IEC 61850 기반 네트워크 시스템 구현에 관한 연구

김관수, 최 웅, 이홍희
울산대학교 전기전자정보시스템공학부

Development of IEC 61850 based Network System

Kim Gwan-Su, Choi Woong, Lee Hong-Hee
School of Electrical Engineering, University of Ulsan

ABSTRACT

오늘날 통신 기능을 갖는 마이크로 프로세스 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)가 송배전 시스템 분야에서 기존의 장비들을 대체하고 있다. 단일 표준화 작업이 이루어지기 전 다양한 프로토콜의 사용에 따른 장비 간 호환성 결여로 통신 프로토콜 표준화 필요성이 강하게 제기되었고, 1990년대 표준화 작업을 시작하여 최근 변전소 자동화용 단일 세계 표준인 IEC 61850이 UCA2.0과 유럽의 경험을 기반으로 IEC주관아래 개발되었다. 이러한 세계기술 동향을 반영해 IEC 61850 기반의 종합변전소 자동화 시스템의 구축이 필요하고, 이에 따라 본 논문에서는 IEC 61850 통신 프로토콜을 살펴보고 기본적인 IED 통신 실험 장치를 구성하고 메시지 전송 실험을 수행하였다.

1. 서 론

최근 송배전 시스템 분야에서 종래의 인간의 개입을 최소화하여 이루어질 수 있도록 통합화, 자동화 및 원격 감시화가 추진되고 있으며 이는 기존의 전기 장비들을 통신 기능을 갖는 마이크로 프로세스 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)로 대체함으로써 가능해 졌다. 단일 표준화 작업이 이루어지기 전 IED 메이커들은 MODBUS, DNP와 DNP의 유럽 파트너인 IEC-870-5-101등의 다양한 프로토콜을 제공하였다. 하지만 시스템 공급업체 간 통신 프로토콜이 표준화 되지 않아 변전소 자동화 설비를 교체할 때마다 전력회사는 곤란을 겪었다. 서로 다른 통신기술의 적용에 따른 장비 간 호환성 결여로 높은 비용을 감수할 수밖에 없는 현실이었다. 이에 따라 통신 프로토콜 표준화 필요성이 강하게 제기되었고, 1990년대 표준화 작업을 시작하여 최근 변전소 자동화용 단일 세계 표준인 IEC 61850을 UCA2.0과 유럽의 경험을 기반으로 IEC주관아래 개발하였다. 이러한 세계기술 동향을 반영해 IEC 61850 기반의 종합변전소 자동화 시스템의 구축이 필요하고, 이에 따라 SCADA+보호계전 시스템의 기능(감시,제어,계측,보호)을 IED에 구현함으로써, 전력운전정보를 IED내에 저장하고 상위에 전송할 수 있게 된다. 본 논문에서는 IEC 61850 통신 프로토콜을 살펴보고 기본적인 IED통신 실험장치를 구성하고 메시지 전송 실험을 수행하였다.

2. IEC 61850의 특징

2.1 IEC 61850의 특징

통신 서비스와 데이터를 가진 객체 모델로 구분되는 IEC 61850에 대한 설명은 다음 그림1의 ISO/OSI 7 계층으로 설명할 수 있다. IEC 61850 통신 계층에서는 통신 스택과 객체 모델을 가능하게 하는 미래 보장형 표준화이다.

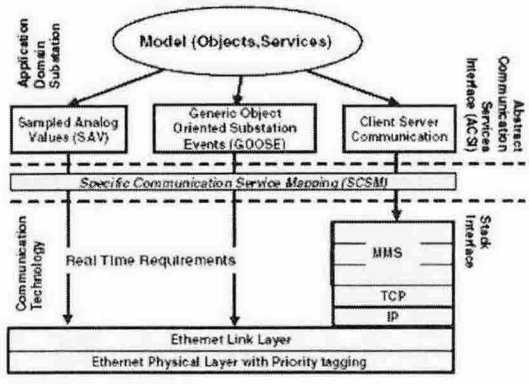

그림 1 IEC 61850 통신 구조
Fig. 1 The approach of IEC 61850

2.1.1 통신

그림 2에서는 IEC 61850에 의한 변전소 자동화 시스템에서의 주요 통신 서비스 및 경로를 나타내고 있다.

이러한 통신 서비스는 Station 계층과 Bay 계층 및 Process 계층에서 기기들(차단기, 전류·전압 변환기, 센스)간의 정보교환을 위해 필요로 한다. 이 서비스에서는 또한 동작에 관한 정보(상태 표시, 제어, 측정값) 뿐만 아니라 구성 정보(파일 전송, 파라미터)도 포함하고 있다.

