



Electric
Electronics
전기전자

TC동향보고서

TC 115

Technical Committee Trend Report

TC동향보고서

TC 115

Technical Committee Trend Report

Electric
Electronics
전기전자

I. 고압 직류 송전 분야 현황

- 1. 고압 직류 송전 분야 정의 2
- 2. 중요성 5

II. 고압 직류 송전 분야 산업동향 및 분석

- 1. 시장 및 산업동향 7
- 2. 기술 발전 동향 13

III. 고압 직류 송전 분야 국제 표준화 활동 현황

- 1. 고압 직류 송전 분야 표준화 활동 현황 18
 - 가. TC 조직 구성
 - 나. TC/SC 의장, 간사, 컨베너 등 현황
 - 다. 한국 국제표준 전문가 참여현황
- 2. 분야별 표준개발 현황 20
 - 가. 해당 TC/SC 주요 표준 개발 현황
 - 나. 한국 주도 국제표준 개발 현황
 - 다. 해당 TC/SC 주요 이슈 및 동향

IV. 해당분야 국가표준 대응 활동 현황

- 1. COSD 조직 소개 24
- 2. 기술 또는 전문위원회 활동 현황 25
- 3. COSD 활동 성과 26
- 4. 2022년 COSD 제안 국가표준 리스트 26

총괄책임자

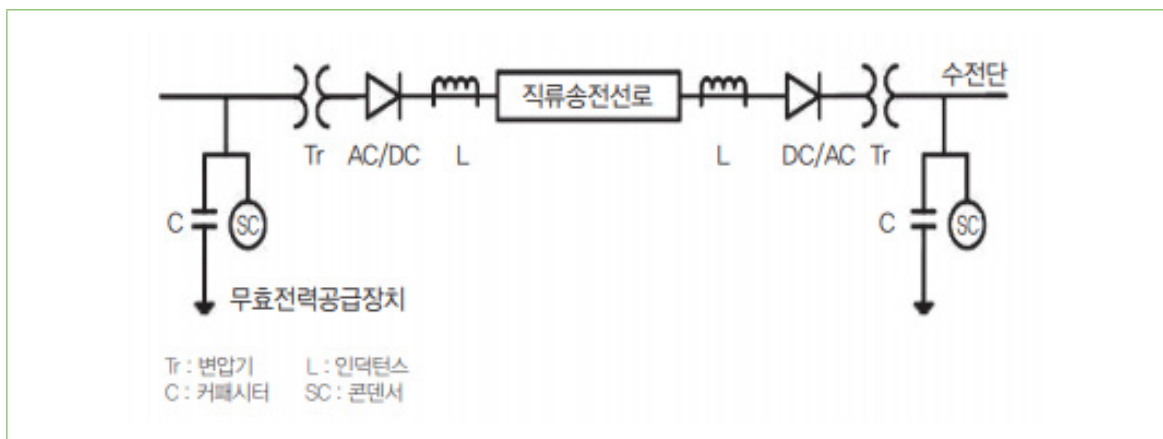
최은지

실무담당자

안서희

1. 분야정의

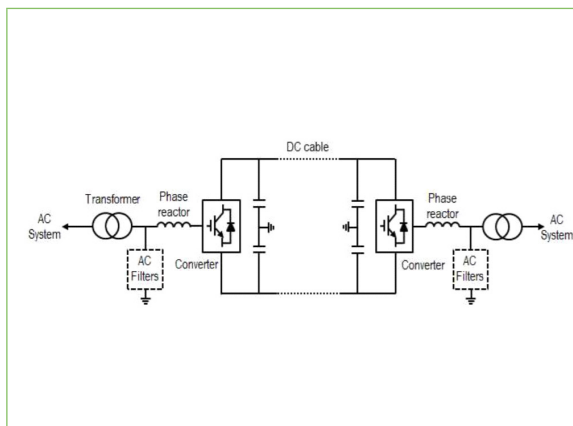
- 고압직류송전(High-voltage Direct Current, HVDC)이란 전력송전방식의 하나로써 발전소에서 생산된 고압의 교류전력을 변환설비를 통해 직류로 변환하여 송전한 후 다시 고압 교류로 변환하여 공급하는 시스템이다.



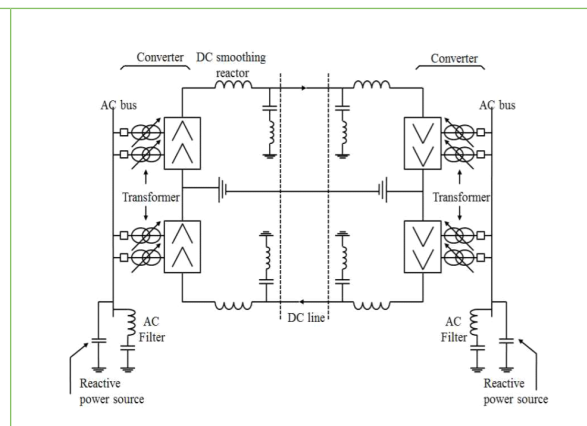
[그림 1] 직류송전의 개념도

- HVDC 시스템은 크게 변환 밸브에 사용하는 전력반도체소자의 종류에 따라 전류형(Line-Commutated Converter, LCC) HVDC와 전압형(Voltage-Sourced Converter, VSC) HVDC로 나눌 수 있다.
- 전류형 HVDC는 사이리스터 소자를 사용하며 소자의 Turn-On 시간조절로 흐르는 전류의 크기를 제어(12펄스 브리지 기준 1초에 720번 제어)한다. 활용범위로는 Point-to-Point(PtP) 대용량/장거리 송전이 있다.
- 전류형 HVDC는 최대 1100kV, 11GW급 이상의 대용량 설비가 가능하며 전력변환손실이 0.7% 수준으로 적다. 또한, 컨버터 가격이 전압형에 비해 저렴한 장점이 있으나 설치면적이 크고 운영이 복잡하며 AC 전압원이 필요하고 DC Grid 적용이 어려운 단점이 있다.

- 전압형 HVDC는 IGBT 소자를 사용하며 소자의 Turn-On/Off를 통해 AC전압의 크기와 위상을 제어(1초에 수천번~수십만번 제어)한다. 용도에 제한이 없고 멀티터미널(1:N) 연계에 적합하다.
- 전압형 HVDC의 설치면적은 전류형 HVDC의 60%로 설치면적이 작고 정전시 전압 기동을 하는 Black Start가 가능하다. 또한, 양방향 송전이 자유롭고 DC Grid가 가능한 장점이 있으나 최대 500kV, 1.3GW급의 용량을 가진다. 설치비용이 고가이고 전력변환손실이 1% 수준으로 전류형과 비교하여 상대적으로 크다.



