

산불에 의한 가공 송전선로의 기계적 열화 특성

(Mechanical Deterioration of Overhead Transmission Lines by Forest Fires)

김영달* · 김성덕** · 심재명*** · 정동화**** · 강지원****

(Young-Dal Kim · Sung-Duck Kim · Jae-Myung Shim · Dong-Hwa Jeong · Ji-Won Kang)

요 약

송전선로의 ACSR(Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced)의 잔존수명에 대한 관심이 전력공급의 신뢰성과 안정성을 유지하기 위하여 점차 중요하게 되었다. 대기 중에 장기간 노출된 ACSR의 잔존수명은 대기 부식, 전해부식, 간극부식과 피로부식과 같은 환경요인들에 의하여 발생된 열화에 의존된다. 산 등성이에 건설된 가공 송전선에 유효수명의 감소 중 하나는 종종 산불에 의한 것이다.

이 논문에서는 화염에 노출된 ACSR의 인장하중과 연신율에 대한 몇 가지 시험과 해석 결과를 통하여 화염에 의한 ACSR의 기계적 열화특성을 고찰한다. 시험 시료는 ACSR 480[mm²] 도체들로, 일정한 시간간격으로 인공적으로 가열된 것들이다. 가열된 ACSR 도체들에 대한 인장하중과 연신율과 같은 기계적 특성이 시험되고 가열시간에 의한 기계적 특성의 추정함수들이 결정되었다. 그 결과, ACSR의 인장하중과 연신율 모두가 가열시간이 증가함에 따라 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, ACSR은 산불에 의하여 기계적인 열화가 진전될 것이 분명하다.

Abstract

The considerations for remaining life of ACSR (Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced) in transmission lines have become gradually important to hold reliability and stability of power supply. 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 tension load and extension of blazed ACSR. Test samples are ACSR 480[mm²] conductors, which are artificially fired to regular durations. Mechanical properties such as tension load and extension for fired ACSR conductors are tested and estimation functions for mechanical performances corresponding to fire duration are determined. As a result, it can be verified that both tension load and extension of ACSR are reduced by increasing fire duration. Hence, it is obvious that ACSR due to forest fires may lead to mechanical deterioration.

Key Words : ACSR, Deterioration, Tension Load and Extension, Forest Fires

*정회원 : 대전산업대학교 전기공학과, 공박
**정회원 : 대전산업대학교 전자공학과, 교수, 공박
***정회원 : 대전산업대학교 전기공학과, 교수, 공박

****정회원 : 대전산업대학교 전기공학과 석사과정
*****정회원 : 한전 전력연구원, 선임연구원
접수일자 : 2000년 9월 4일

1. 서 론

특고압 배전선로 및 송전선로에 사용되는 ACSR(Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced)의 열화(deterioration)는 전선의 재질, 제조방법 및 가설상태와 선로의 노출환경 등 매우 다양한 요소들의 상호작용에 의하여 진행된다[1,2]. 특히, 동일한 재질의 동 및 알루미늄 연선에 비하여 가공 전선로에 사용되는 ACSR은 인장을 담당하기 위한 아연도금 강선과 전류를 공급하기 위한 경알루미늄 연선의 꼬임 구조를 갖고 있기 때문에 대기부식(atmospheric corrosion)뿐만 아니라 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 다양한 부식현상이 나타나고 있다[3~5].

우리나라의 경우 대부분의 가공 송전선은 산간지역에 가설되어 있다 따라서 산간지역에 산불이 발생할 경우에 불길 속에 노출되었거나 인근에 있는 송전선로는 아연도금 강선 및 알루미늄 연선이 산불의 화염과 높은 온도에 의하여 기계적 특성이 저하될 것이다. 이와 같은 산불 발생은 지구의 온난화 현상에 의하여 봄철에 건조한 날씨가 지속적으로 증가할 것으로 예측되므로, 선로의 안정적인 운영을 위하여 산불에 의한 가공 송전선로의 열화 상태를 분석할 필요가 증대되고 있다.

일반적으로 금속은 높은 온도를 수반하고 있는 화염에 의하여 재료 구조가 변하여 기계적인 특성과 전기적 성질을 변화시킨다. 따라서 송전선로에 주로 이용하는 ACSR 도체도 산불의 화염에 의하여 재료 및 기계적 특성이 변화되어 전선의 교체수명(refurbishment life)이 감소될 것이다. 열은 도체의 아연도금 강선에 피막으로 덮여있던 아연층이 녹아 내리므로써 강선에 대기부식을 촉진시킬 뿐만 아니라 아연층이 벗겨진 강선과 알루미늄 소선이 맞닿아 전해부식이 발생되어 알루미늄 소선이 부식된다. 이와 같은 전해부식은 ACSR 연선의 내부에서 이루어지기 때문에 도체를 육안으로 검사하더라도 외형상 결함을 검출할 수 없다. 그렇지만, 내부에서 발생하는 전해부식으로 인하여 알루미늄 소선의 단면적이 점차 감소하게 될 것이다. 결과적으로, 화염에 의해 파생된 각종 부식형태가 전선의 전체 인장강도를 감

소시킬 수 있기 때문에 전선의 수명을 매우 단축시키는 결과를 초래하게 된다.

