

## 발전기 보호용 다기능 IED 시제품 H/W 구현에 관한 연구

(A Study on Implementation of Multi-Function Prototype IED H/W  
for Generator Protection)

김윤상\* · 안태풍 · 박철원\*\*

(Yoon-Sang Kim · Tae-Pung An · Chul-Won Park)

### Abstract

Generator faults does not happen more often than the transmission and substation facility faults. However, impacts on the power system by generator faults are very large. In order to minimize the impact of generator faults, generator protection and control system with high reliability is required. Most of the generator relay in generator protection and control system of large power plant of Korea is operated by imports from abroad. Accordingly, in order to accumulate source technology and increase the import substitution effect, localization of multi-function generator protection IED is being developed.

This paper deals with the implementation of a multi-function prototype IED H/W, which can be command and data exchange through communication for measuring, monitoring, protection and control. And the IED specification, various relay elements, measurement elements, communication functions, module function, and test system for the prototype IED H/W are described.

Key Words : Generator Faults, Generator Protection and Control System, Generator Relay, Implementation of a Prototype, Large Power Plant, Localization, Multi-Function IED

### 1. 서 론

디지털 계전기나 IED(Intelligent Electronic Device)는 왜곡된 계전신호에도 불구하고 사고를 신속, 정확하게 감지하여야 한다. 근래 신호처리기술과 마이크로프로세서의 이용으로 계전기의 성능이 획기적으로 개선되고 있다. 발전기 사고는 송변전설비 사고에 비해 빈도는 적으나 전력계통에 주는 충격은 매우 크다. 이에 사고의 영향을 최소화할 수 있도록 높은 신뢰성의 발전기 보호제어시스템이 요구된다. GE사는

---

\* 주저자 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수  
\*\* 교신저자 : 강릉원주대학교 전기공학과 교수  
\* Main author : Korea University of Technology and Education  
\*\* Corresponding author : Gangneung-Wonju National University  
Tel : 033-760-8786, Fax : 033-760-8781  
E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr  
접수일자 : 2013년 8월 10일  
1차심사 : 2013년 8월 17일, 2차심사 : 2013년 10월 8일  
심사완료 : 2013년 10월 16일

DGP(Digital Generator Protection System)용으로 G60를, SIMENS사는 Siprotec를, ABB사는 REG670을 출시하여 세계의 발전기 보호반 시장에 수출하고 있다[1]. 그러나 국내 대용량 발전소의 발전기 보호제어시스템은 높은 기술과 고 신뢰성이 요구되고 또한 수요가 많지 않기 때문에 개발하여 공급하지 못하고 해외로부터 모두 도입하여 운영되고 있다. 또한 국내의 보호제어시스템은 현재까지 일정한 기술기준이 없이 각 발전소별 건설계약자의 설계에 따라 결정되어 외산으로 답습 도입되어 왔다. 또 현장에 설치된 보호계전기의 손상 시 자체 기술력의 부족으로 인해 신속하고 능동적인 대응력이 부족하였을 뿐만 아니라 최적응용이 어려웠다. 그러므로 노후된 설비의 선진화에 따라 제반 계전설비의 교체시 주도적인 역할을 하고 더 나아가 차세대 발전기용 디지털 보호계전시스템을 개발하여 국산화함으로써 수입대체 효과와 외화낭비요인을 제거하려는 노력이 증대되어야 한다[2].

2012년 중반부터 한수원에서는 2016년까지 10MW 이상 프란시스 수차 발전기 국산화 개발 및 실증 연구가 추진되고 있는바 본격적으로 발전기용 보호제어시스템의 연구가 시작될 전망이다. 국내 일부 발전소에 전력설비보호감시제어시스템(ECMS:Electrical Equipment Control &Monitoring System) 기술이 적용되고 있다.

