

화염으로 인한 ACSR 송전선의 수명예측에 관한 연구

(A Study on the Life-Time Estimation of ACSR Transmission Line Due to a Flame)

김영달*

(Young-Dal Kim)

요 약

수명예측을 하기 위한 기초 자료로 ACSR의 기계적 시험의 일종인 인장시험이 필요하다. 이 인장시험의 결과들이 경년 변화에 대해 어떤 상관관계가 있는가를 파악하여 통계적으로 처리함으로써 수명예측을 해 볼 수 있다. 통계적 처리기법으로는 회귀분석 방법이 일반적이다.

본 연구에서는 ACSR의 인장시험을 건전 전선과 인공화염으로 열화시킨 전선과, 산불 화염 의해 수거된 열화된 전선에 대해 실시하였다. 수명예측의 한계는 캐나다 Ontario Hydro Research의 기준인 정격 인장강도의 20[%] 손실점을 택하였다. 본 연구에 이용된 ACSR의 규격은 ACSR 480[mm²]을 대상으로 하여 비선형 회귀분석을 실시하여 예측수명을 제시하였다.

Abstract

The considerations for remainder life of transmission line is gradually higher. It is requisite for investigation of ACSR life to test tensile load of ACSR as a fundamental data. It is vary important to analysis correlations between results of tensile load testing and elapsed years. Estimation of ACSR life can be obtained by statistics processing using mechanical experimental results. It is a general method to use regression analysis as a statistics processing technique.

In this paper, we did experiment on tensile strength of ACSR by using a new and due to flame for artificial fire, and gathering due to a flame. The limit of life estimation is decided by basic line using twenty percentage reduction of rate tensile strength. This basic line is like to results of Canada Ontario Hydro-research. There are 480[mm²] ACSR which are experimented on this study.

Key Words : ACSR, Tensile strength loss, Life estimation, Regression Analysis, Flame

1. 서 론

우리나라에서도 송전선로나 가공지선으로 ACSR이 설치된 후 오랜 기간이 경과된 경우가 많이 있다. 이와 같은 상황에서 전선의 잔존수명에 대한 관심이 고조되고 있는 상황에서[1,2] 산불이 발생할 경우에

* 주저자 : 한밭대학교 전기공학과 교수

Tel : 042-821-1753, Fax : 042-824-1753

E-mail : zeromoon@hanbat.ac.kr

접수일자 : 2005년 8월 17일

1차심사 : 2005년 8월 19일, 2차심사 : 2005년 10월 10일

3차심사 : 2005년 10월 31일

심사완료 : 2005년 11월 11일

산불이나 그로인한 화염으로 송전선이 열화될 경우 아연도금강선에서 강선에 도금된 아연이 손상되거나 소실될 경우가 발생될 것이며, 이로 인하여 부식이 빠르게 진행되어 강선의 인장강도가 변화될 뿐만 아니라 강선 자체의 성질도 변화될 것으로 판단된다.

ACSR이 설치된 환경은 청정지역, 공해지역, 염해지역 및 염공해지역 등으로 다양하기 때문에 이러한 환경에 의해 전선의 부식 정도가 달라지는 상황에서 화염에 의해 열화된 전선의 수명을 예측하는 데는 매우 어려움이 따르게 될 것이다. 우선 가설 기간이 경과된 ACSR 전선에 대해서 살펴보면, 전선의 수명에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하다고 판단된다.

부식으로 인하여 아연이 소실되어 ACSR 소선의 단면적이 감소하게되면 인장강도가 떨어지는 직접적인 영향을 가져오게 되는 현상으로 수명이 단축되는 원인이 발생하게 되며, 또한 국부부식으로 인하여 단선을 초래하는 경우도 있을 것이다. 기계적 피로도의 원인으로는 풍압이나 결빙 등으로 인하여 적절치 못한 이도가 변화된 상태에서 전선의 비틀림 연성이 떨어지는 간접적인 원인이 생기게 되어 수명에 영향을 주게 될 것이다[3,4].

ACSR의 구조는 외층이 알루미늄 도체이고 내부는 아연으로 도금된 강연선(아연도금 강연선)으로 되어 있기 때문에 가설 후 대기에 노출된 상태에서 알루미늄은 대기부식으로 인하여 산화피막을 형성하게 되므로 기계적 인장강도는 대수 함수적으로 감소경향을 보이는 것으로 보고 되었고, 아연도금 강선은 아연이 소실되는 과정에서 부식이 진행되므로 인장강도의 감소율이 지수 함수적으로 감소하는 것으로 보고 되고 있다[5].

ACSR 송전선은 부식과 피로도에 의한 인장강도의 감소뿐만 아니라 화염에 노출될 경우 아연이 소실되어 강선은 급격하게 부식이 이루어질 것이고, 이에 따라 강선에 산화가 일어나 인장강도가 감소될 것이다. 열에 의해 강선은 강도 자체만은 커질지 모르나 강선 재질의 성질에 변형이 생겨 강선의 특성을 잃게 될 것이며, 강선은 적당한 열을 받게 되면 늘어나는 정도인 연신율이 커져서 송전선 전체가 늘어지는 현상을 유발하게 될 것이며, 이로 인하여 도체와 도체 사이의 잦은 충돌에 의해 마모 또는 피로도가 누적될

수 있어 송전선의 수명을 단축하게 될 것이다.

전선의 수명을 측정하는 데는 비파괴 검사법과 파괴 검사법이 있다. 비파괴 검사법으로는 와전류 탐상법이나 적외선 감시카메라를 이용하는 검사법 등을 들 수 있다. 특히 와전류 탐상법은 ACSR의 아연 잔존량을 측정하는 방법을 통해서 간접적으로 전선의 수명을 예측하는 것으로 영국, 캐나다, 일본과 같은 선진국에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 파괴 검사법은 인장하중 검사나 비틀림 연성시험을 통해서 잔존 수명을 판정하는 것이 일반적인 경향이다. 여기서 인장하중의 경우는 정격 인장하중의 감소율이 20%에 달할 때를 한계수명으로 판정하고 있으며, 비틀림 연성시험에서는 주로 인장하중을 담당하고 있는 강소선에 대해서만 실시하고 있으며, 이때 비틀림 횡수가 5회 이하이면 한계수명으로 규정하고 있다[2-4].

그러나 알루미늄에 대해서는 특별한 규정이 없기 때문에 KS에서도 강소선에 대한 비틀림 횡수에 대한 규정은 있으나 알루미늄에 대해서는 아무런 언급이 없으며 캐나다 Ontario Hydro Research의 경우는 인장시험과 비틀림 횡수에 대한 단층구조의 경우 ACSR에 대해서 각각 60년과 70년으로 예측수명 결과를 보이고 있다[2-4]. 이 결과에서 60년과 70년의 중간 값인 65년으로 하는 경우 $\pm 7.7\%$ 의 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. 또 일본의 동북전력의 경우는 인장하중에 대해서만 예측수명을 조사하고 있다[6]. 이런 점을 감안하면 인장하중의 감소율만으로도 개략적인 예측수명을 조사하는 것도 무리가 없는 것으로 사료된다.

