

The Development of Power System Automation based on the CAN Communication Protocol

朴 鍾 讚* · 金 炳 鎮**
(Jong-Chan Park · Beung-Jin Kim)

Abstract - In this paper, the power system automation based on CAN communication protocol is introduced. Along with digitalization of electrical device, the various on-line services such as remote control, remote monitoring, remote parameter setting, fault data recording and remote diagnostic have been realized and become available. Therefore, it is necessary for those electrical devices to have real-time and reliable communication protocols.

Author proposes DNPC(Distributed Network Protocol with CAN) which is proper to the power system SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) and DCS(Distributed Control System). The physical and datalink layer of DNPC protocol consists of the CAN2.0B which has the real-time characteristics and powerful error control scheme. As the transport and application layer, DNP3.0 is adopted because of its flexibility and compatible feature. Using the DNPC protocol, the power system automation is realized.

Key Words : CAN2.0B(Controller Area Network), DNP 3.0(Distributed Network Protocol), IED(Intelligent Electrical Device), SCADA, DCS

1. 서 론

전력 시스템 자동화에 적용되는 통신환경은 일반 LAN을 통한 PC나 워크스테이션 사이에 적용되는 통신방식과 다소 차이점을 갖는다. 먼저 데이터 전송량이 작지만 빠른 전송이 이루어져야 한다. 주로 설치되는 현장 내에 통신중계기(communication gateway)를 가지므로 네트워크 계층이 없으며 압축이나 암호를 취하지 않으므로 세션이나 프레젠테이션 계층이 생략된다. 따라서 물리계층, 데이터링크 계층, 전송계층 그리고 응용계층의 간략화된 구조를 가진다. 여기서 물리계층과 데이터링크 계층을 전용 통신 칩을 이용하여 메인 프로세서의 부담을 줄이는 방식을 사용한다. 또한, 강력한 에러제어기능이 필요하다. 주로 공장이나 변전소와 같이 곳에 설치되는 IED는 다양한 전자기 노이즈에 노출되어있다. 이러한 열악한 통신환경에서 정확한 통신기능을 수행하기 위해서는 정교한 에러제어를 가져야한다[1][2][3].

이러한 특징을 갖는 전력 시스템 자동화를 위한 통신 프로토콜을 만들거나 채택하려는 노력이 지속적으로 이루어졌다. 지금까지 이러한 논의 중에서 범용성(compatibility)과 이식(migration)을 갖춘 프로토콜로 대두된 것이 Modbus, IEC 870-5-101, DNP 3.0 그리고 MMS/UCA2.0 이다 MMS/UCA2.0

을 제외한 3가지 프로토콜은 이미 상용화되었고 IEC(IEC-61850), Electric Power Research Institute(EPRI), Utility Communications Architecture(UCA 2.0)와 같은 협의체를 구성하여 지속적인 연구를 진행하고 있다[3].

각 프로토콜의 특징으로 먼저 UCA 2.0은 아직 개발중이며 가격이 비싸다는 문제점을 가진다. Modbus는 DNP 3.0으로 구현된 시스템에도 적용이 가능할 정도로 뛰어난 이식성을 가져 주목받는 프로토콜로 대두되고 있다. 그러나 DNP 3.0에 비해서 SOB(Select Before Operation), unsolicited 요청과 같은 중요 데이터(critical data)를 위한 처리가 미진하다는 약점을 갖는다. DNP 3.0이 Modbus에 비해 장점이라고 할 수 있는 것이 Data Object Library라는 개념을 사용했다는 것이다. 데이터 형식에 따라 객체(object)를 구성함으로써 통신의 적응성(flexibility) 신뢰성(reliability)을 갖게 할 수 있었다[4][6].

