

GIS 피뢰설비 관리를 위한 전문가 시스템 구현

(Implementation of an Expert System to Supervise GIS Arrester Facilities)

길경석* · 송재용 · 김일권 · 문승보 · 권장우

(Gyung-Suk Kil · Jae-Yong Song · Il-Kwon Kim · Seung-Bo Moon · Jang-Woo Kwon)

요 약

본 논문은 가스절연변전소에 설치되어 있는 피뢰설비의 감시와 진단이 가능한 전문가 시스템의 설계 및 구현에 대하여 기술하였다. 제안한 전문가 시스템은 마이크로프로세서 기반의 데이터 취득 모듈과 진단 알고리즘으로 구성되며, 피뢰기 진단에 필요한 계통전압, 누설전류성분 및 온도 등을 검출하고 분석한다. 또한 서지전류의 발생시각, 극성 및 크기를 기록할 수 있는 지능형 서지 카운터를 내장하고 있다.

측정된 모든 데이터는 IEEE 802.15.4에 규정된 저속 무선망을 통해 원격지의 컴퓨터로 전송되며, 이로 인해 고전압 대전류 환경에서도 전자계 간섭을 피할 수 있다.

전문가 시스템에서 피뢰기의 진단은 지식 베이스와 추론 엔진, 그리고 그래픽 사용자 인터페이스로 구성된 JESS(Java Expert System Shell)를 이용하여 결정한다.

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 acquisition module(DAM) based on microprocessor and diagnostic algorithms.

The DAM measures and analyzes several parameters necessary for the arrester diagnosis such as system voltages, leakage current components, and temperatures. Also, it includes an intelligent surge counter which can record the date and time, the polarity, and the amplitude of surge currents. All the data acquired is transmitted to a remote computer by a low rate wireless network specified in IEEE 802.15.4 to avoid electromagnetic interference under high voltage and large current environments.

The decision-making for the arrester diagnosis completes with a Java Expert System Shell(JESS) which is composed of a knowledge base, an inference engine and a graphic user interface(GUI).

Key Words : Diagnosis, Expert System, Lightning Arrester, GIS Substation, ZigBee, JESS

* 주저자 : 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수
Tel : 051-410-4414, Fax : 051-403-1127

E-mail : kilgs@hhu.ac.kr
접수일자 : 2006년 8월 16일
1차심사 : 2006년 8월 24일
심사완료 : 2006년 9월 5일

1. 서 론

피뢰기(Arrester)는 전력계통에서 발생하는 이상 전압을 대지로 방출시킴으로써 피보호기기에 공급

GIS 피뢰설비 관리를 위한 전문가 시스템 구현

되는 전압을 안정적으로 유지시키는 우수한 보호대책 소자이다. 산화아연(ZnO)형 피뢰기는 종래의 탄화규소(SiC)형과는 달리 직렬갭이 없고 에너지 내량이 크며, 보다 우수한 비선형 I-V 특성을 갖기 때문에 송배전선로 및 발·변전소 등과 같은 중요한 전력설비에 널리 사용되고 있다[1-2]. 그러나 ZnO 피뢰기는 정상운전전압에서도 미소한 누설전류가 흐르며 제조상의 결함, 이상전압에 대한 반복적인 보호동작 및 주위온도 상승, 흡습, 오염과 같은 환경적 요인에 의해 점차 열화가 진행된다. 열화된 피뢰기는 ZnO 소자 내의 비선형 저항성분의 변화로 인해 누설전류가 증가하며, 계속 방치될 경우 지락사고나 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. 따라서 운전중인 피뢰기의 상태를 상시 관측하고 열화진전에 의한 절연능력의 저하를 감시하며 교체 및 적절한 대책이 필요한 피뢰기를 관리자에게 통보할 수 있는 지능적인 시스템이 요구된다. 더욱이 최근 전력설비의 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[3].

