

## 산불에 노출된 가공송전선의 기계적 및 전기적 특성 거동

### Mechanical and Electrical Properties of Overhead Conductor due to Forest Fire

김병걸<sup>1,a</sup>, 장용호<sup>1</sup>, 김상수<sup>1</sup>, 한세원<sup>1</sup>

(Byung-geol Kim<sup>1,a</sup>, Young-ho Jang<sup>1</sup>, Shang-shu Kim<sup>1</sup>, and Se-won Han<sup>1</sup>)

#### Abstract

Forest Fire can cause a serious damage to overhead conductors. Therefore, the detailed investigation for the changes of mechanical and electrical properties of damaged conductors should be carried out to understand the effect of forest fires on conductors. This is very much important to maintain transmission line safely. Especially, this paper describes the changes of mechanical and electrical properties of flame exposed conductor. Overhead conductors temperature were almostly 55~65 % of ambient temperature. Tensile Strength decreased according to increase of Forest Fire temperature. The detailed will be given in the text.

**Key Words** : Mechanical and electrical properties, Forest fire, ACSR 410 mm<sup>2</sup> conductor

#### 1. 서론

우리 나라는 최근 몇 십년 동안 엄청난 발전을 이루어 왔다. 그러한 발전의 토대에는 안정적인 전력 공급이 있다고 봐도 과언이 아니다. 그리고 전국토의 고른 발전 및 산업화가 이루어지면서 어느 지역 할 것 없이 더 많은 양의 안정적인 전력 공급 수요가 증가하고 있는 실정이다.

우리나라는 국토의 약 65 %가 산지로 구성되어 있다. 따라서 대부분의 송전선로는 산에 매설되어 있다. 이러한 지리적 조건에 따라 산불 발생 시 가공송전선은 직, 간접 적으로 대부분 산불의 영향권에 속해 있다고 볼 수 있다. 한해 평균 산불의 발생 건수는 약 600건이 보고되고 있고 산불에 의한 송전설비의 고장은 약 11건이 발생하고 있다. 이것은 전체 송전설비 고장의 약 25 %에 해당되는 수치이므로 결코 간과할 수 없는 요인이라 할 수 있다. 산불이 전력의 “안정적인 공급”을 위협하고 있는 것이다.

산불이 발생하여 송전설비의 파손이 발생하게

되면 “전력 공급”에서 문제가 발생하게 된다. 하지만 현재까지 산불에 의해서 송전설비가 받는 영향에 대한 체계적인 연구는 이루어 진적이 없다. 따라서 산불 상황에 따른 가공송전선 운영 대처방안 역시 확보되지 않은 상황이다.

산불 상황에서 가공송전선은 아주 다양한 인자들에 의해 영향을 받게 된다. 그 중 몇가지를 예로 들면 화염에 의한 열화, 진화를 위한 소화약제에 의한 산화, 화염에 동반되는 분진 등이 있다. 이러한 인자들이 가공송전선 수명에 대해 복합적인 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 국내 산불 환경에 대한 정확한 자료 조사를 토대로, 실험 조건을 실제 국내 수목 지역 산불 조건과 유사하게 모의하였다. 그리고 인공화염장치를 이용하여 산불과의 이격거리에 따라 가공송전선과 대기가 받는 영향을 온도거동과 외관변화, 전기적, 기계적 특성 변화를 통하여 확인하여 보았다.

1. 한국전기연구원 재료응용연구단  
(경남 창원시 성주동 28-1)

