

A Study on the Automation of MVDC System-Linked Digital Substation

Jang Soon Ho[†] · Koo Ja Ik^{††} · Mun Cho Rong^{†††}

ABSTRACT

Digital substation refers to a substation that digitizes functions and communication methods of power facilities such as monitoring, measuring, control, protection, and operation based on IEC 61850, an international standard for the purpose of intelligent power grids. Based on the intelligent operating system, efficient monitoring and control of power facilities is possible, and automatic recovery function and remote control are possible in the event of an accident, enabling rapid power failure recovery. With the development of digital technology and the expansion of the introduction of eco-friendly renewable energy and electric vehicles, the spread of direct current distribution systems is expected to expand. MVDC is a system that utilizes direct current lines with voltage levels and transmission capacities between HVDCs applied to conventional transmission systems and LVDCs from consumers. Converting existing lines in substations, where most power equipment is alternating current centric, to direct current lines will reduce transmission losses and ensure greater current capacity. The process bus of a digital substation is a communication network consisting of communication equipment such as Ethernet switches that connect installed devices between bay level and process level. For MVDC linkage to existing digital substations, the process level was divided into two buses: AC and DC, and a system that can be comprehensively managed in conjunction with diagnostic IEDs as well as surveillance and control was proposed.

Keywords : MVDC, IEC61850, Automation

MVDC 시스템연계 디지털변전소 자동화 연구

장 순 호[†] · 구 자 익^{††} · 문 초 롱^{†††}

요 약

디지털변전소는 전력망 지능화를 위해 감시, 계측, 제어·보호, 운전 등 변전소를 구성하는 전력설비 기능과 통신방식을 국제표준인 IEC61850 기반으로 디지털화한 변전소를 말한다. 지능화된 운영시스템을 기반으로 효율적인 전력설비의 감시제어가 가능하며, 사고 발생 시 자동 복구 기능과 원격제어가 가능해 신속한 전력 장애 복구가 가능하다. 디지털 기술의 발달과 친환경 신재생에너지 및 전기차의 도입이 확대 되면서 직류 배전시스템의 보급이 확대될 전망이다. MVDC는 기존 송전계통에 적용되는 HVDC와 수용가에서의 LVDC 사이의 전압 레벨 및 전송용량을 갖는 직류 선로를 활용한 시스템이다. 대부분의 전력설비들이 교류 중심인 기존변전소의 기존 선로를 직류 선로로 변환하면 송전 손실 감소 및 더 큰 직류 용량이 확보된다. 디지털변전소의 프로세스 버스는 베이 레벨과 프로세스 레벨의 설치된 장치 간을 연결하는 이더넷스위치 등의 통신장비로 구성된 통신 네트워크이다. 기존 디지털변전소에 MVDC 연계를 위해 프로세스 레벨을 교류부와 직류부로 나누어 두 개의 버스로 구성을 하였고 감시, 제어만 아니라 진단 IED와 연계되어 종합적으로 관리할 수 있는 시스템을 제안하였다.

키워드 : MVDC, IEC61850, 자동화

1. 서 론

직류(DC, Direct Current)는 전압의 크기에 따라 HVDC(High

Voltage Direct Current), MVDC(Medium Voltage Direct Current), LVDC(Low Voltage Direct Current) 세 가지로 나눌 수 있다. LVDC는 1.5 kV 이하의 전압이고, MVDC는 1.5 kV 이상에서 100 kV 이하, HVDC는 100 kV 이상의 전압을 말한다[1]. HVDC는 이미 상용화되어 일반화된 직류 기술이고, LVDC는 연구개발 및 실증을 마치고 상용화 초기단계이며, MVDC는 타당성 검토를 하고 있는 연구 초기단계다.

현재 태양광, 풍력발전 등 친환경 신재생에너지 보급이 점차 확대되어 가고 있고 직류에 대한 소비가 증가하고 있어 기설 변전소에 효율적으로 직류를 연계 할 수 있는 방안의 연구가 필요하다.