이와 같이 전선의 수명을 예측하는 데는 파괴 검사법을 통한 예측수명을 근거로 비파괴 검사법을 병행하여 종합적으로 판단하는 것이 바람직하다고 보여 진다.

따라서 본 연구에서는 수명예측에 기본이 되는 기계적 검사법인 인장하중 감소율을 이용하여 수명예측을 연구한 참고문헌[8]에 근거하여 화염으로 인한 ACSR 송전선의 수명예측을 시도 하는 데 그 목적을 두고 있다.

2. 회귀분석을 이용한 ACSR의 수명 예측 방법[8]

본 연구에서 하고자 하는 ACSR 송전선에 화염이

가해졌을 때의 수명예측을 하기 위해서는 우선 일반 전선에 대한 수명예측을 검토해야 할 것이다. ACSR의 수명예측을 위해서는 직접적인 방법으로 인장시험을 통해서 얻어진 데이터를 회귀분석법을 이용하여 경년변화 대 인장 손실률 변화와의 관계를 분석해서 경년변화에 대한 인장강도를 회귀분석법에 의해 수명예측을 시도해 볼 수 있을 것이다. 또한 간접적인 방법으로는 와류 탐상법을 이용해야 할 것이다.

이와 같은 실험 결과들을 캐나다 Ontario Hydro의 시험 결과를 통해서 알아보기로 한다.

2.1 회귀분석(Regression Analysis)

여러 변수 사이의 함수적 관계를 조사하고자할 때 개념적으로 아주 간단하고 분명한 방법을 제시하기 때문에 여러 요인에 관한 자료를 분석할 경우 가장 널리 쓰이는 통계적 수단의 하나로 회귀분석법을 변수간의 관계를 규명하는 분석방법으로 정의할 수 있다[9,10].

회귀분석법이란 독립변수와 종속변수의 모집단간의 관계를 규명할 목적으로 표본을 사용하여 그 관계에 대한 추정치(estimate value)를 계산한 후 그 추정치를 통하여 모집단간의 관계를 나타내는 모수(parameter)를 통계적으로 추리하는 분석방법이며, 이러한 회귀분석의 목적은 회귀모형의 정립과 평가 과정을 거쳐 최적회귀모형을 선택하는 데 있다.

또한 회귀모형은 여러 용도와 목적으로 사용될 수 있다. 각 독립변수에 대한 중요도를 평가함은 물론이고 독립변수들의 수준변화를 포함하는 방침변경에 대한 효과분석이나 변수간의 함수관계와 독립변수들의 집합이 주어질 때, 독립변수 값을 추정하거나 예측하는 데 유용하게 쓰이게 된다.

2.2 ACSR의 수명예측

송전선로에서 채취된 도체표본을 각각 인장시험을 수행하여 건전 전선에 대한 경년을 0년으로 하고 경년변화 대 인장강도의 [%] 손실률을 건전 전선 대비로 하였다. 이 때 회귀분석결과 수명예측함수는 다음 식을 이용한다.

$$Y = e^{1.41 + 0.024 X} \quad (1)$$

또한 비틀림 연성시험에 의한 수명 예측은 인장시험에 의한 방법과 같이 가설된 송전선으로부터 철거된 도체표본과 건전 전선에 대해 비틀림 연성시험을 하여 강소선의 외층 소선의 비틀림 연성시험의 평균값을 기준으로 한 여러 도체의 시험결과를 경년변화 대 비틀림 횡수로 수명예측을 한다. 이때 비틀림 연성시험에 의한 수명예측 식은 다음과 같다.

$$Y = 40 - e^{1.65 + 0.027 X} \quad (2)$$

3. 인장시험에 의한 ACSR의 수명예측

캐나다 Ontario Hydro Research의 경년변화에 대한 인장강도의 손실률 및 비틀림 횡수를 회귀분석을 통하여 ACSR의 수명예측에 관해 알아보았는데 각각의 결과들은 예측수명 년수에서 약간의 차이를 보이고 있음을 알 수 있었고, 또한 규격별로 결과를 제시하지 않고, 다만 단층구조를 갖는 표본을 채취하여 평균수명을 예측하여 본 것이다.

따라서 본 연구에서는 인장시험의 결과만을 이용해서 화염에 의한 ACSR의 수명예측을 하고자 하며, 시료는 건전전선, 인공화염에 의한 전선 및 산불에 의해 교체된 전선을 수거하여 인장강도시험을 한 것이다.

3.1 시료 및 실험방법

우선 시료에 대한 설명의 이해를 돕기 위해 아래 표 1과 같이 시료 각각에 대하여 명명을 하였다.

표 1. 범례
Table 1. Remarks

NEW	건전전선
PH	산불화염에 열화된 전선
AF_00	인공화염이 시료에 접촉
AF_10	인공화염이 시료에서 10[Cm] 이격
AF_20	인공화염이 시료에서 20[Cm] 이격

NEW라고 하는 건전전선은 생산공장에서 직접 구입한 전선이며, 이 전선에 대하여 아무런 가공없

화염으로 인한 ACSR 송전선의 수명예측에 관한 연구

이 직접 인장강도 실험을 한 것이다. PH라고 하는 전선은 산불에 의해 열화된 전선을 수거하여 인장강도 실험을 한 시료로서 철거 전선 100[m] 중 10[m] 마다 한개씩 수거한 시료 10개를 의미한다. 또한 AF라고 하는 시료는 건전전선을 인공화염시킨 시료를 의미하며, AF_00 이라고 표기된 시료는 인공화염시 불꽃과 시료가 직접 닿은 상태를 의미하며, AF_10은 불꽃과 시료가 10[Cm] 정도 이격된 상태를 의미하며, AF_20은 20[Cm] 이격된 것을 의미한다.

이러한 상태의 시료를 인장시험기로 인장강도를 실험하였다. 아래 그림 1은 인공화염 실험을 하는 상태의 사진이며, 불꽃의 크기는 20[Cm]정도이다. 그림 2는 인장강도 실험을 하는 사진이며, 시편의 길이는 50[Cm], 지그에 물리는 부분은 양 끝부분으로 5[Cm], 인장속도는 100[mm/min]이다.

