

2022년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

**차세대 AC/DC Hybrid
배전 네트워크 기술개발
- 요소기기 분야 -**

무단 전재 및 재배포 금지

한국에너지기술평가원의 허락 없이 본 문서를 온라인 사이트 등에 무단 게재, 전재하거나 유포할 수 없습니다.

제3자의 기획보고서 및 관련자료의 재 활용 시 따를 수 있는 책임소재는 한국에너지기술평가원에 없음을 알려드립니다.

목 차

I . 동향분석	1
1. 개 요	
2. 산업·기술동향	
3. 특허동향	
4. 표준화동향	
5. 정부R&D 지원현황	
6. 시사점	
II . 기획대상연구개발과제 도출	73
1. 연구개발과제기획 방향	
2. 기획연구개발과제 RFP/기술개요서	

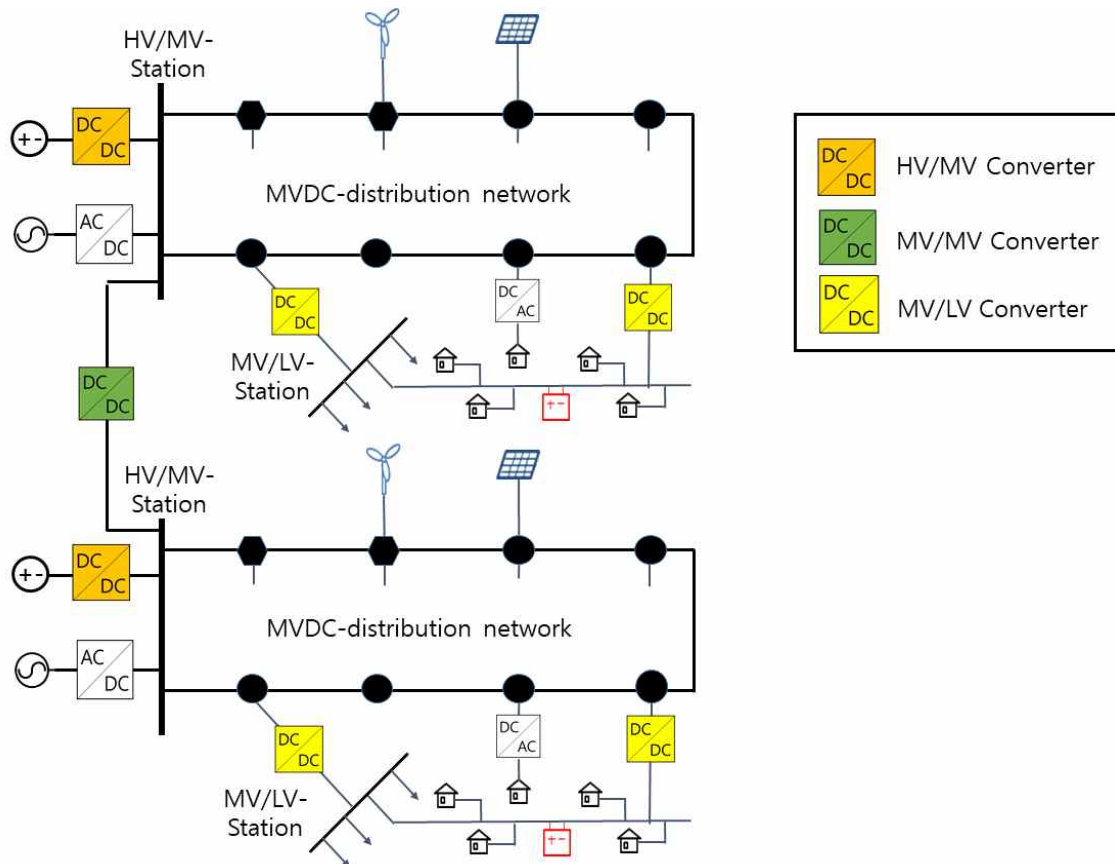
1. 개 요

특고압 직류배전용 20MW급 MMC 방식 컨버터스테이션 기술개발

(1) 개 념

□ MVDC용 DC/DC 컨버터스테이션 개념

- MVDC(Medium Voltage Direct Current) 기술은 송전계통에 적용되는 HVDC(High Voltage Direct Current)와 저압 수용가의 LVDC(Low Voltage Direct Currnet) 사이의 전압레벨 및 전송용량을 갖는 특고압 직류선로를 활용하는 배전기술
 - MVDC는 (특)고압 직류배전으로 LVDC 최대값 1.5kV 이상과 HVDC 최소값 100kV 이하의 범위에서 정의할 수 있음
 - 신재생 에너지원/분산 전원, 전기차 충전소, ESS(Energy Storage System), IDC(Internet Data Center) 등 대규모 전력 수용가와 직접 연결되는 배전망 범위
- 중장거리 원격에서 생산된 대용량 신재생에너지를 도심 또는 수용가 부근으로 이송하기 위하여 MVDC 시스템 기술이 적용되며, 이를 도심에서 활용하기 위해 수용가에서 사용 가능한 DC 전압 수준으로 변환이 필요
- 서로 다른 직류(DC; Direct Current) 전력망 사이에 전력 시스템의 유연성을 확보하기 위하여 양방향 DC/DC 컨버터스테이션이 필요
- 대규모 재생에너지 연계, 속응성, 신뢰성을 고려한 양방향/절연형 DC/DC 컨버터스테이션 필요
 - 양방향/절연형 DC/DC 컨버터스테이션 : DAB(Dual Active Bridge), 멀티 레벨 컨버터, SM(SubModule) 기반 MMC(Modular Multilevel Converter) 적용 컨버터 조합



[그림] MVDC 시스템의 DC/DC Converter Station 개념도

(2) 주요 이슈

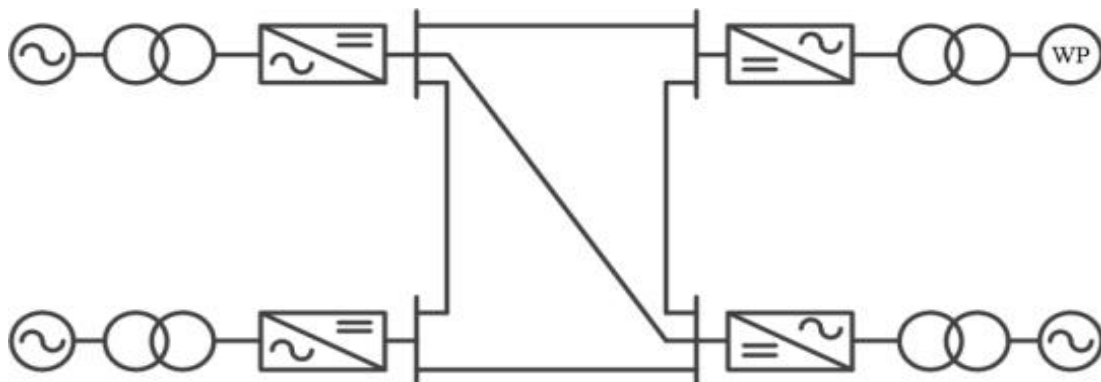
□ MVDC 시스템 활용에 따라서 다양한 형태의 전력망과 부하조건이 필요

- MV에서 다른 전압레벨의 MV/LV로 변환하는 Converter Station용 전력회로 Topology 설계 및 제어 기술 필요
- MVDC용 DC/DC 컨버터의 신뢰도 확보를 위하여 고장진단 기능을 가지는 WBG(Wide Band Gap) 기반 전력반도체용 게이트 구동 시스템 개발 필요
- 다수의 MVDC용 DC/DC 컨버터스테이션의 신뢰도 확보를 위하여 단위 파워 모듈 시험 평가/표준화 기술 개발이 필요함
- 또한, 다양한 사이버 공격을 대비한 MVDC용 DC/DC 컨버터스테이션 Cyber Security 대응 알고리즘 개발 필요

(1) 개 념

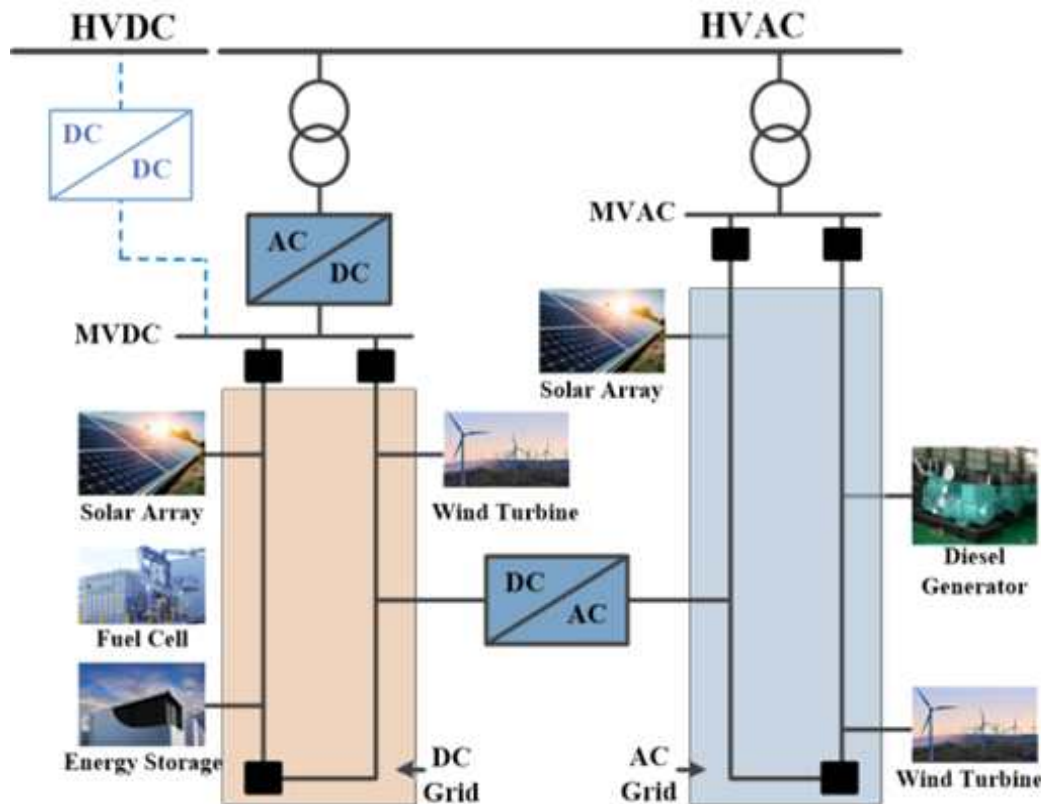
□ MVDC AC/DC 컨버터의 개념

- MVDC 배전망 또는 Hybrid AC-DC 배전망을 구성하기 위해서는 기존의 AC 계통과 DC 계통을 연결하는 전력변환 장치가 필요한데, 이를 MVAC-MVDC 컨버터 시스템으로 정의
- MVAC-MVDC 컨버터 시스템은 AC를 DC로 즉, 교류 전력을 직류 전력으로 변환할 수 있으며, 반대로 직류 전력을 교류 전력으로 변환할 수 있음
- Multi-terminal MVDC를 통해 연계 계통의 전압 안정도를 향상할 수 있고, 비상시 인근 계통으로 빠른 전력 공급이 가능하며, AC-DC 간 전력 공급 제어가 용이하여 필요 용도에 따라 Grid 구성을 자유롭게 할 수 있다는 장점도 있음



[그림] 멀티터미널 MVDC 구성 개념

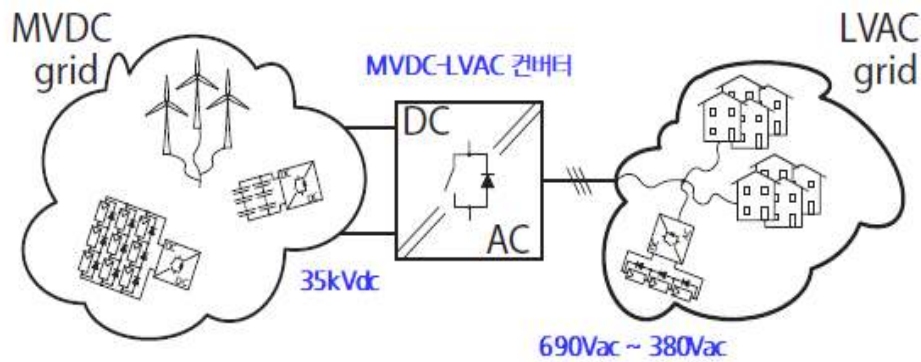
- 기존 AC 배전 계통과 신재생에너지원으로 구성된 DC 배전 계통을 연계하는 Hybrid AC-DC 배전망 시스템을 통해 연계 계통의 전압 안정도 향상과 AC-DC 배전 계통 간 전력 공급 제어를 유연하게 할 수 있음



[그림] Hybrid AC/DC Grid 예시

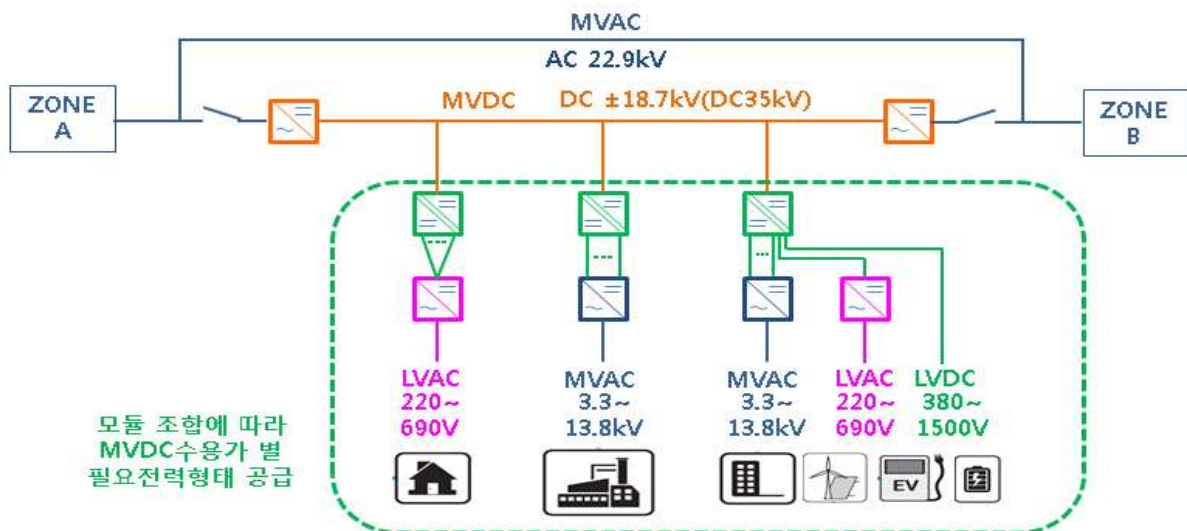
□ 수용가 측면의 MVDC-MV/LVAC 컨버터의 개념

- MVDC 배전망 또는 Hybrid AC-DC 배전망을 구성하기 위해서는 DC 계통과 기존 AC 수용가를 연결하는 전력변환 장치가 필요한데, 수용가 전압 범위에 따라 MVDC-MVAC와 MVDC-LVAC 컨버터 시스템으로 정의
 - MVAC(특고압) 사용자 전압 범위 : 3.3kV ~ 13.8kV
 - LVAC(저압) 사용자 전압 범위 : 220V ~ 690V

