

컴퓨터를 이용한 전력케이블 시스템의 운용 및 진단기술

이 종 범

원광대학교 공대 전기공학과 조교수

1. 서 론

도심지에 주로 포설되어 운용되고 있는 지중케이블 시스템은 가공 시스템에 비해 편리성과 우수한 주변환경 효과를 갖추고 있어 국내외에서 계속 증설되고 있으며, 이러한 현상은 앞으로도 계속될 전망이다.¹⁾

그러나 지중케이블 시스템은 가공 시스템의 경우와는 달리 시스템내에서 고장이 발생하면 고장점의 탐지와 보수에 걸리는 시간이 매우 길어 수용가에 장시간의 막대한 불편함을 주기도 한다. 따라서 전력케이블 운전의 중요성은 매우 중요하여 케이블 시스템에 관련된 여러 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 최근 관련기관 및 학교를 중심으로 연구가 시작되었는데 이러한 연구활기는 케이블 시스템의 운전과 더 나아가 전력 시스템의 안전운용에 크게 이바지하리라 사료된다.²⁾

한편 최근 하루가 다르게 발달하고 있는 컴퓨터 기술은 산업의 여러 분야에 폭넓게 적용되어

많은 발전을 이룩하였으며, 그 적용결과도 매우 높히 평가받고 있다. 그러나 케이블 분야에 대해서는 해외의 다른 분야 연구동향과 비교하여 볼 때 아직은 초기단계에 있고, 실험 자체에 더욱 집중되어 있는 경향이 있으며 설계, 운용 및 진단분야에 대해서는 분야에 따라 점진적으로 연구가 진행되고 있는 단계에 있다.^{3-10,12,13)} 국내의 현황을 보면 극히 일부 분야를 제외하고는 거의 전무한 상태에 있으며,^{11,14)} 따라서 고전압차원에서 측정 및 분석도 중요하나 이를 해석하여 결론에 이르게 하는 케이블 시스템에 대한 컴퓨터 적용기술의 개발이 절실히 요망되고 있다고 하겠다.

본고에서는 이 분야의 활성화를 위하여 국내외의 연구동향 및 전망을 소개하고자 한다. 최근 여러 분야에서 그 기술이 발달되어 적용되고 있는 컴퓨터를 이용한 Expert System, Neural Network 및 Fuzzy 등의 기술과 Package Program 등의 적용사례 및 특징과 그 적용결과와 효용성 등을 기술하여 케이블 시스템 분야의 연구방향 정립에 참고가 되고자 한다.

2. Expert System의 적용

2.1 열화진단

CRIEPI에서는 Waseda대학과 함께 종래의 단일시험법만을 이용한 열화진단방법 대신 철저한 케이블을 다수 모아서 이로부터 여러 개의 다중 시험법을 이용한 종합적 판단을 시험하였으며, 또한 절연파괴전압 및 잔존수명까지 추정하였다.³⁾

이러한 시스템을 위해 입력 Data로 이용한 시험법은 $\tan \delta$ 법, 잔류전압법, 수 tree 최대길이법, 직류성분법 및 정전용량법 등이며, CRIEPI가 갖고 있는 많은 양의 Back Data를 이용하였다.

시스템의 구성을 보면 열화진단 Data 입력, 열화진단, 수명예측, Back Data 입력, Graphic 화면 및 Data Base 등을 Menu 방식으로 선택할 수 있도록 하였다. 또한 열화진단부는 인공지능어 OPS 83, OPS 83으로 된 Rule, OPS 83의 추론엔진 Shell, C언어 Subroutine, 화면제어 등의 Subroutine으로 구성되어 있다. 한편, 열화진단 Data 입력을 보면

(a) 시험 Data

$\tan \delta$, 직류누설전류, 잔류전하, 잔류전압, 수 tree 최대길이, 정전용량 및 직류성분

(b) 기타 Data

조사일, 제조일, 매설년도, 케이블 구조(E-E, E-T, T-T), 매설장소, 매설조건, 사용조건(사용빈도), 절연체 두께

이며, 그림 1은 이 시스템에서의 Data 입력화면을 보이고 있다.

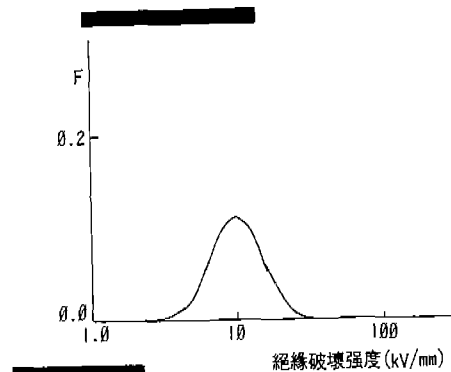
이 시스템은 7개중 직류성분, 정전용량을 제외한 5개만을 파괴치를 구하는 추론에 이용하였다. 또한 열화진단을 위해서는 다음의 Rule을 사용하였다.

- ① Back Data가 많은 Data를 우선
- ② 입력 Data 가운데 가장 신뢰성이 있는 것을 우선

誘電正接	[%]	0.01...
直流通電流	[μ A]	0.05...
殘留電壓	[kV]	2.0...
殘留電荷	[pC]
水트리길이	[mm]
直流通分	[nA]
靜電容量	[pF]
케이블길이	[m]	100.0...
		4.4.....

