

## 인장특성을 이용한 ACSR 수명에측에 관한 연구

A Study on the Estimation of ACSR's Life using Tensile Characteristics

심재명\* · 김영달\*\* · 김성덕\*\*\* · 강지원\*\*\*\*

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

### 요 약

수명예측을 하기 위한 기초자료로 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 전선 전선과 수거된 경년 변화를 갖는 전선에 대해 실시하였다. 수명예측의 한계는 캐나다 Ontario Hydro Research의 기준인 정격 인장강도의 20[%] 손실점을 택하였다. 본 연구에 이용된 ACSR의 규격은 95[mm<sup>2</sup>], 97[mm<sup>2</sup>], 120[mm<sup>2</sup>], 240[mm<sup>2</sup>]를 대상으로 하여 선형회귀분석과 비선형 회귀분석을 실시하여 예측수명을 제시하였다. 분석프로그램으로는 SPSS와 Matlab의 Statistics Toolbox를 이용하였다.

### Abstract

The considerations for remainder life of transmission line is gradually higher. It is requisite for investigation of ACSR's 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's 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 old ACSR as sample experimental materials. 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 95[mm<sup>2</sup>], 97[mm<sup>2</sup>], 120[mm<sup>2</sup>], 240[mm<sup>2</sup>] ACSR's which are experimented on this study. The life estimation of these ACSR is presented by table 1 to be obtained through the linear regression and nonlinear regression analysis. SPSS and statistics toolbox of matlab is used for analysis.

Key Word : ACSR, Tensile strength, Life estimation, Regression Analysis

### 1. 서 론

- 
- \*정회원 : 대전산업대학교 전기공학과 교수
  - \*\*정회원 : 대전산업대학교 전기공학과 조교
  - \*\*\*정회원 : 대전산업대학교 전자공학과 교수
  - \*\*\*\*정회원 : 한전 전력연구원 선임연구원
- 접수일자 : 1999년 9월 1일

ACSR이 국내에서 송·배전선의 전력선이나 가공 지선으로 설치된 후 30여 년이 넘는 전선이 생겨나고 있다. 이에 따른 전선의 잔존수명에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 이와같은 상황에서 채취되는 시료는 단선사고, 점퍼선 교체, 또는 전력수요의 증대로 인한 철거로 얻어지고 있다[1,2]. 가설된 전선의 환경

은 청정지역, 공해지역, 염해지역 및 염공해지역 등으로 다양하기 때문에 전선의 부식의 정도가 판이하게 다르므로 전선의 수명을 예측하는 데 있어 매우 어려움이 따른다.

그러므로 ACSR 전선의 수명에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하다고 판단되며, 이러한 요인 중에 큰 비중을 차지하는 것은 부식과 기계적 피로도를 들 수 있다.

부식으로 인하여 ACSR 소선의 단면적이 감소하게 되어 인장강도가 떨어지는 직접적인 영향을 가져오게 되어 수명이 단축되는 원인이 발생되며, 또한 국부부식으로 인하여 단선을 초래하는 경우도 있다.

기계적 피로도의 원인으로서는 풍압이나 결빙 등으로 인하여 적절치 못한 이도가 변화된 상태에서 전선의 비틀림 연성이 떨어지는 간접적인 원인이 생기게 되어 수명에 영향을 주게 된다[3,4].

ACSR의 구조는 외층이 알루미늄 도체이고 내부는 아연으로 도금된 강연선(아연도금 강연선)으로 되어 있다. 가설후 대기에 노출된 상태에서 알루미늄은 대기부식으로 인하여 산화피막을 형성하여 기계적 인장강도는 대수 함수적으로 감소경향을 보이는 것으로 보고되었고, 아연도금 강선은 인장강도의 감소율이 지수 함수적으로 감소하는 것으로 보고되고 있다[5].

