

ACSR 슬리브 개소에서 송전선 재료특성 검토

강지원*, 홍동석, 장태인, 윤형희, 이동일 최한열
 한국전력 전력연구원 한국전력공사

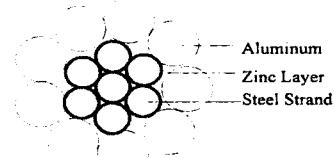
Material characteristic of ACSR due to eccentricity at sleeve point

J.W.Kang*, D.S.Hong, T.I.Jang, H.H.Yoon, D.I.Lee H.Y.Choi
 KEPRI KEPCO

Abstract - The considerations for remaining life of ACSR (Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced) in transmission lines has become gradually important to hold reliability and stability of power supply. The remaining life of ACSR exposed to the atmosphere for a long period may rely on deterioration caused by environmental indices such as atmospheric corrosion, galvanic corrosion, crevice corrosion and fatigue corrosion.

This paper deals with material characteristic of ACSR due to eccentricity at sleeve point. Test samples are ACSR 240[mm²] conductors, which are real transmission lines. As a result, it is obvious that ACSR due to eccentricity may lead to mechanical deterioration.

이에 이온화 현상이 발생하고 이온화 경향이 큰 Zn, Al, Fe의 순서로 전해부식이 진행되는데[1,5] 아연이 1차적으로 부식되며, 다음으로 알루미늄과 강심이 접촉되면 알루미늄이 손실되고 강심도 대기에 노출되는 형태가 되어 부식속도가 증가되기도 한다[2,3].



<그림 1> ACSR 송전선의 구조

1. 서 론

특고압 배전선로 및 송전선로에 사용되는 ACSR(Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced)의 열화(deterioration)는 전선의 재질, 제조방법 및 가설상태와 선로의 노출환경 등 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 진행된다[1]. 특히, 동일한 재질의 동 및 알루미늄 연선에 비하여 가공전선으로 사용되는 ACSR은 인장을 담당하기 위한 아연도금 강연선과 전류를 공급하기 위한 강알루미늄 연선의 꼬임 구조를 갖고 있기 때문에 대기부식(atmospheric corrosion)뿐만 아니라 서로 다른 금속(異種金屬)의 접촉에 의한 전해부식(galvanic corrosion), 전선에 습윤으로 인하여 초래되는 간극부식(crevice corrosion) 및 피로부식(fatigue corrosion) 등 다양한 부식현상이 나타나고 있다[2,3].

일반적으로 전선의 부식열화에 의해 발생한 결함은 비파괴검사(nondestructive test)인 와류검사법(eddy current test), 누설자속법(leakage flux test)[4] 또는 적외선 카메라(infrared camera) 이용법에 의해 검출하기도 하나 본 연구에서는 전선의 결함정도 검출을 위하여 전력연구원에서 국내 최초로 자체 개발한 ACSR 내부부식 탐상기를 이용하였다[5].

한편, 송전선의 교체수명은 가설 후 경과된 기간 즉, 경년으로 정하는 것이 일반적이지만[6] 가설된 지역의 환경적 요인이나 전선 재질상의 특성, 전력공급량 등에 의하여 열화상태가 다양하게 진행되므로 가설 기간만으로 산정하기에는 불충분할 뿐만 아니라 화재에 의하여 도체의 기계적 특성이 변화될 경우에 수명은 현저하게 감소될 것으로 추측된다. 또한, ACSR 송전선의 경우 중간 중간에 송전선을 슬리브 접속하여 도체를 연결시키고 있으나 이 곳에서 편심 등의 문제가 발생하고 있어 선로 운영에 어려움이 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 양단 전력선을 기계적으로 직접 접속시킨 송전선 슬리브 개소에서의 재료적 특성분석을 통하여 슬리브 편심정도가 전선의 열화에 미치는 영향에 대해서 검토하고 그 분석결과를 제시함으로써 향후 선로운영에 활용하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 ACSR 열화특성 및 탐상기

이 절에서는 가공송전선에 주로 적용되는 ACSR 전선의 열화특성 및 전력연구원에서 국내 최초로 개발한 "ACSR 내부부식 탐상기"에 대해서 간단히 소개한다.