↑↓로 入力할 수 있는 항목을 선택하고 측정치를 入力하시오. 측정치가 없는 경우는 빠시오.

<그림 1> Data 입력화면의 예(일본자료)

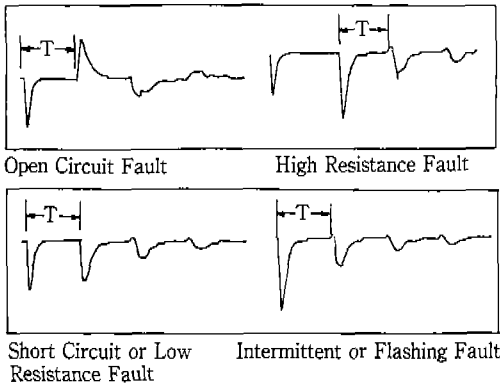


<그림 2> 결과화면의 예

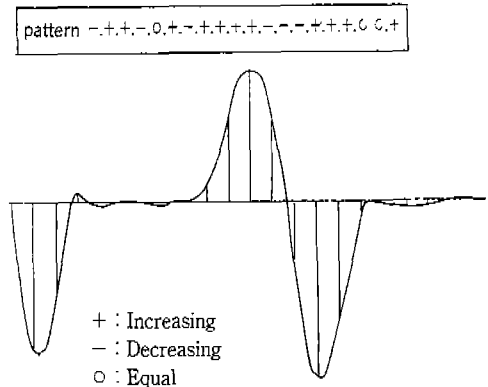
- ③ 입력 Data 가운데 파괴치와 직접 상관이 있는 Data를 우선
 - ④ 수 tree나 최대길이는 입력 안함
 - ⑤ 각 Data의 상관관계 적용
 - ⑥ 케이블이 길면 직류법을 우선
- 추론결과의 한 예를 보면, 이용 Data로서 $\tan \delta$ 가 0.01%, 누설전류가 0.05 μ A, 잔류전압이 5.0 kV, 케이블 길이가 100[m]일 때, 파괴강도의 평균은 13.25kV이며, 표준편차는 0.18이었다. 그림 2는 결과화면을 보이고 있다.

2.2 고장점 파악

영국 Warwick대학에서는 ICE(Impulse Cur-



<그림 3> 대표적인 과도시의 전류파형



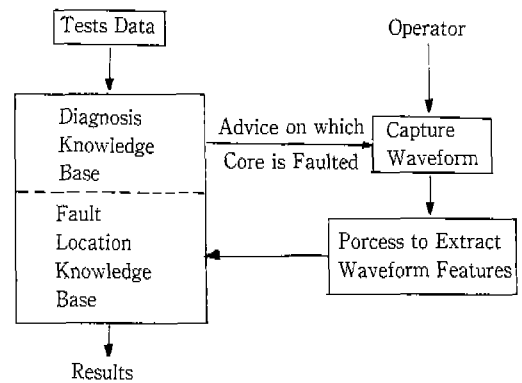
<그림 4> 사용된 패턴

rent Equipment)를 이용한 Impulse Current Method를 사용하여 고장점의 파악을 시도하였다. 이것은 케이블의 종류에 관계없이 진행과 원리를 이용한 것으로서, DC 고전압을 인가시킨 경우 또는 Surge로 고장케이블에서 불이 나면 케이블 파괴시에 생기는 전류과도현상을 이용한 것으로 이 과도현상은 컴퓨터에 입력된 후 Digital 기록이 가능한 ICE에 전달된다. 그림 3은 연구진이 측정한 대표적인 과도시의 전류파형이다.

ICE를 사용하여 Oscilloscope 화면에 나타난 파형에서 두 점 사이의 시간축정도로 모든 고장 종류의 고장위치를 알 수 있으며, 사용된 Knowledge는 대부분 IF~THEN의 형식으로 표현된다. 즉 파형의 둘째 첨두부분이 첫째부분보다 작으면 Short 사고 혹은 저저항고장이 되는 등, 여러 실험을 통해서 얻어내었다고 보고하고 있다.

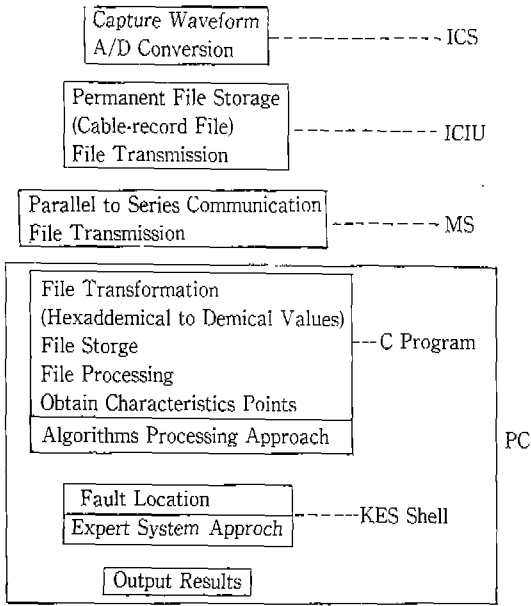
Expert System을 사용하기 위하여서는 과도적인 파형을 사용하였고, 시스템은 파형이 두 인접점 사이에 경향이 증가, 감소 및 평형인가를 패턴화하여 사용하는데, 사용된 패턴은 그림 4와 같으며, 이 특징점은 고장의 위치, 종류를 얻어내도록 Expert System의 지식 Base로 사용된다. 여기서 Expert System의 일반적인 개념은 그림 5와 같다.

