

# 디지털변전소 엔지니어링 툴 구현을 위한 IEC 61850 국제규격 기반의 변전소 토폴로지 표현에 관한 연구

(A Study on Description of IEC 61850 based Substation Topology  
for Implementing the Engineering Tool of Digital Substation)

이남호\* · 안용호 · 장병태\*\*

(Nam-Ho Lee · Yong Ho An · Byung-Tae Jang)

## Abstract

In order to complete engineering works of the digital substation, Both Data transmission among a variety of IEDs and HMIs, and single line diagram of the substation might be done based on XML documents published in IEC 61850 international standards. This kind of XML based engineering process for the digital substation must be implemented not by manual written work but by the engineering tool using a computer. But most of the engineering tools do not support system based engineering works such as single line diagram of the substation but have only function to set IEDs as single device unit. Accordingly, this paper presents a new design method of the system based engineering description applicable to real IEC 61850 based substation through analyzing the current international standard and its sampled engineering file, and shows implementation of the engineering tool of the digital substation with the result of this study.

Key Words : IEC 61850, Digital Substation, HMI, IED, XML, Engineering, SCL, SSD

## 1. 서 론

전력계통의 중심에 있는 변전소는 전력설비에 대한 감시, 보호 및 제어 등의 운영과 관련된 장치들의 디지털

털화가 빠르게 진행되고 있으며, 2005년에 제정된 IEC 61850 변전자동화 국제규격은 변전소의 정보제공 방법을 표준화하여 이기종간의 상호운용성이 가능하게 함과 동시에 최신의 IT기술의 적용으로 물리적인 신호의 전송을 디지털 신호의 전송으로 변화시키고 있다. IEC 61850 변전자동화시스템을 구축하기 위해서는 기존 물리적 또는 전기적 신호의 전송을 위한 Hard-wiring 작업을 국제규격에서 정의하는 컴퓨터 파일을 통해 소프트웨어 기반으로 엔지니어링을 수행해야 한다. 또한 변전자동화시스템을 구성하는 IED와 상위운영시스템간의 정보전송 및 변전소의 단선도 표

\* Main author : Senior Researcher, Power Transmission Lab, KEPCO Reserach Institute

\*\* Corresponding author : Principal Researcher, Power Transmission Lab, KEPCO Reserach Institute

Tel : 042-865-5876, Fax : 042-865-5809

E-mail : 06101631@kepco.co.kr

Received : 2015. 1. 21

Accepted : 2015. 7. 22

현 역시 IEC61850에서 제정한 XML(eXtensible Marked-Up Language) 표준문서 기반위에서 이루어진다[1-5]. 이와 같은 XML 기반의 변전자동화시스템의 엔지니어링은 사람이 직접 작성하는 것이 아닌 컴퓨터프로그램에 의해 개발된 엔지니어링 툴로 수행된다. 하지만 아쉽게도 현재 대부분의 엔지니어링 툴은 변전자동화시스템이 아닌 IED 중심으로 이루어져 있기 때문에 변전소 전체를 대변하는 단선도 표현 등 시스템 관점에서의 엔지니어링은 제외되어 있는 것이 현실이다. 따라서 본 논문에서는 IEC 61850 변전자동화시스템기반의 엔지니어링을 수행하기 위하여 현재 국제표준에서 다루는 엔지니어링 파일을 분석하여 실제 변전소의 단선도 표현 및 IED와의 정보객체 연결에 문제점이 없는지를 분석하고 이를 기반으로 하여 새로운 엔지니어링 파일 설계 방법을 제시하고자 한다. 또한 새롭게 설계된 변전소의 토폴로지 표현방법은 현재 국내에서 진행 중인 IEC 61850 국제표준기반의 디지털변전소 엔지니어링 툴 구현에 반영하여, 디지털변전소를 구축하고 운영하는 과정에서 변전소의 연결정보가 반영된 토폴로지와 정보표현의 관점을 표현할 수 있는 기반을 확보하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 변전자동화시스템 엔지니어링 기술 분석

변전자동화시스템 국제표준 IEC 61850은 변전소에 대한 모든 정보를 객체화된 데이터로 표현할 수 있는 데이터 모델과 변전자동화시스템을 구성하는 IED, 상위운영시스템, Gateway 등이 상호간의 정보메시지를 주고받을 수 있는 통신 인터페이스를 다루고 있다. 이러한 변전소의 데이터 모델과 통신인터페이스는 SCL(Substation Configuration Description Language) 이라는 표준화된 XML 문서로 작성되게 되며 이에 대해서는 IEC 61850-6장에서 다루게 된다. SCL은 ICD(IED Capability Language), SSD (Substation Specification Description), SCD(Substation Configuration Language), CID(Configured IED Description) 4개의 문서로 나뉜다[1]. ICD는 IED의 데이터

모델과 통신인터페이스에 대한 내용이 수록되어 서버장치별로 존재하게 되고 SSD는 변전소의 단선도를 기준으로 하여 변전설비의 정의와 연결 관계를 표현하고 변전소 운전에 필요한 정보모델 Logical Node를 배치하게 된다.

