

## Development of the Remote Monitoring System for Leakage Current Using Wireless Communication

朴成元\* · 朴志浩\*\* · 金炯完†  
(Sung-Won Park · Ji-Ho Park · Dong-Wan Kim)

**Abstract** - In this paper, a wireless remote monitoring system for leakage current of distribution board is developed. In the developed system, signals of the leakage current of distribution board are transmitted to a monitoring system using wireless communication. The developed system is consisted of a comparative module, control module, a wireless communication module, and hand held terminal. The developed system has any facilities which can check a leakage current with real time, send to the user this fact using a wireless remote interface method. And also developed system can take precaution for an accident by leakage current.

**Key Words** : Distribution Board, Leakage Current, Wireless Communication, Monitoring System

### 1. 서 론

전력공급시스템에 있어서 무엇보다 중요한 것은 전력의 품질과 안정적인 전력의 공급이라 할 수 있으며 또한, 안정적인 전력공급을 위해 설비의 안정성 확보도 중요하다 하겠다.[1] 최근 양질의 전력 공급을 위한 계획이 정부 및 각 지방단체를 주관으로 활성화 되고 있는 실정이며, 지식경제부 주관 RCM(Reliability Centered Maintenance : 신뢰도 중심보수)기반의 전력설비 예방진단 시스템에 대하여 다음의 기술에 대한 개발을 추진하고 있는 실정이다.

- 21세기 개방형 전력시스템에 적용하는 것을 목표로 한 신뢰성공학 및 IT기술 융합형 스마트 전력설비 감시진단기술의 개발
- 전력설비에서 신뢰성이 있는 운전과 경제성이 있는 보수 및 유지를 위하여 각 기기별 특유의 상태 진단에 필요한 고감도 센서, 일체형 Smart 센서, 디지털 측정 및 지능형 분석기술개발
- 광역 지원체제가 가능한 종합네트워크 및 전력 인프라 디펜스 시스템 및 네트워크와 결합할 수 있는 IED(Intelligence electronic Device)형 진단장치 개발
- 전력기기의 진단 데이터베이스의 구축과 이로부터 수명을 예측하고 신뢰성 평가를 기반으로 하고 업체의 전략을 가미할 수 있는 스마트 진단기술개발

이러한 이유로 현재 국내에서는 삼성, LG 등의 대기업 및

피에스텍, 중앙제어, 한맥전자 등과 같은 중소기업을 통해 각종 무선 모듈을 이용한 원격 검침 시스템의 상용화가 추진되고 있는 실정이다.[1,2] 그러나, 이러한 시스템들은 전력 설비에 있어서 최종 수용가 및 최종 검침 관리자의 단계에 기초적인 적용이 이루어지고 있는 실정이며, 계통의 수변전에 있어서 간선의 누설 전류 검침 및 감시에 대한 시스템은 경보 단계에 불과하다. 또한, 제품의 표준화, 가격과 신뢰성 문제, 데이터 검출 및 전송과정오차 발생, 호환성 및 확장성부재, 단말기 및 주변장치의 고가 등의 문제점이 있는 실정이다.[3,4] 최근에는 누전차단기의 오동작에 의한 안전사고예방과 관리의 효율성을 고려한 새로운 기능의 차단기에 대한 연구가 진행되고 있으며, 안전사고에 대한 중요성이 부각되고 있다.[5,6]

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 배전용 간선 회로 누설전류 무선 원격 감시 모니터링 시스템을 개발하고자 한다. 개발된 시스템은 각종 건축물의 전기 설비에 사용되는 보호 및 감시 시스템에 유비쿼터스 무선 통신 모듈을 장착하여 실시간으로 각 간선 회로의 누설 전류 검출 상태정보를 통합 DB 기반의 중앙 모니터링 시스템으로 전송하여 원격 감시 및 경보 발생을 가능하게 하는 모듈로서 그 주요 기능은 다음과 같다. 먼저 간선회로 누설 전류를 검출하며, 무선 통신 원격 검침 시스템을 구현한다. 또한, 단계별 경보 기능이 가능한 GUI 통합 모니터링 경보 기능을 구현하며, 통합 DB 연동을 통한 신속한 정보 분석/취득 및 사고 이력을 파악할 수 있다.

따라서, 본 논문에서 개발된 시스템은 통합 DB 연동을 통한 신속한 대응으로 사고 피해를 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 자산 및 장비의 취득에서 운용, 보전, 이동, A/S, 업그레이드, 폐기까지의 Total Life Cycle Cost를 최소화 할 수 있으며, 무선 통신에 의한 간선회로의 누설전류를 실시간으로 이상 유무 상태를 파악할 수 있다.[10] 또한, 현장 작업자에 대한 효율적 작업지시 및 안정성 확보가 가능하며, 시스템 관

\* 正 會 員 : (株)보강하이텍 代表理事  
 \*\* 正 會 員 : 東明大學校 메카트로닉스工學科 教授 · 工博  
 † 교신저자, 正會員 : 東明大學校 電氣電子工學科 教授 · 工博  
 E-mail: dongwan@tu.ac.kr  
 接受日字 : 2008年 7月 15日  
 最終完了 : 2008年 8月 14日

