ไฟฟ้า หลังการถดโดยสาร แผ่นสะท้อนแสงในการถ่ายรูป งานสะท้อนแสงในคอมพิวเตอร์ ไฟหน้ารถยนต์ ลวดสายไฟฟ้าแรงสูง ทำเครื่องใช้ เช่น กระจ่าง, ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดยาหรือทำเฟอร์นิเจอร์ ทำวัสดุงานก่อสร้าง เช่น ท่อ บันได หน้าต่าง วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มสิ่งของ (Aluminium Foil) ใช้เป็นวัสดุผสมลงในโลหะ เช่น ตัวเรือนเสื้อสูบเครื่องยนต์ เป็นต้น

- 2) แมกนีเซียม มีความหนาแน่น 1.74 kg/dm^3 จุดหลอมเหลว 650°C แมกนีเซียมเป็นโลหะที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง และถูกนำมาใช้งานทางด้านการค้า เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอื่นๆ คุณสมบัติที่เด่นที่สุด คือ เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีคุณสมบัติในการแปรรูปบนเครื่องจักรตีมากและมีความแข็งแรง ซึ่งความแข็งแรงนั้นจะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ ยิ่งบริสุทธิ์มากเท่าใด ความแข็งแรงก็ยิ่งลดลง ด้วยเหตุนี้แมกนีเซียมเกือบทั้งหมด ที่ถูกนำมาใช้จึงอยู่ในรูปของ แมกนีเซียมผสม แมกนีเซียมผสมสามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ แมกนีเซียมเหนียวผสม แมกนีเซียมหล่อผสม แมกนีเซียมผสม ดังกล่าวนี้อาจสามารถชุบแข็งได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของบรรยากาศได้แต่จะสามารถถูกเป็นไฟได้ง่าย ซึ่งในการดับไฟที่เกิดจากแมกนีเซียมนี้ จะต้องใช้ทรายดับ ห้ามใช้น้ำดับ เพราะจะไม่สามารถดับได้ โลหะแมกนีเซียมนี้เตรียมได้จากน้ำทะเล และแร่หินปูนโคโลไมต์ แมกนีเซียมผสมสามารถปาดผิว และขึ้นรูปด้วยการ รีด ตึง ตี ได้โดยง่าย โดยสามารถทำเป็นแผ่น เส้น ท่อนำไปใช้ทำดอกไม้ไฟ พลุ และใช้เป็นวัสดุผสม เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันในโลหะต่างๆ เช่น อะลูมิเนียมผสม ทองแดงผสม หรือเหล็กหล่อเหนียว และทำหลอดไฟวาบ เป็นต้น อนึ่ง แมกนีเซียมผสม ถ้าถูกน้ำจะเกิดการกัดกร่อน และในการประกอบชิ้นส่วนที่ทำจากแมกนีเซียม กับโลหะหนัก จะต้องทำจาระบี ทาสี หรือใช้ถุงพลาสติกหุ้มเป็นฉนวนเอาไว้ ไม่เช่นนั้นจะเกิดไฟฟ้าต่างศักย์ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย
- 3) เบริลเลียม มีความหนาแน่น 1.85 kg/dm^3 จุดหลอมเหลว 1285°C เป็นโลหะที่มีอัตราการยึดตัวน้อยมากถ้าใช้เป็นโลหะผสม ซึ่งจะทำให้โลหะผสมเหล่านั้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และไอหรือฝุ่นของเบริลเลียมเป็นพิษต่อร่างกาย เบริลเลียมสามารถนำไปใช้เป็นโลหะผสมทองแดง นอกจากนั้น ยังใช้กับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง และทนต่อการกัดกร่อนได้ดี

2.5.2.3 โลหะผสม

โลหะที่ใช้ในงานด้านวิศวกรรมนั้น จำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานในแต่ละด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางกล คือต้องมีความสามารถที่จะรับแรงต่างๆได้ แต่โดยปกติโลหะบริสุทธิ์ส่วนมากจะอ่อน และรับแรงต่างๆได้ไม่มาก เมื่อจะนำไปใช้งานก็จะไม่เหมาะสม ฉะนั้น จำเป็นต้องเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะเหล่านั้นโดยการผสมธาตุต่างๆลงไป แล้วเรียกโลหะใหม่นี้ว่า “โลหะผสม” ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ ทองเหลือง, บรอนซ์ และโลหะซินเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 คุณสมบัติทั่วไปของโลหะ

คุณสมบัติของโลหะจะประกอบไปด้วย ลักษณะเด่น, ความสามารถ, ลักษณะเฉพาะ, ความแข็งแรง, ข้อดี, ข้อเสีย และลักษณะผิดปกติของวัสดุ สิ่งที่กำลังกล่าวมาเหล่านี้มีไว้เพื่อเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของวัสดุในทางวิศวกรรม ซึ่งจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุ ก็เพื่อดูว่าวัสดุนั้นสามารถทนทานต่อแรงที่กระทำ, ทนทานต่อการพังทลาย, ทนทานต่อการเสียรูป, ทนทานต่อการกัดกร่อน หรืออื่นๆ ได้หรือไม่

2.5.4 คุณสมบัติทางกลของโลหะ

ความแข็ง, ความเหนียว (Ductility), และความแข็งแรง เป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานในทางกลของวิชาโลหะวิทยา คุณสมบัติทั้งสามเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันด้วย กล่าวคือ เมื่อความแข็งและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความเหนียวจะลดลง ทำให้วัสดุนั้นมีแนวโน้มเป็นวัสดุเปราะ (Brittle) ในทางกลับกัน วัสดุที่มีความเหนียวมาก จะทำให้ความแข็งและความแข็งแรงลดลง ความแข็งแรง, ความแข็ง และความเหนียว ปกติแล้วเป็นสิ่งที่มีความต้องการที่จะให้เกิดขึ้นในโลหะ ส่วนความเปราะ (ตรงกันข้ามกับความเหนียว) เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดในโลหะ ดังนั้น ในทางโลหะวิทยา ต้องทำการศึกษา ทดลอง เพื่อให้วัสดุมีความสามารถในด้านความแข็งแรงและความแข็ง ที่เพิ่มขึ้น โดยไม่ทำให้ความเหนียวลดลง

2.5.4.1 ความแข็ง

ความแข็ง คือความต้านทานต่อการเสียรูปวัสดุอย่างถาวร วัสดุที่มีความแข็งสูง ค่าความแข็งแรงก็จะสูงตามไปด้วย ในการหลอมโลหะ เมื่อเพิ่มส่วนผสมของธาตุลงไป โลหะหลอมทำให้ความสามารถด้านความแข็ง และความแข็งแรงมีคุณภาพดีขึ้น และไม่ทำให้ความเหนียวลดลง

2.5.4.2 ความเหนียว และความเปราะ

ความเหนียว และความเปราะ จะเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน ตรงกันข้ามกันเสมอ คุณสมบัติของทั้งคู่จะถูกนำมาศึกษาในการเรียนรู้เกี่ยวกับความเหนียวของวัสดุ ถ้าวัสดุที่นำมาทดสอบสามารถยืดได้ค่อนข้างมากก่อนที่มันจะขาดออกจากกัน เราเรียกว่า วัสดุนั้นมีความเหนียว ในทางกลับกัน ถ้าวัสดุมีการยืดตัวได้น้อย และขาดออกจากกัน แสดงถึง วัสดุนั้นมีความเปราะ หรือมีความเหนียวน้อย ในการผลิตโลหะออกมาใช้งานเกือบทั้งหมด เราต้องการคุณสมบัติของความเหนียวของโลหะมากกว่าความเปราะ วัสดุที่เหนียวสามารถทนทานต่อการกระแทกที่หนักได้ดีกว่า และสามารถซึมซับพลังงานก่อนที่จะเกิดความเสียหายได้มากกว่าวัสดุที่มีความเปราะ วัสดุที่มีความเปราะปกติแล้วจะมีความแข็งแรงกว่าวัสดุเหนียว แต่ในปัจจุบันก็ไม่เสมอไป เมื่อเทคโนโลยีทางด้านโลหะวิทยามีมากขึ้น วัสดุเหนียวก็ถูกผลิตมาให้มีความทนทานต่อการยืดตัว (แข็งแรง) ที่สูงกว่า ตัวอย่างของวัสดุเหนียว เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ, อะลูมิเนียม, ยาง ส่วนตัวอย่างของวัสดุเปราะ เช่น เหล็กหล่อ และแก้ว

2.5.4.3 ความแข็งแรง

ความแข็งแรง (Strength) หรือความทนทาน เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุ ซึ่งความแข็งแรงมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ความแข็งแรงต่อการดึง (Tensile Strength)
- 2) ความแข็งแรงต่อการอัด (Compressive Strength)
- 3) ความแข็งแรงต่อการเฉือน (Shear Strength)
- 4) ความแข็งแรงต่อการบิด (Torsional Strength)
- 5) ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural Strength)
- 6) ความแข็งแรงต่อการล้าตัว (Fatigue Strength) หมายถึง วัสดุสามารถทนทานต่อแรงที่กระทำซ้ำ ๆ ตลอดเวลาจนกระทั่งวัสดุเกิดความล้า
- 7) ความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impact Strength) หมายถึง วัสดุสามารถทนทานต่อแรงกระทำที่หนักหน่วงแบบฉับพลันทันที

2.5.5 คุณสมบัติทางเคมีของโลหะ

ความทนทาน หรือความต้านทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) เป็นคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญที่สุดของโลหะ โลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนที่ดี ทำให้ตัววัสดุสามารถป้องกันตัวเองจากสารเคมีที่มีอยู่รอบๆตัว นอกจากความทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุแล้ว วัสดุยังสามารถทนทานต่อความชื้น โดยไม่มีการเสื่อมโทรมของวัสดุ เมื่อแก้ปัญหาด้านเคมีเรียบร้อยแล้ว จะทำให้วัสดุมีความทนทานต่อแสงอาทิตย์, น้ำ, ความร้อน และสภาพแวดล้อมอื่นๆ ความต้านทานการกัดกร่อนอาจจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด ในการคิดที่จะเลือกใช้วัสดุในที่มีสภาพแวดล้อมที่อาจส่งผลให้เกิดการกัดกร่อน การกัดกร่อนในวัสดุมีหลายประเภท ดังนี้

2.5.5.1 การออกซิเดชัน (Oxidation)

การออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับวัสดุที่เป็นประเภทเหล็ก คือ เหล็กเหนียว และเหล็กกล้าจนเหล็กเกิดเป็นสนิม (Rust) ออกซิเดชันในเหล็กเกิดจากเหล็กรวมกับออกซิเจน กลายเป็นเหล็กออกไซด์

2.5.5.2 การกัดกร่อนทางไฟฟ้า (Galvanic Corrosion)

การกัดกร่อนนี้จะกล่าวถึงการกัดกร่อนทางไฟฟ้า (Electrochemical) เป็นการกัดกร่อนทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับวัสดุ โดยวัสดุที่เป็นโลหะจะสัมผัสกับสารที่เรียกว่า สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารประกอบที่แตกตัวเป็นอะตอมในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น น้ำกรดในแบตเตอรี่รถยนต์, น้ำมันที่อยู่ในตัวเก็บประจุ, น้ำที่ไม่บริสุทธิ์ ฯลฯ

การกัดกร่อนประเภทนี้เป็นพันธะของของเหลว ที่มีสภาพเป็นไอออนิก (Ionic : อะตอมที่มีประจุบวกหรือลบ) กับไอออนของวัสดุโลหะอื่นๆ โดยที่โลหะหนึ่งจะเป็นตัวถูกกระทำซึ่งกำหนดให้เป็น อานอด (Anode) โลหะตัวนี้จะสูญเสียไอออนบวกให้กับโลหะอื่นที่กำหนดให้เป็นตัวกระทำ หรือ คาโทด (Cathode) จนเกิดเป็นหลุมในโลหะอานอด จนมันสูญเสียไอออนไปให้กับส่วนโลหะที่เป็นคาโทด โดยโลหะที่เป็นคาโทดจะไม่เกิดการกัดกร่อน ประโยชน์จากปรากฏการณ์การกัดกร่อนนี้ถูกนำไปใช้งานในพื้นที่ที่มีสภาพเอื้อประโยชน์ต่อการกัดกร่อนทางไฟฟ้า เช่น ถังความดัน, ใต้ท้องเรือเดินทะเล โดยจะให้ตัววัสดุเป็นคาโทด อย่างเช่น ถัง หรือท้องเรือ แล้วจะนำวัสดุที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพอาโนด มาแปะติดไว้เพื่อให้เกิดการกัดกร่อนที่วัสดุอาโนดแทน แต่ถึง หรือต้องเรือปลอดภัยจากการกัดกร่อน

2.5.5.3 การเป็นหลุม (Pitting Corrosion)

เป็นการกัดกร่อนชนิดหนึ่ง โดยการเกิด จะเกิดเป็นหลุมเล็กๆ ที่พื้นผิวของวัสดุโลหะ อันเนื่องมาจากการเป็นหลุมที่ผิววัสดุเกิดจากความไม่ลงรอยกันภายในระหว่างโมเลกุลและองค์ประกอบของอะตอม อย่างมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกัน ส่วนสาเหตุมีมากมายหลายประการ อันได้แก่ ความเค้นที่ยังเหลือค้างอยู่ในวัสดุ การแตกร้าว (Crack) และขั้นตอนกระบวนการผลิตในวัสดุบางอย่าง เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมนอกจากนี้สาเหตุของการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมเฉพาะ เช่น อยู่ในบริเวณที่เป็นไอเกลือและบริเวณที่มีคลอรีนฟอกขาว (Chlorine Bleach)

2.5.5.4 การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion)

การกัดกร่อนชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบของโมเลกุลวัสดุโลหะ เกิดความแตกต่างกันเล็กน้อยที่บริเวณขอบเกรน (Grain) สภาพการณ์นี้สาเหตุอาจเกิดขึ้นได้จากการปรับสภาพทางความร้อน (Heat Treatment) ที่ไม่เหมาะสม หรือการผสมส่วนประกอบทางเคมีในเนื้อวัสดุที่ไม่เหมาะสม

2.5.5.5 การกัดกร่อนจากรอยแตกของความเค้น (Stress Corrosion Cracking)

การกัดกร่อนประเภทนี้เกิดขึ้นในวัสดุโลหะเป็นจำนวนมาก โดยเกิดความเค้นค้างอยู่ในเนื้อวัสดุ สาเหตุเนื่องมาจากกระบวนการผลิตวัสดุที่ไม่เหมาะสม โดยผลที่เกิดขึ้นก็คือการเกิดรอยแตกร้าวบนเนื้อวัสดุ

2.6 วัสดุที่ใช้วัด

เนื่องจากโครงการนี้ต้องทำการตรวจสอบชิ้นงานในอุตสาหกรรม จึงคัดเลือกวัสดุที่คาดว่าจะต้องพบเจอในการใช้งานจริง

2.6.1 อะลูมิเนียม [9]