※ 본 연구는 중소벤처기업부의 규제자유특구혁신사업육성 지원에 의한 연구임
(This works was supported by the Promotion of Innovative Business for Regulation-Free Special Zones funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea)).

† 정 회 원 : (주)제나드시스템 연구소 수석연구원

†† 정 회 원 : (주)제나드시스템 시스템사업팀 이사

††† 정 회 원 : (주)제나드시스템 시스템사업팀 사원

Manuscript Received : February 2, 2021

First Revision : June 11, 2021

Accepted : June 17, 2021

* Corresponding Author : Jang Soon Ho(soonho@genadsys.co.kr)

한국전력공사의 신설 변전소의 경우 IEC61850 기반의 디지털변전소 운영시스템이 시설되고 있다. 디지털 변전소는 기존의 Hardwired 방식에서 벗어나 통신 네트워크를 통해 디지털 정보를 이용하여 변전소의 감시 및 제어가 이루어진다. 디지털변전소 네트워크 버스 시스템 구성은 Station, Bay, Process Level 및 각 Level을 연결하는 네트워크 버스 시스템과 IED, MU, 변전설비 등으로 구성되어있다[2].

본 논문에서는 IEC61850을 표준으로 하는 디지털변전소 운영시스템에 전력변환기를 이용한 직류 시스템 구성을 설계하고 MVDC를 연계한 디지털변전소 운영시스템 구현하기 위한 방안을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 직류 송배전

직류 배전은 교류를 직류로 변환하여 전송하거나, 직류 전원을 직접 수용가에 공급하는 기술이다. 그 동안 직류 기술은 HVDC를 중심으로 기술개발 및 상용화가 추진되어 왔으나, 최근 직류 기반 친환경 신재생에너지와 직류 부하가 증가함에 따라 MVDC 및 LVDC의 직류 배전 기술개발이 전 세계에서 추진되고 있다. 국내에서도 2010년에 DC 배전 표준모델 설계 및 핵심기술 개발 전략수립 연구를 수행하여 DC배전 적용에 따른 배전계통 영향 평가 및 기술개발 로드맵을 수립하였다.

1) HVDC

초고압직류송전(HVDC)는 전력 그리드 시스템중 하나이다. HVDC는 기존의 교류를 사용하는 그리드와 대조적으로 직류를 대량으로 송전하는 시스템이다. HVDC는 동기화를 하지 않아도 되며, 또한 소스와 부하간의 링크를 독립적으로 조절할 수 있어서, 전력의 급격한 변화로 인한 장애에서도 시스템을 안정화 시킬 수 있다. HVDC는 또한 다른 주파수의 전력, 예를 들어 50 Hz 와 60 Hz를 사용하는 교류 전력간의 전력을 공급한다. 이로 인해 전력을 서로 교환하면서 각각의 그리드의 안정성을 높여주게 된다.

2) MVDC

중압직류배전(MVDC)은 신재생에너지 수용률 확대, 도심 전력부하 집중지역 배전용량 확대, 전기차 직류(Direct Current, DC) 급속 및 무선 충전시스템 변화 등에 활용되는 사업으로 배전분야와 재생에너지의 계통연계 기술을 말한다.

3) LVDC

저압직류배전(LVDC)은 직류 부하에 전원을 공급하기 위해 교류 수전에 따른 부하단에서의 변환손실(AC/DC)를 줄여 계통의 효율을 높이는 기술로 송전급 뿐만 아니라 배전급에서도 새롭게 조명 받고 있다.

2.2 변전소 자동화 통신 규격

국내 한전변전소 자동화 통신규격에는 초기 Harris 5000/6000 프로토콜을 사용하였으며 DNP 3.0을 변형한 Kepco DNP 1.0을 사용하고 있다. 기존 프로토콜의 확장성, 유연성 부족으로, 현재 국제표준 IEC 61850을 사용하고 있다. IEC 61850은 기기중심적인 프로토콜이 아닌 엔지니어링 관점에서 의 프로토콜로 확장성과 유연성이 보장된다.

