

화염에 의한 ACSR 송전선의 표면 특성에 관한 연구

(A Study on Surface Characteristics of ACSR Transmission Line due to a Flame)

김영달*

(Young - Dal Kim)

요 약

본 논문은 산불 화염에 의한 ACSR 송전선의 열화특성을 분석하기 위하여 인공화염장치를 이용하여 건전 전선을 일정 시간 간격으로 화염을 가하는 실험을 하였다. 이 때 발생되어지는 표면 특성을 확인하였다. 표면 특성 실험은 금속현미경으로 표면 특성을 확인하였다. 또한, 포항지역에 가설되어 운전 중이던 ACSR 480[mm]가 산불 열화로 인하여 첩거된 전선을 수거하여 표면 특성 시험 및 분석 결과와 인공화염장치를 이용한 실험 결과를 비교·분석하였다. 이 두 개의 분석자료를 이용하여 향후 산불에 의해 열화된 전선의 상태를 예측할 수 있는 데이터베이스를 만들고, 또한 산불로 인한 ACSR 전선의 수명 진단에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

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 surface characteristics for a conductor. In addition, there's been an experiment and analysis about the surface characteristics of the wire of ACSR 480mm² 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.

Key Words : Artificial flame, Forest fire, Characteristic of deterioration

1. 서 론

ACSR(Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced)은 가공 송전선로에 주로 사용되며, 이 전선이 산불 등 화염이나 열에 의해 발생하는 열화(deterioration)현상은 전선의 재질, 제조방법 및 가

설상태와 선로의 노출 환경 등으로 인하여 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 진행되어진다[1, 2]. 특히, ACSR은 꼬임 구조를 갖으며 인장을 담당하는 아연도금 강연선과 전류 공급을 담당하는 경알루미늄 연선으로 구성되어 있기 때문에 이러한 구조에 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 발생되어질 수 있다[3-5].

* 주저자 : 한밭대학교 전기공학과 공학박사
Tel : 042-821-1579, Fax : 042-821-1088
E-mail : zeromoon@hanbat.ac.kr
접수일자 : 2003년 10월 2일
1차심사 : 2003년 10월 9일
심사완료 : 2003년 10월 29일

화염에 의한 ACSR 송전선의 표면 특성에 관한 연구

ACSR 가공 송전선은 대부분 산간지역에 가설되어 있으므로 건조한 봄철에 산불이 발생할 경우 불길 속에 전선이 노출되는 현상들이 많을 경우에 이미 가설되어있던 송전선로는 산불 화염이나 그 열에 의해 높은 온도에서 열화현상이 발생될 것이다.

일반적으로 산불에 의한 화염이나 그 열에 의해 송전선로의 전기적, 기계적 및 표면 특성은 정확하게 산불에 대한 모델링을 통하여 알 수 있을 뿐만 아니라 그에 따른 파급되어지는 현상에 대한 영향을 알 수 있어야 해석이 가능하다. 그러나 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 위해서는 산불에 의한 열화특성을 직접적인 방법으로 분석하는 것이 불가능하므로 산불을 가정하여 모의 실험에 의한 건전 전선에 인위적으로 만든 화염장치로 일정 시간 화염을 가하여 ACSR 480[mm] 도체의 표면 특성 변화를 분석하였으며, 또한 실제로 포항지역에서 산불에 노출되었던 ACSR 480[mm]의 전선을 수거하여 건전 전선과 똑같은 방법으로 표면 특성 시험 및 분석을 행하였다. 또한 두 화염에 의한 특성을 분석하기 위한 기준 자료로 활용하기 위하여 건전 전선 ACSR 480[mm]에 대한 표면 특성도 분석을 행하였다.