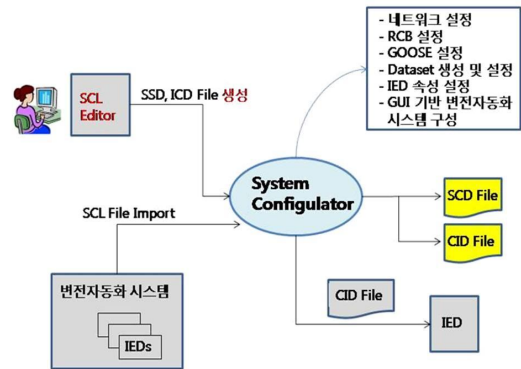


Fig. 1. Engineering Process of IEC 61850 based SAS

그림 1과 같이 변전소의 IEC 61850 엔지니어링은 변전자동화시스템을 구성하는 모든 IED를 대표하는 ICD와 변전소의 단선도 정보를 가지고 있는 SSD를 통합하여 변전자동화시스템의 데이터 전송 즉 리포트와 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)에 대한 엔지니어링 설정에 대한 정보를 수록하고 SSD 상의 Logical Node를 해당 IED의 Logical Node로 연결하는 작업을 수행하는 SCD 파일을 생성하는 과정이며, 이러한 SCD 파일은 디지털변전소의 모든 전자장치 간 정보교환의 흐름과 변전소 설비와 데이터의 연관관계의 정보를 하나로 통합하여 가지고 있다. 현재까지 현장에 적용되는 변전소의 IEC 61850 엔지니어링은 변전소의 토폴로지 정보 즉 스위치에 의한 연결정보를 가지고 있는 SSD를 제외한 ICD를 이용하는 SCD파일 생성만을 다루고 있다. IEC 61850 디지털변전소는 단독으로 운전되는 독립적인 단위장치가 아니라, 다수의 디지털 장치들이 동일한 통신규격을 가지고 변전소를 시스템적으로 운전하는 자동화시스템이기 때문에 디지털변전소의 전체 구성을 표현하는 SSD 파일의 중요성은 점점 커져가고 있는 추세이다. 하지만 2004년에 발간된 IEC 61850 1편에 수록

된 SSD 파일을 이용하여 실제 변전소 적용의 가능여부를 분석한 사례가 많지 않은 형편이고, 이를 기반으로 상용화한 엔지니어링 툴 역시 변전소의 토폴로지 표현에 한계를 갖고 있어 현실적인 활용이 어려울 것으로 여겨진다. 본 논문에서는 디지털변전소의 엔지니어링에 대해서 다루는 IEC 61850 6장의 SSD 파일에 대한 SCHEMA 파일(XML 문서작성을 위한 구조 및 규칙으로 IEC 61850 규격은 XML로 표현되는 SCL 작성을 위한 SCHEMA 파일을 6장에 수록 함)을 기반으로 하여 규격에서 설명하는 변전소 예제를 분석하여 변전소 단선도를 SSD 형식의 단선도로 변환하고 SSD와 ICD가 어떻게 연결되어 SCD로 통합하는지를 설명하고자 한다. 또한 SSD를 포함하는 SCD는 IEC 61970 기반의 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) 시스템과 정합(Harmonization)의 필요성이 전 세계적으로 대두되고 있기 때문에 IEC 61970-301에서 다루는 CIM(Common Information Model)의 전력계통 토폴로지 부분을 참고하여 IEC 61850 규격의 변전소 토폴로지 표현 방법을 개선하고자 한다. 디지털 변전소를 엔지니어링 토폴로지 관점에서 해석하고 표현을 하게 되면 변전소를 통해 흘러가는 전력과 이와 관련된 디지털 정보의 흐름을 사람뿐만 아니라 컴퓨터시스템에 의해 인식될 수 있는 환경이 조성되어 디지털 변전소의 전체 전력과 정보의 흐름을 감시하는 상위운영시스템과 게이트웨이시스템이 별도의 작업 없이 엔지니어링 토폴로지 정보를 이용하여 자유롭게 구현할 수 있다. 또한 디지털 변전소의 차상위 시스템인 SCADA를 IEC 61970과 같은 국제규격으로 구축할 경우에는 디지털 변전소의 엔지니어링 토폴로지를 정합하여 새로운 SCADA 시스템의 엔지니어링 토폴로지로 구현할 수 있는 장점을 확보할 수 있다. IT 기술의 발달과 변전소의 디지털화의 가속화는 변전소 엔지니어링 환경을 기존의 전기적 신호를 이용하는 케이블 결선 작업과 같은 H/W작업에서 컴퓨터프로그램을 이용하여 전력과 정보의 흐름을 자유롭게 확인하고 구성할 수 있는 S/W작업으로의 변화를 이끌었고, 본 연구는 이러한 디지털변전소의 엔지니어링 작업을 컴퓨터프로그램 툴로 구현하는 것을 목적으로 툴의 핵

심엔진으로 개선된 변전소 토폴로지 표현방법을 적용하고자 한다.

## 2.2 IEC 61850 엔지니어링 규격 분석

IEC 61850 6장 국제규격에는 그림 2와 같은 변전소 단선도를 통해 SCD파일을 작성하는 사례를 보여준다. 대상 변전소는 주변압기를 중심으로 각 DI와 EI로 명명된 220kV/132kV 전압 레벨을 가지고 있으며 선로, 차단기, 단로기, 모선, CT, PT로 구성된다.