a. Corresponding Author : bgkim@keri.re.kr

접수일자 : 2008. 10. 1

1차 심사 : 2008. 10. 21

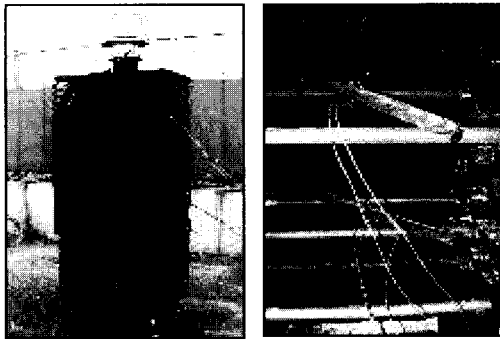
심사완료 : 2008. 10. 24

#### 2. 실험

##### 2.1 시험장비

인공화염 시험 장치는 산불발생시 가공송전선의

변화를 모의하여 시험하는 설비로서 온도 편차를 가능한 적게 줄이고 재현성을 높이기 위해 제작하였다. 장치 내부에는 전선 및 대기온도를 측정할 수 있게 10 cm간격으로 거뒀대를 설치하였다. 따라서 실제 산불의 온도와 유사하게 모의 되어진 산불에 대해서 10 cm간격으로 0 ~ 80 cm까지 가공송전선의 외관 및 온도, 전기적, 기계적 특성 변화를 확인 할 수 있게 제작하였다. 그림 1은 인공화염 시험 장치의 외관과 내부의 사진이다.



a) 인공화염시험기 외관      b) 인공화염 시험기 내부 및 전선위치

그림 1. 인공화염 시험기의 외관 및 내부전경.  
Fig. 1. The outside and inside of fire chamber.

## 2.2 시험편

본 연구에서는 국내 산불의 특징을 조사하고 이를 모의하여 국내에서 많이 사용되고 있는 가공송전선인 ACSR(Aluminum Strand Conductors Steel Reinforced) 410 mm<sup>2</sup>에 적용하였다. 시험편의 길이가 길면 시험장치가 대형화 되어야 하는 문제가 있기 때문에 시험용 가공송전선의 길이는 인공화염 시험장치의 크기를 고려하여 50 cm로 축소 설정하였다.

## 2.3 실험 조건

인공 화염 시험장치의 내부 온도는 선행연구[1]를 참고로 하여 설정하였다. 선행연구에서 국내 수목지역 산불의 최고 온도는 약 1200 °C였고 대기 온도는 약 800 °C였다. 따라서 내부온도는 화염 중심부 주변 대기최고온도를 약 800 °C로 제어 하였다. 열원으로 사용한 연료는 국내 대표 수종 중 한 가지인 자작나무였다.

대기온도는 인공화염 시험기내에 화염으로부터 위쪽으로 10 cm간격으로 약 15개의 열전대를 부착하여 측정하였으며, 가공송전선의 온도는 각 시편

당 2개의 열전대를 부착하여 측정하였다. 가공송전선의 온도측정위치는 2군데였는데 그 첫 번째 위치는 전선표면이었고 두 번째 위치는 아연도금강심과 내층알루미늄 도체의 접촉면이었다. 열전대는 전선을 구성하고 있는 소선을 벌려 삽입하였다. 이 과정에서 전선의 손상이 발생할 수도 있으므로 같은 조건에서 시편의 종류를 온도 측정용 시편과 전기적, 기계적 특성 확인용 시편으로 제작하였다.

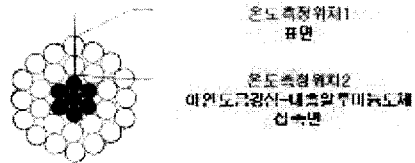


그림 2. 가공송전선 온도 측정 위치.  
Fig. 2. Temperature measurement positions in overhead conductor.

그림 2는 온도 측정 위치를 가공송전선 단면에 나타낸 것이다. 온도는 가공송전선과 화염의 방향에 따라서도 상당히 상이한 분포를 나타내었다. 따라서 화염과 열전대는 항상 수직(90°)각도를 유지 하며 온도를 측정하였다.

실제 산불의 연소속도를 살펴보면, 지형(경사도), 기후(바람, 습도 등) 등의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 또한 실험실에서 시행한 연소속도 측정 시험에서는 상향사면의 최소 연소진행 속도가 0.52 m/min으로 측정되었다. 실제 산불이 발생한 설악산에서의 상향사면 연소속도는 6.7 m/min ~ 25.7 m/min으로 측정되었으며, 청양·예산에서 발생한 산불의 연소진행속도는 75 m/min으로 측정되었다. 하지만 연소진행속도는 바람에 의한 영향을 고려할 때 시험의 인자이지만 본 인공화염 시험장치에서는 바람에 의한 영향을 고려하지 않아 산불의 이동이 없기 때문에 적용하기가 적합하지 않다는 판단 아래 본 연구에서는 인위적인 풍속이나 풍량을 가하지 않은 자연연소상태에서 실험 하였다. 시험 시간은 발화로부터 자연 냉각되어 가공송전선의 온도가 100 °C이하로 감소할 때까지였다. 그리고 인위적인 장력을 가하지 않은 무장력 상태였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수목지역 가공송전선 가설 기준