1) DNP 3.0

DNP(Distributed Network Protocol)는 전력산업을 위해 설계된 표준 통신 프로토콜이다[3]. 마스터와 슬레이브 스테이션 사이의 상호 운영성을 확립하기 위하여 개발된 개방형 구조로 Fig. 1과 같이 링크계층, 전송계층, 응용계층의 총 3개의 통신 계층 구조와 작동 코드 부분을 지니고 있다. 각각의 레이어는 OSI7 계층을 축소화 시킨 것으로 링크계층에서는 물리적 매체를 통해 연결을 하고 에러를 검출하는 역할을 하며, 전송계층에서는 큰 크기의 프레임용 링크계층에서 송수신할 수 있는 크기로 단편화하거나 단편화된 것을 합쳐서 정산 데이터를 만드는 일을 한다. 응용계층에서는 해당 데이터가 어떤 기능을 하는 데이터인지를 판별하고 최상위 사용자 Code에서 이를 처리하여 사용자에서 그 정보가 보이게 된다. 이러한 계층의 축소 및 통신프로세스의 간소화는 일반적인 통신에서 사용되는 복잡한 기능을 간소화 하고 사용되지 않는 부분을 제거하여 좀 더 나은 성능을 가질 수 있다. DNP 3.0은 IEC 870-5, 101 및 103 규격에 맞추어서 만들어졌으며, IEEE에 의해서 RTU 및 IED 통신의 추천 프로토콜로 채택되었다.

2) IEC 61850

IEC 61850은 주로 미국에서 사용되던 UCA 2.0에 유럽의 필요사항을 함께 고려하여 국제표준으로 개발된 통신규격이다. DNP나 IEC60870은 하드웨어 관점으로 설계가 되었다면 IEC61850은 엔지니어링 관점에서 재해석 하고 설계된 프

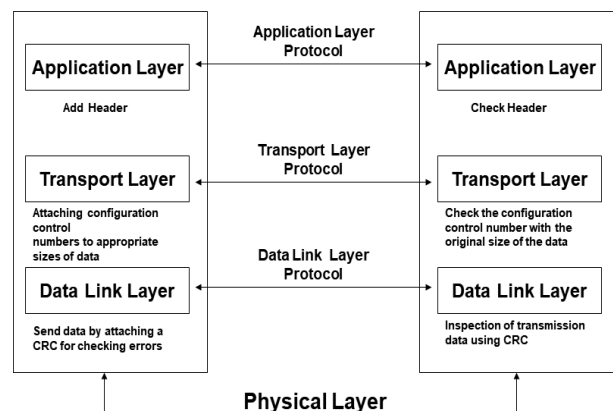


Fig. 1. DNP Layer Communication Protocol

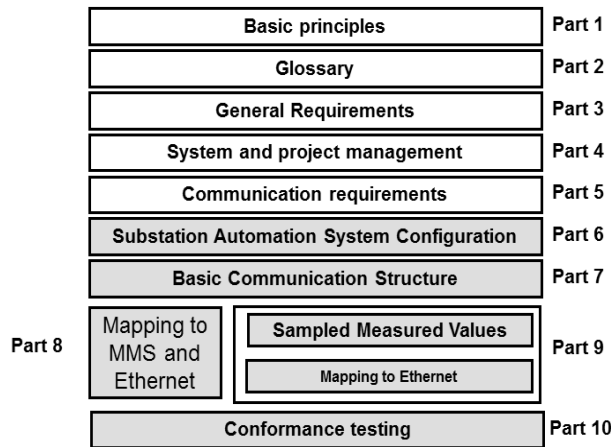


Fig. 2. IEC 61850 Standard Documentation Structure[5]

