

해안지역 ACSR 가공지선의 기계적 특성

장태인*, 강지원*, 이동일*, 장인출**
 한전 전력연구원*, 한국전력공사**

Tensile Characteristics of ACSR Overhead Lines located in seaside

T.I.Jang*, J.W.Kang*, D.I.Lee*, I.C.Jang**
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - The remaining life of ACSR(Aluminum Conductor Steel Reinforced) wires exposed to the atmosphere for a long period relies on the extent of deterioration caused by environmental factors such as atmospheric corrosion, galvanic corrosion, crevice corrosion and fatigue corrosion. We investigated the tensile characteristics of ACSR wires in a coastal area through several mechanical tests, and analyzed the constituents of them using SEM(scanning electron microscope). Test samples are parts of ACSR 97[mm²] overhead transmission lines in that area. The result shows that ACSR wires exposed to salt may lead to rapid mechanical deterioration.

1. 서 론

송전선과 고압배전선에 사용되고 있는 ACSR의 구조는 외층이 알루미늄 도체이고 내부는 아연으로 도금된 강연선으로 구성되어 있다. 가설후 대기에 노출된 상태에서 알루미늄은 대기부식으로 인하여 산화피막을 형성하여 기계적 인장강도는 대수 함수적으로, 아연도금강선은 인장강도의 감소율이 지수 함수적으로 감소하는 것으로 보고되고 있다[1]. 이러한 전선의 부식은 ACSR 소선의 단면적을 감소시켜 인장강도를 떨어뜨리는 직접적인 영향을 가져오게 되어 전선의 수명이 단축되는 원인이 되며, 또한 국부부식으로 인하여 단선을 초래하는 경우도 있다.

전선의 수명을 측정하는 데는 비파괴 검사법과 파괴 검사법이 있다. 비파괴 검사법으로는 와전류 탐상법이나 적외선 감시카메라를 이용하는 검사법 등을 들 수 있다 [2~4]. 파괴 검사법은 인장하중 검사나 비틀림 연성시험을 통해서 잔존수명을 판정하는 것이 일반적인 경향이 다. 인장하중의 경우는 정격 인장하중의 감소율이 20[%]에 달할 때를 한계수명으로 판정하고 있으며, 비틀림 연성시험에서는 주로 인장하중을 담당하고 있는 강소선에 대해서만 실시하고 있으며, 이때 비틀림 횡수가 5회 이하이면 한계수명으로 규정하고 있다[5~7]. 이런 점을 감안하면 인장하중의 감소율만으로도 개략적인 수명을 예측하는 것도 무리가 없을 것으로 사료된다. 한편, 전선이 가설된 지역은 정정지역, 공해지역, 염해지역 및 염공해지역 등으로 다양하고, 이에 따라 전선의 부식 정도가 판이하게 다르므로 전선의 수명을 예측하는데 있어 매우 어려움이 따른다. 또한, 염분은 강과 친화력이 커서 해안가에 가설된 전선부식의 주 원인이 되며 전형적으로 해안 지역의 강의 부식속도는 청정지역보다 약 2,000배이상 크다고 보고되고 있다.

본 논문에서는 환경을 고려한 시료의 획득이 대단히 어려운 실정이므로, 같은 시기에 다른 환경에 가설된 한 선로의 ACSR 가공지선에 대하여 전선 수명예측에 기초 자료가 될 수 있는 기계적·재료적 특성시험을 실시하고

그 결과에 대하여 알아보았다.

2. 본 론

이 절에서는 본 논문의 분석 대상이 되고 있는 ACSR 97[mm²]의 경년에 의한 수명예측곡선에 대해서 다루었다. 상기 수명예측곡선은 약 6년간에 걸쳐 현장에서 절거 후 수거된 전선을 이용하여 도출된 것이다. 이 예측곡선은 전선의 가설환경을 고려하지 않고, 30여년 정도의 경년 변화만을 반영하고 있으므로 전선의 수명을 정확히 예측하기에는 부족한 데이터이나 수명 예측에 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2.1 경년에 의한 수명예측곡선의 도출

대상전선인 ACSR 97[mm²]에 대하여 '94~'01년에 걸쳐 수집한 시료들의 알루미늄 소선과 아연도금 강선의 인장강도 측정치에 대하여 기계적인 수명예측 곡선을 유도하였다[8].