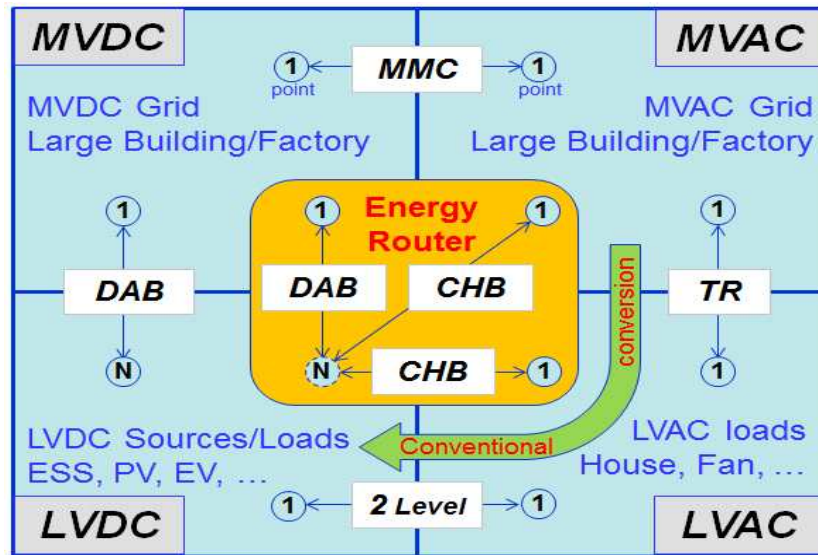


[그림] 교류 수용가용 MVDC-LVAC 컨버터 예시

- 특고압 MVDC 배전선로가 설치되는 미래 전력계통에서는 MVAC, LVAC, LVDC 전력을 모두 사용하는 복합 수용가에 대한 고려가 가능함
- 수용가는 AC와 DC를 이중으로 수전 받을 경우, 설치비용과 관리의 어려움이 존재하므로 단일 장치를 통해 멀티 포트 출력이 가능한 에너지 라우터 또는 Solid State Transformer 개념의 고효율, 고신뢰성 컨버터 적용이 적합함



[그림] 수용가용 MVDC-MV/LVAC 컨버터의 개념



[그림] 각 형태별 전력변환에 유리한 토폴로지 예시

(2) 주요 이슈

- MVDC에 적용되는 AC/DC 컨버터 시스템은 단기에 이동설치가 가능한 이동형과 이동을 전제하지 않은 고정형으로 구분
 - 이동형 전력 변환기는 컨테이너 내부에 전력 변환기를 구성하여 원하는 설치장소에 토목 공사 외에 별도의 건축 공사 없이 빠르게 설치가 가능하다는 장점을 가짐
 - 중소용량의 신재생 발전원이 설치되어 있는 도서 및 산간 지역에 상대적으로 쉽게 시스템 구축이 가능
 - 이동형 전력 변환기는 컨테이너 안에 전력 변환기를 구성해야 하기 때문에 전력 변환기를 구성하는 기기들의 절연과 냉각에 대한 컴팩트한 설계가 아주 중요한 핵심 기술임
 - 이동형 전력 변환기는 컨테이너를 병렬로 설치하는 방식으로 용량을 증대해야 하므로, 시스템을 모듈화하여 개발해야 하며, 이를 위해 다수의 컨테이너가 설치되는 경우, 각 컨테이너의 유닛 제어기 간 협조제어가 중요함
 - 또한, 주요 개발 기기들을 실제 계통과 연계한 실증운전을 통해 개발품의 건전성을 확인해야 하며, 계통과 연계하여 시험하는 실증은 대규모 시스템이 구축되어야 하므로 정부 차원의 지원이 필수적임

- 고정형 전력 변환기는 건물을 완공하는데 시간이 소요되지만, 건축물 내부에 설치하는 컨버터 밸브의 용량 제약이 적어 대용량으로 구축 가능
 - 고정형 전력 변환기는 용량 제약이 적어 대용량 시스템 구축에 용이하며 대용량 컨버터 구성품으로 설계하고 고효율 설계가 필요함
 - 고정형 전력 변환기는 이동형과 달리 설치 높이 제한이 없어 밸브를 높게 설치하여 상대적으로 설치 대지면적을 줄일 수 있는 장점을 가지며, 밸브를 높게 설치하기 위해서는 내진 성능을 확보해야 하므로, 밸브의 내진 설계가 중요한 요소임
 - 고정형 전력변환 시스템도 이동형 전력변환 시스템과 같이, 개발 기기들을 실제 계통과 연계하여 실증운전을 통해 개발품의 건전성을 확인해야 하므로, 대규모 실증 시스템 구축을 위한 정부 차원의 지원이 필요함

□ MVDC에 적용되는 DC/AC 컨버터 시스템은 다양한 전압 수준의 기술 개발 필요

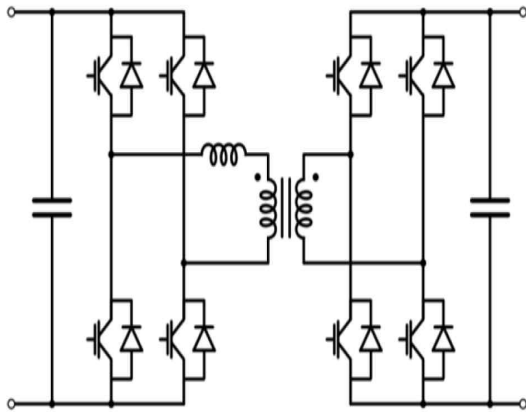
- MVDC 계통에서 수용가가 단일 Incoming단으로 구성 시, 고효율 변환을 위해서는 배전용 표준 MVAC 컨버터 1종, LVAC 컨버터 1종이 별도로 필요
- 또는 서브모듈 구성에 따라 AC 전압을 용이하게 변경할 수 있는 토폴로지 형태의 개발이 필요
- 멀티전원 공급 컨버터는 MVDC 전압을 수용가가 사용 가능한 형태로 변환하는 동시에, 배전망의 안정성 유지 및 전기안전을 위해 절연형 구조로 개발되어야 하며, 에너지 저장 장치 및 신재생에너지 연계를 위해 양방향 전력제어 기능을 갖추어야 함
- 또한, 확장성과 유지보수를 위해서 MVDC 입력 측은 단일 고압 컨버터 모듈 보다는 일부가 고장나도 운용 가능한 다수의 저압 컨버터 모듈을 직렬 연결하는 방식이 유리
 - 이 방식으로 다수의 절연된 LVDC 출력을 확보할 수 있으며, 이들의 연결 방식에 따라 적절한 저압 또는 멀티레벨 토폴로지를 추가 결합하여 LVAC, MVAC의 다양한 전압 출력이 가능함

- 절연형/양방향 전력변환 장치의 예: DAB 컨버터 직렬 · 병렬 조합

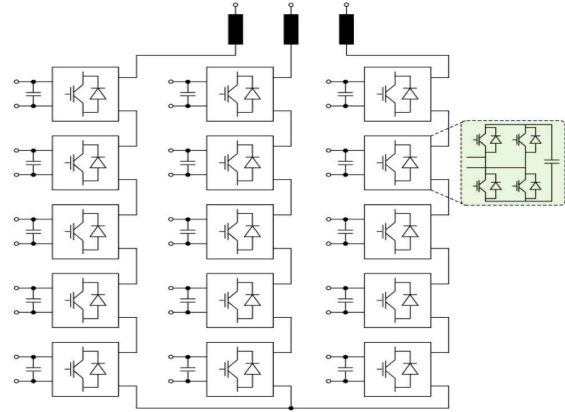
* DAB : Dual Active Bridge

- 멀티레벨 전력변환 장치의 예: CHB 컨버터 직렬 조합

* CHB : Cascaded H-Bridge



[그림] DAB 컨버터 파워 토폴로지



[그림] CHB 컨버터 파워 토폴로지

□ MVDC 기술은 국산화 기술개발을 통한 글로벌 경쟁 가능 수준 육성을 위한 노력을 기울여야 하며, 초기 투자 개발비의 확보 문제 및 인력 양성을 위한 정부지원 연구개발과제가 매우 절실함

- 글로벌 시장 진입을 위해서는 신기술 확보 및 납품실적 보유가 필수인 바, 이에 빠르게 대응하고 기술 자립도를 높이기 위한 정부 차원의 실증시험 설비 투자 및 인력투자가 우선적으로 선행되어야 함
- 정부는 MVDC 시장에 진입하기 위한 위협요소들을 제거하기 위해 MVDC 기술의 산업화와 실용화 및 상품화를 위한 발판을 마련해야 함
- 대부분의 기업에서는 컨버터 변압기, 직류 케이블, 전력변환 기술과 같은 MVDC 전력기기 기술개발에 집중하고 있으므로, 기업에서 투자를 하고 있지 않지만, MVDC 전체 시스템에 대한 효율 및 경제성 향상, 최적의 유지·보수 등 연구는 정부 주도의 개발이 필요함

특고압 직류배전용 멀티터미널 제어시스템 고도화 및 컨버터스테이션 엔지니어링 기술개발

(1) 개 념

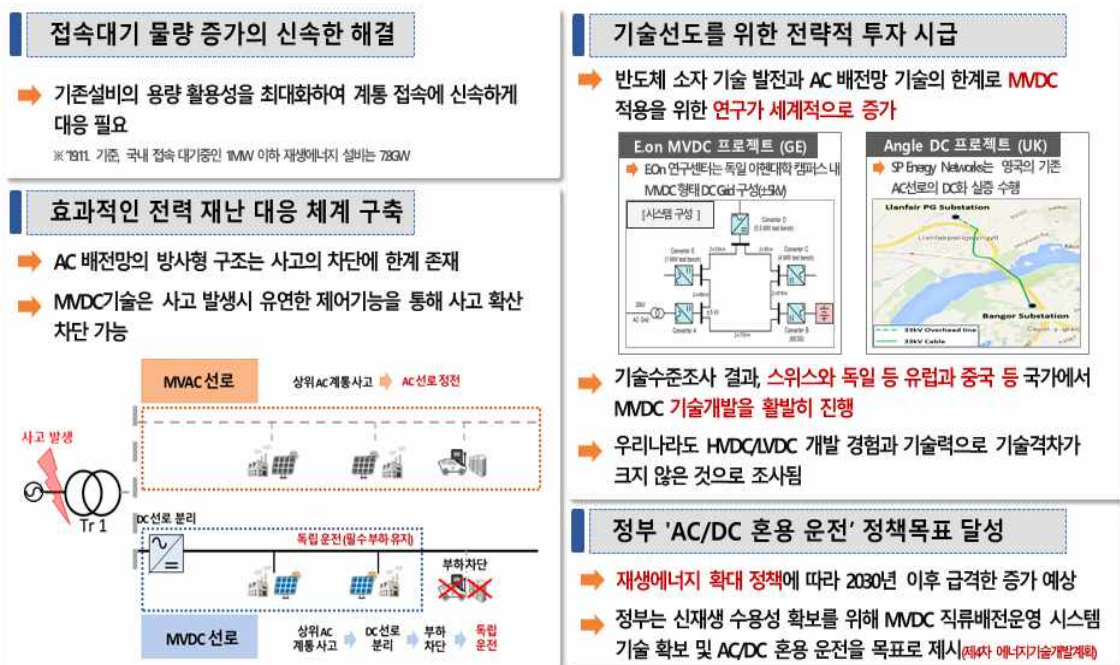
□ MVDC(Medium Voltage Direct Current)

- (특)고압 직류배전으로 LVDC의 최대값 1.5kV 이상과 HVDC 최소값 100kV 이하의 범위인 1.5kV ~ 100kV로 정의
 - * 현재, 우리나라 표준전압은 송전전압 765kV, 345kV, 154kV 등 3가지이며, 배전전압은 특고압 22.9kV, 저압 380kV, 220V를 사용 중임
- MVDC 기술은 송전계통에 적용되는 HVDC(초고압 직류송전)와 저압 수용가의 LVDC(저압 직류배전) 사이의 전압레벨 및 전송용량을 갖는 **특고압 직류 선로를 활용하는 배전기술**
- 배전망에서 전기를 전송할 때 교류(AC)를 직류(DC)로 변환 후 전송하거나, 직류전원을 직접 사용자에게 공급하는 기술
- LVDC에 해당하는 수용가 측의 배전 전압이 380V/220V 수준임을 고려할 때, MVDC 전압의 범위는 수용가 측 변압기 이전의 22.9kV 배전계통과 연계

(2) 사업추진의 시급성

- 정부의 탄소중립 실현을 위해 확대되는 재생에너지와 분산 전원을 뒷받침하기 위해 전력망과 적기 연계를 인프라의 수요 증가
- 고밀도 도시 및 컴팩트 시티의 확산으로 전력수요의 집중 및 증가 현상이 심화되면서 도심의 배전망 인프라의 운영·관리가 중요한 이슈로 부각
- 도심 배전설비 증설 시 일부 구간을 MVDC로 사용할 경우, 기존 설비의 용량을 높이거나 배전선로의 이용률을 높이는 등 용량 증설 효과로 투자의 지연 또는 회피할 수 있으므로 관련 기술 개발 필요
- 분산 전원 확대는 배전망에 역조류 등 안정성 이슈가 발생하는데, MVDC 기술은 배전망 단위에서 능동적 다방향 제어가 가능하므로 분산 전원의 불확실성과 간헐성에 효과적으로 대응할 수 있음