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 있는 실정이다. 또 파괴 검사법은 인장하중 검사나 비틀림 연성시험을 통해서 잔존수명을 판정하는 것이 일반적인 경향이다. 그리고 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 없다. KS에서도 강소선에 대한 비틀림 횡수에 대한 규정이 있으나 알루미늄에 대해서는 특별한 규정이 없으며, 캐나다 Ontario Hydro Research의 경우는 인장시험

과 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.

전선의 교체문제를 다룰 때는 여러 가지 상황을 고려하고 있으며, 한국전력의 경우는 기계적 시험에 의한 예측수명결과로 전선교체를 결정하는 데 50[%]까지 반영하고 있다[7].

여기서, 인장하중 손실율을 이용하여 전선의 수명을 예측하는 데는 몇 가지 제한조건이 필요하다[7]. 첫째로 환경을 고려한 시료의 구입이 대단히 어려운 실정이므로, 이와 같은 점을 감안하여 전역에 걸쳐 채취된 시료를 검사대상으로 한다. 둘째로 다양한 규격에 대해서 전반적으로 실시하기는 매우 어려운 만큼 95, 97, 120, 240[mm<sup>2</sup>]에 대해서만 실시하기로 한다. 여기서, 본 연구 대상의 시료 중 95[mm<sup>2</sup>]의 경우는 배전선으로 사용한 것이며, 97[mm<sup>2</sup>]의 경우는 가공지선으로 사용된 것을 주 대상으로 한다. 셋째로 시료의 채취부위는 지정된 곳만을 채택하기는 어려우므로 시료채취 구간은 고려하지 않는다. 넷째로 표준시료는 시중에서 규격별로 구입하거나 건설당시 남아 있는 새전선을 이용하기로 한다. 다섯째는 표준규격은 한국 표준규격과 한국전력표준규격을 이용한다.

이와 같이 전선의 수명을 예측하는 데는 파괴 검사법을 통한 예측수명을 근거로 비파괴 검사법을 병용하여 종합적으로 판단하는 것이 바람직하다고 보여진다.

따라서 본 연구에서는 수명예측에 기본이 되는 기계적 검사법인 인장하중 감소율을 이용하여 수명예측을 시도하고자 하는 데 그 목적을 두고 있다.

## 2. 回歸分析을 이용한 ACSR의 수명예측

ACSR의 수명예측을 위해서 파괴시험의 일종인 인장시험이나 강소선의 연성을 시험하는 비틀림 횡수시험을 통해서 얻어진 데이터를 회귀분석법을 이용하여 경년변화 대 인장 손실을 변화와의 관계를 분석하였다. 또 경년변화 대 비틀림 횡수의 관계를 이용하여

수명예측을 알아 볼 수가 있다. 그리고 다른 방법으로는 비파괴 시험의 일종인 와류 탐상법을 이용해서 ACSR의 아연도금 강선의 아연 손실율을 경년 변화와의 관계를 이용하여 회귀분석법을 통한 간접적인 전선의 수명예측을 시도해 볼 수 있다.

이와 같은 실험들을 캐나다 Ontario Hydro의 시험 결과를 통해서 알아보기로 한다.

### 2.1 回歸分析 (Regression Analysis)

회귀분석법을 광의로 변수간의 관계를 규명하는 분석방법으로 정의할 수 있다[8,9]. 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 하나이다.

회귀분석법은 어떤 변수와 관계가 있는 다른 변수와의 상호관계를 규명함으로써 어떤 변수의 변화에 대한 다른 변수의 변화를 예측하는 통계적 방법이다. 이때 어떤 변수를 독립변수라 하고 독립변수에 의한 인과관계로 설명되어지는 변수를 종속변수라 한다.

따라서 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 분석방법이다.