여기서, x 는 대상전선의 경년이고 y 는 정격인장강도에 대한 대상전선의 인장강도 손실율로 사용 후 채취된 시료들의 기계적 인장에 대한 추정함수를 나타낸다. 추정함수는 다음과 같이 가정하였다.

$$y = e^{ax+b} \tag{2.1}$$

이 때, P_i 를 정격인장강도에 대한 초기인장강도의 백분율이라 하고, L_{cr} 을 한계수명 인장손실율로 초기인장강도에 대하여 RTS의 20[%]가 손실된 경우의 백분율 인장강도 손실이라 하자. 이 경우에 L_{cr} 은 다음과 같이 결정된다.

$$L_{cr} = \frac{P_i - P_{80}}{P_i} \times 100 \tag{2.2}$$

또한, y_4 는 P_c 가 나타나는 한계수명예측년수(limit estimation life-time)로 다음과 같이 주어진다.

$$y_4 = \frac{\ln L_{cr} - b}{a} \tag{2.3}$$

그림 2.1은 ACSR 97[mm²]의 인장 손실율에 대한 추정곡선을 보인다. 일반적으로 건전전선의 인장은 정격인장강도에 비하여 전선의 규격마다 5~20[%] 이상 큰 인장을 나타낸다. 따라서 97[mm²]인 규격에 대해서는 실험을 통하여 105[%]를 초기인장으로 결정하였다. 그림 2.1은 건전전선의 인장과 사용 후 절거된 전선의 인장 사이의 인장손실율을 산출하여 나타내고 이들 사이의 경년변화를 함수로 추정하였다. 이 때, 경년에 대한 인장손실을 함수는 식 (2.1)의 형태로 구해졌으며 정격하중에 대하여 0, 10 및 20[%] 손실 영역을 두어 기계적인 등급을 정했다. 그림 2.1에서 좌측 데이터는 정격인장에 대한 손실율이며 RTS에 대한 전선의 한계수명을 구하여 표시하였다.

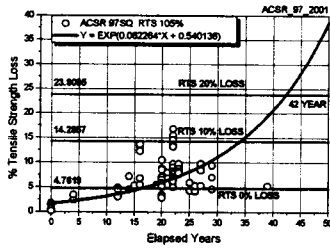


그림 2.1 ACSR 97(mm²)

그림 2.1의 ACSR 97(mm²)인 경우에 수집된 시료는 0~39(년) 정도이다. 따라서, 최대 경년 이상의 기간에서의 함수는 문헌상의 결과를 토대로 추정하였다. 이 결과로부터 구한 인장손실 특성과 추정함수를 표 2.1에 요약하였다.

표 2.1 추정 인장 손실율과 함수

전선규격 (mm ²)	P _i (%)	L _{cr} (%)	y ₁ (년)	y = e ^{ax+b} (%)
97	105	23.8095	42	y = e ^{0.062264x + 0.540136}

시료집단이 적어 추정된 수명에측함수의 신뢰성의 확보는 충분하다고 볼수 없으나, 현재 한전에서는 경년열화의 수명에측곡선을 이용하여 경년에 의한 인장손실율을 4등급으로 나누었으며 전선교체의 보조자료로 활용중이며, ACSR 97(mm²)에 대해서 아래에 나타내었다.

- 1등급 : 인장강도손실율 0 ~ 4.76199(%) 미만
- 2등급 : 인장강도손실율 4.7619~14.2857(%) 미만 (2.4)
- 3등급 : 인장강도손실율 14.2857~23.8095(%) 미만
- 4등급 : 인장강도손실율 23.8095(%) 이상

즉, 그림 2.1의 경년에 의한 인장손실은 통계적인 방법으로 처리한 것으로 이 결과의 이용은 단지 16년의 경년이면 적어도 인장손실 등급이 1등급이라는 정보만을 제공해 준다는 것에 유의하여야 한다.

2.2 인장특성시험 분석 결과

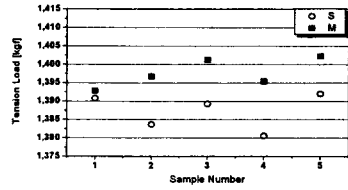
이 절에서는 전선의 가설환경에 따른 기계적 인장특성을 살펴보기 위하여 수원전력관리처 관내 A T/L(1985년 가설, 2001년 철거, 서해안 강화도부근 위치)의 가공지선중 해월구간과 해안에 근접한 구간의 가공지선에 대하여 인장시험을 실시하였으며, 해당 가공지선은 ACSR 97(mm²)로서 시료의 외관상 특징은 해월구간 전선의 경우 염분에 의한 부식 및 경년에 의한 자연부식 흔적 외에는 특이점을 발견할 수 없었으며, 해당 철거 구간에 대해서 아래 그림 2.2에 나타내었다.



