

범용 SCADA 게이트웨이 개발을 위한 IEC 61850 데이터 모델링 분석

김건웅*, 송병권**, 김새벽**
*목포해양대학교 해양전자통신공학부1),
**서경대학교 정보통신공학과
e-mail:kgu@mmu.ac.kr

A Study on the Data Modelling of the IEC-61850 for Development of General SCADA Gateways

Geonug Kim*, Byung-Kwen Song**, Sei-Byuck Kim**
*Division of Electronic & Communication Eng., Mokpo Maritime University
**Information Communication Engineering, Seokyeong University

요 약

SCADA 시스템의 중요성은 날로 커지고 있으며, 이에 따라 많은 표준 프로토콜이 등장하고 있다. 앞으로 DNP, IEC61850, DLMS 등의 프로토콜들이 공존하는 형태로 발전할 것으로 예상되는데, 본 논문은 이러한 프로토콜간 공존을 위한 범용 SCADA 게이트웨이 개발을 위해 IEC 61850 표준을 분석한 결과를 소개하고 있다. IEC 61850의 특징은 강력한 데이터 모델링과 공학 도구의 적용인데, 범용 SCADA 게이트웨이를 위해선 IEC61850에서 제안하는 모델링과 기존 시스템에서 이용하고 있는 데이터 모델간 변환이 필요하다.

1. 서론

감시제어설비(SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템은 통신 경로상의 아날로그 또는 디지털 신호를 이용하여 원격장치의 상태 정보 데이터를 RTU(remote terminal unit)로 수집하고 이를 저장, 표시하며, 이를 바탕으로 중앙 제어 시스템에서 원격 장치를 감시 제어하는 시스템이다. 현재 광산, 상하수도, 전력, 연료 관련 업계에서 가장 중요한 영역이라고 볼 수 있다. 현재 SCADA를 위한 많은 프로토콜이 표준화되고 적용되고 있는데, 대표적인 예로 DNP (Distributed Network Protocol) 3.0[1][2][3], IEC(International Electrotechnical Commission)-61850[4][5], DLMS(Device Language Message Specification)[6][7][8] 등을 들 수 있다.

1990년대 초반 미국에서 EPRI를 중심으로 UCA2.0을 개발하였는데, 유럽에서 IEC TC57 WG10, 11, 12를 발족 한 후 IEC 60870, UCA 2.0 기술자들을 모아 개발한 것이 IEC 61850이다. 북미 지역에서 현재 가장 많이 이용하고 있는 프로토콜, 신규 도입시 가장 많이 고려하고 있는 프로토콜이 DNP(Serial/LAN)인데 반해, 북미를 제외한 다른 국가들에서 가장 많이 도입을 고려 중인 프로토콜이 IEC61850이다[9].

서브스테이션(Substation)들은 전력시스템의 노드들인데, 전력 관리시스템에서 모든 접근과 정보 검색이 이곳에서 이루어진다. 최근 마이크로프로세서의 발전으로 SAS(Substation Automation System)도 많은 발전을 이루고 있으며, 이러한 SAS를 구현할 때 필요한 기능을 제공하는 몇 개의 IED(Intelligent Electronic Device)를 사용한다. 이때 이들 IED간 효율적이고 표준화된 통신이 요구되는데, IEC61850은 이들 IED간 표준화된 통신을 제공한

다. IEC61850의 특징은 가장 최신의 통신 기술을 활용하면서, 고차원의 공학을 적용할 수 있는, 강력한 객체 모델링을 채택하고 있는 점이다[4][5].

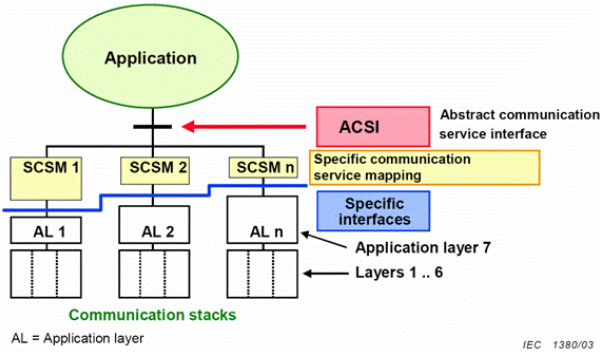
본 논문에서는 SCADA 시스템의 통신 기능 테스트 및 다른 통신 프로토콜과의 혼용을 위한 게이트웨이 시스템 개발에 필요한 항목을 도출하기 위해 분석한 IEC 61850의 내용, 특히 객체 모델링에 대한 내용을 담고 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 IEC61850 프로토콜의 개요와 특징을 살펴본 후 3장에서는 SAS의 기능이 LN(Logical Node)으로 분할되는 개념을 정리한다. 4장에서는 DNP3.0과 비교한 내용을 정리하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. IEC 61850 표준의 특징

