

아몰포스선을 이용한 전력선의 자계분포

Magnetic Field Distribution of Power Line Using Amorphous Wire

森山 智廣^{*}, 趙 孟佑^{**}, 匹田 政幸^{*}, 洪 眞雄^{*}
(T. Moriyama^{*}, M. W. Cho^{**}, M. Hikita^{*}, J. W. Hong^{*})

Abstract

To investigate the magnetic field distribution of power line, we used amorphous wire sensor. And we discuss extremely low frequency magnetic field distribution dependent upon arrangement of power line and shielding pipe made from iron or aluminum materials by both measurement and FEM(Finite Element Method) analysis. Applying current of single phase 60 [Hz] 15 [A] is supplied to copper wire coated enamel resin. As the results, we confirmed that linear characteristics of amorphous wire sensor is very excellent and measurement value agrees with FEM calculation. Magnetic field distribution due to shielding materials is changed by permeability and conductivity.

Key Words : magnetic field distribution, power line, amorphous wire, FEM, shielding materials

1. 서론

전력산업의 자유화로 전원의 분산화가 진행되고, 전력설비의 형태는 다양화 및 콤팩트화가 이루어지고 있다. 송배전분야에서는 대용량 지중 케이블이 주목되며 절연 성능이 높은, 가스 송전 전선로(Gas Insulated Transmission Line)의 실용화가 진행되고 있다. 변전 분야에서는 가스 절연 개폐장치(Gas Insulated Switchgear)의 도입으로 변전설비의 콤팩트화가 이루어지고, 변전설비는 옥외에서 옥내로, 지하로 이행하고 있다. 그리고 최근 환경에 대한 관심이 높아지면서 전력설비 주변의 전자환경이 문제로 대두되고 있다. 특히 상용주파수를 포함한 초저주파수(Extremely Low Frequency) 전자계에서 인체의

영향과 다른 전력기기에 대한 영향이 검토되고 있다. ELF 자계에 대한 가이드라인이 국제 비전리 방사방호위원회(ICNIRP)에서 제정되고 있다. 그런데 전력설비 주변 자계의 세기 범위는 매우 넓기 때문에 일반적으로 search coil형, Hall 소자형, flux gate 형 등이 사용되고 있으나, 전력설비 주변에서의 ELF 자계는 미약하므로 이것을 정확히 측정하기 위해서는 여러 가지의 개량이 필요하다. 따라서 아몰포스(Amorphous) 자성체의 자기임피던스효과를 이용한 자기검출방법을 이용하여 전력선의 자계분포를 측정하였다. 특히 지중전력선 및 옥내배선을 모의한 선전류를 포함한 금속관(철관, 알루미늄관) 주변의 자계분포에 미치는 영향을 관의 재질 및 배치에 대하여 실험한 결과를 보고한다.

* : 광운대학교 전기공학과
(서울시 노원구 월계동 광운대학교,
Fax: 02-915-4630
E-mail : ealab@daisy.gwu.ac.kr

** : 日本 九州工大 電氣工學科
(Fax: 81-93-884-3241
E-mail : bb9834tm@tobata.isc.kyutech.ac.jp)

2. 실험

2.1 아몰포스 자성체

아몰포스 자성체는 결정질 자성체의 단결정이 규칙적인 원자배치를 하고 있는 것에 대하여 무질서한

원자배열을 갖는 인공물질이다. 아몰포스 자성체는 자성 천이금속(철, 코발트, 니켈)과 반금속을 원자량 비율로 하여 원료를 초급냉하여 리본이나 와이어, 박막의 모양으로 만들거나 자성천이 금속과 희토류 금속의 합금을 스퍼터나 증착, 도금 등의 방법으로 박막을 작성한다. 아몰포스 합금은 결정구조를 갖지 않으므로 보통의 결정합금과 비교해서 자기적 성질과 기계적 특성 그리고 화학적 성질이 매우 우수하며, 본 실험에 사용된 아몰포스 자성선(Amorphous wire ; AW)은 용융된 금속을 급속히 냉각시켜서 만들며, 특징은 다음과 같다.

