

적용 뉴로퍼지 추론시스템을 이용한 가공 송전선의 열화등급 진단

(Diagnosis of Deterioration Grades for Overhead Transmission Lines
using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)

김성덕* · 이상래

(Sung - Duck Kim · Sang - Lae Lee)

요 약

가공 송전선로의 아연도금 강심 알루미늄연선 도체들은 장기간 동안 대기오염에 의해 서서히 열화되었기 때문에, 2천 년 내에 이르러 수많은 도체들이 예상된 유효수명을 초과하였다. 대부분의 도체들은 경제적인 운용 측면에서 현재 상태들을 평가하지 않으면 안되므로, 이 논문에서는 경년, 환경지표, 및 도체구조와 같은 중요 파라미터들을 사용하여 노화도체의 현재 상태를 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 노화도체의 수명에 대응하는 열화등급을 예측하기 위한 진단 방법을 기술하였으며, 이 시스템은 전문가 지식과 경험을 토대로 적용 뉴로퍼지 추론시스템 (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)으로 설계하였다. 이 진단시스템을 국내의 송전선로에 적용하여, 이 시스템이 노화 ACSR 도체를 비파괴적으로 진단하고 경제적으로 운용하기 위한 방안으로서 효과적으로 사용될 수 있음을 밝혔다.

Abstract

Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced (ACSR) in overhead transmission lines have slowly degraded due to pollutants in the air for a long period of time, so in the 2000, a number of them has been exceeded over their forecasted useful life. Since most of them are faced with assessment their present conditions in regard to economical maintenance, in this paper, we have suggested a method in order to evaluate the current condition of aged conductors by using dominant parameters such as elapsed years, environment index, and conductor configuration. A diagnostic system for predicting the deterioration grades corresponding to the lifetime of aged conductors is described, which is designed as an Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS) based on knowledge and experiences of experts. Applying this diagnostic system to practical transmission lines in domestic, it is shown that the system can be effectively used as a guide to perform nondestructive diagnosis and economical operation for old ACSR conductors.

Key Words : ACSR, Deterioration Diagnosis, Adaptive Neuro-fuzzy Inference System

* 주저자 : 한밭대학교 전기·전자·제어공학부교수

Tel : 042-821-1135, Fax : 042-821-1128

E-mail : sdkim@hanbat.ac.kr

접수일자 : 2003년 2월 18일

1차심사 : 2003년 2월 24일

심사완료 : 2003년 4월 23일

조명·전기설비학회논문지 제17권 제4호, 2003년 7월

1. 서 론

대부분의 전력회사들은 가공 송전선로 아연도금 강심 알루미늄연선 (Aluminum Stranded Conductors Steel Reinforced : ACSR) 도체를 사용

해 왔다. 이 도체는 장기간에 걸쳐 다양한 대기환경에서 가설 운용되기 때문에 대기오염(atmospheric pollutant)에 의해 열화된다. 국내에도 ACSR 도체의 대략 2/3 정도는 1970년도 이전에 가설되었으므로 이 도체들은 예상 유효수명(forecast useful life)을 초과했다고 추정된다. 도체의 열화(deterioration)는 설비의 운용과 보수에 어려움을 초래할 뿐만 아니라 전원공급의 신뢰성을 저하시키고 공공의 안전성을 감소시키는 중요 원인이 된다[1]. 선로의 절연물, 스페이서, 댐퍼나 현수 클램프와 같은 다른 설비들은 심각하게 열화되었다고 판단되면, 정상적인 유지보수의 일환으로 교체되거나 보수될 수 있다. 물론, 슬리브 접속부나 스페이서 또는 댐퍼가 설치된 부분의 일부 도체에 발생한 심한 부식상태는 간혹, 열상기(thermal vision)이나 적외선 카메라로 검출하여 교체할 수도 있다[2]. 그렇지만, 송전 설비들 중, 도체는 현재 어떤 유지 보수나 검사 방법을 사용한다고 하더라도 그들의 유효수명을 연장시킬 수 없는 유일한 전력설비이다[3,4]. 따라서, 가설 송전선로를 경제적이고 신뢰성 있는 운용을 하기 위해 도체의 현재 노화상태를 평가하거나 잔존수명(remaining life)을 예측하는 것은 매우 중요하다.