เป็นโลหะที่มันวาว อ่อน และดัดได้ง่าย ในธรรมชาติ อะลูมิเนียมพบในรูปแร่ออกไซด์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี แข็งแรง และน้ำหนักเบา โลหะอะลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็ก และไม่เกิดประกายไฟ เป็นโลหะที่อ่อนและเบาที่มีลักษณะไม่เป็นเงา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันชั้นบางๆ ที่เกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงประมาณ 49 MPa และถ้าทำเป็นโลหะผสมจะมีแรงต้านการดึงประมาณ 400 MPa อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้าและทองแดงอ่อน สามารถดัดได้ง่าย สามารถกลึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อนและความทน เนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกันพื้นหน้ากระจกเงาที่เป็นอะลูมิเนียมมีการสะท้อนแสงมากกว่าโลหะอื่นๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm (UV) และ 3000-10000 nm (IR ไกล) ส่วนในช่วงที่มองเห็นได้ คือ 400-700 nm โลหะเงินสะท้อนแสงได้ดีกว่าเล็กน้อย และในช่วง 700-3000 (IR ใกล้) โลหะเงิน ทองคำ และทองแดง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนแสงได้ดีกว่า อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ตัดได้ง่ายเป็นอันดับ 2 (รองจากทองคำ) และอ่อนเป็นอันดับที่ 6 อะลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท

ตัวอย่างการนำเอาอะลูมิเนียมไปใช้งาน เช่น

- การขนส่ง (รถยนต์ เครื่องบิน รถบรรทุก ตู้รถไฟ เรือทะเล จักรยาน ฯลฯ)
- ภาชนะ (กระป๋อง, ฟอยล์ ฯลฯ)
- การบำบัดน้ำ
- การรักษาปรสิตของปลา เช่น Gyrodactylus Salaris
- งานก่อสร้าง (หน้าต่าง ประตู รางข้าง ลวด ฯลฯ)
- การเคลือบสีอะลูมิเนียมที่มีขายในเมืองไทยตอนนี้ มี 3 แบบ ได้แก่ Anodised Aluminium, Powder Coated Aluminium และ Fluorocarbon Aluminium สำหรับงานอาคารสูงจะใช้ Powder Coated Aluminium เป็นมาตรฐาน
- สิ้นค้าสำหรับผู้บริโภคที่มีความคงทน (เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ครัว ฯลฯ)
- สายไฟฟ้า (ชิ้นส่วนและลวดอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อยกว่าทองแดง และราคาถูกกว่าด้วย แต่มีความต้านทานไฟฟ้ามากกว่าด้วย มีหลายพื้นที่ ที่ห้ามใช้ลวดอะลูมิเนียมสำหรับสายไฟตามบ้าน เนื่องจากความหนาแน่นสูงกว่าและขยายในความร้อนมากกว่า)
- เครื่องจักรกล
- แม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้าเอ็มเคเอ็ม (MKM Steel) แอลไนโก (Alnico) แม้ว่าตัวอะลูมิเนียมเองจะใช้วัสดุแม่เหล็กก็ตาม
- อะลูมิเนียมความบริสุทธิ์สูง (SPA ย่อมาจาก Super Purity Aluminium, 99.980% to 99.999% Al) ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์และซีดี
- อะลูมิเนียมผง ใช้เป็นตัวเคลือบเงินในสี เกล็ดอะลูมิเนียมมีอยู่ในสีพื้น เช่น สีเคลือบเนื้อไม้ (Primer) เมื่อแห้ง เกล็ดจะซ้อนทับกันเป็นชั้นกันน้ำ
- อะลูมิเนียมแอโนไดส์ (Anodised) คงทนต่อการออกซิเดชันเพิ่มเติม และใช้ในการก่อสร้างในด้านต่างๆ รวมถึงการทำฮีตซิงก์ ด้วย
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่มีการเกิดความร้อนของชิ้นส่วนภายในได้ เช่น ทรานซิสเตอร์, ซีพียู โดยทั่วไปฮีตซิงก์ที่ทำจากอะลูมิเนียม เนื่องจากผลิตง่ายและนำความร้อนได้ดี ถ้าหากเทียบกับฮีตซิงก์ที่ทำจากทองแดงซึ่งมีขนาดเล็กกว่า แต่แพงกว่าและผลิตยากกว่าด้วย
- อะลูมิเนียมออกไซด์ หรือ อะลูมินา, พบในธรรมชาติในรูปของแร่กะรุน อย่างทับทิม และนิลจะใช้ในการผลิตกระจก ทับทิมและนิลสังเคราะห์ที่ใช้ในเครื่องเลเซอร์ เพื่อผลิตแสงความถี่เดียว (Coherent Light)
- อะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยพลังงานสูง ทำให้ใช้ในเชื้อเพลิงแข็งสำหรับจรวดเทอร์ไมท์ (Thermite) และสารประกอบอื่นๆ สำหรับทำดอกไม้ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ทองแดง [10]

มักมีเงินปน ละลายได้ในกรดเกลือ หรือ กรดดินประสิวจะให้อาหารละลายสีเขียว ถ้าเอาแอมโมเนียใส่หลายๆสารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ผิวน้ำที่บริสุทธิ์จะมีสีเป็นโลหะทองแดงทึบให้เป็นแผ่นบางๆ สามารถดึงให้เป็นเส้นได้ เกิดในแหล่งกำเนิดแร่ที่ได้จากกากหินหนืดอุณหภูมิต่างๆ ใกล้เคียงโลก โดยเฉพาะใกล้ๆหินที่มีทองแดงปนอยู่ด้วย โลหะทองแดงมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าทุกชนิด ทำโลหะผสมต่างๆ เช่น ทองเหลือง ทองบรอนซ์ ซึ่งใช้ทำเครื่องใช้มาแต่โบราณ หล่อเป็นวัตถุสำเร็จรูป ปัจจุบันทองแดงนิยมใช้อะลูมิเนียมผสมอยู่มาก

2.6.3 เหล็ก [11]

เหล็ก นับว่ามีความสำคัญมากในการใช้งานในปัจจุบัน ธาตุนี้มีการใช้มากที่สุดเป็นอันดับที่ 2 ซึ่งรองลงมาจากอะลูมิเนียม ได้มีการค้นพบจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ ที่มีการใช้งานมาอย่างน้อย 8000 ปี ซึ่งมีหลักฐานยืนยัน ในช่วงคริสต์ศักราช 1000-2000 นั้น เป็นช่วงที่มนุษย์นำธาตุเหล็กมาจากอุกกาบาตที่ตกหรือสะเก็ดดาวและช่วงนี้จะหาธาตุเหล็กได้ยาก หลังจากคริสต์ศักราช 1000-2000 เป็นต้นมา ได้มีการถลุงเหล็กจากธาตุเหล็กที่ได้จากธรรมชาติ จึงเกิดการใช้เหล็กทุกยุคทุกสมัย เหล็กเป็นโลหะสีเงิน สีขาว หรือสีเทา เป็นเงา วิธีการหล่อสามารถใช้ค่อนข้างทึบเป็นแผ่นบางๆได้ และยังสามารถยืดได้ เหล็กมีความต้านทานแรงดึงสูงมาก อีกทั้งยังนำไฟฟ้า นำความร้อนได้ดีอีกด้วย และยังสามารถใช้ประโยชน์ต่างๆได้มากมาย แต่คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเหล็กนั้นคือสามารถหล่อแล้วขึ้นรูปใหม่ได้และยังมีความทนทานที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้เหล็กสามารถใช้ในการโค้ง งอ ม้วน ตัด เป็นรูปร่าง รูปแบบ และอื่นๆ เพื่อนำมาประดิษฐ์เป็นสิ่งของที่เรานำมาใช้ในชีวิตประจำวัน หรือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ เหล็กเป็นโลหะที่ใช้งานมาก เมื่อเหล็กรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศขึ้นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยานี้จะเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันก็คือสนิมนั่นเอง เหล็กยังทำปฏิกิริยากับน้ำร้อนได้ดีและไอน้ำในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังละลายในกรดได้ดีที่สุด และทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆ อีกมากมาย เหล็กเป็นหนึ่งในสี่ธาตุของธาตุที่มีมากที่สุดในเปลือกโลก ความอุดมสมบูรณ์ของเหล็กเป็นที่คาดกันว่าส่วนใหญ่เชื่อว่าแกนโลกประกอบด้วยธาตุเหล็ก เหล็กยังพบในดวงอาทิตย์ ดาวเคราะห์น้อย และดาวที่อยู่นอกกระบบสุริยะ แร่ที่พบมากที่สุดของเหล็กออกไซด์หรือเฟอร์ริกออกไซด์ แม่เหล็กหรือเหล็กออกไซด์ หรือคาร์บอนเตเหล็ก

2.6.4 เหล็กกล้าไร้สนิม [12]

ในทางโลหกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% ชื่อในภาษาไทย แปลจากภาษาอังกฤษว่า Stainless Steel เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมที่มีสาเหตุจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียม ในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดเป็นฟิล์มบางๆเคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมได้เป็นอย่างดี ปกป้องการกัดกร่อน และไม่ซำรุดหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกา และในหลายประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า Corrosion Resistant Steel เมื่อไม่ได้รับบุชต์ว่าเป็นโลหะผสมชนิดใด และคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 18/8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึง ธาตุที่เจือลงในเนื้อเหล็กคือ โครเมียม และนิกเกิล ตามลำดับ สแตนเลส ประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade คือมีใช้ทั่วไปหาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไปส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เหล็กกล้าไร้สนิมกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless Steel จะไม่เป็นสนิม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์บางๆ เคลือบผิวอยู่ อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless Steel กับ ออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless Steel เป็นสนิม คือ การที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์ที่เคลือบผิวอยู่ถูกทำลายออกไปในสภาวะที่ Stainless Steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้ง เช่น ถ้าเหล็กกล้าไร้สนิมถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้วบริเวณรายนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีก เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐาน ได้ 5 กลุ่มคือ ออสเทนนิติก, เฟอริติก, ดิวเพล็กซ์, มาร์เทนซิติก และ กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยวิธีการตกผลึก

- 1) กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือเหล็กกล้าไร้สนิมตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (Non-Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/8 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 8%
- 2) กลุ่มเฟอริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด (Magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% และมีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย
- 3) กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด (Magnetic) ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 12-14% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีนิกเกิล เหล็กกล้าไร้สนิมตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งแรงได้ โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งแรงได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด, อุตสาหกรรมเครื่องบิน และงานวิศวกรรมทั่วไป
- 4) กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้ คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และนิกเกิล 4% สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยกลไกเพิ่มความแข็งแรงได้จากการตกผลึก (Precipitation Hardening Mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 MPa ขึ้นอยู่กับชนิด และกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat Treatment)
- 5) กลุ่มดิวเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างกลุ่มของเฟอริติกและออสเทนนิติก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28% และโมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติก พบว่ามีการใช้งานมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศสภาพแวดล้อมของคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การตรวจโลหะ [13]

ปัจจุบันเครื่องตรวจหาโลหะถูกใช้ในงานหลายประเภท อาทิเช่น การตรวจหาโลหะมีค่าที่อยู่ใต้ดินตามชายหาด การตรวจหาอาวุธก่อนเข้าสนามบิน หรือแม้แต่งานก่อสร้างที่ต้องการทราบว่าบริเวณใด มีสายเคเบิลหรือท่อฝังอยู่ เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องตรวจหาโลหะที่ใช้ในการตรวจหาโลหะใต้พื้นดิน ซึ่งเป็นประเภทที่สามารถพบเห็นได้ตามชายหาดและมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกับโครงการนี้ โดยมีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อน

2.7.1 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจหาโลหะ



รูปที่ 2.13 แสดงเครื่องตรวจโลหะ

- 1) สเตย์โลหะ (อุปกรณ์เสริม) ใช้ควบคุมการทรงตัวของอุปกรณ์ทั้งหมดให้คงที่ ขณะที่กวาดเครื่องมือไปมา
- 2) กล่องควบคุม ประกอบด้วยวงจรถ่ายไฟฟ้า ตัวควบคุม ลำโพง แบตเตอรี่ และ ไมโครโปรเซสเซอร์
- 3) แท่งเพลลา ลักษณะเป็นแท่งยาวต่อกล่องควบคุมกับคอยล์ ทำจากท่อก็ได้ สามารถปรับ ให้ยาวหรือสั้นตามสรีระของผู้ใช้งาน
- 4) คอยล์ค้นหา เป็นหัวค้นหา ลักษณะเป็นวง ทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ

เครื่องตรวจหาโลหะแบบนี้ ส่วนใหญ่จะมีที่เสียบหูฟัง กล่องควบคุม และหน้าจอ บอก สถานะขณะค้นหาให้ทราบ การใช้เครื่องตรวจหาโลหะนี้สามารถทำได้โดยการกวาดไปพื้นที่ ที่จะค้นหา เมื่อคอยล์อยู่เหนือเป้าหมาย สัญญาณจะดังขึ้นเมื่อพบว่ามีโลหะอยู่ใต้พื้นดินบริเวณนั้น ซึ่ง เครื่องที่มีราคาแพงบางชนิด จะสามารถบอกได้ถึงชนิดของวัตถุ และตำแหน่งว่าอยู่ลึกลงไปใต้พื้นดิน เป็นระยะเท่าไร

2.7.2 ประเภทของเครื่องตรวจหาโลหะ

เครื่องตรวจหาโลหะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามเทคโนโลยีที่ใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.1 เครื่องตรวจหาโลหะแบบ Very Low Frequency (VLF)

เครื่องตรวจหาโลหะประเภทนี้ใช้คลื่นวิทยุในย่าน VLF ซึ่งเป็นย่านที่มีความถี่ต่ำมาก โดยส่วนของคอยล์จะประกอบด้วยขดลวดที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน 2 ชุดคือ

- คอยล์ส่ง (Transmitter Coil) เป็นขดลวดอยู่รอบนอก ทำหน้าที่ส่งคลื่นที่สร้างจากไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ประมาณ 6.6 KHz
- คอยล์รับ (Receiver Coil) เป็นขดลวดอยู่รอบใน ทำหน้าที่เสมือนเสาอากาศที่คอยรับสัญญาณ



รูปที่ 2.14 แสดงเครื่องตรวจหาโลหะแบบ VLF

หลักการทำงานมีอยู่ว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในคอยล์ส่ง จะเกิดการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นรอบคอยล์ โดยทิศทางของสนามแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งลงไปยังพื้นดิน เมื่อคลื่นที่ส่งออกไปจากคอยล์ส่งกระทบกับโลหะ จะเกิดการสะท้อนของคลื่นกลับขึ้นมา ด้วยทิศทาง การโพลาริซที่ตรงข้ามกับคลื่นที่ส่งออกไป ทำให้คอยล์รับที่รับได้เฉพาะคลื่นที่มีการโพลาริซใน ทิศทางหนึ่งๆ สามารถแยกแยะได้ว่าคลื่นที่รับได้นั้นเป็นคลื่นจากคอยล์ส่ง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจาก โลหะ จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ และออกทางลำโพงตามลำดับ เครื่อง ตรวจหาแบบ VLF ยังสามารถแยกแยะชนิดของวัตถุได้โดยอาศัยการเลื่อนเฟสของสัญญาณที่ส่งออกไป (Phase Shifting) ซึ่งการเลื่อนเฟสนี้ จะเกิดขึ้นจากปัจจัย 2 ชนิดคือ ค่าความเหนี่ยวนำ และความต้านทาน ซึ่งวัตถุที่นำไฟฟ้าทุกชนิดจะมีค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งเสมอ โดย อาศัยหลักการที่ว่าวัตถุที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงจะมีการเลื่อนเฟสได้มาก ส่วนวัตถุที่มีความเหนี่ยวนำ ต่ำจะมีการเลื่อนเฟสน้อย สิ่งเหล่านี้ทำให้เครื่องสามารถแยกแยะความแตกต่างของโลหะ เครื่องจะ ตรวจหาว่าสัญญาณมีการเลื่อนเฟสไปเท่าไร และนำไปประมวลผลว่าโลหะที่พบเป็นสมบัติหรือขยะ