- 도심의 고전압 DC 전원과 부하의 증가 시, MVDC 기술을 통한 배전선로 구축으로 AC 대비 비용과 변환손실 측면에서 효율성을 확보할 수 있음
- 거주지 인근에 구축되는 배전설비에 대한 주민 수용성 측면에서 MVDC 기술의 적용은 설비의 크기가 축소되고 인체에 유해한 전자기장이 발생하지 않으므로 AC 대비 경쟁력을 확보할 수 있음
- 분산 전원의 확대 정책 추진으로 사회적 이슈가 되고 있는 계통 접속 대기 물량 증가의 해소를 위해서는 기존 설비의 용량 활용성을 최대화하여 계통 접속을 신속하게 대응할 수 있는 MVDC 기술 개발 및 적용 필요
- 정부가 계획한 2030년 MVDC 기술 확보 및 AC-DC 혼용 운전 목표를 달성하기 위해서는 분산된 국내 역량을 결집하여 MVDC 기술을 확보하기 위한 R&D 사업의 추진이 시급함
- MVDC 기술 동향 분석 결과, 연구와 투자가 증가하는 성장기 단계의 기술이지만 아직 뚜렷한 선도기업이 없으므로, 국내의 관련 기술 개발 역량을 활용하여 MVDC 기술을 선도하기 위한 전략적 투자가 시급함



[그림] 사업추진의 시급성 개념 설명

(3) 국고지원의 필요성

- MVDC 기술은 국가 기간시설인 배전망 운영과 정부의 에너지 전환 정책 추진의 기반이 되는 기술이므로, 안정적인 전력 공급 환경을 유지하기 위한 정부 지원이 필요함
- 시장 관점에서 기술적 난제와 경제적 위험성이 존재하는 분야이며, 다양한 기술 분야 협력 네트워크 구축의 시스템적 실패의 위험도 있으므로 정부 지원이 필요함
- MVDC 분야의 특성상 실증연구를 통해 개발된 기술의 검증이 필요하며, 대규모 예산의 투입과 기술적 리스크가 존재하므로 정부의 지원을 통한 실증연구 추진이 필요함



[그림] 국고지원의 필요성

(4) 주요 이슈

- 분산 전원 연계 및 도심 전력수요 증가의 대응을 위해서는 포화된 배전망 증설이 필요하지만, 배전설비 외 변전설비도 증설이 수반되므로 이에 대한 주민의 수용성 확보가 어려움
- 배전망 계통에서 확대되는 다수의 분산 전원의 간헐적 특성으로 전체 전력계통의 복잡도가 높아지지만, 배전단에서는 이를 제어하기 어려우므로 전체 계통의 안정성이 낮아짐
- 증가하는 DC 전원과 부하 속에서 기존의 AC 배전에 따른 공급과 수요단의 개별 AC/DC 변환은 전력 효율과 비용 측면에서 손실이 큼

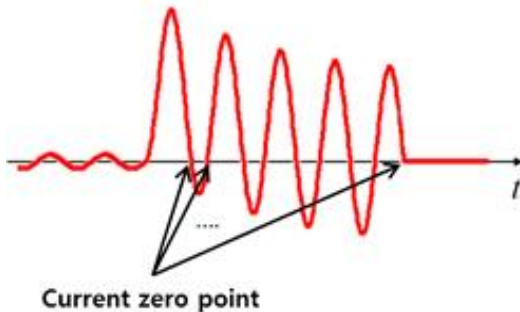


[그림] 동 사업의 주요 이슈

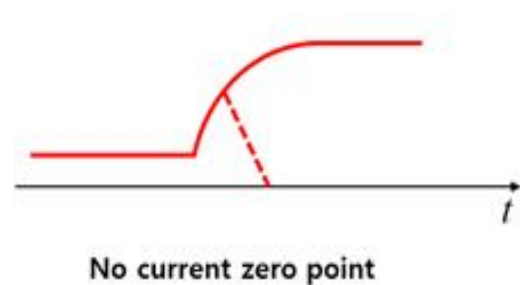
(1) 개 념

□ AC/DC 혼용망 차단 기술 개념

- AC/DC 혼용망 운용을 위해 기존 AC 계통과 달리 DC 특성을 반영한 계통 운영방식 도입 요구
- AC 계통 전류 파형은 시간에 따라 일정 주파수를 갖는 정현 파형으로서 고장 발생 시 고장 전류를 차단할 수 있는 전류 영점이 존재
- DC 계통 전류 파형은 시간에 따라 일정한 전류가 흐르며, 고장 발생 시 고장 전류가 급속하게 증가할 뿐 전류 영점은 존재하지 않음
- 이에, 강제로 전류 영점을 만들어야 하며 고장 에너지의 급속한 확대 방지를 위해 수 ms 수준의 차단 시간을 요구



[그림] AC 고장전류 파형



[그림] DC 고장전류 파형

□ 기술의 역할

- DC 망은 AC 망과 마찬가지로 보호 대책이 필요
- 기존의 전류형 HVDC 시스템은 Point-to-Point 방식으로 전력계통의 경로가 1-way로 구성되므로 고장이 발생할 경우, 변환기 자체 차단 또는 AC 차단기에서 고장 전류 차단이 가능
- 하지만 Multi-Terminal MVDC 시스템의 경우, 계통 내 고장 발생 구간을 제거하여 전체 시스템의 건전성 확보가 필요

- 이 경우 AC 망과 마찬가지로 계통을 보호하기 위해 모선(Bus)을 기준으로 Tree/Loop 구조로 분기되는 DC 선로마다 차단기 적용이 필요
- Grid 형태의 DC 계통은 전류 영점이 없고, 유사한 정격전압 및 전류를 가지는 AC 계통에 비해 막대한 고장 에너지를 가지고, 그로 인한 사고파급이 크기 때문에 수 ms 이내의 Cut-off 시간을 가져야 함

(2) 주요 이슈

□ 정부의 에너지 전환 정책에 따른 재생에너지 및 분산 전원 증가 및 연계 인프라 수요 증가

- 『제8차 전력수급기본계획』에서 신재생에너지 확대에 따른 분산 에너지 비중을 총 발전량의 18.4%로 전망, 재생에너지 전력망 접속 지연 해소를 위한 계통 인프라 보강 및 투자의 필요성 제시
- 『제3차 에너지기본계획』은 분산형·참여형 에너지시스템의 확대뿐만 아니라 계통체계 정비를 위한 MVDC 기술 개발의 필요성을 제시

□ 고밀도 도시 및 콤팩트 시티의 확산으로 전력수요의 집중 및 증가 현상이 심화되면서 도심의 배전망 인프라의 운영·관리가 중요한 이슈로 부각

- 국내 및 해외 선진국의 도시화율은 50% 이상이며, 수백만명 이상의 인구가 주요 도시에 거주, 도시의 주요 기능을 한 곳에 조성하는 콤팩트 시티 도시 계획이 증가
- 분산 전원, 전기차 급속충전소와 같은 도심 내 전력 공급과 수요의 집중 및 증가 현상은 이를 수용하기 위한 배전망의 확대에 연계되지만, 도심 내 배전선로의 확대는 환경적, 비용적, 지리적 측면에서 수용 갈등이 야기됨

□ 전력 공급 및 수요의 다면화에 따라 Multi-terminal 구성이 불가피하며, 안정성, 효율성 및 소형화를 위해서는 DC 차단 기술 필요

(3) 관련 정책

- 『제8차 전력수급기본계획』: 친환경 발전원 구성을 뒷받침하는 전력계통 인프라 구축, 재생에너지 전력망 접속 지연 해소를 위한 계통 인프라 보강과 관련
- 『제3차 에너지기본계획』: 5대 중점 추진연구개발과제 중 “3. 분산형/참여형 에너지 시스템 확대”의 “3-1 분산형 에너지 공급 시스템 확충”과 관련
- 『제4차 에너지기술개발계획』: 총 16대 에너지 중점기술 분야와 하위 50개 추진연구개발과제가 제시되며, ‘④분산형 에너지 확산’ 중점연구개발과제와 관련

(1) 개 념

□ MVDC용 DC 전류 센서

- 직류 배전망에 설치되어 배전선로의 DC 전류를 측정하여 기기들이 측정 가능한 저전압의 전류 또는 전압 신호로 변환하는 센서
- 직류 배전망의 DC 전류를 계측 및 제어하기 위해 주 회로의 전류를 낮은 전압 또는 전류로 변성하는 기능을 함
- 기존 AC 배전망에서 사용되는 계기용 변류기(Current Transformer)의 경우 변압기의 원리를 이용하여 AC 전류만 측정이 가능하므로 MVDC 배전망의 직류 전류 계측을 위해서는 MVDC용 전류 센서의 개발이 필요함 (예시: 500A급)

□ MVDC용 DC 전압 센서

- 직류 배전망에 설치되어 배전선로의 DC 전압을 검출하여 기기들이 측정 가능한 저전압의 전류 또는 전압 신호로 변환하는 센서
- MVDC 직류 배전망의 DC 고전압을 계측 및 제어하기 위해 주 회로의 전압을 낮은 전압 또는 전류로 변성하는 기능을 함
- 전류 센서와 동일하게 기존 AC 배전망에서 사용되는 계기용 변압기(Potential Transformer)의 경우 DC 전압만 측정이 가능하므로 MVDC 배전망의 직류 전압 계측을 위해서는 MVDC용 전압 센서의 개발이 필요함 (예시: 35kV급)

□ MVDC 전력기기 진단용 스마트 센서

- MVDC 시스템 및 배전망(AC선로, DC선로)을 보호하기 위한 전력기기(MVDC 스테이션 냉각장치, MVDC 차단기, MVDC 개폐기, MVDC 피뢰기 등)에 설치되어 보호 전력기기에 흐르거나 이상시 발생하는 전류, 진동, 부분방전, 누설전류 신호를 측정하는 센서

- 센서로부터 입력되는 신호를 측정하는 기기를 포함하며, 센서의 이상 유·무 판별, 무선 또는 유선 데이터 전송, AI 알고리즘이 탑재된 스마트 센서

□ MVDC용 DC 전류/전압 센서 역할

- DC 배전망의 전압, 전류를 측정하여 MVDC 배전망의 핵심 기기인 MVDC-MV/LVAC, MVDC/LVDC 등 전력변환 컨버터의 전류, 전압, 전력을 제어하기 위한 센서로 사용
- MVDC 배전망을 구성하는 기기 중 DC 계량기, 보호 계전 등과 같이 DC 배전망에 전압, 전류의 실 측정값을 필요로 하는 설비에 DC 전압/전류 정보를 전달하는 센서로 사용
- 어플리케이션의 요구에 따라 계측한 전류 및 전압 신호를 다양한 Interface 형태로 변환하여 전류/전압 계측값을 전달

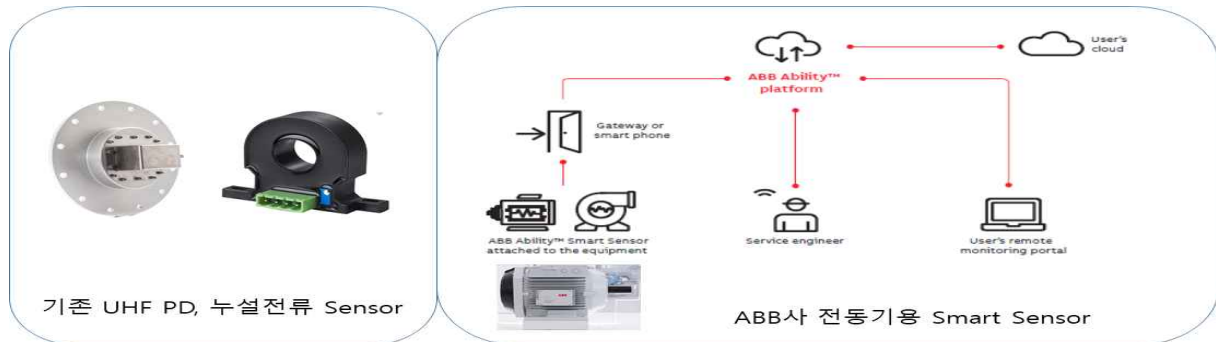


[그림] HVDC/MVDC용 고전압 전압/전류 DC형 계측 시스템

□ MVDC 전력기기 진단용 스마트 센서 역할

- MVDC 시스템 냉각장치의 핵심 기기인 전동기 및 펌프 진단을 위한 전류 및 진동, MVDC 차단기 및 계폐기 진단을 위한 DC 부분방전 및 누설전류, MVDC 피뢰기 진단을 위한 누설전류를 측정 및 분석하여 MVDC 시스템 및 배전망을 보호하는 핵심 기기의 이상 상태를 판별하는 센서로 사용

- AI 알고리즘이 탑재된 센서를 개발하여 작업자가 현장에서 MVDC 보호 핵심 기기의 상태 확인이 가능하도록 하고, 또한 MVDC 스테이션 통합 운영센터에 계측 신호 및 보호기기 상태 진단 결과를 전송하여 서버 내 진단 알고리즘을 온라인으로 업데이트(AI 학습 모델)할 수 있는 기본 역할 수행

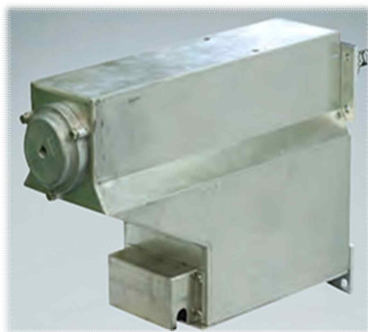


[그림] 기존의 보호기기(차단기, 피뢰기, 전동기(냉각장치의 핵심 기기)) 상태 진단용 센서

(2) 주요 이슈

□ MVDC 시스템용 DC계측 시스템의 필요성

- 국내 신재생 발전 설비의 급속한 보급 확대와 산업발전에 의하여 수용 한계에 이른 배전선로나 변전소가 나타나고 있음
- 이러한 문제를 양적인 관점에서만 접근하여 신규 선로나 변전소의 증설, 기설된 배전선로의 선종 교체로 해결하고자 하는 것은 경제적인 측면에서 큰 부담이 될 수 있음
- 따라서 동일한 선종, 동일 절연 설계 조건의 교류선로 용량 대비 직류선로 전송 가능 용량을 선로 구성에 따라 최대 2배까지 증가시킬 수 있는 MVDC 기술이 각광 받고 있음
- 계통전압을 AC-DC, DC-DC, DC-AC 형태로 변환하는 전력변환장치, 직류 개폐기, 직류 단로기, 보호계전기와 같은 MVDC 배전시스템의 각 기기들은 모두 MVDC 계통 전압, 전류를 측정하는 측정시스템이 필수적임
- 국내에서도 36kV 이상의 최고 회로전압을 갖는 계기용 변류기(CT, Current Transformer), 계기용 변압기(PT, Potential Transformer) 및 변압 변류기(MOF, Metering outfit) 등이 개발되어 AC 배전망에 적용되고 있음



