

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคการshieldสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ

MAGNETIC SHIELDING TECHNIQUE EFFECT FROM POWER TRANSFORMER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49895
วัน,เดือน,ปี...2...๒๕๕...2547

b.....
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการชดเชยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ

MAGNETIC SHIELDING TECHNIQUE EFFECT FROM POWER TRANSFORMER



นาย ธีรภักดิ์ ทองบุญเจริญ รหัส 42010103

นาย ชนคณิต ดำรงกิตติกุล รหัส 42010133

นาย ธีรพงศ์ ตั้งคนาวนินัย รหัส 42010147

นาย ธีรยุทธ คำพรหม รหัส 42010150

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกจากรั้วมหาวิทยาลัยนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เทคนิคการชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ

MAGNETIC SHIELDING TECHNIQUE EFFECT FROM POWER TRANSFORMER

ผู้จัดทำ

นาย ณิชกานต์ ทองบุญเจริญ รหัส 42010103

นาย ชนคณิต คำรงกิตติกุล รหัส 42010133

นาย ชีรพงศ์ ตั้งคนาวินิชย์ รหัส 42010147

นาย ชีรยุทธ คำพรหม รหัส 42010150



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

โครงการ (Project) เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการศึกษาทางวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากการนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ ทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ รวมทั้งได้ฝึกฝนการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง อีกทั้งยังฝึกการทำงานเป็นทีมอีกด้วย

รายงานฉบับนี้เป็นการนำเสนอโครงการเรื่อง “เทคนิคการชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ” เนื่องจากในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งที่มีการติดตั้งหม้อแปลงไว้ใกล้กับบริเวณออฟฟิศที่ทำงานทำให้อาจของคอมพิวเตอร์ถูกรบกวนจากสนามแม่เหล็กที่ผ่านมาจากอากาศ โดยในการทดลองเราได้ทำการชิลด์เพื่อป้องกันสนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงความถี่ต่ำที่มีผลรบกวนต่อการทำงานของคอมพิวเตอร์ (โดยดูจากจอมอนิเตอร์ที่มีการกระพริบ, เปลี่ยนสี หรือรวน) ซึ่งจะทำการนำแผ่นโลหะต่างๆ มากันทางเดินของสนามแม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านออกมามีค่าลดลง โดยใช้หลักการสะท้อนและดูดกลืนพลังงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการshieldสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ

นาย ฉัฐกานต์ ทองบุญเจริญ รหัส 42010103

นาย ธนคณิต คำรงกิตติกุล รหัส 42010133

นาย วีรพงศ์ ตั้งคนาวณิช รหัส 42010147

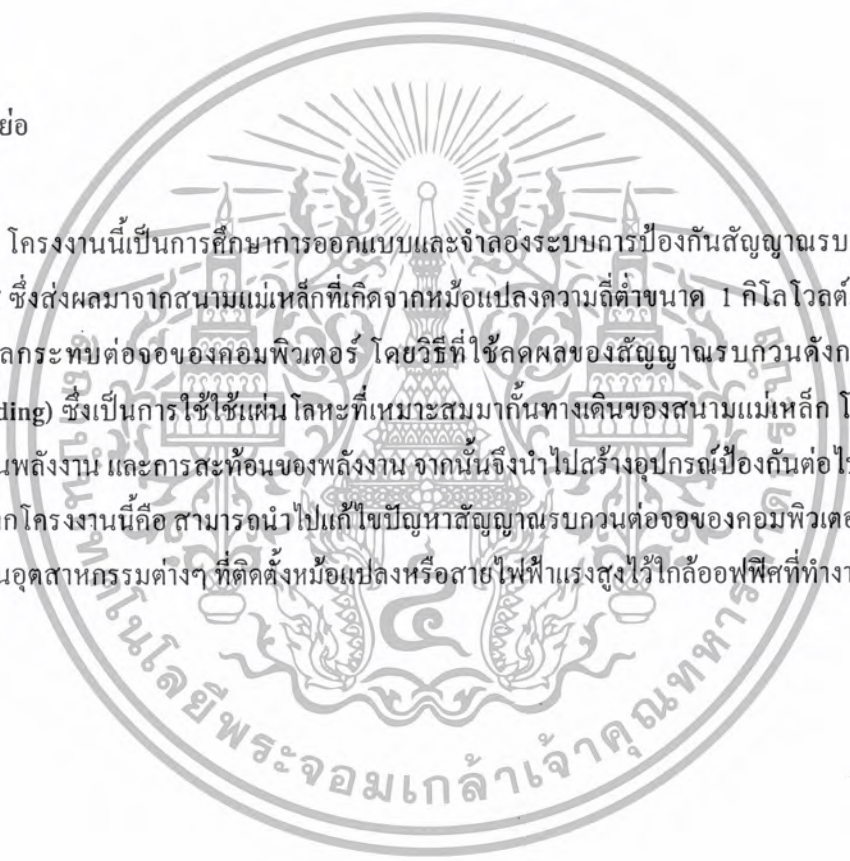
นาย วีรยุทธ คำพรหม รหัส 42010150

ผศ.ดร. วีระเชษฐุ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและจำลองระบบการป้องกันสัญญาณรบกวนที่ผ่านมาจากอากาศ ซึ่งส่งผลมาจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาด 1 กิโลโวลต์แอมป์ 50 เฮิร์ตซ์ ที่ส่งผลกระทบต่อจอของคอมพิวเตอร์ โดยวิธีที่ใช้ลดผลของสัญญาณรบกวนดังกล่าวคือ การshield (Shielding) ซึ่งเป็นการใช้แผ่นโลหะที่เหมาะสมกับทางเดินของสนามแม่เหล็ก โดยอาศัยหลักการดูดกลืนพลังงาน และการสะท้อนของพลังงาน จากนั้นจึงนำไปสร้างอุปกรณ์ป้องกันต่อไป ประโยชน์ที่ได้จากโครงการนี้คือ สามารถนำไปแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนต่อจอของคอมพิวเตอร์ภายในตึก หรือ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ติดตั้งหม้อแปลงหรือสายไฟฟ้าแรงสูงไว้ใกล้ออฟฟิศที่ทำงาน



Magnetic Shielding Technique Effect from Power Transformer

Nattakan Thongbooncharoen

Tanakanit Dumrongkittigule

Teerapong Tangkanavanich

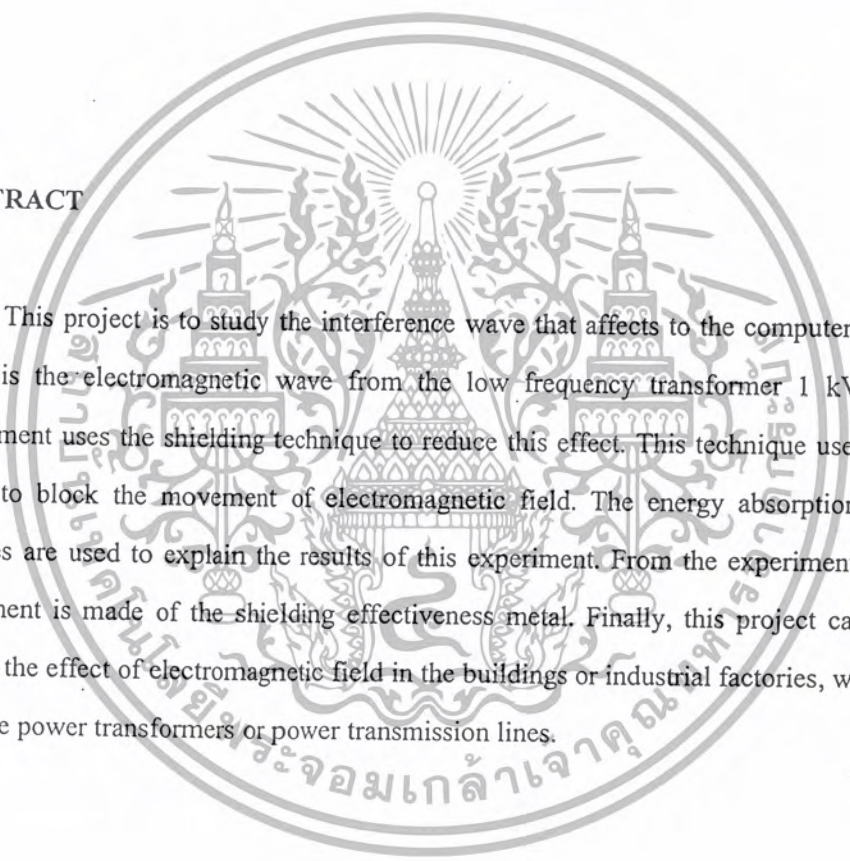
Teerayuth Kumprom

Assist.Prof.Dr.Werachet Khan-ngern Advisor

2002

ABSTRACT

This project is to study the interference wave that affects to the computer's monitor. This wave is the electromagnetic wave from the low frequency transformer 1 kVA 50 Hz. The experiment uses the shielding technique to reduce this effect. This technique uses some types of metal to block the movement of electromagnetic field. The energy absorption and reflection theories are used to explain the results of this experiment. From the experiment, the protection equipment is made of the shielding effectiveness metal. Finally, this project can be applied to reduce the effect of electromagnetic field in the buildings or industrial factories, which are located near the power transformers or power transmission lines.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำการวิจัย แนวทางในการวิจัย ตลอดจนคำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ประจำห้องวิจัย Electromagnetic Compatibility Laboratory (EMC Lab) ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในการทำการวิจัย

สุดท้ายผู้ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านทุนทรัพย์ และให้กำลังใจเป็นอย่างดี ตลอดจนเพื่อนๆ ทั้งหลายของข้าพเจ้า

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่นำมาเป็นหัวข้อในการทำโครงการ	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 แผนงาน	2
1.6 แผนภูมิแสดงแผนงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ทฤษฎี Shielding	5
2.1.1 ทฤษฎีสถานาม (Field Theory)	5
2.1.2 ความต้านทานคลื่น (Wave Impedance)	8
2.1.3 ความต้านทานโลหะ (Metal Impedance)	9
2.1.4 Skin depth	9
2.2 ประสิทธิภาพการชีลด์ (Shielding Effectiveness)	10
2.2.1 Absorption Loss	17
2.2.2 Reflection Loss	18
2.2.3 Re-Reflection Correction	18
บทที่ 3 การชีลด์โดยใช้แผ่นโลหะ	20
3.1 Block diagram แสดงขั้นตอนการทดลอง	20
3.2 การออกแบบ	22
3.3 การชีลด์โดยแยกตามชนิดของแผ่นโลหะ	23
3.4 การชีลด์โดยใช้โลหะ 2 ชนิด	35
3.5 การชีลด์โดยใช้โลหะ 3 ชนิด	42
3.6 การชีลด์โดยใช้โลหะ 2 ชนิด 3 แผ่น	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 ผลการทดลองการชี้วัดโดยใช้แผ่นโลหะ	53
บทที่ 4 การชี้วัดโดยใช้กล่องชี้วัด	54
4.1 การทดลองชี้วัดหม้อแปลงโดยใช้กล่องชี้วัด	54
4.1.1 การออกแบบกล่องชี้วัดและวิธีการทดลอง	54
4.1.2 การชี้วัดหม้อแปลงโดยกล่องชี้วัดชนิดซิลิกอนชิทสตีล	56
4.1.3 การชี้วัดหม้อแปลงโดยกล่องชี้วัดชนิดเหล็ก	61
4.2 การชี้วัดจ่อมอเตอร์ด้วยกล่องชี้วัด	66
4.3 ผลการทดลองของกล่องชี้วัด	67
บทที่ 5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นโลหะ	68
5.1 การทดสอบการสะท้อนของแผ่นซิลิกอนชิทสตีล	68
5.2 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อวางแผ่นชี้วัดในแนว 0°	69
5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการชี้วัดที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับ การคำนวณทางทฤษฎี	71
5.3.1 หาประสิทธิภาพการชี้วัดจากการทดลอง	71
5.3.2 หาประสิทธิภาพการชี้วัดจากการคำนวณ	71
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	75
6.1 สรุปการชี้วัดโดยใช้แผ่นโลหะ	75
6.2 สรุปผลการชี้วัดโดยใช้กล่องชี้วัด	76
6.3 สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นโลหะ	77
6.4 สรุปโครงการ	77
6.5 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง	78
6.6 ข้อเสนอแนะ	79

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

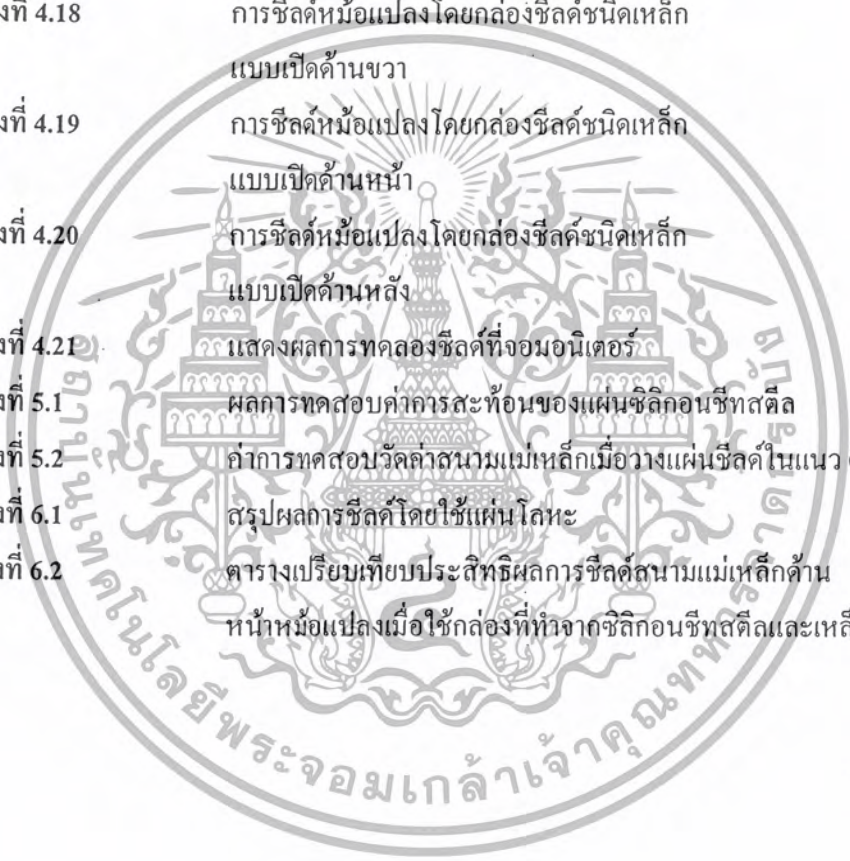
	หน้า	
ตารางที่ 3.1	แสดงค่าความหนา, ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r) และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (σ_r)	23
ตารางที่ 3.2	แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีล (Silicon sheet steel)	25
ตารางที่ 3.3	แสดงค่า SE ของ Silicon sheet steel แต่ละแนวการวาง	25
ตารางที่ 3.4	แสดงผลการทดลองของเหล็ก (Iron)	27
ตารางที่ 3.5	แสดงค่า SE ของ Iron	27
ตารางที่ 3.6	แสดงผลการทดลองของอลูมิเนียม (Aluminum)	29
ตารางที่ 3.7	แสดงค่า SE ของอลูมิเนียม (Aluminum)	29
ตารางที่ 3.8	แสดงผลการทดลองของสังกะสี (Zinc)	31
ตารางที่ 3.9	แสดงค่า SE ของ Zinc	31
ตารางที่ 3.10	แสดงผลการทดลองของสังกะสีลอน	33
ตารางที่ 3.11	แสดงค่า SE ของสังกะสีลอน	33
ตารางที่ 3.12	แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม	36
ตารางที่ 3.13	แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม	36
ตารางที่ 3.14	แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียม	38
ตารางที่ 3.15	แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียม	38
ตารางที่ 3.16	แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล	40
ตารางที่ 3.17	แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล	40
ตารางที่ 3.18	แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียมและเหล็ก	43
ตารางที่ 3.19	แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียมและเหล็ก	43
ตารางที่ 3.20	แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียมและซิลิกอนชีทสตีล	45
ตารางที่ 3.21	แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียมและซิลิกอนชีทสตีล	45
ตารางที่ 3.22	แสดงผลการทดลองของอลูมิเนียมร่วมกับเหล็กและซิลิกอนชีทสตีล	47
ตารางที่ 3.23	แสดงค่า SE ของอลูมิเนียมร่วมกับเหล็กและซิลิกอนชีทสตีล	47
ตารางที่ 3.24	แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับเหล็ก	50
ตารางที่ 3.25	แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับเหล็ก	50
ตารางที่ 3.26	แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับอลูมิเนียม	50
ตารางที่ 3.27	แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับอลูมิเนียม	50
ตารางที่ 3.28	แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี	51
ตารางที่ 3.29	แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนที่เข้ารับการฝึกงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการค้า
 ไม่ควรแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.30	แสดงผลการทดลองของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับชิลิกอนซีทสตีล	51
ตารางที่ 3.31	แสดงค่า SE ของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับชิลิกอนซีทสตีล	51
ตารางที่ 3.32	แสดงผลการทดลองของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับอลูมิเนียม	52
ตารางที่ 3.33	แสดงค่า SE ของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับอลูมิเนียม	52
ตารางที่ 3.34	แสดงผลการทดลองของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี	52
ตารางที่ 3.35	แสดงค่า SE ของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี	52
ตารางที่ 4.1	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบปิดทุกด้าน	56
ตารางที่ 4.2	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านบนและด้านล่าง	56
ตารางที่ 4.3	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านซ้ายและด้านขวา	57
ตารางที่ 4.4	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านหน้าและด้านหลัง	57
ตารางที่ 4.5	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านบน	58
ตารางที่ 4.6	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านล่าง	58
ตารางที่ 4.7	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านซ้าย	59
ตารางที่ 4.8	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านขวา	59
ตารางที่ 4.9	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านหน้า	60
ตารางที่ 4.10	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีล แบบเปิดด้านหลัง	60
ตารางที่ 4.11	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดเหล็กแบบปิดทุกด้าน	61
ตารางที่ 4.12	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านบนกับด้านล่าง	61
ตารางที่ 4.13	การชิลด์หุ้มแปลง โดยกล่องชิลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านซ้ายกับด้านขวา	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านหน้ากับด้านหลัง	62
ตารางที่ 4.15	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านบน	63
ตารางที่ 4.16	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านล่าง	63
ตารางที่ 4.17	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านซ้าย	64
ตารางที่ 4.18	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านขวา	64
ตารางที่ 4.19	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านหน้า	65
ตารางที่ 4.20	การซึลด์ห้อมแปลง โดยกล่องซึลด์ชนิดเหล็ก แบบเปิดด้านหลัง	65
ตารางที่ 4.21	แสดงผลการทดสอบซึลด์ที่จอมอนิเตอร์	66
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบค่าการสะท้อนของแผ่นซึลคอนกรีต	69
ตารางที่ 5.2	ค่าการทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อวางแผ่นซึลด์ในแนว 0°	70
ตารางที่ 6.1	สรุปผลการซึลด์โดยใช้แผ่นโลหะ	75
ตารางที่ 6.2	ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการซึลด์สนามแม่เหล็กด้าน หน้าห้อมแปลงเมื่อใช้กล่องที่ทำจากซึลคอนกรีตดีและเหล็ก	76



สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย	7
รูปที่ 2.2	เปรียบเทียบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.3	Wave impedance เปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย	8
รูปที่ 2.4	การสะท้อนและดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นโลหะ	11
รูปที่ 2.5	การเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านอากาศและแผ่นโลหะ	12
รูปที่ 3.1	แสดง Block diagram ขั้นตอนการทดลอง	20
รูปที่ 3.2	แสดงการวางอุปกรณ์ในการทดลอง	22
รูปที่ 3.3	วิธีการวางแผ่นโลหะในการทดลอง	23
รูปที่ 3.4	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น	26
รูปที่ 3.5	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นเหล็กแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น	28
รูปที่ 3.6	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นอลูมิเนียมแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น	30
รูปที่ 3.7	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นสังกะสีแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น	32
รูปที่ 3.8	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นสังกะสีแบบลอน 1, 2 และ 3 แผ่น	34
รูปที่ 3.9	แสดงการวางแผ่นโลหะในการชิลด์โดยใช้โลหะ 2 ชนิด	35
รูปที่ 3.10	แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นซิลิกอนชิทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม	37
รูปที่ 3.11	แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นอลูมิเนียมร่วมกับเหล็ก	39
รูปที่ 3.12	แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นซิลิกอนชิทสตีลร่วมกับเหล็ก	41
รูปที่ 3.13	แสดงการวางแผ่นโลหะ ในการชิลด์โดยใช้โลหะ 3 ชนิด	42
รูปที่ 3.14	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม และเหล็ก	44
รูปที่ 3.15	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นเหล็กร่วมกับซิลิกอนชิทสตีล และอลูมิเนียม	46
รูปที่ 3.16	แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นอลูมิเนียมร่วมกับเหล็ก และซิลิกอน	48
รูปที่ 3.17	แสดงการวางแผ่นโลหะ ในการชิลด์โดยใช้โลหะ 2 ชนิด 3 แผ่น	49
รูปที่ 4.1	แสดงกล่องชิลด์ที่ใช้ครอบหม้อแปลงไฟฟ้า	54
รูปที่ 4.2	แสดงขนาดของกล่องชิลด์และตำแหน่งหม้อแปลง	55
รูปที่ 4.3	แสดงวิธีการทดลองชิลด์ที่จอมอนิเตอร์	66
รูปที่ 5.1	แสดงการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่ระยะต่างๆ ก่อนใช้แผ่นกั้น	68
รูปที่ 5.2	แสดงการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่ระยะต่างๆ หลังใช้แผ่นกั้น	68
รูปที่ 5.3	แสดงการทดสอบโดยการวางแผ่นชิลด์ในแนว 0°	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่นำมาเป็นหัวข้อในการทำโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้คอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลาย โดยที่จอมอนิเตอร์เป็นอุปกรณ์เพื่อแสดงภาพและผลการทำงานต่างๆของคอมพิวเตอร์ ซึ่งในบางครั้งเราอาจจะเคยประสบปัญหาว่า จอมอนิเตอร์มีการสั่น กระพริบ หรือในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมหรือบริษัททั่วไปที่มีการเดินสายไฟฟ้าแรงสูง หรือ ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ใกล้กับคอมพิวเตอร์ ทำให้จอมอนิเตอร์มีอาการรวน ส่งผลทำให้เราไม่สามารถจะใช้งานได้ หรือใช้งานได้แต่ทำงานได้ไม่ดี ซึ่งสาเหตุของปัญหาเหล่านี้เนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงภายในตัวอาคาร หรือจากหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปรบกวนที่จอมอนิเตอร์ ทำให้จอมอนิเตอร์มีอาการผิดปกติ

ปัญหาเหล่านี้จะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน หนึ่งในวิธีการแก้ไขปัญหานี้ก็คือการชิลด์ (Shielding) การชิลด์ในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณรบกวน ชนิดของโลหะและวิธีการที่ใช้

ในที่นี้เรานำเสนอเทคนิคการชิลด์แบบใหม่ที่ได้มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการชิลด์ (Shielding theory) และออกแบบการทดลองโดยทำการวัดค่าต่างๆที่มีผลต่อการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อนำไปสร้างอุปกรณ์ในการลดผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กต่อจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ ส่วนอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้มีราคาสูงขึ้นไปเรื่อยๆ เมื่อเวลาที่ใช้ในการพัฒนามากขึ้น ปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและออกแบบการลดผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ 1 เฟส ขนาด 1 kVA 50 Hz turn ratio 1:1
2. ศึกษาคุณสมบัติของสารแม่เหล็ก ขนาด และจำนวนแผ่นโลหะ ในการ shield ที่มีผลต่อจอมอนิเตอร์

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลง 50 Hz ที่ส่งผลต่อจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์
2. หาโลหะที่สามารถให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุด
3. ทดสอบแนวการเรียงตัวของโลหะที่มีผลต่อการชิลด์
4. สร้างต้นแบบที่จะใช้ชิลด์ เพื่อลดผลของสนามแม่เหล็กที่ไปรบกวนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์

5. เพื่อศึกษาวิธีการในการลดผลของสนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงที่สามารถใช้งานได้จริง

6. ฝึกการบริหาร โครงการและการแก้ปัญหาเป็นทีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทางห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

บทที่ 2 โครงการนี้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการชิลด์ (Shielding technique) ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีการดูดซับสนามแม่เหล็ก (Absorption theory), ทฤษฎีการสะท้อนสนามแม่เหล็ก (Reflection theory) และทฤษฎีประสิทธิภาพการชิลด์ (Shielding effectiveness)

บทที่ 3 และ 4 เป็นส่วนของการทำการทดลองจะแบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การทดลองโดยการป้องกันสนามแม่เหล็กที่แหล่งกำเนิดสัญญาณ ซึ่งในโครงการนี้แหล่งกำเนิดสัญญาณคือหม้อแปลงความถี่ต่ำ

2. การทดลองโดยการป้องกันสนามแม่เหล็กระหว่างทางเดินของสนามแม่เหล็ก โดยใช้แผ่นโลหะชนิดต่างๆ มากั้นระหว่างตัวส่งกับตัวรับสัญญาณรบกวน

3. การทดลองโดยการป้องกันสนามแม่เหล็กที่ตัวรับสัญญาณรบกวน ซึ่งในโครงการนี้คือจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 จะทำการทดลองและวิเคราะห์เพื่อหาค่าการสะท้อนและการดูดซับสนามแม่เหล็กของแผ่นโลหะ

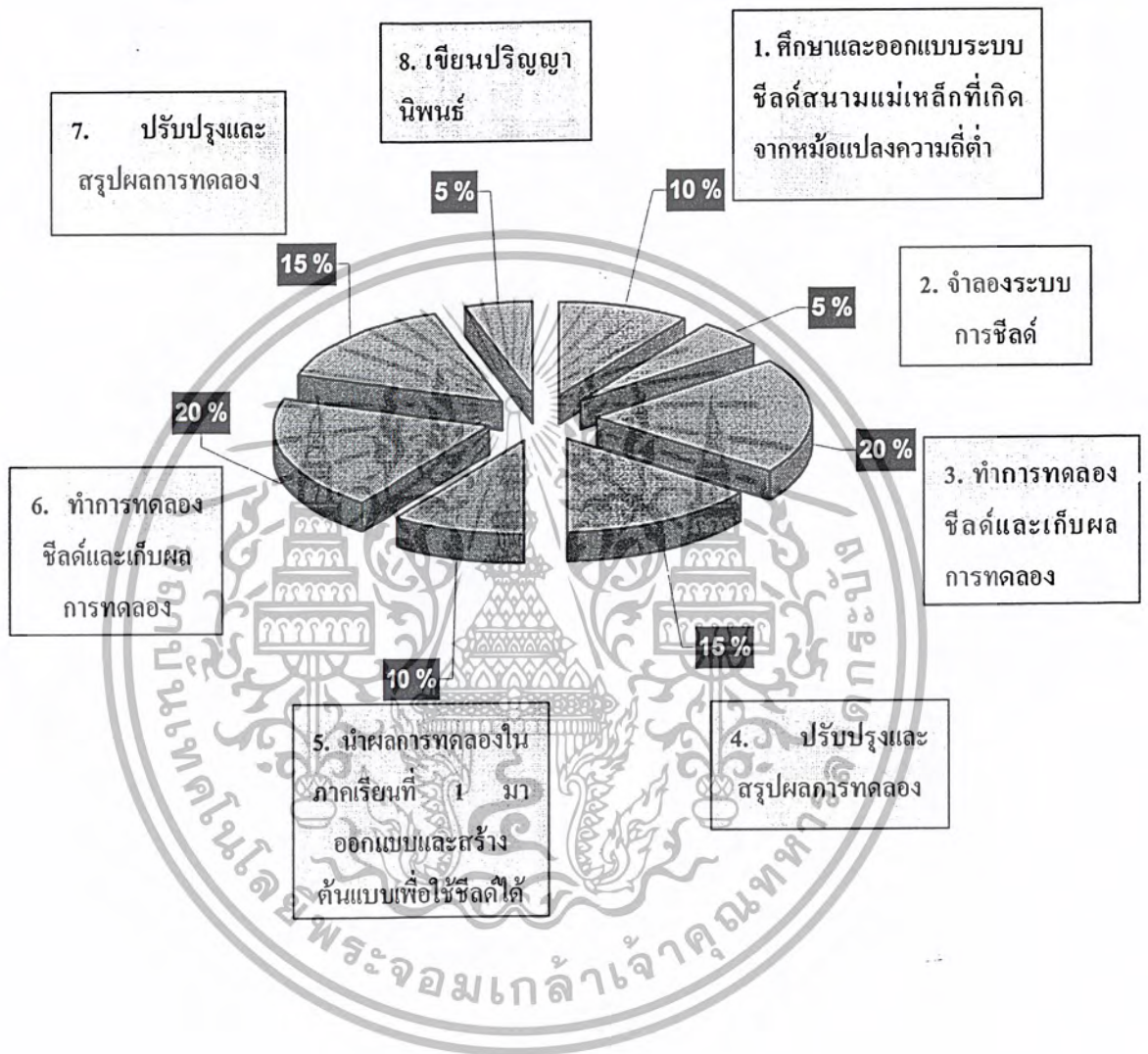
บทที่ 6 เป็นการนำผลการทดลองที่ได้ในบทที่ 3 ถึงบทที่ 5 มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง อีกทั้งยังมีแนวทางในการประยุกต์ใช้และแนวทางการศึกษาพัฒนาเพิ่มเติมต่อไป

1.5 แผนงาน

แผนงาน	เดือน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาและออกแบบระบบชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ		←→							
2. จำลองระบบการชิลด์			←→						
3. ทำการทดลองชิลด์และเก็บผลการทดลอง				←→					
4. ปรับปรุงและสรุปผลการทดลอง					←→				
5. นำผลการทดลองในภาคเรียนที่ 1 มาออกแบบและสร้างต้นแบบเพื่อใช้ชิลด์ได้จริง						←→			
6. ทำการทดลองชิลด์และเก็บผลการทดลอง							←→		
7. ปรับปรุงและสรุปผลการทดลอง							←→		→
8. เขียนปริญญานิพนธ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนภูมิแสดงแผนงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

สัญญาณรบกวน (Noise) ในทางไฟฟ้า เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น แต่ก็พบได้บ่อยในระบบไฟฟ้าซึ่งสัญญาณรบกวนในระบบใดๆ พิจารณาเป็น

- เกิดขึ้นเองในระบบนั้นๆ
- เกิดขึ้นจากนอกระบบ

การจำแนกแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนแบ่งได้ 3 แบบใหญ่ๆคือ

1. แหล่งแท้จริง (Intrinsic noise source) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างอิสระในระบบ เช่น shot noise
2. มนุษย์ทำขึ้น (Man-made noise source) เป็นสัญญาณที่มนุษย์ทำขึ้นมา เช่น หม้อแปลง, สวิตช์
3. ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Natural disturbance)

ทางเดินของสัญญาณรบกวน[1]

ในการพิจารณาปัญหาต้องมีแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนมีตัวกลางในการนำพาสัญญาณรบกวนเรียกว่า “ช่องเชื่อมโยง” (Coupling channel) และมีตัวรับเอาสัญญาณรบกวน

การป้องกันสัญญาณรบกวนสามารถทำได้โดย

1. กำจัดแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน
2. ตัวรับต้องไม่มีความไวที่จะรับสัญญาณรบกวน
3. พยายามลดหรือกำจัดช่องเชื่อมโยงทิ้ง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจัดเป็นสัญญาณรบกวนประเภทหนึ่งได้โดยจัดเป็นสัญญาณรบกวนที่ผ่านมาทางอากาศ สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ความถี่ 50 Hz กระแสที่ไหลในขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กนี้เองจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ๆ ได้รับผลกระทบ เช่น ภาพที่จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์มีการสั่น ซึ่งในโครงการงาน (project) ที่ทำนี้จะเสนอการลดผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่มารบกวนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านมาทางอากาศ ซึ่งเรียกว่าการชีลด์ (shielding) ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดผลของสนามแม่เหล็กที่น่าสนใจ เนื่องจากในโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งหม้อแปลงไว้ใกล้ที่ทำงานทำให้จอมอนิเตอร์ได้รับผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ทฤษฎี Shielding[2]

2.1.1 ทฤษฎีสถานาม (Field Theory)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงความสัมพันธ์สนามแม่เหล็ก (Magnetic fields), สนามไฟฟ้า (Electric fields) และ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งลักษณะของ Near fields, Far fields ซึ่งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำแบบ short wire (straight wire) ซึ่งความยาวตัวนำ $D \ll \lambda$ สามารถประยุกต์ใช้สมการของ Maxwell's equations ดังนี้

$$E_{\theta} = \frac{Z_0 I D \pi \sin \theta}{\lambda^2} \left[-\left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^3 \cos \varphi - \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 \sin \varphi + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right) \cos \varphi \right] \quad (2.1)$$

$$E_r = \frac{2Z_0 I D \pi \cos \theta}{\lambda^2} \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^3 \cos \varphi + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 \sin \varphi \right] \quad (2.2)$$

$$H_{\phi} = \frac{I D \pi \sin \theta}{\lambda^2} \left[\left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 \sin \varphi + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right) \cos \varphi \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ

Z_0 = free-space impedance ($Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120\pi \approx 377 \Omega$)

