



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

규소강판을 이용한 실드케이스의
차폐효과



2014 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

申東叫

工學碩士 學位論文

규소강판을 이용한 실드케이스의 차폐효과

指導教授 裴鍾一

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2014 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

申東叫

申東叫의 工學碩士 學位論文을 認淮함

2014 年 2 月



主審 工學博士 權 聖 烈 (印)

委員 工學博士 金 榮 學 (印)

委員 工學博士 裴 鍾 一 (印)

목 차

ABSTRACT	ii
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	9
2. 본 론	10
2.1 실드케이스의 구조	10
2.2 접합방식에 따른 전기적 측정	13
2.3 전기적 특성 계산	19
2.4 비투자율 변화에 따른 인덕턴스와 저항변화	26
2.5 구조에 따른 차폐율	29
2.5.1 층수 따른 차폐율	29
2.5.2 접합구조에 따른 차폐율	32
3. 결 론	34
REFERENCE	36

A Study on Shield Effect of Shield Case using SiFe Sheet

Dong-Gyu Shin

Department of Electrical Engineering,
The Graduate School of Industry
Pukyong National University.

ABSTRACT

The shield effect of 4 layered shield case was investigated in this paper. The material of the case was non-oriented SiFe sheet with a thickness of 0.5mm. The size of the case was 100mm wide, 100mm high and 300mm long. Relative permeability of SiFe sheet was needed to calculate shield effect. It was obtained from the measurement by a ferrite yoke and from the calculation by eddy current FEM analysis.

Three configurations were used to connect both ends of SiFe sheet. First one is a connection by double-welded butt. Second one is to put the sheet the same material above the confronted both ends of the sheet to avoid a leakage magnetic flux. The last one is ideally without any connection. The shield effect of the second one agreed well with the last one and showed the

shield effect of -40dB.

Key Words : Shield Case, Shielding Effect, SiFe Sheet, Ferrite-Yoke, Permeability



1. 서 론

1.1 연구의 배경

철근 콘크리트 건물 내부에서의 자계는 강자성체인 철에 의해 자기장의 왜곡되며 건물 내부에 있는 배전선에 투입되는 상용주파수 60Hz의 전류도 엘리트미터 혹은 전기 설비물의 사용으로 항상 시간적으로 변동하게 된다. 이 때문에 건물 내부에서의 자계는 시간에 따라 변하게 된다. 심장이나 뇌에서 발생하는 미약한 생체자계를 측정함으로써 의학적 진단에 이용하는 생체자계 측정 장비가 많이 보급되고 있다[1]~[5].

그림 1은 병원에 설치되는 MRI실의 구조를 나타낸 것이다. MRI실의 외벽에는 진단장비의 오동작을 막기 위해 자성체가 부착되어 있다. 그림 2는 뇌자도(MEG;Magnetoencephalography)와 심자도(MCG;magnetocardiogram)측정실의 자기실드 시공 전, 후의 사진을 나타낸 것이다. 그림 3은 자기실드 시공 전, 후에 관측되는 영상을 나타낸 것으로 자계의 차폐가 진단장비에 미치는 영향을 알 수 있다. 자기실드의 사용은 자기실드룸(MSR:magnetically shielded room)과 같이 체적이 큰 방 전체를 차폐하는 것뿐만 아니라 자기실드케이스(magnetically shielded case)과 같이 초고감도 센서나 원자자력계 등과 같이 매우 높은 자계 분해능을 가지는 센서의 연구에도 필요하다[6]. 센서와 같은 작은 소자의 특성 측정에 사용하는 실드케이스는 대부분이 이동하기 쉬운 작은 크기를 가진다. 자기실드의 원리는 자계가 존재하는 공간에 투자율을 가지

MRI Shield Room



내/외부의 전자파 환경으로부터 유입되는 전자파를 차폐시켜 MRI실 내부 기기의 전자파 장애 방지 및 전자파에 노출된 근무환경을 개선하기 위해 설치.

- 2MHz ~ 150MHz 100dB이상 차폐 효과
- IEEE-STD-299 규정에 의거 측정(MIL-STD-285)
- Room Size : 요구 Size로 설계
- 재질 : Copper / Galvanized Steel

- Door : 1200 x 2100(H) - Finger 접촉식
- Honeycomb
- Filter 및 Pipe penetration

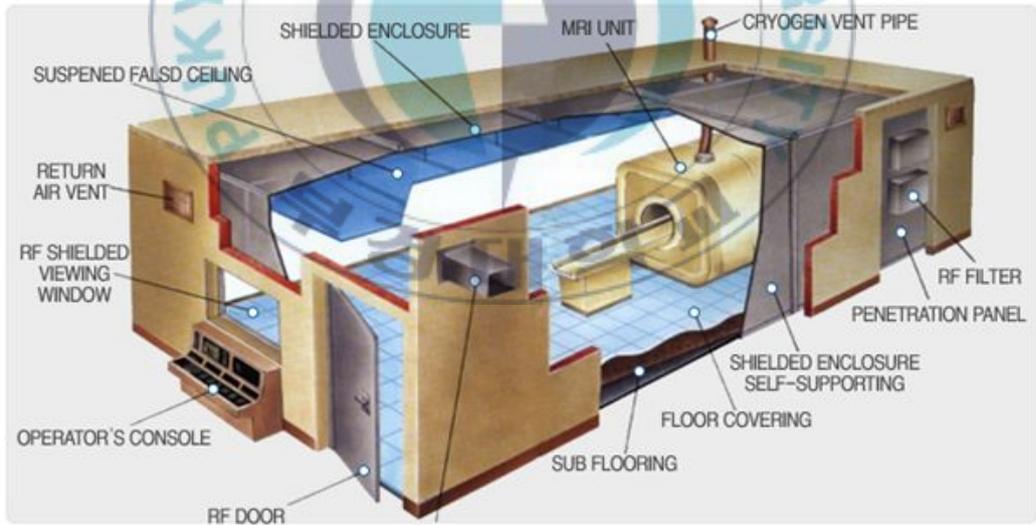


그림 1. MRI실의 구조.

시공 완료 사진

시공 과정 사진



[SHIELDING ROOM] 세브란스 병원 뇌자도(MEG)에 적용한 차폐실

(a)

시공 완료 사진

시공 과정 사진



[SHIELDING ROOM] 삼성의료원 심자도(MCG)에 적용한 차폐실

(b)

그림 2. 뇌자도와 심자도 측정실의 자기실드 시공 전, 후의 사진.

자기장 상쇄장치 적용 전과 후 MRI 이미지의 변화

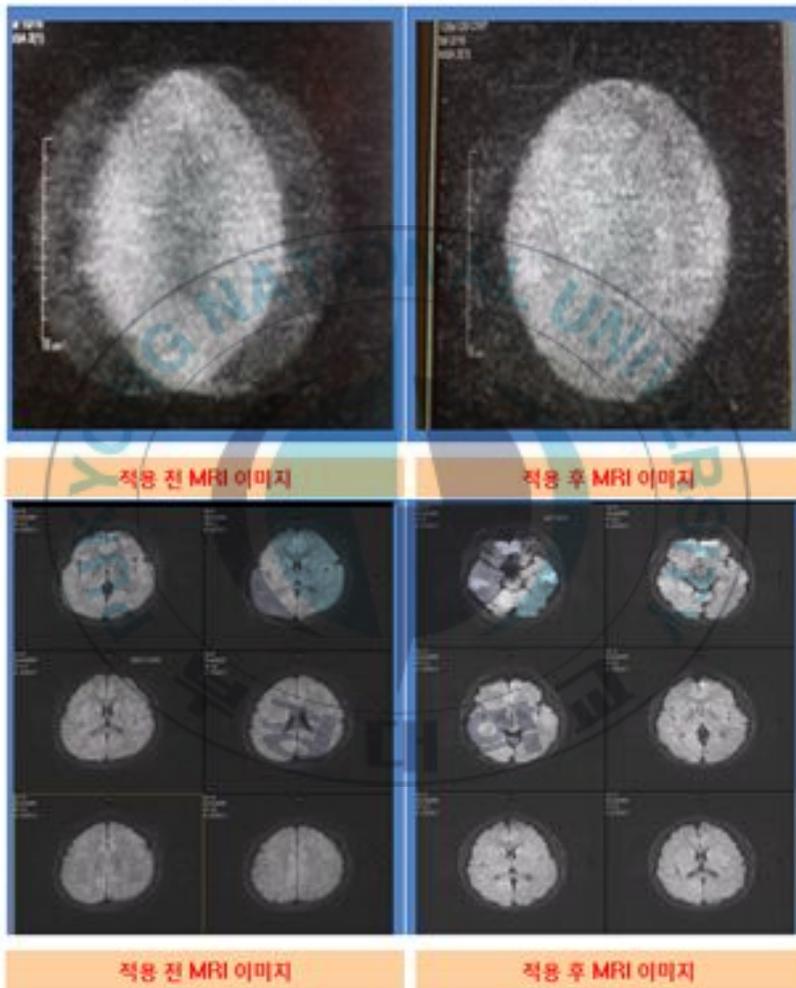


그림 3. 자기실드 시공 전, 후에 관측되는 영상.