[그림] 국내 개발 고압용 CT, PT 및 MOF

- 그러나 기존 AC 배전망에 사용되는 CT, PT 및 MOF는 변압기의 원리를 이용하여 전압 및 전류를 계측하기 때문에 DC 전압 및 전류 측정이 필요한 MVDC 시스템에는 적용이 불가능함

- 따라서 MVDC망의 전력제어 및 보호 등을 위해서는 홀효과(Hall effect) 또는 패러데이 효과를 적용한 광센서 형태의 침단센서가 필수적이며, 고전압을 고려하여 광 출력 등 센서와 기기 절연도 고려해야 함
- 이러한 침단센서는 해외 일부 선진社들만 확보한 기술로 MVDC 기술 개발 및 시장에 진입하기 위하여 반드시 필요한 기술이며 정부 주도의 투자와 개발을 통해 글로벌 시장에 진입할 수 있는 여건이 마련되어야 함

□ MVDC 전력기기 진단용 스마트 계측기술의 필요성

- MVDC 시스템 및 배전선로의 안정적인 운영을 위해서는 MVDC 보호용 핵심 전력기기 역할이 중요하며, 이에 따른 보호 전력기기의 고장을 사전에 검출하기 위한 신호 측정 및 분석할 수 있는 스마트 센서 개발이 필요함
- 최근 IoT 및 AI 기술의 발전에 따라 진동, 온도 센서 등 기기 진단을 위한 센서들도 스마트화(현재는 데이터 계측 및 전송 기능 위주 개발) 되어가고 있으며, MVDC 보호용 핵심 전력기기 진단의 정확도 향상을 위해 지속적인 데이터 학습을 통한 AI 모델 성능 향상 및 온라인 업데이트*가 가능한 스마트 센서 개발(자가 진단, 신호 측정, 데이터 전송, AI 알고리즘 구동 모듈 포함)이 필요함

* 스마트 센서에서 측정 및 분석된 결과를 통합 서버에 전송하고 이를 통해 온라인으로 진단 알고리즘(AI 학습 모델)을 업데이트하고 업데이트된 알고리즘을 스마트 센서에 다시 배포하여 지속적인 성능 향상 실현

- 4차 산업혁명 기술 접목 확대 등에 따라 국내·외 시장 진입을 위해서는 데이터 계측 및 전송 기능 기반 기술(As-is)에서 자가 진단, 신호 측정, 데이터 전송 및 AI 알고리즘 구동 모듈 기반 스마트 계측 기술(To-be)로의 적용이 필요함

2. 산업·기술동향

특고압 직류배전용 20MW급 MMC 방식 컨버터스테이션 기술개발

(1) 해외 동향

- ☐ 최근 몇 년간 유럽과 중국 등에서 MTDC(Multi-Terminal Direct Current) 시스템의 운전, 제어, 모델링, 보호 등에 대한 많은 연구들이 진행되고 있음
 - 유럽의 경우, ABB에서 체코 Nupharo Park 프로젝트를 통해 11kVdc/350Vdc/48Vdc 등 다양한 직류망을 구현하고 저장장치 등을 설치하여 직류배전 실증을 위한 사이트를 구축
 - 중국 Zhoushan에서는 2016년 세계 첫 전압형 5-터미널에 대한 시운전을 시작했으며, 400/300/100/100/100(MW) 용량 ± 200 kV DC 전압의 MMC 컨버터 타입으로 구성
 - 중국 Zhangbei에서는 4-터미널을 건설 중에 있으며, 3000/3000/1500/1500 (MW) 용량 ± 500 kV DC 전압의 MMC 컨버터 타입으로 구성
- ☐ 미국은 DOE(Department of Energy)와 전력회사 등을 중심으로 약 200여 개의 프로젝트가 추진
 - 자연재해 시 전력 공급 신뢰도 확보, 즉 전력 탄력성에 대한 실증사업을 수행 중
- ☐ 세계 첫 전압형 3-터미널 HVDC는 Nan' ao에서 2015년 시운전을 시작했으며, 200/100/50(MW) 용량 ± 160 kV DC 전압의 MMC 컨버터 타입으로 구성
- ☐ MTDC 시스템과 DC망에 더 적합한 특징을 가진 MMC 기반 컨버터에 대한 연구 및 개발이 진행 중

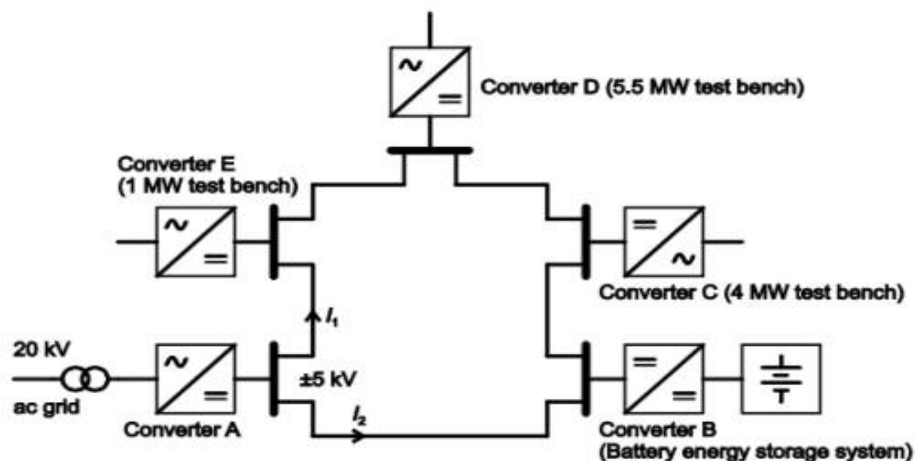
(2) 국내 동향

- 효성중공업, LS산전 등 국내 대기업에서는 HVDC, STATCOM 중점을 두어 연구개발 및 실증을 일부 진행
 - MVDC 전력변환 시스템 관련된 연구개발을 수행하고 있지 않으며, 일부 대학에서 선행적으로 연구를 수행하고 있음
- 2015년부터 일부 대학과 정부출연연구소에서 단상 13.2kVac 입력과 1500Vdc 출력을 가지는 LVDC용 SST 시스템 시제품을 개발
 - 2018년부터 3레벨 고주파 변압기 기반 3상 22.9kVac 입력과 1500Vdc 출력 구조를 가지는 MVAC/LVDC용 SST 시스템에 대한 연구도 진행되고 있음
 - 대학에서는 주로 HILS 시스템을 활용하여 멀티터미널 구성 시 신뢰도를 중점으로 연구 중(유효전력 출력 변동, AC 계통의 3상 지락사고에 의한 영구 고장 시나리오 등)
- 한전에서 “직류기반 도서 지역 분산 전원 및 부하 연계 시스템”을 구축(2016 ~ 2018)
 - 저압 직류배전이 가능하도록 기존 AC 13.2kV 특고압을 750V 저압으로 전환하였고, IDC, EV 충전 빌딩 등 DC 20kV급 전력 공급에 대한 사전 연구를 수행
 - 연구내용을 바탕으로 배전망 관점에서 직류 도입의 타당성 및 적정 시스템 사양 등을 결정하는 후속 연구가 진행 중임

특고압 직류수전용 2MW급 모듈형 컨버터스테이션 기술개발

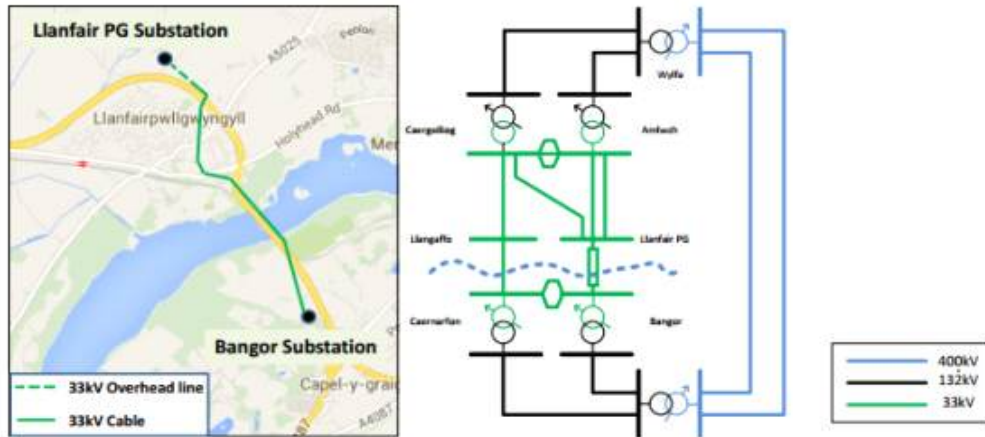
(1) 해외 동향

- 미국 정부 기관인 ARPA-E에서는 MVDC 배전시장 확대의 기술적 장애물 돌파 목적으로 2018년 MVDC 차단기 및 WBG 전력반도체 분야 개발에 35백만 달러 투자
- RWTH Aachen University에서 새로운 분원을 MVDC 전력망 형태로 건설
 - 독일의 E.ON Energy Research Centre는 RWTH Aachen University와 MVDC 기술 개발을 위해 발족된 연구기관
 - 전력용 반도체 응용 변압기, 고효율 전력 변환기, DC 케이블 및 MVDC급 기술을 개발해 10MW 용량의 MVDC 배전 실증선로 건설을 추진
 - BESS와 연계하여 약 20kV의 전압 레벨로 배전계통을 구성하여 선로 규격에 따른 전력 전송량, DC 전압 제어 기술, DC 조류 계산, 보호 장치, 고장 분석에 대해 다방면으로 연구하고 실증 중
 - 주요 MVDC 프로젝트 테마는 ①순수 직류 및 교류와 직류의 하이브리드를 기획하는 직류계통 연구, ②전력전자 시스템, 중주파수 변압기, 선로, 차단기 등 MVDC 컴포넌트 연구, ③실시간 시뮬레이션을 포함하는 자동화와 제어 기술 연구, ④ MVDC 연구용 계통 구축임



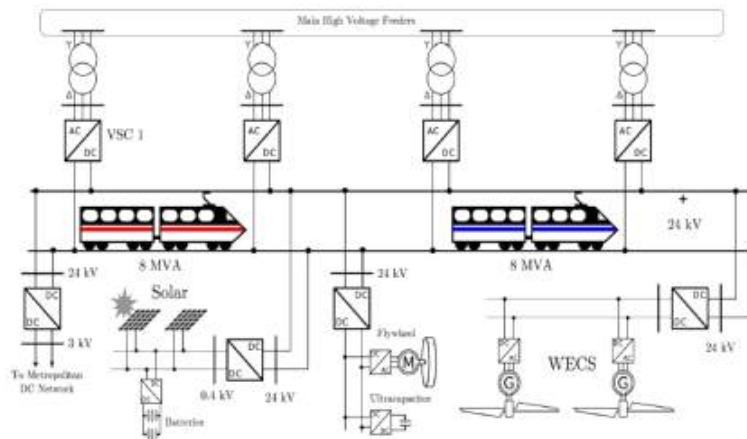
[그림] RWTH Aachen University의 MVDC 전력망 다이어그램

- (스코틀랜드) SP Energy Networks에서는 ANGLE-DC 프로젝트를 통해 Llanfair PG 변전소와 Bangor 변전소까지 MVDC로 설치
 - 50Hz의 AC에서 DC로 변환하여 30MW 규모의 직류배전 사업을 추진 중



[그림] Llanfair PG 변전소와 Bangor 변전소 사이의 33kV 선로

- (스페인) AC 기반 철도용 전력 공급 시스템에서 신재생에너지원과 에너지 저장장치 기반의 MVDC 시스템이 상호 연계되는 신규 시스템 설계를 완료



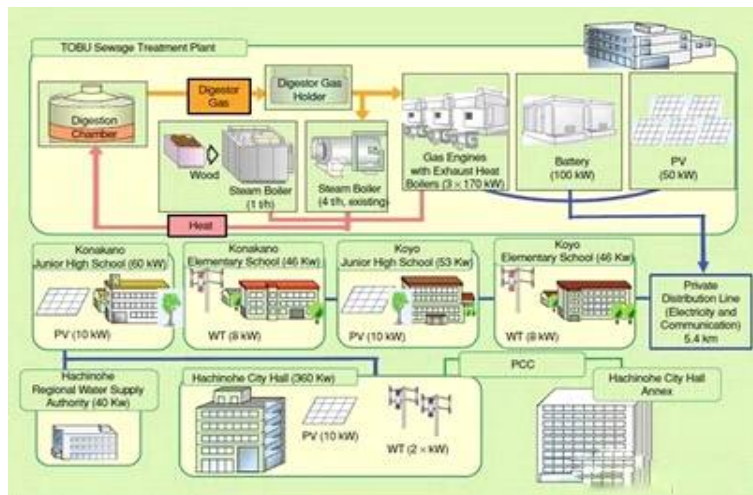
[그림] 전압형 전력변환장치기반 MVDC 구성도

- (영국) Power Networks Demonstration Centre(PNDC)가 Scottish Power Renewables(SPR), SP Energy Networks, Iberdrola Renewables and Scottish Enterprise로부터 지원을 받아 MVDC 데모 시험 프로젝트 수행('13)
 - 프로젝트는 MVDC 기술의 현재와 미래의 요구를 이해하기 위한 프로젝트로

5가지 주요 응용 분야를 설정

- ①높은 전력의 직류 부하를 갖는 빌딩을 위한 직류 네트워크, ②선박용 직류 분산 네트워크, ③분산 네트워크의 보강 솔루션, ④내륙의 재생 발전, ⑤HVDC 배전망과의 연계

□ (일본) 분산 전원(태양광발전, 풍력발전, 바이오에너지 등)을 이용하면서 대형 송전시스템과 연결되는 직류배전 Hachinohe 프로젝트 진행 중