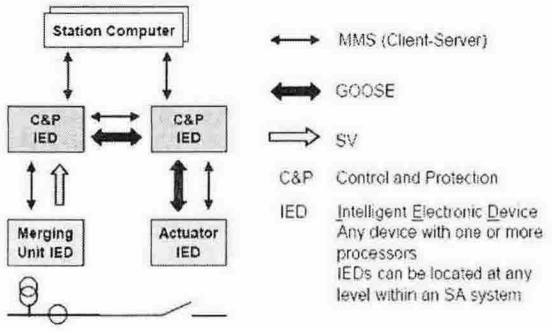

그림 2 IEC 61850 통신 서비스 종류

Fig. 2 Main types of IEC 61850 communication service

이 결과로 다음과 같은 3가지 통신 카테고리로 나눌 수 있다.

- SV(Sampled Value): 표준화, 정밀화, 주기적인 데이터가 요구되는 변환기의 전압 전류 샘플 값을 전송하는 메시지

- GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event): 표준화, 정밀화 및 신뢰성 및 안전성이 요구되는 트립 명령이나 연동되는 정보의 전송에 사용 되는 메시지

- MMS(Manufacturing Message Specification): 대부분의 운영정보가 표준화 및 적당한 우선순위, 그리고 안정된 과정을 거쳐 전송된다. 기기에 대한 특정 정보는 낮은 우선순위를 가진다.

IEC 61850 통신에서는 주류 기술을 사용한다. 즉 ISO/OSI 계층내의 통신 스택은 이더넷(1,2계층), TCP/IP(3,4계층), MMS(5-7계층)으로 구성되어져 있다. 객체 모델과 서비스는 MMS 계층에서 응용계층으로 맵핑된다. 단지 SV나 GOOSE메시지 같은 임계 메시지의 경우는 그림1에서와 같이 응용계층에서 이더넷 계층으로 직접 맵핑된다. 오늘날 많은 시간과 경비가 이더넷 통신 기술에 투자되고 있고, 이더넷은 또한 전통적인 필드버스와 경쟁 관계에 놓여 있다[1].

이 3가지 서비스는 서로 다른 실시간 조건을 가진다. IEC 61850은 TCP/IP에 기반을 둔 MMS메시지의 경우 낮은 실시간 조건을 가지며 SV나 GOOSE 메시지의 경우 높은 실시간 조건으로 인해 이더넷 계층으로 직접 맵핑되는 과정을 가진다.

2.1.2 객체 모델

표준화에 한정할 경우 객체 모델은 변전소와 관련이 많다[2]. 각각의 LN(Logical Node)는 강제적이거나 조건부적인 데이터를 가지고 있다[3]. 데이터 그 자체가 데이터의 상세한 특성이나 값을 나타내는 속성을 가지고 있다[4]. LN, 데이터 그리고 속성들이 엄격한 확장 규칙에 의해 더해질 수 있다. 또한 LN, 데이터 그리고 속성들이 표준화되었기 때문에 모든 교환된 값에 대한 의미론을 제공한다. LN는 비표준화된 이름을 가진 LD(Logical Device)내에서 그룹으로 묶여질 수 있다. LD는 IED내에 존재하는 서버로 구현될 수 있다. 그림 3에 이와 같은 내용을 설명하고 있다.

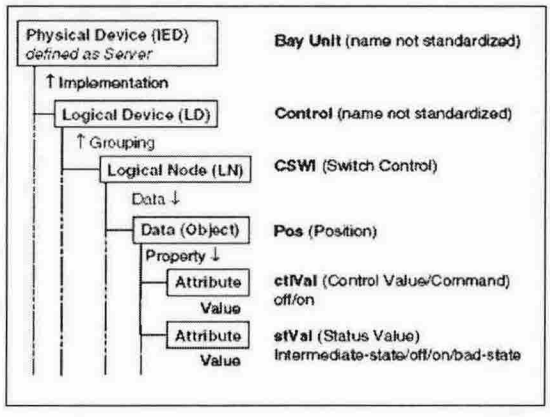

그림 3 IEC 61850의 객체 모델

Fig. 3 The object model of IEC 61850

정보를 모델링할 때 객체 지향이란 패러다임으로 설명할 수 있다. 객체 모델링의 개념은 통신을 하고자 하는 임의의 기기들에 대한 구성요소와 시스템에 적용될 수 있다. 이것은 실세계의 모든 구성요소들을 아날로그 값, 바이너리 상태, 명령어와 같은 객체로 나타낼 수 있고, 이러한 객체와 데이터는 기기의 정보 모델로서 맵핑할 수 있다. 데이터 액세스와 복구에 관련된 서비스는 대부분 클라이언트/서버 형태이다. 아날로그 샘플값과 GOOSE 메시지에 대한 전송 서비스는 엄격한 시간조건하에 결정된다[5]. 스택 상에서 모델에 대한 맵핑은 [6]에 나타나 있다.