과거 10년 동안, 국내는 물론 미국, 영국, 캐나다 등의 대형 전력회사들은 발전, 송전 및 배전 분야의 구조를 재편성하여 왔다[5]. 전력산업의 이와 같은 변화와 더불어 전력품질 향상에 대한 수용자의 요구가 증가하고 사회적으로는 환경문제가 대두됨으로써, 전력회사들은 송전선로를 증설을 하지 않고 기존 설비를 경제적으로 관리하는 효율적인 방법을 모색하기 시작했다. 결국, 전력회사는 도체의 잔존수명의 평가나 경제적 송전용량의 결정은 물론, 노화도체의 보수 및 검사 등 합리적인 운용방안들을 검토하지 않으면 안 되었다.

송전설비 대부분은 정기적으로 검사되고 그 결과에 따라 보수나 교체지만 도체는 적당한 검사방법이 실용화되지 못한 상태이다. 그 동안 열화현상을 규명하기 위하여 끊임없는 연구들이 지속되어 왔지만, 비교적 양호한 결과를 얻은 다른 전력설비에 비하여 도체의 연구결과는 큰 진전이 없는 실정이다. ACSR 도체의 열화는 노출된 대기환경 이력에 밀접한 관계

가 있다. 따라서, 도체수명은 환경요소, 재료구성이나 도체구조 등 복잡한 요인들에 영향을 받게 된다. 불행히도, 현재까지 도체의 유효수명기간에 대한 정의가 사용된 예가 없고 또한, 수명을 진단하기 위한 장비나 예측시스템이 실용화되지 못했다.

도체수명을 진단하는 가장 간단한 방법이 도체열화로 초래된 기계적 강도 저하를 측정하는 것이지만, 그 외에도, 샘플시험, 유효수명곡선의 이용이나 비파괴검사 장비로 극심한 열화정도를 검사하는 방법이 사용되기도 한다[2,6,7]. 도체수명을 평가할 경우에, 대부분의 전력회사들은 자체 규정을 적용하거나 또는 앞의 방법 중 일부를 병행하여 평가하기도 한다. 그렇지만, 노화도체의 교체에 대한 최종적인 판단은 도체에 대한 현장 전문가의 지식이나 경험에 주로 의존하고 있는 실정이다. 결국, 도체교체에 관한 공통기준이 없으므로, 우선 노화도체를 진단하기 위한 적당한 방법이 모색되어야 한다.

본 연구에서는 사용 중인 노화도체의 열화등급(deterioration grade)을 예측할 수 있는 새로운 진단 방법을 제안한다. 선로운용자의 지식과 정보를 토대로, 노화도체의 현재상태를 정량적으로 나타내는 열화정도를 진단할 수 있는 적응 뉴로퍼지추론시스템(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System : ANFIS)을 설계한다.

2. 열화도체 진단시스템

2.1 지식 및 경험기반

도체의 수명을 진단하는 장비가 실용화되지 않았으므로, 많은 전력회사들은 노화도체를 평가하는 경우에 전문가의 경험적 판단에 의존하거나 간단한 샘플 검사를 이용한다. 경간에서 채취한 도체샘플의 기계적 강도 측정하는 것은 경간의 선택이나 샘플의 채취장소의 다양성으로 인하여 그 측정결과에 신뢰도를 유지하기 곤란하다. 또한, 현장 전문가의 판단에도 주관적이며 정성적인 요소가 지배적이다. 결국, 도체수명의 정량적인 진단결과를 얻기 위하여, 전문가의 경험과 지식을 충분히 반영할 뿐만 아니라 도체의 기계, 재료특성을 함께 고려하는 새로운 결정적 방법(deterministic method)이 요구된다.

