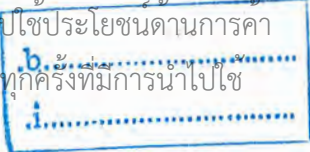


การออกแบบกล่องกันคลื่นความถี่ต่ำสำหรับหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาดเล็กและสายย่อย
DESIGN OF LOW FREQUENCY SHIELDING BOX FOR A SMALL POWER
TRANSFORMER AND BRANCH WIRING



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขที่.....55613.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.2.0.พ.ศ. 2548



การออกแบบกล่องกันคลื่นความถี่ต่ำสำหรับหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาดเล็กและสายย่อย
DESIGN OF LOW FREQUENCY SHIELDING BOX FOR A SMALL POWER
TRANSFORMER AND BRANCH WIRING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบกล่องกันคลื่นความถี่ต่ำสำหรับหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาดเล็กและสายย่อย

DESIGN OF LOW FREQUENCY SHIELDING BOX FOR A SMALL POWER
TRANSFORMER AND BRANCH WIRING

ผู้จัดทำ

นาย ธนาเวทย์ แจ้โพธิ์ รหัส 43010171

นาย ชีรภัทร์ คัมภีรานนท์ รหัส 43010187

นาย พชรวี โพธิ์จาด รหัส 43010279



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.จ.อ.ดร.วิระชัย นันเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกล่องกันคลื่นความถี่ต่ำสำหรับหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาดเล็กและสายย่อย

นาย ธนาเวทย์ แจ้โพธิ์ รหัส 43010171
 นาย ชีรภัทร์ คัมภีรานนท์ รหัส 43010187
 นาย พชรวี โพธิ์จาด รหัส 43010279
 รศ. ร.อ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและจำลองระบบกรป้องกันสัญญาณรบกวนที่ผ่านทางอากาศ ซึ่งส่งผลมาจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาด 250 โวลต์แอมป์ 50 เฮิร์ตซ์ และสายป้อนในลักษณะต่างๆ โดยวิธีที่ใช้ลดผลของสัญญาณรบกวนดังกล่าวคือ การชิลด์ (Shielding) ซึ่งเป็นการใช้แผ่นโลหะที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการดูดกั้นพลังงาน และสะท้อนพลังงาน จากนั้นจึงนำไปสร้างกล่องกันคลื่นต่อไป (Shielding Box) เพื่อนำไปแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน ต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รอบข้างหม้อแปลงความถี่ต่ำและสายป้อน ในที่นี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะกล่าวถึงจอของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แสดงผลของสนามแม่เหล็ก โดยยืนยันจากโปรแกรมสนามแม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design of Low Frequency Shielding Box for a Small Power Transformer and Branch Wiring

Thanawate Jaepo

Teerapat Cambhiranont

Pacharavee Pojard

Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern Advisor

2003

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study how to protect interference wave. This wave is electromagnetic wave radiated from low frequency transformer 250 VA, 50 Hz and various types of branch wiring. The design for protection for these effects is done by shielding method. It is found that the electromagnetic field can be controlled. The principle of absorption and reflection of metal plate are applied. The suitable metal plate was selected to make the Shielding box that was used to reduce the effect of electromagnetic interference that usually occur with electronic devices and at low frequency transformer branch wiring. In this work, the computer monitor is used to monitor the noise effect and to confirm by the magnetic field probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ร.อ. ดร. วีระเชษฐุ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการวิจัย คำปรึกษา เพื่อให้มองปัญหา ง่ายขึ้นทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้หากไม่ถดถอยความพยายาม

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิชิต ต่ายอง ที่เอื้ออำนวย สถานที่อุปกรณ์และเครื่องมือที่สำคัญ ในการทดลองในครั้งนี้

ขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ประจำห้องวิจัย Electromagnetic Compatibility Laboratory (EMC Lab) ที่ได้ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการวิจัย

สุดท้ายผู้ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เข้าใจและเป็นกำลังใจบุตรเป็นอย่างดี รวมทั้ง ช่วยเหลือด้านทุนทรัพย์ ตลอดจนเพื่อนๆและบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหลาย ที่คอยช่วยเหลือจน โครงการลุล่วงมา ณ ที่นี้ด้วย



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญที่มาของปัญหาที่นำมาเป็นหัวข้อในการทำโครงการ	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 วิธีดำเนินงาน	1
1.5 แผนงาน	2
1.6 แผนภูมิแสดงแผนงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ทฤษฎี Shielding	5
2.1.1 ทฤษฎีสถานม (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 ประสิทธิภาพการชิลด์ (Shielding Effectiveness)	10
2.2.1 Absorption loss (dB)	16
2.2.2 Reflection loss (dB)	17
2.2.3 Re-Reflection Correction	18
2.3 การกระจายความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก	18
2.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของสายส่งหนึ่งเฟส 2 สาย	19
บทที่ 3 การจำลองระบบโดย MATLAB	21
3.1 Flow chart ของการจำลองระบบโดย MATLAB	26
3.2 สรุปผลการทดลองการชิลด์จากการจำลองระบบโดย MATLAB	37
3.7 ข้อเสนอแนะ	38
บทที่ 4 การทดลองการชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 การออกแบบ	39
4.2 การทดลองการชิลด์โดยแยกตามชนิดของแผ่นโลหะ	41
4.2.1 การชิลด์ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 0.5 A	42
4.2.2 การชิลด์ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 1 A	52
4.2.3 การชิลด์ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 2 A	62
4.3 สรุปผลการทดลองการชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะ โดยดูผลเป็นแนวโน้ม	72
บทที่ 5 การทดลองการชิลด์โดยใช้กล่องชิลด์	76
5.1 การทดลองชิลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องชิลด์	76
5.1.1 การออกแบบกล่องชิลด์และวิธีการทดลอง	76
5.1.2 การชิลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องชิลด์ชนิดซิลิกอนชิพสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	78
5.1.3 การชิลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องชิลด์ชนิดซิลิกอนชิพสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	82
5.1.4 การชิลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องชิลด์ชนิดซิลิกอนชิพสตีลที่ต่อแบบก่อกอ	87
5.2 สรุปผลการทดลองของกล่องชิลด์	91
บทที่ 6 การทดลองการกระจายของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำ	92
6.1 การกระจายของสนามแม่เหล็กแยกตามสายตัวนำแบบต่างๆ	93
6.1.1 การกระจายของสนามแม่เหล็กขณะจ่ายโหลด 2 A	93
6.1.2 การกระจายของสนามแม่เหล็กขณะจ่ายโหลด 4 A	98
6.2 สรุปผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำ	102
บทที่ 7 การทดลองการชิลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อ	104
7.1 การทดลองชิลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อ	104
7.1.1 การทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กและค่าประสิทธิภาพการชิลด์ขณะจ่ายโหลด 2 A	105
7.1.2 การทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กและค่าประสิทธิภาพการชิลด์ขณะจ่ายโหลด 4 A	111
7.2 สรุปผลการทดลองการชิลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อ	117
บทที่ 8 สรุปและข้อเสนอแนะ	119
8.1 สรุปผลการจำลองระบบโดย MATLAB	119
8.2 สรุปผลการชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะ	120
8.3 สรุปผลการชิลด์โดยใช้กล่องชิลด์	121
8.4 สรุปการกระจายของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำ	123
8.5 การชิลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อ	123
8.6 สรุปโครงการ	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

8.7 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

125

8.8 ข้อเสนอแนะ

125

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโลหะต่างๆ	21
ตารางที่ 3.2	ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโลหะต่างๆ	22
ตารางที่ 3.3	ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโลหะต่างๆ	23
ตารางที่ 3.4	ช่วงของค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์	24
ตารางที่ 4.1	ความหนา, ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์	41
ตารางที่ 4.2	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ ธรรมดา	42
ตารางที่ 4.3	ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	42
ตารางที่ 4.4	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ เหลื่อมกัน 1 cm	44
ตารางที่ 4.5	ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	44
ตารางที่ 4.6	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ ก้ออิฐ	46
ตารางที่ 4.7	ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐ	46
ตารางที่ 4.8	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของเหล็ก	48
ตารางที่ 4.9	ค่า SE ของเหล็ก	48
ตารางที่ 4.10	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของสังกะสี	50
ตารางที่ 4.11	ค่า SE ของสังกะสี	50
ตารางที่ 4.12	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ ธรรมดา	52
ตารางที่ 4.13	ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	52
ตารางที่ 4.14	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ เหลื่อมกัน 1 cm	54
ตารางที่ 4.15	ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	54
ตารางที่ 4.16	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ ก้ออิฐ	56
ตารางที่ 4.17	ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐ	56
ตารางที่ 4.18	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของเหล็ก	58
ตารางที่ 4.19	ค่า SE ของเหล็ก	58
ตารางที่ 4.20	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของสังกะสี	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.21 ค่า SE ของสังกะสี	60
ตารางที่ 4.22 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ ธรรมดา	62
ตารางที่ 4.23 ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	62
ตารางที่ 4.24 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ เหลื่อมกัน 1 cm	64
ตารางที่ 4.25 ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	64
ตารางที่ 4.26 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบ ก่ออิฐ	66
ตารางที่ 4.27 ค่า SE ของซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐ	66
ตารางที่ 4.28 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของเหล็ก	68
ตารางที่ 4.29 ค่า SE ของเหล็ก	68
ตารางที่ 4.30 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของสังกะสี	70
ตารางที่ 4.31 ค่า SE ของสังกะสี	70
ตารางที่ 5.1 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะปิดทุกด้าน	78
ตารางที่ 5.2 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านบน	78
ตารางที่ 5.3 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านล่าง	78
ตารางที่ 5.4 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านซ้าย	79
ตารางที่ 5.5 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านขวา	79
ตารางที่ 5.6 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหน้า	79
ตารางที่ 5.7 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหลัง	80
ตารางที่ 5.8 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านบน และด้านล่าง	80
ตารางที่ 5.9 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านซ้าย และด้านขวา	80
ตารางที่ 5.10 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหน้า และด้านหลัง	81
ตารางที่ 5.11 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหลัง และด้านบน	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.12 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหลัง และด้านล่าง	81
ตารางที่ 5.13 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านบน, ด้านหลัง และด้านล่าง	82
ตารางที่ 5.14 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะปิดทุก ด้าน	82
ตารางที่ 5.15 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านบน	83
ตารางที่ 5.16 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านล่าง	83
ตารางที่ 5.17 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านซ้าย	83
ตารางที่ 5.18 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านขวา	84
ตารางที่ 5.19 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านหน้า	84
ตารางที่ 5.20 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านหลัง	84
ตารางที่ 5.21 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านบนและด้านล่าง	85
ตารางที่ 5.22 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านซ้ายและด้านขวา	85
ตารางที่ 5.23 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านหน้าและด้านหลัง	85
ตารางที่ 5.24 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านหลังและด้านบน	86
ตารางที่ 5.25 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านหลังและด้านล่าง	86
ตารางที่ 5.26 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะเปิด ด้านบน, ด้านหลัง และด้านล่าง	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.27	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะปิดทุกด้าน	87
ตารางที่ 5.28	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านบน	87
ตารางที่ 5.29	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านล่าง	88
ตารางที่ 5.30	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านซ้าย	88
ตารางที่ 5.31	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านขวา	88
ตารางที่ 5.32	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านหน้า	89
ตารางที่ 5.33	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านหลัง	89
ตารางที่ 5.34	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านบน และด้านล่าง	89
ตารางที่ 5.35	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านซ้าย และด้านขวา	90
ตารางที่ 5.36	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านหน้า และด้านหลัง	90
ตารางที่ 5.37	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านหลัง และด้านบน	90
ตารางที่ 5.38	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านหลัง และด้านล่าง	91
ตารางที่ 5.39	ผลที่ได้จากกล่องซึดค์ชนิดซิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐลักษณะเปิดด้านบน, ด้านหลัง และด้านล่าง	91
ตารางที่ 6.1	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm	93
ตารางที่ 6.2	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm	94
ตารางที่ 6.3	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางติดกัน	95
ตารางที่ 6.4	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว	96
ตารางที่ 6.5	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm	98
ตารางที่ 6.6	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm	99
ตารางที่ 6.7	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางติดกัน	100
ตารางที่ 6.8	ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว	101
ตารางที่ 7.1	ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm	105
ตารางที่ 7.2	ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางติดกัน	107
ตารางที่ 7.3	ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียว	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm	111
ตารางที่ 7.5 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางติดกัน	113
ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียว	115
ตารางที่ 8.1 การชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะขณะจ่ายโหลด 0.5 A	120
ตารางที่ 8.2 การชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะขณะจ่ายโหลด 1 A	120
ตารางที่ 8.3 การชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะขณะจ่ายโหลด 2 A	121
ตารางที่ 8.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชิลด์สนามแม่เหล็กด้านบนหม้อแปลง (ด้านที่วางคอมพิวเตอรื) เมื่อใช้กล่องที่ทำจากชิลิกอนชิทสตีลทั้ง 3 แบบ	122
ตารางที่ 8.5 การชิลด์โดยใช้ท่อเหล็กและชิลิกอนชิทสตีลประกอบเป็นท่อของสายแบบต่างๆ ในขณะจ่ายโหลด 2 A	123
ตารางที่ 8.6 การชิลด์โดยใช้ท่อเหล็กและชิลิกอนชิทสตีลประกอบเป็นท่อของสายแบบต่างๆ ในขณะจ่ายโหลด 4 A	123
ตารางที่ 8.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชิลด์เมื่อเปลี่ยนชนิดและลักษณะการประกอบ	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย	7
รูปที่ 2.2	เปรียบเทียบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.3	ค่า Wave impedance เปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย	8
รูปที่ 2.4	การสะท้อนและดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นโลหะ	11
รูปที่ 2.5	การเคลื่อนที่ของคลื่นในรูปของสมการ	12
รูปที่ 2.6	การกระจายของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำเดี่ยว	18
รูปที่ 2.7	การกระจายของสายตัวนำของระบบ 1 เฟส	19
รูปที่ 2.8	การกระจายของสนามแม่เหล็กรอบสายตัวนำ	20
รูปที่ 3.1	Block diagram และพารามิเตอร์การจำลองระบบโดย MATLAB	24
รูปที่ 3.2	Flow chart ของแผ่นซิลิกอนชิทสตีล, แผ่นเหล็ก และแผ่นสแตนเลสสตีล	26
รูปที่ 3.3	Flow chart ของแผ่นทองเหลือง และแผ่นสังกะสี	27
รูปที่ 3.4	กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นซิลิกอนชิทสตีล	29
รูปที่ 3.5	กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นเหล็ก	31
รูปที่ 3.6	กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นทองเหลือง	33
รูปที่ 3.7	กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นสแตนเลสสตีล	35
รูปที่ 3.8	กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นสังกะสี	37
รูปที่ 4.1	การวางอุปกรณ์ในการทดลอง	39
รูปที่ 4.2	การต่อแผ่นซิลิกอนชิทสตีลทั้ง 3 แบบ	40
รูปที่ 4.3	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	43
รูปที่ 4.4	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	45
รูปที่ 4.5	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบก้ออิจู	47
รูปที่ 4.6	กราฟผลการทดลองของเหล็ก	49
รูปที่ 4.7	กราฟผลการทดลองของสังกะสี	51
รูปที่ 4.8	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	53
รูปที่ 4.9	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	55
รูปที่ 4.10	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบก้ออิจู	57
รูปที่ 4.11	กราฟผลการทดลองของเหล็ก	59
รูปที่ 4.12	กราฟผลการทดลองของสังกะสี	61
รูปที่ 4.13	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.14	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนซีทิสติลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm	65
รูปที่ 4.15	กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนซีทิสติลที่ต่อแบบก่อกออิฐ	67
รูปที่ 4.16	กราฟผลการทดลองของเหล็ก	69
รูปที่ 4.17	กราฟผลการทดลองของสังกะสี	71
รูปที่ 4.18	กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 1 แผ่น ในแนวตั้งทั้ง 0.5 และ 1 A	72
รูปที่ 4.19	กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 1 แผ่น ในแนวตั้ง 2 A	73
รูปที่ 4.20	กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 1 แผ่น ในแนวตั้ง 0.5 A	73
รูปที่ 4.21	กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 2 แผ่นในแนวการเรียงตัวสลับกันทั้ง 1 และ 2 A	74
รูปที่ 5.1	กล่องซีลด์ที่ใช้ครอบหม้อแปลงไฟฟ้า	76
รูปที่ 5.2	ขนาดของกล่องซีลด์และตำแหน่งหม้อแปลง	77
รูปที่ 6.1	การวางอุปกรณ์ในการทดลองของสายตัวนำทั้ง 4 แบบ	92
รูปที่ 6.2	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm	94
รูปที่ 6.3	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm	95
รูปที่ 6.4	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางติดกัน	96
รูปที่ 6.5	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว	97
รูปที่ 6.6	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm	99
รูปที่ 6.7	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm	100
รูปที่ 6.8	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางติดกัน	101
รูปที่ 6.9	กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว	102
รูปที่ 7.1	การวางอุปกรณ์ในการทดลอง	104
รูปที่ 7.2	ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ	106
รูปที่ 7.3	ค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm จากการซีลด์ในแบบต่างๆ	106
รูปที่ 7.4	ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางติดกัน ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ	108
รูปที่ 7.5	ค่า SE ของสายตัวนำแบบวางติดกัน จากการซีลด์ในแบบต่างๆ	108
รูปที่ 7.6	ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ	110
รูปที่ 7.7	ค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียวจากการซีลด์ในแบบต่างๆ	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 7.8	ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ	112
รูปที่ 7.9	ค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm จากการซีลด์ในแบบต่างๆ	112
รูปที่ 7.10	ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางติดกัน ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ	114
รูปที่ 7.11	ค่า SE ของสายตัวนำแบบวางติดกัน จากการซีลด์ในแบบต่างๆ	114
รูปที่ 7.12	ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ	116
รูปที่ 7.13	ค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียวจากการซีลด์ในแบบต่างๆ	116
รูปที่ 7.14	กราฟค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบต่างๆที่ซีลด์ด้วยท่อเหล็กและซิลิกอนซีทสตีล ประกบขณะจ่ายโหลด 2 A	117
รูปที่ 7.15	กราฟค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบต่างๆที่ซีลด์ด้วยท่อเหล็กและซิลิกอนซีทสตีล ประกบขณะจ่ายโหลด 4 A	118



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่นำมาเป็นหัวข้อในการทำโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้คอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลาย โดยที่จอมอนิเตอร์เป็นอุปกรณ์เพื่อแสดงภาพและผลการทำงานต่างๆของคอมพิวเตอร์ ซึ่งในบางครั้งเราอาจจะประสบปัญหาว่าจอมอนิเตอร์มีการสั่น กระพริบ หรือในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมหรือบริษัทต่างๆไปที่มีการเดินสายไฟฟ้าแรงสูง หรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ใกล้กับคอมพิวเตอร์ ทำให้จอมอนิเตอร์มีอาการรบกวนส่งผลทำให้เราไม่สามารถจะใช้งานได้ ซึ่งสาเหตุของปัญหาเหล่านี้ เนื่องมาจากสนามแม่เหล็กจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ภายในตัวอาคารหรือจากหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไปรบกวนที่จอมอนิเตอร์ ทำให้จอมอนิเตอร์มีอาการผิดปกติ

ปัญหาเหล่านี้จะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน หนึ่งในวิธีการแก้ไขปัญหาก็คือการชิลด์ (Shielding) ซึ่งการชิลด์นั้นมีหลักการหลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะสัญญาณรบกวน ชนิดของ โลหะและวิธีการที่ใช้ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกใช้วิธีและการใช้วัสดุ

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและออกแบบการลดผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำขนาด 250VA 50 Hz และสายย่อย
2. การวัดค่าและการออกแบบระบบ Shielding และการจัดวางตำแหน่งของสายป้อนโดยขอบเขตการศึกษาจะมุ่งเน้นผลของสนามแม่เหล็ก
3. ทำ Modeling ของการลดทอนสัญญาณของโลหะ

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลง 50 Hz และสายย่อย
2. ออกแบบระบบชิลด์เพื่อนำไปสู่การลดทอนผลจาก EMI
3. หาวัสดุที่สามารถให้ผลการชิลด์ที่ดี
4. ฝึกการบริหาร โครงการและการแก้ไขปัญหาเป็นทีม

1.4 วิธีดำเนินงาน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 เป็นส่วนของการวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการชิลด์ ซึ่งเป็นแนวทางในการเลือกโลหะที่จะนำมาใช้ในการวิจัย โดยใช้การจำลองระบบโดย MATLAB

บทที่ 4 เป็นการนำเอาโลหะที่วิเคราะห์ได้ในบทที่ 3 และหาได้มาทำการทดลองจริง โดยใช้แผ่นโลหะชนิดต่างๆ มากั้นระหว่างตัวส่งกับตัวรับสัญญาณรบกวน

บทที่ 5 เป็นการผลจากบทที่ 4 มาทำการออกแบบและทดลองกล่องป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งในโครงการนี้คือจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์

บทที่ 6 เป็นการวัดค่าเพื่อศึกษาการกระจายของสายตัวนำในแบบต่างๆ

บทที่ 7 นำเอาสายตัวนำต่างๆมาทำการทดลองชิลด์กับวัสดุป้องกันต่างๆ

บทที่ 8 เป็นการนำเอาผลการทดลองที่ได้ในบทที่ 3 ถึงบทที่ 7 มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 แผนงาน

แผนงาน	เดือน	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2					
		มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
1.ศึกษาและออกแบบระบบชิลด์สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลง ความถี่ต่ำและสายป้อน		←→										
2.จำลองระบบการชิลด์ด้วย MATLAB ของหม้อแปลง		←→										
3.ทำการทดลองการชิลด์ด้วยแผ่นโลหะและบันทึกวิเคราะห์ผลของหม้อแปลง		←→										
4.ปรับปรุงและสรุปผลการทดลอง					←→							
5.ออกแบบและสร้างต้นแบบจริงทั้งหม้อแปลงและสายป้อน						←→						
6.ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลของกล่องชิลด์และสายป้อน							←→					
7.ปรับปรุงและสรุปผลการทดลอง								←→				
8.จัดทำวิทยานิพนธ์และเตรียมสอบ										←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนภูมิแสดงแผนงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

สัญญาณรบกวน (Noise) ในทางไฟฟ้า เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น แต่ก็พบได้บ่อยในระบบไฟฟ้าซึ่งสัญญาณรบกวนในระบบใดๆพิจารณาเป็น

- เกิดขึ้นในระบบนั่นเอง
- เกิดขึ้นนอกระบบ

การจำแนกแหล่งกำเนิดสัญญาณแบ่งเป็น 3 แบบใหญ่ๆ คือ

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]

ในการพิจารณาปัญหาหาต้องมีแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนมีตัวกลางในการนำพาสัญญาณรบกวนเรียกว่า “ช่องเชื่อมโยง” (Coupling channel) และมีตัวรับเอาสัญญาณรบกวน

การป้องกันสัญญาณรบกวนสามารถทำได้โดย

1. กำจัดแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน
2. ตัวรับต้องไม่มีความไวที่จะรับสัญญาณรบกวน
3. พยายามลดหรือกำจัดช่องเชื่อมโยงทิ้ง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจัดเป็นสัญญาณรบกวนประเภทหนึ่งได้โดยจัดเป็นสัญญาณรบกวนที่ผ่านมาจากทางอากาศ สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz กระแสที่ไหลในขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กนี้เองจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ๆ ได้รับผลกระทบ เช่น ภาพที่จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์มีการสั่น ซึ่งในโรงงานที่ทำนี้จะเสนอการลดผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่มารบกวนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์โดยผ่านมาทางอากาศซึ่งเรียกว่าการชีลด์ (Shielding) ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดผลของสนามแม่เหล็กที่น่าสนใจ เนื่องจากในโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งหม้อแปลงไว้ใกล้ที่ทำงานทำให้จอมอนิเตอร์ได้รับผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ทฤษฎี Shielding [2]

2.1.1 ทฤษฎีสถาน (Field Theory)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงความสัมพันธ์สนามแม่เหล็ก (Magnetic fields), สนามไฟฟ้า (Electric fields) และ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งลักษณะของ Near fields, Far fields ซึ่งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจะมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำแบบ Short wire (straight wire) ซึ่งความยาวตัวนำ $D \ll \lambda$ สามารถประยุกต์ใช้ในสมการของ Maxwell's equation 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 ($z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120\pi = 377\Omega$)

$I =$ Current in short wire

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

$\theta =$ Zenith angle to radial distance r

$r =$ distance from short wire to measuring point

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

$\omega =$ Radial frequency = $2\pi f$

$t =$ Time = $1/f$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 $Z_0 = E_\theta / H_\phi = 377\Omega$
- 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 $= E_\theta / H_\phi = Z_0 \lambda / 2\pi r$ ซึ่ง $\lambda / 2\pi r \gg 1$ ดังนั้นในช่วงนี้เรียกว่า High-impedance field และ impedance มีค่าสูงกว่า Plane wave impedance และช่วงนี้จะพิจารณาเป็น Electric field

แบบ Wire loop

- เทอมแรกของสมการ (2.1) และ (2.2) จะหมดไปจะมีเฉพาะเทอมแรกของสมการที่ (2.3) ที่มีผลมาก
- Wave impedance $= E_\theta / H_\phi = Z_0 2\pi r \gg 1$ ดังนั้นในช่วงนี้เรียกว่า Low-impedance field และ impedance มีค่าน้อยกว่า Plane wave impedance และช่วงนี้จะพิจารณาเป็น Magnetic field

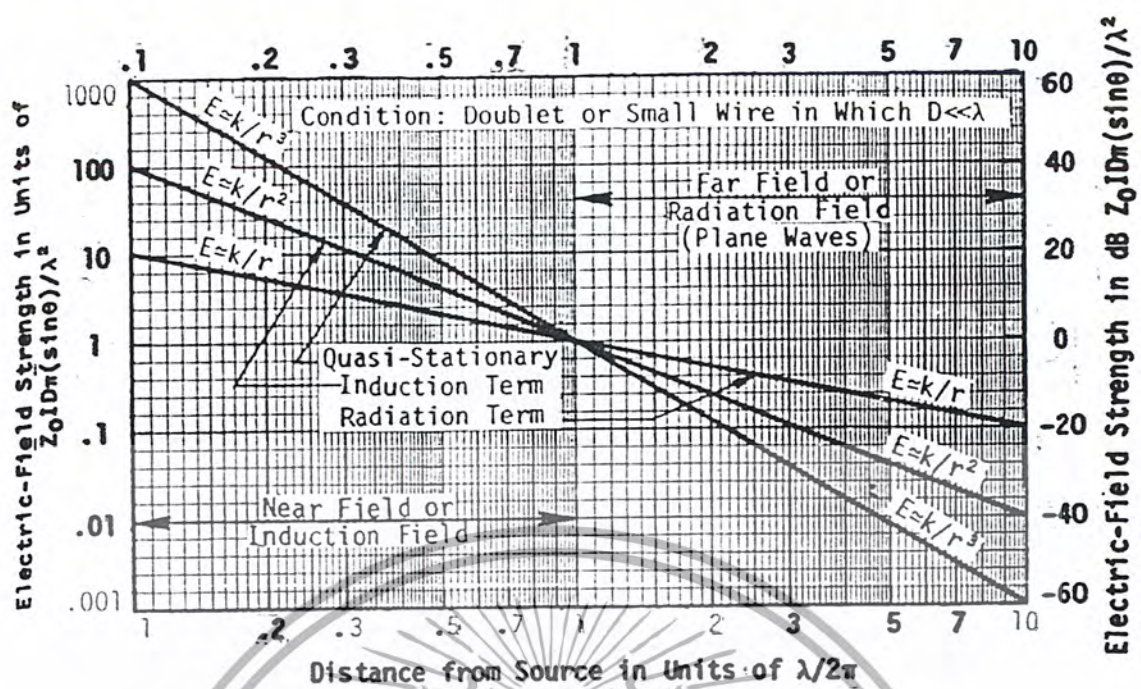
- เมื่อ $r = \lambda/2\pi$ ณ จุดนี้คือรอยต่อของ Near fields กับ Far fields

สัมประสิทธิ์ของทุกเทอมทุก สมการมีขนาดเท่ากัน

- ในสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3)

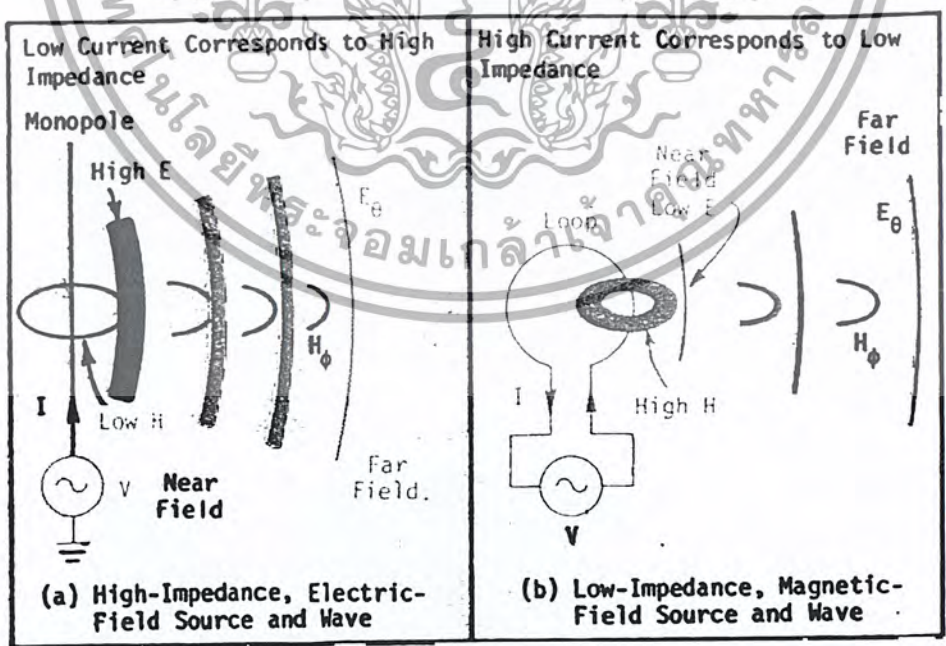
- เทอมที่ $E \propto 1/r^3$ เรียกว่า Quasi-stationary term
- เทอมที่ $E \propto 1/r^2$ เรียกว่า Induction-term
- เทอมที่ $E \propto 1/r$ เรียกว่า Radiation-term

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



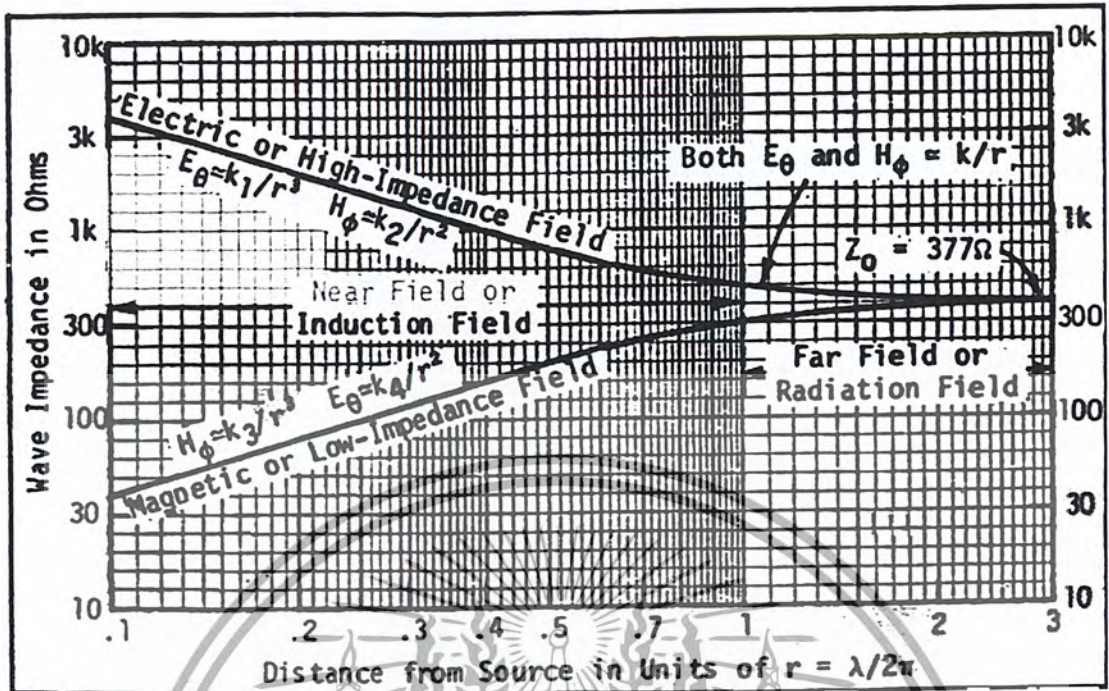
รูปที่ 2.1 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย [2]

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 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ค่า Wave impedance เปรียบเทียบกับระยะห่างจากแหล่งจ่าย [2]

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 ต่างๆ ซึ่งที่ 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

$$Z_w = E/H$$

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

$$Z_w = 377\Omega \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\epsilon_0 = 1/36\pi \times 10^9 \text{ F/m}$$

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

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

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

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

โดย $\sigma = \sigma_c \sigma_r$

σ_c = Conductivity of copper = 5.80×10^7 mhos/m

σ_r = Conductivity of metal relatives to copper

Metal impedance เมื่อ $t < 3\delta$ จะได้



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

$$|Z_m| = \frac{396 \sqrt{\mu_r f_{MHz} / \sigma_r}}{\left(1 - e^{-t/\delta}\right)} \quad \mu\Omega / sq \quad (2.10)$$

2.2 Shielding effectiveness

Shielding effectiveness (SE) เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ใดๆ โดย

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

Incident power density = พลังงานที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ที่จุดสนใจก่อนการทำชิลด์

Transmitted power density = พลังงานที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ที่จุดสนใจหลังการทำชิลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชิลด์ของ Magnetic fields และ Electric fields

- สำหรับ Electric fields

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_b}{E_a} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อ E_b = Electric field strength ก่อนชิลด์

E_a = Electric field strength หลังชิลด์

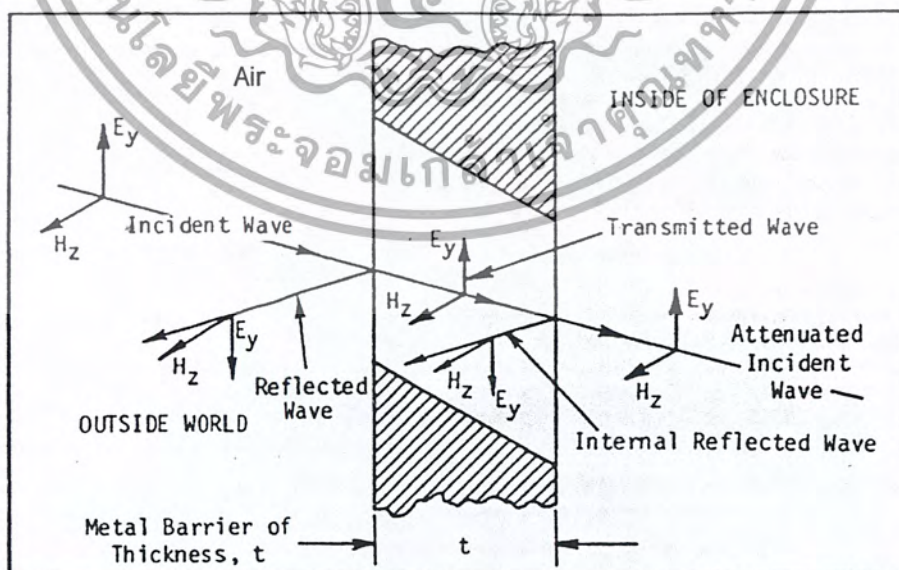
- สำหรับ Magnetic fields

$$SE = 20 \log \left(\frac{H_b}{H_a} \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ H_b = Magnetic field strength ก่อนชิลด์

H_a = Magnetic field strength หลังชิลด์

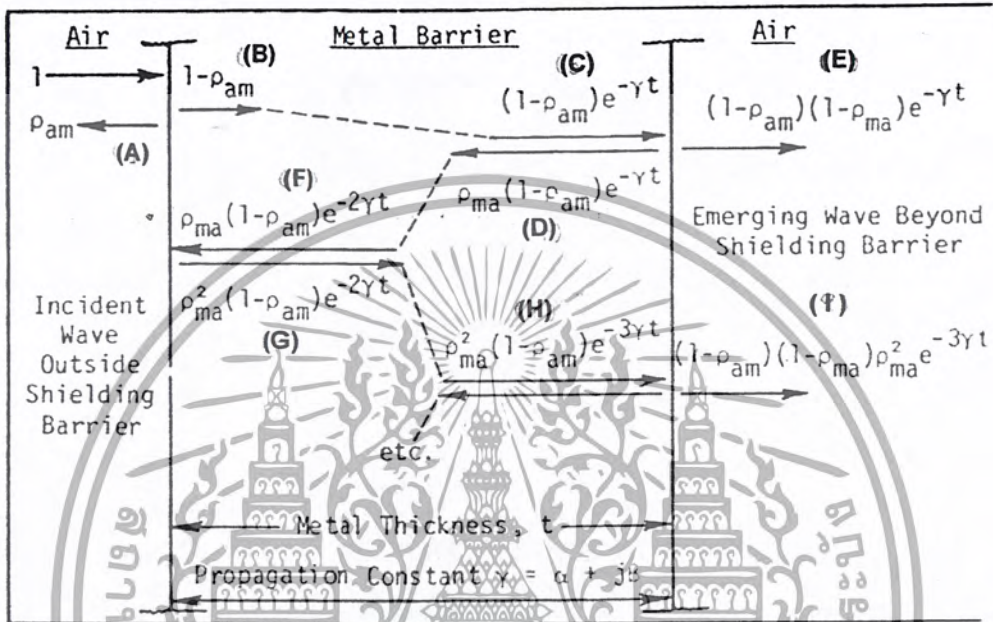
ใน Near fields wave impedance ของ Electric fields และ Magnetic fields ต่างกัน ดังนั้น ในการชิลด์จะให้ผลในสมการ (2.12), (2.13) ต่างกัน



รูปที่ 2.4 การสะท้อนและดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นโลหะ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงลักษณะของการใช้แผ่นโลหะมากั้นทางเดินของคลื่นเพื่อลดผลของ Electromagnetic wave โดยคลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนออกไป (reflected wave) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปภายในแผ่นโลหะ ซึ่งที่แผ่นโลหะก็จะมีการสะท้อนภายในแผ่นโลหะ (internal reflected wave) ตรงรอยต่อของแผ่นโลหะกับอากาศอีก คลื่นที่เหลือคือคลื่นที่ผ่านออกไปหลังจากการทำชิลด์ (attenuated incident wave)



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของคลื่นในรูปของสมการ [2]

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

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ออกจากอากาศผ่านเข้าสู่โลหะ (Air to Metal) คลื่นส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกมา โดยมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนจากอากาศเข้าสู่แผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_{am} = \frac{1-k}{1+k} = \frac{z_m - z_w}{z_m + z_w} \quad (2.15)$$

เมื่อ $k = \frac{z_w}{z_m}$

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ออกจากโลหะเข้าสู่อากาศ (Metal to air) ก็จะมีการสะท้อนที่รอยต่ออีก โดยสัมประสิทธิ์การสะท้อนคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนจากโลหะออกสู่อากาศ

$$\rho_{ma} = \frac{1-k}{1+k} = \frac{z_m - z_w}{z_m + z_w} \quad (2.16)$$

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากอากาศเข้าสู่โลหะ (Air to metal) คลื่นที่ผ่านโลหะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากอากาศสู่โลหะดังนี้

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

และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากโลหะสู่อากาศ

$$\Gamma_{am} = 1 - \rho_{am} = \frac{2k}{1+k} = \frac{2z_m}{z_w + z_m} \quad (2.18)$$

จากรูปที่ 2.5 เมื่อเริ่มต้นเคลื่อนที่มาก่อนที่จะกระทบแผ่นโลหะมีค่าเป็น 1 จะได้ว่าสถานะ (A) คลื่นที่สะท้อนเมื่อตกกระทบแผ่นโลหะคือ

$$1 \times \rho_{am} \quad (2.19)$$

สถานะ (B) คลื่นเคลื่อนที่จากอากาศสู่โลหะที่รอยต่อคือ

$$1 \times \Gamma_{am} = 1 - \rho_{am} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะ (C) คลื่นที่รอยต่อ metal to air ภายในแผ่น โลหะน้อยกว่าที่รอยต่อ air to metal เนื่องจากคลื่นส่วน หนึ่งถูกดูดซับเอาไว้ภายในแผ่น โลหะ 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 $\gamma = \text{propagation constant} = \alpha + j\beta$
 $\alpha = \text{attenuation constant}$
 $\beta = \text{phase constant}$
 $t = \text{metal thickness}$

สภาวะ (D) ที่ขอบ metal to air จะมีการสะท้อนของคลื่นที่รอยต่ออีกครั้งเรียกว่า re- reflection คลื่นที่ สะท้อนตรงนี้คือ

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

สภาวะ (E) คลื่นที่ผ่านรอยต่อ metal to air ออกสู่อากาศ คือ

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

สภาวะ (F) คลื่นที่สะท้อนรอยต่อ metal to air หรือ re- reflection จะเคลื่อนที่ผ่าน โลหะมายังรอยต่อ metal to air ที่ขอบด้านซ้ายของแผ่น โลหะซึ่งคลื่นที่จุดนี้จะน้อยลงเพราะถูกดูดซับเอาไว้ โดยคลื่นที่ จุดนี้ คือ

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

สภาวะ (G) คลื่นจากสภาวะ (F) จะสะท้อนที่ขอบอีกครั้งโดยคลื่นที่สะท้อนกลับมาที่จุดนี้คือ

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

สภาวะ (H) คลื่นที่สะท้อนในสภาวะ (G) จะถูกดูดซับไว้อีกทำให้ ขอบรอยต่อที่จุดสภาวะ (H) คลื่นจะ ลดลงคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะ (I) คลื่นที่ผ่านมาถึงจุดนี้ คือ

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

และคลื่นก็จะมีการสะท้อนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งเราสามารถหาคลื่นรวมที่ผ่านแผ่นโลหะหรือคลื่นที่วัดได้หลังการทำซีลด์นี้

คลื่นรวมที่ผ่านแผ่นโลหะหลังการทำซีลด์แล้ว (Γ_{total})

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

จะได้

$$\begin{aligned} \Gamma_{total} &= (1 - \rho_{am})(1 - \rho_{ma}) e^{-\gamma t} [1 + \rho_{ma}^2 e^{-2\gamma t} + \rho_{ma}^4 e^{-4\gamma t} + \rho_{ma}^6 e^{-6\gamma t} + K] \\ \Gamma_{total} &= (1 - \rho_{am})(1 - \rho_{ma}) e^{-\gamma t} [1 - \rho_{ma}^2 e^{-2\gamma t}]^{-1} \end{aligned} \quad (2.29)$$

แทนค่า (2.15), (2.16) ลงใน (2.29) จะได้

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

สมการประสิทธิผลการซีลด์

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \left[\frac{\text{คลื่นวัดได้ก่อนการทำซีลด์}}{\text{คลื่นวัดได้หลังการทำซีลด์}} \right] \quad (2.31)$$