고장점 탐지문제를 위한 첫번째 순서는 3상의



<그림 5> 고장점 파악을 위한 Expert System의 일반적인 개념

케이블 절연저항 및 그 값의 연속성을 시험하며, 이것이 이루어졌으면 그 측정치는 고장상과 고장형태, DC Surge가 주입된 케이블이 어느 상인가를 추론할 Expert System에 입력된다. 이러한 Surge Test로부터 과도파형은 그림 6과 같은 A/D 변환기를 통해 PC의 Data File에 수록된다. 또한 과도파형의 특성은 Expert System으로 추출되며, 이 정보로 Expert System은 고장형태 및 위치파악을 위해 지식 Base에서 구성된 지식을 사용한다. 그 이후 사용자는 정확히 위치 확인을 위해 결과로 나타난 장소 근처에서 Pin Point



<그림 6> 시스템 구조

시험단계를 수행하게 된다.

ICS(Impulse Current System)는 Surge Generator, Impulse Current Equipment(ICE), Test Lead로 구성되어 있으며, 진단시 고장케이블의 파형을 모은다. 또한 ICIU(Interface Unit)는 모아진 파형의 Data File은 영구적으로 저장해준다. 현재는 Cassette Tape만 가능하다.

한편, Simulation Test에서 Cassette Tape에 기록된 일반적인 파형이 여러 주변장치 및 Tape ICIU를 이용하여 ICE에 Display된다. 그리고 ICIU와 PC 사이의 Data 전송은 Microcomputer System에 기초한 Minion이라는 개발 시스템에 의해 이루어진다. 실제로 직렬 통신선로에 의거한 Interface Card를 사용하여 ICE에서 PC로 직접 Data가 전송되는데, 그림 6은 이 장치의 시스템 구조이다.

추론은 세 가지 형태인 제작 Rule, 가정 및 시험, 통계로 되어 있으며, 지식은 Rule의 형태로 표시되는데, 지식 Base는 다음 구조로 되어 있다.

① Diagnosis Knowledge

진단시험으로부터 건전상과 고장상을 구별한다.

② Algorithmic Program Knowledge

고장케이블의 과도파형에서 특징을 얻어내며 파형은 $0.05\mu s$ 마다 Sampling하며, 두 점 사이에 파형경향의 증가는 상황을 시험하는 패턴 Matching 기술이 사용된다.

③ Data Validation Module

Data의 사실 여부를 확인한다.

④ Fault Type Knowledge

진단시험 결과와 알고리즘 프로그램에 근거하여 고장형태를 추론한다.

⑤ Fault Location Knowledge

고장거리를 산정한다.

앞으로의 계획으로 인공 신경회로망의 사용, 자기인식 시스템 등을 이용하여 Field의 적용을 계획하고 있다고 한다.

2.3 케이블 Design

케이블 Design은 Multi-task, Joint-effort 및 실제경험을 동반하는 것으로 기계, 전기 및 열적 현상을 충분히 고려하여야 하는데, Ontario Hydro와 함께 CEA(Canadian Electrical Association)에서는 여러 가지 케이블 요소의 선택을 통해 합리적이고도 경제적인 설계를 수행하였다고 한다.⁵⁾

이것은 케이블 허용용량 및 온도상승계산 프로그램과 설계용 Expert System과는 근본적인 차이점이 있다고 한다. 재래식은 주어진 케이블 성분, 크기 및 건설 Data에 근거하여 허용용량이나 온도를 구하는 것이며, 케이블 해석 프로그램을 사용하기에 앞서 설계자는 요구에 알맞는 가능한 형태 및 크기 등을 추론 내지 결정하기 위해 빠른 수계산을 하여야 한다. 한편 이러한 과제를 수행함에 있어서 케이블 기술자는 정보와 분명한 내용들을 찾아 조합할 것이며, 필요한 케이블의

형태 및 크기에 관한 결론을 유도해 낼 것이다. 이 시스템은 사실과 정보를 조합, 해석하는 인식 작업을 수행할 때 케이블 기술자를 지원해 주는데 그 목적이 있으며, 이렇게 함으로써 두 가지 이득이 있다고 한다. 첫째는, 설계과정의 신속화와 조직화이며, 두번째는 실수확률을 줄이고 결론을 확신시켜준다는 것이다. 연구과정을 살펴보면 다음과 같다.

- ① Expert System에서 필요로 하는 케이블 설계 필요조건
- ② Expert System에 의한 설계 범위
- ③ 케이블 설계를 위한 Expert System 개발
 - 일반적인 구성 및 응용개발
 - 지식 Base 구조 및 구성
 - 응용, 형식, 목적, 상수
 - 응용, 규칙
- 또한 지식 Base 및 응용규칙은 다음 사항으로 이루어 졌다.
 - 이론에 근거하여 얻은 규칙
 - 상세한 용량계산으로 얻은 규칙과 Data
 - 전문가의 지식과 경험으로 얻은 규칙
 - 사전 케이블 Design의 시나리오에서 수집된 규칙과 Data
- ④ Sample Expert System의 개발 및 적용과 시험
- ⑤ 평가 및 추천

지식 Base는 상위와 하위의 구조로 되어 있는데 여기서는 생략하겠다. 일반적으로 케이블의 설계자는 사용자가 제시하는 정격부하 및 시스템 최대전압, 케이블의 단락용량, BIL, Surge 보호, 상정사고 고려시 새로운 케이블의 병입, 전체부하 및 부하율, 토양온도 등이 하계 및 동계에 대해 제시되어야 한다.

