

차폐재의 재료특성에 따른 60Hz ELF 자계차폐 효과분석

민석원, 송기현, 명성호*

soonchunhyang대학교 정보기술 공학부, 한국전기연구원

Investigation of shielding effects of 60Hz ELF magnetic fields on shielding material property

Suk-Won Min, Ki-Hyun Song, Sung-Ho Myung*

Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this paper, we have studied shielding characteristics of high conductivity or high permeability materials on ELF magnetic fields generated from single or three phase AC line. Permalloy has been selected as high permeability material and copper as high conductivity material. Four-plate shield (square section) was considered as a shielding shape. We found copper showed stable shielding effects more than permalloy.

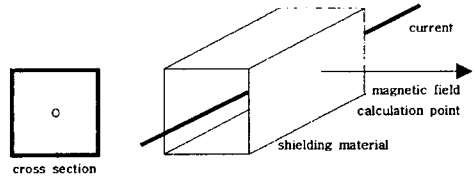


그림 1. 차폐재의 단면형상

1. 서 론

전자제 환경에 대한 인식이 날로 높아지면서 자계억제 방법에 대하여 기술적으로 가능한 방책과 효과에 관한 연구가 많이 행해지고 있다[1],[2].

자계 발생원으로 전력설비 형태를 분류하면 가공선, 지중선, 변전설비, 옥내배선 등으로 분류할 수 있으며 이들 각 형태에 대한 자계 저감방법으로는 전류 위상 관계의 조정에 의한 방법, 케이블의 twist선화, 평판 또는 원통형의 자성·비자성 자기 절드재를 이용한 차폐방법[3], 수동형 및 능동형 루프를 이용한 방법 등의 여러 방법이 제안되고 있다.

본 연구에서는 도전율이 높은 물질로 동을 선택하였고 투자율이 높은 물질로 니켈-철 합금인 퍼멀로이를 선택하여 이것들의 차폐특성을 검토하였다. 차폐형상은 직육면체형의 것으로 하였으며 자계발생원은 단상과 3상의 60Hz 교류 선전류원으로 하였다.

2. 차폐효과 계산

2.1 차폐재의 특성 및 형상

퍼멀로이를 차폐재로 사용하였을 경우 재료의 특성을 표 1과 같이 변화 시켜 계산하였고, 동은 비투자율 1, 비저항은 1.724μΩ-cm(도전율은 0.58004 X 10⁸S/m)로 하였다.

단상과 3상의 경우 모두 그림 1과 그림 2와 같은 직육면체 형태로 차폐를 하였으며, 직육면체는 80mm x 80mm x 1500mm 의 크기이다. 차폐재의 두께는 단상의 경우와 3상의 경우 모두 1.4mm로 하였다. 차폐효과는 차폐재의 표면에서부터 1cm 간격으로 최대 1.5m의 거리까지 계산하였다. 공급전원의 위치는 단상 선로일 경우 차폐재의 정중앙에 놓여있으며, 3상 선로는 그림 2와 같은 수평배열의 형태로 배치하였다.

인가전류는 차폐재가 없을 때 차폐재로부터 10cm 거리에서 100mG와 1,000mG가 발생하도록 전류값을 조정하였다. 인가된 전류값은 표 2에 기술하였다. 계산시에 선로의 길이가 차폐재의 길이와 같도록 한 것을 짧은 선로(short type)라 하였고, 차폐재의 길이에 3배 정도 길게 한 것을 긴 선로(long type)라고 하였다. 즉, 선로를 부분적으로 차폐한 경우와 선로의 길이만큼 차폐한 경우로 나누어 계산하였다.

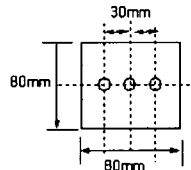


그림 2. 3상 수평배열 선로의 단면형상

표 1. 검토 재료의 비투자율 및 전도도

	퍼 멀 로 이 PC Type		퍼 멀 로 이 PB Type	
	100mG	1,000mG	100mG	1,000mG
비투자율	1000 /38000	1000 /8000	1000 /30000	1000 /12000
비저항	60 mΩ-cm	좌동	45 mΩ-cm	좌동

표 2. 인가된 전류

기준자계값	100mG		1000mG	
상별	단상	3상	단상	3상
짧은 선로	7.194A	17.959A	71.94A	179.594A
긴 선로	7.07A	18.194A	70.07A	181.946A

2.2 계산 이론

차폐와 관련한 지배 방정식은 다음과 같다. 암페어의 법칙으로부터, ∇×H=J+J_e 이다. 여기서 J는 전원전류 밀도이고 J_e는 와전류 밀도이다. 또한, B=μH, B=∇×A,

$E = -\nabla V - \frac{\partial A}{\partial t}$ 에서 변위전류를 무시하면,

$E = -\frac{\partial A}{\partial t}, J_e = \sigma E = -\sigma \frac{\partial A}{\partial t}$

이상의 식을 종합하여 A로 정리하면

$\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A = J - \sigma \frac{\partial A}{\partial t}$ 이다.