리 체계에서의 처리 및 조치의 신속화가 구축되고, 관리 작업에 따른 제반 소요 경비의 절감이 가능하다. 그리고 간선 회로 누설전류 원격 감시 시스템의 국산화를 통한 수출입 대체효과가 기대되며, 최종적으로 타 방재시스템과의 연계기술 개발 및 운용기술 개발을 통한 통합 방재시스템의 구축이 가능하다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 기존의 시스템

기존의 무선제어를 이용한 가정용 전원차단 제어시스템은 수용가 전력선의 입력단에 설치된 OMR(Off-site Meter Reading) 적산전력량계와 누전차단기를 이용하여 무선원격제어에 의해서 전원공급을 차단 및 복구시키는 것으로 가정용 교류입력 전력선이 OMR 적산전력량계 및 누전차단기의 전력선에 입력단자로 연결되고, 누전차단기의 전력선 출력단자에 가정용 부하로 전원을 공급하기 위한 출력 전력선이 연결된 형태이다.[7,8]

OMR 적산전력량계는 내부에 무선 데이터 송수신이 가능한 RF모듈과 안테나가 포함되어 있으며, 적산된 전력 사용량을 숫자로 나타내는 디스플레이부로 구성되어 있다. 또한, RF모듈을 통해 원격제어신호를 수신하여 제어신호를 발생하는 펄스신호 발생부로 구성되어 있다. 누전차단기는 내부에 전력선의 누설전류를 감지하는 감지회로 및 전원 차단용 릴레이 스위치가 포함되어 있으며, 외부에 푸시버튼타입의 테스트 스위치와 메인 스위치가 설치되어 있다. 그리고 OMR 적산전력량계에서 발생된 제어신호에 반응하여 테스트 스위치 및 메인 스위치의 스위칭을 제어하는 스위치 제어회로로 구성되어 있다.[9]

이러한 가정용 전원차단 제어시스템은 순간적인 누전상태에서 정상상태로 회복되는 경우에도 차단기를 개방함으로써 부하의 정전 및 그로 인한 시스템의 정상상태 회복에 시간이 걸린다는 문제점이 있다.

### 2.2 제안된 시스템

본 논문에서 개발된 배전용 간선 회로 누설전류 무선 원격 감시 모니터링 시스템은 분전반 배선라인에 무선통신부를 포함한 누설전류 컨트롤러를 이용하여 실시간으로 각 간선회로의 누설전류 상태를 휴대단말기로 전송하여 원격지에서 무선 원격감시 및 제어를 수행하는 시스템으로 전체 구성도는 그림 1과 같다.

개발된 시스템은 전력선 입력단에 설치되어 전원을 차단 또는 공급하는 차단기의 전단과 후단의 전압, 전류 또는 전력상태의 어느 하나 이상을 감지하고 그 차이값을 비교하는 비교부, 비교부로부터 출력되는 오차신호에 따라서 차단기를 온, 오프 제어하는 제어부, 감지된 전압, 전류, 전력상태를 데이터통신에 의해 전송받는 무선통신부 및 무선통신부로부터 전송된 정보를 수신하는 휴대단말기로 구성되어 있다.[10]

개발된 시스템의 동작은 다음과 같다. 상용 전원은 누설전류 컨트롤러가 포함된 차단기를 통하여 각각의 분전반 배선라인에 접속된 복수의 부하에 공급되며, 정상상태인 경우 분전반의 전압, 전류, 전력에 대한 관계식을 도출하고 구해진 관계식의 허용범위를 설정하여 제어부에 프로그램 한다. 만

약 부하의 분전반 배선라인에서 누설전류가 발생되면 차단기 전단의 전압, 전류, 전력상태와 후단의 전압, 전류, 전력상태를 비교부에서 감지하고, 제어부에서는 비교부의 신호에 의해 제어신호를 출력하여 차단기의 온, 오프제어를 수행한다.