그동안 보호알고리즘에 관한 논문들은 많이 발표되었으나, 보호계전기 하드웨어 및 구현에 관련된 논문은 그리 많지 않다. 1991년 전력용 변압기용 독립형 디지털 보호계전기가 IEEE trans. on Power Delivery에 처음으로 발표된 이후, 독립형 보호계전기의 알고리즘과 시험에 관한 논문이 발표되었다[3-4]. 국내에서도 전력용 변압기의 디지털형 계전기와 IED 설계 및 시험에 관한 논문이 제시되었다[5-9]. TMS320C32를 이용한 과전류계전알고리즘의 구현, 네트워크 기반 저전압 보호계전기가 개발되었다[10-11]. 최근 디지털 변전소의 이중화 방안, 플랫폼을 기반으로 IED의 개발이 완료되었고[12,14], 이어서 154kV 송전선로 IED 반의 한전일반구매규격이 개정되었다[15]. 한편 발전기 보호제어를 위한 bay controller 설계가 제시[16]되었을 뿐 발전기 전용 국산 디지털 다기능 IED 개발품

은 현존하지 않는바, 지식경제부의 지원을 통해 대형 발전기 내부사고 보호를 위한 다기능 IED 시제품 기술 개발이 진행되었다[1].

본 논문은 상기 연구과제 결과의 일부로서, 대용량 발전기 보호제어시스템을 위한 계측, 모니터링, 보호 및 제어 등이 통신을 이용하여 명령 및 자료교환이 가능한 다기능 IED 시제품 구현을 다룬다. IED 시제품의 사양 및 제반 보호요소, 계측요소, 통신 기능, 모듈별 기능을 기술하였고, 실시간 테스트 방법을 제시하였다.

## 2. 발전기 보호용 다기능 IED

그림 1은 발전기 보호용 다기능 IED로 이루어진 발전기 시스템의 단선도이다. 그림 1과 같이 발전기용 다기능 IED의 제반 보호계전요소는 전류계전기(50/51), 과전류지락보호계전기(50/51G), 유효전력계전기(32P), 선택지락계전기(67G), 저전압계전기(27), 과전압계전기(59), 과전압지락계전기(64), 동기탈조계전기(40), 임피던스계전기(21P) 등으로 구성되는데 실시간 테스트를 통해 성능이 검증되었다[1].

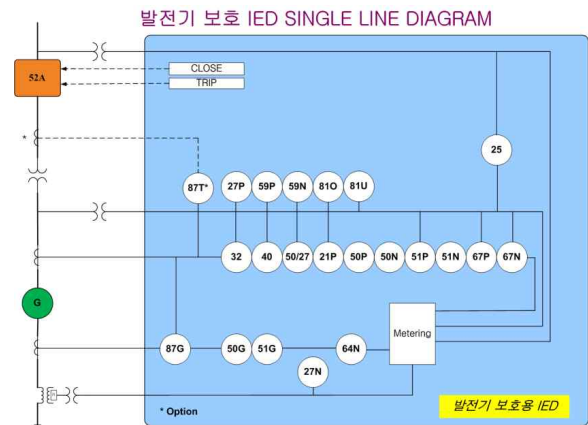


그림 1. 발전기 시스템  
Fig. 1. Generator system

### 2.1 IED의 사양과 주 기능

다기능 IED는 보호계전 및 제어를 용이하게 구성할 수 있도록 범용적인 하드웨어 사양으로 구성되었으며 표 1은 주요 제작 사양이다.

표 1. IED의 주요 제작 사양

Table 1. Main specifications of IED

정격 전압	AC : 단상 220V/110V, 50/60Hz DC : 24V 허용 전압변동 범위 : 85~110%
정상 사용 상태	Operating Temperature : -40° to +85°C Humidity : 5% to 95% without condensation
절연 및 내서 어지 강도	상용주파 내전압(IEC60255-5) : 2kV, 1분간 충격과 내전압(IEC60255-5) : 6kV(1.2× 50μs), 3kA(8× 20μs) 서어지 내전압(ANSI/IEEE C37.90.1) OSC : 2.5~3kV, 1~1.5MHz, 6us Fast : 4~5kV, 150±50ns 전자과 장애시험(ANSI/IEEE C37.90.2) : 900MHz, 10V/m
계측 기능	CT : 정밀도 0.5급(정격의 5%-150%내) ZCT : 100mA이하 비접지 고장검출 PT, GPT : 정밀도 0.5%급(정격의 5%-150%내)
제어 기능	사용자 PLC 편집제공
통신 기능	다양한 물리계층 포트 제공 : RS-232, RS-485, TCP/IP

본 IED의 적용시스템은 3상3선식 또는 3상4선식이고 적용주파수는 50/60Hz system and ABC/ACB phase rotation이고, 제어전원은 AC Voltage Input 110V/220Vac 또는 other voltage (+10%,-15%), Nominal DC Voltage은 24Vdc 이다. 사용자전원 출력, 계측부(Analog Input), 상태입력부, 제어출력부, 충전 및 제어전원 장치로 구성된다[1].