회귀분석방법의 일반적인 접근방법은 우선 변수간의 관계를 설정하고 표본자료를 사용하여 그 관계에 대한 추정치를 계산한 후, 모평균과 표본평균과 관계를  $t$ 분포로, 모분산과 표본분산과의 관계를  $\chi^2$ 분포로, 모분산비와 표본분산비의 관계를  $F$ 분포와 같은 통계량을 사용하여 변수간 관계의 적합성 여부를 평가하는 과정을 밟게된다. 즉, 회귀분석법은 독립변수  $Y$ 와 종속변수  $X$ 와의 관계를 설정한 후, 회귀 가정을 전제로 최소 자승법을 사용하여 종속변수  $Y$ 에 대한 독립변수들  $X$ 's의 회귀관계를 추정한다. 그리고 통계적 추론과정, 즉 모집단 변수에 대한 신뢰도 구간추정과 가설검정을 통하여 여러 변수들 사이의 관계에 대한 적합성과 합리성 여부를 구하는 일련의 절차와 과정을 포괄하게 된다.

회귀분석의 목적은 회귀모형의 정립과 평가과정을 거쳐 최적회귀모형을 선택하는 데 있다. 그러므로 종

속변수  $Y$ 와 독립변수들  $X$ 's간의 상호관계는 회귀모형으로 집약하게 되며, 회귀모형은 변수 상호관계에 대한 요약이 되는 것이다. 독립변수가 하나인 경우를 단순회귀모형이라 하고 둘 이상인 경우를 다중회귀모형이라고 한다.

## 2.2 Ontario Hydro Research의 ACSR의 수명예측

### 2.2.1 아연손실에 기초한 수명예측

아연 손실량을 부식검출기로 측정하여 1~4 등급으로 분류하여 77 개 표본을 조사한 내용을 근거하여 수명예측을 시도한 것을 그림 1 에 나타내었다. 도체의 표본은 경년이 16 에서 79 년에 이르는 광범위한 값이고, 가설지역은 주거지역, 산업지역, 도시의 미개발지역과 농촌지역을 두루 포함하고 있다.

여기서, 등급 4 는 새전선 아연량의 80 에서 100 %까지 소실된 것으로 하였다. 또한 10, 30, 50, 90%의 의미는 데이터를 포함하는 비율을 의미한다. 예를 들면 데이터의 50%는 63년에 아연의 손실량 80% 이상에 이르게 됨을 의미한다.

그림 1 은 회귀분석을 통해서 50%선을 기준하여 얻어진 값이며, 이에 대한 식은 다음과 같다.

$$Y = 0.00049 X^{2.17} \quad (1)$$

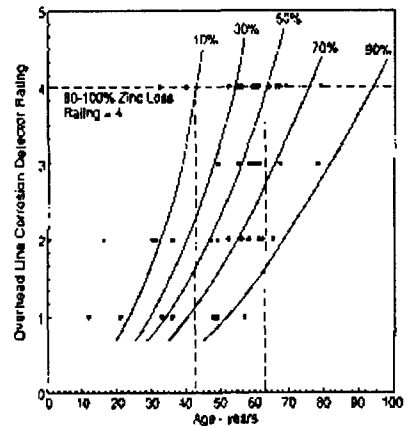


그림 1. 77개 도체표본에 대한 경년변화 대 가공선의 부식검출 값

Fig. 1. Overhead line corrosion detector vs. age for 77 conductor samples

### 2.2.2 인장시험에 의한 수명예측

44개의 송전선로에서 채취된 도체표본을 각각 인장 시험을 수행하였다. 6개의 건전 전선에 대하여 경년을 0년으로 하고 경년변화 대 인장강도의 [%]손실율을 건전 전선 대비로 그림 2 와 같이 나타내었다. 여기서 횡축 점선은 정격인장강도(RTS) 대비 20[%] 손실율로 예측 수명선을 나타내었으며, 건전 전선은 RTS 대비 112[%]로 하였을때의 결과이다.