본 논문은 변전소 내에 GIS용 피뢰설비를 대상으로 누설전류 검출방식을 적용한 전문가 시스템 구현에 대하여 기술하였다. 제안한 전문가 시스템은 운전중인 피뢰설비를 대상으로 상태감시 및 열화진단을 할 수 있으며, 데이터 취득 모듈과 피뢰설비의 열화감시 및 진단을 위한 PC로 구성된다. 데이터 취득 모듈은 전원전압과 피뢰기의 전체 누설전류를 측정하고 FFT 분석에 의한 각 고조파 성분(3~9차)과 온도 등을 검출한다. 특히 전용의 알고리즘을 이용하여 피뢰기 열화진단의 중요한 지표인 저항분 누설전류를 검출할 수 있으며, 서지전류의 유입시각, 극성 및 크기를 측정할 수 있는 서지 카운터를 내장하고 있다. 측정된 데이터는 무선 센서 네트워크의 일종인 ZigBee 모듈로 원격지의 PC로 전송된다. 전문가 시스템은 JESS(Java Expert System Shell)를 기

반으로 설계하였으며, If-Then 조합에 의한 전방향 추론방식을 적용하여 다양한 규칙에 따라 피뢰기의 열화상태를 진단한다.

2. 피뢰기의 열화진단기술

2.1 피뢰기의 열화와 누설전류

ZnO 소자의 비선형 I-V 특성은 그림 1에서와 같이 크게 3개의 영역으로 나뉘며, 저전계 영역에서는 단순한 캐패시터와 같이 동작한다[2]. 직렬갭이 없는 ZnO 피뢰기는 정상운전전압이 가해지면 비선형 저항성분을 통하여 미소한 누설전류가 흐르며 열화가 진행될 경우 점차 증가하는 특징을 갖는다[4]. 결국 누설전류를 이용한 피뢰기의 열화진단 방식은 저전계 영역에서 피뢰기를 통하여 흐르는 저항분 누설전류의 변화를 검출하는 방법이며, 이는 가장 중요한 진단 파라미터가 된다[5-6].

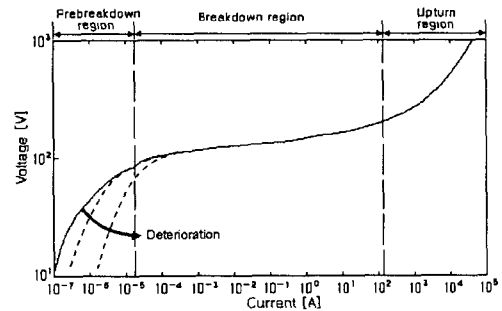


그림 1. ZnO 소자의 I-V 특성

Fig. 1. I-V Characteristics of the ZnO elements

2.2 저항분 누설전류의 검출

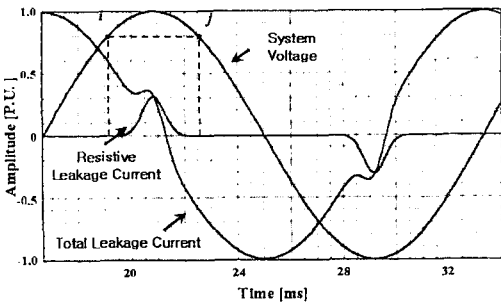
저항분 누설전류를 검출하기 위한 방법으로는 자기소거법, 동기정류법 및 제 3조파 누설전류 분석법 등 다양한 알고리즘이 있다. 본 연구에서는 피뢰기 양단에 인가되는 전압과 전체 누설전류로부터 저항분 누설전류를 계산하는 새로운 방식의 검출 알고리즘을 적용하였다[6]. 이는 그림 2 (a)에서와 같이 피뢰기 운전전압의 등전위 지점에서는 용량분 누설전류와는 달리 저항분 누설전류의 크기 및 극성이 같

은 특성을 이용한 방법이다.

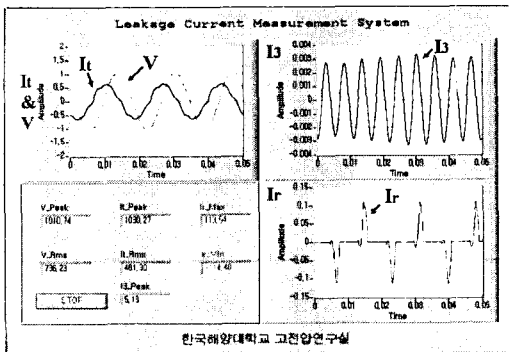
저항분 누설전류의 검출을 위해 A/D 컨버터와 마이크로프로세서를 사용하였으며, 전압의 크기가 같은 두 점 $(i, I_r(i))$, $(j, I_r(j))$ 에서의 전체 누설전류의 값을 식 (1)에 대입하여 저항분 누설전류를 계산한다.

$$I_r = \frac{I_r(i) + I_r(j)}{2} \quad [\mu A] \quad (1)$$

여기서 I_r 는 전체 누설전류, I_r 은 저항분 누설전류이다. 이 방법은 전압의 최대지점 ($dv/dt=0$)에서만 측정을 한다면 IEC 60099-5에서 제안한 저항분 누설전류 검출법과 동일하지만[7], 인가전압의 각 점에 따라 연속적으로 나타내면 저항분 누설전류의 파형 및 이를 이용한 손실전력 등과 같은 다양한 진단 파라미터를 계산할 수 있는 장점이 있다.