산불의 위험에 있는 수목 지역의 가공송전선 가

설은 각 지역의 대표수종에 따라 그 가설높이가 달라진다. 가공송전선은 “가산치”와 “기준치”를 합한 “설계치”에 해당하는 높이에 가설되어 지는데 여기서 “가산치”는 그 지역 대표수종의 수령 35년 일때 평균 높이를 말한다. 그리고 “기준치”는 여유높이 3.2 m를 말한다. 그렇게 설계되어진 가공송전선 높이는 대략 20 ~ 25 m 사이가 된다[9].

이러한 가공송전선 설계 높이는 그 목적이 수목과 가공송전선의 접촉에 따른 피해 즉, 방전 및 손상 등을 막기 위한 것이다. 하지만 산불이 발생하게 되면 고려되지 않은 화염이 발생하게 되고 그 평균 높이는 약 15 m 이상이다. 따라서 가공송전선은 산불 발생시 충분히 화염에 노출이 가능하다는 결론에 도달한다. 본 실험에서는 화염과 전선이 접촉한 조건을 이격거리 0으로 판단하여 조사하였다.

### 3.2 산불에 의한 온도 거동

그림 3은 대기 온도 분포를 시간에 따라 나타낸 것이다. 열원은 자작나무와 LPG, 2가지를 사용하였다. 화염과의 이격거리는 화염과 접촉한 상태인 이격거리 0에서 10 cm단위로 조사하였으며 결과는 전체적으로 거동이 비슷하여 대표적인 거동을 보이는 이격거리 0, 50, 80 cm 3가지 조건을 비교하였다.

LPG를 열원으로 사용한 경우, 대기온도는 급격한 온도상승이후 약 900 °C에서 일정하게 유지되면서 시간에 무관하게 지속적인 경향을 보였고 자작나무를 열원으로 사용한 경우, 대기온도는 이격거리에 따라 약 5~10분이 경과한 후 최고 온도까지 상승하였고 그 온도가 약 5분간 유지된 후 서서히 감소하는 거동을 보였다. 최고온도는 이격거리 증가에 따라 감소하는 거동을 보였는데, 화염과 접촉하는 이격거리 0조건에서는 최고온도가 약 750 °C였고 이격거리 80 cm조건에서는 약 500 °C였다. 열원이 LPG일 때보다 자작나무일 때가 최고 온도가 더 낮은 것은 열원이 본질적으로 가지고 있는 화력의 차이로 생각된다. 실제 수목지역 산불 발생 시, 대기 최고 온도는 약 800 °C이므로 이에 거의 근접한 조건이라 할 수 있다.

그림 4는 가공송전선 온도 분포 거동을 시간에 따라 나타낸 것이다. 가공송전선은 화염에 대해 0~80 cm까지 10 cm간격으로 설치되었다. 결과는 전체적으로 비슷한 거동을 보였으므로 가장 대표적인 거동인 20, 50 cm 위치조건을 비교하였다. 온도는 미리 실험방법에서 제시했듯이 표면과 내층 Al 도체와 아연도금강심의 접촉점, 2위치에서 살펴

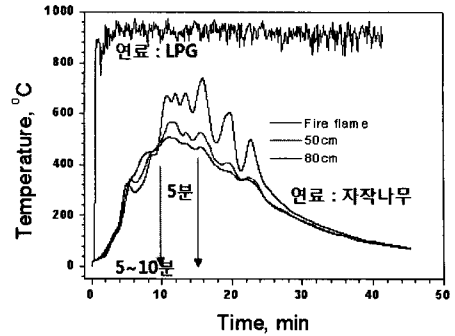


그림 3. 대기온도 거동.

Fig. 3. Ambient-temperature behavior.