로토클이다. 설계초기부터 네트워크 상황을 고려해 두고 개발되었으며, 전력산업과 IT산업의 융합에 관점을 둔다. DNP와 IEC60870의 경우 데이터가 포인트 번호와 데이터 정보가 정해진 형식으로 패킷이 구성되고 전송되는 형태였다면 IEC61850은 운영자가 이해하기 쉽도록 논리적인 모델링을 하여 기기를 논리적으로 재구성하고 데이터를 정의하는 계층적 표현이다. IEC61850의 문서구조는 XML을 기반으로 한 통신 방식으로 확장성과 유연성이 매우 뛰어나다. Fig. 2는 IEC 61850에 대한 표준문서 구조를 보여준다. 현재 IEC 61850 Ed.1에 신재생에너지 및 진단 등의 기능을 확장한 Ed.2 버전으로 확장중이며 IEC TC57 WG10에서는 IEC 61850 관련 다양한 주제들에 대해 계속 연구 중이다.

2.3 변전소 자동화

변전소를 형태 및 세대로 구분지어 보면 크게 1세대 옥외철구, 2세대 가스절연, 3세대 디지털 변전소로 구분된다.

1) 옥외 철구형 변전소(1세대)

옥외 철구형 변전소는 주변압기, 차단기, 단로기 등 변전설비를 옥외에 설치하고 철 구조물에 애자를 취부한 후 모선을 구성해 설비를 나도체로 연결해 공기로 절연하는 방식으로 공기를 절연물로 사용하므로 기기간, 대지간 절연간격이 필요하여 부지면적이 많이 필요하다.

2) GIS 변전소(2세대)

GIS(가스절연개폐장치) 변전소는 모선 및 개폐장치 등을 밀봉된 금속 용기내에 넣고 SF6 가스를 사용해 절연된 GIS 설비를 채용한 변전소를 말한다. 옥외철구 변전소에 비해 부지면적을 대폭(1/2~1/6) 줄일 수 있고 신뢰도 및 안정성이 높다. 부지여건에 따라 옥외 또는 옥내 변전소가 있으나 대부분 옥내변전소로 건설되는 경우가 많다.

3) 디지털변전소(3세대)

디지털변전소는 IEC61850 국제표준 기반의 디지털 시스템화한 상태감시, 각종 측정값 수집, 설비 제어기능을 갖춘 변전소로 중앙감시반·변압기·보급배전반·통신반 등 변전 시스템간의 연결망을 기존 구리선에서 광케이블로 바꾸어 변전 설비의 고장요인 감소와 전력망 설비운전의 신뢰도를 높여 스마트그리드를 구현할 수 있는 차세대 변전모델이다.

2.4 한전의 변전소 자동화시스템 발전과정

1) 배전반형(~1980년)

초기 변전소자동화 시스템으로 변전소의 전력설비 감시 및 제어가능토록 배전반을 집합 설치하였다.

2) MOSAIC 배전반형(80~90년대 중반)

변전소의 전력설비 대형화로 운전의 편리성을 위해 집중감시 및 제어가 가능토록 Mosaic 형태의 배전반을 설치 운전하였다.

3) 축소형 Mosaic(2000년대)

기존의 Mosaic 배전반에 디지털 기술 적용하여 제어반의 크기를 축소하여 변전소의 현황을 쉽게 파악하여 운전원이 쉽게 감시 및 제어를 할 수 있다. 무인변전소의 경우 적용하였다.

4) 집중감시반형(90년대~)

90년대초 변전소에 디지털기술을 적용한 통신방식의 집중감시반이 도입되었다. Mosaic 배전반의 단선도를 PC기반의 HMI에 적용하여 감시 및 운전을 하였다. 지금의 디지털변전소 운영시스템의 운영장치와 유사하다.