현재 국내에도 통신의 호환성과 안정성을 위해 DNP 3.0이 주목받고 있다. 그러나 DNP 3.0의 물리층에 대한 정해진 규약이 없기 때문에 실제 구현에 있어 각 회사마다 자사 제품에 맞는 방식을 고집하고 있다. 또한 DNP 3.0 프로토콜 구조가 매우 복잡하여 실질적으로 많은 메모리와 마이크로 프로세서 처리시간이 필요하다.

본 연구에서는 IED, RTU 및 RTU와 같이 전력 시스템 자동화에 필수적인 장치에 적용가능한 통신 프로토콜을 설계하였다. 설계된 통신 프로토콜은 DNP 3.0을 근간으로하여 호환성을 유지하였고 DNP 3.0에서 정의하지 않는 물리층과 데이터 링크층의 일부분에 CAN2.0B를 적용하여 실시간성과 강력한 에러제어 특성을 갖게 하였다.

* 正 會 員 : 烏山大學 電氣시스템制御科 副教授
** 正 會 員 : 現代重工業(株) 機電研究所 先任研究員
接受日字 : 2003年 4月 15日
最終完了 : 2003年 8月 14日

2. DNPC 프로토콜 스택의 구성

제안된 DNPC는 OSI 참조 모델과 동일한 7 계층은 아니지만 IEC의 표준 권고 안에서 정한 물리층(physical), 데이터링크층(data link) 그리고 응용층(application)의 3개 계층에 전송층(transport), 1개의 계층을 추가하여 총 4개의 계층으로 구성되며 각 계층은 에러를 최대한 억제하여 전력계통의 운전에서 요구되는 시스템 프로토콜의 안정성과 신뢰성을 최대한 확보하도록 한다. 따라서 이러한 기능을 수행하기 위하여 각 계층은 계층에 적합한 통신 규약을 가지고 있으며, 각 계층은 서로 다른 기능을 수행하여 상호 보완적 관계를 유지하도록 한다. 또한 본 프로토콜은 시스템과 원격 단말장치(RTU)는 물론 전력현장의 Digital화된 IED 및 주변 설비들과의 표준화된 자료 공유를 통하여 운영 능력을 향상시키고 설비간의 개방성을 확보하는 것을 목적으로 하였다[5].

위에서 언급한 바와 같이 본 프로토콜은 4개의 계층인 Application 계층, Transport 계층, Data_Link 계층 및 Physical 계층으로 구성된다. Physical 계층의 연결을 생략한 두 시스템 사이의 실제 연결은 그림 1에서 실선으로 연결되어 있으며, 개념적인 측면에서의 통신은 점선으로 연결되어 있다. 그림 1에서 점선은 각 계층이 통신 규약을 가지고 있음을 의미한다. 즉, 각 계층은 이들 통신 규약에 의해 자료를 전송하고 전송 에러를 점검하며 에러 발생 시에는 재전송을 요구하게 된다.