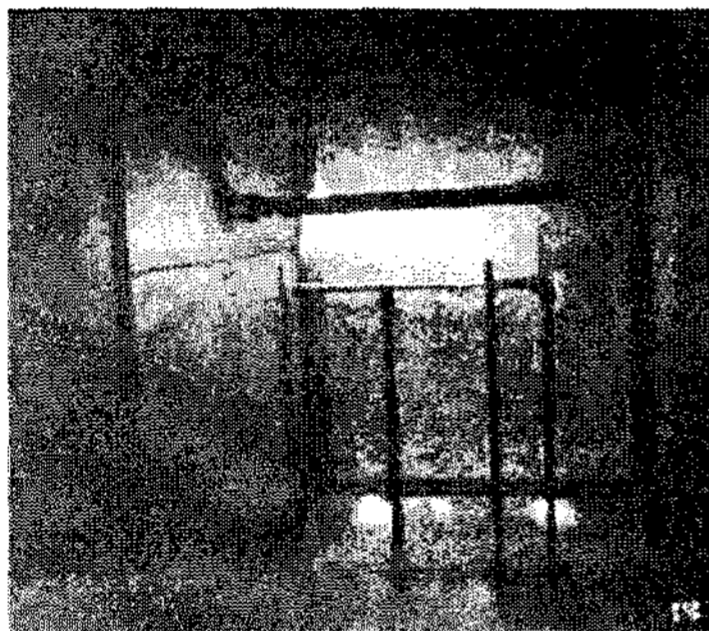


그림 1. 인공화염 장치
Fig. 1. Shape of Artificial fire equipment

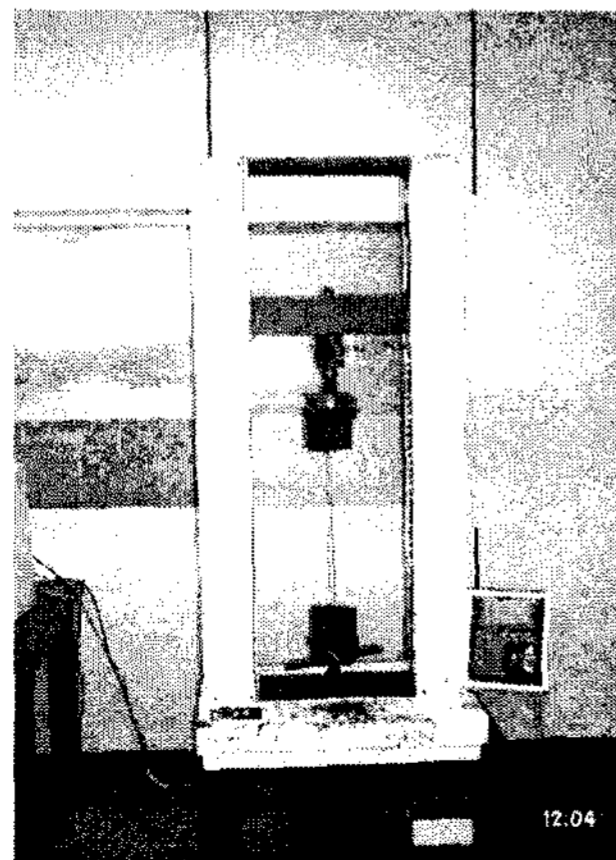


그림 2. 인장실험 상태
Fig. 2. Equipment of mechanical test

3.1 규격별 경년변화 대비 인장하중의 손실률을 이용한 수명예측

화염으로 인한 ACSR 송전선의 수명예측을 하기 위한 시료는 가설된 후 20년이 경과되었을 때 산불로 인하여 화염에 열화된 전선을 교체한 것을 이용하였다. 이 교체된 송전선을 수거하여 기계적 실험을 통하여 전선 상태를 분석하였으며, 이 중 인장하중 및 비틀림 실험을 통하여 얻어진 자료를 이용하여 화염에 의한 전선수명을 예측하였다. 이렇게 얻어진 전선은 어떠한 기준점이 없기 때문에 직접적인 방법에 의해 수명을 예측할 순 없다. 그러므로 건전전선과 건전전선을 인공화염으로 열화시킨 상태의 전선을 똑같이 기계적 실험을 통하여 비교 검토하였다.

또한 전선에 관한 수명예측 함수는 화염이 아닌 경과 년 및 가설지역의 환경에 의해 수명을 예측한 참고문헌[8]을 근거로 하였다.

회귀분석은 선형 회귀분석과 비선형 회귀분석으로 각각 분석하여 볼 수 있다. 캐나다의 Ontario Hydro Research와 같이 경년이 19년에서 70년에 이르는 다양한 시료에서는 비선형 해석이 바람직한 결과를 도출할 수 있다고 보여지며, 국내와 같은 여건에서도 캐나다의 비선형 함수의 결과를 이용해서 해석하여도 무방할 것으로 사료되기 때문에 본 연구에서도 비선형 회귀분석을 행하였다.

그림 3은 표 1에 나타낸 5종류의 시료에 대하여 각각의 인장하중 손실률을 나타낸 것이며, 여기서 NEW전선과 AF전선은 각각의 경우에 대하여 인공화염시간에 따른 인장하중 변화율을 나타낸 것이며, PH전선은 산불 화염에 의한 인장하중의 변화를 10개 시료의 값을 나타낸 것이다.

그림 4는 산불화염에 의해 수거된 전선의 인장하중 손실률을 식 (1)을 이용하여 수명예측을 한 그림이다. 여기서 검게 표기된 부분은 산불화염에 의해 수거된 10개 시료의 인장하중 변화율이며, 사용기간이 20년이 된 경우의 인장하중 값이 중첩되어 나타난 것이며, 10[%]에서 90[%]까지로 표시되어 나타난 곡선은 식 (1)을 백분율로 나타낸 곡선이다. 이 그림에서 수명예측 점을 찾고자 할 경우 시료의 인장하중 평균값이 30[%]곡선을 따라서 올라가다보면

80[%]RTS 곡선과 만나는 지점이 수명예측점이 된다. 이 점의 x축 값이 수명예측 년이 되는 것이다.

년이 될 것이고, 인공화염 20[Cm] 이격한 시료는 58년, 10[Cm] 이격한 시료는 정확치는 않으나 35년 정도의 수명으로 예측되며, 인공화염을 접촉한 경우는 예측이 불가능한 상태이다.