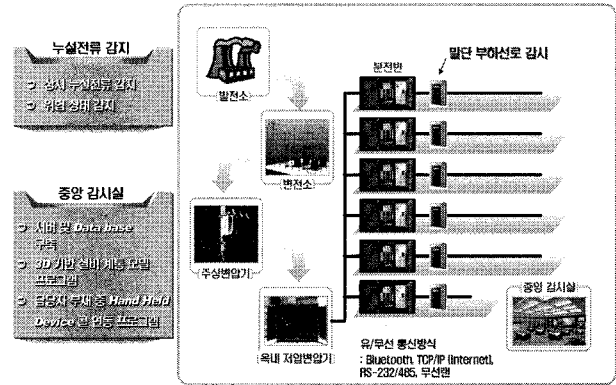


그림 1 제안된 시스템의 전체 구성도

Fig. 1 Block diagram of proposed system

이 때 차단기의 온, 오프를 판단하는 기준신호는 실험 또는 시뮬레이션을 통하여 그 허용범위를 정한다. 따라서, 이러한 허용범위에 의하여 일시적인 누전현상인 경우에는 차단기가 차단되지 않아도 일정시간이 경과한 후 다시 정상상태로 돌아오므로 각 부하 또는 시스템을 복구할 필요가 없기 때문에 분전반 배선라인의 영구고장 및 일시고장을 판단하여 차단기를 개방함으로써 불필요한 시스템의 복구가 필요 없게 된다. 또한, 무선통신부는 비교부에서 감지된 전압, 전류, 전력상태를 제어부 및 휴대단말기에 전송한다. 휴대단말기는 전송된 정보를 수신하여 현재 차단기의 상태를 모니터링하고, 그 상태가 위험하다고 판단되면 제어명령을 무선통신부를 통하여 제어부에 발신하여 제어부는 차단기를 개방한다. 또한 휴대단말기에서는 기준신호 및 허용범위를 설정할 수 있다. 따라서, 개발된 시스템은 원격지에서 분전반 배선라인의 상황을 모니터링하고 적절히 대처할 수 있다.

그림 2와 3은 각각 본 논문에서 개발된 누설전류 검출회로와 센싱부로서 고역통과 필터 사용 시 특정대역의 고주파 발생비율의 차와 부하에 전원을 공급하는 정상상태와 동일한 조건에서 발생하는 아크 상태에서의 고주파 발생 비율의 차를 검출하며, 전류 실효값의 변화량 감시, 아크 사고 발생시 영점 교차부분에서 지연되는 현상 및 아크와 스파크의 지속시간을 측정한다.

그림 4와 5는 각각 본 논문에서 개발된 ATMega 128을 이용한 무선 통신보드와 회로도로서 RS-232, 485, Bluetooth, 무선 Ethernet 통신이 가능하다.

그림 6은 본 논문에서 개발된 무선 원격 감시용 프로토콜로서 통신 컨트롤러의 구분 및 어드레스 확인, 통신 대상에 대한 제어(요청, 정지, 동작, 데이터 변경 등), 출력상태 및 검출 상태 실시간 확인, 알람 발생 상태 체크, 통신 오류로 인한 데이터의 변질이 없는지 체크하기 위한 체크섬 부여 기능이 있다.

그림 7은 본 논문에서 개발된 누설전류 데이터 검출 단말기로 Alarm 및 Warning 상태를 표시하며, 단계별 경보 발령

정보를 SMS, PDA, 무전기, 자체 유선 방송을 통해 경보가 가능한 Menu driven LCD display 환경을 구축한다.

그림 8과 9는 각각 본 논문에서 개발된 시스템의 통합 GUI 모니터링 S/W와 클라이언트 GUI S/W를 나타낸다.

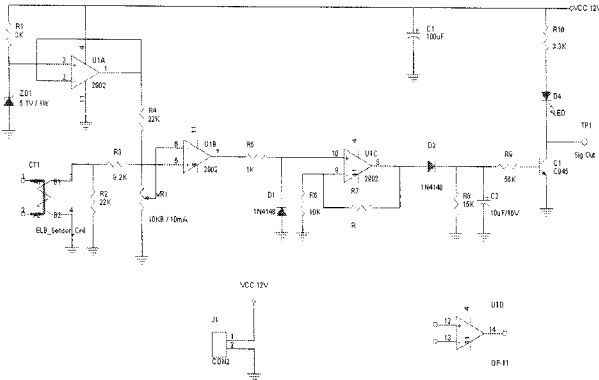


그림 2 누설전류 검출회로  
Fig. 2 Detecting circuit of leakage current

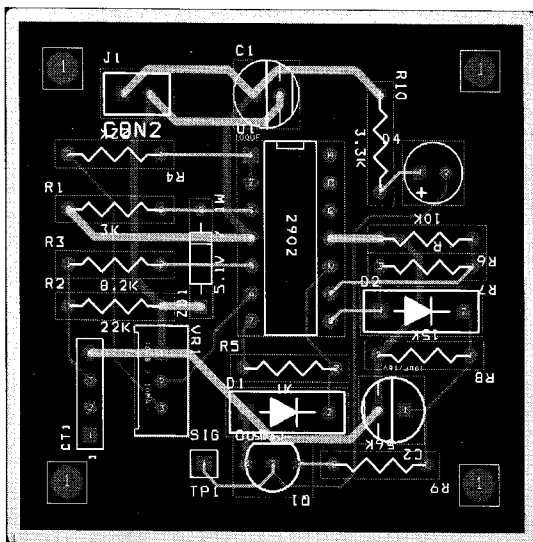
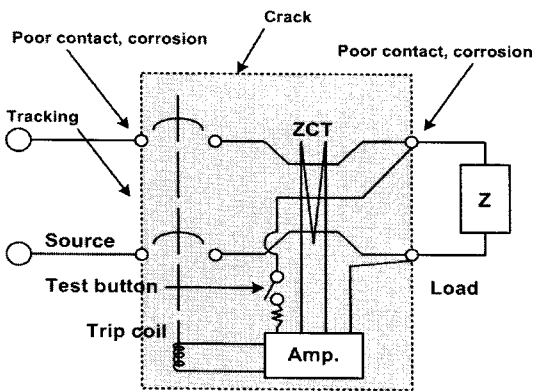


그림 3 누설전류 검출회로 센싱부  
Fig. 3 Sensing device for detecting circuit of leakage current