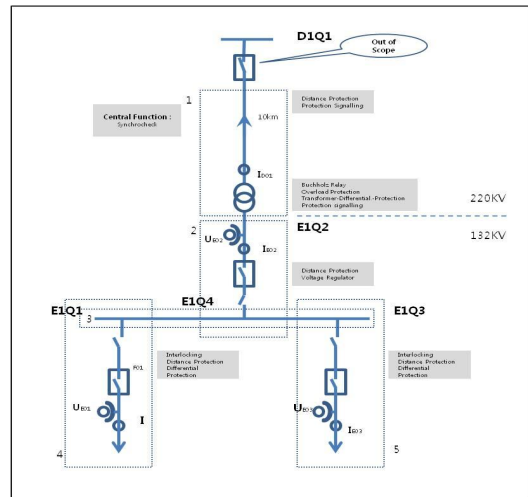


Fig. 2. Single-line Diagram of IEC 61850-6 Substation

IEC 61850 국제 표준에서는 변전소를 스위치구성, 변압기, 모선 등 작은 단위를 통해 단선도를 분할하여 표현하도록 규정하고 있으며 이러한 집합체를 베이(Bay)라 정의한다. 베이는 전압 레벨에 포함되는 구조이기 때문에 각 전압레벨을 기준으로 하여 변전소는 여러 개의 베이로 구성되며 그림 2의 변전소는 220kV에 1개의 베이(D1Q1)를 가지고 있고 132kV에 4개의 베이(E1Q1, E1Q2, E1Q3, E1Q4)를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 절에서 다루고자 한다. 그림 3은 IEC 61850 6장에서 설명하는 변전소 구성을 위한 UML(Unified Modelling Language, 객체에 대한 프로그램 설계언어로 IEC 61850 규격은 변전소 정보모델을 UML로 설계하였음)

다이어그램을 보여준다. 그림 3의 UML 다이어그램을 통해 SSD 파일에 대한 XML SCHEMA가 구현되었으며 변전소 구성 UML 다이어그램에 대한 분석내용은 다음과 같다[6-8].

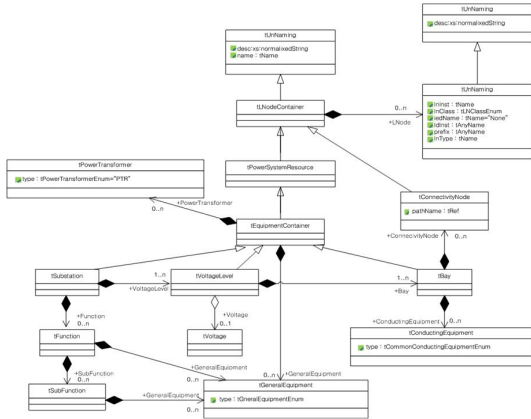


Fig. 3. UML Diagram of Substation Configuration

- 변전소 구성의 포함관계를 통해 SSD는 변전소(substation)가 다수(1..n)의 전압레벨(Voltagelevel)을 포함하고, 각 전압레벨은 다수의 베이(1..n)를 포함하도록 클래스가 설계되었다. 여기서 SSD파일 구현 시 주의해야 할 사항은 베이 클래스는 한 개의 전압레벨만을 가질 수 있다는 점이다.
- 변전소, 전압레벨, 베이는 EquipmentContainer 클래스로부터 상속되었으며 변전소의 설비(Equipment)는 세 개의 Container 클래스 중 한 개에 속해야 한다.
- 차단기, 스위치, CT, PT 등 변전소 설비는 ConductingEquipment 클래스로 모델링될 수 있으며 type 속성을 통해 그 종류를 구분할 수 있다. IEC 61850에서 정의하는 ConductingEquipment의 type 속성은 표 1과 같다.
- ConductingEquipment 클래스는 베이클래스와 포함관계를 가지고 있으며 이는 변전소의 모든 ConductingEquipment는 자기가 속하는 베이가 있음을 의미한다.
- 변압기의 경우에는 ConductingEquipment 클래스에 속하는 것이 아니라 별도의 클래스인

PowerTransformer 클래스로 정의되며 다른 설비와 달리 전압레벨이 2개 이상 존재할 수 있기 때문에 베이 클래스에 포함되는 것이 아니라 변전소, 전압레벨, 베이 EquipmentContainer 어느 클래스에 속할 수 있다.

Table. 1. Type Attribute of ConductingEquipment

Type code	의미	Number of terminals
CBR	Circuit Breaker	2
DIS	Disconnecter or earthing switch	2
VTR	Voltage Transformer	1
CTR	Current Transformer	2
PTW	Power Transformer Winding	1
PTR	Power Transformer	-
LTC	Load Tap Changer	-
GEN	Generator	1
CAP	Capacitor bank	1/2
REA	Reactor	1/2
CON	Converter	1/2
MOT	Motor	1
EFN	Earth Fault Neutralizer(Peterson coil)	1
PSH	Power Shunt	2
AXN	Auxiliary Network	none
BAT	Battery	1
BSH	Bushing	2
CAB	Power Cable	2
GIL	Gas Insulated Line	2
LIN	Power overhead line or line segment	2
RRC	Rotating reactive component	1
SAR	Surge arrester	1
TCF	Thyristor controlled frequency converter	2
TCR	Thyristor controlled reactive component	2
IFL	Infeeding line	1

- SSD는 변전소의 연결 관계 즉 토폴로지에 대한 정보를 가지고 있으며 이를 위해 각 설비간 연결 지점을 의미하는 ConnectivityNode 클래스를 정의하고 이를 베이 클래스에 포함하도록 설계되었다.

그림 4는 변전소 설비에 대한 상속과 상관관계를 정의하고 있는 UML 다이어그램이다. 변전소의 설비는 변압기(PowerTransformer) 클래스, 변압기를 제외한 전기 설비(ConductingEquipment) 클래스, 화재 방지 시스템 등 기타 설비(GeneralEquipment) 세 개의 클래스로 구성되며 각 설비의 공통요소를 추출하여 만든 Equipment 클래스로부터 기본적인 속성을 상속받는 구조로 설계되었다. 이에 대한 구체적인 분석내용은 다음과 같다.