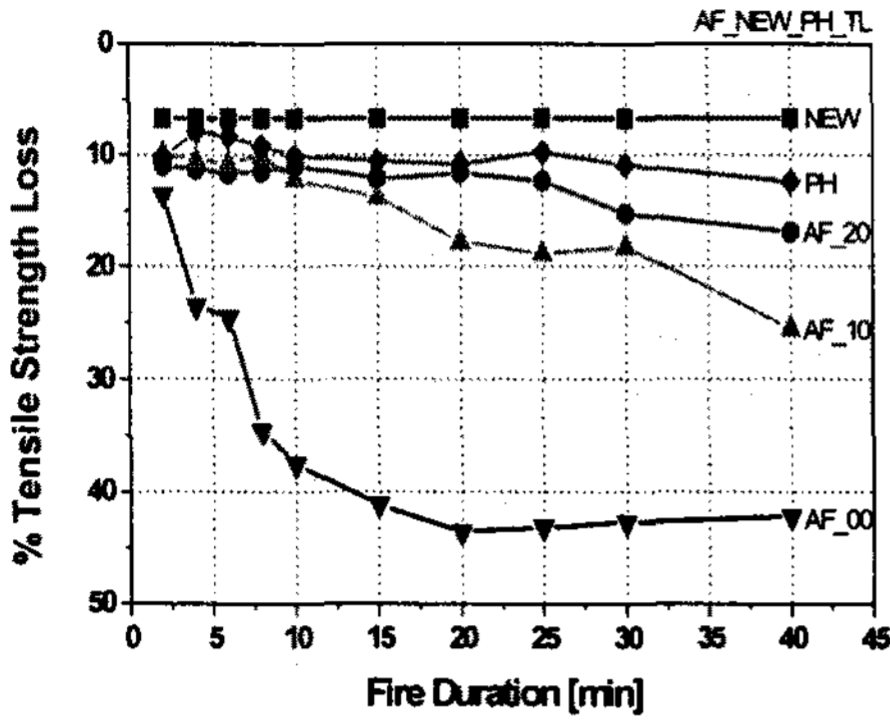
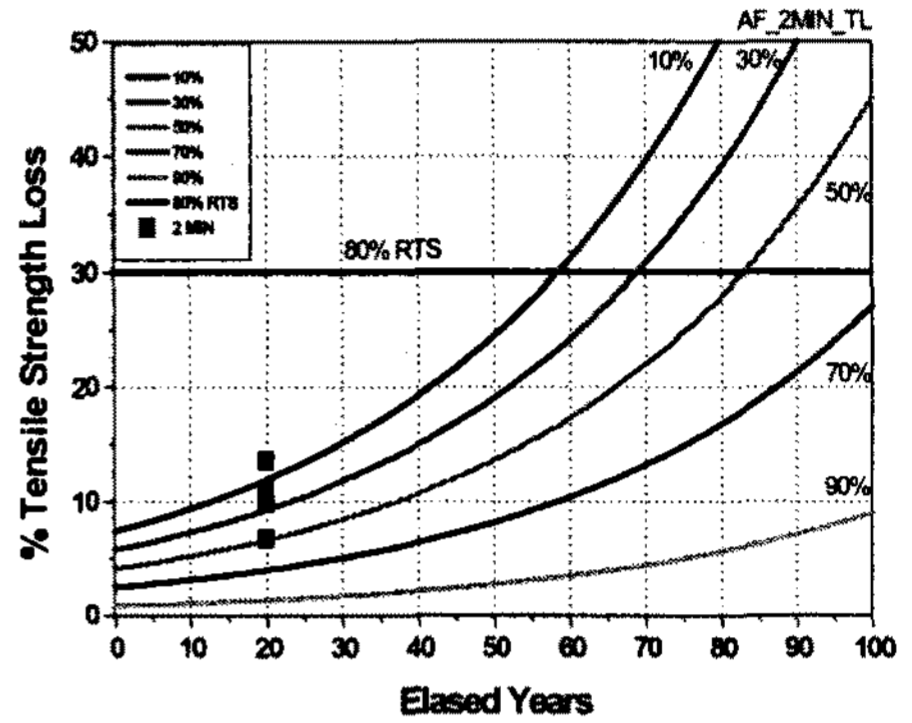


그림 3. 인장하중 손실률
Fig. 3. Loss of tensile strength



(a) 인공화염인가 2분

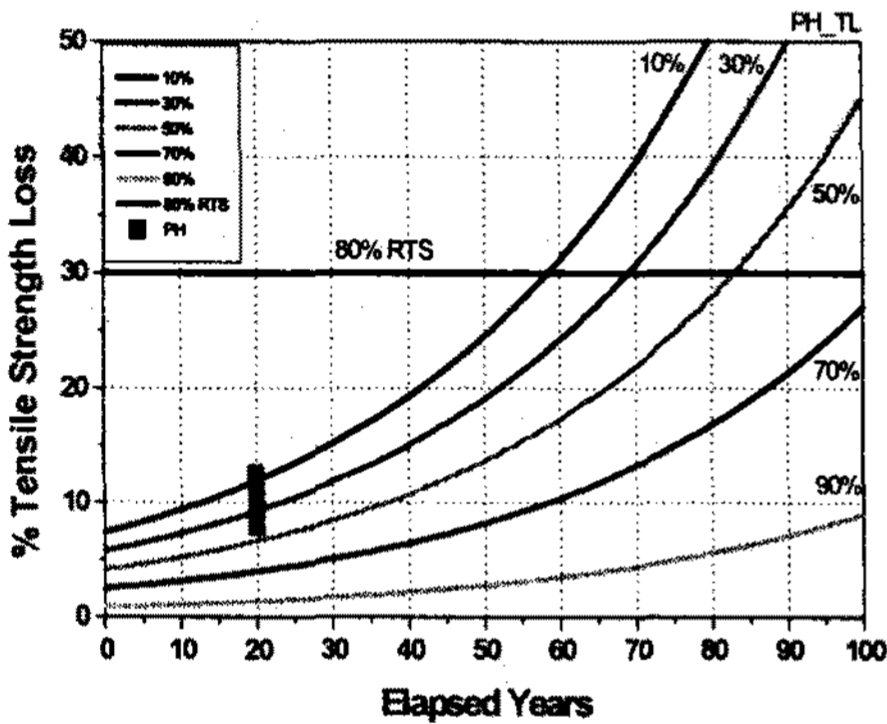
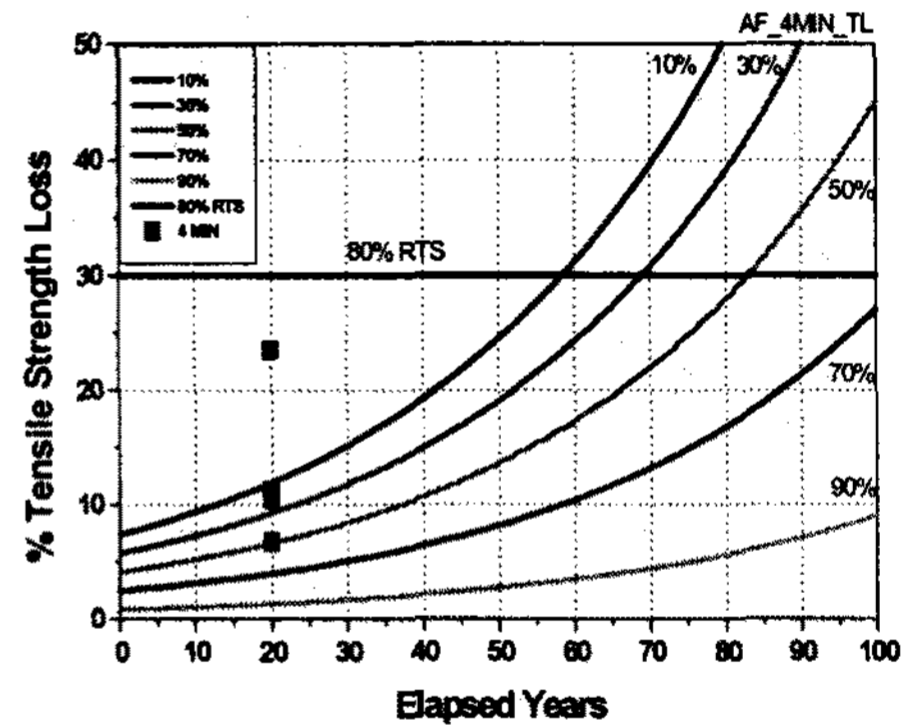