นำ (2.30) แทนใน (2.31) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สมการแสดงประสิทธิภาพการซึบใน (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

2.2.1 Absorption loss (dB)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่าน โลหะที่มากันทางเดินทำให้คลื่นที่ผ่านออกไปมีพลังงานลดลง

$$A_{dB} = 20 \log_{10} |e^{\gamma t}| = 20 \log_{10} |e^{(\alpha + j\beta)t}|$$

$$= 20 \log_{10} |e^{\alpha t}| |e^{j\beta t}|$$

$$= 20 \log_{10} |e^{\alpha t}|$$

$$= 8.686 \alpha t \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2.2 Reflection loss (dB)

เป็นการสูญเสียพลังงานคลื่นเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นเมื่อมีโลหะมากั้นทางเดินคลื่นซึ่งถ้ามันสะท้อนได้มากก็แสดงว่ามีสลดพลังงานคลื่นด้วยการสะท้อนได้ดี

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

ถ้า k พิจารณา ดังนี้

ที่ Electric fields (High-impedance field)

$$k = 1/2\pi r f \epsilon_0 \sqrt{2\pi f \mu / \sigma} \tag{2.39}$$

ที่ Magnetic fields (Low-impedance fields)

$$k = r \sqrt{2\pi f \sigma \mu_0 / \mu_r} \tag{2.40}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ Plane wave

$$k = 1 / \sqrt{2\pi f \mu_r \epsilon_0 / \sigma} \tag{2.41}$$

2.2.3 Re-Reflection Correction

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

$$= 20 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^2 e^{-2l(\alpha + j\beta)} \right| \tag{2.42}$$

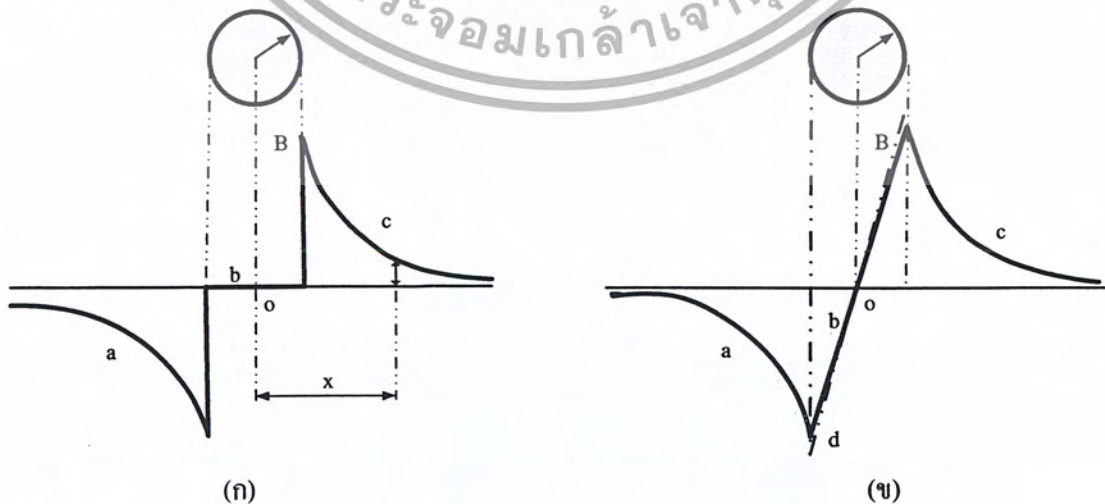
เนื่องจากโลหะ $\sigma \gg \omega\epsilon$ จะได้ $\alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ และจาก $A_{dB} = 8.686 \alpha l$

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

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

2.3 การกระจายความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก [Magnetic Field Distribution] [5]

จากผลการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาความเหนี่ยวนำของสายส่งตัวนำเดี่ยวเห็นได้ว่าการกระจายของสนามแม่เหล็กของตัวนำหนึ่งๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การกระจายของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำเดี่ยว [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) เป็นกรณีที่ลวดตัวนำได้รับผลของ skin effect จะเห็นว่า

เส้นกราฟ

- (a) แสดงการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กด้านซ้ายของตัวนำ
 (b) แสดงการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กข้างในตัวนำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0
 (c) แสดงการกระจายเส้นแรงแม่เหล็กด้านขวาของตัวนำ

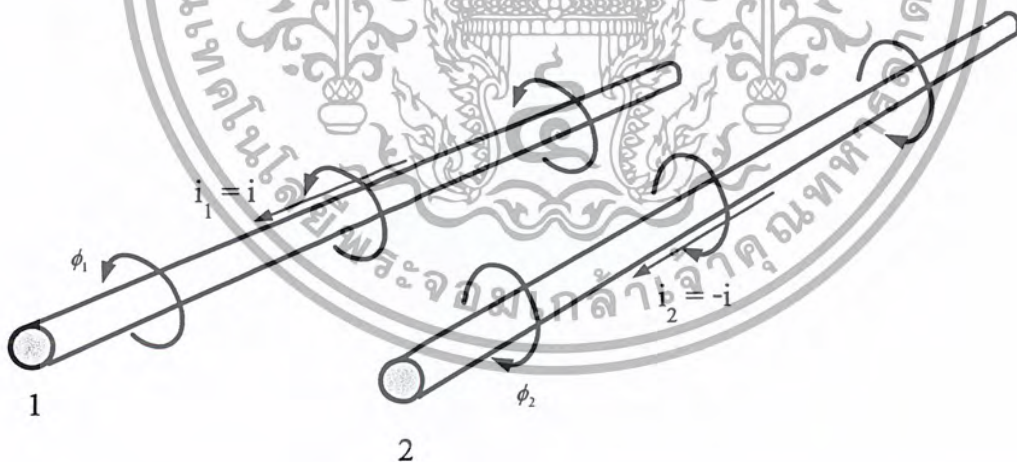
(ข) เป็นกรณีที่ลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดอย่างสม่ำเสมอ
 (uniform current distribution) จะเห็นว่า

เส้นกราฟ

- (a) และ (c) แสดงการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กข้างนอกตัวนำของกรณีแรก
 (b) แสดงการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กข้างในตัวนำ เมื่อ $\mu_{ex} = \mu_{in}$
 (d) แสดงการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กข้างในตัวนำ เมื่อ $\mu_{ex} < \mu_{in}$

2.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของสายส่งหนึ่งเฟส 2 สาย [Inductant of a Single-Phase Two-Wire Line]

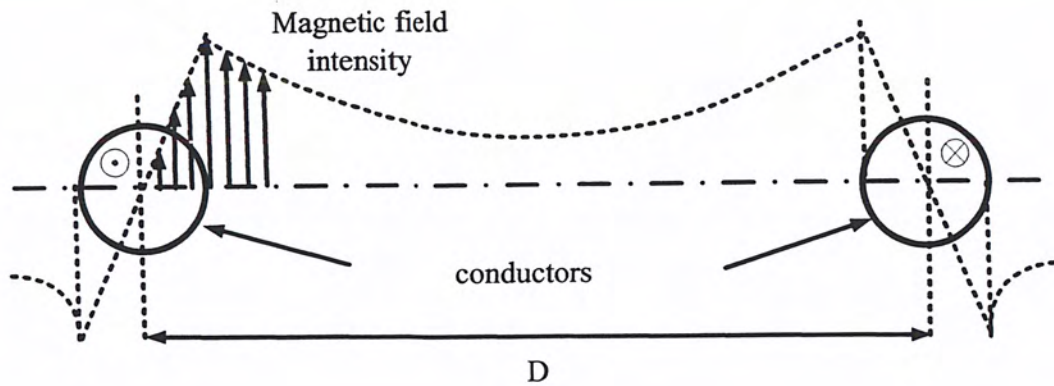
ในระบบไฟฟ้ากำลังเฟสเดียว สายส่งจะประกอบด้วยสายตัวนำ 2 เส้น ซึ่งอาจจะเป็นสายเดี่ยว หรืออาจจะเป็นสายที่ประกอบด้วยตัวนำหลายเส้นหรือสายตีเกลียว ทำให้การคำนวณมีความแตกต่างกัน ออกไปในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การหาค่าความเหนี่ยวนำของระบบ 1 เฟส 2 สาย และสายที่ใช้เป็นสายเดี่ยว ทรงกระบอกตัน (isolated cylindrical conductor) โดยเส้นหนึ่งเป็นทางเดินของกระแสไป และอีกเส้น เป็นทางเดินกลับ



รูปที่ 2.7 การกระจายของสายตัวนำของระบบ 1 เฟส [5]

เห็นได้ว่า ขณะหนึ่งเมื่อกระแสที่ไหลในตัวนำ “1” และ “2” มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงกันข้าม โดยที่ตัวนำทั้งสองมีขนาดเท่ากัน และเป็นสายตัวนำทรงกระบอก ซึ่งมีการกระจายของสนามแม่เหล็กรอบสายตัวนำดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การกระจายของสนามแม่เหล็กรอบสายตัวนำ [5]

สรุปว่า

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วในบทนี้ นำสมการของ

- 1.) Absorption Loss จากสมการ (2.37)
- 2.) Reflection Loss จากสมการ (2.38) โดยใช้ค่า k จากสมการ (2.40)
- 3.) Re-Reflection Correction จากสมการ (2.43) โดยใช้ค่า k จากสมการ (2.40) เช่นเดียวกัน
- 4.) สมการประสิทธิภาพการซีลด์ จากสมการ (2.34)

แล้วนำสมการทั้ง 4 ข้อ ไปใช้ต่อในบทที่ 3 เพื่อจำลองระบบโดย MATLAB ต่อไป

ส่วนการพิจารณาสายตัวนำนั้น ใช้ ข้อกำหนด (สมมติฐาน) ดังต่อไปนี้

- 1.) เป็นตัวนำกลม และมีการวางสายที่ขนานกันตลอด
- 2.) สายตัวนำทั้ง 2 นำกระแสไฟฟ้าเท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม
- 3.) ระยะห่างสายทั้ง 2 ต้องห่างมากเมื่อเทียบกับรัศมีของตัวนำ
- 4.) กระแสต้องมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ และต้องไม่มีสารตัวนำแม่เหล็กอยู่ใกล้

บทที่ 3

การจำลองระบบโดย MATLAB

ในบทนี้จะเป็นการจำลองระบบโดย MATLAB คือการจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการซีลด์ แสดงออกมาเป็นกราฟเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นโลหะ เริ่มจากการรวบรวมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์, ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์

ตารางที่ 3.1 ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโลหะต่างๆ [3]

(1) Metal	(2) Relative Conduct. σ_r	(3) Relative Permbly. $\mu_r \le 10^4$	(4) Product $\frac{\sigma_r \mu_r}{A = \frac{1}{10^6} \sigma_r \mu_r}$	(5) Quotient $\frac{\sigma_r}{\mu_r}$ $\bar{\mu} = \frac{\sigma_r}{\mu_r}$	(6) Relative Reflection R_{dB}
1. Silver	1.064	1	1.03 dB	1.3	+0.3 dB
2. Copper (Solid)	1.00	1	1	1	0
3. Copper (Flame Spray)	0.10	-	0.32	0.32	-10.0
4. Gold	0.70	1	0.80	0.80	-1.1
5. Chromium	0.664	1	0.81	0.81	-1.8
6. Aluminum (Soft)	0.62	1	0.78	0.78	-2.1
7. Aluminum (Tempered)	0.60	1	0.63	0.63	-4.0
8. Aluminum (Household Foil, 1mil)	0.53	1	0.73	0.73	-2.8
9. Aluminum (Household Foil, 1mil)	0.61	1	0.78	0.78	-2.1
10. Aluminum (Flame Spray)	0.036	1	0.19	0.19	-16.4
11. Brass (91% Cu, 9% Zn)	0.67	1	0.69	0.69	-3.3
12. Brass (66% Cu, 34% Zn)	0.35	1	0.52	0.52	-5.7
13. Magnesium	0.38	1	0.61	0.61	-4.3
14. Zinc	0.305	1	0.57	0.57	-4.9
15. Tungsten	0.316	1	0.56	0.56	-5.0
16. Beryllium	0.33	1	0.53	0.53	-5.5
17. Cadmium	0.232	1	0.48	0.48	-6.3
18. Plutonium	0.17	1	0.42	0.42	-7.6
19. Tin	0.251	1	0.39	0.39	-8.2
20. Tantalum	0.12	1	0.33	0.33	-9.6
21. Lead	0.079	1	0.28	0.28	-11.0
22. Monel (67 Ni, 30 Cu, 2 Fe, 1 Mn)	0.041	1	0.20	0.20	-13.0
23. Manganese	0.079	1	0.20	0.20	-13.0
24. Titanium	0.036	1	0.19	0.19	-14.0
25. Mercury (Liquid)	0.018	1	0.13	0.134	-17.0
26. Nichrome (65 Ni, 12 Cr, 23 Fe)	0.0012	1	0.035	0.035	-29.0
27. Superalloy	0.003	100,000	53.7	0.0005	-65.0
28. 78 Fernalloy	0.108	3,000	29.4	0.0037	-48.7
29. Purified Iron	0.17	5,000	29.2	0.0058	-44.7
30. Conetic AA	0.031	20,000	28.7	0.0011	-58.8
31. 4-79 Fernalloy	0.0314	20,000	25.1	0.0013	-58.0
32. Mumetal	0.0289	20,000	24.0	0.0012	-58.4
33. Permalloy (50 Cu, 1-2V, 4 Fe)	0.247	800	14.1	0.018	-35.1
34. Hypernick	0.0345	4,500	12.5	0.0028	-51.1
35. 45 Fernalloy (1200 Anneal)	0.0384	4,000	12.4	0.0031	-50.2
36. 45 Fernalloy (1050 Anneal)	0.0384	2,500	9.80	0.0039	-48.1
37. Hot-Rolled Silicon Steel	0.0384	1,500	7.59	0.0051	-45.9
38. Sinimax	0.0192	3,000	7.59	0.0025	-51.9
39. 4X Silicon Iron (Grain Oriented)	0.037	1,500	7.45	0.0050	-46.1
40. 4X Silicon Iron	0.029	500	3.81	0.0076	-47.4
41. 16 Alfenol	0.0113	4,500	7.13	0.0016	-56.0
42. Hiproco	0.069	630	6.70	0.010	-39.7
43. Monimax	0.0216	2,000	6.57	0.0033	-49.7
44. 30X Nickel Iron	0.0384	1,000	6.20	0.0062	-44.2
45. 45-25 Permivar	0.091	400	6.03	0.015	-36.4
46. Commercial Iron (0.2% Impure)	0.17	200	5.83	0.29	-30.7
47. Cold-Rolled Steel	0.17	100	5.53	0.031	-30.2
48. Nichal	0.23	100	4.70	0.047	-26.6
49. Stainless Steel (1Cu, 10Cr, 8Ni, 6Fe)	0.02	200	2.00	0.010	-40.0
50. Rhomstal (36 Ni)	0.029	1,000	4.36	0.0044	-47.2
51. Metic 33-6	0.172	300	7.18	0.024	-32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโลหะต่างๆ [3]

Material	Density (g/cm ³)	Relative Magnetic Permeability μ_r (rounded)	Relative Conductance K_r	Thermal Conductivity (W / [m·K])
Pure copper	8.92	1	1.00	391
Shield Lite (BMI)	3.32	1	0.40	190
Aluminum 6061	2.70	1	0.46	180
Brass	8.53	1	0.28	120
Beryllium copper	8.36	1	0.20	105
Pure iron	7.87	1000	0.17	76
Magnesium AZ91D	1.81	1	0.12	72
Cold-rolled steel	7.87	200	0.12	50
Nickel silver	8.70	1	0.06	29
Permalloy 80	8.74	75,000	0.04	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของโลหะต่างๆ [4]

MATERIAL	RELATIVE CONDUCTIVITY σ_r	RELATIVE PERMEABILITY μ_r
TIN	0.15	1
STEEL	0.10	1000
LEAD	0.08	1
MONEL	0.04	1
CONETIC (1 kHz)	0.03	25,000
MUMETAL (1 kHz)	0.03	20,000
STAINLESS STEEL	0.02	500
SILVER	1.05	1
COPPER	1.00	1
GOLD	0.70	1
CHROMIUM	0.66	1
ALUMINUM, SOFT	0.61	1
ALUMINUM, TEMPERED	0.40	1
ZINC	0.32	1
BERYLLIUM	0.28	1
BRASS	0.26	1
CADMIUM	0.23	1
NICKEL	0.20	100
BRONZE	0.18	1
PLATINUM	0.18	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการรวบรวมนี้ทำให้ทราบว่าโลหะแต่ละชนิดค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะอยู่เป็นช่วงทั้งนี้เพราะ ส่วนประกอบของโลหะนั้นมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับบริษัทที่ผลิต ทางผู้วิจัยจึงรวบรวมช่วง เพื่อหาความเป็นไปได้โดยรวมทั้งหมดแล้วทำการจำลองระบบโดย MATLAB ออกมาในรูปแบบกราฟ 3 มิติ ของแผ่นโลหะทั้ง 5 เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพการชีลด์ที่ได้จากโลหะที่แตกต่างกัน ทั้ง 5 ด้วยการจำลองระบบโดย MATLAB

ตารางที่ 3.4 ช่วงของค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์

ชนิดของโลหะ	ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์	ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์
Silicon sheet steel	6,400-50,000	0.36
Iron	1,000-5,000	0.17
Brass(ทองเหลือง)	1	0.26-0.47
Stainless steel	200-500	0.02
Zinc	1	0.305-0.32

เมื่อได้ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการแล้วนำไปทำการจำลองระบบโดย MATLAB โดยให้ พารามิเตอร์ที่เหลือนั้นแทนด้วยรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Block diagram และพารามิเตอร์การจำลองระบบโดย MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไข

1. Noise source คือหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 250 VA 50 Hz
2. ความคุมค่า t ให้คงที่ที่ 0.3 mm เพื่อการเปรียบเทียบแต่ละแผ่น โลหะ (tmm)
3. ให้ค่า r มีค่าระหว่าง 0.1 - 0.7 m ซึ่งอยู่ในช่วง Near fields
4. μ_r เป็นช่วงแล้วแต่ชนิดของแผ่นโลหะ โดยดูค่าได้จากตารางที่ 3.4
5. σ_r เป็นช่วงแล้วแต่ชนิดของแผ่นโลหะ โดยดูค่าได้จากตารางที่ 3.4

ตามสมการ

1. Absorption Loss จากสมการ (2.37)

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

2. Reflection Loss จากสมการ (2.38)

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

3. Re-Reflection Correction จากสมการ (2.43)

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

4. สมการประสิทธิผลการซัดด์ จากสมการ (2.34)

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

โดยที่ค่า k จากสมการ (2.40) $k = r \sqrt{2\pi f \sigma \mu_0 / \mu_r}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 Flow chart ของการจำลองระบบโดย MATLAB

- Flow chart ของแผ่นซิลิกอนซีทสตีล, แผ่นเหล็ก และแผ่นสแตนเลสสตีล



รูปที่ 3.2 Flow chart ของแผ่นซิลิกอนซีทสตีล, แผ่นเหล็ก และแผ่นสแตนเลสสตีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Flow chart ของแผ่นทองเหลือง และแผ่นสังกะสี



รูปที่ 3.3 Flow chart ของแผ่นทองเหลือง และแผ่นสังกะสี

หมายเหตุ ในโปรแกรม MATLAB μ_r แทนด้วย U และ σ_r แทนด้วย u0 เนื่องจากไม่มี font

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

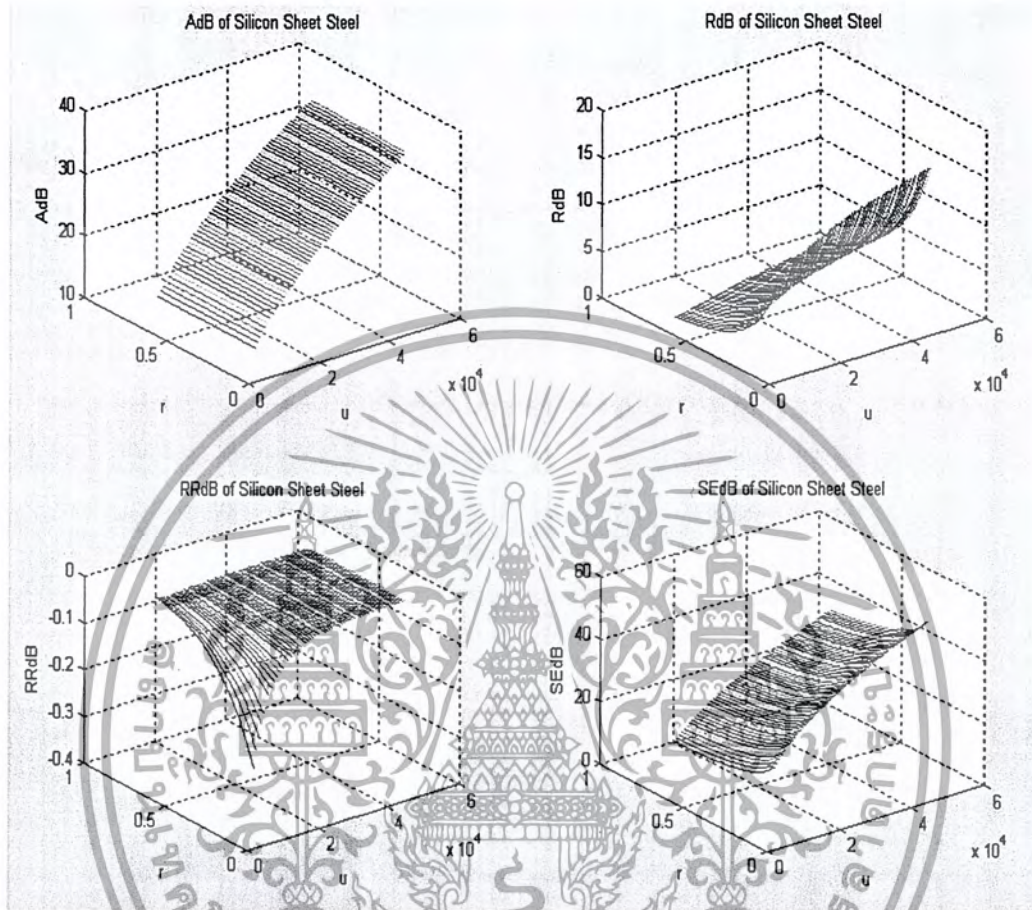
โปรแกรมจำลองระบบโดย MATLAB ของแผ่นซิลิกอนชีทสตีล

```

function q = SiliconshSt(x);
U=6400:726.7:50000;
R=0.1:0.01:0.7;
[u,r] = meshgrid(U,R);
u0=0.36;
tmm=0.3;
AdB=131.4*tmm.*sqrt(50*u.*u0/1000000);
k=(r.*sqrt(8*pi*50*u0*5.8*pi))./sqrt(u);
RdB=20.*log10(((1+k).^2)./(4.*k));
RRdB=20.*log10(1-(((k-1)./(k+1)).^2).*abs(exp(-0.23*AdB.*(1+i)))));
SEdB=AdB+RdB+RRdB;
subplot(221);plot3(u,r,AdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('AdB');
title('AdB of Silicon Sheet Steel');
subplot(222);plot3(u,r,RdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('RdB');
title('RdB of Silicon Sheet Steel');
subplot(223);plot3(u,r,RRdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('RRdB');
title('RRdB of Silicon Sheet Steel');
subplot(224);plot3(u,r,SEdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('SEdB');
title('SEdB of Silicon Sheet Steel');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นซิลิกอนชีทสตีล

จากกราฟของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลสรุปได้ว่า

- 1.) ค่าของ Absorption loss จะมีผลมากกว่าค่าในกราฟอื่นๆ แสดงว่าอาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานมากที่สุดในระบบการหาค่า SE
- 2.) จากกราฟ RdB เมื่อเราเลื่อนแผ่นซิลิกอนชีทสตีลใกล้ Noise source จะเกิดการสะท้อนมากและจะน้อยลง ถ้าถอยแผ่นซิลิกอนชีทสตีลห่างจาก Noise source
- 3.) ค่าประสิทธิภาพการซัดค์ของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลมีค่าสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

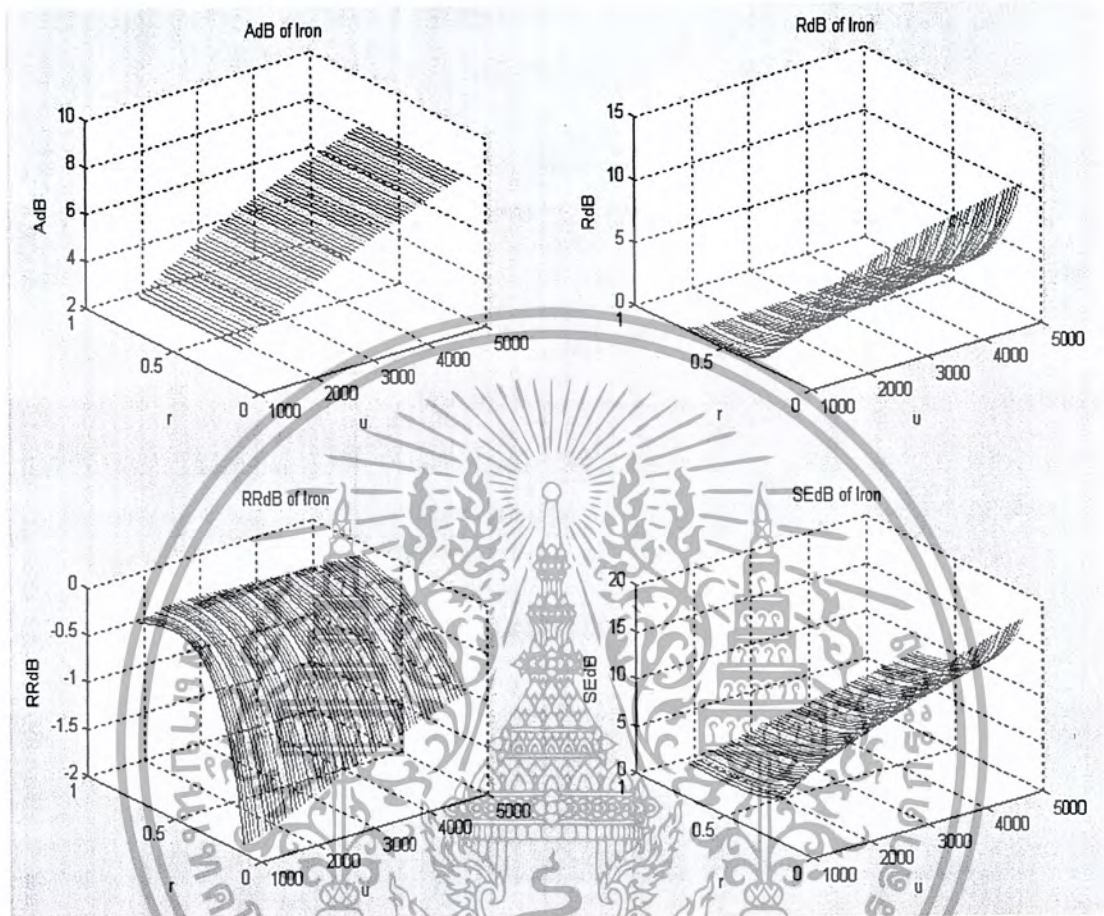
โปรแกรมจำลองระบบโดย MATLAB ของแผ่นเหล็ก

```

function q = Iron(x);
U=1000:66.7:5000;
R=0.1:0.01:0.7;
[u,r] = meshgrid(U,R);
u0=0.17;
tmm=0.3;
AdB=131.4*tmm.*sqrt(50*u.*u0/1000000);
k=(r.*sqrt(8*pi*50*u0*5.8*pi))./sqrt(u);
RdB=20.*log10(((1+k).^2)./(4.*k));
RRdB=20.*log10(1-(((k-1)./(k+1)).^2).*abs(exp(-0.23*AdB.*(1+i)))));
SEdB=AdB+RdB+RRdB;
subplot(221);plot3(u,r,AdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('AdB');
title('AdB of Iron');
subplot(222);plot3(u,r,RdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('RdB');
title('RdB of Iron');
subplot(223);plot3(u,r,RRdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('RRdB');
title('RRdB of Iron');
subplot(224);plot3(u,r,SEdB);grid on;
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('SEdB');
title('SEdB of Iron');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นเหล็ก

จากกราฟของแผ่นเหล็กสรุปได้ว่า

กราฟของแผ่นเหล็กนี้มีความคล้ายคลึงกับแผ่นซิลิกอนซีทิสต์คือ ผลของค่า Absorption loss มีค่ามาก และการลดแผ่นเหล็กออกจาก Noise source จะทำให้ค่าการสะท้อนลดลง แต่ค่าต่างๆของทุกกราฟมีค่าน้อยกว่าแผ่นซิลิกอนซีทิสต์ส่งผลให้ค่า SE มีค่าน้อยกว่าแผ่นซิลิกอนซีทิสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

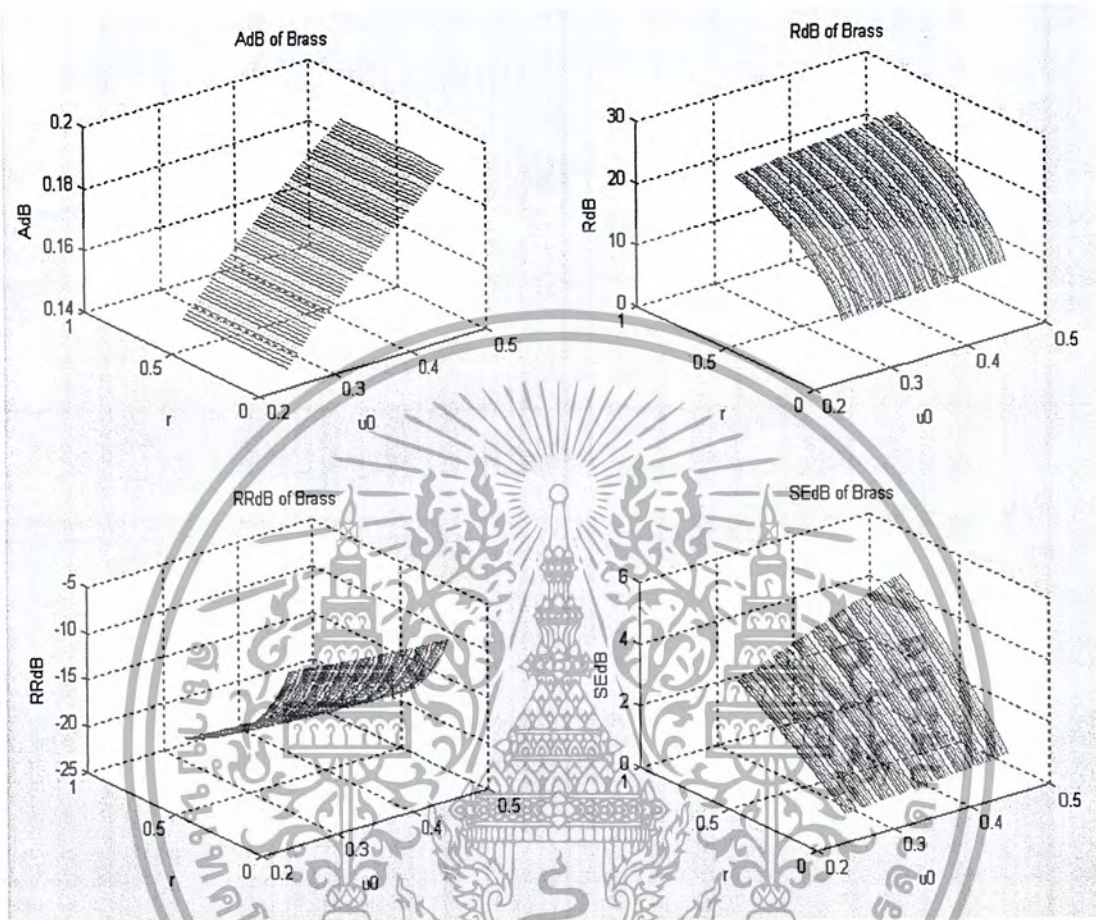
โปรแกรมจำลองระบบโดย MATLAB ของแผ่นทองเหลือง

```

function q = Brass(x);
U0=0.26:0.0035:0.47;
R=0.1:0.01:0.7;
[u0,r] = meshgrid(U0,R);
u=1;
tmm=0.3;
AdB=131.4*tmm.*sqrt(50*u.*u0/1000000);
k=(r.*sqrt(8*pi*50.*u0*5.8*pi))./sqrt(u);
RdB=20.*log10(((1+k).^2)./(4.*k));
RRdB=20.*log10(1-(((k-1)./(k+1)).^2).*abs(exp(-0.23*AdB.*(1+i)))));
SEdB=AdB+RdB+RRdB;
subplot(221);plot3(u0,r,AdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('AdB');
title('AdB of Brass');
subplot(222);plot3(u0,r,RdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('RdB');
title('RdB of Brass');
subplot(223);plot3(u0,r,RRdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('RRdB');
title('RRdB of Brass');
subplot(224);plot3(u0,r,SEdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('SEdB');
title('SEdB of Brass');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นทองเหลือง

จากกราฟของแผ่นทองเหลืองสรุปได้ว่า

แผ่นทองเหลืองแทบไม่มีผลในการดูดกลืนพลังงานมาเกี่ยวข้อง เนื่องจากได้ค่าน้อยมาก ค่าของ RR dB ก็มีค่าติดลบค่อนข้างมาก แต่การสะท้อนของแผ่นทองเหลืองกลับเป็นตัวที่ให้ผลมากกว่าตัวอื่นๆ แต่โดยรวมแล้ว ถือว่าเป็นโลหะที่ไม่เหมาะสมในการซัด เพราะให้ค่า SE ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

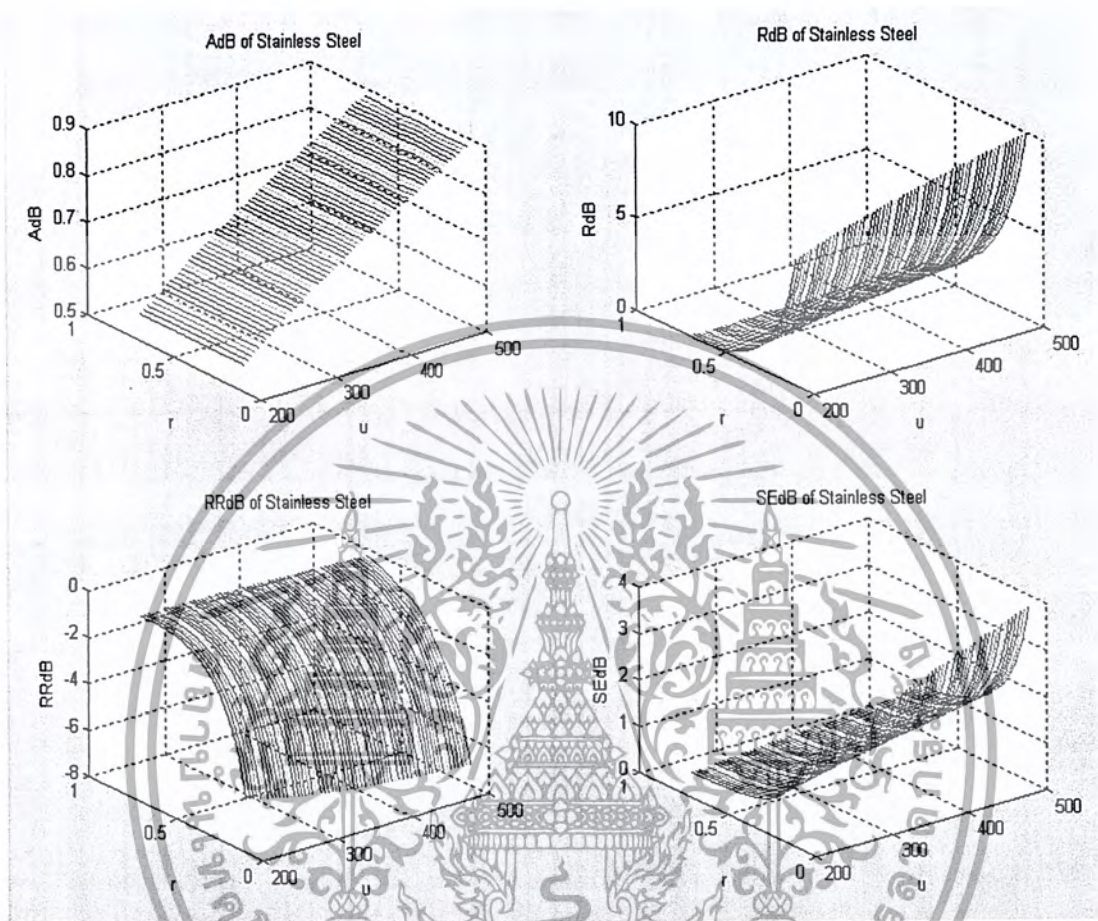
โปรแกรมจำลองระบบโดย MATLAB ของแผ่นสแตนเลสตีล

```

function q = Stainst(x);
U=200:5:500;
R=0.1:0.01:0.7;
[u,r] = meshgrid(U,R);
u0=0.02;
tmm=0.3;
AdB=131.4*tmm.*sqrt(50*u.*u0/1000000);
k=(r.*sqrt(8*pi*50*u0*5.8*pi))./sqrt(u);
RdB=20.*log10(((1+k).^2)/(4.*k));
RRdB=20.*log10(1-(((k-1)/(k+1)).^2).*abs(exp(-0.23*AdB.*(1+i)))));
SEdB=AdB+RdB+RRdB;
subplot(221);plot3(u,r,AdB);grid on
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('AdB');
title('AdB of Stainless Steel');
subplot(222);plot3(u,r,RdB);grid on
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('RdB');
title('RdB of Stainless Steel');
subplot(223);plot3(u,r,RRdB);grid on
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('RRdB');
title('RRdB of Stainless Steel');
subplot(224);plot3(u,r,SEdB);grid on
xlabel('u');
ylabel('r');
zlabel('SEdB');
title('SEdB of Stainless Steel');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นสแตนเลสสตีล

จากกราฟของแผ่นสแตนเลสสตีลสรุปได้ว่า

แผ่นสแตนเลสสตีลทุกกราฟนั้นให้ค่าน้อย ถ้าเทียบกับกราฟของแผ่นโลหะชนิดอื่น แต่มีค่า Reflection loss เพิ่มขึ้นจากกราฟอื่นๆ แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นชีลด์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

