

화염에 의한 ACSR 송전선의 기계적 특성에 관한 신뢰성 분석

김영달* · 심재명 · 김종석
한밭 대학교

Reliance analysis for Mechanical characteristics of ACSR Transmission Line due to a Flame

Young-Dal Kim · Jae-Myung Shim · Jong-Suk Kim
Dept. of Electrical Engineering, Hanbat National Univ.

Abstract - This paper deals with the experimental results that apply to a new wire by an artificial flame-maker because it's difficult to directly analyze the characteristic of deterioration by a forest fire. Those results include tension load, extension rate and torsion number for a conductor. In addition, there's been an experiment and analysis about the mechanical characteristics of the wire of ACSR 48mm² which was removed from Pohang area 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.

이 크게 차이가 짐을 알 수 있었으며, 이러한 기계적 실험 결과와 산불에 의해 열화된 전선의 기계적 실험 결과를 비교 분석한 결과 인공화염으로부터 10[cm] 이격시켜 열화시킨 전선의 기계적 특성과 산불에 의해 열화된 전선의 기계적 특성이 거의 유사함을 알 수 있었다. 그러므로 두 데이터의 신뢰성을 비교 분석하기 위하여 선형적인 방법과 비선형적인 방법으로 그 경향을 추정하여 곡선으로 나타내었고, 이때 얻어진 데이터 상호간의 결정계수(COD; coefficient of determination)로 데이터의 신뢰성을 확인하였다.

이러한 방법에 의해 얻어진 분석자료를 이용하여 향후 산불에 의해 열화된 전선의 열화상태를 분석할 수 있는 데이터베이스를 만들고 또한 열화에 의한 ACSR 전선의 교체수명 진단에 필요한 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

1. 서 론

가공 송전선로에 주로 사용되는 ACSR(Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced)이 열에 의해 발생하는 열화(deterioration)는 전선의 재질, 제조방법 및 가설상태와 선로의 노출환경 등으로 인하여 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 진행된다[1, 2]. 특히, ACSR은 인장을 담당하는 아연도금 강연선과 전류 공급을 담당하는 경알루미늄 연선의 꼬임 구조를 갖고 있기 때문에 대기부식(atmospheric corrosion), 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 여러 가지의 부식현상이 나타난다[3-5].

가공 송전선은 대부분 산간지역에 가설되어 있으며, 건조한 봄철에 산불이 발생할 경우 불길 속에 전선이 노출되는 일이 많을 경우 가설되어있던 송전선로는 산불 화염으로 인해 높은 온도에 의해 열화현상이 발생된다.

일반적으로 산불에 의한 송전선로의 전기적 및 기계적 특성은 정확하게 산불에 대한 모델링을 통하여 알 수 있을 뿐만 아니라 그에 따라 파악되어지는 영향을 알 수 있어야 해석이 가능하다. 현재로서는 이러한 송전선로에 대하여 산불 모형으로 연구된 실적이 거의 없을 뿐만 아니라 실제 산불에 노출되었던 시료에 대한 분석이 이루어진 적이 없으므로 매우 어려운 실정이다.

이러한 연구를 수행하기 위해서 직접적인 방법으로는 산불에 의한 열화특성을 분석하기 불가능하므로 산불을 가정하여 건전 전선에 인위적으로 만든 화염장치로 일정 시간 화염을 가하여 ACSR 특체의 인장강도, 연신을 및 비틀림 시험 등으로 기계적 특성 변화를 분석하였으며, 또한 실제로 포항지역에서 산불에 노출되었던 ACSR 480[mm²]의 전선을 수거하여 건전 전선과 똑같은 방법으로 기계적 특성 시험 및 분석을 행하였다.

따라서 본 연구에서는 인공화염장치에 의해 건전 전선을 열화 시킬 때 화염의 접촉 정도에 따라 기계적 특성

2. 본 론

2.1 ACSR 480[mm²]의 열화 특성

본 연구를 위하여 실험에 사용된 ACSR 480[mm²]전선은 고온의 화염에 의해 금속재료의 내면 구조가 변하여 기계적인 특성과 전기적 성질을 변화시키게 되므로 이러한 원인에 의하여 재료 및 기계적 특성이 변화될 뿐만 아니라 이 결과에 의해 전선의 교체수명(refurnishment life)이 감소될 환경에 처해 있을 수 있다고 판단할 수 있다.

특히 열에 의해 ACSR은 아연도금 강선에 피박으로 덮여있던 아연층이 녹아 내림으로써 강선에 대기부식이 촉진될 뿐만 아니라 아연층이 벗겨진 강선과 알루미늄선이 맞닿아 이중부식 원인으로 알루미늄 소선도 부식되게 된다. 그러므로 일반적인 전선의 부식열화에 의해 발생한 결함은 와류검사법(eddy current test), 누설자속법(leakage flux test) 또는 적외선 카메라(infra-red camera) 등에 의해 검출하기도 한다[6].