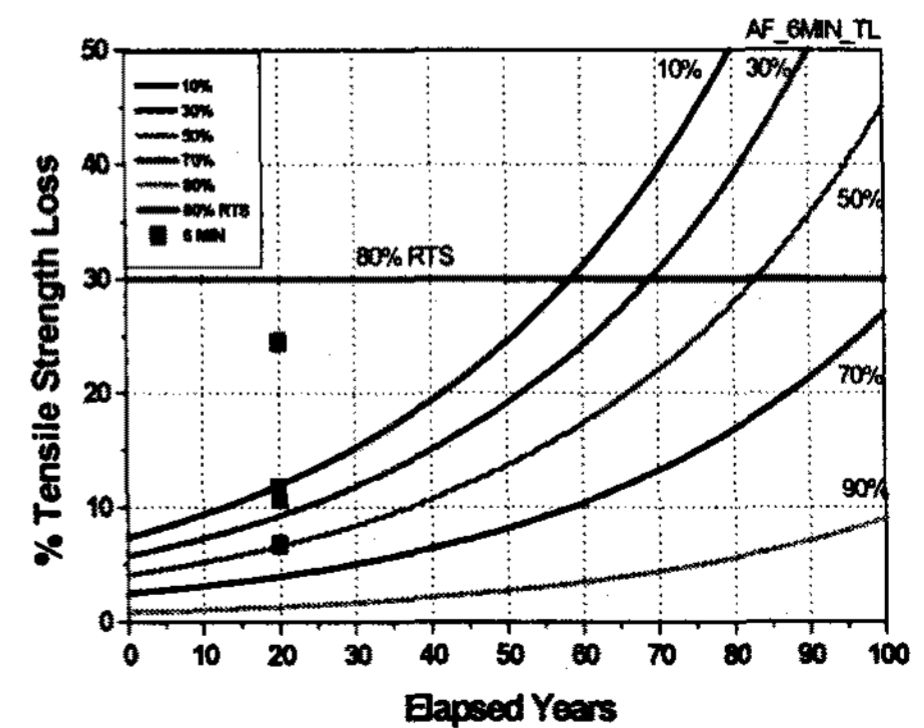
그림 4. PH의 인장하중 손실률에 따른 수명예측
Fig. 4. Tensile strength loss for life-time estimation of PH



(b) 인공화염인가 4분

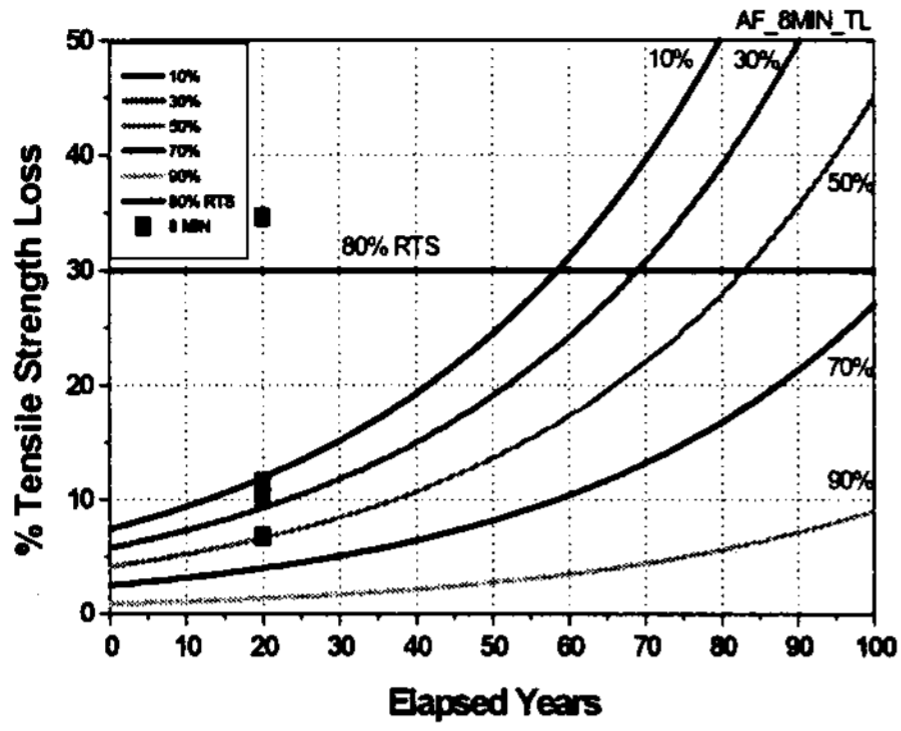
그리고 그림 5의 (a)~(j)의 그림은 인공화염시 불꽃과 이격거리별 화염시간별 인장하중 변화율을 이용한 수명예측 곡선이다. 실벌에서 사각으로 검게 나타난 것이 각 시료에 대한 인장하중 변화율로 그림 3에서도 개략적으로 알 수 있듯이 같은 화염시간 일지라도 불꽃과의 이격거리에 따라 다른 인장강도 변화율을 보인것이다. 여기서 가장 아랫부분이 건전전선, 그 다음이 AF_20, AF_10 맨 위가 AF_00이다. 또한 인장하중 변화율을 20년 경과년에 나타낸 것은 산불시료의 경우와 비교하기 위한 것이다.