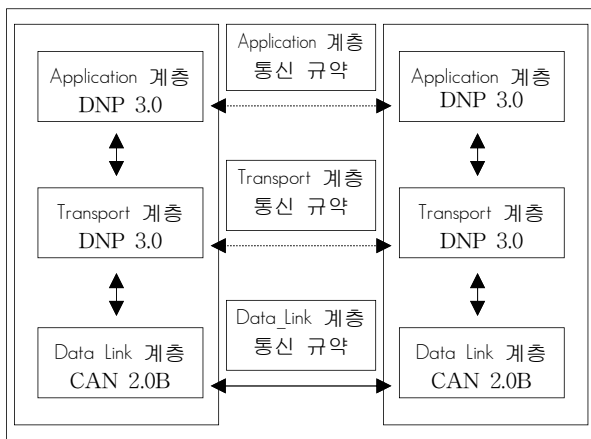


그림 1 DNPC 프로토콜 스택 구조

Fig. 1 Structure of DNPC protocol stack

2.1 물리계층의 설계

본 연구에서는 버스형태의 통신 topology를 갖추었고 RS485 방식을 취하였다. RS485는 EIA에 의해서 전기적인 사양이 규정되어 있으나 물리적인 코넥터 및 핀에 대한 사양은 아직 규정되어 있지 않다. RS485인 경우 RS232나 RS422처럼 전이중방식(full duplex)이 아닌 반이중방식(half duplex) 전송방식만 지원하기 때문에 RS422의 멀티포인트 액세스의 슬레이브 처럼 RS485의 모든 마스터는 TXD신호를 멀티포인트 버스에 접속 또는 단락시켜야만 할 뿐만 아니라 RXD신호 역시 모드에 따라서는 접속, 단락의 제어를 하여야 한다. 이러한 기능은 CAN 통신제어칩셋에서 자동적으로 제공한다.

2.2 데이터링크 계층의 설계

CAN은 CSMA/NBA(Carrier Sense Multiple Access with Non-destructive Bitwise Arbitration)라는 메시지 전송 메커니즘을 가지고 있다. CAN의 데이터 전송 메커니즘은 IEEE 802.3 CSMA/CD 프로토콜과 유사하다. 즉, 각 노드는 데이터를 전송하기 이전에 버스의 상태를 감지하며, 버스의 상태가 비활성일때 준비된 메시지를 전송한다. CSMA/CD에서는 두 개 이상의 노드가 동시에 메시지를 전송하면 메시지 충돌이 일어나서 전송된 메시지가 모두 손실된다. 그러나 CAN에서는 전송되는 메시지가 11비트의 식별자(Identifier)를 가지고 있으며, 식별자를 통하여 우선 순위가 높은 메시지가 전송되도록 한다. 즉, 두 개 이상의 노드가 동시에 메시지를 전송하면 각 메시지는 서로 식별자를 1 비트씩 비교하여 제일 높은 우선 순위의 메시지는 전송되고 낮은 우선 순위의 메시지들은 전송이 중단된다.

CAN에서 데이터는 데이터 프레임을 통하여 전송된다. 데이터 프레임은 전송 노드에서 수신 노드로 데이터를 운반하는 프레임으로 최대 8 bytes까지의 데이터를 전송할 수 있다.

본 연구에서는 그림 2와 같이 중재 필드를 수신주소 필드, 시퀀스 필드 그리고 기능코드 필드로 나누었다. 6bit의 수신주소 필드(destination address field)를 통해 1~62번까지의 노드를 접속할 수 있게 하였다. 대부분의 통신 제어칩에는 이 필드의 마스킹(masking)기능이 제공되어 만약 특정 주소만을 받을 수 있게된다. 즉 사용자는 이 필드의 값을 이용하여 주소필터(address filter)를 만들어 자신에게 전송되는 데이터만을 수신하게 된다.

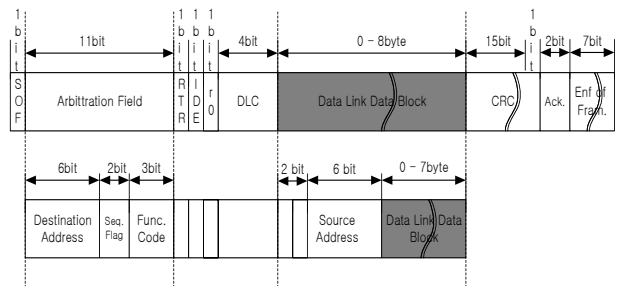


그림 2 데이터 프레임 구성

Fig. 2 Data Frame Format

2.3 전송 및 응용계층의 설계

전송 계층과 응용(application) 계층은 DNP3.0 프로토콜에 맞게 설계하여 호환성을 갖게 하였다.

2.4 DNPC의 제어

DNPC의 통신제어는 DNP3.0의 통신제어 시퀀스를 기준으로 구성하였다. 다음은 대표적인 통신 제어의 예를 나타낸 것이다.