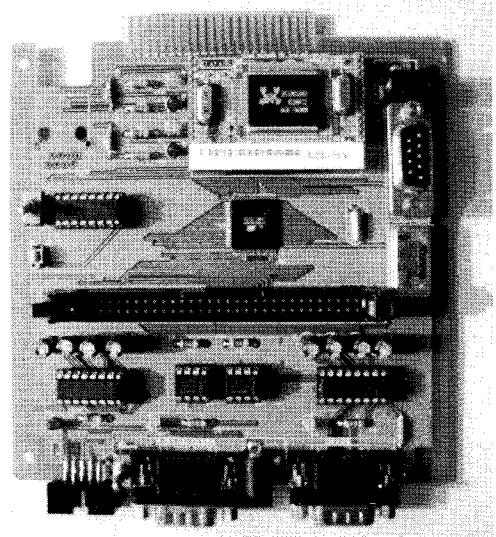


그림 4 ATMega128을 이용한 무선 통신보드  
Fig. 4 Wireless communication board using ATMega128

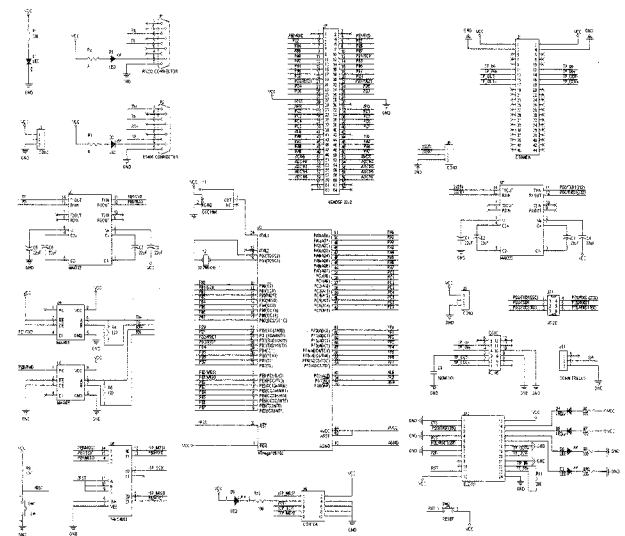


그림 5 ATMega128을 이용한 무선 통신보드의 회로도  
Fig. 5 Circuit configuration of wireless communication board using ATMega128

**Communication Protocol**

Byte	Information	Byte	Information	비고
0	Start Code	1	Duty	
1	Controller	2	High Voltage Limit Value (V)	
2,3	Controller Address	3	High Voltage Limit Value (V)	
4	Bar tonizer	4	Low current alarm value (V)	
5	Bar tonizer	5	Low current alarm value (V)	
6	Model - 3	6	Alarm limit value	
7	Bar Address	7	Bar tonizer	
8	Bar Address	8	Bar tonizer	
9	Bar Address	9	Bar tonizer	
10	Frequency	10	Bar tonizer	
11	Duty	11	Bar tonizer	
12	Duty	12	Bar tonizer	
13	Duty	13	Bar tonizer	
14	Analog Value [0]	14	Bar tonizer	
15	Analog Value [1]	15	Bar tonizer	
16	Analog Value [2]	16	Bar tonizer	
17	Analog Value [3]	17	Bar tonizer	
18	Alarm State	18	Bar tonizer	
19	Bar State	19	Bar tonizer	
20	Bar State	20	Bar tonizer	
21	Bar State	21	Bar tonizer	
22	Bar State	22	Bar tonizer	
23	Bar State	23	Bar tonizer	
24	Bar State	24	Bar tonizer	
25	Bar State	25	Bar tonizer	
26	Check Sum	26	Bar tonizer	
27, 28	Line Feed, New Line	27, 28	Bar tonizer	

그림 6 통신 프로토콜  
Fig. 6 Communication protocol

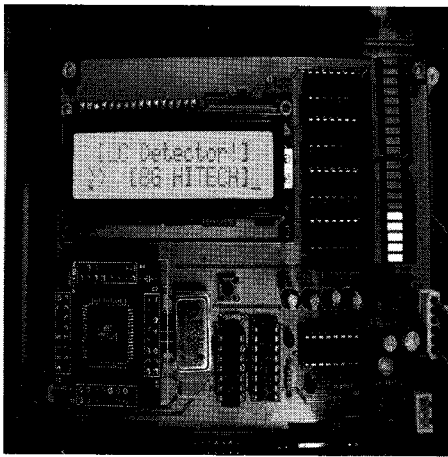


그림 7 누설전류 데이터 검출 단말기  
Fig. 7 Data detecting device of leakage current

험회수는 10회로 하여 평균치를 적용 하였다. 누전차단기의 정격 부동작 전류는 정격 감도전류의 50[%] 이상으로 하고, 정격 감도전류가 10[mA] 이하인 것은 60[%] 이상이 적용되었다. 동작시간은 인체 감전보호용으로 사용되는 감전보호용 누전차단기의 정격감도 전류의 동작시간인 0.03초 이내인 것을 사용하였다.