[그림 2] 전압형 HVDC



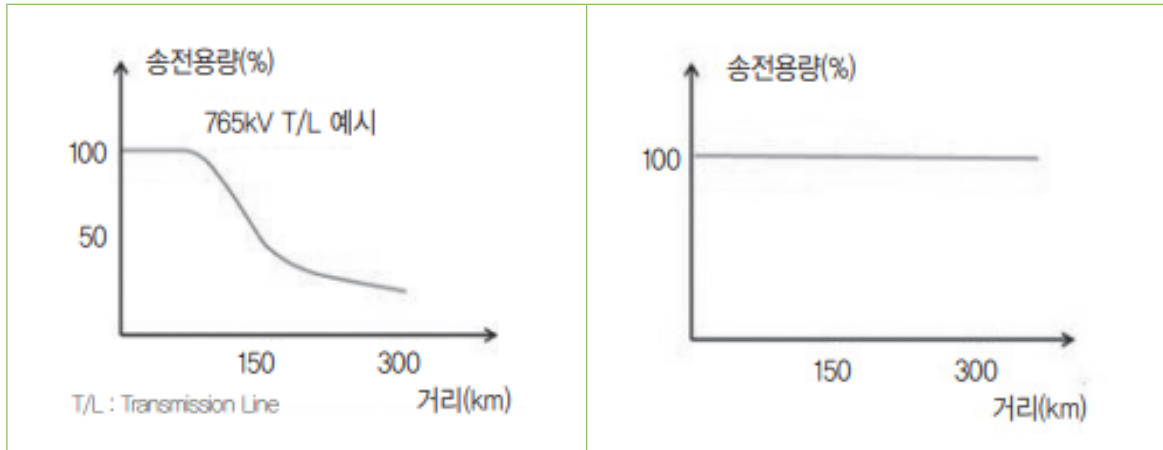
[그림 3] 전류형 HVDC

- HVDC 적용분야로는 해저 케이블 송전, 대용량 장거리 송전, 도시 밀집지역 직류 송전, 비동기 연계 등이 있다.
- 교류 해저케이블 송전 시 충전전류 때문에 무효전력과 케이블 표피전류에 의한 손실로 송전용량이 저하된다. 특히 거리가 멀어짐에 따라 무효전력 자체가 케이블의 정격용량을 초과하게 된다. 이 경우 케이블 양단에서 분로 리액터(Shunt Reactor)에 의해 무효전력을 보상해도 케이블 중간부분의 내부의 선로 정전용량에 의한 과전압을 피할 수 없게 되므로 교류송전보다 직류송전을 적용하는 것이 효율적이다.
- 교류 장거리 송전선로의 경우 송전용량은 도체허용전류, 전압강하 및 송전안정도 한계에 의해 결정된다. 즉, 거리가 멀어질수록 송전용량은 줄어드는데 이를 개선하기 위해서 직렬 보상장치를 사용하여 전달 리액턴스를 줄여 송전용량을 늘릴 수 있으나 차동기 공진현상 등 상호 간섭의 가능성이 있다. 직류의 경우 송전안정도에 영향을 받지 않으며 전압 및 전류에 있어 실효치와 평균치가 같으므로 절연이 저감되어 선로의 단면적이 절약되고, 철탑과 전선의 규모가 동일 교류전력 송전보다 적어지므로 선로 투자비가 줄어드는 효과를 얻게 된다.

- 도시지역 전력 공급 시 규모가 커짐에 따라 계통의 단락용량이 증가한다. 이에 따라 사고 발생 시 단락전류가 증가하게 되면 차단기의 차단용량이 부족하게 되고 지락사고 시 지하 매설물을 손상시키며 유도장애가 발생한다. 또한 도시 규모가 커짐에 따라 케이블 경과지 확보가 어려워지므로 이때 기존 케이블 선로를 직류선로로 사용하면 용량을 증대시킬 수 있으며, 고장전류의 파급을 줄여 계통의 단락 용량은 줄일 수 있다.
- 전력계통의 규모가 커지므로 인해 전력계통을 연결할 필요성이 대두된다. 이 경우 발전설비의 투자비를 절감할 수 있으며 전력생산비를 절감할 수 있다. 양 전력계통을 공유하게 되면 전력계통간 전력 유통성을 확보하여 경제적으로 운영이 가능하다. 교류 송전선으로 계통을 연계할 경우 조류제어가 어렵고 연계를 유지하기 위해서는 계통간 동기화가 유지되어야 한다. 특히 연계하고자 하는 양 계통간의 주파수가 다른 경우에는 계통간 직접 연계가 불가능하다. 이 경우 HVDC를 적용하면 전력 조류제어가 가능하고, 계통간 동기유지 및 주파수를 일치시킬 필요가 없다.

2. 중요성

- 직류 송전의 경우 교류 송전에 비해 대용량 장거리 송전이 가능할 뿐만 아니라, 가격과 효율 측면에서 교류 송전에 비해 좋다.
- 또한 위상과 주파수 등을 고려하지 않아도 돼 국가 또는 이종 계통 간의 전력 전송이 편리한 장점을 가지고 있다.



[그림 4] 교류 송전용량

[그림 5] 직류 송전용량

- HVDC는 서로 다른 계통 간 안전한 비동기 상호 연결을 가능하게 함으로써 국가간 전력 계통을 상호 공유하는 슈퍼 그리드(Super Grid)를 형성할 수 있다.
- HVDC는 동기화를 하지 않아도 되며, 또한 연계된 두 계통의 전력 조류를 독립적으로 조절할 수 있어 인근 계통의 급격한 수요전력 변화 및 공급 전력 변화에 유연하게 대응할 수 있어 각 연계 계통을 보다 안정하게 운영 가능하다.
- 태양광 발전 및 축전지와 같은 에너지 저장장치는 모두 직류 에너지로 입/출력되기 때문에, 대규모 태양광 발전 전력을 축전지와 같은 에너지 저장장치를 활용해 송전하는 경우 HVDC를 활용할 경우 발전단측 직류에너지를 교류로 변환하지 않고 그대로 이용할 수 있어 발전 효율을 극대화 할 수 있다.
- 정부의 재생에너지 3020 이행계획 목표 달성을 위해 전력망 효율화 및 신재생에너지 수용성 확대를 위한 안정적 전력계통 운영이 필요하다.
 - '30년 재생에너지 발전량 비중 20% 달성을 위해서는 전력조류 제어를 통한 선로 이용률 증대가 가능한 직류배전 도입이 필요하다.

- 신북방정책의 9대 협력과제 중 하나인 전력 연계 및 국가 전력망의 지속 성장을 위한 전력 안정화가 필요하다.
 - 신북방정책에 따른 남북계통연계 및 동북아 슈퍼그리드 구축을 위해서는 직류 송배전 기술이 절대적으로 요구된다.
 - 선진기술 확보를 통한 국가 경쟁력 제고 및 국내 신규 송전설비 건설과 관련된 사회적 비용 절감이 필요하다.
 - 기존 송전선로의 승압 기술을 통해 포화상태인 국내 송전 시장을 새롭게 형성할 수 있다.
 - 신규 송전탑 건설을 위한 비용, 환경규제, 민원 문제 등 현실적 문제를 줄일 수 있는 대안이 필요하다.
- 신규 송변전 시설 구축 및 노후 시설 교체로 인한 시장 확대가 필요하다.
 - 부하집중 지역의 전력 원활 공급을 위한 송전용량 증대가 필요하다.
 - 원자로 축소(독일 등), 신재생에너지 대규모 확산으로 인해 송전시스템 개편이 불가피하다.
 - 개발도상국을 중심으로 꾸준히 증가하는 전력수요에 맞추어 송전설비 경쟁력을 확보할 필요가 있다.
- 고속 대용량 직류 차단기가 개발된다면 고장·사고 대처와 직류 전력망의 제어기술 향상으로 멀티터미널 직류 송배전 시스템 개발이 가능하다.
- 에너지안보 제고 및 계통의 유연성 확보를 위해서는 상이한 전력시스템 간의 연계, 송전망의 조류제어를 위해서는 HVDC기술이 필수적이며 기존 AC 송전시스템과 같이 망(Mesh) 구조의 유연한 직류 송전을 위해서는 멀티터미널 구조의 직류 송전 시스템 개발이 필수적이다.
 - 선진기술 확보를 통한 국가 경쟁력 제고 및 국내 신규 송전설비 건설과 관련된 사회적 비용 절감이 가능하다.
 - 기존 송전선로의 승압 기술을 통해 포화상태인 국내 송전 시장을 새롭게 형성할 수 있다.
 - 신규 송전탑 건설을 위한 비용, 환경규제, 민원 문제 등 현실적인 문제를 줄일 수 있는 대안이다.
 - 송전선로 미확보로 인한 발전설비 건설지연 등 막대한 국가적 손실이 발생할 위험을 줄일 수 있다.

1. 시장 및 산업동향

가. 국내 시장 및 동향

- 국내 시장규모는 '20년까지 약 2조원으로 예상되나 동북아 슈퍼그리드 활성화에 따라 규모는 가변적이다.
- 2019년 산업통상자원부가 발표한 「제4차 에너지기술개발계획」에서 '지능형 전력망' 분야에서 재생 에너지 확대에 따른 안정성 확보 및 분산형 에너지 확산을 위한 직류 송배전(HVDC, MVDC) 시스템 개발을 명시하였다.
 - 16대 중점기술 분야 90% 이상 집중 지원 제시, 중점기술분야 중 '지능형전력망' 분야에 차세대 직류 송배전 시스템이 포함되어 있다.
- 2020년 산업통상자원부가 발표한 「제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」에서는 2050년 탄소중립 실현을 위해 기존 신재생에너지 보급방식·기술·계통 등의 한계 극복을 위한 정책 과제를 제시하였다.
 - HVDC 멀티터미널 직류 송전 시스템 용량을 현재 200MW에서 '50까지 3GW급으로의 확대를 계획하고 있다.
- 국내 최초로 전류형 HVDC가 도입된 프로젝트는 제주-해남 간 첫 번째 HVDC($\pm 180\text{kV}$, 300MW)로 1998년에 준공되었다. 해저구간을 101km의 DC 케이블로 연계하여 육지의 전력을 제주도로 공급하는 목적으로 운영 중이다. 같은 목적으로 제주-진도 간 두 번째 HVDC($\pm 250\text{kV}$, 400MW)가 2013년에 준공되어 운영 중이다.
- 제주지역의 안정적 전력공급 및 육지계통의 이중전원확보를 위해 육지-제주 간 세 번째 HVDC($\pm 150\text{kV}$, 200MW)가 계획 중이며 보다 빠른 역송 및 제어가 가능한 전압형 HVDC로 계획되었다. 제주와 육지계통을 서로 연결하여 제주지역의 안정적인 전력공급에 기여할 수 있다. 이번 공사는 2023년 12월 까지 육지와 제주 측에 변환소 2곳을 건설하고, AC 설비 계통연계를 목표로 추진된다.