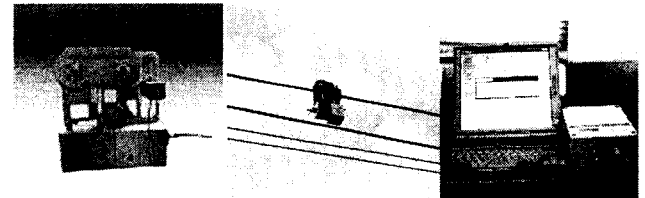
2.1.1 ACSR의 구조와 부식특성

일반적으로 ACSR 도체는 <그림 1>에서와 같이 주로 기계적 인장을 담당하는 아연도금 강연선과 전류를 공급하는 알루미늄 연선층으로 조합되어 있다. 한편, ACSR의 대부분이 공기 중에 노출되어 있을 때, 대기부식이 발생되며 대기환경이 금속의 부식에 영향을 주는 것은 주로 습도와 산소성분이며, 아황산가스, 소금기 및 질소 등이 부식의 원인이 되고 있다.

또한, <그림 1>에서와 같이, 아연도금 강선과 알루미늄 소선이 닿아 있는 부분은 3종의 금속 즉, 철, 아연 및 알루미늄이 접촉되어 있어 내·외층의 이종금속간의 접촉으로 인한 전해부식도 나타나며, 먼지와 같은 탄화물이 습기를 함유하고 도전성을 띠면 이종금속사

2.1.2 ACSR 내부부식 탐상기

<그림 2>에 비파괴방식으로 ACSR 송전선의 내부부식 정도를 검출 가능한 탐상기를 소개하였다. 국내 최초로 개발된 탐상기는 공중 탐상기(와류류 센서, 신호처리부, 주 마이크로 프로세서, 모터제어와 무선 구동부, RF modem, 전원회로로 구성)와 지상제어기(Notebook PC, RF modem으로 구성)로 구성되어 있으며 가공지선뿐 아니라 480[mm²] 송전도체까지도 탐상 가능하도록 제작되었으며[5], 전선의 부식정도 등 상태 판정시 알루미늄뿐만 아니라 아연의 부식정도를 측정하여 전선의 상태판정에 활용하고 있다.



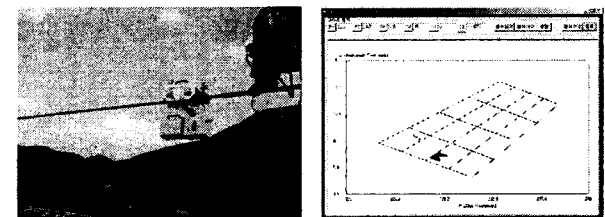
<그림 2> ACSR 내부부식 탐상기

2.2 ACSR 슬리브개소에서의 재료특성 검토

본 절에서는 노후 송전선로중 하나인 154kV A T/L(경년 40년, ACSR 240[mm²])의 전선상태(특히 슬리브개소 부근)를 분석하고자 <그림 2>에 소개된 탐상기를 이용한 송전선 상태 분석 및 채취된 일부 송전선에 대하여 SEM 및 EDS를 이용한 시료분석을 실시함으로써 슬리브개소에서의 편심정도가 송전선의 열화에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

2.2.1 탐상기를 이용한 검토 결과

본 논문에서 검토 대상으로 선정한 154kV A T/L에 대한 탐상기를 이용한 실측장면 및 분석결과를 아래 <그림 3>에 나타내었다.



<그림 3> 해당 송전선 탐상장면 및 분석결과

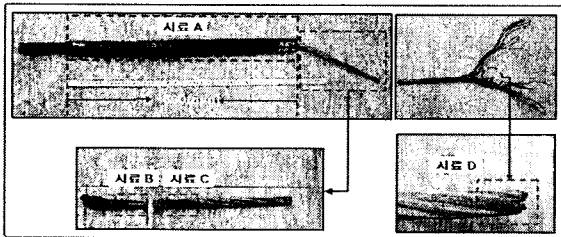
<그림 3>의 우측은 전선의 국부부식을 나타내는 척도로서 아연부착량의 등급과 알루미늄 단면적 손실에 대한 등급으로 ACSR 240 [mm²]의 부식정도를 정량화한 평면이다. 즉, <그림>의 정량화 평면에서 횡축은 아연부착량 정도, 종축은 알루미늄 단면적 손실에 대한 정도를 나타내며 전체 등급을 4등급으로 분할하였다.