- 1) 투자율이 크기 때문에 고감도의 자계 검출이 가능하다.
- 2) 보자력이 작아 측정에 따른 직선성이 우수하다.
- 3) 전기저항률이 크기 때문에 와전류 손실이 적고, 고주파수 영역까지 고투자율을 유지한다.
- 4) 기계적 강도가 좋고, 내식성이 매우 우수하다.

2.2 측정 원리

아몰포스 선은 여러 가지 특징을 갖는 아몰포스 자성체를 선으로 만들고 자기센서로 이용하였다. 아몰포스 선의 축방향으로 외부에서 자계가 인가되면, 선의 원주 방향의 투자율이 변화하여 아몰포스 선의 임피던스가 변한다. 이 임피던스 변화를 검출해서 인가 자계강도를 측정하며, 그림 1은 아몰포스 선을 이용한 계측원리를 나타내고 있다.

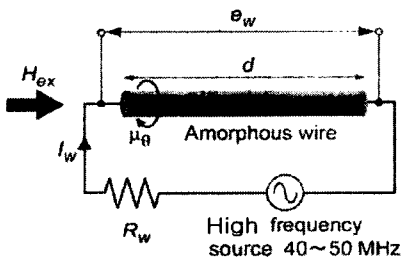


그림 1. 아몰포스 선을 이용한 측정원리.

Fig. 1. Measuring principle using amorphous wire.

아몰포스 선을 이용한 센서에 발생한 전압 e_w 는 식(1)과 같다.

$$e_w = R_w \cdot I_w + \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{dI_w}{dt} \quad (1)$$

단. R_w : 아몰포스 선의 전기저항. I_w : 아몰포스 선의 교류유입전류. μ_0 : 아몰포스 선 원주방향 투자율. d : 아몰포스 선의 길이 이다.

교류전류의 주파수가 높아지면 식(1)의 두 번째항의 임피던스 성분이 다음과 같이

$$R_w \cdot I_w < \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{dI_w}{dt} \quad \text{로 되어 식(1)은 식(2)로 된다.}$$

$$e_w = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{dI_w}{dt} \quad (2)$$

식에서 선 축방향의 자계 H_{ex} 가 인가되면, 원주방향 투자율이 변화하고 따라서 선간 전압도 변한다. 인가 자계가 변하면 아몰포스선의 전압 변화를 검출할 수 있어 자계를 측정한다.

출력전압은 주파수와 투자율의 함수로 되며, 이 현상을 magneto impedance (MI)효과라고 하며, 정되는 식(3)과 같다.

$$e_w = Z[\omega \cdot \mu_0] \cdot I \quad (3)$$

MI 효과는 아몰포스 선을 장력 열처리하여 얻을 수 있으며, 장력 열처리에 따라 MI효과도 변한다.

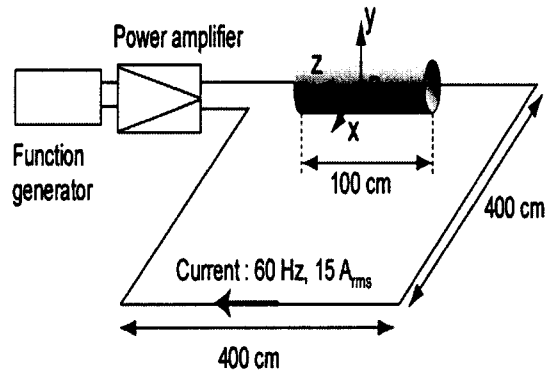


그림 2. 자계 측정회로.

Fig. 2. Measuring circuit of magnetic field.

자계계측회로를 이용하여 자계특성을 측정하였는데, 측정방법은 부하전류가 흐르는 선 주위의 자속밀도를 센서로 계측하는데, 이때 차폐 파이프 중앙에 부하전류가 흐르는 선을 배치하고 차폐 파이프로부터 일정한 위치에서 파이프가 없을 때의 자속밀도 B_0 와 파이프가 있을 때의 자속밀도 B_1 를 측정하여 이들의 비로부터 자계강도의 변화를 백분율로 계산한다. 그리고 이때 사용된 차폐파이프는 금속관으로

알루미늄관과 철관을 사용했으며, 또한 파이프의 단면을 x, y축으로 하고, 파이프 중앙의 좌표를 원점으로 하여 케이블을 놓고 y축을 변화시키면서 편심의 크기를 파이프 반경에 대한 케이블로 부터 파이프 중심과의 거리를 백분율로 나타낸다.