- 육지 계통에는 신규 발전단지와 고장시 계통 안정성 확보를 목적으로 북당진-고덕 간 HVDC ($\pm 500\text{kV}$, 3,000MW, 1단계 2020년, 2단계 2023년)가 계획되어 건설 중에 있으며 동해안-수도권 간 HVDC($\pm 500\text{kV}$, 4,000MW, 2024년)도 계획되어 있다. 아울러 수도권 지역의 고장전류 및 AC선로 과부하 제한을 위해 양주 BTB 전압형 HVDC(200MW)가 건설 중이다.

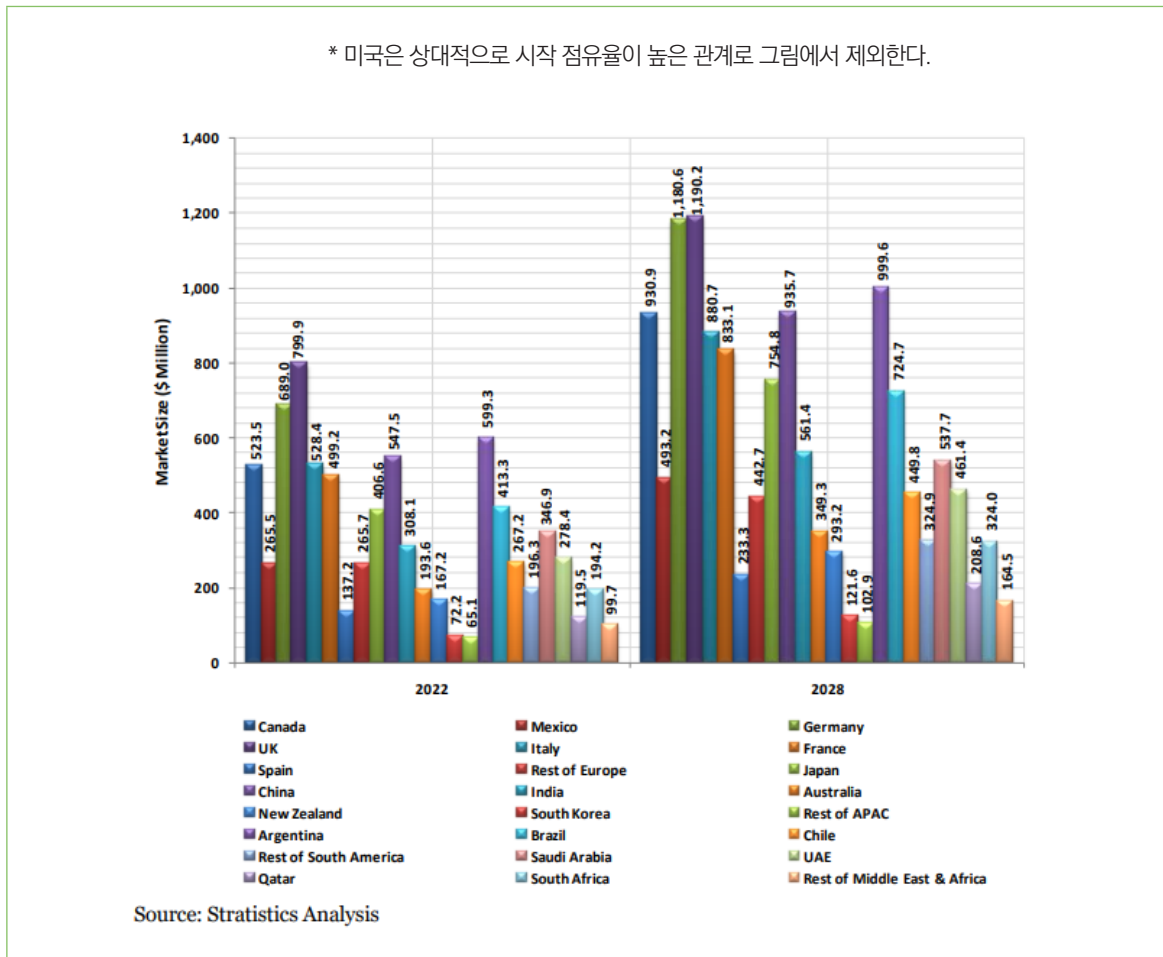
[표 1] 국내 HVDC 설치 현황

연계 지역	준공연도	용량	전압	선로길이
해남 - 제주	1998	300MW	180kV	101km
진도 - 제주	2013	400MW	250kV	113km
북당진 - 고덕	2021	400MW	150kV	34.2km
완도 - 제주	2024	200MW	150kV	100km
신가평 - 신한울	2025	4000MW	500kV	200~300km
수도권 - 신한울	2026	4000MW	500kV	200~300km

- 향후 해상풍력 등 신재생에너지 및 한-중-러-일 간 추진되고 있는 동북아 슈퍼그리드 연계를 위해 HVDC가 추가로 계획될 전망이다
- 동북아 지역에서 제안된 범아시아 에너지 인프라(Pan-Asian Energy Infrastructure)의 경우, 호주 GRENATEC(Green Renaissance through Advanced Technology) 연구소가 2010년에 제안하였고 호주-ASEAN지역-중국-한국-일본으로 HVDC 방식으로 전력망 연결하는 것을 구상 중이다. 국가간에 전력망과 가스관 및 광통신망을 결합하여 연결하며 발전원은 신재생에너지 발전과 가스화력발전으로 구상 중이다.
- 동북아 지역에서 제안된 글로벌 에너지 연계(Global Energy Interconnection, 이하 'GEI')는 중국 정부의 일대일로 전략 차원에서 중국 국가전망(State Grid Corporation of China)이 2016년에 제안하였고 주변국(중앙아, 동남아, 동북아)과 유럽을 포함한 전세계 에너지 네트워크를 연결하는 것이다. 주요 발전원은 신재생에너지 발전이며 HVDC 송전방식을 사용한다.

나. 해외 시장 및 동향

- 직류송전(HVDC) 세계시장 성장률은 5.4%(CAGR)로 '18년 195억 달러(21.9조원)에서 '30년 369억 달러(41.5조원)으로 성장하였다.
 - '17년부터 '23년까지의 전압형이 전류형의 약 1.5배의 빠른 성장세를 전망하고 있다.
- 특히 최근에는 전류형보다는 전압형 시장의 확대가 두드러져, 세계 전압형 HVDC 시장 성장률은 9.1%(CAGR)로 전체 HVDC 성장률을 상회하고 있다.
 - '16년 2.4조 원 → '23년 4.5조 원으로 성장하였다.
- 글로벌 고압 직류 (HVDC) 송전 시장은 지역별로 북미, 유럽, 아시아 태평양, 남미 및 중동 및 아프리카로 분류되어 있다.



