

코어 변화에 대한 자계 특성

김기준^{1,a}

¹ 인천대학교 메카트로닉스공학

Magnetic Field Properties About Core Change

Ki-Joon Kim^{1,a}

¹ Department of Mechatronics Engineering, University of Incheon, Incheon 407-772, Korea

(Received December 5, 2011; Revised December 14, 2011; Accepted December 23, 2011)

Abstract: In this paper, it tried to develop the core sensor for detection of micro magnetic field in electric wires. The sensor is non contact type and is consisted of ferrite core for low price. To investigate their properties for variations of current, it changed the number of winding and the length of sample core, it examined, to check the live wire situation in built-in wires, electrical characteristics due to difference between electric wires and core sensor. As the results, it verified live wire situation at the number of winding(5,000) and within length of 6[cm]. Also, it obtained magnetic field magnitude decreased inverse proportion ratio to a square about difference between electric wires and core sensor.

Keywords: Core, Electric field, Magnetic field, Induction, Frequency change

1. 서 론

일반적인 전기공사와 고압 지중선로 공사 중에 작업자의 부주의로 인하여 활선 선로를 교체선로로 오 인하여 작업을 진행하다 보면 합선되는 사고가 종종 발생되고 있다. 배전 선로에서 이러한 합선사고가 발생하면 작업자의 안전은 물론이며, 그 지역 일대의 전원이 차단되어 경제적으로 그리고 사회적으로도 큰 손실을 발생시키게 된다.

선로의 활선 상태를 검출하는 활선경보기는 가공선로에서는 필수 장비로 규정하여 모든 배전선로 활선 전공자가 꼭 갖추어야하는 장비이지만, 지중배전선로에서는 활선 유무를 검출하는 경보기가 전무한 것이 현실이다. 또한 기존에 개발된 활선경보기는 전계를 검출하는 방식으로써 고압에서만 적용이 가능하며, 지중배전선로와 같은 차폐기능이 있는 실드 케이블이

나 복잡구조를 가진 저전압용 전선에서는 검출이 불가능하다는 문제점이 있어, 현재 지중작업의 활선 판단은 전혀 하지 못하고 있다.

현재 한국전력 및 협력업체에서는 지중케이블에 대한 활선점검 장비는 없는 상태로 작업간의 의사소통 잘못으로 인하여 사고의 발생위험은 항상 내포되고 있는 것이다. 특히 현재 대도시를 중심으로 전체적인 송배전선로의 지중화 작업이 가속화되고 있으며, 건물의 노후화 및 거주지의 고층화로 인해 재건축 및 리모델링으로 인해 이러한 안전사고의 위험은 더욱더 증가될 거라고 사료된다. 최근 들어 실시되어 오고 있는 지중화 작업은 선로의 신설이 대부분이며, 시공시 안전사고에 대한 문제점은 크게 대두되지 않았지만, 현재에는 선로의 노후화 및 지역의 변경으로 지중선로의 교체 작업과 사고가 발생하기 시작하고 있다 [1].

따라서, 본 연구에서는 지중케이블 및 저압선로에 대한 활선상태를 검출할 수 있는 저가형 센서를 개발

a. Corresponding author; kijoon@incheon.ac.kr

하기 위하여 코어 변화에 따른 특성을 분석하였다. 센서타입은 탐색코일형 센서로 검출감도는 감겨진 턴수에 의해 결정되므로 턴수 변화에 따른 검출감도를 조사하여 최적의 턴수를 결정하였다. 또한, 최적의 상태에서 선로전류 변화에 따른 특성을 조사하였으며, 동일 턴수에 대한 길이 변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 신호 검출

2.1.1 검출 이론

기존에 개발된 활선경보기는 전계 검출방식을 적용하고 있는데 그림 1과 같이 선로에 220 V를 인가한 경우 1[cm] 이내 거리에서 전계는 "0"이 되는 것을 확인할 수 있으므로 저압에서는 사용할 수 없다. 또한 지중케이블의 경우 그림 2와 같이 선로 주변에 차폐동선을 두어 시공 시 모두 접지를 시키므로 선로 외부로 나오는 전계의 세기는 "0"이므로 기존의 활선 검출기를 사용하는 것은 불가능하다.