도체수명에 미치는 요소들은 경년(elapsed years), 환경지표(environment index), 도체크기(conductor size), 부하율(load rate), 선간전압(line voltage) 및 도체이력(conductor history) 등 다양하다. 이러한 모든 요소들이 도체열화나 수명에 미치는 영향을 적당한 척도를 이용하여 정량적인 값으로 나타내기 어렵다. 물론, 경년은 도체수명을 결정하기 위한 간접적인 목적변수로 사용되기도 한다. 예컨대, 특정 규격의 도체가 정상적인 대기환경 하에서 노출되어 사용되었다고 가정하면, 이 도체의 평균수명은 경년에 직접 비례할 것으로 예상되기 때문이다. 그렇지만, 도체의 열화상태는 경년과 도체규격뿐 아니라 환경요소, 부하율이나 도체이력 등도 고려해야만 하므로 단순히 경년 함수로 표현할 수 없다. 이러한 요소들은 시간과 장소에 따라 그 변화가 심하므로 이들 중 일부나 전부를 정량적 기술에 따라 가공도체의 열화등급을 판정하는데 성패가 달려 있다. 따라서, 도체의 수명진단 시스템은 그림 1과 같은 여러 가지 입력과 출력을 가진 시스템으로 가정할 수 있다.

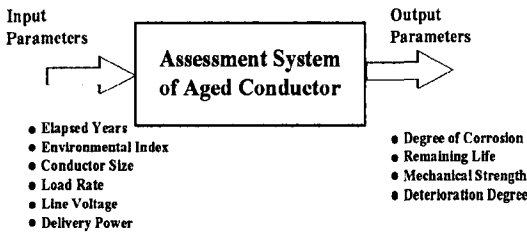


그림 1. 노화도체의 진단시스템
Fig. 1. A diagnostic system of aged conductor

2.2 퍼지추론시스템의 도입

그림 1과 같은 진단시스템을 구성하여 열화정도를 추정할 때, 경년이 비교적 핵심적인 역할을 담당하지만 그 특성이 선형성을 나타내지는 못한다. 또한, 경년은 물론 대부분의 다른 입력들이 열화에 미치는 결과는 주로 현장 전문가에 의해 언어적 표현(linguistic description)으로 결정되는 것들이다. 따라서, 이들과 열화특성 사이에는 비선형성을 갖거나 또는 불확실성을 포함하고 있을 수밖에 없다. 이렇게 부정확하게 정의된(ill-defined), 비선형이며 불확

실한 특성을 지닌 파라미터들을 구성된 시스템의 모델은 고전적 수학을 쓰는 일반적인 모델링기법을 사용하여 구할 수 없다. 그렇지만, ANFIS는 정확한 정량적 해석방법을 사용하지 않더라도 지식과 추론과정을 기초로 정성적 특성들을 모델링하는데 유용하게 사용될 수 있다[8]. 따라서, 대부분 현장 전문가의 다소 주관적 결정에 의존하여 도체수명을 진단하는 경우에 이 기법을 실용화할 수 있다.

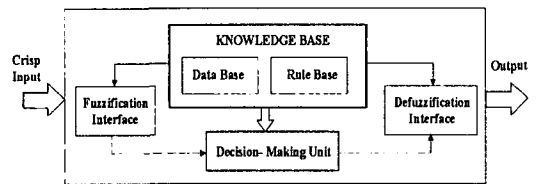


그림 2. 전형적인 FIS의 구성
Fig. 2. Schematic diagram for a typical FIS

퍼지 if-then 규칙을 사용하는 ANFIS는 퍼지규칙기반(fuzzy-ruled-based) 시스템으로 지식과 경험을 퍼지추론시스템(fuzzy inference system : FIS)의 규칙기반과 데이터베이스로 변환한다. 일반적인 FIS는 그림 2와 같은 구조를 갖는다. 퍼지규칙(fuzzy rule)은 불확실한 경우나 부정확한 환경에서 판단할 수 있는 인간능력에 중요한 역할을 하는 추론에 대한 부정확한 모델을 확립하는데 이용될 수 있다. 도체수명의 일반적 예측을 표현하는 예로 'If elapsed years is long, then deterioration grade is high.', 즉, 경년이 길면 열화정도는 높다는 것을 표현한다. 여기서 'long'이나 'high'는 소속함수(membership function)로 특성화된 언어적 변수이다.