는 자성체를 두면 지자계가 자성체 주위로 자속이 집중되는 것을 이용하는 것이다[7]. 그림 4와 같이 자성체 주위로 집중되는 자속은 자성체의 투자율의 크기에 따라 다르게 되며 그 결과 자성체 내부공간으로 침투하는 자계의 크기가 다르게 된다. 그림 4(a)의 자성체는 그림 4(b)의 자성체에 비해 투자율이 작아 자성체 내부공간에 어느 정도의 자계가 침투하고 있다. 따라서 자기실드의 능력 즉, 차폐율은 H_0 는 자성체가 없을 때의 자계, H_i 는 자성체 내부에서의 자계라고 할 때 다음 식으로 정의된다.

$$S = \frac{H_o}{H_i} \quad (1)$$

실드케이스는 single shell, double shell 혹은 다층 구조로 제작되며 실드케이스는 층수가 증가함에 따라 그리고 실드케이스에 이용되는 자성체의 투자율이 클수록 차폐율이 증가하게 된다[8]~[9].

그림 5는 차폐율에 대한 자성체의 무게를 나타낸 것이다. 이 그림에서 동일한 차폐율을 얻기 위해 층수가 많아짐에 따라 필요한 자성체의 무게가 크게 작아짐을 알 수 있다. 자기실드에는 퍼멀로이(PC:Ni-Fe-Cu-Mo), 나노결정질 연자성체(FINEMET: Fe-Cu-Nb-Si-B), Co 주성분의 비정질자성체, 무방향성 규소강판 등이 있다. 무방향성 규소강판을 제외한 나머지 재료들은 투자율은

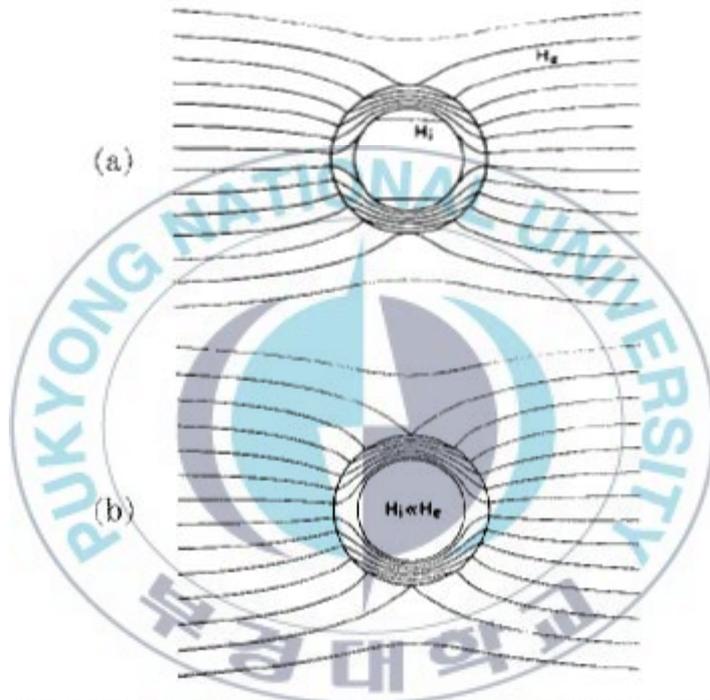


Fig. 1. Calculated field distribution for cylinders with ratio of inner to outer diameter of $D_i/D_o = 0.7$ in field transverse to axis; H_e , external field, H_i , field in the interior of the shield. (a) For a permeability of $\mu = 20$. (b) For a very high permeability.

그림 4. 투자율 크기에 따른 자성체에 집중되는 자속.

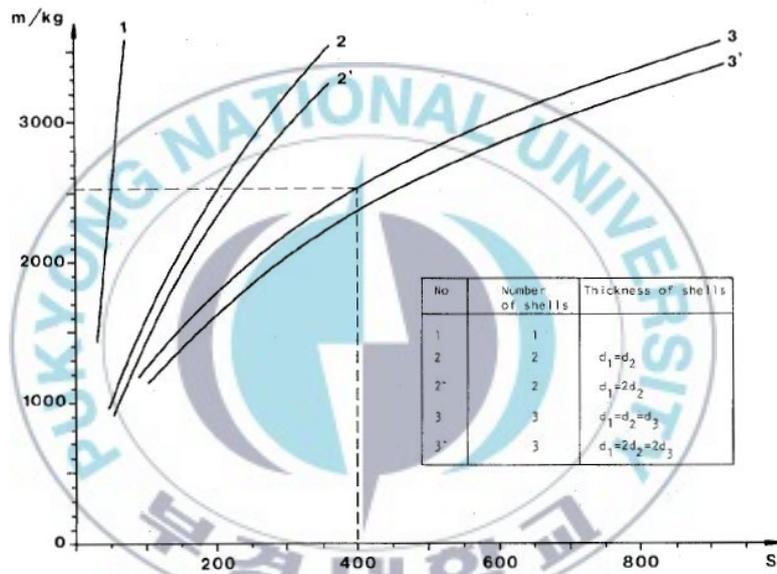


Fig. 2. Mass of high permeability material for different multi-layered structures and shielding factors S (curves 1, 2, and 3 refer to one-, two-, and three-shell structures with equal thickness, and primed curves refer to case where innermost cube is twice as thick as the others).

그림 5. 차폐율에 대한 자성체의 무게.

매우 높지만 재료의 단가가 매우 높다. 특히 퍼멀로이의 경우 Ni을 주성분으로 하며 Ni의 단가는 2013년 런던 금속거래소에서 제시된 가격이 13,635\$/kg으로 철에 비해 매우 높다[10]. 실드케이스의 모양은 직육면체형(cubic shape), 구형(sphere shape) 그리고 원통형(cylindrical shape)이 있다. 구형의 실드케이스는 내부자계의 균일성, 자성체 무게 당 단가의 면에 있어 다른 형상의 실드케이스에 비해 좋다. 하지만 제작하기가 매우 어렵고 피측정체의 출입을 위해 입구가 마련되어야 하며 차폐율을 유지하기 위해 출입구에 대한 설계가 필요하다. 원통형상의 실드케이스는 원통 양쪽으로 시편을 출입시킬 수 있으며 형상이 대칭적이므로 내부공간에서 자계의 균일성이 좋다. 그러나 구형형상과 마찬가지로 제작하기 어려운 단점을 가진다. 이에 비해 직육면체의 실드케이스는 두 형상에 비해 자계의 균일성은 약간 떨어지지만 제작하기가 쉬운 장점을 가진다.

1-2 연구의 목적

의료기기뿐만 아니라 산업계측기기, 그리고 여기에 사용되는 자기소자의 고감도 및 고정밀화가 진행됨에 따라 미약한 자기잡음에 대해서도 관측결과가 민감하게 변하여 자기실드가 크게 요구되고 있다. 자기실드의 사용은 체적이 큰 방 전체를 차폐하는 자기실드룸과 초고감도 센서나 원자자력계 등과 같이 매우 높은 자계분해능을 가지는 센서에 사용되는 실드케이스가 있다.

고성능 자기 실드케이스의 제작에는 10,000-30,000의 투자율을 가지는 Ni을 주성분으로 하는 퍼멀로이 계열의 자성체를 선호하고 있는데 Ni 가격은 2013년 런던 금속거래소에서 제시된 가격이 13,635\$/kg으로 Fe에 비해 가격이 매우 높다. Ni 보다 가격이 훨씬 낮은 무방향성 규소강판을 링의 형태로 적층하여 투자율을 높이기 위해 자기인가방식을 수직자계방식(hand shaking)한 자기실드케이스가 0.8A/m 이하의 목표자계를 나타내었다[11]. 이 실드케이스는 퍼멀로이로 제작된 실드케이스와 거의 동등한 자기차폐율을 가지지만 자계인가방식[12] 때문에 복잡한 권선구조를 가지게 된다.

