

# 가스절연변전소 피뢰설비의 관리를 위한 전문가 시스템 개발

조영진\* · 박대원\* · 최수연\* · 길경석\*

\*한국해양대학교 전기전자공학부

## Development of an Expert System for Supervising GIS Arrester Facilities

Young-Jin Cho\* · Dae-Won Park\* · Su-Yeon Choi\* · Gyung-Suk Kil\*

\*Division of Electrical and Electronics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 본 논문은 가스절연변전소에 설치되어 있는 피뢰설비를 대상으로 상태감시와 열화진단이 가능한 전문가 시스템의 설계 및 구현에 대하여 기술하였다. 제안한 전문가 시스템은 데이터 송수신 모듈, 데이터 처리 모듈, 데이터베이스 모듈 및 JESS(Java Expert System Shell) 기반의 열화진단 모듈로 구성되며, C++ 언어와 MySQL 5.0 데이터베이스를 이용하여 구현하였다. 성능 평가로부터 본 논문에서 제안한 전문가 시스템을 통해 보다 효율적인 GIS용 피뢰설비의 관리 및 진단이 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 전문가 시스템, GIS용 피뢰기, 진단, JESS

**ABSTRACT :** This paper dealt with the design and implementation of an expert system to monitor and diagnose the lightning arresters in GIS substations. The expert system consists of a data communication module, a data processing module, a database module and a deterioration diagnostic module based on JESS, and has been implemented C++ language and MySQL 5.0 database. From the performance evaluation, it was verified that the proposed expert system could be very effective in monitoring and diagnosing lightning arresters in GIS substations.

**KEY WORDS :** Expert System, GIS Arrester, Diagnosis, JESS

### 1. 서 론

열화된 피뢰기가 계속 방치되면 누설전류가 점차 증가하여 결국에는 지락이나 열폭주에 의한 피뢰기 폭발사고를 유발하게 된다. 이는 전력기기 및 설비의 보호를 목적으로 설치한 피뢰기가 오히려 전력공급의 중단과 같은 대형사고를 초래하여 무중단 전력공급의 신뢰성에 악영향을 미치게 된다[1][2]. 따라서 운전중인 피뢰기의 상태를 상시 관측하고 열화진전에 따른 절연능력의 저하를 감시하며 교체 및 적절한 대책이 필요한 피뢰기를 관리자에게 통보할 수 있는 지능적인 시스템이 요구된다. 더욱이 최근 전력 설비의 운용에 있어 무인 자동화

설비가 늘어나고 있기 때문에 소수의 인원으로 작업효율을 극대화하기 위해서는 비전문가도 쉽게 조작할 수 있고 진단기술에 있어 기기별 최적화된 전문가 시스템의 도입이 반드시 필요하다. 일반인이 피뢰기에서 검출한 데이터로부터 열화상태를 판단하기란 불가능하며, 전문가라고 하더라도 이상 징후 발생시 정확한 진단결과를 도출하기란 매우 어렵기 때문에 최근에는 주요설비의 유지, 관리를 위하여 전문가들의 풍부한 경험 및 지식을 데이터화 한 뒤, 이를 바탕으로 다양한 분석과 적절한 판단을 할 수 있는 전문가 시스템을 활용하고 있다[3][4]. 따라서 본 논문에서는 운전 중인 변전소의 GIS용 피뢰기를 대상으로 상태감시 및 열화진단을 할 수 있는 전문가 시스템

\* yjchoo@nisi.go.kr

\* dwpark77@hhu.ac.kr

\* ch10919@bada.hhu.ac.kr

\* kilgs@hhu.ac.kr

가스절연변전소 피뢰설비의 관리를 위한 전문가 시스템 개발

을 설계·제작하였다[5]~[9]. 제안한 전문가 시스템은 JESS 를 기반으로 설계하였으며, If-Then 조합에 의한 전방향 추론방식을 적용하여 다양한 규칙에 따라 피뢰기의 열화상태를 진단할 수 있도록 구현하였다. 실제 피뢰기 및 시플레이션을 통한 특성 평가로부터 본 논문에서 제안한 전문가 시스템을 적용하여 보다 효율적인 GIS용 피뢰설비의 관리 및 진단이 가능할 것으로 판단하였다. 또한 열화상태 상시관측, 교체시기 알림, 수명 예측 등의 기능을 통해서 변전설비에서 피뢰기로 인한 사고발생을 극소화하여, 전력공급의 신뢰성 향상 및 무중단 운영에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 전문가 시스템의 설계