도체의 열화진단에서는 환경조건, 재료성분이나 부식현상 등 여러 가지 도체에 미치는 조건들을 적절히 처리하여야 한다. 물론, 열화등급은 경년, 도체규격, 대기질, 부하율 및 기후이력 등에 영향을 받기 때문에 열화등급으로도 도체수명을 결정하기 쉽지 않다. 따라서, 선로에 대한 현장 전문가의 경험이 이러한 애매한 판단상황에서 도움을 줄 수 있다. 그림 1의 진단시스템에서 몇 가지 입력들은 정량적인 변수인 크리스프 요소이나 여전히 불확실성이 존재한

적용 뉴로퍼지 추론시스템을 이용한 가공 송전선의 열화등급 진단

다. 따라서, 진단시스템에 직접 영향을 미치는 변수로 퍼지화가 가능한 파라미터를 선택해야 한다.

3. 진단시스템의 설계와 시험

3.1 입·출력 파라미터의 선정

FIS는 비선형, 시변시스템이나 부정확하게 정의된 입력과 출력의 특성을 가진 시스템일지라도 적당한 모델로 설계할 수 있다. 도체진단시스템에는 그림 1과 같이 여러 가지 입·출력들이 있으나, 도체열화에 비교적 큰 영향을 주는 요소로서 입력을 그림 3과 같이 경년, 환경지표와 도체규격으로 선택하였고, 이 때, 출력은 도체수명 대신 열화등급으로 가정하였다.

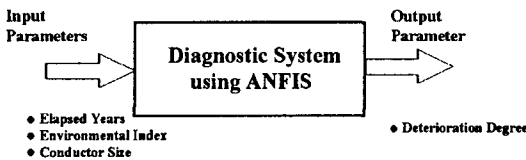


그림 3. 설계된 진단시스템
Fig. 3. A designed diagnostic system

표 1. 환경지표의 분류
Table 1. Classification of environmental index

No.	Descriptions	Index
1	Rural Area	1
2	Rural Area and Small City	2
3	Medium City	3
4	Big City	4
5	Industrial Area	5
6	Marine Area	6
7	City in Coast Area	7
8	Industrial Area near Coast	8
9	Heavy Industry near Coast	9
10	Special Corrosive Area(Refinery etc.)	10

경년은 도체수명을 결정하는 가장 핵심요소이며 비교적 열화상태에 선형적 특성을 나타내므로 정량화가 가능한 유일한 요소이다. 사실, 어떤 회사에서는 단지 경년만을 고려한 수명곡선으로부터 잔존수명을 예측하는 방법을 쓰기도 한다. 이 경우에도 대

부분은 노화도체에 관련된 업무에 종사하는 경험자의 의견을 참고한다.

도체의 경년 이외에 열화에 영향을 주는 중요한 요소는 환경요소이다. 일반적으로 ACSR 도체를 열화시키는 2가지 지배적인 부식기구는 공해와 염해이다[9]. 공해지역에 노출된 ACSR은 먼저 아연도금 강선의 아연층이 부식되고 차츰 강선도 부식되는 대기부식(atmospheric corrosion)이 열화의 주요 원인이 된다. 따라서, 이런 지역의 도체는 주로 강선의 인장강도가 저하된다. 그렇지만, 해안에 가설된 도체는 해풍에 의해 전해부식(galvanic corrosion)이 발생하고 이 때, 도체 강심은 물론 알루미늄 소선에도 강도가 저하된다[10]. 물론, 부식환경은 도시, 산업지역, 청정지역이나 중화학공업단지 등 매우 다양한 특성을 가지므로 환경과 열화 사이는 매우 복잡한 관계를 갖는다. 이러한 환경적 열화조건을 도체진단시스템에서는 표 1과 같이 10 등급으로 분류하였다.