I = current in short wire

λ = Length in short wire $D \ll \lambda$

θ = Zenith angle to radial distance r

r = distance from short wire to measuring point

$\varphi = 2\pi r / \lambda - \omega t$

ω = Radial frequency = $2\pi f$

t = time = $1/f$

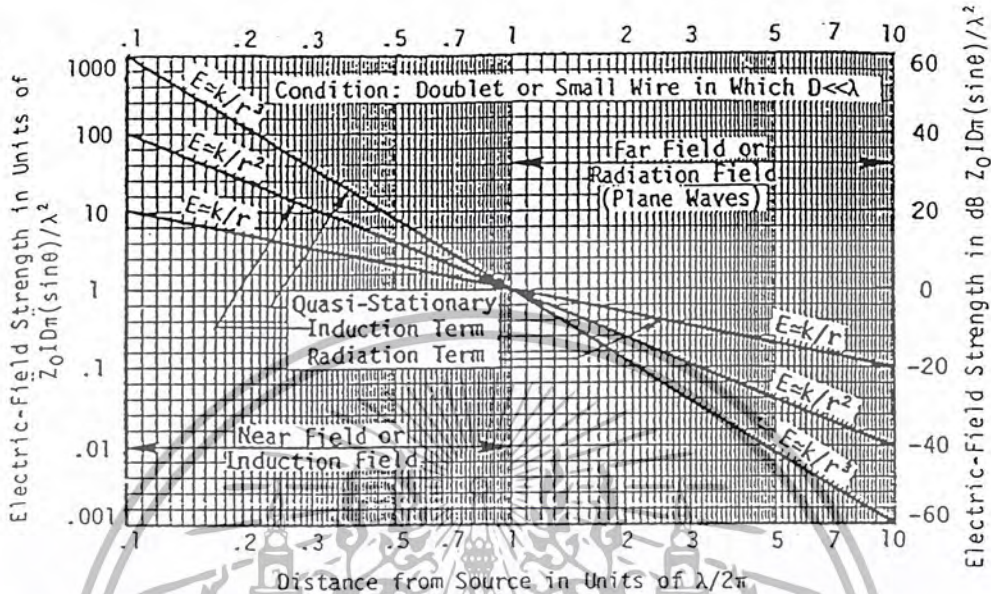
$c = 1/\sqrt{\mu\epsilon} = 3 \times 10^8$ m/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3) จะได้ว่า

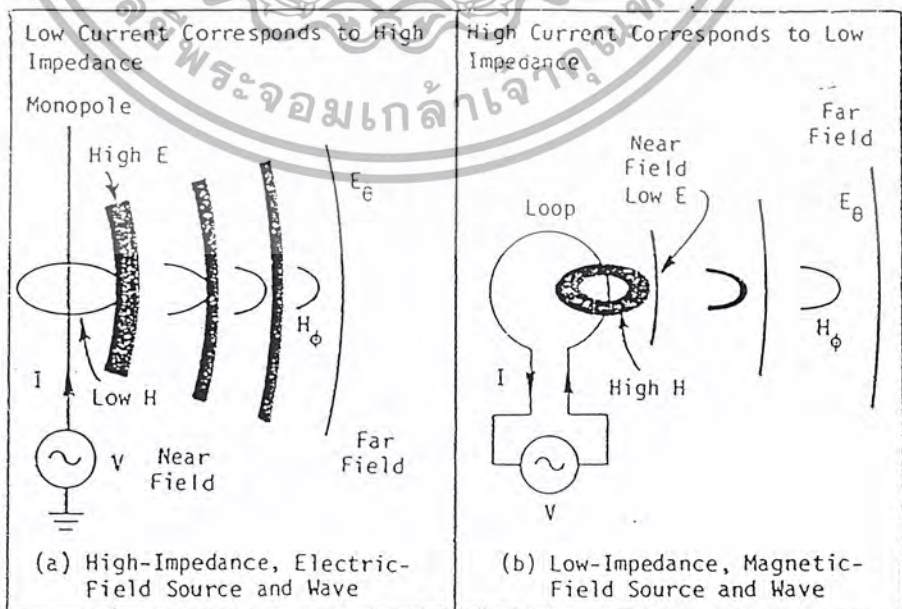
- เมื่อ $r \gg \lambda / 2\pi$ ในช่วงนี้เรียกว่า Far fields ทั้งแบบ Straight wire และ loop wire
 - เทอมสุดท้ายของสมการที่ (2.1) และ (2.3) จะมีผลมาก
 - Wave impedance $Z_o = E_\theta / H_\phi = 377 \Omega$
 - ช่วงนี้อาจเรียกว่า Radiation field (Plane wave)

- เมื่อ $r \ll \lambda / 2\pi$ ในช่วงนี้เรียกว่า Near fields หรือ Induction field แบบ Straight wire
 - เทอมแรกของสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3) จะมีผลมาก
 - Wave impedance $= E_\theta / H_\phi = Z_o \lambda / 2\pi r$ ซึ่ง $\lambda / 2\pi r \gg 1$ ดังนั้นช่วงนี้จะเรียกว่า High-impedance field และ impedance มีค่าสูงกว่า Plane wave impedance และช่วงนี้พิจารณาเป็น Electric field
- แบบ Wire loop
 - เทอมแรกของสมการ (2.1) และ (2.2) จะหมดไปจะมีเฉพาะเทอมแรกของสมการที่ (2.3) ที่มีผลมาก
 - Wave impedance $= E_\theta / H_\phi = Z_o 2\pi r / \lambda$ ซึ่ง $\lambda / 2\pi r \gg 1$ ดังนั้นช่วงนี้เรียกว่า Low-impedance field และ impedance มีค่าน้อยกว่า Plane wave impedance และช่วงนี้จะพิจารณาเป็น Magnetic field
- เมื่อ $r = \lambda / 2\pi$ ณ จุดนี้คือรอยต่อของ Near fields กับ Far fields สัมประสิทธิ์ของทุกเทอมทุกสมการมีขนาดเท่ากัน
- ในสมการ (2.1), (2.2) และ (2.3)
 - เทอมที่ $E \propto 1/r^3$ เรียกว่า Quasi-stationary term
 - เทอมที่ $E \propto 1/r^2$ เรียกว่า Induction-term
 - เทอมที่ $E \propto 1/r$ เรียกว่า Radiation-term



รูปที่ 2.1 แสดงถึง ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย

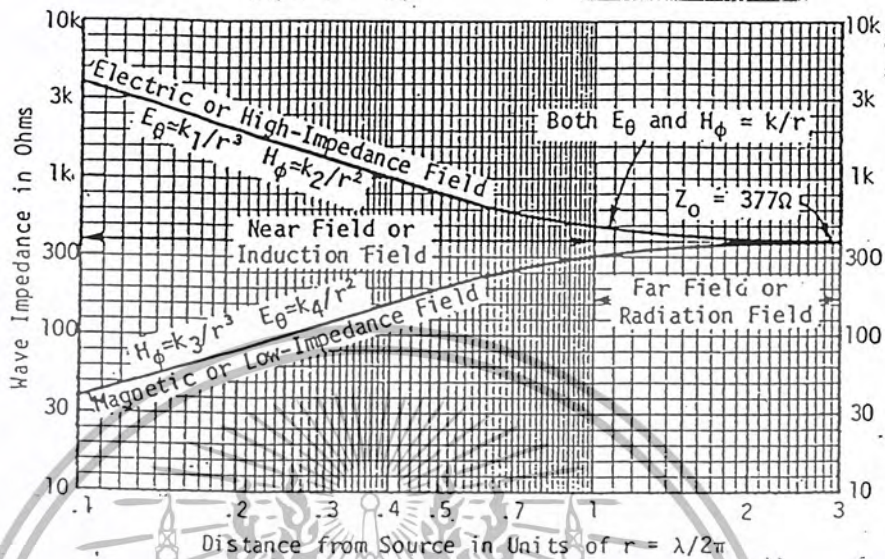
จากรูปกราฟแสดงให้เห็นว่า ใน Near fields พบว่า Quasi - Stationary term ($E \propto 1/r^3$) มีผลมากที่สุด ส่วนใน Far fields พบว่า Radiation term ($E \propto 1/r$) มีผลมากที่สุด



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงค่า Wave impedance เปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย

จากรูปที่ 2.2 รูป a แสดงให้เห็นว่า short monopoly หรือ straight wire ซึ่งที่ Near fields จะมี High -electric field ส่วนในรูป b ซึ่งเป็นแบบ loop wire จะมี High - magnetic field

จากรูปที่ 2.3 เป็นกราฟแสดง wave impedance ที่ระยะห่างจาก source ต่างๆซึ่งที่ Far fields wave impedance จะมีค่า $Z_0 = 377 \Omega$ คงที่

2.1.2 Wave Impedance (Z_w)

คือ Impedance ของคลื่นที่เคลื่อนที่บนอากาศ

ที่ Far fields $r \gg \lambda/2\pi$

สำหรับ Plane wave

$$Z_w = E/H$$

$$Z_w = Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 120 \pi$$

$$Z_w = 377 \Omega \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ Near fields $r \ll \lambda/2\pi$

- สำหรับ Electric field

$$Z_w = \left(\frac{\lambda}{2\pi r} \right) \times Z_0 \quad \Omega \quad (2.5)$$

เมื่อเป็น High - impedance (straight wire)

- สำหรับ Magnetic field

$$Z_w = \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right) \times Z_0 \quad \Omega \quad (2.6)$$

เมื่อเป็น Low - impedance (loop wire)

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \\ \epsilon_0 &= 1/36\pi \times 10^9 \text{ F/m} \end{aligned}$$

2.1.3 Metal Impedance (Z_m)

คือ Impedance ของโลหะที่จะทำการ shield โดยพิจารณา intrinsic impedance ของวัสดุใดๆ

$$Z_m = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad (2.7)$$

2.1.4 Skin depth (δ)

δ คือ ระยะความหนาของโลหะจากผิวซึ่งมีกระแสไหลคิดเป็น 63.2% ของกระแสที่ไหลในโลหะทั้งหมด 2δ คิดที่ 86.5% 3δ คิดที่ 95.0%

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.8)$$

Metal Impedance เมื่อ $t \gg \delta$ (t = ความหนาของโลหะ)

จาก Z_m เมื่อวัตถุเป็นโลหะ นั่นคือ $\sigma \gg \omega\epsilon$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_m = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} = (1+j) \sqrt{\frac{\pi f\mu}{\sigma}}$$

$$|Z_m| = \sqrt{2 \times 10^3} \sqrt{\pi\mu f_{MHz} / \sigma}$$

$$|Z_m| = 369 \sqrt{\mu_r f_{MHz} / \sigma_r} \quad \mu \Omega/\text{sq} \quad (2.9)$$

โดย $\sigma = \sigma_c \sigma_r$

$\sigma_c =$ conductivity of copper = 5.80×10^7 mhos/m

$\sigma_r =$ conductivity of metal relatives to copper

Metal Impedance เมื่อ $t < 3\delta$ จะได้

$$Z_m = \frac{\sqrt{j\omega\mu}}{\left(1 - e^{-t/\delta}\right)}$$

$$|Z_m| = \frac{369 \sqrt{\mu_r f_{MHz} / \sigma_r}}{\left(1 - e^{-t/\delta}\right)} \quad \mu \Omega/\text{sq} \quad (2.10)$$

2.2 Shielding Effectiveness

Shielding Effectiveness (SE) เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ใดๆ โดย

$$SE = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{incident power density}}{\text{transmitted power density}} \right) \quad (2.11)$$

Incident power density = พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ที่จุดสนใจก่อนทำการชิลด์

Transmitted power density = พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ที่จุดสนใจหลังทำการชิลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชี้วัดผลของ Magnetic fields และ Electric fields

- สำหรับ Electric fields

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{E_b}{E_a} \right) \tag{2.12}$$

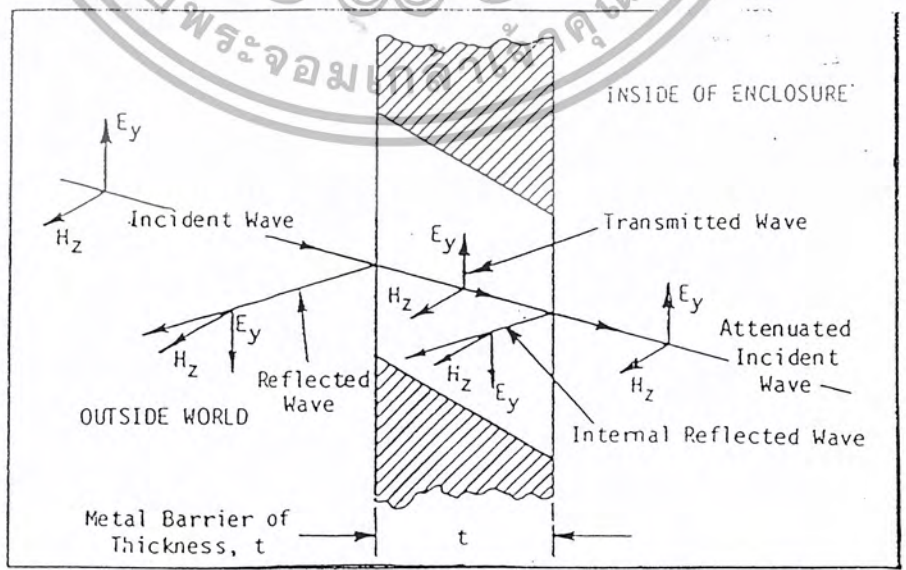
เมื่อ E_b = Electric field strength ก่อนชี้วัด
 E_a = Electric field strength หลังชี้วัด

- สำหรับ Magnetic fields

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{H_b}{H_a} \right) \tag{2.13}$$

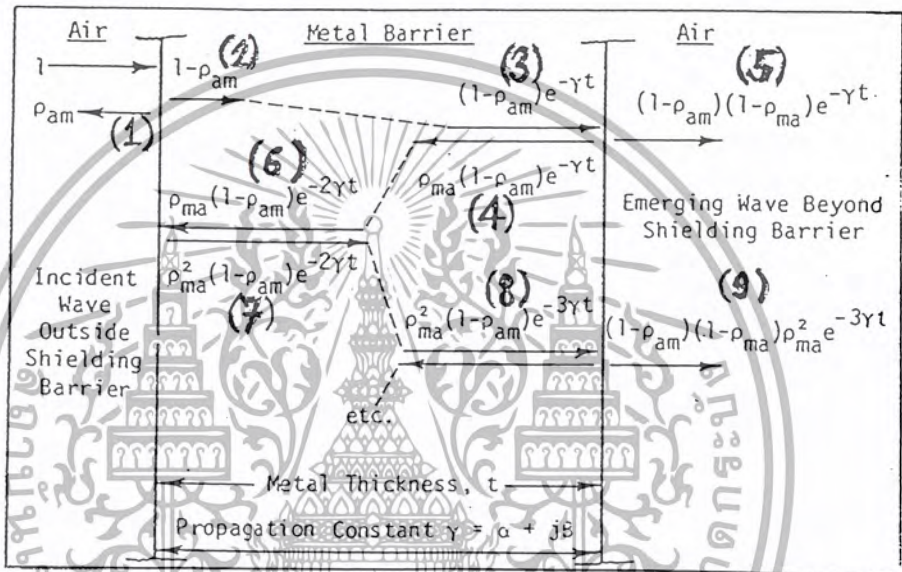
เมื่อ H_b = Magnetic field strength ก่อนชี้วัด
 H_a = Magnetic field strength หลังชี้วัด

ใน Near fields wave impedance ของ Electric fields และ Magnetic fields ต่างกัน ดังนั้น ในการชี้วัด จะให้ผลในสมการ (2.12), (2.13) ต่างกัน



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.4 แสดงการสะท้อนและดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นโลหะ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงลักษณะของการใช้แผ่นโลหะมากั้นทางเดินของคลื่นเพื่อลดผลของ Electromagnetic wave โดยคลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนออกไป (reflected wave) ก่อนที่จะผ่านเข้าไป ภายในแผ่นโลหะ ซึ่งที่แผ่นโลหะก็จะมีการดูดซับ ไว้ที่แผ่นโลหะทำให้คลื่นลดลง จากนั้นจะมีการ สะท้อนภายในแผ่นโลหะ (internal Reflected Wave) ตรงรอยต่อของแผ่นโลหะกับอากาศอีก คลื่นที่เหลือ ก็คือคลื่นที่ผ่านออกไปหลังจากการทำชิลด์ (attenuated incident wave)



รูปที่ 2.5 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นในรูปของสมการ

จากรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นในรูปของสมการ โดย

$$\text{reflection coefficient } (\rho) = \frac{1 - k}{1 + k} \tag{2.14}$$

เมื่อ $k = Z_w / Z_m$ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จาก air to metal

Z_w = Wave impedance

Z_m = Metal impedance

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากอากาศผ่านเข้าสู่โลหะ (Air to metal) คลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับออกมา โดยมี สัมประสิทธิ์การสะท้อน คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนจากอากาศผ่านเข้าสู่โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_{am} = \frac{1 - k}{1 + k} = \frac{z_m - z_w}{z_m + z_w} \tag{2.15}$$

เมื่อ $k = \frac{z_w}{z_m}$

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากโลหะออกสู่อากาศ (Metal to air) ก็จะมีการสะท้อนที่รอยต่ออีก โดยสัมพันธ์กับการสะท้อน คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน จากโลหะออกสู่อากาศ

$$\rho_{ma} = \frac{k - 1}{k + 1} = \frac{z_w - z_m}{z_w + z_m} \tag{2.16}$$

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากอากาศผ่านเข้าสู่โลหะ (air to metal) คลื่นที่ผ่านเข้าสู่โลหะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากอากาศสู่โลหะดังนี้

$$\Gamma_{am} = 1 - \rho_{am} = \frac{2k}{1+k} = \frac{2z_w}{z_w + z_m} \tag{2.17}$$

และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากโลหะสู่อากาศ

$$\Gamma_{ma} = 1 - \rho_{ma} = \frac{2k}{1+k} = \frac{2z_m}{z_w + z_m} \tag{2.18}$$

จากรูปที่ 2.5 เมื่อเริ่มต้นคลื่นที่เคลื่อนที่มาก่อนจะกระทบแผ่น โลหะมีค่าเป็น 1 จะได้ว่า

(1) คลื่นที่สะท้อนเมื่อตกกระทบแผ่นโลหะคือ

$$1 \times \rho_{am} \tag{2.19}$$

(2) คลื่นที่ผ่านจากอากาศสู่โลหะที่รอยต่อคือ

$$1 \times \Gamma_{am} = 1 - \rho_{am} \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) คลื่นที่รอยต่อ metal to air ภายในแผ่นโลหะน้อยกว่าที่รอยต่อ air to metal เนื่องจากคลื่นส่วนหนึ่งถูกดูดซับเอาไว้ภายในแผ่นโลหะ โดยขึ้นอยู่กับความหนา (t) ของโลหะซึ่งคลื่นที่รอยต่อ metal to air คือ

$$\Gamma_{am} e^{-\gamma t} = \Gamma_{am} e^{-(\alpha + j\beta)t} = (1 - \rho_{am}) e^{-(\alpha + j\beta)t} \quad (2.21)$$

เมื่อ

$$\gamma = \text{propagation constant} = \alpha + j\beta$$

$$\alpha = \text{attenuation constant}$$

$$\beta = \text{phase constant}$$

$$t = \text{metal thickness}$$

- (4) ที่ขอบ metal to air จะมีการสะท้อนของคลื่นที่รอยต่อนี้อีกครั้งเรียกว่า re-reflection คลื่นที่สะท้อนตรงนี้ คือ

$$\rho_{ma} \Gamma_{am} e^{-\gamma t} = \rho_{ma} (1 - \rho_{am}) e^{-\gamma t} \quad (2.22)$$

- (5) คลื่นที่ผ่านรอยต่อ metal to air ออกสู่อากาศ คือ

$$\Gamma_{ma} \Gamma_{am} e^{-\gamma t} = (1 - \rho_{ma}) (1 - \rho_{am}) e^{-\gamma t} \quad (2.23)$$

- (6) คลื่นที่สะท้อนที่รอยต่อ metal to air หรือ re-reflection จะเคลื่อนที่ผ่านโลหะมายังรอยต่อ metal to air ที่ขอบด้านซ้ายของแผ่นโลหะซึ่งคลื่นที่จุดนี้จะน้อยลงเพราะถูกดูดซับไว้ โดยคลื่นที่จุดนี้คือ

$$\rho_{ma} \Gamma_{am} e^{-2\gamma t} = \rho_{ma} (1 - \rho_{am}) e^{-2\gamma t} \quad (2.24)$$

- (7) คลื่นจากข้อ (6) จะสะท้อนที่ขอบอีกครั้งโดยคลื่นที่สะท้อนกลับมาที่จุดนี้คือ

$$\rho_{ma}^2 (1 - \rho_{am}) e^{-2\gamma t} \quad (2.25)$$

- (8) คลื่นที่สะท้อนในข้อ (7) จะถูกดูดซับไว้อีกทำให้ ขอบรอยต่อที่จุด (8) คลื่นจะลดลงคือ

$$\rho_{ma}^2 (1 - \rho_{am}) e^{-3\gamma t} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(9) คลื่นที่ผ่านออกมาที่จุดนี้คือ

$$\gamma_{ma} \rho_{ma}^2 (1 - \rho_{am}) e^{-3\gamma t} = \rho_{ma}^2 (1 - \rho_{ma}) (1 - \rho_{am}) e^{-3\gamma t} \quad (2.27)$$

และคลื่นก็จะมีการสะท้อนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งเราสามารถหาคลื่นรวมที่ผ่านแผ่นโลหะหรือคลื่นที่วัดได้
หลังทำการซัดคั้งนี้

คลื่นรวมที่ผ่านแผ่นโลหะหลังทำการซัดคั้งแล้ว (Γ_{total})

$$\Gamma_{total} = (1 - \rho_{am}) (1 - \rho_{ma}) e^{-\gamma t} + \rho_{ma}^2 (1 - \rho_{am}) (1 - \rho_{ma}) e^{-3\gamma t} + \rho_{ma}^4 (1 - \rho_{am}) (1 - \rho_{ma}) e^{-5\gamma t} + \rho_{ma}^6 (1 - \rho_{am}) (1 - \rho_{ma}) e^{-7\gamma t} + \dots \quad (2.28)$$

จะได้

$$\Gamma_{total} = (1 - \rho_{am}) (1 - \rho_{ma}) e^{-\gamma t} \left[1 + \rho_{ma}^2 e^{-2\gamma t} + \rho_{ma}^4 e^{-4\gamma t} + \rho_{ma}^6 e^{-6\gamma t} + \dots \right]$$

$$\Gamma_{total} = (1 - \rho_{am}) (1 - \rho_{ma}) e^{-\gamma t} \left[1 - \rho_{ma}^2 e^{-2\gamma t} \right]^{-1} \quad (2.29)$$

แทนค่า $\rho_{am} = \frac{l-k}{l+k} = \frac{z_m - z_w}{z_m + z_w}$, $\rho_{ma} = \frac{k-l}{k+l} = \frac{z_w - z_m}{z_w + z_m}$ ใน (2.29) จะได้

$$\Gamma_{total} = e^{-\gamma t} \left[\frac{4k}{(k+l)^2} \right] \left[1 - \left(\frac{k-l}{k+l} \right)^2 e^{-2\gamma t} \right]^{-1} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงประสิทธิผลการชีลด์

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{คลื่นที่วัดได้ก่อนทำการshield}}{\text{คลื่นที่วัดได้หลังทำการshield}} \right) \quad (2.31)$$

จาก (2.30) แทนค่า Γ_{total} ใน (2.31) จะได้

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} e^{\gamma t} \left[\frac{(k+1)^2}{4k} \left[1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-2\gamma t} \right] \right] \quad (2.32)$$

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \left| e^{\gamma t} \right| + 20 \log_{10} \left| \frac{(k+1)^2}{4k} \right| + 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-2\gamma t} \right| \quad (2.33)$$

สมการแสดงประสิทธิผลการชีลด์ใน (2.33) สามารถแสดงในรูปการดูดซับ, การสะท้อน และ re-reflect ดังนี้

$$SE_{dB} = A_{dB} + R_{dB} + RR_{dB} \quad (2.34)$$

A_{dB} = Absorption loss

R_{dB} = Reflection loss

RR_{dB} = Re-Reflection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 Absorption Loss (dB)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่าน โลหะที่มากันทางเดินทำให้คลื่นที่ผ่านออกไปมี พลังงานลดลง โดย

$$\begin{aligned}
 A_{dB} &= 20 \log_{10} \left| e^{\gamma t} \right| \\
 &= 20 \log_{10} \left| e^{(\alpha + j\beta)t} \right| \\
 &= 20 \log_{10} \left| e^{\alpha t} \right| \left| e^{j\beta t} \right| \\
 &= 20 \log_{10} \left| e^{\alpha t} \right| \\
 &= 8.686 \alpha t
 \end{aligned}
 \tag{2.35}$$

และจาก

$$\begin{aligned}
 \gamma &= \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} \\
 &= \sqrt{j\omega\mu\sigma} \\
 &= (1 + j) \sqrt{\pi f \mu \sigma}
 \end{aligned}
 \tag{2.36}$$

เมื่อ $\sigma \gg \omega\epsilon$ สำหรับโลหะ

นั่นคือ $\alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ สำหรับโลหะจะได้

$$\begin{aligned}
 A_{dB} &= 8.686 \alpha t = 8.686 t \sqrt{\pi f \mu \sigma} \\
 A_{dB} &= 131.4 t_{mm} \sqrt{f_{MHz} \mu_r \sigma_r} \quad \text{dB}
 \end{aligned}
 \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 Reflection Loss (dB)

เป็นการสูญเสียพลังงานคลื่นเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นเมื่อมีโลหะมากันทางเดินคลื่นซึ่งถ้ามันสะท้อน ได้มากก็แสดงว่ามันลดพลังงานคลื่นด้วยการสะท้อนได้ดี

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{(1+k)^2}{4k} \right| \quad \text{dB} \quad (2.38)$$

ค่า k พิจารณาดังนี้

ที่ Electric fields (High-impedance field)

$$k = 1/2\pi r f \epsilon_o \sqrt{2\pi f \mu / \sigma} \quad (2.39)$$

ที่ Magnetic fields (Low-impedance fields)

$$k = r \sqrt{2\pi f \sigma \mu_o / \mu_r} \quad (2.40)$$

ที่ Plane wave

$$k = 1/\sqrt{2\pi f \mu_r \epsilon_o / \sigma} \quad (2.41)$$

2.2.3 Re-Reflection Correction

$$\begin{aligned} RR_{dB} &= 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-2\gamma t} \right| \\ &= 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-2t(\alpha+j\beta)} \right| \end{aligned} \quad (2.42)$$

เนื่องจากโลหะ $\sigma \gg \omega \epsilon$ จะได้ $\alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ และจาก $A_{dB} = 8.686 \alpha t$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $\alpha_t = \frac{A_{dB}}{8.686}$ และจะได้

$$RR_{dB} = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-0.23 A_{dB} (1+j)} \right| \quad (2.43)$$

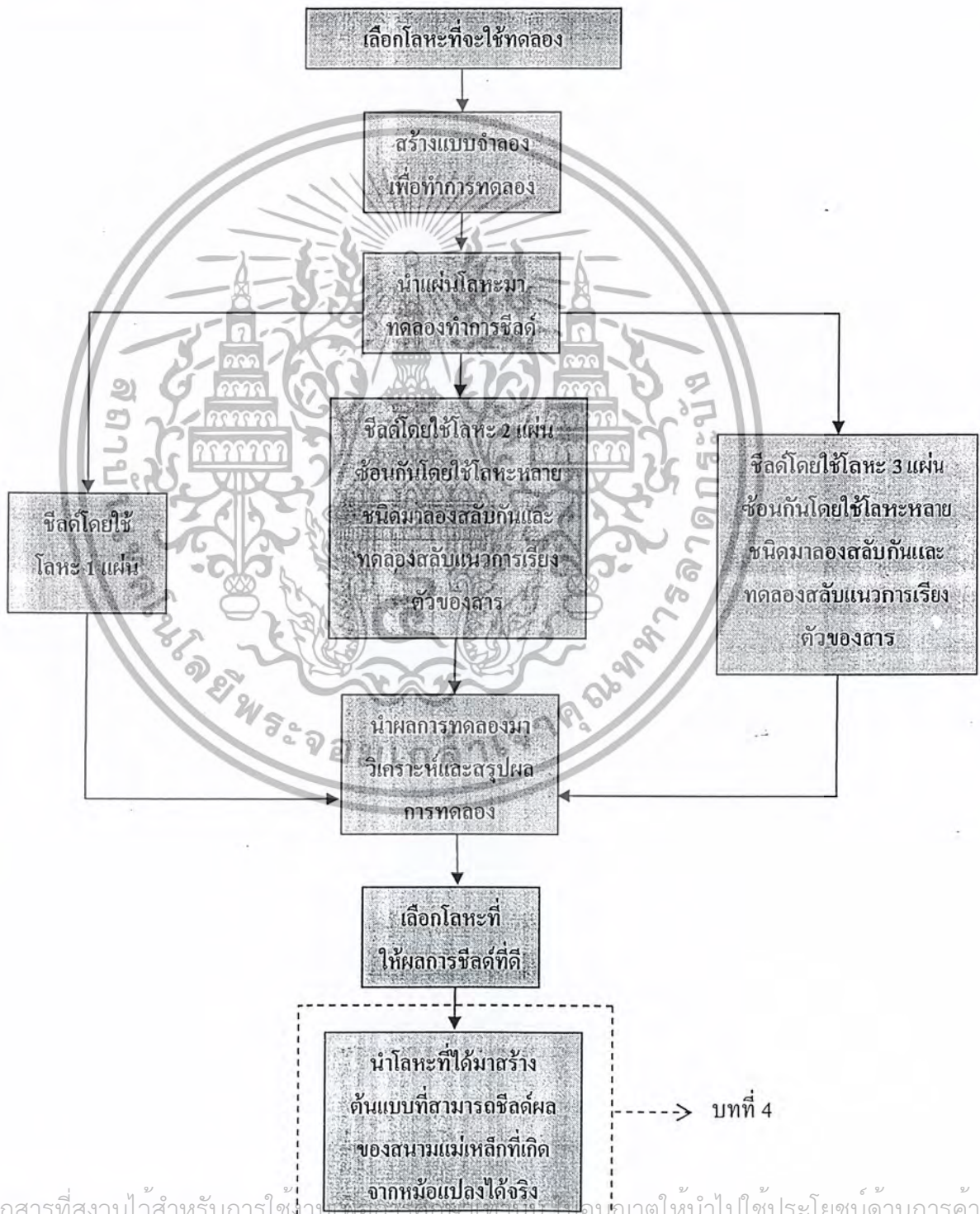


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การชีดโดยใช้แผ่นโลหะ

3.1 Block diagram แสดงขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดง block diagram ขั้นตอนการทดลอง

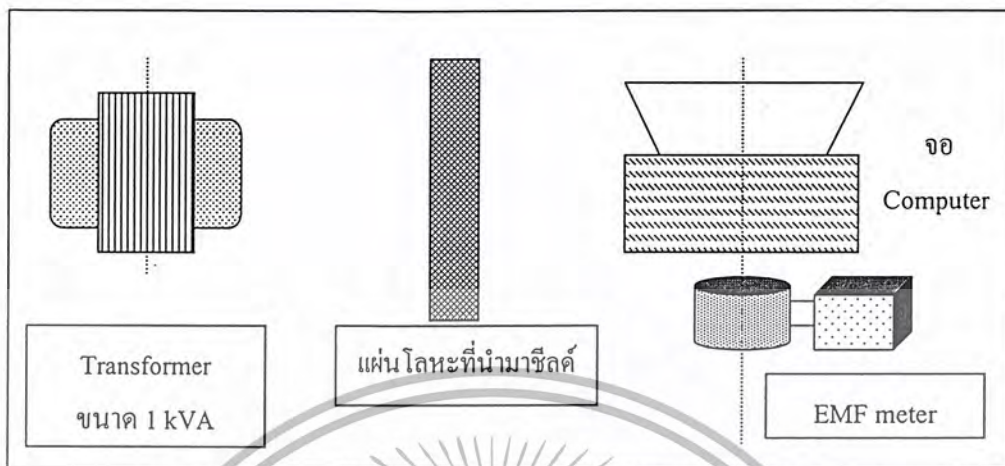
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำงานตาม Block diagram

