

22.9kV 배전선로 절연전선 검출용 와류탐상 센서 특성 연구

오용철*, 김탁용*, 이경섭*, 정한석*, 유재식**, 양정권**, 이재봉***, 이근행**, 김종현**
 (주)주암전기통신*, 한국전력공사**, 한국전력공사 전력연구원**

A Study of Properties Eddy Current Sensor for 22.9kv Distribution Insulation Cable

Yong-Cheul Oh*, Tag-Yong Kim*, Kyeong-Seob Lee*, Han-Seok Jeong*,
 Jae-Sik Yoo**, Jung-Kwon Yang**, Jae-Bong Lee***, Keon-Hang Lee**, Chong-Hyun Kim**
 Juam Electric & Communication Co., Ltd.*, Korea Electric Power Co.**, Korea Electric Power Research Institute**

Abstract - We used the eddy current sensor for a 22.9kV distribution power line insulation cable diagnosis. The insulation cable which is used in the 22.9kV distribution power line is having element wire from 6 to 18. Consequently, currently to ECT applications it has a limit in the distribution power line. We about under producing to apply in pick-up coil forms and the differential total coil form where becomes sum of zero in order to have. From measurement result, partial broken cable was confirmed 500 mV ~ 980 mV changes from normal state.

개의 코일이 감싸는 형태로 장착되어 아래의 그림 2와 같이 선로를 감싸는 모양을 이루게 된다. 코일 센서와 장착된 센서는 선로에 이상이 없을 시에는 두 개의 코일센서에서 측정되는 신호의 크기가 같게 되므로 측정 신호의 크기가 zero일 것이며, 이상이 있을 시에는 차이가 측정되어질 것이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\phi_f = \phi_1 - \phi_2$$

위의 수식에서 표현한 ϕ_f 는 측정되어지는 최종 신호를 의미하며, ϕ_1, ϕ_2 는 각각의 코일에서 측정되어지는 신호를 의미한다.

1. 서 론

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 있다.

일반적으로 케이블 열화는 내부 수분 침투로 인한 수트리, 전기적인 Stress가 재료의 표면에 집중되어 절연파괴에 이르는 트래킹, 전계 집중에 의한 절연 층 열화와 관련하여 전선 표면과 관련한 연구 및 장비의 개발이 되어왔다. 반면 도선의 내부 상태 결함(녹, 단선)은 선로의 전류밀도 증가를 초래하고 국부적인 열 특성 변화와 과전류 생성 등과 같은 문제점을 만들어 절연 층을 파괴시키고 전선 단선의 원인이 되기도 연구가 미진하였다.

현재 배전선로 상에서 전선열화로 인한 사고를 대비하기 위해 사용하는 방법은 두 가지가 있다.

첫째, 현장에서 피복이 불량한 전선을 외관 점검하여 사진을 찍어 확인한 후 교체하는 방식.

둘째, 최근 4년 전부터 전선 이력이 DB화 되어 전선의 교체시기를 내용연한에 맞추는 방식이다.

따라서 본 연구는 활선 상에서 비파괴 검사법을 이용한 도체 상태의 점검으로 외관점검으로는 확인이 곤란한 전선도체 상태에 관해서 전선내부를 파악하여 배전 선로 설비점검·보수 수준을 한층 향상시킬 수 있다.

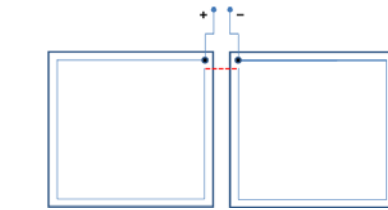
이에 본 연구에서는 배전선로 활선 상에서 과학적으로 검출하여 전선열화로 인한 사고를 미연에 방지함은 물론 배전선로 보수 차원에서 적시에 전선을 교체함으로써 설비보수 비용을 개선할 수 있도록 한다.

2. 본 론

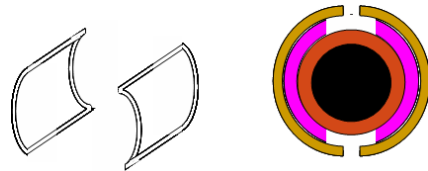
2.1 센서 구조설계

센서 설계에서 코어(core) 형태 설계에서는 선재와 같은 연선이 아닌 구조에서는 이상 유무를 판단할 수 있지만 배전선로와 같이 연선의 형태로 여러 가닥이 꼬여있는 경우 부분적인 파단 및 열화에 의한 이상 유무를 판단하는 것이 불가능하며, 측정신호의 경우 정상상태와 이상상태의 경우 그 크기가 매우 유사하여 분별하는데 어려움이 많다. 따라서 솔레노이드 센서부에서 픽업코일(pick-up coil) 형태로 설계하는 것이 바람직하다. 아래 그림 1의 두 개의 센서는 서로 다른 방향으로 감겨져 있기 때문에 측정되어 지는 각 코일 신호의 크기가 같으면, 서로 상쇄되어 그 값이 제로 합(sum of zero)가 되는 미분계 코일의 형태가 된다. 이는 아래의 그림과 같은 모습을 가지며, 가장 기본적인 gradiometer 형태의 코일구조를 이룬다.

