

화염에 노출된 가공송전선의 기계적·재료적 특성 검토

강지원\*, 장태인\*, 김복규\*, 박창기\*\*, 방항권\*\*

Mechanical characteristic of overhead transmission lines by forest fires

J.W. Kang\*, T.I. Jang\*, B.K. Kim\*, C.G. Park\*\*, H.K. Bang\*\*  
KEPRI\*, KEPCO\*\*

Abstract 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. One of reduction of useful life in overhead transmission lines built on the ridge of mountain is often caused by forest fires.

This paper deals with investigation of strength deterioration performance of ACSR due to fires through several testing and analyzing data for both tension load and material analysis. Test samples are ACSR 480[mm<sup>2</sup>] conductors, which are artificially fired to regular durations. As a result, it can be verified that tension load of ACSR are reduced by increasing fire duration. Hence, it is obvious that ACSR due to forest fires may lead to mechanical deterioration.

1. 서 론

가공송전선으로인 ACSR 전선의 열화정도 및 잔존수명에 대한 관심이 전력공급의 신뢰성과 안정성을 유지하기 위하여 점차 중요하게 인식되고 있는 실정이다. 대기 중에 장기간 노출된 ACSR의 잔존수명은 대기부식, 전해부식, 간극부식 및 피로부식과 같은 환경요인들에 의하여 발생된 열화에 크게 의존되나[1~3] 최근 들어서는 잦은 산불에 의하여 일부 가공송전선의 열화가 더욱 빨리 진전되고 있는 추세이다.

일반적으로 급속은 높은 온도를 수반하고 있는 화염에 의한 재료 및 구조 변화에 따른 기계적·전기적 특성이 변화되며, 송전선로에 주로 사용되는 ACSR 도체의 경우 산불 등과 같은 화염에 의하여 재료 및 기계적 특성이 변화되어 전선의 잔존수명 감소 및 도체의 아연도금 강선에 피막으로 덮여있던 아연 층을 녹여 내리게 함으로써 강선에 대기부식을 촉진시킬 뿐만 아니라 아연 층이 벗겨진 강선과 알루미늄 소선이 맞닿아 전해부식이 발생되어 알루미늄 소선의 부식을 가속시킨다. 결과적으로, 화염에 의해 파생된 각종 부식형태가 전선의 전체 인장강도 감소를 유발하여 전선의 수명을 더욱 단축시키는 결과를 초래할 수도 있다. 실제로 전선의 인장하중 감소율만으로도 개략적인 수명예측이 가능함을 알 수 있다[7]. 따라서 이러한 열화전선에 대한 정확한 내부결함 정도를 사전에 인지하는 것 또한 안정적인 전력공급에 기여하게 될 것이다.

한편, 전선의 파괴 검사방법으로는 인장하중 검사나 비틀림 연성시험을 통해서 잔존수명을 판정하는 것이 일반적인 경향이다. 즉, 인장하중의 경우는 정적 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[4~7].

송전선의 교체수명은 가설 후 경과된 기간 즉, 경년으로 정하는 것이 일반적이지만 가설된 지역의 환경적 요인이나 전선 재질상의 특성, 전력공급량 등에 의하여 열화상태가 다양하게 진행되므로 가설 기간만으로 산정하기에는 불충분할 뿐만 아

니라 화염에 의하여 도체의 기계적 특성이 변화될 경우에 수명은 현저하게 감소될 것으로 추측된다.

따라서 본 논문에서는 ACSR 480[mm<sup>2</sup>]에 대하여 인공화염 장치치를 이용한 전선과 화염의 접촉정도, 열화지속시간에 따른 기계적 인장하중 및 재료적 특성 분석 결과를 통하여 화염에 노출된 ACSR 가공송전선의 특성변화 및 전선의 잔존수명 예측에 활용 가능 여부에 대해서 논하였다.

2. 본 론

2.1 열화전선의 기계적 특성 검토

일반적으로 산불에 의한 도체의 특성은 정확한 산불의 모델링과 그 영향을 알 수 있어야 해석이 가능하지만, 송전선로에 대한 산불 모형이 연구된 실적이 많지 않기 때문에 본 절에서는 인공화염장치를 이용한 가상 실험방법을 택하였으며 그 실험결과에 대해서 다루었다.