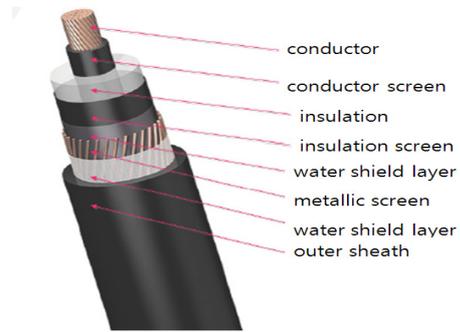


Fig. 2. Structure of underground cable.

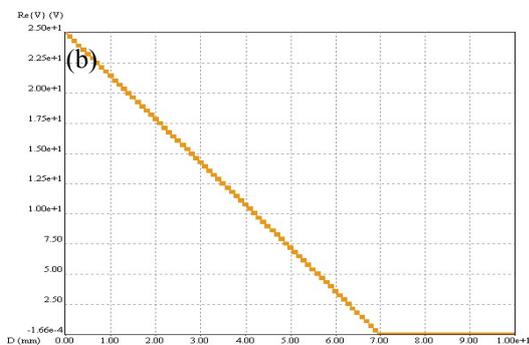
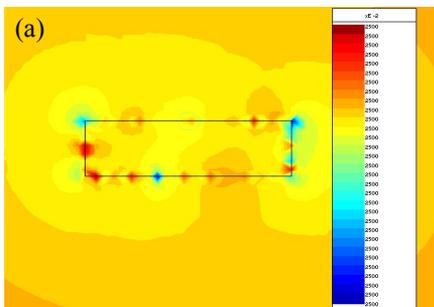


Fig. 1. An electric field of low voltage. (a) simulation of electric field, (b) electric field according to distance.

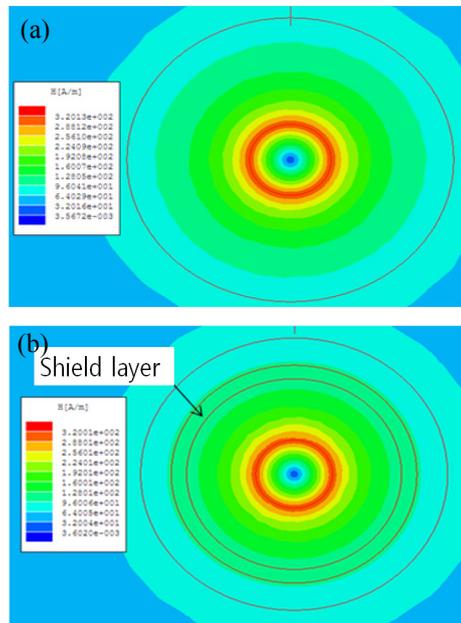


Fig. 3. Magnetic field distribution.(a) no shield layer, (b) shield layer.

이에 본 연구에서는 활선에서 차폐에 의해 영향을 받지 않는 신호를 검출하는 방법으로 선로주변에 발생하는 자계를 검출방법을 적용하고자 하였다. 그림 3은 차폐의 유무에 따른 자계분포특성을 나타낸 것으로 차폐층에 상관없이 자계의 세기는 전력선 도체의 거리에 따라 동일한 감소폭을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 선로 주변의 자계 신호를 검출하여 선로의 활선유무를 검출할 수 있을 것으로 사료되며, 이를 확인하기 위해 선로의 전류변화에 따른 자계분포를 조사하였으며, 이를 이용한 자계검출센서를 제작하였다.

2.2 자계 검출

자계의 변화를 검출하기 위한 소자는 물성분야에서는 직류 강자계를 대상으로 소형이면서 사용이 간편한 홀 소자를 적용한 자계 측정기가 이용되고 있다. 홀 소자는 반도체에 전류를 인가하고 전류에 직각인 방향으로 자계를 인가하면 전류와 자계의 양쪽에 직각의 방향으로 전압이 발생하는 원리를 가지고 있다. 이 소자는 교류자계의 경우에는 검출이 가능하지만, 직류자계에 의한 바이어스를 소거해야 하기 때문에 미소한 교류자계를 측정하는 경우에는 직류 자계의 바이어스 소거가 쉽지 않다.

특수용도로 미세한 생체에너지를 검출하기 위한 스퀴드 (squid)는 약한 결합을 가진 초전도 링에 자속 트랜스의 입력을 인가하면 이 자속을 없애려는 전류가 흐르게 된다. 이 전류에 의해 자속 양자가 약한 결합을 통해서 출입하므로 공진회로를 사용하게 되면 자속 변화를 측정할 수가 있다. 이 소자는 대형 냉각장치가 필요하기 때문에 소형화가 어려우며 특수한 경우에만 사용되는 한계가 있으며, 고감도의 생체 자기계측에 주로 사용되어지고 있다.