### 2.2 IED 구현 및 성능 검증 고찰

본 IED의 MPU는 MPC860, CPU는 MPC860, DSP는 TMS320C6713가 사용되었다. 표 2는 구현된 IED의 마이크로프로세서 사양이다. 여기서 MPU는 시스템관리, 세팅, 이력 및 파형 DB 관리, 로직 연산, 입출력 및 HMI 관리에 사용된다. CPU는 다중 Protocol, 이벤트 ,REMAP, DB 및 통신 포트 관리에 사용된다. DSP는 신호처리와 계측 및 보호알고리즘 연산에 사용된다.

표 2. 마이크로프로세서 사양

Table 2. Specifications of microprocessor

Micro Processor	Features
MPU	MPC860 High-speed 32-Bit Reduced Instruction Set Computer(RISC) CPU >50 Million Instructions per Second (MIPS) FLASH memory Easy firmware upgrades
CPU	MPC860 High-Speed Comm' support 10/100Mbps Ethernet Local Area Network (LAN)
DSP	TMS320C6713 Analog configurations up to 24CH High-speed digital sampling >16 Bit A/D > 128 samples / power cycle Highest-Performance Floating-Point DSP, 1600/1000 MIPS/MFLOPS 16-Bit Host-Port Interface (HPI)

IED는 다양한 계측이 가능한데, 전압, 전류를 기반으로 대칭성분, 역률, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 주파수 등을 측정할 수 있다. 표 3은 IED의 계측요소와 그 정밀도이다. 표 3의 각 Measurement의 Accuracy로부터, 본 IED의 정밀도는 0.1급정도로서 0.3급인 DGP 등의 해외 경쟁사 제품과 비교해볼 때 우수함을 알 수 있다.

표 3. IED의 계측요소

Table 3. Measurements of IED

Measurements	Parameters	Accuracy
CURRENT (정격 : AC 0.6Arms)	Phase A RMS Phase B RMS Phase C RMS Phase G RMS	±0.5mA + ±0.1% of reading(0.03~1.5A), ±0.5°
	N RMS	±0.005mA + ±0.5% of reading(0.5~16.0mA), ±1°
VOLTAGE	A - N (A - B) RMS B - N (B - C) RMS C - N (C - A) RMS	±0.2%(정격전압의 80 ~ 120%), ±0.5°
	Vo(영상전압) RMS	±0.2%(정격전압의 80 ~ 120%), ±0.5°

Measurements	Parameters	Accuracy
SYMMETRICAL COMPONENTS	3V1, 3V2, 3V0	$\pm 0.6\%$ (정격전압의 80 ~ 120%), $\pm 1^\circ$
	3I1, 3I2, 3I0	$\pm 0.01A + \pm 3\%$ of reading(0.03~1.5A), $\pm 1^\circ$
POWER FACTOR	Phase A, B, C 3 $\Phi$ Phase	$\pm 0.02$
REAL POWER	Phase A, B, C 3 $\Phi$ Phase	$\pm 0.7\%$ PF=1, $\pm 1\%$ PF>0.87 (정격전압>80%, 정격전류>0.03)
REACTIVE POWER	Phase A, B, C 3 $\Phi$ Phase	$\pm 0.7\%$ PF=0, $\pm 1\%$ PF<0.5 (정격전압>80%, 정격전류>0.03)
APPARENT POWER	Phase A, B, C 3 $\Phi$ Phase	$\pm 1.2\%$ (정격전압>80%, 정격전류>0.03)
WATT-HOURS	Phase A, B, C 3 $\Phi$ Phase	$\pm 1\%$
DEMAND	Phase A/B/C/G Current A/B/C, 3 $\Phi$ Real P A/B/C, 3 $\Phi$ Reactive P A/B/C, 3 $\Phi$ Apparent P	$\pm 1\%$
FREQUENCY	A-N (A-B) Source/Load Voltage	$\pm 0.02$

IED의 통신기능을 위해 다양한 프로토콜을 지원하기 위하여 물리계층으로는 RS232, RS485, TCP/IP를 갖추고 있다. 표 4는 IED의 통신 포트 사양이다.