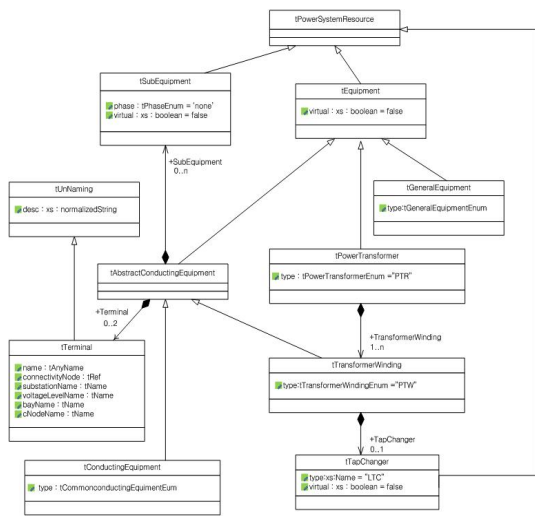


Fig. 4. UML Diagram of Inheritance and relationship of Substation facilities

▪ 변압기클래스는 type 속성으로 표 1의 PTR로 가지고 있으며 한 개의 변압기는 다수의 변압기 권선(TransformerWinding)클래스를 포함하고, 변압기 권선클래스는 1개의 TapChanger 클래스를 가질 수 있다. 이 때 주의할 점은 변압기 권선클래스는 ConductingEquipment와 동일하게 AbstractConductingEquipment로부터 상속을 받는다는 것이다. 따라서 변압기 권선 클래스는 ConductingEquipment로서 설계되어야 한다.

▪ 변전소의 전기설비간 연결정보를 설계하기 위해서는 각 설비가 가지고 있는 연결위치에 대한 클래스를 정의해야하며 규격에서는 Terminal 클래스로 설계하였다. UML 다이어그램을 통해 AbstractConductingEquipment는 최대 2개의 Terminal을 가질 수 있

으며 이는 AbstractConductingEquipment로부터 상속받는 변압기, 차단기, 스위치, 계기용 변류기/변압기 등 전기설비 등이 최대 2개까지의 변전소내 연계를 위한 Terminal을 가질 수 있음을 의미한다.

▪ ConnectivityNode 클래스를 통해 Terminal은 하나의 ConnectivityNode에 연결되어 해당 Terminal을 가지고 있는 변전설비가 단선도상에서 어떻게 연결되었는지를 표현할 수 있다. 이때 주의할 사항은 ConnectivityNode의 이름은 변전소 단선도상의 계층적 구조를 갖는 Pathname(예: 변전소/전압레벨/베이/ConnectivityNode명)으로 사용해야한다는 점이며 변전소 내에서는 중복된 이름이 존재해서는 안 된다.

### 2.3 SSD 파일 기반 변전소 단선도 표현

그림 2의 변전소 SSD 예제파일을 분석하면 변전소는 S12의 이름을 가지고 있으며 전압레벨은 220kV D1과 132kV E1로 구성되어 있다. 각 전압레벨별로 SSD 파일을 분석한 결과는 다음과 같다.

#### ① 220kV D1 전압레벨

- 변압기 T1은 전압레벨에 포함되며 두 개의 권선 W1과 W2를 가지고 있다.
- W1과 W2는 각각 1개의 터미널을 가지고 있으며 W1의 터미널은 ConnectivityNode(이하 CN) S12/D1/Q1/L1에 W2의 터미널은 CN S12/E1/Q2/L3에 연결된다.
- 변압기 T1은 정보객체로 비율차동보호요소(PDIF)와 CT(TCTR)를 가지고 있다.
- D1전압레벨에는 Q1 베이 한 개가 존재하고 4개의 TCTR(R, S, T, N)로 구성된 CT L1을 가지고 있다.
- L1 CT는 S12/D1/Q1/L1 CN에 연결된 터미널을 가지고 있다.
- Q1 베이는 거리보호요소(PDIS)를 가지고 있다.

#### ② 132kV E1 전압레벨

- 전압레벨 E1은 Q1, Q2, Q3, Q4, W1 5개의 베이로 구성된다.
- ▶ Q1 베이
  - Q1 베이는 송전선로 1회선에 대한 영역으로 정보

- 객체는 PDIS, PDIF, MMXU 등을 가지고 있다.
- 차단기 QA1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있으며 제어정보 객체 CSWI를 가지고 있다.
- PT V1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되었으며 A상의 전압요소 TVTR을 가지고 있다.
- CT II은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있으며 Logical Node 객체는 없다.
- 스위치 QB1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있다.
- Q1에 속해 있는 CN L1은 차단기 QA1과 단로기 QB1을 연결하고, L2는 차단기 QA1과 PT V1을 연결하고, L3는 PT V1과 CT II을 연결하고, L4는 CT II을 연결한다.
- ▶ Q2 베이
  - 변압기 2차측에서 모선까지 영역을 가지는 Q2 베이는 자체 정보객체는 가지고 있지 않다.
  - 차단기 QA1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있으며 인터락정보 객체 CILO를 가지고 있다.
  - 단로기 QB1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되었고 제어객체 CSWI와 인터락 정보객체 CILO를 가지고 있다.
  - PT V1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되었으며 Logical Node 객체는 없다.
  - CT II은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있으며 Logical Node 객체는 없다.
- Q2에 속해 있는 CN L0는 차단기 QA1과 단로기 QB1을 연결하고, L1은 차단기 QA1과 CT II을 연결하고, L2는 PT V1과 CT II을 연결하고, L3는 PT V1과 전압레벨 D1에 속한 변압기 권선 W2를 연결한다.
- ▶ Q3 베이
  - Q3 베이는 배전선로 2회선에 대한 영역으로 정보 객체는 PDIS(거리보호 정보모델), PDIF(비율차동 정보모델), MMXU(계측 정보모델) 등을 가지고 있다.
  - 차단기 QA1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소

- 에 연결되어 있으며 제어정보 객체 CSWI를 가지고 있다.
- PT V1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있으며 Logical Node 객체는 없다.
- CT II은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있으며 Logical Node 객체는 없다.
- 스위치 QB1은 두 개의 터미널을 가지고 변전소에 연결되어 있다.
- Q1에 속해 있는 CN L1은 차단기 QA1과 단로기 QB1을 연결하고, L2는 차단기 QA1과 PT V1을 연결하고, L3는 PT V1과 CT II을 연결하고, L4는 CT II을 연결한다.