일반적으로 요구하는 IED의 기능과 제어 수준은 고정적이지 않으며, 상황에 따라 변화가 있을 수 있다. 따라서 IED에 대한 기능의 자유로운 할당(free allocation)이 요구되고 있으며, 이를 위해 기능이 분산 처리되면서 상호 운용성이 제공되어야 한다. IEC61850에서는 이를 지원하기 위해 분산 기능과 3가지(station, bay, process) 레벨의 할당을 지원한다[4][5].

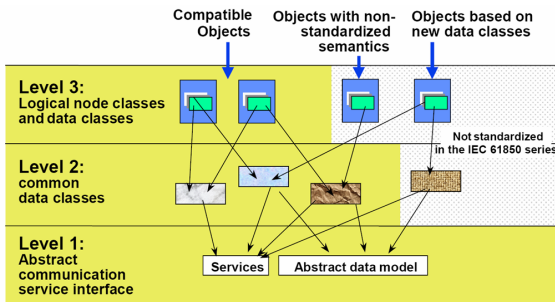
IEC61850의 또 다른 특징은 응용과 통신의 분리인데, 응용은 ACIS(Abstract Communication Service Interface)에 적합하게 통신을 하는데, 이를 위해서는 응용 계층 프로토콜에 알맞게 변환이 가능해야 하고, 통신 프로파일(communication profile)에 정상적으로 반영되어야 한다. ACIS는 SCISM(Specific Communication Service Mapping)으로 매핑된다.

본 연구는 서울시 산학연지원센터 신기술개발과제 연구비로 수행되었음



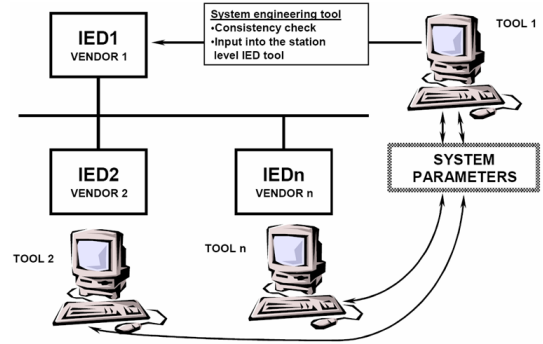
(그림 1) IEC61850 기본 참조모델

IEC61850이 주목받고 있는 가장 큰 이유가 강력한 데이터 모델링이다. 각 LN(Logical Node)는 주고받은 데이터의 문법(syntax)과 의미(semantic)을 해석할 수 있어야만 서로 사용될 수 있는데, 이를 위해 응용에서는 3단계로 데이터를 모델링한다. 레벨 1 ACSI에서는 객체 모델(object model)로 구체화 되는 도메인 즉 SAS의 항목을 접근하는데 사용되는 모델과 서비스로 구체화 되는데, 이러한 모델과 서비스는 응용의 요구를 반영하여 적용한다. 이때 서비스는 응용의 객체 값을 읽거나 쓰는 기능뿐만 아니라 장비를 제어하는 기능도 수행한다. 레벨 2 CDC(Common Data Classes)에서는 하나 이상의 속성을 갖는 객체의 구조를 정의하는데, 이러한 속성들의 데이터 타입은 IEC 61850-7-1에 정의된다. 레벨 3 "호환 가능한 LN 클래스 및 객체 클래스(Compatible logical node classes and data classes)"에서는 CDC를 기반으로 하여, 기능 클래스와 데이터 클래스로 정의되는, 호환성 있는 객체 모델을 정의한다.