2.2 고속의 동등 계층 통신

동등 계층 통신은 GOOSE에 토대를 두고 있다. GOOSE 메시지는 IED간 상태 및 제어정보를 MMS기반의 publisher/subscriber 메카니즘을 사용하여 서로 통신 한다. 그림 4에서는 IED간 GOOSE 메시지 전송에 관하여 나타내고 있다.

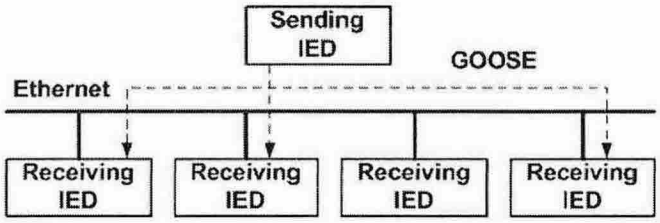

그림 4 IED간 GOOSE 통신
Fig. 4 GOOSE communication between IEDs

메시지를 수신하는 IED는 주어진 환경에서 적절한 보호응답을 결정하기 위해 가지고 있는 정보를 사용한다. 통신 실패로 인한 메시지 타임아웃이 발생했을 경우 GOOSE 메시지에 대한 조치가 필요하다. GOOSE 메시지를 사용하여 수행하는 기능의 중요성을 고려해 볼 때 IEC 61850은 매우 엄격한 성능 조건이 필요하다. 통 동등 계층 통신 시간은 4ms를 초과하지 않아야 한다[7]. GOOSE 메시지에 대한 또 다른 조건은 매우 높은 신뢰성이다. 특히 초기 차단기 동작 실패 시 보호를 위한 메시지 전송과 같은 승인되지 않은 멀티캐스트 메시지라도 IED가 이를 수신하고 동작을 수행해야 한다. 높은 신뢰성을 얻기 위해서 메시지는 상태가 관철될 때 까지 반복 전송되어야 한다. 종속성과 안정성을 극대화시키기 위해서 충분한 홀드 타임(메시지 생존 시간)을 가져야 한다. 홀드 타임이 경과한 후 같은 상태의 메시지가 반복되거나 새로운 메시지가 수신되지 않는다면 그 메시지는 만료될 것이다. 초기 GOOSE 메시지에 대한 반복시간은 줄어들고 최대치에 도달할 때까지 다음번 메시지에 대한 홀드 타임은 증가할 것이다. GOOSE 메시지에는 수신하는 IED가 메시지의 상태를 알수있도록 정보를 포함하고 있다. 심각한 고장 상태에서 전송 속도를 높이고 네트워크 부하를 줄이기 위해서 필요한 모든 보호 정보를 전달할 수 있는 단일 메시지를 가지는 GOOSE 메시지를 설계하여야 한다.

3. 실 험

앞에서 언급한 것과 같이 제어 및 보호 기기와 메인 기기들간에 "time-critical" 메시지 통신을 지원하기 위하여 특별한 주의가 필요하다. 또한 이더넷 프레임에서 시간지연이 생기지 않고 스위치와 같은 이더넷 구성요소 내에서 프레임의 손실과 과부하가 일어나지 않아야 한다. IEC 61850은 이러한 문제점을 해결하기 위해 스위칭 이더넷이나 priority tagging과 같은 메카니즘을 제공한다.

PC 기반의 IEC 61850 실험 환경을 그림 5와 같이 구성하였다.

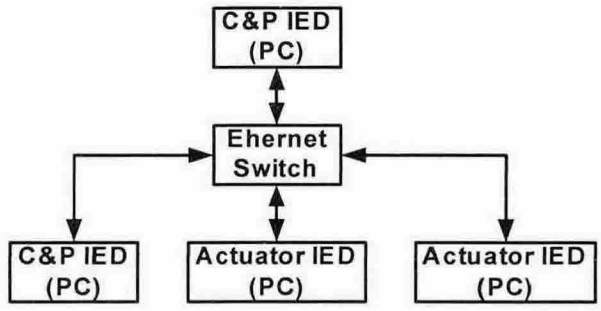

그림 5 IED간 동등 계층 통신 실험 환경
Fig. 5 Modeled substation and IED allocation

PC는 제어 및 보호 기기 및 간단한 액츄에이터 IED로 사용되었다. IEC 61850 통신 스택은 SISCO 사의 MMS-EASE Lite 라이브러리를 사용하여 구현하였다. 그리고 우리는 이더넷 어낼라이저(KEMA's UniCA Protocol Analyzer, Ethernet-Network Protocol Analyzer)를 사용하여 프레임을 분석하였다.