ACSR 480[mm²]전선은 그림 1(a)에 나타난 바와 같이 여섯 가닥의 강 연선층으로 이루어진 아연도금 강선과 3층 구조로 경알루미늄 소선 45개로 구성되어 있기 때문에 외층 알루미늄 연선은 대기 중에 노출되어 오염원과 같은 부식원에 직접 접촉되어 있으나 가설초기에는 습윤 기간 등이 짧아 부식이 어느 정도 차단되며, 내부층은 외부 알루미늄 연선층으로 둘러 쌓여 수분이 침투하기 어려우나 일단 수분이 침투되면 습윤 기간이 길어 부식 속도를 촉진시키기도 한다. 또한 그림 1(b)에서와 같이 내·외층의 이중금속간의 접촉으로 인한 전해부식도 나타나며, 먼지와 같은 탄화물이 습기를 함유하고 도전성을 띠면 부식속도가 증가되기도 한다[3-5].

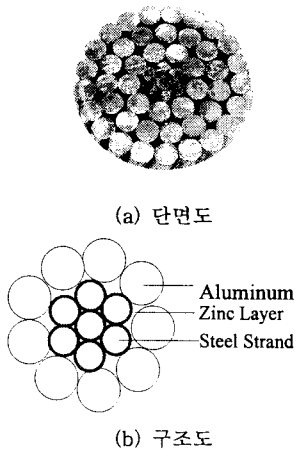


그림 1. ACSR 480[mm]의 구조
Fig. 1. Structure of ACSR 480[mm]

ACSR의 대부분이 공기 중에 노출되어 있어 대기부식이 발생되며, 대기환경이 금속의 부식에 영향을 주는 것은 주로 습도와 산소성분이며 아황산가스, 염분 및 질소 등도 부식의 원인이 되고 있으며, 아연도금 강선과 알루미늄 소선이 닿아 있는 부분은 3종의 금속 즉, 철, 아연 및 알루미늄이 접촉되어 있어 이러한 부분에 염분이나 아황산가스 등에 의한 부식생성물과 먼지 등이 쌓이게 될 때 이 부작물 사이에 수분이 침투되면 이것이 전해질 용액으로 작용하게 되어 국부전지를 형성하게 되므로 이 종금속사이에 이온화 현상이 발생하고 이온화 경향이 큰 Zn, Al, Fe의 순서로 전해부식이 진행된다[2, 7]. 이와 같은 부식 현상이 진행하면 알루미늄 연선의 단면적이 감소하므로 선로의 전력손실이 증가하게 된다.

2.2 인공 화염에 의해 열화된 ACSR 480[mm]의 기계적 특성

2.2.1 실험 조건 및 방법

인공화염에 의해 열화된 기준 데이터도 일반적으로 산불 모형이나 산불 모의실험에 의한 어떠한 기준도 마련되어 있지 않으므로 본 논문에서는 인공화염장치를 설계하고 제작하여 프로판 가스램프로 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40분씩 시간 간격을 두고 각각 구분하여 화염을 가하였다. 이때 시료에 화염의 접촉정도는 10[cm] 이격으로 하여 실험하였다.

인공 열화시험은 화염과 시료와의 이격거리 또는 화염 시간에 따라 기계적 특성이 변화하게 되므로 본 연구를 위해서 수거한 산불에 의해 열화된 전선 ACSR 480[mm]의 기계적 특성은 인공화염과의 이격 거리가 10[cm]인 경우의 기계적 특성과 유사하기 때문에 이 두 경우의 실험데이터를 이용하였다. 인공 열화실험 과정에서 시료에 가해지는 화염이 한곳에 집중되지 않도록 하기 위하여 회전속도 30[rpm]으로 모터를 이용하여 서서히 회전시켰으며, 인공 열화실험이 끝난 시료들은 상온에서 냉각시켰고, 도체의 기계적 특성을 확인하기 위하여 KS B5521(인장시험기)의 규정에 따라 인장강도 실험과 비틀림 시험을 수행하였다[8]. 이때 강심을 제외하고, 3개씩 인장강도 실험을 하여 평균값을 취하였으며, 실험 데이터의 오차를 줄이기 위하여 같은 조건으로 세 번 수행하여 얻은 값을 평균 데이터로 실험 결과 분석에 이용하였다. 이때 사용한 시료의 크기는 모두 50[cm]로 가공하여 사용하였다. 표기에서 AF는 인공 열화시킨 시료이며, PH는 실제로 발생한 산불에 의해 열화된 시료이고, TL(tension load[kgf])은 인장강도, ER(extension

rate[%])은 연신율, TN(torsion number[turn])을 의미한다. 그리고 각 소선을 구분하기 위하여 ST1은 아연도금 강심, ST2는 아연도금 강선, AL1, AL2 및 AL3는 내층으로부터 알루미늄 연선층을 의미하고, 최 외각층의 알루미늄의 연선은 AL3라고 칭하였다.