2.7.2.2 เครื่องตรวจหาโลหะแบบ Pulse Induction (PI)

เครื่องตรวจหาโลหะประเภทนี้มีคอยล์ขดเดียว ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่ง และตัวรับ คอยล์จะส่งพลังงานเป็นลูกคลื่นสั้นๆออกไป เมื่อแอมพลิจูดของลูกคลื่นกระเพื่อมขึ้นไป จนถึงค่าสูงสุด มันจะลดความเข้มลงโดยกลับทิศทางอย่างทันทีทันใด เกิดเป็นลูกคลื่นที่มีลักษณะ แหลมมาก ขณะที่เครื่องตรวจอยู่เหนือโลหะ ลูกคลื่นจะวิ่งไปกระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมา เครื่องจะสามารถแยกแยะได้ว่าระยะเวลาของการสะท้อนยาวหรือสั้น ถ้าระยะเวลายาวกว่าปกติจะ แสดงว่า วัตถุที่อยู่ใต้พื้นดินนั้นเป็นโลหะ จากนั้นสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะถูกส่งผ่านไปที่เครื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายเสียงและขับออกทางลำโพง ข้อเสียของเครื่องตรวจหาโลหะแบบ PI คือ เวลาในการสะท้อนนั้นไม่สามารถแยกแยะชนิดของโลหะได้ แต่มันจะใช้ได้ดีในตัวอย่างที่มีการนำไฟฟ้าสูงและยังหาโลหะที่อยู่ใต้ดินลึกๆได้ ซึ่งเครื่องแบบ VLF ทำไม่ได้



รูปที่ 2.15 แสดงเครื่องตรวจหาโลหะแบบ Pulse Induction (PI)

2.7.2.3 เครื่องตรวจหาโลหะแบบ Beat Frequency Oscillation (BFO)

เครื่องตรวจโลหะประเภทนี้ ประกอบด้วยคอยล์ 2 ชุด คือคอยล์ใหญ่และคอยล์เล็ก โดยคอยล์อันใหญ่เป็นตัวส่งสัญญาณ ส่วนคอยล์อันเล็กที่อยู่ในกล่องควบคุมจะเป็นตัวรับสัญญาณ คอยล์แต่ละอันจะต่อเข้ากับเครื่องออสซิลเลเตอร์ที่ให้กำเนิดความถี่เท่ากัน ขณะที่ไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านเข้าไปในคอยล์แต่ละอัน คอยล์ใหญ่จะให้กำเนิดคลื่นวิทยุ และส่งไปที่วัตถุใต้พื้นดิน เมื่อคลื่นกระทบกับวัตถุ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในวัตถุจะทำให้ความถี่ของคลื่นที่สะท้อนกลับเปลี่ยนไปเล็กน้อย เมื่อคอยล์เล็กรับคลื่นที่สะท้อนกลับมา มันจะทำการเปรียบเทียบความถี่ของออสซิลเลเตอร์กับความถี่ที่รับได้ ความแตกต่างของความถี่นี้ทำให้เกิดเสียงบีตส์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

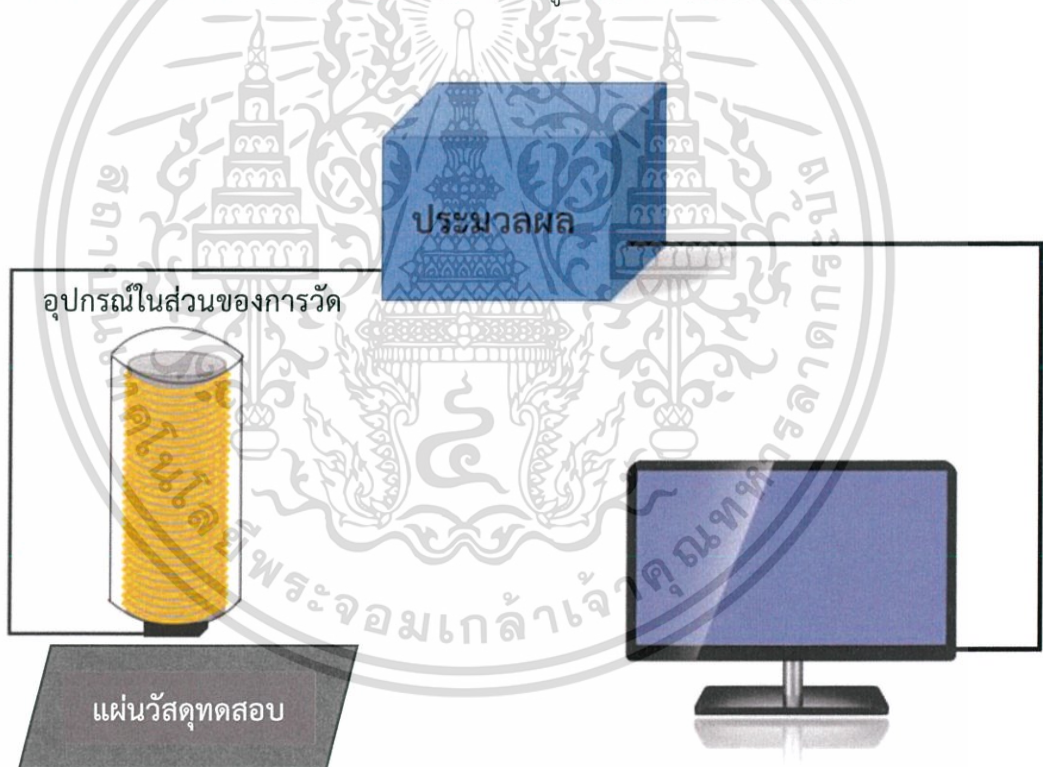
บทที่ 3

การออกแบบระบบ อุปกรณ์ และการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบอุปกรณ์วัดในการจำแนกชนิดวัสดุ วงจร อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือวัดนี้ รวมไปถึงการดำเนินงานในด้านต่างๆ ทั้งด้านการวัด การประมวลผลของวงจร และการแสดงผล ซึ่งได้มีจัดการทำ Flow Chart เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานในการแสดงผลของไมโครคอนโทรลเลอร์อีกด้วย

3.1 องค์ประกอบ และการทำงานโดยรวมของระบบ

จากภาพการออกแบบโดยรวมของระบบ ดังรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ อุปกรณ์สำหรับการวัดวัสดุ การประมวลผล และการแสดงผล โดยการทำงานโดยรวมของระบบ คือ อุปกรณ์สำหรับการวัดวัสดุจะรับค่าความแตกต่างของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้ นำไปทำการประมวลผลผ่านระบบประมวลผล และนำไปสู่การแสดงผลในลำดับต่อไป



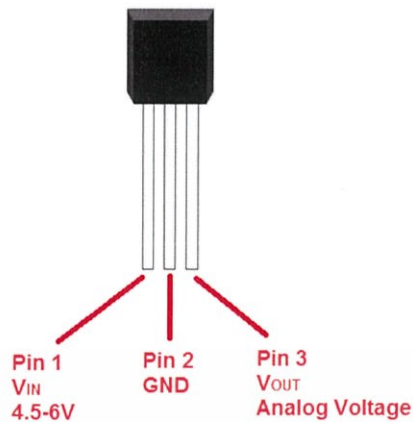
รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบโดยรวมของระบบ

3.2 อุปกรณ์

แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ และหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานของอุปกรณ์สำหรับจำแนกชนิดของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์



รูปที่ 3.2 แสดงฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ และการต่อใช้งาน

ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ที่ใช้เบอร์ A1301 ประกอบด้วย 3 ขา ดังรูปที่ 3.2 โดยจ่ายไฟเข้าขาที่ 1 ต่อกราวด์เข้าที่ขา 2 และเอาต์พุตออกทางด้านขาที่ 3 เมื่อนำฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ไปตรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ค่าที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์จะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า

3.2.2 ขดลวด และแกน

เนื่องจากต้องการสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมาก เพื่อใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงได้มีการทำการทดลอง โดยนำแกนต่างๆ มาพันด้วยขดลวดทองแดง และใช้ AC/DC Magnetic Field Meter ในการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้จากการพันขดลวดนี้



รูปที่ 3.3 แสดง AC/DC Magnetic Field Meter

จากการทดลองพันขดลวดกับแกนต่างๆ พบว่าเมื่อทำการพันขดลวดเข้ากับแกนเฟอร์ไรท์ เป็นการพันที่เหมาะสมที่สุดในการทำชิ้นงานนี้ สมการการคำนวณ ลวดที่ใช้ ความยาวแกน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอร์ไรท์ รอบในการพันขดลวด โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3.1.1 ส่วนของชุดอุปกรณ์รับค่าที่ได้จากการวัด และได้แสดงการคำนวณในสมการที่ (3.1)



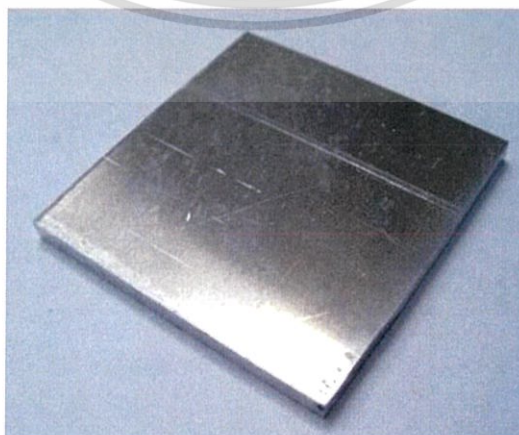
รูปที่ 3.4 แสดงขดลวดที่พันกับแกนเฟอร์ไรท์

3.2.3 โลหะที่ใช้ในการทดลอง

โครงการนี้จะใช้แผ่นโลหะต่างชนิดกัน อย่างเช่น เหล็ก และอะลูมิเนียม ที่ต้องพบในอุตสาหกรรมจริงมาทำการทดลอง เพื่อหาค่าสนามแม่เหล็กที่ออกจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับใด และนำค่าที่ได้มาจัดเป็นตารางเปรียบเทียบค่าเพื่อแสดงให้ทราบต่อไป



รูปที่ 3.5 แสดงแผ่นเหล็ก

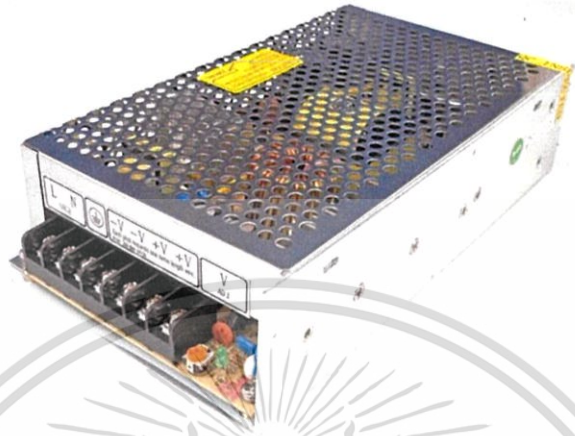


รูปที่ 3.6 แสดงแผ่นอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า

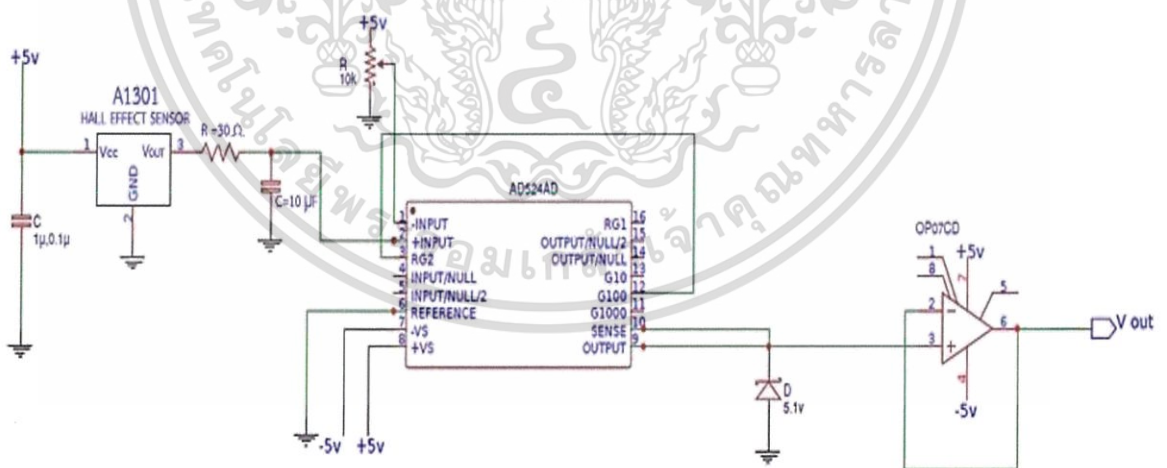
แหล่งจ่ายไฟที่จะใช้นั้น แปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์, ไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ และกราวด์ ให้กับทั้งวงจร และอุปกรณ์ตรวจรู้ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์



รูปที่ 3.7 แสดงแหล่งจ่ายไฟให้วงจรและฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์

3.2.5 วงจร

วงจรในชุดอุปกรณ์สำหรับจำแนกชนิดของวัสดุ จะอยู่ในรูปของวงจรขยายสัญญาณ และสามารถแบ่งออกเป็นวงจรย่อยๆ คือ วงจรขยายสัญญาณ (AD524), วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) และวงจรขยายสัญญาณ (OP07) ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

3.2.6 Arduino

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอด ทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อ วงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขาอินพุทและเอาต์พุทของบอร์ด หรือเพื่อความ สะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาประกบทับบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



รูปที่ 3.9 แสดง Arduino Uno R3

3.3 รายละเอียดการออกแบบส่วนต่างๆ ของระบบ

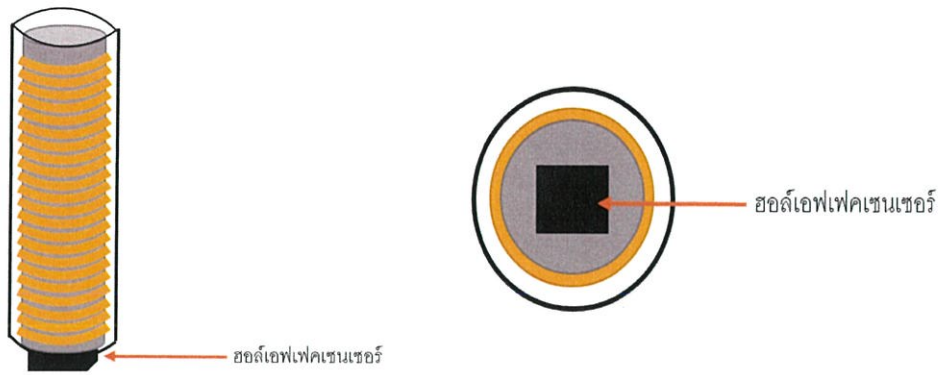
ในส่วนของรายละเอียดในการออกแบบ จะสามารถแบ่งออกได้ทั้งหมด 2 ส่วน คือ ส่วนของ ฮาร์ดแวร์ และ ส่วนของซอฟต์แวร์