이외에 자기포화 특성을 이용한 것과 광학적 자기 반도체 소자 등을 이용한 각종 자계 측정기가 있으나, 전선으로부터 발생하는 극저주파 미소 교류 자계의 측정에는 많은 문제점이 있기 때문에 저가이면서 주파수 범위 및 안정성이 우수한 자계 검출 센서로 코일형 자계 측정기가 주로 사용된다. 코일형은 교류자계만 검출할 수 있다는 단점을 가지고 있지만, 턴수에 의해 검출 대역폭을 조정할 수 있으므로 미소자장을 검출할 수 있는 저가형 센서로서는 가장 적합하며, 최근 전자 회로기술과 측정기술의 진보에서 낮은 레벨의 신호에서는 저잡음 증폭기를 적용할 수 있으며, 주파수에 비례하기 때문에 주파수 보정이 용이하다는 장점을 가지고 있다 [1,2].

탐색코일형 자계 코어는 자기장에 의해 코일에 전압을 유지시키는 전기유도작용의 원리를 사용하는데 발생전압은 식 (1)과 같이 된다.

$$V = \omega NSB \tag{1}$$

여기서 ω : 각 주파수

N : 권선 수

S : 코어의 단면적

B : 코어를 관통하는 자속밀도

3. 결과 및 고찰

3.1 특성 실험

3.1.1 코어 준비

탐색코일의 턴 수와 길이 변화에 따른 자계 감도 특성을 조사하기 위해 막대형 원통 페라이트에 코일을 3,000, 4,000, 5,000, 6,000턴으로 변화시켰으며, 5,000턴에서 코어의 길이를 15.3[mm], 19.75[mm]로 변화시켰다.

또한 거리 변화에 따른 자계 검출특성을 조사하기 위해 동일 부하에 대하여 0(접촉)~6[cm]이격에 대한 특성을 조사하였다.

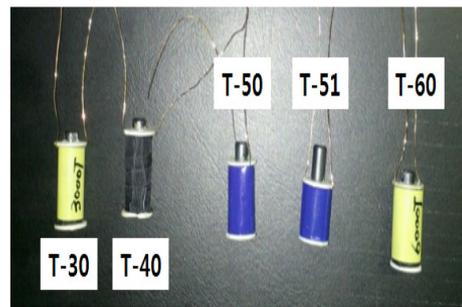


Fig. 4. Core samples.

Table 1. The sorts of test core.

| sample name | Number of turn | length of the coil [mm] | diameter of core [mm] |
|-------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| T-30 | 3,000 | 19.75 | 10.2 |
| T-40 | 4,000 | 19.75 | 10.8 |
| T-50 | 5,000 | 19.75 | 11.4 |
| T-51 | 5,000 | 15.3 | 12.85 |
| T-60 | 6,000 | 19.75 | 11.9 |

Table 2. Load current.

| Classification | Current [A] | Flux density [mG] |
|----------------|-------------|-------------------|
| C-1 | 0.16 | 4.9 |
| C-2 | 0.22 | 12.3 |
| C-3 | 0.38 | 15.1 |
| C-4 | 0.45 | 21.9 |
| C-5 | 0.58 | 24.6 |
| C-6 | 0.63 | 27.9 |

3.2 주파수 변화에 의한 특성

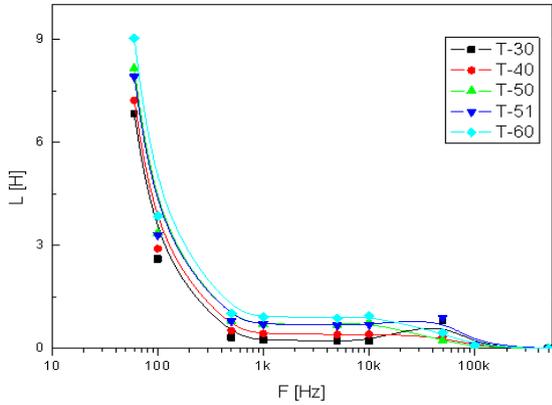


Fig. 5. Inductance due to frequency changes.

