

착탈형 외류센서를 이용한 ACSR전선의 아연손실량 검출

*장태인, 조성배, 강지원, 강연욱, 양병모
한전전력연구원

Zinc Loss Detection in ACSR Power Lines using the Removable Type of Eddy Current Sensor

*T.I. Jang, S.B. Jo, J.W. Kang, Y.W. Kang, B.M. Yang
KEPRI

Abstract - This paper deals with a problem of detecting the inner corrosion of the ACSR(Aluminum Conductor Steel Reinforced) power lines using a detector which consists of an ECT(Eddy Current Test) sensor, a constant current source, a signal processing unit, and a RF transmitter/receiver unit. The detector runs on the ACSR transmission line and inspects the corrosion of the conductor using the technic of the nondestructive eddy current test. The experimental result shows this detector can efficiently find the zinc loss in ACSR power lines.

1. 서 론

송전선과 고압배전선에 사용되고 있는 ACSR전선의 열화는 전선의 재질, 제조방법은 물론 가설상태, 선로의 노출환경 등 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 진행된다. 특히, 동일한 재질의 동연선이나 알루미늄 연선에 비하여 ACSR전선은 아연도금 강연선과 경알루미늄 연선의 꼬임 구조의 3종류 금속의 부식구조를 갖기 때문에 다양한 부식현상이 나타난다[1-4].

한편, 국부결함은 전선의 단선사고를 유발하는 직접적인 원인이므로 이 결함을 사전에 검사하여 선로를 보수, 교체하는 것이 필요하다. 영국의 경우 아연층의 손실이 전선수명에 가장 큰 영향을 미치는 요소라고 판단하여 아연부식량을 측정하는 검출기를 개발한 예가 있다[5,6], 일본은 동북전력과 후지쿠라 전선이 공동으로 알루미늄 소선의 부식을 검사하는 검출기를 개발하였다[7~9].

따라서 본 논문에서는 이러한 가설된 선로의 상태를 분석 또는 예측함으로써 전선의 잔존수명을 추정하여 전력공급의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위하여 개발된 무선에 의해 자동으로 전선을 이동하는 ACSR전선 내부결함감지장치를 이용하여 실선로의 도체에 대한 측정시험 결과 및 탐상기의 실용성에 대해서 논하였다.

2. 본 론

이 절에서는 개발된 탐상기의 전체 사양에 대해서 기술하였으며, 제작된 부식탐상기는 가설된 ACSR전선을 주행하면서 국부부식을 검사하는 목적으로 설계되었다.

2.1 ACSR전선 내부부식 탐상기의 구성

일반적으로 탐상시스템(inspection detecting system)은 가설된 전선에 장착되어 공중기에서 이동하면서 결합상태에 의한 외류변화를 검출하는 기능을 가진 탐상기(inspection detector)와 이 공중기에서 측정된 데이터를 지상의 측정자 또는 기록장치에 전송하며 공중기의 동작을 제어하는 지상제어기(ground control station)로 구성되어야 한다. 그림 2.1은 설계된 탐상시스템의 기본적인

구조를 나타낸다[10].

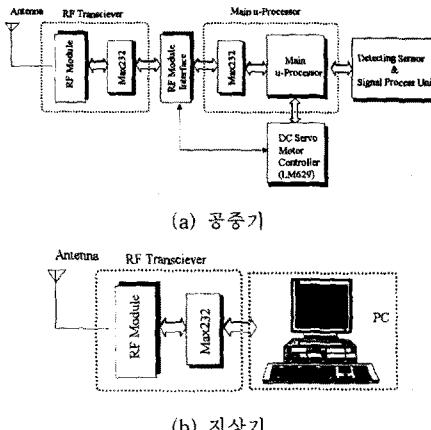


그림 2.1 탐상시스템의 구성

2.2 탐상시스템의 실험

먼저 대상전선의 정량화 평면을 결정하기 위한 기준시료 및 시험시료를 제작하였다. 건전시료를 3등분하여 1개는 건전전선으로 하고 다른 하나는 외층 알루미늄 연선을 모두 벗겨내었고 제3의 시료는 열화안티몬 용액을 사용하여 아연도금층을 부식시켰다. 건전시료를 기준치로 설정하고 알루미늄 소선의 자기적 변화와 아연도금층의 반응을 측정하여 정량화 평면을 설계하였다. 이를 중건전시료는 측정 시 탐상기의 예열, 측정환경에 따라 변화될 수 있는 기준치를 교정하는데 사용하였다.