3.3.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนของ อุปกรณ์รับค่าจากการวัด, ส่วนของวงจรขยายสัญญาณ และส่วนของการประมวลผล

3.3.1.1 ส่วนของชุดอุปกรณ์รับค่าจากการวัด

สำหรับชุดอุปกรณ์รับค่าจากการวัด ดังรูปที่ 3.10 ได้ดำเนินการติดตั้ง อุปกรณ์ตรวจจับอย่างฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์บริเวณหน้าสัมผัส เพื่อการตรวจวัดสนามแม่เหล็กที่ เปลี่ยนแปลงไป และแสดงผลออกมาในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 แสดงชุดอุปกรณ์รับค่าที่ได้จากการวัด

เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นบริเวณรอบขดลวดนี้ และเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นเมื่อนำแผ่นโลหะมาใกล้บริเวณขดลวด โดยขดลวดทองแดงมาขดหลายๆรอบแกน เรียกว่า คอยล์ (Coil) หรือตัวเหนี่ยวนำ และโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ ประกอบด้วยขดลวด (Coil) พันรอบแกน (Core) ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ, แกนเหล็ก, แกนพลาสติก หรือแกนเฟอร์ไรท์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ในที่นี่ได้เลือกใช้แกนเฟอร์ไรท์ เนื่องจากแกนเฟอร์ไรท์มีความซึมซาบแม่เหล็กที่สูงกว่าแกนชนิดอื่นๆ ตัวเหนี่ยวนำนี้สามารถปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ โดยมีปัจจัยต่างๆเหล่านี้

- 1) จำนวนรอบของขดลวดเขียนแทนด้วยอักษร N ถ้าจำนวนรอบของขดลวดมีปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย
- 2) วัสดุที่นำมาทำเป็นแกน เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ μ
- 3) พื้นที่หน้าตัดของแกน เขียนแทนด้วยอักษร A ถ้าพื้นที่ของแกนมีปริมาณมาก จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย
- 4) ความยาวของแกน เขียนแทนด้วยอักษร l ถ้าความยาวของแกนมีความยาวมาก ก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นสัดส่วนผกผันกับค่า l

ดังแสดงในสมการ

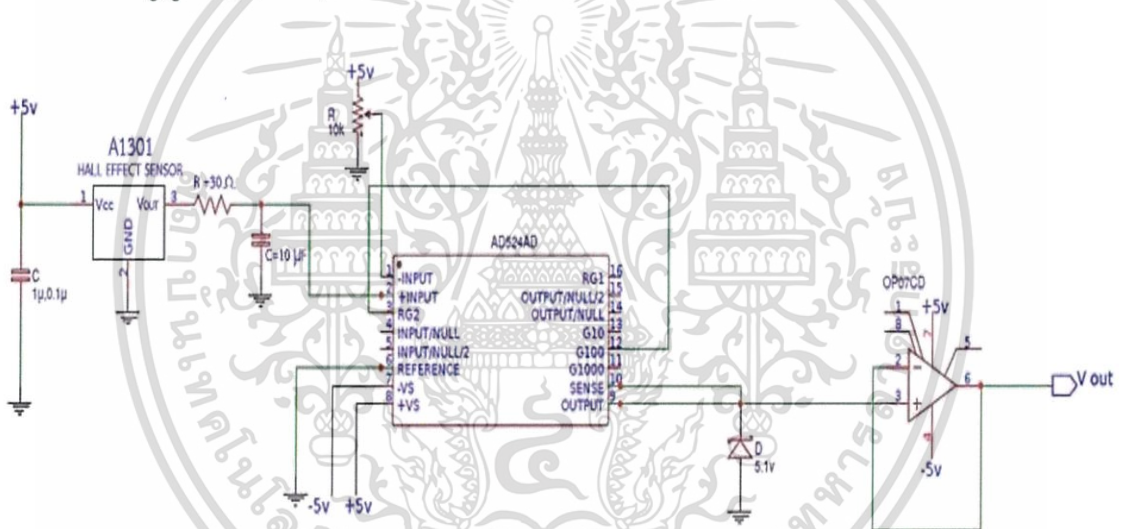
$$L = \frac{N^2 \times \mu \times A}{l} \quad (3.1)$$

เมื่อ	L	คือ	ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (H)
	N	คือ	จำนวนรอบของขดลวดทองแดง มีหน่วยเป็นรอบ
	μ	คือ	ค่าความซึมซาบ โดย $\mu = \mu_0 \times \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times \mu_r$ และ μ_r เป็นค่าความซึมซาบของวัสดุที่เป็นแกน
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของแกน มีหน่วยเป็น ตารางเมตร
	l	คือ	ความยาวของแกน มีหน่วยเป็น เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 ส่วนของวงจรขยายสัญญาณ

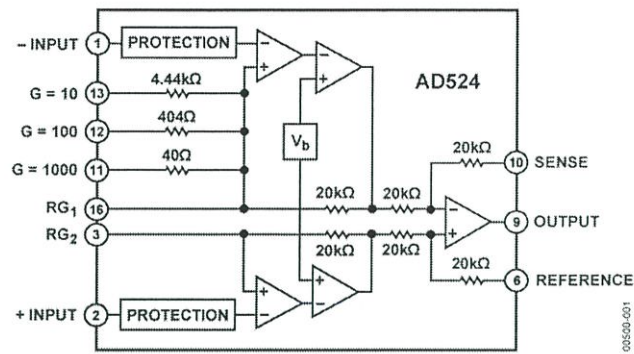
วงจรขยายสัญญาณจะประกอบวงจรย่อยๆ ดังรูปที่ 3.11 โดยการทำงานของหลักของวงจรจะเป็นวงจรขยายแรงดันจากผลต่างระหว่างอินพุทของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทมีค่าสูงขึ้น ซึ่งกำลังขยายที่ใช้คือ 10 เท่า ($G = 10$) โดยที่ขา 2 ของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) จะรับสัญญาณมาจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ โดยจะตรวจวัดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดในวงจรของสนามแม่เหล็ก โดยสัญญาณที่ออกจากขาที่ 3 ของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ จะผ่านวงจรรองความถี่ต่ำก่อนสัญญาณจะเข้าขาที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) ส่วนขาที่ 1 ของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) จะรับสัญญาณมาจากแหล่งจ่าย 5 โวลต์ที่ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งตัวต้านทานปรับค่าได้นี้จะใช้ในการปรับค่าเริ่มต้น (Initial Value) ที่เอาท์พุทของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) ตามที่ต้องการ จากนั้นจะเปรียบเทียบผลต่างแรงดันระหว่างขา 1 และ 2 ของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) แล้วขยายผลต่างแรงดันที่ได้ด้วยอัตราขยาย 10 เท่า จากนั้นจะนำเอาท์พุทที่ได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ Arduino UNO R3 โดยเอาท์พุทที่ออกจากขาที่ 3 ของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ และขาที่ 9 ของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) จะนำไปเข้า Arduino UNO R3



รูปที่ 3.11 แสดงภาพรวมของวงจรขยายสัญญาณ

3.3.1.2.1 วงจรขยายสัญญาณ (AD524)

ชุดอุปกรณ์รับค่าจากการวัดจะทำการส่งค่าที่ได้เข้าสู่ขาที่ 2 ของ AD524 เนื่องจากขณะที่ไม่ได้ทำการตรวจสอบชิ้นงาน จะมีค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างแม่เหล็ก จึงได้มีการต่อตัวต้านทานอ้างอิงเข้าขาที่ 1 ของ AD524 และต่ออัตราขยาย 10 เท่า



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรภายในของ AD524

3.3.1.2.2 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) [14]

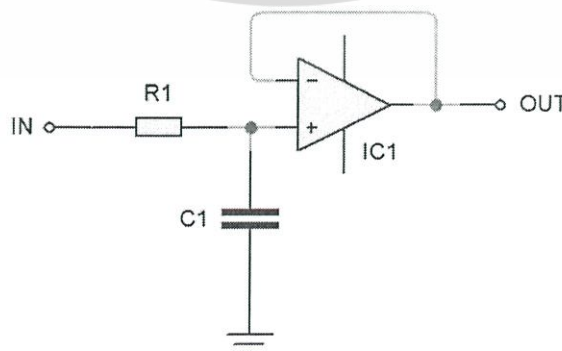
วงจรกรองความถี่ต่ำ ทำหน้าที่ในการกรองความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดทิ้งไป โดยประกอบด้วยตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุดังรูปที่ 3.13 เนื่องจากในการทดลองใช้ความถี่ที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นี้ประมาณ 300-500 Hz จึงทำการกำหนดให้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาต่อในวงจร มีค่าเป็น $R=30 \Omega$ และ $C=10 \mu\text{F}$ และสามารถคำนวณหา Cut Off Frequency ได้จากสมการที่ (3.2)

$$f_{co} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.2)$$

$$f_{co} = \frac{1}{2\pi(30)(10 \times 10^{-6})}$$

$$f_{co} = 530.5164 \text{ Hz}$$

- เมื่อ f_{co} คือ Cut Off Frequency หรือความถี่ตัดผ่าน มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
 π คือ ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 3.142
 R คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
 C คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

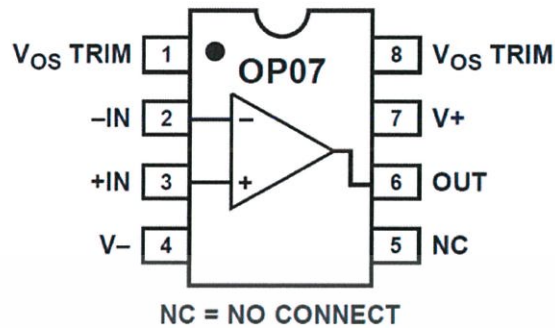


รูปที่ 3.13 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2.3 วงจรขยายสัญญาณ (OP07)

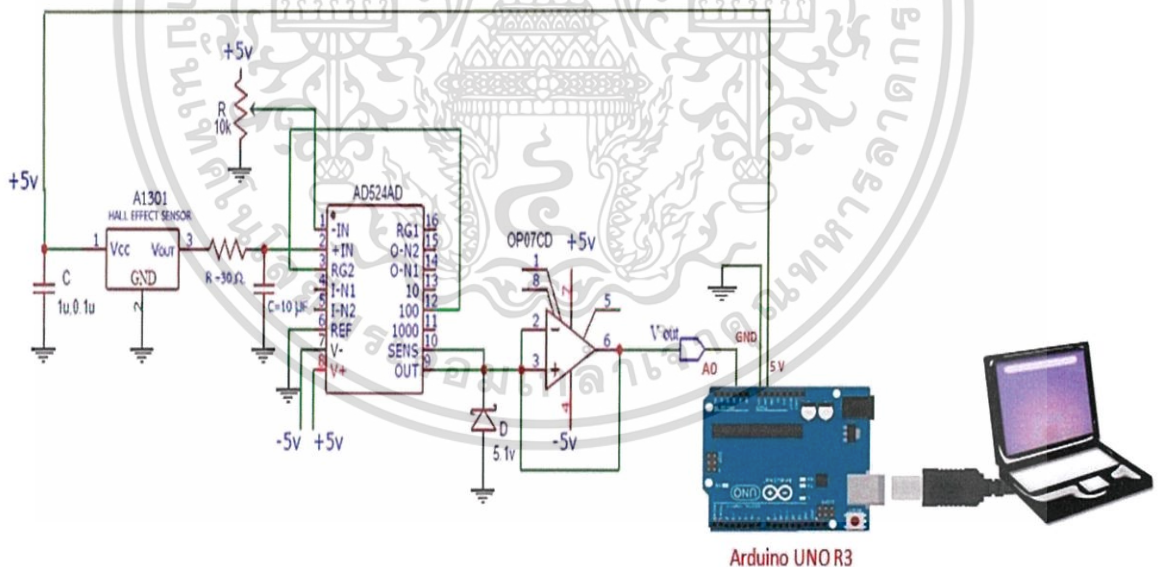
วงจรมีจะรับค่ามาจากวงจร AD524 โดยเข้าขาที่ 3 ของ OP07 และทำการเปรียบเทียบค่าที่เข้ามาในขาที่ 2 ของ OP07 และส่งค่าที่ได้ไปยัง Arduino ต่อไป



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรขยายสัญญาณ (OP07)

3.3.1.3 ส่วนของการประมวลผล

ในส่วนของการประมวลผลนี้ จะนำผลที่ได้จากชุดอุปกรณ์การวัดผ่าน วงจรขยายสัญญาณ และเข้าส่วนประมวลผล โดยนำค่าที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณ (OP07) ขาที่ 6 มาเข้าขาที่ A1 ของ Arduino Uno R3 ซึ่งเป็นแรงดันเอาท์พุทที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว และทำการวัดแรงดันของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ เพื่อนำไปแสดงค่าตามตารางผลการทดลองในบทถัดไป