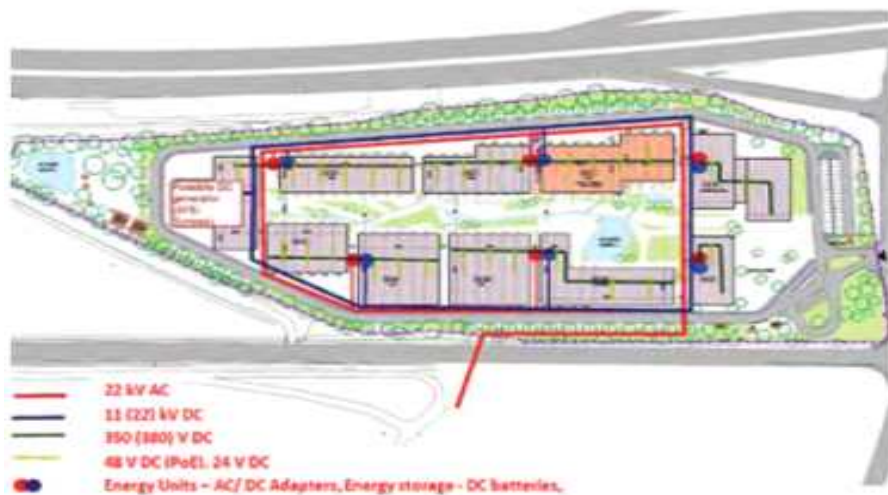
[그림] 일본 Hachinohe 프로젝트

- NEDO의 지원으로 NTT에서는 센다이 프로젝트를 통한 마이크로그리드 실증사업에서 신재생원의 직류연계를 실증
- 직류 IDC 사업 이후 현재는 스마트 커뮤니티를 위한 직류배전 실증사업을 추진 중

□ (중국) 다수의 MVDC 프로젝트 수행 중

- 해양석유총공사(China National Offshore Oil Corporation, CNOOC)는 2010년 ~ 2013년에 문창 인근의 해상 플랫폼과 지상 플랫폼 사이의 해저케이블 복구에 관한 MVDC 프로젝트 수행
- 중국의 RXPE는 약 30km 거리에 나뉘어 있는 석유 굴착용 플랫폼을 10kV 직류 시스템으로 연결하는 프로젝트와 복잡한 도심지의 전력 공급을 위한 MVDC 기술 적용을 증명하기 위한 데모 시험 프로젝트를 진행 중

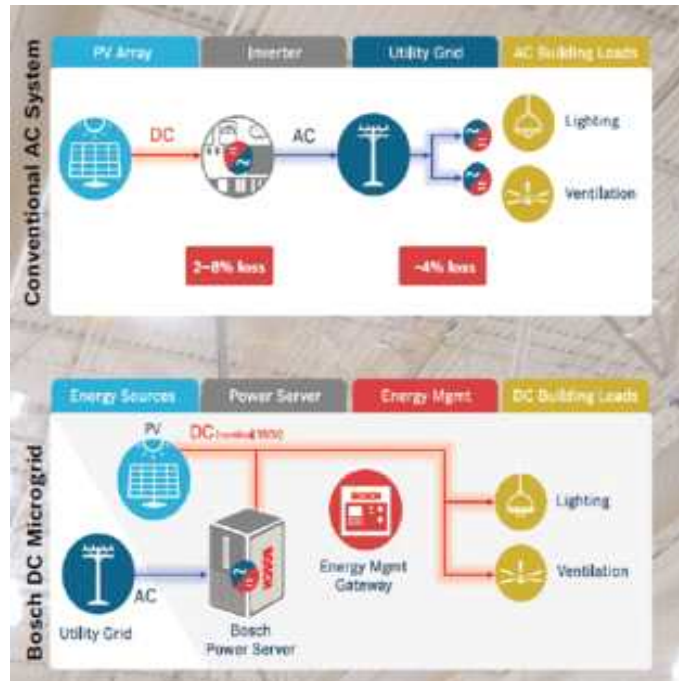
- 해상 석유 발전소와 지상까지 전력 전송을 위해서 DC 10kV point to point 배전 방식을 개발하여 적용하였으며, 청화대 및 저장대와 합작으로 전압형 MVDC 국가 프로젝트를 진행 중
- (ABB社) MVDC-LVDC 실증사업을 추진하고 있으며, 향후 MVDC 배전시장을 고려하여 전력변환장치, 차단기, 개폐기 등의 기기를 개발 중
- ' 13년부터 Nupharo Park 프로젝트를 통하여 MVDC-LVDC 통합 전력 공급 모델 실증사업을 추진하고 있으며, DC 기반의 새로운 비즈니스 모델도 발굴 중



[그림] Nupharo Park 프로젝트 개념도

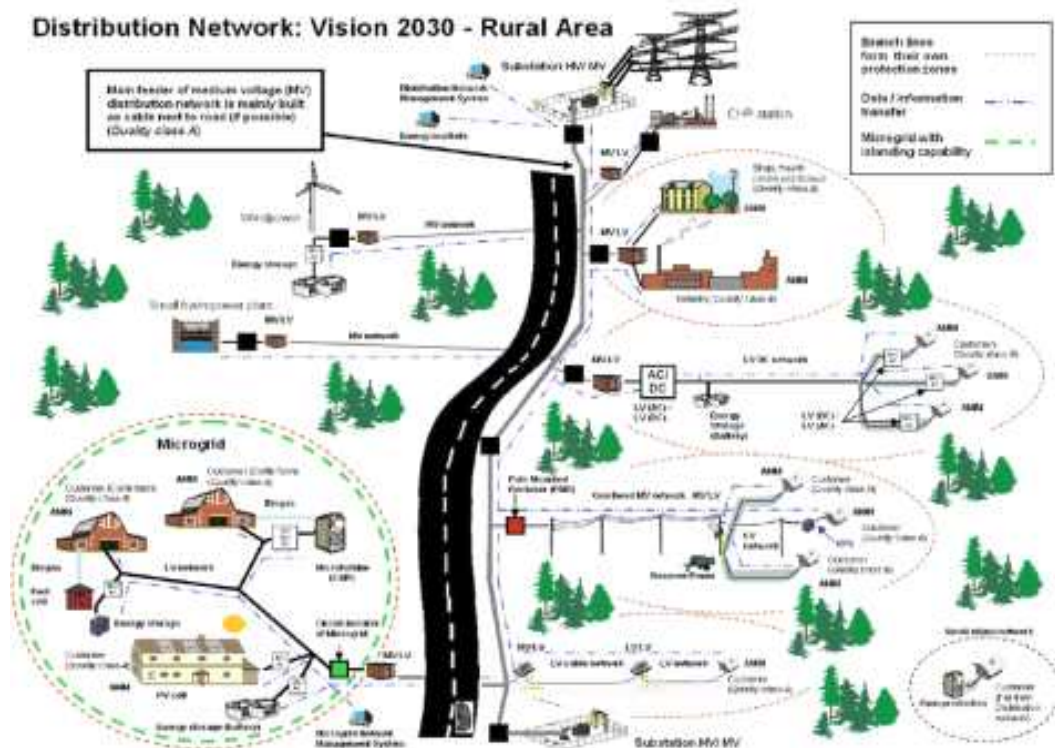
* 자료 : Journal of the Electric World, 2015.07

- 또한, 덴마크 풍력발전소 그리드에 9kV 배전 방식을 적용하였으며, DC 20kV 고압 배전선로와 DC 380V 저압 배전선로에 필요한 AC/DC, DC/DC 전력변환장치와 차단기, 개폐기 등의 MVDC 전력기기를 개발 중
- (Siemens社) HVDC PLUS의 축소형인 MVDC Plus를 2017년 출시하여 50kV, 150MW, 200km까지 DC 송전이 가능하다고 홍보 중
- (Bosch社) 직류 전력 공급망 구축 시 기존의 AC 시스템 대비 효과를 검증하는 프로젝트를 수행하였으며, 캘리포니아에 있는 Honda 자동차의 플랜트를 위한 직류 전력망 구축을 수주함



[그림] Bosch의 AC와 DC 시스템의 비교

- (VTT) 핀란드 국립연구소로 ‘Distribution Network 2030’에서 향후 배전망 구축에서 고전압 직류 도입의 필요성을 제시함



[그림] Visionary Network 2030 for rural area - Rural Area, VTT

(2) 국내 동향

□ HVDC 및 LVDC 대비 기술 개발이 미흡한 상태

- LVDC 배전시스템은 현재 실증단계에 있으며, 태양광 및 ESS와 연계가 용이한 특징이 있음
 - DC 데이터센터, DC 마이크로그리드 시스템 설계/운영기술 연구개발 활발
- MVDC 배전시스템은 현재 개발 기술이 미비한 상태이며, 표준화 및 개방형 전력망 아키텍처 구축 단계에 있음

□ 전압형 HVDC 기술을 응용한 MVDC용 기술 개발

- 효성중공업은 전압변경이 용이한 전압형 HVDC 기술을 보유하고 있으며, 이를 응용하여 2017년 20MW, $\pm 12\text{kVDC}$ 의 해상 풍력 연계용 전압형 직류송전 시스템을 구성한 바 있음
- LS산전은 전류형 HVDC 제품 및 효성과 유사한 전압형 MMC HVDC 제품을 보유하고 있어 MVDC 전력 변환기 개발이 용이한 편이며, MV급 DC 차단기 기술을 보유하고 있음

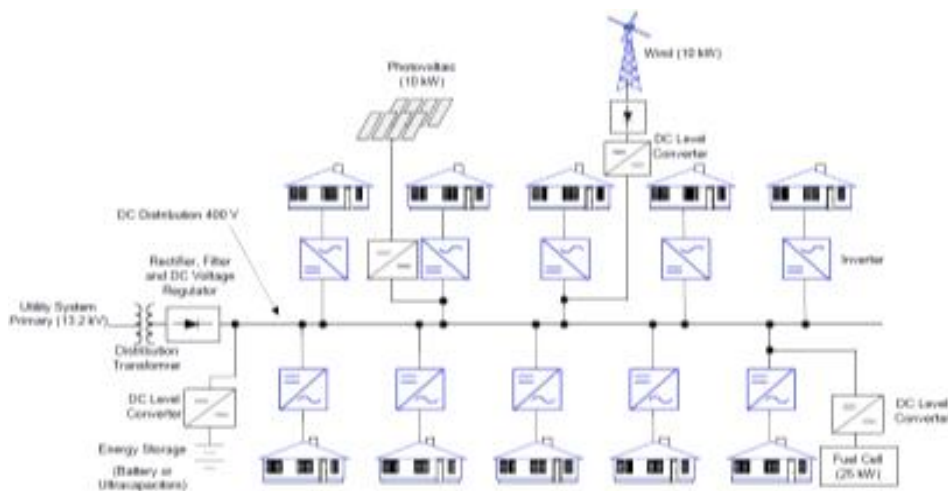
□ LVDC 기술을 확장한 MVDC용 기술 개발

- 현대일렉트릭은 선박과 상업용 빌딩에 적합한 LVDC 기술을 보유하고 있으며, LV PEBB* 모듈을 Cascade로 확장한 MVAC 제품 및 LVDC와 MVDC에 모두 대응 가능한 Solid State Transformer 및 Solid State Circuit Breaker 기술을 보유함

* PEBB(Power Electronics Building Block) : 산업 통신 등을 통한 제어가 가능하도록 최적 표준화 설계된 단위 컨버터 모듈

(1) 해외 동향

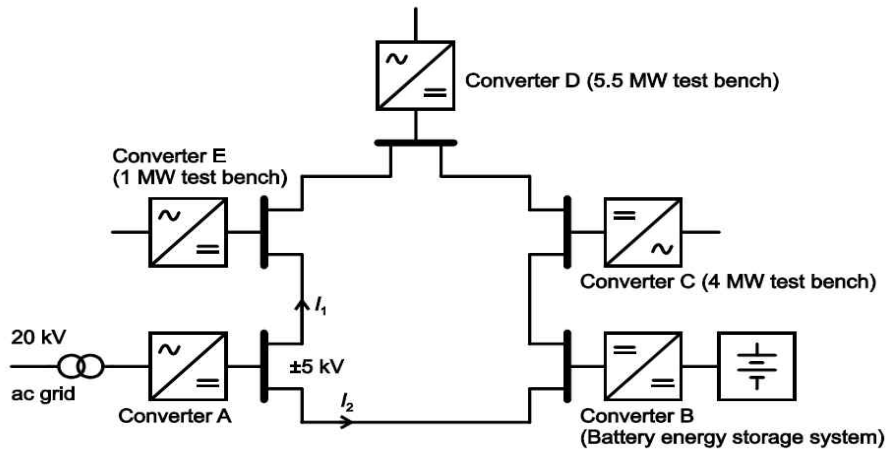
- (미국) EPRI에서는 디지털 부하의 급증에 대비하여 MicroGrid의 구성 방식으로 교류와 직류계통을 동시에 선정하였고, 이미 다양한 전압의 직류 공급이 가능한 지능형 다기능 변압기를 개발, '09년 시제품을 제작하였음



[그림] DC 마이크로그리드 개념도(EPRI)

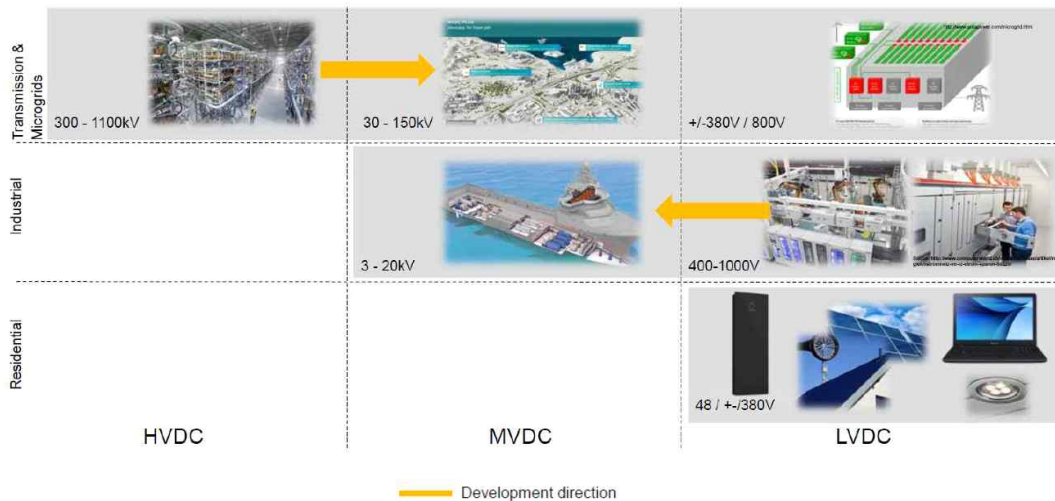
- (미국) 해군을 중심으로 선박용 전력 시스템의 MVDC 표준화
 - 미 해군은 '15년 11월에 선박용 전원 시스템 표준인 MIL-STD-1399에 LVDC와 MVDC 전원체계에 대한 새로운 섹션을 추가
 - 미국 전기표준인 IEEE에 선박의 MVDC 사용을 위한 표준이 마련되어 있음 (IEEE 1709)
- (독일) RWTH Aachen University에서 해상 풍력 단지에서 5kV multi-terminal-system을 연구
 - 캠퍼스 내 각종 연구용 확장 부지에 약 6.2MW 규모의 $\pm 5\text{kV}$ 의 DC 배전망 구축을 계획하였으며, 2018년 3월 구축을 시작함
 - 다단자 구조에서 각 컨버터의 제어 기법에 대한 연구를 활발히 진행하였으며, 관련 연구를 선도한 그룹 중 하나임