자성체는 자속이 폐자로를 구성하지 못하면 자성체 끝부분에 자극이 발생하여 자성체 내부에 반자계가 형성되어 반자계 크기에 따라 자성체의 투자율이 크게 감소하게 된다[13]. 실드케이스의 투자율 감소를 막기 위해 폐자로를 형성하여야 하는데 폐자로 형상을 위해 각 층의 자성체 끝을 접합시켜야 하는 문제점을 가진다.

본 논문에서 자성체의 접합방식을 달리하였을 때 무방향성 규소강판의 투자율을 구하는 것과 이를 바탕으로 실드케이스의 차폐율을 구하는 것을 목적으로 연구하였다.

2. 본론

2.1 실드케이스의 구조

실드케이스는 투자율 감소를 막기 위해 폐자료를 형성하여야 하는데 그 폐자료를 형성하기 위해 끝을 접합을 하였다. 그 접합 방법에 따라 세 가지 구조를 비교하였다. 첫 번째로는 규소강관의 양 끝을 TIG용접으로 접합하여 폐자료를 형성하는 방법과 두 번째로는 규소강관의 양끝을 맞대어 놓고 그 사이에서 발생하는 누설자속을 방지하기 위해 맞대어 놓은 규소강관 밑에 폭이 작은 또 다른 규소강관을 놓아 폐자료를 형성하는 방법이 있고 마지막으로 이상적인 폐자료를 형성하는 경우이다.

그림 6는 사각 단면에 gap이 없는 이상적인 상태를 나타내고 있다. 이 해석 모델은 규소 강관 A와 용접 된 규소 강관 B에 의한 차폐율 계산과 1층에서부터 4층까지 층수가 변할 때 차폐율을 구할 때 이용되었다.

그림 7은 C의 경우에 대한 실드 케이스의 계산모델을 나타낸 것이다. 사각 단면에 gap이 존재하며 그 위에 자로연결을 위한 또 다른 규소강관이 놓인 것을 볼 수 있다.

그림 6과 그림7의 실드케이스 크기는 가로와 세로가 각각 100mm이며 길이가 300mm, 두께가 0.5mm로 4층 구조로 되어 있고 각 층 사이의 간격은 10mm로 하였다.

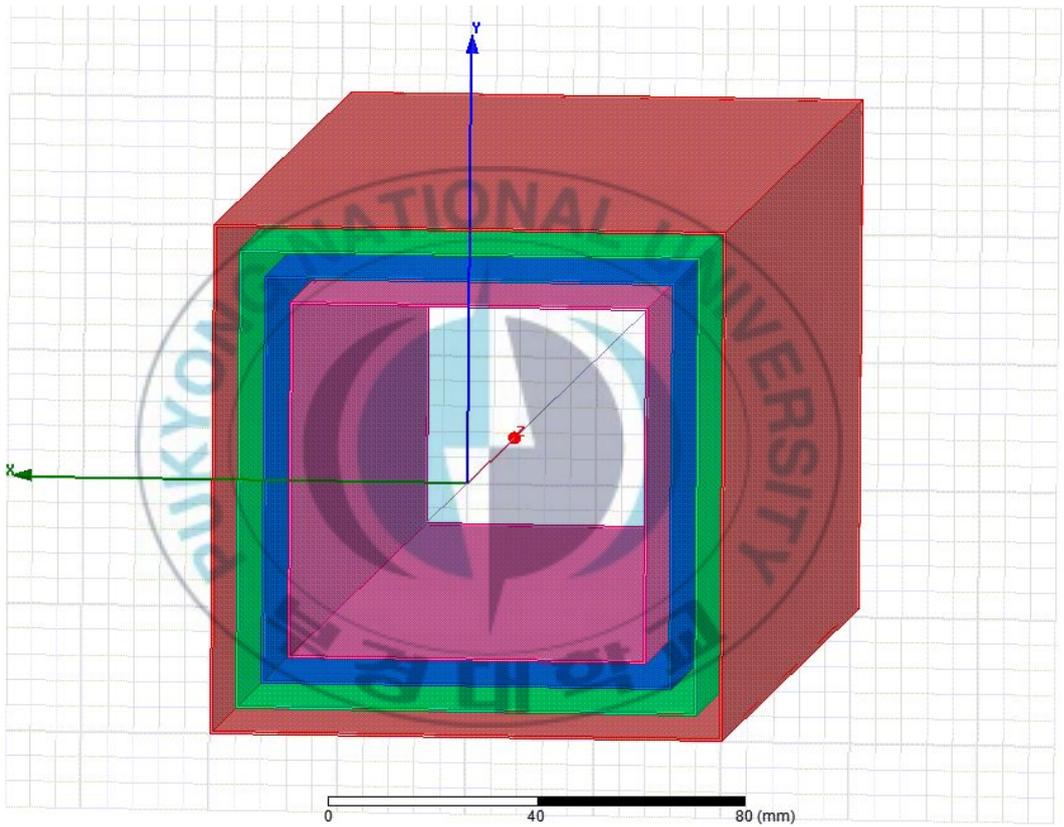


그림 6. gap이 없는 실드케이스 FEM모델.

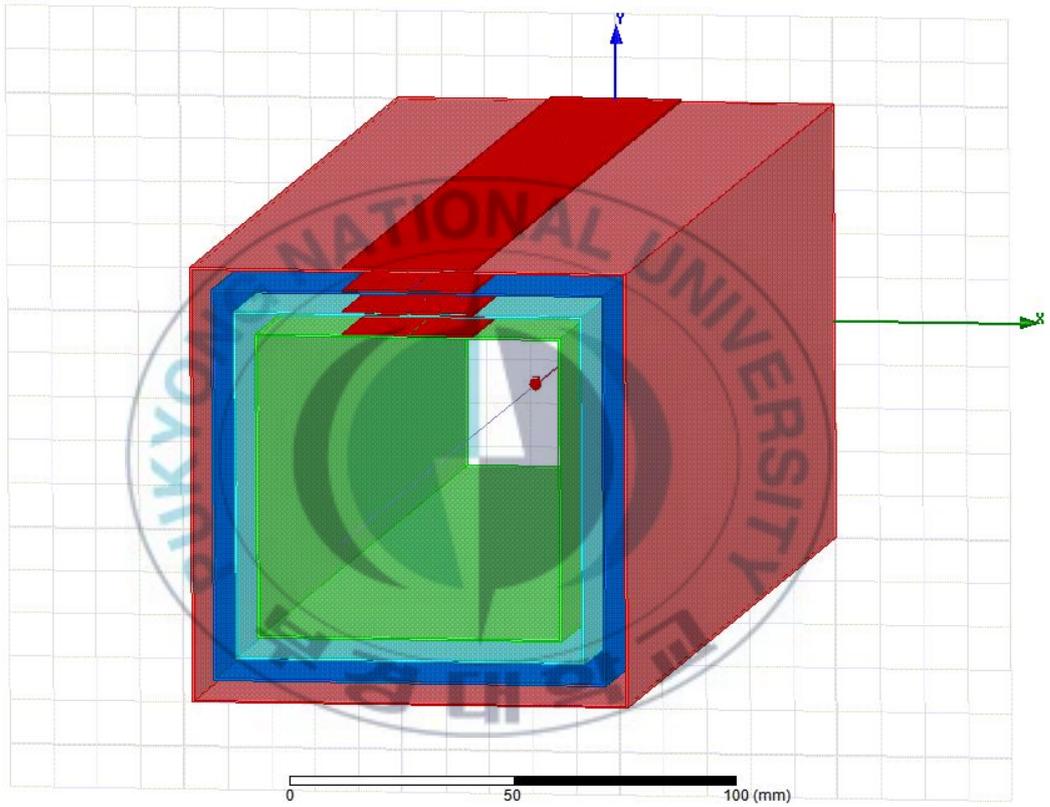


그림 7. gap이 존재하는 실드케이스 FEM모델.

2.2 접합방식에 따른 전기적 측정

실드케이스의 차폐율을 계산하기 위해서는 사용되는 재료의 비투자율을 결정하는 것이 중요하다. 이 규소강판의 비투자율을 구하기 위해 다음과 같이 하였다. 먼저 페라이트 요크[14]와 LCR미터로 규소강판의 인덕턴스와 저항을 측정하고 다음, 이 측정치를 동일한 형상을 가지는 FEM 모델로부터 해석한 계산치와 비교하였다.