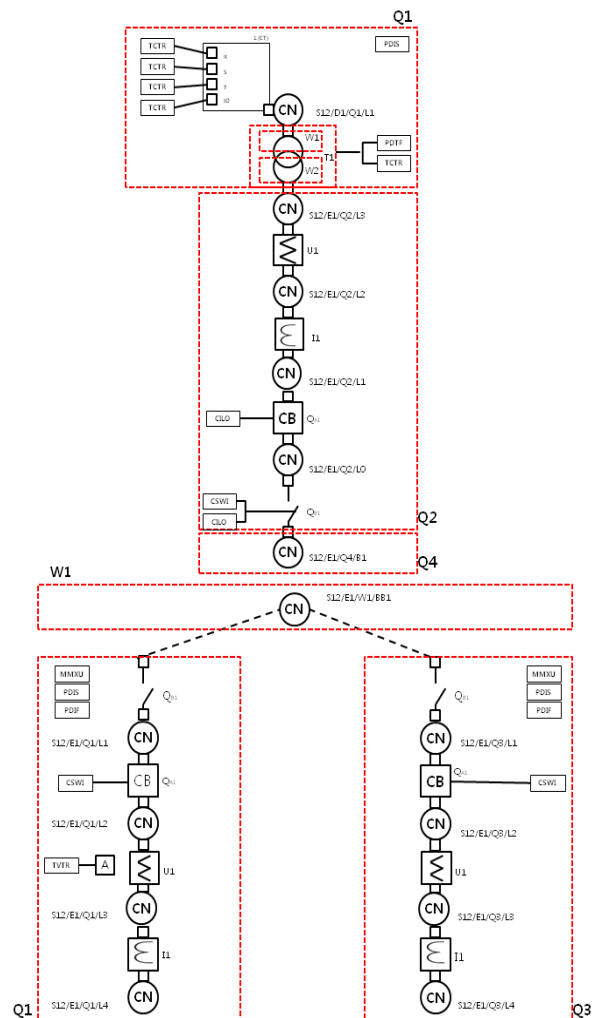


Fig. 5. Substation Diagram using the SSD file

- ▶ Q4 베이
  - Q4 베이는 CN 1개만을 가지고 있으며, CN B1은 Q2베이의 단로기 QB1과 연결되어 있다.
- ▶ W1 베이
  - W1 베이는 CN 1개만을 가지고 있으며, CN BB1은 Q1베이의 단로기 QB1과 Q3베이의 단로기 QB1과 연결되어 있다.

SSD 파일을 분석한 내용을 가지고 변전소 단선도를 각 베이에 속한 설비의 터미널과 CN을 연결하여 도식화하면 그림 5와 같다. 그림 5의 변전소 단선도를 통해 IEC 61850 6장의 변전소 SSD파일에는 변전소에 연결된 송전선로와 배전선로에 대한 연결정보가 없음을 알 수 있다. IEC 61970 CIM의 전력 토폴로지에서는 송전선로와 배전선로를 변전소간의 연결정보로 이용하기 때문에 두 표준간의 정합을 고려한다면 선로에 대한 표현정보를 디지털변전소 표현방법에 추가해야 한다. 또한 그림 5의 전압레벨 E1의 Q4와 W1 베이로 구성된 모선이 베이 간의 연결정보가 없어 설계상

에는 분리된 것으로 보이는 것은 변전소의 모선(BUS)과 3개의 선로가 만나는 Junction이 규격에서 정의되어 있지 않아 모선에 대한 표현이 불가능하기 때문이다. 따라서, 모선에 대한 추가적인 설계도 이루어져야 한다.

## 2.4 SSD 설계 개선을 통한 IEC61850 변전소 토폴로지 표현

IEC 61850 국제규격에서 설명하는 SSD 파일은 변전소의 토폴로지에 대한 표현이다. 따라서 SSD로 구현되는 변전소 단선도는 전력계통 해석의 중심이 되는 변전소의 연결정보를 나타낼 수 있어야 한다. 하지만 IEC 61850 6장에서 다루는 SSD 파일 및 SCD 파일은 실제 단선도로 재해석한 결과 이러한 변전소 토폴로지 관점에서 몇 가지 문제점이 발견되었다. 우선 모선에 대한 표현 방법이 없다는 점이다. 모선에 대한 표현이 없게 되면 여러 송전선로 또는 배전선로의 모