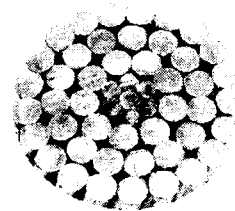
이러한 방법에 의해 얻어진 분석자료를 이용하여 향후 산불에 의해 열화된 전선의 열화 상태를 분석할 수 있는 데이터베이스를 만들고 또한 열화에 의한 ACSR 480[mm] 전선의 교체수명 진단에 필요한 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

2. ACSR 480[mm]의 열화 특성

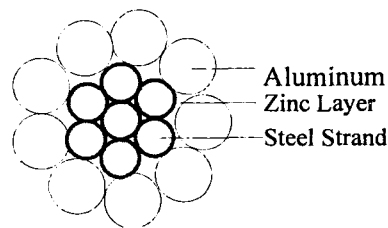
ACSR 480[mm] 전선에 대한 표면 특성을 분석을 행하기 위하여 사용된 시료는 고온의 화염이나 열에 의해 금속재료의 표면 구조가 변화하여 부식현상을 가속화시키는 결과를 초래하게 되므로 이러한 원인에 의하여 재료 및 기계적 특성이 변화될 뿐만 아니라 이 결과에 의해 전선의 교체수명(refurnishment life)이 감소될 환경에 처해 있을 수 있다고 판단할

수 있다. 특히 화염이나 열에 의해 ACSR은 아연도금 강선에 피막으로 덮여있던 아연층이 녹아 내림으로써 강선에 대기부식이 촉진될 뿐만 아니라 아연층이 벗겨진 강선과 알루미늄선이 맞닿아 이종부식 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].

본 연구에 사용된 ACSR 480[mm]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 연선층은 대기 중에 노출되어 오염원과 같은 부식원에 직접 접촉되어 있으나 가설 초기에는 습윤 기간 등이 짧아 부식이 어느 정도 차단되며, 내부층은 외부 알루미늄 연선층으로 둘러 쌓여 수분이 침투하기 어려우나 일단 수분이 침투되면 습윤 기간이 길어 부식속도를 촉진시키기도 한다. 또한 그림 1(b)에서와 같이 내·외층의 이종금속간의 접촉으로 인한 전해부식도 나타나며, 먼지와 같은 탄화물이 습기를 함유하고 도전성을 띠면 부식속도가 증가되기도 한다[3-5].



(a) View of cross section



(b) Schematic diagram

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

ACSR의 대부분이 공기 중에 노출되어 있어 대기 부식이 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 부식 생성물과 먼지 등이 쌓이게 될 때 이 부착물 사이에 수분이 침투되면 이것이 전해질 용액으로 작용하게 되어 국부전지를 형성하게 되므로 이종금속 사이에 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.

3. 건전 전선 ACSR 480[mm²]의 표면 특성

3.1 실험 조건 및 방법

산불 화재로 열화된 ACSR 480[mm²] 송전전선의 표면 특성을 확인하기 위해서는 지금까지의 축적된 데이터가 거의 없기 때문에 기준 데이터로 이용하기에는 부적절하므로 이러한 전선들에 대한 표면 특성을 확인하여야 하며, 산불 화재에 의해 열화된 전선도 직접적인 방법으로는 확인할 수 없으므로 인공화염 장치에 의해 건전 전선을 열화시켜 표면 특성을 분석한 후 산불 화재에 의해 열화된 전선의 표면 특성과 비교 분석함으로써 산불 화염의 정도가 어느 정도인지를 비교 분석할 수 있을 것이다. 또한 건전 전선에 대한 기준도 설정해야 하므로 이에 대한 표면 특성도 분석하였다.

열화시험에 따른 아연도금 강선 및 알루미늄 연선의 표면 변화 특성을 분석하기 위하여 독일 Leica사의 금속현미경(Model : Leica Microsystems Wetzlar GmbH)을 이용하여 표면 사진을 촬영하였다.

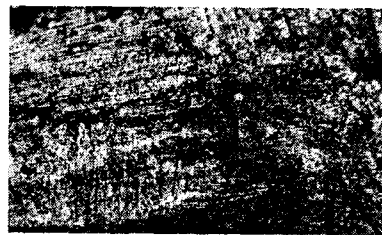
각 소선을 구분하기 위하여 ST-1은 아연도금 강심, ST-2는 아연도금 강선, AL-1, AL-2 및 AL-3는 내층으로부터 알루미늄 연선층이며, 최 외각층의 알루미늄의 연선은 AL-3라고 칭하였다.

