

**μ-processor가 제어하는 ACSR전선의 내부부식 검출의 실증적 연구**

양병모\*, 조성배\*, 정재기\*, 강지원\*, 강연옥\*  
한전 전력연구원\*

**The experimental study of ACSR inner corrosion detection controlled by μ-processor**

B.M.Yang\*, S.B.Cho\*, J.K.Jeong\*, J.W.Kang\*, Y.W.Kang\*  
KEPRI\*

**Abstract** - This paper deals with some experimental results of the ACSR inner corrosion detector which is developed in order to measure local corrosion of transmission line. Tested wire is ACSR 97mm<sup>2</sup>. Experimental procedures, desirable test results and normalizing method of corrosion grade are reported. It is shown that the detector is possible to inspect the inner corrosion of ACSR, through testing and experimental studying for artificial corroded samples.



그림 2.1 제작된 결함감지장치중 공중기

**1. 서 론**

송전선에 사용되고 있는 ACSR전선의 열화는 전선의 재질, 제조방법은 물론 가설상태, 선로의 노출환경등 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 진행된다. 특히, ACSR전선은 인장을 담당하기 위한 아연도금 강연선과 전류를 공급하기 위한 경알루미늄 연선의 꼬임 구조의 3종류 금속의 부식구조를 갖기 때문에 다양한 부식현상이 나타난다. 일반적으로, 가공 전선은 대기부식뿐만 아니라 異種金屬의 접촉에 의한 電解腐食(galvanized corrosion), 전선에 습윤으로 인하여 초래되는 간극부식(crevice corrosion)이나 피로부식등 다양한 부식현상이 나타난다[1-4].

전선수명은 시설 후 경과된 기간으로 추정하는 방법을 사용하는 것이 상례이지만, 전선이 가설된 지역의 환경적 요인이나 전선 재질상의 특성, 전력 공급량 등에 의하여 열화상태가 다양하게 진행된다. 실제로 단선과 같은 사고는 경년과 같은 전선의 이력보다는 부식환경하의 영향이나 전선 재질의 취약성으로 인하여 초래되는 경우가 많으므로 현재와 같이 일정기간으로 정해진 교체시는 현실적이지 못하므로 가설된 선로의 상태를 분석 또는 예측함으로써 전선의 잔존수명을 추정하여 전력공급의 안전성과 신뢰성을 확보하는 것이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 전선의 국부부식 정도를 측정하기 위하여 개발된 ACSR 전선 결함감지장치에 대해서 기준시료에 대한 탐상기의 정량화 방법 및 ACSR 97mm<sup>2</sup>시료에 대한 측정시험결과 및 그 특성 분석에 대해서 논하였다.

**2. 본 론**

**2.1 ACSR전선 결함감지장치의 구성**

송전선의 가공지선에 주로 사용되는 ACSR전선에 대한 결함검출기의 전체적인 구성도는 다음과 같다.

**2.2 제작된 결함감지장치의 기초적인 실험**

**2.2.1 편차의 개선 알고리즘**

공심에서의 센서의 출력전압을 측정시 생기는 편차는 결함에 의해 변화되는 미소한 전압을 검출하는데 장애 요인으로 작용할 수 있으므로 이러한 편차를 개선하는 방법은 출력단에 고주파 필터를 접속하거나 프로세서에서 평균치(average value) 개념을 이용하는 것이다. AD 컨버터는 고속이므로 변환신호의 몇 구간을 평균치를 취하여 측정잡음을 제거하는 방식이 검토되었다. 그림 2.2는 측정 데이터의 평균치를 취하는 프로그램의 흐름도를 나타낸다.

이러한 편차를 제거하기 위하여 하드웨어의 필터를 이용하듯이, 소프트웨어 필터(software filter)기법을 사용하여 현재 시각(k-0 step)에서의 측정치가 k-1, k-2, ... 등의 과거 측정 데이터에 비하여 급격하게 변하는 것을 억제하도록 하였다.

