# 연자성 재료의 전력 케이블 인근 자계 차폐 효과

**김상범**, 한승호, 송택호, 정문규
한전 전력연구원

# Magnetic Shielding with Soft Magnetic Materials in the Vicinity of Power Cables

Sang-Beom Kim, Seung-Ho Hahn, Taek-Ho Song, Moon-Kyu Jeong
Korea Electric Power Corporation Research Institute

**Abstract** - 상용 뮤-메탈, 방향성 및 무방향성 규소강판을 출발 재료로 하여 두께 0.1 mm의 차폐재 3 종류를 제조하여 전력 케이블 인근 자계 차폐 효과를 조사하였다. 3상 전류일 때, 차폐재 위치의 자기장이 100 μT 정도이면 뮤-메탈이(SF < 0.1) 가장 효과적이었고, 500 μT 이상이면 규소강판이(SF 0.3~0.4) 더 효과적이었다. 또한, 안쪽에 방향성 규소강판, 바깥쪽에 뮤-메탈을 함께 둘러쌀 경우 500 μT까지도 SF를 0.1 이하로 할 수 있었다. 한편, 단상 전류에서는 고투자율 소재의 적용은 오히려 자기장을 증가시키는 결과를 보였다. 이상의 결과는 자기장 강도 $H$의 크기에 따라 각 소재의 투자율 우열이 서로 다른 점과 이로 인해 차폐재 내에 유도되는 자기장 벡터와 원래의 자기장 벡터의 상호 상쇄 및 중첩 작용으로 설명할 수 있었다.

## 1. 서 론

전력설비로부터 발생되는 60Hz 극저주파 자기장을 저감하고자 하는 노력은 자기장의 전자기 기기에 대한 간섭뿐만 아니라 인체 영향 가능성 때문에 비롯되었다. 전자기 기기에 대한 간섭의 대표적인 사례가 0.5 μT의 미약한 자기장에서도 나타나는 CRT 모니터의 화상 떨림 현상이다.[1] 자계의 인체 영향에 대한 논란은 1979년 Wertheimer와 Leeper의 [2] 역학연구로부터 시작되어 이를 검증하는 연구가 이후에도 다수 수행되었지만 상반된 결과가 공존함으로써 60Hz 자기장의 인체 영향에 대한 논란은 지금까지 지속되고 있다.[3-5]

이러한 논란에 대처하는 방식은 국가별로 차이가 있으나, 선진국을 중심으로 '현명한 회피(prudent avoidance)' 원칙에 입각하여 가능한 한 자기장 발생량을 저감시키자는 정책이 전개되고 있다. 저감 방법은 지금까지 다양하게 제시되어 왔는데, 가공선의 경우 근본적으로 역방향 자기장을 발생시키거나, 3상 혹은 역상의 전선을 서로 가깝게 배치하는 등 벡터 상쇄 원리에 근본을 두고 있다.[6] 이와 다르게 전력케이블은 절연성이 확보되어 밀접하게 배치되기 때문에 전선의 재배치에 의한 저감 효과는 더 이상 기대하기 어렵다. 또한, 작업자나 일반인이 근거리까지 접근 가능하여 자기장 노출 수준도 매우 클 것으로 예상되어 그 저감 대책은 시급하다고 하겠다.

본 연구의 목적은 고투자율 재료를 사용하여 전력 케이블을 둘러쌈으로써 자기장을 효과적으로 차폐하는 기법을 확립함에 있다. 차폐재의 차폐 효과는 재료의 투자율이 높을수록, 전기전도도가 클수록 커지므로, 본 연구에서는 현재 상용화된 금속판재 중 투자율이 높은 니켈계 뮤-메탈과 철계 규소강판에 대한 차폐 효과를 비교하고, 자기장 저감 목표치에 따라 경제적인 저감 방법을 구현할 수 있도록 하는데 부가적인 목적을 둔다.

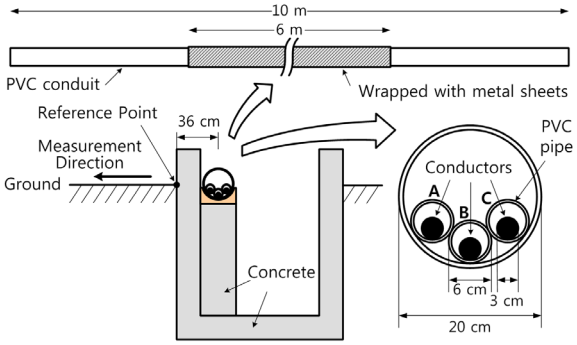
## 2. 실험 방법

### 2.1 차폐재 제조

폭 20 cm인 상용 금속 판재를 출발 재료로 하여 압연 및 고온열처리 과정을 거쳐 두께가 0.1 mm 내외인 뮤-메탈, 방향성 규소강판, 무방향성 규소강판 등 3 가지 종류의 차폐재를 제조하였다. 방향성 규소강판은 길이방향과 자화용이축을 일치시켜 그 방향으로 매우 좋은 투자율 특성을 보이도록 한 것이다. 무방향성 규소강판과 뮤-메탈은 모든 방향으로 등방적 투자율 특성을 갖는다. 또한 비교를 위하여 0.1 mm 두께의 동판을 직접 구매하여 사용하였다.