(a) 검출원리



(b) 파형의 예

그림 2. 저항분 누설전류의 검출
Fig. 2. Detection of the resistive leakage current

그림 2 (b)는 저항분 누설전류 검출회로의 특성을 파악하기 위하여 마이크로프로세서의 내부에서 연산되는 일련의 과정을 LabView 소프트웨어를 이용하여 PC에서 구현한 것이다[8]. 그림에서와 같이 운전전압과 전체 누설전류로부터 저항분 누설전류 I_r 의 파형과 측정값을 계산할 수 있으며, 이는 전문가 시스템에서 중요한 열화진단 파라미터로 사용된다.

3. 전문가 시스템의 설계

3.1 전문가 시스템의 구성

제안한 GIS 피뢰설비 전문가 시스템은 그림 3과 같이 크게 지식베이스, 추론엔진 및 사용자 인터페이스로 구성되어 있다. 피뢰설비로부터 측정된 진단 파라미터와 피뢰기관련 전문가로부터 얻은 지식을 추출하여 사실(Facts)과 규칙(Rules)으로 사용하며, 추론엔진은 이러한 지식베이스를 바탕으로 진단결과를 도출하고 사용자에게 통보한다.

운전중에 피뢰기를 통하여 흐르는 누설전류는 열화상태를 나타내는 지표로 사용되지만, 인가전압의 변화, 고조파 함유율 및 주위온도 등과 같은 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 정확한 열화진단을 위해서는 이러한 조건에 따른 누설전류의 변화를 측정, 분석해야하며, 이에 따른 적절한 보정이 필요하다[9-10]. 제안한 전문가 시스템은 앞서 수행한 연구결과를 바탕으로 누설전류에 영향을 줄 수 있는 요인에 대한 보정 알고리즘을 적용하였으며, 이를 통하여 보다 정확한 진단이 가능할 것으로 생각한다.

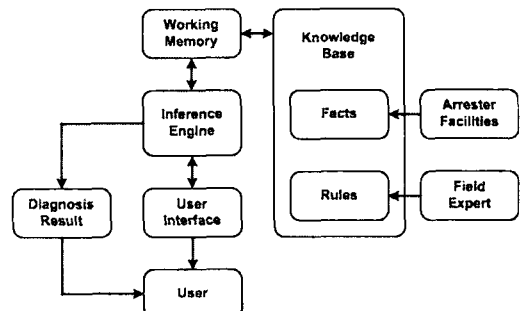
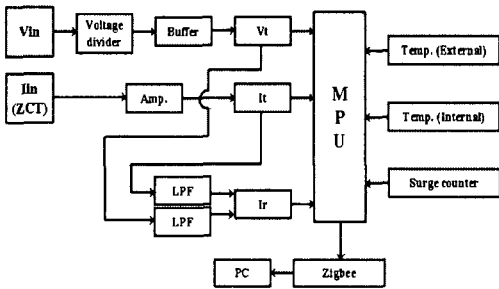


그림 3. 전문가 시스템의 구성
Fig. 3. Configuration of the expert system

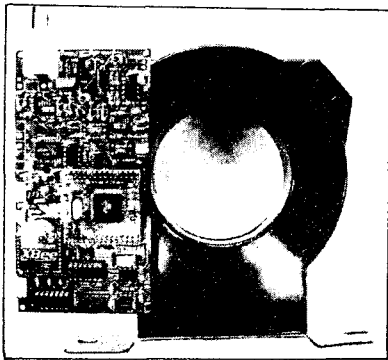
3.2 데이터 취득 모듈

데이터 취득 모듈은 피뢰설비로부터 열화진단에 관련한 다양한 파라미터를 측정하고 전문가 시스템으로 전송하는 역할을 하며, 인가전압, 전체 누설전류를 측정하기 위한 검출회로, 온도 측정회로, 서지 카운터 및 ZigBee 통신회로로 구성된다.