그림 8에서 사용된 규소강판 한 장의 크기는 250[mm]×250[mm]이며 두께는 0.5[mm]의 무방향성 규소강판이다. A-1과 A-2는 용접된 규소강판의 좌, 우측을 측정하는 경우를 나타낸 것이고 B는 용접부분을 측정하는 것을 나타낸 것이다. 규소강판의 접합은 TIG 용접으로 용접을 하였고 용접 중에 규소강판의 뒤틀림 혹은 구멍 뚫림을 최대한 방지하기 위해 용접 전류를 정밀하게 조절하였다.

그림 9는 두 장의 규소강판을 맞대기 용접 접합할 때, 용접에 의해 발생된 구멍 뚫림 발생과 뒤틀림을 나타낸 것이다. 용접 전류가 크게 되면 그림 9와 같이 구멍 뚫림 발생과 뒤틀림이 생겨 10~13A 용접 전류를 최대한 낮추어 용접하였다. 용접기는 EP-300A INVERTER TIG(DC/AC) 용접기를 사용하였으며 용가재(용착부를 만들기 위하여 녹여서 첨가하는 금속)로는 무 방향성 규소강판을 약 2mm폭으로 잘라서 사용하였다.

그림 10은 그림 8과 같이 두 장의 규소강판을 맞대기 한 후, 용접이 아니라 폭이 작은 또 다른 한 장의 규소강판을 아래에 놓은 경우이다. 사용된 규소강판은 그림 8에서 사용한 것과 같으며 그리고 맞대기 아래에 놓은 또 다른 규소강판의 크기는 길이와 두께가 각각 250mm와 0.5mm이고 폭을 60mm로 하였다.

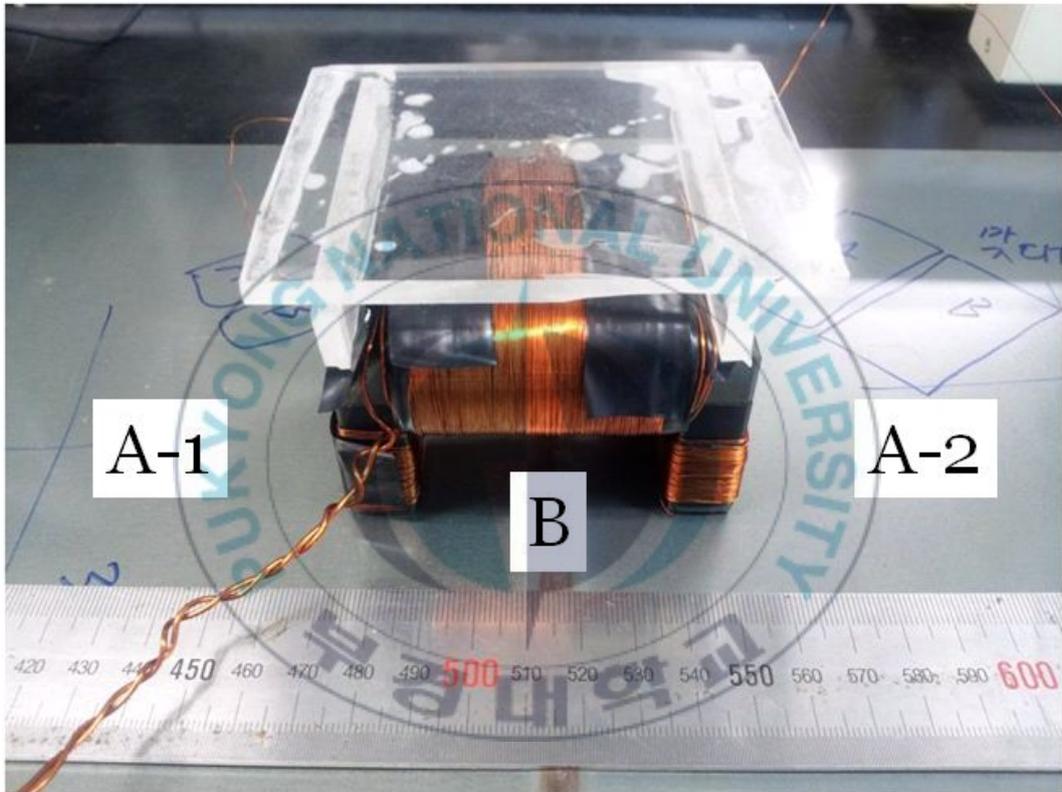


그림 8. 페라이트 요크와 TIG용접 접합 구조강판.

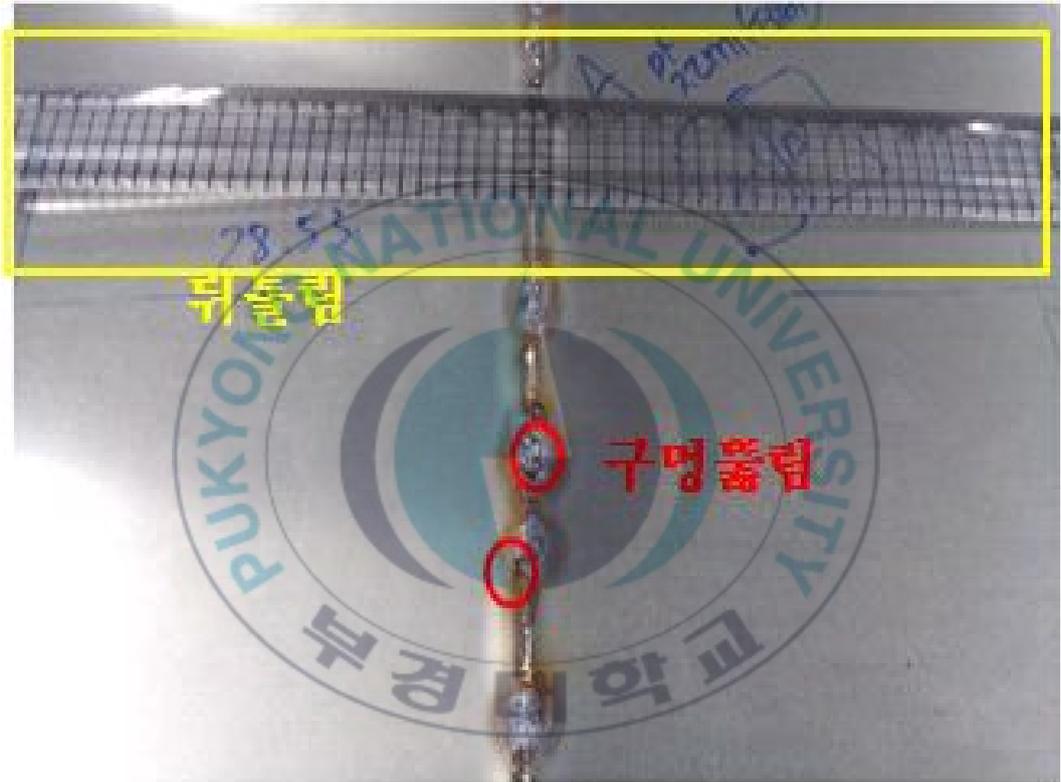


그림 9. 규소강판 TIG용접 시에 발생한 뒤틀림과 구멍 뚫림.