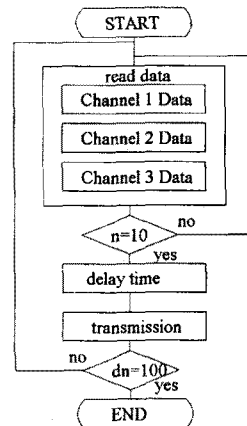


그림 2.2 평균치를 이용하는 프로그램의 흐름도

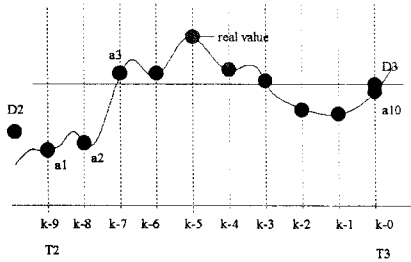


그림 2.3 구간 평균치 방법

평균치를 구하기 위하여 그림 2.3과 같은 방법을 이용할 수 있다. 예컨대, 현재 측정시각을 T3이라 하고 전 시각을 T2라 가정하고 T2의 데이터를 D2라 하자. T2~T3 구간에서 10개의 샘플링 구간을 분할하고 각 시점을 k-9, ..., k-0으로 표기하였다. 그림 2.3에서 ●는 각 시점에서의 실제 값을 나타낸다. 그림 2.3에서와 같이, 10개의 샘플링 구간에서 실제 값 a1, a2, ..., a10을 읽어 저장한 다음, 시각 T3에서 10개의 데이터 평균치 D3을 구하여 저장한다.

그림 2.4와 같이 실제 전선의 결합 특성이 나타나는 경우를 참고해 보자. 만약, 검출 코일을 1회로 감은 것이라면 극심한 결합 위치에서 실제 곡선에서와 같이 피크치(peak value : A 부분)가 정확하게 측정될 것이다. 그러나, 제작된 판통형 코일은 유한한 길이(L)로 제작될 수밖에 없으므로 이 센서는 보빈 길이 내에 존재하는 시료의 평균 특성에 대한 출력을 나타낼 것이다. 따라서, 그림 2.4에서와 같이 샘플링 구간을 선정할 때, 피크치가 발생하는 구간이 보빈 길이보다 작으면 센서의 출력은 그림에서 ■의 특성과 같이 평활하게 나타날 것이다. 그렇지만, 그림 2.5에서와 같이, 피크치의 폭이 보빈 길이보다 크면 피크치가 변하는 가장자리는 완만하게 되는 반면에 중심 부근은 이 피크치의 특성이 그대로 반응할 것이다.

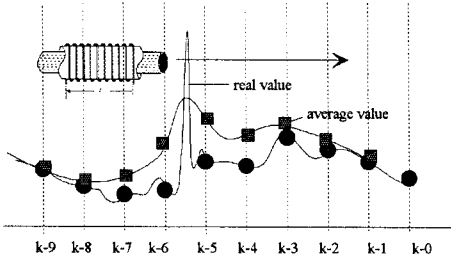


그림 2.4 피크치 결합이 보빈길이보다 짧은 경우

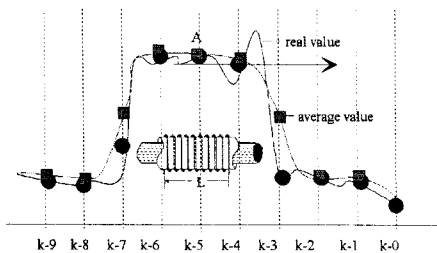


그림 2.5 피크치 결합이 보빈 길이보다 큰 경우

### 2.2.2 평균치 사용 알고리즘의 측정 결과

동일한 시스템에 대하여 평균 샘플 수를 S=1, 10 및 50으로 선정하여 공심 특성을 실험한 예를 그림 2.6에서 보였다. 여기서 S=1인 경우는 평균치를 사용하지 않은 경우의 결과를 나타낸다. 그림 2.6에서 보면 평균 샘플을 S=1, 10 및 50으로 선택한 각 경우에 대하여

편차가 각각 0.4, 0.2 및 0.1mV 정도로 평균 샘플 수를 증가시킴에 따라 편차가 감소된다.

이 결과에서 평균치를 구하기 위한 샘플 수는 대략 S=10 정도이면 충분한 것으로 판단되었다.