GOOSE 통신 실험에서 하나의 제어 및 보호 IED는 GOOSE 프레임을 전송하고 액츄에이터 IED에서 이것을 수신한다. 실험 환경에서는 GOOSE 스택 코드와 물리적인 전송 시간을 통해서 런타임(프로그램이 실행되고 있는 때)측정이 가능하다.

우리는 네트워크상에 존재하는 부하의 유무와 전송 속도(10Base-T/100Base-FX)에 따른 GOOSE 메시지 전송을 실험하였다.

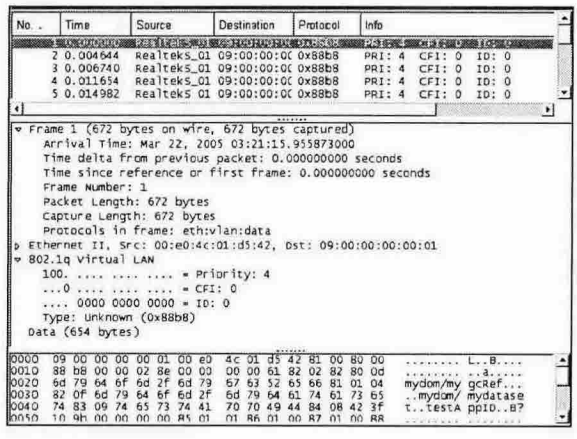

그림 6-1 Ethereal 분석기를 사용한 GOOSE 메시지
Fig. 6-1 GOOSE message using Ethereal-Network Protocol Analyzer

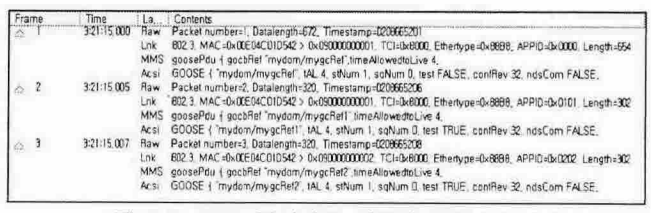

그림 6-2 KEMA 분석기를 사용한 GOOSE 메시지
Fig. 6-2 GOOSE Message using KEMA UniCA Protocol Analyzer

같은 이더넷 스위치에 연결된 두 기기들간의 GOOSE 메시지 전송에 있어서의 노미날 딜레이는 표 1과 같다.

표 1 GOOSE 메시지 전송 시간(msec)
Table 1 GOOSE message transmission time(msec)

설명	10Mbps	100Mbps
네트워크 부하	2.752 (평균)	2.534 (평균)
네트워크 부하 없음	3.207 (평균)	2.991 (평균)

실험결과로부터 이더넷 프레임은 딜레이 조건을 만족하고, 스위치 내에서 프레임 손실이 없으며 IED에 과부하가 걸리지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 PC를 사용하여 IEC 61850 프로토콜 기반의 IED를 사용한 GOOSE 통신 시스템을 구현하였다. 또한 구현된 통신 시스템 상에서 GOOSE 메시지 전송 실험을 통해 bay 계층에서의 제어 및 보호를 위한 수행하기 위한 실시간 조건을 만족한다는 것을 알 수 있었다. 그러나 정확한 동작을 위해 특정 파라미터에 대한 주의가 필요하고 시스템 통합화를 위해서는 네트워크 토폴로지와 최신기술의 이더넷 스위치 사용 등을 고려할 필요가 있다. 이더넷 네트워크상에서 GOOSE 메시지의 시간지연에 대한 특징을 나타내는 것은 많은 독립적인 변수들로 인한 복잡한 작업이지만, 합리적인 부하가 인가되고 잡음 없는 이더넷 네트워크 환경이 구축된다면 GOOSE 메시지는 고속 자동화 응용부분에 적용가능할 것이다.

본 연구는 산업자원부 • 울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] G. Kaplan, "Ethernet's Winning Ways", IEEE Spectrum, 113-115, 2001
[2] IEEE SCC36-UCA, IEC TC57-WG10,11,12, "IEC 61850-5 Comm.-Part5:Communication Requirements for Functions and Device Models "
[3] IEEE SCC36-UCA, IEC TC57-WG10,11,12, "IEC 61850-7-4 Comm.-Part7-4:Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment-Compatible Logical Node Classed and Data Classes"
[4] IEEE SCC36-UCA, IEC TC57-WG10,11,12, "IEC 61850-7-3 Comm.-Part7-3:Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment-Common Data Classes"
[5] IEEE SCC36-UCA, IEC TC57-WG10,11,12, "IEC 61850-7-2 Comm.-Part7-2:Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment-Abstract Communication Services interface"
[6] IEEE SCC36-UCA, IEC TC57-WG10,11,12, "IEC61850-8-1, IEC 61850-9-1, IEC 61850-9-2"
[7] Benton Vandiver, "Testinf of UCA Based Microprocessor Based Protective Relays", IEEE