2.3 자계분포의 수치해석

컴퓨터를 이용한 수치해석은 최종적으로 현장의 환경에서 측정하는 것이 가장 이상적 이지만, 임의 조건을 바꾸어서 환경의 변화를 만들면서 최적의 조건을 추구하는 것도 매우 중요하다. 따라서 수치해석은 유한 요소법 수치해석 소프트웨어 안시스(사이버네틱시스템)를 이용하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 수치 해석

그림 3은 수치해석 소프트웨어를 이용하여 전력 케이블이 중앙에 위치하고 무한장을 모의한 2차원 평면장을 나타낸 그림으로 차폐파이프의 두께와 반경은 각각 4 [mm], 46 [mm]이고 대칭성이 있음을 확인할 수 있다.

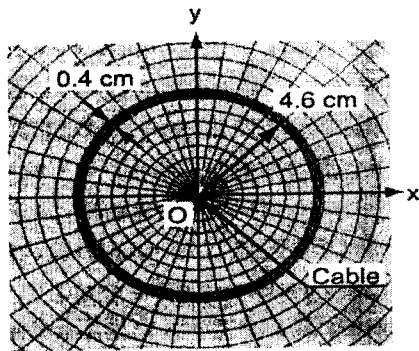


그림 3. 유한요소법 (케이블중앙).

Fig. 3. FEM (cable of center).

그림 4는 중앙으로부터 y축으로 45 [mm] 이격된 위치에 케이블이 있을 때의 자계분포를 나타낸 그림으로 와전류에 의한 자계분포가 나타남을 확인할 수 있다. 그리고 금속관의 와전류에 의한 영향을 조사하기 위하여 관의 두께의 영향을 5분할하였고, 자계가 무한으로 감쇄하는 무한 경계 영역으로 하였다. 철의 비 투자율 100, 도전율 1×10^5 [S/cm]의

값을 그리고 알루미늄의 비투자율 1, 도전율 3.5×10^5 [S/cm]의 값을 이용하였다

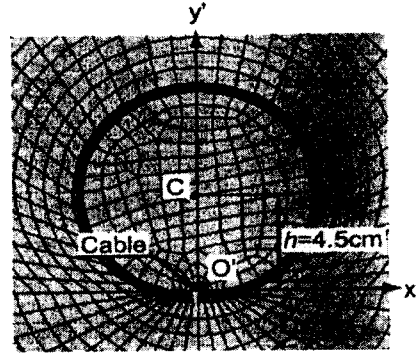


그림 4. 유한요소법(중앙에서 45 [mm]).

Fig. 4. FEM (distance 45[mm] from center).

그림 5는 요소분할에 따라 계산의 오차가 발생하므로 본 해석방법을 검증하기 위하여 차폐관이 없는 경우 자계분포의 해석 결과를 암페어의 법칙에 의한 계산결과와 비교해 보았다. 그림에서 알 수 있듯이 전력케이블 주변의 실측 자계 측정값과 암페어의 법칙에 의한 계산결과와 수치해석에 모델로 이용된 결과와도 매우 잘 일치함을 확인할 수 있다.

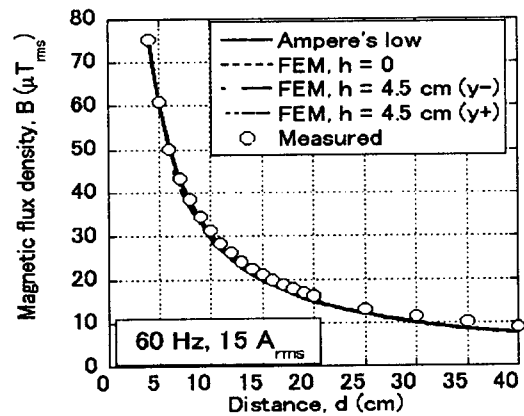


그림 5. 계산값, 측정값 및 유한요소 값의 비교.

Fig. 5. Comparison with value of calculated, measured and FEM.