본 논문에서 제안한 GIS용 피뢰설비의 전문가 시스템은 Fig. 1과 같이 크게 데이터 송수신 모듈, 데이터 처리 모듈, 데이터베이스 모듈 및 JESS 기반의 열화진단 모듈로 구성되어 있다. 데이터 취득 모듈에서는 총 11개(누설전류 관련 데이터 7개, 서지전류 관련 데이터 2개, 온도 데이터 2개)의 피뢰기 측정 데이터를 ZigBee 모듈을 통해 전문가 시스템이 설치된 PC로 무선전송하며, PC와 연결된 ZigBee 모듈에서는 무선으로 수신받은 데이터를 전문가 시스템에 직렬 전송함으로써 피뢰기의 상태감시 및 열화진단을 수행하게 된다.

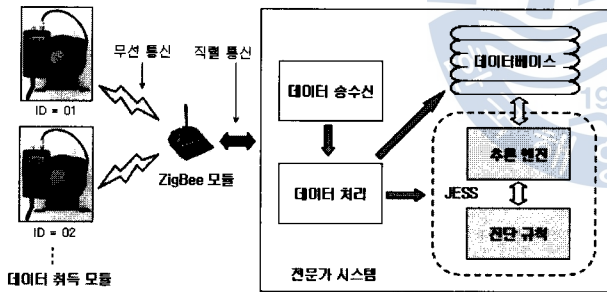


Fig. 1 Configuration of an expert system

### 2.1 데이터 송수신 모듈

데이터 송수신 모듈은 데이터 취득 모듈과의 통신과 관련된 처리를 담당하며, 데이터 수신 모듈과 데이터 송신 모듈로 구성된다. 데이터 수신 모듈에서는 Fig. 2와 같은 알고리즘을 사용하여 ZigBee 모듈로부터 수신받은 데이터를 처리하며, 데이터 송신 모듈은 ① 데이터 취득 모듈에 ID값을 부여할 경우와 ② 데이터 취득 모듈에 시간값을 부여할 경우에만 동작한다.

### 2.2 데이터 처리 모듈

데이터 처리 모듈에서는 Fig. 3과 같이 데이터 송수신 모

듈에서 수신받은 측정 데이터를 처리하여 모니터의 상태감시 화면에 보여주는 역할을 담당한다.