그러므로 예측수명곡선은 다음과 같은 관계를 얻을 수 있으며, 50[%] 수명예측선의 수명은 81년으로 나타나고 있다.

$$80\% \text{ RTS} = \left\{ \frac{(112 - 80)}{112} \right\} * 100 \quad (2)$$

$$= 28.57\%$$

따라서 회귀분석결과 수명예측함수는 다음과 같다.

$$Y = e^{1.41 + 0.024X} \quad (3)$$

### 2.2.3 비틀림 연성시험에 의한 수명예측

가설된 송전선로부터 철거된 41개의 도체표본과 5개의 건전 전선에 대해 비틀림 연성시험을 하였다. 강소선의 외층 소선의 비틀림 연성시험의 평균값을 기준으로 하여 여러 도체의 시험결과를 경년변화 대 비틀림 횡수를 그림 3 에 나타내었다. 수명 예측선은 비틀림 횡수가 5 회가 되는 값으로 선정하였으며, 이것을 이용하여 얻어진 예측수명은 70 년으로 예측되고 있다.

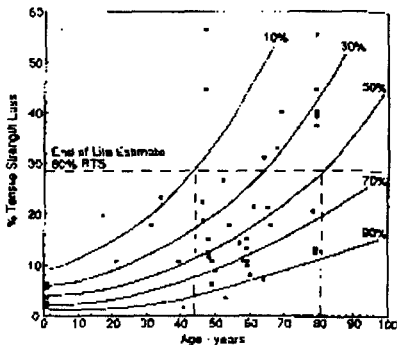


그림 2. 50개 도체표본에 대한 경년변화 대 인장 손실율. 초기인장강도=112 %RTS  
Fig. 2. Tensile strength loss vs. age for 50 conductor samples. Initial strength=112 %RTS.

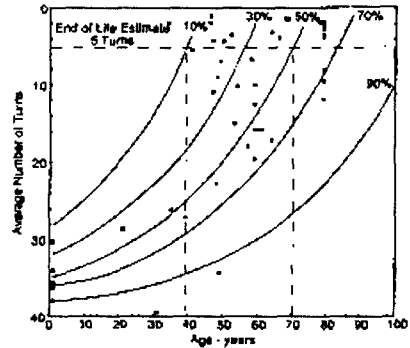


그림 3. 46개 도체표본에 대한 경년변화 대 강연선 외층의 비틀림연성.  
Fig. 3. Torsional ductility of outer layers of steel core vs. age for 46 conductor samples.

그림 3 을 이용해서 회귀분석 결과로부터 얻어진 수명예측 함수는 아래와 같다.

$$Y = 40 - e^{1.65 + 0.027X} \quad (4)$$

## 3. 인장시험에 의한 ACSR의 수명예측

캐나다 Ontario Hydro Research의 경년변화에 대한 아연손실량의 비율, 인장강도의 손실율 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 회귀분석을 통해 ACSR의 수명예측을 하고자 하며, 규격별로 채취된 95, 97, 120, 240[mm<sup>2</sup>]의 시료에 대하여 수명예측을 시도하고자 한다.

### 3.1 규격별 경년변화 대비 인장하중의 손실율을 이용한 수명예측

각 규격별로 전국에서 채취된 ACSR 전선을 실험 대상으로 하며, 채취된 시료의 채취위치 및 설치환경은 고려하지 않는다. 규격별로 채취시료의 수를 갖게

할 수 없기 때문에 규격에 따라서는 실험 전선수에 차이가 있다.

회귀분석은 선형 회귀분석과 비선형 회귀분석으로 각각 분석하여 볼 수 있다. 캐나다와 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 사료된다.