- Block ที่ 1 เลือกโลหะที่จะใช้ในการทดลอง โดยพิจารณาจากค่า μ_r และค่า σ_r ของค่าโลหะนั้นๆ ซึ่งเป็นโลหะที่หาได้ทั่วไปตามท้องตลาด และราคาไม่แพงเกินไป เลือกความหนาของแผ่นโลหะให้มีค่าใกล้เคียง ต่อจากนั้นนำมาตัดให้มีขนาด 60 x 60 cm.
- Block ที่ 2 สร้างแบบจำลองเพื่อทำการทดลอง โดยโครงสร้างแบบจำลองดังกล่าวมีส่วนประกอบของฐานรองหม้อแปลง, ฐานรองจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ และตัวยึดแผ่นโลหะ โดยให้จุดศูนย์กลางของหม้อแปลง, จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ และแผ่นโลหะอยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งเครื่องวัดสนามแม่เหล็ก (EMF meter) จะถูกยึดอยู่ที่ศูนย์กลางของคอมพิวเตอร์ สิ่งสำคัญก็คือ โครงสร้างนี้ต้องไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะ .
- Block ที่ 3 นำแผ่นโลหะมาทดลองทำการชิลด์ โดยวิธีการวางแผ่น โลหะแบบต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุด โดยวางกันระหว่างหม้อแปลงกับจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์
- Block ที่ 3.1 ชิลด์โดยใช้โลหะ 1 แผ่น คือ การนำแผ่นโลหะแต่ละชนิดมาทำการชิลด์ โดยนำมาวางทั้งในแนวตั้งและแนวนอน
- Block ที่ 3.2 ชิลด์โดยใช้โลหะ 2 แผ่น คือ การนำแผ่นโลหะทั้งชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันมาวางกัน โดยทำการสลับที่แผ่นหน้า – หลัง และแนวตั้ง – แนวนอน
- Block ที่ 3.3 ชิลด์โดยใช้โลหะ 3 แผ่น คือ การนำแผ่นโลหะทั้งชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันมาวางกัน โดยทำการสลับที่แผ่นหน้า – หลัง และแนวตั้ง – แนวนอน
- Block ที่ 4 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- Block ที่ 5 เลือกโลหะที่ให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุด ทำการเลือกแผ่น โลหะที่มีผลการชิลด์ที่ดีที่สุด โดยดูจากค่า Shielding Effectiveness (SE) ที่คำนวณได้
- Block ที่ 6 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการชิลด์ โดยนำโลหะที่ได้มาออกแบบเพื่อสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการชิลด์ที่หม้อแปลง และจอมอนิเตอร์ แล้วทำการทดลองว่าสามารถทำการลดผลของสัญญาณรบกวนที่เป็นสนามแม่เหล็กได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ



รูปที่ 3.2 แสดงการวางอุปกรณ์ในการทดลอง

หมายเหตุ 1. หม้อแปลงขนาด 1 เฟส 1 kVA, 220V, 50Hz, turn ratio 1:1

2. เครื่องวัดค่าสนามแม่เหล็ก (EMF meter) รุ่น EMF - 827 มี 3 range คือ 200 mG, 2000 mG และ 20,000 mG สามารถใช้ในช่วงความถี่ 50 - 60 Hz

3. หม้อแปลงจ่ายโหลดขนาด 600 W

ในบทนี้จะเป็นการชิลด์สนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้แผ่นโลหะเป็นตัวชิลด์ โดยในการทดลองจะเริ่มวัดจากระยะที่มีค่าสนามแม่เหล็กประมาณ 10 mG เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่จอมอนิเตอร์เริ่มมีความผิดปกติเกิดขึ้น จากนั้นทำการเลื่อนแผ่นโลหะเพื่อทำการชิลด์ในระยะต่างๆ เพื่อต้องการทดสอบว่าโลหะชนิดใดให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุดที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้ และยังสามารถนำแผ่นโลหะต่างชนิดกันจำนวน 2 ถึง 3 แผ่นมาชิลด์ร่วมกันเพื่อเพิ่มความหนาและให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุด รวมไปถึงช่วยให้ประหยัดขึ้น ถ้าแผ่นโลหะบางชนิดเมื่อจับคู่กันแล้วสามารถให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุดกับแผ่นโลหะที่ชิลด์ได้ดีแต่มีราคาแพง นอกจากนี้ยังมีการทดลองนำแผ่นโลหะที่เป็นลอนมาทดลองเปรียบเทียบกับแผ่นโลหะเรียบว่ารูปร่างของแผ่นโลหะมีผลต่อการชิลด์หรือไม่

ในการทดลองชิลด์ด้วยแผ่นชิลด์จะมีลักษณะการวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 โดยโครงสร้างที่ใช้ในการทดลองสามารถดูได้จากรูป ข.5 และรูป ข.6 ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถใช้เลื่อนแผ่นชิลด์ไป - มา ระหว่างหม้อแปลงและจอมอนิเตอร์ และไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะเนื่องจากถ้าเป็นโลหะจะส่งผลต่อการชิลด์

โลหะแต่ละชนิดจะมีแนวการเรียงตัวของเนื้อโลหะ (Grain) ต่างกัน ในโครงการนี้จึงแบ่งแนวการเรียงออกเป็น 2 แนวคือ แนวตั้งและแนวนอน โลหะบางชนิดการกลับแนวการเรียงตัวนั้นทำให้ความสามารถในการชิลด์เปลี่ยนไป สำหรับการหาแนวการเรียงตัวของโลหะนั้นอาจใช้วิธีดูตามลายของโลหะ หรือกำหนดจากแผ่นโลหะก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกแผ่นโลหะจะทำการเลือกจากค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์, ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์และความหนา แผ่นโลหะที่มีค่าทั้งสามสูงๆ จะสามารถซึบได้ดี อีกทั้งยังต้องพิจารณาในเรื่องของราคาของแผ่นโลหะต่างๆ อีกด้วย ซึ่งสามารถเลือกแผ่นโลหะที่มีขายตามท้องตลาดได้ดังนี้ แผ่นซิลิกอนชีทสตีล, แผ่นเหล็ก, แผ่นอลูมิเนียม, แผ่นทองเหลือง, แผ่นสแตนเลส, แผ่นสังกะสี และแผ่นสังกะสีแบบลอน ขนาด 60 x 60 cm. โดยแผ่นโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความหนา, ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์

ชนิดของโลหะ	ความหนา (mm.)	μ_r	σ_r
Aluminum	0.5	1	0.63
Silicon sheet steel	0.3	6400 – 25,000	0.036
Iron	0.5	3500	0.17
Zinc	0.5	1	0.305
Zinc (ลอน)	0.3	1	0.305
Brass	0.5	1	0.47
Stainless steel	0.3	200	0.02

3.3 การซึบโดยแยกตามชนิดของแผ่นโลหะ

เพื่อทดสอบผลการซึบของโลหะแต่ละชนิด ผลการซึบเมื่อเปลี่ยนความหนา แนวการเรียงตัวที่มีผลต่อการซึบและผลของรูปร่างของโลหะในการซึบจากสังกะสีแผ่นเรียบและแผ่นลอน โดยใช้แผ่นโลหะชนิดเดียวกัน 1-3 แผ่นมาซึบ โดยมีวิธีการวางดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 วิธีการวางแผ่นโลหะในการทดลอง

หมายเหตุ สังกะสีแบบลอนจะใช้แผ่นพลาสติกมาบีบให้เรียบขณะซึบ

เนื่องจากโลหะมีแนวการเรียงตัว 2 แนว คือ แนวตั้งและแนวนอน จึงจัดวางได้ ดังนี้

1.) กรณีใช้ 1 แผ่น ทำการจัดวางได้ 2 แบบ คือ

- แนวตั้ง
- แนวนอน

2.) กรณีใช้ 2 แผ่น ทำการจัดวางได้ 4 แบบ คือ

- แนวตั้งทั้ง 2 แผ่น
- แนวนอนทั้ง 2 แผ่น
- แผ่นที่ 1 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 2 วางแนวนอน
- แผ่นที่ 1 วางแนวนอน แผ่นที่ 2 วางแนวตั้ง

3.) กรณีใช้ 3 แผ่น ทำการจัดวางได้ 8 แบบ คือ

- แนวตั้งทั้ง 3 แผ่น
- แนวนอนทั้ง 3 แผ่น
- แผ่นที่ 1 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 2 วางแนวนอน แผ่นที่ 3 วางแนวนอน
- แผ่นที่ 1 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 2 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 3 วางแนวนอน
- แผ่นที่ 1 วางแนวนอน แผ่นที่ 2 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 3 วางแนวตั้ง
- แผ่นที่ 1 วางแนวนอน แผ่นที่ 2 วางแนวนอน แผ่นที่ 3 วางแนวตั้ง
- แผ่นที่ 1 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 2 วางแนวนอน แผ่นที่ 3 วางแนวตั้ง
- แผ่นที่ 1 วางแนวนอน แผ่นที่ 2 วางแนวตั้ง แผ่นที่ 3 วางแนวนอน

กำหนดให้

— แทน การวางแบบเรียงตัวในแนวตั้ง

— แทน การวางแบบเรียงตัวในแนวนอน

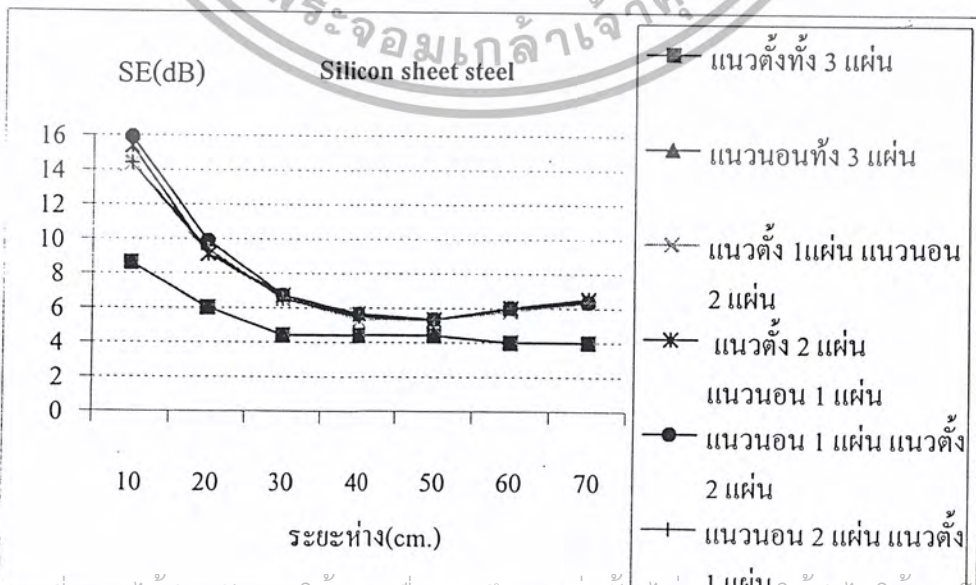
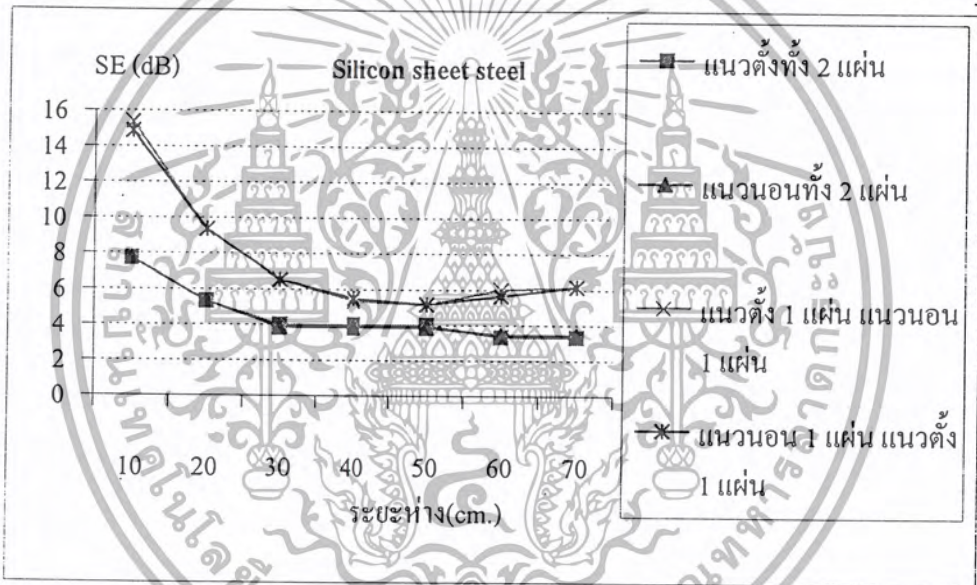
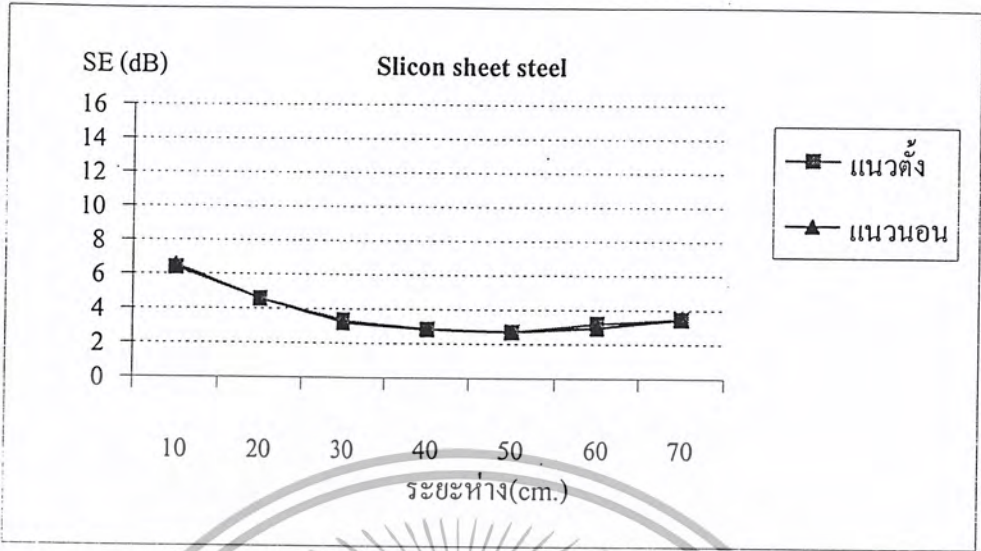
ผลการจัดของแผ่นโลหะแต่ละชนิด สามารถดูได้จากตารางและรูปภาพดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีล (Silicon sheet steel)

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	mG		mG				mG					
		—		≡	—	—		≡	=	—	—	≡
10	4.8	4.7	4.1	4.1	1.7	1.8	3.7	3.7	1.9	1.7	1.6	1.9
20	5.9	5.9	5.4	5.4	3.4	3.4	5	5	3.5	3.5	3.2	3.4
30	6.8	6.9	6.3	6.4	4.7	4.7	6	6	4.7	4.6	4.6	4.7
40	7.2	7.2	6.3	6.4	5.4	5.3	6	6	5.4	5.2	5.2	5.3
50	7.3	7.3	6.3	6.4	5.5	5.5	6	6	5.4	5.4	5.4	5.4
60	6.9	7.1	6.8	6.7	5	5.2	6.3	6.3	5.1	5	5	5
70	6.7	6.7	6.8	6.7	4.9	4.9	6.3	6.3	4.8	4.7	4.8	4.8

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	SE(dB)		SE(dB)				SE(dB)					
		—		≡	—	—		≡	=	—	—	≡
10	6.38	6.56	7.74	7.74	15.39	14.89	8.64	8.64	14.42	15.39	15.92	14.42
20	4.58	4.58	5.35	5.35	9.37	9.37	6.02	6.02	9.12	9.12	9.90	9.37
30	3.35	3.22	4.01	3.88	6.56	6.56	4.44	4.44	6.56	6.74	6.74	6.56
40	2.85	2.85	4.01	3.88	5.35	5.51	4.44	4.44	5.35	5.68	5.68	5.51
50	2.73	2.73	4.01	3.88	5.19	5.19	4.44	4.44	5.35	5.35	5.35	5.35
60	3.22	2.97	3.35	3.48	6.02	5.68	4.01	4.01	5.85	6.02	6.02	6.02
70	3.48	3.48	3.35	3.48	6.20	6.20	4.01	4.01	6.38	6.56	6.38	6.38



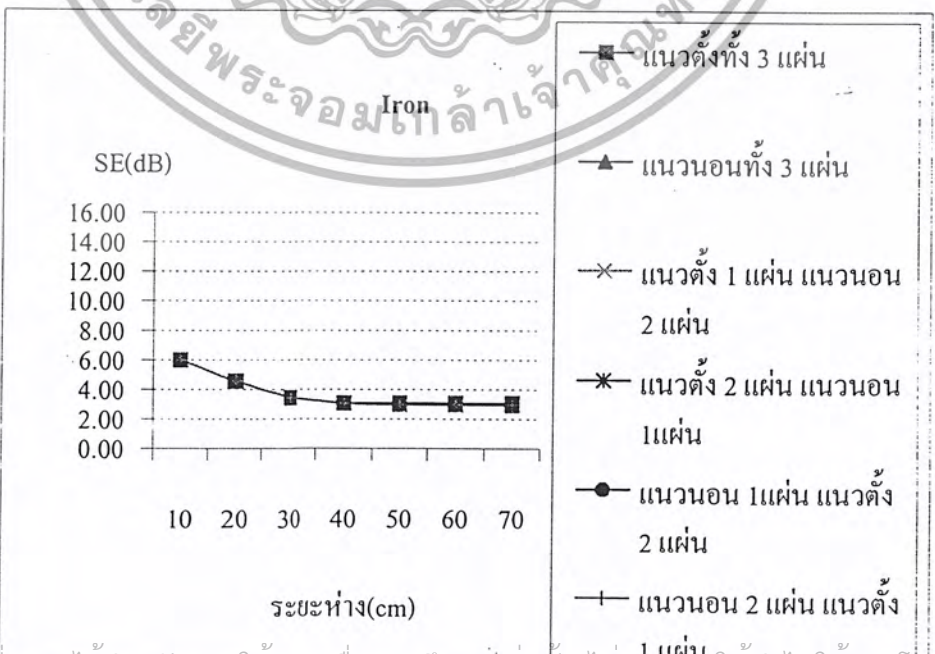
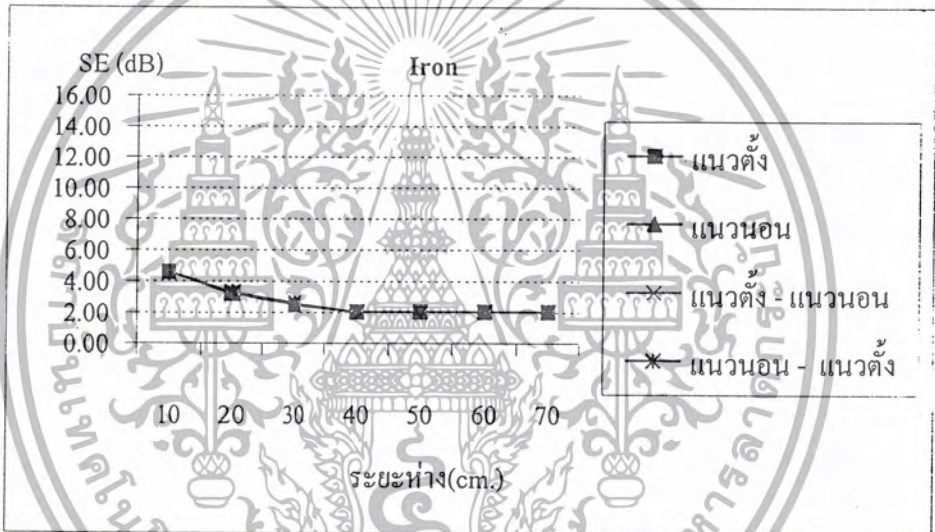
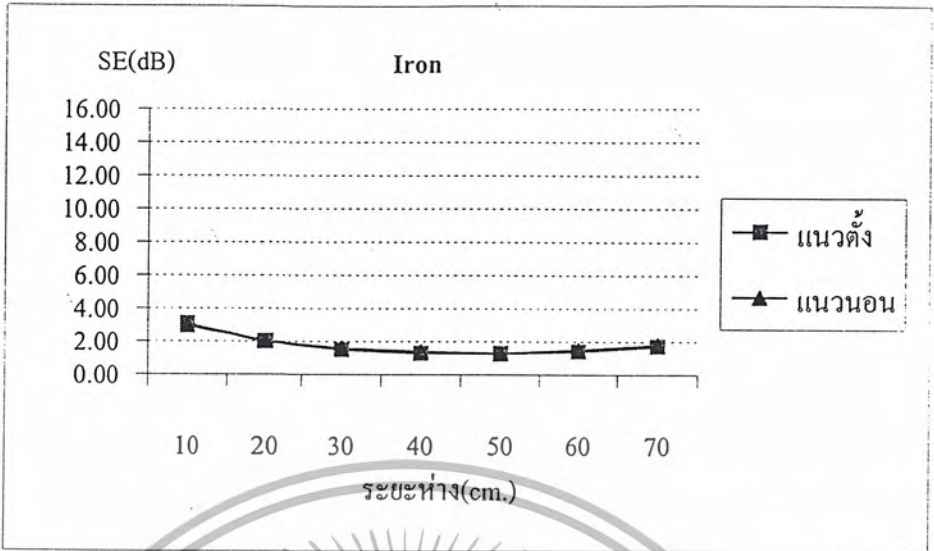
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.4 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดลองของเหล็ก (Iron)

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	mG		mG				mG					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	7	7.1	5.9	5.9	5.9	5.9	5	5	5	5	5	5
20	7.9	7.9	6.9	6.9	6.8	6.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
30	8.4	8.3	7.5	7.4	7.4	7.4	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
40	8.6	8.5	7.9	7.9	7.9	7.9	7	7	7	7	7	7
50	8.6	8.6	7.9	7.9	7.9	7.9	7	7	7.1	7.1	7.1	7.1
60	8.5	8.4	7.9	7.9	7.9	7.9	7	7	7.1	7.1	7.1	7.1
70	8.2	8.1	7.9	7.9	7.9	7.9	7	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

ตารางที่ 3.5 แสดงค่า SE ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	SE(dB)		SE(dB)				SE(dB)					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	3.10	2.97	4.58	4.58	4.58	4.58	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02
20	2.05	2.05	3.22	3.22	3.35	3.35	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
30	1.51	1.62	2.50	2.62	2.62	2.62	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48
40	1.31	1.41	2.05	2.05	2.05	2.05	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
50	1.31	1.31	2.05	2.05	2.05	2.05	3.10	3.10	2.97	2.97	2.97	2.97
60	1.41	1.51	2.05	2.05	2.05	2.05	3.10	3.10	2.97	2.97	2.97	2.97
70	1.72	1.83	2.05	2.05	2.05	2.05	3.10	2.97	2.97	2.97	2.97	2.97



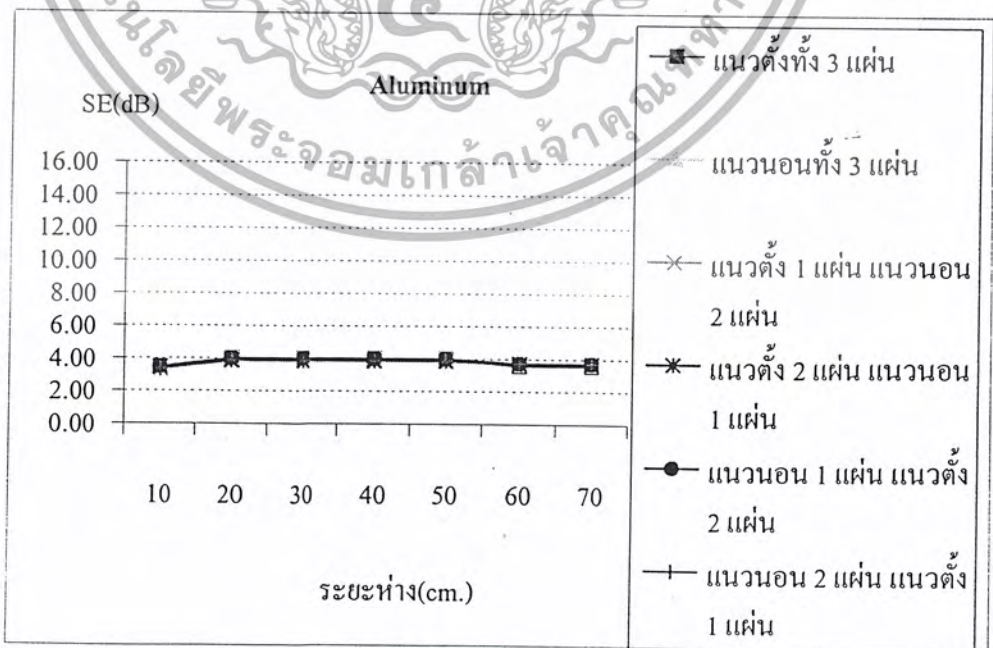
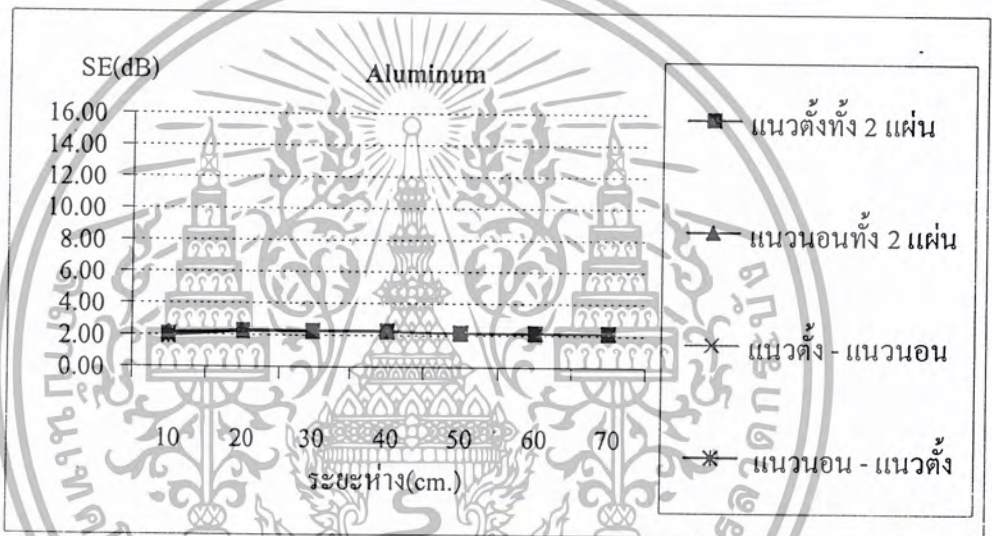
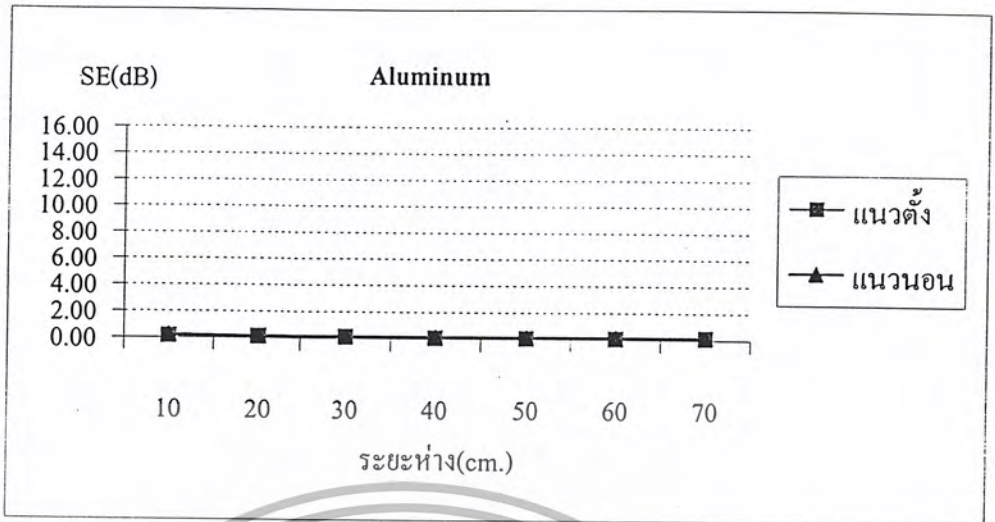
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.5 แสดงกราฟผลกระทบลดลงของแผ่นเหล็กแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการทดลองของอลูมิเนียม (Aluminum)

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	mG		mG				mG					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	9.8	9.7	7.9	7.8	8	8	6.7	6.7	6.8	6.7	6.7	6.8
20	9.8	9.8	7.7	7.7	7.7	7.7	6.3	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4
30	9.8	9.8	7.7	7.7	7.7	7.7	6.3	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4
40	9.9	9.8	7.7	7.7	7.7	7.7	6.3	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4
50	9.9	9.8	7.8	7.8	7.8	7.8	6.3	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4
60	9.9	9.8	7.8	7.8	7.8	7.8	6.6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
70	9.8	9.8	7.8	7.8	7.8	7.8	6.6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

ตารางที่ 3.7 แสดงค่า SE ของอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	SE(dB)		SE(dB)				SE(dB)					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	0.18	0.26	2.05	2.16	1.94	1.94	3.48	3.48	3.35	3.48	3.48	3.35
20	0.18	0.18	2.27	2.27	2.27	2.27	4.01	3.88	4.01	3.88	4.01	3.88
30	0.18	0.18	2.27	2.27	2.27	2.27	4.01	3.88	4.01	3.88	4.01	3.88
40	0.09	0.18	2.27	2.27	2.27	2.27	4.01	3.88	4.01	3.88	4.01	3.88
50	0.09	0.18	2.16	2.16	2.16	2.16	4.01	3.88	4.01	3.88	4.01	3.88
60	0.09	0.18	2.16	2.16	2.16	2.16	3.61	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
70	0.18	0.18	2.16	2.16	2.16	2.16	3.61	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74



รูปที่ 3.6 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นอลูมิเนียมแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น

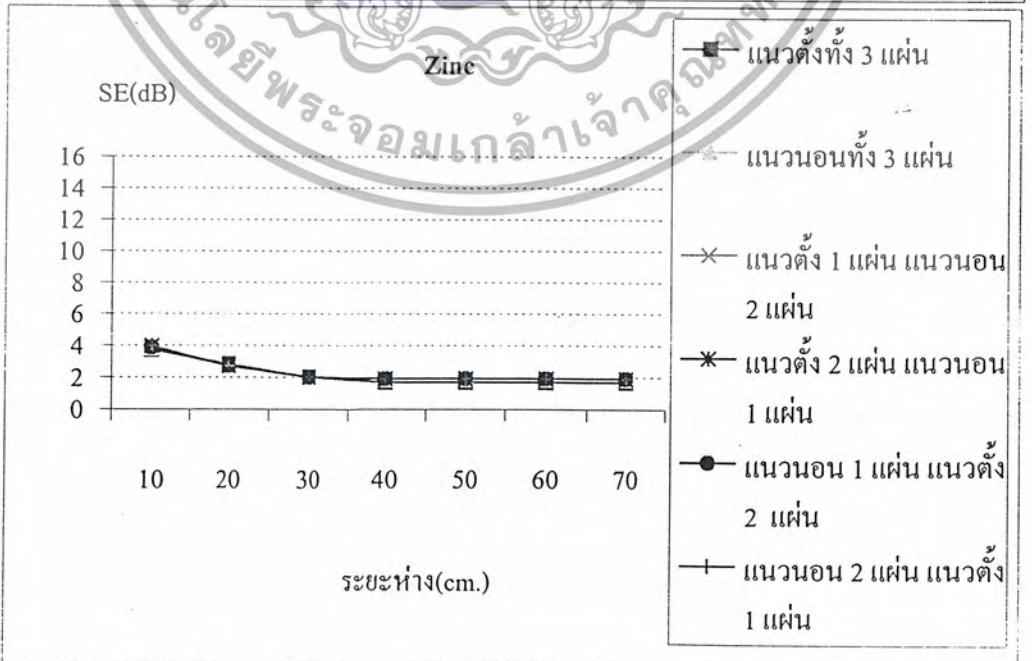
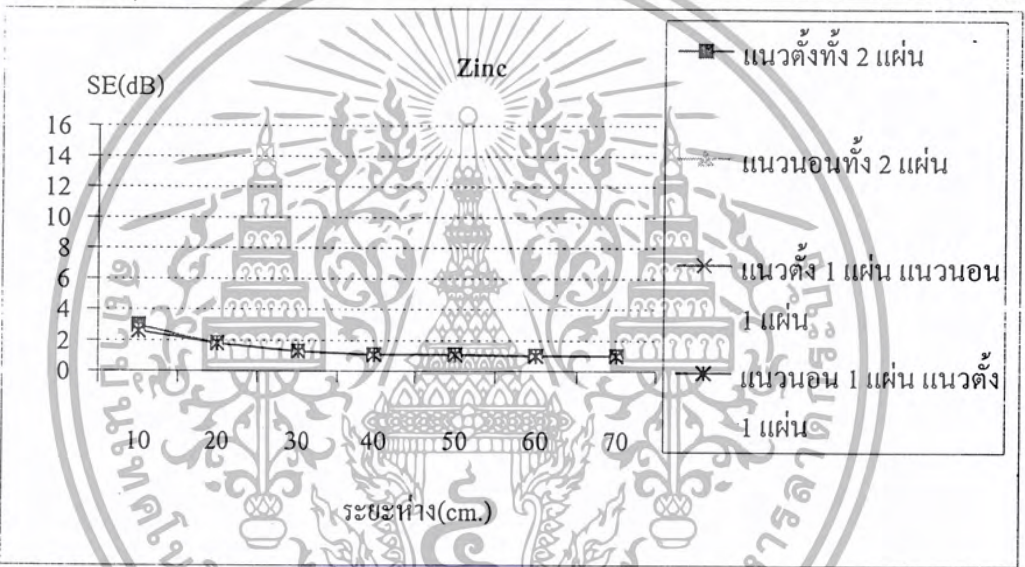
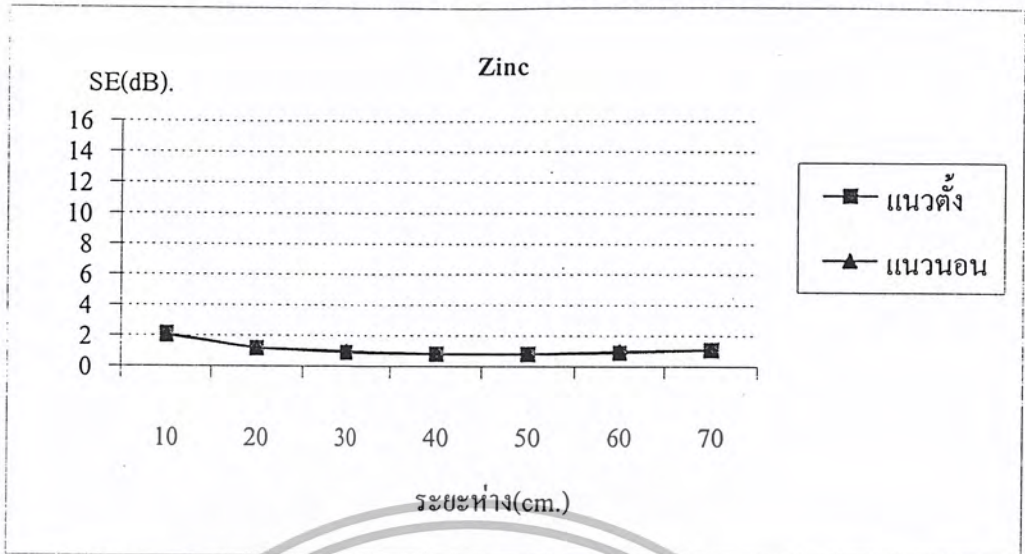
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดลองของสังกะสี (Zinc)

