

## 변전소 자동화 시스템에 적용되는 새로운 통신 아키텍처에 관한 고찰

유정식, 최대희, 김경근, 김홍석, 이학성  
(주)효성 중공업연구소

### A Brief Introduction of A New Communication Architecture in Substation Automation System

Jeong-Sik You, Dae-Hee Choi, Kyung-Geun Kim, Hong-Seok Kim, Hak-Sung Lee  
Hyosung Corp. R&D Institute

**Abstract** - 전력 시장의 자율 경쟁체제가 본격화되면서 기존 공급자 중심의 시장은 급격하게 사용자 중심의 시장으로 재편되어 가고 있다. 기존의 최소한의 '데이터'라는 개념은 최대한의 '정보'라는 개념으로 변화되었다. 정보의 신속하고 효율적인 관리는 변전소 자동화 시스템의 핵심 전략이자 이를 기반으로 한 전력 시스템의 IT화를 가속화시키는 원동력이 되었다. 외국의 경우 1990년대 초에 등장한 UCA2(Utility Communication Architecture)를 기반으로 한 IEC 61850 (Communication Networks and systems in substation)이라는 새로운 통신 아키텍처의 도입을 서두르고 있다. IEC 61850은 IEC에서 추진중인 표준화 작업의 일환으로 기존의 포인트와 태그(address) 중심의 전력 SCADA 시스템과는 달리 디바이스 및 관련 정보를 데이터 클래스 모델링을 통해 객체화하고 이 표준 객체를 통해 공통의 언어로 통신을 하는 방식으로 wire 중심이 아닌 bus 중심의 통신 방식(Ethernet)을 채용하여 대용량 정보의 실시간 전송 및 이기종간 통신이 가능한 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 IEC 61850을 중심으로 변전소 자동화 시스템 및 전력 시스템의 IT화와 관련된 표준 통신 프로토콜들을 소개하고 전력 시스템과 변전소 환경이라는 특수 상황을 고려하여 새롭게 등장한 아키텍처의 특징을 살펴본다.

#### 1. 서 론

전력 산업에 있어 민영화 추세와 이로 인한 경쟁체제의 도입은 기존 시장과 차별화된 새로운 시장의 형성을 예고하고 있다. 새로운 시장에서 기존의 소비자(consumer)는 다수의 에너지 공급자와 중계인의 등장으로 공급자에 대한 선택권을 가진 고객(customer)으로서의 확대된 역할을 수행할 것으로 보이며 전력 시스템 회사는 점차 에너지 서비스 회사의 역할로 변화될 것으로 보인다. 개방된 시장에서 공급자간 경쟁은 가격 변동으로 이어지고 공급자는 매일 매일 전력 공급에 관한 정보를 제공하고 도매업자는 소비 정보를 전달 받는다. 고객은 비용을 절감하고 이윤을 극대화시키기 위한 생산 계획 수립을 위하여 자신들의 전력 사용량과 시스템 운용비용에 관한 신속하고 정확한 정보를 필요로 한다. 이러한 유동적인 에너지 시장의 의사결정 프로세스를 위한 필요 정보의 시기적절한 제공을 위해 기존 변전소에 대한 업그레이드의 필요성이 대두되기 시작하였다.

이런 필요성은 새로운 변전소 자동화 시스템의 출현을 가속화하였다. 새로운 시스템의 목적은 경제성과 신뢰성 확보 및 보다 다양한 정보의 실시간 제공이라 할 수 있으며 이러한 목적 달성을 위해 공통의 언어가 필요하게 되었다. 또한, 기존의 제한적인 정보 제공 능력을 뛰어넘어 다양한 정보를 제공할 수 있는 새로운 아키텍처에 대한 필요성이 제기되었다. 새로운 아키텍처의 성격은 기술의 진보를 반영한 것으로 표준화, 네트워크화, 분산 지능화, 계층화, 오브젝트화, 상호연동성 등으로 표현될 수 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 프로토콜 표준화

