

**μ-metal을 이용한 765kV 송전선의 자계 차폐에 관한 연구**

이승철\*, 장용무\*, 이방욱\*, 김정한\*\*, 구자윤\*  
한양대\*, 현대중공업\*\*

**The Shielding of Magnetic field of 765kV transmission line by use of μ-metal**

Seung-Chul Lee\*, Yong-Moo Chang\*, Bang-Wook Lee\*, Jung-Han Kim\*\*, Ja-Yoon Koo\*  
Hanyang University\*, Hyundai Heavy Industries co.\*\*

**Abstract** - 2000년 대 이후 송전선의 상태 및 송전선 주변 환경을 감시하기 위한 각종 센서들을 하나의 시스템으로 통합하여 실 선로에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 최근 765kV급 송전선을 감시하기 위한 통합 센서 시스템 개발을 진행 중에 있다. 이를 위해서는 송전선로에서 발생하는 자계로부터 센서 통합 시스템을 보호하기 위한 자계 차폐에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 상용 주파수에서 약 80,000[H/m]이상의 투자율( $\mu_r$  : relative permeability)를 갖는 강자성체인 μ-metal을 사용하여 765kV급 송전선(2,000A/single phase)에 대한 차폐율을 연구하였고, 이를 위해 μ-metal의 차폐율을 검증할 수 있는 magnetic probe를 자체 설계 제작하였다. 그 결과 magnetic probe에 의해 측정된 자계의 크기 및 분포를 통해 μ-metal의 layer의 개수에 따라 변화하는 자계 차폐율을 분석할 수 있었다.

**1. 서 론**

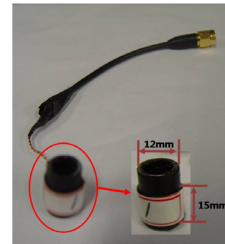
최근 미국, 유럽 등에서 발생했던 대규모 정전 사례를 통해 알 수 있듯이, 국가의 기간망을 형성하는 전력 설비는 사고 발생시 복구에 많은 시간과 비용이 소요되어 사회적/경제적 파급효과가 대단히 크다. 이에 따라 신뢰성 높은 양질의 전기에너지와 계통 운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되어 전력설비의 실시간 상태를 감시할 수 있는 센서장치의 개발과 이를 유무선 통신네트워크를 통해 모니터링하는 센서네트워크 구축 기술이 필수적이다. 따라서 현재 전력기기와 센서 및 센서 네트워크가 통합된 smart grid의 개발에 대한 연구가 미국에서 가속화되고 있다.[1] 그러나 대전력용 전력기기의 상태를 감시하기 위한 센서 시스템은 미소 전력으로 구동되기 때문에, 송전선 설비에서 발생하는 강전자계에 의한 센서의 오동작, 아크방전의 발생 및 유도뢰에 의한 센서의 파손 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 전력기에서 지속적으로 발생하는 강자계로부터 센서 장치들의 오동작을 방지하기 위해 자계 차폐가 우선적으로 고려되어야만 한다. 이러한 강자계를 차폐하기 위한 차폐 재료로는 permalloy와 μ-metal 등의 강자성체 재질이 효과적이다. permalloy의 경우 μ-metal과 마찬가지로 투자율은 크다는 장점이 있지만, μ-metal보다 연성이 낮아 깨지기 쉬우므로 가공이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서 permalloy와 투자율이 비슷하고 가공성은 우수한 μ-metal을 사용하였다. 센서 시스템의 자계 차폐를 위해 multi-layer 차폐 방식을 적용하였으며, multi-layer 차폐 효과를 증명하기 위해 자체 제작한 multi-layer 차폐함이 강자계의 영향으로부터 센서를 보호할 수 있도록 하였다. 또한 국소 부위 자계 측정에 용이한 magnetic probe를 자체 설계 제작하여 multi-layer μ-metal 외함 내부의 자계분포와 모의 송전선 주변의 자계분포를 측정하였다.[2,3]

**2. 실험방법**

**2.1 Magnetic Probe**

본 연구에서는 <그림 1>과 같이 자계를 측정할 수 있는 magnetic probe를 설계 제작하였다. 상용 자계 측정 장비의 magnetic probe는 국소 부위의 자계 측정에 어려움이 있다. 본 연구를 위해 자체 제작된 magnetic probe는 원통형의 구조(length: 15mm, diameter: 12mm)로서 상용 자계 측정 장비에 비해 자계 측정의 분해능을 향상시켜 약 15mm<sup>3</sup> 이내의 범위까지 측정 가능하였다.