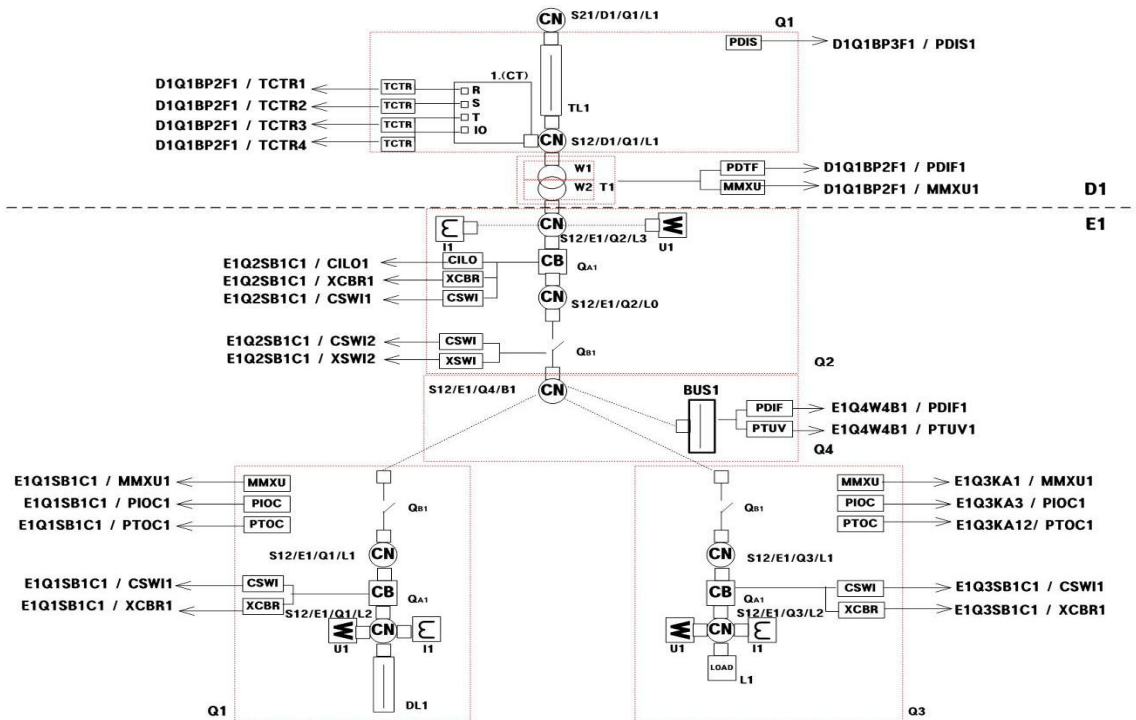


Fig. 6. Substation diagram based on the improved SSD file

선상의 연결정보와 모선분리 여부를 설계할 수 없다. 또한 이로 인하여 전력계통 해석을 토폴로지 구성이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 새롭게 모선에 대한 IEC 61850 ConductingEquipment Type을 추가하고 이름은 Bus로 명명하고 연결 가능한 CN 수는 한 개로 정의하였다. 그림 6과 같이 변전소 단선도 상의 E1/Q4 베이에 BUS1을 생성하여 S12/E1/Q4/B1 CN에 연결함으로써 해당 베이에 모선이 존재함을 알 수 있고 이러한 SSD기반의 변전소 토폴로지 표현은 IEC 61970의 모선 구성의 표현과 연결되어 향후 정합모델 구현이 용이할 것이다.

두 번째로 그림 5의 단선도 표현의 문제점은 CT와 PT의 연결을 변전소 토폴로지로 구현하고 있다는 점이다. 즉 E1/Q2 베이의 차단기 QA1과 변압기 사이에 CT와 PT를 CN 2개를 사용하여 연결함으로써 실제 변전소 토폴로지인 차단기 QA1과 변압기의 연결을 표현 못하고 있는 것이다. IEC 61850 SSD의 UML 다이어그램에서는 한 개의 CN이 몇 개의 터미널을 포함하는 것이 없지만 IEC 61970의 토폴로지 UML 설계는 한 개의 CN이 다수의 터미널을 포함하는 것이 가능하기 때문에, 본 논문은 IEC 61970 표준을 디지털변전소에 적용하여 차단기 QA1에 연결된 CN(S12/E1/Q2/L1)에 CT와 PT의 한 터미널을 각각 연결하도록 하고 변압기의 2차측 터미널을 CN(S12/E1/Q2/L1)에 연결하여 변전소의 차단기와 변압기를 연결하는 토폴로지를 완성하였다. 동일한 방식으로 E1의 Q1과 Q3 베이를 수정하여 그림 6의 변전소 토폴로지를 완성하였다. 마지막으로 송전선로와 배전선로에 대한 수정 사항을 설명하고자 한다. IEC 61850 국제규격이 변전시스템에 대한 장치모델 정의 및 통신프로토콜을 다루다보니 변전소에서 외부로 연결되는 송전선로 또는 배전선로에 대해서는 크게 다루고 있지 않다. 다만 표 1에서는 ConductingEquipment 설비로서 송전선로 LIN과 배전선로 IFL을 정의하고 있다. 두 설비의 CN에 대한 설명을 보면 LIN의 경우 CN이 2개이기 때문에 변전소(또는 중간 분기점)사이의 연결설비로 정의하고 IFL은 CN이 1개이기 때문에 변전소의 말단 설비로 인식되는 것을 알 수 있다. 그림 5와 같은 IEC 61850-6장에서는 선로에 대한 구현이 없으므로 그림

6에서는 변전소에서 외부로 연결되는 송전선로와 배전선로에 대한 구현을 추가하였다. 송전선로의 경우 변압기와 연결된 CN(S12/D1/Q1L1)과 타 변전소(S21)의 CN(S21/D1Q1/L1)과의 사이에 TL1의 송전선로 객체를 위치하도록 설계하였다. TL1에 대한 SSD의 XML 표현은 다음과 같다.

```
<Substation name="S12" desc="Baden">
  <VoltageLevel name="D1">
    <Bay name="Q1">
      <ConductingEquipment name="TL1"
type="LIN">
        <Terminal connectivityNode="S12/D1/Q1/L1"
substationName="S12" voltageLevelName="D1"
bayName="Q1" cNodeName="L1"/>
      </ConductingEquipment>
```