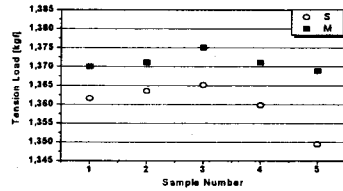
그림 2.2 시험 대상선로

환경에 따른 즉, 염분에 의한 전선의 기계적 인장특성

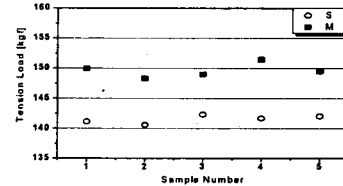
을 알아보기 위하여 현장에서 철거된 후 수거된 A T/L의 가공지선에서 5개의 시료를 임의 채취하여 인장시험을 실시하였으며, 그 결과에 대해서 아래 그림 2.3에 나타내었다. 이상의 결과에 대해서 한국공업규격에 근거하여 재정리한 것이 표 2.2이다.



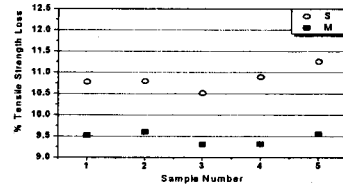
(a) Steel Core Tension Load



(b) Steel Strand Tension Load



(c) Aluminum Tension Load(kgf)



(d) RTS 105(%) Loss

그림 2.3 시험전선의 인장특성시험 결과

표 2.2 인장하중 분석 결과 단위 : (kgf)

분류 No	ST-1(mean)		ST-2(mean)		AL(mean)	
	S	M	S	M	S	M
1	1390.8	1392.9	1361.6	1370.1	141.2	149.9
2	1383.7	1396.7	1363.6	1371.1	140.6	148.3
3	1389.3	1401.2	1365.1	1375.1	142.3	149.0
4	1380.6	1395.4	1359.8	1371.1	141.7	151.4
5	1392.0	1402.2	1349.5	1368.8	142.0	149.5
평균	1387.3	1397.7	1359.9	1371.2	141.6	149.6

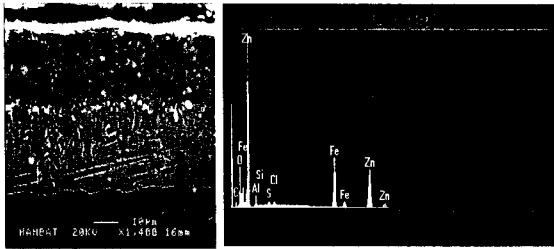
참고적으로 S는 해월구간, M은 해안에 근접한 구간, ST-1은 아연도강연선중 steel core부분, ST-2은 아연도강연선중 steel strand부분, AL은 경알루미늄층을 나타낸다. 한편, 그림 2.3 (a)~(c) 및 표 2.2의 결과에서 알 수 있듯이 강선 심선보다 강선 연선은 예상한

바와 같이 연선꼬임에 의해 인장이 다소 감소되며, S의 경우 M에 비해서 아연도강연선의 경우 99.2(%), 경알루미늄의 경우 94.7(%)의 비슷한 인장특성을 보임을 알 수 있다.

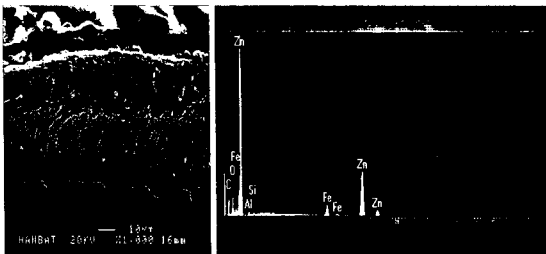
즉, 해월구간 및 해안가에 가설된 전선의 경우 염분이라는 환경에 의한 부식특성은 큰 차이점을 보이지 않음을 알 수 있으나, 가설환경을 무시한 수명예측곡선인 그림 2.1의 경우 경년 16년이 된 해당 전선은 1등급에 속하나 그림 2.3(d) 및 식 (2.4)에 의하면 염분에 장시간 노출된 해당 시료는 2등급의 특성을 보임을 알 수 있다.