선로의 결합과 탐상기의 측정 결과를 검토하기 위하여 ACSR 97[mm]의 건전전선을 약 20[m] 길이로 준비하였다. 전선의 일반적인 열화나 결합상태를 모의하기 위하여 준비된 시료에 인공적으로 결함을 내어 탐상기를 장착할 수 있도록 설치하였다. 사용 시료의 인공 결함에 대한 구체적인 내용은 표 2.1과 같다. 특히, 건전시료 외층 알루미늄 소선을 일부 절단한 후에는 이 부분을 강력 접착제를 투입하여 전선 하중과 탐상기 무게에 의한 변형을 방지하였다.

표 2.1에서 아연부식 부분(위치 a~e, 중앙부 부식)은 삼염화안티몬 용액을 이용하여 적당한 시간으로 내부 아연도금 강선이 부식되도록 하였다. 그러나, 내부 강소선의 아연도금 부식에 대한 백분율은 정확하지 않으며 부식 시 외층 알루미늄도 약간의 단면적 감소가 발생하였다. 한편, 소선의 절단(위치 i~m)은 가급적 정확한 위치에서 3개의 소선을 끊어 내었다. 줄로 마보시킨 부분(위치 g와 h)도 동일한 소선들에 대한 결합으로 표 2.1과 같은 결과가 얻어지도록 하였으며, 이러한 결합시료를 검출하는 탐상기는 그림 2.2에 나타내었다.

표 2.1 시료의 결합

결합 번호	결합 위치 [m]	결합 특성
a	3.1	100[mm] 길이로 염산을 이용하여 아연 도금층을 40[%] 정도 부식
b	3.5	100[mm] 길이로 염산을 이용하여 아연 도금층을 60[%] 정도 부식
c	3.9	100[mm] 길이로 염산을 이용하여 아연 도금층을 80[%] 정도 부식
d	4.3	100[mm] 길이로 염산을 이용하여 아연 도금층을 100[%] 정도 부식
e	4.7	100[mm] 길이로 염산을 이용하여 아연 도금층을 20[%] 정도 부식
f	5.1	전전 부분
g	5.5	1개를 중심으로 50[mm] 정도를 평판형 줄로 마모시킨 것(소선 1/2 마모)
h	5.9	1개를 중심으로 20[mm] 정도를 평판형 줄로 마모시킨 것(소선 1/2 마모)
i	6.3	3개의 소선을 100[mm] 절단
j	6.7	3개의 소선을 80[mm] 절단
k	7.1	3개의 소선을 60[mm] 절단
l	7.5	3개의 소선을 40[mm] 절단
m	7.9	3개의 소선을 20[mm] 절단



그림 2.2 제작된 탐상기(공중기 및 지상기)

그림 2.3은 표 2.1과 같은 형태로 인공결합을 낸 시료를 탐상기로 측정한 결과이다. 이 때, 탐상기의 속도와 측정 간격의 편차로 결합 위치는 대략 2~5[mm]의 오차가 발생하였다. 결합에 대한 탐상기의 출력은 2.3절에서 기술한다.

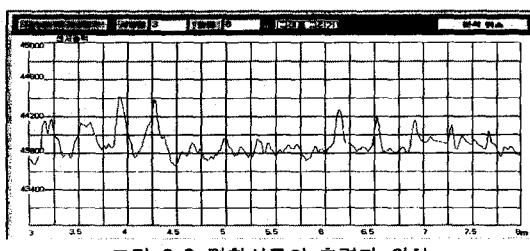


그림 2.3 결합시료의 출력과 위치

2.3 프로그램 동작 실험

이 절에서는 측정 레이터를 사용하여 부식률을 진단 또는 분석하기 위하여 설계된 계측프로그램을 사용하여 표 2.1의 시험시료에 대한 탐상기의 성능을 검증하기 위한 기초실험에 대하여 다룬다.

먼저, 탐상기를 충분하게 예열한 후에 대상전선에 장착하였다. 지상제어기와 공중기 사이에는 무선모뎀으로 통신하도록 하였다. 공중기의 측정 파라미터는 모터속도 $v=10[m/min]$, 경간측정거리 $L=10[m]$, 측정간격 $d=2[cm]$ 및 평균 샘플 수 $n=100$ 을 사용하였다. 그림 2.4는 이 조건에서 측정된 결과를 보여준다.