그림 10은 5종류의 샘플에 임의의 누설전류를 ZCT 1차측에 인가 하였을 때 누전차단기의 트립 동작시간 특성을 시험한 결과로 X축은 동작시간을, Y축은 테스트 횟수를 각각 나타낸다.

테스트 1은 최소동작시간을 비교한 것으로 열화 전후 상태에서 모두 양호한 동작특성을 나타냈다. 테스트 2의 경우 열화 전 상태에서는 모든 샘플이 정상 동작을 하였으나, 3개월 이후에는 21.8[%]가 규정범위를 초과하여 측정되었다. 테스트 3의 경우 정상상태에서 모두 정상범위 내에서 동작하였으나, 3개월 이후에는 53[%]의 고장률이 발생되었다. 테스트 4는 옥외에 설치되기 전후로 모두 정상적인 범위 내에서 동작하여 가장 우수한 특성을 나타냈다. 테스트 5의 경우 열화 전에는 모두 정상범위 내에서 동작하였으나, 3개월 후에는 78[%]의 고장률이 나타났다.

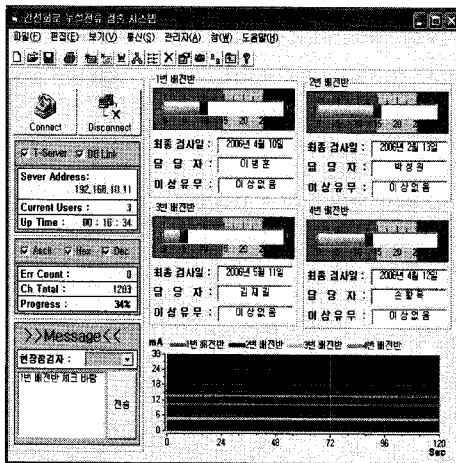


그림 8 통합 GUI 모니터링 S/W  
Fig. 8 GUI monitoring S/W

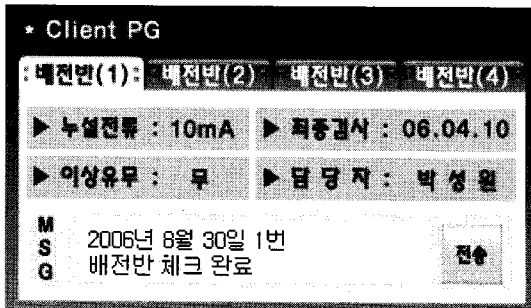
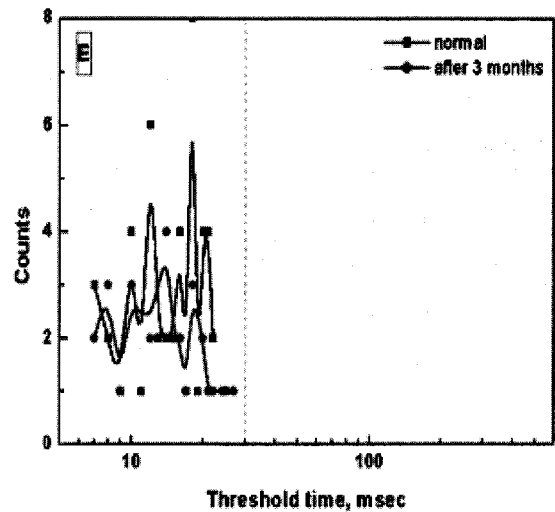
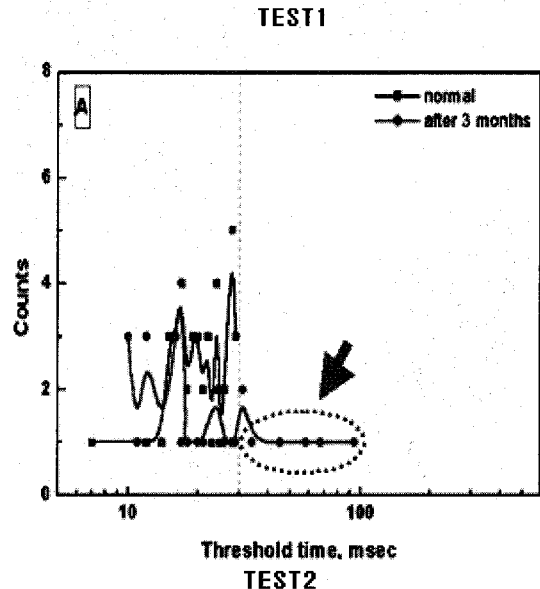


그림 9 클라이언트 GUI S/W  
Fig. 9 Client GUI S/W

### 3. 성능평가

본 논문에서 개발된 누전차단기의 동작특성을 분석하기 위하여 누전차단기 실험기(C.A6030)를 이용하여 누전차단기의 차단특성을 분석한 결과는 각각 그림 10 및 11과 같으며, 실