그림 5의 (h)에서 수명예측을 찾아보면 가장 아랫부분의 시료는 건전전선으로 82년 정도가 수명예측

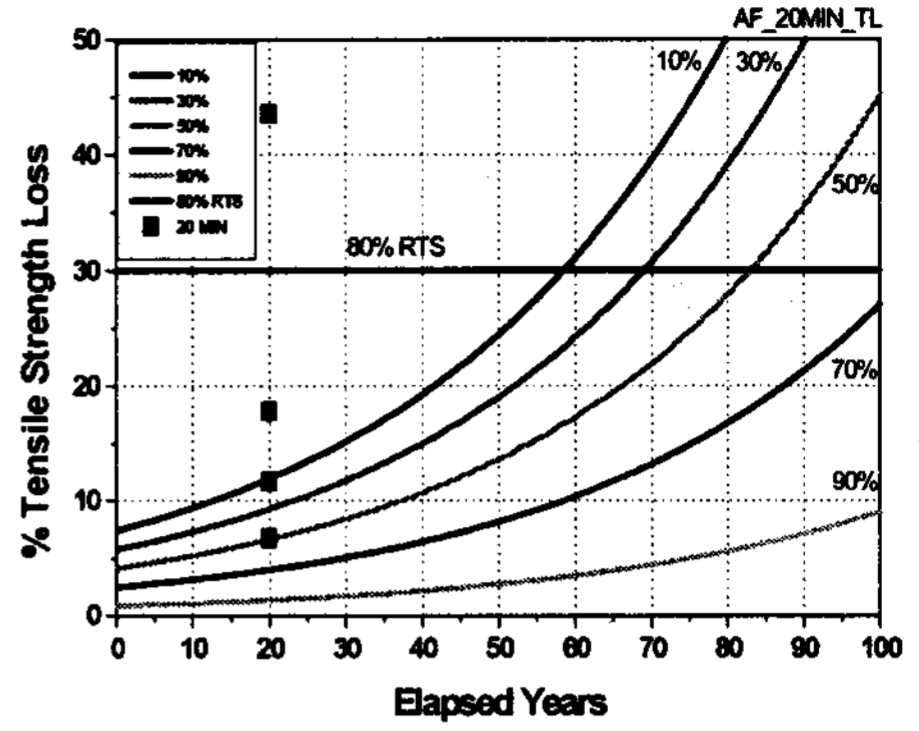


(c) 인공화염인가 6분

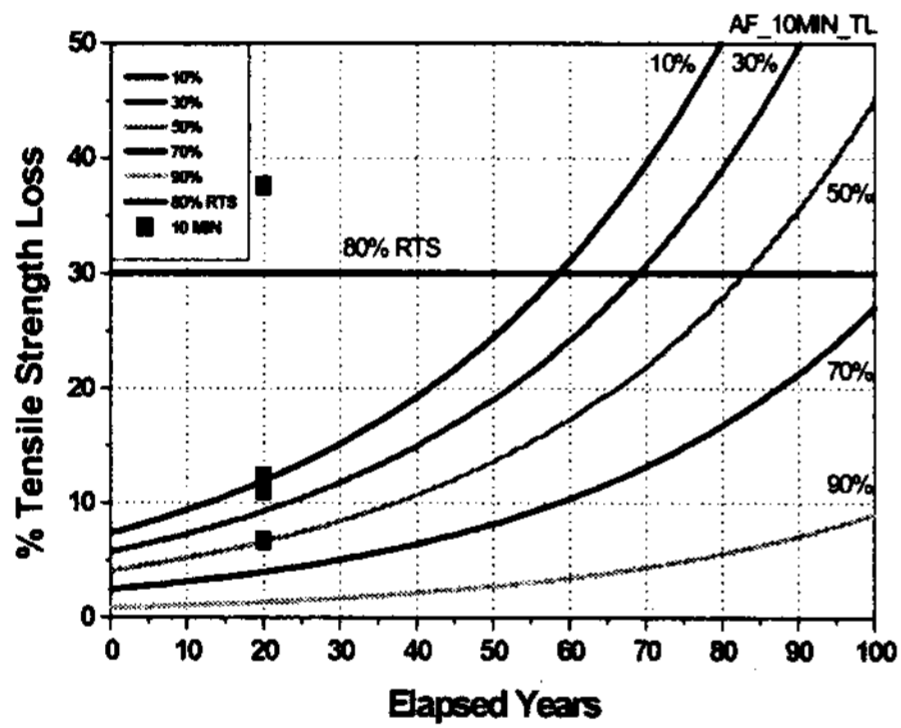
화염으로 인한 ACSR 송전선의 수명예측에 관한 연구



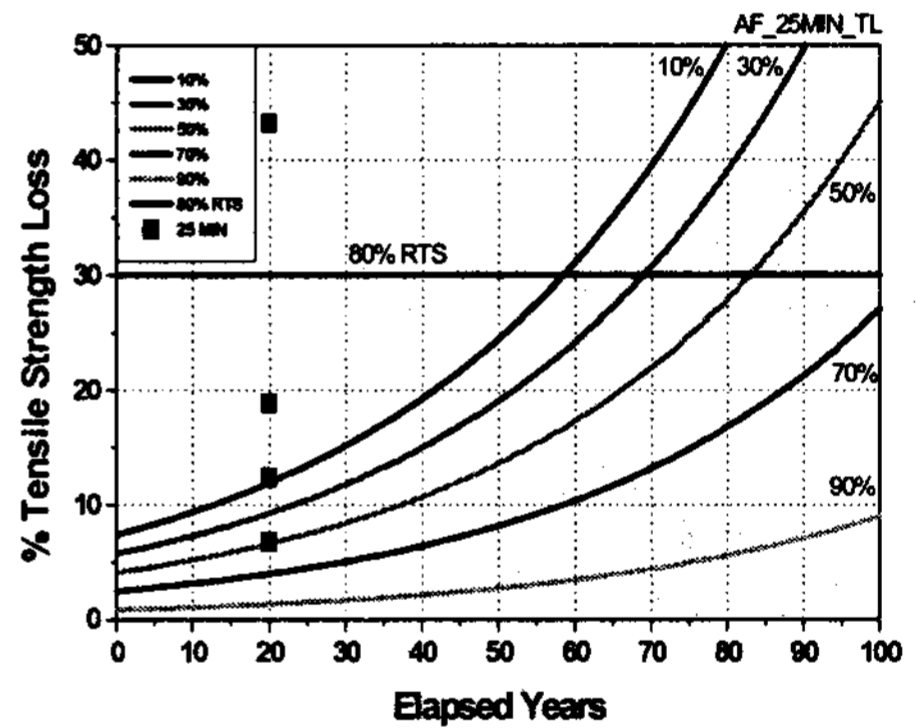
(d) 인공화염인가 8분



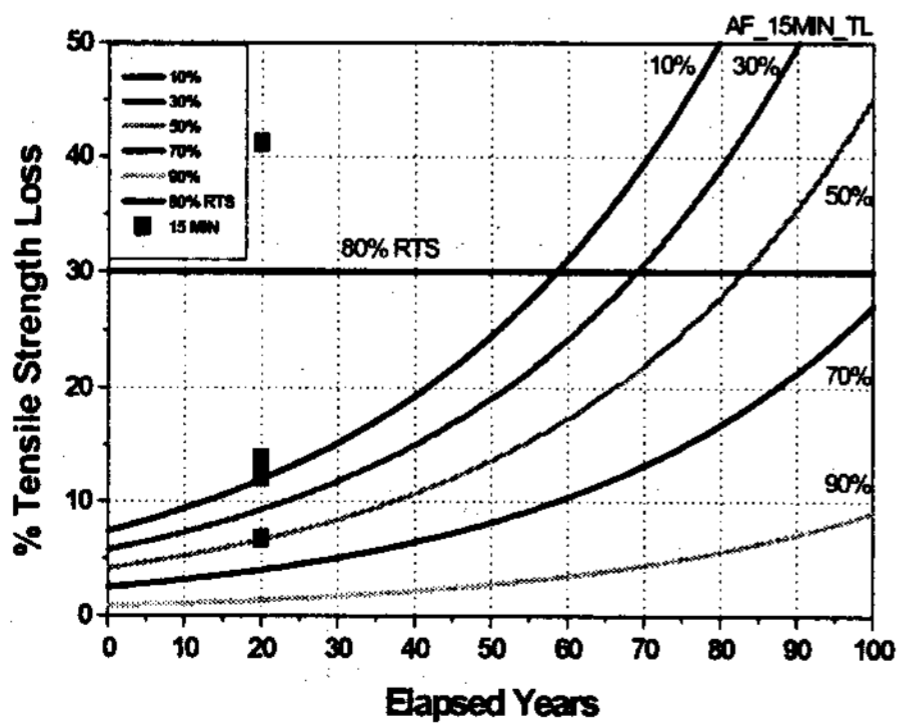
(g) 인공화염인가 20분



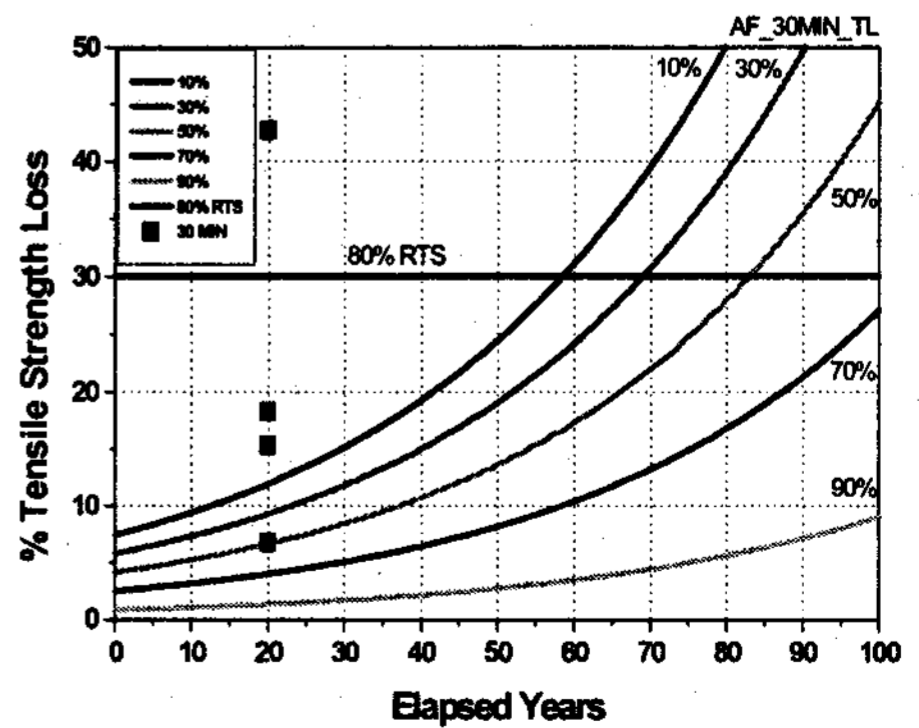
(e) 인공화염인가 10분



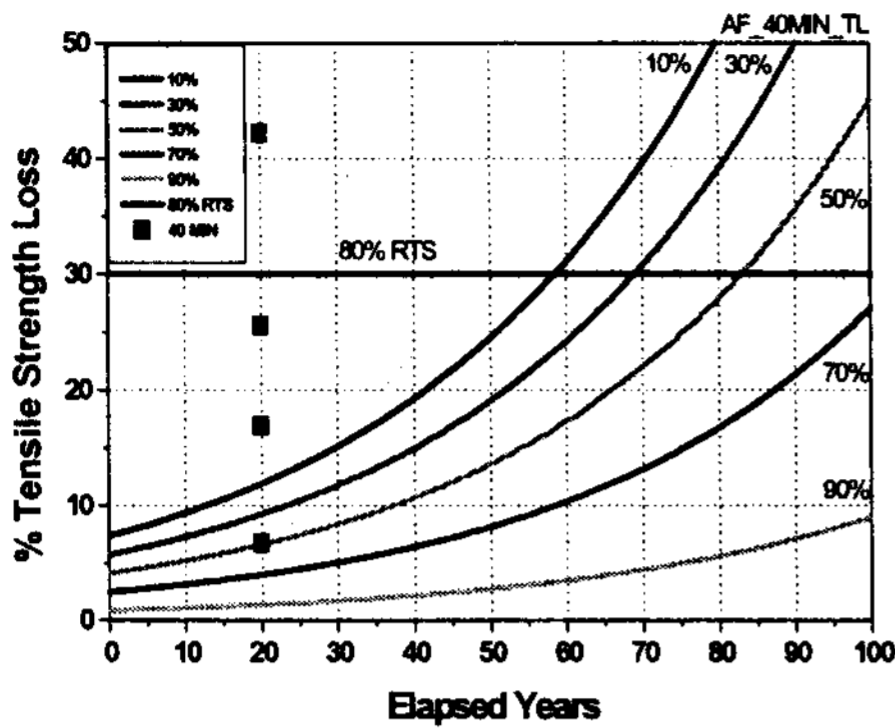
(h) 인공화염인가 25분



(f) 인공화염인가 15분



(i) 인공화염인가 30분



(j) 인공화염인가 40분

그림 5. AF의 인장하중 손실률에 따른 수명예측
Fig. 5. Tensile strength loss for life-time estimation of AF

3.2 실험결과 분석 및 검토

정격인장강도 대비 각 시료별 인장강도에 대하여 비선형 회귀분석 결과로 전선의 수명예측 년 수를 분석하였다. 이는 건전전선에 대한 수명을 82년으로 기준으로 하고[8], 산불에 의해 열화되어 교체된 전선을 수거한 시료와 이격거리에 따른 인공화염을 시간에 따라 인가한 경우의 수명예측을 한 것이다.