그림 4는 본 연구에서 설계, 제작한 데이터 취득 모듈의 구성 및 사진을 나타낸 것이다. 이 장치는 다양한 분석 파라미터를 측정하기 위해 복잡한 아날로그 회로를 사용했던 종래의 장치를 개선하기 위하여 고속의 A/D 컨버터와 8[bit] 마이크로프로세서를 적용하였다.



(a) 구성



(b) 사진

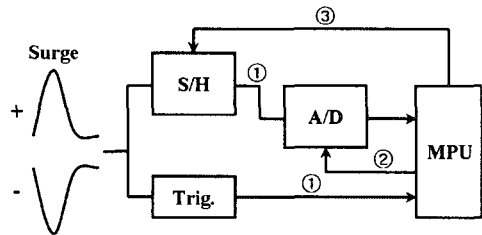
그림 4. 시제작 데이터 취득 모듈
Fig. 4. The prototype DAM

피뢰기에 인가되는 전압은 GIS내의 전압검출용 터미널과 분압기(Voltage Divider)를 이용하여 측정하며, 분압기의 조정에 따른 임피던스 변화에 의해 출력전압이 변하지 않도록 버퍼회로를 추가하였다.

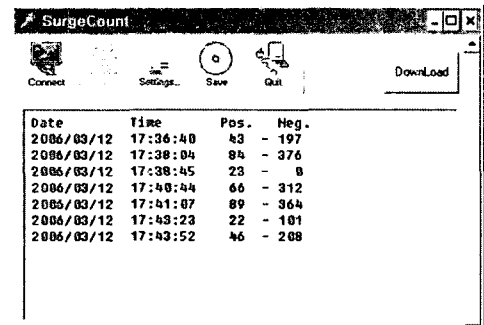
누설전류는 관통형 영상변류기(ZCT)를 접지선에 연결하여 측정하며, 이 때 누설전류의 크기는 60[dB]의 증폭도를 갖는 저노이즈 증폭회로를 사용하여 1[V/mA]의 신호로 변환된다. 또한 이 두 신호를 기준으로 앞서 설명한 저항분 누설전류 검출 알고리즘과 FFT 알고리즘을 적용하여 저항분 누설전류, 제 3~9차 고조파 성분 등과 같은 다양한 진단파라미터들을 생성한다.

서지전류의 유입은 피뢰기 열화와 밀접한 관계를 갖고 있으며, 전력설비를 관리하는 한국전력은 피뢰기 기술규격에 서지 카운터를 설치하도록 규정하고 있다. 그러나 이러한 장치는 단순한 서지전류의 유입 횟수만을 측정할 뿐 실제 서지전류의 크기 및 극성에 대한 정보를 알 수 없다. 따라서 본 연구에서는 서지전류의 유입시각, 극성 및 크기를 검출할 수 있는 지능형 서지 카운터를 설계, 제작하였다.

제안한 장치는 그림 5 (a)에서와 같이 샘플&홀드 회로, 비교기를 이용한 트리거 회로 및 마이크로프로세서로 구성된다.



(a) 구성



(b) 데이터 전송 예

그림 5. 서지 카운터
Fig. 5. Surge counter

본 연구에서는 수 [kA]에 이르는 서지전류의 크기와 극성을 검출하기 위해 별도의 로고우스키 코일(Rogowski coil)을 제작하였으며, 이를 영상변류기 외함 내에 내장하였다. 따라서 제작한 데이터 취득 모듈은 미소한 누설전류와 서지전류에 대한 정보를 모두 측정할 수 있다. 서지전류에 대한 정보는 일정한 시간마다 전송되는 다른 진단 파라미터와는 달리 내부 인터럽트 회로에 의해 유입과 동시에 PC로 전송된다. 그림 5 (b)는 원격의 PC로 전송된 서지정보의 예를 나타낸다.

3.3 지식베이스 및 추론엔진

본 연구에서는 진단지식을 작성하기 위하여 JESS 내의 규칙함수(Defrule)를 사용하였으며, 분석 파라미터의 크기 및 변화량에 따라 비교, 분석과정을 통하여 최종 진단결과를 도출한다. 제안한 추론엔진은 If-Then 규칙의 집합으로 구성된 규칙형 모델이며, 피뢰기 상태진단에 필요한 다양한 데이터의 크기를 조건에 따라 비교한 후, 다시 새로운 조건을 적용함으로써 목표 진단결과를 도출하는 전방향 추론방식이다[11-12]. 이는 추론엔진의 구성이 단순하고 주어진 문제에 해당하는 모든 해를 찾을 수 있기 때문에 진단시스템에 적합한 방법으로 알려져 있다.