여기서 극저주파의 자계를 고려하면 $\frac{\partial}{\partial t} = j\omega$ 로 표현할

수 있고, $\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A = J - \sigma \frac{\partial A}{\partial t} = J - j\omega A$ 가 된다.

따라서 지배 방정식은 $j\omega A + \nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A = J$ 가 된다. 여기서 ω 는 전원전류의 각속도로 $2\pi f$ 이며 f 는 전원전류의 주파수이다. 또한 σ 는 차폐재의 도전율, A 는 벡터 포텐셜, μ 는 차폐재의 투자율이다.

이상의 방정식은 형상이 간단한 경우는 해석적으로 풀 수 있으나 복잡한 경우는 수치적으로 풀 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 경계 요소법을 이용하였다. 실제의 형상 그대로 3차원으로 계산하기 위해 경계 요소법 상용 패키지인 Faraday 3D를 사용하였다. 차폐의 정도는 다음의 차폐계수를 이용하여 표현하였다.

$$S = \frac{B_0 - B_i}{B_0} \times 100 \quad [\%]$$

여기서, B_0 는 차폐를 하지 않았을 때의 자속 밀도이고, B_i 는 차폐를 했을 때의 자속 밀도이다.

2.2 퍼멀로이와 동판의 계산 결과

차폐재료 조건으로 퍼멀로이 PC Type은 비투자율 1000, 8000, 38000의 세 가지로 저항율은 모두 $60\mu\Omega/\text{cm}$ (도전율은 $0.0166666 \times 10^8 \text{ S/m}$)로 하였으며 가상의 조건으로 비투자율 1000, 비저항은 무한대인 조건의 퍼멀로이 타입을 검토하였다. 또한 동은 비투자율 1, 비저항은 $1.724\mu\Omega/\text{cm}$ (도전율은 $0.58004 \times 10^8 \text{ S/m}$)로 하였다.

그림 3은 단상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 100mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type의 차폐효과를 보여주고 있다.

그림 3과 같이 비투자율이 1이고 도전율이 $0.58004 \times 10^8 \text{ S/m}$ 인 동은 와전류 유도에 의해 전 범위에서 안정된 차폐특성을 보이고 비투자율이 1000이고 도전율이 0 S/m인 가상의 물체는 자기저항이 낮은 특성을 이용한 차폐회로를 만들어 특정위치에서만 차폐특성이 매우 높았다. 도전율이 $0.0166666 \times 10^8 \text{ S/m}$ 이고 비투자율이 1000 이거나 38000인 퍼멀로이는 이 두 가지 특성을 어느 것도 만족시키지 못하며, 거의 차폐를 못하고 있다.

그림 4는 단상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 100mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type의 차폐효과를 보여주고 있다. 동은 단상 100mG short type과 같이 전 범위에서 안정된 차폐특성을 보이고 비투자율이 1000이고 도전율이 0 S/m인 가상의 물체는 특정위치에서만 차폐특성이 매우 높았다. 그러나 도전율이 $0.0166666 \times 10^8 \text{ S/m}$ 이고 비투자율이 38000인 퍼멀로이는 100mG와 유사하게 거의 차폐를 못하고 비투자율이 1000인 퍼멀로이는 오히려 자계가 증가하는 마이너스 차폐효과가 커짐을 보였다.

그림 5는 단상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 100mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type과 long type의 차폐효과를 비교하여 보여 주고 있다.

도전율이 있고 비투자율이 38000이거나 1000인 퍼멀로이의 전선선이 short type인 경우와 long type인 경우를 비교한 것이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 long type은 비투자율이 1000인 경우가 비투자율 38000인 경우보다도 차폐효과가 약간 높았으나 대체로 차폐효과는 크지 못했다. short type의 경우는 비투자율 38000인 경우는 거의 차폐효과가 없었으며 오히려 비투자율 1000인 경우는 마이너스 효과를 보였다.