(그림 2) 데이터 모델링과 서비스

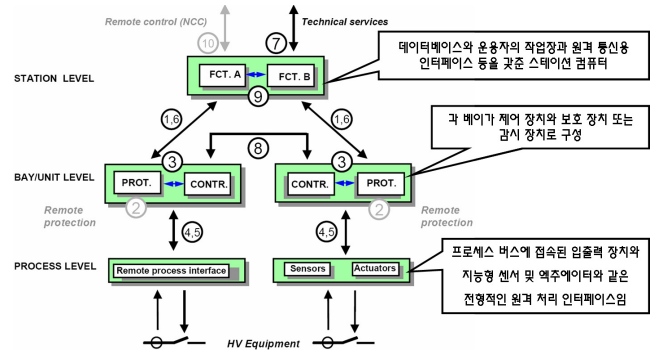
IEC61850의 또다른 특징은 일반 시스템(general system) 측면이다. 이를 위해 공학적인 도구(tool)와 변수(parameter)들이 정의되었는데, 공학적인 도구는 최소한의 정보 교환과 구성 매개변수를 이용하여 일관성(consistency)의 위반을 감지하고, 예방할 수 있도록, SAS의 장치들을 통합하고, 응용에서 요구하는 기능을 문서화한다. 이러한 공학 도구에는 프로젝트 설계(project design) 도구, 매개변수 및 설정(configuration) 도구, 문서화 도구가 있다. 특히 장치에 대한 기술과 시스템 변수들을 호환성이 없는 IED 도구 사이에서 교환할 수 있도록 하는 SCL(Substation Configuration Language)이 IEC 61850-6에 정의되어 있다. SCL은 XML을 기반으로 하여, 하나의 IED를 정의하는데 필요한 시스템 변수들을 정의하고 있는데, 여기에는 IED의 바인딩(binding) 정보, 서브스테이션 자신의 기능들이 포함된다.



(그림 3) 일반(general) 시스템을 위한 도구와 변수

3. SAS 기능과 LN

SAS의 기능은 서브스테이션 내에서 수행되어야 하는 업무에 관한 것으로서 제어(control), 감시(monitor)와 변전소를 비롯한 급전선 보호(protect)를 위한 것과 시스템 유지, 통신 또는 소프트웨어 관리 등 SAS 유지에 관한 것으로 나눌 수 있다. 분산 기능은 여러 IED들간의 고속 일대일 통신에 기반을 두고 있으며, 다른 제조회사로부터 제공되는 복잡한 다기능 IED들의 모델링을 위하여 서로 통신하는데 사용되는 기본적인 요소들의 정의가 필요한데, 이러한 기본 요소들을 IEC61850에서는 LN으로 정의한다. 이러한 SAS 기능들은 3개의 레벨로 할당되는데, 다음 (표1)과 같이 다양한 형태의 통신을 지원하기 위한 논리 인터페이스가 정의되어 있다[4][5].



(그림 4) 논리적 기능 할당과 인터페이스

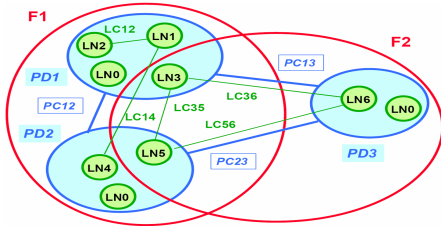
(표 1) 논리 인터페이스

| 인터페이스 | 설명 |
|-------|---|
| IF 1 | 베이 레벨과 스테이션 레벨 사이의 보호(protect) - 데이터 교환 |
| IF 2 | 베이 레벨과 원격 보호 장치 사이의 데이터 교환 (표준의 범위를 벗어남) |
| IF 3 | 베이 레벨 내 데이터 교환 |
| IF 4 | 프로세스 레벨과 베이 레벨 사이의 CT 및 VT instantaneous(즉시) 데이터 (특히 샘플) 교환 |
| IF 5 | 프로세스 레벨과 베이 레벨 사이의 제어 데이터(control-data) 교환 |
| IF 6 | 베이 레벨과 스테이션 레벨 사이의 제어 데이터 교환 |
| IF 7 | 스테이션 레벨과 원격 기술자 작업 공간 (remote engineer's workplace) 사이의 데이터 교환 |
| IF 8 | 상호 연동(interlocking)과 같은 고속 기능을 위한 베이 사이의 직접 데이터 교환 |
| IF 9 | 스테이션 레벨 내의 데이터 교환 |
| IF 10 | Substation(device)와 원격 제어 센터(remote control center) 사이의 제어-데이터 교환 (표준의 범위를 벗어남) |