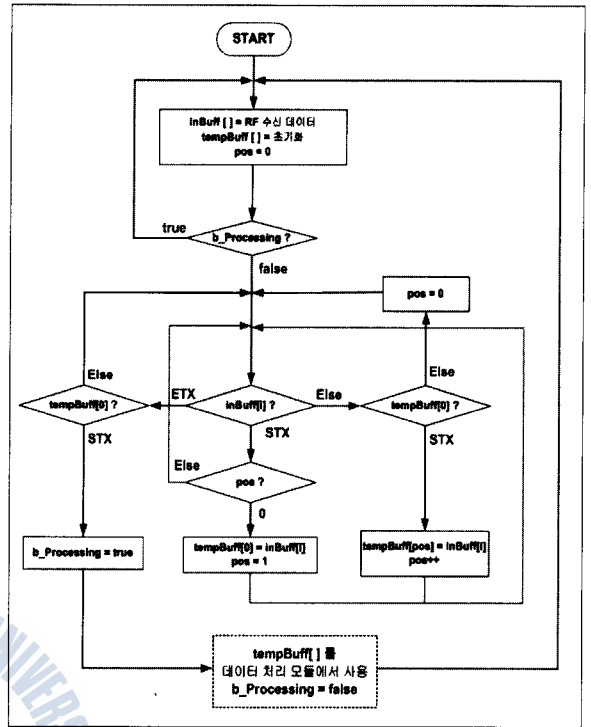


Fig. 2 Data receiving algorithm

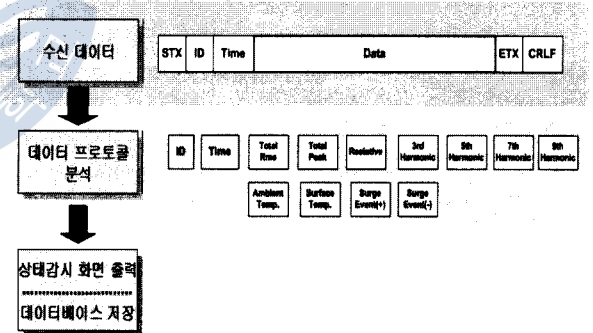


Fig. 3 Data protocol analysis

수신받은 데이터는 콤마(',') 단위로 프레임을 구분하기 때문에 ',' 단위로 파싱(parsing)하여 처리한다. 파싱 후 남은 데이터는 피뢰기 ID(ID), 측정 시간(time), 전체 누설전류 실효값(total rms), 전체 누설전류 최대값(total peak), 저항분 누설전류 최대값(resistive), 제 3고조파 누설전류(3rd harmonic), 제 5고조파 누설전류(5th harmonic), 제 7고조파 누설전류(7th harmonic), 제 9고조파 누설전류(9th harmonic), 피뢰기 주위온도(ambient temp), 피뢰기 표면온도(surface temp), 양극 서지 이벤트(surge event(+)), 음극 서지 이벤트(surge event(-))까지 총 13개의 데이터가 된다. 이 데이터들을 PC 모니터의 상태감시 화면에 실시간으로 보여주고 필요한 경우 데이터베이스에 저장한다.

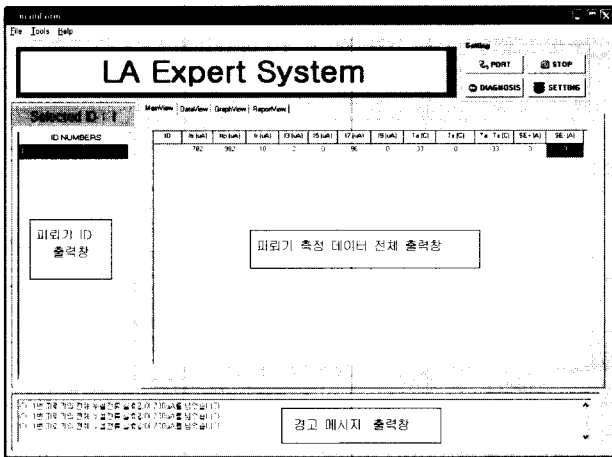


Fig. 4 Output display of a whole data

Fig. 4는 데이터 취득 모듈로부터 수신받은 측정 데이터 값을 실시간으로 보여주는 상태감시 화면이며, 수신받은 데이터 전체를 보여주는 화면과 하나의 피뢰기에 대해 상세하게 보여주는 화면으로 나누어 구현하였다. Fig. 4에서 왼쪽의 ID 출력창에는 각각의 피뢰기에 설치되어 있는 데이터 취득 모듈의 ID가 출력되며, ID를 보여주는 방법은 미리 ID NUMBERS에 ID를 부여하는 방법을 사용하였다. ID NUMBERS의 리스트에 위에서부터 차례대로 미리 ID를 할당하고, 분석한 수신 데이터에서 ID를 확인한 후 그 값에 맞는 위치에 ID를 출력해주기 때문에 ID 데이터가 없는 경우는 빈 공간으로 남게 된다. 따라서 화면 출력창에 ID가 비어있는 리스트가 발생하면 해당 ID의 데이터 취득 모듈이 제대로 동작하지 않음을 바로 확인할 수 있으며, ID 순서대로 데이터를 화면에 출력함으로써 원하는 피뢰기의 데이터를 쉽게 찾을 수 있는 장점이 있다. Fig. 4의 오른쪽은 여러 대의 피뢰기 측정 장비로부터 수신 받은 데이터 전체를 출력하는 창이며, 정상적인 값인 경우에는 검은색으로 출력하고 비정상적인 값이 들어오면 피뢰기 ID와 비정상적인 값 부분을 표시해주고 경고메시지를 출력한다. Fig. 4의 아래 부분은 경고 메시지 등을 출력하는 창으로 비정상적인 값이 발생한 경우, 열화진단 결과를 출력할 경우, 데이터베이스 처리 결과를 출력할 경우 등에 메시지를 출력한다.