그림 6은 열화진단을 위한 규칙의 예이며 측정된 누설전류의 값이 기준값을 초과했을 경우 열화의 가능성을 판단하는 과정을 나타낸 것이다.

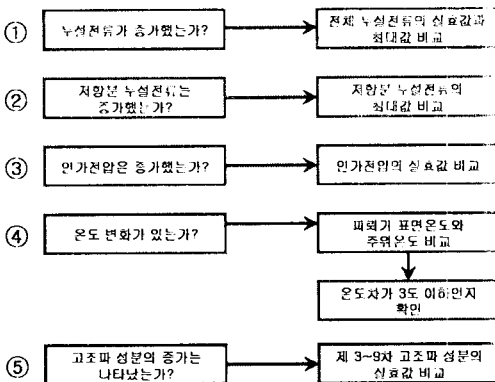
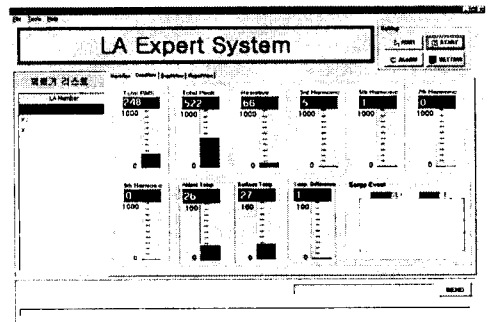


그림 6. 진단의 규칙 예
Fig. 6. Example of the diagnostic rules

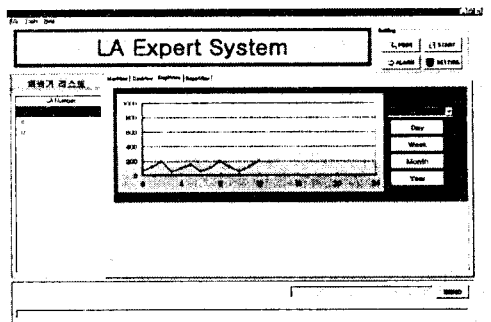
3.4 인터페이스 및 진단결과 출력

제안한 전문가 시스템은 데이터 취득 모듈로부터 전송된 다양한 파라미터들을 모두 데이터베이스의 형태로 저장하며, 이를 화면에 표시하도록 설계하였다.

그림 7은 전문가 시스템의 인터페이스를 나타낸 것으로 크게 메인, 데이터, 그래픽, 리포트 화면으로 구성하였으며, 각 탭을 선택하여 관리자가 원하는 화면을 볼 수 있도록 설계하였다. 본 시스템은 1개의 설비만을 감시하는 기존의 피뢰설비 모니터링 시스템과는 달리 무선 네트워크 방식을 적용하여 측정개소의 추가, 삭제가 용이하며, 다수의 설비를 한꺼번에 또는 개별적으로 관측할 수 있도록 설계하였다. 또한 피뢰설비에 열화상태가 관리 또는 교체가 요구되는 상황일 경우 즉시 관리자에게 통보할 수 있도록 팝업창을 이용하여 관리자가 쉽게 이상여부를 판단할 수 있도록 구성하였다.



(a) 데이터 화면



(b) 그래픽 화면

그림 7. 전문가 시스템의 인터페이스
Fig. 7. Interface of the expert system

GIS 피뢰설비 관리를 위한 전문가 시스템 구현

제안한 시스템은 Boland 사의 C++ Builder를 이용하여 구현하였으며, 1분 간격으로 전송되는 각각의 진단 파라미터를 전송 시간에 따라 자동 저장되도록 하였다. 저장된 데이터는 그림 7 (b)와 같이 일정한 기간에 따라 변화추이를 관측할 수 있도록 하였으며 후후 통계적인 알고리즘을 적용하여 진단규칙으로 활용할 예정이다.