**<그림 1> Magnetic probe**

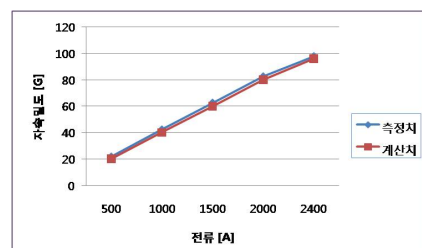
자체 제작한 magnetic probe의 신뢰성을 확인하기 위해 상용 자계 측정 장비와 측정 결과를 비교하였다. <표 1>은 magnetic probe의 측정 결과와 상용 자계 측정 장비로 측정된 결과이며, 이를 통하여 1[G]=46.812[uV]과 같은 비례식을 산출하였다.

**<표 1> 1000[A]에서 상용 자계 측정 장비와 자체 제작한 magnetic probe 측정결과 비교**

거리[mm]	자체 제작 magnetic probe (1[G]=46.812[uV])		상용 자계 측정 장치
20	5.106 [mV]	109.7 [G]	109 [G]
50	1.981 [mV]	42.32 [G]	40.1 [G]
100	1.112 [mV]	23.75 [G]	19.5 [G]

또한, 자체 제작 magnetic probe에 의한 측정치를 비례식에 의해 변환한 값과 식 (1)에 의해 구해진 자속 밀도의 계산치의 비교는 <그림 2>에 나타내었으며, 측정범위 2~100[G]에서 약 ±5%의 오차가 발생함을 확인 하였다.[4]

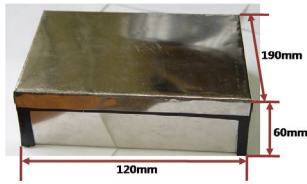
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \tag{1}$$



**<그림 2> Magnetic probe의 측정치와 계산치**

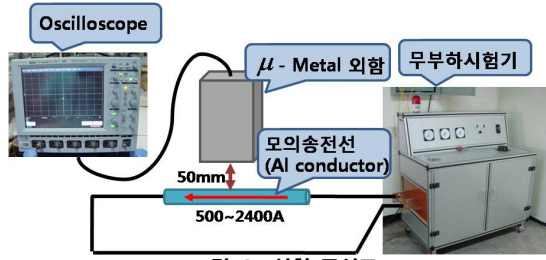
**2.2 실험 구성 및 방법**

송전선에서 발생하는 자계영향을 확인하기 위하여 2500A급 무부하시험기로 송전가공선과 유사한 크기의 알루미늄 도체(diameter: 30mm, length: 1m)에 60Hz, 500A~2400A의 전류를 발생시켜 자계를 발생하였고, 발생된 자계를 차폐하기 위해 <그림 3>과 같이 μ-metal 외함을 제작하였다.



〈그림 3〉 μ-metal 외함

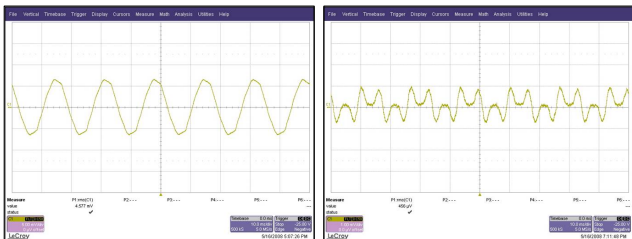
〈그림 4〉와 같이 모의 송전선에서 50mm 거리에 μ-metal 외함을 위치시키고 μ-metal 외함 내부의 magnetic probe의 위치(distance: 0~80mm)에 따라 변화되는 자계의 측정치를 오실로스코프(500MHz, 2GS/S)를 통해 측정하였다. 또한 multi-layer 차폐의 효과를 측정하기 위해 μ-metal 외함의 차폐층의 개수를 각 none, 1-layer, 2-layer, 3-layer으로 변화시키며 실험하였다.



〈그림 4〉 실험 구성도

### 2.3 자계 측정 및 multi-layer 차폐의 차폐를 계산

알루미늄 도체에 2400[A] 인가 후 50mm 떨어진 거리에서 magnetic probe를 통해 측정된 신호의 오실로스코프의 파형은 〈그림 5〉와 같으며, 〈그림 5 (a)〉는 미 차폐시의 파형이고 〈그림 5 (b)〉은 2-layer μ-metal 차폐 시의 파형이다. 〈그림 5 (a)〉의 측정 전압은 4.577[mV]이고, 〈그림 5 (b)〉는 μ-metal로 차폐로 인한 파형의 왜곡이 생겨 0.456[mV]가 측정되었다. 이것은 μ-metal로 인해 약 93%의 자계 차폐가 되었음을 알 수 있다.