2.2.2 ACSR 480[mm]의 기계적 특성 분석

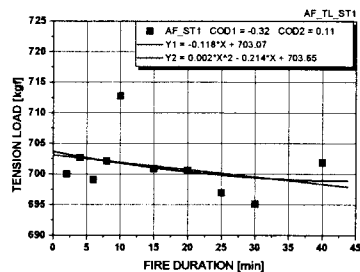
인공화염에 의한 열화 실험은 모든 강연선에 대하여 수행하였으나 논문의 구성을 간단히 하기 위하여 인장강도 및 연신율에 대한 실험 결과는 아연도금 강심(ST1)과 알루미늄 연선(AL3)에 대해서만, 비틀림 수에 대한 실험은 아연도금 강선(ST2)과 알루미늄 연선(AL3)에 대하여 분석하였다.

그림 2는 인공화염시간에 따른 인장강도 실험 결과와 각 데이터들간의 결정계수 및 추정곡선을 나타낸 그림으로서, 실험 결과에서 화염시간에 따라 아연도금 강심의 경우는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나 알루미늄 연선의 인장강도는 아연도금 강심에 비하여 많은 변화가 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 알루미늄 연선에 의해 둘러 쌓인 아연도금 강심이 내층에 있기 때문에 그 만큼 화염과 열이 내부에 전달되지 않았기 때문으로 판단된다. 한편, 측정값들이 약간씩 차이를 보이는 것은 실험상 화염의 분포가 균일하지 않았거나 인장강도 측정기에 의해 인장강도를 측정함에 있어서 슬립현상이 발생된 결과로 볼 수 있으므로 다른 데이터에 비해 오차가 좀더 많이 포함된 것으로 볼 수 있다.

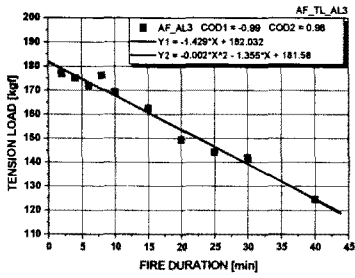
또한, 알루미늄 연선의 인장강도 변화는 아연도금 강심에 비하여 현저히 떨어짐을 알 수 있으며, 특히 화염이 직접적으로 닿은 가장 외층에 있는 알루미늄 연선은 화염이 가해진 초기부터 인장강도가 많이 감소되었음을 알 수 있다.

각 데이터들간의 결정계수를 살펴보면 아연도금 강심의 경우에 있어서 선형인 경우 -0.32, 비선형인 경우 0.11인 값을 가지고 있는데 이는 각 데이터들 상호의 관계가 빈약함을 보여주고 있다. 따라서 아연도금 강선의 인장강도와 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타낸다. 또한 알루미늄 연선은 선형인 경우 -0.99, 비선형인 경우 0.98의 값을 가지고 있으며, 두 경우 매우 좋은 상관성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 따라서 알루미늄의 인장강도와 화염시간 사이는 상관성이 매우 강함을 나타내며 이러한 결과에 의해 추정된 추정함수의 정확도는 매우 높음을 의미하게 되므로 신뢰성이 매우 높은 것으로 사료된다.

그림 3은 인장강도 실험시 인공화염시간에 따라 시료가 늘어난 정도를 백분율로 나타낸 그림으로서, 실험 결과에서 화염시간에 따라 아연도금 강심의 경우는 연신율의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으나 알루미늄 연선의 연신율은 아연도금 강심에 비하여 많은 변화가 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 인장강도 실험 결과와 거의 같은 경향을 보이고 있기 때문으로 판단된다.



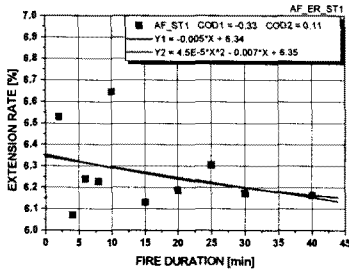
(a) 아연도금 강심(ST1)



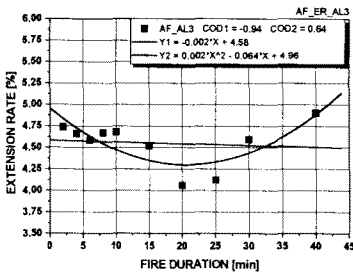
(b) 알루미늄 연선(AL3)

그림 2. 인공화염시간에 따른 인장강도 및 추정곡선

Fig. 2. Tension load and estimated curve for artificial fire duration



(a) 아연도금 강선(ST1)