그림 5는 주파수 변화에 따른 제작 코어의 인덕턴스 변화를 나타낸 것이다. 1[kHz] 이하의 저주파에서 급격하게 감소하다가 1[kHz]에서 부터 10[kHz]까지 안정적으로 감소해지는 특성을 나타내고 있다. 또한 50[kHz] 부근에서 증가되다가 다시 감소함을 확인할 수 있었다. 인덕턴스는 식 (2)와 같이 감겨진 턴 수와 코어의 면적에 비례하고 길이에 반비례하는 특성을 가지고 있으므로 코일 턴 수 증가는 인덕턴스를 증가시키는 것을 확인할 수 있었으며, 동일 턴 수에 저주파수에서는 거의 비슷하게 증가하다가 50[kHz]에서 길이가 짧아진 T-51 센서의 인덕턴스가 T-50에 비해서 커지는 것을 확인할 수 있었다.

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \tag{2}$$

50[kHz]에서 T-30과 T-51센서의 인덕턴스값이 증가되는 모습을 확인할 수 있었는데 이것은 공진에 의한 현상으로 사료된다.

그림 6은 주파수 변화에 따른 유도성 리액턴스 변화를 나타낸 것으로 턴 수의 증가는 인덕턴스 (L)을 증가시켜 유도성 리액턴스가 증가하는 현상을 나타내었으며, 6,000턴 이상에서부터 유도성 리액턴스가 증가 경향이 불규칙적으로 됨을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통해 탐색코일 코어의 임피던스는 1[kHz]에서 10[kHz]에서 안정적인 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 저주파수에서는 코일의 특성

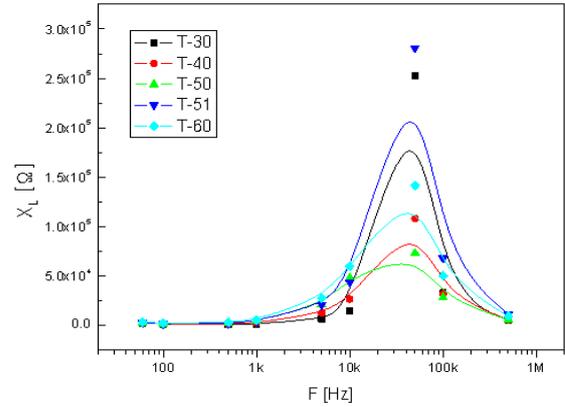


Fig. 6. Induced reactance due to frequency changes.

상 매우 민감하게 변화하지만 개발 센서는 상용전원의 활선여부를 검출하는데 적용하므로 주파수 대역이 없이 60[Hz]에서만 검출하면 되므로 개발 센서를 적용하는 데는 큰 문제가 없다고 사료되며, 특히 50[kHz]에서 불규칙적인 특성을 나타내는데 이는 전혀 영향이 없다고 사료된다.

3.3 코어 변화에 의한 출력 특성

그림 7은 턴 수 변경 시 코어의 검출값을 나타낸 것으로 T-30센서는 노이즈로 인해 검출 주파수가 119[Hz]로 선로 전류에 의한 신호를 잠식하는 형태를 나타내었으며, 측정값도 T-60 센서 경우와 비슷한 27 [mV]의 값을 나타내었다. 4,000턴 이상 감은 센서에서는 선로 노이즈로 인한 검출신호가 잠식되지 않는 것을 알 수 있었다. 코어 검출값은 T-40 센서에서 22[mV], T-50 센서에서 24.3[mV], T-60 센서에서 28.0[mV]의 값으로 턴 수의 변화는 검출값이 증가하였다. 그러나 턴 수의 증가는 검출감도 뿐만 아니라 노이즈 성분도 증가시키는 효과가 발생하여 T-60 센서는 고주파 성분으로 파형이 일그러지는 현상이 나타나기 시작하였다 [2].

또한 턴 수의 증가는 인덕턴스를 증가시키므로 추후 센서에 의한 전력소모가 커지므로 신호를 잠식시키는 효과가 나타날 수 있으므로 최적의 탐색코일의 턴 수는 5,000턴으로 설정할 수 있었다.