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	mG		mG				mG					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	7.8	7.9	7.1	7.4	7.4	7.4	6.5	6.4	6.4	6.3	6.4	6.3
20	8.7	8.7	8.1	8.1	8.1	8.1	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
30	9	8.9	8.6	8.6	8.6	8.6	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
40	9.1	9.1	8.8	8.8	8.8	8.8	8.2	8	8	8	8	8
50	9.1	9.1	8.8	8.8	8.8	8.8	8.2	8	8	8	8	8
60	9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.2	8	8	8	8	8
70	8.8	8.8	8.9	8.9	8.9	8.9	8.2	8	8	8	8	8

ตารางที่ 3.9 แสดงค่า SE ของ สังกะสี

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	SE(dB)		SE(dB)				SE(dB)					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	2.16	2.05	2.97	2.62	2.62	2.62	3.74	3.88	3.88	4.01	3.88	4.01
20	1.21	1.21	1.83	1.83	1.83	1.83	2.85	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
30	0.92	1.01	1.31	1.31	1.31	1.31	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05
40	0.82	0.82	1.11	1.11	1.11	1.11	1.72	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
50	0.82	0.82	1.11	1.11	1.11	1.11	1.72	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
60	0.92	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.72	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
70	1.11	1.11	1.01	1.01	1.01	1.01	1.72	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.7 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นตั้งกะติแบบ 1, 2 และ 3 แผ่น
 ไม่วากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

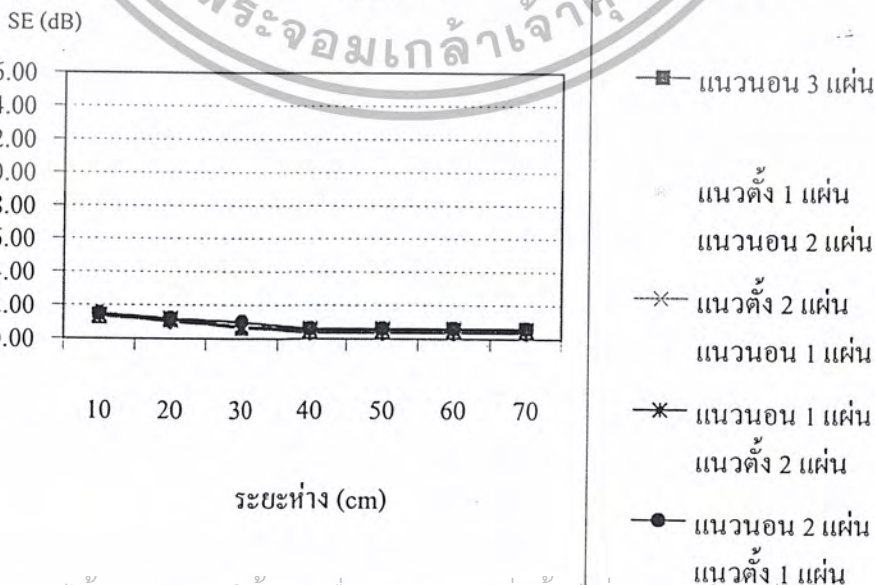
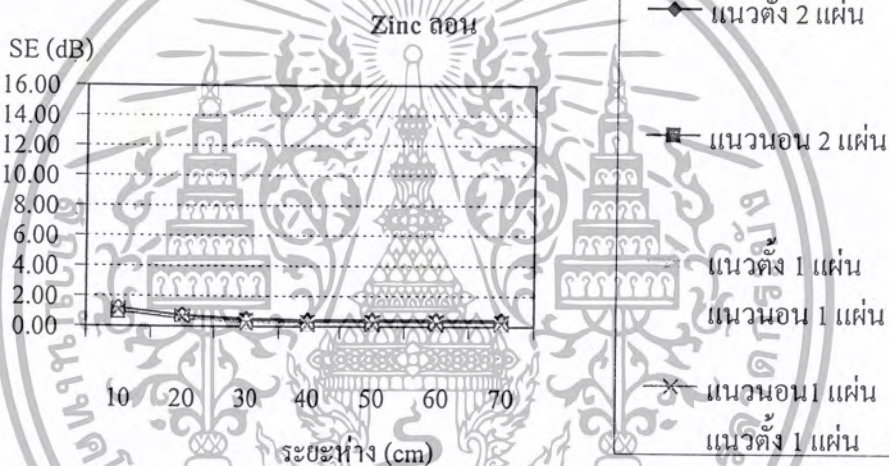
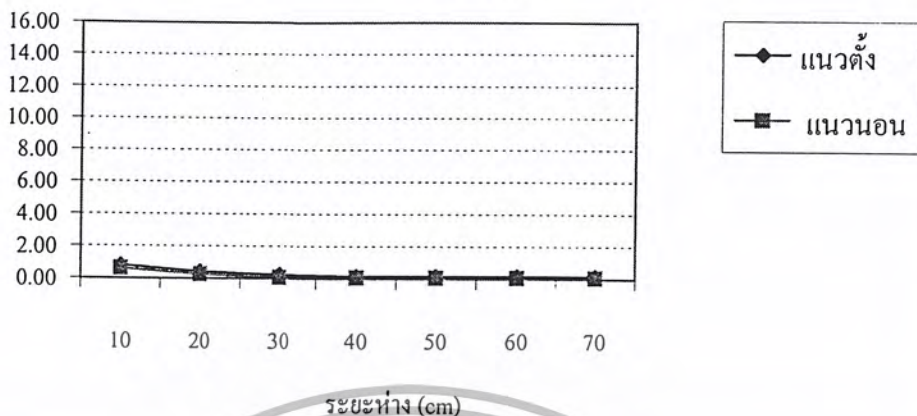
ตารางที่ 3.10 แสดงผลการทดลองของสิ่งกีดขวาง

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	mG		mG				mG					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	9.1	9.3	8.7	8.9	8.8	8.8	8.5	8.6	8.4	8.5	8.5	8.4
20	9.5	9.7	9.2	9.4	9.3	9.3	8.9	8.8	8.6	8.7	8.7	8.7
30	9.7	9.9	9.4	9.6	9.7	9.7	9.2	9.3	8.9	9.1	9.2	8.9
40	9.8	9.9	9.5	9.7	9.8	9.8	9.6	9.5	9.3	9.3	9.4	9.3
50	9.8	9.9	9.5	9.7	9.8	9.8	9.6	9.5	9.3	9.3	9.4	9.3
60	9.8	9.9	9.5	9.7	9.8	9.8	9.6	9.5	9.3	9.3	9.4	9.3
70	9.8	9.9	9.5	9.7	9.8	9.8	9.6	9.5	9.3	9.3	9.4	9.3

ตารางที่ 3.11 แสดงค่า SE ของสิ่งกีดขวาง

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	SE(dB)		SE(dB)				SE(dB)					
		—		==	—	—		≡	=	—	—	==
10	0.82	0.63	1.21	1.01	1.11	1.11	1.41	1.31	1.51	1.41	1.41	1.51
20	0.45	0.26	0.72	0.54	0.63	0.63	1.01	1.11	1.31	1.21	1.21	1.21
30	0.26	0.09	0.54	0.35	0.26	0.26	0.72	0.63	1.01	0.82	0.72	1.01
40	0.18	0.09	0.45	0.26	0.18	0.18	0.35	0.45	0.63	0.63	0.54	0.63
50	0.18	0.09	0.45	0.26	0.18	0.18	0.35	0.45	0.63	0.63	0.54	0.63
60	0.18	0.09	0.45	0.26	0.18	0.18	0.35	0.45	0.63	0.63	0.54	0.63
70	0.18	0.09	0.45	0.26	0.18	0.18	0.35	0.45	0.63	0.63	0.54	0.63

SE (dB) Zinc ลอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.8 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นตั้งกะติแบบลอน 1, 2 และ 3 แผ่น
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การขีดด้วยโลหะ 2 ชนิด

ซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นให้ผลการขีดที่ดีแต่ว่ามีราคาแพง จึงทดลองจับคู่ซิลิกอนซีทสตีลกับโลหะชนิดอื่นๆ หรือจับคู่โลหะชนิดต่างๆ เพื่อทดลองขีด ซึ่งผลการขีดที่ได้หากมีค่าใกล้เคียงกับผลขีดของซิลิกอนซีทสตีลแต่ใช้โลหะราคาถูกกว่า ก็ถือว่าคุ้มค่ามากกว่า



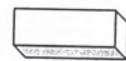
การวางแบบที่ 1



การวางแบบที่ 2



แทนโลหะชนิดที่ 1



แทนโลหะชนิดที่ 2

รูปที่ 3.9 แสดงการวางแผ่นโลหะในการขีดด้วยโลหะ 2 ชนิด

โดยโลหะที่เราจะนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เราจะใช้เพียงแค่ 4 ชนิดที่ให้ผลการขีดดีในกรณีก่อน ซึ่งก็ได้แก่ ซิลิกอนซีทสตีล, เหล็ก, อลูมิเนียม, สังกะสี

ลักษณะการจัดวางแผ่นโลหะสามารถจัดวางเป็นคู่ๆ ได้ 6 แบบ ดังต่อไปนี้

- ซิลิกอนซีทสตีล ขีดร่วมกันกับเหล็ก
- ซิลิกอนซีทสตีล ขีดร่วมกันกับ สังกะสี
- ซิลิกอนซีทสตีล ขีดร่วมกันกับ อลูมิเนียม
- เหล็ก ขีดร่วมกันกับ สังกะสี
- เหล็ก ขีดร่วมกันกับ อลูมิเนียม
- สังกะสี ขีดร่วมกันกับ อลูมิเนียม

ผลการขีดของโลหะ 2 ชนิด สามารถดูได้จากตารางและรูปภาพดังต่อไปนี้

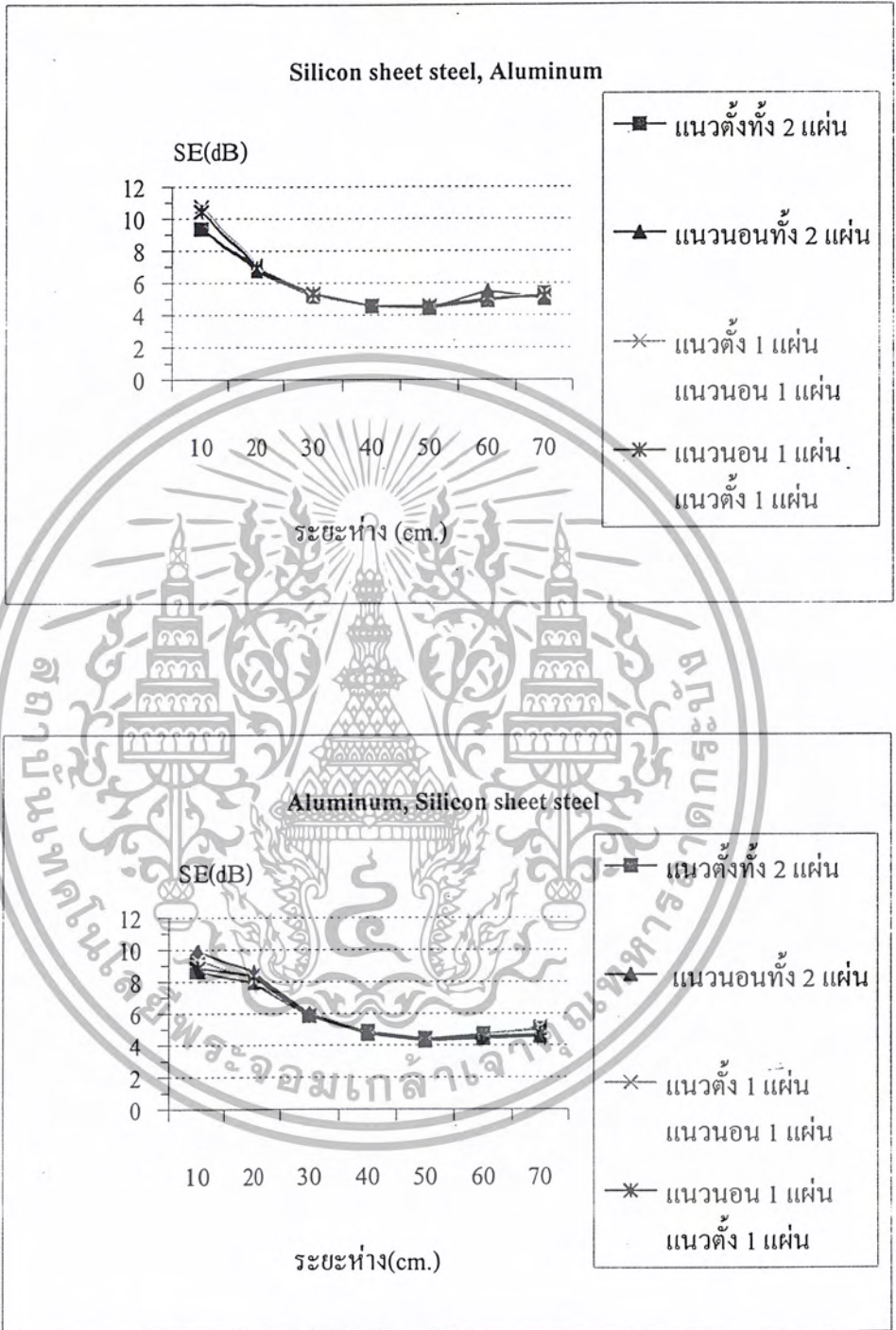
ตารางที่ 3.12 แสดงผลการทดลองของซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	Silicon sheet steel, Aluminum				Aluminum, Silicon sheet steel			
	mG				mG			
		==	—	—		==	—	—
10	3.4	3.4	2.9	3	3.7	3.2	3.4	3.6
20	4.6	4.5	4.4	4.5	4	3.7	3.9	3.8
30	5.5	5.5	5.5	5.4	5.1	5	5.1	5.1
40	5.9	5.9	5.9	5.9	5.7	5.8	5.8	5.8
50	6	6	5.9	5.9	6	6.1	6	6
60	5.7	5.3	5.6	5.6	5.8	6	5.9	5.9
70	5.4	5.6	5.4	5.5	5.6	5.9	5.5	5.8

ตารางที่ 3.13 แสดงค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	Silicon sheet steel, Aluminum				Aluminum, Silicon sheet steel			
	SE(dB)				SE(dB)			
		==	—	—		==	—	—
10	9.37	9.37	10.75	10.46	8.64	9.90	9.37	8.87
20	6.74	6.94	7.13	6.94	7.96	8.64	8.18	8.40
30	5.19	5.19	5.19	5.35	5.85	6.02	5.85	5.85
40	4.58	4.58	4.58	4.58	4.88	4.73	4.73	4.73
50	4.44	4.44	4.58	4.58	4.44	4.29	4.44	4.44
60	4.88	5.51	5.04	5.04	4.73	4.44	4.58	4.58
70	5.35	5.04	5.35	5.19	5.04	4.58	5.19	4.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

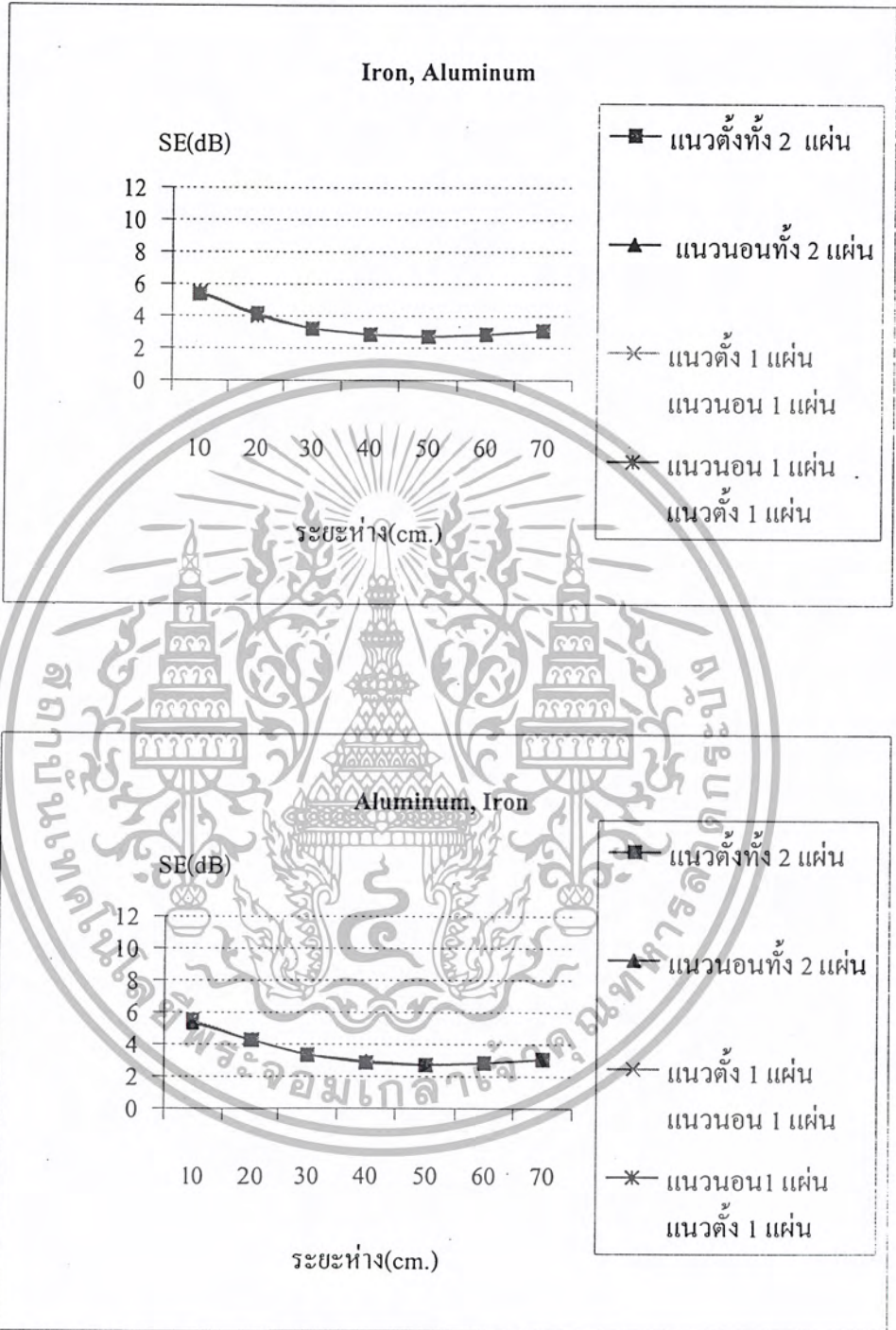
ตารางที่ 3.14 แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	Iron, Aluminum				Aluminum, Iron			
	mG				mG			
		==	—	—		==	—	—
10	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4
20	6.2	6.2	6.3	6.3	6.1	6.1	6.1	6.1
30	6.9	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8
40	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.1	7.2	7.2
50	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
60	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
70	7	7	7	7	7	7	7	7

ตารางที่ 3.15 แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	Iron, Aluminum				Aluminum, Iron			
	SE(dB)				SE(dB)			
		==	—	—		==	—	—
10	5.35	5.51	5.51	5.51	5.51	5.35	5.35	5.35
20	4.15	4.15	4.01	4.01	4.29	4.29	4.29	4.29
30	3.22	3.22	3.22	3.22	3.35	3.35	3.35	3.35
40	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.97	2.85	2.85
50	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
60	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
70	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นอลูมิเนียมร่วมกับเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

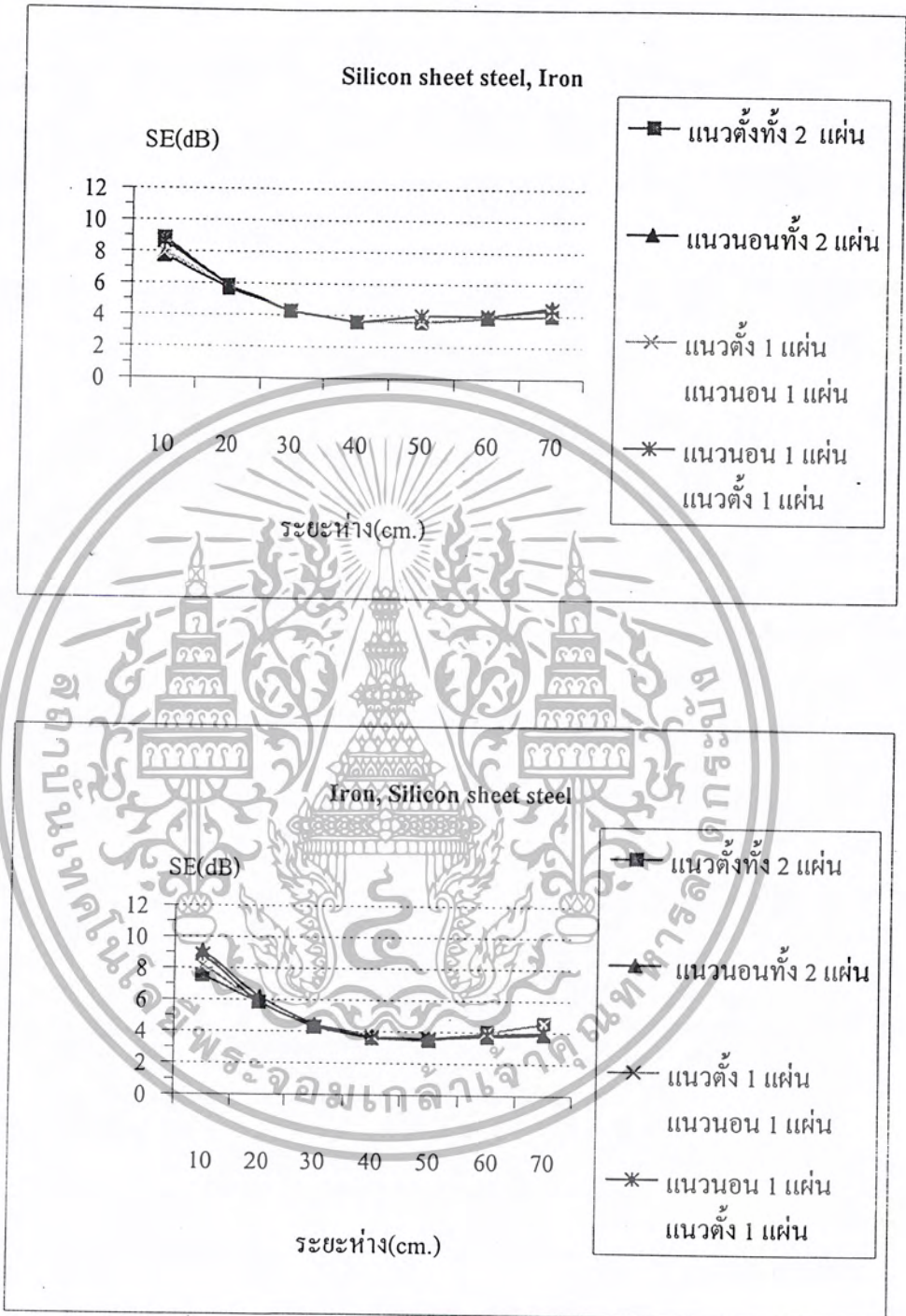
ตารางที่ 3.16 แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	Silicon sheet steel, Iron				Iron, Silicon sheet steel			
	mG				mG			
		==	—	—		==	—	—
10	3.6	4.1	4	3.7	4.2	3.5	3.9	3.6
20	5.1	5.2	5.1	5.1	5.1	4.9	5.1	5.1
30	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6	6.1	6.1
40	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.5	6.5	6.6
50	6.6	6.6	6.6	6.3	6.7	6.6	6.6	6.6
60	6.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.5	6.3	6.4
70	6.3	5.9	6.1	6	5.9	6.4	5.9	6.3

ตารางที่ 3.17 แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	Silicon sheet steel, Iron				Iron, Silicon sheet steel			
	SE(dB)				SE(dB)			
		==	—	—		==	—	—
10	8.87	7.74	7.96	8.64	7.54	9.12	8.18	8.87
20	5.85	5.68	5.85	5.85	5.85	6.20	5.85	5.85
30	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.44	4.29	4.29
40	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.74	3.74	3.61
50	3.61	3.61	3.61	4.01	3.48	3.61	3.61	3.61
60	3.88	4.01	4.01	4.01	4.01	3.74	4.01	3.88
70	4.01	4.58	4.29	4.44	4.58	3.88	4.58	4.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การซัดโดยใช้โลหะ 3 ชนิด

การทดลองในกรณีนี้ จะเป็นการทดลองโดยใช้โลหะ 3 ชนิดมาวางสลับกัน ซึ่งผลการซัดจะขึ้นอยู่กับการวางแผ่นโลหะโลหะที่เราจะนำมาใช้ในการทดลองกรณีนี้ ซึ่งก็ได้แก่ ซิลิกอนซิทสตีล, เหล็ก, อลูมิเนียม

ลักษณะการวาง



การวางแบบที่ 1



การวางแบบที่ 2



การวางแบบที่ 3



การวางแบบที่ 4



การวางแบบที่ 5



การวางแบบที่ 6



แทนโลหะชนิดที่ 1



แทนโลหะชนิดที่ 2



แทนโลหะชนิดที่ 3

รูปที่ 3.13 แสดงการวางแผ่นโลหะในการซัดโดยใช้โลหะ 3 ชนิด

ลักษณะการจัดวางแผ่นโลหะในกรณีนี้สามารถทำการจัดวางเป็นคู่ๆ ได้ 6 แบบ ดังต่อไปนี้

- ซิลิกอนซิทสตีล ซัดร่วมกันกับเหล็ก และ อลูมิเนียม
- ซิลิกอนซิทสตีล ซัดร่วมกันกับอลูมิเนียม และ เหล็ก
- เหล็กซัดร่วมกันกับซิลิกอนซิทสตีล และ อลูมิเนียม
- เหล็กซัดร่วมกันกับอลูมิเนียม และ ซิลิกอนซิทสตีล
- อลูมิเนียมซัดร่วมกันกับซิลิกอนซิทสตีล และ เหล็ก
- อลูมิเนียมซัดร่วมกันกับ เหล็กและ ซิลิกอนซิทสตีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลการซัดของโลหะ 3 ชนิด สามารถดูได้จากตารางและรูปภาพดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

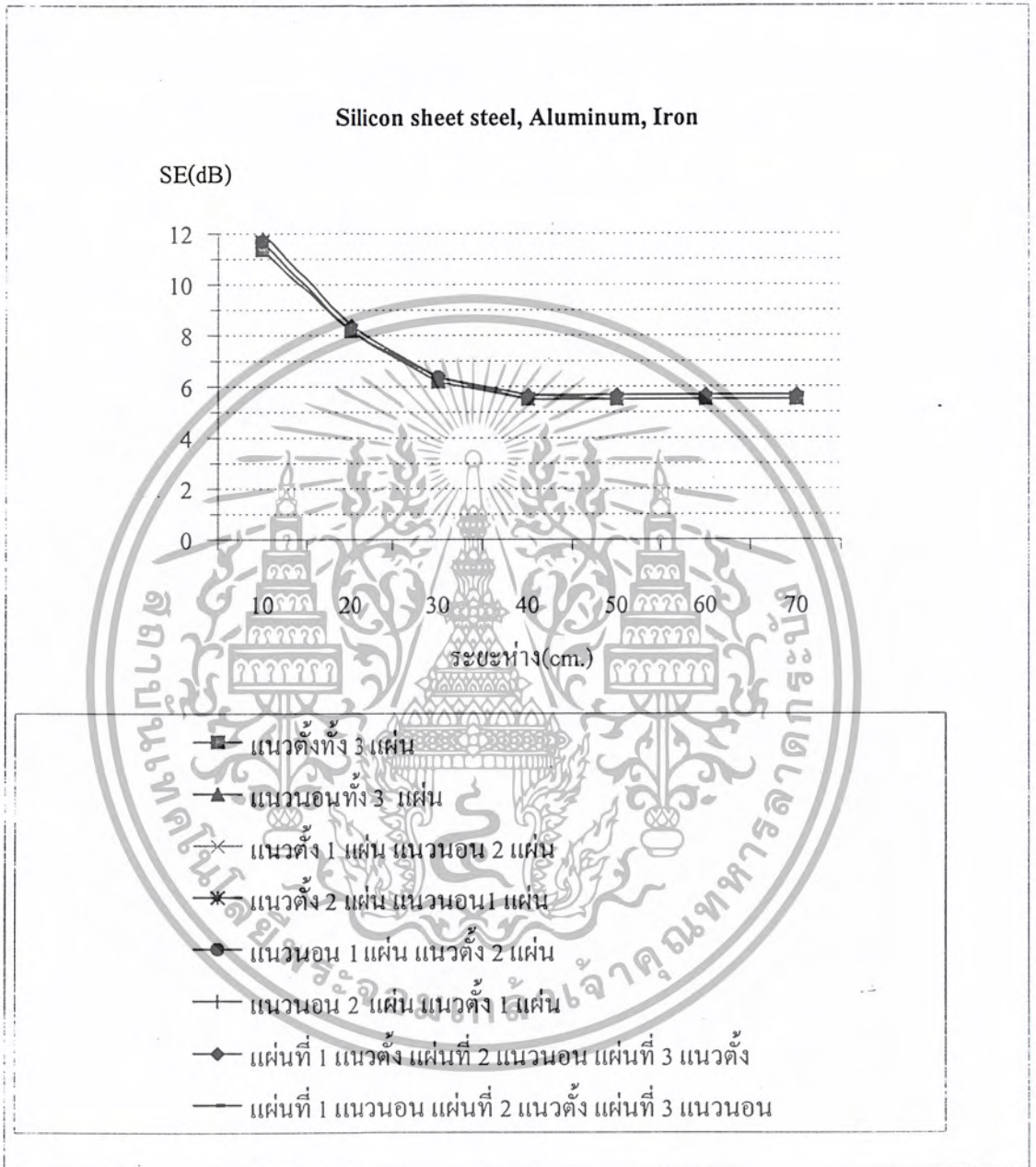
ตารางที่ 3.18 แสดงผลการทดลองของซิกอนซ์ที่สตีลร่วมกับอูมิเนียมและเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	การจัดวางแผ่นโลหะ							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	2.7	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5
20	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.8
30	4.9	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.9	4.8
40	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.2	5.3	5.2
50	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2
60	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2
70	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2

ตารางที่ 3.19 แสดงค่า SE ของซิกอนซ์ที่สตีลร่วมกับอูมิเนียมและเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	SE (dB)							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	11.37	12.04	11.70	11.70	11.70	12.04	11.70	12.04
20	8.18	8.40	8.18	8.18	8.18	8.40	8.18	8.40
30	6.20	6.38	6.20	6.20	6.38	6.38	6.20	6.38
40	5.51	5.68	5.51	5.51	5.51	5.68	5.51	5.68
50	5.51	5.68	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.68
60	5.51	5.68	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.68
70	5.51	5.68	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับอลูมิเนียม และเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

