

**산불에 열화된 ACSR 전선의 기계적 특성 검토**

강지원\*, 장태인, 홍동석  
한국전력 전력연구원

박창기, 방향권 김영달  
한국전력공사 국립 한밭대학교

**Mechanical characteristic of ACSR Transmission lines by forest fires**

J.W.Kang\*, T.I.Jang, D.S.Hong  
KEPRI

C.G.Park, H.K.Bang  
KEPCO

Y.D.Kim  
Hanbat Uni.

**Abstract** - In the case of a fire in the mountains, steel wires coated with zinc and aluminum wires of those power cables exposed to the fire or near around will be deteriorated by the blaze and the high temperature.

This paper shows the experimental results that apply to a new wire by an artificial flame-maker and results including the intensity of extension and wrench for a conductor. In addition, there's been an experiment and analysis about the mechanical characteristics of the wire of ACSR 480[mm<sup>2</sup>] which was removed from A T/L by a forest fire.

Then, the database will be made to predict the state of deteriorated wires by a forest fire using those two data, and data necessary to diagnose the life state of an ACSR wire affected by a forest fire will be given.

식이 어느 정도 진행되었을 것이므로 정확한 기준 데이터로 사용하기에는 부적절하다. 따라서, 사용되지 않은 건전전선을 대상으로 인공화염 실험을 수행하였다. 일반적으로 산불 모형이나 산불 모의실험에 대한 어떤 기준도 마련되어 있지 않은 실정이므로 본 논문에서는 <그림 1>과 같은 인공화염장치를 설계, 제작하여 프로판 가스램프로 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40분씩 시간 간격을 두고 각각 구분하여 화염을 가하였다. 이때 시료에 화염의 접촉정도는 접촉, 100[mm] 이격 및 200[mm] 이격으로 구분하여 각각 실험하였다[4].

한편, 도체의 기계적 특성을 확인하기 위하여 KS 규정에 따라 인장시험과 비틀림시험을 수행하였다. 이때 강심을 제외하고, 3개씩 인장시험을 하여 평균값을 취하고, 데이터 오차를 줄이기 위하여 같은 조건으로 세 번 수행하여 얻은 평균 데이터를 결과 분석에 이용하였다. 또한 본 논문에서는 각 소선을 구분하기 위하여 ST-1은 강심, ST-2는 아연도금 강연선, AL-1, AL-2 및 AL-3은 내층으로부터 알루미늄 연선층을 의미하고 최 외각층의 알루미늄 연선은 AL-3로 표기하였다.

**1. 서 론**

대부분의 가공 송전선이 산간지역에 가설되어 있는 국내실정에서 건조한 봄철에 산불이 발생할 경우 화염에 노출되었거나 화염 주위의 송전선로는 아연도금 강선 및 알루미늄 연선이 산불의 화염과 높은 온도에 의하여 열화될 것이다.

일반적으로 금속이 고온의 화염에 노출되면 재료 구조가 변하여 기계적인 특성과 전기적 성질을 변화시키게 되며, 송전선로에 주로 이용하는 ACSR 도체도 이러한 원인에 의하여 재료 및 기계적 특성이 변화되어 전선의 교체수명(refurbishment life)이 감소될 수도 있다. 화염에 노출된 ACSR 전선은 아연도금 강선에 피막으로 덮여있던 아연층이 녹아내림으로써 강선에 대기부식을 촉진시키게 되며, 아연층이 벗겨진 강선과 알루미늄선이 맞닿아 알루미늄 소선의 이중부식의 원인으로 작용하게 된다[1-3]. 이와 같이 산불에 의한 도체의 특성은 정확한 산불의 모델링과 그 영향을 알 수 있어야 해석이 가능하지만, 송전선로에 대한 산불 모형이 연구된 실적이 많지 않으며 실제 산불에 노출되었던 시료에 대한 분석이 이루어진 적이 없는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 제작된 인공화염장치를 이용한 건전전선 ACSR 480[mm<sup>2</sup>]에 대한 기계적 특성 실험결과와 현장에서 실제 산불에 노출된 ACSR 480[mm<sup>2</sup>] 송전선에 대한 기계적 인장강도 및 비틀림수 특성 등을 분석하여 화염에 노출된 전선의 열화특성에 대하여 논의하였다.