Fig. 5는 상세 데이터 출력 화면이다. Fig. 4의 피뢰기 ID 출력창에 나타난 ID를 더블클릭하면 클릭한 ID의 피뢰기 측정 데이터를 상세하게 출력한다. 텍스트 위주로 출력되는 전체 데이터 화면과는 달리 히스토그램(histogram)을 사용하여 보기 편하게 구현하였으며, 비정상적인 값이 발생할 경우 히스토그램의 색깔을 정상적인 값과 구별되도록 하여 이상이 발생했음을 알릴 수 있도록 하였다.

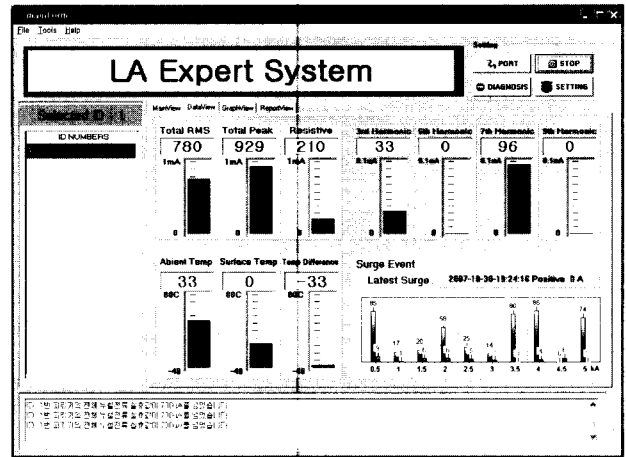


Fig. 5 Output display of a detailed data

### 2.3 데이터베이스 모듈

데이터베이스 모듈에서는 데이터 취득 모듈로부터 수신 받은 피뢰기 측정 데이터를 저장하거나 삭제하며, 측정 데이터의 변화량을 그래프로 출력해 주는 역할을 한다. Fig. 6은 데이터베이스의 처리 및 그래프 출력 화면을 나타낸다.

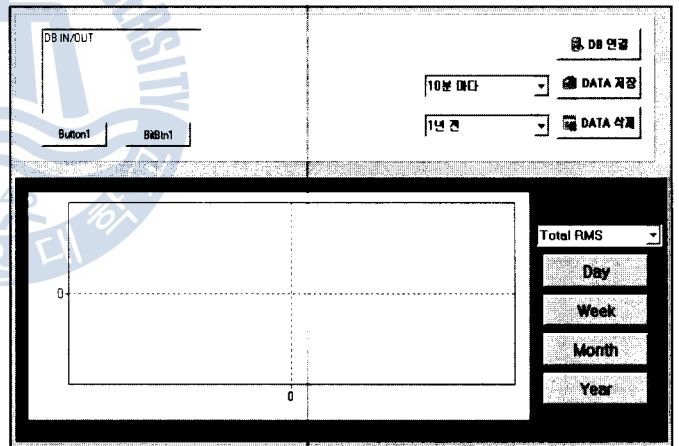


Fig. 6 Output display of database processing and graph

### 2.4 열화진단 모듈

전문가 시스템에서 가장 핵심 요소인 열화진단 모듈에서는 JESS를 통해 피뢰기에 대한 열화상태를 진단하고 그 결과를 출력한다. Fig. 7은 피뢰기의 열화진단 구조를 나타낸다. 우선 피뢰기의 열화와 관련된 진단 지식을 수집해야 하는데 피뢰기의 열화를 진단하는 방법은 피뢰기가 설치되는 장소, 환경, 보호하고자 하는 장비의 특성에 따라서 조금씩 달라진다.

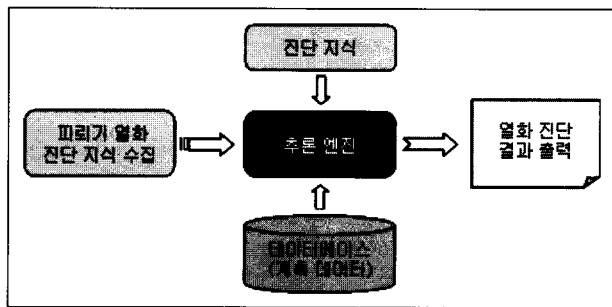


Fig. 7 Deterioration diagnostic structure of LA

JESS에서는 사실로서 데이터베이스에 저장된 11개의 측정 데이터를 사용하며, 규칙으로는 피뢰기의 이상 여부를 판단할 수 있는 진단지식을 사용한다. 본 논문에서는 변전소의 GIS용 피뢰기를 대상으로 전문가 시스템을 구현하기 때문에 전문가로부터 변전소에 설치된 GIS용 피뢰기의 열화를 진단하는 지식을 수집한다. 수집한 열화진단 지식을 바탕으로 열화진단 규칙을 만들고, 데이터베이스에 저장된 측정 데이터를 만들어진 규칙에 적용하여 열화진단 결과를 출력한다.

