

## NDT 기법을 이용한 가공배전선로 내부 열화 진단장치 개발

현득창<sup>a</sup>

극동대학교 유비쿼터스 IT학과

### Development of Diagnostic Device for Internal Degradation in Distribution Line Using NDT Method

Deuk-Chang Hyun<sup>a</sup>

Department of Ubiquitous IT, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received July 20, 2015; Revised July 23, 2015; Accepted July 24, 2015)

**Abstract:** At present, the development of a detection device in order to prevent accidents due to wire deterioration in the distribution lines is required. Distribution line is not possible to check the internal state in a normal way because it is covered with the coating. Accordingly, various eddy current techniques that is the non-destructive test (NDT) techniques have been applied to solve this problem. In this paper, we have seen examining the characteristic change of the eddy current sensor according to the simplified shape of the sensor in order to solve the problems for the simplified shape that is generated when the simulation for the shape of the eddy current sensor.

**Keywords:** Internal degradation, Distribution, NDT, Eddy current

#### 1. 서 론

산업의 발달과 더불어 클린에너지 사용의 증가는 전기사용량의 증가를 초래하였으며, 이는 송배전선로 증가와 더불어 유지관리에 대한 많은 방법이 시도되고 있다. 특히 배전선로에서 사용되는 전력케이블의 열화는 전선의 재질, 제조 방법뿐만 아니라 선로의 환경, 부하의 종류 등에 따라 다양한 열화가 발생한다. 전선 열화가 가중된 지역에서는 전선 단선사고가 빈번하게 발생할 수 있으며, 이로 인해 막대한 재산적 피해와 소중한 인명 사고로 이어질 수 있으며, 특히 일반 시민과 매우 근접하게 설치되어 있으므로 안전관리는 매

우 중요한 사항이다 [1].

표 1은 2006년 배전선로 고장사고에 대한 현황을 나타낸 것으로 기사재 열화에 의한 사고가 30건으로 전체 사고의 11%를 차지하고 있다 [2].

특히 기사재 열화의 대부분은 트래킹 또는 수분침투에 의한 전선단선으로 추정하고 있으며 실제 운용실적에 따르면 해안지역, 극심한 공업오존지역 등에서 바인드선을 따라 전선의 피복이 침식하는 트래킹 현상이 다수 관측되고 있으며, 이 현상은 봄철에 비교적 진행이 빠르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 특히, 새벽이나 밤 시간에 바인드선 주변에서 불규칙한 소리를 동반한 방전현상이 자주 관측되는 것으로 보고되고 있는데 이러한 여건들은 트래킹 현상으로 규명되고 있다.

현재 배전선로 상에서 전선열화로 인한 사고를 대비하기 위해 사용하는 방법은 1) 현장에서 피복이 불량한 전선을 외관 점검하여 사진을 찍어 확인한 후 교체하는 방식과 2)전선 이력을 데이터 베이스화하여 내용

a. Corresponding author; [hyunde@kdu.ac.kr](mailto:hyunde@kdu.ac.kr)

**Table 1.** 22.9 kV distribution line fault status.

Classification	Al-OC	Al	Cu
Accident contact	71	18	2
natural phenomena	90	16	1
Error of public	56	6	0
<b>Degradation of equipment</b>	30	5	0
etc.	17	2	0
Sum	264	47	3
Share (%)	65.0	11.6	0.7

○ Related grounds : Power breakdown and preventive of distribution equipment 2006

연한에 맞춰 일괄 교체하는 방식이 있다. 이러한 방법은 경험에 많은 전문가를 필요로 하고, 일괄교체는 환경에 대한 고려가 없으므로 사고에 대해서 안전하다고 할 수 없는 방식이며, 육안 검사로 표면에 대한 진단만 하기에 피복전선 내부의 문제점에 대한 대책은 전무하다고 할 수 있다. 와전류 탐상기법은 비파괴검사(nondestructive testing, NDT) 방법 중의 한 가지 방법으로 전도체인 금속에만 반응하여 기름, 먼지 등 오염으로 인한 사용 환경에 대한 제한이 적고 고주파 가진 전류의 운용에 따른 고응답 속도로 금속소재의 변위 및 진동 측정, 모재 내의 이상 탐상 등 여러 분야에 활용되고 있다 [3]. 와전류 센서의 장점에 따른 여러 활용에 불구하고 와전류 센서의 출력은 센서코일과 측정대상의 기하학적 형상 및 물성치의 변화에 대한 비선형적 특성 [1-5]이라는 단점으로 그 정확도(accuracy)의 한계를 가지며 사용 전 측정 대상별 사전 보정(calibration)을 해야 하는 불편이 따른다.