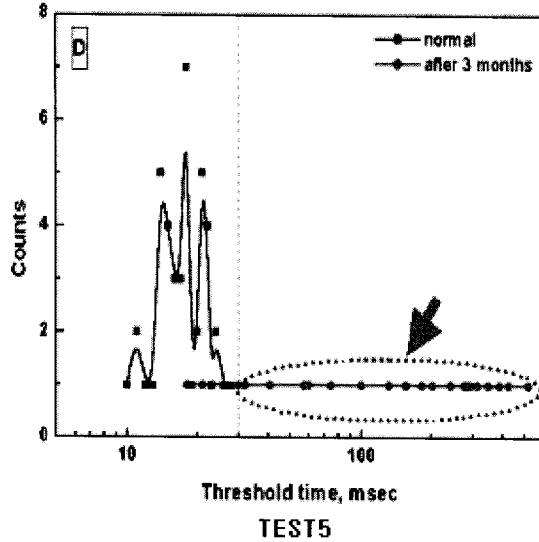
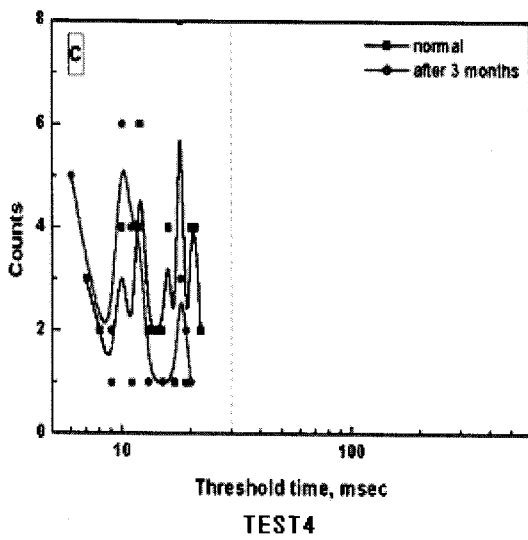
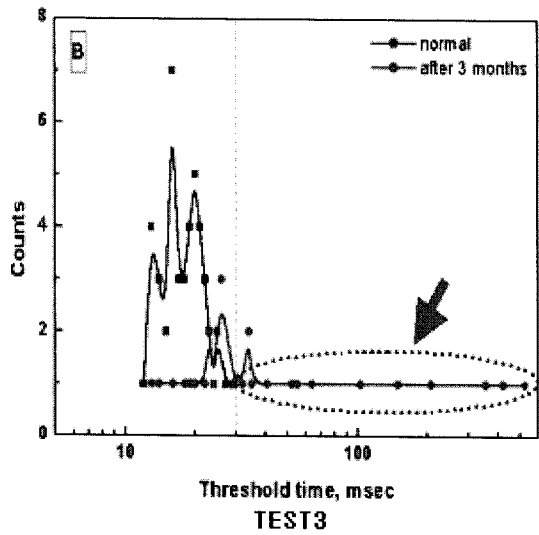


그림 11은 5종류의 샘플을 현장 설치 전후에 최소 동작전류를 측정하여 옥외에 설치되기 전의 정상상태와 옥외에 설치되어 3개월이 지난 샘플에 누설전류 1[mA/sec]을 인가하였을 경우 최소 차단전류 특성결과이다.

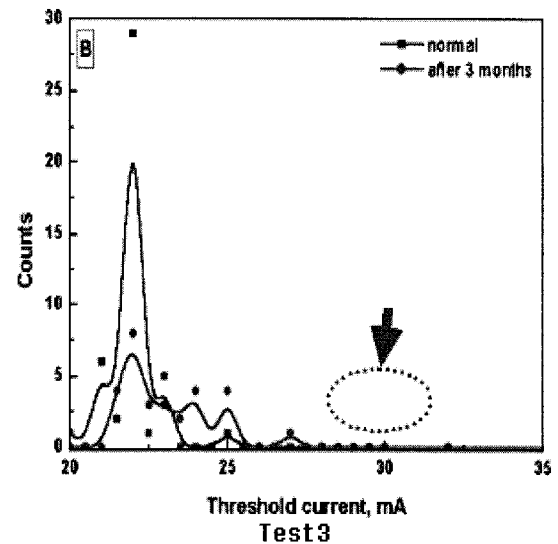
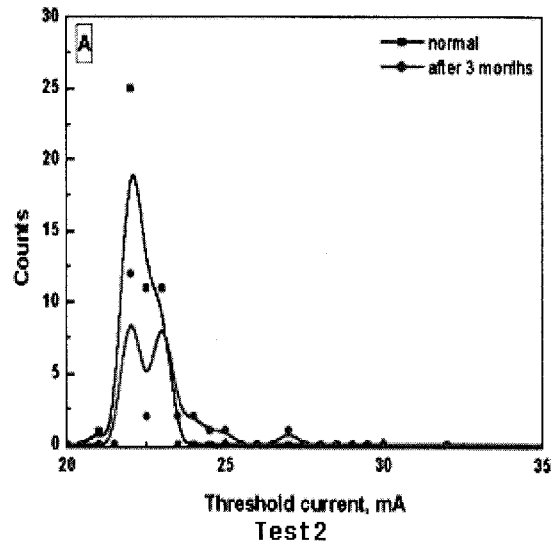
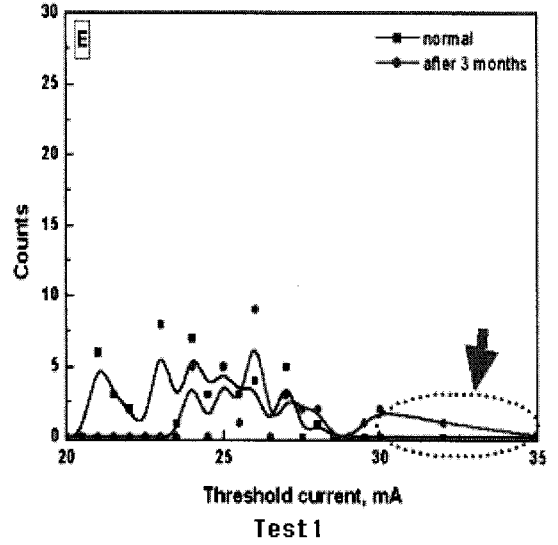