<그림 3>에서 알 수 있듯이 전체 탐상 공간에서 상대적인 심한 국부부식의 흔적은 발견되지 않았으나 아연손실 등급은 평균 2.44등급(최고 3등급(45.36%))으로 검토됨으로써 상기 도체의 아연도금 강연선중 아연층의 부식이 일부 진행되었으며, 그에 따른 알루미늄층의 부식 진행속도도 향후 증가될 것으로 검토되었다.

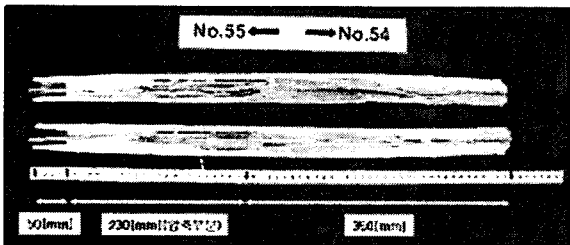
2.2.2 해당 송전선 외관특성 검토 결과

본 논문에서 검토한 송전선은 ACSR 240[mm²]로서 직선 슬리브 개소 및 부근 송전선의 외관상태를 아래 <그림 4>에 나타내었다. 한편, 해당 송전선의 재료특성 분석을 위하여 총 3개(시료 B, C, D)의 시료를 채취하였으며, 슬리브 부분인 시료 A에 대해서는 편심정도를 확인하고자 하였다(<그림 4(b)> 참조).

먼저 시료 A에 대해 슬리브 중앙 부분을 횡측으로 절단하여 편심정도를 확인한 결과(<그림 4(b)> 참조) 슬리브 중앙에서 No. 55측 방향으로 약 150[mm]정도 치우쳐 시공됨으로써 편심정도가 상당히 심한 것으로 검토되어 No. 54측 보다는 No. 55측 전력선에 인장하중이 상대적으로 크게 집중되었을 것으로 검토되었으며, 시료 B, C, D에 대해 고배율로 촬영한 시료 표면사진 및 단면사진(<그림 4(c)> 참조) 확인 결과 검게 그을려져 있는 부분은 부식에 의한 2차 흔적인 것으로 확인되었다.



(a) 검토대상 송전선 외관



(b) 시료 A의 편심정도 사진

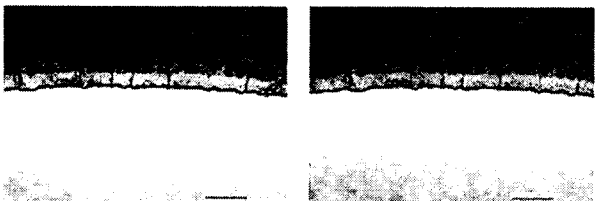


(c) 시료 B, C, D의 표면 및 단면 근접 촬영사진

<그림 4> 슬리브개소 편심정도 및 해당송전선의 외관상태 사진

2.2.3 해당 송전선 재료특성 분석 결과

아래 <그림 5>는 해당송전선의 재료분석을 위하여 <그림 4>의 시료 B, C 아연층의 비교적 양호한 부분을 400배로 확대한 결과로서 비록 아연층은 일부 잔존하였으나 곳곳에 갈라져 있는 형태를 확인할 수 있다. 이는 아연층에 부식이 진행되어 발생된 것으로 사료되어지며 향후에 이러한 갈라진 틈으로 물이나 습기가 침투하는 경우 부식이 더욱 빨리 진행될 것으로 판단되며 <그림 3>의 탐상기 분석결과와도 잘 일치함을 확인할 수 있다.

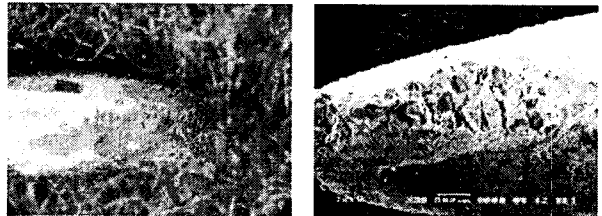


(a) 시료 B (b) 시료 C
<그림 5> 시료 B, C 단면상태(×400)

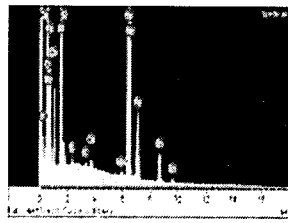
한편, 송전선 단선부분인 시료 D 외층 표면에 대한 SEM 및 EDS 검사 결과에 대해서 <그림 6>에 나타내었다.