DNPC의 초기화나 링크 리셋 요구시 실질적인 전송이 이루어지기 이전에 연결이 설정되어야한다. 이러한 연결은 그림 3과 같이 데이터 링크계층에서 이루어지며 슬레이브 측(①)에서 먼저 요구하고 마스터가 연결(②)을 허락하는 방식으로 구성되었다.

마스터가 연결을 허락하게 되는 과정에서 database를 조절하고 폴링(polling) 주기를 조정하게 된다. 만약 정상적인 링크 허락이 발생되지 않으면(③) 슬레이브는 일정 시간 기다린 후에 다시 연결을 요청(④)하게 된다.

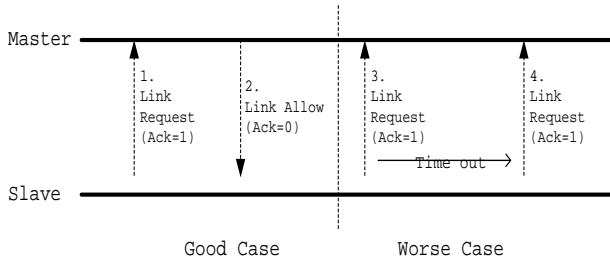


그림 3 초기화를 위한 링크
Fig. 3 Link for Initialization

아래 그림 4의 전형적인 메시지 교환에 있어서 마스터의 전송 요구(①)에 슬레이브는 응답(②)을 주고 확인(con=1)을 요구한다. 확인을 요구하는 방식은 응답 패키지의 internal indicator 필드의 confirm 필드를 '1'로 만들면 된다. 마스터가 confirm을 요구하는 응답을 슬레이브로부터 수신받으면 수신 패키지의 데이터 필드를 복사하여 슬레이브에 재전송(③)하게 된다. 슬레이브는 자신이 전송한 데이터와 같은 데이터를 다시 마스터로부터 받으므로 데이터가 온전히 전송되었는지 확인할 수 있다.

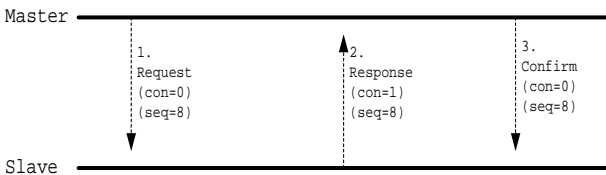


그림 4 전형적인 데이터의 전송
Fig. 4 Typical data transmission

슬레이브에서 정의된 event가 발생되면 unsolicited 데이터 전송(②)이 발생된다. unsolicited 데이터 전송은 슬레이브 자체적으로 발생되므로 버스 사용권을 자치적으로 확보할 수 있는 경우에만 이러한 방식을 사용할 있다. 즉, 슬레이브 자체에서 발생하는 unsolicited 데이터 전송은 데이터 충돌을 유발시킬 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 있는 경우에만 이와 같은 방식을 사용할 수 있다. 본 연구에 사용된 CAN방식은 그림 5와 같은 방식의 unsolicited 데이터 전송이 가능하다.

사고 발생시 IED는 계전 동작과 같이 정확한 시간을 알아야 하는 경우가 많다. 즉 event와 event이 발생된 시간을 정확히 알아야 하는 경우가 있다. 일반적인 통신으로 event에 대한 보고를 하면 통신 스캔(scan)에서 발생하는 지연(delay)을 예측할 수 없기 때문에 SOE(Sequence Of Event)방식을 사용한다. event내용과 event발생시간과 함께하여 기록하여 통신을 통한 전송이 늦더라도 event에 대한 정확한 분석이 가능하게 한다.