### 2.2 차폐효과 측정

차폐재의 차폐 효과 확인을 위하여 그림 1에 보인 바와 같이 간이 실증시험 설비를 구축하였다. 폭과 깊이가 각각 1 m인 콘크리트 지중 공간을 만들고 길이 10 m, 직경 20 cm인 PVC 관 속에 3 가닥의 케이블을 배치하였다. 발생 자기장의 크기는 3상 도체에 흐르는 전류의 크기를 변화시킴으로써 조절하였다. 차폐재 적용 전과 후의 자기장을 측정하여 SF(shielding factor)를 산출하였으며, PVC 관의 가운데 6 m 부분을 차폐재로 감았다. SF는 차폐재가 있을 때 자계 크기와 없을 때 자계 크기와의 비율로 정의한다. 이때 PVC 관의 중심에서 36 cm 떨어진 지면을 기준점으로 삼고, 지면을 따라 거리별로 자기장의 크기를 측정하였다. 자기장 측정기는 미국 Enertech 사의 모델명 EMDEX II를 사용하였다. 표 1에 시험 조건을 요약하였다. 이때 차폐재가 위치한 곳의 계산 자기장 크기는 각 도체가 무한직선임을 가정하고 가해준 전류 크기를 기준으로 관의 중심에서 측정 방향으로 10 cm 되는 점의 자기장을 계산한 값이다.




<그림 1> 시험설비 개요

<표 1> 차폐 시험의 자기장 조건과 도체의 전류 크기

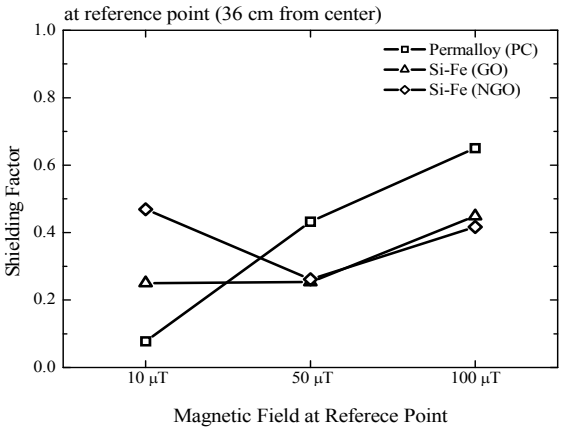
| 도체의 전류 크기 (A) | | | 기준점 위치 측정 자기장 (μT) | 차폐재 위치 계산 자기장 (μT) |
|---|---|---|---|---|
| A | B | C | | |
| 63 | 61 | 74 | 10.7 | 90 |
| 328 | 346 | 344 | 50.9 | 490 |
| 660 | 647 | 650 | 99.8 | 1000 |
| 0 | 0 | 20 | 11.5 | 24 |
| 0 | 0 | 199 | 89.7 | 240 |

## 3. 결과 및 고찰

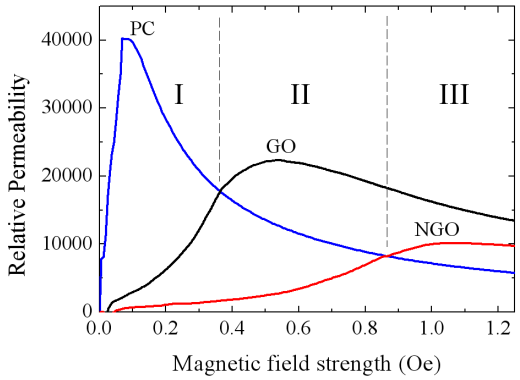
그림 2는 기준점 자기장 크기에 따른 각 차폐재별 SF를 보인 것이다. 기준점 자기장이 10 μT일 때 PC는 SF 0.1 정도로 90% 이상 자기장을 차폐하고 있고, GO가 SF 0.3, NGO는 SF 0.5 정도의 차폐 효과가 있음을 알 수 있다. 하지만, 50 μT 이상으로 자기장이 커지면 GO와 NGO의 차폐 효과가 PC보다 좋아지며, 이 둘은 서로 비슷한 차폐 효과를 보인다. 또한, GO를 안쪽에, PC를 바깥쪽에 2중으로 차폐재를 둘러쌌을 경우에는 50 μT에서도 SF가 0.1 정도로 매우 효과적인 차폐가 가능하였다. 이상의 결과는 자기장 강도에 따른 소재별 투자율의 차이 때문으로 설명된다. 코일형 차폐재에서 5 mm x 100 mm 크기로 각각 추출한 시편에 대하여 $H$ 값에 따른 투자율 곡선을 그림 3에 보였다. I 영역에서는 PC의 투자율이 셋 중 가장 높게 나타나며 최대투자율도 40,000 정도로 매우 크다. II, III 영역은 GO, NGO 등 규소강판이 PC보다 투자율이 더 높은 영역이며, GO의 경우 최대투자율이 20,000을 상회하는 값을 보이고 있다.