3. 디지털변전소

IEC61850 기반 차세대 변전시스템 개발의 정책과제로 시작된 한전의 변전소 자동화시스템은 연구단계를 지나 현재 완성품이 변전소에 시설되어 운전 중에 있다. 운전 변전소 중 비중이 가장 큰 154kV 변전소를 중심으로 시행하고 있으며 설비별로 자동화 시스템 기술규격을 정립하여 적용하고 있다. 변전소 종합 자동화시스템에 적용되는 IED들이 IEC61850 국제표준에 따라 제작사 별로 제작되어 제품 간 상호 운용하도록 구현되었지만 엔지니어링 및 운영 및 유지보수 등을 위해 개선해야 할 부분들이 있다.

3.1 IEC61850 기반 변전소 자동화 설비구성

IEC61850 기반의 디지털변전소 시스템은 아래 Fig. 3과 같이 3단계 레벨과 각 레벨을 연계하기 위한 2가지의 통신 네트워크로 구성된다.

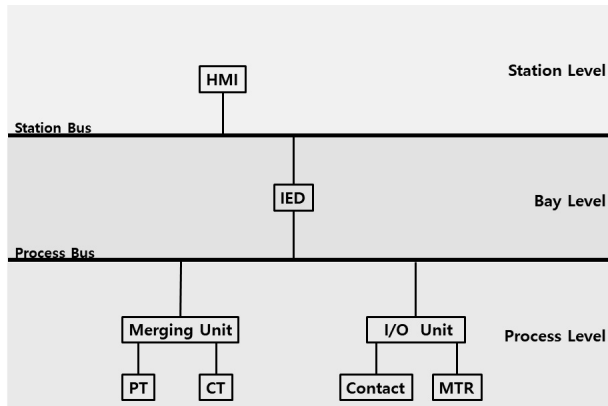


Fig. 3. Digital Substation System Configuration

1) 스테이션 레벨(Station Level)

디지털변전소 자동화 시스템을 운영/유지/보수하기 위해 필요한 구성요소인 HMI 장치, 운영장치, Printer, 표준시각 동기장치 등 디지털변전소 자동화 시스템 상위장치의 구성요소를 포함하는 시스템의 범위를 나타낸다. 일반적으로 스테이션 레벨에 위치한 장치들의 집합을 상위 운영시스템이라 일컫는다.

2) 베이 레벨(Bay Level)

변전소의 주요한 기능인 보호/제어/감시/계측을 수행하는 IED 들로 구성된 시스템의 범위를 나타내며, 기존 시스템에서는 계전기들이 속한 범위이다. 베이 레벨에서는 현장 전력 설비들로부터 정보를 입력받아 처리 및 가공하여 고유의 보호/제어/감시/계측 기능을 수행하며, 스테이션 레벨로 가공 및 가공되지 않은 정보들을 전송한다.

3) 프로세스 레벨(Process Level)

전력설비의 제어, 감시, 계측정보를 베이 레벨에 설치된 IED로 전송하는 장비들의 집합으로서 현재 제어케이블로 연결된 CT, PT, 차단기 Trip 코일, 기계적 접점 등이 수행하는 기능을 하는 디지털변전소 자동화 장치들로 구성된 시스템의 범위를 의미한다.

4) 스테이션 버스(Station Bus)

스테이션 레벨과 베이 레벨에 설치된 디지털변전소 자동화 장치간을 연결하는 이더넷 스위치 등의 통신장비로 구성된 통신 네트워크이다.

5) 프로세스 버스(Process Bus)

베이 레벨과 프로세스 레벨을 설치된 디지털변전소 자동화 장치간을 연결하는 이더넷 스위치 등의 통신장비로 구성된 통신 네트워크이다.

4. MVDC 실증 동향

4.1 국외 실증 동향

세계 각국의 DC배전 공급을 위한 추진사례를 살펴보면, 핀란드 VTT(Technical Research Centre of Finland)는 '2030 전망'을 통해 『DC 저압배전과 DC 마이크로 그리드』 도입을 제안했으며, Suur-Savon Electric사는 2011년부터 장거리 저부하 AC선로를 저압 DC선로로 전환하는 실증시험을 추진하고 있다.