**2. 본 론**

**2.1 인공화염에 의한 ACSR의 기계적 특성 검토**

**2.1.1 실험조건 및 방법**

산불 화재로 인한 ACSR 480[mm<sup>2</sup>] 송전선의 기계적 특성을 확인하기 위하여 가설되어 일정기간 사용되었던 도체들을 실험에 이용할 경우, 수거된 전선에 복합적인 부



그림 1. 인공화염장치 및 열화시험장면

**2.1.2 인공화염 시간에 따른 인장강도 특성**

<표 1>은 인공화염시간 및 화염의 전선에의 접촉정도에 따른 인장강도 실험결과로서, 이 값들을 보면 화염시간이 길수록 알루미늄의 인장강도 값은 변화하나 아연도금 강선에 대한 인장강도는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 그 이유는 알루미늄 연선에 의해 둘러 쌓인 아연도금 강선이 내측에 있기 때문에 그 만큼 열이 내부에 전달되지 않았기 때문으로 사료된다. 한편, 측정값들이 약간씩 차이를 보이는 것은 실험상 화염의 분포가 균일하지 않았거나 UTM에 의해 인장강도를 측정함에 있어서 Slip 현상이 발생된 결과로 볼 수 있으므로 다른 데이터에 비해 오차가 포함된 값으로 해석할 수 있다.

또한, 알루미늄 연선의 인장강도 변화는 아연도금 강선에 비하여 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 특히 화염이 직접적으로 닿은 가장 외측에 있는 연선(AL-3)은 화염이 가해진 초기에 인장강도가 많이 감소되었음을 알 수 있다.

외측 연선(AL-3)에 비해 내측에 있는 알루미늄 연선

(AL-2 및 AL-1)은 아연도금 강선 보다는 많게, 외측 연선(AL-3)에 비해서는 적게 열을 받았기 때문에 인장강도의 변화가 시간에 따라 서서히 변화하고 있음을 알 수 있다. 특히 알루미늄 연선 모두는 15 ~ 20분 정도 화염을 가하였을 때부터는 인장강도의 변화가 거의 없음을 알 수 있는데, 이 원인으로서는 알루미늄 연선의 내부 조직이 더 이상 변화하지 않기 때문인 것으로 사료된다.

표 1. 인공화염 지속시간 및 전선에의 접촉정도에 따른 인장강도

구분	인공 화염 시간 [분]										
	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	
ST-1	a	695	698	693	689	691	688	678	680	686	688
	b	700	703	699	702	713	701	701	697	695	702
	c	696	708	689	711	701	708	699	714	704	711
ST-2	a	715	702	714	712	716	711	683	694	698	711
	b	724	725	716	725	713	717	716	713	719	705
	c	711	710	715	709	716	710	724	711	711	710
AL-1	a	183	176	168	145	117	91	83	83	82	83
	b	185	183	187	184	182	180	170	161	171	144
	c	182	171	183	171	179	169	185	178	170	156
AL-2	a	179	173	158	114	101	84	78	78	78	80
	b	187	185	187	186	180	175	160	164	165	139
	c	186	178	177	178	185	178	177	179	168	161
AL-3	a	161	102	106	77	77	77	76	75	77	75
	b	177	172	172	176	169	162	150	144	142	124
	c	175	183	176	182	175	178	172	172	163	162

(주) 인공화염의 전선에의 접촉정도  
a : 접촉시, b : 100[mm] 이격시, c : 200[mm] 이격시

### 2.1.3 비틀림 수 특성

<표 2>는 인공화염시간 및 화염의 전선에의 접촉정도에 따른 비틀림 수 실험 결과이다.