E1/Q1과 E1/Q3 베이에 속하는 두 개의 배전선로는 CN 1개를 가지는 IFL 선로와 연결 점을 고려한 CN 2개를 가지는 LIN으로 설계를 할 수 있다. 하지만 전력계통의 해석 또는 변전소의 관점에서 배전선로를 바라볼 때는 등가화된 부하 또는 부하공급선 등으로 여기기 때문에 그림 6에서는 배전선로를 CN 1개를 가진 IFL과 부하로 처리하고자 한다. 단 IEC 61850에서는 부하에 대한 ConductingEquipment 정의가 없기 때문에 본 논문에서는 IEC 61970 규격[9]과의 정합을 고려하여 표 1의 ConductingEquipment의 Type 속성에 부하인 LOD(부하에 대한 영문명 Load의 약어로 표현)를 추가하고 CN은 1개로 정의하고자 한다. 그림 6의 개선된 SCD 파일을 구현하는 과정에서 IEC 61850-6장의 예에서 다루는 변전소의 정보모델이 실제 계통에 적용되는 정보모델과 차이가 있기 때문에 일부 정보모델을 현재 한전의 디지털변전소에 적용되는 정보모델로 변경하여 수정하였다. 차단기의 경우에는 제어를 위한 CSWI와 이와 연동된 인터락 정보모델인 CILO를 쌍으로 위치하였고 상태감시를 위한 XCBR 정보모델도 추가하였다. 단로기 경우에는 인터락 정보모델없이 제어를 위한 CSWI 정보모델과 스위치 정보모델 XSWI를 쌍으로 표현하였다. 변압기에는 일반적MU(Merging Unit, 전압/전류를 디지털신호로 변환하는 장치)에 구현되는 TCTR(계기용 변류기에 대



한 정보모델)을 제외하고 대신 계측정보를 가지고 있는 MMXU를 위치시켰다. 새롭게 추가되는 모선이 위치하는 E1/Q4 베이의 BUS1은 실계통의 보호요소와 동일하게 비율차동과 저전압보호 요소인 PDIF와 PTUV 정보모델을 각각 추가하였고 배전선로가 위치한 E1/Q1과 E1/Q3 베이는 계측정보를 위한 MMXU, 순시 과전류보호 PIOC 그리고 한시 과전류 보호 PTOC로 정보모델로 구성하였다.

### 2.5 디지털변전소 엔지니어링 툴 구현

본 논문에서 국제규격의 내용을 개선하여 새롭게 제시하는 변전소의 토폴로지 표현방법은 변전소의 엔지니어링이 과거 변전소의 물리적인 공간에서 행하여졌던 것을 컴퓨터를 통한 가상 환경에서 수행하는 것을 가능하게 한다. 또한, 디지털 변전소의 엔지니어링 토폴로지를 국제규격 형식의 파일로 구현하고 도면상에 구현하는 것은 방대한 양의 규격의 해석과 엔지니어링 토폴로지 표현에 대한 새로운 지식의 기반위에 이루어지기 때문에 기존의 변전소 담당자가 생성하기가 어려운 것도 현실이다. 따라서 본 연구를 통해 새롭게 설계된 IEC 61850 SSD 파일을 변전소 담당자가 쉽게 작성할 수 있고, 이를 통해 변전소 엔지니어링을 국제 표준으로 작업할 수 있는 디지털변전소 엔지니어링 툴을 그림 7과 같이 개발하였다.

본 논문에서는 디지털변전소의 단선도를 전력의 흐름의 관점에서 국제규격 IEC 61850으로 표현할 수 있도록 현재 규격의 문제점을 분석하여 부하, 모선 등 새로운 전력설비의 필요성을 제기하고, 변전소의 토폴로지를 시각적으로 표현할 수 있는 분석방법을 설명하였다. 디지털변전소의 토폴로지를 국제표준으로 표현한다는 것은 SSD 파일을 만드는 것을 의미하며, SSD 파일은 프로그램 언어 XML로 구현되기 때문에 이를 작성할 수 있는 편집 프로그램이 필요함을 의미한다.

기존의 디지털변전소 XML 편집프로그램은 변전소 토폴로지 표현을 위한 본 논문이 설명한 전력설비의 CN과 터미널 배치 그리고 설비간 연결을 직접 작성하고 입력해야 했기 때문에 많은 시간이 소요되고 다수의 설비의 입력과정에서 인적실수가 발생하여 실제 시스템 적용 때 문제점이 발생하였다. 본 연구의 디지털변전소 엔지니어링 툴은 표 1의 전력설비들을 규격에 따라 터미널을 갖도록 객체화하였고, 전력설비들을 프로그램 상에 배치하여 단선도를 그리게 되면 전력설비의 터미널간의 CN을 본 논문의 분석내용처럼 자동배치하여 사용자의 입력없이 SSD 파일을 자동으로 생성할 수 있는 프로그램이다. 실제 디지털변전시스템의 실증시험과정에서 기존 XML 편집프로그램과 비교하여 SSD를 제작하는 소요시간이 약 80% 이상 단축되었고 컴퓨터에 의한 자동생성으로 잘못 입력되는 경우가 없는 것이 입증되었다. 또한, 엔지니어링 툴은 그림 1에서 설명한 디지털변전소 엔지니어링 프로세스에 따라 변전소의 모든 정보교환에 대한 정보를 가지고 있는 SCD 파일을 생성할 수 있으며, 이를 텍스트 입력이 아닌 변전소 단선도 상의 그래픽 기반으로 수행할 수 있는 장점이 있다. 디지털변전소 엔지니어링 툴을 이용하여 수행할 수 있는 주요 기능은 다음과 같다.