[그림 6] 국가별 글로벌 고압 직류 송전 시장 전망 (2022년 VS 2028년)

- 북미 지역은 2022년 37억 3,940만 달러를 차지했으며 10.2%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 6,165.1백만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 북미 지역은 첨단 전기 전송 시스템을 보유하고 있기 때문에 계속적으로 전 세계 HVDC 전송 시장에서 상당한 점유율을 차지할 것으로 보여진다.
- 유럽은 2022년에 29억 1940만 달러를 차지했으며 9.9%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 47억 6060만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 유럽은 해상 풍력 발전 단지의 수 증가, 유럽 국가의 그리드 연결 수 증가, 재생 가능한 전원 사용 증가로 인해 예측 기간 동안 전 세계 HVDC 송전 시장에서 중요한 점유율을 차지할 것으로 추정된다.
- 아시아 태평양 지역은 2022년에 17억 6040만 달러를 차지했으며 11.9%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 31억 1900만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 아시아 태평양 지역은 고압 직류(HVDC) 전송 시장을 장악하고 있으며 도시화, 특히 신흥 경제국의 스마트 도시 건설, 산업화 증가 및 발전소 건설 증가로 인해 우세한 추세가 계속될 것이다. APAC의 HVDC 전송 시장은 현재 전력 소비 측면에서 기하급수적인 성장을 목격하고 있다. 아시아의 전력 인프라 개발은 시장 참여자에게 많은 성장 기회를 제공한다.
 - 중국은 재생 에너지에 막대한 투자를 하고 있으며 송전을 위한 최신 UHVDC 기술을 구현하고 있다. 예를 들어, 각각 공칭 정격이 3,000MW인 세계에서 가장 크고 가장 긴 HVDC 송전 고속도로 2개가 현재 중국에 설치되어 있다.
 - 인도는 전력망 인프라에 막대한 투자를 하고 있는 또 다른 국가이다. 2020년 100% 전기화라는 이정표를 달성했으며 현재 에너지 접근성을 개선하기 위해 전기 인프라를 업그레이드하고 있다. 또한, 인도는 2021년에 인도 중부 라이가르와 남부 타밀나두 주 사이에 1800km HVDC 송전선로를 시운전했다.
 - 2022년 싱가포르와 호주는 양국 간 HVDC 송전선로인 AAPL(Australian-Asia Power Link) 건설 계약을 체결했다.
- 남아메리카는 2022년에 14억 7610만 달러를 차지했으며 10.7%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 24억 9890만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 남미 지역은 브라질, 아르헨티나, 칠레와 같은 주요 국가에서 장거리 전송, 제어 가능성, 낮은 단락 전류 및 해저 전력 케이블 개발에 대한 저렴한 비용으로 인해 예측 기간 동안 상당한 속도로 성장할 것으로 예상된다.
 - 브라질은 남미에서 세 번째로 많은 전력을 생산한다. 2017년 동안 브라질은 230kV ~ 750kV 수준에서 136,835km의 송전선과 343,816MVA의 변압기 용량을 보유했다. State Grid Brazil Holding(SGBH)은 2017년 12월에 최대 ±800kV 고전압 직류(HVDC) 라인을 가동했다. 이 HVDC 라인은 11.2GW 벨로 몬테 전력 단지와 연결된 최초의 송전 라인이다.

- 중동 및 아프리카는 2022년에 10억 3870만 달러를 차지했으며 9.9%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 16억 9630만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 재생 에너지 보급 증가, 농촌 전기화, 스마트 그리드 네트워크 배포 증가와 같은 요인은 예측 기간 동안 중동 및 아프리카 시장을 주도할 것으로 예상된다.
 - SADC(개발 공동체) 국가는 남아프리카 전력 풀(SAPP)에 따라 대규모 신규 전원과 대규모 부하 시스템을 연결하는 전송 시스템을 사용하여 예비 마진을 최대화하고 잉여 전력을 거래할 것으로 예상된다.
- 중국이 전세계 시장의 60%로 산업을 주도할 전망이며, 이어서 미주(15%), 아시아(13%, 중국 제외), 유럽(10%) 순으로 전망된다.
 - 중국은 정부의 전폭적인 지원 하에 향후 20년까지 매년 5GW 이상 초대형 시스템을 건설할 예정이다.
 - 미국은 '30년까지 대형 풍력발전 최대 350GW 도입할 계획이며, 이를 부하 집중 지역까지 HVDC로 연계할 예정이다.
 - 유럽에서 해상풍력을 전압형 HVDC로 연계하는 프로젝트가 8건으로 총 5.9GW 규모로 추진 중이다.
- 해외에서는 국내보다 더 활발하게 HVDC 설치가 진행 중이다.
 - 중국의 HVDC는 국제적 교류보단 자국에 대한 에너지 공급에 초점을 맞추고 있다. 단기간 성장에 따른 부족한 에너지 공급을 위해 중국 내륙에 있는 에너지 생산 지역으로부터 중심부까지 대량으로 에너지를 송전하기 위한 대용량, 장거리 HVDC가 다수 설치되어 있다.

[표 2] 중국 HVDC 설치 현황

연계 지역	준공연도	용량	전압	선로길이
Yunnan-Guangdong	2010	5,000MW	800kV	1,418km
Xiangjibaba-Shangha	2010	6,400MW	800kV	1,980km
Jinging-Sunam	2012	7,200MW	800kV	2,090km
Xiluodu-Zhejiang	2013	8,000MW	800kV	1,688km
Nuizhadu-Guangdong	2014	5,000MW	800kV	1,451km
Humerg-Shandong	2015	8,000MW	800kV	1,600km
Zhudong-Sichuan	2015	10,000MW	1100kV	2,600km
Mengxi-Hubei	2015	8,000MW	800kV	1,400km
Northern Hami-Chogqing	2015	8,000MW	800kV	2,223km

- 미국의 HVDC 현황은 다소 중국과 비슷하다. 북아메리카에서 국가 간 교류 간의 교류가 이루어지긴 하지만 자국 에너지의 전력 수송으로 이용하는 비중이 더 크다.

[표 3] 미국 HVDC 설치 현황

연계 지역	준공연도	용량	전압	선로길이
Celio-Sylmar	1970	3,100MW	500kV	1,362km
Underwood-Rockford	1979	1,000MW	400kV	687km
Intermountain-Adelanto	1986	1,920MW	500kV	785km
New Haven-Shoreham	2002	330MW	150kV	40km
Pittsburg-San Francisco	2010	400MW	200kV	85km
Texas-Shelby	-	4,000MW	600kV	1,207km
Alburgh-Ludlow	2020	1,000MW	320kV	248km
O' Brien-Grundy	-	3,500MW	600kV	805km
Sinclair-Boulder City	-	3,000MW	600kV	1,165km

- 유럽은 대표적인 슈퍼 그리드 형성 지역이다. 지역 단위가 아닌 국가 간의 망 형성으로 대부분 해저 케이블을 통한 전력 수송이 이루어진다.

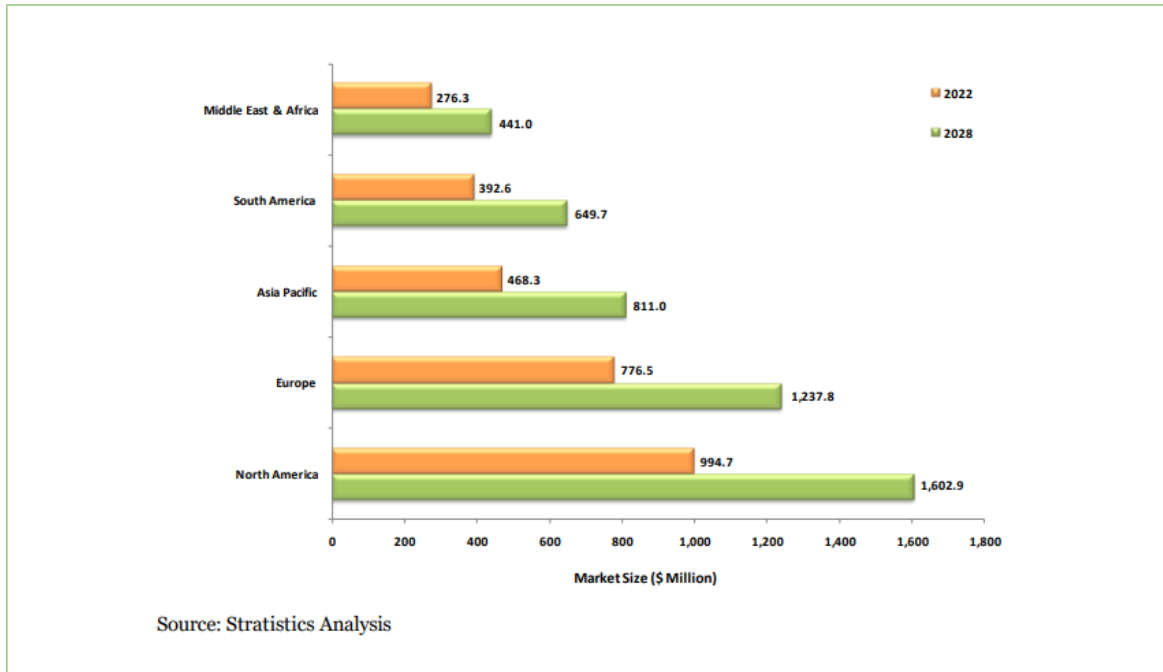
[표 4] 유럽 HVDC 설치 현황

연계 지역	준공연도	용량	전압	선로길이
Iceland-UK	-	500MW	400kV	1,100km
Norway-UK	-	1,400MW	525kV	730km
UK-Netherlands	-	1,000MW	450kV	260km
Sweden-Lithuania	2015	700MW	300kV	450km
Finland-Estonia	2006	350MW	150kV	105km
France-UK	2020	1,000MW	320kV	204km
Sweden-Norway	2015	1,200MW	300kV	63km
Norway-Netherlands	-	700MW	450kV	580km
UK-Scotland	-	220MW	600kV	422km

- 인도 '20년까지 매 2년 간격으로 6,000MW급 HVDC 시스템을 건설할 예정이다.