표 2. 도체규격지표
Table 2. Conductor size index

Conductor Size(mm ²)	530	480	410	330	240	160	120	97	95
Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9

도체열화에 미치는 3번째 요소로서 도체의 규격과 그 구조에 대한 영향을 표 2와 같이 9등급으로 선택하였다. 일반적으로 단선은 연선에 비하여, 단층 도체는 다층 도체에 비하여 부식속도가 빠르고 또한 굵기가 가는 도체가 굵은 도체보다 급속히 부식된다. 이것은 도체와 공기오염, 먼지나 수분 등의 외부 오염매체들에 부식의 정도가 달라짐을 의미한다.

3.2 입·출력 소속함수의 설계

진단시스템을 FIS로 설계하기 전에 먼저, 크리스프 변수(crisp variable)로 주어진 입력 데이터들을 적당한 소속함수로 퍼지화해야 한다. 시스템의 동적 특성과 성질들을 토대로 표현된 데이터베이스와 지식기반을 기초로 입·출력 사이의 퍼지규칙이 설계되었다. 이 때, 출력은 추론결과를 비퍼지화하여 구한다. 본 연구에서는 표 3과 같이 5개의 퍼지등급을,

출력은 표 4와 같이 4개로 등급화 하였다.

표 3. 입력 소속함수의 분류

Table 3. Classification of input membership function

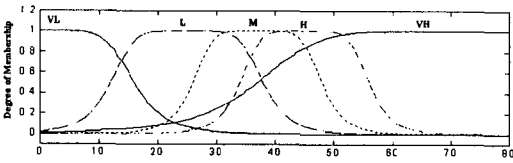
No.	Notations	Descriptions
1	VL	Very Low
2	L	Low
3	M	Medium
4	H	High
5	VH	Very High

열화등급을 나타내는 출력변수는 도체의 유효수명과 직접 관계되지만, 이들을 몇 단계로 정량화하는 경우에도 불확실성이 개입된다. 표 4에서 노화도체에 대한 모든 등급은 입력 데이터를 참고하여 도체 전문가의 경험적 지식으로 결정한다. 불확실성을 내포한 퍼지특성을 나타내는 입·출력변수들 사이를 관련짓기 위하여 그림 4와 같이 입·출력 각각에 대해 5개씩, 총 15개의 소속함수를 선정하였다.

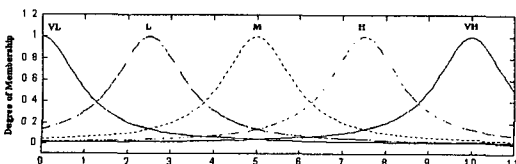
표 4. 출력 소속함수의 분류

Table 4. Classification of output membership function

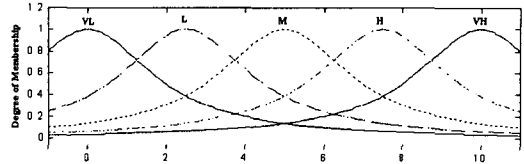
No.	Grade	Descriptions
1	A	Nearly New Condition (열화 없음)
2	B	Normal Status (열화가능)
3	C	Periodically Inspection (부분열화)
4	D	Recommended Refurbishment (심한 열화)



(a) elapsed years



(b) environment index



(c) conductor size index

그림 4. 입력 소속함수

Fig. 4. Input membership functions

입·출력에 대한 소속함수나 ANFIS의 퍼지규칙은 전문가의 지식기반으로 설계되기 때문에, 이 진단시스템의 입·출력 모델이 유일하게 결정되지는 않는다. 따라서, 지식에 기반을 둔 퍼지규칙과 소속함수를 설계한 후, 그 예측출력(prediction output)을 실제 결과와 비교하여 ANFIS의 신뢰성을 확인할 필요가 있다. 실제 예측출력은 일반적인 FIS의 설계출력(desired output)이지만, 이 진단시스템에서 열화등급은 확정된 값으로 설계되지 않았으므로 전문가가 판단한 예측결과로 가정하였다.