이때 GO의 투자율은 자화 특성이 우수한 방향으로 측정한 것으로써 3차원적으로 효과가 적용되는 실제 차폐 상황을 대변하지는 못한다. 하

지만, 기준점 자기장 10 μT에서 NGO보다 더 우수한 차폐 특성을 보인다는 점은 GO의 큰 장점이라고 할 수 있다.



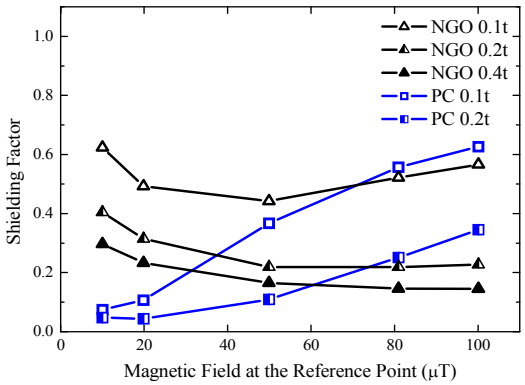

〈그림 2〉 자기장 강도 H에 따른 차폐재별 투자율 변화




〈그림 3〉 자기장 강도 H에 따른 차폐재별 투자율 변화

동일한 맥락에서 GO와 PC를 함께 둘러쌀 경우의 차폐 효과를 설명할 수 있다. 그림 2에서 기준점 자기장이 50 μT일 때, GO 단독으로는 SF가 0.25 정도이지만 바깥층에 PC를 한 겹 더 둘러싸면 SF는 0.1 정도로 차폐 효과가 대폭 향상된다. 이는 1차로 규소강판에 의해 자기장이 약화되고, 2차로 약화된 자기장을 PC로 감소시키는 상황이 되어 자기장 강도 $H$에 따른 각 소재의 차폐 효과를 극대화시키는 방법이 된다.

그림 4는 무방향성 규소강판과 permalloy의 두께에 따른 차폐 효과를 보인 것이다. 기준점에서의 자계 크기에 따라 차폐율은 크게 차이나고 있으며, 일반적으로 두께가 두꺼워질수록 차폐율은 떨어지고 있음을 알 수 있다. 하지만 두께가 2배, 4배 증가하더라도 차폐 효과는 적은 비율로 향상되고 있다. 동일한 두께의 두 차폐재를 비교하면 80 μT 이상에서 무방향성의 차폐 효과가 permalloy를 능가하고 있음을 알 수 있다.




〈그림 4〉 차폐재 두께와 차폐 효과

## 4. 결 론

두께 0.1 mm의 자성 금속 판재로 전력케이블을 둘러싸는 방법을 통하여 자기장 차폐 효과를 조사하였다. 3상 전류일 때 자기장의 크기가 작을 경우에는 뮤-메탈의 차폐 효과가 가장 좋았으나, 자기장이 커질수록 규소강판의 차폐 효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 이는 $H$가 작은 영역에서는 뮤-메탈의 투자율이 크지만, 큰 $H$에서는 규소강판의 투자율이 더 크기 때문이다. 이러한 점을 이용하여 안쪽에 규소강판, 바깥쪽에 뮤-메탈을 함께 둘러쌈으로써 강한 자기장에 효과적인 규소강판과 약한 자기장에 효과적인 뮤-메탈의 차폐 특성을 동시에 기대할 수 있어 높은 $H$ 값에서도 우수한 차폐 효과를 거둘 수 있었다. 이상의 결과는 와전류에 의해 발생된 자기장과 원래의 자기장 벡터의 상호 작용으로 설명할 수 있다. 따라서 통상의 배전급 전력케이블 부하 조건에서는 규소강판이 저렴하면서도 더욱 효과적인 차폐재임을 확인할 수 있었다.

## [참 고 문 헌]


[1] B. Banfai, G. G. Karady, C. J. Kim, and K. B. Maracas, "Magnetic field effects on CRT computer monitors", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 15, no. 1, pp. 307-312, January 2000.

[2] N. Wertheimer and E. Leeper, "Electrical wiring configurations and childhood cancer", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 111, pp. 273-284, 1979.

[3] D. A. Savitz, H. Wachtel, F. A. Barnes, E. M. John, and J. G. Tvrdik, "Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hertz magnetic fields", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 128, pp. 21-38, 1988.

[4] S. London, D. Thomas, J. Bowman, E. Sobel, and J. Peters, "Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 134, pp. 923-937, 1991.

[5] M. Feychting and A. Ahlbom, "Magnetic fields and cancer in people residing near Swedish high-voltage power lines", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 138, pp. 467-481, 1993.

[6] Electric Power Research Institute, Magnetic field management for overhead transmission lines: potential options for low field designs, TR-104413, pp. 2-15-2-48, September 1995.