표 2. 인공화염 지속시간 및 전선에의 접촉정도에 따른 비틀림 수

구분	인공 화염 시간 [분]										
	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	
ST-2	a	43	43	45	44	46	40	27	36	27	34
	b	45	44	45	44	43	41	43	40	46	44
	c	39	39	43	38	40	35	41	39	44	38
AL-1	a	38	45	38	61	109	163	146	184	204	209
	b	54	51	52	51	49	50	42	56	48	67
	c	47	46	45	44	47	38	43	47	50	45
AL-2	a	59	66	46	103	115	172	159	175	185	237
	b	48	49	49	45	48	47	48	83	53	86
	c	46	44	45	40	44	37	49	42	57	42
AL-3	a	40	81	103	140	149	183	151	221	181	231
	b	51	50	52	52	49	51	47	50	58	104
	c	45	47	55	48	44	42	45	49	52	49

(주) 인공화염의 전선에의 접촉정도  
a : 접촉시, b : 100[mm] 이격시, c : 200[mm] 이격시

<표 2>에서 알 수 있듯이 아연도금 강선과 알루미늄 연선에 대한 비틀림 수를 실험한 결과 아연도금 강선은 연선의 변화가 거의 없기 때문에 시간에 따라 큰 영향을 받지 않으나 알루미늄 연선은 시간이 길수록 비틀림 수도 상승함을 알 수 있다. 특히 최외각 연선은 시간이 길수록 비례적으로 비틀림 수가 증가함을 보이고 있다. 이는 열에 의해 금속조직의 연성을 판단하는 데는 연선을 보다는 비틀림 수가 더 정확함을 의미하는 것으로 사료된다.

## 2.2 산불화염에 의해 열화된 ACSR의 기계적 특성

### 2.2.1 실험조건 및 방법

산불 화재로 인한 ACSR 480[mm] 가공선로의 기계적 특성 분석을 위하여 가설되어 일정기간 사용되었던 도체들을 실험에 이용하였다. <그림 2>와 같이 실제 산불로 인해 열화된 전선을 50[m] 수거한 후 50[Cm] 100개로

절단한 후 이를 5[m]마다 한개씩을 시료로 이용하였으며, 각 구간별 시료의 번호를 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10으로 명하였다. 이때 수거된 전선은 A T/L #B 철탑에 가설되어 철거된 실제 화염에 노출되었던 전선이다.

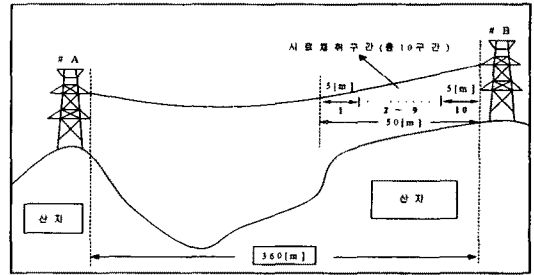
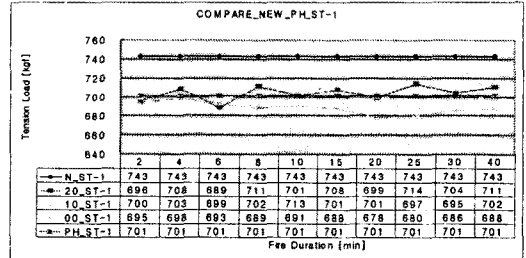


그림 2. 산불에 열화된 ACSR 시료 채취 현황

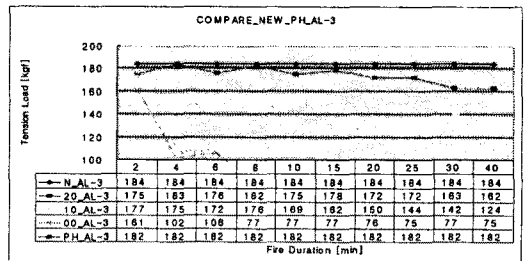
### 2.2.2 인장강도 특성

<그림 3>은 건전전선, 인공열화장치를 이용한 실험결과(<표 1> 참조)와 <그림 2>의 화염에 노출된 ACSR 전선의 각 구간별 시료에 대한 인장강도 실험결과와의 비교를 그래프로 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 현장에서 채취한 열화전선은 각 구간별로 인장강도의 값이 유사함을 알 수 있다. 이는 각 구간별로 거의 같은 크기의 산불로 인해 열화된 현상으로 보여지기 때문에 시료로 사용된 50[m] 구간은 산불이 동시에 지나간 형태도 볼 수 있다. 또한 알루미늄 연선의 인장강도 변화도 아연도금 강선과 거의 유사한 특성을 가짐을 알 수 있다.