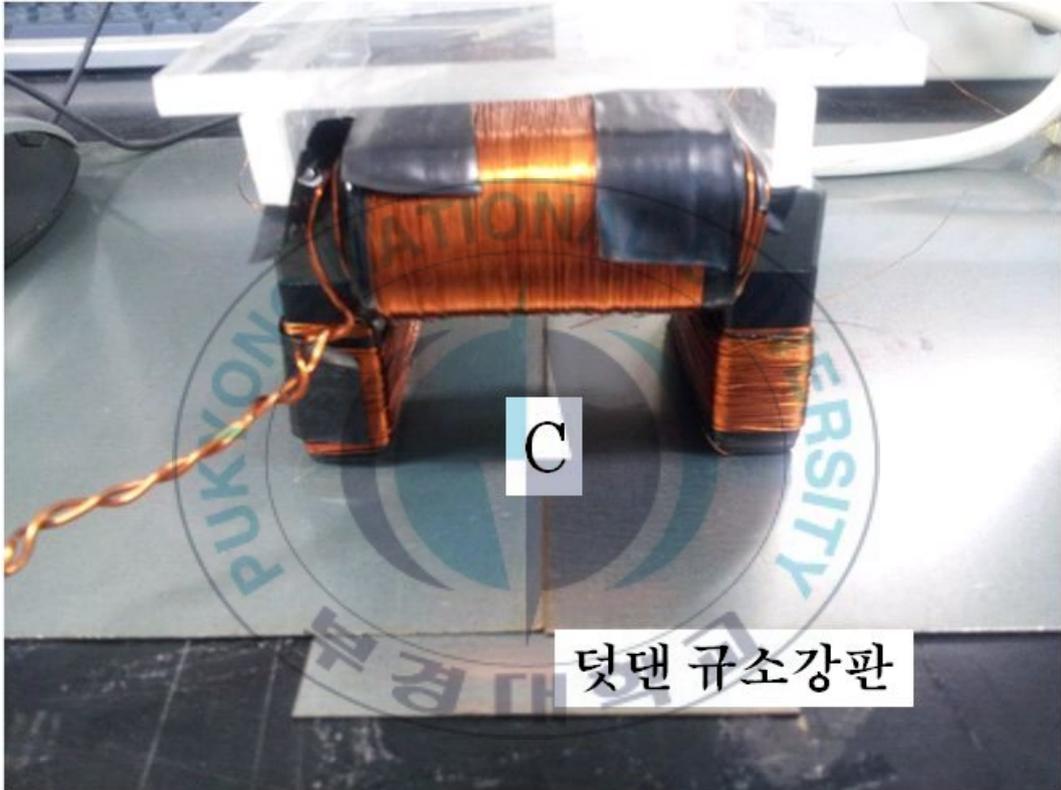


그림 10. 페라이트 요크와 규소강판.

규소강판의 인덕턴스와 저항측정은 LCR(NF ZM2353) 미터를 이용하였다. 페라이트 요크는 "ㄷ"자형 페라이트에 150[회] 권선을 감은 것을 사용하였다.

표 1은 그림 8과 그림 10에서 보인 바와 같이 그림 8의 A(용접부의 좌, 우측 1장의 규소강판)와 B(TIG용접을 한 접합부), 그림 10의 C(두 장의 규소강판을 맞대기 한 후 폭이 작은 또 다른 규소강판을 아래에 놓은 경우)에 대한 인덕턴스 L과 저항 R의 측정치를 나타낸 것이다. 이 표에서 A의 A-1과 A-2의 측정치 차이는 무 방향성 규소강판의 방향에 따른 자기적인 특성차이로 생각된다. B의 경우에 대한 인덕턴스 L과 저항 R은 A보다 감소하였다. 이것은 용접에 의한 열응력의 도입에 의해 자기적인 특성이 열화 한 것으로 생각된다. C의 경우는 A의 경우보다 인덕턴스와 저항이 증가하였다. 이것은 갭 아래에 받쳐진 또 다른 무방향성 규소강판이 가지는 단면적의 증가에 의한 것이다. 이로서 C 경우의 측정치로부터 페라이트 요크에서 발생한 자속이 갭과 갭 사이, 갭 아래의 규소강판을 따라서 동시에 흐르고 있음을 알 수 있다.

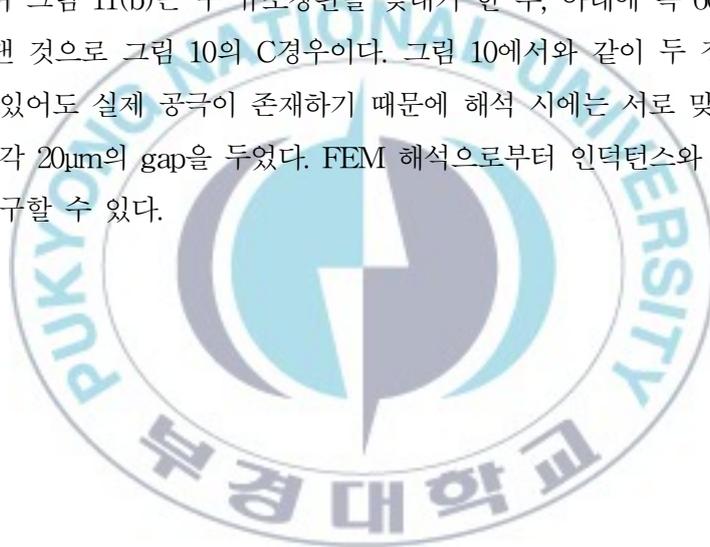
표 1. 측정된 인덕턴스와 저항

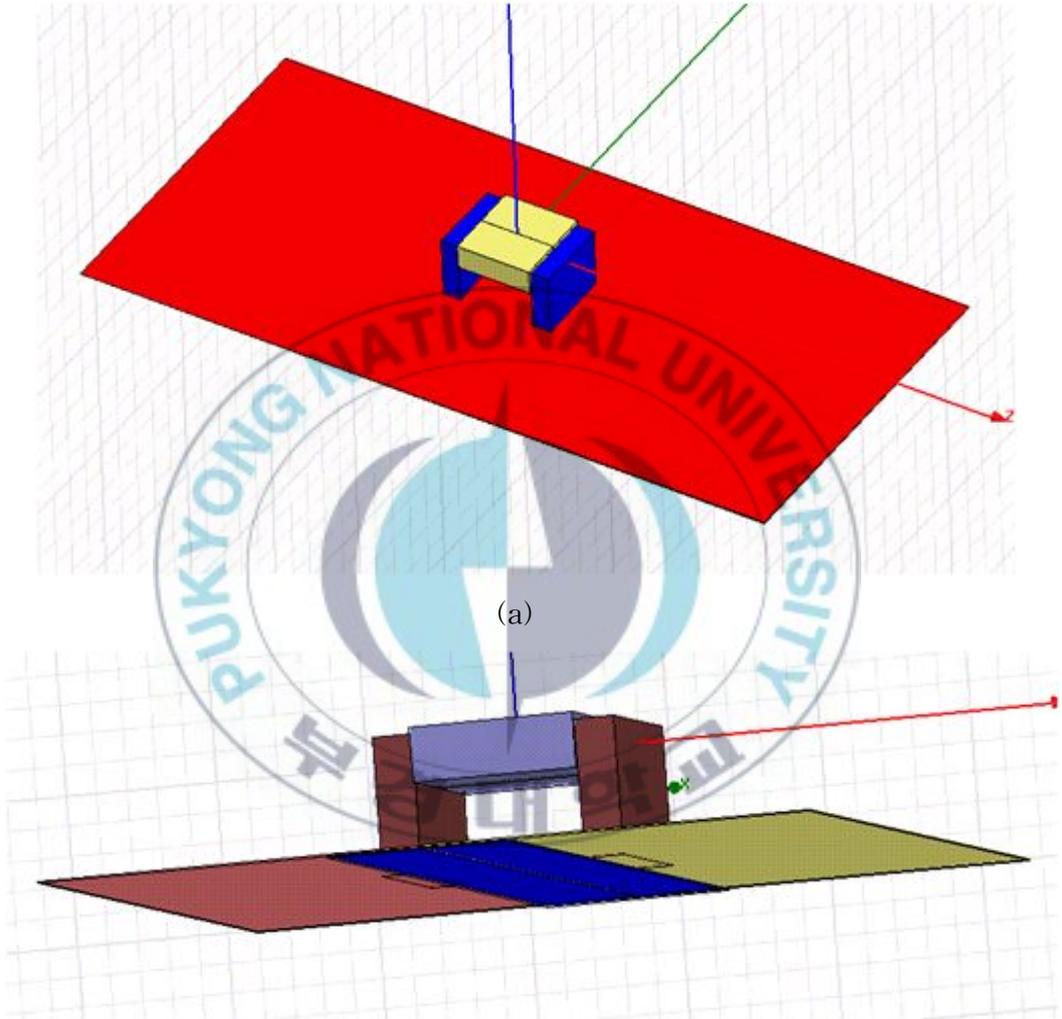
case		L(mH)	R(W)
A	A-1	22.7	1.86
	A-2	23.9	1.9
B		19.8	1.51
C		28.2	3.82

2.3 전기적 특성 계산

인덕턴스와 저항은 와전류 유한요소법 해석(Eddy Current FEM Analysis)을 이용하여 구할 수 있다.