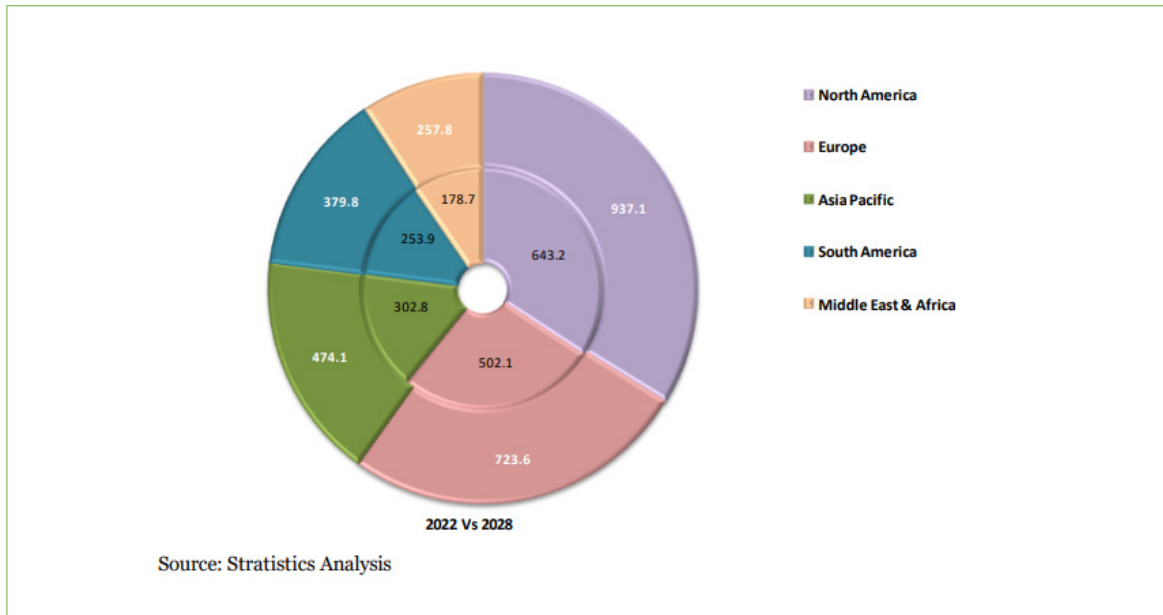
2. 기술 발전 동향

- 글로벌 고압 직류(HVDC) 송전 시장은 프로젝트 유형별로 Back-to-Back 스테이션, Multi-terminal 시스템, Point-to-Point 송전으로 분류한다.



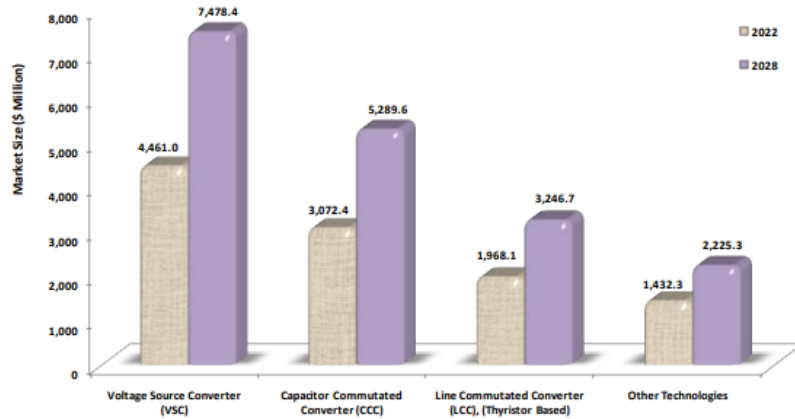
[그림 7] 대륙별 글로벌 Back-to-Back 스테이션 시장 분석 (2022년 VS 2028년)

- Back-to-Back 스테이션 부문은 2022년 2,908.4백만 달러로 CAGR 10.0%로 성장하여 2028년까지 4,742.4백만 달러에 이를 것으로 예상된다.
- 동일한 위치의 AC 버스 간에 에너지를 전달하는 HVDC 시스템을 백투백 시스템 또는 HVDC 커플링 시스템이라고 한다.
- Back-to-Back 시스템은 주파수 방해를 전달하지 않고 독립적으로 제어되는 인접한 두 AC 네트워크 사이에 비동기식 상호 연결을 제공한다.



[그림 8] 대륙별 글로벌 Multi-terminal 시스템 시장 분석 (2022년 VS 2028년)

- Multi-terminal 시스템 부문은 2022년에 \$1,880.6백만을 차지했으며 7.7%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 \$2,772.5백만에 이를 것으로 예상된다.
 - Multi-terminal HVDC 시스템은 HVDC 지상 케이블, 해상 케이블 또는 가공선을 통해 많은 양의 재생 에너지를 한 쪽에서 집성하고 집적된 에너지를 공통 DC 네트워크를 통해 주 AC 시스템에 연결하는 효율적인 방법 중 하나이다.
 - Multi-terminal HVDC 시스템은 원격 재생 에너지 자원을 기존 교류(AC) 그리드에 대규모로 통합하고 슈퍼 그리드를 통한 국제 에너지 시장의 촉진 및 개발을 이끌 수 있다.
- Point-to-Point 송전 부문은 2022년 61억 4490만 달러로 CAGR 11.5%로 성장하여 2028년에는 107억 2510만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 바이폴라 부문은 2022년에 40억 8630만 달러를 차지했으며 10.7%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 68억 6410만 달러에 이를 것으로 예상된다. 전력과 전류를 전송하기 위해 두 개의 도체를 사용하는 HVDC 링크를 바이폴라 링크라고 한다.
 - 모노폴라 부문은 2022년에 20억 5,850만 달러를 차지했으며 13.1%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 3,861.0백만 달러에 이를 것으로 예상된다. 단일 도체만 사용하는 HVDC 링크를 모노폴라 링크라고 한다.
- 글로벌 고전압 직류(HVDC) 전송 시장은 기술에 따라 전압형-전압형 컨버터(VSC), 커패시터 정류 컨버터(CCC), 전류형 컨버터(LCC) 및 기타 기술로 분류된다.



Source: Statistics Analysis

[그림 9] 기술별 글로벌 고압 직류 송전 시장 분석 (2022년 VS 2028년)

- 전압형 컨버터(VSC) 부문은 2022년 44억 6100만 달러를 차지했으며 2028년까지 74억 7840만 달러에 도달하여 CAGR 10.6%로 성장할 것으로 예상된다.
 - 전압형 고압직류송전(VSC-HVDC) 시스템은 LCC 시스템의 단점 중 하나인 정류실패가 없어 장거리 전력을 전송하기 위해 LCC-HVDC 시스템의 경쟁력 있는 대안이다.
- 전압형 고압직류송전 부문은 2022년에 \$2,966.6백만을 차지했으며 9.8%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 \$4,786.2백만에 이를 것으로 예상된다.
 - 이 기술에 대한 시장은 연안, 해저 및 지하 전송에서의 응용 증가와 경제성장 및 환경 친화적인 관행을 지원하는 안정적인 전력 공급에 대한 증가하는 요구로 인해 높은 성장을 보이고 있다.
- 커패시터 정류 컨버터(CCC) 부문은 2022년에 30억 7240만 달러를 차지했으며 11.2%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 52억 8960만 달러에 이를 것으로 예상된다.
 - 커패시터 정류형 컨버터는 컨버터 변압기와 컨버터 밸브 사이에 커패시터가 삽입되어 있는 것이 특징이다.
 - 커패시터 정류 컨버터(CCC)는 케이블을 통한 장거리 전송에 사용할 가능성을 보여주는 새로운 유형의 HVDC 컨버터 토폴로지로서 대규모 수역을 가로지르는 HVDC 전송에 사용할 수 있는 잠재적 후보이다.
- 고압직류송전 부문은 2022년에 \$1,968.1백만을 차지했으며 10.2%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 \$3,246.7백만에 도달할 것으로 예상된다.