서브스테이션에 모든 인터페이스가 있어야 하는 것은 아니며, 인터페이스의 번호를 매기는 것은 서브스테이션에서 필요한 인터페이스의 형태를 식별하고 데이터 흐름을 계산하는 데 도움이 되기 때문이다. 실제로 이러한 인터페이스 번호는 중요 LAN이나 버스 시스템을 쉽게 정의할 수 있도록 해준다. 서로 다른 베이 레벨 IED들을 상호 연결시키기 때문에, 인터페이스 1, 6, 3, 9, 8은 흔히 스테이션/베이간 버스와 통합되는 것이 일반적이며, 인터페이스 4와 5는 베이 레벨을 프로세스 레벨과 연결시키고 서로 다른 프로세스 레벨 IED들을 상호 연결시키는 프로세스 버스와 통합된다. 인터페이스 7은 원격 감시 센터와의 외부 통신을 위한 것이며, 스테이션/베이간 버스와 직접 인터페이스를 통해 실현될 수 있고, 인터페이스 2, 10은 규격 범위에서 벗어난다.

실제로 논리 기능 구조를 물리 기능 구조로 매핑하기 위한 유일한 방법은 존재하지 않으며, 이용 가능성(availability)과 성능 요구 사항(performance requirement), 비용 제약(cost constraint), 기술 수준 등에 따라 달라질 수 있다. 스테이션 컴퓨터는 기초적인 기능과 함께 클라이언트로서 동작하고, 다른 스테이션 레벨 기능은 베이 레벨 장치 전체에 걸쳐 고루 분포할 수 있다. 반면, 상호 연동과 같이 전체 스테이션에 걸친 기능들은 클라이언트와 서버로서 동시에 동작하는 스테이션 컴퓨터에 상주할 수 있다. 베이 레벨 기능은 전용 베이 레벨 장치(중복되거나 되지 않은 보호 장치, 제어 장치) 또는 복합 보호 및 제어 장치에서 구현될 수 있으며, 필요에 따라 자유로운 기능 할당을 통해 아래 프로세스 레벨로 물리적으로 이동할 수도 있다.

모든 기능은 하나 이상의 물리 장치에 존재하는 LN으로 분리되는데, 각 장치는 자신의 이름 정보(nameplate information) 또는 자신을 관리감독(self-supervision)한 결과를 담고 있는, 'LN0'로 알려져 있는 LN이 반드시 필요하다. 이러한 LN들은 전용으로 데이터를 교환하기 위해, LC(Logical Connection)들로 연결되어 있다. LN은 기능(F)과 물리 장치(PD: physical devices)에 할당되는데, 장치들은 PC(physical connections)로 연결 된다.



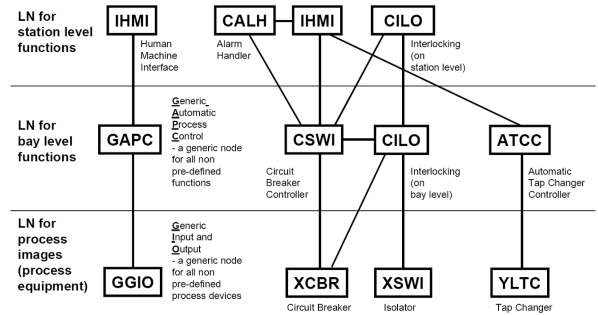
(그림 5) 기능의 분할(LN, PD, LC, PC)

통신 시스템의 정적 구조는 데이터가 잠재적으로 어디(전송 LN)에서 오고 어디(수신 LN)로 갈 것인지를 설명하는데, 이러한 구조는 시스템 계획 단계에서 공학적으로 처리되거나 협의되어야 한다. 또한 실행 중에도 통신 채널을 동적으로 개폐하기 위해 해당 정적 구조를 참조할 필요가 있다. 따라서 이러한 공식적인 기술투해 IEC 61850-6에서 SCL을 정의하고 있다.

PICOM(Piece of Information for COMMunications)은 LN간에 교환되는 정보를 기술하는 데 사용되는데, 여기에는 기능(의미)에 의해 필요로 하는 정보의 내용과 그것의 식별자를 담고 있는 데이터와, 데이터의 구조를 서술하는 데이터 타입, 성능 클래스에 정의되는 허용되는 전송 시간과 데이터 일치성, 전송 방법 등을 담고 있는 성능(Performance) 요소, 그리고 LC가 있다.

대부분의 기능은 최소 3개 이상의 논리 노드로 구성되는데, 핵심 기능(core functionality) 그 자체를 갖춘 LN과 처리 인터페이스(process interface) LN, 그리고 기능에 대한 인간 접근을 의미하는 HMI(Human-Machine Interface) LN으로 구성된다.