전문가 시스템의 진단결과를 모의하기 위해 임의로 열화된 피뢰기의 조건을 만족하는 사실과 규칙을 JESS와 연동시킨 Protege 2.1에서 실행시켜 보았다. 그림 8은 전체 누설전류가 점차 증가하여 정상상태를 넘어서고, 이에 따라 피뢰기 표면온도와 제 3조파 누설전류의 값이 증가하는 조건을 임의로 구현한 것이다. JESS의 룰 엔진을 실행시켜본 결과, 열화진단 규칙이 제대로 적용되고 이에 상응하는 진단결과를 도출하고 있음을 알 수 있다.

```

Console  Facts  Rules  Functions  Derigoobis  Deformaties  Defacts  Settings
(reset)
TRUE
JESS* (batch "C:\Program Files\Protege_2.1\examples\arrestefacts.cip")
TRUE
JESS* (batch "C:\Program Files\Protege_2.1\examples\arresterules.cip")
TRUE
JESS* (assert (V 24 000) (tr 12 000) (tp 14 000) (rp 12 000) (Ta 24) (Ts 27) (I3 7 000) (scout 1))
*Fact-9*
JESS* (assert (V 24 000) (tr 13 000) (tp 15 000) (rp 14 000) (Ta 24) (Ts 28) (I3 7 000) (scout 3))
*Fact-13*
JESS* (assert (V 24 000) (tr 15 000) (tp 15 000) (rp 14 000) (Ta 24) (Ts 28) (I3 8 000) (scout 4))
*Fact-16*
JESS* (assert (V 24 000) (tr 16 000) (tp 12 000) (rp 11 000) (Ta 24) (Ts 28) (I3 8 000) (scout 4))
FALSE
JESS* (assert (V 24 000) (tr 16 000) (tp 12 000) (rp 11 000) (Ta 24) (Ts 28) (I3 8 000) (scout 6))
*Fact-20*
JESS* (run)
종료
출력
2
JESS*
    
```

그림 8. 진단결과 예
Fig. 8. Example of a result

3.5 데이터 전송방식

본 연구의 적용대상인 GIS 피뢰설비는 고전압, 대전류가 흐르며, 데이터를 측정하는 장소는 항상 시변 고전자장에 노출되어 있다. 더욱이 이러한 환경은 피뢰설비의 특성상 뇌서지, 개폐서지 및 이상 과전압이 빈번히 발생하는 장소이기 때문에 측정된 데이터를 원격지의 PC로 정확히 전송하기 위해서는 전자기 간섭에 대한 대책이 필요하다. 기존에 데이터 전송에 사용했던 방법은 4~20[mA]의 전류 루프를 이용한 방법과 광신호 변환회로를 이용한 광전송

방법을 사용하였다. 그러나 이러한 방법은 서지의 유입이 빈번한 장소에 대해 취약하거나 다양한 측정 개소를 관리할 수 있는 네트워크 구성에 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 최근 유비쿼터스 및 저전력 무선 네트워크로 주목받고 있는 ZigBee 네트워크를 이용하여 이러한 문제를 해결하였다. ZigBee 네트워크는 IEEE 802.15.4의 통신 프로토콜을 사용하는 상용의 제품을 사용하였으며 네트워크의 구성은 그림 9에서와 같이 고유의 ID를 할당한 ZN (ZigBee Node)와 ZC(ZigBee Coordinator)를 설계하여 Mesh 구조로 구현하였다. 이 방식은 데이터의 전송이 실패할 경우 다른 경로를 통하여 전송되며, ZC와 거리가 많이 떨어진 ZN이라도 다른 ZN을 거쳐서 PC로 데이터 송신이 가능한 장점이 있다. 또한 ZN이 새로이 추가 되었을 경우, 스스로 Mesh 구조에 포함되기 때문에 전문가 시스템에서는 새로운 장치의 ID를 추가, 등록하는 것으로 피뢰설비의 데이터를 쉽게 획득할 수 있다.

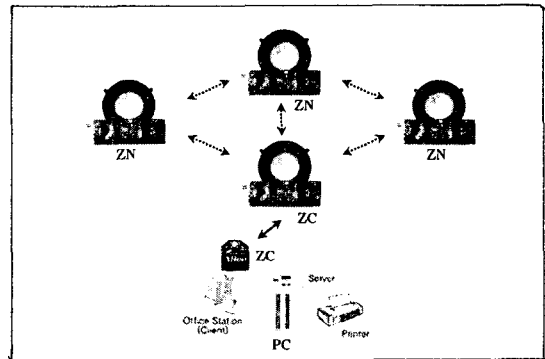


그림 9. 무선 네트워크의 구성
Fig. 9. Configuration of the wireless network

4. 결 론

본 논문에서는 GIS 피뢰설비의 열화상태를 진단할 수 있는 전문가 시스템 구현에 대하여 연구하였다. 제안한 전문가 시스템은 온라인 상태에서 진단이 가능한 누설전류 측정방식을 적용하였으며, 데이터 취득 모듈과 피뢰설비의 상태감시 및 진단을 위한 원격의 PC로 구성하였다.