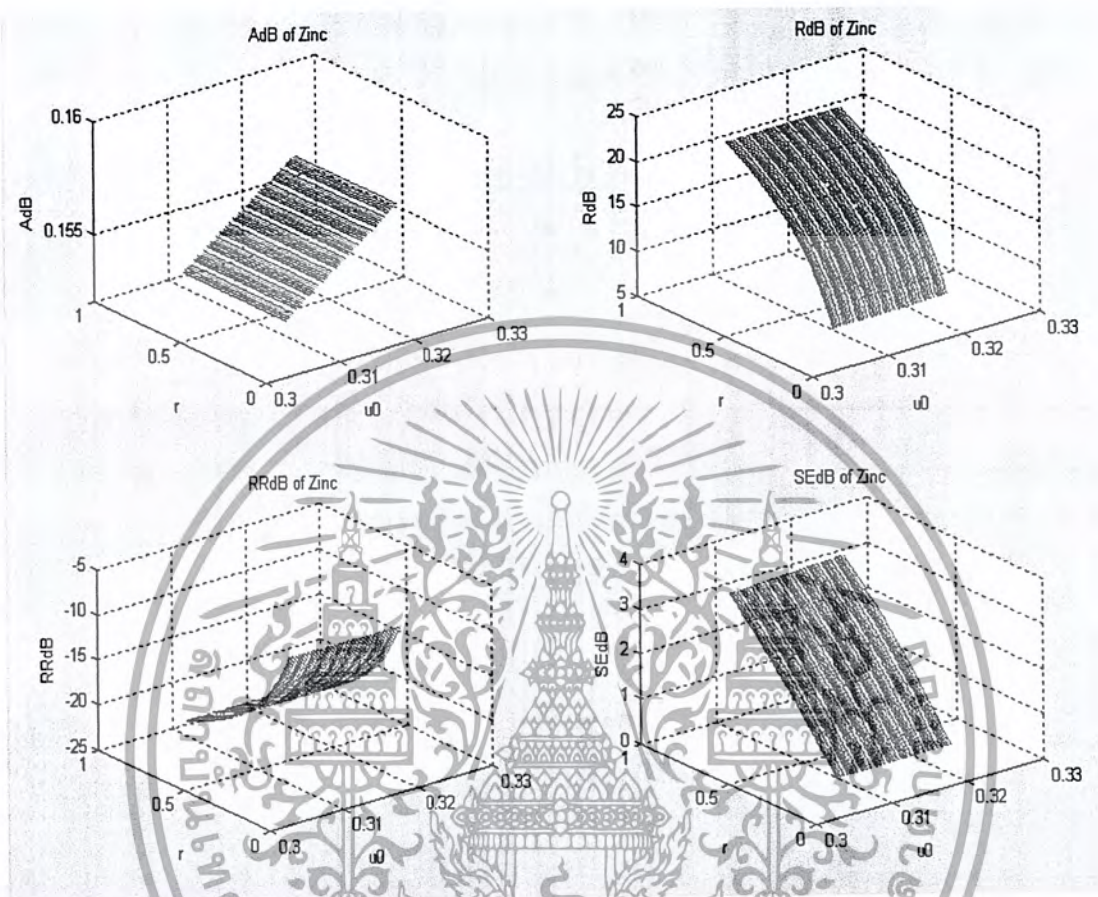
โปรแกรมจำลองระบบโดย MATLAB ของแผ่นสังกะสี

```

function q = Zinc(x);
U0=0.305:0.00025:0.32;
R=0.1:0.01:0.7;
[u0,r] = meshgrid(U0,R);
u=1;
tmm=0.3;
AdB=131.4*tmm.*sqrt(50*u.*u0/1000000);
k=(r.*sqrt(8*pi*50.*u0*5.8*pi))./sqrt(u);
RdB=20.*log10(((1+k).^2)./(4.*k));
RRdB=20.*log10(1-(((k-1)./(k+1)).^2).*abs(exp(-0.23*AdB.*(1+i)))));
SEdB=AdB+RdB+RRdB;
subplot(221);plot3(u0,r,AdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('AdB');
title('AdB of Zinc');
subplot(222);plot3(u0,r,RdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('RdB');
title('RdB of Zinc');
subplot(223);plot3(u0,r,RRdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('RRdB');
title('RRdB of Zinc');
subplot(224);plot3(u0,r,SEdB);grid on
xlabel('u0');
ylabel('r');
zlabel('SEdB');
title('SEdB of Zinc');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กราฟผลการจำลองระบบของแผ่นสังกะสี

จากกราฟของแผ่นสแตนเลสตีลสรุปได้ว่า

กราฟของแผ่นสังกะสีมีพฤติกรรมเหมือนกับกราฟของแผ่นทองเหลือง แต่ให้ค่า SE ต่ำกว่าแผ่นทองเหลืองเล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจาก ช่วง σ , ที่รวบรวมได้ของแผ่นสังกะสีนั้น มีค่าน้อยกว่าช่วงของแผ่นทองเหลือง

3.2 สรุปผลการทดลองการซึดจากการจำลองระบบโดย MATLAB

การออกแบบจำลองเพื่อลดทอนผลของสนามแม่เหล็ก หรือที่เรียกว่า “การซึด” จากการออกแบบด้วยการจำลองระบบโดย MATLAB สรุปได้ว่าสามารถลดทอนผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำได้ โดยใช้แผ่นโลหะที่มีความสามารถในการลดทอนผลของสนามแม่เหล็กได้ดี ซึ่งจากการจำลองระบบ เพื่อดูค่าประสิทธิภาพการซึดที่มากที่สุดจึงได้ โลหะซิลิกอนซิทสตีลมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ข้อเสนอแนะ

ในการเปรียบเทียบโดยการจำลองระบบโดย MATLAB จำเป็นต้องให้ความหนาของโลหะคงที่ การจำลองระบบโดย MATLAB เป็นเพียงสมมุติฐานเบื้องต้นจึงควรทำการทดลองจริงก่อนการเลือกใช้แผ่นโลหะในการออกแบบและสร้างต้นแบบจริงในบทที่ 4 ต่อไป

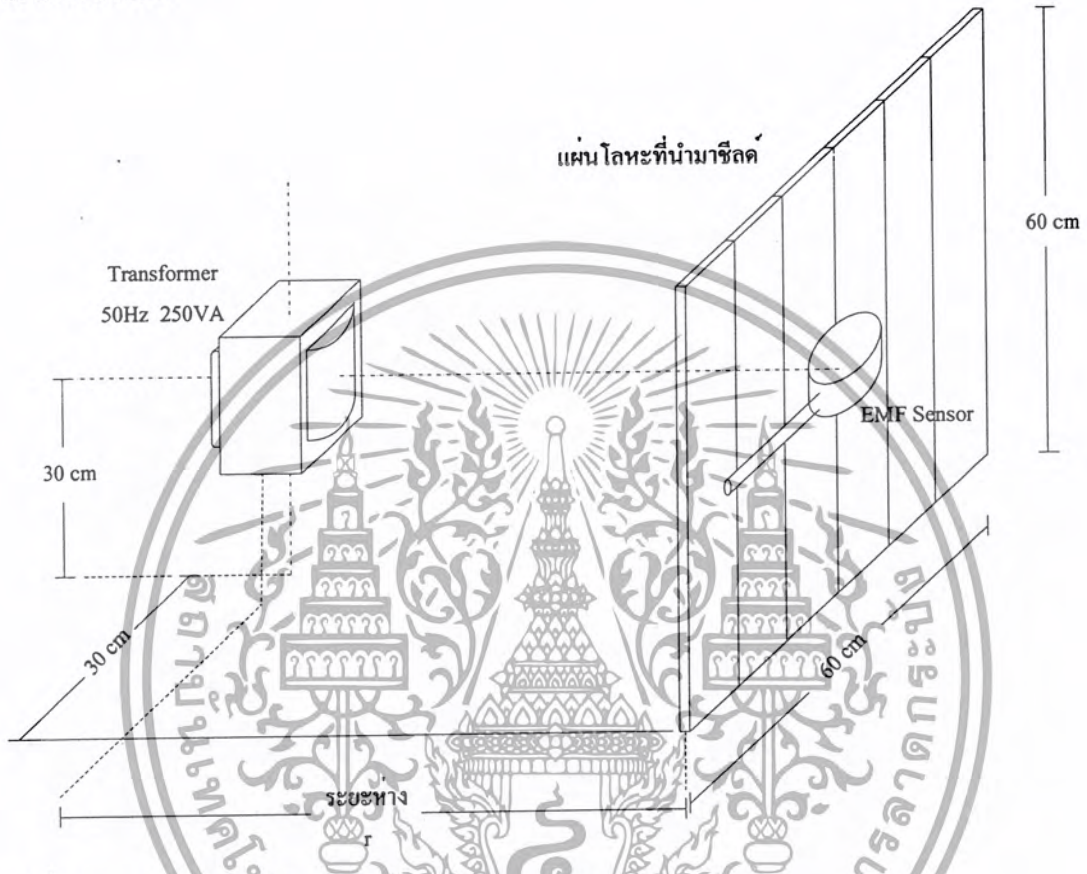


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองการชีลด์โดยใช้แผ่นโลหะ

4.1 การออกแบบ



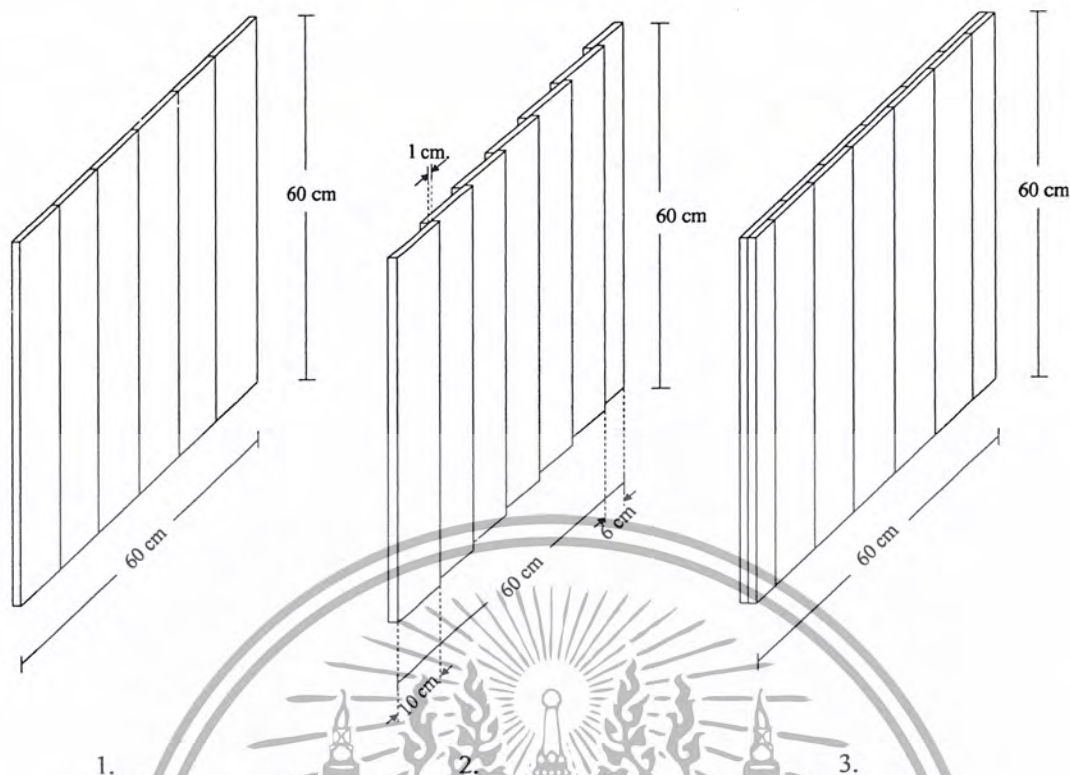
รูปที่ 4.1 การวางอุปกรณ์ในการทดลอง

หมายเหตุ

1. หม้อแปลงขนาด 1 เฟส 250 VA, 220 V, 50 Hz, turn ratio 1:1
2. เครื่องวัดค่าสนามแม่เหล็ก (EMF meter) รุ่น EMF-827 มี 3 range คือ 200 mG, 2,000 mG, 20,000 mG สามารถใช้ในช่วงความถี่ 50-60 Hz
3. หม้อแปลงจ่ายโหลดขนาด 0.5, 1 และ 2 A

ในบทนี้จะเป็นการชีลด์สนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้แผ่นโลหะเป็นตัวชีลด์ ทำการเคลื่อนเพื่อทำการชีลด์ในระยะต่างๆ เพื่อต้องการทดสอบว่า โลหะชนิดใดให้ผลการชีลด์ที่ดีพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้ และยังมีการนำแผ่นโลหะ 2 แผ่นมาชีลด์ร่วมกันเพื่อเพิ่มความหนา และให้ผลการชีลด์ที่ดีขึ้น แต่ในส่วนของแผ่นโลหะซิลิกอนชีทสตีลที่ทำได้นั้นมีความจำกัดในด้านความกว้างที่ 10 cm ในการทดลองนั้นจำเป็นจำเป็นต้องมีการต่อกันของแผ่นโลหะซิลิกอนชีทสตีล ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ แต่การต่อของแผ่นโลหะนั้นต้องคำนึงถึงผลการลดทอนของสัญญาณและความประหัยด้วย ฉะนั้นทำให้เกิดแนวความคิดว่า การต่อแผ่นโลหะแบบใดจะทำให้เราได้ผลการชีลด์และความประหัยที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงมีการทดสอบแผ่นซิลิกอนชีทสตีลในการต่อ 3 แบบดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การต่อแผ่นซีลิกอนซีทสตีลทั้ง 3 แบบ

1. แผ่นซีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา
2. แผ่นซีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm
3. แผ่นซีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่อกอหรือทับหว่าง

ในการทดลองซีลด์ด้วยแผ่นซีลด์จะมีลักษณะการวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1 โดยโครงสร้างที่ใช้ในการทดลองสามารถดูได้จากรูป ข.5 และ ข.6 ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถใช้เลื่อนแผ่นซีลด์ไป - มาระหว่างหม้อแปลง และ EMF meter และไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะ เนื่องจากถ้าเป็นโลหะจะส่งผลต่อการซีลด์

โลหะแต่ละชนิดจะมีการเรียงตัวของเนื้อโลหะ (Grain) ต่างกัน ในโครงงานนี้จึงแบ่งแนวการเรียงออกเป็น 2 แบบคือ แนวตั้งและแนวนอน โลหะบางชนิดการสลับแนวการเรียงตัวนั้นทำให้ความสามารถในการซีลด์เปลี่ยนไป สำหรับการหาแนวการเรียงตัวของโลหะนั้นอาจดูใช้วิธีดูตามลายของโลหะ หรือกำหนดจากแผ่นโลหะก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นย่อย

การเลือกแผ่นโลหะจะทำการเลือกจากค่าความชื้นขามแม่เหล็กสัมพัทธ์, ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์และความหนา แผ่นโลหะที่มีค่าทั้ง 3 สูงๆ จะสามารถซีลด์ได้ดี อีกทั้งยังต้องพิจารณาในเรื่องราคาของแผ่นโลหะต่างๆอีกด้วย ซึ่งสามารถเลือกแผ่นโลหะที่มีขายตามท้องตลาดได้ดังนี้ แผ่นซีลิกอนซีทสตีล, แผ่นเหล็ก, แผ่นสังกะสี, แผ่นสแตนเลส ขนาด 60 x 60 cm โดยแผ่นโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความหนา, ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์

ชนิดของโลหะ	ความหนา (mm)	μ_r	σ_r
Silicon sheet steel	0.2	46,200	0.36
Iron	0.5	1,000-5,000	0.17
Zinc	0.5	1	0.305
Stainless steel	0.3	200-500	0.02

4.2 การทดลองการซัดโดยแยกตามชนิดของแผ่นโลหะ

เพื่อทดสอบการซัดของโลหะแต่ละชนิด ผลการซัดเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา แนวการเรียงตัวที่มีผลต่อการซัดโดยใช้แผ่นโลหะชนิดเดียวกัน 1 - 2 แผ่นมาซัด เนื่องจากโลหะมีแนวการเรียงตัว 2 แนว คือแนวตั้งและแนวนอน จึงจัดวาง ได้ดังนี้

- 1.) กรณี 1 แผ่น ทำการจัดวางได้ 2 แบบคือ
 - แนวตั้ง
 - แนวนอน
 - 2.) กรณีใช้ 2 แผ่น ทำการจัดวางได้ 3 แบบคือ
 - แนวตั้งทั้ง 2 แผ่น
 - แนวนอนทั้ง 2 แผ่น
 - วางแนวตั้งและแนวนอน
- กำหนดให้
- แทนการวางแบบเรียงตัวในแนวตั้ง
 - แทนการวางแบบเรียงตัวในแนวนอน

ผลการซัดของแผ่นโลหะแต่ละชนิดแบ่งตามการทดสอบด้วยกระแส 0.5, 1 และ 2 A สามารถดูได้จากตาราง และรูปกราฟดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การชั่งคั่งขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 0.5 A มีผลดังนี้

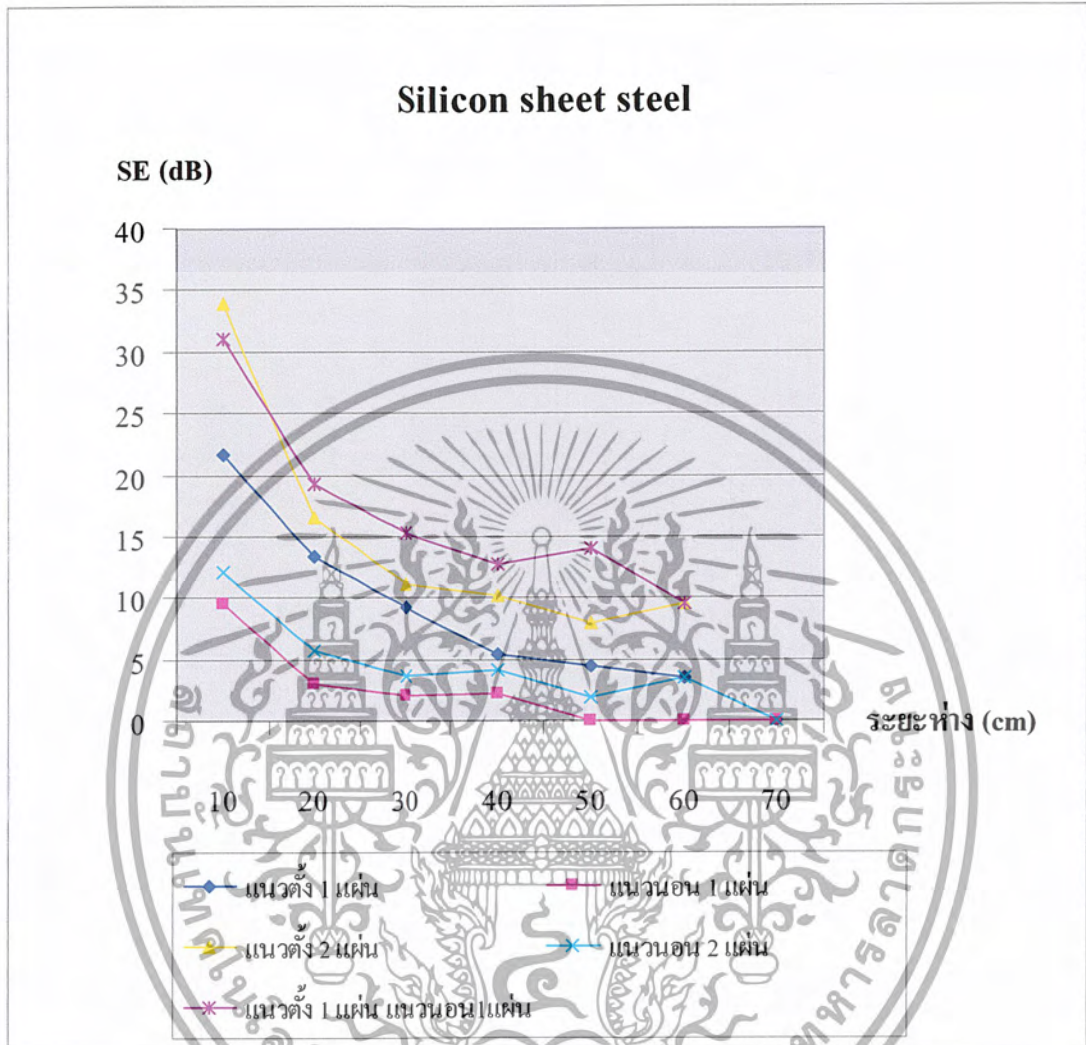
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนชั่งคั่งและหลังชั่งคั่งของขดลวดขดลวดที่ต่อแบบธรรมดา

ระยะห่าง (cm)	ก่อนชั่งคั่ง (mG)	หลังชั่งคั่ง (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	93.8	7.8	31.2	1.9	23.3	2.6
20	10.2	2.2	7.2	1.5	5.3	1.1
30	2.9	1	2.3	0.8	1.9	0.5
40	1.3	0.7	1	0.4	0.8	0.3
50	0.5	0.3	0.5	0.2	0.4	0.1
60	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1
70	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0

ตารางที่ 4.3 ค่า SE ของขดลวดขดลวดที่ต่อแบบธรรมดา

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	21.6	9.56	33.87	12.09	31.14
20	13.32	3.02	16.65	5.67	19.34
30	9.24	2.01	11.19	3.67	15.26
40	5.37	2.27	10.23	4.21	12.73
50	4.43	0	7.95	1.93	13.97
60	3.52	0	9.54	3.52	9.54
70	0	0	-	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟผลการทดลองของแกนซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน

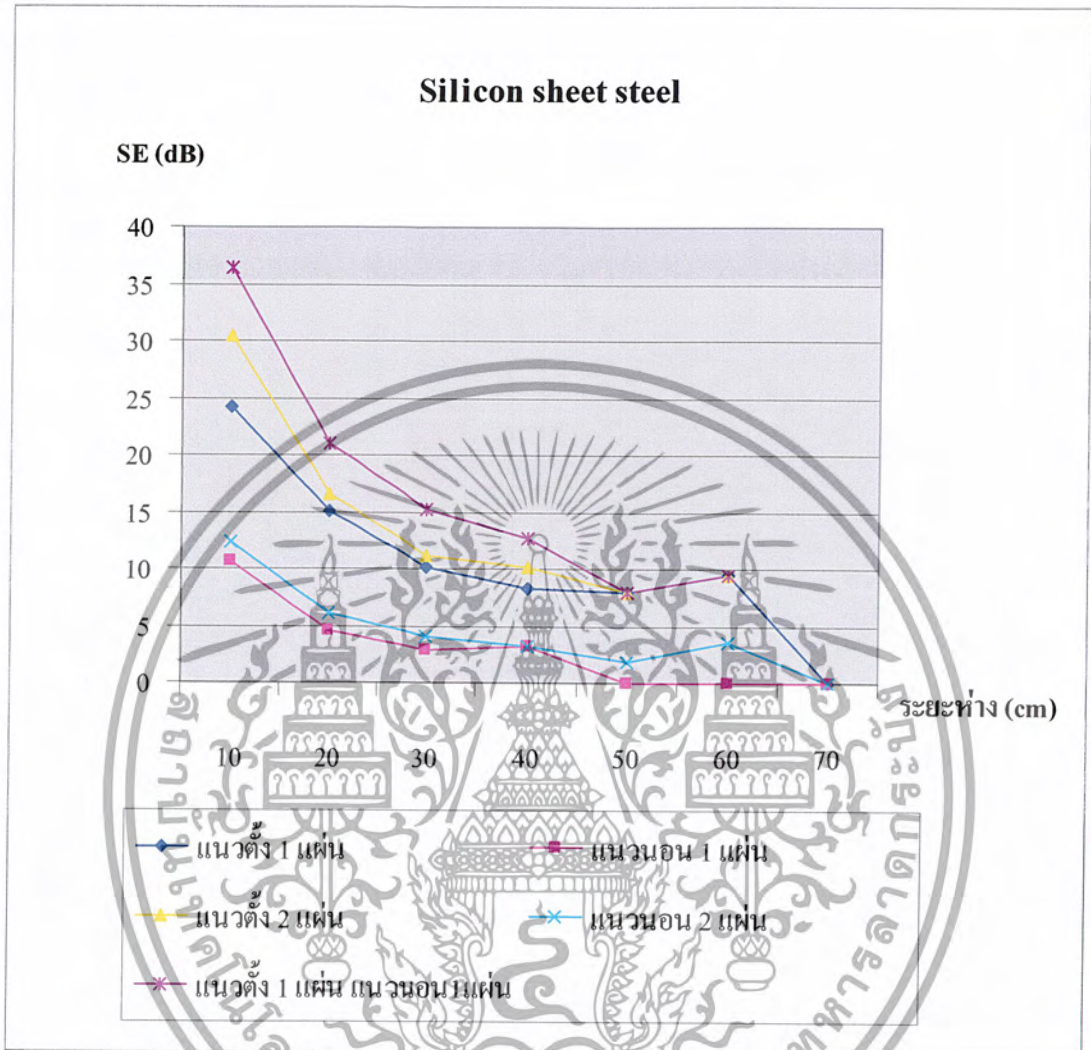
1 cm

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	93.8	5.8	27.2	2.8	22.7	1.4
20	10.2	1.8	6	1.5	5.1	0.9
30	2.9	0.9	2.1	0.8	1.8	0.5
40	1.3	0.5	0.9	0.4	0.9	0.3
50	0.5	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2
60	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1
70	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0

ตารางที่ 4.5 ค่า SE ของชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	24.17	10.75	30.5	12.32	36.52
20	15.06	4.6	16.65	6.02	21.08
30	10.16	2.8	11.18	4.14	15.26
40	8.29	3.19	10.23	3.19	12.73
50	7.95	0	7.95	1.93	7.95
60	9.54	0	9.54	3.52	9.54
70	0	0	-	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

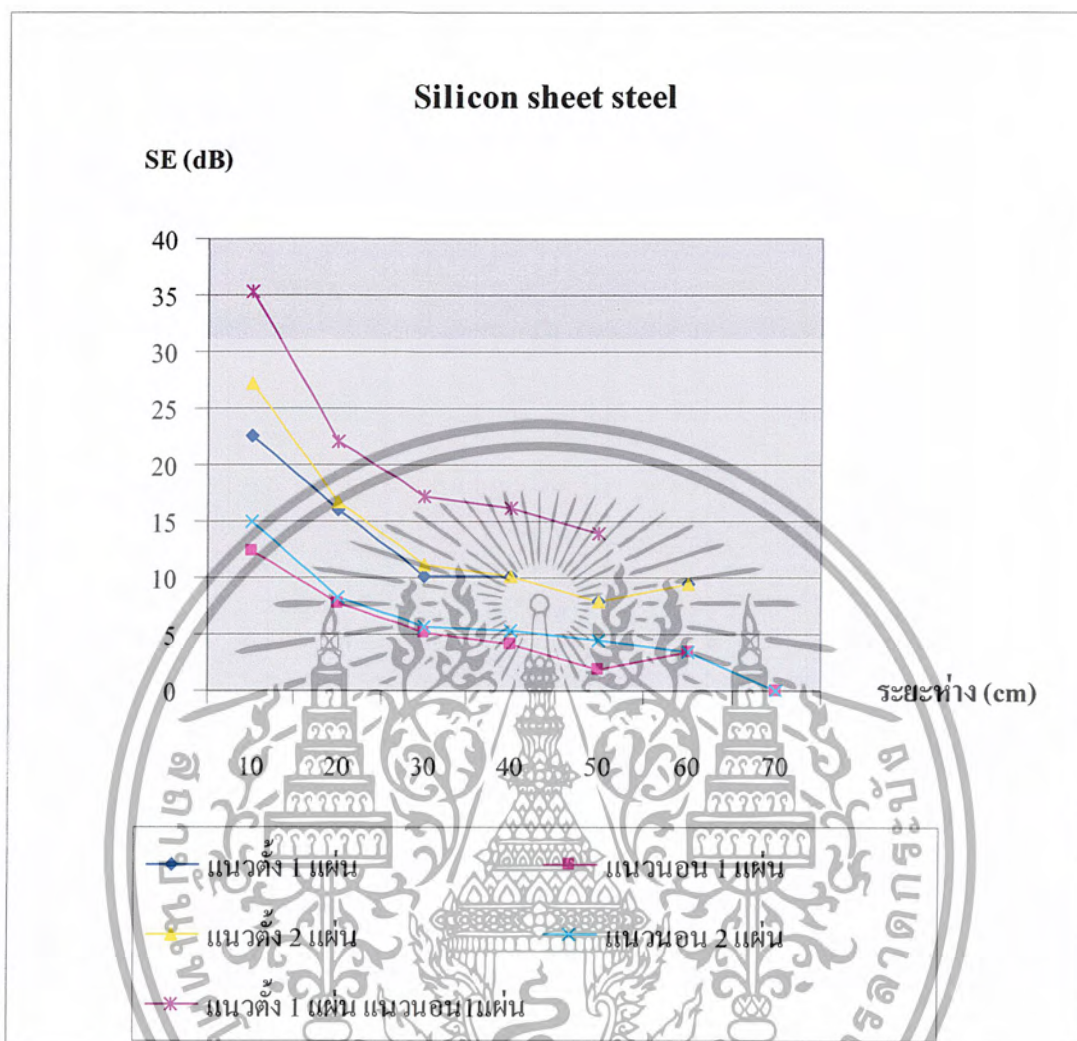
ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐ

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	93.8	6.9	22.6	4.1	16.7	1.6
20	10.2	1.6	4.2	1.5	3.9	0.8
30	2.9	0.9	1.6	0.8	1.5	0.4
40	1.3	0.4	0.8	0.4	0.7	0.2
50	0.5	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1
60	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0
70	0.1	0	0.1	0	0.1	0

ตารางที่ 4.7 ค่า SE ของชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐ

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	22.66	12.36	27.18	14.98	35.36
20	16.08	7.7	16.65	8.35	22.11
30	10.16	5.16	11.18	5.72	17.2
40	10.23	4.21	10.23	5.37	16.25
50	7.95	1.93	7.95	4.43	13.97
60	9.54	3.52	9.54	3.52	-
70	-	0	-	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบก้ออฐู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

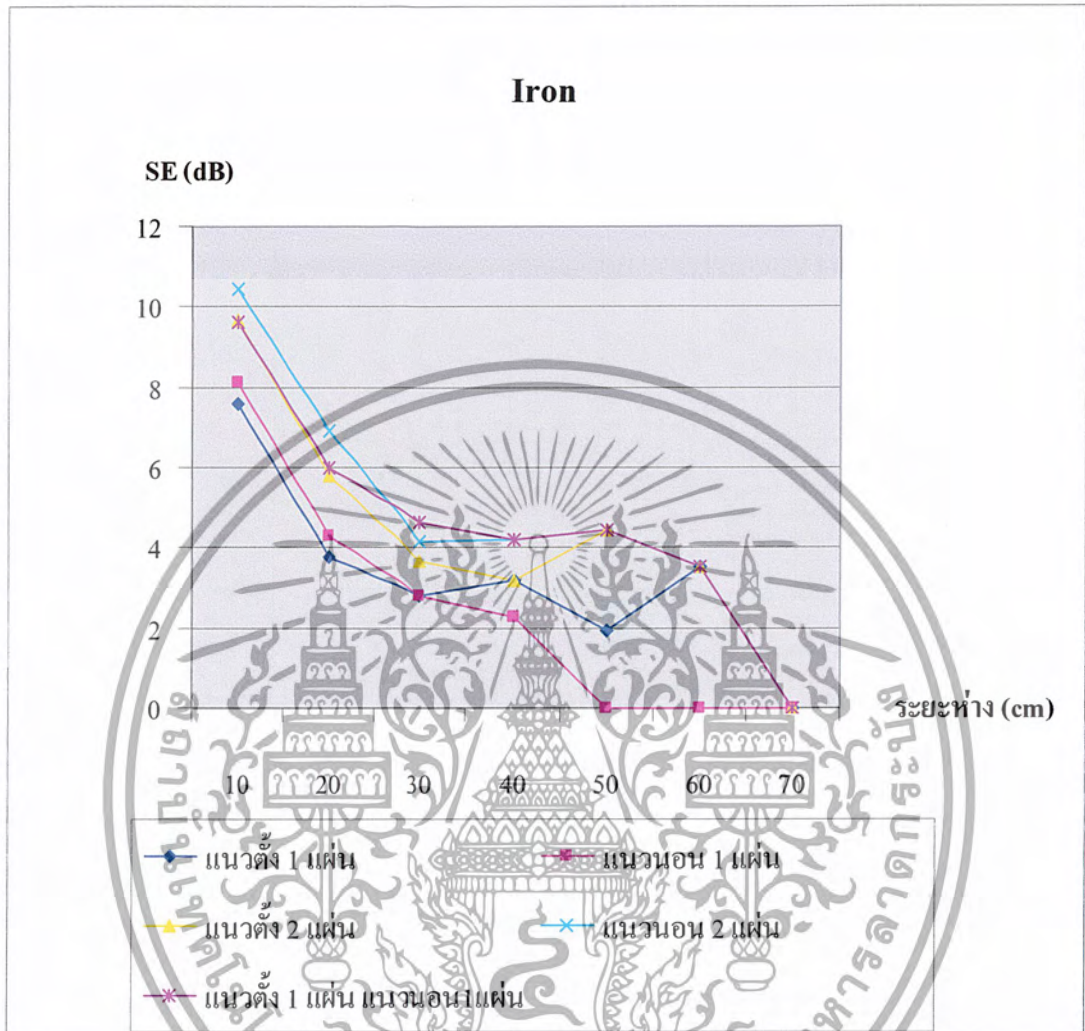
ตารางที่ 4.8 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	93.8	39	36.8	30.8	28.1	31
20	10.2	6.6	6.2	5.2	4.6	5.1
30	2.9	2.1	2.1	1.9	1.8	1.7
40	1.3	0.9	1	0.9	0.8	0.8
50	0.5	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3
60	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
70	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

ตารางที่ 4.9 ค่า SE ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	7.62	8.12	9.67	10.46	9.61
20	3.78	4.32	5.82	6.91	6.02
30	2.8	2.8	3.67	4.14	4.63
40	3.19	2.27	3.19	4.21	4.21
50	1.93	0	4.43	4.43	4.43
60	3.52	0	3.52	3.52	3.52
70	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟผลการทดลองของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

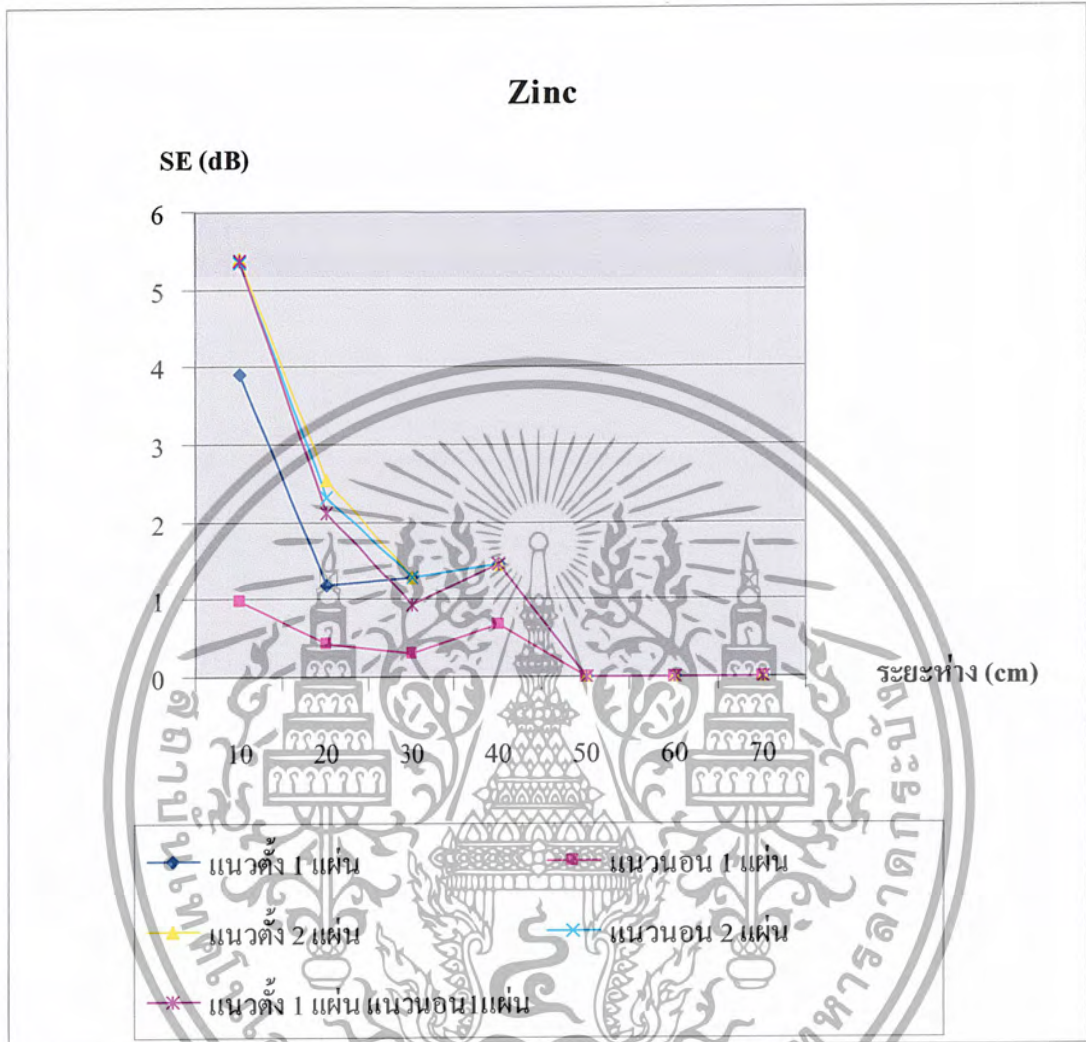
ตารางที่ 4.10 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของถังกะสี

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	93.8	59.7	83.7	50.4	50.7	50.5
20	10.2	8.9	9.7	7.6	7.8	8
30	2.9	2.5	2.8	2.5	2.5	2.6
40	1.3	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1
50	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
60	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
70	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

ตารางที่ 4.11 ค่า SE ของถังกะสี

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	3.92	0.98	5.39	5.34	5.38
20	1.18	0.43	2.55	2.33	2.11
30	1.29	0.3	1.28	1.28	0.94
40	1.45	0.69	1.45	1.45	1.45
50	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟผลการทดลองของสังกะสี

สรุปผลการทดลองการชิลด์ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 0.5 A

ชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm มีค่า SE มากที่สุดเท่ากับ 36.52 dB ต่อมาเป็นชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออฐเท่ากับ 35.36 dB ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันมากนัก และทั้ง 2 แบบเป็นโลหะที่จัดให้มีแนวเรียงตัวของสารสลับกัน การวางแนวการเรียงตัวสลับกันจะทำให้ผลการชิลด์ดีขึ้น และแนวการเรียงตัวที่ให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุดคือแนวการเรียงตัวสลับกันของทุกๆแบบและชนิดของโลหะ แต่ต้องดูแลโดยเป็นแนวโน้มรวมทุกระยะต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การชี้วัดขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 1 A มีผลดังนี้

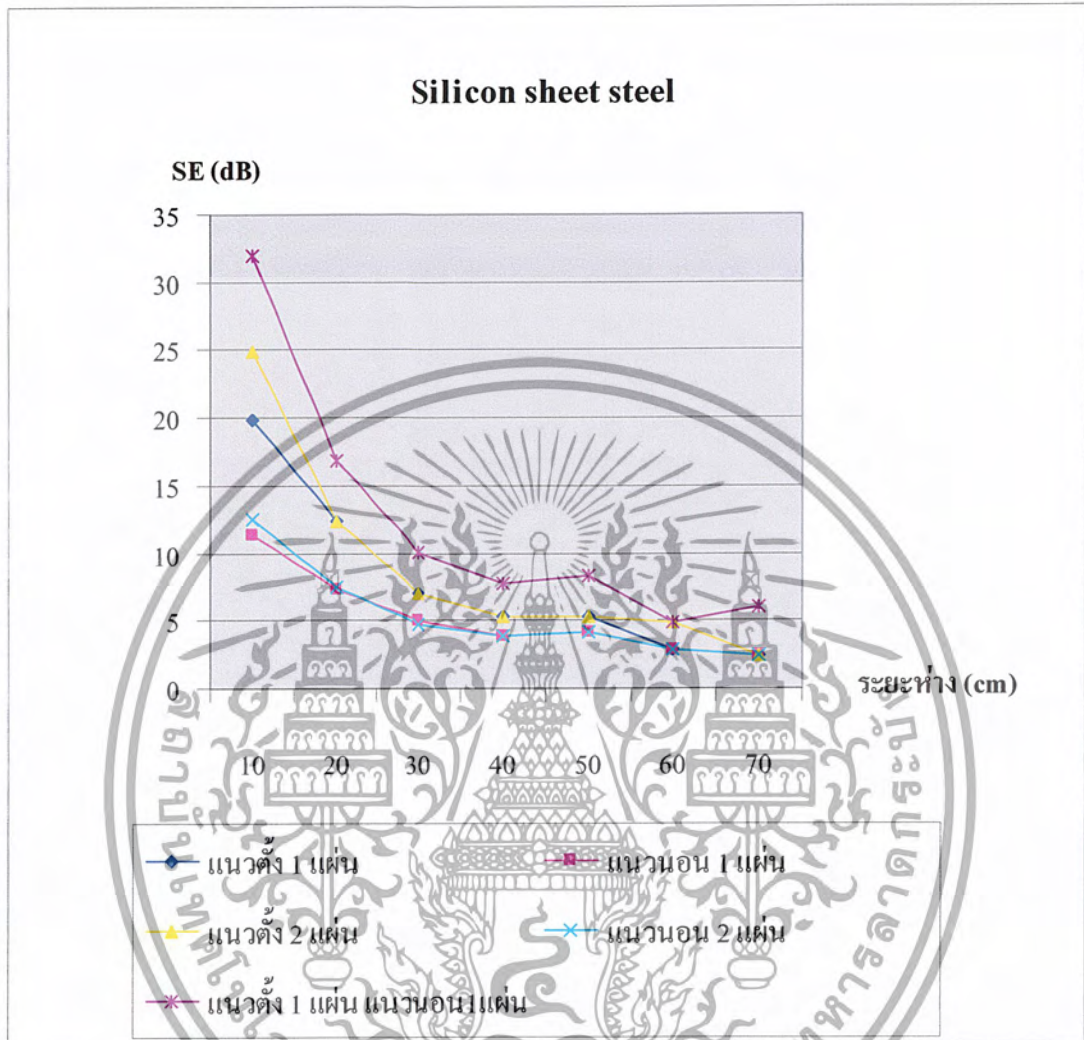
ตารางที่ 4.12 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนชี้วัดและหลังชี้วัดของชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

ระยะห่าง (cm)	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	106.5	10.8	28.5	6	25.2	2.7
20	14.5	3.5	6.2	3.5	6.1	2.1
30	4.5	2	2.5	2	2.6	1.4
40	2.2	1.2	1.4	1.2	1.4	0.9
50	1.3	0.7	0.8	0.7	0.8	0.5
60	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4
70	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2

ตารางที่ 4.13 ค่า SE ของชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	19.88	11.45	24.98	12.51	31.92
20	12.35	7.38	12.35	7.52	16.78
30	7.04	5.11	7.04	4.76	10.14
40	5.26	3.93	5.26	3.93	7.76
50	5.37	4.22	5.37	4.22	8.29
60	2.92	2.92	4.86	2.92	4.86
70	2.49	2.49	2.49	2.49	6.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

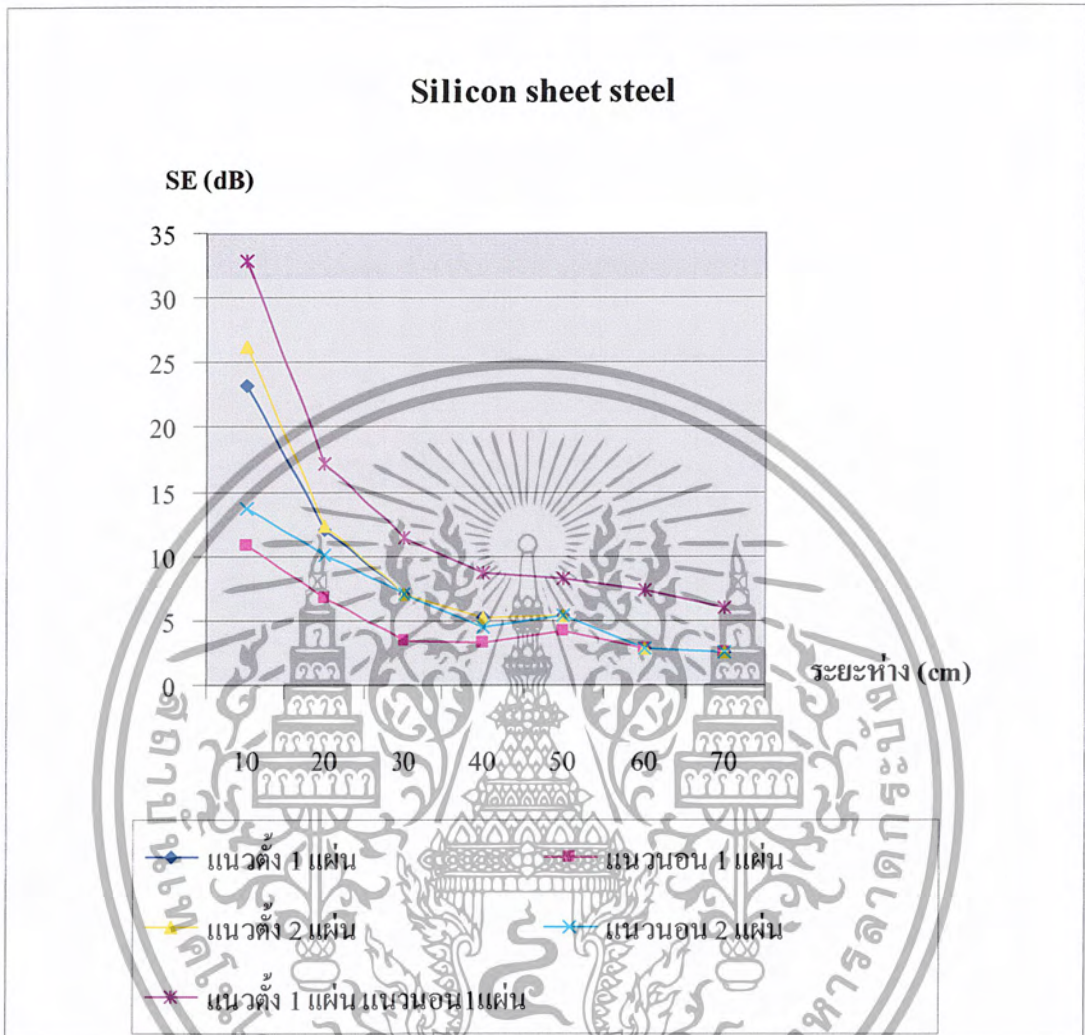
ตารางที่ 4.14 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของขั้วลิกอนซีทสติกที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	106.5	7.3	30.5	5.2	22	2.4
20	14.5	3.6	6.6	3.5	4.5	2
30	4.5	2	3	2	2	1.2
40	2.2	1.2	1.5	1.2	1.3	0.8
50	1.3	0.7	0.8	0.7	0.7	0.5
60	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
70	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2

ตารางที่ 4.15 ค่า SE ของขั้วลิกอนซีทสติกที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	23.28	10.86	26.22	13.69	32.94
20	12.1	6.84	12.34	10.16	17.21
30	7.04	3.52	7.04	7.04	11.48
40	5.26	3.32	5.26	4.56	8.78
50	5.37	4.22	5.38	5.37	8.29
60	2.92	2.92	2.92	2.92	7.35
70	2.49	2.49	2.49	2.49	6.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