본 연구는 시뮬레이션 설계 시 중요한 형상 설계 시 발생할 수 있는 형상의 간소화에 따른 문제점을 조사하기 위해 실제 배전선로의 구조 및 와류센서의 연선 코일에 대한 구조를 단순화시켰을 때 발생하는 문제점을 조사하기 위해 형상을 다양한 형태로 간소화시켰을 때 자계 분포를 조사하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 모델링

**Fig. 1.** Shape of the eddy current sensor.**Fig. 2.** Shape of the distribution line.

와류 센서의 모델링을 위해 유한요소법을 이용한 FULX 12 프로그램을 이용하였으며, 유한요소법은 다른 수치해석 방법들에 비하여 해석영역의 분할이 용이하고, 풀어야 할 행렬의 성김도가 높다는 장점을 가지고 있다 [3]. 적용된 와류센서의 구조는 그림 1과 같이 중앙에 페라이트 재질의 코어를 중심으로 코일을 300회 감은 구조로 코일의 턴수를 간략화 했을 때의 자계 특성을 조사해 보았다.

그림 2는 배전선로의 구조를 나타낸 것으로 전선의 중심에는 강철 재질의 강심이 있고, 그 주변은 알루미늄 재질의 연선이 꼬여져 있으며, 외부에는 XPLE 절연층으로 감싸져 있다. 단순화를 위해 내부 연선 및 강심을 하나로 형성했을 때의 자계 특성도 조사하였다.

그림 3은 모델링 형상을 나타낸 것으로 그림 (a)는 단순화한 형상을 나타내고 있으며, 그림 (b)는 세밀하게 형상화한 것이다.

표 1은 형상의 단순화에 따른 분류도를 나타낸 것으

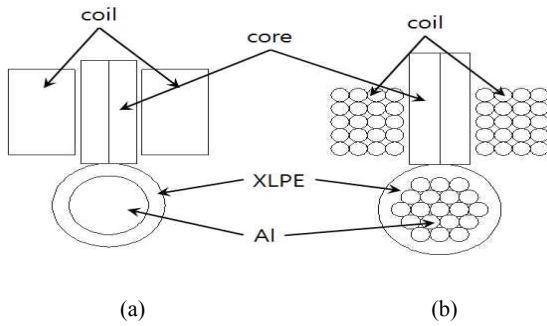


Fig. 3. Modeling of shape. (a) simplify and (b) subdivide.

Table 2. Modeling condition.

Classification	Current per line [A]	Coil turns per line [turn]
CVL01	0.69	300
CVL02	0.115	50
CVL03	0.0345	15
CLV01	0.69	300
CLV02	0.115	50
CLV03	0.0345	15

로 와류센서의 구조는 페라이트 코어를 중심으로 코일이 감겨진 형태로 CVLXX는 와류센서의 코일 부분만을 면에 1개, 6개, 20개로 구분하여 각각 CVL00, CVL01, CVL02로 명명하였으며, 좌측 코일에 전류의 방향을 positive 방향, 우측을 positive 방향으로 설정하여 형상화 하였다. CLVXX는 배전선로 내부의 구조가 중심에 강심(Fe)이 있고, 그 주변에 18가닥의 알루미늄선이 꼬여있는 연선구조를 실제 모습으로 구성한 것으로 “-XX”는 CVL과 동일하게 명명하였다. 전체 코일의 턴수는 300회를 적용하였으며, 코어의 비투자율은 300, 와류센서의 전체 공급전류는 0.69 A로 설정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 형상에 따른 자장분포

그림 5는 CLV계열의 자장분포를 나타낸 것이다. 코일 단면을 통과하는 전류값( $I_B$ )을 직렬로 연결한다고 가정하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$I_B = n \times I \quad (1)$$

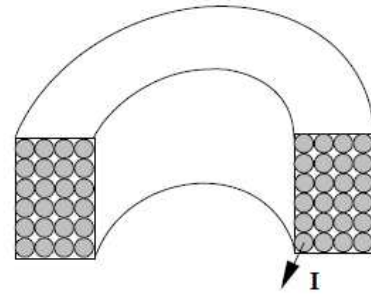


Fig. 4. Coil structure.