- MVDC와 관련하여 전력망 계획 및 운영, 자동화 및 제어, 표준화 및 규제, cloud 플랫폼, 에너지 변환, 그리고 경제성 검증에 대한 연구를 위해 실증단지 조성 중



[그림] Aachen university 내 ring 구조의 MVDC 단선도

□ (독일) SIEMENS社의 HVDC-MVDC-LVDC 개발



[그림] SIEMENS社의 HVDC-MVDC-LVDC 개발

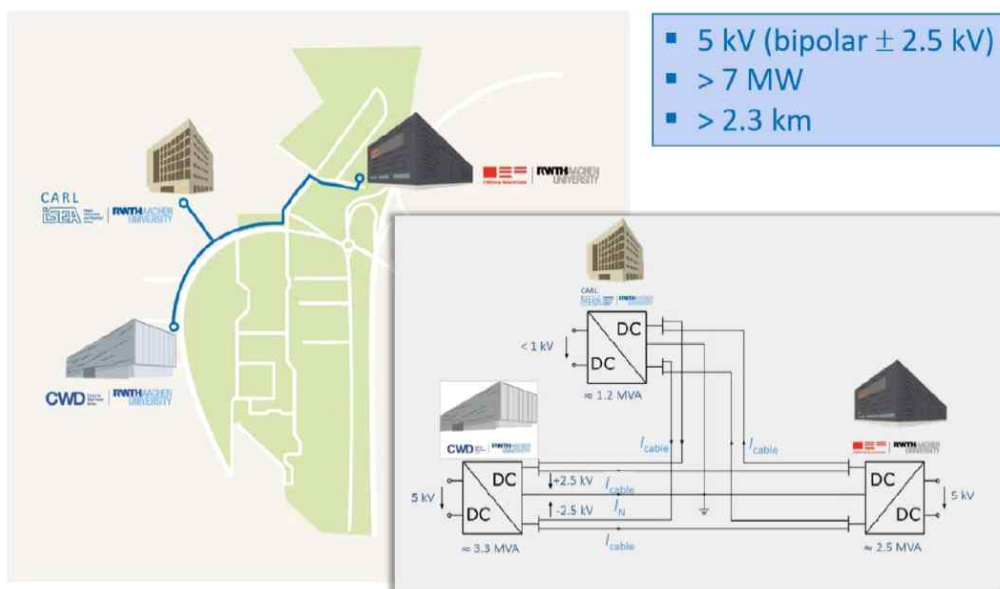
- SIEMENS는 HVDC 개발을 통해 상승된 기술력을 기반으로, 최근 MVDC 시장에 진출하였으며, 자사 MVDC 기술을 MVDC PLUS라 명명함
- 독일에서는 이미 성숙된 제품으로 적어도 2개 이상의 유틸리티 그리드에서

적용이 되고 있음

- * Karlsruhe, Germany : 1.2 MVA, Back-to-Back for Stadtwerke Karlsruhe
- * Ulm, Germany : 2 MVA, Back-to-Back connection

□ (독일) FEN Research Campus의 MVDC 그리드

- 2014년에 Flexible Electrical Networks(FEN) Research 캠퍼스가 독일연방교육연구부(BMBF)의 지원으로 설립되었으며, 2013년부터 사전 연구를 마친 FEN은 DC 기반 그리드 기술을 연구하고 개발에 착수함
- 그 활동의 일부로 MVDC 기술 실증 및 구성요소, 동작 및 제어 테스트를 위한 multi-terminal MVDC 배전 그리드를 구축
- 주요 사양으로는 5kV의 레일-투-레일 작동 전압, 총 설치된 터미널 전력 7.6MW 및 총 라인 길이 2.5km임
- 그리드의 디자인은 마무리되어 2018년 초에 건설이 시작되었으며, 공사는 2018년 중반에 완료, 그리드 시운전은 2019년에 이루어짐

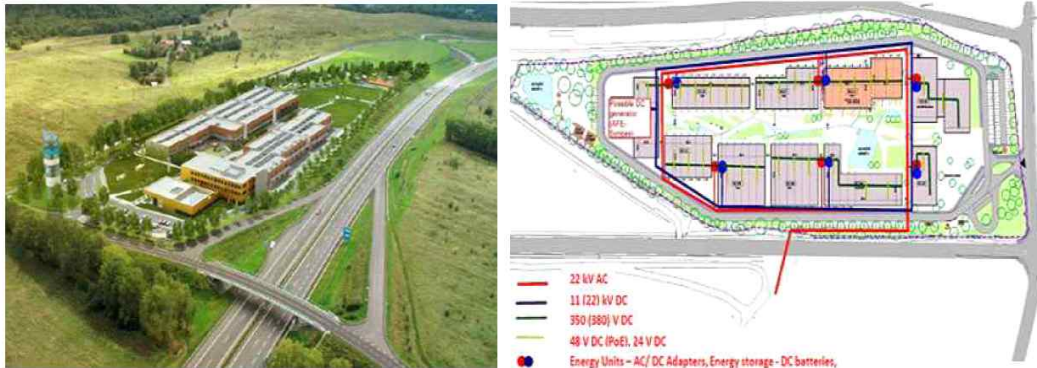


[그림] FEN Research Campus의 MVDC 데모 그리드의 개요 및 구성

□ (스위스) ABB社의 MVDC-LVDC 연계 실증 및 개발

- MVDC-LVDC 연계 실증사업을 추진으로 MVDC-LVDC 연계를 통한 DC 비즈니스 모델 검증

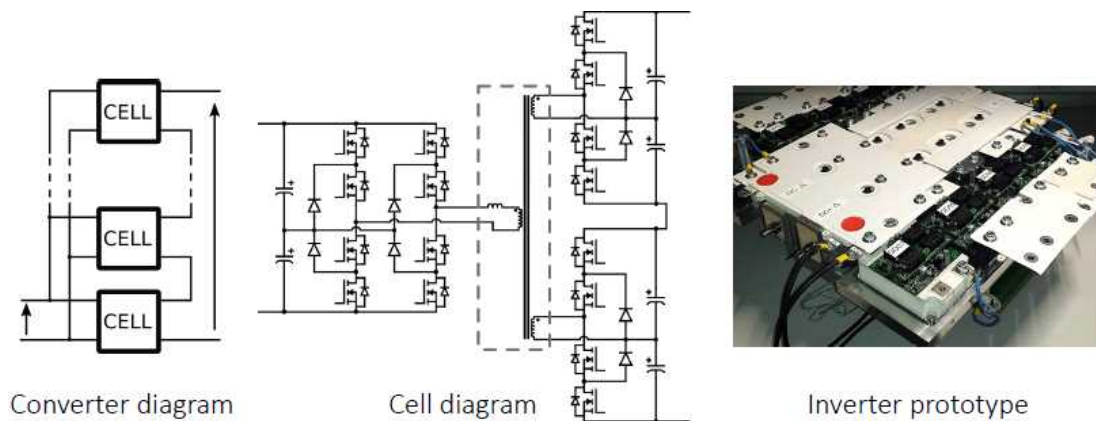
- 스마트 에너지와 DC 기술을 접목한 DC 캠퍼스 구축



[그림] ABB社の MVDC-LVDC 연계 실증사이트

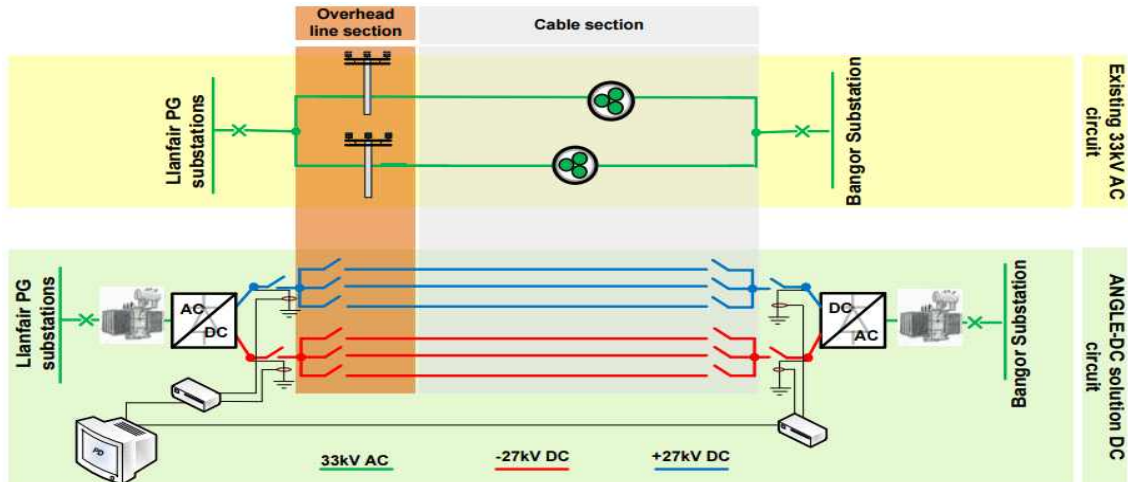
- (프랑스) MVDC DC-DC CONVERTER TECHNOLOGY The building block of future MVDC grids

- 프랑스 SuperGrid Institute의 MVDC용 DC-DC 컨버터 개발



[그림] SuperGrid Institute의 MVDC DC-DC convertier 기술

- (영국) Anglesey 프로젝트의 경우, 기존 배전망의 늘어나는 수요와 분산 발전의 보급 확대에 따라 기존 선로 보강을 통한 전력망 보강 및 신재생 전원 연결을 위해 North Wales의 Anglesey 섬과 본토를 연결하는 MVDC 적용



[그림] Angle-DC 프로젝트의 기존 전력망과 계획 중인 MVDC 전력망 단선도

□ (일본) 미쓰비시社의 DC load 개발 및 실증사이트 구축 (' 15. 9. 14.)

- 투자자금 5억 엔, 건물 면적 180m² 규모로 MVDC 개발 및 실증시설 구축

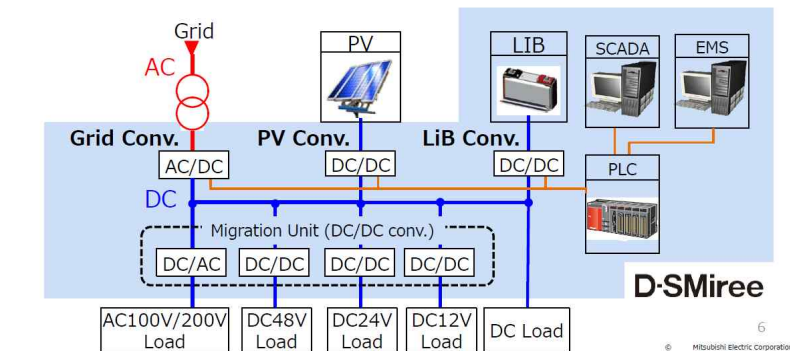


DC Distribution Systems

confidential

Main Parts Explained

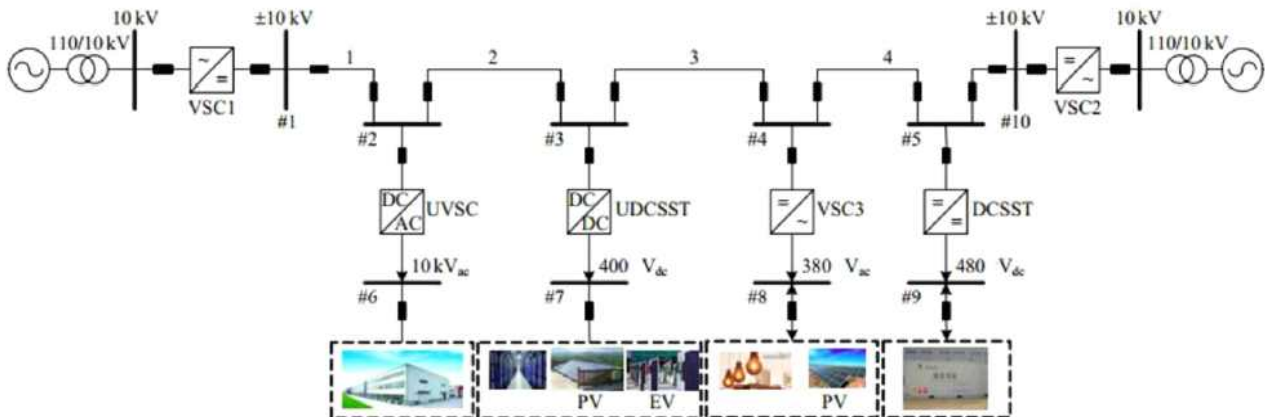
- ① Grid Rectifier converts commercial power to DC and regulates DC bus voltage.
- ② LiB Converter converts LiB DC voltage to bus voltage. Via EMS controls charge/discharge.
- ③ PV Converter connects power generated by PV to DC bus.
- ④ SCADA & EMS for planning of charge/discharge LiBs base on generation & load demand forecast.
- ⑤ Migration Unit (DC/DC converter) converts voltage to each load requirement.