(a) 미차폐시 (b) 2-layer μ-metal로 차폐시

〈그림 5〉 모의 송전선에 2400[A] 인가 후 50mm 거리에서 magnetic probe의 측정 신호

〈표 2〉에 모의 송전선에서 발생하는 자계를 차폐하지 않을 경우, 자계 발생원으로부터의 거리와 입력 전류의 크기 변화에 따라 magnetic probe에 의해 측정된 자계의 측정치를 나타내었다.

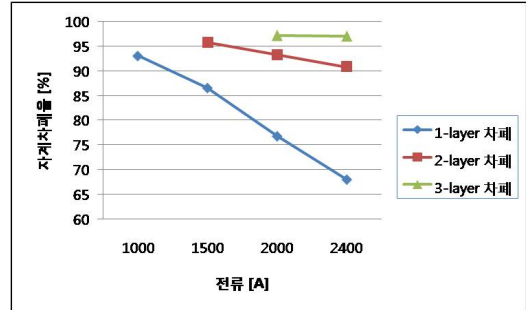
〈표 2〉 모의 송전선 부근 자계 분포

전류[A] 거리[mm]	500	1000	1500	2000	2400
50	21.774[G]	42.319[G]	62.569[G]	82.508[G]	97.707[G]
70	15.224[G]	29.786[G]	43.391[G]	57.356[G]	69.780[G]
100	11.381[G]	21.748[G]	31.159[G]	41.516[G]	49.802[G]
130	8.691[G]	16.572[G]	23.367[G]	31.525[G]	37.698[G]

〈표 3〉과 〈그림 7〉은 차폐 layer 개수에 따른 자계의 차폐율을 나타낸다. 단, 전류 1500A인가 후 3-layer 차폐를 실시하였을 경우와 1000A인가 후 2-layer, 3-layer 차폐를 실시하였을 경우에는 μ-metal 외함의 내부에 magnetic probe의 측정범위보다 낮은 자계가 형성되어 측정이 불가능하였다.

〈표 3〉 multi-layer 차폐에 대한 자계 차폐율

전류[A] 차폐 layer의 개수	1000	1500	2000	2400
1	93.08[%]	86.57[%]	76.77[%]	67.97[%]
2	측정불가	95.81[%]	93.29[%]	90.84[%]
3	측정불가	측정불가	97.21[%]	97.08[%]



〈그림 6〉 다중차폐에 대한 자계 차폐율의 변화

〈그림 6〉과 같이 차폐 layer의 개수에 따라 자계 차폐율의 감소 비율은 다르지만 각각의 경우에 일정한 비율로 차폐율이 감소함을 확인할 수 있었다.

### 3. 결과 및 검토

본 논문에서는 2~100[G]의 범위 내에서 ±5%의 오차율을 가진 magnetic probe를 자체 설계 및 제작하여 자계 발생원과의 거리와 인가 전류의 크기에 따라 변화하는 자계분포 및 μ-metal의 layer 개수에 따른 차폐율을 측정하였다. 그 결과는 아래와 같다.

1. μ-metal을 이용하여 약 100[G]의 자계를 약67%~97%까지 차폐하였다.
2. μ-metal의 layer 개수에 따라 자계 차폐율의 감소폭이 10.2%~0.13%까지 변화하였다.
3. 40[G]이하의 1-layer 차폐, 40~100[G]사이에는 2-layer, 3-layer 차폐가 자계를 90%이상 차폐가 가능하다.

향후, magnetic probe의 감도 및 측정 범위 증가 등의 성능 향상을 통해 사고 전류시 발생하는 강자계 내에서 μ-metal의 layer 개수별 차폐율의 선형적 감쇠 비율과 차폐 외함의 형태에 따른 자계 차폐율의 변화율을 확인하고자 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업 전력 IT 국가전략과제 “능동형 텔레메트릭스 전력 설비 상태 감시 시스템 개발” 및 퓨전전기기술 응용연구센터로부터 부분적으로 지원 받은 연구로서, 이에 감사드립니다.

#### [참고 문헌]

[1] Mark McGranaghan, “Developing the Smart Grid”, 전력IT Conference 2008 발표자료. The Future of Power Grid : Intelligent, Smart and Green, pp.11-45, 2008  
 [2] John H. Morecroft, Alva Turner, “The shielding of electric and magnetic fields”, Proceedings of the IRE, Vol.13 No. 4, pp.477-505, 1925  
 [3] Yamazaki K., Kato K., Muramatsu K., Haga A., Kobayshi K., Kamata K., Fujiwara K., Yamagushi T., “Incremental permeability of mu-metal in low magnetic fields of the design of multilayer-type magnetically shielded rooms”, Magnetics IEEE Transaction, Vol. 41 No. 10, pp.4087-4089, 2005  
 [4] William H. Hayt Jr, John A. Buck “Engineering Electromagnetics”, Mc Graw Hill, 6th Edition, pp.282-333, 2001