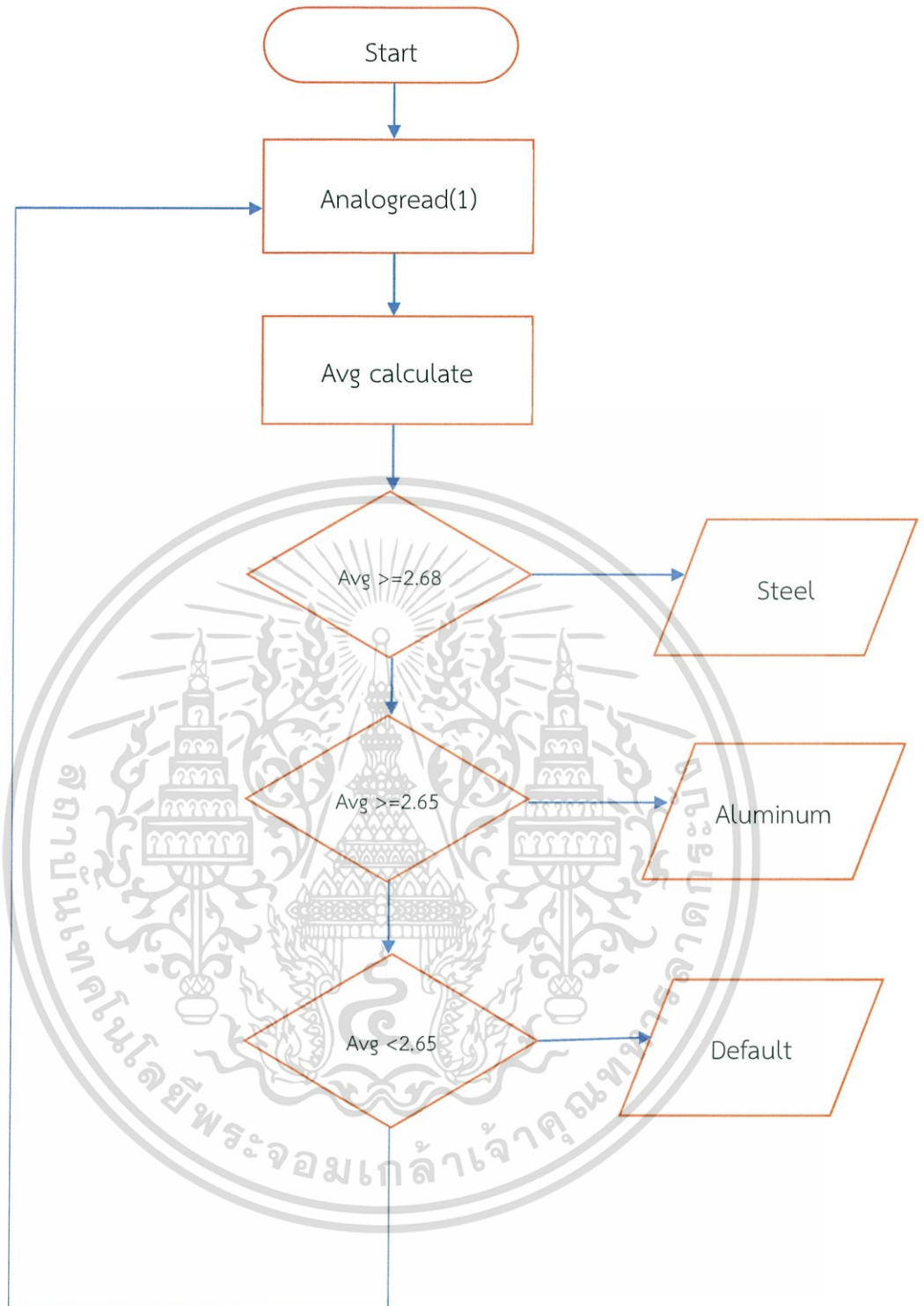


รูปที่ 3.15 แสดงการดำเนินงานโดยรวมของการประมวลผล

3.3.2 การออกแบบส่วนซอฟต์แวร์

ส่วนซอฟต์แวร์นั้นจะเกี่ยวข้องกับชุดคำสั่งของระบบ เป็นส่วนของการรับข้อมูลมาจากฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป ขั้นตอนการทำงานจะเป็นไปตามรูปที่ 3.16 และหัวข้อย่อยที่ 3.3.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงาน

จากรูปที่ 3.16 เป็น Flow Chart แสดงการรับค่าแรงดันไฟฟ้ามาจากอุปกรณ์การวัดเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการแสดงผลผ่านทางหน้าจอแสดงผล เริ่มต้นด้วยการรับค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์มาทำการเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้า โดยการเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ 300 ค่า จะออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าเพียงค่าเดียว และเมื่อค่าที่เฉลี่ยมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 2.68 จะแสดงออกมาทางหน้าจอแสดงผลว่าวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ เหล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากค่าที่เฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 2.68 แต่มากกว่าหรือเท่ากับ 2.65 หน้าจอแสดงผลจะแสดงว่าวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ อะลูมิเนียม และถ้าไม่มีการนำวัสดุใดๆ มาทดสอบ แรงดันไฟฟ้าที่ถูกเฉลี่ยออกมาจะมีค่าน้อยกว่า 2.65 หน้าจอแสดงผลจะแสดงว่าไม่มีวัสดุทดสอบ

3.3.2.1 ฟังก์ชันการทำงานการรับค่าแรงดันไฟฟ้าและแสดงผล

<pre>int a; float temp1; float temp2; int h; float k; float avg; int r; void setup(){ a=150; Serial.begin(9600); } void loop(){ i=0; float b=0; float avg; temp1=0; b=0; for (r = 0; r<=300; r++) { for (i=0;i<a;i++){ val1=analogRead(A1); temp1=(val1/4.09200)/10; } temp1/a; delay(1); b+=temp1; avg =((b/300)); }</pre>	<p>กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ</p> <p>กำหนดให้เก็บค่าจำนวน 300 ค่า กำหนดให้ val1 คือค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์และ temp1 คือค่า voltage ที่คำนวณได้</p> <p>กำหนด Delay กำหนดให้ b คือตัวแปรรับค่า temp1 มาเก็บไว้ และ avg คือค่าเฉลี่ยของค่าทั้งหมด</p>
<pre>Serial.println(avg, 6); if (avg >= 2.68) { Serial.println("Steel"); } else if (avg >= 2.6500) { Serial.println("Aluminium"); } else if (avg <= 2.6499) { Serial.println("Default"); } }</pre>	<p>กำหนดให้เก็บค่าจำนวน 300 ค่า กำหนดให้ b คือตัวรับค่า temp มาเก็บไว้ และ avg คือค่าเฉลี่ยของค่าทั้งหมด</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโปรแกรมการทำงานการรับค่าแรงดันไฟฟ้าและแสดงผล ในตอนเริ่มของโปรแกรมจะมีการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในส่วนถัดมาจะเป็นการกำหนดให้โปรแกรมทำการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ คือ val1 และ temp1 คือแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากการคำนวณ ในโปรแกรมนี้อมีการกำหนด Delay คือ 1 วินาที เพื่อให้การแสดงผลเป็นไปอย่างรวดเร็ว และกำหนดให้ b คือตัวแปรรับค่าของ temp1 มาเก็บไว้ และทำการเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์จำนวน 300 ค่า ซึ่ง avg คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้านั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

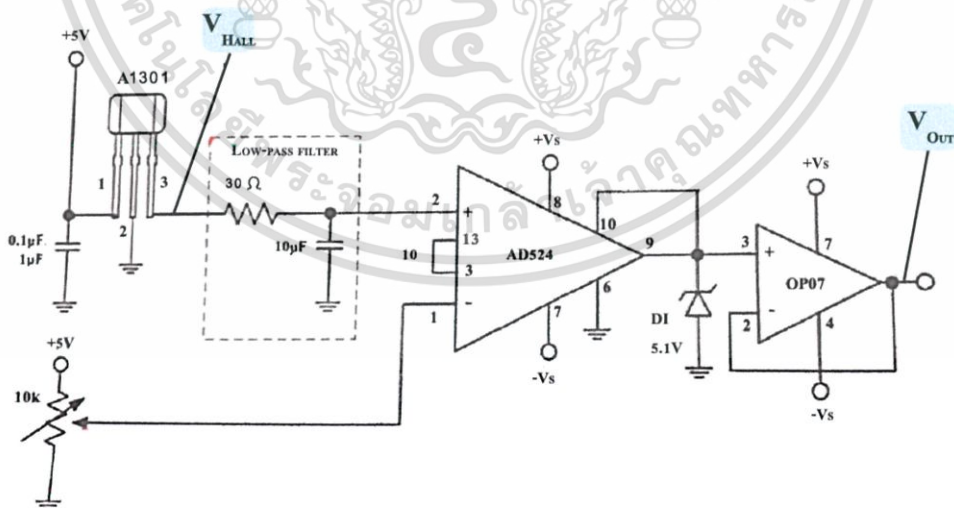
4.1 สมมุติฐานของการทดลอง

- 1) แผ่นวัสดุที่มีชนิดเดียวกัน ความหนาเท่ากัน ขนาดต่างกัน แผ่นวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมีแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแผ่นวัสดุที่มีขนาดเล็กกรองลงมา
- 2) แผ่นวัสดุที่มีชนิดเดียวกัน ขนาดเท่ากัน แต่ความหนาต่างกัน แผ่นวัสดุที่มีความหนามากที่สุดจะมีแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแผ่นวัสดุที่มีความหนาน้อยรองลงมาตามลำดับ
- 3) แผ่นวัสดุที่ต่างชนิดกัน ความหนา และขนาดเท่ากัน แผ่นวัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง แรงดันไฟฟ้าฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์จะสูงกว่าแผ่นวัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้ารองลงมา ในการทดลองนี้จะใช้เพียงเหล็ก และอะลูมิเนียม เนื่องจากตามร้านขายวัสดุไม่มีแผ่นวัสดุที่มีความหนา และขนาดที่เท่ากันหมดทั้งสองชนิด จึงเลือกใช้ความหนา และขนาดที่ใกล้เคียงกันมาทำการเปรียบเทียบแทน

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มทำการกำหนดตำแหน่งการวัดแรงดันไฟฟ้า เมื่อทำการกำหนดเสร็จแล้วจึงได้นำชุดอุปกรณ์การจำแนกประเภทของวัสดุ มาทดลองจำแนกวัสดุที่กำหนดไว้

4.2.1 ทำการกำหนดตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้า



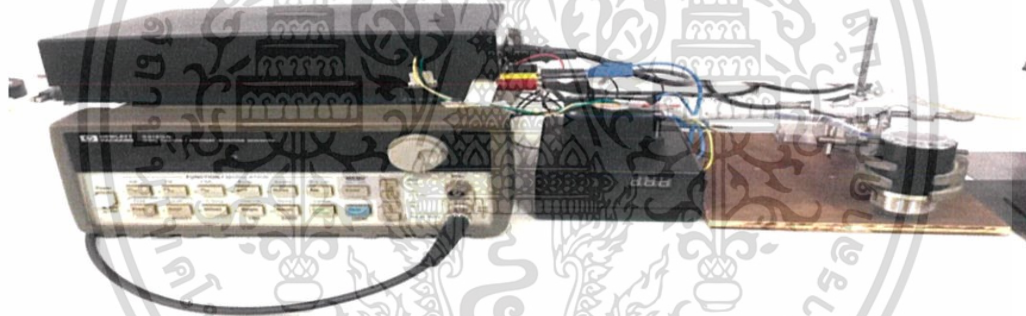
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการวัดแรงดัน

เมื่อได้ทำการกำหนดตำแหน่งในการวัดแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ของบอร์ด สำหรับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ดังรูปที่ 4.1 ในตำแหน่งของแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(V_{Hall}) และตำแหน่งของแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรถายสัญญาณแล้ว (V_{OUT}) ซึ่งในตารางการแสดงผล จะแสดงแรงดันไฟฟ้าที่มาจากฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์เท่านั้น เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรถายสัญญาณ ค่าที่ได้มีการแกว่งไปมาค่อนข้างสูง จึงแสดงผลเฉพาะ V_{Hall} ที่แผ่นวัสดุทดสอบที่ต่างชนิดต่างขนาด และความหนาที่ต่างกัน ออกมาเป็นตารางที่จะแสดงในลำดับต่อไป

4.2.2 การทดลองการตรวจวัดแผ่นวัสดุ

เมื่อทำการต่ออุปกรณ์จำแนกประเภทของวัสดุเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 4.1 ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ให้กับฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ ต่อมาจะเข้าสู่ระบบประมวลผล ซึ่งในที่นี้คือวงจรถายสัญญาณ ดังที่ได้กล่าวมา จากนั้นทำการปรับตั้งค่า ให้ในขณะที่ไม่มีการวัดค่าใดๆ ให้ค่าที่เกิดขึ้น เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ที่เหมาะสม เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจาก สิ่งแวดล้อม เช่น เครื่องมือสื่อสาร, อุปกรณ์ปฏิบัติการที่กำลังเปิดใช้, เครื่องมือหรือเครื่องใช้ที่มีส่วนประกอบของโลหะ เป็นต้น จะทำให้ค่าที่แสดงผลนั้นไม่คงที่ จากนั้นจึงนำวัสดุต่างชนิดกันที่คาดว่าจะพบเจอในอุตสาหกรรมดังที่กล่าวมาในบทก่อนหน้า มาทำการตรวจสอบ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจะแตกต่างกันออกไป



รูปที่ 4.2 การต่อใช้งานของชุดอุปกรณ์จำแนกชนิดของวัสดุ

จากนั้นเราจะเริ่มทำการทดลองโดยเปิดเครื่องชุดอุปกรณ์จำแนกชนิดของวัสดุ ต่อมาได้นำแผ่นอะลูมิเนียมและเหล็ก ที่มีความหนาและขนาดที่แตกต่างกันมาทำการตรวจวัด และทำการบันทึกค่าลงในตารางจำนวน 20 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งมาจากการเฉลี่ยค่าที่วัดได้จำนวน 300 ค่า

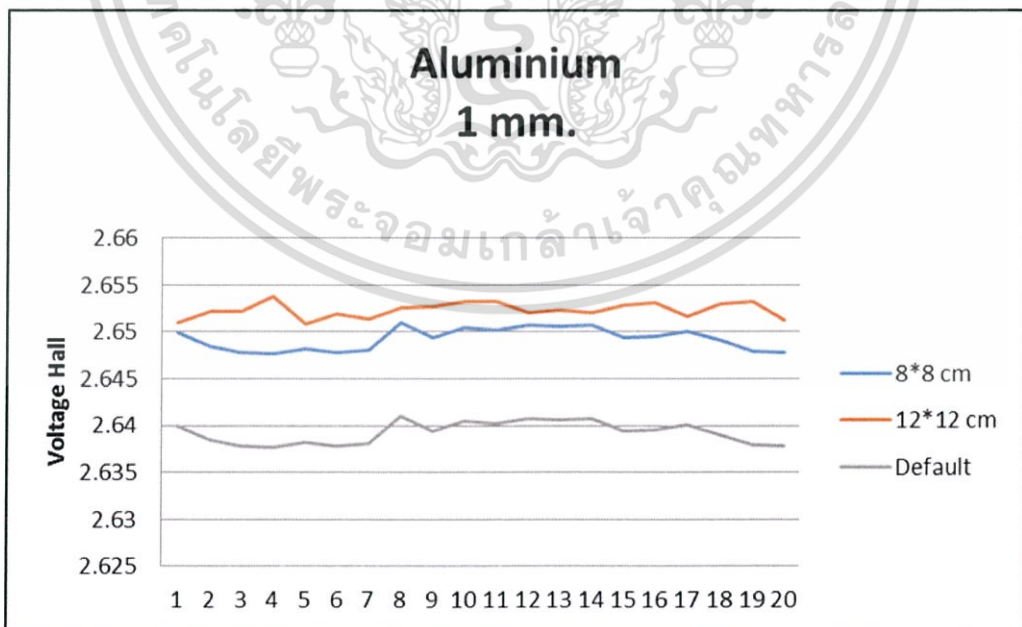
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 1 มิลลิเมตร

ความหนา 1 มิลลิเมตร	
ขนาด 8×8 cm.	ขนาด 12×12 cm.
2.64992 V	2.65102 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักศึกษาใช้เพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

2.64846 V	2.65212 V
2.64785 V	2.65224 V
2.64772 V	2.65383 V
2.64821 V	2.65090 V
2.64784 V	2.65188 V
2.64809 V	2.65139 V
2.65102 V	2.65261 V
2.64943 V	2.65273 V
2.65041 V	2.65322 V
2.65017 V	2.65322 V
2.65078 V	2.65200 V
2.65066 V	2.65237 V
2.65078 V	2.65200 V
2.64944 V	2.65286 V
2.64956 V	2.65310 V
2.65005 V	2.65163 V
2.64907 V	2.65298 V
2.64797 V	2.65322 V
2.64785 V	2.65127 V