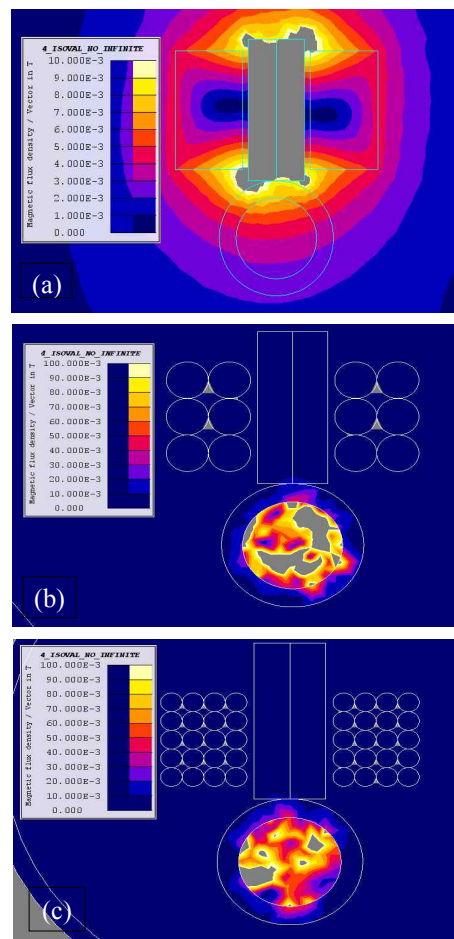
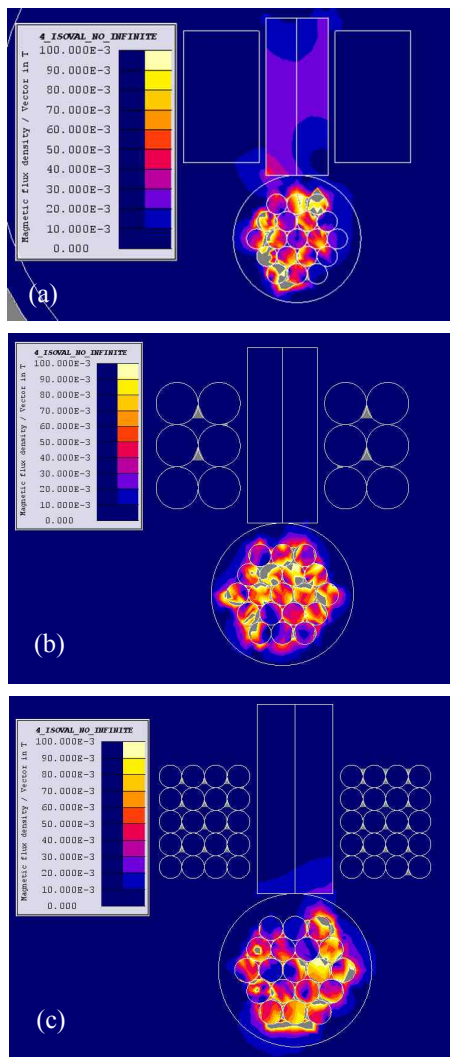


Fig. 5. Flux density of CVL series. (a) CVL00, (b) CVL01, and (c) CVL02.

그림 (a)는 코일에 흐르는 전류를 0.69 A로 설정하였으며, 그림 (b)는 I는 0.115 A로 턴수가 6개이므로  $6 \times 0.115 = 0.69$  A의  $I_B$ 로 한면의 전류값은 동일하게 설정하였다.



**Fig. 6.** Flux density of CLV series. (a) CLV00, (b) CLV01, and (c) CLV02.

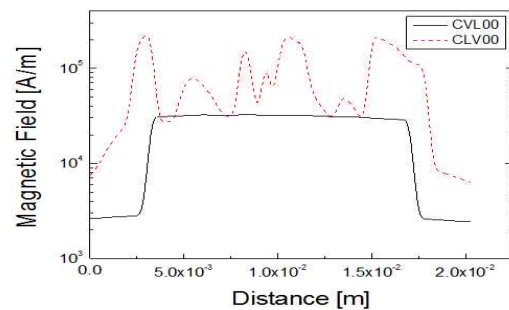
코일의 형상에 무관하게 코어 중심에서의 자계의 세기는 1.8327 T의 값을 나타내고 있으며, 이는 형상에 관계없이 코어에 형성되는 자계의 세기는 같음을 알 수 있었다. 그러나 코어 좌우의 자계 분포는 CLV00에서 정확히 대칭적인 형상을 나타낸 반면 코어를 분리시킨 형상에서는 positive 영역(코어의 왼편)의 전류를 공급한 쪽에 자계가 편중되는 현상을 나타내었다.