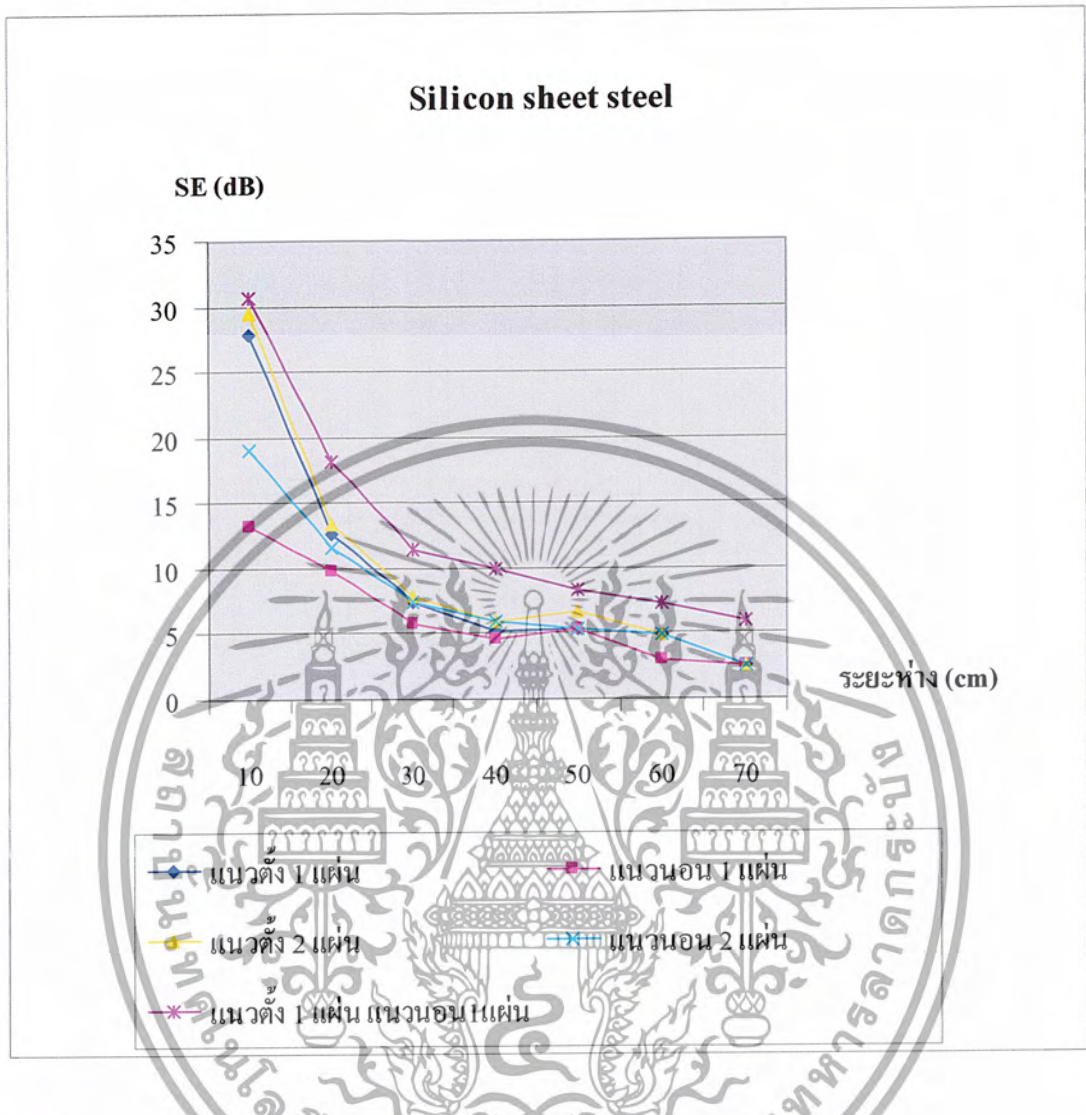
ตารางที่ 4.16 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบก้อออิฐ

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	106.5	4.3	23.3	3.6	11.8	3.1
20	14.5	3.4	4.7	3.1	3.8	1.8
30	4.5	1.9	2.3	1.8	1.9	1.2
40	2.2	1.2	1.3	1.1	1.1	0.7
50	1.3	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5
60	0.7	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3
70	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2

ตารางที่ 4.17 ค่า SE ของชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบก้อออิฐ

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	27.87	13.19	29.42	19.1	30.71
20	12.59	9.78	13.4	11.63	18.12
30	7.48	5.83	7.95	7.48	11.48
40	5.26	4.56	6.02	6.02	9.94
50	5.37	5.37	6.71	5.37	8.29
60	4.86	2.92	4.86	4.86	7.35
70	2.49	2.49	2.49	2.49	6.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบก่อกออิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

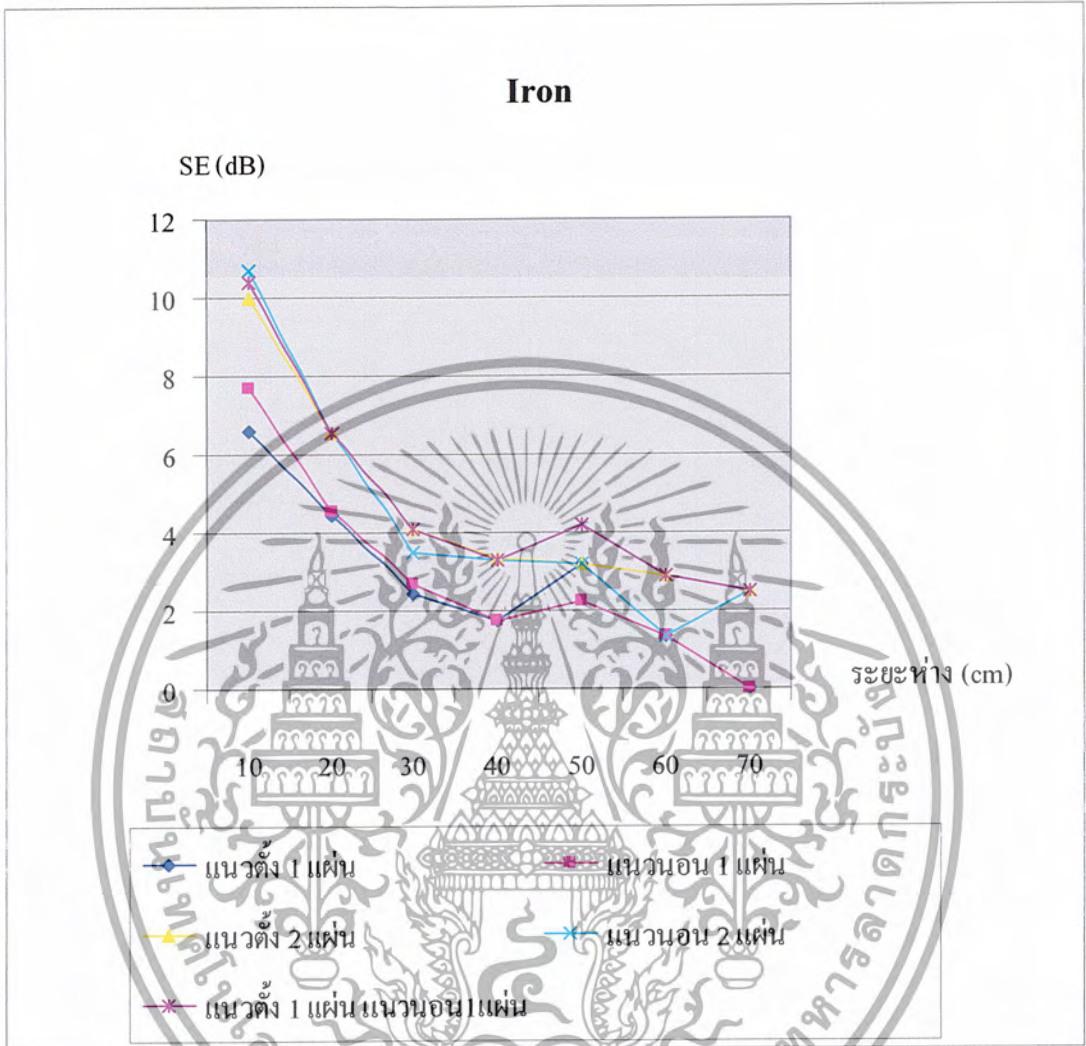
ตารางที่ 4.18 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	106.5	49.8	43.8	33.7	31.1	32.2
20	14.5	8.7	8.6	6.8	6.8	6.8
30	4.5	3.4	3.3	2.8	3	2.8
40	2.2	1.8	1.8	1.5	1.5	1.5
50	1.3	0.9	1	0.9	0.9	0.8
60	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5
70	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

ตารางที่ 4.19 ค่า SE ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		—	—
10	6.6	7.72	9.99	10.69	10.39
20	4.43	4.53	6.57	6.57	6.57
30	2.43	2.69	4.12	3.52	4.12
40	1.74	1.74	3.33	3.32	3.32
50	3.19	2.27	3.19	3.19	4.22
60	1.33	1.34	2.92	1.33	2.92
70	0	0	2.49	2.49	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟผลการทดลองของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

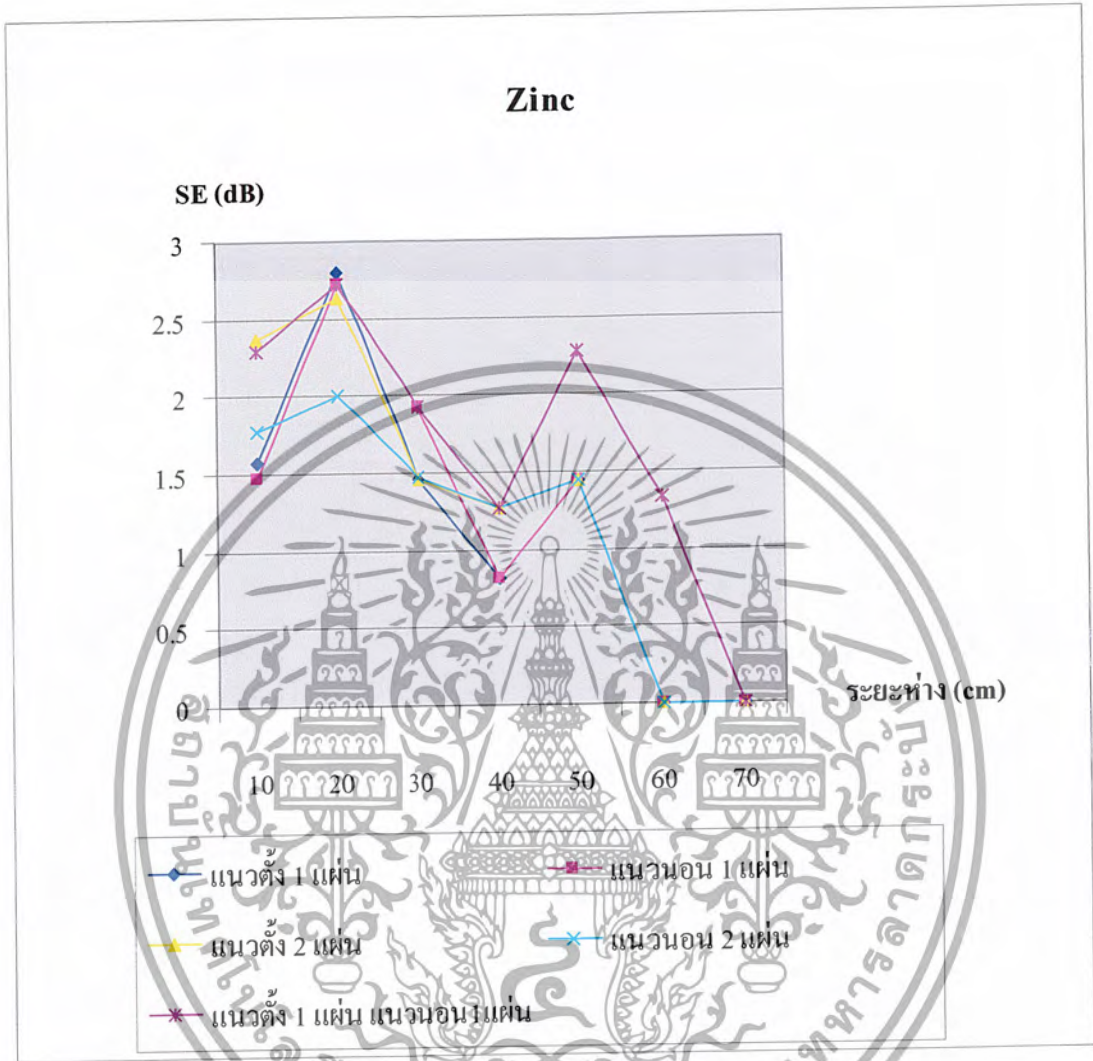
ตารางที่ 4.20 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของถังกะสี

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	106.5	88.8	89.8	81.1	87	81.8
20	14.5	10.5	10.6	10.7	11.5	10.6
30	4.5	3.8	3.6	3.8	3.8	3.6
40	2.2	2	2	1.9	1.9	1.9
50	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1
60	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
70	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

ตารางที่ 4.21 ค่า SE ของถังกะสี

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	1.58	1.48	2.37	1.78	2.29
20	2.8	2.72	2.64	2.01	2.72
30	1.46	1.93	1.46	1.47	1.93
40	0.82	0.82	1.27	1.27	1.27
50	1.45	1.45	1.45	1.45	2.28
60	0	0	0	0	1.33
70	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟผลการทดลองของสังกะสี

สรุปผลการทดลองการชิลด์ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 1 A

ชิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm มีค่า SE มากที่สุดเท่ากับ 32.94 dB ต่อมาเป็นชิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบก่อดูเท่ากับ 31.92 dB และชิลิกอนชีทสตีลแบบก่อดูเท่ากับ 30.71 dB ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันมากนัก และทั้ง 3 แบบเป็นโลหะที่จัดให้มีแนวเรียงตัวของสาร และแนวการเรียงตัวที่ให้การชิลด์ที่ดีที่สุดคือแนวการเรียงตัวสลับกันของทุกๆแบบและชนิดของโลหะ แต่ต้องดูแลโดยเป็นแนวโน้มรวมทุกระยะต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวัดค่าขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 2 A มีผลดังนี้

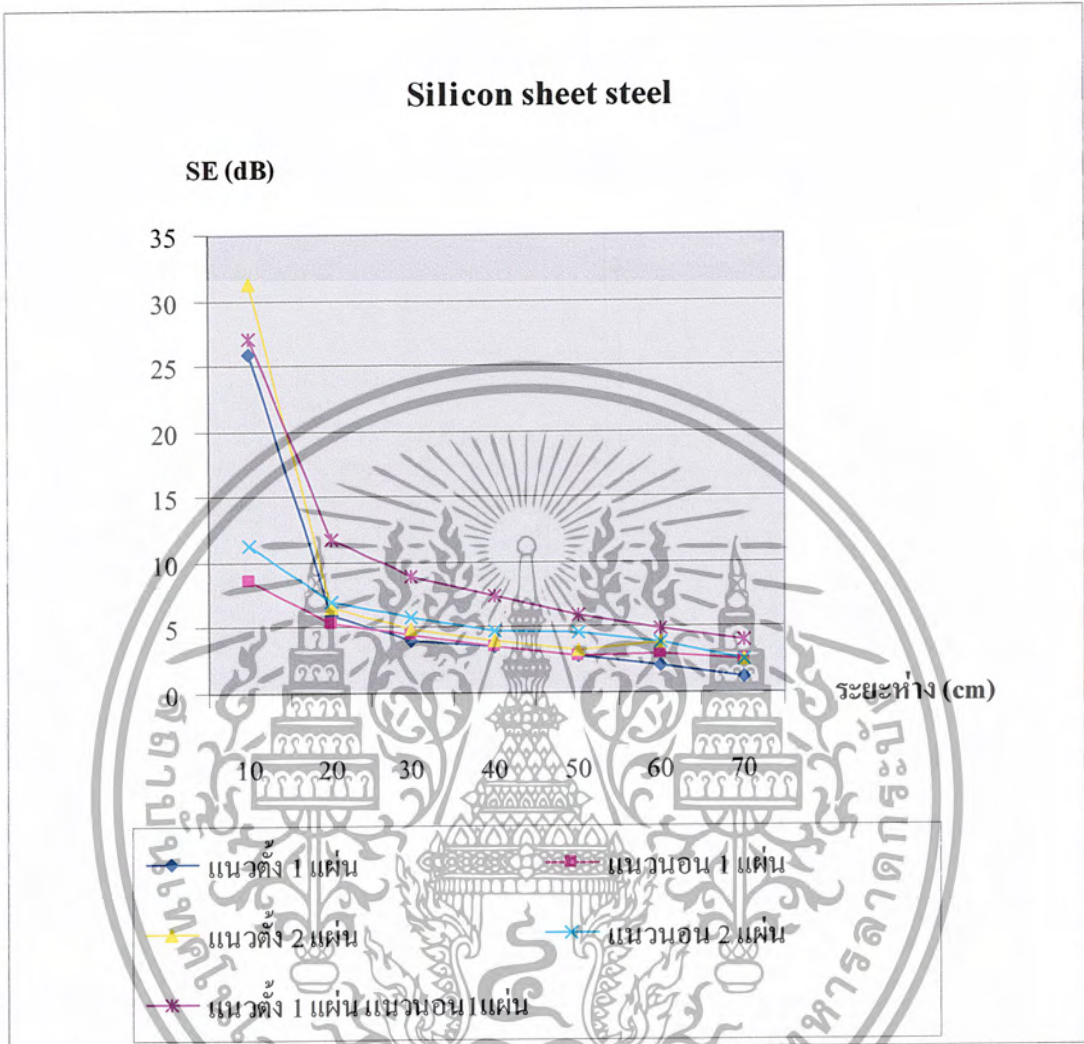
ตารางที่ 4.22 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	95.2	4.8	35.5	2.6	25.8	4.2
20	15.2	7.7	8.2	7.1	6.8	3.9
30	7	4.4	4.2	4	3.6	2.5
40	3.8	2.5	2.5	2.4	2.2	1.6
50	2.2	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
60	1.4	1.1	1	0.9	0.9	0.8
70	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5

ตารางที่ 4.23 ค่า SE ของซิลิกอนชีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	25.94	8.57	31.27	11.34	27.1
20	5.9	5.36	6.61	6.98	11.81
30	4.03	4.43	4.86	5.77	8.94
40	3.63	3.63	3.99	4.74	7.51
50	2.76	2.76	3.32	4.56	6.02
60	2.09	2.92	3.83	3.83	4.86
70	1.15	2.49	2.49	2.49	4.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนรีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

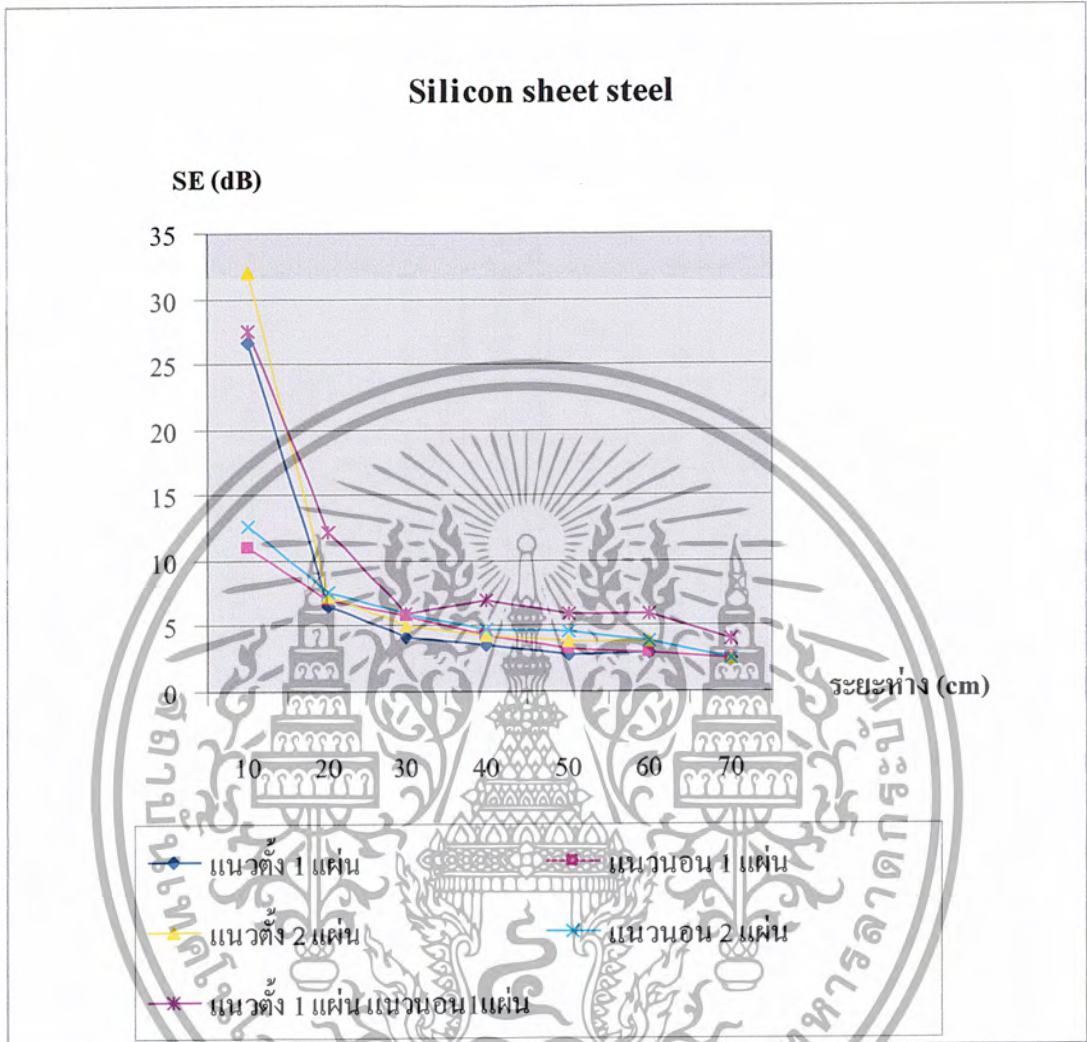
ตารางที่ 4.24 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของชิลิกอนรีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	95.2	4.4	26.6	2.4	22	4
20	15.2	7.2	6.8	6.6	6.3	3.7
30	7	4.3	3.6	3.9	3.5	3.5
40	3.8	2.5	2.3	2.3	2.2	1.7
50	2.2	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
60	1.4	1	1	0.9	0.9	0.7
70	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5

ตารางที่ 4.25 ค่า SE ของชิลิกอนรีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	26.7	11.07	31.96	12.72	27.53
20	6.49	6.98	7.24	7.65	12.27
30	4.23	5.77	5.08	6.02	6.02
40	3.63	4.36	4.36	4.74	6.98
50	2.76	3.32	3.92	4.56	6.02
60	2.92	2.92	3.83	3.83	6.02
70	2.49	2.49	2.49	2.49	4.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนรีทสตีลที่ต่อแบบเหมือนกัน 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

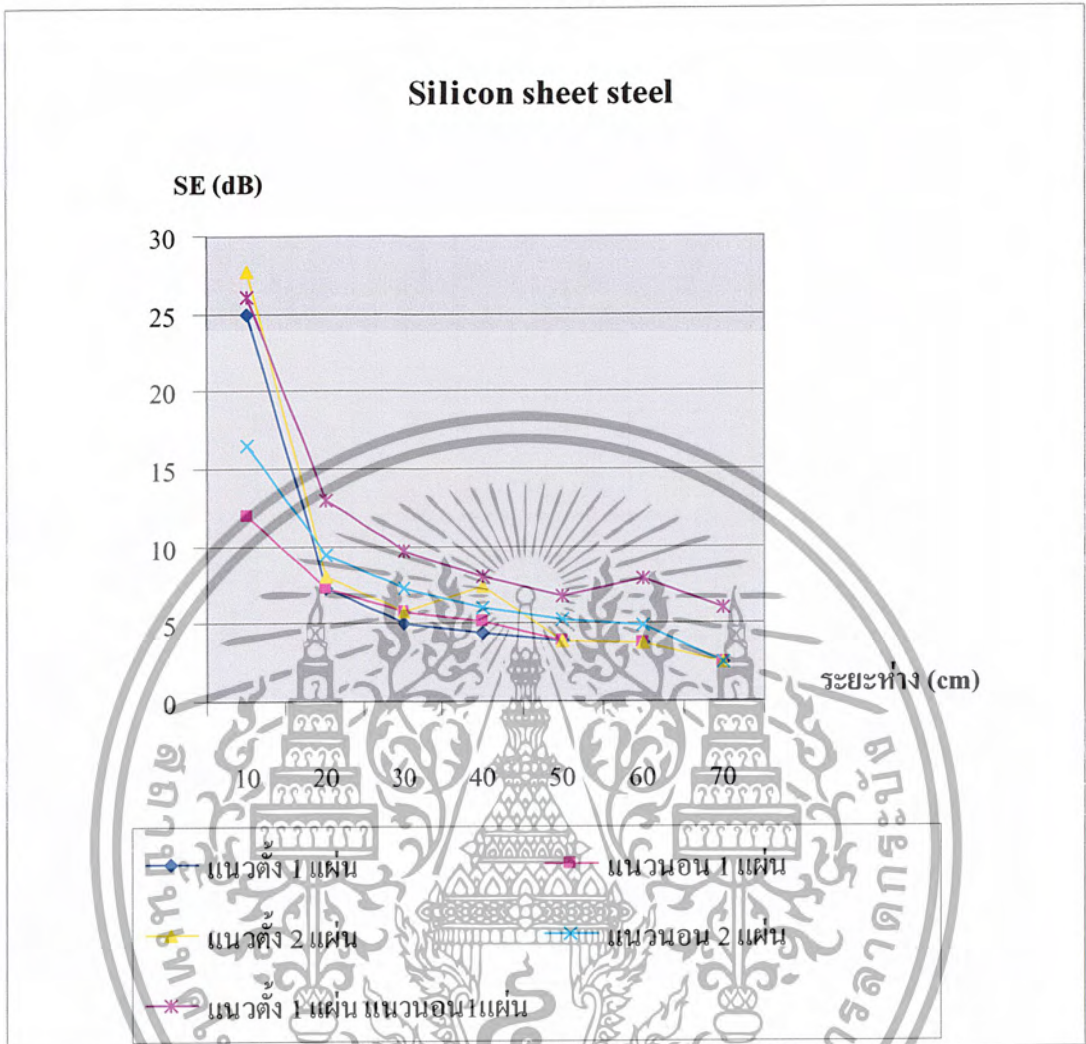
ตารางที่ 4.26 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐ

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	95.2	5.4	24	3.9	14.2	4.7
20	15.2	6.5	6.5	6	5.1	3.4
30	7	3.9	3.6	3.6	3	2.3
40	3.8	2.3	2.1	2.2	1.9	1.5
50	2.2	1.4	1.4	1.4	1.2	1
60	1.4	0.6	0.9	0.9	0.8	0.6
70	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4

ตารางที่ 4.27 ค่า SE ของชิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐ

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		—	—
10	24.92	11.96	27.75	16.52	26.13
20	7.37	7.37	8.07	9.48	13
30	5.08	5.77	5.77	7.35	9.66
40	4.36	5.15	7.47	6.02	8.07
50	3.92	3.92	3.92	5.26	6.84
60	3.83	3.83	3.83	4.86	7.95
70	2.49	2.49	2.49	2.49	6.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟผลการทดลองของแผ่นซิลิกอนรีทอสตีลที่ต่อแบบก่อกออิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

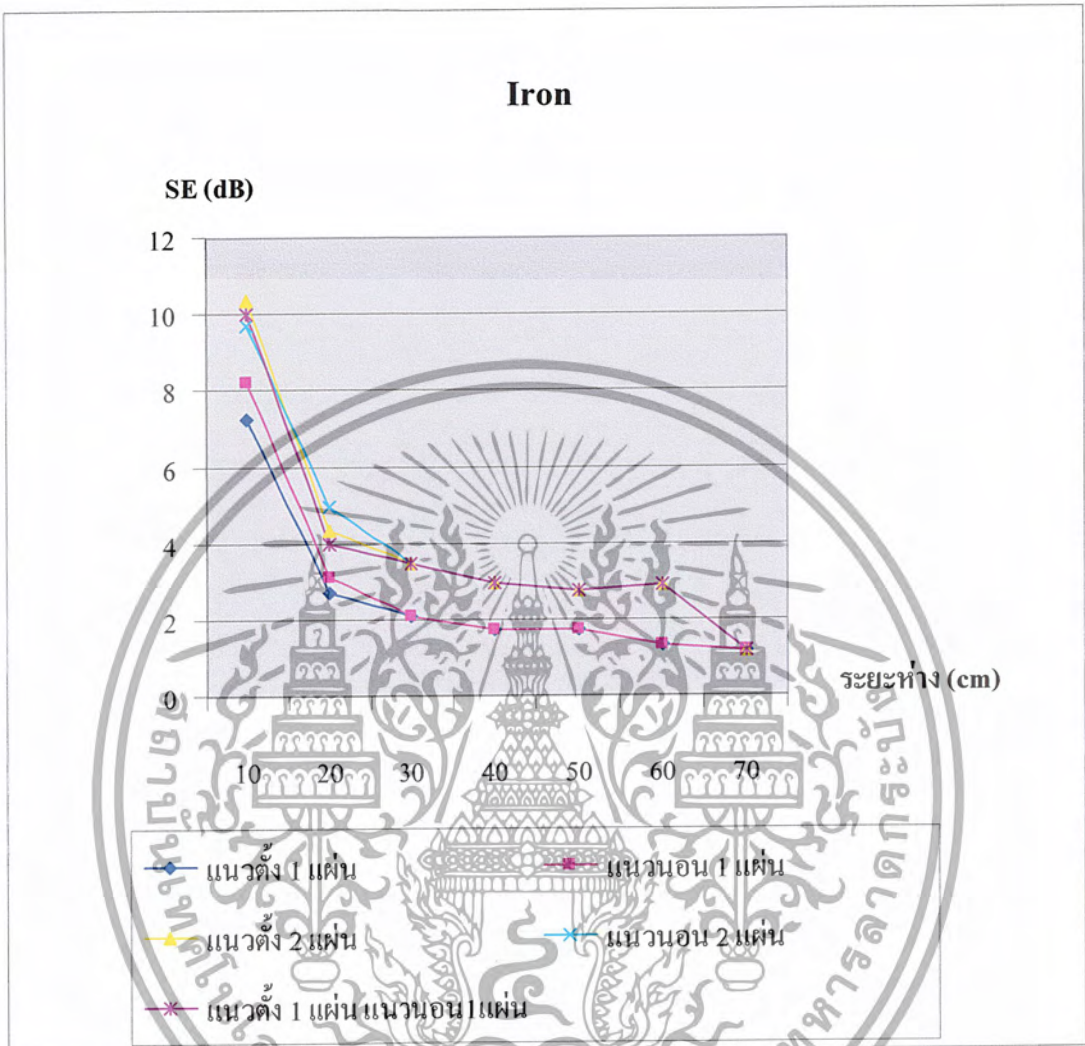
ตารางที่ 4.28 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	95.2	41.2	37	28.9	31.2	30
20	15.2	11.1	10.6	9.2	8.6	9.6
30	7	5.5	5.5	4.7	4.7	4.7
40	3.8	3.1	3.1	2.7	2.7	2.7
50	2.2	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6
60	1.4	1.2	1.2	1	1	1
70	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7

ตารางที่ 4.29 ค่า SE ของเหล็ก

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	7.27	8.2	10.35	9.69	10.03
20	2.73	3.13	4.36	4.94	3.99
30	2.09	2.09	3.46	3.46	3.46
40	1.76	1.76	2.96	2.96	2.96
50	1.74	1.74	2.76	2.76	2.76
60	1.33	1.33	2.92	2.92	2.92
70	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดลองของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

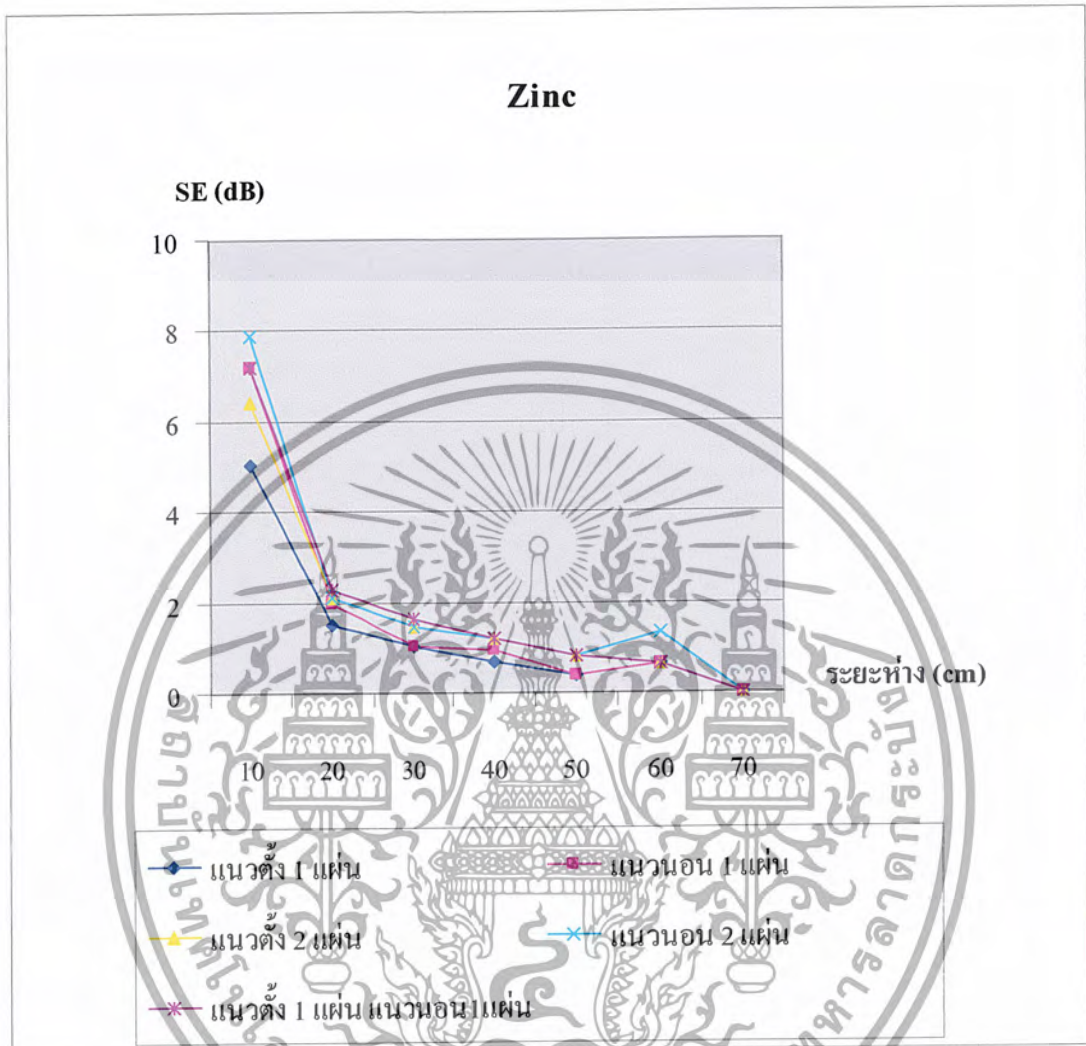
ตารางที่ 4.30 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของสังกะสี

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		==	—
10	95.2	53.2	41.5	45.5	38.3	41.6
20	15.2	12.8	12.1	11.9	11.9	11.7
30	7	6.2	6.2	5.9	5.9	5.8
40	3.8	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3
50	2.2	2.1	2.1	2	2	2
60	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3
70	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

ตารางที่ 4.31 ค่า SE ของสังกะสี

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		==	—
10	5.05	7.21	6.41	7.9	7.19
20	1.49	1.98	2.12	2.12	2.27
30	1.05	1.05	1.48	1.48	1.63
40	0.71	0.96	1.22	1.22	1.22
50	0.4	0.4	0.82	0.82	0.82
60	0.64	0.64	0.64	1.33	0.64
70	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟผลการทดลองของสังกะสี

สรุปผลการทดลองการซีลด์ขณะหม้อแปลงจ่ายโวลต์ 2 A

ซีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm มีค่า SE มากที่สุดเท่ากับ 27.53 dB ต่อมาเป็นซีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก่ออิฐเท่ากับ 27.1 dB และซีลิกอนซีทสตีลแบบก่ออิฐเท่ากับ 26.13 dB ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันมากนัก และทั้ง 3 แบบเป็นโลหะที่จัดให้มีแนวเรียงตัวของสารสลับกัน ฉะนั้นแนวการเรียงตัวมีผลต่อการซีลด์และแนวการเรียงตัวที่ให้ผลการซีลด์ที่ดีที่สุดคือแนวการเรียงตัวสลับกันของทุกๆแบบและชนิดของโลหะ แต่ต้องดูผลโดยเป็นแนวโน้มรวมทุกระยะต่อไป

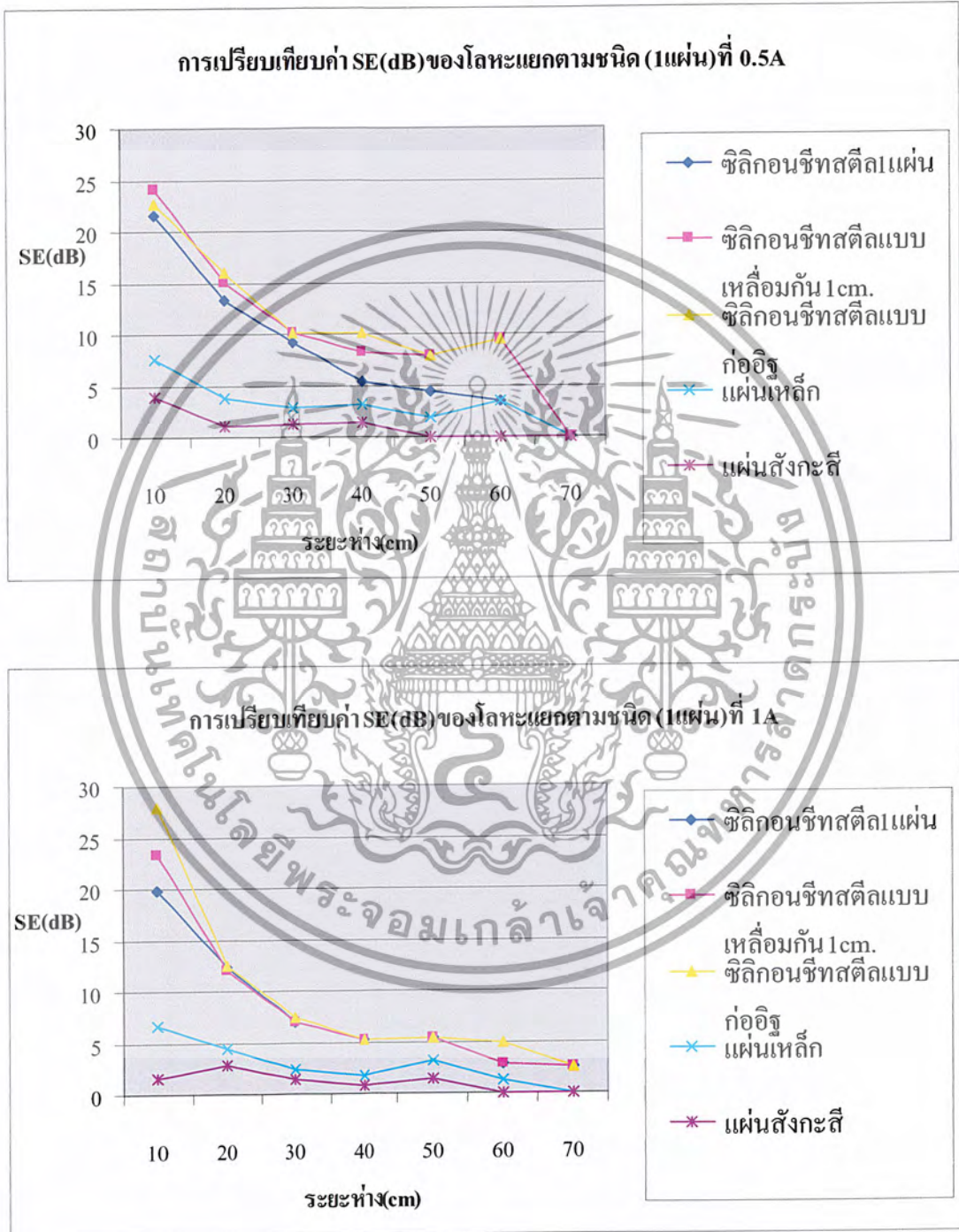
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปผลการทดลองการชิลต์โดยใช้แผ่นโลหะโดยดูผลเป็นแนวโน้ม

จากผลการทดลองทุกกรณี ให้ผลสรุปได้ดังนี้

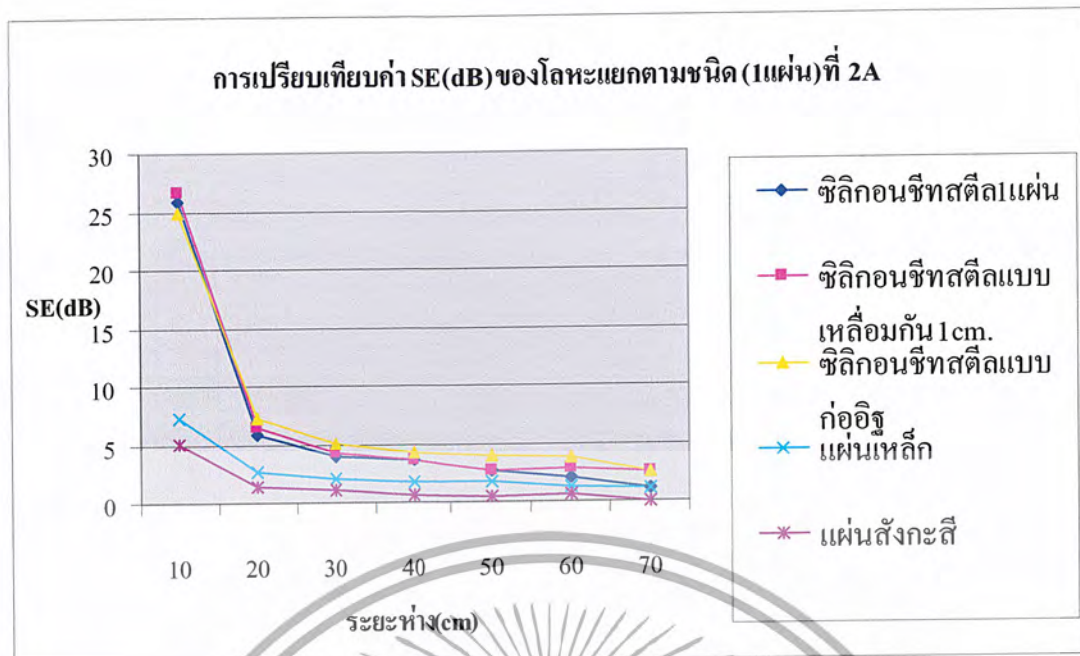
1.)กรณีใช้ 1 แผ่น

การจัดวางที่ได้ผลดีที่สุด ดูได้จากตารางที่แล้วมาคือ การวางแบบเรียงตัวในแนวตั้ง



รูปที่ 4.18 กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 1แผ่น ในแนวตั้งทั้ง 0.5 และ 1 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

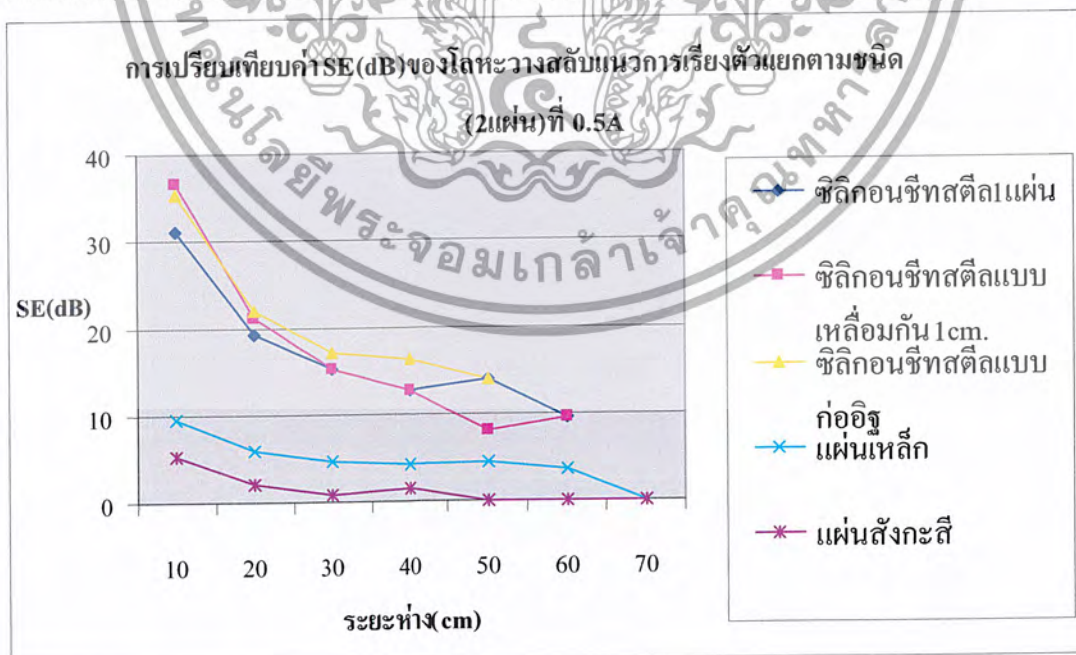


รูปที่ 4.19 กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 1แผ่น ในแนวตั้ง 2 A

จากกราฟที่ทุกระยะตั้งแต่ 10 - 70 cm วัดจากจุดศูนย์กลางหม้อแปลงไฟฟ้า ชิลิกอนซีทสตีลแบบ เหลื่อมกัน 1 cm และแบบก่ออิฐจะมีแนวโน้มของค่า SE ที่ต่ำสุด ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีค่าที่ใกล้เคียงและใกล้เคียงกัน

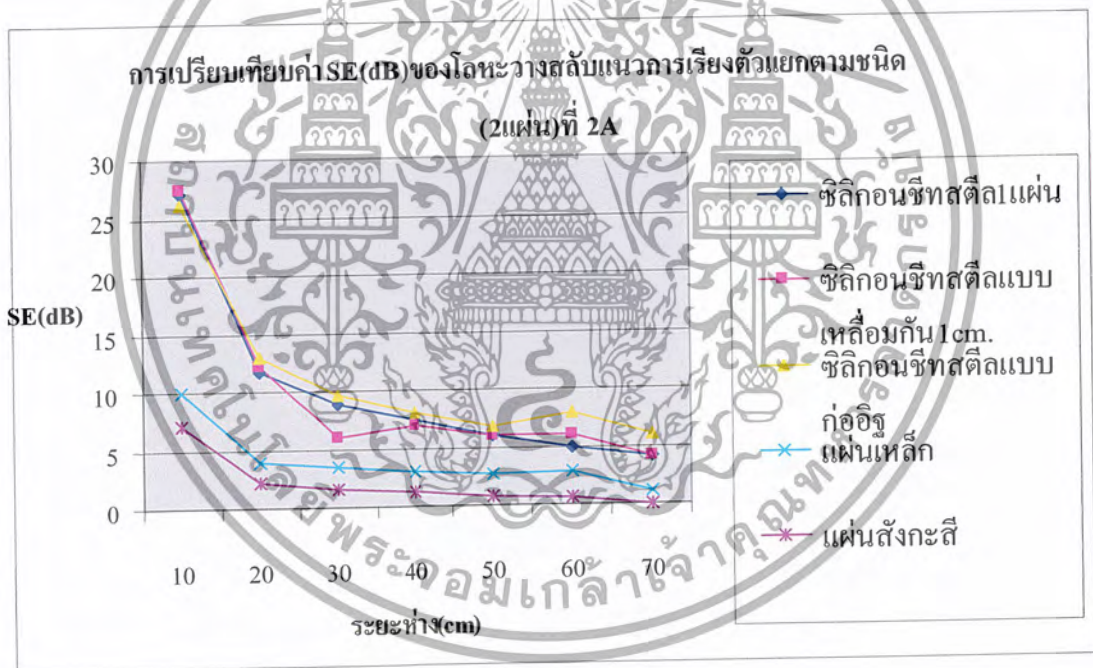
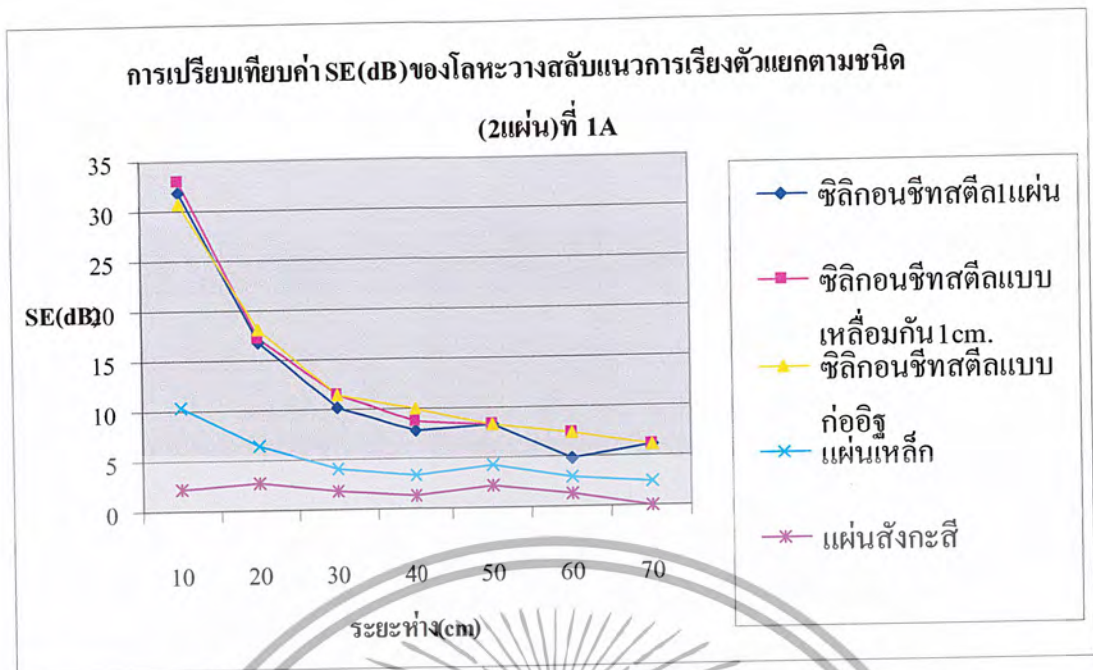
2.) กรณีใช้ 2 แผ่น

การจัดวางที่ได้ผลดีที่สุด ดูได้จากตารางที่แล้วมาคือ การวางแนวการเรียงตัวสลับกันจะให้ผลการชิลด์ดีกว่าวางให้มีแนวการเรียงตัวเหมือนกันเกือบเท่าตัว



รูปที่ 4.20 กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 1แผ่น ในแนวตั้ง 0.5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟผลการทดลองของโลหะแยกตามชนิด 2แผ่นในแนวการเรียงตัวสลับกันทั้ง 1 และ 2 A

จากกราฟที่ทุกระยะตั้งแต่ 10 - 70 cm วัดจากจุดศูนย์กลางหม้อแปลงไฟฟ้า ซิลิกอนซีทสตีลแบบ เหลื่อมกัน 1 cm และแบบก่ออิฐจะมีแนวโน้มของค่า SE ที่ดีที่สุด ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีค่าที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับแบบใช้ 1 แผ่น

ส่วนผลการทดลองที่ไม่ได้ปรากฏอยู่ในบทนี้ เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ แต่สามารถตรวจผลได้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 ถึง ก.4 และรูปที่ ก.1 และ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในบทนี้ ทำให้ได้โลหะที่ให้ผลการซึดที่ดี คือซิลิกอนซึดซึ่งมองจากโดยรวมแล้วซิลิกอนซึดทั้ง 3 แบบนั้นมีค่า SE และแนวโน้มพอๆกัน และยังสอดคล้องกับการจำลองระบบโดย MATLAB ในบทที่ 3 การทดลองขั้นต่อมาในด้านหม้อแปลงคือ นำซิลิกอนซึดทั้ง 3 แบบมาทำเป็นกล่องเพื่อทดลองการซึดกับหม้อแปลงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

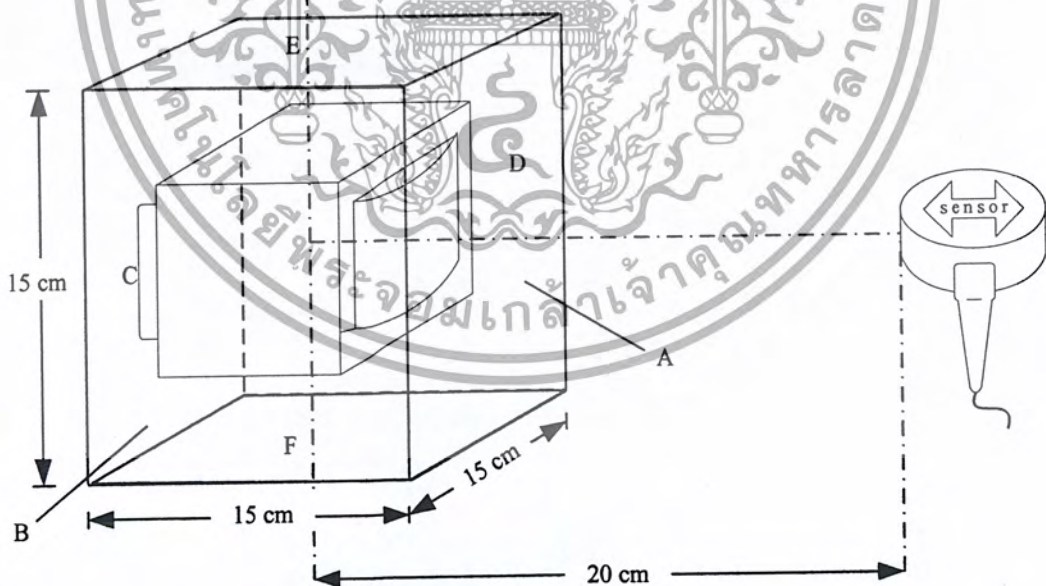
การทดลองการชิลด์โดยใช้กล่องชิลด์

จากการจำลองระบบโดย MATLAB ในบทที่ 3 และการทดลองในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าแผ่นชิลคอนกรีตให้ผลการชิลด์ที่ดีกว่าแผ่นโลหะอื่น จึงนำเอาแผ่นชิลคอนกรีตทั้งสามแบบมาออกแบบทำเป็นกล่องชิลด์เพื่อประยุกต์ใช้งานจริงได้ ในโครงการนี้ ตัวส่งสัญญาณรบกวนคือหม้อแปลงไฟฟ้า และควบคุมการชิลด์ขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลด 2 A เนื่องจากให้ค่าสนามแม่เหล็กมากทำให้เห็นผลการชิลด์ที่ดีขึ้นในบทที่ 5 นี้จึงเน้นไปที่การชิลด์ที่หม้อแปลง

5.1 การทดลองชิลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องชิลด์

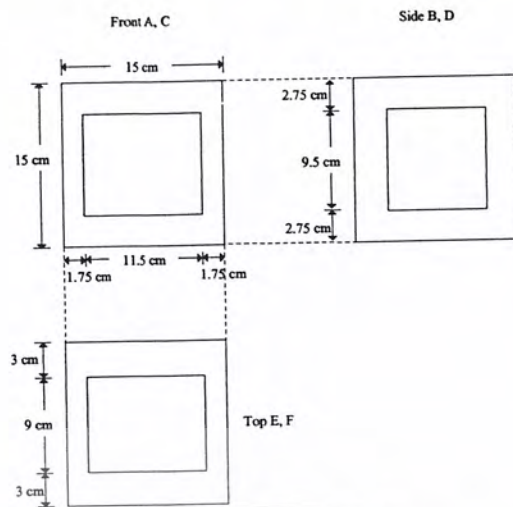
ในการทดลองนี้ต้องการดูผลการชิลด์ของแผ่นชิลคอนกรีตทั้ง 3 แบบเมื่อนำมาทำเป็นกล่อง และมีการทดลองดูผลชิลด์ในกรณีที่ต้องการว่าเมื่อเปิดด้านใดจะให้ผลการชิลด์ที่ดีกว่าและส่งผลกระทบต่อกรชิลด์น้อยที่สุด

5.1.1 การออกแบบกล่องชิลด์และวิธีการทดลอง



รูปที่ 5.1 กล่องชิลด์ที่ใช้ครอบหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ขนาดของกล่องซีลด์และตำแหน่งหม้อแปลง

หมายเหตุ

1. หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส, 250 VA, 1:1, 220 V
2. โหลดหลอดไฟ 4 หลอด หลอดละ 60 W
 - ค่าทางด้าน primary 222.0 V, 1.94 A
 - ค่าทางด้าน secondary 215 V, 1.98 A

กล่องซีลด์ในรูปที่ 5.1 และ 5.2 สร้างเพื่อสามารถวัดผลการซีลด์ในทุกๆด้าน และทำการวัดเมื่อเปิดฝากล่องในด้านต่างๆ จึงทำการตัดแผ่นโลหะออกเป็นชิ้น และทำการประกอบเป็นกล่องขนาด 15 x 15 x 15 cm ส่วนหม้อแปลงให้นำมาวางตรงกึ่งกลางของกล่องดังรูป 5.2 ในการประกอบกล่องนั้นจะใช้แผ่นฟอยด์มาเป็นตัวเชื่อมตั้งในรูปในภาคผนวก ข รูป ข.7 เนื่องจากต้องการลดสนามแม่เหล็กที่จะสามารถรั่วออกมาจากบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นโลหะ การวัดค่าการซีลด์ในการทดลองนี้จะทำการวัดที่ระยะ 20 cm จากกึ่งกลางหม้อแปลงเนื่องจากต้องการเปรียบเทียบผลซีลด์ในด้านต่างๆ รวมถึงต้องการพิจารณาแนวโน้มของผลซีลด์เมื่อเปิดด้านต่างๆ ซึ่งถ้าทำการทดลองที่ระยะไกลๆค่าสนามแม่เหล็กจะค่อนข้างน้อยทำให้ผลการซีลด์มีความคลาดเคลื่อนได้