데이터 취득 모듈은 피뢰기의 열화와 관련한 전원 전압, 전체 누설전류, 각 고조파 성분(3~9차)과 온

도 등을 검출하며, 특히 피뢰기 열화진단에 있어 중요한 저항분 누설전류는 전용의 알고리즘을 설계하여 검출하였다. 또한 로고우스키 코일, 샘플&홀드 회로, 트리거 회로 및 마이크로프로세서로 구성되는 지능형 서지 카운터를 내장하여 피뢰기에 유입되는 서지전류의 발생시각, 극성 및 크기를 기록할 수 있다.

전문가 시스템은 JESS를 이용하여 열화진단에 필요한 규칙을 설계하였으며, If-Then 조합에 의한 진단 방향 추론방식을 적용하였다.

또한 본 연구에서는 GIS 피뢰설비의 사용 환경과 다수의 측정설비의 관리를 위하여 상용의 ZigBee 모듈을 이용한 저전력, 저속의 무선 네트워크를 구성하였으며, 이를 통하여 전자기 간섭의 영향을 최소화하고 Mesh 구조에 의한 데이터 전송의 신뢰성을 향상시켰다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-B-138)주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] M. Bartkowiak et al., "Failure Modes and Energy Absorption Capability of ZnO Varistors", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 1, pp. 152-162, 1999.
- [2] O. Nigol, "Methods for Analyzing the Performance of Capless Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1256-1262, 1992.
- [3] J. B. KIM et al., "Development of Monitoring and Diagnostic System for SF6 Gas Insulated Switchgear", Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 453-456, 2002.
- [4] S. Shirakawa et al., "Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current detector", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 998-1003, 1988.
- [5] J. Lundquist et al., "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 1811-1822, 1990.
- [6] Gyung-Suk Kil et al., "Measurement Method of the Resistive Leakage Current for Lightning Arrester Diagnosis", KIEEME Trans. Electrical and Electronic Materials, Vol. 6, No. 2, pp. 63-66, 2005.
- [7] IEC 60099-5, Surge arresters- Part 5 : Selection and application recommendations, International Electrotechnical Commission, 2001.
- [8] National Instrument Co., LabView Ver. 8.0, National Instrument Co., 2005.

- [9] Il-Kwon Kim et al., "A Study on the Influence of Harmonics in Power System Voltage on Arrester Diagnostics and its Compensation", KIEE Trans. Electrophysics and Application, Vol. 54-C, No. 11, pp.493-497, 2005.
- [10] Jinbo Kuang et al., "Temperature Distribution in a ZnO Arrester Subjected to Multiple Current Impulses", Proceeding of the 1996 International Symposium on Electrical Insulation, pp. 494-497, 1996.
- [11] Y. Zhang et al., "An Artificial Neural Network Approach to Transformer Fault Diagnosis", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 11, No. 4, pp. 1836-1841, 1996.
- [12] In-Hyuk Choi et al., "Development of Diagnostic Algorithm and Expert System to diagnose Power Transformers by the methods of Gas Analysis", Journal of KIEE, Vol. 15, No. 5, pp. 68-74, 2001.

◆ 저자소개 ◆

길경석 (吉暻碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 3월~2004년 2월 영국 카디프대학 방문교수. 1996년~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수.

E-mail : kilgs@hhu.ac.kr

송재용 (宋在鏞)

1975년 1월 28일생. 1997년 한국해양대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년 3월~현재 한국해양대학교 산업기술연구소 연구원.

E-mail : hvlab@dreamwiz.com

김일권 (金一權)

1974년 1월 24일생. 1997년 한국해양대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

E-mail : hvkwon@shinbiro.com

문승보 (文勝寶)

1978년 4월 21일생. 2005년 한국해양대학교 전기전자공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 석사과정.

E-mail : hvparan@bada.hhu.ac.kr

권장우 (權章禹)

1968년 4월 15일생. 1990년 인하대학교 전자공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1996년 10월~1998년 2월 특허청 심사관. 2002년 2월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 부교수.

E-mail : jwkwon@tit.ac.kr