- 전류형 HVDC 기술은 AC에서 DC로 또는 그 반대로 전력을 변환하는 데 사용되는 기존의 성숙하고 확립된 기술이다.
 - LCC-HVDC 기술은 최소한의 유지보수로 장기간 안정적으로 작동할 수 있으며 대용량 전력 전송에 적합하다.
 - LCC는 잘 정립되고 보다 안정적이며 내결함성이 있는 사이리스터 기반 기술을 사용하고 HVDC 컨버터 중에서 가장 높은 정격 전력을 제공하기 때문에 HVDC 업계에서 가장 큰 시장 점유율을 보유하고 있다.
- 기타 기술 부문은 2022년에 14억 3230만 달러를 차지했으며 8.9%의 CAGR로 성장하여 2028년까지 22억 2530만 달러에 이를 것으로 예상된다.

○ HVDC 중점기술별 현재 기술 수준 및 목표

[표 5] 중점기술별 현재 기술 수준 및 목표

중점기술명	현재기술수준(Baseline)	목표
Multi-terminal HVDC 시스템 개발/실증	• 전압형 : $\pm 120\text{kV}$, 200MW급 • 1:1 연결구조(PTP, Point to Point)	• $\pm 300\text{kV}$, 1,000MW급 이상의 전력변환시스템 개발 • 직류 송전을 변환소간 1:N으로 연결하는 구조의 직류 송전 방식에 관련된 기술개발 • 국내, 중국, 일본 등 주변 국가와의 전력 계통망 연계를 위한 기술개발
HVDC 시스템 감시 진단 및 보호 기술	• 핵심 부품 모니터링	• 핵심 부품 예방진단 기술 확보
HVDC 시험인증	• SM(Sub-Module)에 대한 시험 인프라 구축 중	• HVDC 시스템 공인기관 시험 인프라 확보 및 국제 인증 체계 구축

○ Multi-Terminal 직류 송전 시스템 국내외 기술수준 비교

[표 6] 국내외 Multi-Terminal 직류 송전 시스템

국내기관	해외기관	기술수준 비교
• 기 업 : 효성(주), LS산전 • 연구소 : 한국전기연구원, 한전전력연구원, 전자부품연구원 • 대학교 : 고려대학교, 연세대학교	• 기 업 : SIEMENS, ABB, GE • 연구소 : C-EPRI • 대학교 : University of Manitoba	• 기술격차 : 3년 • 기술수준 : 70%

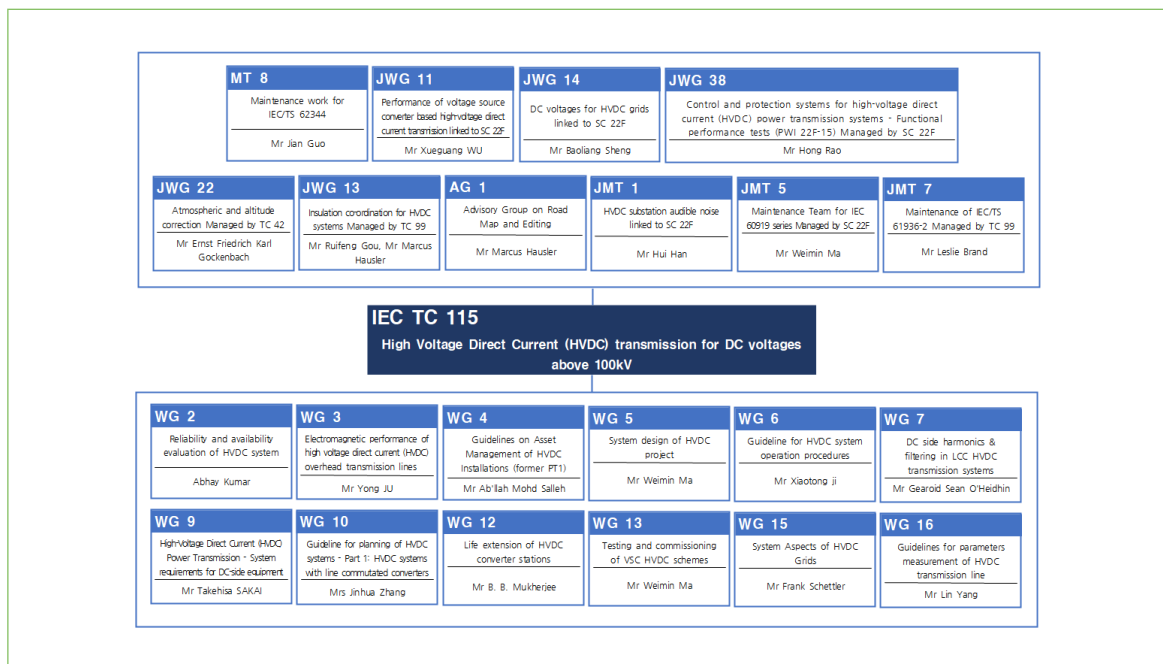
○ 주요 국가 및 업체별 동향

[표 7] HVDC 관련 국가 및 업체별 동향

국가	업체명	핵심기술	특징
한국	LS전선 LS산전	해저케이블 전류형 변환기술	• LS전선에서는 국내 전선 업계 최초로 유럽 해저케이블 시장에 진출하여 150, 275kV급의 초고압 케이블을 공급 • LS산전 GE의 기술이전을 통해 국내 사업화 추진 • HVDC 실증단지(제주 금악-한림 전류형 변환소, ±80kV 60MW급, DC송전선로 5.3km) 구축 ('13.12월)
	카페스	전류형/전압형 변환기술	• 한전과 GE의 출자회사로 HVDC 기술이전과 북당진-고덕 HVDC 프로젝트 등 다수의 HVDC 프로젝트 수행 중
	효성(주)	전압형 변환기술	• HVDC 기술 개발을 위한 Start-up 프로젝트로 스테콤(STATCOM)을 자체 개발, 실용화 단계를 거쳐 해외시장 진출 • 정부 과제로 해상풍력 연계용 전압형 20MW급 HVDC 개발 완료 • 산학연 협업을 통한 국책과제로 200MW급 전압형 HVDC 개발 추진 중
유럽	SIEMENS	초고압직류 시장 선도기업	• 효율적인 장거리 친환경 송전, 전력망 간의 전용 전력 교환 실험, 분산형 전원시스템 및 전력망의 연계 등 혁신적 솔루션 개발 • 캘리포니아주 피츠버그-샌프란시스코, Trans Bay Cable PJT, 2010년, ±200kV, 400MW, 85km(해저), MMC(Modular Multi-level Converter) 방식 적용
	ABB	초고압직류 시장 선도기업	• 세계 전류형 HVDC 시장의 50%를 차지 • 전압형 HVDC로 DolWin1 PJT, ±320kV 800MW, MMC 방식으로 성공적으로 완료('15.7월)
미국	GE	초고압직류 설비	• ALSTOM에서 전력 및 그리드 사업을 인수 • 초고압직류 원천기술을 이전하는 방식으로 국내의 한전과 함께 KAPES를 설립하여 HVDC 프로젝트 진행 중
일본	Hitachi	초고압직류 설비	• 2015년 ABB와의 조인트 벤처인 'Hitachi ABB HVDC Technologies, Ltd.' 설립을 통해 HVDC 기술이전
중국	C-EPRI	초고압직류 설비	• 2000년대 초반까지는 ABB, SIEMENS, AREVA와의 기술협력을 통하여 기술이전을 진행하였으며, 이후 독자적인 기술 개발 중 • Xiamen Island에 1000MW ±320kV용 전압형 HVDC 프로젝트 성공('15.12월) • 전류형 A5000 UHVDC 밸브 독자개발
	XD	초고압 AC, DC 송배전 관련 연구/제품 생산	• 고압 HVDC용 변압기 개발 및 제작 • 해저 HVDC 케이블 기술 확보

1. 고압 직류 송전 분야 표준화 활동 현황

가. TC 조직 구성



[그림 10] IEC TC 115 구성

나. TC/SC 의장, 간사, 컨베너 등 현황

- 의 장 : Mr Marcus Häusler
- 간 사 : Mr Jun Yu
- 간 사 국 : 중국
- P-멤버 : 19개국(호주, 프랑스, 한국, 독일, 일본, 등)
- O-멤버 : 15개국(아르헨티나, 브라질, 헝가리, 뉴질랜드 등)
- 총 회 일 정 : 2022.11 온라인