[그림] 일본 미쓰비시社의 MVDC 배전시스템

□ (중국) Shenzhen Baolong Industrial Park의 유연 DC 배전 프로젝트는 110kV Biling 변전소 및 110kV Danhe 변전소를 주전원으로 사용하는 2-terminal 네트워크 토폴로지를 채택

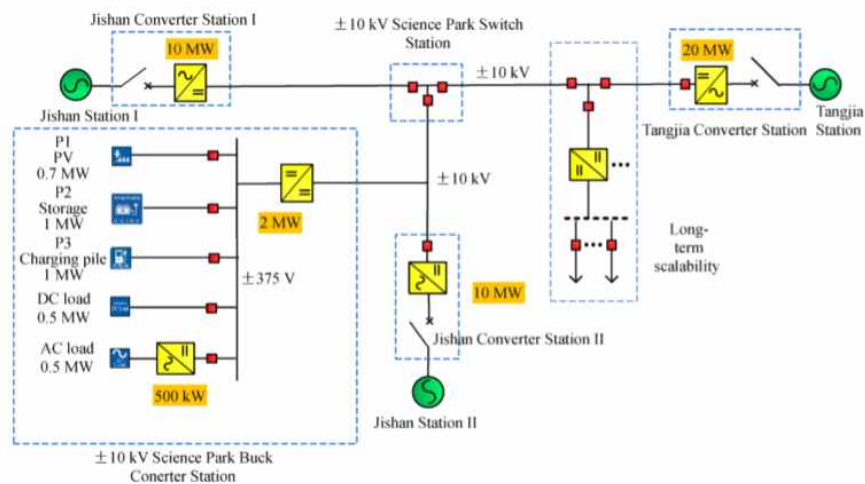
- VSC 변환기를 통해 2개 변전소의 10kV 버스에서 전력을 흡수하여 DC 시스템에 대한 에너지를 제공하고 DC 시스템 로드의 전력수요를 충족



[그림] Shenzhen Baolong DC 배전 프로젝트의 네트워크 토폴로지

□ Zhuhai 내 MVDC 배전망 구축

- Tangjiawa science park 내 three-terminal 구조 (3개 지점에서 AC 계통과 VSC를 통해 연계)의 $\pm 10\text{kV}$ MVDC 배전망 구축 중
- MVDC 배전망 운영에 local 제어부터 협조제어, 최적제어까지 기존의 계층 운영구조를 차용하고, 각 계층별 MVDC의 기능을 정의함



[그림] Tangjiawa MVDC 배전망 구성도

(2) 국내 동향

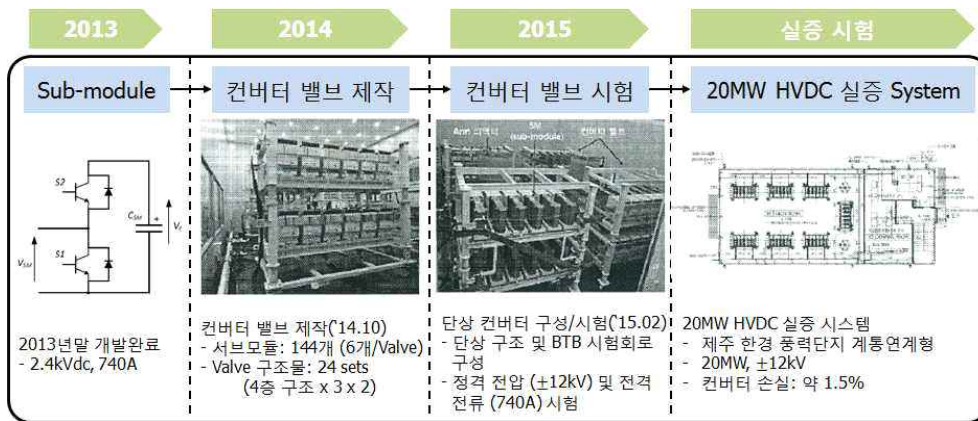
- 한국전력은 ‘DC 배전 기술 개발 및 확대 기본계획(2016-2023)’을 수립하여 3단계에 걸쳐 추진 중이나 현재까지는 저압 LVDC 중심의 추진
 - 1단계(2016-2017) : 광주전남지역 망월, 반암 등 5개의 13.2kV 배전선로 (5.7km)를 DC 750V 저압으로 전환하는 저압 DC 배전 모델을 구축해 DC 전원 공급기술력 확보
 - 2단계(2018-2020) : 스마트 DC 홈 빌리지 개발과 20kV급 특고압 MVDC 기술 개발
 - 3단계(2021-2023) : 특고압 DC 전력 공급을 상업화하여, 도심지 대용량 빌딩에 대해 DC 20kV로 전력을 공급할 계획이며, IDC 및 EV충전 빌딩 등 DC 전력 공급 기반의 비즈니스 모델 구축
- 한국전기연구원은 전력연구원과 공동으로 장거리 선로의 직류배전에 대한 공동연구를 수행하여 관련 전력 변환기 개발



[그림] 전기연구원 LVDC 시스템 기술 현황

□ 효성중공업

- 20MW급 Pilot 실증 프로젝트를 통해 컨버터 및 제어시스템 제작/실증, 시스템 엔지니어링 등의 핵심 기술 확보
- 확보된 HVDC의 핵심 기술을 기반으로 MMC STATCOM 자체 제작 및 납품, 대용량 200MW 시스템 한전 납품을 통해 Reference를 확보하여 HVDC 해외 시장 진출을 목표



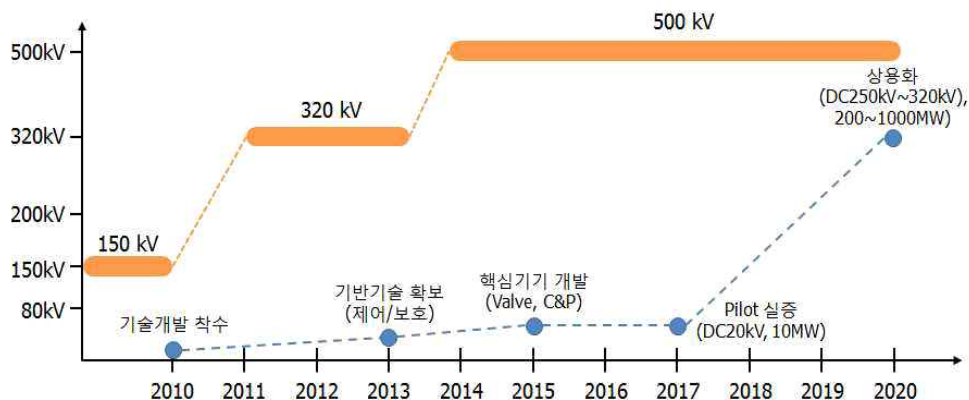
[그림] ±12kV, 20MW급 HVDC 개발



[그림] 효성중공업 기술 개발 로드맵




□ LS산전

- 2013년 DC 20kV급 개발
- 2017년 10MW급 Pilot 개발
- 2020년 DC 320kV, 1GW급 상용화 목표
- LS산전의 대용량 전력 변환기 포트폴리오를 살펴보면, LV-MV range (~100kV-200MV rating), MV-HV range(~600MV-200MW rating), MV-HV range, MV-HV range(~100Mvar-675Mvar rating)
- STATCOM용 MMC Valve를 살펴보면 우선 개선사항으로 운전전압 2.2kV에서 2.4kV로, Bypass S/W 동작 속도 개선: 3.0ms→2.6ms, 방폭 구조개선: 재질 및 가스방출 구조 수정, 직류 캐패시터 접속단자 변경: Sliding Clip 방식, 서브 모듈 장착 구조 변경: Suspending sliding→Cradle sliding 등



[그림] LS산전의 기술 개발 로드맵

□ 국내 인프라 구축 현황

구분	구축 현황
<p>한전 고창 DC 배전 실증사이트</p> 	<ul style="list-style-type: none"> □ 한전은 고창 PT 센터 내에 1.5kV 이하의 저압 직류 배전망 통합 실증인프라를 구축하고 운영 중 <ul style="list-style-type: none"> - 『DC 배전 실증인프라』는 총 4C-km의 모의 선로로 구성되며, 태양광 및 ESS 등 신재생에너지를 연계하고 DC Home 및 DC 부하 연계를 통하여 발전원부터 부하까지 직류 배전망을 구축 - 이를 통해 분산 전원 DC 연계 및 조류제어 기술을 검증하고, 전력변환장치 등 다양한 DC 배전 기술을 실증 가능
<p>서거차도 설비구성도</p> 	<ul style="list-style-type: none"> □ 한전은 LVDC 시험선로를 서거차도에 ±750V의 직류 배전망을 구축하여 신재생에너지, 에너지 저장 장치와 연계하여 직류 전력을 수용가에 공급하는 DC 독립섬 비즈니스 모델 개발을 준비 중 <ul style="list-style-type: none"> - 2014년 8월~2017년 7월까지 태양광 110kW, 풍력발전 100kW, ESS 500kWh로 에너지 자립섬 구축, 이후 DC 전력 공급방식의 상용화에 대비한 전남 서거차도 저압 직류 배전망 독립섬 실증사업을 진행 - 2019년 8월에 발전원과 배전망 모두 100% 직류를 사용하는 '직류 아일랜드(DC Island)' 실증 완료
<p>전문시험평가단지 구성도</p> 	<ul style="list-style-type: none"> □ 산업용 직류기기(차단기/개폐기) 절연·성능평가 기반 구축을 위한 전문시험평가단지 조성 <ul style="list-style-type: none"> - 직류(DC)전원을 사용하는 직류기기 및 요소 부품의 성능, 안전성 및 신뢰성 등 종합평가(Robust Validation)를 위한 시험/평가/실증 기반 구축 - 장비설비구축 : 직류단락시험설비, 환경신뢰성시험설비, 절연물시험평가설비 등 전용 시험설비 29종 - (관련 제품) 직류(고압)차단기, 직류(고압)개폐기, 직류(고압)단로기, 직류(고압) 케이블, 직류 전용 커넥터, 전력용 반도체 등
<p>에너지신산업 규제자유특구 MVDC</p> 	<ul style="list-style-type: none"> □ 최근 중소벤처기업부의 규제자유특구지정사업 내 대용량 분산 전원 연계를 위한 ±35kV급 MVDC 실증인프라 구축을 추진 중 <ul style="list-style-type: none"> - ±35kV 전압형 MMC MVDC, Monopole 구성, PTP 방식 - 대용량 분산 전원(연료전지 20MW, 태양광발전 30MW) 연계 - MVDC Station 연계 DC 선로 길이 총 3~5km 구간 구축 - Station 1개소만으로 ±35kV급 30MW(1회선) 전송 실증 완료 구간 - IoT 연계 및 SCADA 실증, TOC 1식 구축 등

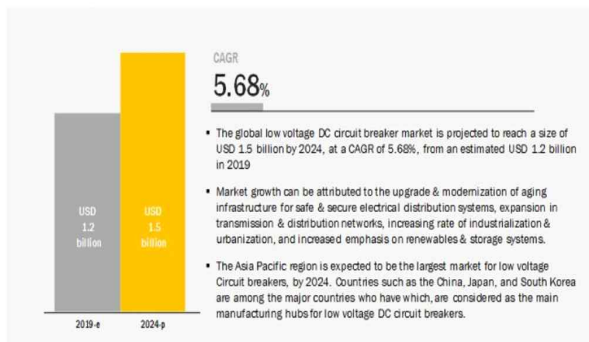
특고압 직류배전용 직류차단 기술개발

(1) 해외 동향

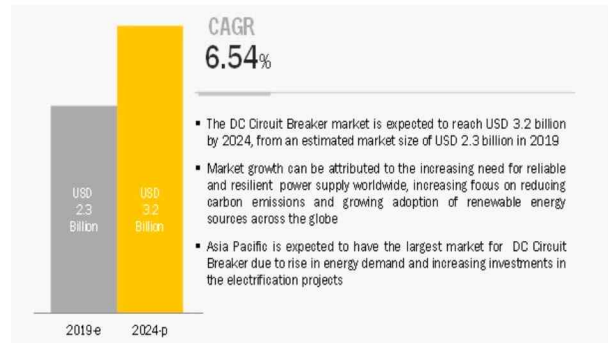
□ 시장 동향

- 2019년 기준 전 세계 LVDC 차단기 시장은 12억 달러, MV/HVDC 차단기 시장은 23억 달러로 추정
- 2024년까지 LVDC 차단기 시장은 15억 달러(CAGR 5.68%), MV/HV DC 차단기 시장은 약 37억 달러(CAGR 6.54%) 규모에 이를 것으로 전망

Attractive Opportunities in the Low Voltage DC Circuit Breaker Market, 2019-2024



Attractive Opportunities in the Dc Circuit Breaker Market


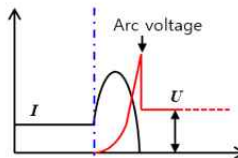

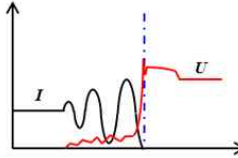

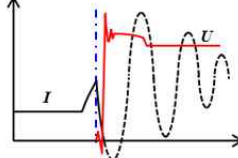
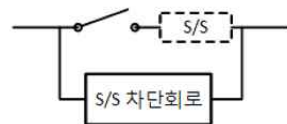
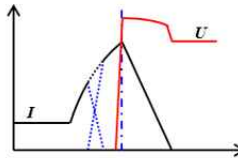


[그림] MV/HV DC 차단기 시장 현황 및 전망 [그림] MV/HV DC 차단기 시장 현황 및 전망

- 전압 수준에 따른 시장 점유율 전망의 경우 MV(media voltage) 분야가 DC 차단기 시장에서 가장 큰 부분을 점유할 것으로 예상
- 전기 인프라 개발 증가, 재생 가능한 통합 프로젝트에 대한 투자 증가, 효율적 수요, 안정적인 전력 공급에 대한 수요 증가 때문임
- 아시아에서는 중국이 신재생 보급 확대 MV/HVDC 프로젝트 증가로 DC 차단기 분야 시장을 주도할 것으로 예상
- 유럽 지역은 스마트 그리드 기술에 대한 투자증가, 신재생 기반의 MVDC 개발에 따른 MVDC 차단기 수요 증가가 예상
- 북미지역은 기존 설비 노후화에 따른 T&D(Transmission & Distribution) 인프라 교체 및 현대화가 요구되어 MV/HVDC 확대로 DC 차단기 도입이 예상

□ 기술 동향

- 고압 직류 차단은 다양한 방식이 있으며, 학계에서 발표된 바를 일반화하여 정리하면 크게 아래와 같이 역전압 방식(기계식 차단), 공진형, 역전류 주입형, 복합형 차단 등으로 구분할 수 있으나, 이에 파생되는 다양한 방식들이 존재함