최적의 상태인 5,000턴 센서에 대해서 소형화를 위해 길이를 축소시켰을 때의 검출감도를 조사하였다. 선로에 전류를 인가한 후 선로에서 가우스미터를 이용

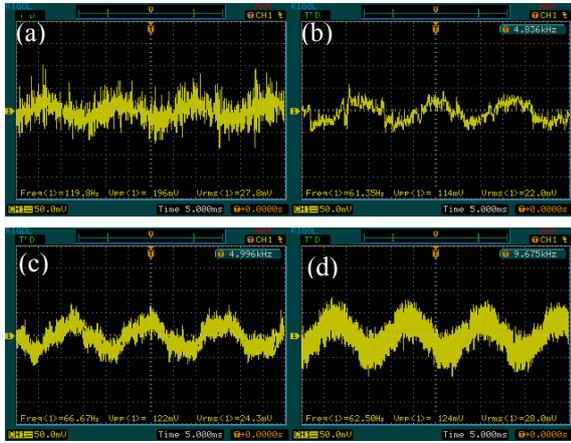


Fig. 7. Detector sensitivity due to variation of coil turns. (a) T-30, (b) T-40, (c) T-50, (d) T-60.

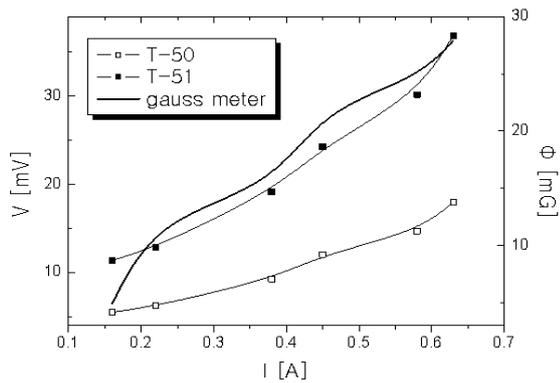


Fig. 8. Induction voltage due to length changes of core.

하여 주변 자계를 검출하였으며, 이를 기초로 개발된 코어에 의해 유기되는 유기기전력을 측정하였다.

코어에서 검출된 신호는 LPF (low pass filter)와 증폭기를 통과시켜 측정하였다.

그림 8은 전선에서의 부하전류 변화에 따른 자속밀도와 코어에서 유도되는 유기기전력을 측정한 결과이다. 그림에서 T-50 및 T-51은 제작된 코어에 유기되는 유도전압을 나타내고 있다.

모든 값이 전류의 증가에 따라 선형적으로 증가되고 있으며, T-51의 유기기전력 값이 T-50보다 더 큰 것을 확인할 수 있었다.

$$E = N \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

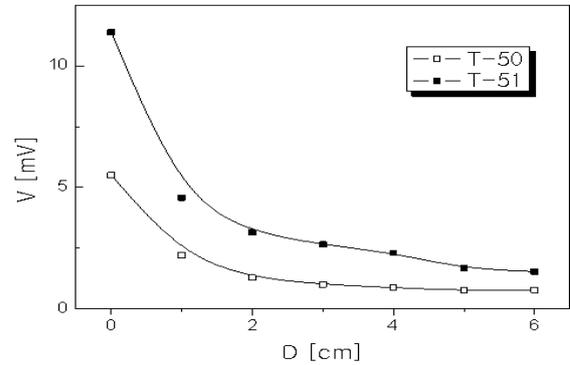


Fig. 9. Induction voltage due to distance changes.

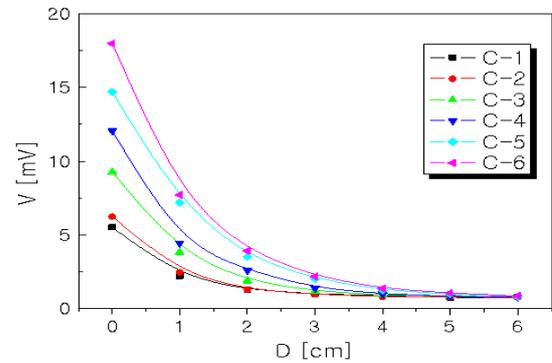


Fig. 10. T-50 core properties due to length changes.

식 (3)에 의하면 교변하는 자계는 감겨진 코일에 의해 전압의 크기가 결정된다. T-50과 T-51은 모두 5,000턴으로 동일한 턴 수를 가지고 있으므로 유기기전력은 동일하게 발생될 것으로 예상되지만, T-50의 인덕턴스가 더 크므로 내부 유도성 리액턴스가 더 커지게 된다. 그로 인해 발생된 유기기전력은 동일하지만, 내부 저항에 의한 전력 감소로 인해 T-51에서 출력전압이 더 높게 나타난다고 사료된다.