응용에서는 LN을 자유롭게 이용할 수 있다. 따라서 기능이나 LN이 공통 레벨 구조에 한정되지 않으며, 레벨로 표시된 전체 그림들은 요구되는 융통성(flexibility)과 상호 작용을 증명하기 위한 예에 불과하다. 스테이션 레벨에 있는 LN들은 스테이션 레벨 IHMI뿐 아니라, 전체 스테이션에 걸친 연동(CILO), 경보, 이벤트 처리(CALH), 전체 스테이션에 걸친 전압 조정(ATCC)등의 기타 기능들을 나타낸다. 베이 레벨에 있는 LN들은 베이 레벨 제어, 자동화, 측정, 보호 기능들(예를 들어 CILO, ATCC, MMXU, CSWI, PDIS, PZSU, PDOC, ...)을 나타내고, 제어 및 보호 기능이 통합된 장치들의 경우에 보호 LN과 제어 LN이 함께 존재한다. 프로세스나 스위치 레벨에 속한 LN들은 I/O 장치들을 통해 보조 시스템에서 바라본 주 전력 계통 세계를 나타내는데, 장치 관련 감독(device-related supervision)을 비롯해 차단(blocking)과 같은 단순한 기능이 포함될 수 있으며, 지능형(intelligent) I/O 장치들의 경우 베이 레벨에서 프로세스 레벨로 이동할 수도 있다.



(그림 6) LN 응용 예

IEC61850의 데이터 클래스는 의미 있는 정보들을 나타내며, SetDataValue로 쓰거나 GetDataValue로 읽을 수 있다. 또한 이를 데이터 클래스들을 표준화하고 있는데, IEC 61850-7-4는 IEC 61850-7-3에 규정된 공통 템플릿(공통 데이터 클래스, CDC)을 기반으로 하여 공통 및 변전소 영역 고유의 데이터를 정의하고 있다.

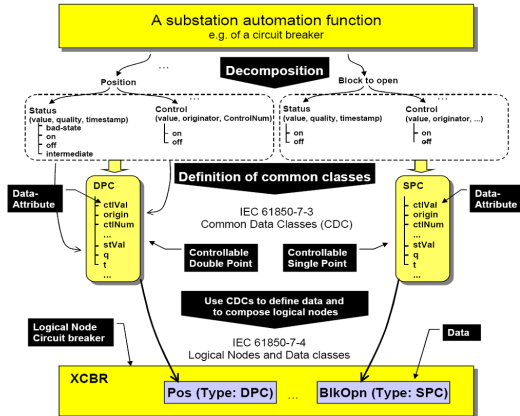
현재 표준에서 정의된 LN은 다음 표와 같이 분류할 수 있다.

(표 3) LN의 분류

| Logical Node groups | Group Indicator | Number of Logical Nodes |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| System logical nodes | L | 3 |
| Protection functions | P | 28 |
| Protection related functions | R | 10 |
| Supervisory control | C | 5 |
| Generic references | G | 3 |
| Automatic control | A | 4 |
| Metering and measurement | M | 8 |
| Sensors and monitoring | S | 4 |
| Switchgear | X | 2 |
| Instrument transformer | T | 2 |
| Power transformer | Y | 4 |
| Further power system equipment | Z | 15 |
| Total number of logical nodes | | 92 |

여기서 시스템 LN은 시스템 고유의 정보를 정의하는데, 공통 논리 노드(Common Logical Node) 정보뿐만 아니라 논리 장치와 논리 노드를 구현 하는 물리 장치도 포함한다. 이러한 LPHD(Physical device Information)와 공통 LN은 응용 영역에 독립적이며, 다른 모든 LN는 영역에 고유하지만, 이러한 시스템 논리 노드로부터 상속받아 기능을 특화시킨 것이다. LLN0(Logical node zero)은 논리 장치(LD)에 대한 공통 사항들을 지시하는데 사용된다.

다음 그림과 같이 SAS의 기능은 분할되고, CDC의 정의를 기반으로 하여 LN과 데이터 클래스로 정의된다.