ABB에서는 2013년부터 'Nupharo Park 프로젝트'를 통해 MVDC-LVDC 통합 전력공급 모델 실증사업을 추진하고 있으며, 이를 통해 DC기반의 새로운 비즈니스 모델을 발굴할 예정이다.

독일의 Eon에서는 RWTH대학교 공동으로 MVDC급 기술개발을 추진하고 있으며, 전력용 반도체 응용 변압기, 고효율 전력변환기, DC 케이블 및 MVDC급 기술을 개발해 10MW 용량의 MVDC 배전 실증선로 건설을 추진하고 있다.

4.2 국내 실증 동향

직류배전 연구는 IDC(Internet Data Center) 빌딩 구내를 DC 화하여 전기에너지 효율 향상 검증에 추진하였고, 주택 등의 수용가 내의 직류배전 적용을 위해 미국의 로렌스버클리 국립연구소의 연구를 모델링하여 태양광으로 발전된 직류 전원을 주택 내 DC설비에서 소비하는 제로에너지 하우스 실증을 완료한바 있다. 또한, DC배전을 건물 에너지 관리시스템에 적용하여 신재생에너지 및 에너지 저장장치 직류배전 통합기술을 개발하였으며, DC배전 그린빌딩 구조 시스템의 설계기준을 마련하여 DC배전 건축물의 시장성 확보에 노력하고 있다. 기자재 제조사를 중심으로 직류 변환기 및 차단기 등 하드웨어 개발을 통한 기술완성에도 주력하고 있다.

한전은 거차도에 독립섬 DC 마이크그리드를 구축을 진행하고 있으며, 계림변전소 등 전남·광주지역 5곳에 교류(AC) 13.2kV의 특고압을 750V의 저압 직류로 전환하는 실제 배전선로에 최초 적용 운영중에 있다.

5. MVDC 융합 디지털변전소

DC 시스템은 계통 및 운영 방법이 AC 시스템과 달라 개발된 한전의 변전소 종합자동화 시스템을 그대로 적용하기 어렵다. 디지털변전소의 핵심이라고 할 수 있는 IED의 경우 한전의 보호요소에 맞게 구성되어 적용되고 있어 DC 시스템에 그대로 적용할 수 없다. HVDC용 차단기는 2014년부터 해외에서는 개발되어 보급하고 있으나 아직 MVDC용 차단기 및 컨버터는 연구 중에 있다. MVDC 융합 디지털변전소 자동화 시스템 개발을 위해서 컨버터, 차단기 등의 보호요소별

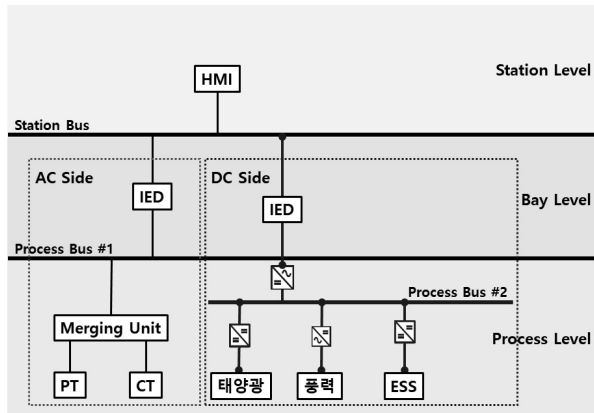


Fig. 4. MVDC Converged Digital Substation

및 특성 평가 및 보호요소에 대한 LN 등을 정의하는 게 필요하다. 또한 한전의 변전소 자동화시스템의 경우 AC 측면의 운영에 있다면 아래 Fig. 4와 같이 신재생 에너지원의 접속 수요가 많을 것으로 예상되는 배전선로에 대하여, 기존 배전망의 구조를 그대로 유지한 채로 변압기의 분기 지점부터 직류 선로로 변환하여 가압하는 방식으로 기존의 디지털변전소의 Station Bus를 두 개로 분리하여 AC 계열 Station Bus, DC 계열 Station Bus로 나누어 계통 연계가 가능하다[7].