송전선의 교체수명은 가설 후 경과된 기간, 즉, 정년으로 정하는 것이 일반적이지만[6,7] 가설된 지역의 환경적 요인이나 전선 재질상의 특성, 전력공급량 등에 의하여 열화상태가 다양하게 진행되므로 가설 기간만으로 산정하기에는 불충분할 뿐만 아니라 화재에 의하여 도체의 기계적 특성이 변화될 경우 수명은 현저하게 감소될 것으로 추측된다.

일반적으로 전선의 부식열화에 의해 발생한 결함은 비파괴검사(nondestructive test)인 와류검사법(eddy current test), 누설자속법(leakage flux test)[8,9] 또는 적외선 카메라(infrared camera) 이용법[10] 등에 의해 검출하기도 한다. 그러나, 산불에 의한 송전선의 재료 및 기계적인 특성변화에 연구결과가 국내는 물론 국외에서조차 이루어지지 않았다. 따라서, 기존의 비파괴 탐상법을 적용하기 위해서는 화염에 의한 ACSR 도체의 특성의 변화를 규명할 필요가 있다.

일반적으로 산불에 의한 도체의 특성은 정확한 산불의 모델링과 그 영향을 알 수 있어야 해석 가능하다. 그렇지만, 송전선로에 대한 산불 모형이 연구된 바 없으며 또한, 실제 산불에 노출되었던 시료에 대한 분석이 이루어진 적이 없다. 따라서, 본 연구에서는 직접적인 방법으로는 산불에 의한 열화특성을 분석하기 불가능하므로 산불을 가정하여 건전전선에 가스 램프로 일정 시간 간격으로 화염을 가하여 ACSR 도체의 기계적인 특성 변화를 연구하였다. 이때 사용된 시료는 건전전선 ACSR 480[mm]로 제조, 설치되는 ACSR 도체 중 규격이 거의 최대인 것을 선택하였다. SEM (Scanning Electronic Microscopy) 및 EDX(Energy Dispersion X-Ray Analysis) 장치로 아연도금 강선과 알루미늄 소선에 대하여 화염에 의한 변화된 재료 특성을 분석하고, 기계적 특성의 변화를 해석하기 위하여 인장과 연신율 등 기계적인 시험을 수행하였다. 이때 화염 시간에 따라 변화되는 인장강도의 감소율과 연신을 변화율을 추정하였다.

2. 산불에 의한 ACSR의 열화 특성

2.1 ACSR의 구조와 부식

일반적으로 ACSR 도체는 그림 1에서와 같이 주

산불에 의한 가공 송전선로의 기계적 열화 특성

로 기계적 인장을 담당하는 아연도금 강연선과 전류를 공급하는 알루미늄 연선층으로 조합되어 있다. 외층 알루미늄 연선은 대기 중에 노출되어 오염원과 같은 부식원에 직접 접촉되어 있으므로 가설초기에는 습윤기간 등이 짧아 부식이 어느 정도 차단되지만 내부 층은 외부 알루미늄 연선층으로 둘러싸여 수분이 침투하기 어렵고, 일단 수분이 침투되면 습윤기간이 길어 부식속도를 촉진시키기도 한다. 또한 그림 1에서와 같이, 내·외층의 이종금속간의 접촉으로 인한 전해부식도 나타나며, 먼지와 같은 탄화물이 습기를 함유하고 도전성을 띄면 부식속도가 증가되기도 한다[35]. ACSR의 대부분이 공기 중에 노출되어 있을 때, 대기부식이 발생되므로 대기환경이 금속의 부식에 영향을 주는 것은 주로 습도와 산소성분이며, 아황산가스, 소금기 및 질소 등이 부식의 원인이 되고 있다.