Table 1 Deterioration diagnostic rule of LA

No	열화진단 지식
1	전체 누설전류 실효값이 처음값의 2배 이상으로 증가
2	저항분 누설전류 최대값이 처음값의 2배 이상으로 증가
3	표면온도와 주위온도 차이가 3℃ 이상
4	제 3고조파 누설전류 실효값이 처음값의 2배 이상으로 증가
5	서지 유입: 정격 에너지내량(예: 500A × 200회) 초과

본 논문에서 사용한 열화진단 규칙은 총 5가지이며, 각 규칙을 Table 1에 나타내었다. Table 1의 5가지 규칙 중 하나라도 적용되면 열화의 가능성이 있으므로 피뢰기를 점검하라는 메시지를 출력하도록 하였으며, 적용되는 규칙이 많을수록 열화의 가능성이 높다는 판단을 내릴 수 있다. 현재까지 피뢰기의 열화진단과 관련된 기준이 마련되어 있지 않아 본 논문에서는 그동안의 연구결과를 토대로 열화진단 지식 및 규칙을 적용하였다. 또한, 본 연구에서 대상으로 하고 있는 GIS용 피뢰기의 설치 환경 및 진단 파라미터의 변화 등으로 인해 진단 조건이 달라질 수 있으므로 제안한 전문가 시스템은 열화진단 지식과 규칙을 조정할 수 있는 구조로 설계하였다.

### 3. 평가 및 분석

본 논문에서 제안한 전문가 시스템의 성능을 확인하기 위하여 실제 운전 중인 변전소의 GIS용 피뢰기를 대상으로

하는 시험에 앞서 1개의 배전급 피뢰기(18kV, 5kA)와 시뮬레이터를 이용하여 전문가 시스템의 실시간 모니터링 및 열화진단 기능에 대한 특성 평가를 수행하였다.

#### 3.1 실제 피뢰기에 적용

실험실내에서 Fig. 1과 같은 데이터 취득 모듈을 배전급 피뢰기에 설치하고, 전압조정기로 피뢰기 양단에 인가되는 전압을 조절하여 누설전류의 크기를 변화시키면서 ZigBee 모듈을 통해 무선으로 측정 데이터를 전송하도록 하였다. 시험 결과 데이터 취득 모듈에서 측정된 데이터들이 10초마다 한 번씩 PC의 전문가 시스템에 전달되어 계속 업데이트 되었으며, 피뢰기 ID 출력, 전체 데이터 출력, 상세 데이터 출력, 경고 메시지 출력 등의 기능들이 설계한 대로 작동함을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 시뮬레이션

여러 대의 피뢰기를 대상으로 하는 시험을 위해서 Fig. 8과 같은 측정 데이터 생성 프로그램을 이용하여 실제 현장의 피뢰기 측정 데이터와 같은 형식으로 데이터를 만들어 전송하도록 함으로써 실험실 내에서 전문가 시스템에 대한 모의시험을 수행하였다.

본 시험의 주목적은 전문가 시스템의 정상 작동여부 확인에 있으므로, 측정 데이터 생성 프로그램에서 만들어 전송하는 데이터 값은 정해진 범위 안에서 임의의 수를 발생시키도록 하였다.