보았다. 열원은 자작나무를 사용하였다. 그리고 50 cm 이격조건에서 온도 최고점 부분에서 약간의 흔들림이 발생하였다. 이것은 불꽃 끝단의 흔들림 때문에 시편의 온도가 영향을 받았기 때문이다. 시편은 이격거리 20 cm에서 볼 수 있듯이 불꽃이 지속적으로 가열이 되면 매끈한 온도 곡선을 나타내지만 불꽃이 흔들리는 현상이 발생하면 온도가 올라가다 감소하는 거동을 연속적으로 나타내며 전체적인 온도 증가 구간에서 약간의 흔들림 구간을 형성하게 된다. 하지만 여러번의 반복 실험을 통하여 이러한 흔들림 구간이 전체적인 시편의 특성에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 흔들림 구간은 불꽃이 존재하지 않거나 불꽃이 많이 약해지는 온도 감소 구간에서는 나타나지 않는것도 이러한 이유이다.

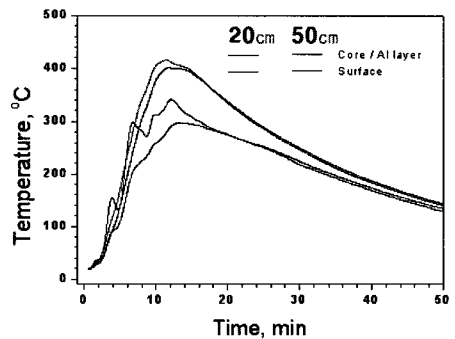


그림 4. 산불과의 이격거리에 따른 가공송전선 온도 거동.

Fig. 4. Changes of overhead conductor temperature according to distance from fire.

전체적인 거동은 서서히 온도 증가 후 최고점에서 약간 유지되고 서서히 감소하는 대기온도 거동과 비슷하였다. 하지만 온도가 증가하는 시간대가 더 길고 온도 감소 시간이 더 길다는 차이가 있었다. 이격거리가 증가함에 따라 최고 온도는 감소하는 거동을 보였으며 온도가 가장 높은 가공송전선 표면의 온도를 비교해보면, 이격거리 20 cm일때 약 400 °C였고 이격거리 50 cm일때 약 300 °C였다. 따라서 이격거리 30 cm 증가에 약 100 °C의 온도 감소를 보였다. 같은 이격거리 가공송전선의 측정 위치(표면과 아연도금강심과 AI도체의 접촉점)에 따라서도 약 20~40 °C의 편차를 보였으며 이격거리가 증가함에 따라 내부 편차도 증가함을 알 수 있었다. 따라서 산불에 의한 열은 가공송전선에 침투하는 과정에서 어느정도 온도 감소가 일어나고 이격거리가 증가함에 따라 더욱 침투하는 것이 어려워진다는 결론에 도달한다.

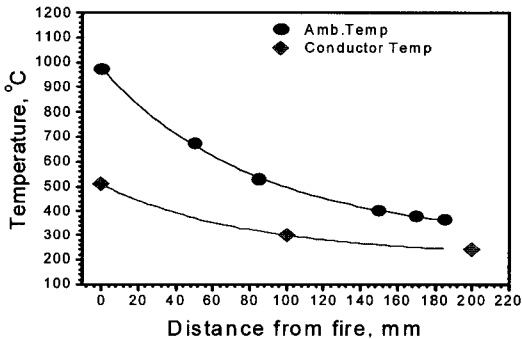


그림 5. 산불과의 이격거리에 따른 대기과 전선의 최대 온도 거동.

Fig. 5. Maximum temperature changes of ambient and overhead conductor according to distance from fire.

그림 5는 대기온도와 가공송전선 온도를 산불과의 이격거리에 따라 최고온도만 나타낸 것이다. 대기온도는 약 1000 °C에서 400 °C까지 감소하였고 가공송전선 온도는 약 500 °C에서 260 °C까지 감소하였다. 두 온도는 공통적으로 이격거리에 따라 감소하는 유사한 거동을 나타내었으며 가공송전선 온도는 대기온도의 55 ~ 65 % 사이에서 발현되었다. 이것은 대기과 가공송전선의 열용량 차이에 따른 것으로 판단된다. 따라서 국내 수목지역 산불 발생시, 가공송전선은 약 500 °C이하로 열화 되어진다는 결론을 얻었다.