가정에 있는 전원 콘센트가 제각각 다른 모양이라면 아마 새 기기를 구입할 때마다 기기에 맞는 새로운 콘센트를 구입해서 설치해야 할 것이다. 이는 무척 번거로운 뿐만 아니라 그에 따른 비용도 만만치 않다. 지금까지의 유틸리티 디바이스와 통신 프로토콜은 애석하게도 이런 양상으로 진행되어왔다. 전 세계적으로 200개 이상의 프로토콜이 유틸리티 내의 지능형 디바이스와의 통신에 사용되고 있고 100개 이상의 RTU(Remote Terminal Unit) 프로토콜이 존재한다. 전력 시스템 IT화로 더욱 더 많은 실시간 정보의 교환이 이루어지면서 시스템 통합과 유지비용에 따른 부담은 매우 민감한 요소가 되었다. [1] 이에 전 세계적인 프로토콜 표준화의 필요성이 절실히 대두되었으며 1990년대 초부터 IEEE, IEC를 주축으로 한 통신 프로토콜의 표준화 작업이 본격화되기 시작하였다. 이러한 표준화 작업을 통해 통신 인터페이스(interface)의 개념은 보다 포괄적인 개념인 통신 아키텍처(architecture)로 변화되고 있다. 오브젝트 모델, 디바이스 모델, 서비스, 통신 스택의 독립적인 계층으로 구성된 아키텍처의 장점은 비교적 기술 발전 속도가 더딘 상위계층과 기술 발전 속도가 빠른 하위 통신 스택이 분리되어 계층별로 가장 최신의 기술을 유연하게 적용할 수 있다는 점이다.

혁신적인 기업은 매출의 50% 이상을 최근 5년동안 개발된 제품을 통해 달성한다. 시장의 수요를 충족시키기 위한 제품의 라이프 사이클은 점차 단축되어 가고 있으며 그로인한 업그레이드 및 유지보수 비용 또한 증대되고 있다. 이러한 환경변화 속에서 표준화 작업은 공급자 측면에서는 과거 상당부분 시스템 연계에 투입했던 노력을 제품의 기술적 향상이나 소비자의 요구를 반영하는 생산적 방향으로 전환할 수 있는 기회를 제공하며 다양한 해외 시장에서 다국적인 영업을 펼칠 수 있는 기회 제공해준다. 사용자나 운영자 입장에서 초기 설치 시간을 줄이고 다양한 제조사의 제품을 하나의 시스템에 적용 가능하도록 함으로써 환경설정이나 시스템 통합에 드는 비용을 절감할 수 있고 최신 기술을 빠르게 시스템에 적용할 수 있는 이점을 제공해 준다. [2]

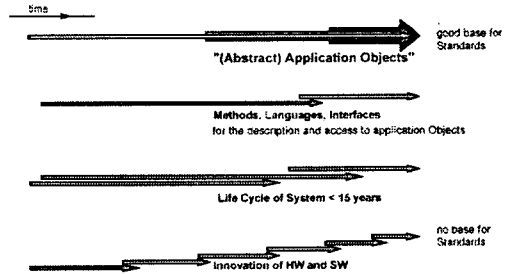


그림 1 표준화 적용 대상 및 표준화로 인한 이점

기능	60870-5-101	60870-5-104	60870-5-103	DNP3	IEC 61850
적용영역	SCADA	SCADA, 변전소내, 제어소 변전소간	보호	SCADA, 변전소내, 제어소 변전소간	Substation and Feeder Equipment
표준화	IEC(1995)	IEC(2000)	IEC(1997)	DeFacto(1993), IEEE1379 Recommended Practice(2000)	IEC FDIS, DIS, CDV, CD(2002)
데이터 교환 방식	데이터 포인트 교환	데이터 포인트 교환	데이터 포인트 교환	데이터 포인트 교환	Modeling of application objects and exchange of I/O and Meta data (Data Management)
객체지향 모델링	No	No	No	Yes	Yes
데이터 어드레싱	Index(8/16/24bits)	Index(32bits)	Index(8bits)	Index(8/16/32bits) Naming under development	Hierarchical Names Index for reporting
다바이스 정보	Paper document	Paper document	Paper document	Paper document	XML/XML DTD
통신 스택	V.24/V.28 or X.24/X.27 3 layer	TCP/IP over Ethernet or X.21 7 layer	RS 485/Fiber 3 layer	V.24/V.28 or X.24/x.27 TCP/IP over Ethernet or X.21 4 or 7 layer(TCP/IP)	TCP/IP and OSI over Ethernet or X.21 serial 7layer (3layer possible)