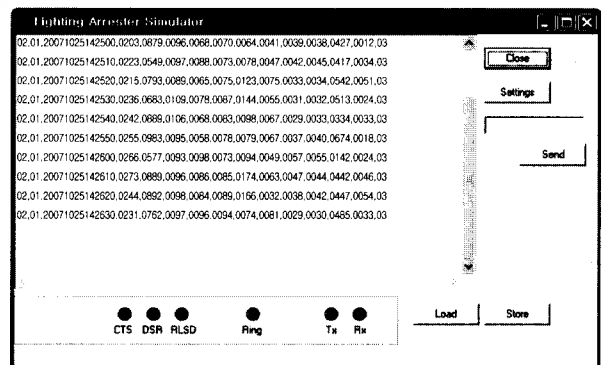


Fig. 8 Generating program of arrester measurement data

Fig. 8에서 첫 번째 컬럼은 STX(Start of Text), 두 번째는 피뢰기 ID, 세 번째는 측정 시간이며, 마지막 컬럼은 ETX(End of Text)를 나타낸다. 네 번째 컬럼에서부터 ETX 이전까지의 컬럼은 각각 전체 누설전류 실효값(200 ~ 1000), 전체 누설전류 최대값(500 ~ 1500), 저항분 누설전류 최대값(50 ~ 1000), 제 3고조파 누설전류 실효값(50 ~ 130), 제 5고조파 누설전류 실효값(50 ~ 110), 제 7고조파 누설전류 실효

값(40 ~ 100), 제 9고조파 누설전류 실효값(40 ~ 90), 주변온도(20 ~ 40), 표면온도(20 ~ 80), 정극성 및 부극성 서지(0 ~ 1000)를 나타내며, 10초마다 임의의 수를 발생시켜 전송한다.

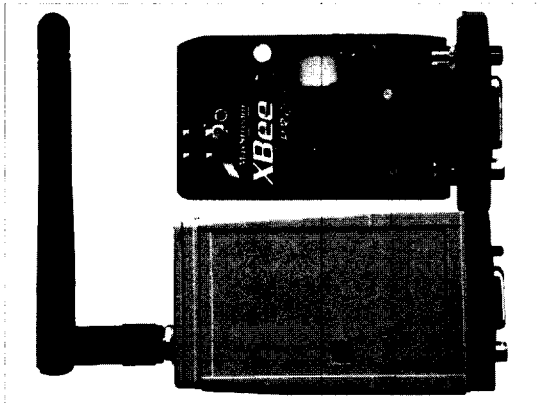


Fig. 9 The ZigBee module

Fig. 9는 컴퓨터에 연결하여 사용할 수 있는 ZigBee 모듈이다. ZigBee 모듈에서는 측정 데이터 생성 프로그램에서 만들어주는 데이터를 전문가 시스템이 설치된 원격의 PC로 무선 전송함으로써, 실제 피뢰기에 설치되는 데이터 취득 모듈과 같은 역할을 수행하도록 하였다. Fig. 9와 같은 ZigBee 모듈 6개를 6대의 컴퓨터에 연결하였으며, 각 컴퓨터에 설치된 피뢰기 측정 데이터 생성 프로그램에서 ID1, ID2, ID4, ID5, ID7, ID10에 해당하는 측정 데이터를 만들면, ZigBee 모듈에서 10초마다 한 번씩 데이터를 전송하게 된다. 따라서 총 6개의 피뢰기에 설치된 데이터 취득 모듈로부터 데이터를 수신받는 환경을 구현하였다.

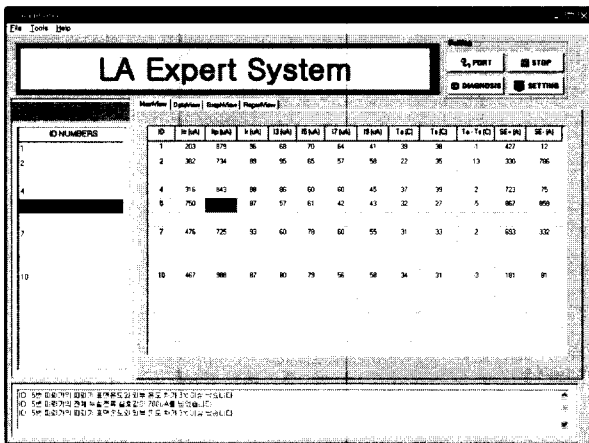


Fig. 10 Output display of a whole data

Fig. 10은 시뮬레이터 환경으로부터 데이터를 수신받아 출력한 전체 데이터 화면이다. 6개의 피뢰기 ID가 ID NUMBERS 리스트에 출력되고, 각각의 ID에 해당하는 측정 데이터 값들이 정상적으로 출력되며, 비정상적인 값이 발생할 경우 경고 메시지가 출력되고 있음을 확인할 수 있다.