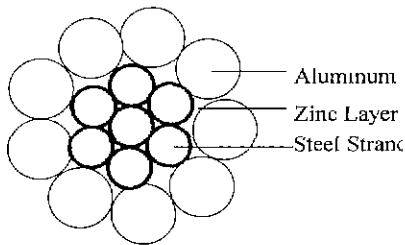


그림 1. ACSR 도체의 구조
Fig. 1. Structure of ACSR conductor

이와 같이 대기 중의 습기나 공기중의 산소와 금속 사이에 화학반응을 일으켜 황산화합물, 염화합물 및 질소화합물 등을 생성함으로써 염분이나 아황산가스 등에 의한 부식생성물은 대기중의 먼지와 함께 ACSR의 연선 사이에 부착되기 때문에 이들이 도전성 물질로 작용하여 부식속도를 증가시키게 된다

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 부착물 사이에 수분이 침투되면 이것이 전해질 용액으로 작용하게 되어 국부전지를 형성하게 되므로, 이종금속사이에 이온화 현상이 발생하고 이온화 경향이 큰 Zn, Al, Fe의 순서로 전해부식이 진행된다[2,11]. 알루미늄과 아연이 접촉되어 있는 부분의 금속 전위차에 의한 전위부식에 의하여 아연이 1차적으로 부식되며,

다음으로 알루미늄과 강심이 접촉되면 알루미늄이 손실되고 강심도 대기에 노출되는 형태가 되어 부식은 급격하게 진행된다. 이와 같은 부식이 진행하면 알루미늄 부분의 단면적이 감소하므로 선로의 전력 손실이 증가하게 된다.

2.2 산불피 영향

가) 산불과 그 심질

산불은 낙엽, 초류 및 임목 등이 연소되는 화재로써 사람에게 의한 실화, 방화 및 낙뢰 등으로 인하여 발생된 불씨가 산림내의 가연 물질을 연소시키는 것으로서 산불이 발생되기 위해서는 산림내 가연 물질인 연료와 열 및 산소가 필요하며, 식물성으로는 고체성 경연료가 주를 이루며, 습도 60[%] 이하에서 쉽게 불이 붙고 건조한 상태일수록 잘 연소된다. 또한 열이 불을 발생하게 하는 착화점 또는 인화점에 달하면 연료에 불이 붙어 연료가 연소되면서 보다 높은 열을 생성하기도 한다.

공기 중에는 약 20[%]의 산소가 포함되어 있어 산소의 작용으로 연료와 열을 결합시켜 산화작용을 촉진시킨다. 이러한 산불의 연소작용은 연료, 지형 및 기상 등의 환경인자에 영향을 받는데 이 인자들은 자연상태에서 산불의 강도, 진행방향 및 진행속도 등을 결정하는 산불작용의 주요 인자로 작용한다.

연료는 불의 연소진행을 결정하며, 지형 상태는 산불의 진행방향과 불의 확산속도에 중요한 영향을 미치게 되며, 지형인자는 지표면의 모양이 언덕과 같은 구릉지 혹은 평탄지, 절벽 및 물(호수, 댐, 강 등)의 유무와 같은 지표면의 물리적 특징으로 설명할 수 있다. 또한 산불의 연소작용에 영향을 주는 기상인자는 가연물의 연료습도를 좌우하는 직접적인 요인인 강우량과 연소속도를 좌우하는 풍속, 그리고 연소방향을 좌우할 수 있는 바람 등이며, 산림내 가연물의 건조도 및 산불의 연소진행속도에 영향을 미칠 수 있는 상대습도와 연료의 건조도 및 기류형성의 원인이 될 수 있는 온도 등이 있다. 이러한 산불은 연소상태에 따라 지표화, 수간화, 수관화 및 지중화로 구분하기도 하며, 일반적인 진행과정을 나타내면 그림 2와 같다.

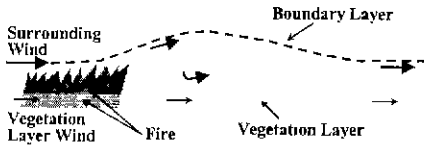


그림 2. 산불 진행도
Fig. 2. Progress diagram of forest fire

나) 우리나라의 산불 발생

우리나라의 영동지역에서 산불이 가장 잦은 시기는 4, 5월로 동부지방 산림관리청이 작성한 자료에 의하면 지난 90년부터 99년까지 10년 동안 영동지방에서 발생한 국유림 산불현황은 이 기간에 발생한 전체 68건의 산불 중 28건이 4월에 17건이 5월에 일어났다고 한다 특히 2000년 4월 7일에 강원도 고성군에서 시작하여 삼척, 강릉, 동해, 울진지역 등지에서 잇달아 발생한 산불은 1주일 동안 영동지방을 휩쓸며 사상 최대의 피해를 남겼다. 이러한 산불피해면적은 14,622[ha]로 1996년의 고성지역 산불피해면적 3,762[ha]의 약 4배에 이른다.