본 연구에서 측정하고자 하는 배전선로의 경우 측정범위에 두



<그림 1> 센서의 일반 구조(미분계 코일센서)



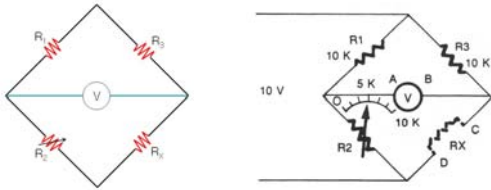
<그림 2> 센서의 기본 개념도

여기에서 고려해야할 사항은 크게 두 가지로 나누어질 수 있다. 첫째는 코일 센서의 크기를 얼마나 할 것인가와 장착되어질 센서에서 측정되어지는 신호를 얼마나 균일하게 만들 수 있는가(Balancing)이다. 코일센서의 크기를 결정하는 것은 배전선로에서 측정하고자 하는 선로의 측정범위와 센서의 개수와 밀접한 관련을 가진다. 센서의 직경이 작으면 센서가 측정할 수 있는 범위가 작아지므로 센서의 개수를 여러 개로 늘려야 한다. 이는 각 센서 채널에 연결되어질 구동회로의 개수가 늘어남으로 인해 공급기에서 사용하게 될 소비전력이 커지기 때문에 배터리의 용량이 크게 늘어나며 설치 무게의 제약이 발생할 수 있다.

2.2 센서 회로설계

센서회로의 기본 개념은 공진회로와 브릿지 회로가 주를 이룬다. 우리가 측정하고자 하는 신호는 배전선로의 상태 변화에 따른 임피던스의 변화량을 측정하고자 하는 것이므로 이를 측정하기 위하여서는 레퍼런스 신호를 가한 후 측정되어 지는 신호의 차를 보면 된다. 따라서 정상상태에서는 레퍼런스 신호와 같은 신호를 얻게 되므로 각 코일에 의하여 얻어지는 신호는 같은 값을 가지게 되며 이에 따라서 측정되는 신호는 없으며, 배전선로의 변화는 각 코일에서 측정되어 지는 신호의 변화를 발생하여 신호측정이 가능한 것이다. 여기서 배전선로의 임피던스 측정은

결국 공진 주파수를 찾아서 인가하였을 때 그 공진 주파수와 같은 신호를 측정할 수 있도록 하여야 하므로 공진 회로가 필수적이다. 이때 도선에 인덕터 성분만이 존재한다고 하면, 정밀한 측정이 불가능하여 선로에서의 이상 정도를 판단할 수 없다. 따라서 인덕터와 함께 캐패시터 성분도 고려하여야 한다.



〈그림 3〉 기본 브릿지 회로

여기서 R₁, R₃의 값은 고정된 값으로 지정되고, R_x는 캐패시터와 센서 코일을 병렬로 연결하여 사용한다. 센서 코일은 제작할 때의 인덕터로 이루어지며 캐패시터가 고정되면 R₂의 값의 변화로 공진 회로를 설계하였다. 정상상태에서는 R₂와 R_x의 값의 변경을 통하여 제로 합을 이룰수 있도록 조정할 수 있다. 이때 사용되는 공진 주파수는 아래의 수식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$f = \frac{R}{2\pi\sqrt{LC}}$$

실험을 통하여 얻은 결과 L은 100 μH에서 17 mH이고, C는 0.27 μF에서 회로를 최적화할 수 있었다. 또한, 측정신호 선을 통하여 영향을 줄 수 있는 노이즈의 영향을 최소화하기 위하여 2:1 트랜스를 사용하였으며, 공진회로에서는 공진주파수는 100 kHz에서 약 10 Hz 정도의 변화를 통하여 찾을 수 있다.

2.3 센서 구동회로 설계

센서 구동회로는 증폭회로, 변환회로 위상 검출회로의 3부분으로 구성되어진다. 그림 4는 센서구동회로를 보인다.