시료로 사용된 전선은 산화화염에 의해 수거된 전선으로 수거지역별로 그림 4와 같이 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 산불이 한 지점에서만 발생된 것이 아니라 바람에 의해 또는 화목에 의해 진행되었기 때문에 전선에 미치는 영향도 다르다고 보여지며, 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 수명예측 년은 평균 65년으로 추정할 수 있을 것이다.

또한 인공화염을 인가한 전선에 대한 이격별 및 인가시간별로 나타난 수명예측 곡선은 그림 5에 상세히 나타내었으며 그림에서 알 수 있는 바와 같이 인공화염 인가 시간이 길어질수록 전선 수명이 짧아짐을 알 수 있을 뿐만 아니라 이격거리가 짧을수록 수명이 짧아짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 화염에 의해 강선에 도금되어진 아연이 소실되었으며 이로 인하여 부식이 진행되어 강선에 대한 인장강도의 손실을 가져왔을 뿐만 아니라 강선 재질의 성질이 변

화되어 인장강도의 손실에 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다. 그러므로 이러한 화염이 가해진 상태의 전선이 교체되지 않고 가설된 상태로 장시간 사용되어질 경우에는 강선에 급격한 부식이 발생되어 인장강도의 감소는 현저히 일어날 것으로 추정된다. 또한 가설지역이 해안지역이거나 공해지역일 경우는 더욱더 감소될 것이다.