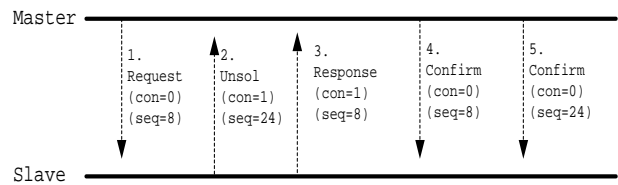


그림 5 Unsolicited 데이터 전송
Fig. 5 Unsolicited data transmission

만약 그림 6과 같은 경우에 event가 발생(①)되고 event의 내용과 시간을 버퍼에 저장(②)하게 된다. 주기적인 데이터 요청(③)이 발생되어 그에 대한 응답을 할 때 internal indicator의 해당 필드를 셋팅하여 event가 발생되었음을 알린다(④). 마스터는 event가 발생됨을 알고 event 데이터를 요청(⑤)하게 되고 이에 대한 응답을 슬레이브측(⑥)에서 발생한다. 주로 슬레이브의 응답(⑥)은 confirm을 요구하게되는데 만약 confirm이 오면 event 데이터를 버퍼에서 지우게 된다(⑧). 만약 오류가 생겨 confirm을 받지 못하면 ③~⑧번의 과정을 다시 수행하게 된다.

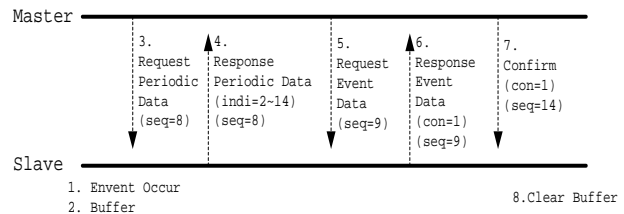


그림 6 Sequence Of Event 제어
Fig. 6 Sequence Of Event Control

3. 전력 시스템 자동화의 구성

송/배전 전력 계통에 다양한 디지털 제품이 아날로그 제품을 대체하면서 디지털 제품의 장점인 통신 기능을 이용한 배전자동화(Distribution Automatic: DA) 또는 변전자동화(Substation Automatic System)가 점진적으로 수행되어왔다. 본 절에서는 제안된 프로토콜을 이용하여 구성된 전력 자동화 시스템이 적용된 예를 보여주고 있다.

그림 7은 DNPC를 적용한 IED가 상단의 서버와 통신을 수행하는 모습을 보여주고 있다. IED의 상태 값을 읽기 위해 상단서버는 32[byte] 데이터 요청을 수행하고 이에 따라서 IED는 82[byte]의 응답을 수행한다. 주기적으로 서버에서 데이터를 요청하는 속도(polling speed)는 약 100[ms]로 설정하여 연속적으로 실험한 결과 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

그림 8은 상단에서 CAN 드라이버 단에서 검출한 통신 패키지이다. 통신속도는 500[kbps]이며 CAN 전용 controller인 SJA1000을 이용하여 구현하였다.

초기에는 bay 레벨과 station 레벨로 구성된 통신구조가 센서나 각종 지능화된 입출력(intelligent I/O) 장치가 개발되면서 process 레벨이 가세하면서 그림 8과 같이 3개의 레벨로 구성된다. 공장 자동화 시스템 역시 이와 유사한 구조를 갖는데 station 레벨을 factory 레벨, bay 레벨을 cell 레벨 그리고 process 레벨을 field 레벨로 명명한다.

process 버스로 전송된 데이터는 여러 IED나 smart RTU에 전송되기 때문에 다수의 포인트들이 연결된 로직처리에 강력한 장점을 갖는 구조이다. 필요에 따라서 IED들간에 연동(interlock)이 필요한 경우가 있다. process 레벨에서 사용되는 산업용 표준 프로토콜로는 ProfiBUS-DA와 ProfiBUS-PA, CAN 그리고 DeviceNet 등이 주로 사용되고 본 연구에서는 CAN을 사용하였다.

bay 레벨에서 보면 inter-bay transport가 마스터의 역할을 하고 각 IED가 슬레이브 역할을 수행한다. 따라서 마스터가 버스제어 권한을 가지고 순차적으로 IED를 폴링하는 방식이 안정적인 버스제어가 가능하다. 그러나 polling 방식으로는 시급한(urgent) 데이터의 처리 및 event 알림과 같은 서비스를 구현할 수 없으므로 전송속도의 문제점을 갖는다. 본 연구에서는 DNPC를 이용하여 이러한 event 데이터의 처리 역시 가능하게 하였다.