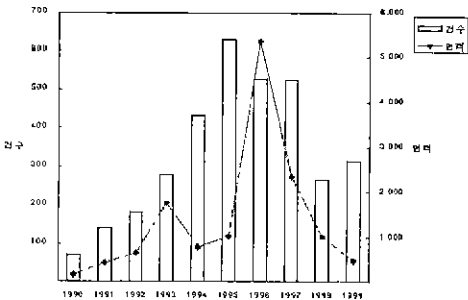


그림 3. 우리나라의 산불 발생 현황
Fig. 3. Forest fire conditions of Korea

그림 3에 나타낸 10년 간의 우리나라 산불 발생 현황에서 알 수 있듯이 점차 산불 발생이 증가되고 있음을 알 수 있다. 산불발생이 증가되고 있는 이유 중의 하나는 주민들의 생활수준이 높아짐에 따라 연료로 사용되었던 나무들이 그대로 방치되면서 발화하기 쉬운 상태로 산림이 무성해졌기 때문으로 분석할 수도 있고, 특히 최근 들어 지구의 온난화 현상으로 지속적인 건조한 날씨에 의한 화재 등이 많이 발생될 것으로 예측되고 있다. 영동지역의 송전선들이 거의 산림 속에 가설되었기 때문에 산불이 발생할

경우, 송전도체는 물론 설비들이 직접 피해를 입을 수 있다.

3. ACSR의 기계적 특성 시험 및 분석

3.1 실험 조건 및 방법

산림 화재로 인한 가공 도체의 기계적 특성 변화를 확인하기 위하여 가설되어 일정기간 사용되었던 도체들을 실험에 이용할 경우, 수거된 전선은 이미 환경적 요인에 의하여 부식이 어느 정도 진행되었을 것이므로 정확한 실험 결과를 얻기에는 부적절하였다. 따라서, 건전전선을 대상으로 화염 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 도체는 ACSR 480[mm]으로 아연도금 강심과 여섯 가닥의 강 연선층과 3층 구조로 경알루미늄 소선 45개로 구성되어 있다. 이 도체는 현재 사용된 ACSR 도체 중 비교적 큰 규격으로 이보다 작은 규격은 화염에 의한 기계적 특성 변화가 증대될 것으로 추정된다. 일반적으로 산불 모형이나 산불 모의실험에 대한 어떤 기준도 마련되지 않았으므로 본 연구에서는 가스램프로 3분씩 간격을 두며 30분까지 각각 구분하여 열을 가하였다.

실험과정에서 시료는 열이 한곳에 집중되지 않도록 하기 위하여 서서히 회전시켰으며, 경과시간이 끝난 시료들은 상온에서 냉각시켰다. 또 전선과 가스램프 사이의 거리는 열이 전선에 충분히 전달될 수 있도록 5[cm] 정도로 유지하였으며, 도체의 기계적 특성을 확인하기 위하여 KS 규정에 따라 인장시험을 행하였다. 이때 강심을 제외하고는 3개씩 인장시험을 하여 평균값을 취하였고, 데이터의 오차를 줄이기 위하여 같은 조건으로 세 번을 측정하여 얻은 결과들을 평균하여 이용하였다.

3.2 재료 특성 분석

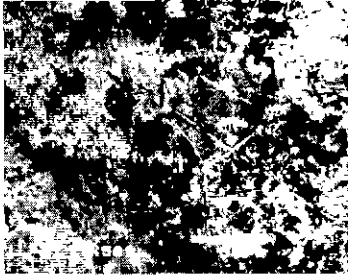
ACSR 전선의 화염에 의한 변화되는 재료특성을 확인하기 위하여 건전전선과 인공적으로 9분 동안 가열한 시료의 아연도금 강선과 알루미늄 소선을 SEM 사진 촬영과 EDX 분석을 행하였다.

가) 표면 검사

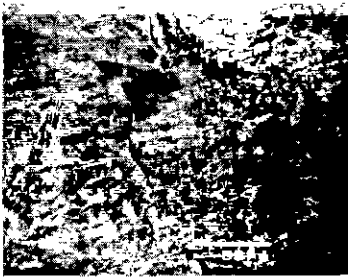
그림 4는 각 시료에 대한 아연도금 강선을 SEM으로 촬영한 표면사진이다. 건전전선은 표면에 광택