이 시스템은 상세한 케이블의 설계로서 도체 굵기, 도체 및 절연체·차폐의 재료 및 두께, 절연체의 재료 종류, 굵기 결정, 납 알루미늄 등의 Sheath 종류 및 두께를 선정하며, 중성선의 가닥 수 및 굵기 등을 제시한다. 또한 POF 케이블을

위해서는 세 종류의 크기 가운데서 선정하며, Duct는 이류 위한 여러 Data Base에서 선정한다. 그리고 전체적인 케이블 직경을 제시하며, 접지(접지종류 및 단극 또는 다극접지)가 프로그램으로 선택된다. 한편, 이에 대한 결과를 화면으로 전개할 경우 결과화면은 다음의 내용들을 보이게 된다.

- ① Design된 케이블의 단면적
- ② 여러 부분의 치수
- ③ 여러 부분의 재료선정
- ④ 과제성격 및 기타 일반적인 정보

이 시스템은 최적의 가능성이 있는 해를 추론하는 증명된 실제적인 방법을 이용하여 케이블 Design에 임하였다고 한다. 따라서 여기서 제시하고 있는 SMART-LAELE이라는 시스템은 케이블 전문가를 대신할 수 있으며, Design 과정의 효율성을 개선할 수 있다고 한다.

3. Neural Network의 적용

3·1 고장진단 및 부분방전

Sumitomo와 동경전기대학은 공동으로 절연과 피가 발생되기 전에 발생하는 부분방전을 패턴인식 기능의 자기조직화 능력에 우수한 인공 Neural Network를 이용하여 사전에 인식, 검토하는 방법을 발표하였다.⁶⁾

실제 포설된 케이블에서 코로나 잡음을 검출하려면 외부환경 영향을 많이 받아 잡음이 검출되기 때문에 신호가 코로나에 의한 것인가, 아니면 외부잡음에 의한 것인가를 알기가 곤란하다. 이 연구에서는 케이블에 Digital Storage Oscilloscope를 접속하여 두 Channel을 동시에 계속하며, 얻은 파형으로부터 전문가가 어떻게 코로나 및 잡음에 의한 파형패턴을 분류하는가의 식별능력을 인공적 Neural Network를 이용하여 실험한 것이다.

Neural Network로의 입력 Data는 코로나와

잡음은 200MHz로 Sampling한 후 파형의 정상에서 각 Channel에 50 Point씩 절단하고 진폭을 -1~+1로 정규화하여 사용했다.

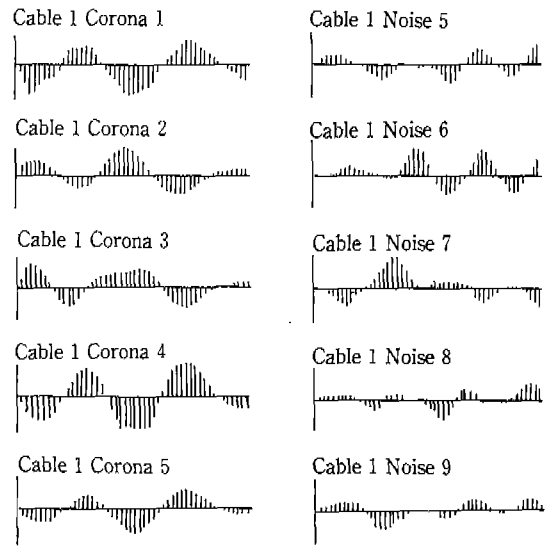
이 연구에서는 경험적 사실을 참고로 Channel 파형만을 Neural Network의 입력으로 하였다. 즉 파형의 특징만으로부터 코로나와 잡음의 식별이 가능한가 아닌가를 검토하였으며, Data로서는 케이블 4개, 파형 Data는 잡음 Data 42개, 코로나 Data 31개, 합계 73개의 Data를 사용하였다.

해석을 위해서는 입력층, 중간층 및 출력층의 3층 구조를 갖는 Feed-forward Type의 Neural Network를 이용했으며, 각 층의 Neuron은 입력층 50개, 중간층 4~16개, 출력층 2개이다. 학습은 BP(Back Propagation)법에 의해 수행되었으며, Weight의 초기치는 난수로 선정하였지만 500~5000회 내에도 종료조건에 만족되지 않으면 Local Minimum으로 판단하고 새로운 초기치로 다시 학습한다. 또한 5회 반복시도 학습목표가 안되면 중간층의 Neuron수가 부족하다고 판단한다.

그림 7은 학습용 입력 Data의 Set이며, BP법을 통해 얻은 출력상태는 정확히 Noise와 코로나가 나타남을 보였다고 한다.

그러나 Data 입력파형은 Sampling Point에 따라 인식에 대한 오차율이 매우 달라진다고 제시하고 있으며, 실제 사용장소에서 학습의 방법으로 개개의 사용환경에 적응시키는 것과 미학습 Data에 대처하기 위해 Neural Network의 일반화 능력을 향상시키는 방법의 연구, 케이블 파형의 통계적인 성질과 이것을 이용한 초기치 산정, 종래의 다변량 해석과의 비교, 학습에 이용하는 Data Set의 추출법 등이 금후의 과제라고 언급하고 있다.