DNPC의 적용을 위해 먼저 전송되어야 할 데이터를 우선 순위에 따라 분류하고 object에 따라서 분류하는 작업이 필요하다. 주기적인 전송이 필요한 데이터를 class0에 event성 데이터를 class1, 2에 설정하는 것이 좋고 될 수 있으면 같은 object를 갖는 데이터를 그룹(group)을 만들고 고유번호(index)를 추가하는 것이 효율적이다.

주기적으로 마스터에서 class0의 데이터를 요청하든지 설정된 값의 변화보다 큰 변화가 있으면 자체적으로 슬레이브가 class0으로 설정된 데이터를 마스터로 전송할 수 있게 설정한다. 이러한 방식은 고정된 프레임을 사용하는 다른 프로토콜에 비해 원하는 데이터만을 수신할 수 있으므로 매우 효율적이다.

한 Bay 섹션의 데이터를 취합하는 통신장치를 inter-bay transport라고 부른다. inter-bay transport는 bay 레벨에서 취합된 각종 데이터를 상단 시스템에 전송하는 역할을 수행한다. inter-bay transport를 통해 데이터는 LAN을 통해 station 레벨의 각종 서버에 전달된다.

station 레벨의 각종 서버로 사용되는 PC나 워크스테이션은 Windows, UNIX 그리고 LINUX 같은 OS에서 제공되는 통신 프로토콜을 사용하기 때문에 inter-bay transport와 서버간의 통신은 TCP(Transmission Control Protocol)나 UDP(User Datagram Protocol)를 사용하였다.