그림 10 최소동작 시간특성  
Fig. 10 Time characteristics of minimum performance

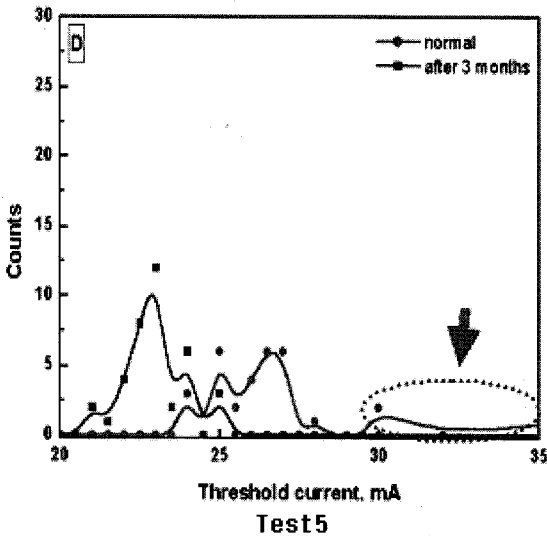
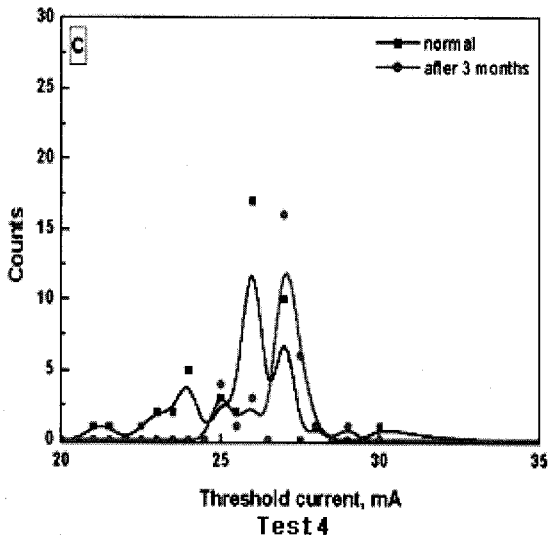


그림 11 최소동작 전류특성

Fig. 11 Current characteristics of minimum performance

테스트 1의 최소 차단전류는 열화 전 상태에서는 모두 양호한 것으로 나타났으나, 3개월 열화 후에는 6.2[%]의 고장률을 나타냈다. 테스트 2는 최소 차단전류를 비교 측정된 것으로 열화 전 상태와 후의 상태에서 모두 양호한 특성을 나타냈다. 테스트 3의 경우는 열화 전 상태에서 모두 정상범위 내에서 동작하였으나, 3개월 열화 후에는 9.3[%]의 고장률을 나타냈다. 테스트 4의 경우에는 열화 전후에서 모두 양호한 특성을 나타냈다. 테스트 5의 경우에는 열화 전 상태에서는 모두 양호한 특성을 나타냈으나, 3개월 열화 후에는 25[%]의 고장률을 나타냈다.

다음으로 본 논문에서 개발된 무선 원격 감시시스템의 통신 테스트 결과는 그림 12와 같다. 그림 12에서 왕복지연율 테스트의 경우 지연을 허용 범위인 0[MS]~25[MS]를 넘어서지 않음으로 원활한 통신이 이루어짐을 알 수 있다. 또한, 손실율 테스트의 경우 데이터 패킷의 손실율이 0이므로 통신상태가 양호함을 알 수 있다. 마지막으로 서버 및 PC간의 PING 속도 및 접속 상태를 확인하는 Forward/Reverse 테스트

트의 경우 현재 송신신호의 속도가 0[MS]~40[MS]로서 정상이라고 할 수 있으며, 수신신호 역시 허용범위인 0[MS]~100[MS]를 넘지 않아서 원활하다고 할 수 있다.