- IED 네트워크 주소 설정
- GOOSE/SV(Sampled Value) 송수신 설정
- MMS 리포트 및 데이터셋 설정
- IED 보호기능 정정

개발된 엔지니어링 툴은 디지털 변전소를 엔지니어링 토폴로지 관점에서 해석하고 표현을 하여 변전소를 통해 흘러가는 전력과 이와 관련된 디지털 정보의

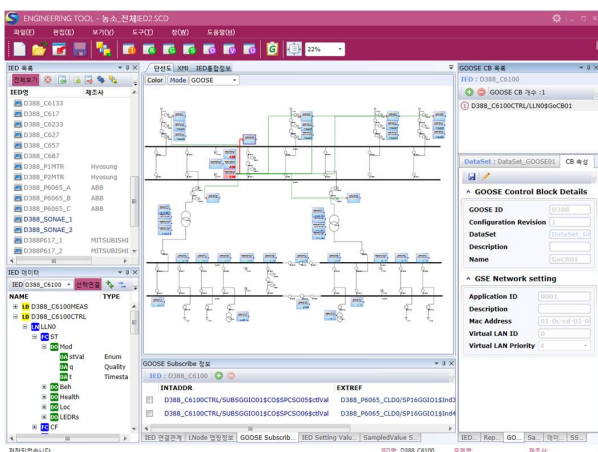


Fig. 7. Engineering tool of IEC 61850 based digital substation

흐름을 사람뿐만 아니라 컴퓨터시스템에 의해 인식될 수 있어 디지털 변전소의 전체 전력과 정보의 흐름을 감시하는 상위운영시스템과 게이트웨이시스템이 별도의 작업 없이 엔지니어링 토폴로지 정보를 이용하여 자유롭게 구현할 수 있게 된다. 또한 디지털 변전소의 차상위 시스템인 SCADA를 IEC 61970과 같은 국제규격으로 구축할 경우에는 디지털 변전소의 엔지니어링 토폴로지를 정합하여 새로운 SCADA 시스템의 엔지니어링 토폴로지로 구현할 수 있게 된다.

### 3. 결 론

IEC 61850 국제규격이 적용된 디지털 변전소의 구축이 전 세계적으로 확대되는 추세이며 국내 역시 전력회사 및 민간분야에서도 스마트그리드 지능형 전력망의 핵심시스템으로 디지털 변전소 구축이 증가되고 있다. 또한 디지털 변전소를 국제규격 기반으로 구현함으로써 제작사와 상관없이 모든 구성장치가 상호 연결될 수 있는 환경이 되었으며, 이는 하나의 엔지니어링 톨을 통해 모든 디지털 변전소의 전력과 정보의 흐름을 설계할 수 있음을 의미한다. 따라서 본 논문이 제시하는 디지털 변전소의 엔지니어링 토폴로지 표현 및 이를 기반으로 하는 엔지니어링 톨은 이러한 변전소 환경의 변화에 부합하는 장치로서 디지털변전소 시대의 중요한 솔루션으로 자리 잡을 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구를 통해 개발된 디지털변전소 엔지니어링 톨은 한전의 신규 154kV 디지털변전소 준공을 위한 엔지니어링 성능검증에 활용 중에 있으며, 현재까지 SSD에 대한 검증 및 활용에 대한 연구가 전 세계적으로 많지 않기 때문에 본 연구의 결과가 디지털 변전소의 상위 개념에 위치하는 IEC 61970 기반의 SCADA 시스템의 정합 모델 개발에 크게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

### References

[1] IEC 61850-6, "Communication network and systems in substation- Part6: Configuration description language for communication in electrical substation related to IEDs", 2005.

[2] IEC 61850-7-3, "Communication network and systems in substation- Part7-3: Basic communication structure for substation and feeder equipment-Common data classes", 2005.  
 [3] IEC 61850-7-4, "Communication network and systems in substation- Part7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment-Compatible logical node classes and data classes", 2005.  
 [4] Alex Apostolov, "We can not test 21st century IED with 20st century testing technology", Pac world winter, 2008.  
 [5] "Development of Advanced Digital substation system 2d phase report ", KEPCO, 2011.  
 [6] G.Booch, J.Rumbaugh and I.Jacobson, "The United modelling language user guide", Addison-Wesley, 1999.  
 [7] J.Arlow and I.Neustadt, "UML 2 and the Unified Process, 2d", Addison-Wesley Professional, 2005.  
 [8] Lee.HM, "Object oriented analysis and design using UML", Samsung SDS MultiCampus, 2004.  
 [9] IEC 61970-301, "Energy management system application program interface : Common information model(CIM) base", 2011.

### ◇ 저자소개 ◇



**이남호 (李南鎬)**

1973년 7월 26일생. 1998년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2004~2006년 LS산전(주) 전력연구소 주임연구원. 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. IEC TC57 WG10 위원. UCA IUG 위원.



**안용호 (安勇豪)**

1961년 7월 10일생. 1984년 인천시립대 전기공학과 졸업. 2000년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987년~현재 한국전력공사 전력연구원 계통변전그룹 그룹장.



**장병태 (張炳泰)**

1964년 12월 23일생. 1990년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년~현재 한국전력공사 전력연구원 책임연구원. IEC TC57 WG10 위원. UCA IUG 위원.