그림 11(a)는 그림 8에서의 용접 접합 양쪽 1장의 규소강판(A-1, A-2)을 계산하기 위한 모델이며 그림 11(b)는 두 규소강판을 맞대기 한 후, 아래에 폭 60mm의 또 다른 규소강판을 댄 것으로 그림 10의 C경우이다. 그림 10에서와 같이 두 장의 규소강판이 서로 맞대고 있어도 실제 공극이 존재하기 때문에 해석 시에는 서로 맞대기 한 규소강판 사이에 각각 20 μ m의 gap을 두었다. FEM 해석으로부터 인덕턴스와 저항은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.





(b)

그림 11. 페라이트 요크와 규소강판의 FEM모델.

$$W_e = \int \vec{B} \cdot d\vec{H} = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2)$$

$$L = 2W_e, \quad I = 1[A] \quad (3)$$

$$P = \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}^*}{2\sigma} = RI^2 \quad (4)$$

$$R = P, \quad I = 1[A] \quad (5)$$

$$P = P_{SiFe} + P_{coil} + P_{ferrie} \quad (6)$$

여기서 시변자기에너지 W_e 는 자속밀도와 자계인 \vec{B} 와 \vec{H} 의 체적적분으로 유한요소 해석으로부터 구해지며 인덕턴스와 관계는 (2)식으로 된다. 이 때 인가전류가 1[A]일 때 시변자기에너지의 두 배가 식(3)와 같이 인덕턴스 L이 된다. 저항 R은 식(4)의 손실전력으로 구할 수 있다. \vec{j} 와 \vec{j}^* 자속의 시간적인 변화에 의해 발생하는 와전류 밀도와 공액 와전류밀도이며 유한요소 해석으로부터 구해지고 저항과의 관계는 (4)식으로 구한다. 이 때 I=1[A]일 때 전력 P가 저항 R이 된다. 식(6)와 같이 손실전력 P는 규소강판과 코일, 페라이트에서 발생하는 손실전력의 합이지만 페라이트의 교류손실이 거의 0에 가깝기 때문에 여기서는 제외되었다. FEM해석에서 코일의 턴 수가 많아질수록 계산시간이 길어진다. 따라서 본 논문에서는 감은 코일의 형상을 고려하여 1턴의

사각코일로 한 다음 코일의 단면적과 턴 수와의 관계를 식(7) - 식(12)로 하여 인덕턴스와 저항을 구하였다. 유한요소법 해석에서 코일 단면적과 턴 수의 관계를 고려하여 입력 값인 전류를 I[A] 대신에 NI[A·turn]로 입력하였다. 이 때 해석할 때 이것은 권선 수 150턴의 코일에서 계산되는 인덕턴스 L이라고 하고 해석모델의 1턴의 권선수의 저항을 L'이라고 할 때 식(7)의 관계식이 성립된다.

$$L = N^2 L' \quad (7)$$

$$L' = \frac{\mu S}{l} \quad (8)$$

$$W_e = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} L' N^2 I^2 \quad (9)$$

이 때, l 과 S은 해석모델의 자로길이와 단면적이다. 식(9)에서 에너지 We는 NI를 입력하여 해석한 것이나 I를 입력하여 구한 것이나 동일하므로 We의 두배가 결국 인덕턴스가 된다. 코일에서 발생하는 R도 동일하게 고려될 수 있다.

$$R_{coil} = \rho \frac{N l_c}{S_c / N} = N^2 R' \quad (10)$$

$$R' = \frac{l_c}{\rho S_c} \quad (11)$$

$$P = R_{coil} I^2 = R' N^2 I^2 \quad (12)$$

여기서 l_c 과 S_c 은 권선코일의 길이와 단면적이다. 이 때 저항 R은 식(12)과 같이 P로부터 구해진다.

표 2는 비 투자율 μ_r 을 입력하여 계산한 값들을 나타낸 것이다. 이 비 투자율은 계산된 인덕턴스가 측정치에 가장 가깝게 되도록 선정된 것이다. 따라서 인덕턴스의 계산치와 측정치는 매우 잘 일치하고 있다. 저항의 계산치에서 전체 저항 R_{total} 은 코일 저항 R_{coil} 그리고 R_{SiFe} 규소강판의 저항(#1:1장의 규소강판, 맞대기 왼쪽 규소강판, #2:맞대기 오른쪽 규소강판, #3: 갭 아래의 규소강판)의 합이 된다. A의 $R_{SiFe_#1}$ 는 그림 8의 양쪽 1장의 규소강판을 나타낸 것이고, B의 $R_{SiFe_#1}$ 는 그림 8의 용접부 B를 나타낸다. C의 $R_{SiFe_#1}$ 는 그림 10의 맞대기 왼쪽 규소강판을 나타내고 $R_{SiFe_#2}$ 는 그림 10의 맞대기 오른쪽 규소강판을 나타낸다. C의 $R_{SiFe_#3}$ 는 그림 10의 맞대기 규소강판이 아닌 갭 아래 폭이 작은 또 다른

표 2. FEM 모델로 계산된 값

case	μr	We(J)	L(mH)	R_total	
A	A-1	1430	0.0113	22.7	2.19
	A-2	1500	0.0117	23.5	2.33
B	1190	0.00995	19.9	1.71	
C	1430	0.0143	28.7	6.34	

(a)

case	R_Coil	R_SiFe_#1	R_SiFe_#2	R_SiFe_#3	
A	A-1	0.267	1.92	-	-
	A-2	0.267	2.07	-	-
B	0.267	1.44	-	-	
C	0.267	2.96	2.96	0.128	

(b)

규소강판을 나타낸 것이다. 저항의 계산치는 측정치보다 A, B의 경우에서 약 0.3 Ω 크며 C의 경우는 2.5 Ω 정도 크게 계산되었다. 이 계산에서는 규소강판을 투자율을 가지는 단순 금속체로 가정하고 있으나 실제 규소강판은 자구구조를 가지고 있어 와전류 손실은 단순 금속체보다 작게 발생하게 된다. 특히 C의 경우에서 나타난 저항의 차이는 FEM 계산에서 밑에 바쳐진 규소강판이 겹 없이 붙어 있어 두께 증가에 의한 와전류의 증가 때문이다.



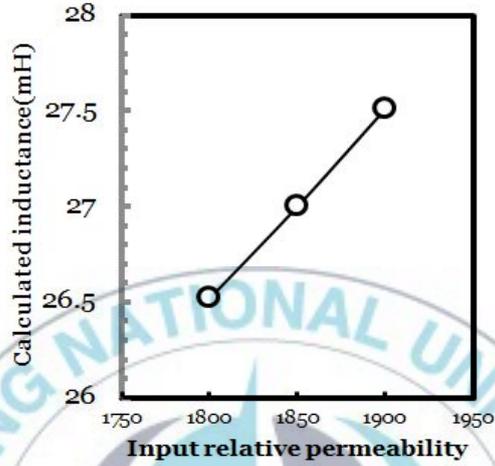
2.4 비투자율 변화에 따른 인덕턴스와 저항변화

그림 12는 와전류 FEM해석에서 비투자율을 증가시킬 때 시트 A부분의 계산된 인덕턴스와 저항 변화를 나타낸 것이다.

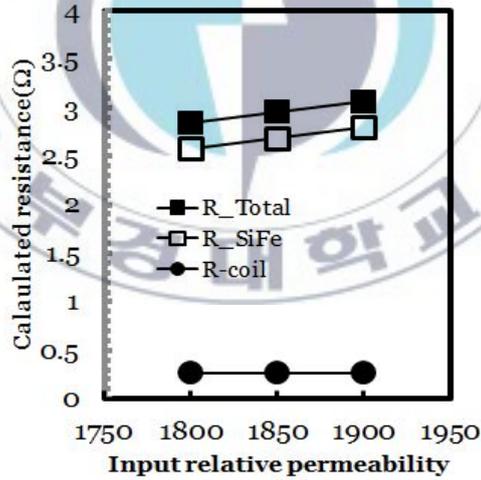
그림 12(a)는 비투자율 증가에 따른 인덕턴스 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 비투자율이 증가됨에 따라 인덕턴스도 선형적으로 증가 하였다. 그림 12(b)는 비투자율 증가에 따른 저항변화를 나타낸 것이며 저항은 코일에 의한 저항이 전체 저항에 차지하는 비율이 매우 작으며 비투자율 변화에 무관하다. 반면에 규소강판의 저항 R 은 인덕턴스와 같이 비투자율이 증가함에 따라 증가하였다. 이것은 규소강판에 흐르는 교류자속이 시간적으로 변화하기 때문에 이에 의해 규소강판의 단면에 와전류가 발생하기 때문이다.