아래 식은 그림 5의 대기과 가공송전선의 최고 온도 거동에 대한 그래프를 나타낸 경험식이다.

$$\text{대기온도 Temp. (°C)} = 292.3 + 683.4 \times e^{-\frac{x}{83.3}}$$

$$\text{전선온도 Temp. (°C)} = 214 + 296 \times e^{-\frac{x}{80.9}}$$

### 3.3 산불에 의한 외관 변화

그림 6은 산불에 노출되어진 가공송전선의 외관을 나타내고 있다. 노출시간은 발화 후 자연연소까지 하였다. 가공송전선은 화염으로부터 20 cm와 50 cm 위치에 고정하였다.

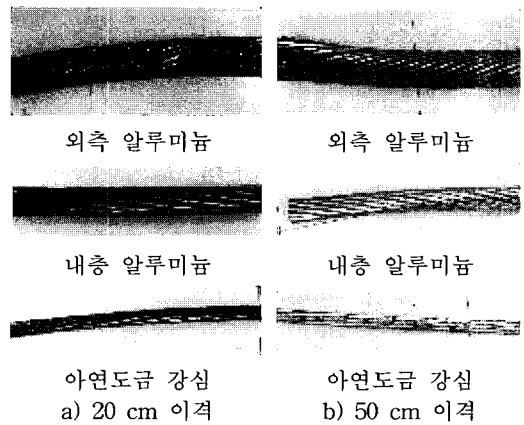


그림 6. 산불에 노출되어진 가공송전선의 외관.  
Fig. 6. Surface appearance of burned overhead conductor.

그림 6의 a)에서, 화염으로부터 약 20 cm 이격된 가공송전선 표면은 자작나무의 연소반응에 의한 그을음으로 완전히 코팅층을 형성하였다. 표면의 일부분은 비화되는 불똥에 의해 국부적으로 심한 손상 흔적이 발견되었다. 알루미늄 표면층의 일부에서는 경화되어 갈라지는 현상을 발견할 수 있었다. 내측 알루미늄에서도 표면부에 비하여는 심하지는 않았지만 코팅층이 형성되었다. 아연도금강심에서는 그리스의 소실과 아연도금층의 일부가 용융되어 소실되어 흔적이 남아있었다. 아연도금강심에서 아연도금층의 소실 현상으로 인하여 대기부식과 더불어 인장력이 급속히 감소하게 되므로 전선의 수명이 빠르게 감소할 것으로 사료된다. 이러한 현상에 의해 전선 내부로 수분이나 유해

가스들이 침투하여 간극부식이 발생하기 용이할 뿐만 아니라 아연도금이 소실된 강심과 접촉하여 이종금속 간에 발생하는 전해부식을 초래하게 될 가능성이 높다.

그림 6의 b)에서, 화염으로부터 약 50 cm 이격을 둔 가공송전선에서는 표면부에서만 다소 그을음이 발견되었으며 내층 알루미늄 도체와 아연도금강심은 그을음에 의해 거의 영향을 받지 않았다.

그림 7은 인공화염 시험기에서 산불에 노출된 가공송전선을 세척한 사진이다. 알루미늄 도체의 표면에 반응층이 형성되어 코팅이 되어 있었다. 이 코팅층은 물로써 표면에 부착된 불똥의 재만 세척이 될 뿐 전반적으로 거의 세척이 되지 않았으며 기계적으로 연마를 하여야만 없어졌다. 따라서 이 코팅층은 고온의 열로 인하여 알루미늄 표면부에 반응층을 형성한 것으로 판단되며 이러한 반응층이 전기전도 및 강도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 조사할 필요가 있다고 판단되었다.

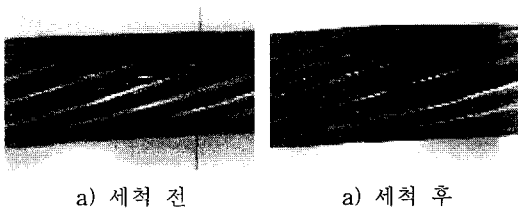


그림 7. 가공송전선의 표면 세척 전후 외관.  
Fig. 7. Surface appearance of overhead conductor before and after washing.

### 3.4 산불에 노출된 가공송전선의 도전율 변화

그림 8은 산불에 노출되어진 가공송전선의 AI도체에 대해 열만 가한경우와 열과 그을름 등 기타요인이 적용되어진 경우의 도전율 변화거동을 비교한 것이다.