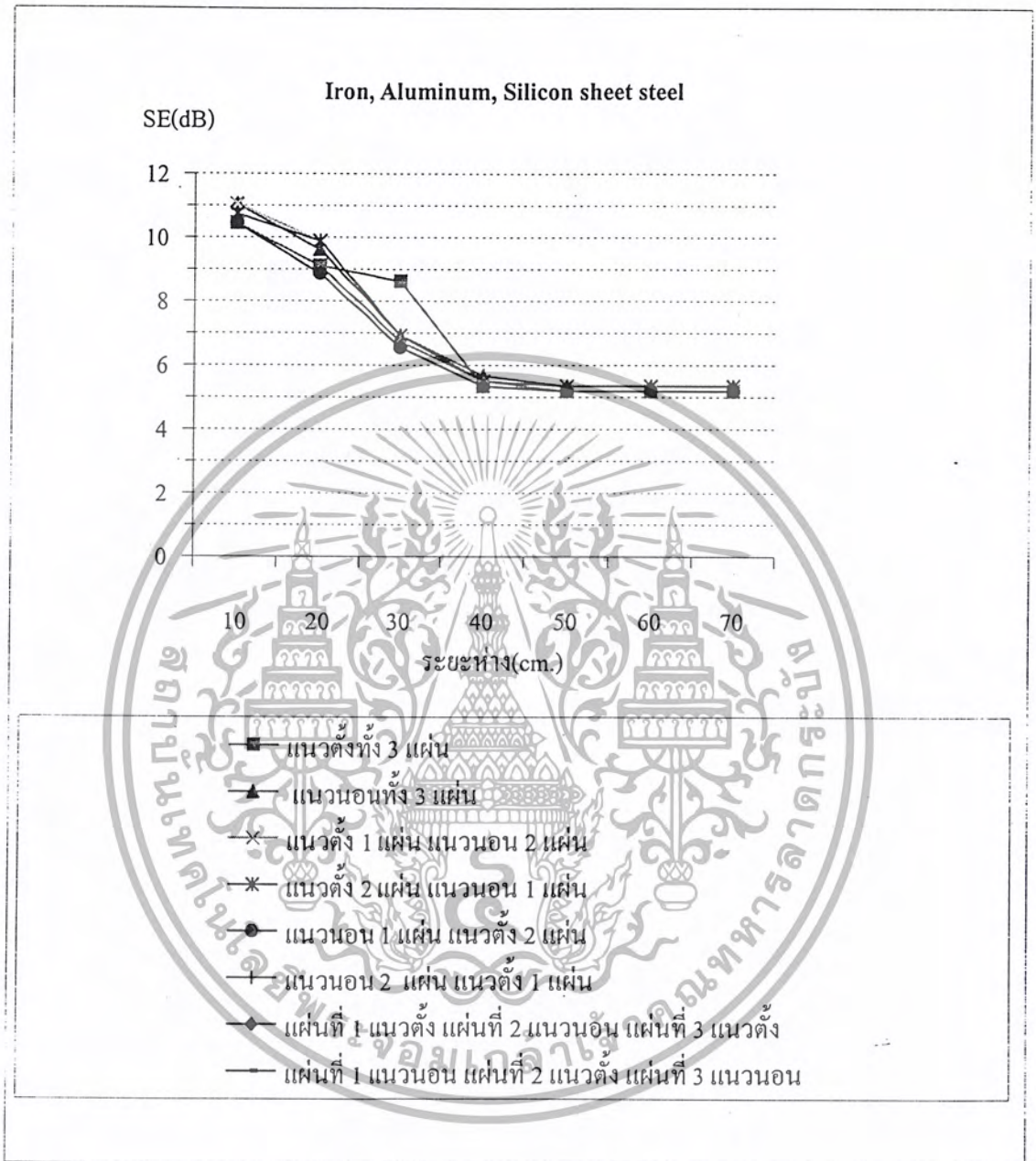
ตารางที่ 3.20 แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียมและซิลิกอนซีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	การจัดวางแผ่นโลหะ							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	3	2.8	2.8	2.9	3	3	2.8	3
20	3.5	3.3	3.2	3.2	3.6	3.5	3.2	3.6
30	3.7	4.5	4.5	4.5	4.7	4.6	4.5	4.7
40	5.4	5.2	5.3	5.3	5.4	5.3	5.3	5.4
50	5.5	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.4	5.5
60	5.5	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.4	5.5
70	5.5	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.4	5.5

ตารางที่ 3.21 แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับอลูมิเนียมและซิลิกอนซีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	SE (dB)							
	—	≡	=	—	—	≡	—	— —
10	10.46	11.06	11.06	10.75	10.46	10.46	11.06	10.46
20	9.12	9.63	9.90	9.90	8.87	9.12	9.90	8.87
30	8.64	6.94	6.94	6.94	6.56	6.74	6.94	6.56
40	5.35	5.68	5.51	5.51	5.35	5.51	5.51	5.35
50	5.19	5.35	5.35	5.35	5.19	5.19	5.35	5.19
60	5.19	5.35	5.35	5.35	5.19	5.19	5.35	5.19
70	5.19	5.35	5.35	5.35	5.19	5.19	5.35	5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นเหล็กร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล และอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

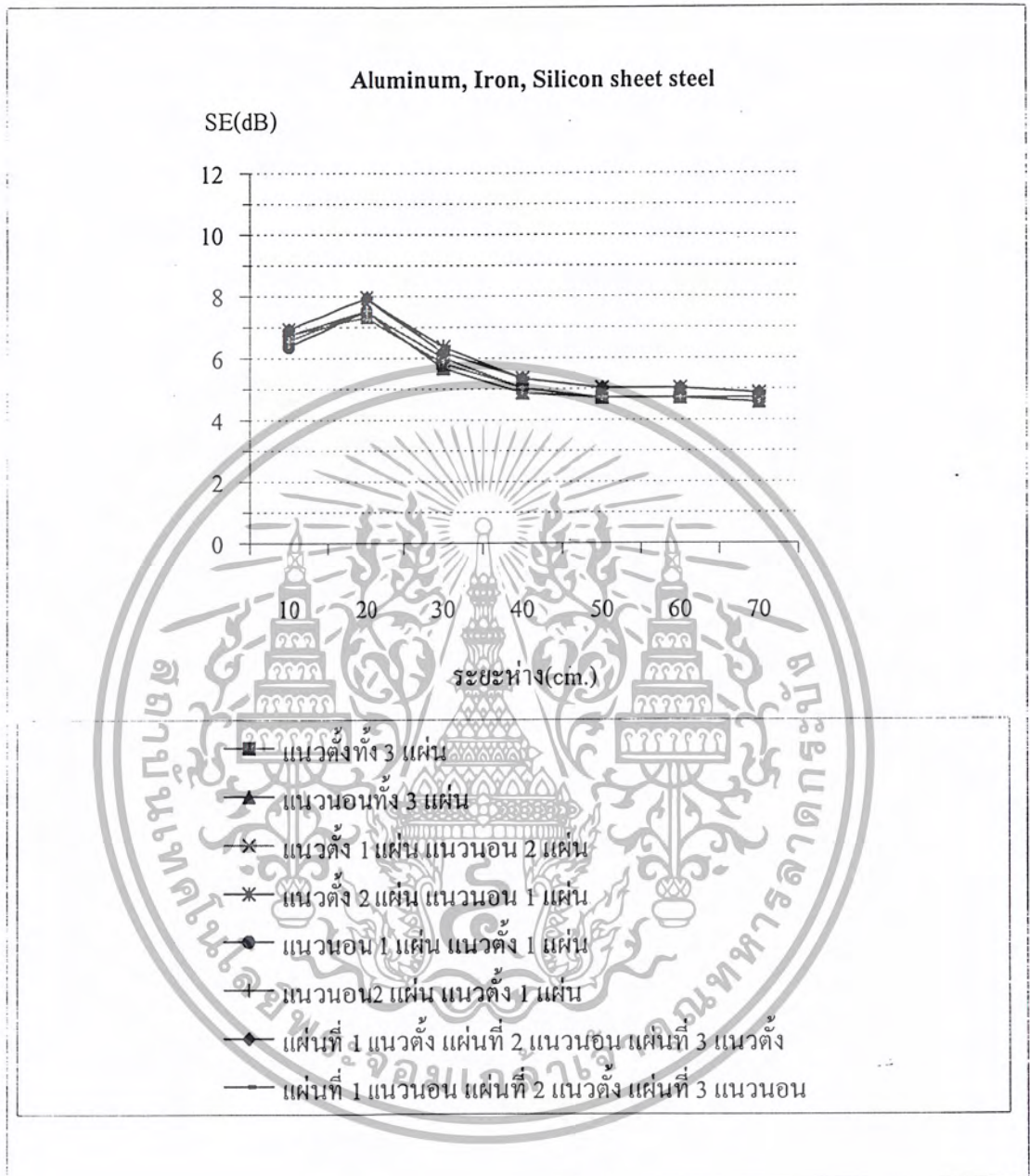
ตารางที่ 3.22 แสดงผลการทดลองของอลูมิเนียมร่วมกับเหล็กและซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	การจัดวางแผ่นโลหะ							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	4.6	4.6	4.5	4.5	4.8	4.7	4.5	4.5
20	4.3	4.2	4	4	4.2	4.2	4	4
30	5.1	5.2	4.9	4.8	5	5	4.9	4.8
40	5.6	5.7	5.4	5.4	5.6	5.6	5.4	5.4
50	5.8	5.8	5.6	5.6	5.8	5.8	5.6	5.6
60	5.8	5.8	5.6	5.6	5.8	5.8	5.6	5.6
70	5.8	5.9	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.7

ตารางที่ 3.23 แสดงค่า SE ของอลูมิเนียมร่วมกับเหล็กและซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	SE (dB)							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	6.74	6.74	6.94	6.94	6.38	6.56	6.94	6.94
20	7.33	7.54	7.96	7.96	7.54	7.54	7.96	7.96
30	5.85	5.68	6.20	6.38	6.02	6.02	6.20	6.38
40	5.04	4.88	5.35	5.35	5.04	5.04	5.35	5.35
50	4.73	4.73	5.04	5.04	4.73	4.73	5.04	5.04
60	4.73	4.73	5.04	5.04	4.73	4.73	5.04	5.04
70	4.73	4.58	4.88	4.88	4.73	4.73	4.88	4.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

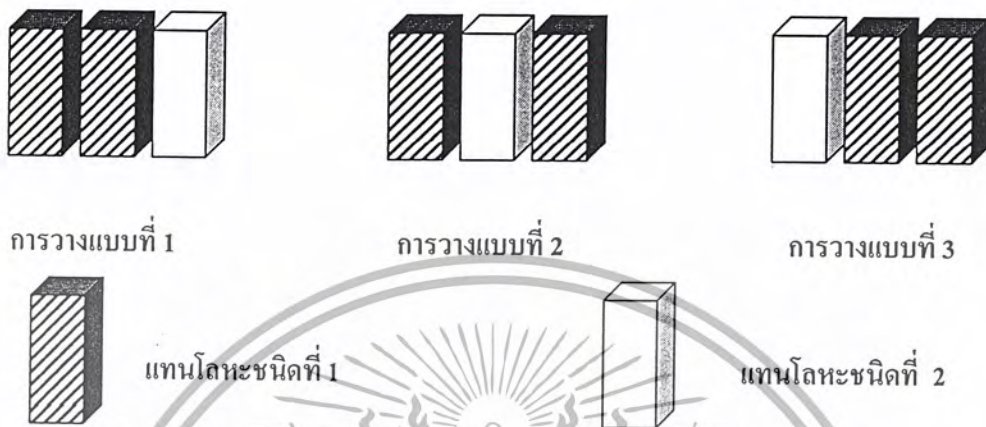


รูปที่ 3.16 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นอลูมิเนียมร่วมกับเหล็ก และซิลิกอนชีทสตีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การชิลด์โดยใช้โลหะ 2 ชนิด 3 แผ่น (ชนิดเดียวกัน 2 แผ่น)

เราจะทำการเลือกวัสดุที่ให้ผลการชิลด์ที่ดี จากที่ผ่านมา โดยเลือกเอาซิลิกอนซีทสตีล, เหล็ก, อลูมิเนียม, สังกะสี มาทำการวัดโดยจะจัดลักษณะการวางดังภาพ



รูปที่ 3.17 แสดงการวางแผ่นโลหะในการชิลด์โดยใช้โลหะ 2 ชนิด 3 แผ่น

การวางแผ่นโลหะคือใช้ซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นหรือเหล็ก 2 แผ่นจับคู่กับโลหะอื่นอีก 1 แผ่น ดังต่อไปนี้

- ซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่น วางรวมกันกับเหล็ก 1 แผ่น
- ซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่น วางรวมกันกับอลูมิเนียม 1 แผ่น
- ซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่น วางรวมกันกับ สังกะสี 1 แผ่น
- เหล็ก 2 แผ่น วางรวมกันกับซิลิกอนซีทสตีล 1 แผ่น
- เหล็ก 2 แผ่น วางรวมกันกับ อลูมิเนียม 1 แผ่น
- เหล็ก 2 แผ่น วางรวมกันกับสังกะสี 1 แผ่น

การทดลองในกรณีนี้เราจะทำที่ระยะ 10 cm. วัดจากจุดศูนย์กลางของหม้อแปลงไฟฟ้าระยะเดียวเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการทดลองที่ผ่านมา ทั้งหมดจะให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุดในระยะ 10 cm.

ผลการชิลด์ของโลหะ 2 ชนิด 3 แผ่น สามารถดูได้จากตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.24 แสดงผลการทดลองของซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับเหล็ก

การวาง แบบที่	ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (mG.)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	3.7	3.8	2.2	2.1	2.2	2.1	3.7	3.5
2	3.5	1.9	3.6	1.9	1.9	3.7	1.9	3.4
3	3.8	2.2	2.2	3.8	3.7	2.3	2.1	3.8

ตารางที่ 3.25 แสดงค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับเหล็ก

การวาง แบบที่	SE (dB)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	8.64	8.40	13.15	13.56	13.15	13.56	8.64	9.12
2	9.12	14.42	8.87	14.42	14.42	8.64	14.42	9.37
3	8.40	13.15	13.15	8.40	8.64	12.77	13.56	8.40

ตารางที่ 3.26 แสดงผลการทดลองของซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับอลูมิเนียม

การวาง แบบที่	ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (mG.)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	3.7	3.7	1.8	2	1.9	2.1	3.6	3.6
2	3.6	1.3	3.6	1.3	1.3	3.8	1.3	3.8
3	4.7	4.4	4.3	4.7	4.7	4.4	4.2	4.6

ตารางที่ 3.27 แสดงค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับอลูมิเนียม

การวาง แบบที่	SE (dB)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	8.64	8.64	14.89	13.98	14.42	13.56	8.87	8.87
2	8.87	17.72	8.87	17.72	17.72	8.40	17.72	8.40
3	6.56	7.13	7.33	6.56	6.56	7.13	7.54	6.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.28 แสดงผลการทดลองของซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี

การวาง แบบที่	ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (mG.)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	4.1	4.2	2.3	2.3	2.3	2.4	4.2	4.2
2	3.8	2	3.9	1.9	2.1	3.9	2.1	3.7
3	3.9	2.2	2.2	3.8	3.8	2.1	2.2	3.6

ตารางที่ 3.29 แสดงค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี

การวาง แบบที่	SE (dB)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	7.74	7.54	12.77	12.77	12.77	12.40	7.54	7.54
2	8.40	13.98	8.18	14.42	13.56	8.18	13.56	8.64
3	8.18	13.15	13.15	8.40	8.40	13.56	13.15	8.87

ตารางที่ 3.30 แสดงผลการทดลองของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับซิลิกอนซีทสตีล

การวาง แบบที่	ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (mG.)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	3.6	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5
2	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
3	3.7	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.4	3.4

ตารางที่ 3.31 แสดงค่า SE ของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับซิลิกอนซีทสตีล

การวาง แบบที่	SE (dB)							
		—	—	=	—	— —	==	≡
1	8.87	9.12	8.64	9.12	8.64	9.12	8.64	9.12
2	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
3	8.64	9.12	8.87	9.12	8.87	8.87	9.37	9.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.32 แสดงผลการทดลองของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับบอลูมิเนียม

การวาง แบบที่	ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (mG.)							
		—	—	=	—	— —	=	≡
1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.1	5.2	5.2	5.2
2	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
3	5.9	6	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9

ตารางที่ 3.33 แสดงค่า SE ของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับบอลูมิเนียม

การวาง แบบที่	SE (dB)							
		—	—	=	—	— —	=	≡
1	5.85	5.68	5.68	5.68	5.85	5.68	5.68	5.68
2	6.94	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74
3	4.58	4.44	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58

ตารางที่ 3.34 แสดงผลการทดลองของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี

การวาง แบบที่	ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (mG.)							
		—	—	=	—	— —	=	≡
1	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.4	5.3
2	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4	5.3
3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3

ตารางที่ 3.35 แสดงค่า SE ของเหล็ก 2 แผ่นร่วมกับสังกะสี

การวาง แบบที่	SE (dB)							
		—	—	=	—	— —	=	≡
1	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.51	5.35	5.51
2	5.35	5.35	5.35	5.35	5.51	5.35	5.35	5.51
3	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ผลการทดลองการซึบโดยใช้แผ่นโลหะ

จากผลการทดลองทุก กรณี กรณีที่ให้ผลการซึบได้ดังนี้

1.) การซึบโดยแยกตามชนิดของแผ่นโลหะ ที่ระยะ 10 cm. วัดจากจุดศูนย์กลางของหม้อแปลงไฟฟ้า ซิลิกอนซีทสตีลเป็นโลหะที่ให้ผลการซึบที่ดีที่สุด คือ ซิลค์ 1 แผ่นมีค่า SE 6.38 dB, ซิลค์ 2 แผ่น วางสลับแนวการเรียงตัวมีค่า SE 15.39 dB, ซิลค์ 3 แผ่น วางสลับแนวการเรียงตัวมีค่า SE 15.92 dB ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่า ถ้าวางซิลิกอนซีทสตีลให้มีแนวการเรียงตัวสลับกันจะให้ผลการซึบดีกว่าวางให้มีแนวการเรียงตัวเหมือนกันเกือบเท่าตัว

จากการเปรียบเทียบผลซึบของสังกะสีแผ่นเรียบและสังกะสีแผ่นลอน จะพบว่าให้ผลไม่ต่างกันมากนัก นั่นคือลักษณะของแผ่น โลหะไม่มีผลต่อการซึบมาก

2.) การซึบโดยใช้โลหะ 2 ชนิด ที่ระยะ 10 cm. วัดจากจุดศูนย์กลางของหม้อแปลงไฟฟ้า

ซิลิกอนซีทสตีลกับอลูมิเนียมให้ผลการทดลองดีที่สุดคือมีค่า SE 10.75 dB ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง และราคาไม่แพงเนื่องจากอลูมิเนียมมีราคาถูก

3.) การซึบโดยใช้โลหะ 2 ชนิด ที่ระยะ 10 cm. วัดจากจุดศูนย์กลางของหม้อแปลงไฟฟ้า

ผลการซึบขึ้นกับการจัดวางชนิดของแผ่น โลหะ ซึ่งถ้าให้อลูมิเนียมอยู่ตรงกลางระหว่างซิลิกอนซีทสตีล กับเหล็กจะให้ผลซึบที่ดีที่สุดคือมีค่า SE 12.04

4.) การซึบโดยใช้โลหะ 2 ชนิด 3 แผ่น (ชนิดเดียวกัน 2 แผ่น) ที่ระยะ 10 cm. วัดจากจุดศูนย์กลางของหม้อแปลงไฟฟ้า

ซิลิกอนซีทสตีล 2 แผ่น วางสลับแนวการเรียงตัว โดยมีแผ่นอลูมิเนียมอยู่กลางจะให้ผลซึบที่สูงมากคือค่า SE 17.72 dB ซึ่ง สูงกว่าใช้ซิลิกอนซีทสตีล 3 แผ่นด้วย

ส่วนผลการทดลองที่ไม่ได้ปรากฏอยู่ในบทนี้ เนื่องมาจากผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ แต่สามารถตรวจผลได้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 ถึง ก.15 และ รูปภาพ รูป ก.1 ถึง ก.7

จากผลการทดลองในบทนี้ ทำให้ได้โลหะ 2 ชนิดที่ให้ผลการซึบดี คือ ซิลิกอนซีทสตีลกับเหล็ก การทดลองขั้นต่อมาคือ นำโลหะมาทำเป็นกล่องเพื่อทดลองซึบกับหม้อแปลงและจอมอนิเตอร์

บทที่ 4

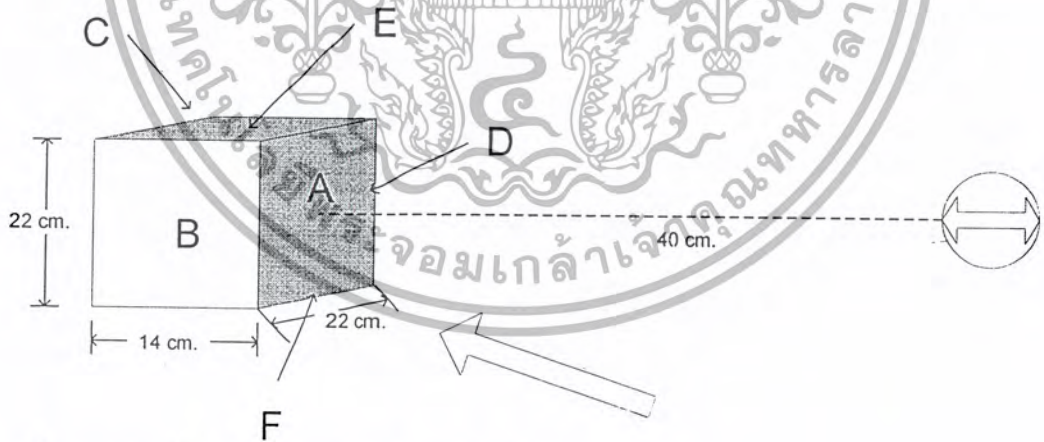
การซีลด์โดยใช้กล่องซีลด์

จากการทดลองในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าแผ่นซีลิกอนซีทสตีลและแผ่นเหล็กให้ผลการซีลด์ที่ดีกว่าแผ่นโลหะชนิดอื่น จึงนำแผ่นโลหะทั้งสองชนิดมาออกแบบทำเป็นกล่องซีลด์เพื่อประยุกต์ใช้งานจริงได้ และเนื่องจากวิธีการซีลด์มี 3 วิธีหลัก คือ ซีลด์ที่ตัวส่งสัญญาณรบกวน, ซีลด์ระหว่างทางเดินของสัญญาณรบกวน (อากาศ) และซีลด์ที่ตัวรับสัญญาณรบกวน จากบทที่ 3 เมื่อทำการซีลด์ใกล้กับตัวส่งสัญญาณรบกวนมากๆ โดยในโครงงานนี้ตัวส่งสัญญาณรบกวนคือหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นในบทที่ 4 นี้จึงเน้นไปที่การซีลด์ที่หม้อแปลงเป็นส่วนมาก

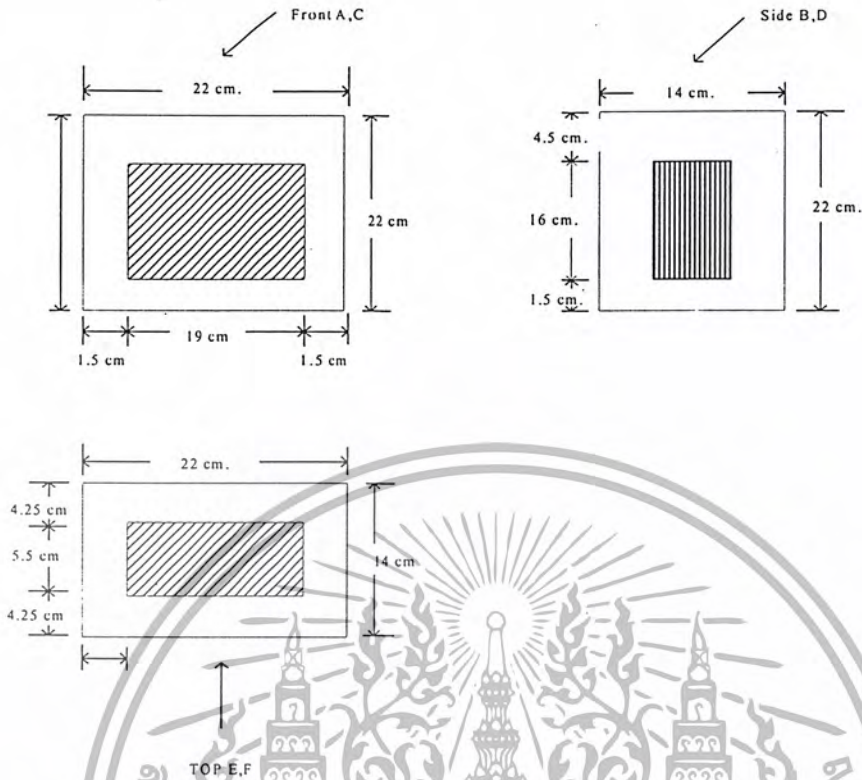
4.1 การทดลองซีลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องซีลด์

ในการทดลองนี้ต้องการคุณภาพการซีลด์ของแผ่นโลหะเมื่อนำมาทำเป็นกล่องซีลด์ ซึ่งจะใช้โลหะสองชนิดคือ ซีลิกอนซีทสตีลและเหล็กเนื่องจากเป็นชนิดที่ให้ผลดีในบทที่ผ่านมา และมีการทดลองคุณภาพซีลด์ในกรณีที่ต้องการให้กล่องซีลด์มีการระบายความร้อนด้วยการเปิดฝากล่องด้านต่างๆ ว่าเมื่อด้านใดจะให้ผลซีลด์ที่ดีกว่าและส่งผลกระทบต่อการซีลด์น้อยที่สุด

4.1.1 การออกแบบกล่องซีลด์และวิธีการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงกล่องซีลด์ที่ใช้ครอบหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 แสดงขนาดของกล่องซิลด์และตำแหน่งหม้อแปลง

- หมายเหตุ**
1. หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส , 1 KVA, 1:1, 220 V.
 2. โหลดหลอดไฟ 10 หลอด หลอดละ 100 watt
 3. ที่สภาวะ No - Load
 - ค่าทางด้าน primary 223.3 V, 0.1 A
 - ค่าทางด้าน secondary 223 V, 0 A
 4. ที่สภาวะ On - Load
 - ค่าทางด้าน Primary 221.3 V, 4.6 A
 - ค่าทางด้าน Secondary 203.2 V, 4.4 A

กล่องซิลด์ในรูปที่ 4.1, 4.2 นี้สร้างเพื่อต้องการวัดผลการซิลด์ในทุกๆ ด้านและทำการวัดเมื่อเปิดฝากล่องในด้านต่างๆ จึงทำการตัดแผ่น โลหะออกเป็นชิ้นและทำการประกอบเป็นกล่องขนาด 14 x 22 x 22 cm. ส่วนหม้อแปลงให้นำมาวางตรงกึ่งกลางของกล่องดังรูปที่ 4.2 ในการประกอบกล่องนั้นจะใช้แผ่นฟอยล์มาเป็นตัวเชื่อมดังรูปในภาคผนวก ข รูป ข.8, ข.9 เนื่องจากต้องการลดสนามแม่เหล็กที่จะสามารถรั่วออกมาจากบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่น โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าการสั่นไหวในการทดลองนี้จะทำการวัดที่ระยะ 40 cm. จากหม้อแปลงเนื่องจากต้องการเปรียบเทียบผลสั่นไหวในด้านต่างๆ รวมถึงต้องการพิจารณาแนวโน้มของผลสั่นไหวเมื่อเปิดด้านต่างๆ ซึ่งถ้าทำการทดลองที่ระยะไกลๆค่าสนามแม่เหล็กจะค่อนข้างน้อยทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ โดยตารางแสดงผลการทดลองต่างๆมีดังนี้

4.1.2 การสั่นไหวหม้อแปลงโดยกล่องสั่นชนิดชนิดซิลิกอนชิทสตีล มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากกล่องสั่นชนิดชนิดซิลิกอนชิทสตีลแบบปิดทุกด้าน

ลักษณะที่ทำการสั่น	ด้านที่วัด	ก่อนสั่น (mG)	หลังสั่น (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่				
			1	2	3		
ปิดทุกด้าน	A	201	38	37.8	37.9	37.9	14.49
	B	112.9	10.2	10	10.3	10.17	13.91
	C	216	38.9	39	38.7	38.87	17.38
	D	106	14.4	14.3	14.3	14.33	13.44
	E	122.8	17.5	17.6	18	17.7	17.38
	F	69.7	45.2	45.3	45.5	45.32	5.71

ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากกล่องสั่นชนิดชนิดซิลิกอนชิทสตีลแบบเปิดด้านบนและด้านล่าง

ลักษณะที่ทำการสั่น	ด้านที่วัด	ก่อนสั่น (mG)	หลังสั่น (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่				
			1	2	3		
เปิดด้านบนและด้านล่าง	A	201	70.2	69.5	69.8	69.83	9.18
	B	112.9	11.4	11.5	11.4	11.43	19.89
	C	216	50.4	50.5	50.6	50.50	12.62
	D	106	4.3	4.9	4.8	4.67	27.13
	E	122.8	59.6	59.8	60	59.80	6.25
	F	69.7	65.3	65.6	65.7	65.53	0.54

ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านซ้ายและด้านขวา

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปิด ด้านซ้าย และขวา	A	201	66.5	66.4	67	66.63	9.59
	B	112.9	84.4	84.5	83.3	84.07	2.56
	C	216	72	71.9	71.1	71.67	9.58
	D	106	71.7	71.5	71.2	71.47	3.42
	E	122.8	26.8	26.9	26.9	26.87	13.20
	F	69.7	49.9	50.1	50.4	50.13	2.86

ตารางที่ 4.4 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปิด ด้านหน้า และหลัง	A	201	210	209	210	209.67	-0.37
	B	112.9	95.8	95.4	96.5	95.90	1.42
	C	216	194.5	194.6	192.5	193.87	0.94
	D	106	92.8	95	92.7	93.50	1.09
	E	122.8	106.4	105.5	105.8	105.90	1.29
	F	69.7	60.5	61.3	60.8	60.87	1.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านบน

ลักษณะที่ ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปิดด้านบน	A	201	42.5	42.8	42.9	42.73	13.45
	B	112.9	7.2	7.1	7.5	7.27	23.83
	C	216	43.2	43.4	43.7	43.43	13.93
	D	106	9.9	10	9.7	9.87	20.62
	E	122.8	54.3	54.5	53.8	54.20	7.10
	F	69.7	43	41.4	42.8	42.40	4.32

ตารางที่ 4.6 แสดงผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดชิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านล่าง

ลักษณะที่ ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปิด ด้านล่าง	A	201	54	54	53.9	53.97	11.42
	B	112.9	15.5	15.2	15	15.23	17.40
	C	216	47.7	47.7	48	47.80	13.10
	D	106	6.2	6.1	6.1	6.13	24.76
	E	122.8	25.7	23.6	23.4	24.23	14.10
	F	69.7	72.9	72.8	73	72.90	-0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดซิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านซ้าย

ลักษณะที่ ทำการชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านซ้าย	A	201	44.7	44.1	44.5	44.43	13.11
	B	112.9	99.2	99.4	98.4	99.00	1.14
	C	216	66	65.9	67	66.30	10.26
	D	106	17.4	17.5	17.7	17.53	15.63
	E	122.8	5.4	5.6	5.5	5.50	26.98
	F	69.7	52.5	52.4	52.2	52.37	2.48

ตารางที่ 4.8 แสดงผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดซิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านขวา

ลักษณะที่ ทำการชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านขวา	A	201	57.6	57.4	57.9	57.63	10.85
	B	112.9	13.9	13.8	13.6	13.77	18.28
	C	216	49.2	49.3	49.6	49.37	12.82
	D	106	78.1	77.8	78	77.97	2.67
	E	122.8	6.6	6.7	6.6	6.63	25.35
	F	69.7	46	45.9	46.1	46.00	3.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านหน้า

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านหน้า	A	201	244	241	243	242.67	-1.64
	B	112.9	45	45.6	44.4	45.00	7.99
	C	216	8.2	8.1	8.2	8.17	28.45
	D	106	57.1	51	52.6	53.57	5.93
	E	122.8	55.4	56.1	55.3	55.60	6.88
	F	69.7	59.7	58.6	58.4	58.90	1.46

ตารางที่ 4.10 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านหลัง

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลัง ซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านหลัง	A	201	9.4	9.3	9.8	9.50	26.51
	B	112.9	45.6	45.7	46.5	45.93	7.81
	C	216	236	235	233	234.67	-0.72
	D	106	52.3	52.4	52.3	52.33	6.13
	E	122.8	55.8	55.6	55.3	54.50	7.06
	F	69.7	46.9	46.6	46.4	46.63	3.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การชี้วัดหม้อแปลงโดยกล่องชี้วัดชนิดเหล็ก มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.11 แสดงผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดเหล็กแบบปิดทุกด้าน

ลักษณะที่ ทำการชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
ปิดทุกด้าน	A	201	50.6	51	51.2	50.93	11.92
	B	112.9	56.1	56.3	56.4	56.27	6.05
	C	216	69.5	69.5	69.7	69.57	9.84
	D	106	46.9	47.3	47.4	47.20	7.03
	E	122.8	19.3	19.2	19.5	19.33	16.06
	F	69.7	27.5	27.6	27.1	27.40	8.11

ตารางที่ 4.12 แสดงผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดเหล็กแบบเปิดด้านบนกับด้านล่าง

ลักษณะที่ ทำการชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อน shield (mG)	หลัง shield (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านบนกับ ด้านล่าง	A	201	71.2	71.4	71.2	71.27	9.01
	B	112.9	26.7	26.5	26.9	26.70	12.52
	C	216	81.3	80.6	80.9	80.93	8.53
	D	106	41.7	42.1	41.9	41.90	8.06
	E	122.8	45.2	45.1	45.4	45.23	8.67
	F	69.7	65.9	66	65.8	65.90	0.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านซ้ายกับด้านขวา

ลักษณะที่ ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่				
			1	2	3		
เปิด ด้านซ้าย และ ด้านขวา	A	201	69.6	69.7	69.9	69.73	9.20
	B	112.9	87.6	87.7	87.3	87.53	2.21
	C	216	98.1	98.3	97.8	98.07	6.86
	D	106	92.4	92.5	92.1	92.33	1.20
	E	122.8	7.5	7.7	7.8	7.67	24.09
	F	69.7	30.7	30.6	30.9	30.73	7.11