2.1.1 실험 방법

본 절에서는 산림 화재로 인한 가공송전선의 기계적 특성 변화를 추정하기 위하여 건전 전선을 대상으로 인공화염 실험을 수행한 내용에 대해서 다루었다. 산불을 가정하여 건전 전선에 가스 램프로 일정 시간 간격으로 화염을 가하여 ACSR 도체의 기계·재료적 특성 변화를 검토하고자 하였다. 일반적으로 산불 모형이나 산불 모의실험에 대한 어떤 기준도 마련되지 않았으므로 본 실험에서는 가스램프로 2분 ~ 40분까지 각각 구분하여 열을 가하였다.

아래 <그림 1>에 인공화염장치에 대해서 소개하였다. 실험과정에서 시료는 열이 한곳에 집중되지 않도록 하기 위하여 서서히 회전시켰으며, 전선과 가스램프 사이의 거리는 열이 전선에 충분히 전달될 수 있도록 접촉상태와 10[Cm] 및 20[Cm]로 유지시켰으며, 도체의 기계적 특성을 확인하기 위하여 KS 규정에 따라 인장시험을 행하였다.



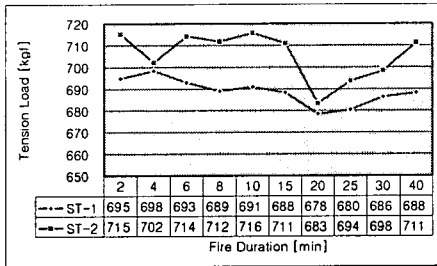
<그림 1> 인공 화염장치

2.1.2 기계적 특성실험 결과

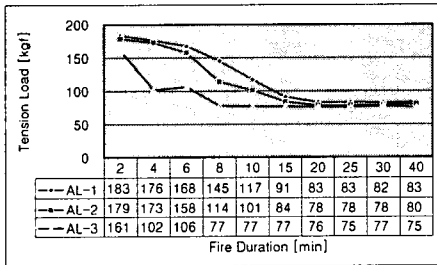
ACSR 도체의 화염에 의해 변화된 재료 및 기계적 특성 변

화를 해석하기 위하여 인장시험기를 사용하였으며 그 결과를 아래 <그림 2 ~ 3>에 나타내었다.

참고적으로 ACSR 480( $mm^2$ )의 구조는 알루미늄 : 45/4.7, 강심 : 7/2.47(갯수/지름( $mm$ ))이며, 강심의 인장하중은  $647 \cdot 7 = 4,529 [kgf]$ , 알루미늄의 인장하중은  $45 \cdot 178 = 8,010 [kgf]$ 로서 전체 인장하중에서 강심의 인장하중이 차지하는 비는 36.1(%), 알루미늄의 인장하중이 차지하는 비는 63.9(%). 즉, 다른 송전선과는 달리 알루미늄이 차지하는 인장하중이 강심보다 높다는 것을 알 수 있다. 한편, 본 논문에서 나타내는 ST-1은 강심을, ST-2는 아연도금 강연선을 나타내며 AI-1, AI-2 및 AI-3는 내층으로부터의 알루미늄 연선층을 의미한다.