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง

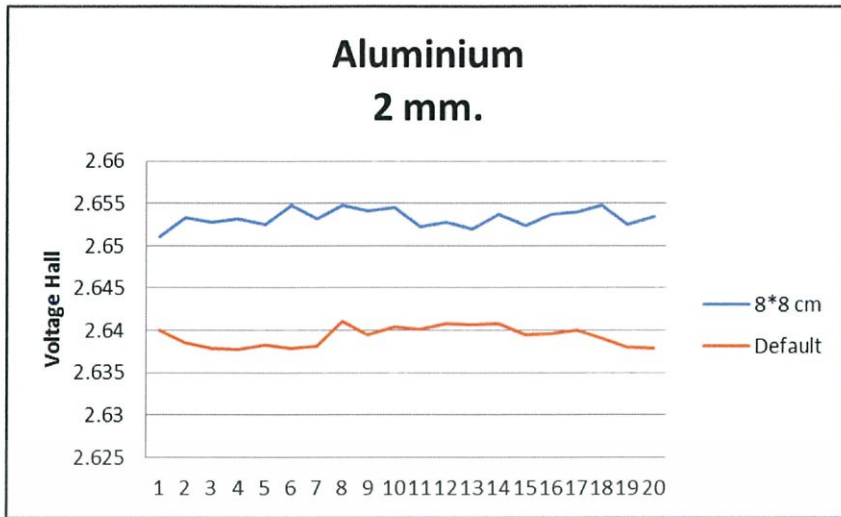
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นอะลูมิเนียมที่ความหนา 1 มิลลิเมตรเท่ากัน แต่แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 12x12 cm. มีค่า V_{Hall} ที่สูงกว่าแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 8x8 cm. และเมื่อไม่มีวัสดุทดสอบ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์นี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 2 มิลลิเมตร

ความหนา 2 มิลลิเมตร
ขนาด 8x8 cm.
2.65102 V
2.65334 V
2.65273 V
2.65310 V
2.65249 V
2.65481 V
2.65310 V
2.65469 V
2.65408 V
2.65444 V
2.65224 V
2.65273 V
2.65200 V
2.65371 V
2.65237 V
2.65371 V
2.65395 V
2.65481 V
2.65249 V
2.65347 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง

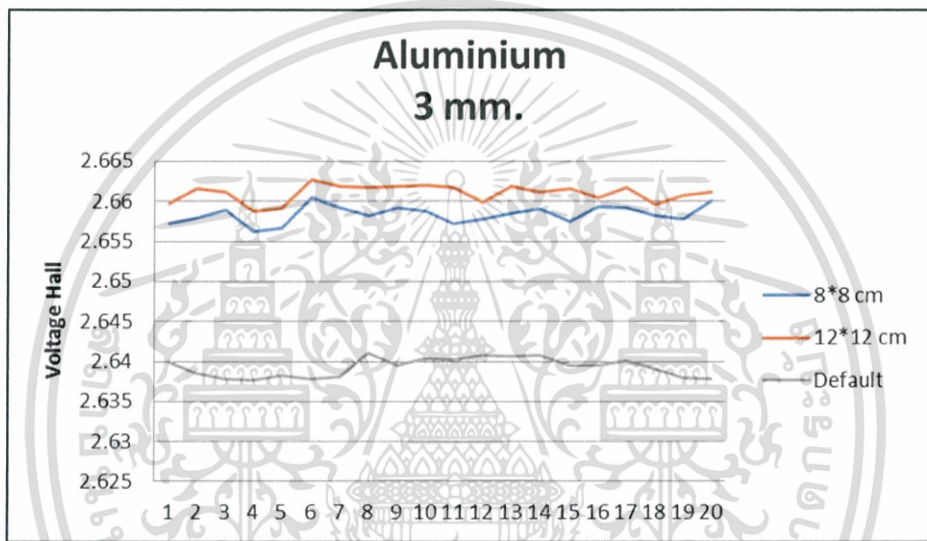
จากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นอะลูมิเนียมที่ความหนา 2 มิลลิเมตร แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 8×8 cm. มีค่า V_{Hall} ที่สูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มีวัสดุทดสอบ และ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์นี้ เนื่องจากแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 2 มิลลิเมตร ที่มีอยู่และร้านค้าไม่มีจำหน่าย ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้ จึงใช้แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 8×8 cm. แผ่นเดียว ทำการเปรียบเทียบกับ Default แทน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตร

ความหนา 3 มิลลิเมตร	
ขนาด 8×8 cm.	ขนาด 12×12 cm.
2.65725 V	2.65982 V
2.65786 V	2.66153 V
2.65884 V	2.66116 V
2.65615 V	2.65872 V
2.65664 V	2.65921 V
2.66043 V	2.66275 V
2.65921 V	2.66190 V
2.65823 V	2.66178 V
2.65921 V	2.66190 V
2.65872 V	2.66202 V
2.65713 V	2.66177 V
2.65774 V	2.65994 V

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

2.65848 V	2.66190 V
2.65909 V	2.66116 V
2.65750 V	2.66153 V
2.65933 V	2.66043 V
2.65921 V	2.66177 V
2.65823 V	2.65958 V
2.65774 V	2.66067 V
2.66006 V	2.66116 V



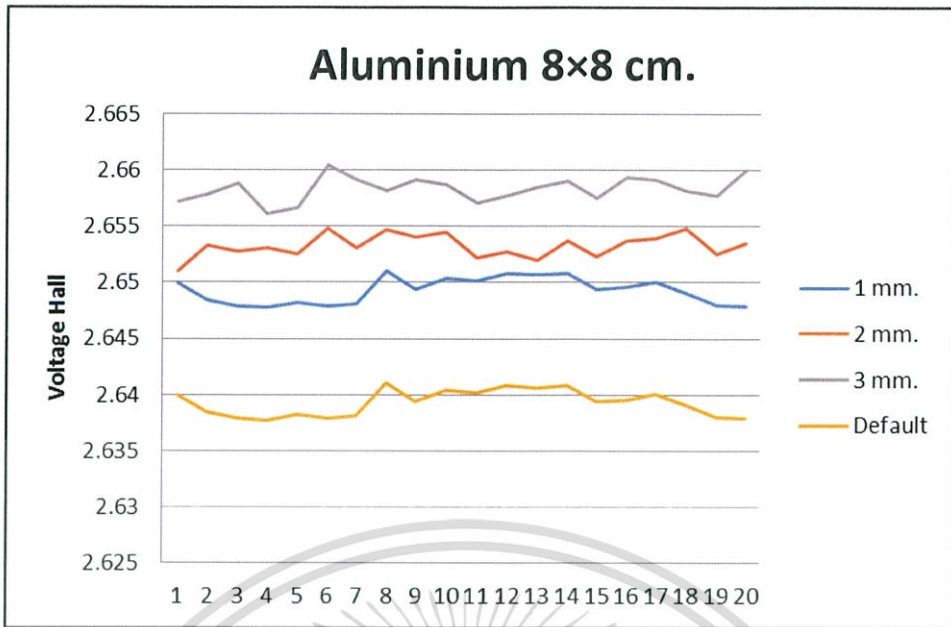
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรที่ขนาดต่างๆ กัน กับ การวัด 20 ครั้ง

จากกราฟรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรเท่ากัน แต่แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 12×12 cm. มีค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่สูงกว่าแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 8×8 cm. และเมื่อไม่มีวัสดุทดสอบ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์นี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 8x8 cm ที่ความหนา 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร

แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 8x8 cm.		
ความหนา 1 mm.	ความหนา 2 mm.	ความหนา 3 mm.
2.64992 V	2.65102 V	2.65725 V
2.64846 V	2.65334 V	2.65786 V
2.64785 V	2.65273 V	2.65884 V
2.64772 V	2.65310 V	2.65615 V
2.64821 V	2.65249 V	2.65664 V
2.64784 V	2.65481 V	2.66043 V
2.64809 V	2.65310 V	2.65921 V
2.65102 V	2.65469 V	2.65823 V
2.64943 V	2.65408 V	2.65921 V
2.65041 V	2.65444 V	2.65872 V
2.65017 V	2.65224 V	2.65713 V
2.65078 V	2.65273 V	2.65774 V
2.65066 V	2.65200 V	2.65848 V
2.65078 V	2.65371 V	2.65909 V
2.64944 V	2.65237 V	2.65750 V
2.64956 V	2.65371 V	2.65933 V
2.65005 V	2.65395 V	2.65921 V
2.64907 V	2.65481 V	2.65823 V
2.64797 V	2.65249 V	2.65774 V
2.64785 V	2.65347 V	2.66006 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งมีขนาด 8x8 ตารางเซนติเมตร ที่ความหนาต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง

จากกราฟรูปที่ 4.6 ของแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 8x8 cm. ที่ความหนาต่างกัันนี้ แสดงให้เห็นว่าแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตร จะมีแรงดันไฟฟ้า (V_{Hall}) ที่สูงที่สุด รองลงมาคือแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ความหนามีผลกับแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐาน

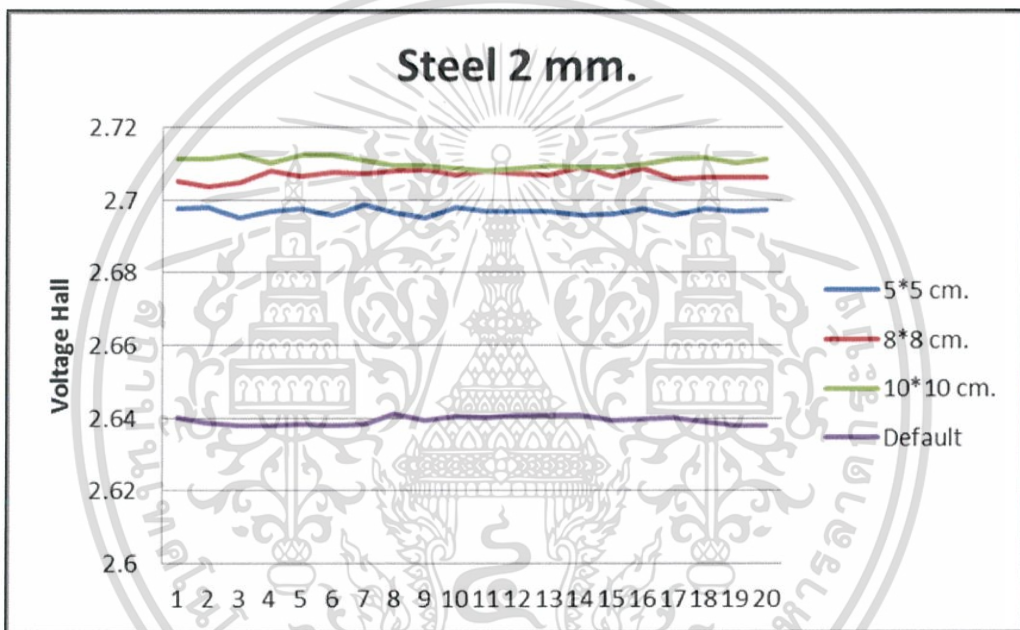
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็กความหนา 2 มิลลิเมตร

ความหนา 2 มิลลิเมตร		
ขนาด 5×5 cm.	ขนาด 8×8 cm.	ขนาด 10×10 cm.
2.69758 V	2.70515 V	2.71114 V
2.69782 V	2.70381 V	2.71126 V
2.69501 V	2.70479 V	2.71248 V
2.69697 V	2.70808 V	2.71028 V
2.69745 V	2.70649 V	2.71236 V
2.69596 V	2.70759 V	2.71236 V
2.69680 V	2.70723 V	2.71089 V
2.69660 V	2.70808 V	2.70955 V
2.69513 V	2.70821 V	2.70955 V
2.69794 V	2.70696 V	2.70870 V
2.69672 V	2.70808 V	2.70808 V
2.69684 V	2.70711 V	2.70882 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

2.69672 V	2.70686 V	2.70955 V
2.69562 V	2.70906 V	2.70906 V
2.69599 V	2.70674 V	2.70694 V
2.69758 V	2.70882 V	2.70992 V
2.69574 V	2.70601 V	2.71114 V
2.69770 V	2.70637 V	2.71175 V
2.69672 V	2.70637 V	2.71028 V
2.69721 V	2.70637 V	2.71126 V

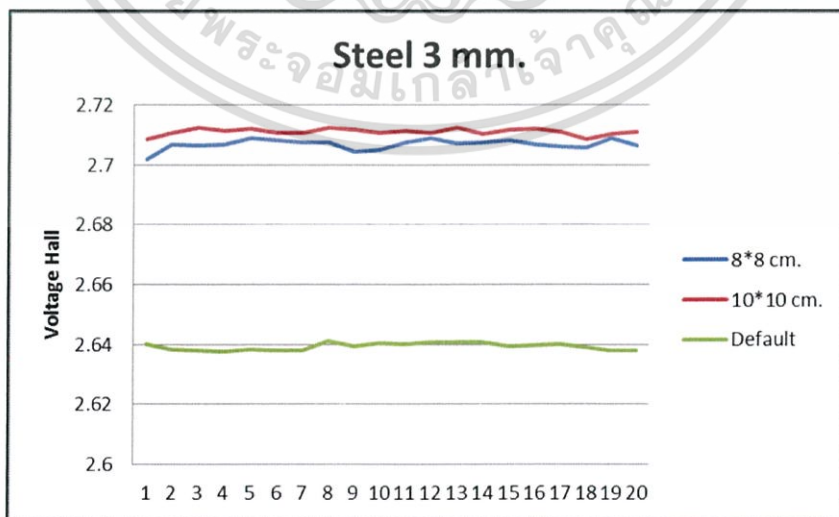


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็กที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง

จากกราฟรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นเหล็กที่ความหนา 2 มิลลิเมตรเท่ากัน แต่แผ่นเหล็กขนาด 10×10 cm. มีค่า V_{Hall} ที่สูงที่สุด รองลงมาคือแผ่นเหล็กขนาด 8×8 cm และ ขนาด 5×5 cm. ตามลำดับ เมื่อไม่มีวัสดุทดสอบ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็กความหนา 3 มิลลิเมตร

ความหนา 3 มิลลิเมตร	
ขนาด 8×8 cm.	ขนาด 10×10 cm.
2.70197 V	2.70845 V
2.70686 V	2.71077 V
2.70637 V	2.71236 V
2.70674 V	2.71138 V
2.70894 V	2.71212 V
2.70808 V	2.71065 V
2.70760 V	2.71053 V
2.70735 V	2.71236 V
2.70442 V	2.71187 V
2.70515 V	2.71053 V
2.70735 V	2.71138 V
2.70906 V	2.71077 V
2.70723 V	2.71236 V
2.70760 V	2.71028 V
2.70833 V	2.71187 V
2.70674 V	2.71212 V
2.70601 V	2.71102 V
2.70558 V	2.70869 V
2.70906 V	2.71041 V
2.70637 V	2.71114 V