ตารางที่ 4.14 แสดงผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ลักษณะที่ ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่				
			1	2	3		
เปิด ด้านหน้า และ ด้านหลัง	A	201	196.4	197.1	196.7	196.73	0.19
	B	112.9	23.7	91.6	90.8	68.70	4.31
	C	216	81.3	217	215	171.10	2.02
	D	106	41.7	108.6	107.7	86.00	1.82
	E	122.8	45.2	110.7	110.8	88.90	2.81
	F	69.7	65.9	67.5	68	67.13	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านบน

ลักษณะที่ ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านบน	A	201	54.2	53.6	54.3	54.03	11.41
	B	112.9	39.8	39.7	39.3	39.60	9.10
	C	216	77.1	77.8	77.4	77.43	8.91
	D	106	47.4	47.8	47.2	47.47	6.98
	E	122.8	52.8	52.5	52.6	52.63	7.36
	F	69.7	23	22.8	22.7	22.83	9.69

ตารางที่ 4.16 แสดงผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านล่าง

ลักษณะที่ ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านล่าง	A	201	67.5	67.9	67.7	67.70	9.45
	B	112.9	31.4	31.2	31.5	31.37	11.12
	C	216	73.7	73.4	73.5	73.53	9.36
	D	106	4.14	4.15	4.14	4.14	28.16
	E	122.8	13.9	14	13.9	13.93	18.90
	F	69.7	71.2	71.1	70.8	71.03	-0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านซ้าย

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านซ้าย	A	201	61.4	61.1	61.5	61.33	10.31
	B	112.9	80.2	80	79.8	80.00	2.99
	C	216	86.7	86.8	86.5	86.67	7.93
	D	106	52.8	52.7	53	52.83	6.05
	E	122.8	16.9	17.1	17.3	17.10	17.12
	F	69.7	27.7	27.9	27.6	27.73	8.00

ตารางที่ 4.18 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านขวา

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านขวา	A	201	61.4	61.3	61.2	61.30	10.31
	B	112.9	43.5	43.6	43.2	43.43	8.30
	C	216	81.5	81.6	81.2	81.43	8.47
	D	106	86.3	86.9	87	86.73	1.74
	E	122.8	15.3	15.2	15.5	15.33	18.07
	F	69.7	30	29.9	29.7	29.87	7.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านหน้า

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านหน้า	A	201	211	208	211	210.00	-0.38
	B	112.9	66.9	67	67.1	67.00	4.53
	C	216	45.8	46	45.5	45.77	13.48
	D	106	74.6	74.7	74.1	74.47	3.07
	E	122.8	61.6	60.8	61.3	61.23	6.04
	F	69.7	45.9	46.4	45.6	45.97	3.62

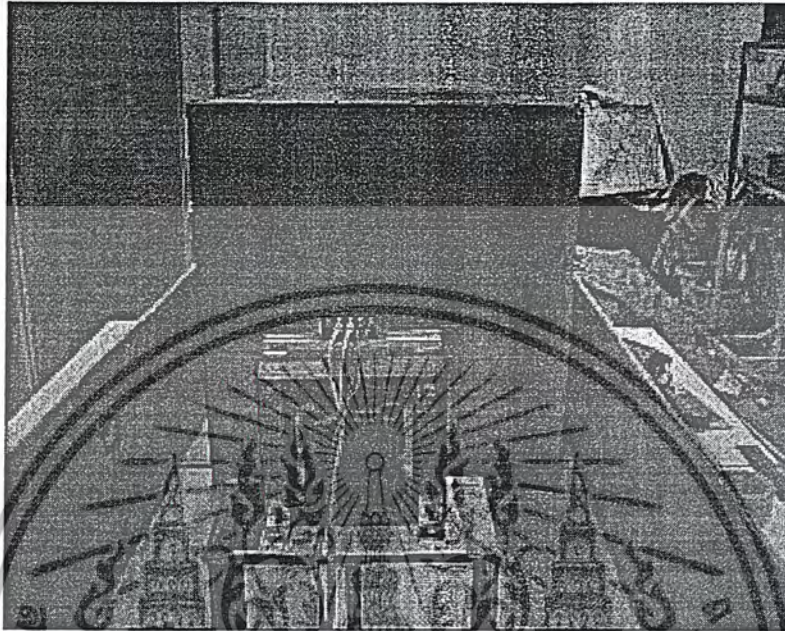
ตารางที่ 4.20 แสดงผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดเหล็กแบบเปิดด้านหลัง

ลักษณะที่ ทำการซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิด ด้านหลัง	A	201	30.1	30.2	29.8	30.03	16.51
	B	112.9	65.7	65.8	65.5	65.67	4.71
	C	216	239	240	242	240.33	-0.93
	D	106	73.5	73.4	75	73.97	3.13
	E	122.8	67.2	67.4	67.6	67.40	5.21
	F	69.7	44.9	45.1	45.7	45.23	3.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทำการชิลด์ที่จอมอนิเตอร์ด้วยกล่องชิลด์

ใช้โลหะ Iron ทำเป็น Box Shielding ครอบที่จอมอนิเตอร์คอมพิวเตอร์ โดยจะเปิด ด้านหน้าและด้านล่าง



รูปที่ 4.3 แสดงวิธีการทดลองชิลด์ที่จอมอนิเตอร์

จัดให้ EMF meter อยู่ในระยะที่เมื่อทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก่อนการชิลด์แล้ววัดค่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 10 mG หลังจากทำการชิลด์ตามวิธีการทดลองแล้ว จะได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดลองชิลด์ที่จอมอนิเตอร์

โลหะที่นำมาใช้ในการชิลด์	ค่าสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้า (mG)	SE ⁺⁺ (dB)
Box Shielding ที่ทำจาก Iron ทำการชิลด์ คอมพิวเตอร์	8.4	1.51

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการชิลด์ที่จอมอนิเตอร์นั้นสามารถลดผลของสนามแม่เหล็กได้เช่นเดียวกัน

4.3 ผลการทดลองของกล่องซีลด์

จากการทดลองซีลด์หุ้มแปลงด้วยกล่องที่ทำจากซิลิกอนซีทสตีลและเหล็กที่ระยะ 40 cm. จากหุ้มแปลง โดยสนใจการซีลด์สนามแม่เหล็กด้านหน้าหุ้มแปลงซึ่งเป็นด้านที่มีค่าสนามแม่เหล็กมากที่สุด กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือ กล่องซีลด์ที่เปิดด้านหลัง โดยกล่องซิลิกอนซีทสตีลให้ค่า SE 26.51dB และกล่องเหล็กให้ค่า SE 16.51 dB ส่วนการเปิดกล่องทางด้านข้างหรือด้านบน,ล่าง ผลซีลด์ทางด้านหน้าจะมีค่า SE ลดลงเล็กน้อย

ส่วนการซีลด์จอมอนิเตอร์ด้วยกล่องให้ผลซีลด์ไม่ค่อยดีนัก อีกทั้งยังไม่สะดวกและสิ้นเปลืองเนื่อง จากต้องซีลด์ที่จอมอนิเตอร์ทุกตัว

ผลการทดลองของกล่องซีลด์บางด้านที่ไม่ได้ปรากฏอยู่ในบทนี้สามารถตรวจหาผลได้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.16 ถึง ก.21

กล่องซีลด์ที่เปิดด้านหลังจะให้ผลการซีลด์ทางด้านหน้าที่ดีขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากสนามแม่เหล็กที่สะท้อนกลับมาจากด้านหลัง ในการทดลองขั้นต่อไปจะทดสอบการสะท้อนสนามแม่เหล็กของแผ่นโลหะ



บทที่ 5

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่น โลหะ

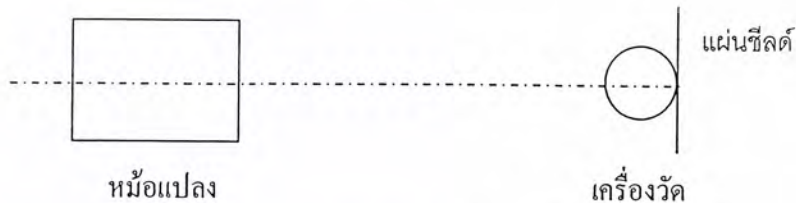
บทที่ 5 นี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการทดสอบเกี่ยวกับการสะท้อนของแผ่นโลหะ ในที่นี้จะทำการทดสอบที่แผ่นซิลิกอนชิสต์สตีล ซึ่งเป็นชนิดที่ให้ผลการทดลองที่ชัดเจนที่สุดในบรรดาโลหะชนิดต่างๆ ที่ใช้ในโครงการนี้ ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบดูว่าแผ่นโลหะที่ใช้ในโครงการนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำสนามแม่เหล็กหรือไม่ และในที่สุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการชีลด์จากทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพการชีลด์ที่ได้จากการทดลอง

5.1 การทดสอบการสะท้อนของแผ่นซิลิกอนชิสต์สตีล

จากการทดลองในบทที่ 4 กรณีที่ทำการเปิดด้านหลังของกล่องชีลด์แล้วทำให้ค่าสนามแม่เหล็กทางด้านหน้ามีค่าลดลง ส่วนเมื่อวัดค่าสนามแม่เหล็กด้านหลังที่เปิดออกจะเห็นว่าค่าสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการสะท้อนของแผ่นโลหะก็เป็นได้ จึงได้ทำการทดสอบนี้ขึ้น โดยวิธีการทดสอบได้แสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่ระยะต่างๆ ก่อนใช้แผ่นกัน



รูปที่ 5.2 แสดงการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่ระยะต่างๆ หลังใช้แผ่นกัน

หมายเหตุ 1. หม้อแปลงขนาด 1 เฟส 1 kVA, 220V 50Hz, turn ratio 1:1

2. โหลดหลอดไฟ 600 W (6 หลอด หลอดละ 100 W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การพิจารณาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 ทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระยะต่างๆ จากนั้นจึงใช้แผ่นซีลิกอนซีทสตีล มากั้นดังรูปที่ 5.2 ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการสะท้อนจากแผ่นซีลิกอนซีทสตีลกลับมาที่เครื่องวัด โดยที่เครื่องวัดสามารถอ่านค่าที่เปลี่ยนแปลงไปได้เนื่องจากตัว Sensor ของเครื่องวัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 cm. นั่นก็คือมีระยะทางพอให้สนามแม่เหล็กที่สะท้อนกลับมาถูกเครื่องวัดทำการวัดค่าได้ โดยค่าการสะท้อนสามารถหาได้จาก

$$R_{(mG)} = \text{ค่าที่วัดได้หลังกัน} - \text{ค่าที่วัดได้ก่อนกัน} \quad (5.1)$$

$$R_{(dB)} = 20 \log \frac{H_b}{H_a} \quad (5.2)$$

โดย H_b = สนามแม่เหล็กก่อนซีลด์

H_a = สนามแม่เหล็กหลังซีลด์

ผลการทดสอบ ได้แสดงในตารางที่ 5.1

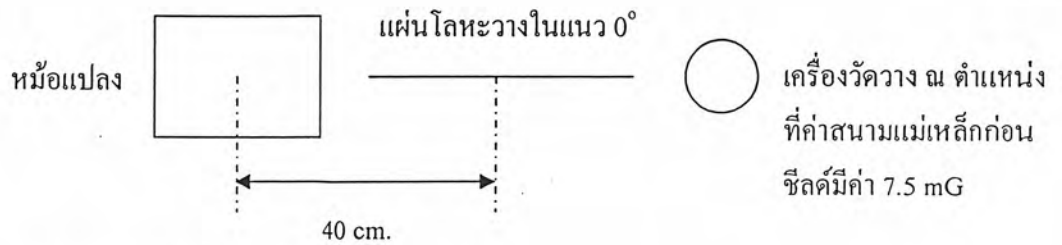
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบค่าการสะท้อนของแผ่นซีลิกอนซีทสตีล

ระยะที่ใช้แผ่นกัน (cm.)	ค่าสนามแม่เหล็ก ก่อนซีลด์ (mG)	ค่าสนามแม่เหล็ก หลังซีลด์ (mG)	ค่า Reflect (mG)	ค่า Reflect (dB)
40	163.5	235	71.5	- 3.15
50	65.5	89.7	24.2	- 2.73
60	28.5	39.3	10.8	- 2.79
70	14.7	20.1	5.4	- 2.71
80	8.1	11.2	3.1	- 2.81
90	4.9	6.5	1.6	- 2.45

5.2 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อวางแผ่นซีลด์ในแนว 0° (แนวขนานกับทิศทางที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากที่สุดซึ่งเป็นแนวที่ต้องการซีลด์ดังรูปที่ 5.3)

ในการทดสอบการซีลด์ ถ้าทำการทดสอบบนโต๊ะที่มีโครงเหล็กเป็นส่วนประกอบ เช่น เกนกลางของโต๊ะ จะทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งอาจเกิดจากการที่โครงเหล็กของโต๊ะสามารถนำพาสนามแม่เหล็กได้ ทำให้สนามแม่เหล็กบางส่วนเคลื่อนที่ไปตามโครงเหล็กแทนที่จะกระจายไปในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงการทดสอบ โดยวางแผ่นซีลด์ในแนว 0°

- หมายเหตุ 1. หม้อแปลงขนาด 1 เฟส 1 kVA, 220V 50Hz, turn ratio 1:1
2. โหลดหลอดไฟ 600 W (6 หลอด หลอดละ 100W)

ในรูปที่ 5.3 แสดงถึงวิธีการทดสอบ โดยจะพิจารณาได้ว่ามีสนามแม่เหล็กบางส่วนเดินทางไปตามแผ่นโลหะแทนที่จะกระจายไปในอากาศ เนื่องจากแผ่นโลหะนั้นมีความซึมซาบแม่เหล็กสูงกว่าอากาศทำให้ค่าสนามแม่เหล็กในแนวนี้มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อวางแผ่นซีลด์ในแนว 0°

ชนิดโลหะ	ก่อนใส่แผ่นซีลด์ (mG)	หลังใส่แผ่นซีลด์ (mG)	
		แนวตั้ง	แนวนอน
ซิลิกอนชีทสตีล	7.5	7.5	152.8
เหล็ก	7.5	14.5	14.5
อลูมิเนียม	7.5	7.5	7.5
ทองเหลือง	7.5	7.5	7.5

จากการทดลองที่ 5.2 จะเห็นว่า

- การวางแผ่นซีลด์ในแนว 0° (แนวขนานกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีค่ามากที่สุด) ไม่สามารถลดผลของสนามแม่เหล็กได้
- แผ่นโลหะที่มีค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์สูง ได้แก่ ซิลิกอนชีทสตีลและเหล็ก เมื่อนำมาซีลด์ในแนว 0° จะทำหน้าที่เป็นตัวนำแม่เหล็กที่ดี และทำให้สนามแม่เหล็กในแนว 0° มีค่าเพิ่มขึ้น

5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการซีลด์ที่ได้จากผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎี
 ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการซีลด์ที่ได้จากผลการทดลองและจากการคำนวณ
 ทางทฤษฎีว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่โดยเลือกเอาแผ่นซิลิกอนซีทสตีลมาทำการวิเคราะห์ดังนี้

5.3.1 หาประสิทธิภาพการซีลด์จากการทดลอง

นำแผ่นซิลิกอนซีทสตีลมาถักนทางเดินสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำแล้ววัดค่า
 สนามแม่เหล็กก่อนซีลด์และหลังซีลด์ที่ระยะ 40 cm. จากหม้อแปลงได้ผลดังนี้

สนามแม่เหล็กก่อนซีลด์วัดค่าได้ 201 mG

สนามแม่เหล็กหลังซีลด์วัดค่าได้ 77 mG

จากสมการที่ (2.13) จะได้ประสิทธิภาพการซีลด์ดังนี้

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{201}{77} \right) = 8.33 \text{ dB}$$

5.3.2 หาประสิทธิภาพการซีลด์จากการคำนวณ

แผ่นซิลิกอนซีทสตีลมีค่าต่างๆดังนี้

$$\mu_r \text{ ประมาณ } 6400 - 25000, \sigma_r = 0.036, t = 0.3 \text{ mm.}$$

- ที่ $\mu_r = 6400$

จาก (2.37) ค่าวนค่าการดูดซับดังนี้

$$A_{dB} = 131.4 t_{mm} \sqrt{f_{MHz} \mu_r \sigma_r}$$

$$= 131.4 \times 0.3 \times \sqrt{50 \times 10^{-6} \times 6400 \times 0.036}$$

$$= 4.23 \text{ dB}$$

จาก (2.38) ค่าวนค่าการสะท้อนดังนี้

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{(1+k)^2}{4k} \right|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ Magnetic fields (Low-impedance fields)

$$k = r \sqrt{2\pi f \sigma \mu_0 / \mu_r}$$

$$k = \left(0.4 \times \sqrt{\frac{2\pi \times 50 \times 0.036 \times 5.8 \times 10^7 \times 4\pi \times 10^{-7}}{6400}} \right)$$

$$k = 0.1436$$

จะได้

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{(1 + 0.1436)^2}{4 \times 0.1436} \right|$$

$$R_{dB} = 7.147 \text{ dB}$$

จาก (2.43) จำนวนค่าการ Re-Reflection ดังนี้

$$RR_{dB} = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-0.23 A_{dB}} (1+j) \right|$$

$$RR_{dB} = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{0.1436-1}{0.1436+1} \right)^2 e^{-(0.23 \times 4.23)} (1+j) \right|$$

$$RR_{dB} = -2.07 \text{ dB}$$

จะได้

$$SE_{dB} = A_{dB} + R_{dB} + RR_{dB}$$

$$SE_{dB} = 4.23 + 7.147 - 2.07$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SE_{dB} = 9.307 dB$$

- ที่ $\mu_r = 25000$

จาก (2.37) คำนวณค่าการดูดซับดังนี้

$$\begin{aligned} A_{dB} &= 131.4 t_{mm} \sqrt{f_{MHz} \mu_r \sigma_r} \\ &= 131.4 \times 0.3 \times \sqrt{50 \times 10^{-6} \times 25000 \times 0.036} \\ &= 8.36 dB \end{aligned}$$

จาก (2.38) คำนวณค่าการสะท้อนดังนี้

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{(1+k)^2}{4k} \right|$$

ที่ Magnetic fields (Low-impedance fields)

$$k = r \sqrt{2\pi f \sigma \mu_0 / \mu_r}$$

$$k = \left(0.4 \times \sqrt{\frac{2\pi \times 50 \times 0.036 \times 5.8 \times 10^7 \times 4\pi \times 10^{-7}}{25000}} \right)$$

$$k = 0.0726$$

จะได้

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{(1 + 0.0726)^2}{4 \times 0.0726} \right|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{(1 + 0.0726)^2}{4 \times 0.0726} \right|$$

$$R_{dB} = 11.96 \text{ dB}$$

จาก (2.43) คำนวณค่าการ Re-Reflection ดังนี้

$$RR_{dB} = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-0.23 A_{dB}} (1+j) \right|$$

$$RR_{dB} = 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{0.0726-1}{0.0726+1} \right)^2 e^{-(0.23 \times 8.36)} (1+j) \right|$$

$$RR_{dB} = -1.005 \text{ dB}$$

จะได้

$$SE_{dB} = A_{dB} + R_{dB} + RR_{dB}$$

$$SE_{dB} = 8.36 + 11.96 - 1.005$$

$$SE_{dB} = 19.315 \text{ dB}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาในแต่ละกรณีนั้นไม่ว่าจะเป็นการชิลด์ 1 แผ่นหรือ 2 แผ่น ก็ตาม ถ้าเป็นโลหะที่ต่างชนิดกันจะให้ผลในการลดทอนค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการดูดกลืน (Absorption) และการสะท้อน (Reflection) กลืนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโลหะแต่ละชนิดที่จะแตกต่างกันออกไปตามแต่ค่า ความหนา (thickness), ลักษณะของพื้นผิว, ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ จากการศึกษาทดลองที่ผ่านมาเราได้ทำการทดลองจนได้ผลการทดลองจนเป็นที่น่าพอใจ โดยได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการวางแผ่นโลหะที่เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 6.1 แสดงการชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะ

ชนิดโลหะ	วิธีการวาง	1 แผ่น	2 แผ่น แนว gain เดียวกัน	2 แผ่น แนว gain ตั้งฉาก กัน	3 แผ่น แนว gain เดียวกัน	3 แผ่น มี 1 แผ่นที่ gain ตั้ง- ฉากกับ 2 แผ่นที่ เหลือ
1. ชิลิกอนซีทิสต์		***	***	*****	***	*****
2. เหล็ก		*	**	**	**	**
3. อลูมิเนียม		*	*	*	**	**
4. สังกะสี		*	*	*	**	**
5. สแตนเลส		-	-	-	-	-
6. ทองเหลือง		*	*	*	-	-
7. สังกะสีลอน		*	*	*	*	*
8. ชิลิกอน + อลูมิเนียม		-	*****	*****	-	-
9. ชิลิกอน + สังกะสี		-	***	***	-	-
10. ชิลิกอน + สังกะสีลอน		-	***	***	-	-
11. ชิลิกอน + เหล็ก		-	***	***	-	-
12. ชิลิกอน + เหล็ก + อลูมิเนียม		-	-	-	****	****
13. ชิลิกอน 2 แผ่น* + อลูมิเนียม		-	-	-	***	*****
14. ชิลิกอน 2 แผ่น* + สังกะสี		-	-	-	***	*****
15. ชิลิกอน 2 แผ่น* + สังกะสีลอน		-	-	-	***	*****
16. ชิลิกอน 2 แผ่น* + เหล็ก		-	-	-	***	*****

* คือ แผ่นชิลิกอนที่ตั้งฉากกับแผ่นอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ใช่อุปกรณ์ที่มีราคา 12 dB ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
* คือ ช่วง SE 0 ถึง 3 dB **** คือ ช่วง SE 9 ถึง 12 dB
** คือ ช่วง SE 3 - 6 dB ***** คือ ช่วง >12 dB ขึ้นไป
*** คือ ช่วง SE 6 - 9 dB - คือ ไม่สามารถชิลด์สนามแม่เหล็กได้

6.2 สรุปผลการชิลด์โดยใช้กล่องชิลด์

จากการทดลองตอนที่ 1 นำโลหะที่ให้ผลการชิลด์ที่ดีมาทำเป็นกล่องครอบหุ้มแปลงเพื่อลดผลของสนามแม่เหล็กจากหุ้มแปลงความถี่ต่ำที่ผ่านมาจากอากาศทำให้จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ผิดปกติไปซึ่งเราได้เลือกชิลคอนซีทสตีลกับเหล็กมาทำเป็นกล่องชิลด์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาได้ทำเป็นตารางเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 6.2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชิลด์สนามแม่เหล็กด้านหน้าหุ้มแปลง (ด้านที่วางคอมพิวเตอร์) เมื่อใช้กล่องที่ทำจากชิลคอนซีทสตีลและเหล็กในการชิลด์

แผ่นโลหะที่ใช้ทำ กล่อง ลักษณะกล่อง	ชิลคอนซีทสตีล gain แนวนอน	เหล็ก gain แนวนอน
1.ปิดทุกด้าน	***	**
2.เปิดด้านหน้า	-	-
3.เปิดด้านหลัง	*****	***
4.เปิดด้านซ้าย	**	**
5.เปิดด้านขวา	**	**
6.เปิดด้านบน	**	**
7.เปิดด้านล่าง	**	**
8.เปิดด้านบนและล่าง	**	**
9.เปิดด้านซ้ายและขวา	**	**
10.เปิดด้านหน้าและหลัง	-	*
11.เปิดด้านบนและหลัง	*****	***
12.เปิดด้านล่างและหลัง	*****	***
13.เปิดด้านบน, ล่างและหลัง	***	**

ประสิทธิภาพการชิลด์ (SE)

- | | | | |
|-----|-----------------------|-------|-----------------------------------|
| * | คือช่วง SE 0 - 6 dB | **** | คือช่วง SE 18-24 dB |
| ** | คือช่วง SE 6 - 12 dB | ***** | คือช่วง >24 dB ขึ้นไป |
| *** | คือช่วง SE 12 - 18 dB | - | คือ ไม่สามารถชิลด์สนามแม่เหล็กได้ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นโลหะ

การทดสอบการสะท้อนของแผ่นซิลิกอนซีทสตีล

การทดลองนี้เป็นการทดลองวัดการสะท้อนของแผ่นโลหะว่ามีการสะท้อนจริงหรือไม่เพื่อสนับสนุนการทดลองที่ 2 ว่าเมื่อทำการซีลด์ด้านหน้าห้อยแปลงด้วยกล่องโลหะ กรณีที่ทำการเปิดด้านหลังของกล่องทำให้การซีลด์ด้านหน้าห้อยแปลงดีขึ้นเนื่องจากเมื่อปิดด้านหลังจะมีสนามแม่เหล็กสะท้อนมายังด้านหน้าทำให้ประสิทธิภาพการซีลด์ลดลง

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองจะเห็นว่าแผ่นโลหะซิลิกอนซีทสตีลมีการสะท้อนเกิดขึ้นจริง
2. กล่องซีลด์ที่เปิดด้านหลังจะให้ผลการซีลด์ที่ดีขึ้นเนื่องจากไม่มีสนามแม่เหล็กสะท้อนจากด้านหลังมายังด้านหน้าห้อยแปลง

การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อวางแผ่นซีลด์ในแนว 0°

การทดลองนี้เป็นการทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อวางแผ่นซีลด์ในแนว 0° (แนวขนานกับทิศทางที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากที่สุดซึ่งเป็นแนวที่ต้องการซีลด์) เพื่อทดสอบว่าถ้ามีแท่งตัวนำหรือโลหะวางอยู่ในแนว 0° จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลองหรือไม่

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองจะเห็นว่าวางแผ่นซีลด์ในแนว 0° ไม่สามารถลดผลของสนามแม่เหล็กได้แต่จะทำให้สนามแม่เหล็กในแนวนี้มีค่าเพิ่มขึ้น
2. แผ่นโลหะที่มีค่า μ_r สูง ได้แก่ ซิลิกอนซีทสตีล และ เหล็ก เมื่อนำมาซีลด์ในแนว 0° จะทำหน้าที่เป็นตัวนำแม่เหล็กที่ดี และทำให้สนามแม่เหล็กในแนว 0° มีค่าเพิ่มขึ้น
3. ถ้ามีแท่งตัวนำหรือโลหะวางในแนว 0° เช่น โตะที่ทดลองมีแกนเหล็ก จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลองได้ ดังนั้น โครงสร้างและบริเวณที่ทำการทดลองควรทำจากฉนวน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการซีลด์ที่ได้จากผลการทดลองเปรียบเทียบกับปริมาณทางทฤษฎี

สรุปผลการทดลอง

จะเห็นว่าจากการทดลองหาค่าประสิทธิภาพการซีลด์ ได้ = 8.33 dB ในขณะที่การคำนวณค่าประสิทธิภาพการซีลด์ที่ $\mu_r = 6400$ ได้ = 9.307 dB มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีการซีลด์ด้วยแผ่นโลหะส่วนที่ $\mu_r = 25000$ จำนวน ค่าประสิทธิภาพการซีลด์ได้ = 19.315 dB ก็สอดคล้องกับสมการที่แสดงให้เห็นว่าค่า μ_r ยิ่งสูงประสิทธิภาพการซีลด์จะดีขึ้น

6.4 สรุปโครงการ

โครงการนี้เกิดขึ้นจากปัญหาที่ว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากห้อยแปลงความถี่ต่ำได้ส่งผลกระทบต่อจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ในที่ทำงานที่อยู่ใกล้เคียงโดยผ่านมาทางอากาศ ทำให้จอมอนิเตอร์ทำงานผิดปกติ จึงได้มีการออกแบบกล่องเพื่อลดผลกระทบของสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่า “การซีลด์” จากค่า

ออกแบบและทำการทดลองจริง สรุปได้ว่าสามารถลดผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากห้อยแปลงใช้

ความถี่ค่าได้จริง โดยใช้แผ่นโลหะที่มีความสามารถในการลดทอนผลของสนามแม่เหล็กได้ดี ซึ่งเราได้เลือกใช้ซิลิกอนซีทสตีล และเหล็กมาทำเป็นกล่องครอบที่หุ้มแปลงเพื่อกันทางเดินของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลง ทำให้คอมพิวเตอรืสามารถทำงานได้อย่างปกติ

การเลือกโลหะเพื่อทำการชิลด์สนามแม่เหล็กนั้นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการชิลด์คือค่าซึมซาบแม่เหล็ก (μ), สภาพการนำไฟฟ้า (σ), ความหนาของแผ่นโลหะ (t) โดยการเลือกโลหะเพื่อทำการชิลด์ควรเลือกโลหะที่มีค่าซึมซาบแม่เหล็ก, สภาพการนำไฟฟ้าสูง ในขณะที่ความหนาของแผ่นโลหะถ้ามีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพการชิลด์ดีขึ้นแต่การเลือกโลหะที่หนามากจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก ส่วนลักษณะของกล่องชิลด์ที่เหมาะสมคือ เมื่อทำการชิลด์ด้านหน้าหม้อแปลง (ด้านที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากที่สุดซึ่งเป็นด้านที่ส่งผลกระทบต่อจอมอนิเตอร์) กล่องชิลด์ที่ครอบหม้อแปลงที่เหมาะสมคือกล่องที่มีการเปิดด้านหลัง จะมีผลคือ 1. ให้ผลการชิลด์ที่ดีเพราะไม่มีสนามแม่เหล็กที่สะท้อนมาจากแผ่นหลัง 2. ช่วยระบายความร้อนได้ดีกว่าปิดทุกด้าน

จากโครงการนี้การชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำและส่งผลกระทบต่อจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ที่อยู่ด้านหน้าหม้อแปลงได้อย่างเหมาะสมคือใช้กล่องครอบหม้อแปลงที่ทำจากซิลิกอนซีทสตีล โดยมีการเปิดด้านหลังของกล่องไว้

6.5 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

- 1.) วัสดุที่นำมาใช้ในการชิลด์มีข้อจำกัดทั้งทางด้านชนิดและปริมาณ เนื่องจากวัสดุบางชนิดมีราคาแพง เช่น ทองแดง หรือ วัสดุที่มีค่า μ สูงๆ
- 2.) ในการจัดหาและซื้อโลหะที่จะนำมาใช้ในการชิลด์ บางครั้งจะได้โลหะที่มีความหนาต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการทดลอง
- 3.) ไม่สามารถที่จะทำการหาค่า μ ที่แน่นอนและถูกต้อง แม่นยำ ของโลหะบางชนิดได้ จึงทำให้ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับทฤษฎีที่นำมารองรับผลการทดลองได้ดีเท่าที่ควรจะเป็น
- 4.) ในระหว่างที่ทำการทดลอง จะเกิดช่องอากาศ (gap) ขึ้นระหว่างแผ่นโลหะเมื่อนำแผ่นโลหะมาซ้อนๆกันหลายๆชั้น สามารถแก้ไขได้โดยการบีบตรงด้านข้างแผ่น โลหะให้แน่นขึ้น แต่ก็ช่วยได้ไม่มากนัก
- 5.) ในการทดลองแต่ละครั้งการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีผลต่อการทดลองมาก เพราะสนามแม่เหล็กแปรผันกับระยะทางกำลังสาม ดังนั้น ถ้าวางหม้อแปลงผิดจากตำแหน่งเดิมเพียงเล็กน้อย ค่าสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนไปอย่างมาก
- 6.) ในการทดลองในแต่ละครั้ง จะทำให้สถานะต่างๆเปลี่ยนไป เช่น ระยะแกป, ระยะทางต่างๆหรือค่าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแก้ไขโดยการทดลองหลายๆครั้งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ย
- 7.) เกิดเสียงดังเนื่องจากการสั่นของแผ่น โลหะ โดยเป็นผลของ eddy current ที่เกิดบนแผ่น โลหะ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นบนแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามและได้รับการเห็นชอบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองเป็นการชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ ซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้กับการชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแหล่งจ่ายความถี่ต่ำชนิดอื่นได้ เช่น เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง แต่ไม่สามารถใช้ได้กับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแหล่งจ่ายความถี่สูงได้ ดังนั้นแนวทางในการทำวิจัยต่อไปอาจเป็นการชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแหล่งจ่ายความถี่สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] กอบชัย เศษหาญ, การลดสัญญาณรบกวนในระบบอิเล็กทรอนิกส์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] Donald R. J. White, Electromagnetic Shielding Materials and Performance. 2nd Edition. DWCI Published. 1980