3.2 건전전선의 표면 특성

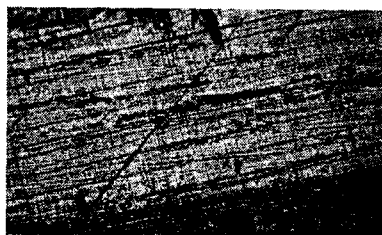
그림 2의 (a)(b)는 건전 전선의 아연도금 강심과 아연도금 강선의 임의의 부분에 대하여 200배율로 촬영한 사진이다. 또 그림 2의 (c)(d)는 건전 전선의 알루미늄 연선을 아연도금 강선과 같이 임의의 부분에 대하여 200배율로 촬영한 사진이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 전선 표면에 부식이나 열화로 인한 어떠한 특징도 보이지 않음을 알 수 있다.



(a) ST-1



(b) ST-2



(c) AL-1



(d) AL-2



(e) AL-3

그림 2. 건전전선의 표면사진
Fig. 2. Surface View of New ACSR

4. 인공 화염에 의해 열화된 ACSR 480[mm²]의 표면 특성

4.1 실험 조건 및 방법

기준 데이터를 만들기 위하여 건전 전선을 대상으로 인공화염 실험을 수행하였다. 인공화염에 의해 열화된 기준 데이터도 일반적으로 산불 모형이나 산불 모의 실험에 의한 어떠한 기준도 마련되어 있지 않으므로 본 논문에서는 인공화염 장치를 설계하고 제작하여 프로판 가스램프로 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40분씩 시간 간격을 두고 각각 구분하여 화염을 가하였으며, 이때 인공화염은 시료에 직접 접촉시켜 실험하였다.

인공 열화실험 과정에서 시료에 가해지는 화염이 한곳에 집중되지 않도록 하기 위하여 회전속도 30[rpm]으로 모터를 이용하여 서서히 회전시켰으며, 인공 열화실험이 끝난 시료들은 상온에서 냉각시켰다.

4.2 인공화염으로 열화시킨 ACSR의 표면 특성

인공화염 접촉시 열화시간에 따라 각 경우의 ACSR 표면 사진을 보여야 하나 분량이 많기 때문에 특징적인 것만을 나타내기 위하여 10, 20, 30 및 40분의 경우만을 관찰하였다.

그림 3은 아연도금 강심에 대하여 화염시간에 따라 표면의 변화 현상을 나타낸 사진으로서 강선에 아연 도금한 상태가 화염시간이 길어질수록 뭉쳐지다가 40분의 경우에는 아연도금이 거의 없어진 상태로 금속부분이 보이는 상황으로 발견되었다. 또한 그림 4의 경우도 화염시간이 길어질수록 아연도금이 없어짐을 알 수 있어 이러한 현상으로 인하여 대기

부식이 급속히 진행될 것으로 판단된다. 그러므로 인장을 담당하는 아연도금 강심과 강선은 인장력이 급격히 감소하게 되므로 전선의 수명이 빠르게 감소될 것으로 예측된다.

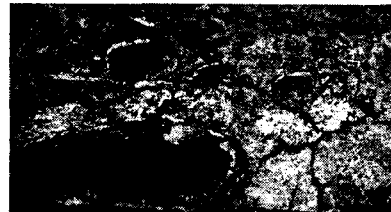
그림 5 ~ 7은 알루미늄 연선에 대하여 인공화염 시간에 따라 표면 변화 현상을 나타낸 사진으로서 화염시간이 길어질수록 알루미늄의 표면이 경화되어 갈라지는 현상을 발견할 수 있다.