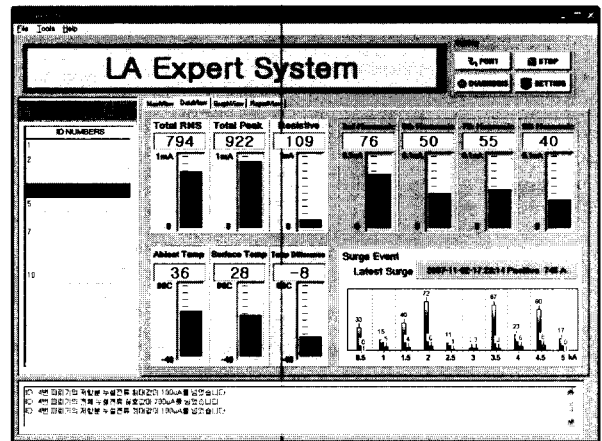


Fig. 11 Output display of a detailed data

Fig. 11은 Fig. 10의 ID NUMBERS에서 4번 피뢰기를 클릭하여 상세 데이터 화면으로 전환한 경우이며, 그림과 같이 4번 피뢰기에 대한 전체 누설전류 실효값에서 온도차까지의 데이터를 숫자와 히스토그램 형태로 출력하고 있다. 또한 서지 이벤트의 경우 단계별로 나누어 누적된 횟수를 계속 보여주며, 가장 최근에 유입된 서지에 대해서는 발생시간, 크기 및 극성이 함께 출력되고 있음을 확인할 수 있다.

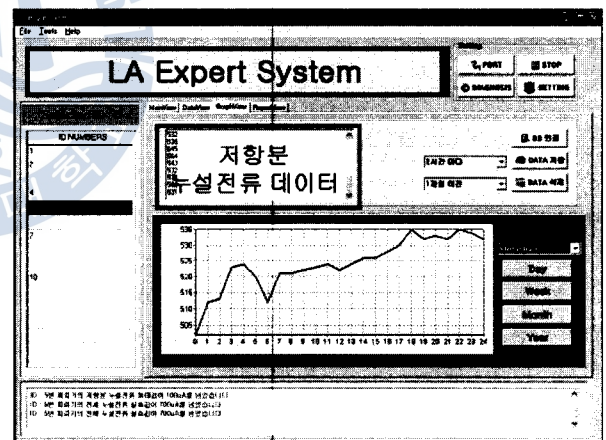
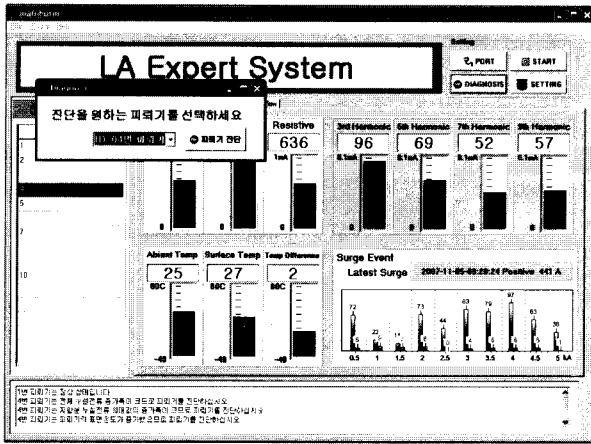
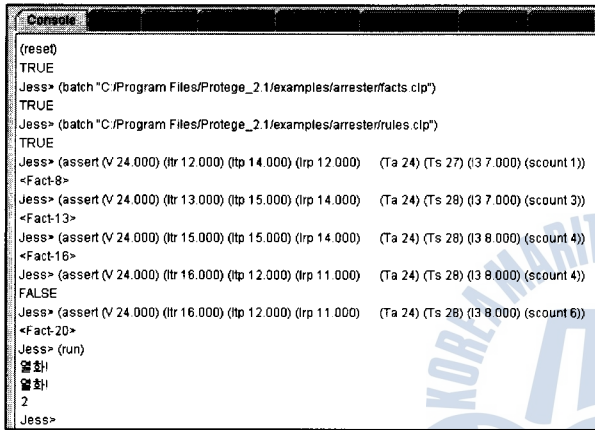


Fig. 12 Display of the database save and graph

Fig. 12는 시뮬레이터 환경으로부터 수신받은 데이터를 데이터베이스에 저장한 후, 저장된 데이터 중 5번 피뢰기의 저항분 누설전류 최대값에 대한 하루 동안의 변화량을 그래프로 출력한 화면이다. Fig. 12와 같이 진단 파라미터 중 하나를 선택하여 그 변화량을 그래프로 출력함으로써, 피뢰기의 상대변화를 쉽게 관찰할 수 있어 열화 여부를 판단하는데 도움을 준다.