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็กที่มีความหนา 3

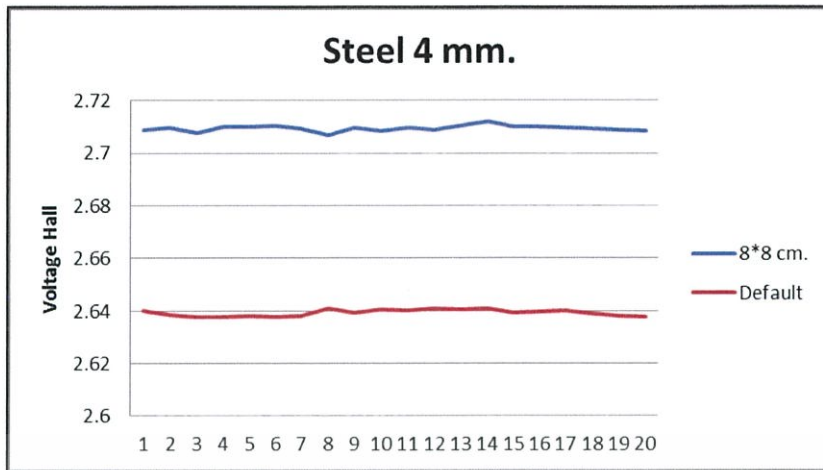
มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กันกับการวัด 20 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นเหล็กที่ความหนา 3 มิลลิเมตรเท่ากัน แต่แผ่นเหล็กขนาด 10×10 cm. มีค่า V_{Hall} ที่สูงกว่าแผ่นเหล็กขนาด ขนาด 8×8 cm. เมื่อไม่มีวัสดุทดสอบ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์นี้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็กความหนา 4 มิลลิเมตร

ความหนา 4 มิลลิเมตร
ขนาด 8×8 cm.
2.70882 V
2.70955 V
2.70772 V
2.70992 V
2.70979 V
2.71016 V
2.70918 V
2.70686 V
2.70967 V
2.70833 V
2.70943 V
2.70870 V
2.71016 V
2.71175 V
2.70979 V
2.71004 V
2.70943 V
2.70906 V
2.70869 V
2.70833 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็กที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง

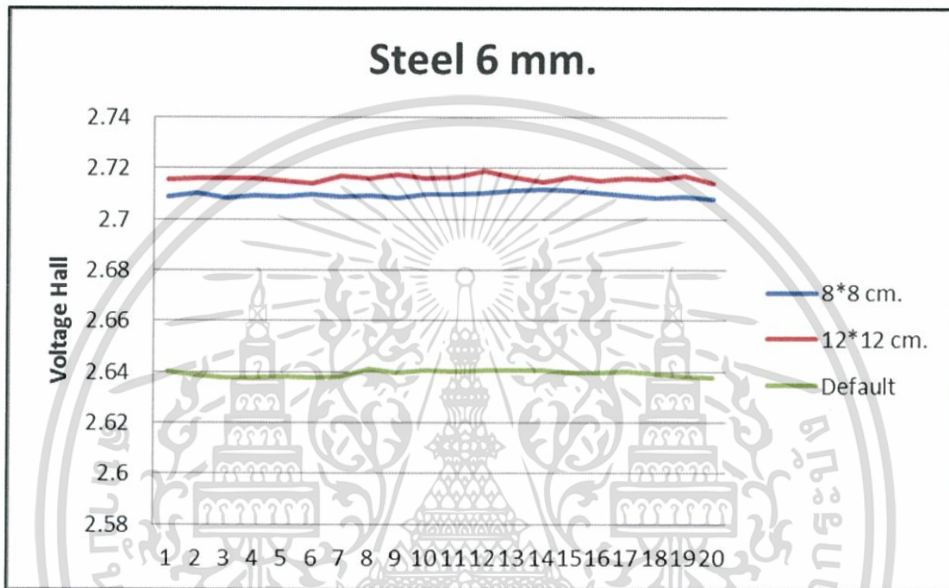
จากกราฟรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นเหล็กที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ขนาด 8×8 cm. มีค่า V_{Hall} ที่สูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มี วัสดุทดสอบ และ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณ ครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์นี้ เนื่องจากแผ่นเหล็กความหนา 4 มิลลิเมตร ร้านค้ามีจำหน่ายเพียงแค่นี้ ซึ่งไม่สามารถนำขนาดอื่นๆ มาใช้ได้ จึงใช้แผ่นเหล็ก ขนาด 8×8 cm. แผ่นเดียว ทำการเปรียบเทียบกับ Default แทน

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็กความหนา 6 มิลลิเมตร

ความหนา 6 มิลลิเมตร	
ขนาด 8×8 cm.	ขนาด 12×12 cm.
2.70870 V	2.71554 V
2.71041 V	2.71627 V
2.70821 V	2.71590 V
2.70918 V	2.71615 V
2.70894 V	2.71505 V
2.70967 V	2.71419 V
2.70882 V	2.71700 V
2.70918 V	2.71615 V
2.70845 V	2.71774 V
2.71004 V	2.71627 V
2.70979 V	2.71651 V
2.71053 V	2.71920 V
2.71151 V	2.71676 V
2.71163 V	2.71468 V

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

2.71126 V	2.71639 V
2.71016 V	2.71529 V
2.70918 V	2.71627 V
2.70833 V	2.71578 V
2.70869 V	2.71688 V
2.70796 V	2.71432 V



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก ที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร ที่ขนาดต่างๆ กัน กับการวัด 20 ครั้ง

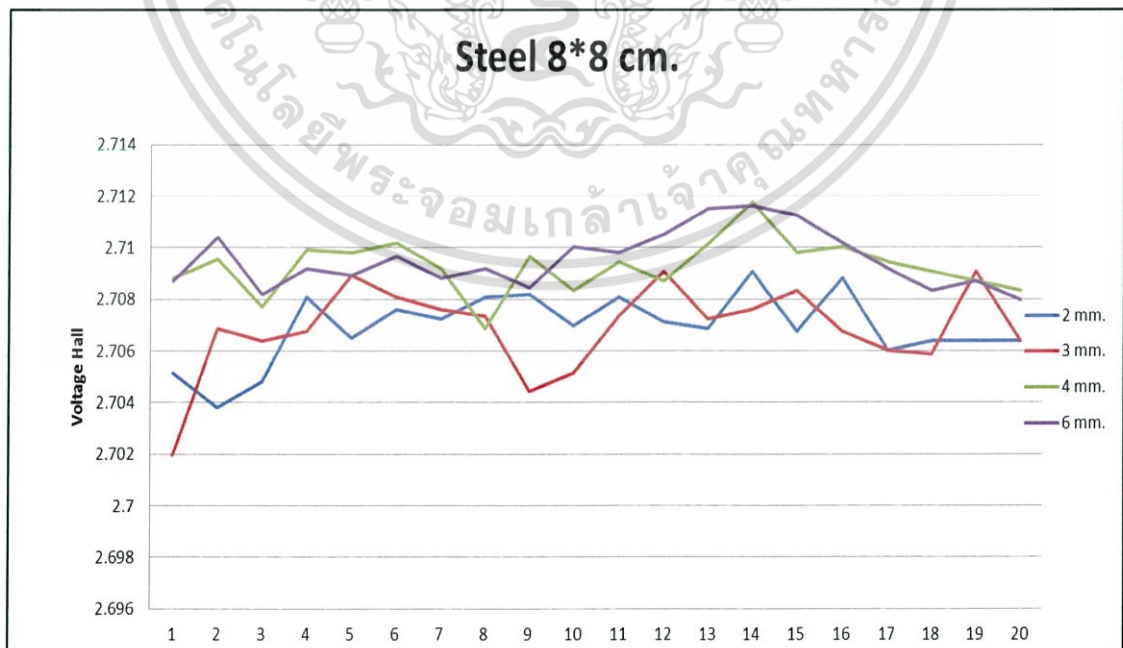
จากกราฟรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าขนาดของแผ่นวัสดุตัวนำมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า โดยแผ่นเหล็กที่มีความหนา 6 มิลลิเมตรเท่ากัน แต่แผ่นเหล็กขนาด 12x12 cm. มีค่า V_{Hall} ที่สูงกว่าแผ่นเหล็กขนาด 8x8 cm. และเมื่อไม่มีวัสดุทดสอบ Default จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ ซึ่งจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์นี้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก ขนาด 8x8 ตารางเซนติเมตร ที่ความหนา 2, 3, 4 และ 6 มิลลิเมตร

แผ่นเหล็กขนาด 8x8 cm.			
ความหนา 2 mm.	ความหนา 3 mm.	ความหนา 4 mm.	ความหนา 6 mm.
2.70515 V	2.70197 V	2.70882 V	2.70870 V
2.70381 V	2.70686 V	2.70955 V	2.71041 V
2.70479 V	2.70637 V	2.70772 V	2.70821 V

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

2.70808 V	2.70674 V	2.70992 V	2.70918 V
2.70649 V	2.70894 V	2.70979 V	2.70894 V
2.70759 V	2.70808 V	2.71016 V	2.70967 V
2.70723 V	2.70760 V	2.70918 V	2.70882 V
2.70808 V	2.70735 V	2.70686 V	2.70918 V
2.70821 V	2.70442 V	2.70967 V	2.70845 V
2.70696 V	2.70515 V	2.70833 V	2.71004 V
2.70808 V	2.70735 V	2.70943 V	2.70979 V
2.70711 V	2.70906 V	2.70870 V	2.71053 V
2.70686 V	2.70723 V	2.71016 V	2.71151 V
2.70906 V	2.70760 V	2.71175 V	2.71163 V
2.70674 V	2.70833 V	2.70979 V	2.71126 V
2.70882 V	2.70674 V	2.71004 V	2.71016 V
2.70601 V	2.70601 V	2.70943 V	2.70918 V
2.70637 V	2.70558 V	2.70906 V	2.70833 V
2.70637 V	2.70906 V	2.70869 V	2.70869 V
2.70637 V	2.70637 V	2.70833 V	2.70796 V

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของแผ่นเหล็ก ซึ่งมีขนาด 8x8

ตารางเซนติเมตร ที่ความหนาต่างๆ กันกับการวัด 20 ครั้ง

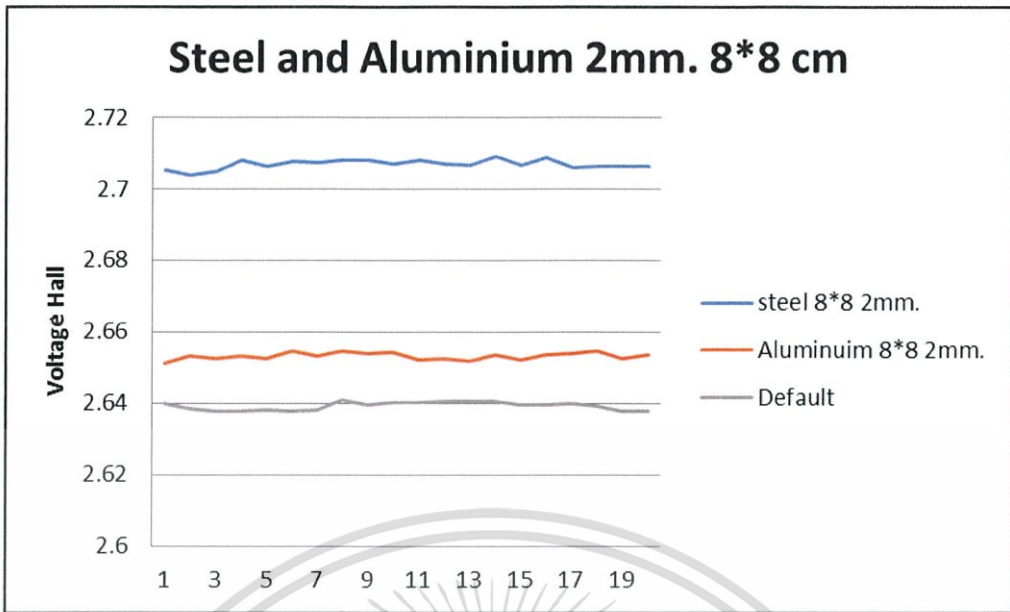
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.11 ของแผ่นเหล็กขนาด 8×8 cm. ที่ความหนาต่างกันนี้ แสดงให้เห็นว่าแผ่นเหล็กที่มีความหนาที่ใกล้เคียงกัน อย่างแผ่นเหล็กที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร, 3 มิลลิเมตร, 4 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้าที่แสดงออกมามีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากเหล็กเป็นโลหะที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงมาก ค่าแรงดันไฟฟ้าของวัสดุที่มีความหนาใกล้เคียงกันจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันด้วย จึงสรุปได้ว่า ความหนาของแผ่นเหล็กมีผลกับแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ แต่สำหรับโลหะเหล็กนี้ จำเป็นจะต้องทำการวัดแผ่นที่มีความหนาต่างกันมากๆ ถึงจะเห็นความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่แสดงออกมา ซึ่งจากการทดลองนี้เป็นไปตามที่สมมุติฐานไว้ในหัวข้อที่ 4.1

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก และแผ่นอะลูมิเนียม ความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร

แผ่นเหล็ก และแผ่นอะลูมิเนียม ความหนา 2 mm. ขนาด 8×8 cm.		
Steel	Aluminium	Default
2.705155 V	2.651026 V	2.639927 V
2.703812 V	2.653348 V	2.638462 V
2.70479 V	2.652737 V	2.63785 V
2.708088 V	2.653104 V	2.637729 V
2.706499 V	2.652492 V	2.638219 V
2.707599 V	2.654816 V	2.637849 V
2.707233 V	2.653105 V	2.638093 V
2.708088 V	2.654692 V	2.641026 V
2.70821 V	2.654082 V	2.639438 V
2.706989 V	2.654448 V	2.640416 V
2.708088 V	2.652248 V	2.640171 V
2.707111 V	2.652737 V	2.640782 V
2.706866 V	2.652005 V	2.640661 V
2.709066 V	2.653715 V	2.640782 V
2.706744 V	2.652372 V	2.63944 V
2.708822 V	2.653715 V	2.639561 V
2.706011 V	2.653959 V	2.640051 V
2.706378 V	2.654815 V	2.639073 V
2.706377 V	2.652494 V	2.637974 V
2.706378 V	2.653471 V	2.637853 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



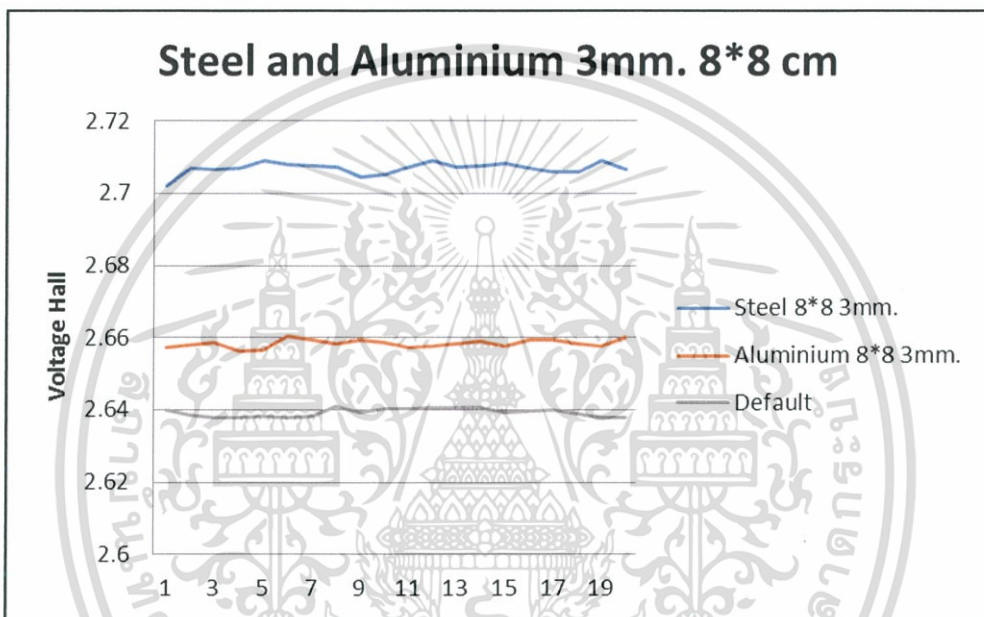
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของวัสดุที่ต่างชนิดกัน ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 8×8 cm. กับ การวัด 20 ครั้ง