표 4. IED의 통신 포트 사양  
Table 4. Communication port of IED

Front Panel Port F	RS232, 38400bps, No Parity, 8 Data Bits, 1 Stop bit, Interface software
Side Terminal Port 1	RS485, 1200~19200bps, No Parity, 8 Data bits, 1 Stop bit
Side Terminal Port 2	RS232, 1200~19200bps, No Parity, 8 Data bits, 1 Stop bit
Side Terminal Port 3	RJ45, Ethernet

그림 2는 IED의 하드웨어 구조를 나타내는 블록도이다. 그림 2와 같이 IED는 AIU(Analog Input Unit), PWU(Power Unit), MPU(Microprocessor Unit),

HMI(Human Main Interface) 등으로 구성된다. AIU는 아날로그 및 디지털 변환부로서 CT&PT, Filter & AMP, MUX & AD 등으로 이루어진다. AIU는 계통의 CT와 PT의 아날로그 값으로부터 보호 기능 수행을 위한 양자화된 디지털 값을 얻는 역할을 하며 일정시간마다 변환을 한다. MPU는 DSP CORE, CPU CORE로 구성되는데, 디지털 값으로 변환된 전압, 전류의 정보로부터 보호연산을 수행하는 디지털 보호계전기 핵심부가 된다. 또 연산처리부, ROM, RAM, 정정치 기억부 등으로 구성된다. PWU는 Charger & Power, DO, DI, Buffer 등으로 이루어지고, HMI와 DNP 3.0 등으로 구성된다.

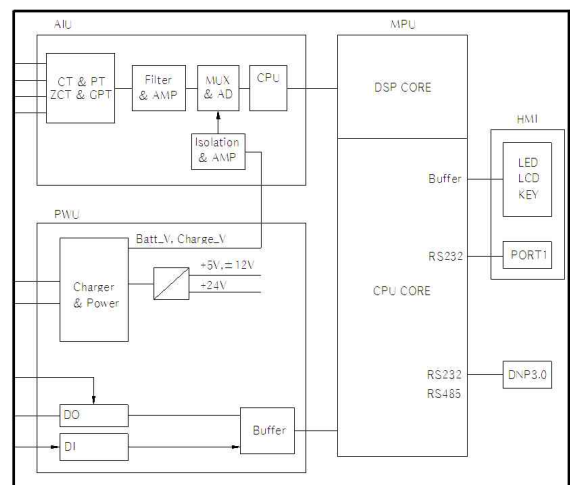


그림 2. IED 하드웨어의 블록도  
Fig. 2. Block diagram of IED Hardware

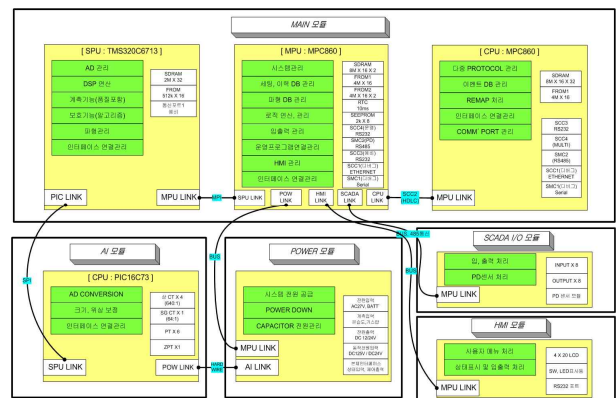
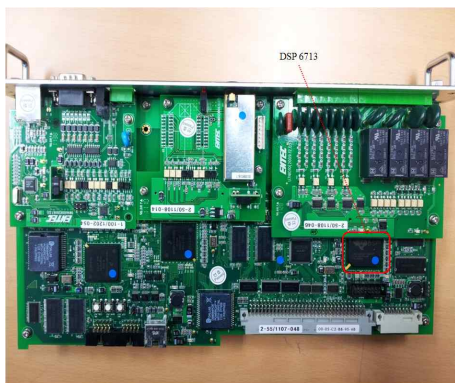