(a) Diagnosis display



(b) Diagnostic result

Fig. 13 Example of a diagnostic result

Fig. 13은 데이터베이스에 저장된 데이터를 이용하여 피뢰기의 열화를 진단하는 화면이다. Fig. 13(a)는 4번 피뢰기를 선택한 후 데이터베이스에 저장된 4번 피뢰기의 데이터들을 열화진단 규칙에 적용시켜 진단을 실행하는 화면이며, 그 결과를 화면 아래의 메시지 창에 출력한다. 전문가 시스템의 열화진단 결과를 모의하기 위해 임의로 열화된 피뢰기의 조건을 만족하는 사실과 규칙을 JESS와 연동시킨 Protege 2.1에서 실행시켜 보았다. Fig. 13(b)는 전체 누설전류가 점차 증가하여 정상상태를 넘어서고, 이에 따라 표면온도와 제 3고조파 누설전류의 값이 증가하는 조건을 임의로 구현한 것이다. JESS의 룰 엔진을 실행시켜본 결과, 열화진단 규칙이 제대로 적용되어 진단 결과를 도출하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 GIS용 피뢰설비의 관리를 위한 전문가 시스템의 설계 및 구현에 대하여 기술하였다. 제안한 전문가 시스템은 데이터 송수신 모듈, 데이터 처리 모듈, 데이터베이스 모듈 및 JESS 기반의 열화진단 모듈로 구성되며, C++ 언

어와 MySQL 5.0 데이터베이스를 이용하여 구현하였다. 데이터 취득 모듈로부터 측정되어 전송되는 11개의 데이터 외에 피뢰기 ID 및 측정시간을 포함한 총 13개의 데이터가 PC의 전문가 시스템 화면에 출력되어 업데이트됨으로써 실시간 상태진단이 가능하였고, 데이터베이스에 저장된 측정 데이터에 JESS를 적용함으로써 열화진단이 가능함을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 전문가 시스템의 적용을 통하여 보다 효율적인 GIS용 피뢰설비의 관리 및 진단이 가능할 것으로 판단된다. 또한 열화상태 상시관측, 교체시기 알림, 수명 예측 등의 기능을 통해서 변전설비에서 피뢰기로 인한 사고발생을 극소화하여, 전력공급의 신뢰성 향상 및 무중단 운영에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. Shichimiya, et al., "Development of advanced arresters for GIS with new Zinc-oxide Elements", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp. 465~471, 1998
- [2] O. Nigol, "Methods for Analyzing the performance of Gapless Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1256~1262, 1992
- [3] 이재규 외 2인 공저, "전문가 시스템의 응용과 사례분석", 법영사, 1995
- [4] Raggad, B.G. "Expert System Quality Control", Information Processing & Management, Vol. 32, pp. 171~183, 1996
- [5] 길경석, 한주섭, 송재용, 김명진, 김정배, 조한구, "뇌충격 전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성과 피뢰기 열화진단 전문가 시스템", 대한전기학회 논문지, Vol. 51C, No. 4, pp. 152~157, 2002
- [6] 길경석, 송재용, 김일권, 문승보, 권장우, "GIS 피뢰설비 관리를 위한 전문가 시스템 구현", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol. 21, No. 1, pp. 75~81, 2007
- [7] J. Zheng and M. J. Lee., "A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4", in IEEE Press, 2004
- [8] Stephen Prata, 역자 윤성일, "C++ 기초플러스 개정 4판", 성안당, 2005
- [9] 김호, "MYSQL로 배우는 데이터베이스 프로그래밍", 영진닷컴, 2003

원고접수일 : 2008년 1월 10일

원고채택일 : 2008년 1월 23일