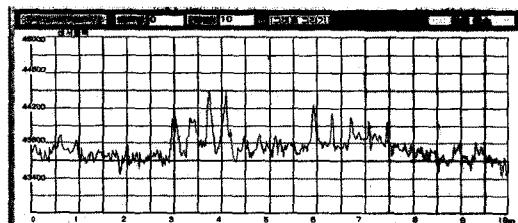


그림 2.4 표 2.1의 시료에 대한 탐상기의 출력

그림 2.4에서 0~3.1[m]와 8~10[m]의 위치는 전전한 부분의 특성을 나타내고 3.1~4.7[m] 사이는 아연부식 부분, 5.5~5.9 위치는 마모결합 부분이며 6.3~7.9[m] 사이는 알루미늄 소선을 절단한 결합 부분을 나타낸다. 일반적으로 전전부분의 센서출력은 200 [step] 정도의 범위에서 나타나며 이러한 결과는 구동 훨로 전선 위를 주행할 때의 탐상기의 동요로 인한 편차와 시료 각 위치의 제질 특성 상 차이로 인하여 발생되나 열화부식이나 결합의 정량적인 판정은 통제적인 개념을 토대로 얻은 결과이므로 이를 출력 특성의 평균적인 특성을 판단하는데는 부리가 없다.

한편, 위치 3.1~4.7[m]는 시료를 전전한 상태에서 외부에 3염화 안티몬 용액을 부어 내부 아연도금층을 부식시킨 위치의 출력이다. 연선 내부의 아연도금 층의 부식 상태를 육안으로 식별할 수 없지만 각 경우에 출력은 아연부식 정도를 잘 나타내고 있다. 그림 2.7의 5.5 및 5.9[m]의 부분은 1개의 소선을 대략 50 및 20[mm] 길이에 대하여 마모시킨 부분의 출력을 나타낸다. 그러나, 마모부분의 길이와 소선 수가 적으므로 전전부분의 출력과 구별되지 않는다. 따라서, 미세한 결합을 측정하는 것은 한계가 있다고 판단된다.

그림 2.4에서 위치 6.3, 6.7, 7.1, 7.5 및 7.9[m]의 결과는 외층 알루미늄 소선 3개를 100, 80, 60, 40 및 20[mm] 길이로 단선시킨 경우의 출력을 나타낸다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 알루미늄 소선의 단면적 변화가 선형적 특성을 나타내고 있다.

앞에서 기술한 바와 같이 인공적인 결합에 대한 모의 실험 결과는 센서의 출력으로 잘 표현되고 있다. 따라서 전선에서 아연도금의 부식과 알루미늄 소선 단면적 변화에 대한 반응은 출력으로 판단할 수 있음을 알 수 있다.

2.4 현장 실증시험

이상 개발된 탐상기를 이용하여 현장 실증시험을 한전 대전전력관리처 관내의 보령 #2 T/L에서 수행하였다. 이 선로는 345[kV]이고 보령화력을 기점으로 해안에서 대략 4[km] 떨어진 지역인 보령 #2 T/L로 1983년에 가설된 것으로 경년은 16년이었다. 25번 철탑에서 24번 철탑 방향으로 가공지선 ACSR 120[mm²]을 측정하였다. 이 선로는 장항선을 횡단하는 위치에 가설되어 있었다. 그림 2.5는 기준전선의 측정 결과이며 이 기준치를 사용하여 측정된 레이터 중 10[mm] 구간의 특성을 그림 2.6에서 보여준다. 그림 2.7은 실선로의 내부부식 정도를 검출하는 탐상기를 나타낸다.

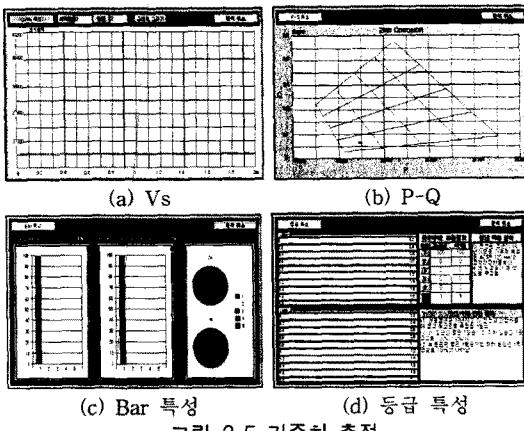


그림 2.5 기준치 측정

그림 2.6에서 보면, 아연은 대략 1 및 2등급으로 나타나고 있으며 측정 구간에 있어서 대략 1~2 등급의 중간 특성을 나타내고 있다. 또한, 알루미늄 연선은 건전한 상태이나 경년에 의해 약간의 부식이 나타나고 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 기계적인 인장 특성은 정격인 장하중보다 여전히 크게 나타나고 있으며 그림 2.6(a)에서와 같이 부분적으로 부식상태에 차이가 발견되고 있다.