즉, <그림 6 (a),(b)>의 SEM 분석결과에서 알 수 있듯이 시료 D는 끝부분에 부식이 심하게 발생되어 있으며, 특히 시료 하단(내부 강심 방향)은 부식이 극심하여 구성물질이 떨어져 나간 형태의 깊은 골이 형성되어 있을 뿐만 아니라 강선의 상단부분은 인장에 의하여 주름형태로 강선이 잘게 깨여 있으며 부식이 심하게 발생한 내부 강심 방향으로 휘어진 형태를 보이고 있음이 관찰됨으로써 상기 시료 D의 경우 시료 안쪽의 극심한 부식으로 인한 인장력 저하 등 송전선 열화가 급속히 진행되었을 것으로 검토되었다.

또한, 시료 D에 대한 부식정도를 좀 더 정확히 분석하기 위하여 해당시료 표면을 구성하는 화학적 성분의 정성적, 정량적 분석을 위한 EDS 분석결과 정량적으로는 산소 및 알루미늄, 철, 아연 성분이 주를 이루었으나 Fe(철)성분이 전체의 49.73[%]를 차지한 반면 Zn(아연)성분은 7.07[%]밖에 검출되지 않았다. 이러한 사실로부터 시료 D의 하단은 부식이 극심하여 아연층이 거의 소실되었음을 확인할 수 있다.



(a) 시료 옆면 (b) 시료 D 하단부 표면상태(SEM)



(c) EDS 분석결과(정성/정량적)

| Element | Weight(%) |
|---------|-----------|
| O | 29.70 |
| Al | 11.39 |
| Si | 1.02 |
| S | 0.25 |
| K | 0.18 |
| Ca | 0.33 |
| Mn | 0.35 |
| Fe | 49.73 |
| Zn | 7.07 |
| Total | 100 |

<그림 6> 시료 D에 대한 SEM 및 EDS 분석결과

3. 결 론

본 논문에서는 송전선 슬리브개소 부근 전력선의 재료적 특성분석을 통하여 슬리브 편심정도가 송전선의 열화에 미치는 영향에 대해서 검토하였으며 그 검토결과는 다음과 같다.

- 가. 검토대상 송전선의 경우 슬리브가 한쪽 방향으로 약 150[mm] 정도 치우쳐 시공됨으로써 편심정도가 상당히 심하였으며, 아연도강연선에 대한 SEM 및 EDS 분석결과 아연층이 상당부분 소실됨으로써 상당기간 국부부식이 지속된 것으로 검토되었다.
- 나. 송전선 슬리브 개소에서의 과다 편심은 ACSR 소선에 국부부식을 유발함으로써 인장력 저하의 한 요소로 작용할 수도 있으며 해당개소의 설치환경에 따라 대기부식, 전해부식뿐만 아니라 간극부식 유발에 의한 송전선 열화의 한 요소로 작용할 수 있으므로 시공시 세심한 주의가 필요한 것으로 검토되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대기오염이 전력설비에 미치는 영향연구, 전력연구원, KRC-92 C-SO5, 1993.
- [2] T. E Graedel, "Corrosion mechanism for zinc exposed to the atmosphere", J. of Electrochem. Soc., Vol. 136, No. 4, pp. 193 C-203C, 1989.
- [3] T. E Graedel, "Corrosion mechanism for aluminum exposed to the atmosphere", J. of Electrochem. Soc., Vol. 136, No. 4, pp. 204c-212c, 1989.
- [4] G. G. Martin, "Detection of internal corrosion in steel-reinforced aluminum power line conductors", Corrosion Australia, Vol. 15, No. 5, pp. 9-13, 1991.
- [5] ACSR 전선수명 예측시스템 개발, 전력연구원 최종보고서, '00 전력연-단016, 2000.
- [6] D. G. Harvard, M. Tabatabai and J.R. Meale, "Interpretation of conductor test Data and Prediction of Remaining Life", Report No. 90-144-K, Ontario Hydro Research Division, pp. 15-21, Aug. 3, 1990.