표 5. 설계된 퍼지규칙

Table 5. Designed fuzzy rules

No.	Fuzzy Rules
1	1 0 0, 1 (1) : 1
2	2 0 0, 2 (1) : 1
3	3 0 0, 3 (1) : 1
4	4 0 0, 3 (1) : 1
5	5 0 0, 4 (1) : 1
6	2 3 0, 2 (1) : 1
7	3 4 0, 3 (1) : 1
8	4 5 0, 4 (1) : 1
9	1 2 3, 2 (1) : 1
10	2 3 4, 3 (1) : 1
11	3 4 5, 4 (1) : 1
12	4 4 2, 4 (1) : 1
13	4 4 3, 4 (1) : 1
14	3 5 4, 4 (1) : 1
15	3 5 5, 4 (1) : 1
16	2 3 5, 3 (1) : 1
17	3 3 5, 4 (1) : 1
18	1 5 4, 3 (1) : 1
19	2 4 3, 3 (1) : 1
20	3 4 3, 4 (1) : 1

적용 뉴로퍼지 추론시스템을 이용한 가공 송전선의 열화등급 진단

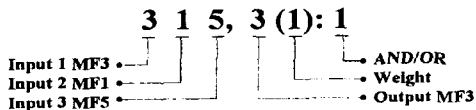


그림 5. 퍼지규칙의 구조
Fig. 5. Configuration of a fuzzy rule

예측출력과 설계출력 사이에도 어느 정도 불확실성이 존재한다. 결국, ANFIS는 예측출력과 설계출력 사이의 오차를 최소가 될 때까지 소속함수와 퍼지규칙을 계속해서 수정해야 한다. 따라서, ANFIS에는 입·출력, 소속함수 및 퍼지규칙 수에 따라 반복회수가 정해진다. 이러한 과정은 ANFIS를 설계하는데 융통성을 부여하지만 계산 상 부담을 증가시키기도 한다. 따라서, 이 문제를 경감시키기 위하여 퍼지규칙 수를 적당하게 설계하는 것이 필요하다. 표 5는 도체 열화등급을 결정하기 위한 3개의 입력 특성을 고려하여 설계한 20개의 퍼지규칙을 보인다. 그림 5는 퍼지규칙의 구조는 한 예를 나타낸다.

3.3 적용 결과

설계한 ANFIS로 도체의 열화등급을 추정하기 위하여, 현재 한국전력공사에서 가설, 운영하고 있는 수원전력관리처 내의 56개 선로를 대상으로 선정하였다. 진단시스템을 설계하기 전에 각 선로에 대하여 경년, 환경지표와 도체규격지표를 표 1과 2에 따라 결정하였고, 열화등급에 대한 출력은 입력 데이터를 토대로 현장 전문가에 의해 추정되었다. 56개 선로를 2부분으로 나누어 한 부분은 훈련 데이터

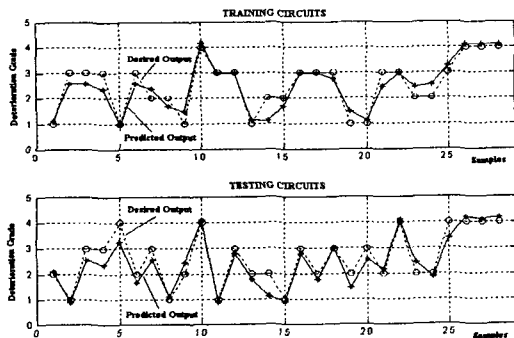


그림 6. 훈련 및 시험 데이터의 추정 결과
Fig. 6. Prediction results for the training and testing data

(training data)로, 다른 한 부분은 시험 데이터 (testing data)로 사용하였다.