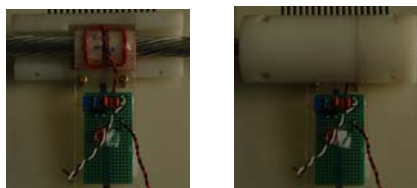
〈그림 4〉 기본 브릿지 회로

증폭회로는 와이드 밴드 증폭기를 사용하였다. 저주파수 성분을 증폭하고자 함으로 신호의 왜곡이 발생하지 않도록 하며 3단 증폭기를 사용하였다.

변환회로는 기존의 설계에서와 같이 정상 상태와 이상상태에 따른 신호의 분별력을 가질 수 있도록 하기 위하여 필요한 부분이다. 정상 상태의 신호는 DC 0V의 값으로 나타나고, 이상이 있는 부분만 DC 신호로 측정될 수 있도록 구현하였다.

또한 배전선로의 이상에 따른 임피던스의 변화는 저항성분과 같은 실수부의 값만의 변화만 발생하는 것이 아니다. 레퍼런스 신호와 측정신호사이에는 이상 전선의 측정시 위상의 크기가 발생할 수 있으므로 위상검출회로를 설계하였다.

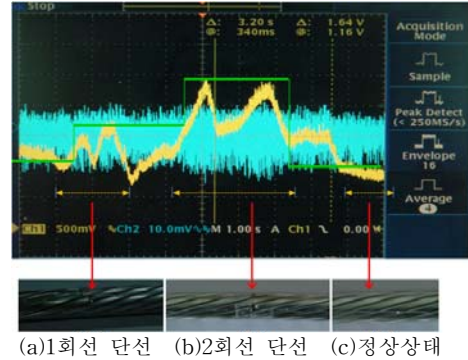
2.4 측정



〈그림 5〉 기본 브릿지 회로

그림 5는 배전선로 절연전선의 이상 상태를 확인하기 위한 고압을 인가하지 않은 상태에서의 특정모습이다. 제작된 센서와 설계된 센서회로를 적용한 것으로서 표 1에서 측정된 값을 보인다.

그림 6에서 (a)는 단선이 1회이며, (b)는 단선이 2회인 것이다. 측정된 바와 같이 (c)의 정상상태의 경우 DC 0V의 기저선으로 표시되며, (a)의 경우와 (b)의 경우 단선의 정도에 따라서 다른 크기의 파형이 측정된다. 측정된 파형에서 두 개의 최대치(peak)가 측정되는 것은 센서 코일에 이상상태가 근접할 경우 가장 민감한 신호를 얻을 수 있다. 따라서 이상상태를 DC와 같이 표시(연두색선)하기 위하여 위의 그림에서 보여진바와 같이 나선형태의 평면형 코일을 제작하여 측정하면 가능하다.



〈그림 6〉 측정결과

〈표 1〉 제작 센서를 이용한 이상 전선 측정값

구 분	전압(V _{pp})	주파수(f)	전압(V _{pp}) 차
공급 신호	2 V	973Hz	-
정상상태	0 V	-	-
1개 소선 단선	500mV	-	500mV
2개 소선 단선	980mV	-	980mV

3. 결 론

제작한 센서와 센서회로 및 구동회로를 이용하여 배전선로의 정상 및 이상상태를 검출할 수 있었고, 이상상태의 경우 이상의 정도를 파악하는 것이 가능하였다. 따라서 향후 구현한 시스템을 제작된 기구와 결합하여 다양한 데이터를 측정함으로써 이상상태에 따른 다양한 신호 분석을 통하여 배전선로의 이상상태를 명확히 판단할 수 있을 것이다. 또한, DSP 메인모듈을 이용하여 자동화 판단 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 중소기업지원과제개발사업(과제번호:KEPCO-07C-31)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 趙敏亨, "자기 공명 영상 시스템에서 와전류 보상기의 설계", 산업기술연구논문집 Vol.14 pp.339-346, 1999
- [2] 박춘호, 권우주, 서동만, 심기섭, 김정하, "봉단 용접부 와전류 탐상의 기초적인 연구", 한국비파괴검사학회지, Vol.18 No.2, pp. 85-91, 1998
- [3] 정용무, "渦電流深傷法(I)", 한국비파괴검사학회지, Vol.13 No.2, pp.94-104, 1993
- [4] 정용무, "渦電流深傷法(II)", 한국비파괴검사학회지, Vol.13 No.3, pp.39-45, 1993
- [5] 정용무, "渦電流深傷法(III)", 한국비파괴검사학회지, Vol.13 No.4, pp.47-56, 1993