(b) 알루미늄 연선(AL3)

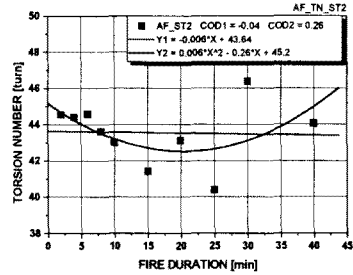
그림 3. 인공화염시간에 따른 연신율 및 추정곡선

Fig. 3. Extension rate and estimated curve for artificial fire duration

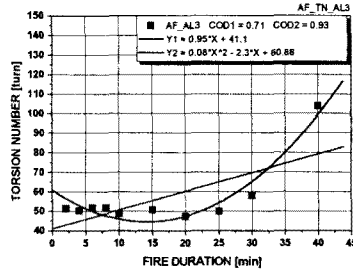
각 데이터들간의 결정계수를 살펴보면 아연도금 강선의 경우에 있어서 선형인 경우 -0.33 , 비선형인 경우 0.11 인 값을 가지고 있는데 이는 각 데이터들 상호의 관계가 빈약함을 보여주고 있다. 따라서 아연도금 강선의 연신율과 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타낸다. 또한 알루미늄 연선은 선형인 경우 -0.94 , 비선형인 경우 0.64 의 값을 가지고 있으며, 두 경우 좋은 상관성을 나타낸다. 따라서 알루미늄 연선의 연신율과 화염시간 사이는 상관성이 강함을 나타내며 이러한 결과에 의해 추정된 추정함수의 정확도는 높음을 의미하게 되므로 신뢰성도 높은 것으로 사료된다.

그림 4는 인공화염시간 및 전선에의 접촉정도에 따른 비틀림 수 실험 결과이며, 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 아연도금 강선은 연신율의 변화가 거의 없기 때문

에 화염시간에 따라 비틀림 수도 큰 변화를 갖지 않으나 알루미늄 연선은 연신율의 변화율과 같이 시간이 길수록 비틀림 수도 증가함을 알 수 있다. 특히 최외각 알루미늄 연선은 화염 시간이 길수록 비례적으로 비틀림 수가 증가함을 보이고 있다. 이는 열에 의해 금속조직의 연성을 판단하는대는 연신율 보다는 비틀림 수가 더 정확함을 의미하는 것으로 사료된다.



(a) 아연도금 강선(ST2)



(b) 알루미늄 연선(AL3)

그림 4. 인공화염시간에 따른 비틀림 수 및 추정곡선

Fig. 4. Torsion number and estimated curve for artificial fire duration

각 데이터들간의 결정계수를 살펴보면 아연도금 강선의 경우에 있어서 선형인 경우 -0.04 , 비선형인 경우 0.26 인 값을 가지고 있는데 이는 각 데이터들 상호의 관계가 빈약함을 보여주고 있다. 따라서 아연도금 강선의 비틀림 수와 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타낸다. 또한 알루미늄 연선은 선형인 경우 -0.71 , 비선형인 경우 0.93 의 값을 가지고 있으며, 두 경우 좋은 상관성을 나타낸다. 따라서 알루미늄의 비틀림 수와 화염시간 사이는 상관성이 양호함을 나타내며 이러한 결과에 의해 추정된 추정함수의 정확도는 높음을 의미하게 되므로 신뢰성도 양호한 것으로 사료된다.

2.3 산불 화염에 의해 열화된 ACSR 480[mm]의 기계적 특성

2.3.1 실험 조건 및 방법

산불 화재로 인하여 열화된 ACSR 480[mm] 송전선의 기계적 특성 분석을 위하여 가설되어 일정기간 사용되었던 도체들을 실험에 이용하였다. 시료를 만들기 위하여 산불로 인해 열화된 전선 50[m]를 수거한 후 50[cm]씩 100개로 절단한 후 이를 5[m]구간마다 한 개씩을 샘플 시료로 이용하였으며, 각 구간별 시료의 번호를 01, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91로 명하였다. 이때 수거된 전선은 신포항 T/L #187 철탑에 가설되어 철거된 실제 산불 화염에 노출되었던 전선들이다.

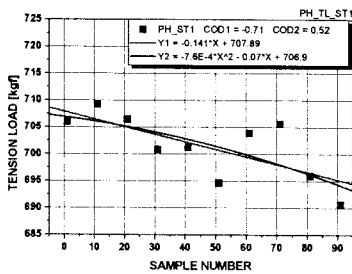
이러한 도체들의 기계적 특성분석을 위해 건전 전선과 똑같은 방법으로 KS B5521(인장시험기)의 규정에 따라 인장시험 및 비틀림 시험을 수행하였다. 각시료의 소선 3개에 대해 각각 인장시험을 하여 평균값을 취하였고, 데이터의 오차를 줄이기 위하여 같은 조건으로 세 번 측정하여 얻은 결과의 평균값을 이용하여 산불 화염에 의해 열화된 전선의 기계적 특성분석을 수행하였다. 각 그룹에서 보여지는 곡선은 각 소선 및 연선에 대하여 각 특성을 실험한 경향을 추정한 곡선이다.