그림 6은 단상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 1000mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type과 long type의 차폐효과를 비교한 것이다.

단상 1000mG의 경우는 그림 5의 100mG의 경우와는 달리 long type의 경우는 비투자율이 1000이거나 8000이거나 유사한 차폐효과를 보이고 있다. short type의 경우는 비투자율이 8000인 경우는 거의 차폐효과를 보이지 않고 비투자율이 1000인 경우는 100mG와 달리 전

영역에서 매우 큰 마이너스 차폐효과를 보이고 있다.

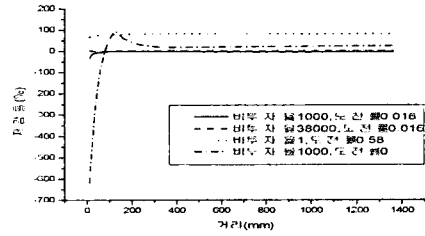


그림 3. 단상 100mG short type의 차폐효과

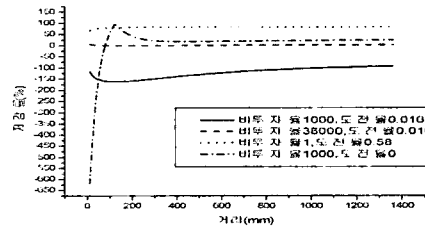


그림 4. 단상 1000mG short type의 차폐효과

그림 7은 3상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 100mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type의 차폐효과를 보여주고 있다.

비투자율이 38000이고 도전율이 있는 퍼멀로이의 경우는 단상의 경우와 같이 거의 차폐효과를 보이지 않고 있고, 동은 경우는 단상과 마찬가지로 안정한 차폐특성을 보이나 차폐효과는 단상의 80[%]보다 1/4 감소한 20[%] 정도를 보이고 있다. 또한 단상의 경우는 비투자율이 1000이고 도전율이 0 S/m인 가상의 물체는 특정위치에서만 차폐특성이 매우 높았으나 3상의 경우는 단상보다는 넓은 영역에서 차폐특성을 보이고 있다. 이에 반해 비투자율이 1000이고 도전율이 있는 퍼멀로이의 경우는 단상에서는 거의 차폐효과를 보이지 못하나 3상의 경우는 와전류 유도에 의해 차폐재 근접부근에서는 상당히 높은 차폐효과를 보이고 거리가 멀어짐에 따라 마이너스 차폐효과를 보이고 있었다.

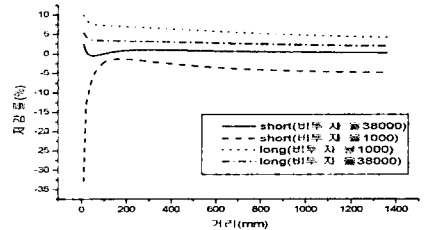


그림 5. 단상 100mG short type과 long type의 차폐효과 비교

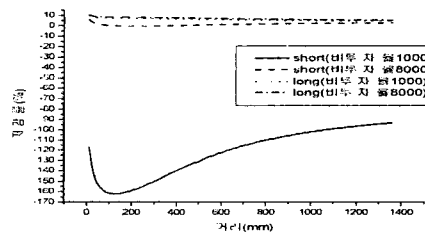


그림 6. 단상 1000mG short type과 long type의 차폐효과 비교

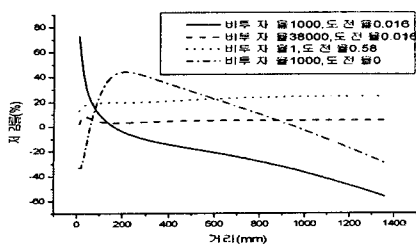


그림 7. 3상 100mG short type의 차폐특성

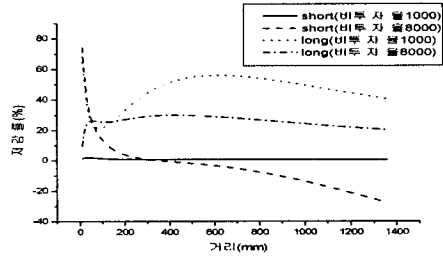


그림 10. 3상 1000mG short type과 long type의 차폐효과 비교

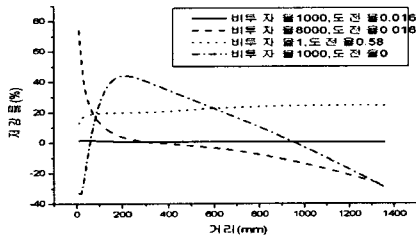


그림 8. 3상 1000mG short type의 차폐특성

그림 8은 3상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 1000mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type의 차폐효과를 보여주고 있다. 동의 경우와 비투자율이 1000이고 도전율이 0인 가상의 물체는 3상 100mG와 동일한 패턴을 보이고 있으나 도전율이 있고 비투자율이 1000이거나 8000인 퍼멀로이의 경우는 3상 100mG와 완전히 반대 현상이 일어나고 있었다.