신불에 의한 가공 송전선로의 기계적 열화 특성

이 있는 것으로 보아 아연 도금상태가 완전하다는 것을 보여주고 있다. 다만, 국부적으로 나타난 검은 부분은 이물질이 묻은 것으로 보인다. 그렇지만, 가열된 강선은 표면이 부분적으로 회색 나타나는 것으로 보아 아연이 열에 의해 녹아서 뭉친 상태로 보이며, 건전전선에서 보았던 이물질은 열에 의해 없어졌음을 알 수 있다



(a) 건전 전선



(b) 9 분 가열된 전선

그림 4. 아연도금 강선의 표면사진
Fig. 4. Surface view of galvanized steel strand

한편, 그림 5는 알루미늄 소선의 표면 사진으로써 건전전선의 표면은 매끄럽고 균일한 모습을 보이고 있으며, 줄무늬 모양은 도체 제조 시 사출기의 홈집이 그대로 나타나고 있다. 그러나, 화염으로 가열된 알루미늄 소선은 열에 의해 소선 표면이 녹은 것을 알 수 있고, 중간에 두 개의 홈집은 외부 충격에 의해 부분적으로 손상된 부분으로 판단된다. 따라서, 강선이 대기 중에 직접 노출될 수 있으므로 대기부식이 일어남과 동시에 강선과 알루미늄이 맞닿은 부분은 전해부식이 발생되어 부분적으로 알루미늄의 단면적이 감소될 수 있는 상황으로 진행될 것으로 추측된다.



(a) 건전 전선



(b) 9 분 가열된 전선

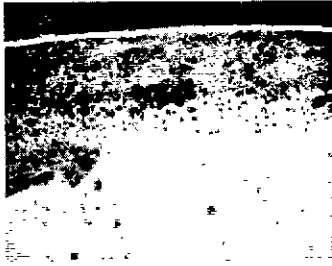
그림 5. 알루미늄 소선의 표면사진
Fig. 5. Surface view of aluminum strand

나) 단면 검사

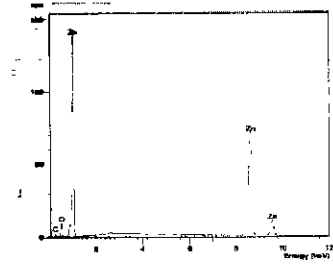
시료로 사용된 건전전선의 아연도금 강선에 대하여 SEM을 이용한 단면사진과 표면을 EDX로 성분분석 한 결과를 그림 6(a)와 (b)에 나타내었다. SEM 사진에서 알 수 있듯이 강선에 아연이 도금된 상태를 확인할 수 있으며, 국부적으로 둥근 검은 점들은 폴리싱이 정교하게 되지 않아 절단할 때의 흠집이 나타나고 있음을 알 수 있었다.

그림 6(c)와 (d)는 가열된 연도금 강선의 단면을 SEM을 이용한 사진과 표면을 EDX로 성분분석 한 결과를 나타내었다. SEM 사진에서 알 수 있듯이 열에 의해 아연층이 매우 부풀어져 덩어리로 뭉친 상태를 보여주고 있으며, 가열시간을 증가시키면 이 부분은 떨어져 나갈 것으로 보여진다.

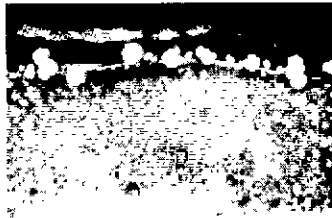
그림 7은 알루미늄 소선의 단면사진과 표면을 EDX로 성분분석 한 결과이다. 건전전선은 외층에 얇은 산화피막이 형성되었음을 알 수 있다. 그러나, 알루미늄 소선이 가열되었을 때 산화막은 거의 없어지고, 상대적으로 다른 성분들의 양이 검출됨을 그림 7(c)에서 확인할 수 있다 이와 같이 화염에 노출된 알루미늄 소선은 산화피막이 없어진 상태에서 대기



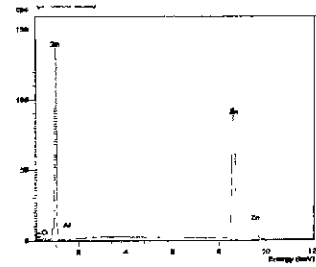
(a) 건전 전선의 단면



(b) 건전 전선의 EDX



(c) 가열된 전선의 단면

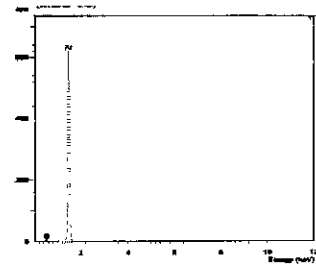


(d) 가열된 전선의 EDX

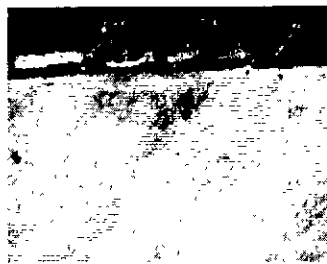
그림 6. 아연도금 강선의 단면사진
Fig. 6. Cross sectional photo of galvanized steel strand