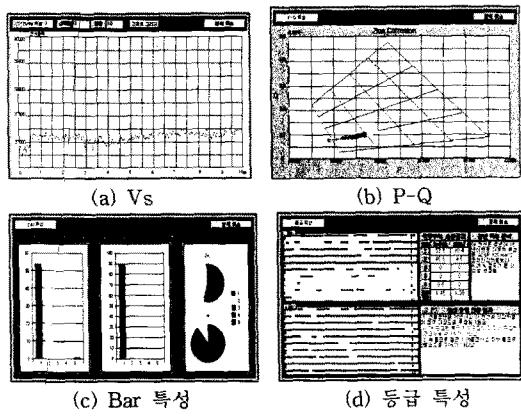


그림 2.6 실측 결과

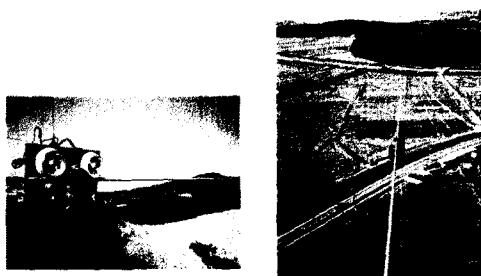


그림 2.7 ACSR전선 내부부식 탐상기

다.

1. 탐상시스템의 결합측정 특성을 검토하기 위하여 시험시료를 제작하여 시험한 결과, 양호한 진단 특성을 얻을 수 있었다.

2. 현장 실증시험을 통하여 제작된 탐상시스템의 무선 장치는 공간에서 송신거리가 최대 600(m) 정도이었으며 아연도금 부식과 알루미늄 소선 단선결합에 대하여 비교적 정밀한 결과를 제공하였다.

현재 개발된 탐상기를 이용하여 실선로에서의 문제점을 검토, 보완하기 위하여 현장 실증시험을 실시중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] L.I. Persson, "Corrosion attack in midspan joints in ACSR transmission conductors", CIRED 1989, 10th International Conf. on Electricity Distribution, Vol. 3, pp. 259~261, 1989.
- [2] G.G. Martin, "Detection of internal corrosion in steel-reinforced aluminum power line conductors", Corrosion Australia, Vol. 15, No. 5, pp. 9~13, 1991.
- [3] 배전관리과제 연구선집, 전력연구원, KRC-92D-001, 1992.
- [4] 대기오염이 전력설비에 미치는 영향 연구, 전력연구원, KRC-92C-SO5, 1993.
- [5] J. Sutton and K.G. Lewis, "The detection of internal corrosion in steel reinforced aluminum overhead power line conductors", U.K. Corrosion, pp.343~359, 1986.
- [6] 김성덕, 심재명, "비자성 연선도체의 단면적을 검출하기 위한 솔레노이드 와전류 센서의 임파င스 해석 및 실험적 연구", 한국센서학회 논문집, 제6권 제2호, pp.87~94, 1997.
- [7] 島田健夫三, 佐藤勇輔, "硬アルミニウム燃線 腐蝕劣化 判定装置の開発", 日本 非破壊検査, 제39권, 제9호, pp.807~808, 1990.
- [8] J. Iinuma, J. Endo, etc., "Corrosion detector robot for overhead transmission lines", Fujikura Tech. Rev., No.21, pp.74~83, 1992.
- [9] P.G. Buchan, "Locating corrosion on operating transmission lines with an infrared camera", Ontario Hydro Research Division Report, No. 90-64-K, 1990.
- [10] 강지원, 조성배, 정재기, 양병모, 민병욱, "착탈형 구조를 갖는 와류센서를 이용한 ACSR전선 부식검출기 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.2371~2373, 1999.

3. 결 론

개발된 탐상기를 이용하여 현장실증시험을 통한 기초 실험을 행하였으며 이상의 결과를 요약하면 다음과 같