2.3.2 ACSR 480[mm]의 기계적 특성 분석

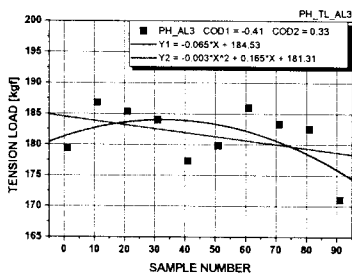
산불 화염에 의한 열화 실험도 인공화염에 의한 열화 실험과 동일하게 모든 강연선에 대하여 수행하였으나 논문의 구성을 간단히 하기 위하여 인장강도 및 연신율에 대한 실험 결과는 아연도금 강심(ST1)과 알루미늄 연선(AL3)에 대해서만, 비틀림 수에 대한 실험은 아연도금 강심(ST2)와 알루미늄 연선(AL3)에 대하여 분석하였다.

그림 5는 산불 화염에 노출된 ACSR 전선의 각 구간별로 아연도금 강심과 알루미늄 연선에 대하여 인장강도를 실험한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 각 구간별로 인장강도의 값이 비슷함을 알 수 있다.

이는 각 구간별로 거의 같은 크기와 거의 같은 화염시간의 산불로 인해 열화된 현상으로 보여지기 때문에 시료로 사용된 50[m] 구간은 산불이 동시에 지나가는 형태로 볼 수 있다고 하겠다.



(a) 아연도금 강심(ST1)



(b) 알루미늄 연선(AL3)

그림 5. 산불에 의해 열화된 전선의 인장강도 및 추정곡선

Fig. 5. Tension load and estimated curve of wire with deterioration for forest fire

그리고 측정값들이 약간씩 차이를 보이는 것은 산불의 분포가 균일하지 않았거나 실험시 인장강도 시험기에 의해 인장강도를 측정함에 있어서 슬립현상이 발생된 결과로 볼 수 있으므로 다른 데이터에 비해 오차가 포함된 값으로 해석할 수 있다. 또한 알루미늄 연선의 인장강도 변화도 아연도금 강심과 거의 유사한 경향을 나타냄을

알 수 있다.

인장강도를 실험한 각 데이터들간의 결정계수를 살펴보면 아연도금 강심의 경우에 있어서 선형인 경우 -0.71, 비선형인 경우 0.52인 값을 가지고 있는데 이는 각 데이터들 상호의 관계가 양호함을 보여주고 있다. 따라서 아연도금 강심의 인장강도와 화염시간 사이는 상관성이 양호함을 나타낸다. 또한 알루미늄 연선은 선형인 경우 -0.41, 비선형인 경우 0.33의 값을 가지고 있으며, 두 경우 빈약한 상관성을 나타낸다. 따라서 알루미늄의 인장강도와 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타내며 이러한 결과에 의해 추정된 추정함수의 정확도도 빈약함으로 신뢰성도 빈약한 것으로 사료된다.

그림 6은 산불 화염에 노출된 ACSR 전선의 각 구간별로 아연도금 강심과 알루미늄 연선에 대하여 연신율 변화량을 백분율로 나타낸 실험 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 각 구간별로 연신율의 값이 비슷함을 알 수 있다.

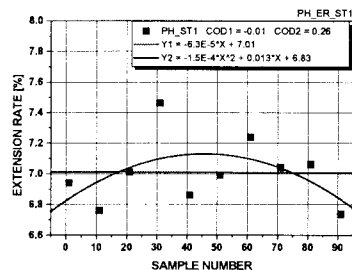
이는 각 구간별로 거의 같은 크기와 거의 같은 화염시간의 산불로 인해 열화된 현상으로 보여지기 때문에 시료로 사용된 50[m] 구간은 산불이 동시에 지나가는 형태로 볼 수 있다.