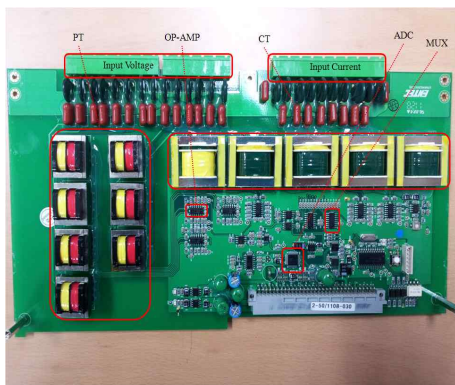
그림 3. 모듈의 기능  
Fig. 3. Function of Modules

그림 3은 IED의 모듈별 기능을 나타낸다. TMS320C6713, MPC680 등으로 구성된 Main 모듈과 PIC16C73 등으로 구성된 AI 모듈, 시스템 전원공급을 하는 POWER 모듈, 입출력 처리 및 PD 센서처리를 하는 SCADA I/O 모듈, 사용자 메뉴 처리, 상태표시 및 입출력 처리를 하는 HMI 모듈로 구성된다.

그림 4는 구현된 다기능 IED의 실제 모습이다. 이는 데이터수집보드(Data Acquisition Board)와 메인보드(Main Board) 등으로 구성된다.



(a) 메인보드



(b) 데이터수집보드

그림 4. IED의 하드웨어  
Fig. 4. Hardware of IED

본 IED 보드에서는 입력된 계전신호에 대하여 CT와 PT의 1차측으로부터 아날로그 신호를 입력받아서 2차측 1A와 4V로 출력된 신호를 스케일하고 OP-AMP로 구성되는 저역통과 필터(LPF)를 통과한 후 MUX를 통과하여 채널별로 A/D 변환을 해주는데

2개의 내부 인터럽트를 사용하게 된다. 한 개의 인터럽트가 완료되면 버퍼에 저장해두었다가 다음 인터럽트 루틴에 의해 A/D 변환을 실시한다. 모든 신호에 대하여 A/D 변환이 완료되면 메인보드 내부에서 작성된 펌웨어에 의하여 필터 기반 다양한 보호 알고리즘을 수행하게 된다. 주기당 샘플링수는 최대 256 S/C로 수행할 수 있도록 하였다.

그림 5는 IEC 61850 통신 기능 구성도이다. 시스템 모델링을 위한 IEC 61850 표준 Logical Node 설계 및 구현하였다. IEC 61850 표준에 정의되지 않은 기능 모델링 위한 확장 Logical Node 정의하였고 IED Capability Description(ICD) 파일을 작성할 수 있다.

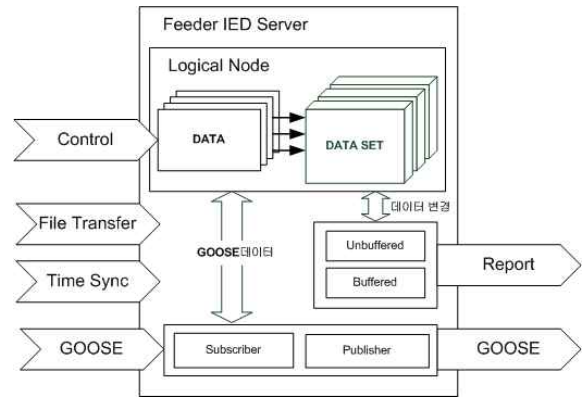


그림 5. IEC 61850 통신 기능 구성도  
Fig. 5. Block diagram of IEC 61850 communication function

그림 6은 다기능 IED의 테스트 블록도이다. 첫째, 시뮬레이션 도구를 이용하여 얻은 데이터를 보호계전기 시험기준(COMTRADE:IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange)으로 변환하기 \*.cfg 파일로 변환한다. 둘째, 변환된 데이터를 아날로그 신호 발생기인 OMICRON 256plus를 통해 Target인 다기능 IED에 입력으로 인가해준다. 셋째, IED에서는 아날로그 입력 신호를 A/D 변환하여 필터링과 다양한 보호알고리즘을 수행하게 된다. 이때 RS232 통신을 이용하여 DSP 6713 보드와 PC를 연결하여 디버깅, 컴파일, F/W 업로드와 같은 작업을 수행한다. 마지막으로 필터링과 보호계전알고리즘에 의해 연산된 데이터를 메모리에 저장하여 모니터링 S/W를 통

해 실시간으로 확인한다. 그림 7은 구현한 IED의 실시간 테스트 실제 모습이다.