[표 8] IEC TC115 WG별 컨비너

구분	Title	Convenor
WG 2	Reliability and availability evaluation of HVDC system	Mr Abhay Kumar
WG 3	Electromagnetic performance of high voltage direct current (HVDC) overhead transmission lines	Mr Yong JU
WG 4	Guidelines on Asset Management of HVDC Installations (former PT1)	Mr Ab'Ilah Mohd Salleh
WG 5	System design of HVDC project	Mr Weimin Ma
WG 6	Guideline for HVDC system operation procedures	Mr Xiaotong ji
WG 7	DC side harmonics & filtering in LCC HVDC transmission systems	Mr Gearoid Sean O'Heidhin
WG 9	High-Voltage Direct Current (HVDC) Power Transmission – System requirements for DC-side equipment	Mr Takehisa SAKAI
WG 10	Guideline for planning of HVDC systems – Part 1: HVDC systems with line commutated converters	Mrs Jinhua Zhang
WG 12	Life extension of HVDC converter stations	Mr B. B. Mukherjee
WG 13	Testing and commissioning of VSC HVDC schemes	Mr Weimin Ma
WG 15	System Aspects of HVDC Grids	Mr Frank Schettler
WG 16	Guidelines for parameters measurement of HVDC transmission line	Mr Lin Yang
MT 8	Maintenance work for IEC/TS 62344	Mr Jian Guo
JWG 11	Performance of voltage source converter based high-voltage direct current transmission linked to SC 22F	Mr Xueguang WU
JWG 14	DC voltages for HVDC grids linked to SC 22F	Mr Baoliang Sheng
JWG 38	Control and protection systems for high-voltage direct current (HVDC) power transmission systems – Functional performance tests (PWI 22F–15) Managed by SC 22F	Mr Hong Rao
JWG 22	Atmospheric and altitude correction Managed by TC 42	Mr Ernst Friedrich Karl Gockenbach
JWG 13	Insulation co-ordination for HVDC systems Managed by TC 99	Mr Ruifeng Gou, Mr Marcus Häusler
AG 1	Advisory Group on Road Map and Editing	Mr Marcus Häusler
JMT 1	HVDC substation audible noise linked to SC 22F	Mr Hui Han
JMT 5	Maintenance Team for IEC 60919 series Managed by SC 22F	Mr Weimin Ma
JMT 7	Maintenance of IEC/TS 61936–2 Managed by TC 99	Mr Leslie Brand

[표 9] IEC TC115 참여국 ('22년 9월 기준)

구분	국가명
P(primary) 멤버	오스트리아, 호주, 스위스, 중국, 체코 공화국, 독일, 덴마크, 이집트, 핀란드, 프랑스, 영국, 아일랜드, 이란, 이탈리아, 일본, 대한민국, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴
O(observation)멤버	아르헨티나, 벨기에, 브라질, 스페인, 크로아티아, 헝가리, 인도, 뉴질랜드, 폴란드, 루마니아, 러시아 연방, 슬로베니아, 슬로바키아, 우크라이나, 남아프리카

다. 한국 국제표준 전문가 참여현황

- 국내에서는 IEC TC 115에 대하여 현재 고압직류송전 국제표준화 대응 관련하여 P멤버 지위를 확보하고, TC 115 국내전문위원회가 출범된 상태이다.

2. 분야별 표준개발 현황

가. 해당 TC/SC 주요 표준 개발 현황

[표 10] IEC TC115 표준 개발 현황 ('22년 9월 기준)

TC/SC	간사국	제정 국제표준 수 (Published)	개발중 국제표준 수 (Under Development)	부합화 표준 수	부합화 비율(%)
TC115	CN	16	12	2	12.5%

- TC115의 표준화 범위(scope)는 100kV 이상의 HVDC 전송 기술 분야 표준화 작업에는 설계 측면, 기술 요구 사항, 건설 및 시운전, 신뢰성 및 가용성, 운영 및 유지 보수와 같은 HVDC 시스템 지향 표준이 포함된다. '22년 9월 기준으로 표준 16종이 제정되었으며 12종이 개발 중에 있다.

[표 11] IEC TC115 제정 표준 16개 ('22년 9월 기준)

표준번호	표준명	STAGE	ICS
IEC TS 61973:2012+AMD1:2019 CSV	고전압 직류(HVDC) 변전소 가청 소음 High voltage direct current (HVDC) substation audible noise	IS	29.240.10 29.240.99
IEC TS 61973:2012	고전압 직류(HVDC) 변전소 가청 소음 High voltage direct current (HVDC) substation audible noise	IS	29.240.10 29.240.99
IEC TS 61973:2012/AMD1:2019	수정 1 - 고전압 직류(HVDC) 변전소 가청 소음 Amendment 1 - High voltage direct current (HVDC) substation audible noise	IS	29.240.10 29.240.99
IEC TS 62344:2022 RLV	고전압 직류(HVDC) 링크용 접지극국 설계 - 일반 지침 Design of earth electrode stations for high- voltage direct current (HVDC) links - General guidelines	IS	29.240.99
IEC TS 62344:2022	고전압 직류(HVDC) 링크용 접지극국 설계 - 일반 지침 Design of earth electrode stations for high- voltage direct current (HVDC) links - General guidelines	IS	29.240.99
IEC TR 62672:2018	HVDC 시스템의 신뢰성 및 가용성 평가 Reliability and availability evaluation of HVDC systems	IS	29.240.01
IEC TR 62681:2022	고전압 직류(HVDC) 가공 송전선로의 전자기 성능 Electromagnetic performance of high voltage direct current (HVDC) overhead transmission lines	IS	29.240.20
IEC TR 62681:2022 RLV	고전압 직류(HVDC) 가공 송전선로의 전자기 성능 Electromagnetic performance of high voltage direct current (HVDC) overhead transmission lines	IS	29.240.20
IEC TR 62978:2017	HVDC 설치 - 자산 관리 지침 HVDC installations - Guidelines on asset management	IS	29.240.01 03.100.10
IEC TS 63014-1:2018	고전압 직류(HVDC) 전력 전송 - DC 측 장비에 대한 시스템 요구 사항 - 파트 1: 선로 정류 컨버터 사용 High voltage direct current (HVDC) power transmission - System requirements for DC-side equipment - Part 1: Using line- commutated converters	IS	29.200 29.240.01

표준번호	표준명	STAGE	ICS
IEC TR 63065:2017+AMD1:2022 CSV	라인 정류 컨버터(LCC) HVDC 컨버터 스테이션의 작동 및 유지 관리 지침 Guidelines for operation and maintenance of line commutated converter (LCC) HVDC converter station	IS	29.200 29.240.01
IEC TR 63065:2017	라인 정류 컨버터(LCC) HVDC 컨버터 스테이션의 작동 및 유지 관리 지침 Guidelines for operation and maintenance of line commutated converter (LCC) HVDC converter station	IS	29.200 29.240.01
IEC TR 63065:2017/AMD1:2022	개정 1 – 라인 정류 컨버터(LCC) HVDC 컨버터 스테이션의 운영 및 유지 관리 지침 Amendment 1 – Guidelines for operation and maintenance of line commutated converter (LCC) HVDC converter station	IS	29.200 29.240.01
IEC TR 63127:2019	라인 정류 컨버터가 있는 HVDC 컨버터 스테이션의 시스템 설계 지침 Guideline for the system design of HVDC converter stations with line-commutated converters	IS	29.240.01 29.240.10
IEC TR 63179-1:2020	HVDC 시스템 계획 지침 – 1부: 라인 정류 컨버터가 있는 HVDC 시스템 Guideline for planning of HVDC systems – Part 1: HVDC systems with line-commutated converters	IS	29.200 29.240.01
IEC TR 63363-1:2022	VSC(Voltage Sourced Converter) 기반 고전압 직류(HVDC) 전송 성능 – 파트 1: 정상 상태 조건 Performance of voltage sourced converter (VSC) based high-voltage direct current (HVDC) transmission – Part 1: Steady-state conditions	IS	29.200 29.240.01

[표 12] IEC TC115 개발 중인 표준 12개 ('22년 9월 기준)

표준번호	표준명	STAGE	ICS
PWI TR 115-3 ED1	DC side harmonics and filtering in HVDC transmission systems	PWI	
PWI TR 115-30 ED1	DC voltages for DC grids	preCD	
PWI TR 115-31	Future IEC TR 63363-2 ED1: Performance of voltage sourced converter based high-voltage direct current transmission – Part 2: Transient conditions	PWI	