จุดสนใจในการวัดค่า SE อยู่ที่ด้าน A เนื่องจากได้ทำการวางจอมอนิเตอร์ไว้ที่ด้าน A (ด้านหน้าหม้อแปลง) โดยตารางแสดงผลการทดลองต่างๆมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การชี้วัดหม้อแปลงโดยใช้กล่องชี้วัดชนิดชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

ตารางที่ 5.1 ผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา ลักษณะปิดทุกด้าน

ลักษณะของ กล่องชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
ปิดทุกด้าน	A	22.7	9.7	10	9.9	9.87	7.23
	B	6.6	2.6	2.8	2.7	2.70	7.76
	C	18.2	6.8	6.9	6.7	6.80	8.55
	D	7.2	2.8	3.1	3.1	3.00	7.60
	E	173.1	131.1	131.6	131.4	131.37	2.40
	F	118.5	114.1	114.8	114.5	114.47	0.30

ตารางที่ 5.2 ผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา ลักษณะเปิดด้านบน

ลักษณะของ กล่องชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน	A	22.7	9.5	9.3	9.3	9.37	7.69
	B	6.6	2.1	1.9	2	2.00	10.37
	C	18.2	7.8	7.8	7.7	7.77	7.40
	D	7.2	2.5	2.5	2.4	2.47	9.30
	E	173.1	139.7	144	144.1	142.60	1.68
	F	118.5	115	115.3	115.5	115.27	0.24

ตารางที่ 5.3 ผลที่ได้จากกล่องชี้วัดชนิดชิลิกอนชิทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา ลักษณะเปิดด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องชี้วัด	ด้านที่วัด	ก่อนชี้วัด (mG)	หลังชี้วัด (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านล่าง	A	22.7	8.4	8.5	8.47	8.46	8.58
	B	6.6	3.7	3.9	3.8	3.80	4.80
	C	18.2	8	8.2	8.17	8.12	7.01
	D	7.2	3.5	3.6	3.53	3.54	6.16
	E	173.1	129.1	129.3	129.13	129.18	2.54
	F	118.5	139.5	139.8	139.67	139.66	-1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านซ้าย

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านซ้าย	A	22.7	7.5	7.7	7.8	7.67	9.43
	B	6.6	7.9	7.6	7.4	7.63	-1.26
	C	18.2	8.2	8.1	7.8	8.03	7.10
	D	7.2	5.1	5.1	5.2	5.13	2.94
	E	173.1	61.6	64.7	67.2	64.50	8.57
	F	118.5	58.3	59.4	60.5	59.40	6.00

ตารางที่ 5.5 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านขวา

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านขวา	A	22.7	7.8	8	8.1	7.97	9.09
	B	6.6	4.7	5	4.9	4.87	2.65
	C	18.2	7.8	8	8.3	8.03	7.10
	D	7.2	8.3	8.4	8.6	8.43	-1.37
	E	173.1	61.1	61	61.3	61.13	9.04
	F	118.5	63	63.7	64.5	63.73	5.39

ตารางที่ 5.6 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหน้า

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหน้า	A	22.7	26.1	26.4	26.7	26.40	-1.31
	B	6.6	6.2	6.3	6.4	6.30	0.40
	C	18.2	6	7.4	8	7.13	8.14
	D	7.2	4.1	4.4	4.7	4.40	4.28
	E	173.1	54	54.6	54.8	54.47	10.04
	F	118.5	69.3	70.4	70.9	70.20	4.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหลัง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง	A	22.7	6	6.1	6.1	9.80	11.46
	B	6.6	6.8	6.8	7.1	6.90	-0.39
	C	18.2	22.5	22.4	22.5	22.47	-1.83
	D	7.2	7	7	7.1	7.03	0.20
	E	173.1	70	70.4	70.1	70.17	7.84
	F	118.5	55.4	55.4	55.7	55.50	6.59

ตารางที่ 5.8 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านบนและด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน และด้านล่าง	A	22.7	12.8	12.7	12.8	12.77	5.00
	B	6.6	7.2	7.3	7.5	7.33	-0.91
	C	18.2	12.4	12.5	12.5	12.47	3.28
	D	7.2	7.4	7.5	7.6	7.50	-0.35
	E	173.1	94.4	94.5	94.9	94.60	5.25
	F	118.5	91.5	91.8	91.9	91.73	2.22

ตารางที่ 5.9 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านซ้ายและ
ด้านขวา

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านซ้าย และด้านขวา	A	22.7	13.5	13.3	13.2	13.33	4.62
	B	6.6	4.7	5	4.9	4.87	2.65
	C	18.2	12.9	13	12.7	12.87	3.01
	D	7.2	5.1	5.1	5.2	5.13	2.94
	E	173.1	139.7	139.8	140	139.83	1.85
	F	118.5	126.3	126.1	126.5	126.30	-0.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหน้า และด้านหลัง	A	22.7	19.5	19.6	19.8	19.63	1.26
	B	6.6	4.4	4.6	4.7	4.57	3.20
	C	18.2	14	14.4	14.7	14.37	2.05
	D	7.2	4.6	4.9	5	4.83	3.46
	E	173.1	135.7	135.8	136	135.83	2.11
	F	118.5	131.4	131.5	131.8	131.57	-0.91

ตารางที่ 5.11 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหลังและด้านบน

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง และด้านบน	A	22.7	11.7	11.8	12	11.83	5.66
	B	6.6	5.8	5.9	6.3	6.00	0.83
	C	18.2	15	15.1	15.4	15.17	1.58
	D	7.2	5.9	5.9	6	5.93	1.68
	E	173.1	112.9	113.5	113.7	113.37	3.68
	F	118.5	58.3	58.8	59	58.70	6.10

ตารางที่ 5.12 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านหลังและด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง และด้านล่าง	A	22.7	6.4	6.6	6.6	6.53	10.82
	B	6.6	2	2.2	2.3	2.17	9.68
	C	18.2	16	16.2	16.5	16.23	0.99
	D	7.2	2.1	2.3	2.3	2.23	10.17
	E	173.1	68.2	68.5	68.1	68.27	8.08
	F	118.5	104.9	105	105	104.97	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดาลักษณะเปิดด้านบน, ด้านหลัง และด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องชนิด	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน ด้านหลัง และด้านล่าง	A	22.7	14.2	14.4	14.5	14.37	3.97
	B	6.6	6	6.1	6.1	6.07	0.73
	C	18.2	15.7	15.8	16	15.83	1.21
	D	7.2	7.5	7.9	8.1	7.83	-0.73
	E	173.1	123	123.6	123.7	123.43	2.94
	F	118.5	107.8	108	108.1	107.97	0.81

สรุปผลการซีลด์ของกล่องชนิดชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบธรรมดา

กรณีของกล่องที่มีการเปิดด้านหลังจะให้ค่า SE มากที่สุดเท่ากับ 11.46 dB ถ้าเราวัดที่ด้าน A (ด้านหน้าของหม้อแปลง)

5.1.3 การซีลด์หม้อแปลงโดยใช้กล่องชนิดชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm

ตารางที่ 5.14 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลี่ยมกัน 1 cm ลักษณะปิดทุกด้าน

ลักษณะของ กล่องชนิด	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
ปิดทุกด้าน	A	22.7	8.9	8.9	8.8	8.87	8.17
	B	6.6	2.5	2.6	2.6	2.57	8.20
	C	18.2	6.3	6.5	6.5	6.43	9.03
	D	7.2	1.9	2	2.2	2.03	10.98
	E	173.1	125.1	125.5	125.6	125.40	2.80
	F	118.5	113.5	113.4	113.4	113.43	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดขีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านบน

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน	A	22.7	9.1	9.3	9.3	9.23	7.81
	B	6.6	1.9	1.9	1.8	1.87	10.97
	C	18.2	7.7	7.8	7.8	7.77	7.40
	D	7.2	2.5	2.5	2.6	2.53	9.07
	E	173.1	143.9	144	144.2	144.03	1.60
	F	118.5	115.1	115.3	115	115.13	0.25

ตารางที่ 5.16 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดขีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านล่าง	A	22.7	8.4	8.5	8.4	8.43	8.60
	B	6.6	3.9	3.9	4	3.93	4.50
	C	18.2	7.7	7.8	7.7	7.73	7.43
	D	7.2	3.6	3.6	3.5	3.57	6.10
	E	173.1	129	129.3	129.5	129.27	2.54
	F	118.5	139.5	139.8	139.7	139.67	-1.43

ตารางที่ 5.17 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดขีลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านซ้าย

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านซ้าย	A	22.7	8.2	8.3	8.4	8.30	8.74
	B	6.6	6.7	6.8	6.9	6.80	-0.26
	C	18.2	5.6	5.8	5.9	5.77	9.98
	D	7.2	4.6	4.8	5	4.80	3.52
	E	173.1	64.4	64.5	64.6	64.50	8.57
	F	118.5	58.1	58.2	58.3	58.20	6.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านขวา

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านขวา	A	22.7	7.4	7.5	7.7	7.53	9.58
	B	6.6	4	4	4.3	4.10	4.14
	C	18.2	6.2	6.3	6.3	6.27	9.26
	D	7.2	6.6	6.7	6.8	6.70	0.63
	E	173.1	58.2	58.3	58.4	58.30	9.45
	F	118.5	55.2	56.3	57.3	56.27	6.47

ตารางที่ 5.19 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านหน้า

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหน้า	A	22.7	23.4	23.5	23.7	23.53	-0.31
	B	6.6	5.7	5.8	5.9	5.80	1.12
	C	18.2	6.6	7	7.1	6.90	8.42
	D	7.2	5	5.3	5.4	5.23	2.77
	E	173.1	57.1	57.4	57.3	57.27	9.61
	F	118.5	51.7	52.7	53.7	52.70	7.04

ตารางที่ 5.20 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านหลัง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง	A	22.7	5.7	5.9	6	5.87	11.74
	B	6.6	5.4	5.5	5.2	5.37	1.80
	C	18.2	21.9	22	22.2	22.03	-1.66
	D	7.2	6.7	6.5	6.5	6.57	0.80
	E	173.1	61.6	61.7	61.9	61.73	8.96
	F	118.5	54.8	54.9	54.4	54.70	6.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดขลิกลอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านบน และด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องชนิด	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน และด้านล่าง	A	22.7	12	12.2	12.3	12.17	5.42
	B	6.6	6.8	6.5	6.6	6.63	-0.04
	C	18.2	11.5	11.6	11.9	11.67	3.86
	D	7.2	6.8	6.9	6.9	6.87	0.41
	E	173.1	98.2	98.3	98	98.17	4.93
	F	118.5	90.7	90.8	90.8	90.77	2.32

ตารางที่ 5.22 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดขลิกลอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านซ้าย และด้านขวา

ลักษณะของ กล่องชนิด	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านซ้าย และด้านขวา	A	22.7	12.7	12.7	12.8	12.73	5.02
	B	6.6	5.1	5.2	5.4	5.23	2.02
	C	18.2	10.6	10.7	10.7	10.67	4.64
	D	7.2	4.5	4.6	4.8	4.63	3.83
	E	173.1	134.6	134.6	134.9	134.70	2.18
	F	118.5	124.1	124.8	124.9	124.60	-0.44

ตารางที่ 5.23 ผลที่ได้จากกล่องชนิดชนิดขลิกลอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านหน้า และด้านหลัง

ลักษณะของ กล่องชนิด	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหน้า และด้านหลัง	A	22.7	19.7	19.4	19.5	19.53	1.30
	B	6.6	4.1	4.2	4.2	4.17	4.00
	C	18.2	15.4	15.5	15.4	15.43	1.43
	D	7.2	4.7	4.5	4.7	4.63	3.83
	E	173.1	133	133.7	133.5	133.40	2.26
	F	118.5	129.7	130.6	130.9	130.40	-0.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.24 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านหลัง และด้านบน

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง และด้านบน	A	22.7	12	12.3	12.5	12.27	5.35
	B	6.6	5.4	5.7	5.8	5.63	1.38
	C	18.2	14	14.1	14.5	14.20	2.16
	D	7.2	5.7	5.7	5.9	5.77	1.93
	E	173.1	112.7	112.8	113	112.83	3.72
	F	118.5	59.3	59.4	60	59.57	5.97

ตารางที่ 5.25 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านหลัง และด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง และด้านล่าง	A	22.7	22.7	6.5	6.5	11.90	5.61
	B	6.6	2.3	2.4	2.7	2.47	8.55
	C	18.2	16.7	17	17.1	16.93	0.63
	D	7.2	2.4	2.4	2.5	2.43	9.42
	E	173.1	67.1	67.3	67.9	67.43	8.19
	F	118.5	103.1	103.2	103.69	103.33	1.19

ตารางที่ 5.26 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm ลักษณะเปิดด้านบน, ด้านหลัง และด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน ด้านหลัง และด้านล่าง	A	22.7	13.9	14	14.3	14.07	4.16
	B	6.6	5.8	6.1	6.1	6.00	0.83
	C	18.2	15.5	15.6	15.8	15.63	1.32
	D	7.2	7.2	7.2	7.5	7.30	-0.12
	E	173.1	110.4	110.9	111	110.77	3.88
	F	118.5	105.9	106.5	106.6	106.33	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.29 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐลักษณะเปิดด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านล่าง	A	22.7	8	8.1	8.1	8.07	8.99
	B	6.6	0.8	0.8	0.7	0.77	18.70
	C	18.2	6.5	6.4	6.6	6.50	8.94
	D	7.2	0.6	0.7	0.7	0.67	20.67
	E	173.1	112.3	112.5	112.5	112.43	3.75
	F	118.5	133	133.1	132.8	132.97	-1.00

ตารางที่ 5.30 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐลักษณะเปิดด้านซ้าย

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านซ้าย	A	22.7	8.5	8.7	8.8	8.67	8.36
	B	6.6	6.1	6.2	6.2	6.17	0.59
	C	18.2	5.1	5.2	5	5.10	11.05
	D	7.2	4.7	4.8	4.7	4.73	3.64
	E	173.1	56.9	57.1	57.4	57.13	9.63
	F	118.5	49.8	49.7	49.9	49.80	7.53

ตารางที่ 5.31 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐลักษณะเปิดด้านขวา

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านขวา	A	22.7	6.6	6.7	7	12.03	7.12
	B	6.6	4.4	4.4	4.5	6.77	10.51
	C	18.2	6	6.1	6	4.43	3.46
	D	7.2	5.7	5.8	5.8	6.03	9.59
	E	173.1	61.2	61	61.4	5.77	1.93
	F	118.5	54	54.8	54.5	61.20	9.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.32 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสดีลที่ต่อแบบก้ออฐลักษณะเปิดด้านหน้า

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหน้า	A	22.7	22.5	22.8	23	22.77	-0.03
	B	6.6	5.7	5.6	5.7	5.67	1.32
	C	18.2	6.4	6.5	6.7	6.53	8.90
	D	7.2	6	5.8	5.7	5.83	1.83
	E	173.1	57.4	58	57.9	57.77	9.53
	F	118.5	50.5	50.5	50.7	50.57	7.40

ตารางที่ 5.33 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสดีลที่ต่อแบบก้ออฐลักษณะเปิดด้านหลัง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง	A	22.7	5.6	5.6	5.5	5.57	12.2
	B	6.6	5	5.1	5.4	5.17	2.13
	C	18.2	21.2	21.4	21.5	21.37	-1.39
	D	7.2	6.7	6.8	7	6.83	0.45
	E	173.1	56.2	56.6	57	56.60	9.71
	F	118.5	52.6	52.8	52.9	52.77	7.03

ตารางที่ 5.34 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสดีลที่ต่อแบบก้ออฐลักษณะเปิดด้านบนและด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน และด้านล่าง	A	22.7	11.5	11.7	12	11.73	5.73