표 1 표준 프로토콜 비교

## 2.2. 표준 프로토콜 비교

SCADA 프로토콜은 전통적으로 대역폭과 하드웨어 사용을 최적화하는 방향으로 설계되었으며 기능적으로는 포인트 중심의 데이터 수집(Data Acquisition)이 주된 목표였다. 그러나 표준 프로토콜의 중요성이 부각되고 기간 상호운용성(Interoperability)에 대한 관심이 높아지면서 IEC 60870-5와 DNP3라는 표준 프로토콜이 등장하였다. 최근의 하드웨어, 소프트웨어, 통신 기술의 발전은 이러한 SCADA 어플리케이션의 관심을 기존의 단순 데이터 수집에서 정보 관리(Information Management)의 확대된 기능을 가능하게 하고 있다. 기존 프로토콜이 제공하는 기가바이트의 raw 데이터 보다는 통합된 시스템 정보와 이를 통한 합리적인 시스템 운영을 가능하게 하는 지식으로서의 한차원 높은 정보 제공이 가능해졌으며 이러한 작업의 일환으로 UCA2를 기반으로 한 IEC 61850이 등장하게 된다. 표 1에 각 표준 프로토콜들의 기능별 특징을 요약하여 정리하였다. [3]

## 2.3 Ethernet in Substation

고전적인 Ethernet(IEEE 802.3)의 응용범위는 인터넷으로 산업용 실시간 어플리케이션과는 거리가 먼 것이었다. 특히 미디어 접근 제어방식으로 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)를 사용하고 있어 시간 특성에 있어 불확정적(non-deterministic)이기 때문에 정확한 시간 응답성이 보장되지 않는다. 더욱이 Ethernet에서 모든 장치들은 네트워크에 동등한 접근 권한(democratic)을 갖기 때문에 우선순위를 줄 수 없는 점 또한 실시간 제어에 대한 약점이라 할 수 있다. 그러나 대역폭당 단가가 상대적으로 저렴하고 기가바이트 이더넷 등 기술 발전이 급속하게 이루어지고 있으며 (highly scalable) Ethernet Switch등을 사용하여 네트워크 트래픽을 적절히 조절할 경우 높은 성능을 얻을 수 있기 때문에 변전소에서의 실시간 정보 교환에 Ethernet을 사용하는 것에 대한 논란은 어느 정도 마무리가 된 상태이다. 최근에 등장한 IEEE 802.1p는 패킷 우선순위를 지정할 수 있는 기능을 제공하고 있으며 IEEE 802.1Q는 QoS(Quality of Service)정보를 제공하도록 하여 LAN에서의 실시간 전송 기능이 더욱 강화되어 가고 있다. [4]

트랜스포트 층의 프로토콜로는 TCP/IP와 UDP/IP가 주로 사용된다. TCP/IP는 연결지향적인 스트림 프로토콜로 통신하는 End 포인트 간의 연결을 설정한 후에 데이터를 전송하는 방식으로 신뢰도가 높은 반면 작은 데이터에도 많은 양의 헤더를 포함하고 있어 전송 효율이 상대적으로 낮은 단점이 있다. 이와 반대로 UDP/IP

는 별도의 연결 설정없이 데이터를 교환하는 방식으로 TCP보다 실시간 통신에 보다 유리한 방식이다. 단, 신뢰성이 보장되지 않으므로 어플리케이션 계층에서의 별도의 처리가 필요하다. 최근에는 PC등 하드웨어 프로세서의 기능이 향상되어 상위 어플리케이션 계층으로의 이러한 처리 기능 분산이 비교적 용이한 편이다.

그림 3은 변전소 자동화 시스템에 있어 Ethernet의 사용을 나타내고 있다. 일반적으로 변전소 자동화 시스템은 Station level, Bay level, Process level의 3계층 구조로 구성되어 있다. 기존 시스템은 Station level과 Bay level에만 Ethernet 네트워크가 적용되었으나 IEC 61850에서는 프로세스 버스 개념을 도입하여 CT, PT를 통해 수집된 데이터와 CB 상태 등을 디지털 신호로 전송하는 방식을 도입하고 있다.