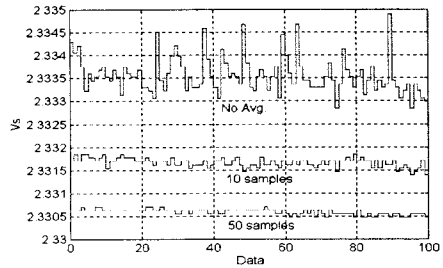


그림 2.6 Vs의 특성

### 2.3 ACSR 97(mm)의 실험

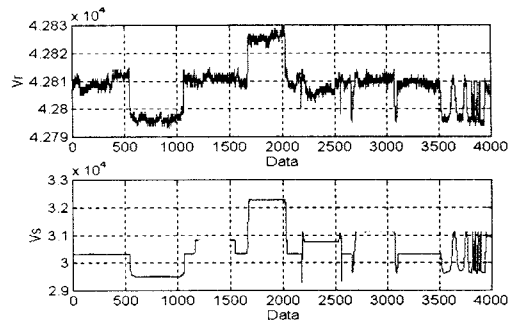


그림 2.7 시료를 사용한 경우의 Vr 및 Vs

제작 탐상기를 이용하여 ACSR 97(mm)에 대한 기초적인 실험을 수행하였다. 실험은 공심(air-cored coil), 건전 전선(new sample), 아연도금강선(zinc steel), 부식강선(zinc corrosion steel), AlFe 및 F-3의 대표 시료를 사용하였다. 이 때, AlFe는 부식강선을 알루미늄 소선 내에 삽입한 시료이고 F-3는 염화안티몬 용액으로 건전전선의 중앙을 부식시킨 시료를 나타낸다.

데이터는 D=4,000개로 대략 500 step마다 공심, 건전전선, 아연도금강선, 부식 강선, AlFe 및 F-3를 삽입하면서 측정하였다. 3,500~4,000에서는 F-3의 이동 상태를 저속 및 고속으로 변경한 특성이다.

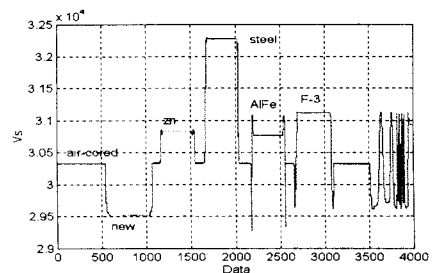


그림 2.8 시료를 사용한 경우의 Vs의 특성

그림 2.7은 Vr 및 Vs의 특성을 나타낸다. 시료의 상태에 따라 기준전압은 약 40 step(3.0[mV])이 변화되고 있으며 여전히 클릭성 신호가 나타난다. 그림 2.8에서 센서의 단자전압 Vs는 시료의 상태에 따라 3,200 step 정도 변하고 아연의 결합이나 알루미늄의 단면적

변화는 대략 1,000 step에서 변화된다. 이 값은 측정치의 대략 3~4(%)의 임피던스가 변동되었음을 의미한다. 그림 2.8과 같이 결과의 후기에는 시료의 이동을 고속으로 한 경우의 특성으로 어느 정도 탐상속도의 경우라도 정확한 결합 특성을 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 그림 2.9는 F-3 시료를 사용하여 보빈에서 적당한 속도로 이동시킨 경우에 측정된 결과를 보인다. 이 결과 역시 측정치가 약간의 분산 현상이 나타나지만 그 특성은 ◇형태로 나타남을 알 수 있다.