그리고 측정값들이 약간씩 차이를 보이는 것은 산불의 분포가 균일하지 않았거나 실험시 인장강도 시험기에 의해 인장강도를 측정함에 있어서 슬립현상이 발생된 결과로 볼 수 있으므로 다른 데이터에 비해 오차가 포함된 값으로 해석할 수 있다. 또한 알루미늄 연선의 인장강도 변화도 아연도금 강심과 거의 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

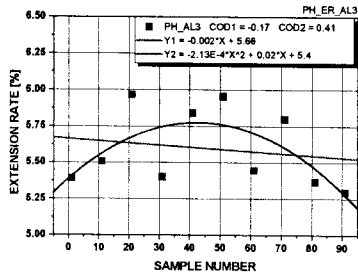
연신율을 실험한 각 데이터들간의 결정계수를 살펴보면 아연도금 강심의 경우에 있어서 선형인 경우 -0.01, 비선형인 경우 0.26인 값을 가지고 있는데 이는 각 데이터들 상호의 관계가 매우 빈약함을 보여주고 있다. 따라서 아연도금 강심의 연신율과 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타내고 있다. 또한 알루미늄 연선은 선형인 경우 -0.17, 비선형인 경우 0.41의 값을 가지고 있으며, 두 경우 빈약한 상관성을 나타낸다. 따라서 알루미늄 연선의 연신율과 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타내며 이러한 결과에 의해 추정된 추정함수의 정확도도 빈약함으로 신뢰성도 빈약한 것으로 사료된다.

그림 7은 산불 화염에 노출된 ACSR 전선의 각 구간별로 아연도금 강심과 알루미늄 연선에 대하여 비틀림 수를 실험한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 각 구간별로 비틀림 수의 값이 비슷함을 알 수 있다.

이는 각 구간별로 거의 같은 크기와 거의 같은 화염시간의 산불로 인해 열화된 현상으로 보여지기 때문에 시료로 사용된 50[m] 구간은 산불이 동시에 지나가는 형태로 볼 수 있다.



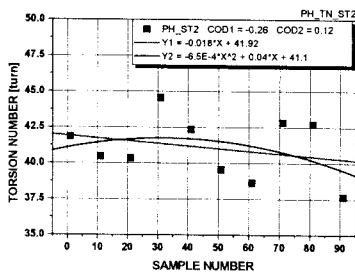
(a) 아연도금 강심(ST1)



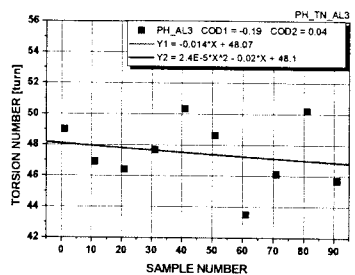
(b) 알루미늄 연선(AL3)

그림 6. 산불에 의해 열화된 전선의 연신율 및 추정곡선
Fig. 6. Extension rate estimated curve of wire with deterioration for forest fire

그리고 측정값들이 약간씩 차이를 보이는 것은 산불의 분포가 균일하지 않았거나 실험시 비틀림 시험기에 의해 비틀림 수를 측정함에 있어서 슬립현상이 발생된 결과로 볼 수 있으므로 다른 데이터에 비해 오차가 포함된 값으로 해석할 수 있다. 또한 알루미늄 연선의 비틀림 수의 변화도 아연도금 강선과 거의 유사한 경향을 나타낼 수 있다.



(a) 아연도금 강선(ST2)



(b) 알루미늄 연선(AL3)

그림 7. 산불에 의해 열화된 전선의 비틀림수 및 추정곡선
Fig. 7. Torsion number estimated curve of wire with deterioration for forest fire

비틀림 수를 실험한 각 데이터들간의 결정계수를 살펴 보면 아연도금 강선의 경우에 있어서 선형인 경우 -0.26, 비선형인 경우 0.12인 값을 가지고 있는데 이는 각 데이터들 상호의 관계가 양호함을 보여주고 있다. 따라서 아연도금 강선의 비틀림 수와 화염시간 사이는 상관성이 양호함을 나타낸다. 또한 알루미늄 연선은 선형인 경우 -0.41, 비선형인 경우 0.33의 값을 가지고 있으며, 두 경우 빈약한 상관성을 나타낸다. 따라서 알루미늄의 비틀

림 수와 화염시간 사이는 상관성이 빈약함을 나타내며 이러한 결과에 의해 추정된 추정함수의 정확도도 빈약하다고 볼 수 있으므로 신뢰성도 빈약한 것으로 사료된다.

2.4 결과 및 고찰

본 연구에서 인공화염 장치에 의해 열화시킨 시료 및 산불화염에 의해 열화되어 수거된 전선에 대하여 인장강도, 연신율 및 비틀림 수를 실험한 결과를 종합하여 화염시간에 따른 경향과 각 데이터간의 결정계수를 얻어 신뢰성을 분석하고자 하였으며, 이로 인하여 실제 산불에 의해 열화된 전선이 열화 되어진 정도를 파악하고자 하였다. 표에서 AF는 인공화염장치에 열화된 시료, PH는 실험장에서 산불에 의해 열화된 전선을 나타낸 것이며, COD1은 선형인 경우 데이터간의 결정계수, COD2는 비선형인 경우 데이터간의 결정계수이다. 또한 Y1은 선형인 경우 추정곡선의 추정함수이며, Y2는 비선형인 경우 추정곡선의 추정함수를 나타낸 것이다. 이러한 기계적 특성을 분석하기 위한 실험 결과로 볼 때 본 연구에서 실험한 인공 열화에 의한 아연도금 강선의 기계적 특성은 화염이 내부에 완전하게 침투하지 못한 것으로 보여진다.