열만 가한 경우는 약 0.3 %IACS의 도전율 증가 거동을 보였다. 이것은 AI도체 내의 가공전위, 내부에너지 감소, Stress relief 등에 의한 것으로 판단되어진다. 하지만 열과 불똥, 그을름 등이 복합적으로 적용되어진 경우에는 도전율은 약 0.5~1 %IACS 정도 감소하였다. 이는 그을음이나 불똥 등을 고려하지 않은 열화온도와 열화 시간에 따른 도전율과는 사뭇 다른 결과이다. 따라서 연소반응에 의해 형성된 그을음과 전선표면부에 형성된 코팅층에 의해 도전율이 다소 감소한 것으로 사료된다.

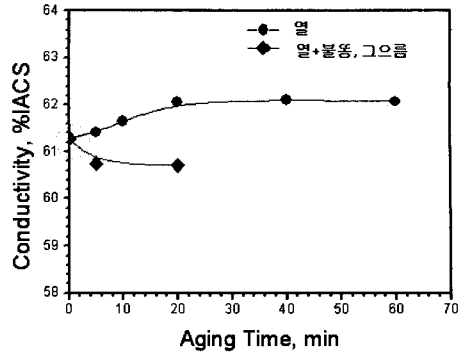


그림 8. 산불에 노출되어진 AI 도체의 도전율 변화.  
Fig. 8. Conductivity changes of burned Al conductor.

다. 다시 말하면, 연소 과정에서 비화되는 불똥으로 인한 알루미늄 표면층의 국부적인 손상과 알루미늄 표면층의 일부에서 경화되어 갈라지는 현상으로 인하여 도전율이 다소 감소되는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 이격거리 20 cm와 50 cm 모두 거의 동일한 거동을 보였다. 내층 알루미늄 도체는 이격거리 20 cm에서는 도전율을 약 0.9 %IACS 감소하였지만 50 cm 이격거리에서는 신전선과 동일한 수준의 도전율을 나타내었다. 외관 변화에서 살펴보았을 때, 내층 AI 도체 코팅층은 이격거리 20 cm는 형성되었고 이격거리 50 cm는 형성되지 않았었다. 따라서 코팅층이 도전율 감소에 영향을 미친다는 것을 검증한 결과라 할수 있다. 코팅층이 형성되지 않은 아연도금 강심의 도전율은 이격거리에 무관하게 도전율이 신전선의 도전율과 유사하거나 약 0.2 %IACS 증가하였다. 이는 앞에 설명한 열에 의한 도전율 변화 거동과 유사한 결과로 원인은 동일하다 할 수 있다.

### 3.5 산불에 노출된 가공송전선의 기계적 특성 변화

표 1은 가공송전선에 대하여 인공화염에 노출 후 인장시험 결과이다. 이격거리 20 cm에 노출된 가공송전선의 알루미늄 도체의 인장강도는 약 7.02~7.2 kgf/mm<sup>2</sup>으로 신전선의 인장강도 16.82~17.75 kgf/mm<sup>2</sup>의 39~42 % 수준으로 상당히 저하되었다. 그러나 아연도금강심의 경우 인장강도는 141.2 kgf/mm<sup>2</sup>으로 신전선의 97.8 % 수준으로 높게 나타났다. 아연도금강심의 인장강도는 감소하지 않았지만 아연도금층의 일부가 용융되어 소실되

로 인해 장시간 운용될 경우 부식으로 인하여 인장강도의 급격한 감소 또는 파단이 발생될 소지가 있다.

표 1. 산불에 노출되어진 가공송전선의 인장강도 변화.

Table 1. Tensile strength changes of burned overhead conductor.

조건	인장강도(kgf/mm <sup>2</sup> )		
	Al도체		Core
	내 층	외 층	
신전선	17.75	16.82	144.8
20 cm 이격	7.02	7.2	141.6
50 cm 이격	14.7	13.7	143.2

이격거리 50 cm에 위치한 가공송전선의 인장강도는 신전선에 비하여 알루미늄 도체가 약 81.5~82.8 % 수준을 유지하고 있으며, 아연도금 강심이 99 %이상으로 높게 나타났다. 아연도금 강심의 경우 열화가 진행되지 않았다. 전선의 수명관점에서 알루미늄 도체의 인장강도가 10 % 감소하면 교체하는 것으로 알려져 있다. 이격거리 50 cm에 위치한 알루미늄도체의 외관상으로는 그을음 이외 어떠한 결함도 발견되지 않았다. 그러나 수명관점에서 접근하면 상당한 인장강도의 저하가 발생되어 수명을 다한 상태이다.