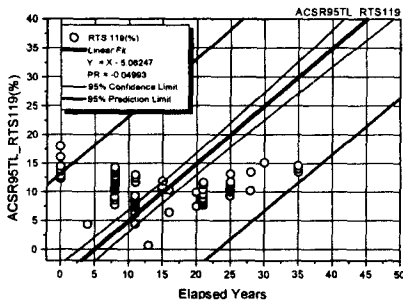
따라서, 본 연구에서는 각 규격에 대한 선형 및 비선형 회귀분석을 모두 행하였으며, 이에 대한 결과들을 그림 4~7에 나타내었으며, 각 규격에 대하여 선형 및 비선형 회귀분석을 통한 수명 예측년과 수명예측 도출함수를 정리하여 표 1에 나타내었다.

표 1. ACSR 전선의 수명 예측  
Table 1. Life Estimation of ACSR

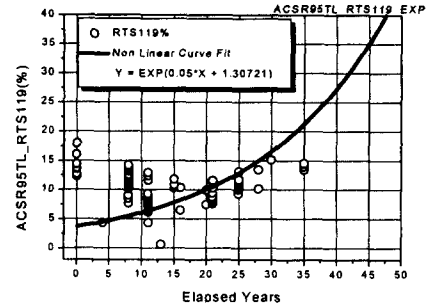
규격 (mm <sup>2</sup> )	선형 회귀분석		
	예측 년	95% 신뢰 구간에서의 예측년	도출 함수
95	38	36 ~ 40	$y = x - 5.08247$
97	43	42 ~ 47	$y = x - 12.25107$
120	37	32 ~ 52	$y = x + 0.46962$
240	65	62 ~ 68	$y = x - 20.69032$

규격 (mm <sup>2</sup> )	비선형 회귀분석		
	예측 년	95% 신뢰도 구간에서의 예측년	도출 함수
95	44	41 ~ 46	$y = \exp(0.05 \cdot x + 1.3072)$
97	50	48 ~ 53	$y = \exp(0.05 \cdot x + 0.8514)$
120	43	41 ~ 45	$y = \exp(0.045 \cdot x + 1.6883)$
240	87	83 ~ 92	$y = \exp(0.05 \cdot x - 0.5767)$

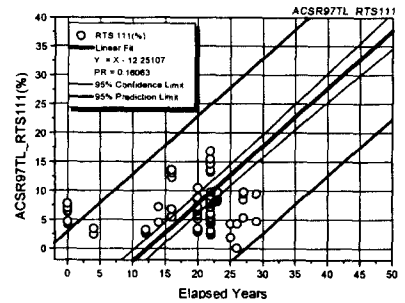


(a) 95[mm<sup>2</sup>] ACSR 선형 회귀분석  
(a) 95[mm<sup>2</sup>] ACSR Linear Regression Analysis

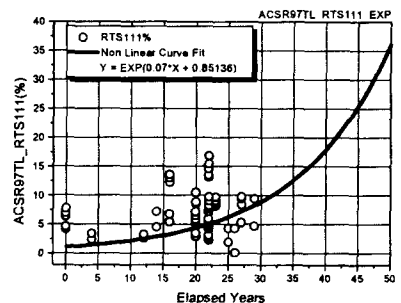


(b) 95[mm<sup>2</sup>] ACSR 비선형 회귀분석  
(b) 95[mm<sup>2</sup>] ACSR Nonlinear Regression Analysis

그림 4. 95[mm<sup>2</sup>] ACSR 전선의 수명 예측 곡선  
Fig. 4. Life estimation Curve of 95[mm<sup>2</sup>] ACSR

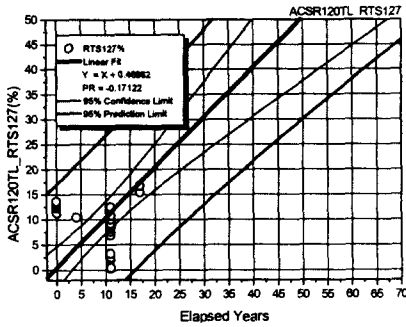


(a) 97[mm<sup>2</sup>] ACSR 선형 회귀분석  
(a) 97[mm<sup>2</sup>] ACSR Linear Regression Analysis