3.2 차폐관의 영향

전기 환경에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 지

중 전력선과 옥내배선은 케이블의 보호를 위해 금속관에 넣어 사용하는데, 전력선 주위에 금속관이 존재하면 자성재료에 의한 자속 일그러짐 작용 및 도전재료의 와전류에 의한 유도자계로 자계분포가 변한다.

그림 6은 전력선 주변에 설치된 금속관(철, 알루미늄)이 자계분포에 미치는 영향을 조사하기 위하여 케이블을 차폐관 중앙에 배치하고 y축 방향의 길이를 변화시키면서 자속밀도를 실험한 그림으로 차폐관의 재질에 관계없이 일정함을 알 수 있다.

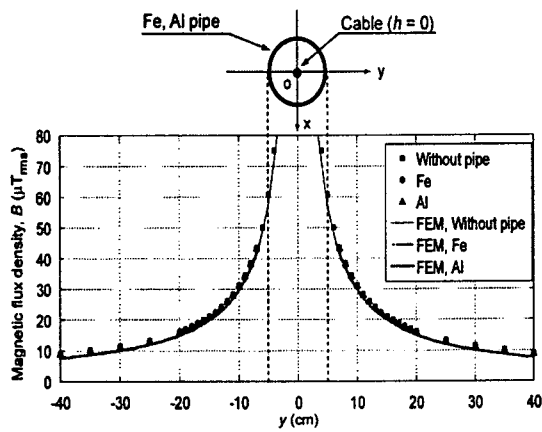


그림 6. 자속밀도 분포(중앙).
Fig. 6. Distribution of magnetic field (center).

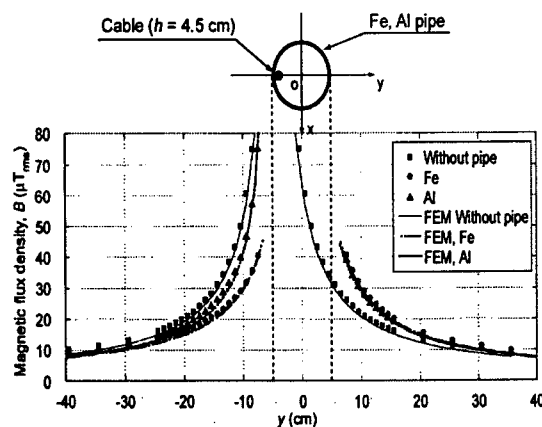


그림 7. 자속밀도 분포(45[mm]).
Fig. 7. Distribution of magnetic field (45[mm]).

4. 결론

전력선 주위의 자계분포를 조사하기 위하여 아몰포스 자성체의 자기임피던스효과를 이용한 자기검출 방법을 이용하여 지중전력선 및 옥내배선을 모의한 선전류를 포함한 금속관(철관, 알루미늄관) 주변의 자계분포에 미치는 영향을 관의 재질 및 배치에 대하여 실험한 결과 아몰포스 센서의 직선성이 우수하고, 실측 자계값과 모델에 대한 수치해석의 결과와도 매우 잘 일치함을 확인하였다. 그리고 차폐관의 자계분포는 투자율과 물성에 따라 변하고 특히 철은 자속편왜효과, 알루미늄은 와전류의 영향이 지배적이다.

참고 문헌

- [1] 毛利 佳年雄; アモルファス磁性體センサ, 機械の研究, 38, 1, pp.150-159, 1986
- [2] REJEAN ARSENEAU, JOHN J. ZELLE; A Tri-Axis Electromagnetic Field Meter, IEEE Tran. on INSR. and MEAS., 39, 1, pp. 23-26, 1990
- [3] D. W. Deno at al; TRANSMISSION LINE ELECTRIC FIELD SHIELDING BY OBJECTS, IEEE TRANS. on Power Delivery, PWRD-2, 1, pp. 269-279, 1987
- [4] D. E. Tomas at al; Prediction of Electromagnetic Field and Current Transients in Power Transmission and Distribution Systems, IEEE Trans. on Power Delivery, 4, 1, pp. 744-754, 1989
- [5] T. Moriyama at al; Measurement and Shielding of ELF magnetic field around electric power facility, The International Conference on Electrical Engineering 2000, D-1-107, 2000