또다른 연구로서 Hitachi 케이블에서는 XLPE 케이블에서 Noise로부터 PD의 자동식별을 위한 인공지능 Processor에 기초한 Neural Network를 연구하여 제시하였는데,⁷⁾ 이 방법에서 Neural Network의 구조는 3층구조로서 PD 패턴은 BP



<그림 7> 학습용 입력 Data의 Set

법으로 학습하였다. Neuron수는 입력층, 중간층 및 출력층이 320, 20 및 3개로서 되어 있으며, PD는 침전극으로 측정되었다.

3·2 누유판정

154kV OF 케이블 선로의 설비유지보수 가운데 절연유의 관리는 중요한 항목중의 하나이므로 Showa 전선과 동부전력에서는 약 1년반 정도에 걸쳐 케이블의 유량변화 Data를 수집하여 해석한 후 Neural Network를 이용한 Computer에 의해 자동적으로 누유를 판정할 수 있도록 하였다.⁸⁾ 이를 위하여서는 먼저 유량과 케이블 표면온도 및 부하전류 등의 변화를 측정하였으며, 또한 10분 주기로 유량의 변화 Data를 얻었다. 이로부터 실제의 Step상의 유량변화와 누유상태를 발견하는 방법으로는

- ① 10분간 유량감소치
- ② 유량감소의 계속회수
- ③ 10분전 유량감소치와 비율(C_1)
- ④ C_1 과 20분전 유량감소치와의 비율 C_2 와의

곱($C_1 \times C_2$)

등을 입력 Data로 하였고 3층으로 구성되는 BP Neural Network를 구성하여 검토하였다. 여기서 출력기대치는 정상 Data를 0으로, 누유 Data를 0.9~1.0으로 하였으며, 아울러 누유량도 판정하도록 하였다.

4. Fuzzy 이론의 적용

4.1 열화진단

동해대학에서는 절연열화진단을 위한 Expert System에 Fuzzy 이론을 도입한 Proto Type을 구축하여 현장전문 기술자에 의한 진단결과와 비교하여 높은 일치율을 얻었다고 한다.⁹⁾ 여기서는 Fuzzy 추론부의 Membership Function을 수정해서 조정하고 차후 파괴전압의 추정기능도 첨가하였다.

지식 Base로서는 교류파괴전압의 상관성과 현장에서의 실적을 고려하여 직류누설전류법, 직류성분법, $\tan \delta$, 메거 저항법, 잔류전압법, 직류전압중첩법, 부분방전법, Sheath의 양호, 불량여부를 사용하였다.

Fuzzy 추론으로서 각 판정항목에 대해서는 양호, 요주의, 불량으로 나누고, 요주의는 낮은 열

화를 [NOTICE], 중간열화를 [CAUTION], 열화가 진행된 경우를 [WARNING]으로 구분하였으며, Fuzzy 추론규칙에 대해 진단정보가 입력되면 Fuzzy 관계의 합성규칙에 의해 추론이 행하여진다. 즉, n 개의 Fuzzy 추론규칙 $L^1 \sim L^n$ 이 있을 때에는 다음의 or 결합으로 표시된다.

L^1 : if X_1 is A_{11} and X_2 is A_{12} then Y is B_1

or

L^2 : if X_1 is A_{21} and X_2 is A_{22} then Y is B_2

or

⋮

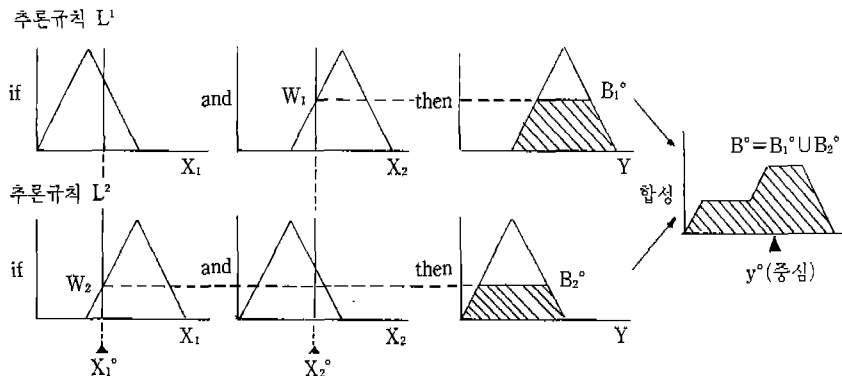
L^n : if X_1 is A_{n1} and X_2 is A_{n2} then Y is B_n

이것을 나타내면 그림 8과 같다.

그림 8에서 입력 X_1° , X_2° 가 얻어지면 각 규칙의 적합도 W_1 , W_2 를 계산한다. 다음에 규칙마다 추론결과 B° 를 구하므로 이들의 합성을 통해 그 중심값 Y° 가 추론결과가 된다.

시스템을 위하여서는 OPS 83 언어를 시스템 구축언어로 사용하였으며, 추론부에서 계산처리와 입력화면, 결론화면, 차후 파괴전압의 추정화면 등이 제시되고 있다.