표 1. 인장강도의 결정계수 및 추정함수

Table 1. COD and estimated function of tension load

구분	Y1	
	COD1	COD2
AF_ST1	-0.32	-0.118*X + 703.07
	0.11	0.002*X^2 - 0.214*X + 703.65
PH_ST1	-0.71	-0.141*X + 707.89
	0.52	-7.6E-4*X^2 - 0.07*X + 706.9
AF_ST2	-0.72	-0.371*X + 723.36
	0.52	-0.003*X^2 - 0.27*X + 722.74
PH_ST2	-0.41	-0.137*X + 716.76
	0.17	5.8E-4*X^2 - 0.189*X + 717.5
AF_AL1	-0.93	-1.011*X + 190.87
	0.90	-0.019*X^2 - 0.272*X + 186.40
PH_AL1	-0.46	-0.085*X + 186.65
	0.27	0.002*X^2 - 0.250*X + 188.97
AF_AL2	-0.95	-1.109*X + 181.85
	0.91	-0.009*X^2 - 0.85*X + 189.80
PH_AL2	-0.72	-0.112*X + 190.96
	0.65	-0.002*X^2 + 0.099*X + 188.01
AF_AL3	-0.99	-1.429*X + 182.032
	0.98	-0.002*X^2 - 1.355*X + 181.58
PH_AL3	-0.41	-0.065*X + 184.53
	0.33	-0.003*X^2 + 0.165*X + 181.31

표 2. 연신율의 결정계수 및 추정함수

Table 2. COD and estimated function of extension rate

구분	Y1	
	COD1	COD2
AF_ST1	-0.33	-0.005*X + 6.34
	0.12	4.5E-5*X^2 - 0.007*X + 6.35
PH_ST1	-0.01	-6.3E-5*X + 7.01
	0.26	-1.5E-4*X^2 + 0.013*X + 6.83
AF_ST2	-0.72	-0.009*X + 6.82
	0.61	3.7E-4*X^2 - 0.024*X + 6.9
PH_ST2	-0.21	-0.005*X + 6.9
	0.12	-2.4E-4*X^2 + 0.017*X + 6.59
AF_AL1	-0.35	-0.006*X + 3.93
	0.26	5.5E-4*X^2 - 0.028*X + 3.96
PH_AL1	-0.28	-0.002*X + 3.87
	0.09	-3.6E-5*X^2 + 9.5E-4*X + 3.8
AF_AL2	-0.02	-2.3E-4*X + 4.11
	0.48	0.001*X^2 - 0.04*X + 4.36
PH_AL2	0.03	4.3E-4*X + 4.89
	0.29	-3.2E-4*X^2 + 0.03*X + 4.47
AF_AL3	-0.94	-0.002*X + 4.58
	0.64	0.002*X^2 - 0.064*X + 4.96
PH_AL3	-0.17	-0.002*X + 5.66
	0.41	-2.13E-4*X^2 + 0.02*X + 5.4

표 3. 비틀림 수의 결정계수 및 추정함수
Table 3. COD and estimated function of torsion number

구분	COD1	Y1
	COD2	Y2
AF_ST2	-0.64	$-0.006 \cdot X + 43.64$
	0.26	$0.006 \cdot X^2 - 0.26 \cdot X + 45.2$
PH_ST2	-0.26	$-0.018 \cdot X + 41.92$
	0.12	$-6.5E-4 \cdot X^2 + 0.04 \cdot X + 41.1$
AF_AL1	0.42	$0.210 \cdot X + 48.83$
	0.70	$0.034 \cdot X^2 - 1.148 \cdot X + 57.1$
PH_AL1	-0.34	$-0.019 \cdot X + 47.53$
	0.22	$7.1E-4 \cdot X^2 - 0.084 \cdot X + 48.44$
AF_AL2	0.75	$0.93 \cdot X + 40.84$
	0.63	$0.03 \cdot X^2 - 0.19 \cdot X + 47.6$
PH_AL2	0.47	$0.05 \cdot X + 43.1$
	0.22	$-1.3E-4 \cdot X^2 + 0.06 \cdot X + 42.93$
AF_AL3	0.71	$0.95 \cdot X + 41.1$
	0.93	$0.08 \cdot X^2 - 2.3 \cdot X + 60.86$
PH_AL3	-0.19	$-0.014 \cdot X + 48.07$
	0.64	$2.4E-5 \cdot X^2 - 0.02 \cdot X + 43.1$

그러므로 인공 화염에 의한 기계적 특성의 변화를 뚜렷하게 추정하기가 곤란할 뿐만 아니라, 실험 데이터들간의 결정계수를 보아도 경우에 따라 값들이 상당히 변화하고 그 신뢰성도 매우 빈약하게 나타나고 있다.