표준번호	표준명	STAGE	ICS
PNW TS 115-307 ED1	DC Voltages for HVDC Grids	PNW	
IEC TR 62978 ED2	HVDC installations – Guidelines on asset management	ACD	29.240.01 03.100.10
IEC TS 63014-1 ED2	High voltage direct current (HVDC) power transmission – System requirements for DC-side equipment – Part 1: Using line-commutated converters	ACD	29.200 29.240.01
IEC TS 63014-2 ED1	High voltage direct current (HVDC) power transmission – System requirements for DC-side equipment – Part 2: Using voltage sourced converters	ACD	
IEC TR 63179-1 ED2	Guidelines for planning of HVDC systems	ACD	29.200 29.240.01
IEC TS 63291-1 ED1	HVDC Grid Systems and connected Converter Stations – Functional Specifications – Part 1: Guidelines	PCC	
IEC TS 63291-2 ED1	HVDC Grid Systems and connected Converter Stations – Guideline and Parameter Lists for Functional Specifications – Part 2: Parameter Lists	PCC	
IEC TS 63336 ED1	Commissioning of VSC HVDC systems	ACD	
IEC TR 63463 ED1	Life extension guidelines for HVDC converter stations	CD	

나. 한국 주도 국제표준 개발 현황

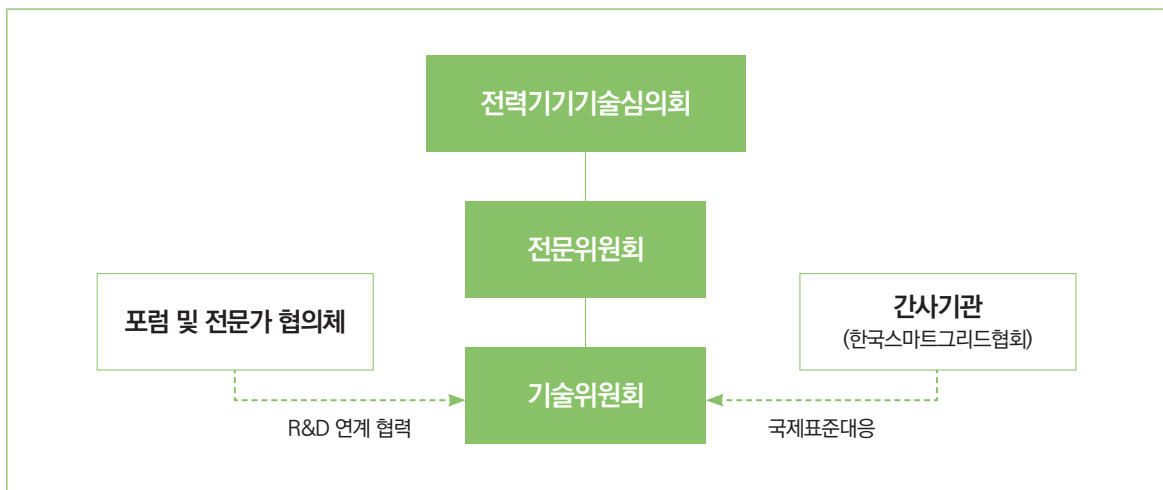
- WG 3과 JMT 7에서 한국 전문가가 멤버로 활동 중이다.

다. 해당 TC/SC 주요 이슈 및 동향

- 신규 표준 작업 승인을 위한 구체적 제안들이 활성화되고 있고, 잠재적 후보 아이টে으로 거론되는 HVDC 그리드, 컨버터 등 구체적 제안이 이뤄질 것으로 보이며 에디터 및 의장 수입 등을 위한 참여 국가 간 경쟁이 치열하다.

1. COSD 조직 소개

- 국내 TC 115 미러 커미티로 국가기술표준원 전문위원회가 운영 중이며, KS표준 제·개정 검토를 위한 기술위원회를 구성하여 운영 중이다. 또한 포럼이나 전문가 협의체 등이 분야별로 구성되어 다양한 전문가들이 참여하고 있다.



[그림 11] TC 115 COSD 조직구성

[표 13] 기술위원회 명단

No.	성명	소속	직책
1	홍순찬	단국대학교	교수
2	김재철	송실대학교	교수
3	서호선	케이알 지식재산법률사무소	대표
4	심대섭	J&I시스템기술연구소	연구소장
5	이주철	대한전기협회	처장
6	전기중	한국전기안전공사	부장
7	박현주	한국전력연구원	책임연구원
8	안상필	한국전기연구원	실장

[표 14] 전문위원회 명단

No.	성명	소속	직책
1	김찬기	한전 전력연구원	처장
2	백승택	LS일렉트릭	박사
3	정홍주	효성중공업	부장
4	허건	연세대학교	교수
5	김태진	한국전기연구원	책임
6	성판영	KAPES	전무
7	최종혁	한국전기연구원	선임
8	강세일	한국스마트그리드협회	팀장

2. 기술위원회, 전문위원회 활동 현황

○ 기술위원회(홍순찬 등 8명)를 구성하여 부합화 문서 작성/검토

[표 15] 국내 기술심의회 활동 현황

구분	주요 결과
전력기기 기술심의회 (‘22.10.07)	- KS 제정(안) 1종 심의 • KS C IEC TR 63127 [전류형 컨버터가 있는 고전압 직류(HVDC) 변환소의 시스템 설계 가이드라인] * 2021년 TC 115 전문위원회 및 예고고시 완료 - KS 개정(안) 1종 심의 • KS C IEC 60633 [고전압 직류(HVDC) 송전 - 용어] * 2022년 TC 22 전문위원회 및 예고고시 완료

○ TC 115 전문위원회(김찬기 등 8명)를 구성하여 KS 제정(안) 1종 검토

[표 16] 국내 전문위원회 활동 현황

구분	주요 결과
22년도 TC 115 1차 회의 (‘22.08.22 ~ ‘22.08.26)	- KS 제정(안) 1종 심의 • KS C IEC TR 63179-1 [HVDC 시스템 계획 지침 - 제1부: 전류형 컨버터가 장착된 HVDC 시스템] * 국가표준 제정 1건(부합화표준): 일부 표준(안) 내용 보완 후 예고고시 진행 - IEC TC 115 투표 3종 논의

3. COSD 활동 성과

[표 17] COSD 활동 성과

구분	표준번호	표준안	비고
IEC TC 115	KS C IEC TR 63179-1	HVDC 시스템 계획 지침 - 제1부: 전류형 컨버터가 장착된 HVDC 시스템	국가표준 제정(부합화)
IEC TC 22	KS C IEC 60633	고압 직류(HVDC) 송전의 용어	국가표준 개정
IEC TC 23/SC 23H	KS C IEC 60309-1	전기용품안전기준, 산업용 플러그, 콘센트 및 커플러 제1부: 일반 요구사항	국가표준 개정
IEC TC 23/SC 23H	KS C IEC 60309-2	전기용품안전기준, 산업용 플러그, 콘센트 및 커플러 제2부: 핀 및 핀받이의 치수요구사항	국가표준 개정
IEC TC 22	KS C IEC 60146-1-1	반도체 컨버터 - 일반요구사항 및 선전류 컨버터 - 제1-1부: 기본 요구사항	국가표준 확인
IEC TC 22	KS C IEC 60146-1-2	반도체 컨버터 - 일반요구사항 및 선전류 컨버터 - 제1-2부: 적용지침	국가표준 확인
IEC TC 22	KS C IEC 60146-1-3	반도체 컨버터 - 일반요구사항 및 선전류 컨버터 - 제1-3부: 변압기 및 리액터	국가표준 확인
IEC TC 22	KS C IEC 60146-2	반도체 컨버터 - 제2부: 자력식 반도체 컨버터	국가표준 확인
IEC TC 22	KS C IEC 61800-1	가변속 전력 구동시스템 - 제1부: 일반요구사항 - 저전압 가변속 직류구동시스템의 정격시방	국가표준 확인
IEC TC 22	KS C IEC 61800-2	가변속 전력 구동시스템 - 제2부: 일반요구사항 - 저전압 가변속 교류구동시스템의 정격시방	국가표준 확인
IEC TC 23/SC 23H	KS C IEC 61316	산업용 케이블릴	국가표준 확인
IEC TC 69	KS R IEC 61851-1	전기자동차 전도성 충전 시스템 - 제1부: 일반 요구사항	국가표준 확인

4. 2022년 COSD 제안 국가표준 리스트

[표 18] 2022년 COSD 제안 국가표준 리스트

표준번호	표준명	비고
KS C IEC TR 63179-1	HVDC 시스템 계획 지침 — 제1부: 전류형 컨버터가 장착된 HVDC 시스템	국제표준 부합화(IDT)

Technical Committee Trend Report

Electric
Electronics
전기전자

TC동향보고서
TC 115