(a) 아연도금 강연선

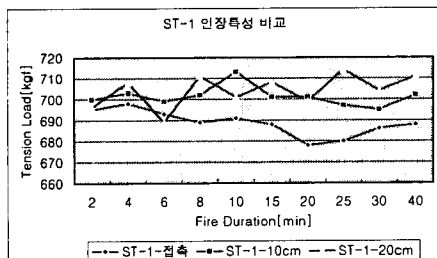


(b) 알루미늄 연선

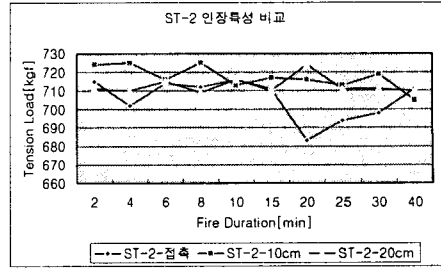
<그림 2> 전선에 화염 접촉시 열화시간에 따른 인장강도 변화

<그림 2>에서 알 수 있듯이 가공송전선이 화염에 접촉시 화염지속시간에 따라 아연도금강연선 및 알루미늄 연선의 인장강도는 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 또한, <그림 2(b)>에서 알 수 있듯이 화염과 직접 접촉되는 최외층 알루미늄의 경우 열화시간이 길어질수록 인장강도의 감소가 뚜렷하게 나타나 일정시간 경과 후에는 거의 일정한 인장강도 특성을 보임을 알 수 있으며, 화염에 직접 노출된 외층 알루미늄 소선에 비하여 내층 연선은 비교적 화염이나 고온 등에 덜 취약함을 알 수 있다.

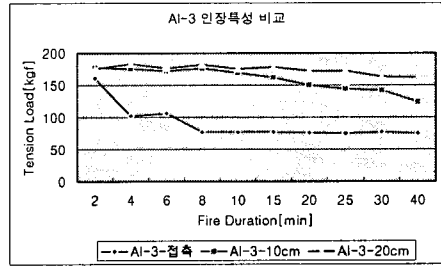
특히, 최외층의 알루미늄의 경우 인장하중은 건전전선에 비해 대략 50(% )정도 감소되는 것을 알 수 있다. 전선의 화염 접촉정도에 따른 기계적 인장강도 특성을 아래 <그림 3>에 나타내었다.



(a) ST-1



(b) ST-2



(c) AI-3

<그림 3> 화염 접촉정도 및 열화시간에 따른 인장강도 변화

<그림 3>에서 접촉, 10(cm), 20(cm)는 화염과 전선의 이격정도이다. 그림에서 각 경우에 있어서 가공송전선의 화염 노출시간에 따라 아연도금강연선 및 알루미늄 연선의 인장강도 감소가 더욱 뚜렷해지며 특히, 알루미늄 연선중 화염에 가장 많이 노출된 AI-3의 경우 화염지속시간에 따라서 인장강도가 건전전선(평균 185(kgf))에 비해 화염접촉시 최대 59.5(%), 10(cm) 이격시 최대 33.0(%), 20(cm) 이격시 최대 12.5(% )감소하는 등 화염 접촉정도에 따라 기계적 인장강도 저하특성이 다름을 알 수 있으며, AI-1, AI-2의 경우에도 같은 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

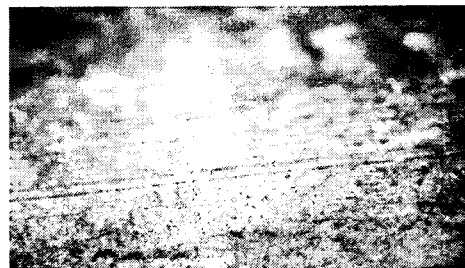
결론적으로 알루미늄 소선은 화염의 지속시간 및 접촉정도의 증가에 따라 인장특성이 현저하게 감소되는 것을 알 수 있다. 특히, 화염에 직접 닿은 최외각 알루미늄 소선의 경우 인장강도 감소가 뚜렷하게 나타나며 따라서 ACSR 전체 하중의 감소에 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

## 2.2 열화전선의 재료적 특성 검토

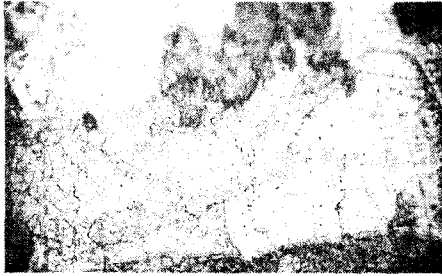
이 절에서는 전자현미경을 이용하여 화염에 장시간 노출된 열화전선의 아연도금강연선 및 알루미늄 연선의 금속학적 변형여부에 대해서 다루었다.

### 2.2.1 표면검사

본 논문에서 다루고 있는 ACSR 480( $mm^2$ )에 대한 건전전선 및 열화시간별 전선의 알루미늄 표면 사진을 아래 <그림 4>에 나타내었다.