또한 알루미늄 연선의 경우 화염시간에 따라 아연도금 강선에 비해 뚜렷한 경향을 보여주고 있으며, 각 데이터들간의 결정계수를 보아도 대체적으로 신뢰성이 양호한 정도로 나타나고 있다.

그리고 산불 화염에 의해 열화된 전선의 기계적 특성을 실험한 결과도 인공화염에 의해 열화된 전선의 기계적 특성과 거의 유사하기 때문에 같은 맥락으로 분석하여도 손색이 없을 것으로 보여진다.

따라서 인공화염 시간에 의해 아연도금 강선의 기계적 특성은 신뢰성이 빈약하다고 볼 수 있으며, 화염이 직접적으로 닿은 알루미늄 연선의 경우는 기계적 특성에 대하여 양호하게 신뢰할 수 있다고 볼 수 있다.

표 1은 인공화염장치에 의해 열화시킨 전선을 인장강도 실험한 데이터의 선형과 비선형인 경우의 결정계수를, 데이터들의 경향을 파악하는 추정곡선을 선형과 비선형인 경우에 대하여 추정함수를 나타내었다. 또한 산불에 의해 열화된 전선도 마찬가지로이다.

표 2는 인장강도를 실험한 경우처럼 인공화염장치에 의해 열화시킨 전선을 인장강도 실험할 때 발생하는 연신율에 대한 데이터를 선형과 비선형으로 구분하여 COD1과 COD2 및 Y1과 Y2를 나타낸 것이다. 또한 표 3은 비틀림 수를 실험한 경우에 대하여 각각 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 ACSR 480[mm] 건전 전선을 인공화염장치로 10[cm] 이격 시켜 열화 시킨 시료에 대하여 기계적 특성을 검토한 후 포함지역에서 산불에 의해 열화되어 철거된 ACSR 480[mm]를 인공 열화 시킨 방법과 똑같이 실험하여 그 결과를 비교 분석하였다. 본 논문의 주요한 연구 결과는 다음과 같다.

인공화염에 노출되었던 ACSR 건전 전선의 기계적 특성을 확인하기 위해 인장강도의 변화량, 연신율 및 비틀림 수를 측정된 결과 아연도금 강선은 내부에 존재하기 때문에 처음에 화염을 인가할 시에는 화염의 영향이 크지 않아 인장강도, 연신율 및 비틀림 수의 변화가 거의 이루어지지 않음을 확인하였다. 그러나 아연도금 강선 외층에 존재하는 알루미늄 연선의 경우 인공화염 가열 시간이 길어질수록 인장강도는 뚜렷하게 감소하는 현상이 나타났고, 연신율은 증가하는 것을 확인하였으며, 비틀림 수도 연신율과 유사하게 증가하고 있음을 확인하였다.

포함지역에서 산불에 의해 열화된 전선 ACSR 480[mm]의 기계적 특성 변화를 확인하기 위하여 인공화염장치에 의해 10[cm] 이격 시 열화된 전선의 기계적 특성과 비교 분석하였다. 그 결과 인공화염 장치에 의해 열화시킨 전선이 열화시간에 따른 아연도금 강선의 기계적 특성변화는 기계적 특성 값들에 대하여 신뢰성이 빈약하다고 볼 수 있기 때문에 명확하게 추정할 수는 없으나, 화염이 직접적으로 닿은 알루미늄 연선의 경우 기계적 특성 값들은 그 신뢰성이 양호한 상태로 분석되기 때문에 기계적 특성변화를 추정하는데 있어서도 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 배전관리과제 연구선집, 전력연구원, KRC-92D-001, 1992.
- [2] 대기오염이 전력설비에 미치는 영향 연구, 전력연구원, KRC 92C-S05, 1993.
- [3] T. E Graedel, "Corrosion mechanism for zinc exposed to the atmosphere", J. of Electrochem. Soc., Vol. 136, No. 4, pp. 193c~203c, 1989.
- [4] T. E Graedel, "Corrosion mechanism for aluminum exposed to the atmosphere", J. of Electrochem. Soc., Vol. 136, No. 4, pp. 204c~212c, 1989.
- [5] 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.
- [6] F. Thollon, B. Lebrun, N. Burais and Y. Jayet, "Numerical and experimental study of eddy current probes in NDT of structures with deep flaws", NDT International, Vol. 28, No. 2, pp.92~102, 1995.
- [7] P.G. Buchan, "Locating corrosion on operating transmission lines with an infrared camera", Ontario Hydro Research Division Report, No. 90-64-K, 1990.
- [8] 한국공업규격 KS B5521(인장시험기)