현장 선로 담당자에 의해 56개 선로의 열화등급을 경년, 환경지표 및 도체규격지표를 고려하여 정성적인 방법으로 결정하였으므로 실제 추정결과에는 어느 정도 데이터 오차가 존재할 수 있다. 그림 6은 추론 결과로, 도체진단시스템이 매우 다양한 불확실성을 포함하고 있음에도 불구하고 시스템 출력은 설계출력을 잘 추종하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 훈련 및 시험 데이터에 대하여, RMSE(root mean square error) 값이 각각 0.6895 및 0.6790으로 주어진다. 이러한 오차는 일반적인 FIS에서 보다 큰 값이지만 열화에 대한 특성의 불확실성, 비선형성을 고려하면 비교적 양호한 추정결과라고 판단된다.

4. 결 론

송전설비의 경제적인 운용이 요구됨에 따라, 전류용량을 증대시키거나 선로의 보수 및 교체시기를 결정하기 위하여 노화도체의 현재상태를 진단, 평가하는 것이 중요한 문제로 대두되었다. 본 논문에서는 노화된 ACSR 도체의 열화등급을 진단, 추정하기 위한 방법의 하나로 ANFIS를 적용한 진단시스템을 제안하였다. 제안된 진단시스템에서는 도체의 경년, 가설된 환경지표 및 도체규격을 입력으로 선정하였고 유효수명 대신 도체의 열화등급을 출력으로 선택하였다. 적당한 입·출력 소속함수와 퍼지규칙이 전문가의 지식기반을 토대로 설계되었다. 제작된 진단시스템을 실제 사용되고 있는 송전선로에 대하여 적용한 결과, 양호한 진단 결과를 얻을 수 있었다.

References

- (1) D.L. Rudolph, "A systematic approach to the replacement of an aging distribution system", 1997 IEEE Rural Electric Power Conference, A4.1-8, Minneapolis MN, 1997.
- (2) D.G. Harvard et al, "Aged ACSR conductors II: Prediction of remaining life", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 582-595, 1992.
- (3) R.L. Jackson, R.R. Gibbon, J.M. Ferguson and K.G. Lewis, "The Condition of the supergrid and a strategy for refurbishment", International Conference on Revitalizing Transmission and Distribution Systems, pp. 44-48, 1987.

- [4] D.R. Shannon, "Life Expectancy of ACSR Conductors under Live Line and Off-Line Conditions", Shannon Tech. Corp., Technical Report, <http://www.shannontechnology.com/corrosion.html>.
- [5] M.F. Ishac, I.F. Boulos, A.P. Goel and D.J. Horrocks, "Life extension of an existing transmission line", The Seventh international Conference on Transmission and Distribution Construction and Live Line Maintenance, pp. 17-23, Ohio, OH, 1995.
- [6] J. Sutton and K.G. Lewis, "The detection of internal corrosion in steel reinforced aluminum overhead power line conductors", U.K. Corrosion, pp.343-359, 1986.
- [7] Internal Corrosion Detector using Eddy Current Method in Transmission Lines, Tohoku Electric Power Co. and Fujikura Research Center, Technical Report, 1992.
- [8] J.S.R. Jang, C.T. Sun, and E. Mizutani, Neuro-fuzzy and Soft Computing : A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice_Hall, 1997.
- [9] L.I. Persson, "Corrosion attack in mid-span joints in ACSR transmission lines conductors", CRED 1989, 10th International Conf. on Electricity Distribution, Vol. 3, pp. 259~261, 1989.
- [10] K. Adomah, Y. Mizuno and K. Naito, "Probabilistic assessment of the reduction in tensile strength of an overhead transmission lines conductor with reference to climatic data", IEEE ESMO 98 Proceedings, pp. 161-166, Orlando, FL, 1998.

◇ 저자소개 ◇

김성덕 (金成德)

1951년 10월 1일생. 1978년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1988년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1990년~1991년 Australian National University 객원교수. 2000년~2001년 미국 Kansas State University 객원교수. 현재 한밭대학교 전기·전자·제어공학부 교수.

이상래 (李相來)

1948년 8월 2일생. 1972년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1981년 단국대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1992년 아주대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 현재 한밭대학교 전기·전자·제어공학부 교수.