	B	6.6	6.3	6.1	6.4	6.27	0.45
	C	18.2	11.4	11.4	11.5	11.43	4.04
	D	7.2	6.3	6.5	6.8	6.53	0.84
	E	173.1	98.5	99	98.7	98.73	4.88
	F	118.5	82.9	83	83.2	83.03	3.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 ผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดซิลิกอนซีทิสต์ที่ต่อแบบก้ออิจูลักษณะเปิดด้านซ้ายและด้านขวา

ลักษณะของ กล่องชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านซ้าย และด้านขวา	A	22.7	11.9	12	12.4	12.10	5.46
	B	6.6	5.6	5.7	5.9	5.73	1.22
	C	18.2	8.9	8.8	8.8	8.83	6.28
	D	7.2	4.2	4.5	4.6	4.43	4.21
	E	173.1	123.2	123.8	124.1	123.70	2.92
	F	118.5	117	117	117.4	117.13	0.10

ตารางที่ 5.36 ผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดซิลิกอนซีทิสต์ที่ต่อแบบก้ออิจูลักษณะเปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ลักษณะของ กล่องชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหน้า และด้านหลัง	A	22.7	18.9	19	19.2	19.03	1.53
	B	6.6	4.1	4.1	4.3	4.17	4.00
	C	18.2	15.5	15.9	16	15.80	1.23
	D	7.2	4	4.3	4.7	4.33	4.41
	E	173.1	126.5	126.8	126.9	126.73	2.71
	F	118.5	123.1	123.2	123.5	123.27	-0.34

ตารางที่ 5.37 ผลที่ได้จากกล่องชิลด์ชนิดซิลิกอนซีทิสต์ที่ต่อแบบก้ออิจูลักษณะเปิดด้านหลังและด้านบน

ลักษณะของ กล่องชิลด์	ด้านที่วัด	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง และด้านบน	A	22.7	17.8	18.1	18.3	18.07	1.98
	B	6.6	5.2	5.3	5.5	5.33	1.85
	C	18.2	13.6	13.8	13.9	13.77	2.42
	D	7.2	3.9	3.8	4	3.90	5.33
	E	173.1	112.2	112.4	113	112.53	3.74
	F	118.5	65	65.8	65.9	65.57	5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.38 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐลักษณะเปิดด้านหลังและด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านหลัง และด้านล่าง	A	22.7	5.9	6.3	6.2	6.13	11.37
	B	6.6	5.8	5.8	6.1	5.90	0.97
	C	18.2	17.5	17.7	17.8	17.67	0.26
	D	7.2	7.2	7.8	7.9	7.63	-0.51
	E	173.1	66.7	66.8	66.5	66.67	8.29
	F	118.5	102.6	102.9	102.9	102.80	1.23

ตารางที่ 5.39 ผลที่ได้จากกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐลักษณะเปิดด้านบน, ด้านหลัง
และด้านล่าง

ลักษณะของ กล่องซีลด์	ด้านที่วัด	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG) ครั้งที่			เฉลี่ย (mG)	เฉลี่ย (dB)
			1	2	3		
เปิดด้านบน ด้านหลัง และด้านล่าง	A	22.7	12	12.5	12.6	12.37	5.28
	B	6.6	5.7	5.8	6	5.83	1.07
	C	18.2	15.2	15.4	15.5	15.37	1.47
	D	7.2	7.2	7.2	7.6	7.33	-0.16
	E	173.1	110	110.3	110.7	110.33	3.91
	F	118.5	104.3	104.4	104.9	104.53	1.09

สรุปผลการซีลด์ของกล่องซีลด์ชนิดซิลิกอนซีทสตีลที่ต่อแบบก้ออิฐ

กรณีของกล่องที่มีการเปิดด้านหลังจะให้ค่า SE มากที่สุดเท่ากับ 12.2 dB ถ้าเราวัดที่ด้าน A (ด้านหน้าของหม้อแปลง)

5.2 สรุปผลการทดลองของกล่องซีลด์

จากการทดลองซีลด์หม้อแปลงด้วยกล่องซีลด์ที่ทำจากซิลิกอนซีทสตีลทั้งสามแบบ ที่ระยะ 20 cm จากกึ่งกลางหม้อแปลงมาที่ EMF sensor โดยสนใจการซีลด์สนามแม่เหล็กด้านหน้าหม้อแปลงซึ่งเป็นด้านที่มีการวางมอนิเตอร์เอาไว้ กล่องซีลด์ที่เปิดด้านหลังโดยกล่องซิลิกอนซีทสตีลแบบต่อธรรมดา, ต่อแบบ เหลื่อมกัน 1 cm และต่อแบบก้ออิฐให้ค่า SE เท่ากับ 10.46 dB, 11.74 dB และ 12.2 dB ตามลำดับ

กล่องซีลด์ที่เปิดด้านหลังจะให้ผลการซีลด์ทางด้านหน้าที่ดีขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากสนามแม่เหล็กที่สะท้อนกลับมาทางด้านหลัง ซึ่งในบทความต่อไปจะเป็นการศึกษาการกระจายสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำ

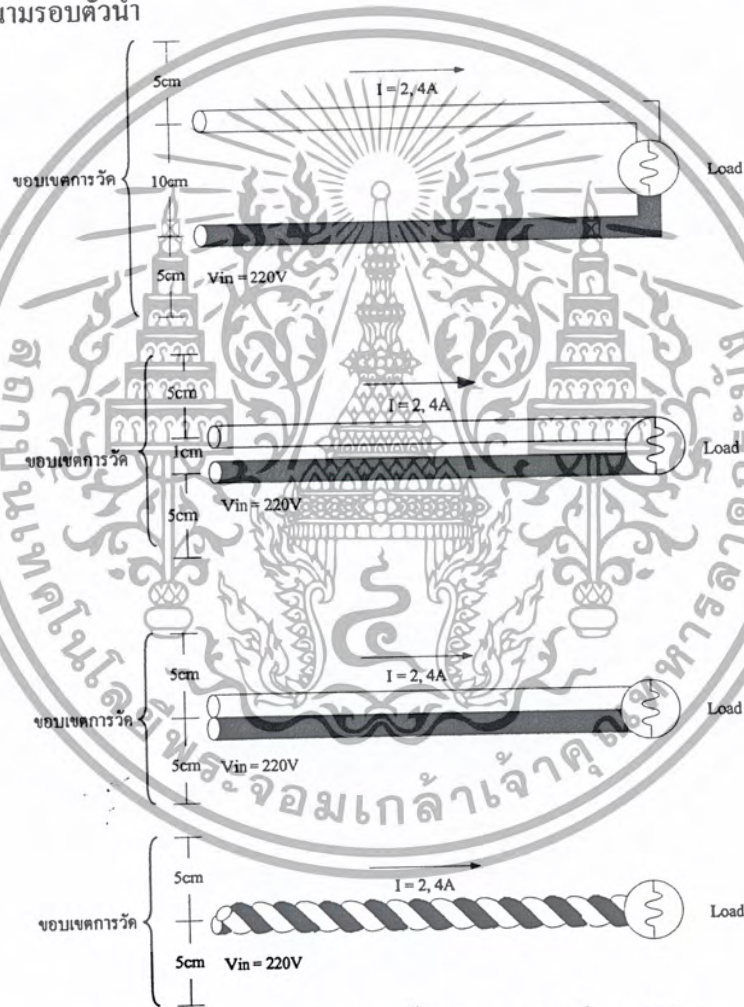
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองการกระจายของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำ

ในบทนี้จะเป็นบทที่ศึกษาการกระจายของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำโดยมีประเด็นในการพิจารณาคือ

- 1.) ผลของลักษณะการจัดวางสายตัวนำในแบบต่างๆ โดยในการทดลองจะเริ่มวัดจากระยะกึ่งกลางสายตัวนำออกไปทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 6.1
- 2.) ผลของกระแสที่เปลี่ยนไป (จาก 1 A เปลี่ยนเป็น 2 A) ว่ามีผลอย่างไรกับการกระจายของสนามรอบตัวนำ



รูปที่ 6.1 การวางอุปกรณ์ในการทดลองของสายตัวนำทั้ง 4 แบบ ดังรูปที่ ข.4 ได้แก่

- 1.) สายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm
- 2.) สายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm
- 3.) สายตัวนำแบบวางติดกัน
- 4.) สายตัวนำแบบตีเกลียว

หมายเหตุ

สายตัวนำเดี่ยวขนาด 1.5 mm^2 , โหลด 2 และ 4 A, $1 \text{ mG} = 0.1 \mu \text{T}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การกระจายของสนามแม่เหล็กแยกตามสายตัวนำแบบต่างๆ

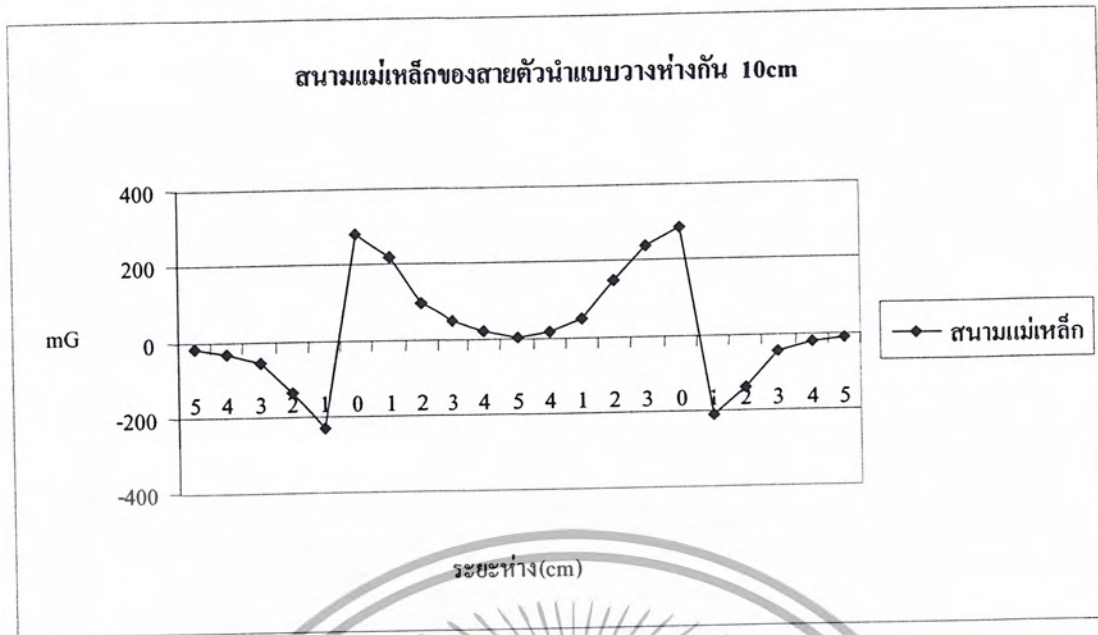
การวัดนั้นจะมีสนามแม่เหล็กกระจายออกมารอบตัวนำ ในที่นี้ให้ทิศขึ้นมีค่าเป็นบวก (ทิศอ้างอิง) และวัดค่าขณะจ่ายโหลด 2 และ 4 A

6.1.1 การกระจายของสนามแม่เหล็กขณะจ่ายโหลด 2 A มีผลดังนี้

ตารางที่ 6.1 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm

ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	18.1
4	28.7
3	54.5
2	133
1	229
บนสาย	281
1	220
2	94.7
3	48.6
4	19.5
5	2.1
4	16.4
3	50.8
2	147.7
1	238
บนสาย	285
1	209
2	140
3	44
4	22.2
5	12.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



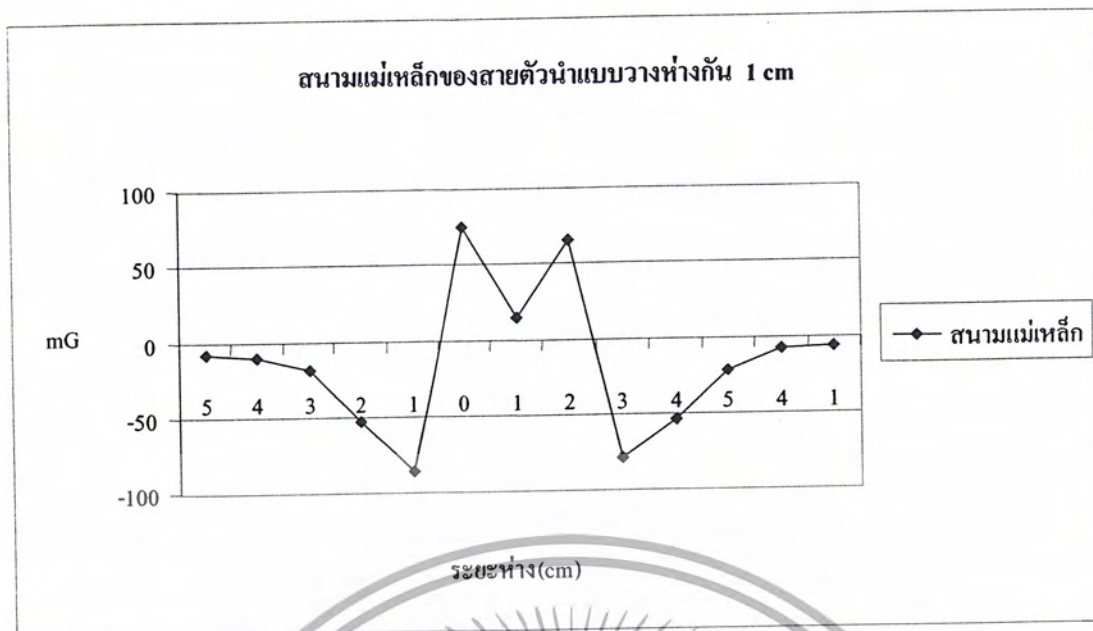
รูปที่ 6.2 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm

ตารางที่ 6.2 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm

ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	7.4
4	10.4
3	18.9
2	53.2
1	86
บนสาย	75.7
กึ่งกลางของสองสาย	15
บนสาย	65.9
1	78.9
2	54.3
3	21.7
4	8
5	6.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงห่างกัน 1 cm

ตารางที่ 6.3 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงติดกัน



ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	1.1
4	4.1
3	14.4
2	35.1
1	36.9
กึ่งกลางของสองสาย	4.1
1	39.4
2	36.2
3	19.4
4	8.9
5	5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



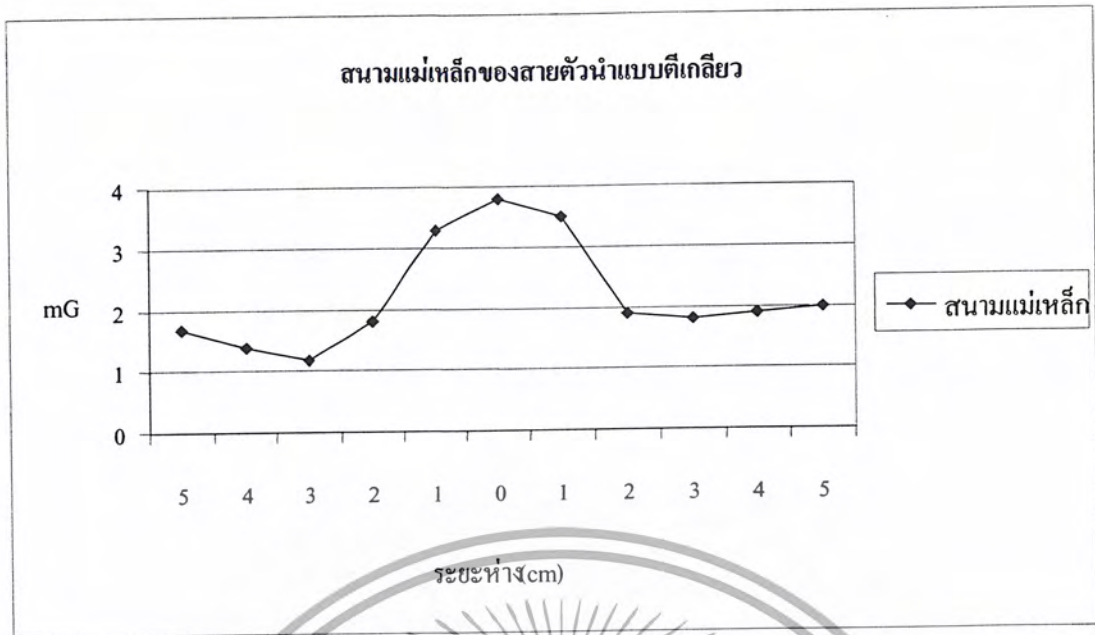
รูปที่ 6.4 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงติดกัน

ตารางที่ 6.4 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว



ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	1.7
4	1.4
3	1.2
2	1.8
1	3.3
กึ่งกลางของสองสาย	3.8
1	3.5
2	1.9
3	1.8
4	1.9
5	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว

สรุปผลการทดลองเมื่อจ่ายโวลต์ขนาด 2 A ให้กับสายตัวนำในแบบต่างๆ

- 1.) จุดกึ่งกลางของทั้ง 2 สาย จะมีค่าน้อยมาก เป็นผลเนื่องมาจากการหักล้างกันของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำที่มีการไหลของกระแสที่มีทิศตรงกันข้าม
- 2.) บนสายคือจุดที่สนใจ สังเกตได้ว่าค่าสนามแม่เหล็กบนสายของสายตัวนำแบบตีเกลียวมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 3.8 mG เมื่อเปรียบเทียบกับสายตัวนำที่เหลือ (เปรียบเทียบเฉพาะขนาดไม่รวมทิศทาง)
- 3.) เมื่อวางสายตัวนำให้เข้าใกล้กันเรื่อยๆ ค่าสนามแม่เหล็กบนสายของตัวนำนั้นจะลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน และมีค่าน้อยสุดที่กรณีสายตัวนำแบบตีเกลียว
- 4.) สายตีเกลียวไม่สามารถบอกทิศทางได้เนื่องจากมีกระแสเป็นเกลียวไปตลอดจึงมีตำแหน่งของสายสลับทึ่กันไปตลอด

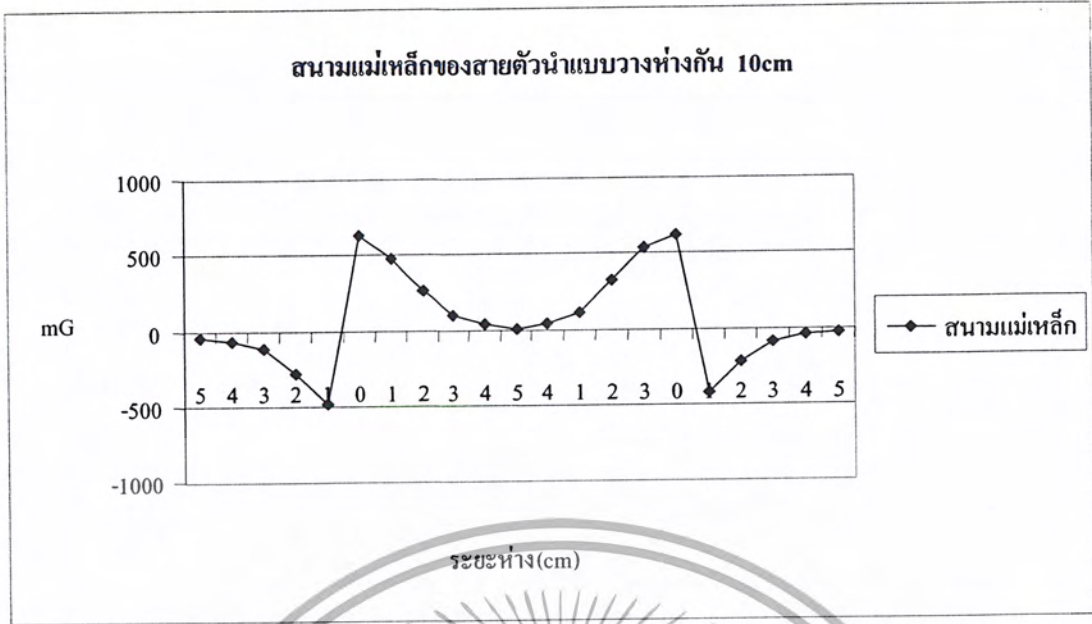
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 การกระจายของสนามแม่เหล็กขณะจ่ายโหลด 4 A มีผลดังนี้

ตารางที่ 6.5 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 10 cm

ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	39.6
4	61.9
3	108.9
2	276
1	482
บนสาย	636
1	481
2	268
3	99
4	36.4
5	3.3
4	46.4
3	115.8
2	330
1	533
บนสาย	621
1	423
2	224
3	88.7
4	46.1
5	28.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



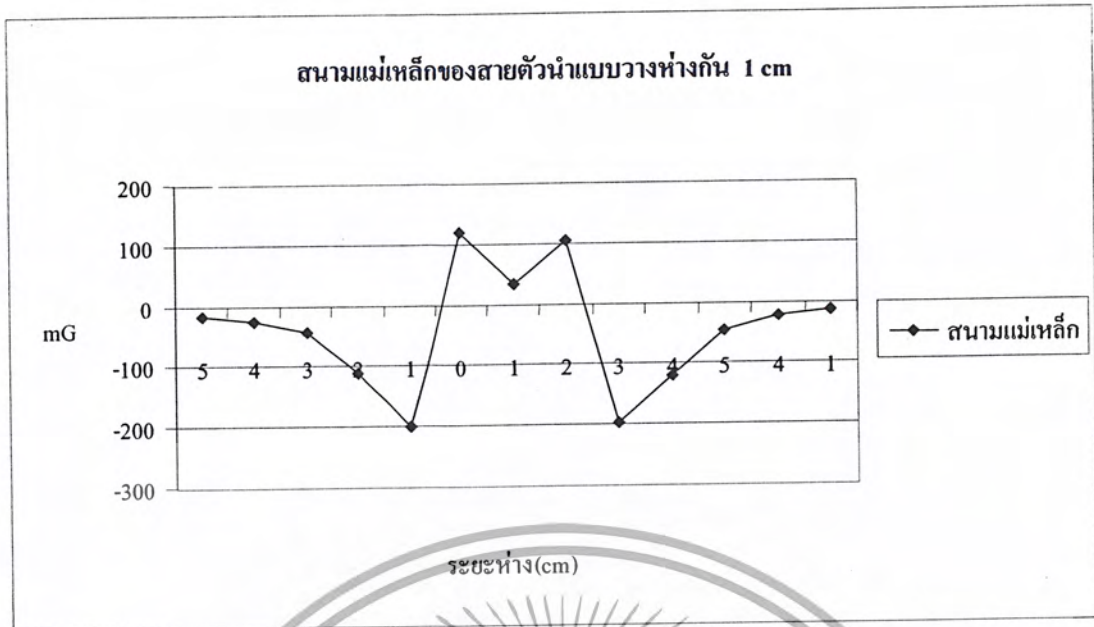
รูปที่ 6.6 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงห่างกัน 10 cm

ตารางที่ 6.6 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงห่างกัน 1 cm

ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	15.7
4	23.7
3	42.7
2	109.3
1	199.2
บนสาย	119.2
กึ่งกลาง	35.4
บนสาย	106.3
1	196.1
2	120.2
3	45.4
4	20.6
5	11.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



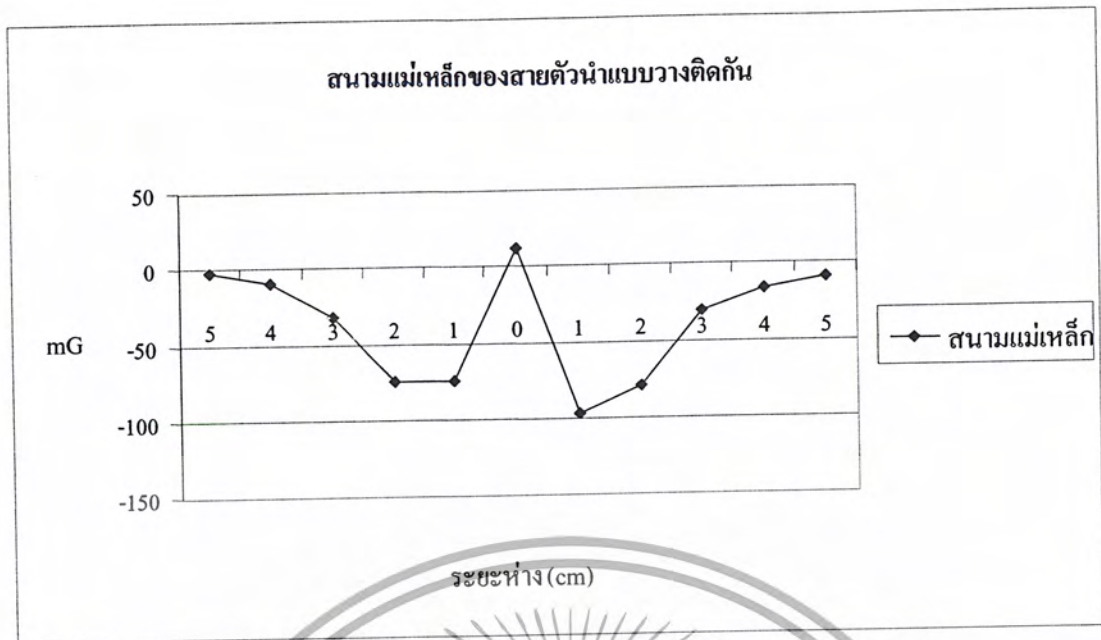
รูปที่ 6.7 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงห่างกัน 1 cm

ตารางที่ 6.7 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงติดกัน

ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	2.2
4	8.9
3	31.3
2	74
1	74.8
กึ่งกลางของสองสาย	12.7
1	96.8
2	78.8
3	29.9
4	15.7
5	9.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



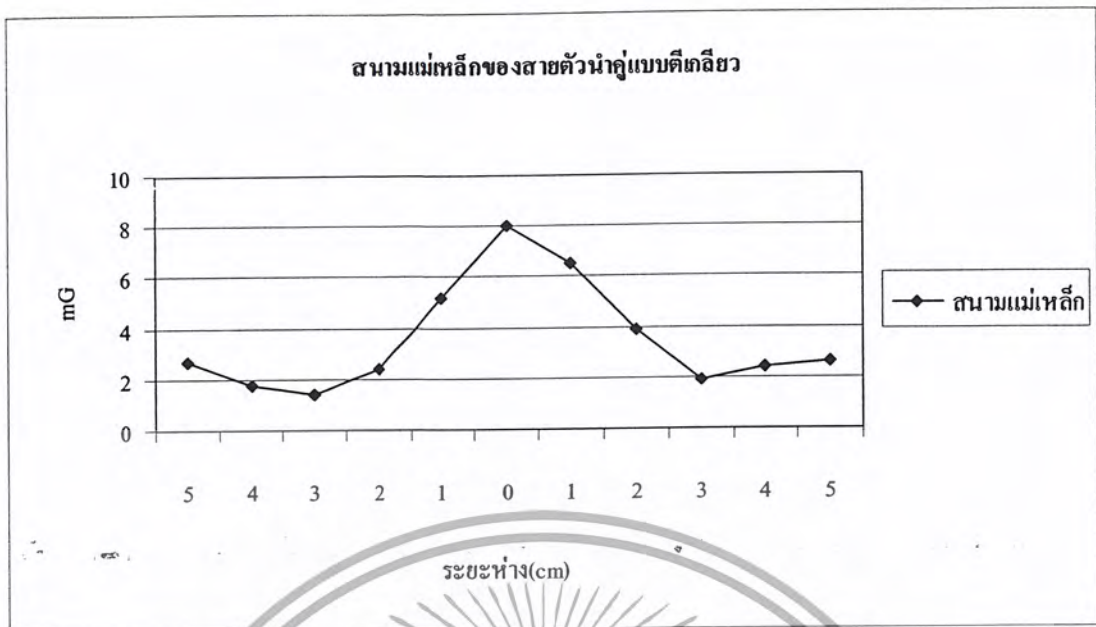
รูปที่ 6.8 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงติดกัน

ตารางที่ 6.8 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว

ระยะห่าง(cm)	สนามแม่เหล็ก (mG)
5	2.7
4	1.8
3	1.4
2	2.4
1	5.2
กึ่งกลางของสองสาย	8
1	6.5
2	3.9
3	1.9
4	2.4
5	2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 กราฟผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว

สรุปผลการทดลองเมื่อจ่ายโวลตขนาด 4 A ให้กับสายตัวนำในแบบต่างๆ

มีการกระจายสนามแม่เหล็กคล้ายคลึงกับการกระจายสนามแม่เหล็กด้วย โวลต 2 A แต่จะมีค่าสนามแม่เหล็กมากขึ้นกว่าเดิมทำให้มองเห็นการกระจายสนามแม่เหล็กได้อย่างชัดเจนกว่า

- 1.) จุดกึ่งกลางของทั้ง 2 สาย ยังคงมีค่าน้อยมาก เป็นผลเนื่องมาจากการหักล้างกันของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำที่มีการไหลของกระแสที่มีทิศตรงกันข้าม
- 2.) บนสายคือจุดที่สนใจ ค่าสนามแม่เหล็กบนสายของสายตัวนำแบบตีเกลียวมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 8 mG เมื่อเปรียบเทียบกับสายตัวนำที่เหลื่อ (เปรียบเทียบเฉพาะขนาด ไม่รวมทิศทาง)
- 3.) การวางสายตัวนำให้เข้าใกล้กันเรื่อยๆ ค่าสนามแม่เหล็กบนสายของตัวนำนั้นจะลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน และมีค่าน้อยสุดที่การเดินสายตัวนำแบบตีเกลียวเช่นกัน
- 4.) สายตีเกลียวไม่สามารถบอกทิศทางได้เนื่องจากการหมุนเป็นเกลียวไปตลอดจึงมีตำแหน่งของสายสลับที่กันไปตลอด

6.2 สรุปผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำ

การทดลองนี้สนใจค่าสนามแม่เหล็กที่อยู่บนสายตัวนำที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อเป็นแนวในการเลือกใช้แบบของการเดินสวไฟที่ส่งสัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์รอบข้างน้อยที่สุด กรณีที่ให้ผลของค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุดทั้ง 2 และ 4 A คือ การเดินสายตัวนำแบบตีเกลียว ซึ่งให้ค่าบนสายเท่ากับ 3.8 และ 8 mG ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เท่า ทำให้ค่าสนามที่กระจายออกมานั้น เพิ่มขึ้น
 ด้วยแต่การเพิ่มของสนามแม่เหล็กนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนเดียวกัน

ค่าสนามแม่เหล็กจะลดลงเมื่อนำสายตัวนำเข้าใกล้กัน และจะลดลงเรื่อยๆ จนได้ค่าสนามแม่เหล็ก
 ที่น้อยที่สุดที่ การเดินสายตัวนำแบบตีเกลียว ซึ่งเป็นแบบที่สายตัวนำมีการติดกันและหักล้างของ
 สนามแม่เหล็กกันมากที่สุด การทดลองนี้เพื่อเลือกแบบของการเดินสาย เพื่อนำไปสู่การทดลองขั้นต่อไป
 คือการทดลองการชีลด์สายตัวนำในบทที่ 7 ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

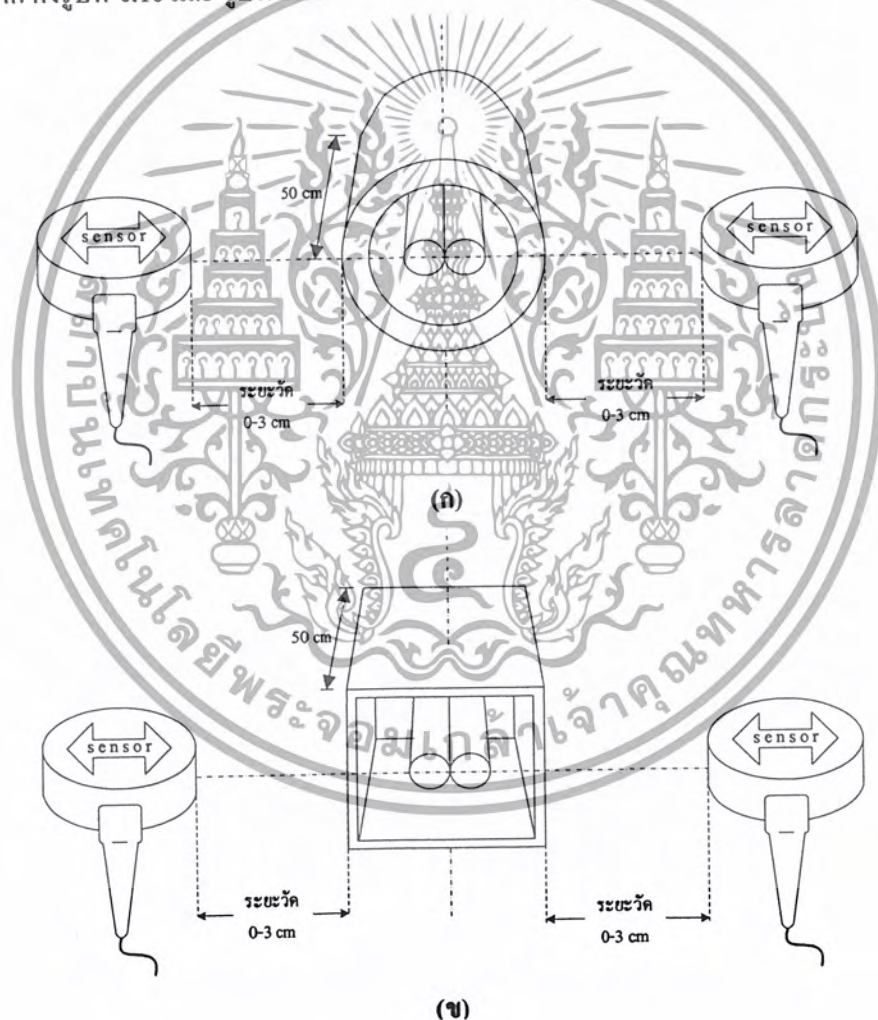
บทที่ 7

การทดลองการชีลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อ

ในบทนี้เราเลือกท่อที่มีขายทั่วไปคือท่อเหล็กและแผ่นฉลิกอนซีทสตีลมาประกบกันเป็นท่อมาวัดค่าเพื่อศึกษาผลการชีลด์ และผลของสนามแม่เหล็กที่ให้น้อยที่สุด ของทุกๆแบบของสายที่พิจารณา

7.1 การทดลองชีลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อ

ในการทดลองนี้ใช้โลหะในการชีลด์เป็นท่อ 2 แบบคือ ท่อเหล็ก และแผ่นฉลิกอนซีทสตีลมาประกบกันเป็นท่อโดยเลื่อนระยะ 0 ถึง 3 cm จากขอบท่อถึงขอบ EMF sensor เนื่องจากเห็นผลในการวัดค่อนข้างมาก ดังรูปที่ ข.10 และ รูปที่ ข.11



รูปที่ 7.1 การวางอุปกรณ์ในการทดลอง

(ก) การวางของอุปกรณ์ต่างๆในการทดลองของท่อเหล็ก

(ข) การวางของอุปกรณ์ต่างๆในการทดลองของแผ่นฉลิกอนซีทสตีลมาประกบเป็นท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

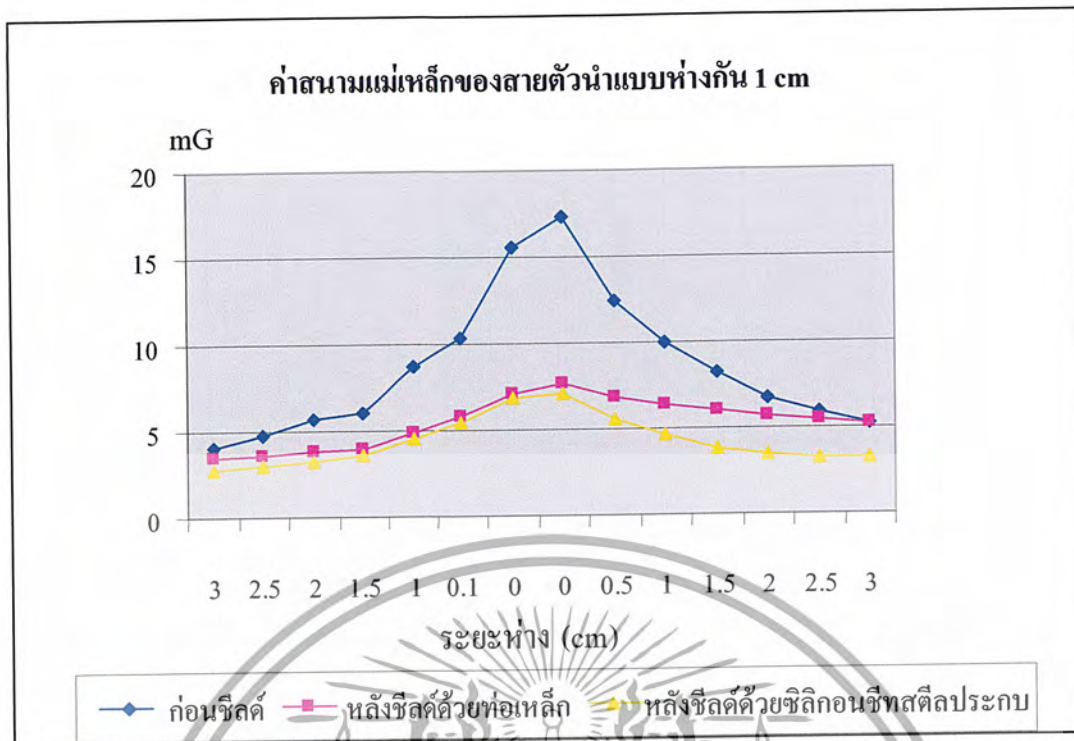
1. สายไฟที่ใช้เป็นแบบสายตัวนำเดี่ยวมีลักษณะการเดินสาย 3 แบบ
 - เดินสายแบบห่างกัน 1 cm
 - เดินสายแบบติดกัน
 - เดินสายแบบตีเกลียว
2. ท่อเหล็กขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ยาว 50 cm หนา 3 mm
3. แผ่นซิลิกอนซีทสตีลประกบเป็นท่อขนาด 1 นิ้ว ยาว 50 cm หนา 0.2 mm
4. เครื่องวัดค่าสนามแม่เหล็ก (EMF meter) รุ่น EMF-827 มี 3 range คือ 200 mG, 2,000mG, 20,000 mG สามารถใช้ใน ช่วงความถี่ 50-60 Hz
5. โหลด R ปรับค่าได้ที่ 2 และ 4 A

7.1.1 การทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กและค่าประสิทธิผลการชดเชยขณะจ่ายโหลด 2 A มีผลดังนี้

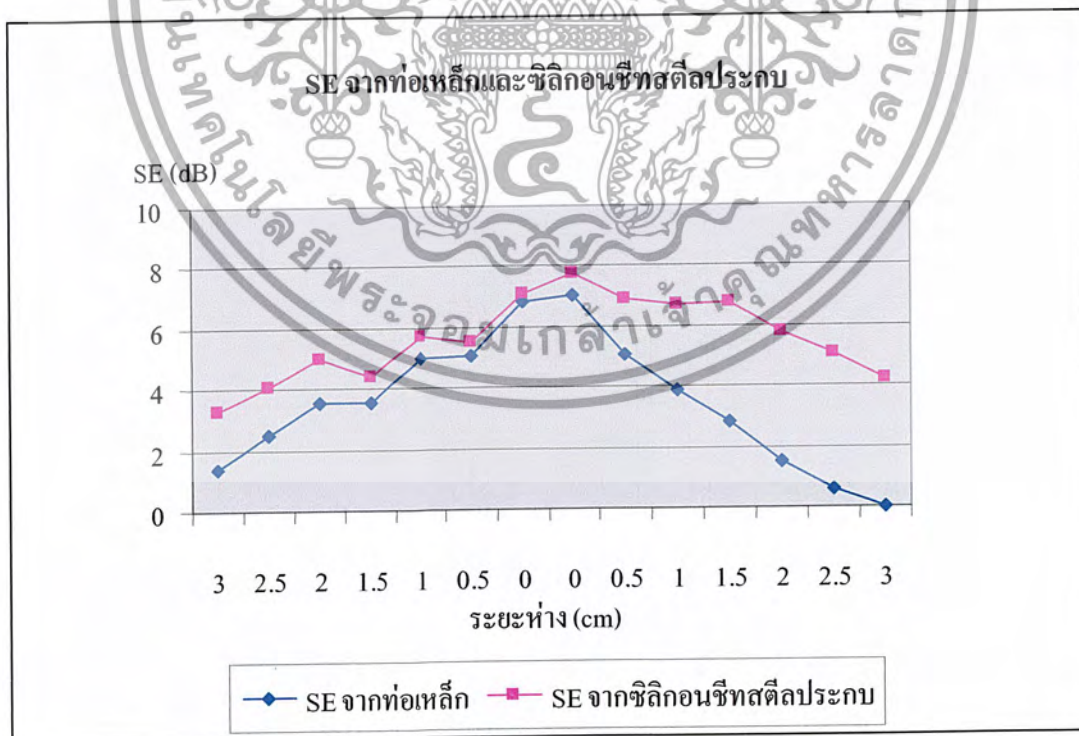
ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	หลังซีลด์ (mG)			SE (dB) ของ ท่อเหล็ก	SE (dB) ของ ซิลิกอนซีท สตีล ประกบเป็นท่อ
	ก่อนซีลด์ (mG)	ท่อเหล็ก	ซิลิกอนซีทสตีล ประกบเป็นท่อ		
3	4.1	3.5	2.8	1.37	3.31
2.5	4.8	3.6	3	2.5	4.08
2	5.7	3.8	3.2	3.52	5.01