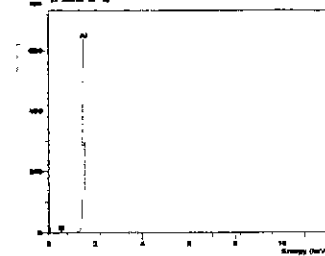
(a) 건전 전선의 단면



(b) 건전 전선의 EDX



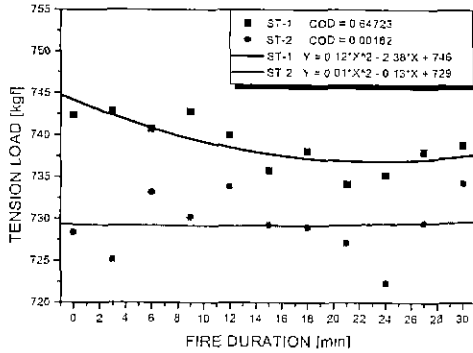
(c) 가열된 전선의 단면



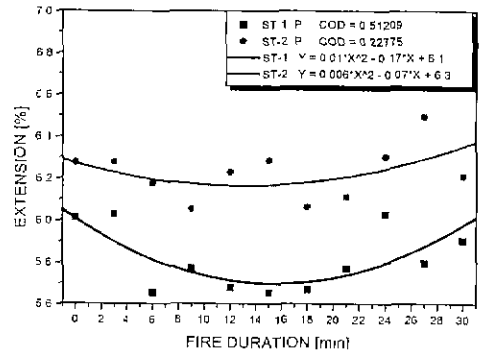
(d) 가열된 전선의 EDX

그림 7. 알루미늄 소선의 단면사진
Fig. 7. Cross sectional photo of aluminum strand

산불에 의한 가공 송전선로의 기계적 열화 특성



(a) 인장하중



(b) 연신율

그림 8. 아연도금 강 소선의 인장하중 및 연신율

Fig. 8. Tension load and extension of galvanized steel strand

중에 노출될 경우 보다 부식이 촉진될 것으로 추정되며 그 결과로 전선의 수명도 단축될 것으로 추측된다.

3.3 인장 시험 결과 및 분석

그림 8에는 3분 간격으로 가열시킨 ACSR 480[mm]의 아연도금 강선에 대한 인장강도의 변화량과 연신율을 나타내었다. 이 결의 그림 8~10에서 ST-1은 강섬을, ST-2는 아연도금 강연선을 나타내며 AL-1, AL-2 및 AL-3는 내층으로부터 알루미늄 연선층을 나타낸다. 또한 COD는 가열시간과 인장하중 또는 연신율 사이의 상관성을 나타내는 결정계수(coefficient of determination)이다 또한, 각각의 곡선은 가열시간에 따라 각 데이터가 2차 함수로 변화될 것으로 가정하였을 때 인장강도의 추정함수 곡선이다. 이 때, y 는 각각 y -축 파라미터, 즉, 인장하중이나 연신율을, x 는 화염시간을 나타낸다 또한, 각 결과에서 가열시간 0은 건전도체를 의미한다.

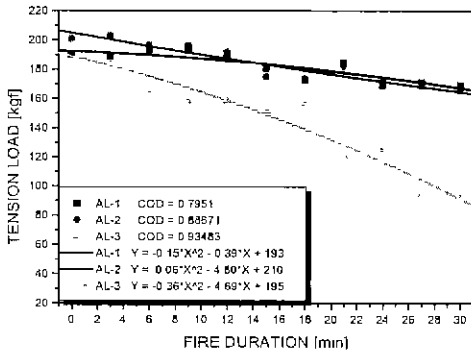
그림 8은 아연도금 강소선에 대한 인장하중의 변화량과 연신율을 보여준다. 일반적으로 강선은 건전한 시료인 경우에 인장이나 연신을 측정 편차가 크지 않다. 특히, 그림 8(a)에서 알 수 있듯이, 전 영역에서의 측정편차는 약 1.4[%] 정도에 지나지 않는다. 따라서, 철의 용융점은 매우 크므로 이 온도보다 작은 온도를 수반하는 화염에 의하여 가열된 시료의 인장이나 연신율은 거의 변화되지 않는다고 판단된다. 결과적으로, 그림 8의 COD나 추정함수는 무의미

하다.