인장결과는 그을음이나 불똥 등을 고려하지 않은 열화온도와 열화 시간에 따른 인장강도 결과와 일치하였다. 연소반응에 의해 형성된 그을음과 전선표면부에 형성된 반응층과 불똥 등은 각 가공송전선의 인장강도에는 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

1. 인공화염 시험장치를 이용하여 온도 분포를 측정하였을 때, 대기 온도는 약 10분간의 온도 상승 구간을 형성한 후 약 5분간 최고 온도 구간을 유지하고 그 이후 감소하는 거동을 보였다. 산불과의 이격거리가 증가함에 따라 약 750 °C에서 감소하였다. 가공송전선의 온도는 산불과의 이격거리가 증가함에 따라 약 400 °C에서 감소하는 거동을 보였으며 가공송전선 내부에서도

약 20~40 °C사이의 편차를 보였다. 그리고 가공송전선의 온도는 대기 온도의 약 55~65 %로 나타났다.

2. 산불에 노출되었을 때, 그을음에 의한 코팅층은 산불과의 이격거리 20 cm에서는 외부, 내부 Al 도체까지 형성되었고 이격거리 50 cm에서는 외부 Al 도체에만 형성되었다. 아연도금강심은 두 경우 모두 코팅층이 형성되지 않았다. 그리고 코팅층은 불에 의한 세척으로는 변화가 없었다.
3. 산불에 노출되어진 가공송전선의 도전율은 그을음에 의해 코팅층이 형성되어진 시편의 경우 약 0.5~1 %IACS 정도 감소하는 거동을 보였다. 하지만 코팅층이 형성되지 않은 시편의 경우 약 0.3 %IACS의 증가 거동을 보였다.
4. 산불에 노출되어진 가공송전선의 인장강도는 약 400 °C의 전선표면온도를 보인 이격거리 20 cm의 경우, Al 도체 내부와 외부 모두 신전선의 39~42 %의 인장강도 잔존율을 보였다. 그리고 전선 표면의 온도가 300 °C 정도까지 상승하는 이격거리 50 cm의 경우, Al 도체의 인장강도 잔존율은 81.5~82.8 %를 보였다. 따라서 코팅층은 인장강도에 영향을 주지 않고 열만 영향을 준다는 결론을 얻을 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] 김병걸, 김상수, 한세원, 김진한, “산불에 의한 가공송전선의 열화거동”, 전기전자재료학회논문지, 20권, 12호, p. 1105, 2007.
- [2] 김상수, 김병걸, 장태인, 장지원, 이동일, 민병욱, “환경적 요인에 의한 노후 가공송전선의 특성변화”, 전기전자재료학회논문지, 19권, 3호, p. 287, 2006.
- [3] 김병걸, 김상수, 박주환, “고강도 저손실 가공송전선 개발(1)-기계적 특성”, 전기전자재료학회논문지, 18권, 12호, p. 1152, 2005.
- [4] 김병걸, 김상수, 박주환, “고강도 저손실 가공송전선 개발(2)-전기적 특성”, 전기전자재료학회논문지, 18권, 12호, p. 1159, 2005.
- [5] 김상수, 김병걸, 현석규, 이동일, 민병욱, “가공송전선의 열적거동과 전류 및 외기온도의 영향”, 전기전자재료학회논문지, 19권, 5호, p. 486, 2006.
- [6] 김병걸 외, “STACIR/AW 송전선의 장시간 운전 에 따른 기계적 물성 변화”, 한국전기전자

- 재료학회 2004하계학술대회논문집, p. 1258, 2004.
- [7] P. H. Schwabe and D. Pike, "The Measurement of Corrosion in Overhead Power Line", ANTI-Corrosion, 1988.
- [8] 김영달, "화염에 의한 ACSR 송전선의 표면 특성에 관한 연구", 조명·전기설비학회지, 17권, 6호, p. 173, 2003.
- [9] 한국전기공사협회, "산악지 송전선로의 지상고 유지관리공법 연구", 전기설비기술기준 143조, 148조, 2003.