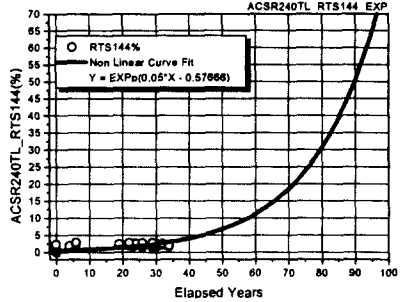


(b) 97[mm<sup>2</sup>] ACSR 비선형 회귀분석  
(b) 97[mm<sup>2</sup>] ACSR Nonlinear Regression Analysis

그림 5. 97[mm<sup>2</sup>] ACSR 전선의 수명 예측 곡선  
Fig. 5. 97[mm<sup>2</sup>] Life Estimation Curve of 97[mm<sup>2</sup>] ACSR

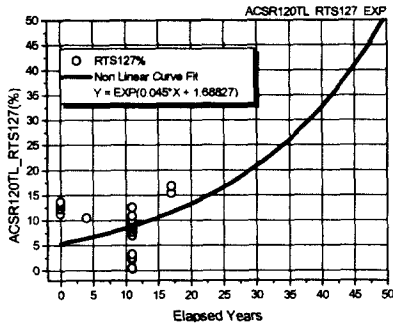


(a) 120[mm<sup>2</sup>] ACSR 선형 회귀분석  
(a) 120[mm<sup>2</sup>] ACSR Linear Regression Analysis



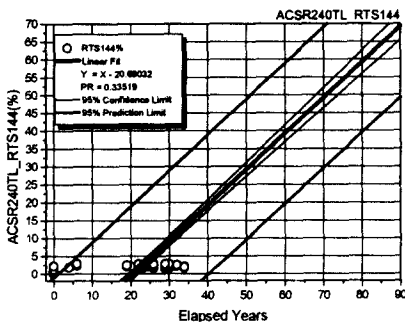
(b) 240[mm<sup>2</sup>] ACSR 비선형 회귀분석  
(b) 240[mm<sup>2</sup>] ACSR Nonlinear Regression Analysis

그림 7. 240[mm<sup>2</sup>] ACSR 전선의 수명 예측 곡선  
Fig. 7. Life Estimation Curve of 240[mm<sup>2</sup>] ACSR.



(b) 120[mm<sup>2</sup>] ACSR 비선형 회귀분석  
(b) 120[mm<sup>2</sup>] ACSR Nonlinear Regression Analysis

그림 6. 120[mm<sup>2</sup>] ACSR 전선의 수명 예측 곡선  
Fig. 6. Life Estimation Curve of 120[mm<sup>2</sup>] ACSR.



(a) 240[mm<sup>2</sup>] ACSR 선형 회귀분석  
(a) 240[mm<sup>2</sup>] ACSR Linear Regression Analysis

### 3.2 실험결과 분석 및 검토

규격별 정격인장강도 대비 새전선의 인장강도는 95[mm<sup>2</sup>]에서 119[%], 97[mm<sup>2</sup>]에서 111[%], 120[mm<sup>2</sup>]에서 127[%], 그리고 240[mm<sup>2</sup>]에서 144[%]이며, 이것을 캐나다의 112[%] 경우와 비교하면 다소 높은 편으로 나타났다.

또 선형 회귀분석 결과와 비선형 회귀분석 결과를 비교하면 대체로 비선형 회귀분석 결과의 경우가 예측수명 년수가 길게됨을 알 수 있었으며, 이 두 결과를 놓고 볼 때 예측수명 년수를 결정하는 것은 대단히 어렵다고 보여진다.

또한 본 연구에서 얻은 결과들과 캐나다의 Ontario Hydro Research에서 연구한 결과와 비교하면 국내의 ACSR 수명이 짧게 나타나고 있는데 이는 국내의 ACSR의 설치환경이 캐나다의 경우에 비해 공해문제나 염공해의 문제로 인하여 전선의 수명단축의 원인이 아닌가 추측된다.