(a) ST-1



(b) AL-3

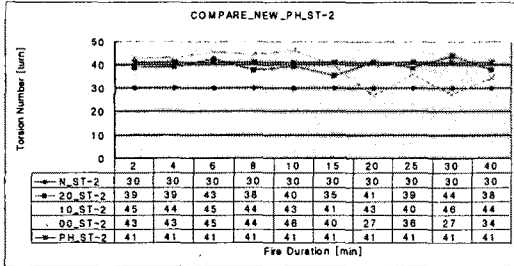
(주) 인공화염의 전선에의 접촉정도: 00 : 접촉시, 10 : 100[mm] 이격시, 20 : 200[mm] 이격시, N : 건전전선, PH : A T/L에서 수거한 열화전선  
그림 3. 전선의 인장강도 특성 비교

### 2.2.3 비틀림 수 특성

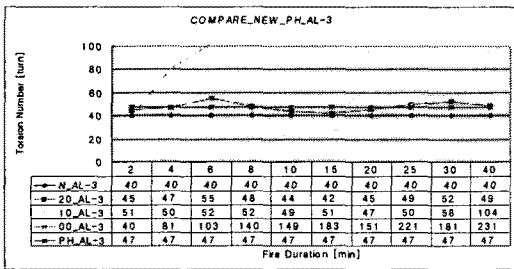
<그림 4>는 건전전선, 인공열화장치를 이용한 실험결과(<표 2> 참조)와 <그림 2>의 화염에 노출된 ACSR 전선의 각 구간별 시료에 대한 비틀림 수 실험결과와의 비교를 그래프로 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 현장에서 채취한 열화전선은

각 구간별로 비틀림 수의 변화량이 유사한 특성을 나타냄을 알 수 있으며, 아연도금 강선과 알루미늄 연선에 대한 비틀림 수의 변화량은 각 구간별로 큰 변화가 없는 것으로 보인다. 이는 각 구간별로 거의 같은 크기의 산불에 의해 열화된 현상으로 보여지기 때문에 시료로 사용된 50[m] 구간은 산불이 동시에 지나간 형태로 볼 수 있다.



(a) ST-2



(b) AL-3

(주) 인공화염의 전선에의 접촉조건: 00 : 접촉시, 10 : 100[mm] 이격시, 20 : 200[mm] 이격시, N : 건전전선, PH : A T/L에서 수거한 열화전선  
**그림 4. 전선의 비틀림 수 특성 비교**

## 2.3 건전 및 열화전선의 실험결과 분석

### 2.3.1 인장강도 특성 비교

<그림 3 (a)>는 아연도금 강선 ST-1의 경우에 대해서 건전전선의 인장강도, 화염시간에 따른 인공화염 100[mm] 이격시, 200[mm] 이격시 및 접촉시의 인장강도와 산불에 의해 열화된 전선의 인장강도 평균값을 나타냈다. 즉, 건전전선의 평균 인장강도는 743[kgf]이며, 산불로 인해 열화된 전선의 인장강도 평균값은 701[kgf]이다. 건전전선의 인장강도는 이격거리와 화염시간에 따라 변화되어진 분석결과이다. 화염시간 2~15분 사이에서는 거의 변화가 없으며, 15분을 초과하면 많은 인장강도의 감소 현상을 볼 수 있다. 또한 산불로 인해 열화된 전선의 인장강도는 인공화염 100[mm] 이격시와 화염시간 2~15분 사이의 인장강도와 유사한 값을 가짐을 확인하였다. 인장강도의 변화만으로 볼 때 이러한 특성은 A T/L #B 구역에서 발생한 산불과 거의 유사하다고 추정할 수 있다.