추론은 절연진단 Data를 입력하면 케이블의 사용년수, 제조형식, 목시점검의 결과 등을 참고로 하여 수 tree 열화, 절연체의 흡습, Sheath 열화 등의 가설을 생성한다. 다음에 생성된 가설을 가

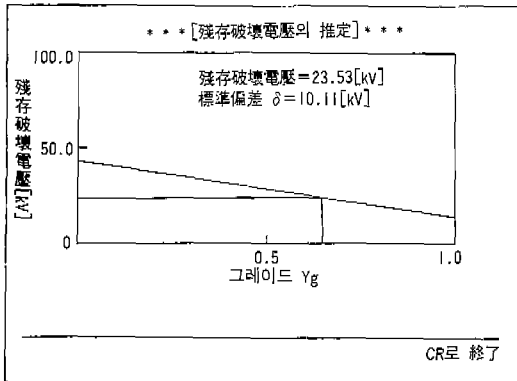
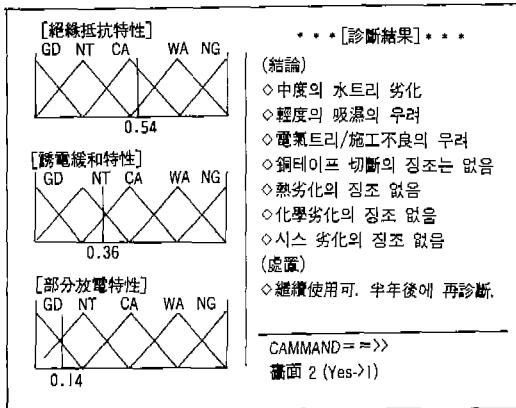


<그림 8> Fuzzy 추론의 개념도

능성이 높다고 생각되는 순으로 검증한다. 출력화면의 예를 보면 그림 9와 같다.

또한 CRIEPI에서는 Fuzzy 이론을 이용하여 열화진단용 Expert System을 연구하였는데¹⁰⁾, Proto Type에 내장되어 있는 Data Base와 그 특징은 다음과 같다.

- ① $\tan \delta$ (파괴치와 상관관계가 좋고 Data양도 많이 있다.)
- ② 직류누설전류 : 구조적 열화 및 파괴치의 상관관계가 좋다.
- ③ 잔류전압, 잔류전하를 사용하였다.
- ④ 활선진단으로서 직류성분, 접지선 전류, 최대 수 tree 길이 등을 사용하였다.



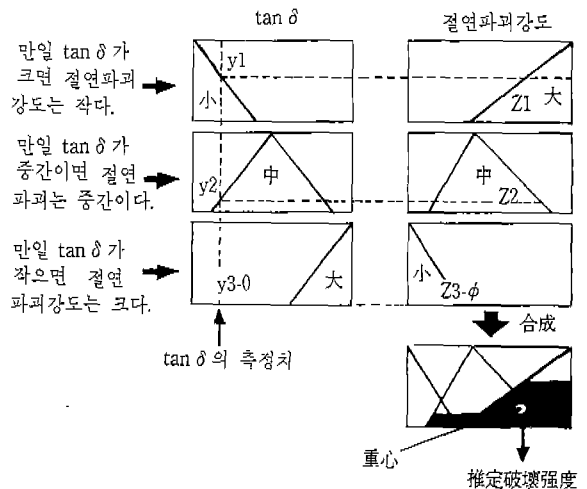
(b) 파괴전압의 추정화면

<그림 9> 출력화면의 예(일본자료)

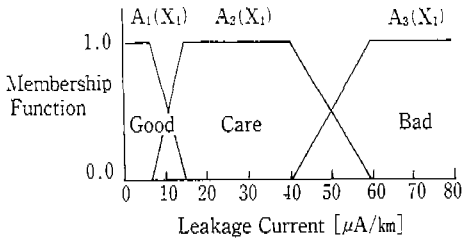
절연파괴전압추정 알고리즘으로서는 $\tan \delta$ 를 이용하였으며, Fuzzy 추론을 이용하여 3개의 Membership 함수를 만들고 이를 이용하여 파괴강도를 추정하였다. 즉 $\tan \delta$ 의 값이 큰 것은 TL, 중간은 TM, 작은 것을 TS의 Membership 함수로 표현하고, 그림 10과 같이 어떤 $\tan \delta$ 값에 대해 TL이 y_1 , TM이 y_2 , TS가 y_3 일 때에 BS는 Z1, BM은 Z2, BL은 Z3 정도가 되고, 이 분포함수 Z1, Z2, Z3의 Membership 함수를 합성하여 그 중심을 계산하여서 추론토록 하였다.

또한 원광대에서는 우리나라에서 현장의 열화진단 경우 손쉽게 적용할 수 있도록 하기 위하여 국내에서 6.6kV 및 22kV 케이블에 대해 측정될 수 있는 Data만을 지식 Base로 하여 Expert System을 구축하였다.¹¹⁾ 이용된 Data는 직류누설전류, 절연저항, 직류감쇠전압의 측정치이며, 추후의 이용을 위하여 $\tan \delta$, 부분방전량, 저주파 절연저항 등을 Rule로 포함시켰다.

Fuzzy 이론은 Membership 함수를 양호, 주의, 불량별로 진단 Base마다 구성하였고, 측정치에 따라 Membership 함수가 큰 것을 그 측정치의 판정으로 보며, 종합판정은 전체 가운데 가장 큰 Membership 함수를 갖는 판정을 사용하였다.



<그림 10> Fuzzy 추론에 의한 절연파괴강도의 추정



<그림 11> 누설전류 Membership 함수의 구성

또한 각 판정영역마다의 경계가 비현실적임을 염두에 두고 Membership 함수를 구성하였다. Membership 함수중 누설전류의 경우는 그림 11과 같다.