그림 13는 그림 12와 마찬가지로 와전류 FEM해석에서 비투자율을 증가 시킬 때 시트 B부분의 계산된 인덕턴스와 저항 변화를 나타낸 것이다.

그림 13(a)는 비투자율 증가에 따른 인덕턴스 변화를 나타낸 것이다. 그림 12(a)와 같이 비투자율이 증가됨에 따라 인덕턴스도 선형적으로 증가 하였다. 그림 13(b)는 그림 12(b)와 같이 비투자율 증가에 따른 저항변화를 나타낸 것이다. 그림 12와 마찬가지로 저항은 코일에 의한 저항이 전체 저항에 차지하는 비율이 매우 작으며 비투자율 변화에 무관한 것을 알 수 있다.

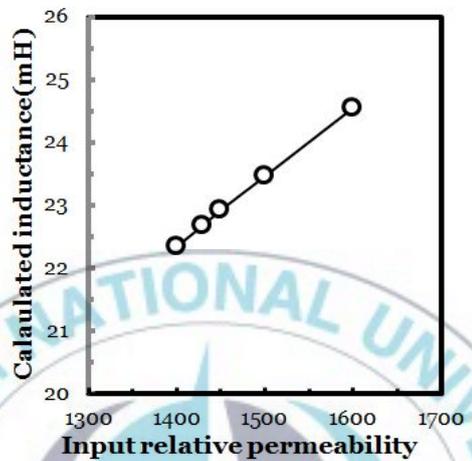


(a)

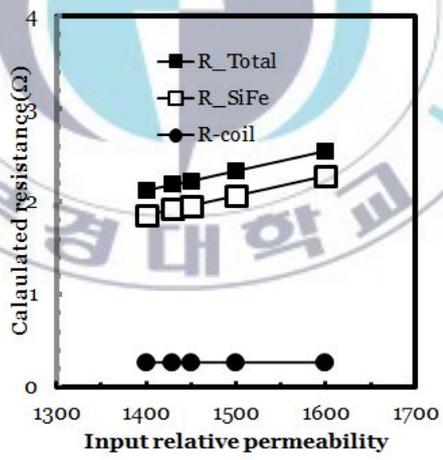


(b)

그림 12. 비투자율 변화에 따른 A부분 인덕턴스와 저항 변화.



(a)



(b)

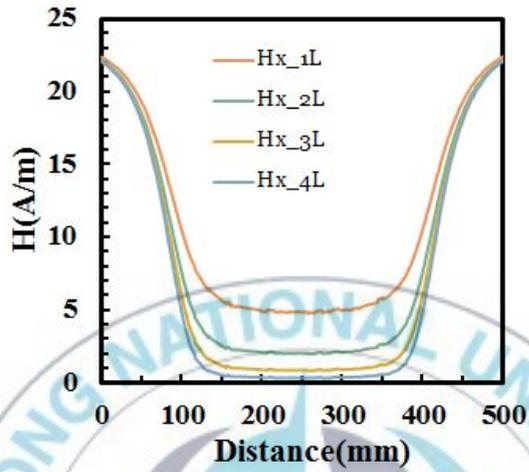
그림 13. 비투자율 변화에 따른 B부분 인덕턴스와 저항 변화.

2.5 구조에 따른 차폐율

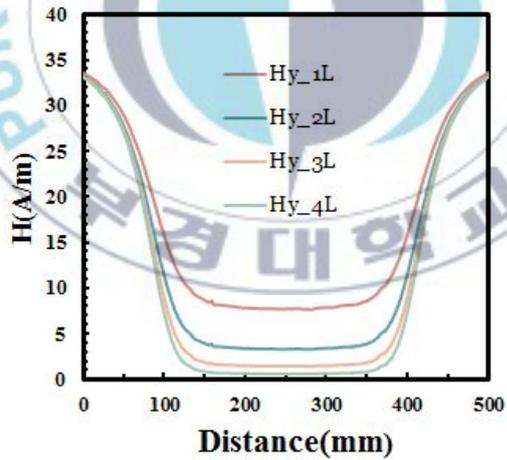
2.5.1 층수에 따른 차폐율

그림 14은 A 경우에 대해 실드 케이스의 층수를 변화시켰을 때, 실드케이스 내, 외부의 자계를 나타낸 것으로 그림 14(a)는 x방향을 그림 14(b)는 y방향을 나타낸다. 자계의 x방향의 크기는 그림 14(a)와 같이 실드케이스 외부에서는 설정 값 $24A/m$ 를 가지지만 실드케이스 내부로 갈수록 점점 작아지며 층수에 따라 자계의 크기가 감소함을 알 수 있다. 이것은 그림 14(b)에서 나타내는 바와 같이 y방향에 대해서도 자계의 y방향의 크기는 실드케이스 외부에서는 설정 값 $34A/m$ 를 가지지만 실드케이스 내부로 갈수록 점점 작아지며 층수에 따라 자계의 크기가 감소함을 알 수 있으며 같은 경향을 나타내고 있다.

그림 15은 그림 14의 실험 결과로부터 실드케이스의 중앙에서 자계를 층수에 대해 x방향과 y방향으로 내부의 자기장을 비교를 나타낸 것이다. 그림 15에서 보는 바와 같이 x방향과 y방향 모두 층수의 증가에 따라 자계의 감소가 뚜렷해지는 것을 볼 수 있다. 차폐율은 실드케이스를 1 층으로만 해도 약 17%까지 감소하고 2층 이상이 되면 수 %까지 감소하게 된다. 실드케이스를 4층으로 하였을 때 차폐율은 거의 100배 감소하는 $-40dB$ 이하가 되었다.



(a)



(b)

그림 14. 실드케이스 층수에 따른 내, 외부 자기장분포.

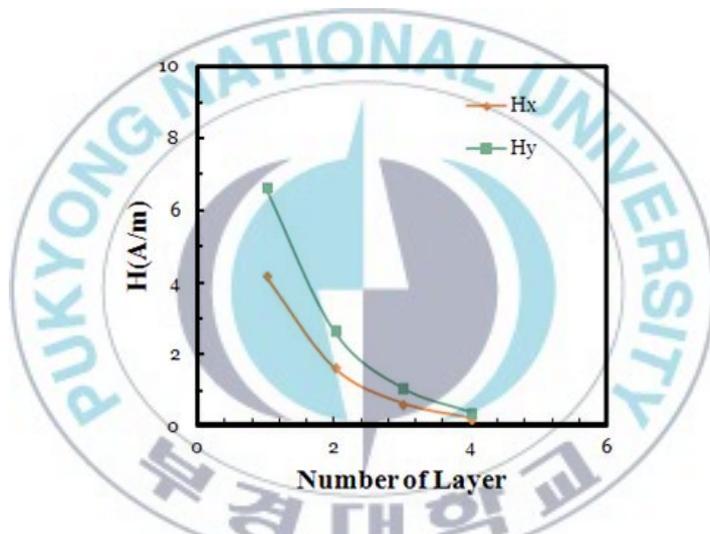
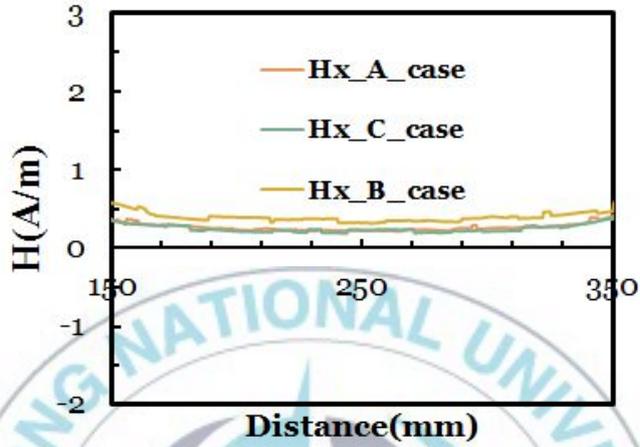


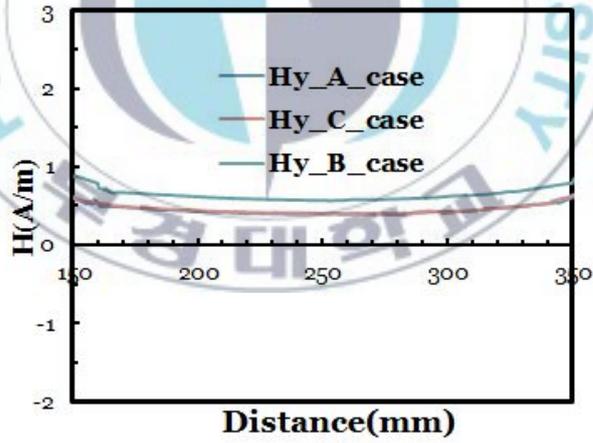
그림 15. 실드케이스 층수에 따른 자기장.