(a) 건전전선



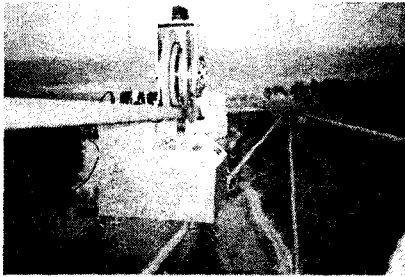
(b) 화염지속시간 : 20[min]

(그림 4) 열화 지속시간에 따른 알루미늄 표면 사진

(그림 4. a)에서 알 수 있듯이 전선전선의 표면은 매끄럽고 균일한 모습을 보이고 있으나 화염에 장시간 노출된 알루미늄 소선은 열에 의해 소선 표면이 녹았을 뿐만 아니라 이물질이 많이 부착되었음을 확인 할 수 있었으며 열화시간에 따라 그 정도가 심함을 알 수 있었다(그림 4. b) 참조). 따라서 전선이 장시간 화염에 노출될 경우 대기부식 뿐만 아니라 향후 표면의 갈라진 틈으로 이물질이 침투함으로써 부식속도 가속에 따른 잔존수명 감소의 한 요인으로 작용할 것으로 추측된다.

### 2.2.2 ACSR 내부부식 탐상기 소개

본 절에서는 가설된 전선에 장착되어 공중에서 자중으로 이동하면서 전선의 결합상태에 의한 와류변화를 검출하는 기능을 가진 공중기(corrosion detector)와 이 공중기에서 측정된 데이터수신 및 공중기의 동작을 제어하는 지상제어기(ground control station)로 구성되어 있는 탐상시스템에 대해서 소개한다. (그림 5)는 개발된 전선 탐상시스템의 선선로 추방장면을 보여준다.



(그림 5) 전선탐상시스템

(그림 5)의 시스템은 노후전선 뿐만 아니라 화염에 열화된 전선의 결합상태를 전기적으로 검출하여 전선의 인장강도 감소 정도를 정량화 할 수 있는 기능을 가진으로써 열화전선의 상태판정 및 교체시기 결정에 활용 가능하며 현재 현장 실증 시험 중에 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 가공송전선에 대하여 인공화염장치를 이용한 전선과 화염의 접촉정도, 열화지속시간에 따른 기계적 인장하중 및 전선 표면검사를 통한 재료적 특성 분석을 수행하였으며 그 결과를 아래에 기술하였다.

- (1) 아연도금 강선은 내부에 존재하고 용융점이 높기 때문에 인장하중의 변화가 거의 나타나지 않았다.
- (2) 화염에 비교적 영향이 적은 내층의 알루미늄 소선들의 기계적 특성변화는 그다지 크지 않았지만, 화염에 직접

접촉되는 최외층 알루미늄 소선의 경우 화염 접촉정도 및 지속시간에 따라 최대 50(%)의 인장강도 감소가 있었다.

- (3) 일반적으로 전선이 화염에 장시간 노출될 때 알루미늄 소선은 산화막이 없어진 상태에서 대기중에 노출되므로 보다 빠르게 부식이 진행되며, 전선 표면구조의 변형과 함께 여러 이물질이 부착되어 향후 전선부식을 더욱 촉진시키는 한 요인으로 작용할 수도 있다.

개발된 탐상기를 이용한 열화전선의 내부부식 정도를 정량화하여 인장감소 특성 및 잔존수명을 예측하는 연구를 계속 수행중이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] T. E Graedel, "Corrosion mechanism for zinc exposed to the atmosphere", J. of Electrochem. Soc., Vol. 136, No. 4, pp. 193c~203c, 1989.
- [2] T. E Graedel, "Corrosion mechanism for aluminum exposed to the atmosphere", J. of Electrochem. Soc., Vol. 136, No. 4, pp. 204c~212c, 1989.
- [3] L. I. Persson, "Corrosion attack in midspan joints in ACSR transmission conductors", CIREN 1989, 10th International Conf. on Electricity Distribution, Vol. 3, pp. 259~261, 1989.
- [4] Havard, D.G., et al. "Preliminary Studies for an Overhead Line Refurbishment Program at Ontario Hydro", Report to CIGRE WG22-211, Sarajevo, Jugoslavia, 1989.
- [5] 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.
- [6] 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
- [7] 장대인, 강지원, 이동일, 장인출, "해안지역 ACSR 가공전선의 기계적 특성", '01 전기학회 하계학술대회