입력화면의 예를 나타내면 그림 12와 같다. 또한 각 판정형태 경계치의 좌우 Membership 함수의 합리적인 최적선정의 연구와 신뢰성 있는 풍부한 Data가 있을 경우에 파괴전압과 수명예측을 여러 종류의 진단 Data로부터 제시할 예정이며, 아울러 여러 종류의 지식 Base로부터 Fuzzy Relation Matrix를 만들고, 이것을 이용하여 Rule과 Fact를 구성하여서 진단에 이용할 예정이라고 한다.

5. 지중케이블 공사관리 시스템

일본 북해도전력은 지중배전설비의 급증에 따라 이를 효과적으로 관리하기 위하여 Mitsubishi

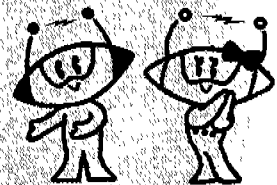
화일보기 입력쓰기 결과보기 끝내기		현재 : CABLE1.EXP
환경 (6.6kV) 절연저항 직류감쇠전압 직류누설전류 tan δ 측정 저주파저항 부분방전량	사용기기명 시험전압[kV] A상누설전류 B상누설전류 C상누설전류	내전압시험기 10.00
환경 (22kV) 절연저항 직류감쇠전압 직류누설전류 tan δ 측정 저주파저항 부분방전량	1분 자료 2분 자료 3분 자료 4분 자료 5분 자료 6분 자료 7분 자료 8분 자료 9분 자료 10분 자료	1.50 1.41 1.30 1.25
1993년 2월 10일 19시 7분 35초 메뉴이동 : 방향키 선택 : 리턴키 취소/복귀 : ESC		

<그림 12> 입력화면의 예

와 공동으로 CAD기술을 이용하여 지중배전설비의 Design 및 관리를 컴퓨터에 의해 자동처리하는 지중케이블 공사관리 시스템을 개발하여 사용중에 있다.¹²⁾

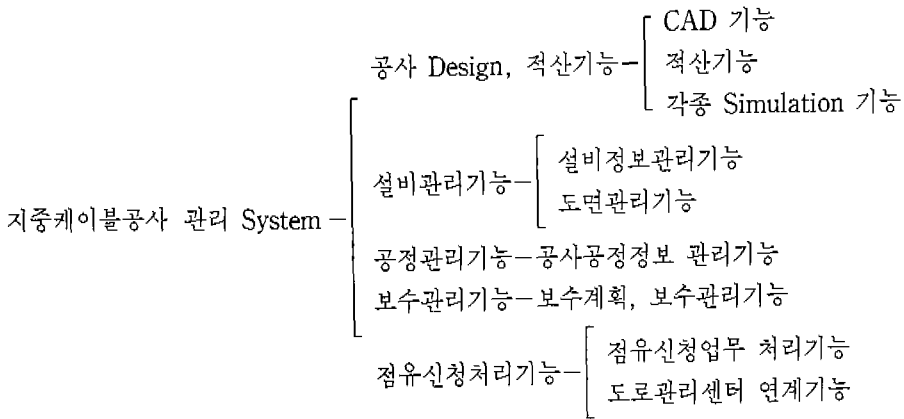
이 시스템은 CAD를 이용하여 도면설계에서 구조해석 및 수량계산까지 일괄 처리하며 공사 완성후에도 공사비 정산에서 설비관리에 이르기까지 자동연계하는 시스템이다. 이를 위한 장치로서는 Data처리용 Super Minicomputer, 영업소에서 CAD에 의한 Design을 하는 EWS(Engineering Workstation), 도면출력용의 Color Plotter

세계를 한곳에 미래를 한눈에



'93 대전 EXPO

1993. 8. 7 ~ 11. 7



등으로 구성되어 있으며, 각 기관 사이는 고속의 Bus Type LAN으로 접속되어 있다. 또한 Minicomputer 본체는 Host computer와의 OSI (Open Type System Interface) 연계에 의해 공사단가 등의 각종 Data를 공급받는다. 한편 시스템이 처리하고 있는 기능을 보면 위 표와 같다.

아울러 앞으로 CAD에 의한 Design시 케이블의 장력과 각종 강도계산, 케이블 시스템 Simulation, 도로점유 신청서류의 자동작성개발을 추가하며, 변전소의 공사, 교량첨가 공사 등에도 CAD에 의한 Design을 할 수 있도록 화상처리를 병용한 설계처리방법의 추가를 검토하고 있다고 언급하고 있다.

6. 케이블 송전용량 계산 Program

Ontario Hydro, Cyme International 등에서는 CEA(Canadian Electrical Association)의 후원하에 PC를 이용하여 전력케이블의 송전용량을 자동으로 계산하여 사용할 수 있는 Program인 CAP(Cable Ampacity Program)을 개발하였다.¹³⁾ 이 Program의 특징은 다음과 같은 내용을 갖고 있다.