1.5	6	4	3.6	3.52	4.44
1	8.7	4.9	4.5	4.99	5.73
0.5	10.4	5.8	5.5	5.07	5.53
0	15.6	7.1	6.9	6.83	7.09
0	17.3	7.7	7.1	7.03	7.74
0.5	12.4	6.9	5.6	5.09	6.9
1	10	6.4	4.6	3.88	6.74
1.5	8.3	6	3.8	2.82	6.79
2	6.8	5.7	3.5	1.53	5.77
2.5	5.9	5.5	3.3	0.61	5.05
3	5.2	5.2	3.2	0	4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm ก่อนเชื่อมและหลังเชื่อมในแบบต่างๆ



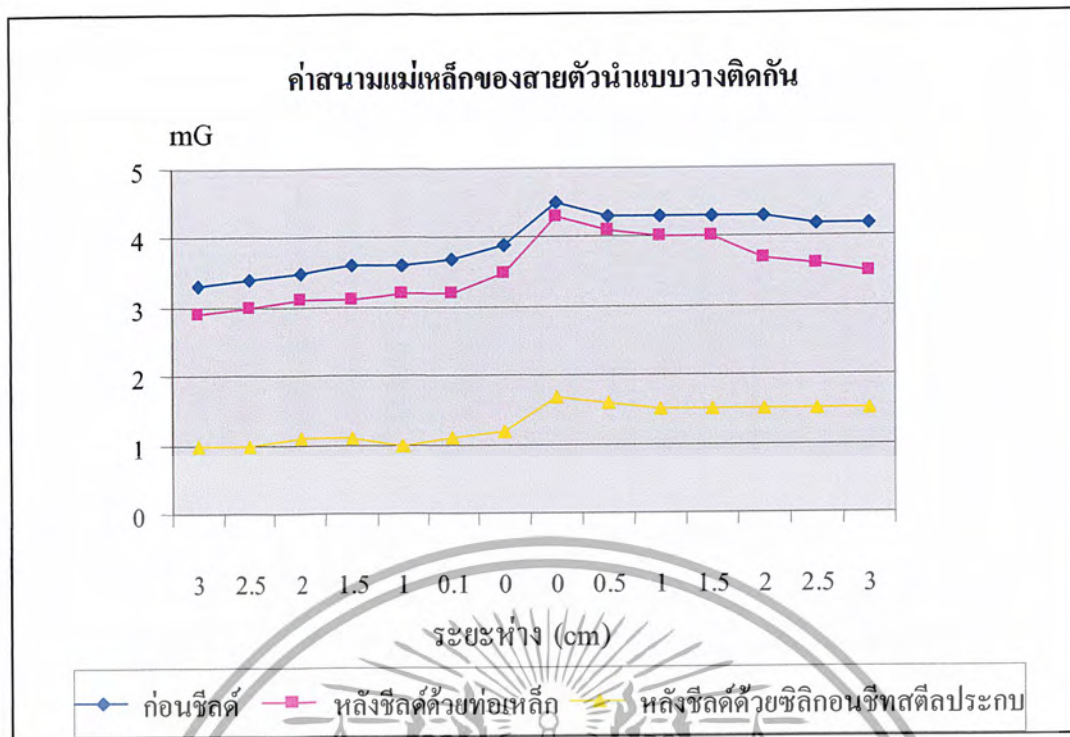
รูปที่ 7.3 ค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm จากการเชื่อมในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

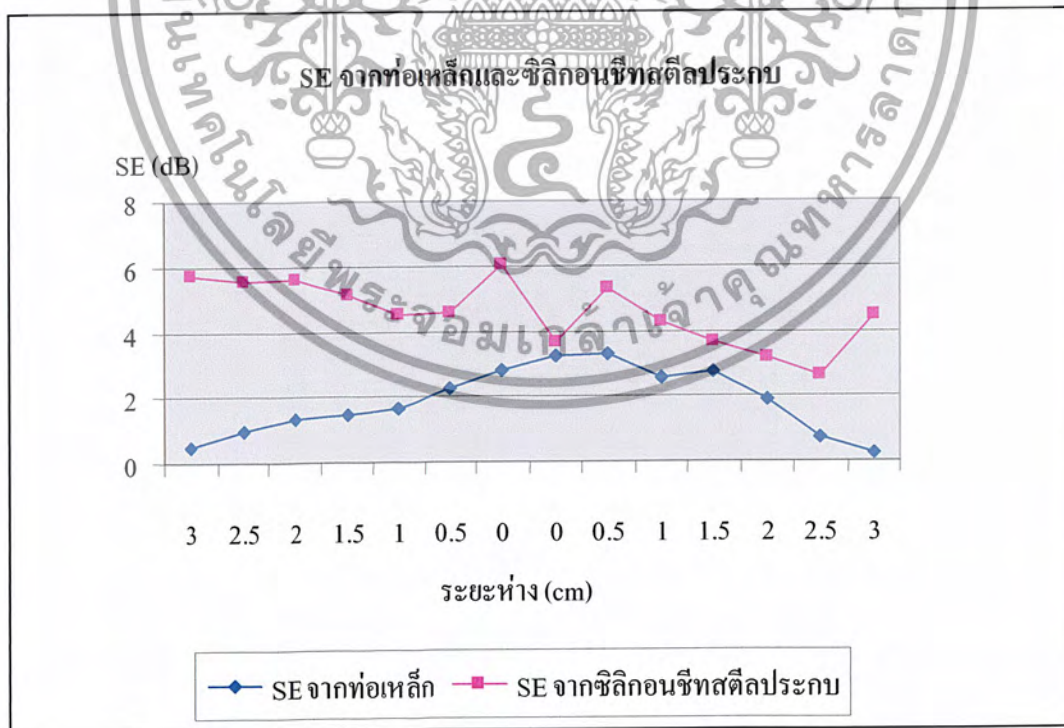
ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวงติดกัน

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)		SE (dB) ของ ท่อเหล็ก	SE (dB) ของ ซิลิกอนซีท สตีล ประกบเป็นท่อ
		ท่อเหล็ก	ซิลิกอนซีทสตีล ประกบเป็นท่อ		
3	3.5	3.3	1.8	0.51	5.75
2.5	3.8	3.4	2	0.97	5.58
2	4.2	3.6	2.2	1.34	5.62
1.5	4.5	3.8	2.5	1.47	5.11
1	4.7	3.9	2.8	1.62	4.5
0.5	5.6	4.3	3.3	2.29	4.59
0	7.6	5.5	3.8	2.81	6.02
0	8.3	5.7	4	3.26	3.64
0.5	7	4.8	3.8	3.28	5.31
1	5.9	4.4	3.6	2.55	4.29
1.5	5.2	3.8	3.4	2.72	3.69
2	4.6	3.7	3.2	1.89	3.15
2.5	3.8	3.5	2.8	0.71	2.65
3	3.5	3.4	2.1	0.25	4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงติดกัน ก่อนเชื่อม และหลังเชื่อมในแบบต่างๆ



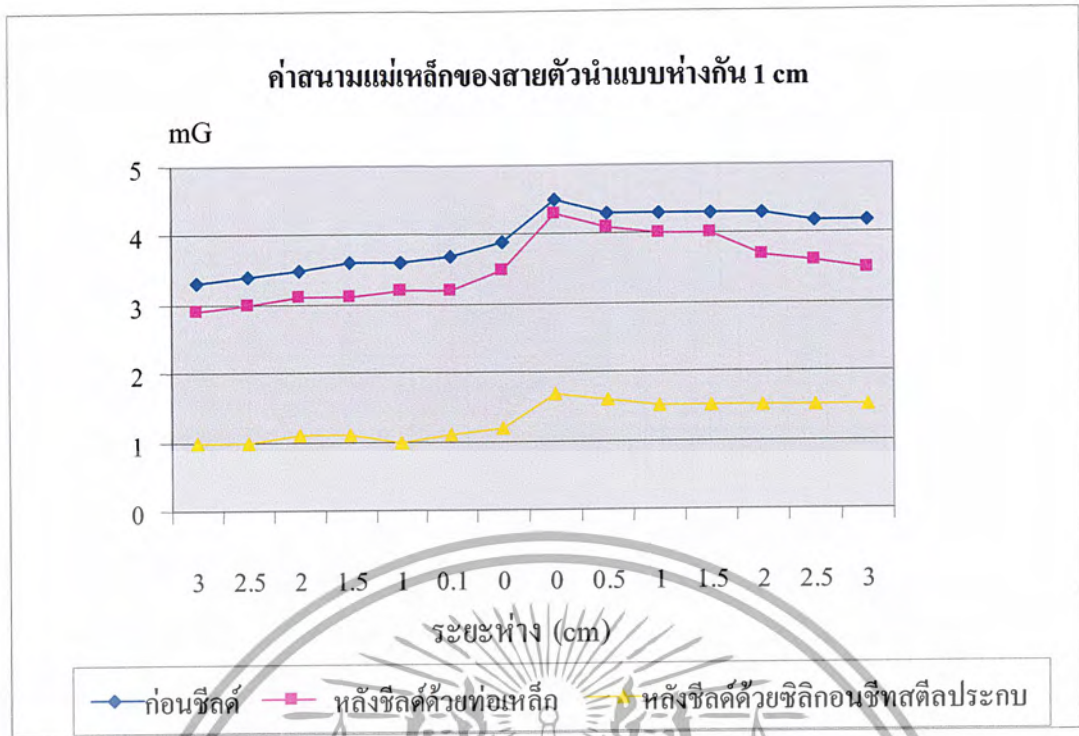
รูปที่ 7.5 ค่า SE ของสายตัวนำแบบวงติดกัน จากการเชื่อมในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

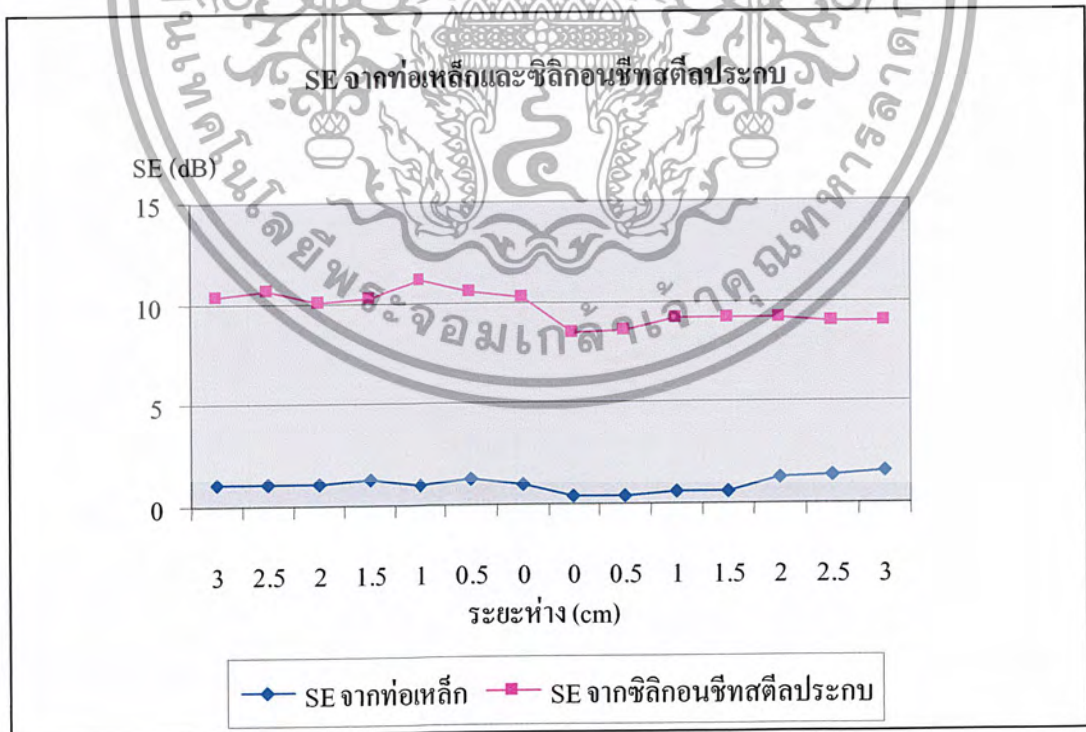
ตารางที่ 7.3 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียว

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)		SE (dB) ของ ท่อเหล็ก	SE (dB) ของ ซิลิกอนซีท สตีล ประกบเป็นท่อ
		ท่อเหล็ก	ซิลิกอนซีทสตีล ประกบเป็นท่อ		
3	3.3	2.9	1	1.12	10.37
2.5	3.4	3	1	1.09	10.63
2	3.5	3.1	1.1	1.05	10.05
1.5	3.6	3.1	1.1	1.3	10.3
1	3.6	3.2	1	1.02	11.13
0.5	3.7	3.2	1.1	1.26	10.54
0	3.9	3.5	1.2	0.94	10.24
0	4.5	4.3	1.7	0.39	8.46
0.5	4.3	4.1	1.6	0.41	8.59
1	4.3	4	1.5	0.63	9.15
1.5	4.3	4	1.5	0.63	9.15
2	4.3	3.7	1.5	1.3	9.15
2.5	4.2	3.6	1.5	1.34	8.94
3	4.2	3.5	1.5	1.58	8.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว ก่อนเชื่อม และหลังเชื่อมในแบบต่างๆ



รูปที่ 7.7 ค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียวจากการเชื่อมในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองการชิลด์สายตัวนำโดยใช้ท่อขณะจ่ายโหลด 2 A

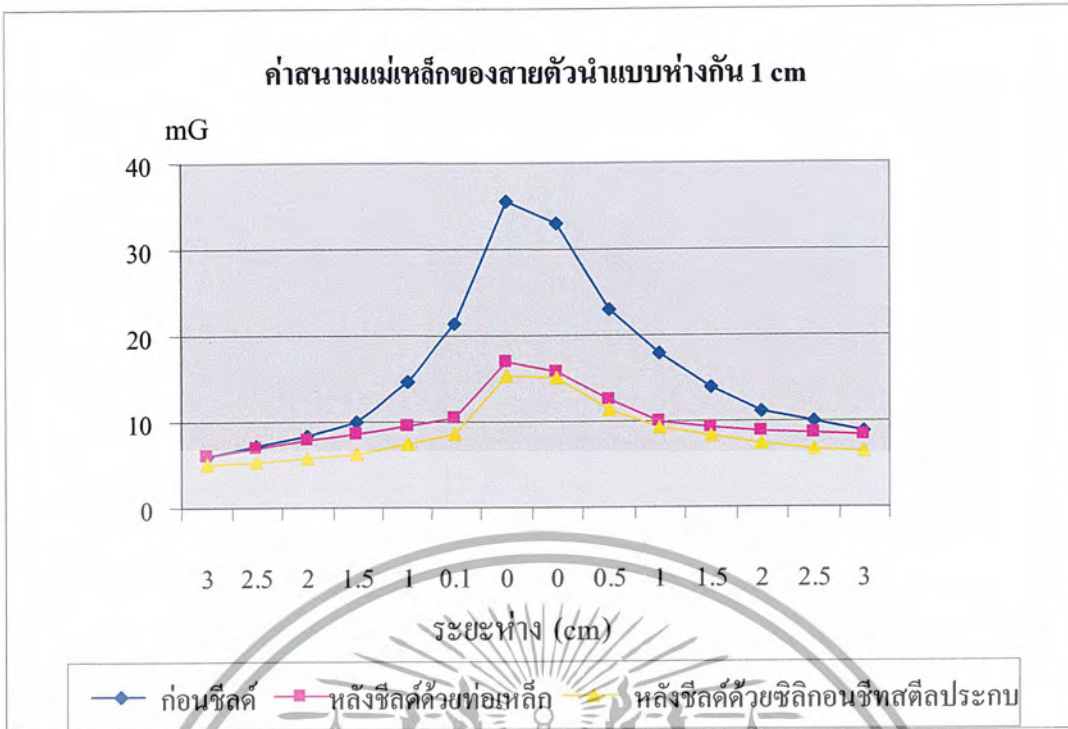
- 1.) ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียวที่ผ่านการชิลด์ด้วยแผ่นซิลิกอนซีทสตีลมาประกบกันนั้นจะมีค่าสนามแม่เหล็กต่ำสุดในทุกระยะการวัด
- 2.) ค่าสนามแม่เหล็กเมื่อผ่านการชิลด์ด้วยแผ่นซิลิกอนซีทสตีลมาประกบกันจะมีค่าน้อยกว่า ค่าสนามแม่เหล็กที่ชิลด์ด้วยท่อเหล็กแม้ว่าจะมีความหนาน้อยกว่าก็ตาม ส่งผลให้ค่า SE ของแผ่นซิลิกอนซีทสตีลที่มาประกบกันนั้นมีค่าสูงกว่าท่อเหล็กในทุกๆแบบของการเดินสาย

7.1.2 การทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กและค่าประสิทธิผลการชิลด์ขณะจ่ายโหลด 4 A มีผลดังนี้

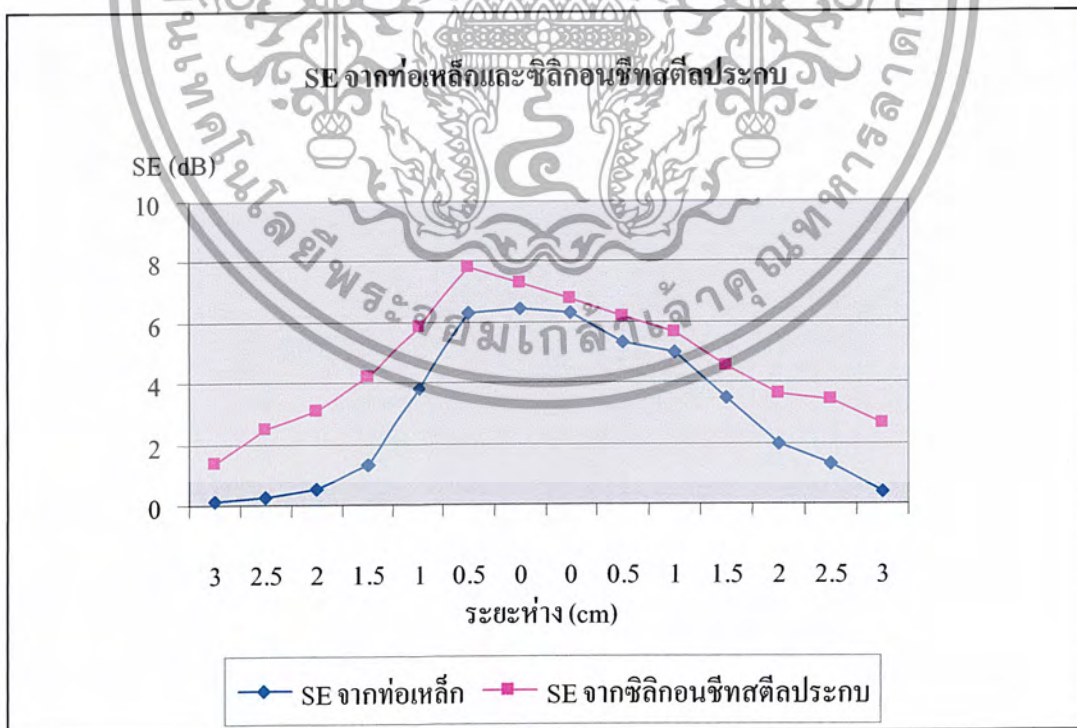
ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm

ระยะห่าง (cm)	ก่อนชิลด์ (mG)	หลังชิลด์ (mG)		SE (dB) ของ	
		ท่อเหล็ก	ซิลิกอนซีทสตีล ประกบเป็นท่อ	ท่อเหล็ก	ซิลิกอนซีท สตีล ประกบเป็นท่อ
3	6.1	6	5.2	0.14	1.39
2.5	7.2	7	5.4	0.24	2.5
2	8.3	7.8	5.8	0.54	3.11
1.5	10.1	8.7	6.2	1.3	4.24
1	14.7	9.5	7.5	3.79	5.85
0.5	21.5	10.4	8.7	6.31	7.86
0	35.6	17	15.4	6.42	7.28
0	33	15.9	15.1	6.34	6.79
0.5	23.1	12.5	11.3	5.33	6.21
1	17.8	10	9.3	5.01	5.64
1.5	14	9.4	8.3	3.46	4.54
2	11.2	8.9	7.4	2	3.6
2.5	10.1	8.7	6.8	1.3	3.44
3	8.8	8.4	6.5	0.4	2.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm ก่อนเชื่อม และหลังเชื่อมในแบบต่างๆ



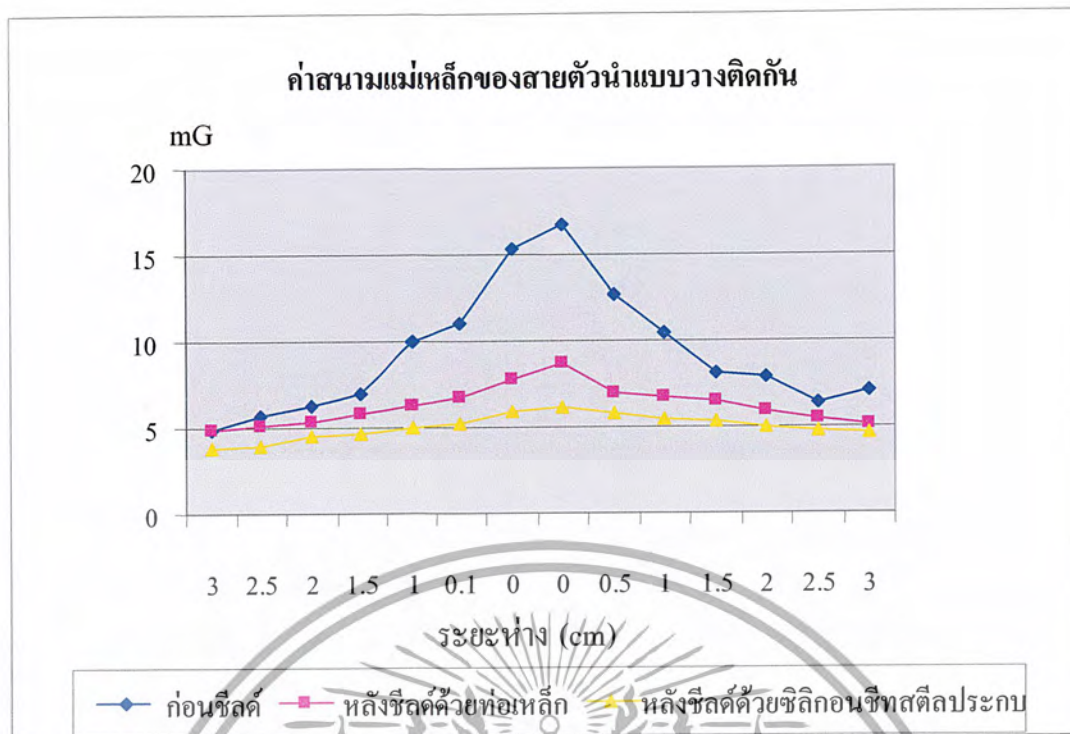
รูปที่ 7.9 ค่า SE ของสายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm จากการเชื่อมในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

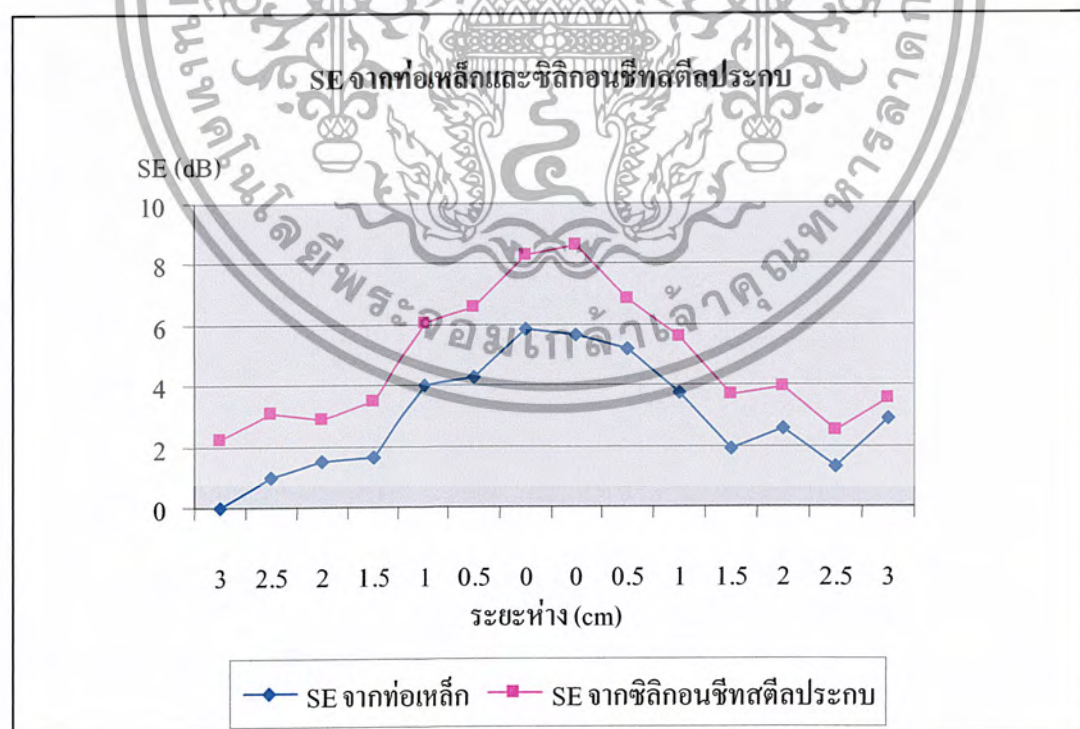
ตารางที่ 7.5 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบวางติดกัน

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)		SE (dB) ของ ท่อเหล็ก	SE (dB) ของ ซีลด์ ซีลด์ ซีลด์ ประกบเป็นท่อ
		ท่อเหล็ก	ซีลด์ ประกบเป็นท่อ		
3	4.9	4.9	3.8	0	2.21
2.5	5.7	5.1	4	0.97	3.08
2	6.3	5.3	4.5	1.5	2.92
1.5	7	5.8	4.7	1.63	3.46
1	10	6.3	5	4.01	6.02
0.5	11.1	6.8	5.2	4.26	6.59
0	15.3	7.8	5.9	5.85	8.28
0	16.7	8.7	6.2	5.66	8.61
0.5	12.7	7	5.8	5.17	6.81
1	10.5	6.8	5.5	3.77	5.62
1.5	8.1	6.5	5.3	1.91	3.68
2	7.9	5.9	5	2.54	3.97
2.5	6.4	5.5	4.8	1.32	2.5
3	7.1	5.1	4.7	2.87	3.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบวงติดกัน ก่อนชิลด์ และหลังชิลด์ในแบบต่างๆ



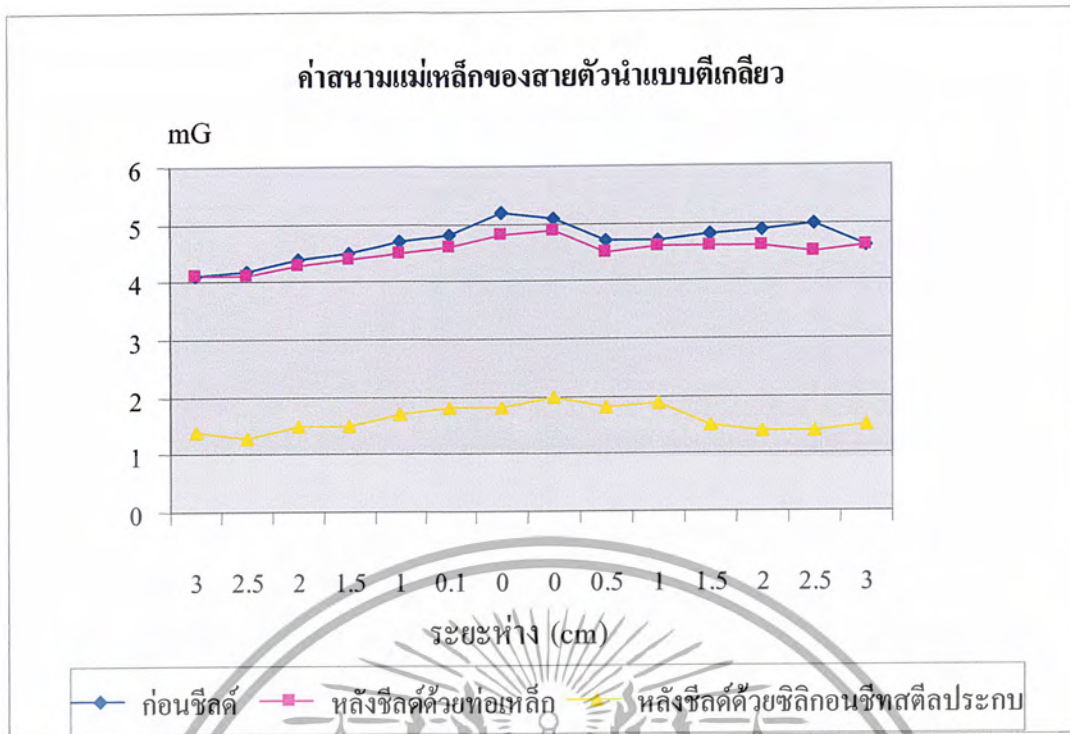
รูปที่ 7.11 ค่า SE ของสายตัวนำแบบวงติดกัน จากการชิลด์ในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

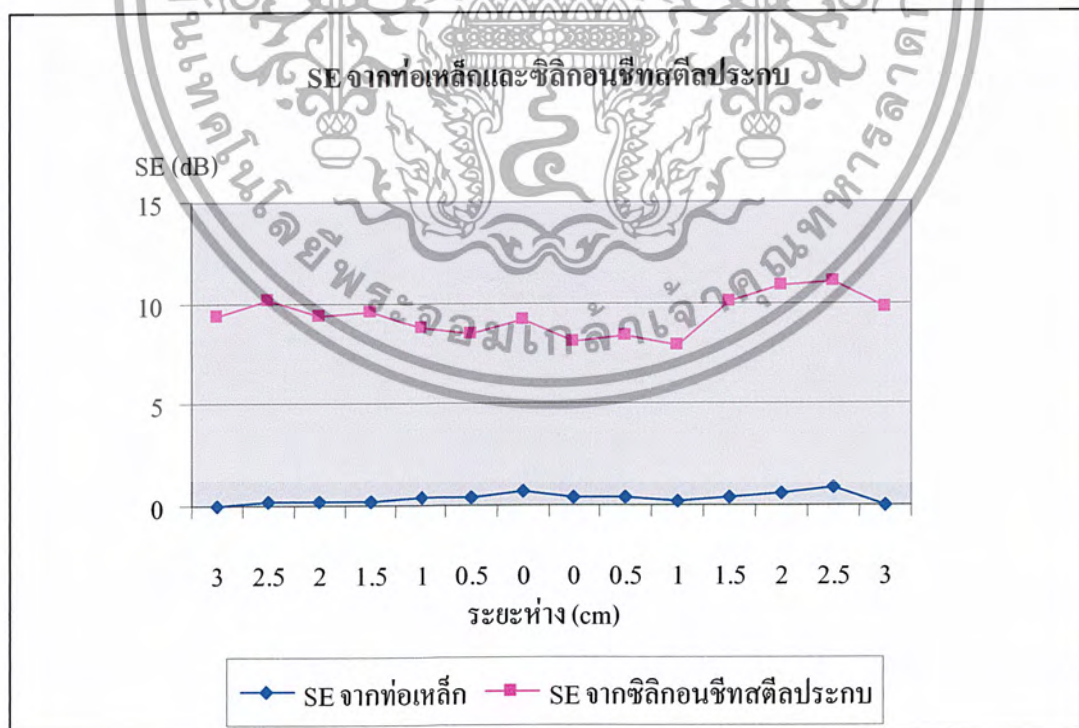
ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองและค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียว

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)		SE (dB) ของ ท่อเหล็ก	SE (dB) ของ ซิลิกอนซีท สตีล ประกบเป็นท่อ
		ท่อเหล็ก	ซิลิกอนซีทสตีล ประกบเป็นท่อ		
3	4.1	4.1	1.4	0	9.33
2.5	4.2	4.1	1.3	0.21	10.19
2	4.4	4.3	1.5	0.2	9.35
1.5	4.5	4.4	1.5	0.2	9.54
1	4.7	4.5	1.7	0.38	8.83
0.5	4.8	4.6	1.8	0.37	8.52
0	5.2	4.8	1.8	0.7	9.21
0	5.1	4.9	2	0.35	8.13
0.5	4.7	4.5	1.8	0.38	8.34
1	4.7	4.6	1.9	0.19	7.87
1.5	4.8	4.6	1.5	0.37	10.1
2	4.9	4.6	1.4	0.55	10.88
2.5	5	4.5	1.4	0.92	11.06
3	4.6	4.6	1.5	0	9.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.12 ค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบตีเกลียว ก่อนซีลด์ และหลังซีลด์ในแบบต่างๆ



รูปที่ 7.13 ค่า SE ของสายตัวนำแบบตีเกลียวจากการซีลด์ในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

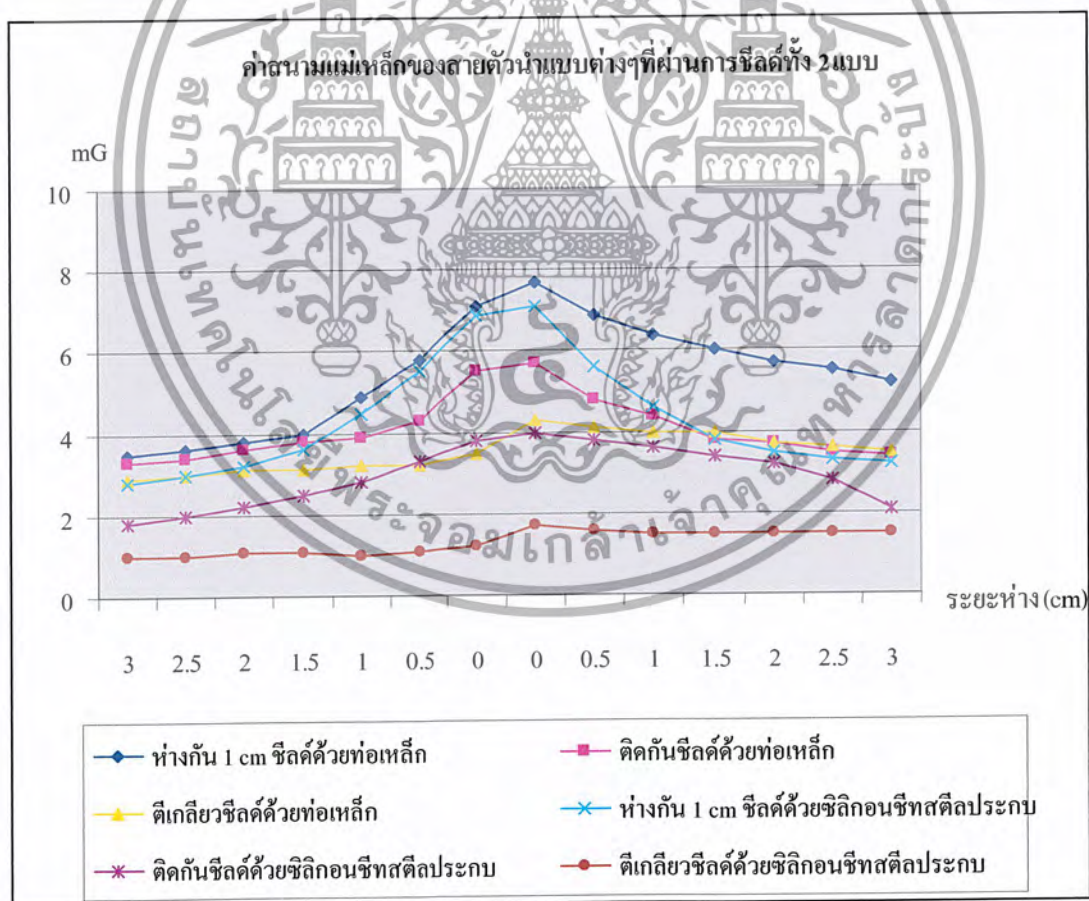
สรุปผลการทดลองการชี้วัดสายตัวนำโดยใช้ท่อขณะจ่ายโหลด 4 A

ในส่วนการทดลองด้วยกระแส 4 A จะทำให้เห็นความแตกต่างมากขึ้นเนื่องจากค่าสนามแม่เหล็ก รอบสายตัวนำทุกแบบมีค่าสูงตามไปด้วย แต่ยังคงมีแนวโน้มของค่าสนามแม่เหล็กและค่า SE เหมือนกับการทดลองด้วยกระแส 2 A คือ

- 1.) ค่าสนามแม่เหล็กที่ผ่านการชี้วัดด้วยซิลิกอนชิทสตีลมาประกบกัน ในแบบการเดินสายตัวนำแบบตีเกลียวยังคงมีค่าต่ำที่สุดในทุกกระแส
- 2.) ค่า SE ของซิลิกอนชิทสตีลมาประกบกันนั้นมีค่ามากกว่า ค่า SE ของท่อเหล็กในทุกๆแบบของสายตัวนำ แม้ความหนาของแผ่นซิลิกอนชิทสตีลจะน้อยกว่าก็ตาม

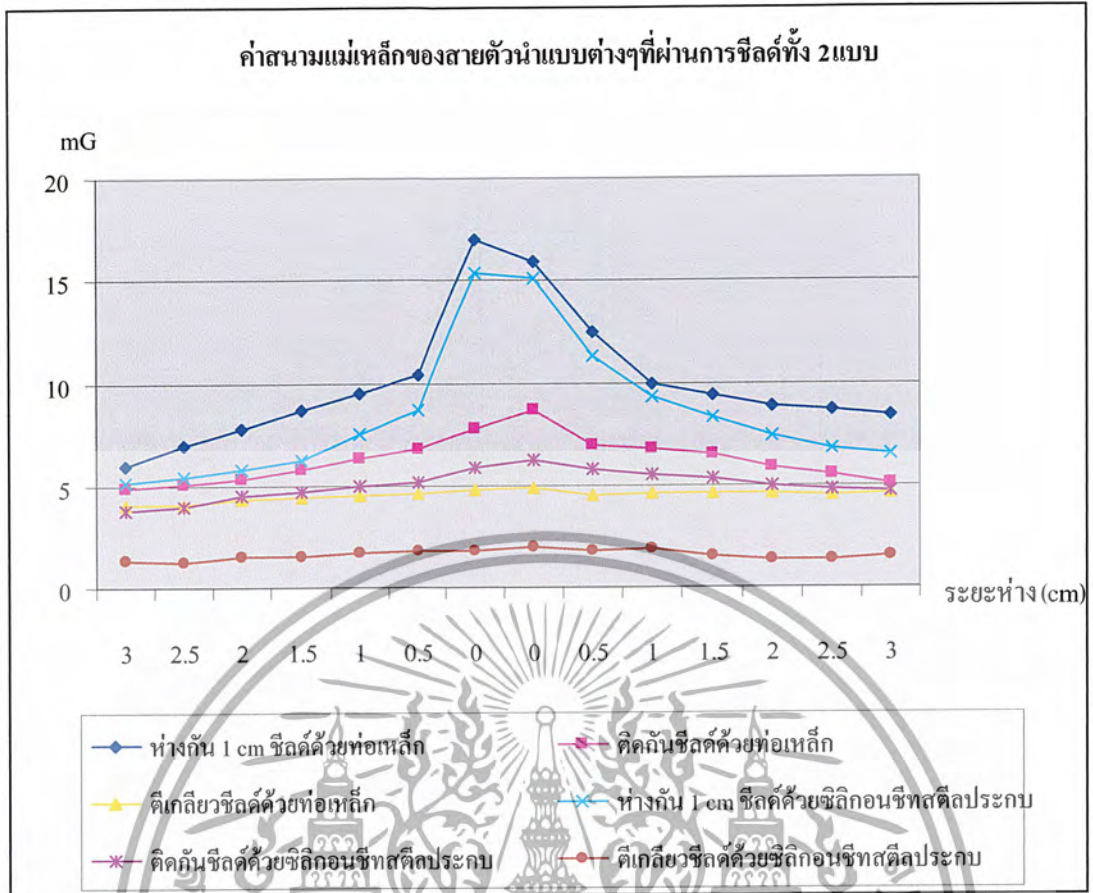
7.2 สรุปผลการทดลองการชี้วัดสายตัวนำโดยใช้ท่อ

ในการนำไปใช้งานจริง สนใจค่าสนามแม่เหล็กที่ต่ำที่สุดเพราะฉะนั้น จากกราฟที่แล้วมาการใช้ซิลิกอนชิทสตีลมาทำเป็นท่อนั้นให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยกว่าใช้ท่อเหล็กในทุกแบบการเดินสาย และแบบที่ให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุดคือ การเดินสายแบบตีเกลียวที่ใช้ซิลิกอนชิทสตีลมาประกบเป็นท่อเป็นตัวชี้วัด สามารถสังเกตผลค่าสนามแม่เหล็กได้จากกราฟในรูปที่ 7.14 และ 7.15



รูปที่ 7.14 กราฟค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบต่างๆที่ชี้วัดด้วยท่อเหล็กและซิลิกอนชิทสตีลประกบ ขณะจ่ายโหลด 2 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.15 กราฟค่าสนามแม่เหล็กของสายตัวนำแบบต่างๆที่ชิลด์ด้วยท่อเหล็กและฉนวนชิลด์สตีลประกบ ขณะจ่ายโหลด 4 A

ในส่วนของค่า SE นั้นการชิลด์สายตัวนำแบบตีเกลียวด้วยฉนวนชิลด์สตีลมาประกบกันนั้นยังให้ค่า SE มากที่สุด เท่ากับ 11.13 และ 11.06 ด้วยกระแส 2 และ 4 A ตามลำดับ

บทที่ 8

สรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการจำลองระบบโดย MATLAB

จากผลการจำลองระบบโดย MATLAB จากบทที่ 3 ถ้าเป็นโลหะที่ต่างชนิดกันจะให้ผลในการลดทอนค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้แตกต่างออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการดูดกลืน (Absorption) และการสะท้อน (Reflection) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของโลหะแต่ละชนิด ซึ่งความแตกต่างนั้นแตกต่างกันออกไปเนื่องจากตัวแปร ความหนา (thickness), ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r) และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (σ_r) จากจำลองระบบโดย MATLAB มีผลสรุปที่น่าพอใจคือ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการชิลด์เพื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ

1. ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์
จากกราฟของซิลิกอนซีทิสต์, เหล็ก, สแตนเลสสตีล ค่าประสิทธิภาพการชิลด์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่แสดงให้เห็นว่า ความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ยิ่งสูงประสิทธิภาพการชิลด์จะดีขึ้น
2. ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์
จากกราฟของ Brass (ทองเหลือง) และทองแดง ค่าประสิทธิภาพการชิลด์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสรุปได้ว่าค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ยิ่งสูง ประสิทธิภาพการชิลด์จะดีขึ้นด้วย

สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นโลหะจากการจำลองระบบโดย MATLAB

การเลือกโลหะเพื่อทำการชิลด์สนามแม่เหล็กตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการชิลด์คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก, สภาพการนำไฟฟ้า, ความหนาของแผ่นโลหะ จากการจำลองระบบโดย MATLAB โดยให้ความหนาเท่ากันทุกชนิดโลหะ ทำให้ได้รู้ว่าการเลือกโลหะเพื่อทำการชิลด์ควรเลือกโลหะที่มีความซึมซาบแม่เหล็ก, สภาพการนำไฟฟ้าสูง, เพราะทำให้ค่าประสิทธิภาพการชิลด์สูง ส่งผลให้มีความสามารถในการลดผลจากสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น ซึ่งจากการจำลองระบบโดย MATLAB ในโครงการนี้ เพื่อคู่ค่าประสิทธิภาพการชิลด์ที่มากที่สุดจึงได้ โลหะซิลิกอนซีทิสต์มา

ข้อเสนอแนะจากการจำลองระบบโดย MATLAB

การจำลองระบบโดย MATLAB เป็นเพียงสมมุติฐานเบื้องต้นจึงควรทำการทดลองจริงก่อนการ

เลือกใช้แผ่นโลหะในการออกแบบและสร้างต้นแบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 สรุปผลการซึลด์โดยใช้แผ่นโลหะ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาในแต่ละกรณีไม่ว่าจะเป็นการซึลด์ 1 แผ่น หรือ 2 แผ่น ถ้าโลหะนั้นต่างชนิดกันจะให้ผลค่าประสิทธิภาพการซึลด์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 เรื่องการจำลองระบบโดย MATLAB จึงนำมาสู่การทดลองจริง ที่ได้ผลการทดลองเปรียบเทียบเป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 8.1 การซึลด์โดยใช้แผ่นโลหะขณะจ่ายโหลด 0.5 A

ชนิดโลหะ	วิธีการวาง	1 แผ่น	1 แผ่น	2 แผ่น	2 แผ่น	2 แผ่น
		แนว grain	แนว grain	แนว grain	แนว grain	แนว grain
		ตั้ง	นอน	ตั้งทั้งคู่	นอนทั้งคู่	ตั้งและนอน
1. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบธรรมดา		****	**	*****	**	*****
2. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm		****	**	*****	**	*****
3. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบก้ออิฐ		****	**	****	***	*****
4. เหล็ก		**	**	**	**	**
5. สังกะสี		*	*	*	*	*

ตารางที่ 8.2 การซึลด์โดยใช้แผ่นโลหะขณะจ่ายโหลด 1 A

ชนิดโลหะ	วิธีการวาง	1 แผ่น	1 แผ่น	2 แผ่น	2 แผ่น	2 แผ่น
		แนว grain	แนว grain	แนว grain	แนว grain	แนว grain
		ตั้ง	นอน	ตั้งทั้งคู่	นอนทั้งคู่	ตั้งและนอน
1. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบธรรมดา		***	**	****	**	*****
2. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm		****	**	****	**	*****
3. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบก้ออิฐ		****	**	*****	***	*****
4. เหล็ก		*	**	**	**	**
5. สังกะสี		*	*	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 การชิลด์โดยใช้แผ่นโลหะขณะจ่ายโหลด 2 A

ชนิดโลหะ	วิธีการวาง	1 แผ่น	1 แผ่น	2 แผ่น	2 แผ่น	2 แผ่น
		แนว grain ตั้ง	แนว grain นอน	แนว grain ตั้งทั้งคู่	แนว grain นอนทั้งคู่	แนว grain ตั้งและ นอน
1. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบธรรมดา		****	**	*****	**	****
2. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบเหลื่อมกัน 1 cm		****	**	*****	**	****
3. ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบก่อกออิฐ		****	**	****	***	****
4. เหล็ก		**	**	**	**	**
5. สังกะสี		*	**	*	***	*

ประสิทธิภาพการชิลด์ (SE)

*	คือช่วง SE 0 – 7 dB	****	คือช่วง SE 21 – 28 dB
**	คือช่วง SE 7 – 14 dB	*****	คือช่วง SE 28 – 35 dB
***	คือช่วง SE 14 – 21 dB	*****	คือช่วง SE >35 dB ขึ้นไป

8.3 สรุปผลการชิลด์โดยใช้กล่องชิลด์

จากการทดลองนำโลหะที่ให้ผลในการชิลด์ที่ดีมาทำเป็นกล่องครอบหม้อแปลงเพื่อลดผลของสนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงความถี่ต่ำที่ผ่านมาจากอากาศทำให้จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ผิดปกติไป ซึ่งเราได้เลือกซิลิกอนซีทสตีลทั้ง 3 แบบมาทำการชิลด์ด้วยกระแสโหลด 2 A ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจทำเป็นตารางเปรียบเทียบได้ดังนี้

8.4 สรุปการกระจายของสนามแม่เหล็กจากสายตัวนำ