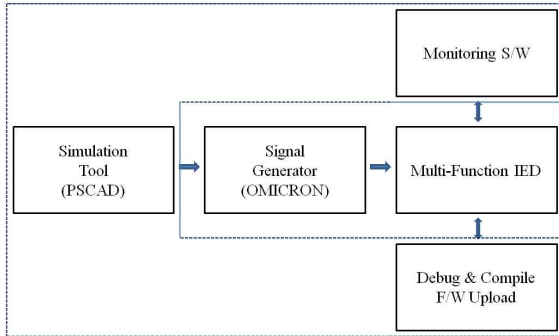


그림 6. IED의 테스트 블록도  
Fig. 6. Block diagram of IED test

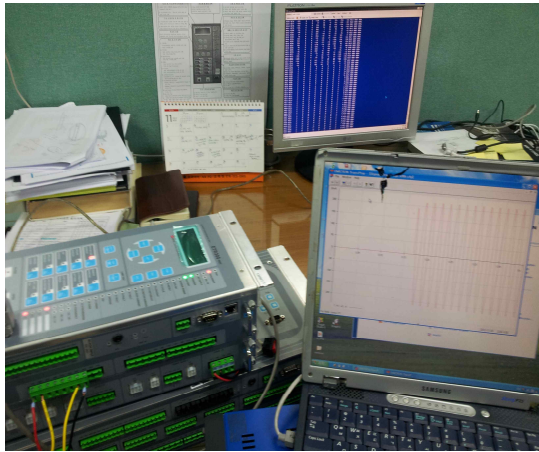


그림 7. IED의 실시간 성능 테스트  
Fig. 7. Real-time performance test of IED

### 3. 결 론

발전기용 다기능 IED는 해외로부터 모두 도입하여 운영되고 있기 때문에 설비손상 시 능동적인 대응력이 부족하고 해외에 기술종속과 외화낭비가 많았다. 이에 대용량 발전기 보호제어시스템의 국산화를 위하여 다기능 IED의 개발과 구현이 수행되었다.

본 논문에서는 수행된 과제 결과 중에서, IED의 사양, 계측기능과 통신기능, 구조 및 모듈별 기능, 일부 실시간 성능 테스트의 방안 등을 중심으로 다기능 IED의 하드웨어 구현을 중심으로 기술하였다.

현재 수행한 다양한 보호요소의 실시간 성능 시험에 관한 논문들이 작성 중에 있다. 향후 신뢰성 검증을 위하여 공인인증기관의 시험을 거친 후, 소용량 발전소의 테스트 베드 검증을 통해 점차로 대용량 발전소에 적용해야 할 것이다. 발전기용 IED의 원천기술 축적을 통한 국산화 개발을 통해 수입대체효과가 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(2010T100100415)과 2013년도 인택전기전자로부터 연구비를 지원받아 수행한 연구 과제입니다.

### References

- [1] Chul-Won Park, et al., "Development of Multi-function IED for Internal Fault Protection of Large Generator", Knowledge Economy, Technological Innovation Projects, Final Report, pp. 1~217, 2013. 5.
- [2] Chul-Won Park, Yu-Hyeon Ban, "Digital Ratio Differential Relaying for Main Protection of Large Generator", Trans. KIEE, Vol. 61P, No. 1, pp. 35-40, 2012. 3.
- [3] I. Hermanto, Y.V.V.S. Murty, M.A. Rahman, "A Stand-Alone Digital Protectively Relay For Power Transformers," IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 6, No. 1, pp. 85-95, Jan. 1991.
- [4] M.A. Rahman, B. So., M. R. Zaman, M.A. Hoque, "Testing of Algorithms for a Stand-Alone Digital Relay for Power Transformers", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp. 374-385, April 1998.
- [5] Gi-Back Kwon, Hee-Seok Suh, Myong-Chul Shin, "Efficiency Improvement of Digital Protective Relay for Power Transformer Using DMA Controller of DSP", Trans. KIEE, Vol. 52A, No. 11, pp. 647-654, 2003. 11.
- [6] Chul-Won Park, Myong-Chul Shin, "Testing of Advanced Relaying and Design of Prototype IED of Power Transformer Protection", Trans. KIEE, Vol. 55P, No. 1, pp. 6-12, 2006. 3.
- [7] Sung-Min Oh, Yong-Ho An, In-Jun Song, Jae-Hoon Oh, Hyo-Chul Kwon, Jung-Gi Hong, "A development of two-winding transformer protective IED based on IEC61850", KIEE Summer Meeting, pp. 193-194, 2008. 7.
- [8] Hyo-Chul Kwon, Hang-Jun Yang, "Modularization Design of IED Platform for Power Transformer Protection", KIEE PES Autumn Meeting, pp. 341-343, 2010. 11.
- [9] Chul-Won, Park, Myong-Chul Shin, Tae-Pung Ahn "A Study on Simulator for Testing of Digital Protective Relay", Trans. KIEE, Vol. 55P, No. 4, pp. 183-189, 2006. 12.