그림 9는 3상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 100mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type과 long type의 차폐효과를 비교한 것이다.

도전율이 있고 비투자율이 1000인 퍼멀로이 경우에 long type에서는 전 영역에서 좋은 차폐효과를 보인 반면 도전율이 있고 비투자율이 38000인 퍼멀로이는 short type이거나 long type이거나 거의 차폐효과를 주지 못하고 있다. 도전율이 있고 비투자율이 1000인 퍼멀로이 경우에 short type은 차폐재 부근에서는 높은 차폐효과를 보이나 거리가 증가함에 따라 마이너스 효과를 보였다.

그림 10은 3상의 차폐재로부터 100mm 거리에서 1000mG가 발생되도록 전류값을 조정한 short type과 long type의 차폐효과를 비교한 것이다.

도전율이 있고 비투자율이 1000이거나 8000인 퍼멀로이 경우에 long type은 100mG와 유사한 패턴을 보였으나 short type의 경우는 100mG와 완전히 반대가 되어 비투자율이 8000인 경우가 차폐재 부근에서 차폐효과가 매우 높고 비투자율이 1000인 경우는 거의 차폐효과를 보이지 않았다.

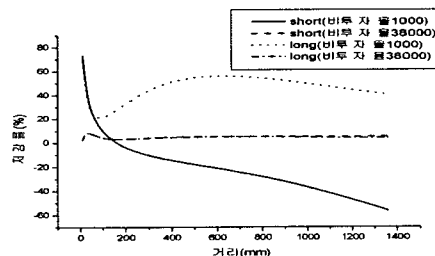


그림 9. 3상 100mG short type과 long type의 차폐효과 비교

3. 결 론

(1) 차폐재로 퍼멀로이, 동을 적용하고 형상은 직육면체로 하여 자기차폐 효과를 분석하였다. 자기 발생전원으로는 단상과 3상을 이용하였으며 3상의 경우는 수평배열을 하였다.

(2) 계산방법으로는 일반 3차원 경계요소법의 상용 프로그램인 Faraday 3D를 사용하여 자속밀도와 유도 와전류 밀도를 계산하였다.

(3) 자기차폐 특성은 극단적으로 투자율이 높은 자성 재료와 도전율이 높은 도전재료로 구분할 수 있다. 즉 투자율이 높은 자성재료는 자기저항을 변화시켜 차폐재로 자속이 집중하게 하여 다른 부분의 자속밀도를 낮추는 방법을 이용한 것이고 도전율이 높은 도전재료는 유도 와전류를 이용하여 자계를 저감하는 방법이다. 그러나 어떤 재료도 이와 같은 극단적인 특성을 가질 수는 없는 것으로 금번에 검토한 재료도 양쪽의 중간적 성격을 갖고 있어서 경우에 따라서 다른 차폐특성을 보였다. 따라서 차폐재를 설계할 때는 일반적인 규칙에 따라 설계하는 것은 가능하지 않을 것으로 생각되며, 케이스에 따라 사전에 검토를 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

(4) 차폐특성을 높이는 방법으로는 상황에 따라 자성 재료 특성과 도전재료 특성을 복합적으로 적용하는 다매질 재료를 검토하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Magnetic Fields Task Force, "Magnetic fields from electric power lines theory and comparison to measurement", IEEE Trans on Power Delivery, Vol 3, pp. 2127-2136, 1988.
- [2] Hayashi et al., "Examination of simple analytical method for calculation 60 Hz magnetic field in power substations", JIEE Japan, Vol 111-B, pp. 108-116, 1991.
- [3] K. Yamazaki, T. Iwamoto, T. Kawamoto, H. Fujinami, "Investigation of shielding method of ELF magnetic field generated from conductors", JIEE Japan, Vol 118-B, pp. 635-641, 1998.