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ที่วัดได้จากการตรวจวัดแผ่นเหล็ก และแผ่นอะลูมิเนียม ความหนา 3 มิลลิเมตร ที่ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร

แผ่นเหล็ก และแผ่นอะลูมิเนียม ความหนา 3 mm. ขนาด 8×8 cm.		
Steel	Aluminium	Default
2.701979 V	2.657258 V	2.639927 V
2.706866 V	2.657869 V	2.638462 V
2.706377 V	2.658846 V	2.63785 V
2.706744 V	2.656158 V	2.637729 V
2.708944 V	2.656647 V	2.638219 V
2.708088 V	2.660435 V	2.637849 V
2.7076 V	2.659213 V	2.638093 V
2.707355 V	2.658235 V	2.641026 V
2.704423 V	2.659212 V	2.639438 V
2.705155 V	2.658724 V	2.640416 V
2.707356 V	2.657137 V	2.640171 V
2.709065 V	2.657748 V	2.640782 V
2.707233 V	2.658481 V	2.640661 V
2.7076 V	2.659091 V	2.640782 V

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

2.708332 V	2.657503 V	2.63944 V
2.706744 V	2.659336 V	2.639561 V
2.706011 V	2.659213 V	2.640051 V
2.705889 V	2.658236 V	2.639073 V
2.709065 V	2.657747 V	2.637974 V
2.706378 V	2.660069 V	2.637853 V



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} ของวัสดุที่ต่างชนิดกัน ที่ความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 8x8 cm. กับการวัด 20 ครั้ง

จากกราฟรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า แผ่นวัสดุทดสอบที่ความหนาเท่ากับ 2 มิลลิเมตร และขนาดเท่ากับ 8x8 cm. แผ่นเหล็กจะมีค่าแรงดันไฟฟ้า V_{Hall} สูงกว่าแผ่นอะลูมิเนียม และจากกราฟที่ 4.13 แผ่นวัสดุทดสอบที่ความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ขนาด 8x8 cm. แผ่นเหล็กจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแผ่นอะลูมิเนียมเช่นกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ สามารถจำแนกชนิดของวัสดุได้ ที่ความหนาและขนาดเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามที่สมมุติฐานไว้ในหัวข้อที่ 4.1

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ จากนั้นจะผ่านกระบวนการประมวลผล ก่อนที่จะนำวัสดุต่างๆ มาทำการตรวจวัด บันทึกข้อมูล และนำค่าที่ได้มาแสดงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าของวัสดุที่ต่างชนิดกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนของวัสดุแต่ละชนิด ได้ผลสรุป คือ แรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ของแผ่นทดสอบแต่ละชนิด จะมีความสัมพันธ์ดังนี้ เหล็ก > อะลูมิเนียม > ไม่มีวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13 ที่แผ่นวัสดุแต่ละชนิดจะมีแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานของวัสดุที่นำไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งจะมีค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งเสมอ ในส่วนของขนาดที่ต่างกันในวัสดุชนิดเดียวกัน ขนาดที่ใหญ่กว่าจะส่งผลให้มีแรงดันไฟฟ้าที่มากขึ้นถ้าเทียบกับแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า และส่วนสุดท้ายคือความหนาที่ต่างกันของวัสดุชนิดเดียวกัน ความหนาที่ต่างกันวัสดุชนิดเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ก็จะต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แต่สำหรับแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่างกันไม่มากอย่างในรูปที่ 4.11 จำเป็นจะต้องมีการวัดที่ความหนาต่างกันมากๆ จึงจะสามารถเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ความหนาสูงสุดจะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงที่สุด และที่ความหนาดำสุดจะให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดในวัสดุชนิดเดียวกัน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอหลักการในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของสนามแม่เหล็ก ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กชนิดฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ โดยจะแบ่งการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก คือ ชนิดของวัสดุที่ต่างกันอย่าง เหล็ก อะลูมิเนียม และไม่มีวัสดุ ได้ผลสรุปคือแรงดันไฟฟ้าจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ มีความสัมพันธ์ดังนี้ เหล็ก > อะลูมิเนียม > ไม่มีวัสดุ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าและความต้านทานของวัสดุที่นำไฟฟ้าแต่ละชนิด จะมีค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งเสมอ ส่งผลให้เหล็กที่มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าสูงและค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์สูงกว่าอะลูมิเนียม ส่วนที่สอง คือ ขนาดที่ต่างกันในวัสดุชนิดเดียวกัน โดยแผ่นที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าจะส่งผลให้มีแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดพื้นที่เล็กกว่า และขนาดของแผ่นที่นำมาทดสอบนี้ได้กำหนดขึ้นเอง เนื่องจากขนาดของแผ่นวัสดุที่ทำการวัดจะต้องมีขนาดมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์การวัด และส่วนสุดท้าย คือ ความหนาที่ต่างกันของวัสดุชนิดเดียวกัน จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าที่ความหนาต่างกัน ในวัสดุชนิดเดียวกัน แรงดันของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ก็จะต่างกันด้วย โดยที่ความหนาสูงสุดจะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงที่สุดและที่ความหนาน้อยสุดจะให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดในวัสดุชนิดเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงงานนี้ยังไม่สมบูรณ์มากนัก ในเรื่องชนิดของตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อแสดงผล หากมีวัสดุที่ทำได้หลากหลายจะสามารถนำมาเพื่อใช้เปรียบเทียบได้อีกมาก ควรมีขนาดและความหนาที่เหมือนกันในแต่ละแผ่นตัวอย่าง หากได้ตัวอย่างที่พร้อมทั้งหมด จะส่งผลให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อตรวจการปนเปื้อนของโลหะ หรือสามารถนำไปใช้แยกชนิดของโลหะที่จะนำมาทำเป็นเหรียญ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นต้น สามารถนำไปต่อยอดการศึกษา เช่น ใช้วิเคราะห์ความหนาของวัสดุว่ามีผลต่อการเกิดกระแสไหลวนได้อย่างไร หรือ ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดอะไรได้อีกบ้าง เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] Hall Effect. [Online]. Available : <http://bmesensor.blogspot.com/p/hall-effect.html> สืบค้น 28 พฤศจิกายน 2559.
- [2] การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing). [Online]. Available : <https://www.pballtechno.com/article/21/การทดสอบแบบไม่ทำลาย-non-destructive-testing> สืบค้น 30 พฤศจิกายน 2559.
- [3] บริการทดสอบโดยไม่ทำลาย. [Online]. Available : http://www.siwateresting.net/?portfolio_page=art-week-2014-malmo สืบค้น 30 พฤศจิกายน 2559.
- [4] สมนึก บุญพาไสว, กระแสไหลวน (Eddy current). [Online]. Available : <http://design.ipst.ac.th/docu/photo/doc0003.pdf> สืบค้น 6 มกราคม 2560
- [5] William H. Hayt, Jr. / John A. Buck. 2555. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. ท้อป, บจก.สนพ.
- [6] สุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์, โลหะวิทยาเบื้องต้น. ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ.
- [7] ประเภทของโลหะ. [Online]. Available : http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/07_Classification_of_Metal.pdf สืบค้น 15 มกราคม 2560
- [8] เกียรติศักดิ์ มีมาก, การจำแนกชนิดของโลหะ. [Online]. Available : <http://ifjppjppj.blogspot.com/2013/06/blog-post.html> สืบค้น 17 มกราคม 2560
- [9] อะลูมิเนียม. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/อะลูมิเนียม> สืบค้น 17 มกราคม 2560
- [10] ทองแดง. [Online]. Available : <http://www.patchra.net/minerals/MinDesc/copper.php> สืบค้น 17 มกราคม 2560
- [11] เหล็ก. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/เหล็ก> สืบค้น 17 มกราคม 2560
- [12] เหล็กกล้าไร้สนิม. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/เหล็กกล้าไร้สนิม> สืบค้น 17 มกราคม 2560
- [13] จรัส บุญยธรรมา, พิสิษฐ์ราชมงคล. เครื่องตรวจหาโลหะ. [Online]. Available : <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff1/metaldetector/thaiimetal-detector2.html> สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2560
- [14] วงจรกรองความถี่. [Online]. Available : <http://www.elec-za.com/วงจรกรองความถี่-filter-circuit/> สืบค้น 10 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก Specification ของอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก AC และ DC (Datalogger) SDL900 Extech (AC/DC Magnetic Meter)



รูปที่ 1 AC/DC Magnetic Meter SDL900 Extech

คุณสมบัติของ Extech SDL900 เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก AC และ DC (Datalogger)

- วัดสนามแม่เหล็ก AC และ DC
- ขดขยอณหภูมิอัตโนมัติ
- ปรับค่า Sampling rate ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 3600 วินาที
- บันทึกข้อมูลได้ 20 ล้านข้อมูลโดยใช้ SD Card
- บันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Excel
- แสดงชั่วแม่เหล็กเหนือและใต้
- ปุ่ม Zero สำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็กแบบ DC
- ฟังก์ชัน Data Hold และ Min/Max

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปิดเครื่องอัตโนมัติเมื่อไม่ใช้งาน
- แบนด์วิดท์ AC 50Hz/60Hz
- RS-232 interface with optional software
- ขนาดเครื่อง 182x73x48 มิลลิเมตร
- น้ำหนัก 303 กรัม

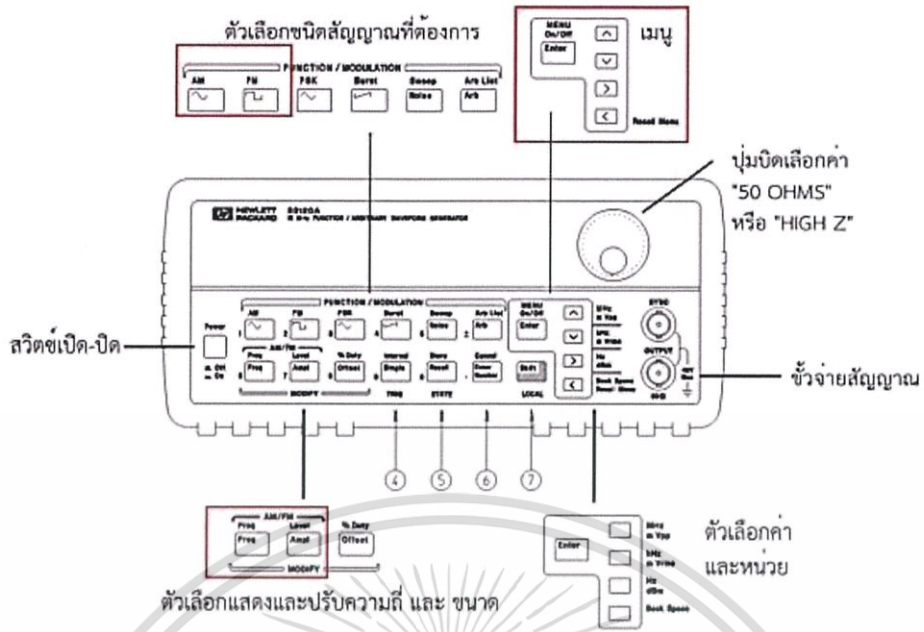
ตารางที่ 1 Specifications ของ AC/DC Magnetic Meter SDL900 Extech

Specifications	Range	Max Resolution	Basic Accuracy
DC milli Tesla	300.00mT	0.01mT	±(5% + 10d)
	3000.0mT	0.1mT	±(5% + 10d)
DC Gauss	3000.0G	0.1G	±(5% + 10d)
	30,000G	1G	±(5% + 10d)
AC milli Tesla	150.00mT	0.01mT	±(5% + 20d)
	1500.0mT	0.1mT	±(5% + 20d)
AC Gauss	1500.0G	0.1G	±(5% + 20d)
	15,000G	1G	±(5% + 20d)
Number of Axis	Uniaxial		
AC Bandwidth	50Hz/60Hz		
Sampling Rate	1 to 3600 seconds		
Datalogging	Datalog readings on SD card (included)		
Dimensions/ Weight	7.1x2.9x1.9" (182x73x48mm)/ 10.7oz (303g)		

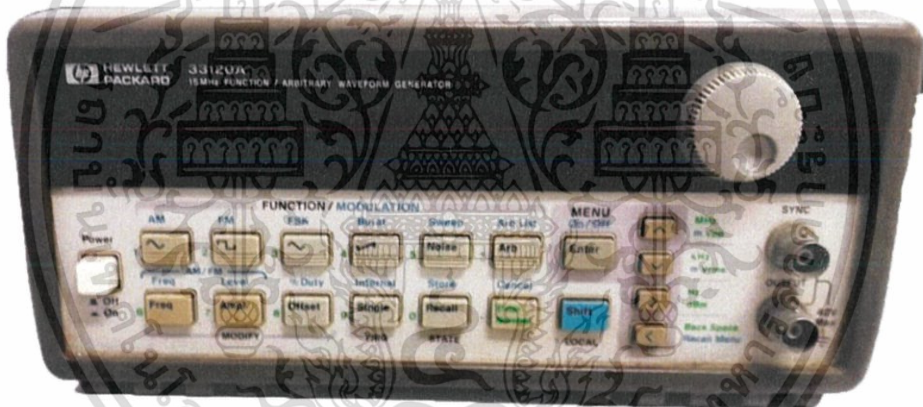
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) HP 33120A Function / Arbitrary Waveform Generator, 15 MHz

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สร้างสัญญาณทางไฟฟ้าหลายๆ รูปแบบที่ความถี่ต่างๆ โดยสัญญาณทั่วไปที่เครื่องกำเนิดสัญญาณนี้สามารถสร้างได้ คือ ฟังก์ชันคลื่นรูปไซน์ ฟังก์ชันคลื่นรูปสี่เหลี่ยม และฟังก์ชันคลื่นรูปสามเหลี่ยม ในโครงการนี้ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ ที่ผลิตจากบริษัท Hewlett Packard รุ่น HP 33120A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 รูปด้านหน้าเครื่องกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 3 เครื่องกำเนิดสัญญาณ HP 33120A

Specification

- 15 MHz sine & square waveforms
- Ramp, triangle, noise & DC waveforms
- 12-bit, 40 MSa/s, 16,000 points arbitrary waveforms
- AM (int/ext), FM (int), FSK (internal/external), burst (int/extl)
- Linear & logarithmic sweeps and burst operation
- Intui Link software plus GPIB & RS-232 interfaces included
- Option 001 provides improved stability & a multiple-unit link

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้