ภาคผนวก ก
ผลการทดลองในกรณีอื่นๆ ของการซีลด้วยแผ่นโลหะและกล่องซีลด์

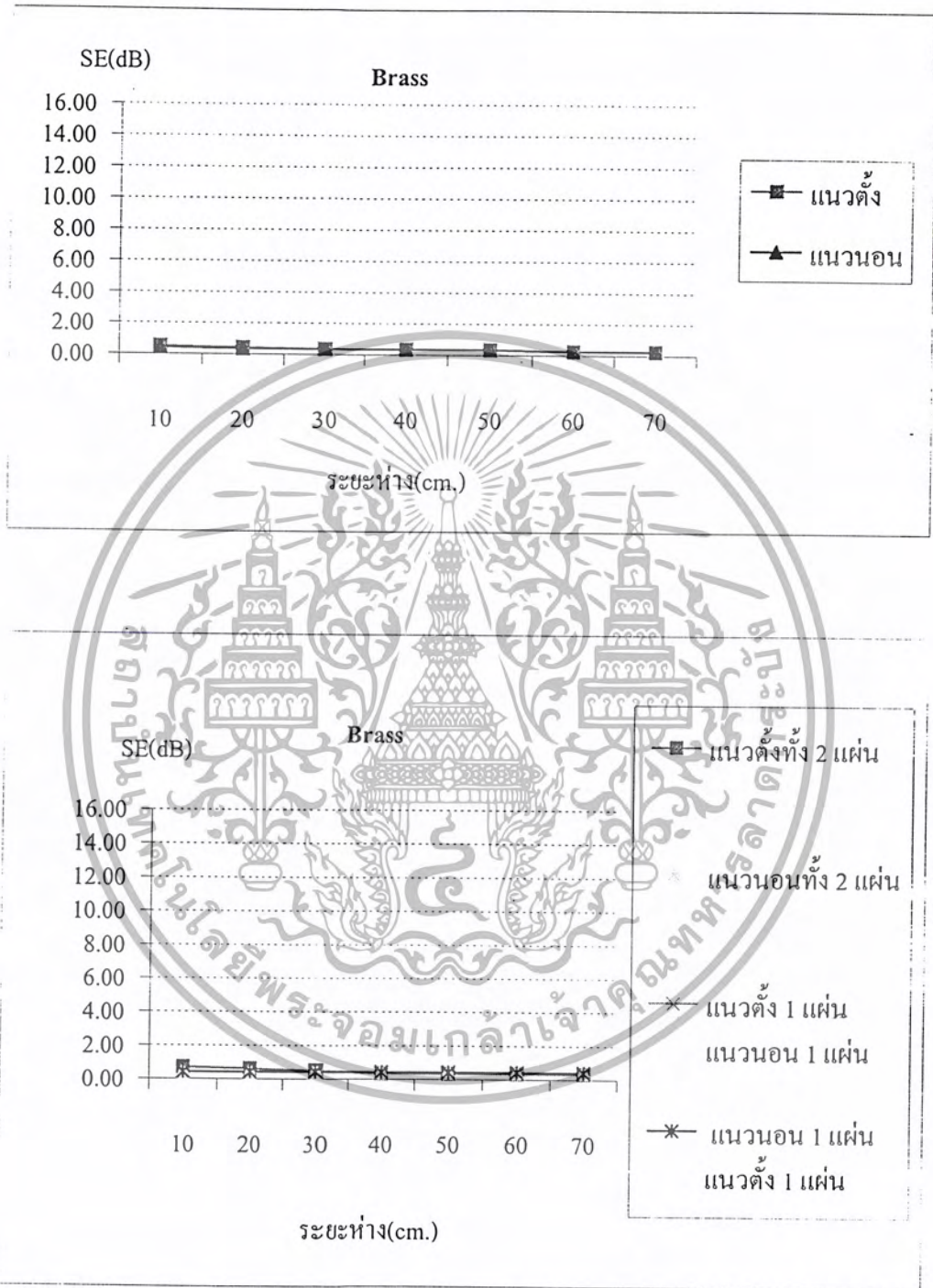
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 แสดงผลการทดลองของทองเหลือง (Brass)

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น			
	mG		mG			
		—		—	—	—
10	9.4	9.5	9.2	9.5	9.5	9.5
20	9.5	9.6	9.3	9.5	9.5	9.5
30	9.6	9.6	9.4	9.5	9.5	9.5
40	9.6	9.6	9.6	9.5	9.5	9.5
50	9.6	9.6	9.6	9.5	9.5	9.5
60	9.7	9.7	9.6	9.5	9.5	9.5
70	9.7	9.7	9.6	9.5	9.5	9.5

ตาราง ก.2 แสดงค่า SE ของ ทองเหลือง

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น			
	SE(dB)		SE(dB)			
		—		—	—	—
10	0.54	0.45	0.72	0.45	0.45	0.45
20	0.45	0.35	0.63	0.45	0.45	0.45
30	0.35	0.35	0.54	0.45	0.45	0.45
40	0.35	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45
50	0.35	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45
60	0.26	0.26	0.35	0.45	0.45	0.45
70	0.26	0.26	0.35	0.45	0.45	0.45



รูปที่ ก.1 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นทองเหลืองแบบ 1 และ 2 แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 แสดงผลการทดลองของสแตนเลส (Stainless steel)

ระยะห่าง (cm.)	1 แผ่น		2 แผ่น				3 แผ่น					
	mG		mG				mG					
		—		—	—	—		≡	≡	—	—	≡
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
50	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
60	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

* เนื่องจากค่า SE ของ Stainless steel จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกกรณีจึงไม่ได้แสดงผลไว้

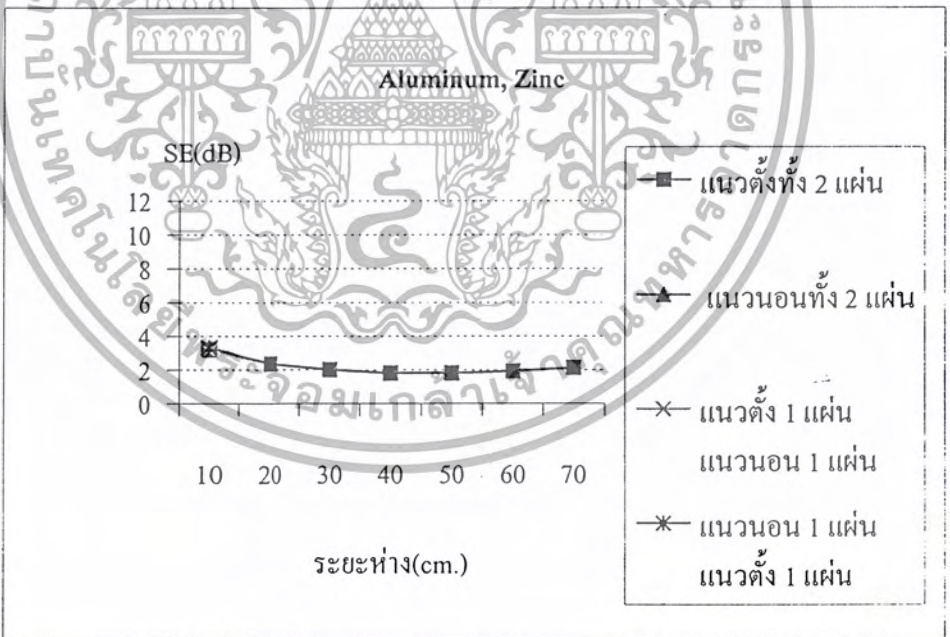
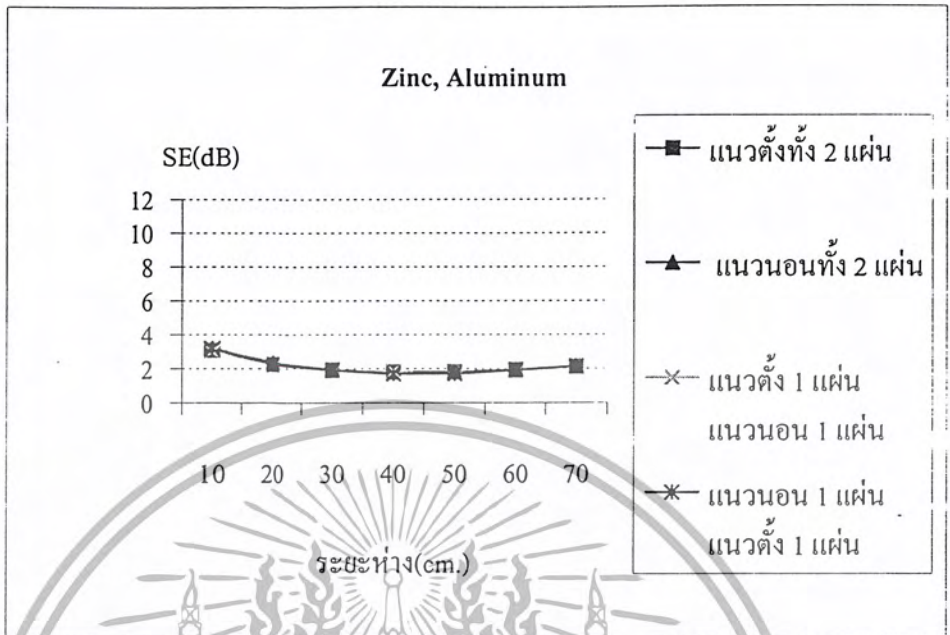
ตารางที่ ก.4 แสดงผลการทดลองของสังกะสีร่วมกับอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	Zinc, Aluminum				Aluminum, Zinc			
	mG				mG			
		==	—	—		==	—	—
10	7	6.9	7	6.9	6.9	6.9	6.9	6.8
20	7.7	7.6	7.7	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6
30	8	8	8	8	7.9	7.9	7.9	7.9
40	8.1	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1
50	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1
60	8	8	8	8	8	8	8	8
70	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

ตารางที่ ก.5 แสดงค่า SE ของสังกะสีร่วมกับอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	Zinc, Aluminum				Aluminum, Zinc			
	SE(dB)				SE(dB)			
		==	—	—		==	—	—
10	3.10	3.22	3.10	3.22	3.22	3.22	3.22	3.35
20	2.27	2.38	2.27	2.27	2.38	2.38	2.38	2.38
30	1.94	1.94	1.94	1.94	2.05	2.05	2.05	2.05
40	1.83	1.83	1.83	1.72	1.83	1.83	1.83	1.83
50	1.83	1.83	1.72	1.72	1.83	1.83	1.83	1.83
60	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
70	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นอลูมิเนียมร่วมกับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

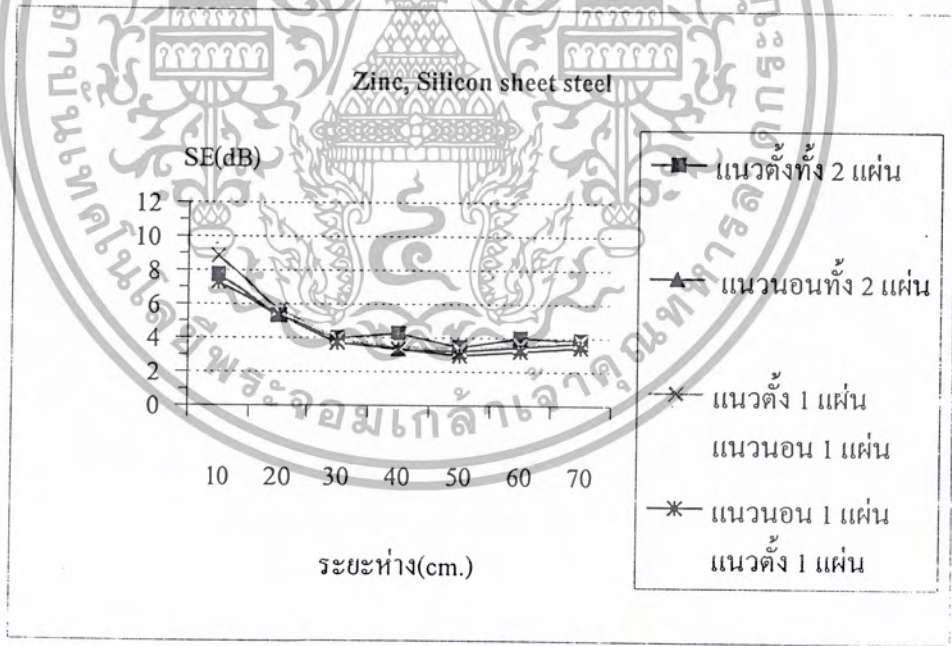
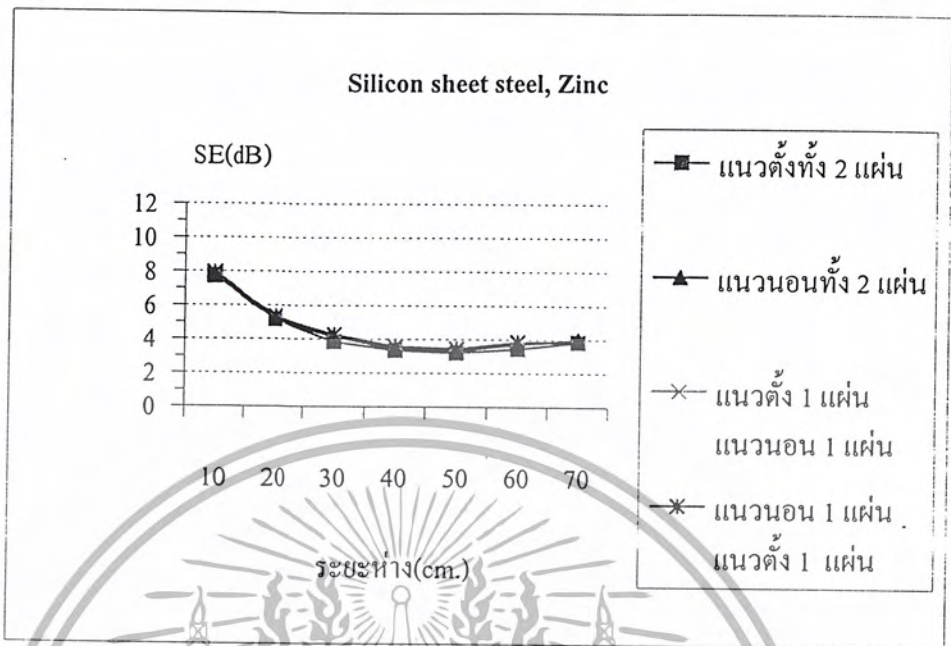
ตารางที่ ก.6 แสดงผลการทดลองของสังกะสีร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	Silicon sheet steel, Zinc				Zinc, Silicon sheet steel			
	mG				mG			
		==	—	—		==	—	—
10	4.1	4.1	4	4	4.1	4.1	3.6	4.3
20	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.2	5.4
30	6.4	6.2	6.1	6.1	6.3	6.3	6.3	6.5
40	6.8	6.7	6.6	6.6	6.1	6.8	6.7	6.8
50	6.9	6.8	6.7	6.7	6.7	6.9	6.8	7.1
60	6.7	6.5	6.4	6.4	6.3	6.7	6.6	6.9
70	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.5	6.4	6.7

ตารางที่ ก.7 แสดงค่า SE ของสังกะสีร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล

ระยะห่าง (cm.)	Silicon sheet steel, Zinc				Zinc, Silicon sheet steel			
	SE(dB)				SE(dB)			
		==	—	—		==	—	—
10	7.74	7.74	7.96	7.96	7.74	7.74	8.87	7.33
20	5.19	5.19	5.35	5.35	5.35	5.35	5.68	5.35
30	3.88	4.15	4.29	4.29	4.01	4.01	4.01	3.74
40	3.35	3.48	3.61	3.61	4.29	3.35	3.48	3.35
50	3.22	3.35	3.48	3.48	3.48	3.22	3.35	2.97
60	3.48	3.74	3.88	3.88	4.01	3.48	3.61	3.22
70	3.88	4.01	3.88	3.88	3.88	3.74	3.88	3.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นซีลิกอนชีทสตีลร่วมกับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

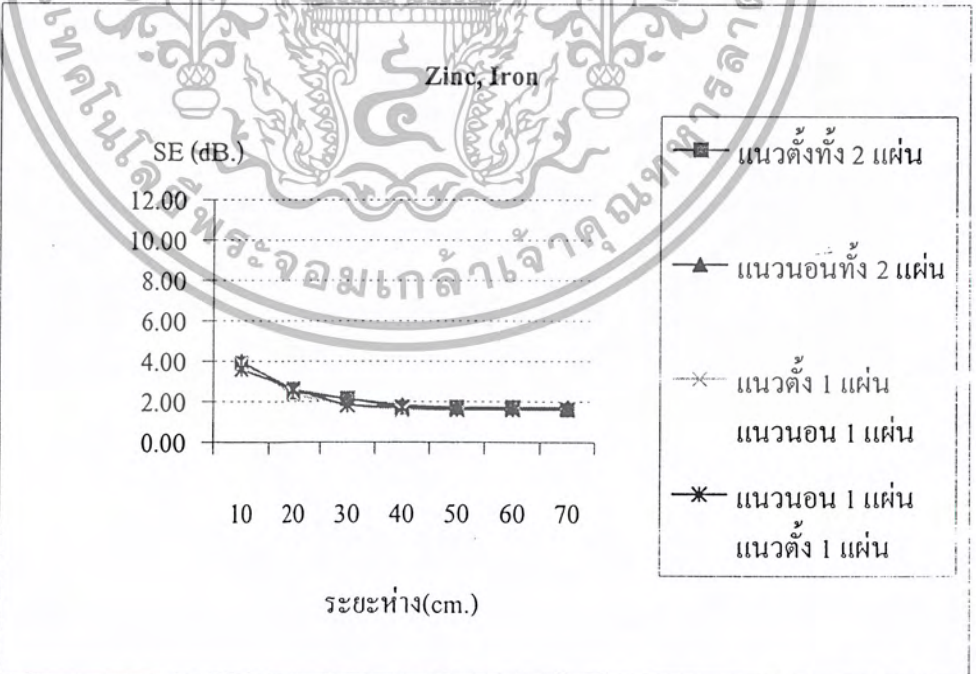
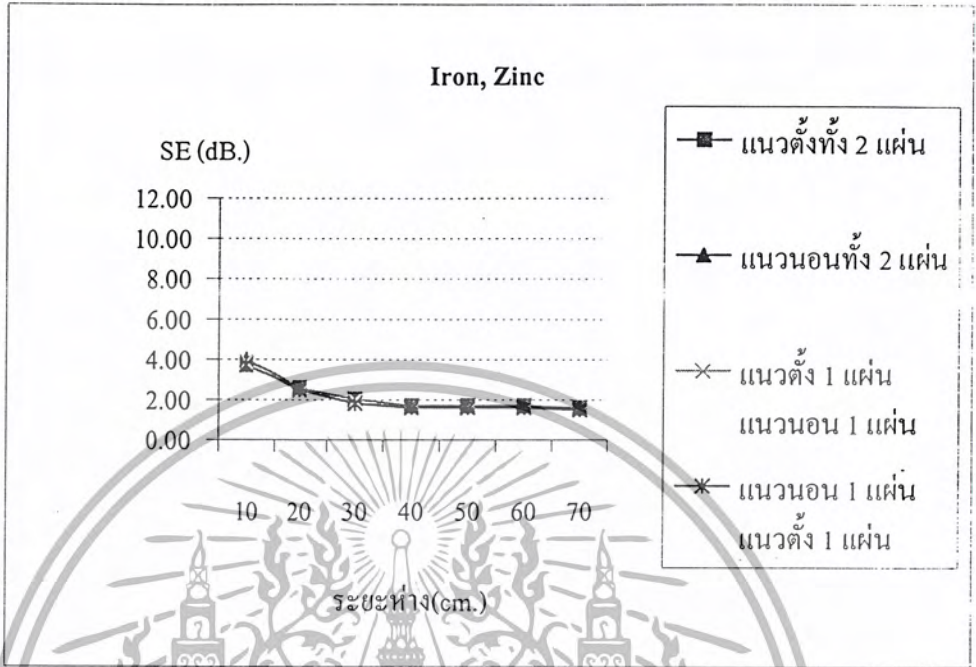
ตารางที่ ก.8 แสดงผลการทดลองของสังกะสีร่วมกับเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	Iron, Zinc				Zinc, Iron			
	mG				mG			
		==	—	—		==	—	—
10	6.5	6.3	6.4	6.5	6.4	6.3	6.4	6.6
20	7.4	7.4	7.5	7.5	7.4	7.5	7.6	7.4
30	7.9	7.9	8	8.1	7.8	7.8	8.1	8.1
40	8.2	8.2	8.3	8.3	8.2	8.1	8.3	8.2
50	8.2	8.2	8.3	8.3	8.2	8.2	8.3	8.3
60	8.2	8.2	8.3	8.3	8.2	8.2	8.3	8.3
70	8.3	8.3	8.4	8.4	8.3	8.2	8.3	8.3

ตารางที่ ก.9 แสดงค่า SE ของสังกะสีร่วมกับเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	Iron, Zinc				Zinc, Iron			
	SE(dB)				SE(dB)			
		==	—	—		==	—	—
10	3.74	4.01	3.88	3.74	3.88	4.01	3.88	3.61
20	2.62	2.62	2.50	2.50	2.62	2.50	2.38	2.62
30	2.05	2.05	1.94	1.83	2.16	2.16	1.83	1.83
40	1.72	1.72	1.62	1.62	1.72	1.83	1.62	1.72
50	1.72	1.72	1.62	1.62	1.72	1.72	1.62	1.62
60	1.72	1.72	1.62	1.62	1.72	1.72	1.62	1.62
70	1.62	1.62	1.51	1.51	1.62	1.72	1.62	1.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 แสดงกราฟผลการทดลองของการวางแผ่นเหล็กร่วมกับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

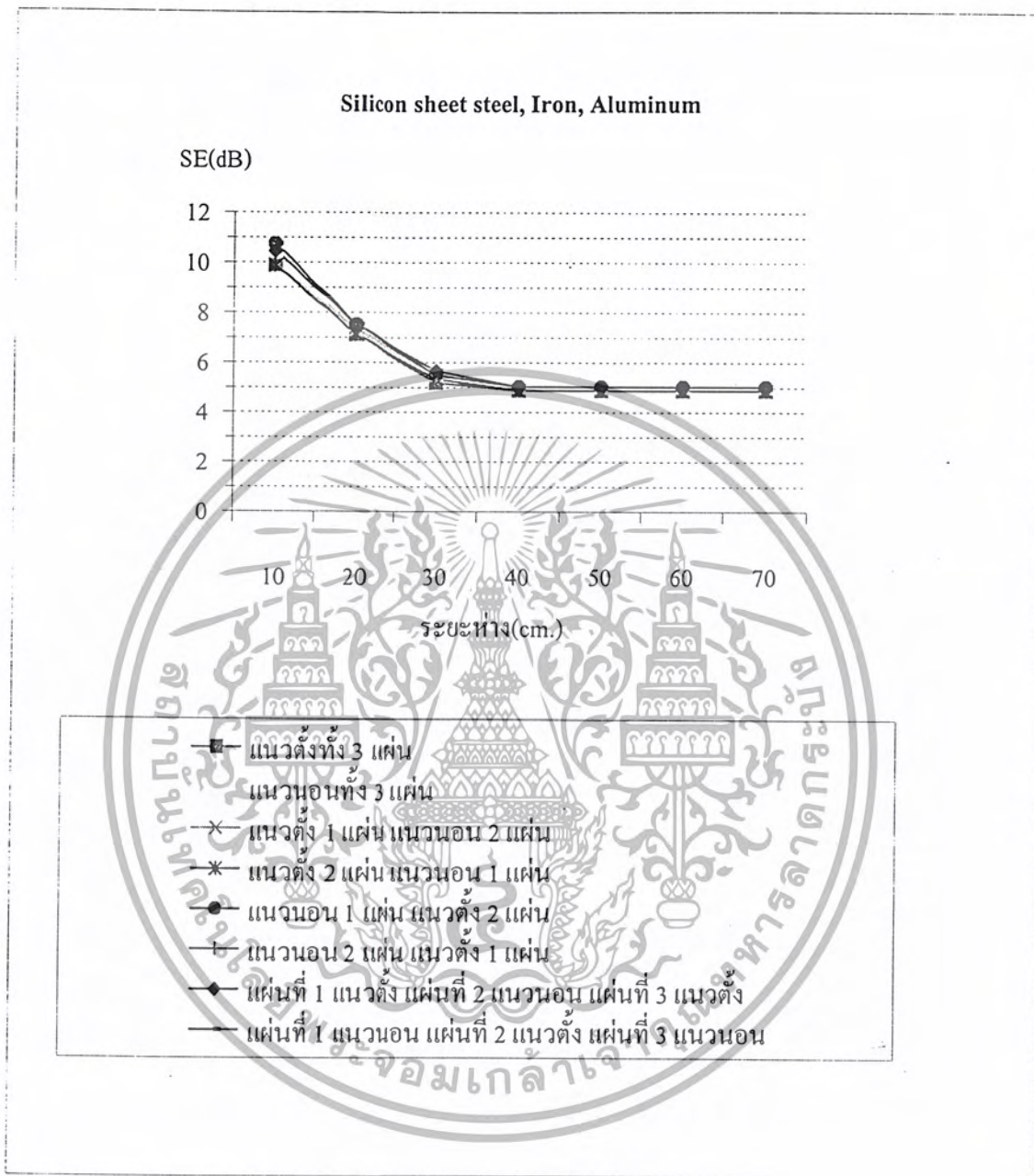
ตารางที่ ก.10 แสดงผลการทดลองของชิลิกอนซีทสตีลร่วมกับเหล็กและอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	การจัดวางแผ่นโลหะ							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	3.2	3	3.2	3.2	2.9	2.9	3	2.9
20	4.4	4.2	4.3	4.4	4.2	4.2	4.2	4.2
30	5.5	5.2	5.3	5.4	5.3	5.3	5.2	5.3
40	5.7	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6
50	5.7	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6
60	5.7	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6
70	5.7	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6

ตารางที่ ก.11 แสดงค่า SE ของชิลิกอนซีทสตีลร่วมกับเหล็กและอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	SE (dB)							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	9.90	10.46	9.90	9.90	10.75	10.75	10.46	10.75
20	7.13	7.54	7.33	7.13	7.54	7.54	7.54	7.54
30	5.19	5.68	5.51	5.35	5.51	5.51	5.68	5.51
40	4.88	5.04	4.88	4.88	5.04	5.04	5.04	5.04
50	4.88	5.04	4.88	4.88	5.04	5.04	5.04	5.04
60	4.88	5.04	4.88	4.88	5.04	5.04	5.04	5.04
70	4.88	5.04	4.88	4.88	5.04	5.04	5.04	5.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลร่วมกับเหล็ก และอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

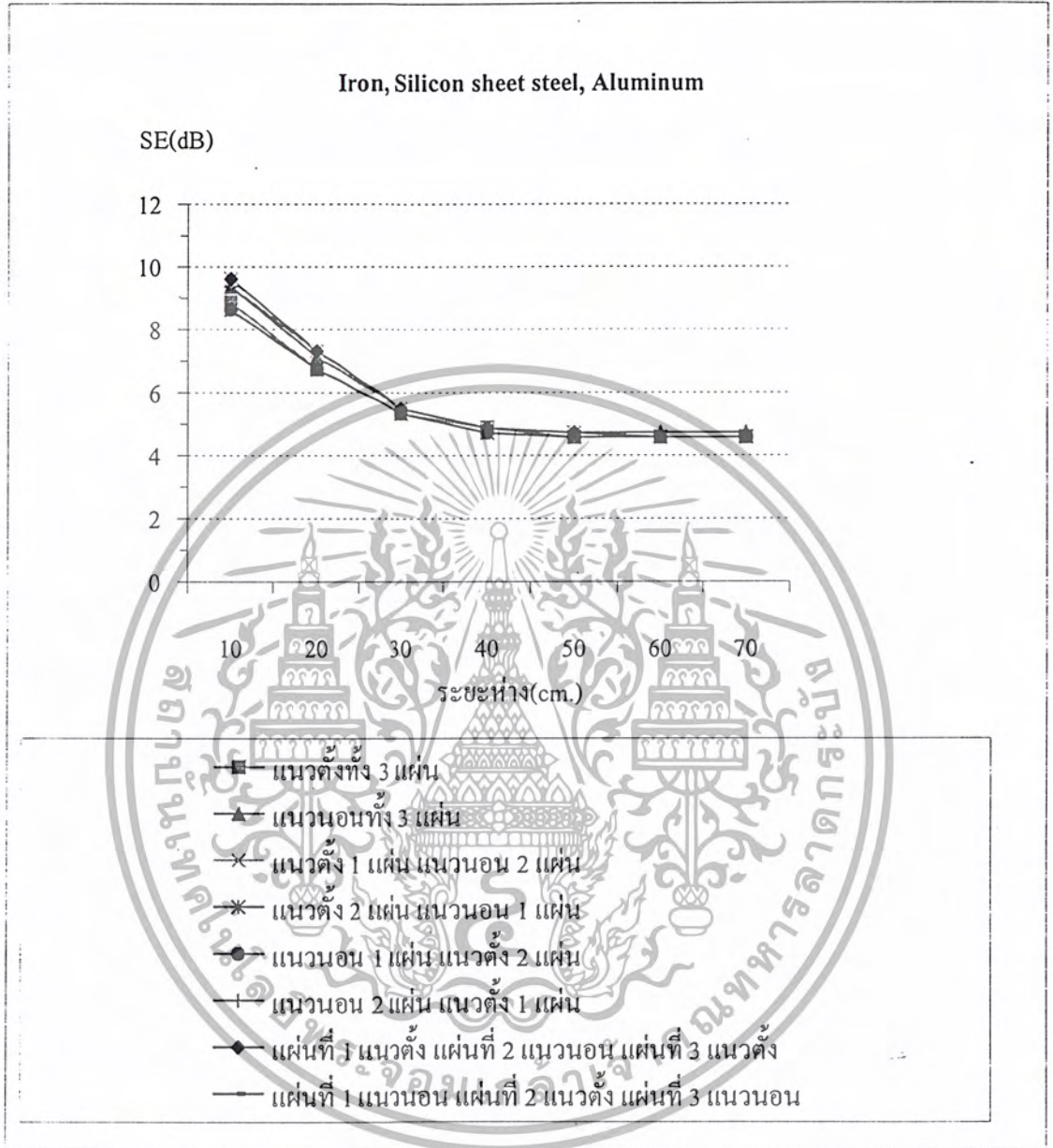
ตารางที่ ก.12 แสดงผลการทดลองของเหล็กร่วมกับฉนวนกันความร้อนและอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	การจัดวางแผ่นโลหะ							
		≡	=	—	—	==	—	— —
10	3.6	3.4	3.3	3.7	3.7	3.4	3.3	3.7
20	4.6	4.4	4.3	4.6	4.6	4.3	4.3	4.6
30	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.3	5.3	5.4
40	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.7	5.8
50	5.9	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.8	5.9
60	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
70	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9

ตารางที่ ก.13 แสดงค่า SE ของเหล็กร่วมกับฉนวนกันความร้อนและอลูมิเนียม

ระยะห่าง (cm.)	SE (dB)							
		≡	=	—	—	==	—	— —
10	8.87	9.37	9.63	8.64	8.64	9.37	9.63	8.64
20	6.74	7.13	7.33	6.74	6.74	7.33	7.33	6.74
30	5.35	5.51	5.51	5.35	5.35	5.51	5.51	5.35
40	4.88	4.88	4.88	4.73	4.73	4.88	4.88	4.73
50	4.58	4.73	4.73	4.58	4.58	4.58	4.73	4.58
60	4.58	4.73	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
70	4.58	4.73	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นเหล็กร่วมกับอลูมิเนียม และซิลิกอนชีทสตีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

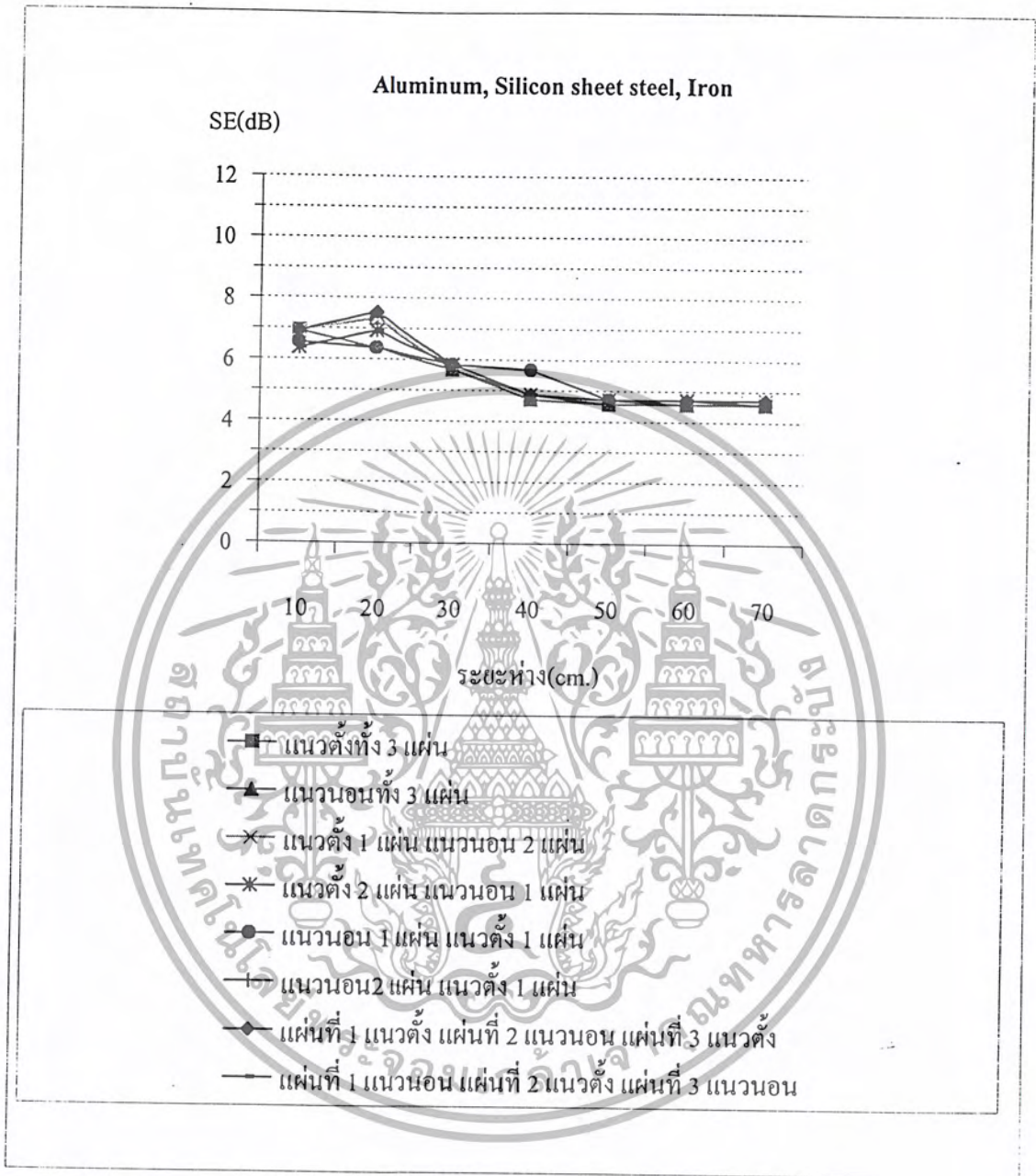
ตารางที่ ก.14 แสดงผลการทดลองของอคูมิเนี่ยมร่วมกับซิลิกอนซีทสตีลและเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	การจัดวางแผ่นโลหะ							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	4.5	4.5	4.5	4.8	4.7	4.5	4.5	4.8
20	4.3	4.2	4.3	4.5	4.8	4.8	4.2	4.5
30	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.1	5.1
40	5.8	5.7	5.7	5.7	5.2	5.7	5.7	5.7
50	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.8	5.8
60	5.9	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	5.8
70	5.9	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.8	5.9