(a) 10(min)



(b) 20(min)



(c) 30(min)

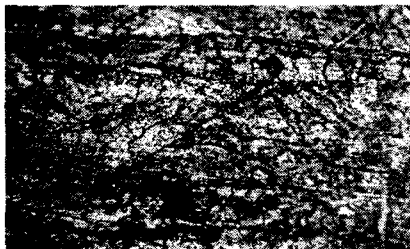


(d) 40(min)

그림 3. 인공화염시간에 따른 ST-1의 표면사진
Fig. 3. Surface View of ST-1 with Fire duration



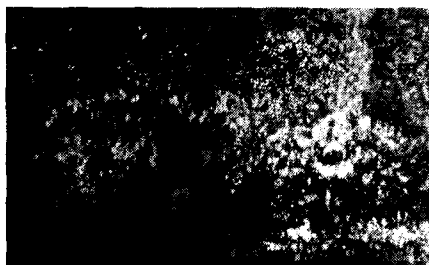
(a) 10(min)



(b) 20(min)



(c) 30(min)



(d) 40(min)

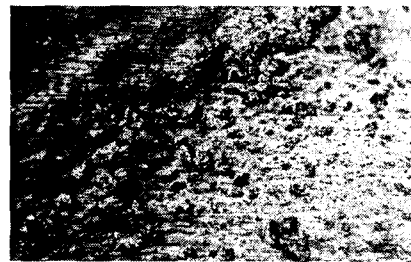
그림 4. 인공화염시간에 따른 ST-2의 표면사진
Fig. 4. Surface View of ST-2 with Fire duration



(a) 10(min)



(b) 20(min)



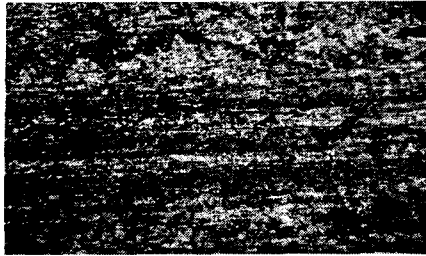
(c) 30(min)



(d) 40(min)

그림 5. 인공화염시간에 따른 AL-1의 표면사진
Fig. 5. Surface View of AL-1 with Fire duration

화염에 의한 ACSR 송전선의 표면 특성에 관한 연구



(a) 10(min)



(b) 20(min)



(c) 30(min)



(d) 40(min)

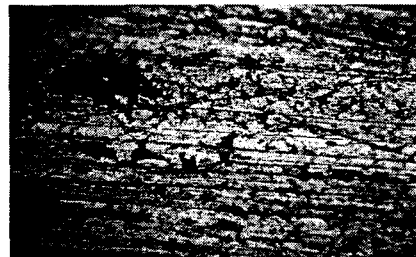
그림 6. 인공화염시간에 따른 AL-2의 표면사진
Fig. 6. Surface View of AL-2 with Fire duration



(a) 10(min)



(b) 20(min)



(c) 30(min)



(d) 40(min)

그림 7. 인공화염시간에 따른 AL-3의 표면사진
Fig. 7. Surface View of AL-3 with Fire duration

5. 산불 화염에 의해 열화된 ACSR 480[mm]의 표면 특성

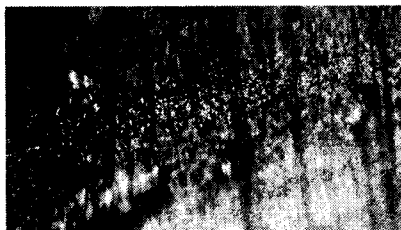
5.1 실험 조건 및 방법

산불 화재로 인하여 열화된 ACSR 480[mm] 송전선의 표면 특성을 분석하기 위하여 가설되어 일정기간 사용되었던 도체들을 실험에 이용하였다. 이때 수거된 전선은 신포항 T/L #187 철탑에 가설되어 철거된 실제 산불 화염에 노출되었던 전선들이다.

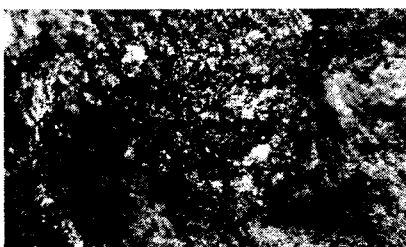
5.2 산불로 인해 열화된 전선의 표면 특성

산불에 의해 열화된 전선을 구간별로 표면 사진을 촬영하였다. 각 구간별 시료에 대한 표면 사진을 보여야 하나 분량이 많기 때문에 모두 보일 수 없을 뿐만 아니라 각 구간별로 거의 비슷하므로 일부 구간에 해당하는 시료의 표면 사진만을 나타내었다.