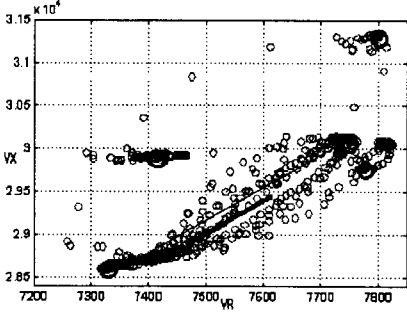


그림 2.9 ◇ 특성

이 실험은 PC를 사용하여 근거리에서 수행하였으며 프로세서에서 데이터를 처리하는 속도는 1[sec] 당 대략 3~4(개)로 측정되었다. 무선시스템의 통신거리는 별도로 시험한 결과 공간에서 대략 100[m] 정도까지 오차 없이 데이터가 전송됨을 확인하였다. 이 탐상시스템이 실용화되기 위해서는 통신거리를 적어도 500[m]로 확장할 필요가 있다. 또한, 모터의 속도를 변화시키면서 실험한 결과, 감속기 및 탐상기의 중량에 의해 10[m/min] 정도의 속도조절이 가능하였다. 따라서, 측정 간격은 수 mm 정도로부터 20~30[cm]까지 측정할 수 있었다.

### 2.4 정량화 방법

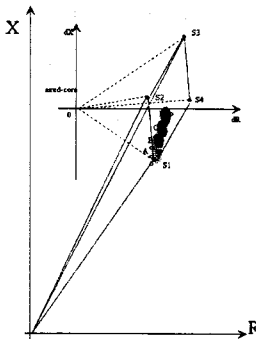


그림 2.10 검출센서 전체의 특성과 정량화 방법

일반적으로 관통형 코일을 사용하여 공심(air-cored coil : S0), 건전전선(new sampe : S1), 아연도금강선(FeZn : S2), 아연부식강선(Fe : S3) 및 부식강선이 삽입된 시료(AlFe : S4)에 대한 임피던스 변화를 측정하면 그림 2.10과 같은 ◇ 형태로 나타난다. 이 경우에 S1과 S2 사이는 알루미늄 단면적의 변화를 나타내며 S2와 S3 사이는 아연도금 층의 반응을 나타낸다. 결국, 사용 전선의 열화에 의한 결합은 그림 2.10의 ◇ 내에서 나타나게 될 것이다.

그림 2.10에서 정전류원의 부하로 센서가 사용되면 결합에 따른 임피던스 변동은 센서의 임피던스 변화와

같다. 따라서, 센서의 단자전압 Vs를 측정하여 실수분과 허수분을 분리하면 부식 결합의 정량적인 지표가 얻어진다. Vs의 실수분과 허수분은 기준전압에 대한 위상으로부터 계산되어진다. 그러나, 결합에 의한 센서 출력의 변화가 미소하므로, 그림 2.10의 방식을 이용하기 위해서는 이러한 변화량을 편차가 적은 값으로 측정할 수 있는 정밀한 회로의 설계가 요구되므로 AD 컨버터는 16(bit) 정도의 해상도가 좋은 것으로 사용하였다.

즉, 부식에 의한 출력 변화가 임피던스의 변화로 나타나며 따라서 출력 진폭으로만 열화 상태를 정량화할 수 있음을 알 수 있으며 제작된 탐상기는 이러한 전선의 국부결합을 검출하는데 적합함을 알 수 있다.

### 3. 결 론

전선의 국부부식 정도를 측정하기 위하여 개발된 ACSR 전선 결합감지장치에 대해서 기준시료에 대한 탐상기의 정량화 방법 및 ACSR 97mm<sup>2</sup> 시료에 대한 측정 시험결과 및 그 특성 분석에 대해서 논하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. ACSR 97(mm)의 건전 전선, 아연도금 강선, 아연부식 전선의 시료와 사용 전선 시료를 제작 탐상기로 실험하였다. 제작된 코일센서는 심한 결합을 가진 시료에 대하여 대략 3~4(%)의 임피던스가 변동되었다.
2. 시험에 사용된 시료에 대한 결합특성을 정량화 형태로 나타내었다. 16(bit)의 고해상도를 가진 AD 컨버터를 사용하고 코일의 변동 임피던스는 1[Ω] 미만이며 고주파 정전류원과 작은 출력전류로 인하여 출력신호에 약간의 편차가 발생되었으나 이러한 문제는 프로세서의 프로그램으로 일부 개선되었다.
3. 제작된 결합감지장치를 이용하여 ACSR 97mm<sup>2</sup> 시료에 대해서 시험한 결과 약간의 측정 편차는 발생하였으나 현장 실증시험에 대한 가능성을 확인하였다.

### [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,