<그림 3 (b)>는 최외층 전선인 알루미늄 연선 AL-3에 대해서 나타낸 것이다. 즉, 건전전선의 평균 인장강도는 184[kgf] 평균을 유지 하고 있으며, 산불에 의해 열화된 전선의 인장강도 평균값은 182[kgf]이다. 특히 접촉시의 알루미늄 인장강도는 2분후부터 급격하게 떨어짐을 알 수 있고, 100[mm] 이격시는 8분 가열후에 인장강도가 떨어짐을 알 수 있으며, 200[mm] 이격하고 10분 인공화염시 인장강도가 약간 높아지다가 15분 인공화염부터는 인장강도가 떨어짐을 알 수 있다.

### 2.3.2 비틀림 수 특성 비교

<그림 4 (a)>는 아연도금 강선 ST-2의 경우에 대해서 건전전선의 비틀림 수, 화염시간에 따른 인공화염 100[mm] 이격시, 200[mm] 이격시 및 접촉시의 비틀림 수와 산불에 의해 열화된 전선의 비틀림 수의 평균값을 나타낸 것이다. 건전전선의 평균 비틀림 수는 30회이며, 산불에 의해 열화된 전선의 비틀림 수의 평균값은 41회이다. 또한 건전전선의 비틀림 수는 인공화염 100[mm] 이격시, 200[mm] 이격시 및 접촉시와 화염시간에 따라 변화되어지며, 2~15분 사이의 값은 거의 변화가 없는 것으로 사료되며, 25분을 초과하면 좀더 많은 비틀림 수의 증가 현상을 볼 수 있다. 따라서 이러한 각 경우의 비틀림 수를 비교한 결과 산불에 의해 열화된 전선의 비틀림 수는 인공화염 100[mm] 이격시와 화염시간 2~15분 사이의 비틀림 수와 거의 비슷함을 알 수 있었다. 비틀림 수의 변화만으로 볼 때 이러한 경향은 A T/L #B 구역에서 발생한 산불과 거의 유사하다고 추정할 수 있다.

<그림 4 (b)>는 최외층 알루미늄 연선인 AL-3에 대해서 나타낸 것이다. 즉, 건전전선의 평균 비틀림 수는 47회이며, 산불에 의해 열화된 전선의 비틀림 수의 평균값은 47회이다. 접촉시의 비틀림 수는 2분 인공화염부터는 급격하게 증가함을 알 수 있고 인공화염 100[mm] 이격시와 200[mm]이격시는 거의 같음을 유지하다가 100[mm] 30분 인공화염시 비틀림 수가 증가 하는 것을 알 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 ACSR 건전전선에 대해서 인공화염장치를 이용한 기계적 특성결과와 A T/L에서 산불에 의해 절거낸 ACSR 480[mm]를 건전전선과 똑같은 방법으로 실험하여 그 결과를 비교 분석하였다. 본 논문의 주요한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 인공화염에 노출되었던 ACSR의 인장강도 변화량을 측정된 결과 아연도금 강선은 내부에 존재하기 때문에 처음 화염을 인가할 시에 화염의 영향이 작아 인장강도의 변화가 거의 나타나지 않았으며, 화염에 비교적 영향이 적은 내층의 알루미늄 소선들의 기계적 손실도 그다지 크지 않았으나 외층에 존재하는 알루미늄 소선의 경우 가열시간이 길어질수록 인장강도의 감소가 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있었다.

(2) 산불이 발생한 지점에 가설되었던 A T/L ACSR 480[mm]의 기계적 특성 변화는 화염이 전선에 100[mm] 정도 이격되고 화염 지속시간 2-15분 사이의 기계적 특성과 유사함을 추정할 수 있었다.

이러한 특성분석은 향후 산불에 의해 열화된 전선의 열화 상태를 분석할 수 있는 데이터베이스 구축 및 열화에 의한 ACSR 전선의 교체수명 진단에 필요한 자료로 활용할 수 있으리라 판단된다.

### [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", CIREC 1989, 10th International Conf. on Electricity Distribution, Vol. 3, pp. 259~261, 1989.
- [4] 강지원 외 4인, "화염에 노출된 가공송전선의 기계적, 재료적 특성 검토", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 339-341, 2002.