2.5.2 접합구조에 따른 차폐율

그림 16은 A, B, C 경우에 대하여 차폐율을 비교한 것이다. A는 사각 단면을 가지는 이상적인 실드케이스를 나타낸 것이고, B는 접합 부위를 용접을 한 것을 측정하는 것이다. C의 경우는 그림 10과 같이 두 장의 규소강판을 맞대기 한 후, 폭이 작은 또 다른 한 장의 규소강판을 아래에 놓은 경우이다. 그림 16(a)는 A, B, C 경우에 대하여 x방향을 측정한 것이며 그림 16(b)는 A, B, C 경우에 대하여 y방향을 측정한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 용접에 의한 접촉의 경우 B가 차폐율이 가장 낮으며 그 이유는 용접에 의한 열응력의 도입에 의해 자기적인 특성이 열화 한 것으로 생각된다. A와 C의 경우가 거의 같음을 알 수 있다. 따라서 규소강판으로 만들어지는 실드케이스의 경우 4층의 구조를 가지고 반 자계를 줄이기 위해 두 자성체를 서로 맞대고 겹을 덮는 구조만으로도 높은 차폐율을 얻을 수 있다.



(a)



(b)

그림 16. 접합구조에 따른 차폐율.

3. 결 론

0.5mm 두께의 무 방향성 규소강판을 이용한 실드케이스의 차폐율에 대해 검토하였다. 이 검토에서 차폐율을 결정하는 규소강판의 비투자율을 페라이트 요크로 구한 측정치와 와전류 유한요소법해석을 이용하여 계산치를 구하였다. 실드케이스의 차폐율을 미리 구한 비투자율을 바탕으로 정자장 FEM 해석으로 구하였다. 실드케이스의 크기는 가로, 세로, 길이가 각각 100mm, 100mm, 300mm이며 4층 구조로 하였다. 실드케이스의 차폐율은 투자율 감소를 막기 위해 폐자료를 형성하여야 하는데 형성하는 방법에 따라 세 가지 경우에 대해 비교 검토하였다. 첫째는 규소강판의 양끝을 용접으로 접합하여 폐자료를 형성하는 경우, 둘째는 양끝의 맞대기 사이에서 발생하는 누설자속을 방지하기 위해 폭이 작은 또 다른 규소강판을 놓아 폐자료를 형성하는 경우, 마지막으로 이상적인 폐자료를 형성한 경우이다. 각 경우에 대해 계산결과를 서로 비교하였다. 실드케이스의 차폐율은 FEM 정자장 해석을 하여 구하였으며 용접으로 접합 한 구조와 길이 방향으로 갭을 가지고 갭 위에 놓은 폭이 작은 또 다른 규소강판을 놓은 구조, 그리고 비교를 위해 사각단면을 가지는 이상적인 실드케이스를 이용하여 서로 비교하였다. 해석 결과 용접에 의한 접속의 경우가 차폐율이 가장 낮으며 그 이유로는 용접에 의한 열응력의 도입에 의해 자기적인 특성이 열화 한 것으로 생각된다. 갭을 가지고 위에 폭이 작은 또 다른 규소강판이 있는 실드케이스가 사각단면을 가지는 이상적인 실드케이스와 거의 같은 차폐율을 가졌고 단 1층의 구조만으로도 약 17% 이하로 자기장을 차폐하였다. 4층의 구조를 가지는 실드케이스는 목표 자계가 약 0.2 A/m로 약 100배, -40dB 이하의 차폐율이 계산되었다. 이 실험으로부터 규소강판을 이용하

여 용접과 같은 접합 과정을 거치지 않고 두 장의 규소강판을 서로 맞댄 후, 누설 자속 방지를 위해 그 위에 또 다른 규소강판을 두더라도 큰 차폐율이 얻어짐을 알았다. 따라서 본 논문의 결과를 바탕으로 실드케이스 뿐만 아니라 자성체 패널의 접합으로 제작되는 실드룸과 같은 비교적 큰 자기실드 구조체의 차폐율을 실험에 앞서 이론적으로 구할 수 있다.



REFERENCES

- [1] D. Cohen, "Large-volume conventional magnetic shields," Rev. Phys.Appl., Vol. 5, pp. 53-58, 1970.
- [2] V. O. Kelha et al., "Design, construction, and performance of a large-volume magnetic shield," IEEE Trans. Magn., Vol. 18, no. 1, pp.260-269, Jan. 1982.
- [3] J. Bork et al., "The 8-layered magnetically shielded room of the PTB:Design and construction," in Proc. Biomag2000, 12th Int. Conf. Biomagnetism, Espoo, Finland, pp. 970-973.
- [4] 이용호, 권혁찬, 김진목, 임청무, 이상길, 박용기, 박종철, "생체자기계측을 위한 자기차폐실의 설치 및 특성", 한국자기학회지, Vol. 6, No. 4, pp 264-271, 1996.
- [5] 최학윤, "와전류에 의한 저주파 자기장 차폐 성능 평가", 조명·전기설비학회지, Vol. 24, No. 9, pp 124-128, 2010.
- [6] 유권규, 이용호, 강찬석, 김진목, 박용기, "생체신호 측정을 위한 최대의 신호 대 잡음비를 가지는 검출코일의 형태와 자기차폐실의 최적조합", 한국초전도학회지, Vol. 9, No. 1, pp 45-49, 2007.

- [7]ALBRECHT J. MAGER, "Magnetic Shields", IEEE Trans. Magn., Vol. 6, No. 1, pp 67-75 1970
- [8] 신광호, "양쪽 끝이 열린 원통형 자기 실드캔의 3차원 자계해석", 한국자기학회지, Vol. 21, No. 3, pp 99-103, 2011.
- [9]김성규, 허 진, 박포규, 정연춘, 김윤배, "비정질 연자성재료를 이용한 복층 차폐체의 저주파 자기장 차폐효과", 한국자기학회지, Vol. 8, No. 6, pp 341-345, 1998.
- [10]런던 금속거래소 <http://www.lme.com/>
- [11]K. Tashiro and I. Sasada, "A Low-Cost Magnetic Shield Consisting of Nonoriented Silicon Steel", IEEE Trans. Magn., Vol. 41, 2005. 무 방향성 전기 강판으로 구성된 저비용 자기 차폐
- [12]Vaino O. Kelpha, R. Peltonen and Borje Rantala, "The effect of shaking on magnetgic shields", IEEE Trans. Magn., Vol. 16, 1980. magnetgic 방패에 떨고의 효과
- [13] Chikazumi "Physics of Ferromagnetism", 2nd edition, p. 13, Clarendon press-oxford, 1997. 강자성의 물리학
- [14]김영학, "사각판재형 강재의 자기특성측정", Vol. 20, No. 3, pp 94-99, 2010.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 식견이 부족한 저를 항상 격려와 세심한 지도편달로 학문의 길로 이끌어 주신 배종일 지도교수님께 마음 깊이 감사를 드립니다. 아울러 바쁘신 중에도 논문심사를 맡아 많은 지도와 조언을 하여주신 권성열 교수님과 김영학 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한, 매학기 마다 큰 열정으로 심도 있는 강의와 지도를 해주신 부경대학교 전기공학과 교수님들께도 감사의 인사를 드립니다.

바쁜 직장 생활 중에도 학업에 전념할 수 있도록 많은 배려를 하여 주신 부산인력개발원 자동화제어시스템학과 교수님들과 모든 동료 교수님들께도 감사드립니다.

끝으로 저를 낳아 주시고 길러주신 부모님과 형, 누나, 사위의 건강과 미래를 늘 걱정해주신 장모님과 장인어른, 그리고 우리 이쁜 처제, 사랑이까지 모든분께 감사드리며, 이 작은 결실이 있기까지 따뜻한 웃음과 격려로 내조를 아끼지 않은 사랑하는 아내 소희진과 함께 이 기쁨을 나누고자 합니다.

여러분의 모두 늘 건강과 행복이 가득하고 평온하길 바랍니다.

2014년 1월

신 동 규 올림