(그림 7) IEC 61850의 모델링 접근 방식

IEC 61850의 일반적인 접근방식은 응용의 기능을 최소 개체 (LN)로 분해하여 이들 통신에 사용 하는 것인데, 기능성을 기반으로 LN은 전용 데이터 속성을 가진 데이터로 이루어진다. 데이터 속성으로 표현된 정보는 명확한 규칙과 IEC 61850-5에서 요구한 대로 요청된 성능에 따라 전용 서비스에 의해 교환된다.

4. DNP 3.0 과 IEC61850의 데이터 모델링 비교

DNP3.0에서는 원하는 정보를 DUI(Data Unit Identifier)로 알리게 되는데, 여기에는 객체 그룹(Object Group), 객체 변화(Object Variation), 한정값(Qualifier), 범위(Range)로 구성된다. 여기서 객체 그룹은 일반적인 데이터 클래스를 의미하며, 객체 변화는 요청을 보낼 때는 0으로 설정되며, 응답시 특정한 타입에 따라 그것을 표현하게 된다. 한정값은 뒤에 나오는 범위 값의 의미를 구분하며, 범위에서는 인덱스의 시작값과 종료값을 가지고 있다. 따라서 DNP3.0 응용계층에서 지칭하는 객체는 IEC61850에서 지칭하는 객체 중 하나의 속성으로 생각할 수 있다[2].

또한 DNP3.0의 외부 스테이션 구현 시 일반적으로 동일한 타입의 데이터를 배열 형식으로 저장한다. 따라서 데이터의 위치는 기능이나 데이터간 관계 등과 같은 의미적인 사항들이 고려된 것이 아니라, 구현의 편의성이나 자원(저장 공간 및 통신 대역)의 효율적인 이용에 초점이 맞추어져 있다.

특히 IEC61850은 장치에 대한 기술과 시스템 변수들을 호환성이 없는 IED 도구 사이에서 교환할 수 있도록 하는 SCL이 제공되는데 반해, DNP3.0에서는 이에 대등한 서비스를 제공하는 방법이 없다. 다만 자신이 가지고 있는 객체들과 의미 정보를 기술한 것이 외부 스테이션 장치 프로파일이다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

IEC61850이 가장 큰 장점은 강력한 데이터 모델링과 일반 시스템 구축을 가능하게 하는 공학도구들이다. 각 LN이 주고받은 데이터의 문법과 의미를 해석할 수 있도록 하는 3단계 모델링과, 최소한의 정보 교환과 구성 매개변수를 이용하여 서로 다른 제조사의 SAS 장치들을 통합할 수 있도록 지원하는 공학도구들은 IEC61850을 SCADA 시스템의 핵심 프로토콜로 자리매김하고 있다. 문제는 기존 프로토콜을 기반으로 이미 구현된 장치들을 어떻게 IEC61850의 데이터 모델링으로 접근할 수 있을까 하는 점이다.

본 연구에서 목표로 하는 범용 SCADA 게이트웨이는 IEC61850을 기반으로 하는 SCADA 시스템에 기존 DNP3.0과 같은 표준을 기반으로 개발된 장비를 통합할 수 있도록 하는 기능을 제공한다. 이를 위해서는 서로 다른 표준에 기반한 시스템들 간 의미 있는 데이터 교환이 가능하도록, 데이터의 의미를 일치시키거나 매핑하는 기능을 제공해야 하며, 각 표준에서 사용하고 있는 통신 프로토콜을 동시에 지원하여 변환 작업을 수행해야 한다. 현재 DNP3.0, IEC61850, DLMS 등 SCADA 표준의 분석과 통신 기능의 구현 작업이 진행 중이며, 이를 기반으로 범용 SCADA 시스템을 설계할 예정이다.

참고문헌

- [1] DNP User Group, "Distributed Network Protocol DNP 3.0 BASIC 4 DOCUMENT SET"
- [2] DNP User Group, "DNP3 Protocol Primer"
- [3] www.dnp.org
- [4] IEC Technical Report 61850-(1 ~ 10), 2003
- [5] Ralph Mackiewicz, "IEC61850 & ICCP-TASE.2 Technical Overview", SISCO
- [6] IEC, COSEM Application layer, IEC 62056-53, 2006
- [7] IEC, Object identification system (OBIS), IEC 62056-61. 2006
- [8] Parasanth Gopalakrishnan, "Need for Open Communication Standard for metering and suitability of DLMS-COSEM", Kalki Comm., 2005
- [9] "Increases in Substation Related Automation and Integration Program Spending Reported by World's Major Electric Power Utilities", Substation Automation News - March 2006