MVDC를 활용한 전력계통은 계통 운영자의 필요 및 목적에 따라 다양하게 구성할 수 있으며, MVDC를 사용한 계통이 갖게 될 장점들은 아래와 같다.

5.1 신재생에너지 발전원의 수용성 향상, 신규 송·변전 설비의 증설 지연

변동성이 높은 신재생에너지 발전원이 밀집된 지역의 배전 변전소 및 인근 계통과 연계되는 선로를 조류제어가 가능한 MVDC 선로로 대체하게 되면 신재생 에너지원의 발전 출력 패턴과 비슷한 수요 패턴이 있는 부하단 지역으로 전력을 강제로 공급해줄 수 있다. 이는 선로 임피던스와 모선에서의 전압 및 위상각의 크기에 의해 수동적으로 결정되는 교류 선로에서의 조류 흐름과 달리, 사용자가 원하는 만큼의 조류를 발생시킬 수 있는 컨버터 연계 기반 직류 선로의 특성에서 기인한다. 또한, 이를 통하여 낮은 이용률을 갖는 신재생에너지 발전원의 접속 용량확보를 위한 상위의 송·변전 설비의 증설 부담을 완화한다[8].

5.2 기존 교류선로의 직류선로 변환을 통한 전송용량 증대

기존의 교류선로의 경우 가능한 전력 전송 용량에 대한 전압의 절연 요구사항은 순시전압 크기의 피크 값 기준으로 결정된다. 그러나 실제로 해당 선로를 통해 전송하는 전력량은 그 보다 낮은 실효치 (RMS) 값에 맞추어 결정된다. 동일한 선종 및 절연 설계 조건에서, 이론상 직류 선로의 경우 선로 하나 당 상전압의 피크 값으로 전력을 전송할 수 있기 때문에 선로의 활용도를 높인다. 또한, 직류 환경에서는 도체에서의

표피효과가 발생하지 않으므로 도체 임피던스의 감소로 인한 송전 손실 감소 및 더 큰 전류 용량을 확보한다.[9]

6. 결 론

경제규모가 커지고 산업이 고도화 되면서 DC 수요가 증가하게 되었다. 이러한 시대적 요구에 직류 배전 시스템의 도입은 LVDC를 중심으로 가시화 되고 있다고 할 수 있으며, 디지털 기술의 발달과 신재생 친환경에너지 및 전기차 도입이 활성화 되면서 MVDC를 포함한 직류 배전시스템의 보급이 확대될 전망이다. 기존의 AC변전소 계통 운용 설비들로는 충족시키기 어려운 DC 설비들의 요구가 변전소의 보호, 제어 및 감시등 다양한 분야에서 발생하고 있다. 이러한 이유로 전력계통의 신뢰성 있는 운영을 위해 사용되는 여러 단말 장치들은 기존의 AC 보호나 계측 기능을 수행하는 단계에서 탈피하여 DC 단말 장치들 간의 협조 및 연계보호가 요구되고 있다. DC 연계 변전소 자동화 시스템이라는 세계적인 기술의 흐름에 따라 해당 분야에서 선진국의 기술에 종속되지 않고 자립적인 기술을 확보하기 위해서는 이의 근간이 되는 기존의 개념에서 탈피한 새로운 개념의 전력설비 개발 및 적용이 시급하다. 또한, 기존의 변전소가 가지는 취약점을 개선하고 전력공급의 신뢰성을 높이고 제반비용의 감소는 물론 거대, 복잡한 전력시스템의 효율적이고 합리적인 관리를 위한 디지털화 및 네트워크화를 구현하는데 있어 가장 근간이 되는 핵심기술인 MVDC의 기술적인 도입이 시급하다. 국내 MVDC는 변전소 자동화 분야에서는 아직은 산업과 학술적 기반이 취약하다. 그러나 정부의 신재생에너지 보급 및 확대 정책을 성공적으로 추진하기 위해 향후 친환경에너지를 기반으로 하는 디지털변전소가 도입될 경우반드시 필요한 기술이다. MVDC 기술이 융합된 디지털변전소를 구축하기 위해서는 IEC61850 기술이 DC용 IED 및 차단기, 직류배전용 전력변환장치 까지 확대가 필요하다.[10] 따라서 이와 같은 상용화된 MVDC용 전력기기들이 가능하도록 기술개발과 함께 제도 개선이 필요하며 이는 더욱 신뢰성 있는 전력운영 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] B. Zhao, R. Zeng, Z. Yu, Q. Song, Y. Huang, Z. Chen, and T. Wei, "A more prospective look at IGCT: Uncovering a promising choice for DC grids," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Vol.12, Iss.3, pp.6-18, 2018.
- [2] J. Y. Han, N. H. Lee, Y. H. An, B. T. Jang, J. K. Choi, S. K. Kim, and Y. J. Lee, "A study on field demonstration of full digital substation automation system," *Proceedings of the KIEE Conference*, pp.571-572, 2015.