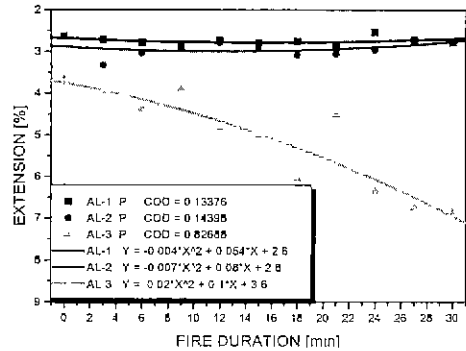
한편, 그림 9는 알루미늄 소선에 대한 인장하중과 연신율 측정치를 나타낸다. 인장하중의 경우, 각 연선층마다 COD가 다르지만 비교적 큰 상관성이 있음을 알 수 있다 특히, 알루미늄 최외각층의 값은 0.93483으로 매우 좋은 상관성을 나타낸다. 따라서, 인장하중과 가열시간 사이의 추정함수는 정확도가 매우 높다.

가열시간에 대한 알루미늄 소선의 연신율은 화염이 직접 영향을 주는 최외층만이 COD가 0.82688로 가열시간과 높은 상관관계를 나타내지만 나머지 내부층은 연신율 변화가 거의 나타나지 않는다. 이와 같은 원인은 화염에 직접 노출된 외층 알루미늄 소선에 비하여 내층 연선은 비교적 화염이나 고온 등에 덜 취약한 것으로 판단된다. 그렇지만, 최외층의 연신율은 4~5[%] 증가하고 인장하중은 대략 50[%] 정도 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 10은 각 소선의 값에 각 층의 소선 수를 곱하여 얻은 전체 인장하중 값으로 추정된 결과를 나타낸다. 이 결과, 인장하중 및 연신율과 화염 지속시간 사이에는 COD가 0.98583 및 0.78296으로 매우 양호한 상관성을 나타내고 있다. 결론적으로 가열특성의 변화를 분석해 볼 때 실험한 가열시간으로는 아연도 강선의 기계적인 인장은 거의 변화되지 않았으나, 알루미늄 소선은 가열시간의 증가에 따라 인장특성이 현저하게 감소되는 것을 알 수 있다. 특히 알루미늄 소선의 최외각층은 화염이 직접 닿은 부분으

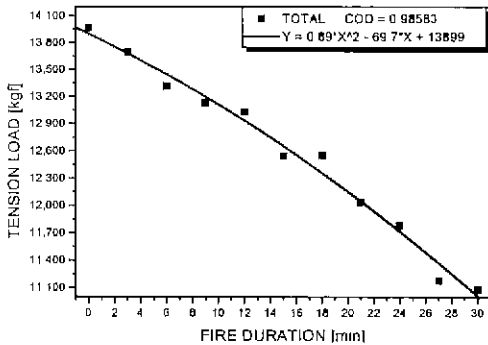


(a) 인장하중

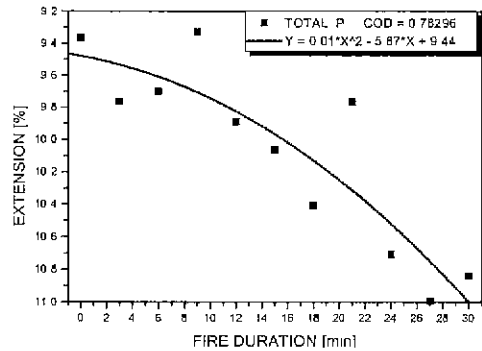


(b) 연신율

그림 9. 알루미늄 연선의 인장하중 및 연신율
Fig. 9. Tension load and extension of aluminum strand



(a) 인장하중



(b) 연신율

그림 10. ACSR 도체의 기계적 특성
Fig. 10. Mechanical performances of ACSR

로써 인장특성 변화가 뚜렷하게 나타난다. 즉, 불꽃이 직접 닿은 층으로 가열시간이 증가할수록 인장강도가 감소하며, 따라서 ACSR 전체 하중의 감소에 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 ACSR의 인장하중은 주로 아연도 강선이 담당하고는 있지만 알루미늄의 인장강도가 현저히 떨어진다면 전체 인장하중도 감소하게 될 것이다. 또한 화염에 의하여 알루미늄 연선이 열화되어 외부 충격이나 여러 가지 부식의 진행속도가 빨라지게 될 것이다. 그러므로 전선의 잔존 수명도 감소된다. 또한, 연신율이 가열시간에 따라 크게 증가하고 있으므로 송전탑 사이가 길어질수록 전선이 늘어짐이 증가되어 외층 알루미늄 연선과 내부 아연도 강선 사이의 결합상태도 변화될 것이다. 이러한 결과