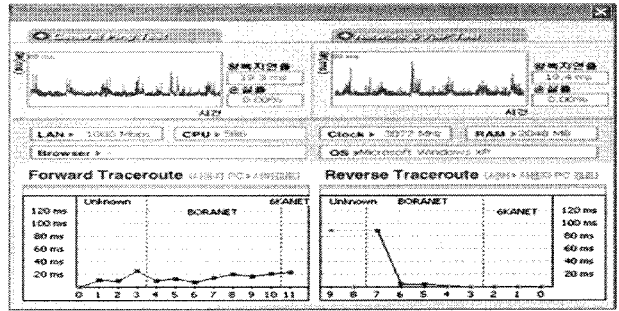


그림 12 통신 테스트

Fig. 12 Communication test

#### 4. 결 론

최근에는 전기안전의 관점에서 안전의 예방과 관리를 위해 통신기능과 자동화기술이 적용된 전기장치의 연구가 활발히 진행되고 있으며 특히, 각종 무선통신기술을 이용한 원격 점검 시스템의 상용화가 추진되고 있으나, 이러한 시스템들은 최종 수용가 및 점검 관리자의 단계에 기초적으로 적용이 되고 있으며, 전력 설비 분야에 있어서 간선회로 누설 전류 검출 시스템에 대한 무선 원격 통합 모니터링 자동화 시스템의 적용은 전무한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 배전용 간선 회로 누설전류 무선 원격 감시 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 각종 건축물의 전력설비에 사용되는 보호 및 감시 시스템에 유비쿼터스 무선 통신 모듈을 장착하여 실시간으로 각 간선 회로의 누설 전류 검출 상태정보를 통합 DB 기반의 중앙 모니터링 시스템으로 전송하여 원격 감시 및 경보 발생을 가능하게 하는 모듈이다. 이를 위하여 먼저 간선회로 누설 전류를 검출하며, 무선 통신 원격 점검 시스템을 구현하였다. 또한, 단계별 경보 기능이 가능한 GUI 통합 모니터링 경보 기능을 구현하였으며, 통합 DB 연동을 통한 신속한 정보 분석/취득 및 사고 이력을 파악할 수 있었다. 본 논문에서 개발된 누전 차단기의 동작특성을 분석하기 위하여 누전차단기 실험기를 이용하여 누전차단기의 차단특성을 분석한 결과 양호한 특성을 나타내었다. 따라서 본 논문에서 개발된 시스템이 상용화될 경우, 1차 전력 공급원으로부터 제공된 전력의 신뢰도를 높일 수 있을 뿐만 아니라, 양질의 전력 공급이 가능하여 전력 공급자 및 소비자의 전력소비 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한전전력연구원에서 시행한 전력산업연구개발사업(과제번호:R-2005-7-225)의 지원에 의하여 이루어진 연구결과로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 전현재, 전정채, 유재근, "일반용 전기설비의 원격 전기 안전 감시를 위한 수용가 설치 장치 모델", 조명전기설비학회논문지, Vol. 21, No. 3, pp.101-107, 2007.
- [2] 김기연, 박치현, 임용배, 최명일, 배석명, "수용가 저압 전기설비의 원격감시시스템 및 아크차단장치 활성화방안에 관한 연구", 조명·전기설비학회논문지, Vol. 22, No. 1, 2008.
- [3] 김은배, "누전차단기의 특성해석에 관한 연구", 한국화재소방학회논문지, Vol. 2, No. 1, pp.21-28, 1988.
- [4] 전정채, 이상익, 유재근, "고조파가 누전차단기에 미치는 영향", 조명·전기설비학회논문지, Vol. 20, No. 3, pp. 84-89, 2006.
- [5] 임용배·정종욱·정진수·조성원, "누설전류 측정을 이용한 부재수용가의 전기안전점검", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.260-263, 2006.
- [6] 이상익·최규하, "공장전기설비의 누전차단기 오동작 조사 및 전력품질 분석" 전력전자학회논문지, Vol. 13, No. 1, pp.15-21, 2008.
- [7] Seung Jin Ham, Song Yop Hahn, Chang Seop Koh, "The New Residual Current Protective Devices Operating by Resistive Leakage Current", Trans. KIEE. vol. 57, No. 2, FEB. 2008.
- [8] Chong Min Kim, Woon Ki Han, Sun Bae Bang, Han Sang Kim, Keon Bo Shim, "Analysis of Electric Shock Accidents and Check Results in Domestic and Foreign Low-Voltage Handhole", Journal of KIEE, Vol. 22, No. 1, pp. 124-131, Jan. 2008.
- [9] Sang Ick Lee, Hyun Jae Jeon, Gi Hyun Kim, Seok Myung Bae, "Analysis of Electrical Installation Survey of conventional Markets", Trans. KIEE. Vol. 57P, No. 2, Jun. 2008.
- [10] 김동완, 박지호, 김종달, 김상동, 박성원, "배전반 간선 회로 누설전류 무선 원격감시시스템 개발에 관한 연구", 대한전기학회 부산지회 춘계학술대회 논문집, pp. 31-33, 2008.

저 자 소 개



**박성원 (朴成元)**

1973년 12월 1일생. 2000년 동아대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 현재 (주)보강하이텍 대표이사.

Tel : 051-803-3652

E-mail : psw7374@bghitech.co.kr



**박지호 (朴志浩)**

1971년 4월 23일생. 1997년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(공학). 2000~현재 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수.

Tel : 051-629-1539

E-mail : parkjh@tu.ac.kr



**김동완 (金焯完)**

1960년 2월 1일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1987년 부산대학교 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(공학). 건축전기설비기술사, 1997~현재 동명대학교 전기전자공학과 교수.

Tel : 051-629-1314

E-mail : dongwan@tu.ac.kr