따라서 이러한 상태를 구체적으로 비교해 보기 위하여 그림 6과 같이 건전전선과 산불에 의해 수거된 전선과 인공화염을 인가한 전선에서 각 경우별로 나타나는 수명예측을 정리하여 나타내었다.

차후에 화염에 의해 노출된 전선이 있을 경우는 반드시 이와 같은 실험을 통하여 얻은 결과와 같이 인장강도 손실률에 대한 변화를 예측하여 전선의 교체상태를 결정하여야 할 것이다. 이로 인하여 보다 더 안정된 전력을 공급할 수 있고 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 여겨진다.

끝으로 여기서 분석한 비선형 회귀분석 방법의 신뢰성을 높이는 문제는 보다 많은 표본시료와 경년변화를 요하는 문제로 앞으로도 지속적으로 전선의 기계적 실험을 통하여 그에 따른 결과의 신뢰성이 높아지리라 본다[11-13].

현장시료를 채취하는 경우도 채취부위의 선정이 매우 중요하다고 보여지며, 이는 체계적으로 표본채취를 해야 하며, 시설당시의 새전선 보관이나 전선의 이력을 보관하는 일도 중요하리라 생각된다. 또한 가설환경을 청정지역, 염해지역, 염공해지역, 공업지역 등으로 환경지역을 좀더 세분화하여 종합적으로 연구되어야 할 것으로 보여진다.

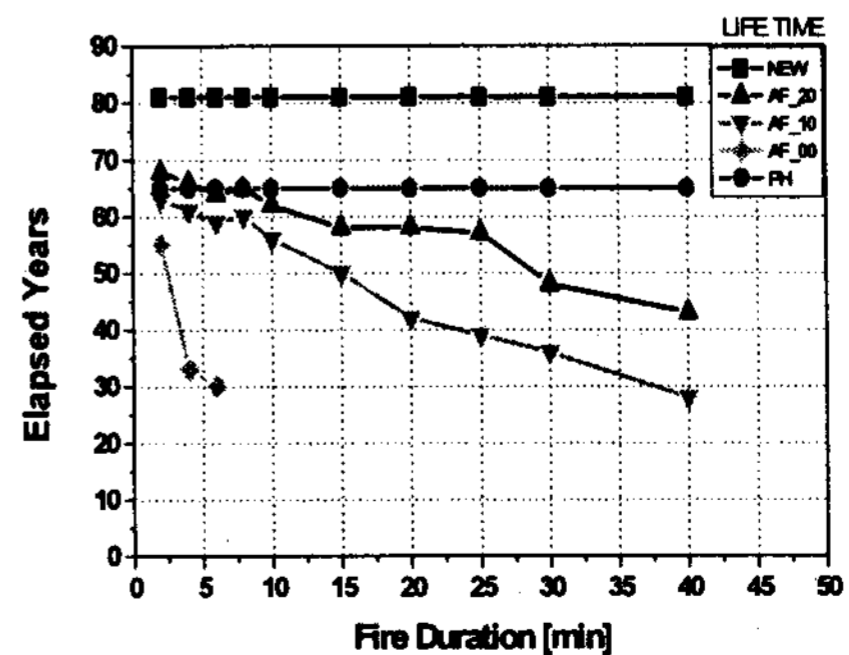


그림 6. 수명예측
Fig. 6. Life-time Estimation

4. 결 론

본 연구에서는 산불 화염에 의해 열화된 ACST 송전선의 수명을 예측하고자 하는 것으로서 일반적인 경년변화에 대한 수명예측은 캐나다 Ontario Hydro Research의 연구결과 수식을 인용하였다. 이 수식에 화염과 전선의 이격거리와 화염 시간에 따라 변화되어지는 인장하중 변화율을 이용하여 화염정도에 따라 달라지는 수명을 예측하였다.

특히 이러한 연구결과로 산불로 열화된 전선의 수명예측을 하기 위해 인공화염장치로 각 경우의 인장하중 변화율을 실험하였고 이 두 경우를 상호 비교함으로써 산불에 열화된 전선의 열화정도를 판단할 수 있는 비교 데이터를 확보하게 되었다.

따라서 본 연구 결과의 핵심은 각 경우의 인장하중 변화율로 수명예측에 대한 비교 결과는 위 3절의 내용과 같으며, 본 연구를 토대로 차후에 많은 조건에 대한 실험 데이터를 확보하여 데이터베이스화 할 경우 산불에 의해 열화된 전선을 수거하여 인장하중 변화율만 가지고도 수명예측을 할 수 있다고 사료된다.

또한 추후 비틀림 연성시험 결과와 비파괴검사법의 일종인 아연 잔존량을 와류 탐상법을 통하여 얻어진 결과와 종합한다면 보다 신뢰성이 높은 전선수명 예측결과를 연구할 수 있을 것이다.

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-003-D00112)

References

[1] Horrocks, D.J., and Arm, D.E. "A Long Term Transmission Line Refurbishment Program", Canadian Electrical Association, Spring 1987 Meeting, Vancouver.

[2] Harvard, D.G., et al. "Preliminary Studies for an Overhead Line Refurbishment Program at Ontario Hydro", Report to CIGRE WG22-211, Sarajevo, Yugoslavia, 1989.

[3] Harvard, D.G., Bissada, M.K., Fajardo, C.J., Horrocks, D.J., Meals, J.R., Motlis, J., Tabatabai, M., and Yoshiki-Gravelsins., "Aged ACSR Conductors Part I - Testing Procedures", IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Dallas, 1991.

[4] D.G. Harvard, G. Bellamy, P.G. Buchan, H.A. Ewing, D.J. Horrocks, S.G. Krishnasamy, J. Motlis, K.Y. Yoshiki-Gravelsins, "Aged ACSR Conductors : Part II -

Prediction of Remaining Life", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April, 1992.

[5] P.H. Schwabe & D. Pike, "The Measurement of Corrosion in Overhead Power Lines", ANTI-Corrosion, July 1988.

[6] 遠藤 誠, 飯沼順二, "電線腐食檢出裝置の 開發・實用化について", 研究期報, No. 66.

[7] 韓電, "架空送電運營業務基準", 韓國電力公社 送變電處, 1999. 3.

[8] 김영달외 3인, "인장특성을 이용한 ACSR 수명예측에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.13, No.4, 1999. 11.

[9] The Math Works, Inc, Statistics Toolbox User's Guide, Jan. 1997.

[10] 정충영, 최이규, "SPSSWIN을 이용한 통계분석", 3rd-Edition, 1996, 무역경영사.

[11] 김영달외 4인, "산불에 의한 가공 송전선로의 기계적 열화특성", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.14, No.6, pp.26~34, 2000.11.

[12] 김영달외 3인, "화염으로 인한 ACSR의 기계적 열화특성", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.17, No.6, pp.160~168, 2003.11.

[13] 김영달, "화염에 의한 ACSR 송전선의 기계적 특성에 관한 신뢰성 분석", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.17, No.6, pp.138~146, 2003.11.

◇ 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). 현재 한밭대학교 전기공학과 교수.