ตารางที่ ก.15 แสดงค่า SE ของอคูมิเนี่ยมร่วมกับซิลิกอนซีทสตีลและเหล็ก

ระยะห่าง (cm.)	SE (dB)							
		≡	=	—	—	≡	—	— —
10	6.94	6.94	6.94	6.38	6.56	6.94	6.94	6.38
20	7.33	7.54	7.33	6.94	6.38	6.38	7.54	6.94
30	5.68	5.85	5.85	5.85	5.85	5.68	5.85	5.85
40	4.73	4.88	4.88	4.88	5.68	4.88	4.88	4.88
50	4.58	4.73	4.73	4.73	4.73	4.58	4.73	4.73
60	4.58	4.73	4.73	4.73	4.58	4.58	4.73	4.73
70	4.58	4.73	4.73	4.58	4.58	4.58	4.73	4.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 แสดงกราฟผลการทดลองของแผ่นอลูมิเนียมร่วมกับซิลิกอนชีทสตีล และเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 แสดงผลที่ได้จากกล่องวัดชนิดซิลิกอนซีทิสแบบเปิดด้านหลังและด้านบน

ลักษณะที่ทำการวัด	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลังและด้านบน	A	201	10.4	10.3	10.7	10.47	25.67
	B	112.9	43.5	43.7	43.8	43.67	8.25
	C	216	234	235	234	234.33	-0.71
	D	106	49.7	49.8	49	49.50	6.61
	E	122.8	80.2	80.5	80.3	80.33	3.69
	F	69.7	55.2	54.9	55.3	55.13	2.04

ตารางที่ ก.17 แสดงผลที่ได้จากกล่องวัดชนิดซิลิกอนซีทิสแบบเปิดด้านหลังและด้านล่าง

ลักษณะที่ทำการวัด	ด้านที่วัด	ก่อน shield (mG)	หลัง shield (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลังและด้านล่าง	A	201	21.3	21.5	21.6	21.47	19.43
	B	112.9	59.2	57.8	58	58.33	5.74
	C	216	241	243	244	242.67	-1.01
	D	106	43	43.4	43.5	43.30	7.78
	E	122.8	69.6	69.8	69.8	69.73	4.92
	F	69.7	56	56.4	56.8	56.40	1.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 แสดงผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดชิลิกอนซีทสตีลแบบเปิดด้านบน, ด้านหลัง และด้านล่าง

ลักษณะที่ทำการชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อน shield (mG)	หลัง shield (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน, ด้านล่างและหลัง	A	201	25.6	25.4	25.6	25.53	17.92
	B	112.9	61.2	60.6	60.8	60.87	5.37
	C	216	246	245	247	246.00	-1.13
	D	106	36.4	36	37.4	36.60	9.24
	E	122.8	90.3	90	90.1	90.13	2.69
	F	69.7	67.5	67.2	67.7	67.47	0.28

ตารางที่ ก.19 แสดงผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดเหล็กแบบเปิดด้านล่างกับด้านหลัง

ลักษณะที่ทำการชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านล่างกับด้านหลัง	A	201	49.4	49.7	50	49.70	12.14
	B	112.9	77	76.6	76.8	76.80	3.35
	C	216	224	223	223	223.33	-0.29
	D	106	64.7	65	65.3	65.00	4.25
	E	122.8	61.3	61	61.5	61.27	6.04
	F	69.7	67.4	62.1	67.5	65.67	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.20 แสดงผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดเหล็กแบบเปิดด้านบนกับด้านหลัง

ลักษณะที่ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปิดด้านบนกับด้านหลัง แนวอน	A	201	41.6	41.7	41.9	41.73	13.65
	B	112.9	70.1	70.2	70.4	70.23	4.12
	C	216	237	238	238	237.67	-0.83
	D	106	75.2	75	74.8	75.00	3.00
	E	122.8	84.4	84.3	84	84.23	3.27
	F	69.7	45.1	44.7	44.8	44.87	3.83

ตารางที่ ก.21 แสดงผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดเหล็กแบบเปิดด้านบน, หลัง และล่าง

ลักษณะที่ทำการชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปิดด้านบน, หลังและล่าง แนวอน	A	201	56.1	56	59.8	57.30	10.90
	B	112.9	73.6	74.2	73.9	73.90	3.68
	C	216	225	224	225	224.67	-0.34
	D	106	64.5	64.6	64.5	64.53	4.31
	E	122.8	81.3	81.5	81	81.27	3.59
	F	69.7	63.5	62.8	63.7	63.33	0.83

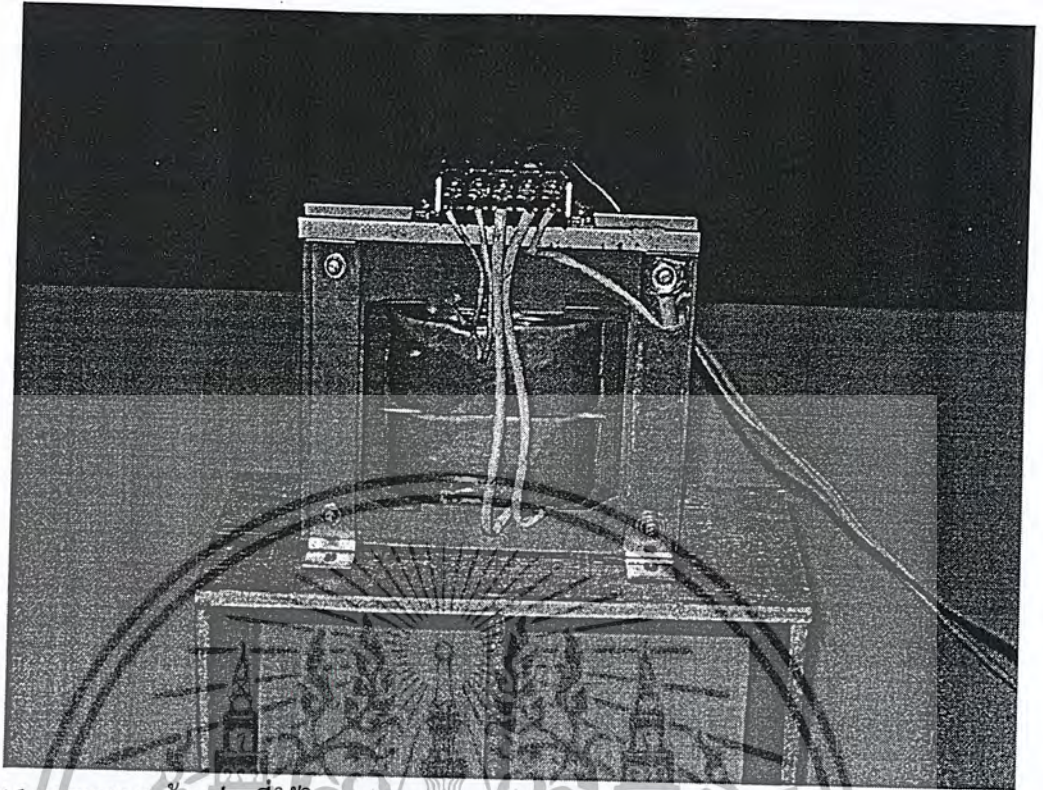
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



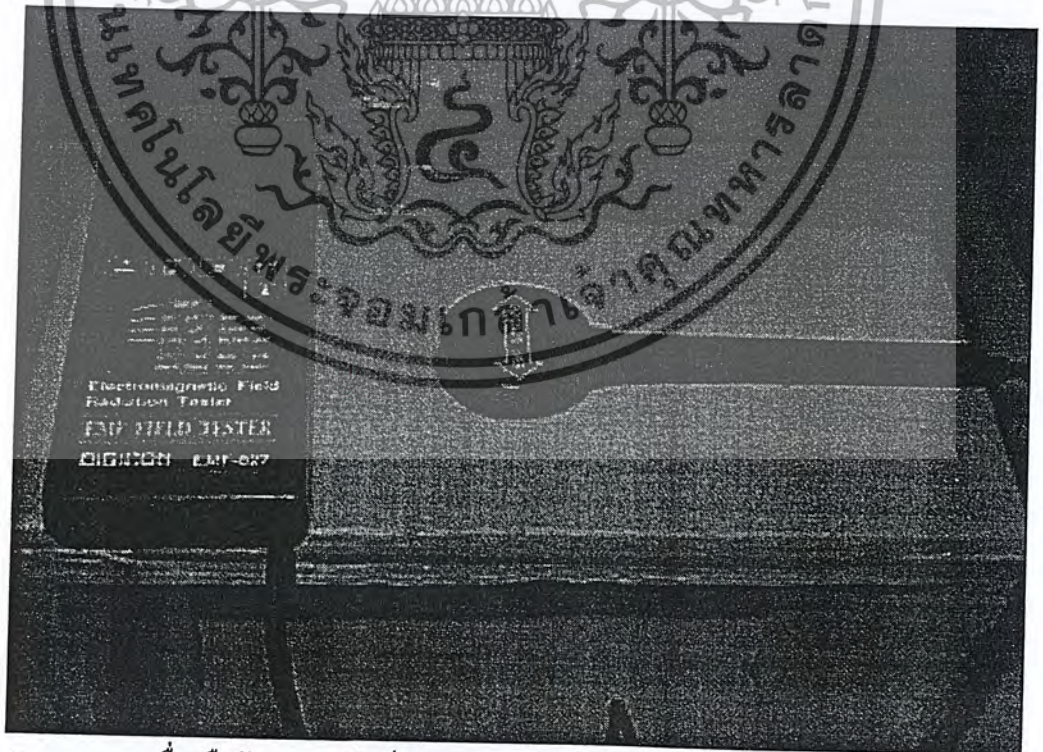
ภาคผนวก ข

ภาพแสดงลักษณะการทดลองและอุปกรณ์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

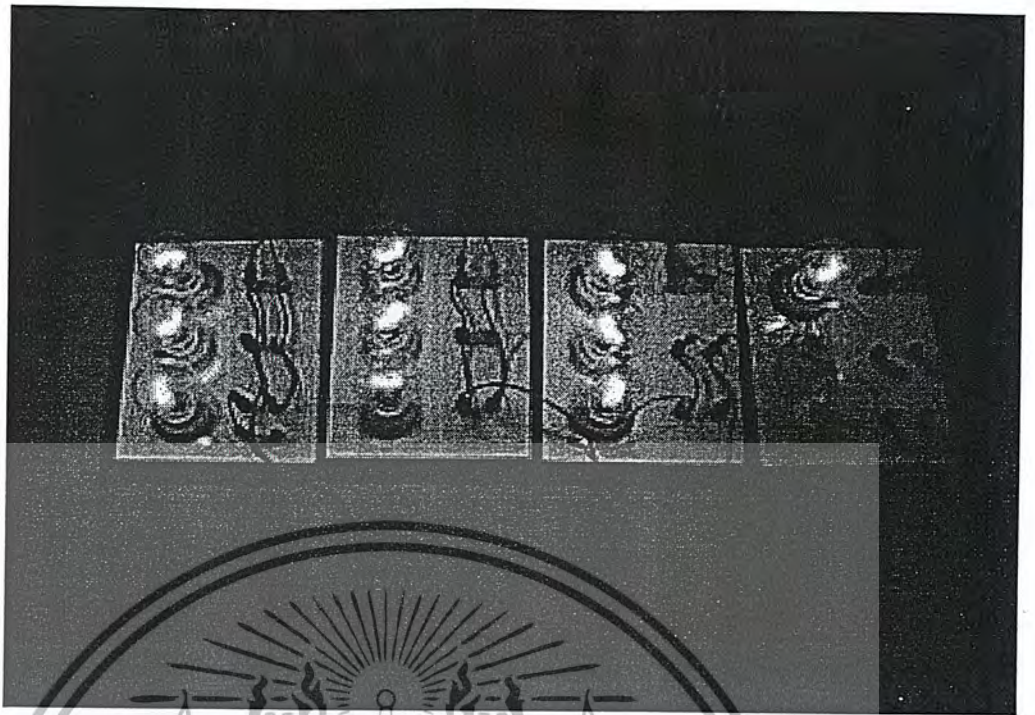


รูป ข.1 ภาพแสดงหม้อแปลงที่ใช้ในการทดลอง

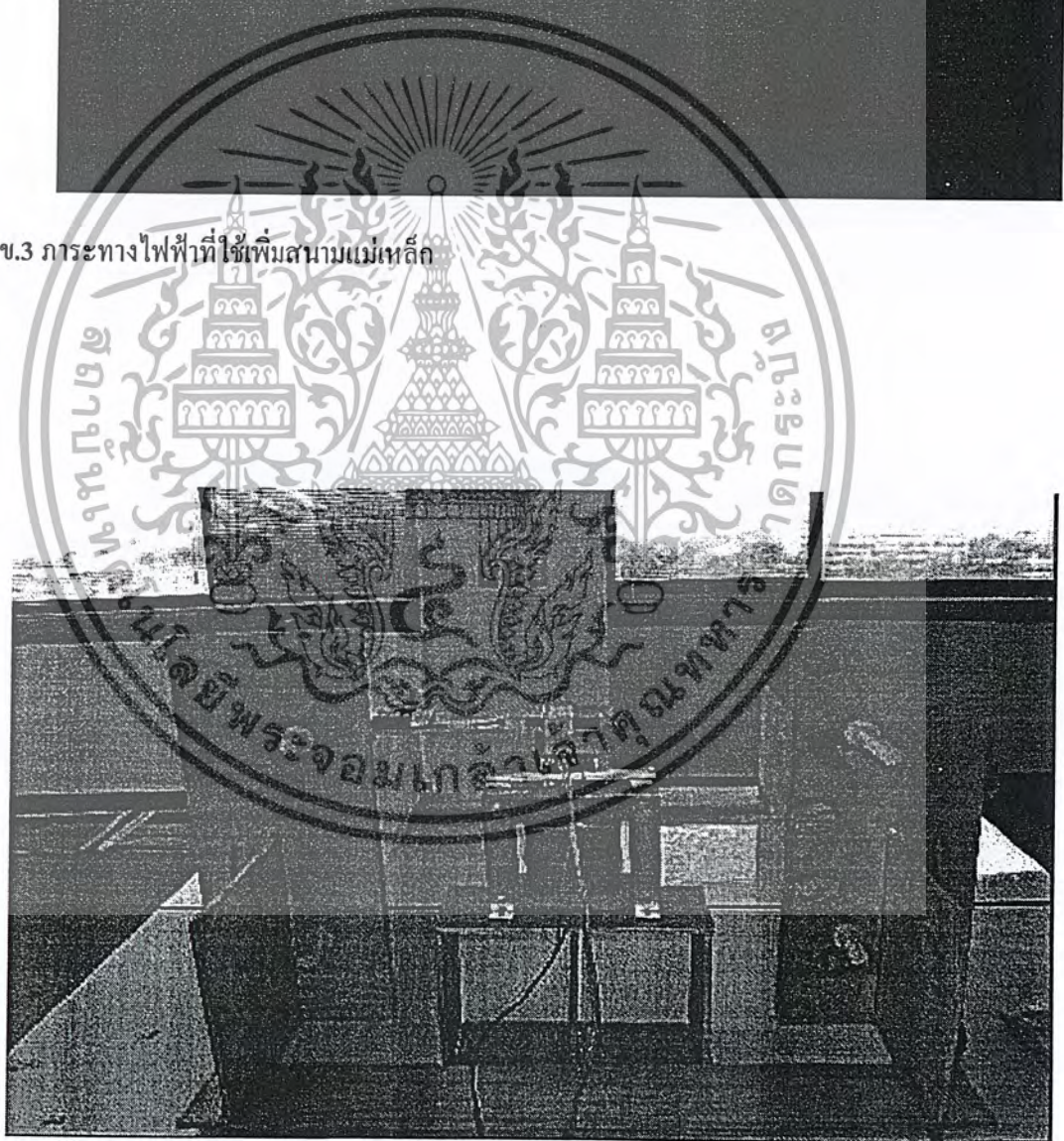


รูป ข.2 ภาพแสดงเครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก (EMF Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

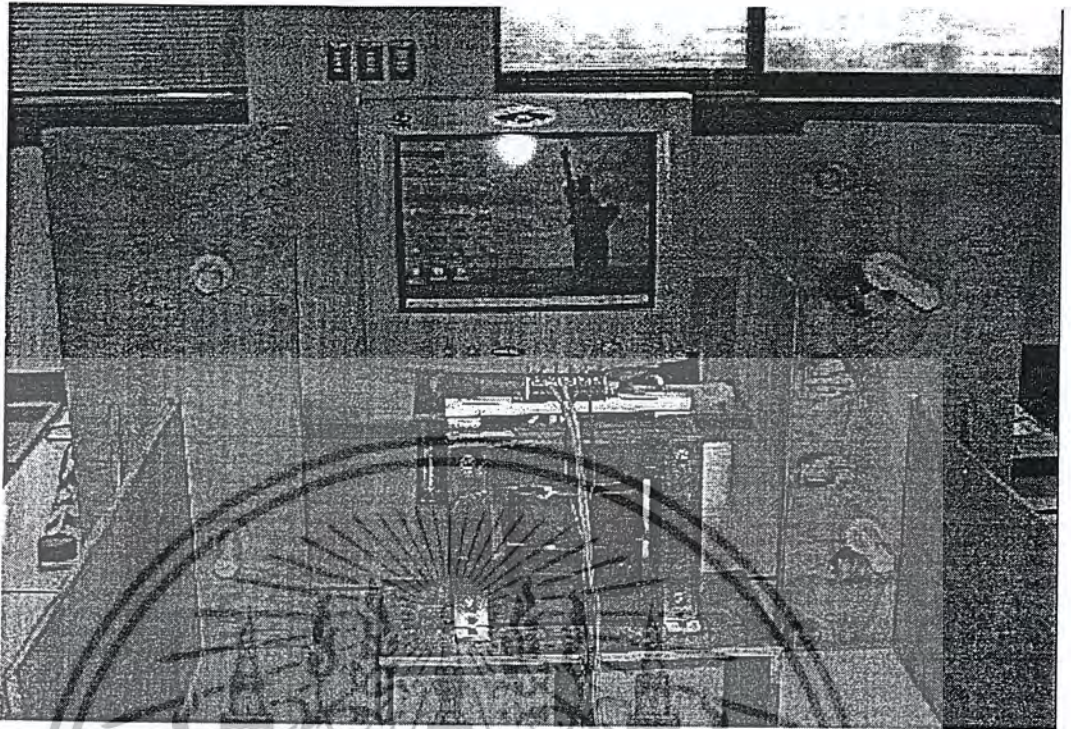


รูป ข.3 ภาระทางไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มสนามแม่เหล็ก

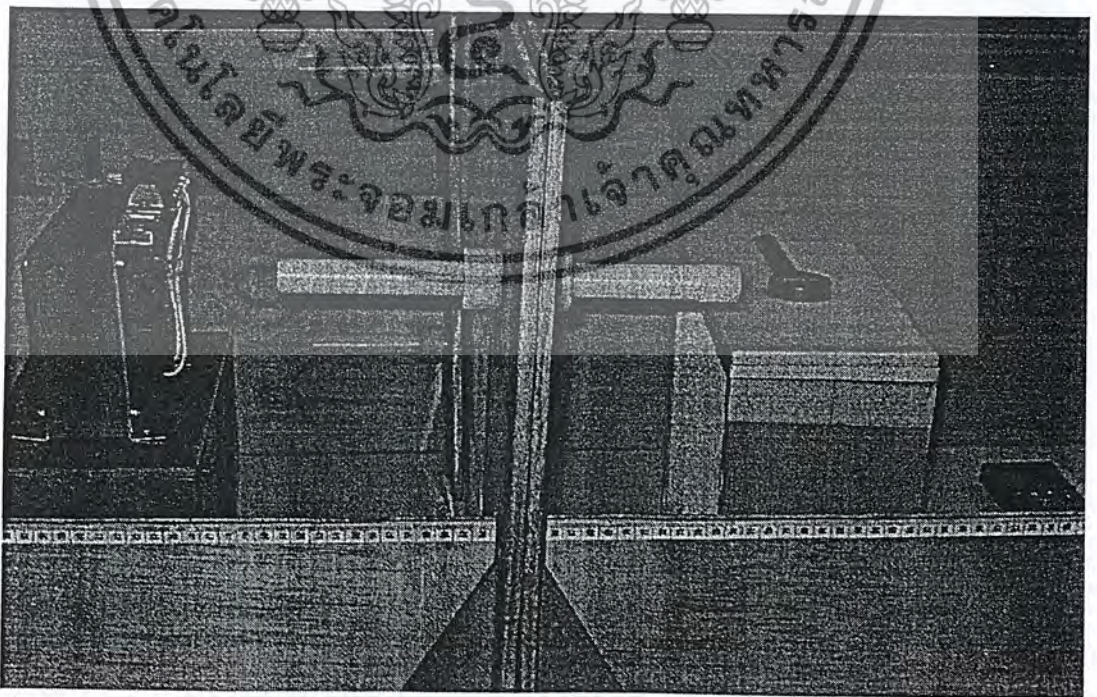


รูป ข.4 ภาพแสดงลักษณะโครงสร้างต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

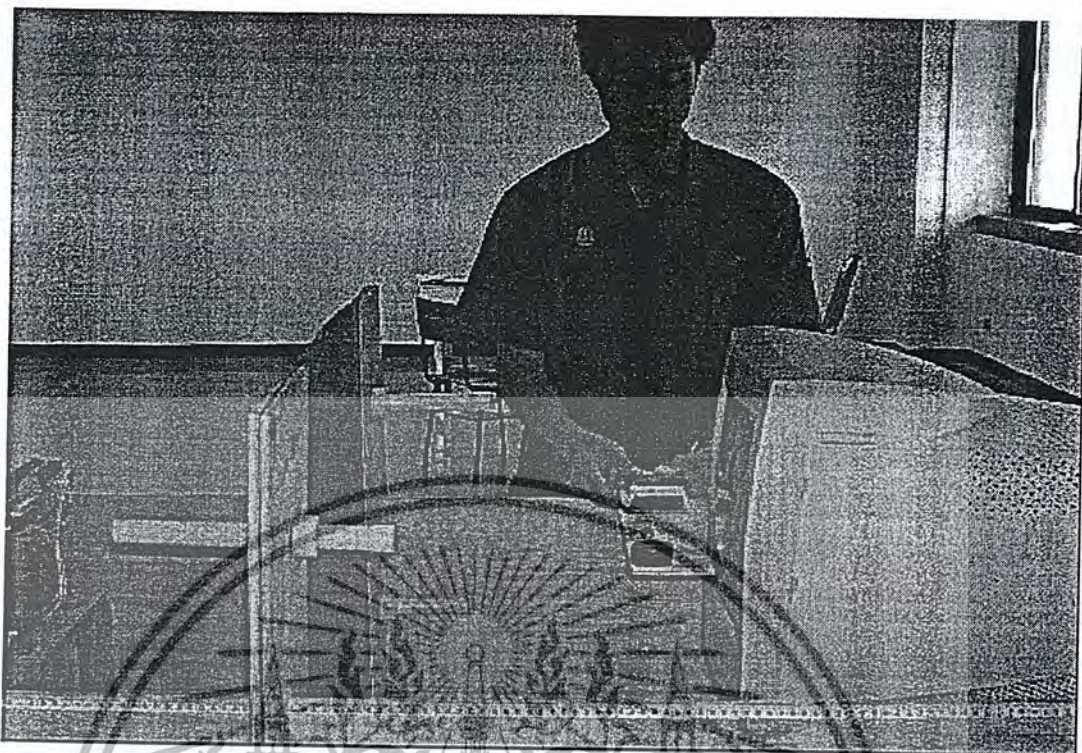


รูป ข.5 ภาพแสดงลักษณะโครงสร้างที่ใช้ในการทดลองโดยใช้จอคอมพิวเตอร์เป็นตัวแสดงผลที่เกิดขึ้น

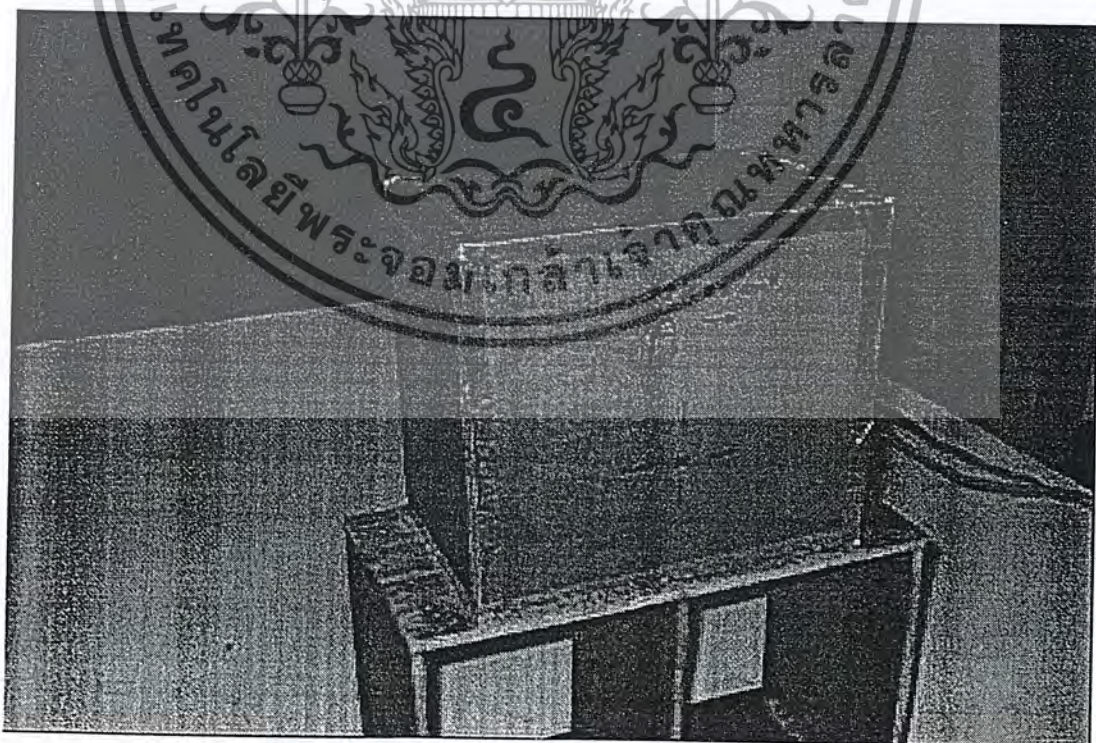


รูป ข.6 ภาพแสดงลักษณะของการวัดค่าสนามแม่เหล็กเมื่อทำการชิลด์ด้วยแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

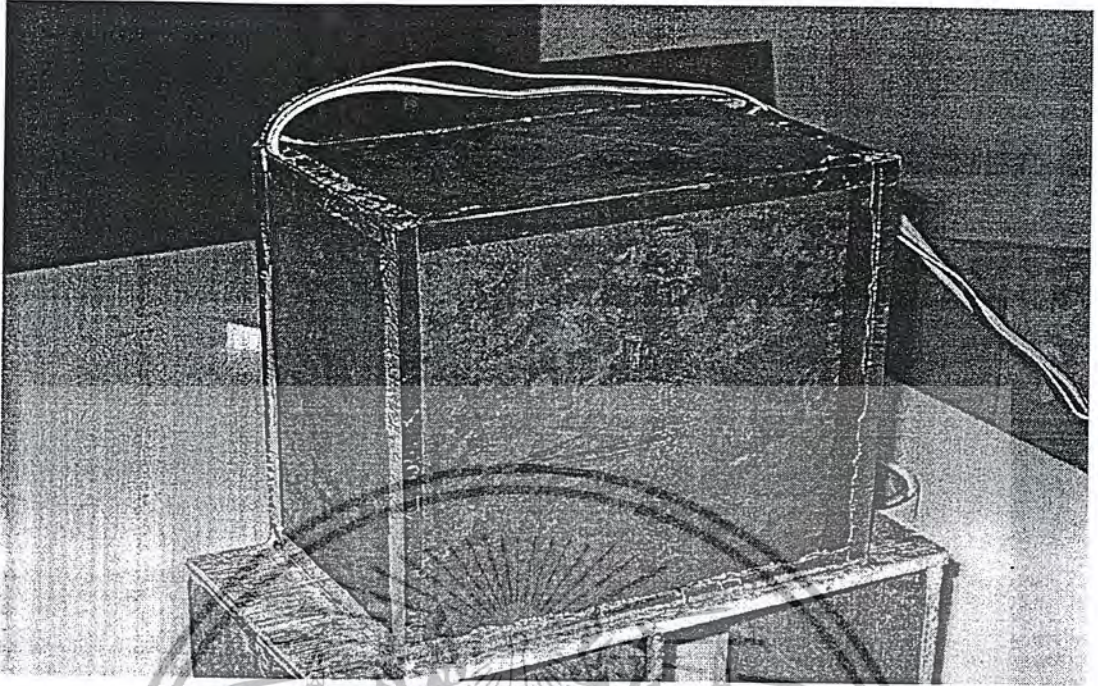


รูป ข.7 ภาพแสดงลักษณะการใช้ EMF meter วัดค่าสนามแม่เหล็กตรงหน้าจอคอมพิวเตอร์

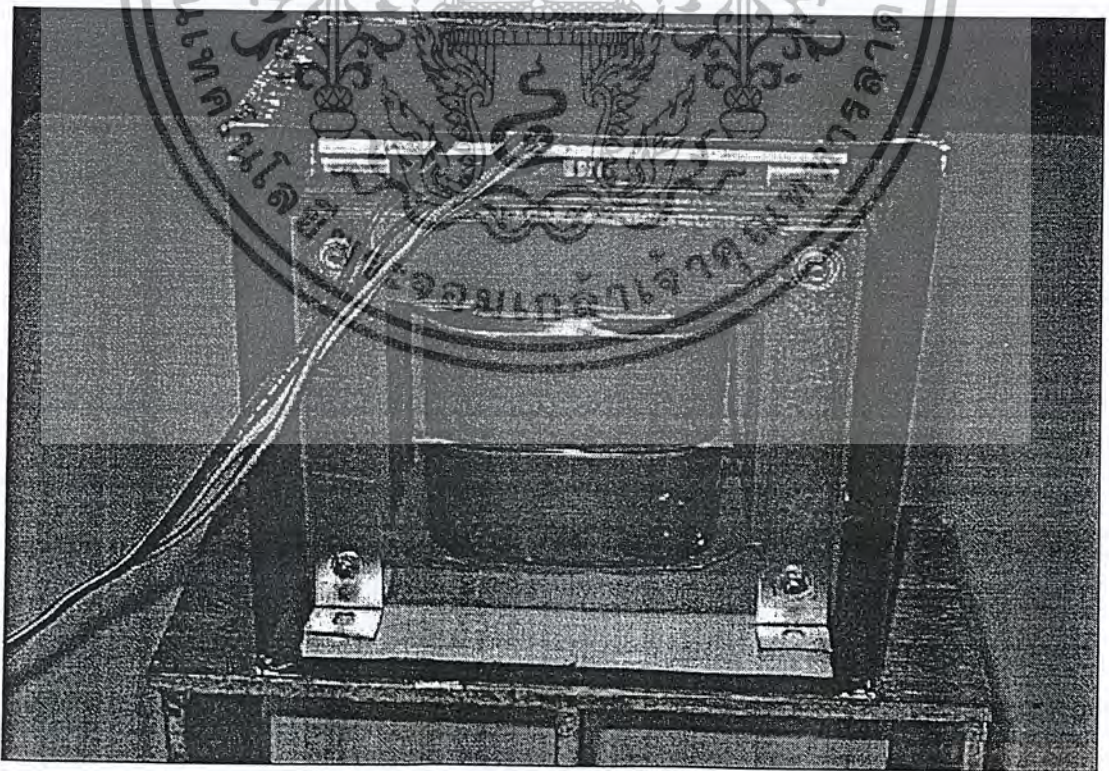


รูป ข.8 ภาพแสดงกล่องซีดีที่ทำจากซิลิกอนซีทสตีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.9 ภาพแสดงกล่องซิลต์ที่ทำจากเหล็ก



รูป ข.10 ภาพแสดงการวางหม้อแปลงในกล่องซิลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้