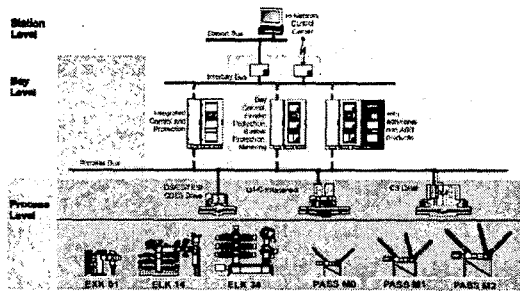


그림 2 프로세스 버스를 채용한 최신 SA 시스템

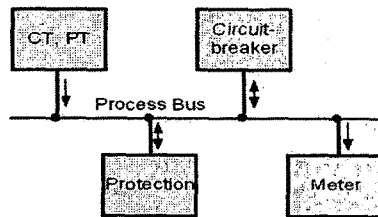


그림 3 프로세스 버스를 통한 데이터 통신

## 2.4 IEC 61850

오브젝트 모델링을 도입한 최초의 표준 아키텍처의 등장은 1994년 EPRI의 UCA2에서 처음 시도되었다. 이후 IEEE와 IEC는 one world, one technology, one standard의 기치아래 IEC TC57그룹 중심의 IEC 61850 작업에 착수하게 된다.

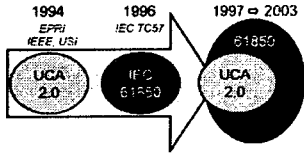


그림 4 IEC 61850

이 표준은 다음과 같은 총 10개의 세부 파트로 구분되며 세부적인 내용은 다음과 같다.

- Part 1 to 4 : Glossary, General, Basics
  - Part 5: Communication requirements
  - Part 6: SA System Configuration
  - Part 7: Basic Communication Structure
    - Principles and Models
  - Part 8: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-Mapping to MMS
  - Part 9: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-Mapping to point-to-point link with Ethernet
  - Part 10: Performance Testing
- 1~4는 시스템 관점에서 일반적인 사항들을 담고 있다. 7-4, 7-3은 어떤 데이터가 모델링 되어 있으며 이러한 데이터에 대한 명명법(naming)과 기술(description)에 관한 내용을 다루고 있다. 7-2는 데이터 접근과 교환에 관한 내용을 다루고 있으며 8-x와 9-x는 디바이스들이 통신 네트워크에 어떻게 접근할 것인가를 기술하고 있다.

- Logical node and data class  
DNP3와 같은 프로토콜에서 데이터는 I/O 타입의 디지털 입력 데이터(DI), 아날로그 입력 데이터(AI) 등으로 표현된다. 이에 반해 IEC 61850에서 데이터는 논리적인 그룹으로 표현된다. "Protection", "Switchgear", "Measurement" 등 13개의 논리 그룹이 제공되며 논리 그룹은 다시 논리 노드로 구성된다. 총 86개의 논리 노드는 오브젝트의 개별 단위로 다시 데이터 클래스와 데이터들로 구성된다. 이러한 계층 구조를 정리하면,

Physical Device - Logical Device - Logical Node - Data Classes - data

과 같다. 그림 5는 논리 노드 CB(Circuit Breaker) XCBR1의 계층 트리 구조를 나타내고 있다.

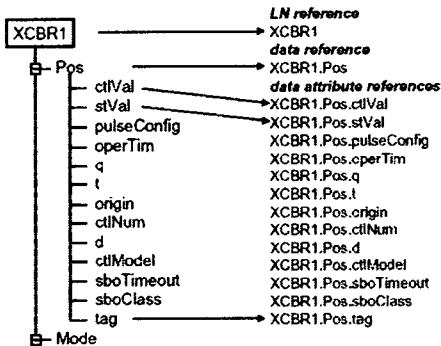


그림 5 CB 오브젝트의 계층 트리 구조

- GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)  
IEC 61850은 변전소 내 IED들의 통합 운영을 위한 peer-to-peer 통신을 지원하고 있다. GOOSE는 기존의 hard-wired interlocking을 대체하기 위한 것으로 IED의 DO상태를 환경 설정 단계에서 subscriber로