- [3] M. J. Madera and E. A. Canizales, "The GPRS communication platform and DNP protocol as the best choices to communicate the SCADA with IEDs in the EDC distribution network," *2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America*, IEEE, 2006.
- [4] L. Zeyou and C. Yunqing, "Experience of using IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols [J]," *Automation of Electric Power Systems* 4, 2003.
- [5] IEC TR 61850-1:2013(Communication networks and systems for power utility automation -Part 1: Introduction and overview.)
- [6] Y. H. Kim, J. Y. Han, N. H. Lee, B. H. Kim, N. H. Park, and J. W. Hong, "The realization methods of IEC 61850 based 154[kV] substation automation system in KEPCO system," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.24, No.5, pp.86-93, 2010.
- [7] H. S. Lee, "MVDC grid and System-MVDC distribution system configuration scenario," *Korean Electrical Society Workshop*, pp.1-8, 2018.
- [8] Z. Ma, W. Sheng, R. Li, M. Wu, R. D. Doncker, and P. Lurkens, "Study on the feasibility of MVDC," In *Proc. CIGRE 2018 Paris Session, Working Group Sub Committee C6. 31*, pp.1-12, 2018.
- [9] S. Whaite, B. Grainger, and A. Kwainiski, "Power quality in DC power distribution systems and microgrids," *Energies*, Vol.8, No.5, pp.4378-4399, 2015.
- [10] S. Y. Yun, J. I. Kim, and J. T. Cho, "Application of IEC 61850 for smart distribution management system," *KIEE Summer Conference*, pp.106-107, 2010.



장 순 호

<https://orcid.org/0000-0002-9961-5763>
e-mail : soonho@genadsys.co.kr
2014년 성균관대학교 컴퓨터공학과(석사)
2010년 ~ 현 재 (주)제나드시스템 연구소
수석연구원
관심분야 : 변전소통신네트워크, IoT,
WSN, 스마트그리드



구 자 익

<https://orcid.org/0000-0002-7992-1050>
e-mail : jaik@genadsys.co.kr
1992년 한양대학교 수학과(학사)
2015년 ~ 현 재 (주)제나드시스템
시스템사업팀 이사
관심분야 : SCADA, 스마트그리드, IoT,
변전소자동화, WSN



문 초 롱

<https://orcid.org/0000-0002-3225-2240>
e-mail : mcr@genadsys.co.kr
2013년 동국대학교 전기공학과(학사)
2019년 ~ 현 재 (주)제나드시스템
시스템사업팀 사원
관심분야 : SCADA, IoT, 변전소자동화,
모바일네트워크