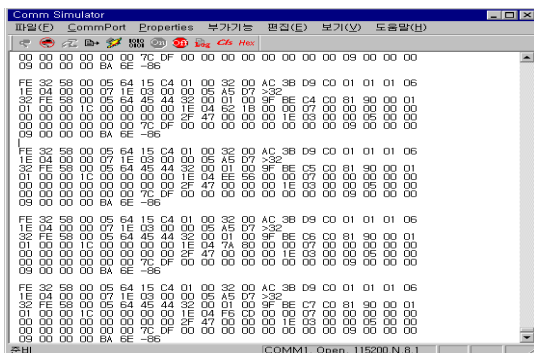


그림 7 DNPC 프로토콜을 이용한 송수신 데이터
Fig. 7 Transmit and Receive Data with DNPC

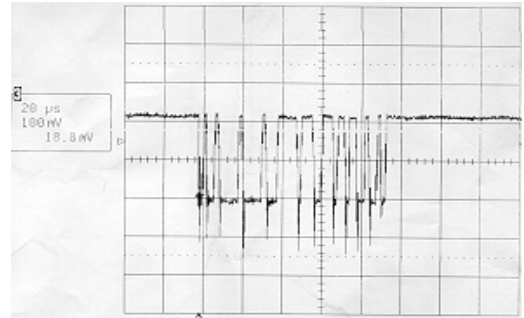


그림 8 실제 CAN 통신 패킷
Fig. 8 CAN Communication Packet

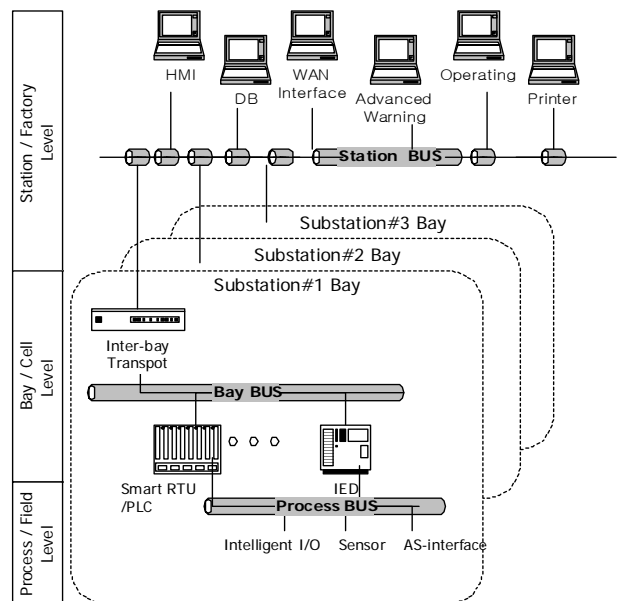


그림 9 전력 시스템 자동화의 구성
Fig. 9 Structure of the Power System Automation

4. 결 론

본 연구에서는 전력 시스템 자동화에 적합한 통신 프로토콜을 기반으로한 전력 시스템 자동화 구축에 관하여 언급하였다. 전력 시스템 자동화 분야에 적합한 통신방식은 데이터 전송량이 작지만 빠른 전송이 이루어져야 하며 실시간성과 강력한 에러제어기능을 가져야 한다는 특징을 갖는다.

본 연구에서는 현재 전력시스템 자동화에 주로 사용되는 DNP3.0의 문제점인 물리층과 데이터링크층이 없다는 사항을 감안하여 실시간성과 강력한 에러제어기능을 가지는 CAN2.0B를 가미한 DNPC를 제안하였다. 제안한 통신 프로토콜은 객체(object)를 구성함으로써 통신의 적응성(flexibility) 신뢰성(reliability)을 갖게 할 수 있는 DNP3.0의 장점과 CAN2.0B의 강한 에러제어 및 실시간성의 장점을 접목시켜 전력 자동화 시스템에 필요한 요건을 충족시킬 수 있었다. 제안된 통신방식을 이용하여 전력 시스템 자동화를 실제 구축하였다.

참 고 문 헌

- [1] Marc Hirsch, Mark Johnson, and Darwin Smith, "Communication Architectures For Centralized Monitoring And control of Power Equipment", *Telecommunications Energy Conference, 1996. INTELEC '96., 18th International*, pp. 76-81, 1996
- [2] J. A. Bright and Wei-Jen Lee, "Integrated Monitoring, Protection, and Control Systems for Industrial and Commercial Power System", *Industry Applications, IEEE Transactions on*, Vol. 36. Issue 1, pp. 11-15, Jan.-Feb. 2000.
- [3] Chung-Ping Young, Wei-Lun Juang, and Michael J. Devaney, "Real-Time Intranet-Controlled Virtual Instrument Multiple-Circuit Power Monitoring", *IEEE Transactions on Instrumentations* Vol. 49, NO. 3, pp. 579-584, JUNE. 2000
- [4] M. C. Cannon and S. L. Haacke, "An Evaluation Methodology For The Cost Justification Of a Substation Information System", *IEEE Power Engineering Society Transmission And Distribution Conference*, 1999 *IEEE*, Vol. 2, pp. 553-558, 1999.
- [5] Jacques Beaupre, Mario Lehoux, and Pierre-Alain Berger, "Advanced Monitoring Technologies For Substations", *Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings. 2000 IEEE ESMO-2000 IEEE 9th International Conference on*, pp. 287-282, 2000
- [6] Harris, "Distributed Network Protocol 3.0 Basic Document".

저 자 소 개



박종찬 (朴鍾讚)

1955年 12月 19日生. 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1988年 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002年 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992年 ~ 현재 오산대학 전기시스템제어과 부교수.

Tel : 031) 370 - 2674

Fax : 031) 375 - 9601

E-mail : jcpark@osan.ac.kr



김병진 (金炳鎭)

1970年 6月 26日生. 1994年 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1996年 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001年 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 현대중공업(주) 기전연구소 선임연구원

Tel : 031) 289 - 5223

Fax : 031) 289 - 5250

E-mail : vincent1004@empal.com