- ① 정상상태와 과도상태에서의 계산을 수행하기 위해 필요한 Data의 수집을 위한

Program

- ② IEC Standard Publication 287을 근거로 하여 정상상태시의 해석을 위한 Program으로서 동일 부하시와 동일하지 않은 부하일 경우의 송전용량을 계산한다. 아울러 여러 케이블의 온도계산을 수행한다
- ③ 과도시의 해석수행을 위한 Program으로서 여기서는 사용자가 쉽게 각 케이블의 부하곡선 및 최대전류 등을 볼 수 있도록 하였다.
- ④ 모든 Program을 지원하는 File
- ⑤ 정상시와 과도시의 화면출력용 Graphic Program

7. 기 타

미국의 Underground System Inc.에서는 컴퓨터 및 측정 시스템과 주변장치를 이용하여 Remote Terminal Unit 등을 개발하고, 이를 바탕으로 UPRATE(Underground Power Rating and Temperature Estimation) System을 구성하였다. 따라서 이를 이용하여 기존의 케이블 용량해석과는 다른 동적용량을 평가하는 시스템을 개발하여 현장에서 효과적으로 사용하고 있다.

한편, 한국전력은 금성, KERI와 공동으로 전력구에 포설되어 있는 전력케이블의 고신뢰성 운

전을 도모하기 위하여 누설동축케이블(LCX)에 음성신호 뿐만 아니라 Data 신호와 화상신호를 동시에 전송하는 지하전력구 통신 및 감시제어 시스템을 개발하여 설치, 운용하고 있다.¹⁴⁾ 따라서 전력구내의 여러 가지 감시 및 조작이 자동적으로 이루어지고 있는데, 차기 대용량 지중송전인 345kV 케이블의 운전을 앞두고 이러한 감시제어 시스템의 발전으로 더욱 신뢰성 있는 운전이 이루어질 것으로 사료된다.

8. 결 론

지금까지 전력케이블 시스템에서의 다양한 컴퓨터 적용기술의 현황에 대해 기술하였다. 본고에서 언급한 내용은 거의 대부분이 우리나라의 케이블 관련연구 및 운용현장에서는 전혀 적용하지

않고 있는 기술로서 다른 분야의 활발한 연구상황과는 달리 국내의 전력케이블 시스템 분야에 대한 컴퓨터 적용기술은 매우 낙후되어 있다고 할 수밖에 없다. 이는 케이블의 제조 및 포설과 이에 관련된 여러 가지 시험에도 연구해야 할 분야가 많고, 각종 Data도 부족하여 컴퓨터 적용까지는 많은 거리감이 있을지는 모르지만 또한 고전압분야의 각종 관련시험만으로 족하다는 연구의 안주경향도 문제라고 할 수 있다. 이제 국내에서도 전력케이블 연구회도 조직되어 본격적인 연구의 협력체제에 들어갔고 이 분야의 연구인력과 사용자 등 관련자도 증가하고 있으므로 하루가 다르게 발달하고 여러 가지 효용성을 제공하고 있는 컴퓨터를 이용한 관련기술을 전력케이블 시스템에 적용하여 실제 현장에서의 전력케이블 시스템 운전이 크게 기여하게 될 것을 기대한다.

<참 고 문 헌>

- 1) 한국전력공사 : "배전용 CN-CV 케이블과 접속재의 열화사고 방지대책에 관한 연구", 한국전력공사 기술연구원, 1991.
- 2) J.B. Lee ; "Investigation on Diagnosis of Insulation Deterioration in Live-line Distribution Power Cables in Korea", IEEE, Shanghi Subsection, pp. 94~98 1992.10
- 3) S.Iwamoto, et al. : "An Expert System for Diagnosing Deteriorations and Forecasting Lives of XLPE Cables", T. IEE Japan, Vol. 110-B, No. 4, pp. 277~285, 1990.
- 4) K. K. Kuan, et al.:"Real-time Expert System for Fault Location High Voltage Underground Distribution Cables", IEE Proc.- C, Vol. 139, No. 3, pp. 235~240, May 1992.
- 5) M. A. El-Kady, et al.:"A Knowledge Base System for Power Cable Design", IEE/PES TD Conference 371-6, 1989.
- 6) M. Seki, et al.:"Fault Diagnosis of Power Cables by Neural Network", T. IEE Japan, Vol. 110-D, No. 3 pp. 273~280, 1990
- 7) H. Suzuki, et al : "Recognition of Partial Discharge in XLPE Cables Using a Neural Network", T. IEE Conference, pp. 12~74~75, 1991.
- 8) S. Atsumi, et al. : "Judgement upon Oil Leakage of Oil-Filled Cable Applying Artificial Neural Network", T. IEE, Conference, Power and Energy, pp 470~471, 1992.
- 9) 菅野 泰, 他 : "Fuzzy理論を利用したCV Cableの絶縁劣化診断 Expert System, pp. 29~36, DEI-91-13
- 10) T. Okamoto, et al. : "Prototype of an Expert System for 6.6kV XLPE Cable Insulation Diagnosis", CRIEPI, Yokosuka Research Lab Report No W90041, 1991.
- 11) 이종범 : "지중배전케이블의 절연열화진단을 위한 Expert System 구축에 관한 연구", CIGRE 한국국내 위원회, 전력케이블연구회 Symposium, 1993.
- 12) 結城 勳, 他 : "地中 Cable 工事管理 System 開發", 電氣現場技術, pp. 69~76, 1991.3
- 13) G.J. Anders, et al. : "Advanced Computer Programs for Power Cable Ampacity Calculations", IEEE Computer Applications in Power, pp. 42~46, July, 1990.
- 14) 박원근 : "고품질 송전선로를 위한 광응용 감시제어 System", 대한전기학회, 추계학술대회, 1991.