그림 6은 CLV 계열에서의 자계분포를 나타낸 것으로 코어 중심에서의 자계의 세기는 CVL 계열과 동일한 값을 나타내었지만, 코일 턴 수의 증가에 따라 대칭성이 positive 영역에서 negative 영역으로 코어면

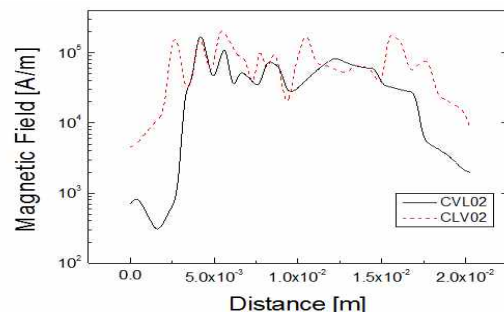
에서 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 전선 내부에서의 자계 분포는 코어의 자계 분포는 불규칙성을 가지고 있으며, 코어 자계가 negative 영역으로 이동함에 의해 전선 내부의 자계도 negative 영역에 근접한 전선에 자계가 집중되는 현상을 확인할 수 있었다. 또한 CVL 계열에 비해 CLV 계열에서 전선의 하단부까지 자계가 집중되는 현상을 볼 수 있는데 이는 전선 사이에 공극 부분에 의해 자계의 아래쪽까지 전달되기 때문이라고 사료된다.

### 3.2 위치에 따른 자장분포

그림 7은 전선 형상에 따른 전선 내부 자계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 전선역역을 일체화시킬 때는 전선에서의 자계는  $3.206 \times 10^3$  A/m의 자계가 일정하게 나타난 반면 전선의 실제 형상을 모델링한 경우 최대  $2.454 \times 10^5$  A/m에서 최대  $6.255 \times 10^3$  A/m으로 편차가 심하게 나타났다. 평균값은  $8.339 \times 10^4$  A/m으로 2배 이상 크게 나타났다. 이것은 전선 사이에 공극으로 인해 전선 내부에 자계의 분포가 용이하기 때문이라고 사료된다.



**Fig. 7.** Magnetic field of CVL00 and CLV00.



**Fig. 8.** Magnetic field of CVL02 and CLV02.

그림 8은 CVL02와 CLV02 형상에서 전선내부의 자계 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 CVL02의 평균 자계는  $4.277 \times 10^4$  A/m이며, CLV02의 평균자계는  $7.853 \times 10^4$  A/m의 값으로 2배의 값을 나타내었다. 이는 CVL00과 동일한 결과이다. 즉 시뮬레이션 형상 설계시 코일의 형상보다는 발생된 에너지에 영향을 받는 전선의 형상의 매우 중요한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

NDT 기법을 이용한 가공배전선로 내부 열화 진단장치 개발을 위한 시뮬레이션 결과 에너지를 공급하는 코일의 간소화는 코어에서의 발생에너지에 영향을 받지 않지만, 전선 주변에 생기는 자계에 의해 외부 자성물질에 자속분포는 틀려짐을 알 수 있었으며, 전선의 간소화는 전선간에 발생하는 공극에 의해 자계의 분포가 틀려짐을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

“이 연구는 2014년도 극동대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행된 것임(FEU20142R03)”.

#### REFERENCES

- [1] G. S. Lee, *Master's Thesis*, p. 1-10, Busan University, Busan (2006).
- [2] *Eddy Current Characterization of Materials and Structures*, ASME Special Technical Publication, American Society for Testing and Materials (1981).
- [3] G. J. Kim, *The Insulation Design of Enclosure for Diagnostic Device in Extra High Voltage Line*, 254 (2015).
- [4] S. J. Norton and J. R. Bowler, *J. Appl. Phys.*, **73**, 501 (1993).
- [5] P. L. Dowell, *Proc. IEE*, **113** (1966).