일반적인 가정을 기준하여 비디오, DVD 플레이어 등과 같은 범용적이지 않은 부분을 제외하면, 약 37[W]의 대기전력 소비량이 발생하고, 이 때 선로의 전류는 약 0.17[A]이다. 여기에 오차율을 ±10%를 적용할 때 최저 0.16[A]의 전류를 검출해야 되므로 본 연구과제에서는 부하전류를 0.16[A]를 적용하였다.

그림 9는 부하전류를 0.16[A]로 고정시켜놓고 전선과 이격시키면서 자계센서의 검출 특성을 조사한 그림이다. 자계의 세기는 거리에 따라 제품에 반비례하는

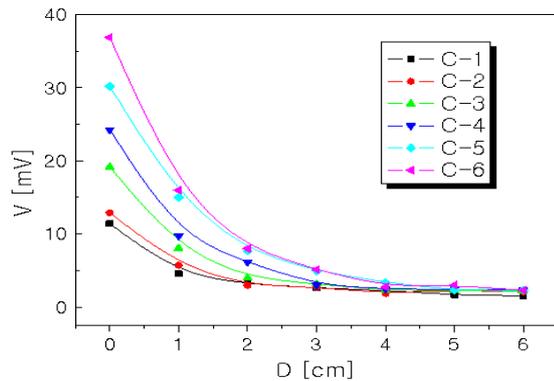


Fig. 11. T-51 core properties due to length changes.

특성을 가지고 있으므로 검출감도도 거리에 따라 제곱에 반비례하여 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

검출감도는 T-51이 내부 리액턴스를 감소시켜 더 좋은 출력 전압을 나타내고 있다.

전류의 세기와 거리 변화에 따른 코어별 T-50의 특징을 조사하면 그림 10과 같이 나타나는데, 전류 크기는 전선 주변의 자속밀도를 증가시켜 유기기전력이 증가되지만, 자속 밀도는 거리 제곱에 반비례하므로 로그함수를 그리게 된다.

그림 11은 T-51에서 이격거리에 따른 특성을 나타낸 것으로 T-50과 유사한 형태를 나타내고 있으며, 출력크기는 약 2배 정도 커짐을 확인할 수 있다. 지중배전선로에서 절연층의 두께는 3[cm] 이하로 외부 검출이 가능하며, 벽면 매입선로에서도 벽면 깊이가 5[cm] 이내이므로 충분히 활선 검출이 가능한 것으로 사료된다.

본 연구는 저압 및 자계 차폐에 의한 활선여부를 판단할 수 있는 저가형 탐색코일형 자계센서 개발에 대하여 연구한 내용으로, 턴 수의 증가는 유기기전력을 증가시키지만 일정한 턴 수 이상에서는 공진 및 임피던스의 영향을 통해 성능이 저하되는 특성을 확인하였으며, 동일 턴 수에서 감겨진 코일 길이의 감소는 검출감도가 증가되었다. 또한 지중 배전선로의 선로전류는 수십에서 수백 A 전류가 흐르기 때문에 측정에는 문제는 없지만, 저압선로의 경우 수십에서 수백 mA의 전류만 흐르는 경우가 많이 있으므로 본 센서를 적용할 경우 사용개소에 따라 턴 수의 변화를 주어야 한다고 사료된다.

4. 결론

코어변화에 대한 자계 특성 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 활선 주변에 발생하는 자계는 차폐층에 영향이 없음을 확인할 수 있었다.
2. 턴 수의 증가는 동일 자속에 대하여 큰 유기기전력이 발생하지만, 6,000턴 이상에서는 노이즈에 대한 응답성도 증가되어 SN비가 나빠지는 것을 확인할 수 있었다.
3. 턴 수의 증가는 내부 임피던스를 증가시켜 유기기전력을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.
4. 동일한 턴 수에서 길이를 70[%]로 줄이면, 출력 전압이 약 2배 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
5. 전선과의 이격거리에 대해서 자계의 세기가 제곱에 반비례로 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 탐색코일이 5,000턴이고, 이격 거리가 6[cm]이내에서는 활선여부를 검출할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2011년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- [1] K. J. Kim, Y. C. Oh, K. S. Lee, H. S. Jung, T. Y. Kim, M. H. Choi, M. Y. Soung, J. S. Kim, and C. K. Shin, *J. KIEEME*, **24**, 166 (2011).
- [2] R. C. Elphic, J. D. Means, R. C. Snare, R. J. Strangeway, L. Kepko, and R. E. Ergun, *Space Sci. Rev.*, **98**, 151 (2001).