그림 8은 각각 아연도금 강선과 강선의 표면 사진과 알루미늄 연선의 표면 사진들이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 인공화염에 의해 열화시킨 아연도금 강선과 알루미늄 연선에 대한 표면 사진의 현상들과 매우 유사함을 알 수 있다.



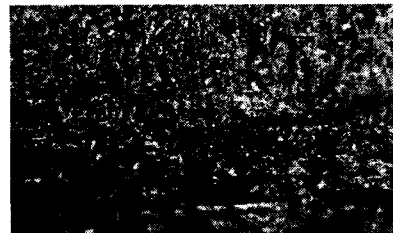
(a) ST-1



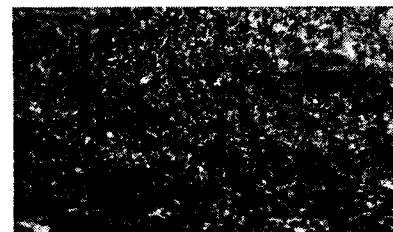
(b) ST-2



(c) AL-1



(d) AL-2



(e) AL-3

그림 8. 산불로 인해 열화된 전선의 표면 사진

Fig. 8. Surface View of ACSR with deterioration for forest Fire

6. 실험결과 및 고찰

건전 전선의 아연도금 강선과 알루미늄 연선에 대하여 전선 표면에 부식이나 열화로 인한 어떠한 특징도 보이지 않음을 알 수 있다.

인공화염에 열화된 아연도금 강선은 화염시간이 길어질수록 아연도금이 없어짐을 알 수 있어 이러한 현상으로 인하여 대기부식이 급속히 진행될 것으로 판단되므로 인장을 담당하는 아연도금 강선은 인장력이 급격히 감소하게 되므로 전선의 수명이 빠르게 감소될 것으로 예측된다. 또한 알루미늄 연선은 화

화염에 의한 ACSR 송전선의 표면 특성에 관한 연구

염시간이 길어질수록 알루미늄의 표면이 경화되어 갈라지는 현상을 발견할 수 있다. 이러한 현상에 의해 전선 내부로 수분이나 유해 가스들이 침투하여 간극부식이 발생하기가 용이할 뿐만 아니라 아연도금이 벗어진 금속부분과 알루미늄 부분이 맞닿아 이종금속간에 발생되어지는 전해부식 현상을 초래하게 될 것이다.

산불에 의해 열화된 아연도금 강선과 알루미늄 연선의 표면 사진들을 관찰하면 알 수 있는 바와 같이 인공화염에 의해 열화시킨 아연도금 강선과 알루미늄 연선에 대한 표면 사진의 현상들과 매우 유사함을 알 수 있다.

7. 결 론

본 논문에서는 ACSR 480[mm]의 건전 전선, 인공화염에 의해 열화된 전선 및 산불에 의해 열화된 전선의 표면 특성을 파악하기 위하여 실험을 행하여 그 결과를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

산불에 의해 열화된 전선의 표면 특성과 인공화염에 의해 열화된 전선이 열화시간에 따른 표면 특성과 비교 검토한 결과 산불에 의해 열화된 전선의 표면 특성은 인공화염에 의해 아연도금 강선의 경우는 40분 정도로 열화된 현상과 유사함을 알 수 있었고, 알루미늄의 경우는 20분 정도로 열화된 현상과 유사함을 알 수 있었다.

그러므로 신호항 T/L #187 철탑에 가설되었던 전선은 산불 화재에 의해 열화된 정도는 화염이 접촉된 경우로 가정할 때 약 20~40분 정도로 판단할 수 있겠다. 또한 이러한 결과로 비추어볼 때 아연도금은 열에 의해 매우 쉽게 없어짐을 알 수 있었으며, 알루미늄의 경우는 열에 의해 급속히 변화되는 현상은 적은 것으로 사료된다.

References

- (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", QRED 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.

◇ 저자소개 ◇

김영달 (金榮達)

1957년 11월 5일생, 1986년 2월 대전공업대학 전기공학과 졸업, 1990년 2월 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1999년 2월 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 한밭대학교 전기공학과.