- [10] S.R. Yoo, B.W. Yoon, B.W. Park, C.Y. Choi, S.H. Kang, "Implementation of an Over-Current Relaying Algorithm with TMS320C32", KIEE Summer Meeting, pp. 2194-2195, 2009. 7.
- [11] Cheol-Hun Kim, Seung-Ki Min, Dong-Sung Choi, Snag-Hee Kang, "Development of an Under-Voltage Relay Algorithm Modular for Network Based Protective Relay Simulator", KIEE Summer Meeting, pp. 370-371, 2011. 7.
- [12] J.H. Han, C.H. Choi, Y.W. Nam, Y.H. Shin, "The Development of IEC 61850 based Digital Substation Automation HMI Platform", KIEE PES Autumn Meeting, pp. 231-233, 2006. 11.
- [13] Kim Kyung Ho, Jeon Byung Joon, Lee Byung Jin, "The effective redundancy method of IED at the digital substation", KIEE PES Autumn Meeting, pp. 113-115, 2011. 10.
- [14] Jung-Kyum Kim, Young-Ho Ahn et. al, "IED Development", Knowledge Economy, Technological Innovation Projects, Final Report, pp. 1-940, 2011. 9.
- [15] System protection team of KEPCO, "154kV Short Distance T/L IED Panel with PCM Current Differential Scheme", General Technical Specifications of KEPCO, pp. 1-20, 2012. 5.
- [16] Nak-Won Jang, Chun-Hee Woo, Sung-Hwan Lee, "A Study on the Design of the Bay Controller for Generator Protection and Control", Trans. KIEE, Vol. 57P, No. 1, pp. 46-55, 2008. 3.

◇ 저자소개 ◇



**김윤상 (金潤相)**

1968년 10월 20일생. 1993년 성균관대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(박사). 1999~2000년 한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터 연구원. 2000~2003년 (미) Univ. Washington 전기공학과 Faculty Research Associate (전임교원 연구원). 2003~2005년 삼성종합기술원 수석연구원. 2005년~현재 한국기술교육대 컴퓨터공학부 부교수.



**안태중 (安泰豊)**

1964년 9월 19일생. 1992년 성균관대학교 전자공학과 졸업. 1992~1996년 일진전기공업(주) 기술연구소. 1996년~현재 인텍전기전자(주) 기술연구소 전문이사. 2009년 스마트그리드로드맵 위원. 스마트그리드 전력기자재EMC 국제표준전문위원회 위원. 2010년~현재 전력계통보호제어연구회 사업부문의사. 2010년~현재 스마트 배전시스템 개발 자문위원. 2010년~현재 직류 표준화 연구회 위원. 2012년~IEC61850 배전계통 표준 위원회 위원. 2012년 대한전기학회 차세대 전력기술인상 수상.



**박철원 (朴哲圓)**

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1989~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993~1996년 프로컴시스템 기술연구소 선임연구원. 1993~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997~2007년 강릉원주대학교 전기공학과 전임강사, 조교수, 부교수. 2007~현재 강릉원주대학교 전기공학과 교수. 2011년~현재 대한전기학회 전력기술부문회 이사. 2012년~현재 대한전기학회 논문지 P권 편집위원장. 2010년 대한전기학회 학술상 수상. 2013년 전력계통보호제어연구회 R&D 대상 수상.