도 수명을 단축시키는 원인이라 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 가공송전선으로 주로 이용되는 ACSR 480[mm] 전선에 대하여 화염에 의한 재료 및 기계적 특성의 변화를 분석하였다. 먼저, 국내에 가설된 ACSR 도체에 대하여 전전전선과 인위적으로 가스램프에 의해 가열시킨 시료들의 아연도금 강선과 경알루미늄 소선의 성분을 SEM 사진과 EDX로 분석하였다. 그 결과, 아연도금 강선은 메끄럽고 광택이 나던 전전전선에 비해 열에 의해 아연층이 녹아서 떨어져나감을 확인할 수 있었고, 아연층이 없어짐에 따라 대기중에 철이 노출됨으로써 추후 대기부

산불에 의한 가공 송전선로의 기계적 열화 특성

식이 촉진될 것으로 추측되며, 또 대기중에 노출된 철과 알루미늄이 맞닿아 전해부식을 일으킬 가능성이 있음을 판단할 수 있었다. 또한, 알루미늄 소선의 경우 산화막이 형성되었던 것이 열에 의해 없어졌음을 확인하였으며, 이는 강선과 알루미늄이 맞닿아 전해부식을 일으킬 가능성이 있을 것으로 판단된다 따라서, 이러한 결과는 전선의 인장을 감소시키는 원인임을 알 수 있었다

ACSR이 열에 의해 변화될 기계적 특성을 확인하기 위해 인장강도의 변화량과 연신율을 측정하였다. 그 결과 이연도금 강선은 내부에 존재하고 용융점이 높기 때문에 인장하중과 연신율의 변화가 거의 나타나지 않았다. 또한, 화염에 비교적 영향이 적은 내층의 알루미늄 소선들의 기계적 특성도 그다지 크지 않았다. 그렇지만 외층에 존재하는 알루미늄 소선의 경우 가열시간이 길어질수록 인장강도의 감소가 뚜렷하게 나타나고, 연신율이 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들은 화염에 의해 알루미늄 소선의 유효 단면적이 감소된 것으로 추정되며 특히, 10분 이상 가열되었을 때 알루미늄의 재질 특성도 변화되었다. 결국, 산불이 발생한 경우에, 화염에 의해 가공 송전선의 기계적 인장이 감소하는 반면에 연신율은 증가할 것으로 추정되었다. 이러한 도체가 대기 중에서 계속 운용될 경우에는 화재 이전보다 재질의 부식이 촉진될 것이며 궁극적으로 가공 도체는 급격하게 열화되어 잔존수명이 감소될 것으로 판단되었다

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", CRED 1989, 10th International Conf. on Electricity Distribution, Vol 3, pp. 259~261, 1989.
- [6] D. G. Harvard, M. Tabatabai and J.R. Meale, "Interpretation of conductor test Data and Prediction of

Remaining Life", Report No. 90-144-K, Ontario Hydro Research Division, pp 15-21, Aug 3, 1990

- [7] 송선운용업무기준, 한국전력공사 송변전처, 1999
- [8] G G Martin, "Detection of internal corrosion in steel-reinforced aluminum power line conductors", Corrosion Australia, Vol. 15, No 5, pp 9~13, 1991.
- [9] F. Thollon, B. Lebrun, N. Burais and Y. Jayel, "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.
- [10] P.G Buchan, "Locating corrosion on operating transmission lines with an infrared camera", Ontario Hydro Research Division Report. No. 90-64-K, 1990
- [11] The Development of System for ACSR Life-Time Estimation, KTRP, TR.97EJ02.J2000.16, 2000

◇ 저자소개 ◇

김 영 달 (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) 현재 대전산업대학교 전기공학과

김 성 덕 (金成德)

1951년 10월 1일생. 1978년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사) 1988년 한양대학교 전기공학과 졸업(박사). 1990년~1991년 Australia National University 객원교수 현재 대전산업대학교 전자공학과 교수.

심 재 명 (沈在明)

1951년 11월 13일 생. 1976년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동대학교 대학원 졸업(석사), 1992년 동대학원 졸업(박사). 1979년~현재 대전산업대학교 전기공학과 교수

장 동 화 (鄭東和)

1976년 11월 14일생. 1999년 대전산업대학교 전자공학과 졸업 1999년~현재 대전산업대학교 전자공학과 석사과정

강 지 원 (姜地原)

1965년 1월 6일생. 1987년 한양대학교 전기공학과 졸업 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년~현재 한국전력공사 전력연구원 진력계통연구실 선임연구원.