그러나 이러한 해석결과의 신뢰성도 많은 문제점을 갖고 있다고 볼 수 있다. 왜냐하면 캐나다의 경우는 경년 70년에 이르는 다양한 표본자료임에 비해 국내 현실은 겨우 30년 안팎의 짧은 경년을 갖고 있기 때문이다.

그러므로 비선형 회귀분석의 신뢰성을 높이는 문제는 보다 많은 표본자료와 경년변화를 요하는 문제로 앞으로 지속적으로 전선의 인장시험이나 비틀림 연성시험을 병행하여야 신뢰성이 높아지리라 본다.

현장시료를 채취하는 경우도 채취부위의 선정이 매

우 중요하다고 보여지며, 이는 체계적으로 표본채취를 해야하며, 시설당시의 새전선 보관이나 전선의 이력을 보관하는 일도 중요하리라 생각된다. 또한 가설환경을 청정지역, 염해지역, 염공해지역, 공업지역 등으로 환경지역을 좀더 세분화하여 종합적으로 연구되어야 할 것으로 보여진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전선의 수명예측을 위해서 파괴검사법의 일종인 인장시험검사와 비틀림 연성시험을 통해서 간접적으로 수명예측을 시도해 볼 수 있음을 캐나다 Ontario Hydro Research의 연구결과를 통하여 고찰하였다. 그 결과 인장시험만으로도 ACSR의 수명을 예측할 수 있음을 알 수 있었으며, 인장시험의 결과를 선형 회귀분석과 비선형 회귀분석을 통한 수명 예측년과 도출함수를 표 1에 제시하였다.

이 결과들에 대하여 고찰을 통해 분석하였으며, 비선형 회귀분석을 통하여 얻어진 예측수명 결과를 신뢰성을 높이려면 보다 많은 경년변화를 갖는 시료가 존재할 때만 가능하리라고 판단되었으며, 현재로서는 선형 회귀분석 결과가 비선형 회귀분석 결과보다 좀더 신빙성이 있을 것으로 결론을 얻었다.

또한 본 연구에서는 규격별로 수명함수를 도출함으로써 캐나다의 1층 구조의 ACSR 평균수명 도출함수보다도 신뢰성을 더 높였다.

비선형 회귀분석의 결과에서 신뢰성을 확보하기 위해서는 시료의 경년이 40년 이상에서 80년 정도의 시료가 있어야만 비선형 함수의 신뢰성이 높아질 것으로 사료된다. 그러므로 국내의 현실에서는 가설기간으로 보아 이와 같은 경년의 시료를 구할 수가 없는 실정이기 때문에 계속적으로 시료를 수거하여 실험 데이터를 확보하는 일이 매우 중요하다고 보여진다.

추후 비틀림 연성시험 결과와 비파괴검사법의 일종인 아연 잔존량을 와류 탐상법을 통하여 얻어진 결과와 종합하여 보다 신뢰성이 높은 전선수명 예측결과를 연구하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

[1] Horrocks, D.J., and Amm, 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 WC22-211, Sarajevo, Yugoslavia, 1989.  
 [3] Harvard, D.G., Bissada, M.K., Fajardo, C.J., Horrocks, D.J., Meals, J.R., Mottis, 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. Mottis, 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, "架空送電營業業務基準", 韓國電力公社 送變電處, 1999. 3  
 [8] The Math Works, Inc, Statistics Toolbox User's Guide, Jan. 1997.  
 [9] 정충영, 최이규, "SPSSWIN을 이용한 통계분석", 3rd-Edition, 1996, 무역경영사.

#### ◇ 저자소개 ◇

##### 심재명 (沈在明)

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

##### 김영달 (金榮達)

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

##### 김성덕 (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.

##### 강지원 (姜地原)

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