2.3 금속현미경 분석 결과

이 절에서는 염분에 장시간 노출된 아연도강연선의 금속학적 변형여부 및 성분분석결과에 대해서 다루었다. ACSR 전선의 부식상태를 좀더 명확하게 규명하기 위하여 현장에서 수거한 가공지선에 대해서 금속현미경으로 촬영한 사진 및 성분분석 결과에 대해서 아래 그림 2.4 및 5에 나타내었다.



(a) SEM 촬영 (b) 표면 성분분석 결과
그림 2.4 해월구간 전선에 대한 분석 결과



(a) SEM 촬영 (b) 표면 성분분석 결과
그림 2.5 해안가 전선에 대한 분석 결과

그림 2.4 (b) 및 그림 2.5 (b)의 결과에서 알 수 있듯이 두 전선 모두 현재 부식이 일부 진행중이며, 해월구간 전선의 경우 해안가 전선에서는 볼 수 없는 Cl 성분이 검출된 점과 Fe 성분이 상대적으로 많이 검출된 점에 미루어 Zn층의 부식 또한 상대적으로 많이 진행된 상태이나 큰 차이점은 보이지 않음을 알 수 있다. 한편, 전선이 염분등에 노출되어 장시간 운전시 전선 표면에 부착된 여러 이물질로 인하여 다른 지역의 전선보다 향후 전선부식을 촉진시키는 한 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

3. 결 론

가설 환경을 모두 고려한 시료의 획득이 대단히 어려운 실정이므로 염분에 장시간 노출된 한 선로의 ACSR 가공지선에 대한 기계적·재료적 특성시험을 통하여 전선수명을 예측하고자 하였으며, 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 인장특성시험 분석 결과에서 알 수 있듯이 해월구간의 경우 해안가에 가설된 전선에 비해서 아연도강연선의 경우 99.2(%), 경알루미늄의 경우 94.7(%)의 비슷한 인장특성을 보임을 알 수 있다.
2. 금속현미경 분석 결과에서 알 수 있듯이 해월구간 전선의 경우 해안가 전선에서는 볼 수 없는 Cl 성분이 검출된 점과 Fe 성분이 상대적으로 많이 검출된 점에 미루어 Zn층의 부식 또한 상대적으로 많이 진행된 상태이나 큰 차이점은 보이지 않음을 알 수 있다.
3. 가설환경을 무시한 수명예측곡선인 그림 2.1의 경우 경년 16년이 된 해당 전선은 1등급에 속하나 그림 2.3(d) 및 식 (2.4)에 의하면 염분에 장시간 노출된 해당 시료는 2등급의 부식특성을 보임을 알 수 있다.
4. 이상의 실험을 통하여 인장하중의 감소율만으로도 전선의 개략적인 수명예측에 대한 기초자료로 활용할 수 있는 가능성을 확인하였으나, 향후 지속적인 시료 확보를 통해 전선종류별뿐만 아니라 가설환경별 수명예측곡선을 도출할 필요가 있다.

(참 고 문 헌)

- (1) P.H.Sdwabe & D. Pike, "The Measurement of Corrosion in Overhead Power Lines". ANTI-Corrosion, July 1988.
- (2) J. Blitz, Electrical and Magnetic Methods of Nondestructive Testing, Adam Hilger, 1991.
- (3) P.G. Buchan, "Locating corrosion on operating transmission lines with an infrared camera". Ontario Hydro Research Division Report, No. 90-64-K, 1990.
- (4) K. Tsukada, K. Hanasaki and Y. Fujinaka, "A magnetic method to measure metallic cross-sectional area of corroded steel wire and wire rope", NDT in Japan, Vol.41, No.1, pp.18~26, 1991.
- (5) Havard, D.G., et al. "Preliminary Studies for an Overhead Line Refurbishment Program at Ontario Hydro", Report to CIGRE WG22-211, Sarajevo, Yugoslavia, 1989.
- (6) Havard, D.G., Bissada, M.k., Fajardo, C. J., Horrocks, D.J., Meals, J.R., Motlis, J., Tabatabai, M., and Yoshiki-Gravelsins., "Aged ACSR Conductors Part I - Testing Procedures", IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Dallas, 1989.
- (7) D.G. Havard, G. Bellamy, P.G. Buchan, H.A. Ewing, D.J. Horrocks, S.G. Krishnasamy, J. Motlis, K.Y. Yoshiki-Gravelsins, "Aged ACSR Conductors Part II - Prediction of Remaining Life", IEEE Transmission on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April, 1992
- (8) "ACSR 전선수명 예측시스템 개발", 전력연구원, '00전력연-단16, 2000.