등록된 peer IED들에게 비동기적으로 리포팅(multi-casting) 해주는 기능을 말한다. GOOSE의 수행을 위해서는 네트워크의 높은 신뢰성과 퍼포먼스가 요구된다. (UCA2에서 peer-to-peer time이 4msec를 넘지 않도록 규정하고 있음) Ethernet LAN이 적용된 변전소에서는 보호 및 제어 IED와 베이컨트roller가 직접 LAN에 연결되어 신뢰성 있는 고속 통신인 GOOSE를 통해 서로의 상태를 교환하고 버스 사고 발생시 베이컨트roller에 설치된 알고리즘을 통해 해당 피더의 IED에 trip 신호를 내보냄으로써 다양한 버스관련 보호 기능을 수행할 수 있다. 이와 같은 GOOSE의 장점은 크게 wiring 비용 절감 측면과 유연한 설계가 가능하다는 것으로 요약될 수 있다.[5]

- Self Description  
DNP3를 포함한 기존 프로토콜에서는 실제 데이터와 DNP 메시지를 연결해주는 작업이 필요했다. 데이터에 관한 정보는 시스템 내의 임의의 위치에 존재하게 된다. IEC 61850에서는 'Meta data'라는 데이터에 관한 데이터가 존재하므로 데이터 콘텍스트(data context)가 시스템 전체에 걸쳐 유지되며 매핑을 위한 별도의 엔지니어링 작업이 불필요하게 된다. 또한, 디바이스는 자신이 가진 데이터에 관한 정보를 XML 파일 형식으로 제공하므로 시스템 연동시 다양한 IED들에 대한 별도의 환경설정 작업이 필요치 않으며 플러그 앤 플레이(plug and play)를 지원한다.

### 3. 결 론

IEC 61850으로 대표되는 새로운 표준 통신 아키텍처의 장점은 오브젝트 모델들을 표준화 할 수 있는 인프라가 제공된다는 것으로 제조사 입장에서는 알려진 모델을 자신의 IED에 적용하고 단지 특수한 기능을 위한 약간의 커스터마이징만을 수행하면 된다는 장점을 지니고 있다. 유저의 입장에서는 표준 모델을 따르는 서로 다른 제조사의 제품을 동시에 사용할 수 있어 최소의 비용으로 최대의 성능을 구현하는 것이 가능하다는 것이며 life cycle cost 측면에서도 이점을 갖는다.

현재 새로운 아키텍처를 현장에 적용하면서 나타나는 문제점들이 다양하게 보고되고 있다. 이러한 문제점들은 주로 기존 시스템과의 연계과정에서 나타나는 문제점으로 기술적인 문제점 보다는 기술 외적인 문제가 큰 부분을 차지하는 것을 알 수 있다.[6] UCA와 IEC 61850은 유틸리티 산업을 획기적으로 변화시킬 힘을 가지고 있으나 표준이 완성되고 어느 정도의 보급률에 도달하기 전까지는 기존 시스템과 연계하는 과정에서 발생하는 구현 레벨의 차이와 쉽지 않은 학습 문제 등에 봉착할 것으로 보인다.

### [참 고 문 헌]

- [1]Karlheinz Schwarz, "Standard IEC 61850 for substation Automation and Other Power System Applications". Power Systems and Communications Infrastructures for the future. Beijing, September 2002
- [2]Wolfgang Maerz, "Importance of Standardization - The Business Case". KEMA-Seminar 2001
- [3]Karlheinz Schwarz, "Comparison of IEC 60870-5-101/-103/-104, DNP3, and IEC 60870-6- TASE.2 with IEC 61850". www.scc-online.de
- [4]Tor Skeie, Svein Johannessen and Christoph Brunner, "Ethernet in Substation Automation".
- [5]A.P. Apostolov, "Application of high-speed peer-to-peer communications for protection and control". CIGRE 2002
- [6]Grant Glichrist, "Lessons Learned Making UCA Configurable". DistribuTECH 2002