การทดลองนี้เป็นการทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กกับสายตัวนำทั้ง 4 แบบว่าสายตัวนำแบบไหนจะให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด เมื่อทำการทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็ก โดยมุ่งเน้นการวัดบนสายตัวนำของแต่ละแบบ จึงได้กรณีของสายตัวนำแบบตีเกลียวที่มีค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุด

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเราเลื่อนสายเข้าใกล้กับค่าสนามแม่เหล็กจะลดลง เพราะฉะนั้นสายที่มีสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมารอบตัวน้อยที่สุด คือสายที่อยู่ชิดติดกันมากที่สุด ซึ่งได้แก่สายตัวนำแบบตีเกลียว

8.5 สรุปการชี้วัดสายตัวนำโดยใช้ท่อ

จากการทดลองนี้การใช้ขลิคอนรีทสตีลมาทำท่อนั้นให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยกว่าใช้ท่อเหล็กในทุกแบบการเดินสาย (ค่า SE จากขลิคอนรีทสตีลมาทำท่อนั้นมากกว่าค่า SE จากท่อเหล็ก) และแบบที่ให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยที่สุดคือ การเดินสายแบบตีเกลียวที่ใช้ขลิคอนรีทสตีลมาประกบเป็นท่อเป็นตัวชี้วัด ซึ่งการทดลองนี้ได้สรุปค่า SE เพื่อการเปรียบเทียบให้เข้าใจง่าย ดังตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 การชี้วัดโดยใช้ท่อเหล็กและขลิคอนรีทสตีลประกบเป็นท่อของสายแบบต่างๆ ในขณะจ่าย โหลด 2 A

ชนิดของตัวชี้วัด	ท่อเหล็ก	ขลิคอนรีทสตีล
แบบของสาย		ประกบกันเป็นท่อ
1. วางห่างกัน 1 cm	****	****
2. วางติดกัน	**	****
3. ตีเกลียว	*	*****

ตารางที่ 8.6 การชี้วัดโดยใช้ท่อเหล็กและขลิคอนรีทสตีลประกบเป็นท่อของสายแบบต่างๆ ในขณะจ่าย โหลด 4 A

ชนิดของตัวชี้วัด	ท่อเหล็ก	ขลิคอนรีทสตีล
แบบของสาย		ประกบกันเป็นท่อ
1. วางห่างกัน 1 cm	****	****
2. วางติดกัน	***	*****
3. ตีเกลียว	*	*****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิผลการชิลด์ (SE)

*	คือช่วง SE 0–2 dB	****	คือช่วง SE 6–8 dB
**	คือช่วง SE 2–4 dB	*****	คือช่วง SE 8–10 dB
***	คือช่วง SE 4–6 dB	*****	คือช่วง SE >10 dB ขึ้นไป

8.6 สรุปโครงการ

โครงการนี้เกิดขึ้นจากปัญหาที่ว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ และสายข้อยื่นนั้น ได้ส่งผลกระทบต่อจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ในที่ทำงานที่อยู่ใกล้เคียงโดยผ่านทางอากาศ ทำให้จอมอนิเตอร์ทำงานผิดปกติ จึงได้มีการออกแบบจำลอง เพื่อลดทอนผลของสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่า “การชิลด์” จากการออกแบบและการทดลองจริง สรุปได้ว่าสามารถลดทอนผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลงความถี่ต่ำและสายข้อยื่นได้จริง โดยใช้แผ่นโลหะที่มีความสามารถในการลดทอนผลของสนามแม่เหล็กได้ดี ซึ่งเราได้ใช้ซิลิกอนชิลด์ทั้ง 3 แบบนี้มาทำกล่องครอบที่หม้อแปลงเพื่อกั้นทางเดินของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหม้อแปลง ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้อย่างปกติ (ไม่เกิน 10 mG)

การเลือกโลหะเพื่อมาทำการชิลด์สนามแม่เหล็กนั้นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลการชิลด์คือ ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r), ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (σ_r), ความหนาของแผ่นโลหะ (t) โดยการเลือกโลหะทำการชิลด์ควรเลือกโลหะที่มีค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์, ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์, ความหนาของแผ่นโลหะ สูง แต่ในการเลือกโลหะที่ความหนามากนั้นจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก และเป็น การเพิ่มน้ำหนักของตัวกล่องชิลด์ให้หนักขึ้น ส่วนลักษณะของกล่องชิลด์ที่เหมาะสมคือ กล่องชิลด์ที่ ครอบหม้อแปลง ที่มีการเปิดด้านหลัง เพราะเมื่อทำการชิลด์ด้านหน้าหม้อแปลงซึ่งเป็นด้านที่สนใจเพราะ เป็นด้านที่เรวางจอมอนิเตอร์ จะได้ผลของค่าประสิทธิผลการชิลด์สูงสุด มีผลดีคือผลการชิลด์ดีกว่าปิดทุก ด้านเพราะไม่มีสนามแม่เหล็กที่สะท้อนมาจากแผ่นด้านหลัง

จากตารางที่ 8.4 ในบทนี้ จะเห็นว่าเมื่อใช้ซิลิกอนชิลด์ที่ต่อแบบก่อกอจึงจะให้ผลการชิลด์ที่ดีที่สุดแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายกับโลหะมากกว่าการต่อแบบธรรมดาถึง 2 เท่า ซึ่งไม่คุ้มกับการสูญเสียของวัสดุ ฉะนั้นถ้าต้องการเพิ่มค่าประสิทธิผลการชิลด์อย่างคุ้มค่าควรเลือก ซิลิกอนชิลด์ที่ต่อแบบธรรมดา ที่เปิด 1 ด้าน (เปิดด้านหลัง) นอกจากจะเพิ่มผลการชิลด์แล้วยังประหยัดกว่าการต่อแบบก่อกอเป็นเท่าตัว ซึ่งสามารถตรวจสอบผลจากตารางที่ 8.7

การเลือกสายตัวนำเลือกการเดินสายแบบตีเกลียวเพราะมีค่าสนามแม่เหล็กรอบสายตัวนำน้อยที่สุด เพราะเป็นการเดินสายที่ชิดกันมากที่สุด จึงเกิดการหักล้างของสนามแม่เหล็กตามกฎการหมุนสกรูมีอ ขวามากที่สุด

ในส่วนการเลือกโลหะที่ใช้ในการชิลด์สายตัวนำนั้นใช้การเลือกโดยพิจารณาตัวแปรสำคัญแบบ เดียวกับการชิลด์หม้อแปลงไฟฟ้าคือ ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r), ค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (σ_r), ความหนาของแผ่นโลหะ (t) ในที่นี้จึงได้ซิลิกอนชิลด์ประกบกันเป็นท่อ ซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสายตัวนำ แบบตีเกลียวจะทำให้ค่าสนามแม่เหล็กรอบสายตัวนำมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกๆแบบของสายและการ ชิลด์ด้วยท่อเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.7 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

- 1.) วัสดุที่นำมาใช้ในการชั่งมีข้อจำกัดทั้งด้านชนิดและปริมาณ เนื่องจากวัสดุบางชนิดมีราคาแพง จึงจำเป็นต้องมีการต่อของแผ่น โลหะ
- 2.) ในการจัดหาและซื้อโลหะที่จะนำมาทดลองนั้น ด้วยความจำกัดนั้นจะได้โลหะที่มีความหนาต่างกัน ซึ่งจะมีผลในการชั่ง
- 3.) ในระหว่างที่ทำการทดลองจะเกิดช่องอากาศ (gap) ขึ้นระหว่างแผ่นโลหะเมื่อนำแผ่นโลหะไปซ้อนกัน สามารถแก้ไขโดยใช้เทปกาวพันด้านข้างแผ่นโลหะให้แน่นขึ้นแต่ก็ช่วยได้ไม่มากนัก
- 4.) ในการทดลองแต่ละครั้งการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้าและสายตัวนำ จะมีผลต่อการทดลองมาก เพราะสนามแม่เหล็กแปรผกผันกับระยะทางกำลังสาม ดังนั้นถ้าวางหม้อแปลงไฟฟ้าหรือสายตัวนำผิดไปจากเดิม เพียงเล็กน้อย ค่าสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนไปมาก
- 5.) ในการทดลองแต่ละครั้ง จะทำให้สภาวะต่างๆเปลี่ยนไป เช่น ระยะแกป, ระยะทางต่างๆค่าของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนไปซึ่งแก้ไข โดยการทดลองหลายๆครั้งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ย

8.8 ข้อเสนอแนะ

การเลือกแผ่นโลหะควรเลือกแผ่นโลหะที่มีประสิทธิภาพการชั่งที่ดีที่สุด แต่ต้องคำนึงต้นทุน (วัสดุที่ใช้ไป cm^2) ว่าคุ้มหรือไม่ ในโครงการนี้จึงทำตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชั่งกับการใช้โลหะ (ซิลิกอนชิลด์สตีล) ในการทำกล่องที่พิจารณา เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกแบบการต่อ และการเลือกการประกอบโลหะเพื่อให้คุ้มค่าที่สุดโดยที่ ให้ข้อมูลต่างๆเทียบกับข้อมูลอ้างอิง (ข้อมูลของซิลิกอนชิลด์สตีลต่อแบบธรรมดาทุกด้าย) สามารถดูได้จากตาราง 8.6

โดยที่

$$\%SE \text{ เทียบกับ } SE \text{ อ้างอิง} = \frac{SE \text{ ที่ดีที่สุดของการวัดด้าน } A \times 100}{SE \text{ ที่ดีที่สุดของการวัดด้าน } A \text{ อ้างอิง (7.23)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการชั่งเมื่อเทียบกับ } \text{cm}^2 \text{ ที่ใช้ไป} = \frac{\%SE \text{ เทียบกับ } SE \text{ อ้างอิง} \times 100}{\% \text{cm}^2 \text{ ที่ใช้เมื่อเทียบกับ } \text{cm}^2 \text{ อ้างอิง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการซึบเมื่อเปลี่ยนชนิดและลักษณะการประกอบ

ชนิดของโลหะ	ลักษณะของการประกอบ	%cm ² ที่ใช้เทียบ กับ cm ² อ้างอิง	SE ที่ดีที่สุด ของการวัด ด้าน A (dB)	%SE เทียบกับ SE อ้างอิง	%eff การซึบเทียบ กับ cm ² ที่ใช้ไป
ซิลิกอนซีทสตีล ต่อแบบธรรมดา	ปิดหมดทุกด้าน	100	7.23	100	100
	เปิด 1 ด้าน	83.33	11.46	158.51	190.22
	เปิด 2 ด้าน	66.67	5.66	78.28	117.41
	เปิด 3 ด้าน	50	3.97	54.91	109.82
ซิลิกอนซีทสตีล ต่อแบบเหลื่อม 1 cm	ปิดหมดทุกด้าน	106.67	8.17	113	105.93
	เปิด 1 ด้าน	88.89	11.74	162.38	182.68
	เปิด 2 ด้าน	71.11	5.35	74	104.06
	เปิด 3 ด้าน	53.33	4.16	57.54	107.89
ซิลิกอนซีทสตีล ต่อแบบก่อกออิฐ	ปิดหมดทุกด้าน	200	8.81	121.85	60.93
	เปิด 1 ด้าน	166.67	12.2	168.74	101.24
	เปิด 2 ด้าน	133.33	1.98	27.39	20.54
	เปิด 3 ด้าน	100	5.28	73.03	73.03

หมายเหตุ ให้ซิลิกอนซีทสตีลต่อแบบธรรมดาลักษณะปิดหมดทุกด้านเป็นตัวอ้างอิง
จากข้อมูลถ้าทำการต่อให้เหลื่อมน้อยกว่า 1 cm (เหลื่อม 10%) อาจทำให้ได้ผลการซึบที่มี
ประสิทธิภาพดีที่สุดก็เป็นได้ ซึ่งอาจเป็นกรณีที่จะศึกษาต่อไป
ส่วนในการเลือกโลหะ ในการซึบในโครงการนี้ มีข้อเสนอแนะที่ควรหาโลหะมา
เปรียบเทียบให้หลากหลายกว่านี้ และควบคุมตัวแปรอย่างความหนา และลักษณะรูปทรงของโลหะซึบ
เพื่อให้การเปรียบเทียบค่า SE มีความแน่นอนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] กอบชัย เดชหาญ, *การลดทอนสัญญาณรบกวนในระบบอิเล็กทรอนิกส์*, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] Donald R. J. White, *Electromagnetic Shielding Materials and Performance*. 2nd Edition. DWCI Published. 1980, pp. 1.1-1.39, 2.2
- [3] Jerry English, <http://www.ce-mag.com/archive/02/07/English.html>.
- [4] Jeffrey S. Wells, http://nuwaves-ltd.com/pdfshielding_Effectiveness.pdf
- [5] รศ. ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล, *Electrical Engineering Materials*, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2545, หน้า 22-24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ผลการทดลองในกรณีอื่นๆ ของการฉีดด้วยแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของสแตนเลสตีลขณะจ่ายโหลด

1 A

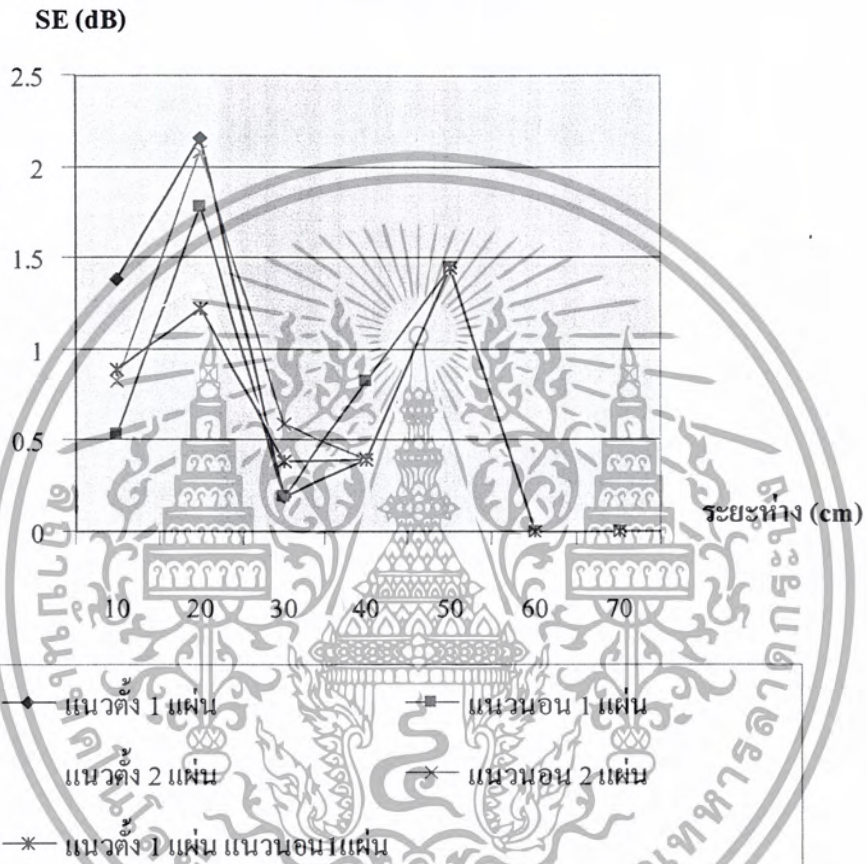
ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	106.5	90.8	100	94	96.8	96.1
20	14.5	11.3	11.8	12.4	11.4	12.6
30	4.5	4.4	4.4	4.3	4.2	4.3
40	2.2	2.1	2	2.1	2.1	2.1
50	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
60	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
70	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

ตารางที่ ก.2 แสดงค่า SE ของสแตนเลสตีลขณะจ่ายโหลด 1A

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	1.38	0.54	1.08	0.83	0.89
20	2.16	1.78	1.36	2.08	1.22
30	0.19	0.19	0.39	0.59	0.39
40	0.4	0.83	0.4	0.4	0.4
50	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
60	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stainless steel



รูปที่ ก.1 กราฟผลการทดลองของแผ่นสแตนเลสตีลขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 2 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งก่อนซีลด์และหลังซีลด์ของสแตนเลสตีลขณะจ่ายโหลด

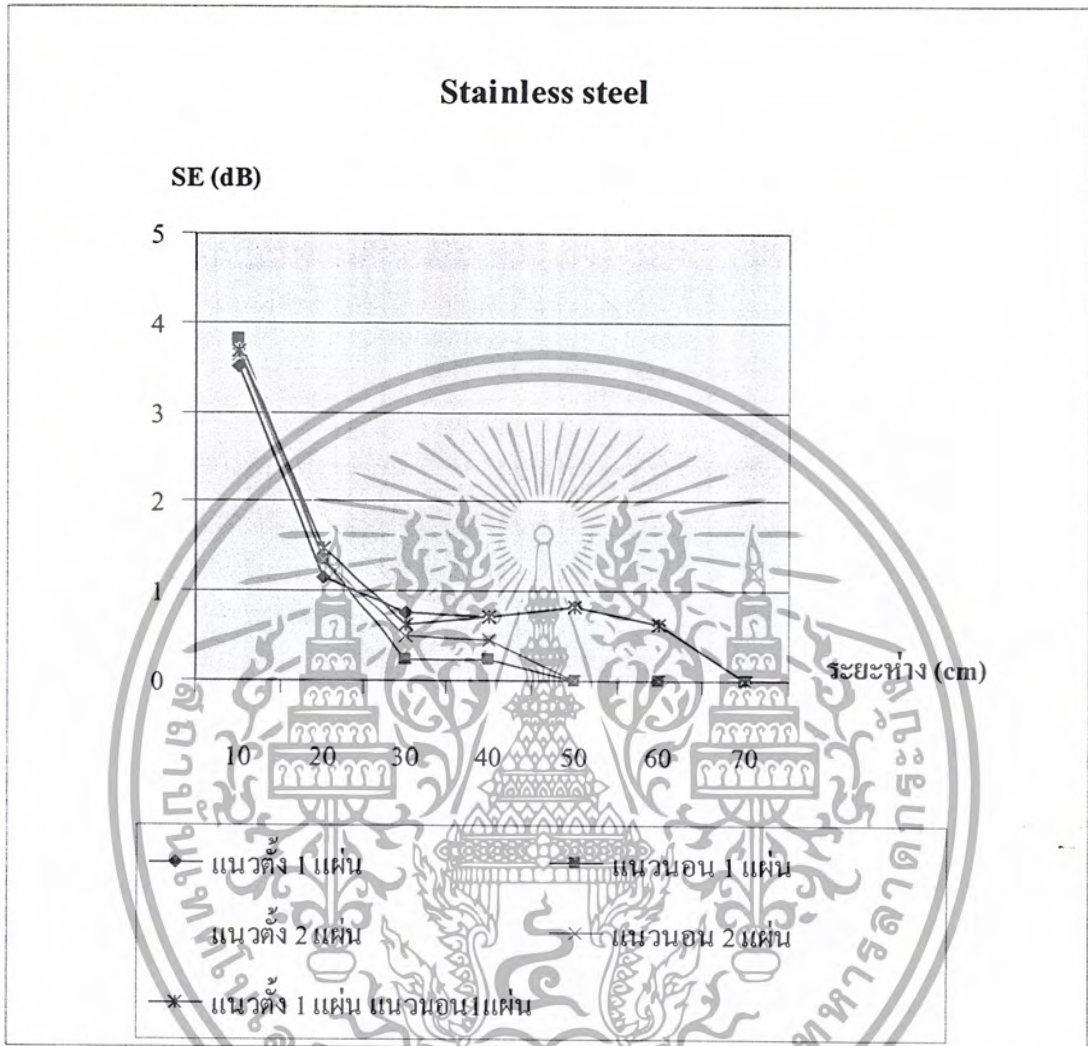
2 A

ระยะห่าง (cm)	ก่อนซีลด์ (mG)	หลังซีลด์ (mG)				
		1 แผ่น		2 แผ่น		
			—		=	—
10	95.2	63.5	61.3	62	62.5	62.2
20	15.2	13.3	13	12.4	13	12.8
30	7	6.4	6.8	6.3	6.6	6.5
40	3.8	3.5	3.7	3.5	3.6	3.5
50	2.2	2	2.2	2	2.2	2.2
60	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3
70	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

ตารางที่ ก.4 แสดงค่า SE ของสแตนเลสตีลขณะจ่ายโหลด 2 A

ระยะห่าง (cm)	1 แผ่น		2 แผ่น		
		—		=	—
10	3.51	3.82	3.72	3.65	3.7
20	1.16	1.35	1.76	1.35	1.49
30	0.77	0.25	0.91	0.51	0.64
40	0.71	0.23	0.71	0.46	0.71
50	0.82	0	0.82	0	0.82
60	0.64	0	0.64	0	0.64
70	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

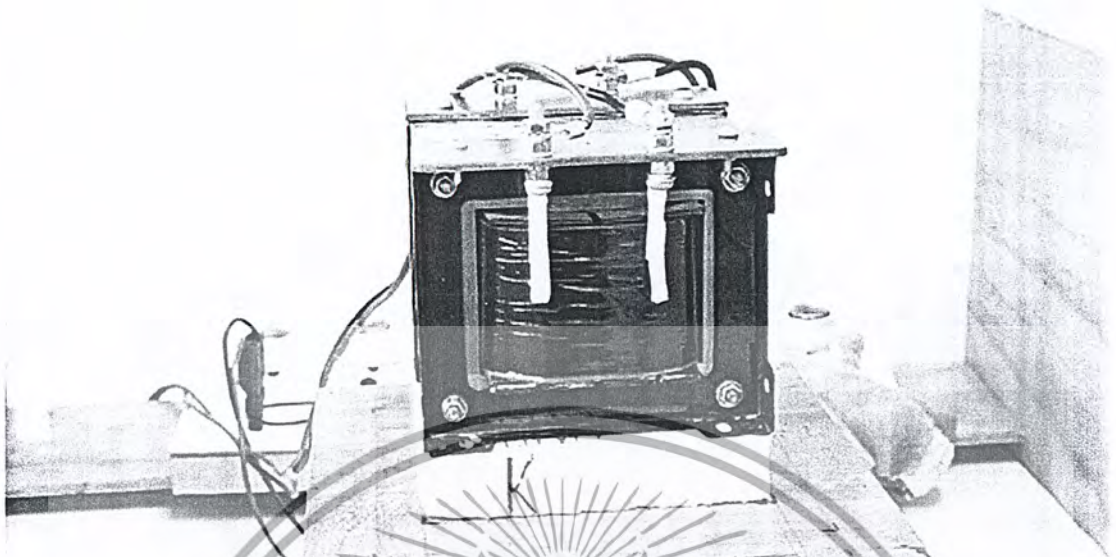


รูปที่ ก.2 กราฟผลการทดลองของแผ่นสแตนเลสตีลขณะหม้อแปลงจ่ายโหลด 2 A

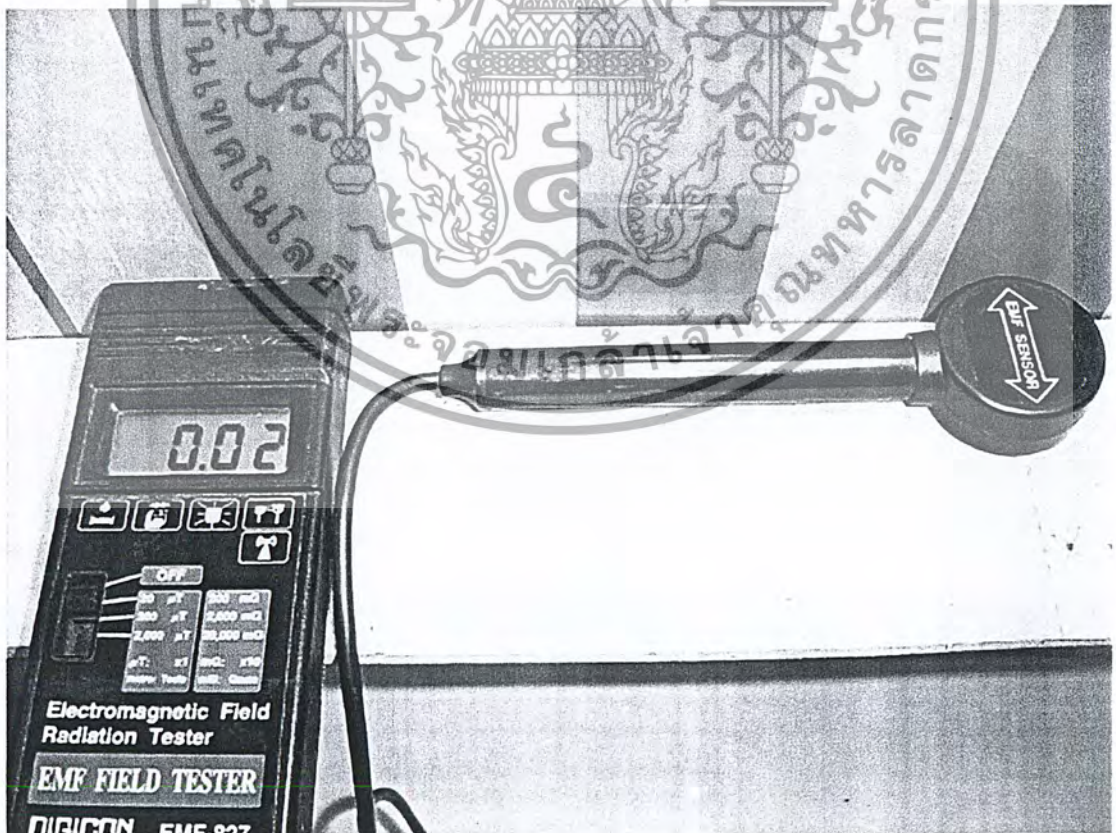
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

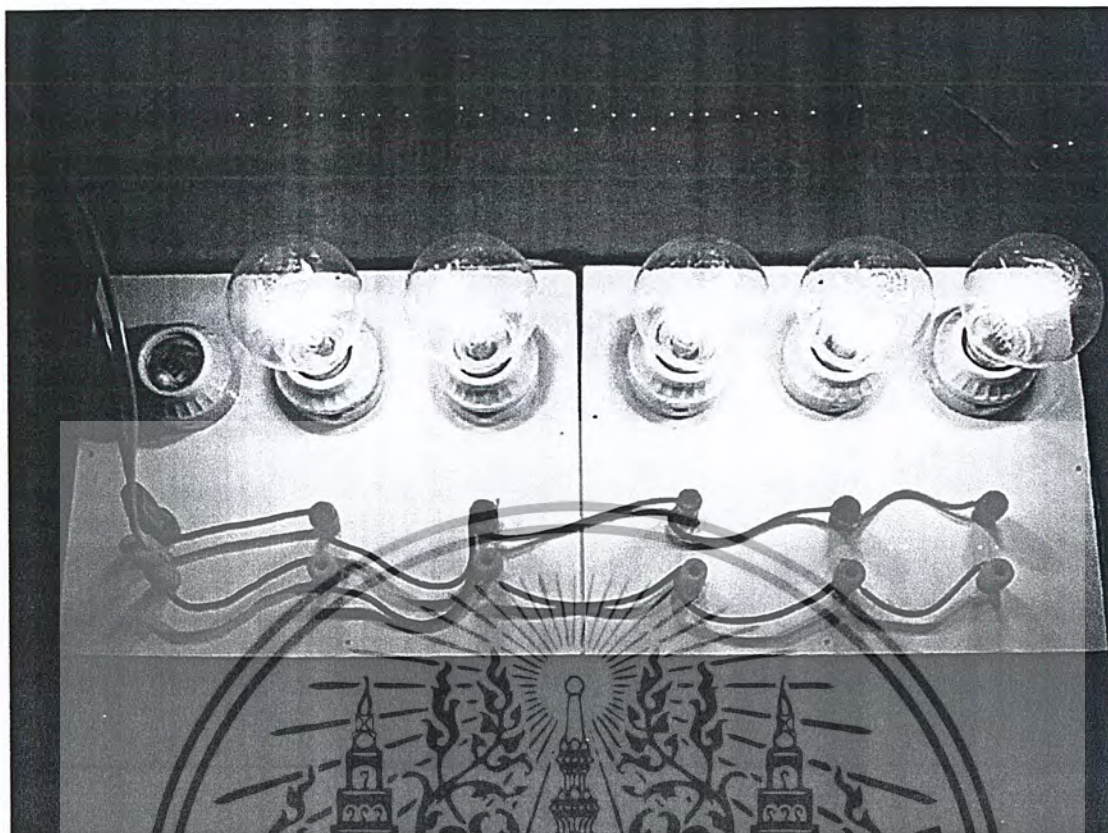


รูป ข.1 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

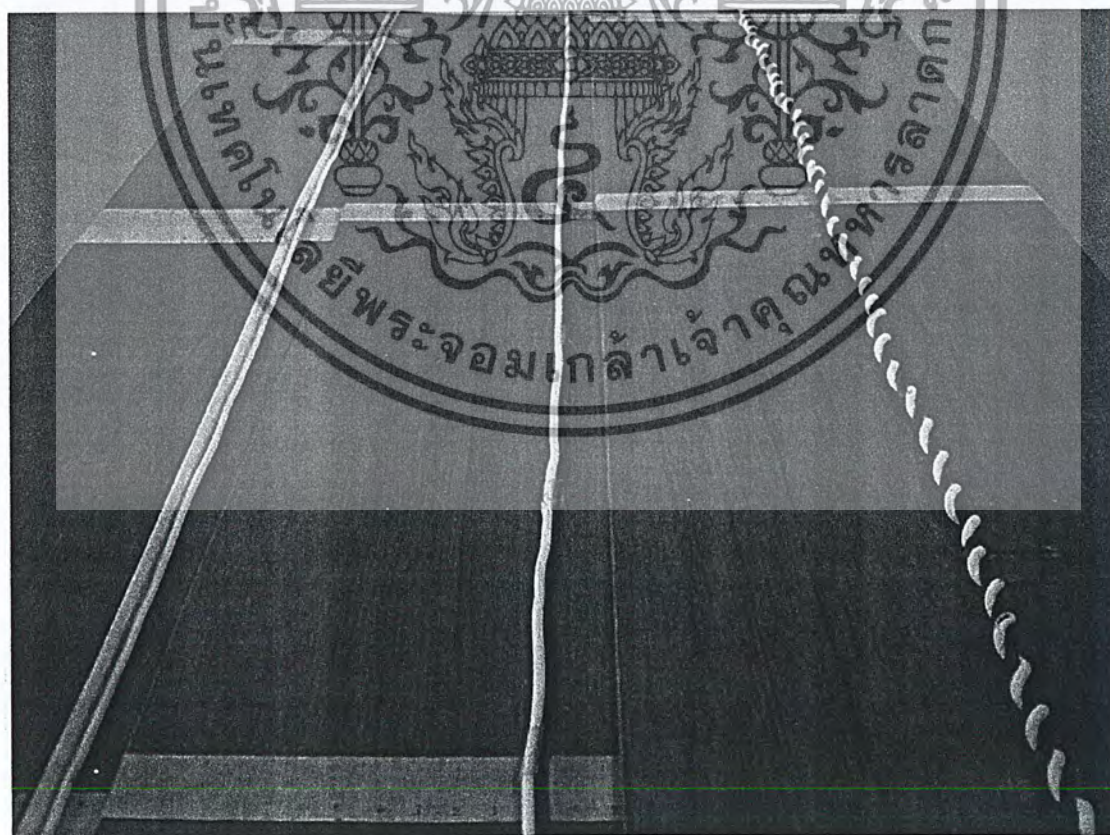


รูป ข.2 เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก (EMF meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

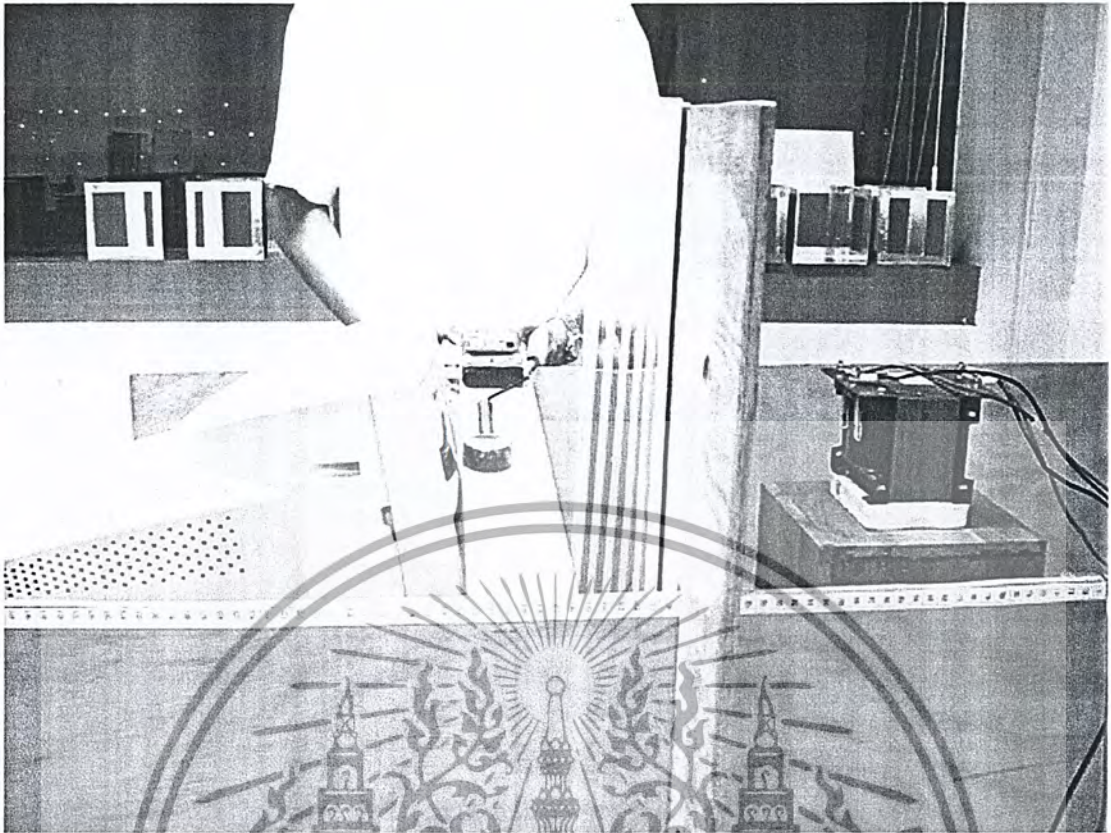


รูป ข.3 ภาระทางไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มสนามแม่เหล็ก

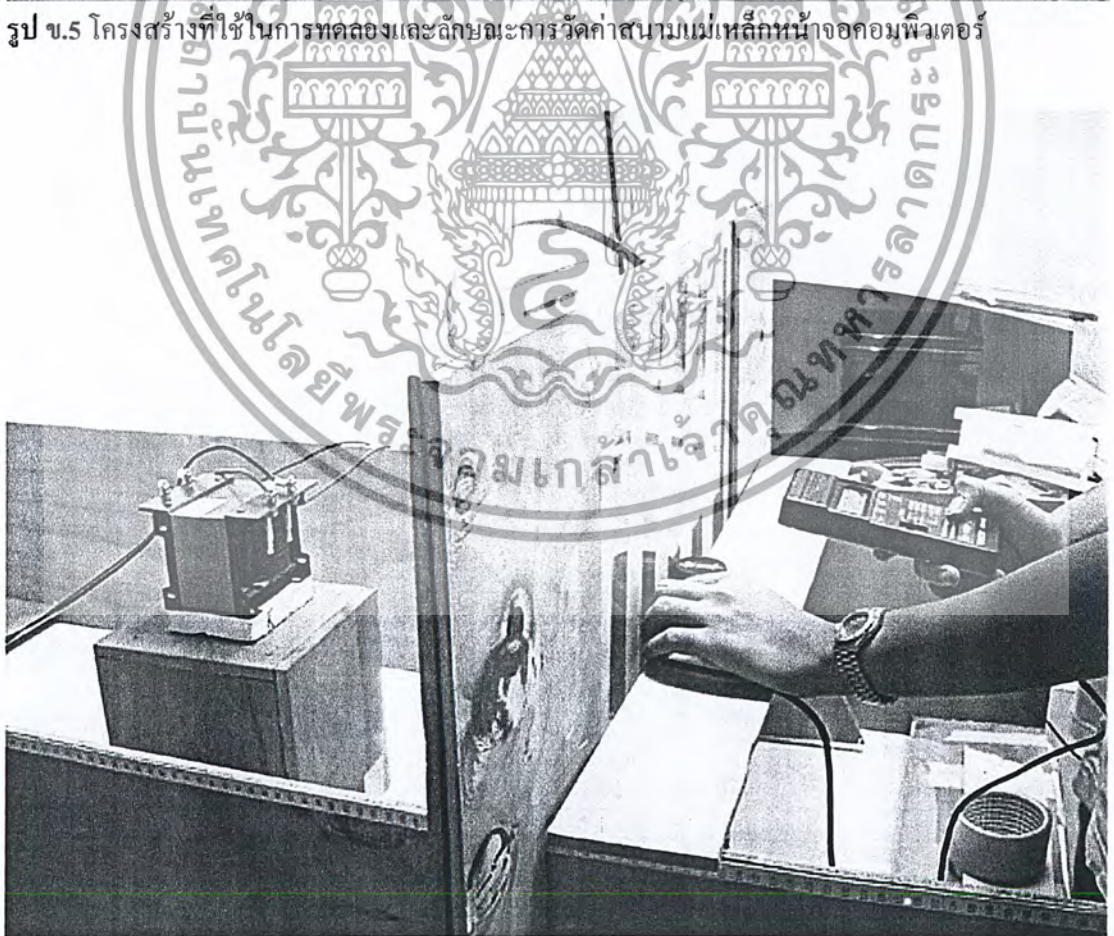


รูป ข.4 สายตัวนำแบบวางห่างกัน 1 cm., แบบวางติดกัน และแบบตีเกลียวตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

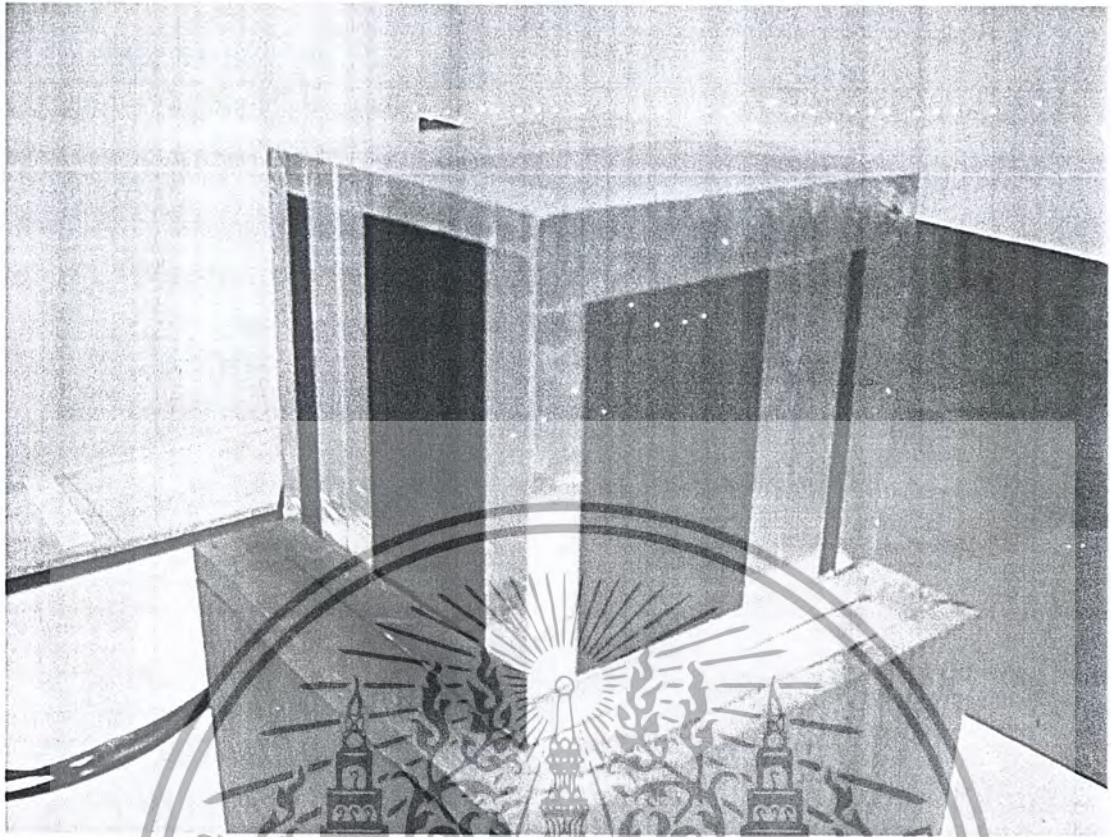


รูป ข.5 โครงสร้างที่ใช้ในการทดลองและลักษณะการวัดค่าสนามแม่เหล็กหน้าจอกอมพิวเตอร์

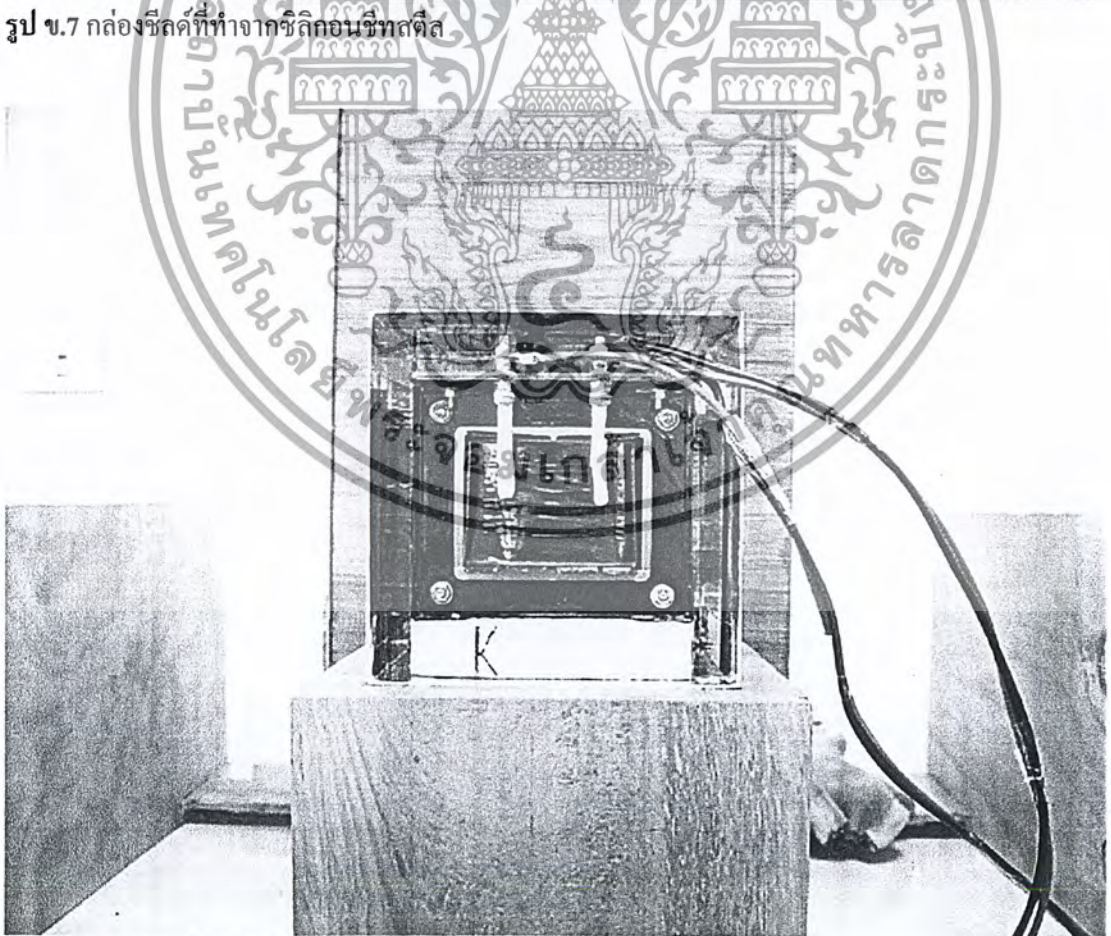


รูป ข.6 การวัดค่าสนามแม่เหล็กหลังซิลด์ด้วยแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.7 กล่องรีลด์ที่ทำจากซิลิกอนรีพอสิต

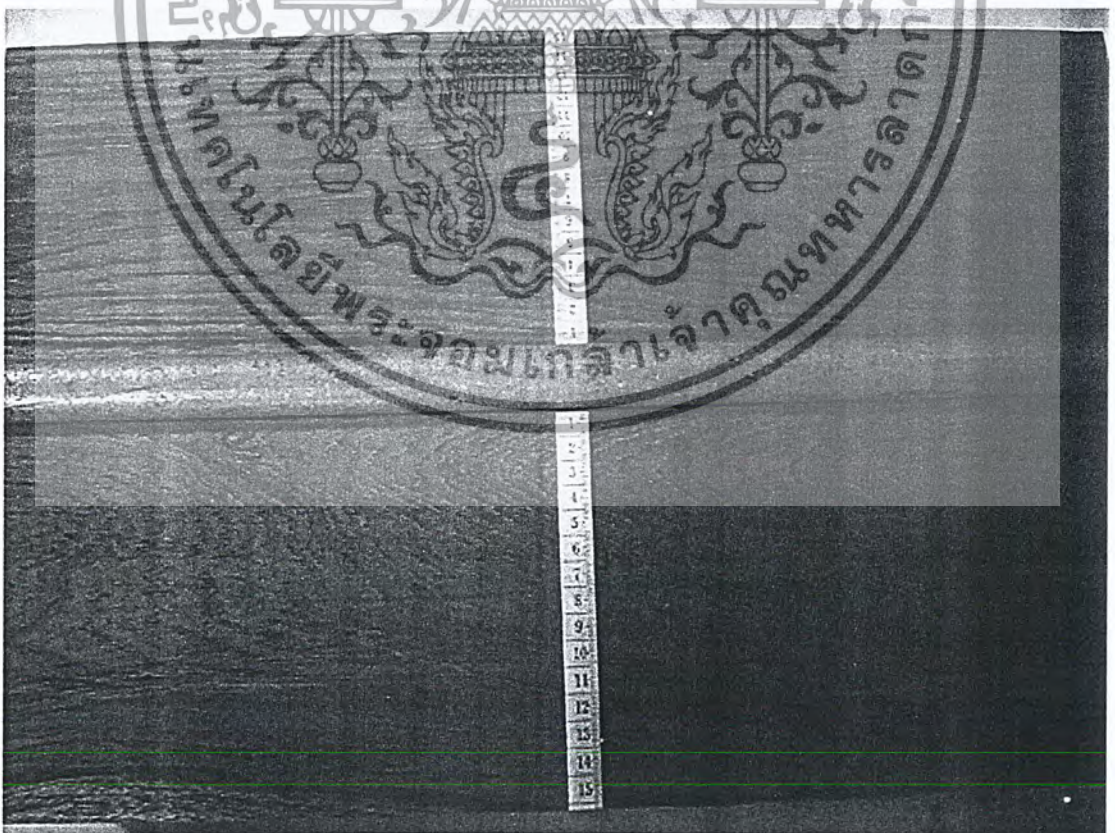


รูป ข.8 การวางหม้อแปลงในกล่องรีลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

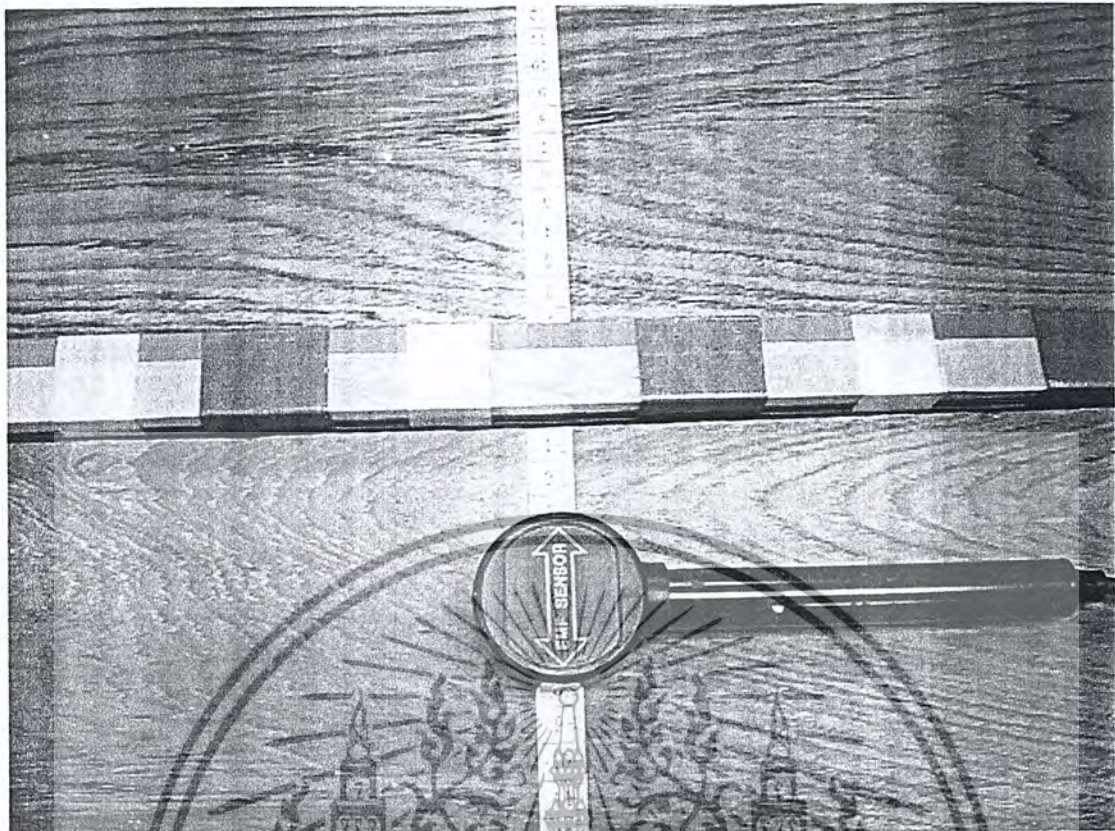


รูป ข.9 การวัดค่าสนามแม่เหล็กหลังชิลด์ด้วยกล่องชิลด์ในด้าน A (ด้านหน้า)

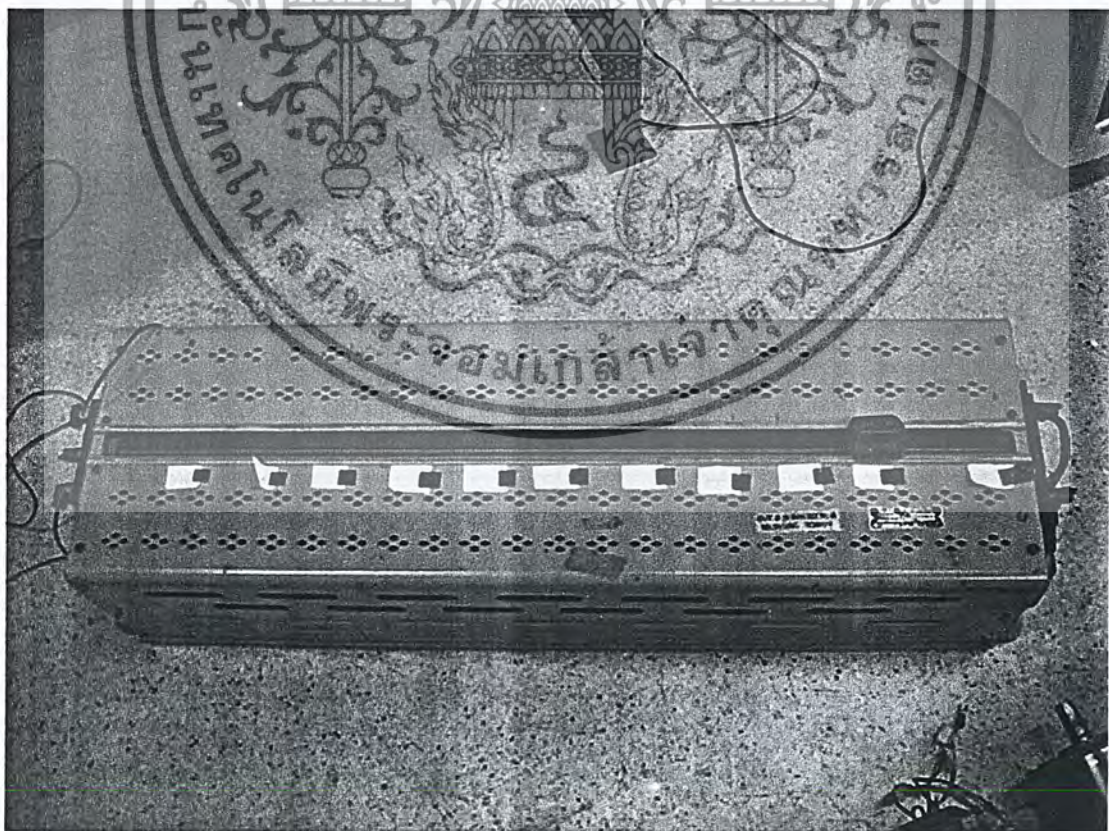


รูป ข.10 ท่อเหล็กที่ใช้ในการชิลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.11 ซิลิกอนซีทสติดลประกอบเป็นท่อที่ใช้ในการซีลด์ และการวัดค่าสนามแม่เหล็กหลังซีลด์



รูป ข.12 ภาระทางไฟฟ้าที่ปรับค่าได้สำหรับการทดลองด้านสายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้