구 분	특 징	구 성	비 고
Inverse Voltage 	<ul style="list-style-type: none"> - 접점 개방시 발생하는 아크를 분할, 확산하여 아크 전압을 전원전압보다 높게 함으로 전류를 0으로 감소 시킴 - 아크전압과 에너지의 소산이 매우 큼 ; 수 kV이하 적용 (고압화 불리) 		DC MCCB, 철도용 DCCB
Current Oscillation 	<ul style="list-style-type: none"> - L-C 공진회로 이용 - 접점 개폐 시 발생하는 고주파 진동전류를 확대시켜 전류 영점 발생 - 차단시간이 느려(수십ms) 주로 개폐기에 적용 		Metallic Return Transfer Breaker
Inverse Current 	<ul style="list-style-type: none"> - 사전 충전된 커패시터를 통해 고주파 역전류를 직류전류에 중첩, 전류영점 발생. - 인덕터와 공진을 통하여 역전류 증폭 - 별도의 충전회로로 인하여 타 방식에 비해 구성 복잡 		1500V역전류형 DCCB (VCB적용)
Hybrid 	<ul style="list-style-type: none"> - Turn-off 기능이 있는 전력용 반도체(S/S)를 활용 - Full S/S 방식과 기계식 S/W와 조합되는 Hybrid 방식 등으로 구분 - 고속 동작성능 구현 - 고압화 유리 		

[그림] DC 차단 기술 방식의 분류

- ABB, GE(구 Alstom), Mitsubishi, C-EPRI, CSG 등이 HVDC 차단기를 개발하고 있으며 공통적으로 기계식 고속스위치와 전력용 반도체로 구성
- 대부분 Prototype 형태로 개발되었으며, 규격 및 시험방법 등이 확립되지 않은 상태이지만 관련 개발기관들을 중심으로 규격(안) 및 시험방법 등에 대한 연구가 진행 중

	ABB	GE	C-EPRI	CSG	Misubishi
방식	Hybrid Mechanical	Hybrid Mechanical	Hybrid Mechanical	Current Injection	Current Injection
외관					
전압	80kV	120kV	500kV	160kV	160kV
TIV	120kV	160kV	810kV	272kV	250kV
차단 전류	9kA	5.2kA	25kA	9kA	16kA
차단 시간	5.5ms	5.5ms	2.5ms	<5ms	<7ms
특징	<ul style="list-style-type: none"> - UFD(2ms, 360kV) - Current Limiting Reactor 	<ul style="list-style-type: none"> - 설계용 수준 성능 시험 : Lighting impulse withstand (IEC 62271-1) - 10kA 이상 전류에 대한 구조물 저항력 검증 	<ul style="list-style-type: none"> - Zhoushan HVDC System 적용('16) - 200kV/15kA(3ms) - Zhangbei HVDC System 적용 예정 	<ul style="list-style-type: none"> - Nan'Ao HVDC System 적용('17) - Grouding fault test 수행 - Coupling 방식의 역전류 주입회로 구성 	<ul style="list-style-type: none"> - 역전류 주입을 위한 High Speed Making Switch 적용

[그림] 해외 주요 기업의 차단기 개발 현황

- MVDC 차단기 역시 기존 개발된 컨셉을 바탕으로 MV급에 적합한 구조의 차단기가 개발 중이며, AC 차단기와 마찬가지로 정격에 최적화된 방식으로 상용화 개발 진행
- 미국 DOE의 ARPA-E 프로그램 내 7개의 MVDC 차단기 연구개발과제를 진행 중에 있으며, 원천기술 확보, 기초연구 강화, 파괴적 혁신의 창의성을 지향하기 위한 연구개발 프로그램으로 ARPA-E(Advanced Research Projects Agency - Energy)* 운용

* 2019년 APRA-E는 3,500백만 불을 지원하여 MVDC의 기술적 장점을 활용한 계통의 신뢰성, 안정성 및 효율성을 높이기 위한 새로운 12개의 신규 프로젝트를 개시함(7개 MVDC 차단기 연구개발과제 포함)

<표> 미국 DOE ARPA-E 내 MVDC 차단기 연구개발과제명 및 연구개발기관

기관명	연구개발과제명
Drexel University	Resonant Solid-State Breakers Based on Wireless Coupling in MVDC Systems
Eaton Corporation	Ultra-Efficient Intelligent MVDC Hybrid Circuit Breaker
General Electric (GE) Global Research	Inline Gas Discharge Tube Breaker for Meshed MVDC Grids
Georgia Tech Research Corporation - EDISON	Efficient DC Interrupter with Surge Protection
Marquette University	Ultra Fast Resonant DC Breaker
Sandia National Laboratories	ARC-SAFE: Accelerated Response semiconducting Contactors and Surge Attenuation For DC Electrical systems
The Ohio State University	T-Type Modular DC Circuit Breaker (T-Breaker) for Future DC Networks

(2) 국내 동향

□ 시장 동향

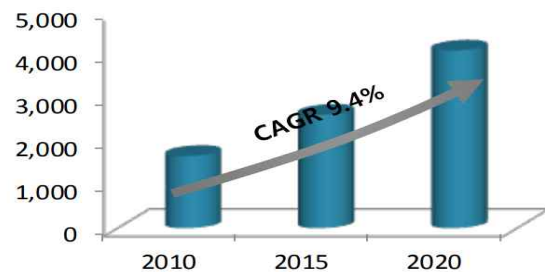
- 국내 전기산업 내에서 차단기 시장 규모는 약 5% 비중을 차지
 - * 직류배전용 전력기기의 수요 증가, 기술 융합을 통한 신시장 창출, 안전성 확보 등의 이유로 직류차단기 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상하고 있음
- 국내 차단기(교류, 직류)의 연평균 성장률은 약 9.4%로 2025년에는 6,450억 원의 시장을 형성할 것으로 예측 가능

(단위: 억 원)

구분	2010	2015	2020	연평균 성장률
차단기	1,674	2,628	4,117	9.4%
Total	38,276	46,265	56,018	3.9%

국내 차단기 시장 규모 및 전망

Source 통계청, "2014 국내 전기산업 전망" 재가공



[그림] 국내 차단기 시장 규모 및 전망

- 국내 대표적인 DC 차단기 시장은 직류 전기철도 구간이며, 국내 철도에 적용된 차단기는 약 1,500대로 조사됨
 - * 해당 가격을 약 7,000만 원으로 가정할 경우, 약 1,000억 원 시장 규모임

<표> 철도 운영구간별 DC 차단기 적용 규모

운영구간	서울교통공사 1~8호선	부산교통공사 1~4호선	부산김해경전철	대구도시철도공사 1~2호선	광주도시철도공사	대전도시철도공사	총계
DC 차단기(대)	872	299	60	177	69	59	1,536

* 자료 : 「통계로 보는 한국철도」, 2017. 12., 한국철도기술연구원

□ 기술 동향

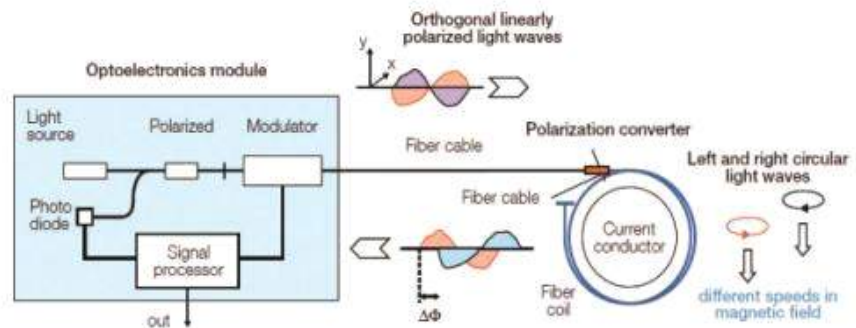
- 한국전기연구원(이하 전기연)과 LS산전에서 공동연구를 통해 80kV급 직류 차단 기술 개발 공동연구를 진행
 - * 80kV DC 차단기 설계, PT 제작 및 성능평가 시험을 수행하였으며, 이를 통해 DC 80kV/2000A급 차단 성능을 확보
 - * 하지만 설계 조건이 제한적이었고, 후속 HVDC 실증과제가 없었던 관계로 계통 운용조건 및 보호협조 관점에서의 차단 기술을 확보하지 못함
 - * 이를 위해선 관련 멀티터미널 HVDC 실증과제가 필요하나 투입비용이 크고 개발기간이 상당히 소요될 것으로 예상되므로, 배전급 규모의 차단 기술 개발 및 테스트베드 시험 운영을 통해 실 계통에 적합한 상용화 수준의 직류 차단 기술 개발이 필요함
- 효성중공업은 역전류주입 방식의 Prototype HVDC 차단기를 개발하였으며, 4.4kVpeak 차단 성능을 확보함
 - * 규격 및 후속 실증과제가 없어 이와 관련된 상용화 기술 개발 필요
- 인텍전기전자는 반도체 복합형 차단기를 개발하였으나, LV급(1500V)로 MV급 차단기 개발 및 상용화 기술 개발 필요

<표> 국내 주요 기업 차단기 개발 현황

기업명 (국내, 국외)	주요 특징	매출규모 (백만원)
LS산전 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 80kV Hybrid DC 차단기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - MV급 초고속 스위치, 전력용 반도체 제어 및 차단 기술 보유 ■ 송배전 전력기기, 전력 변환기 등 전력산업 관련 분야의 전반의 기술력을 보유한 기업 	2,484,978
효성 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 역전류형 고압 직류차단기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 4kVdc 차단 성능시험 완료 ■ 초고압, 시스템 엔지니어링 분야의 전반적인 기술을 보유한 기업 	2,180,485
인텍전기전자 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1500V 반도체 및 복합형 차단기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - LV급 반도체 차단 기술 보유 ■ 배전, 친환경, 전기철도, 원자력발전, 전력 IT 분야 등 전력산업 관련 분야의 전반의 기술력을 보유한 중견기업 	117,647

(1) 해외 동향

- 해외 ABB, Siemens 등과 같은 선진사의 경우, HVDC에 적용 가능한 센서를 개발하여 상용화하고 있으며, ABB는 광섬유의 패러데이 효과를 이용한 DC형 전류 센서를 상용화하여 HVDC, MVDC 시스템의 전류를 측정할 수 있는 제품군을 보유하고 있음
- 해외 HVDC/MVDC 선진사는 전동기 진단의 경우 진동 및 온도를 측정할 수 있는 스마트 센서 제품군을 보유하고 있지만, DC 보호용 핵심 전력기기(DC 차단기, DC 개폐기, DC 피뢰기)의 경우, 기존 AC용 진단에 적용한 센서(부분 방전, 누설전류) 등을 이용하고 있으며, 아직까지 최적화 및 스마트화가 되어 있지 않은 상태임



[그림] ABB HVDC용 광 센서형 전류 센서

(2) 국내 동향

□ MVDC용 DC 계측기술 전무

- 국내에서는 AC 배전계통에 적용할 수 있는 변류기(Current Transforer), 계기용 변압기(Potential Transformer), 변압 변류기(Combined Voltage and Current Trasformer)등 변압기 원리를 적용한 AC 계통 전용의 전류, 전압 측정기기 및 기술을 확보하고 있음
- MVDC에 적용 가능한 DC형 전류/전압 센서는 AC형과는 원천적으로 다른 기술이 적용되어야 하며 특히, MVDC에 적용 가능한 42kV급 DC형 전류/전압 센서는 국내 개발 시도조차 전무한 상태로 실 계통 적용을 위한 상용화 기술 개발 및 원천기술 확보가 필요함
- 국내에서는 AC용 변전소 핵심 기기(차단기, 변압기, 개폐기, 피뢰기) 및 산업현장에서 사용되는 전동기 진단을 위한 Passive 형태의 부분방전, 누설전류, 전류 및 진동 센서를 상용화하여 현장에 적용 및 운영하고 있으며, DC 보호용 핵심 전력기기(DC 차단기, DC 개폐기, DC 피뢰기) 및 냉각장치 핵심 기기(전동기, 펌프)의 진단을 위한 센서 개발 및 스마트화는 개발 시도조차 전무한 상태임

3. 특허동향

(1) 분석 개요

□ 분석 범위

- 특허동향은 직류 송배전 기술분야에서 MVDC 기술을 분석대상으로 하였으며, 본 분석을 통해 국가별 연도별 동향 및 기술 분야별 성장 단계 등을 파악하고자 함
- (분석구간) 1993년 1월 ~ 2014년 7월
- (분석대상) 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국, 독일, 프랑스의 공개특허 및 등록 특허

□ 검색식 및 검색 DB

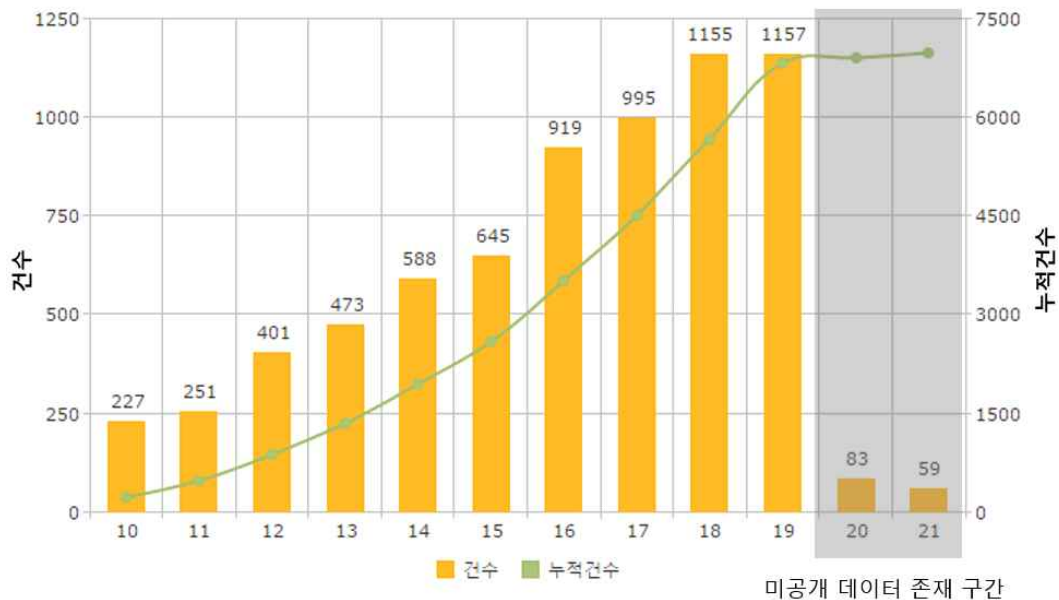
<표> 특허 검색식 및 검색 DB

구분	국가							
	한국	미국	일본	유럽	중국	독일	프랑스	소계
검색식	(고압직류* 고압 adj직류* 고전압직류* 고전압 adj직류* 초고압직류* 초고압adj직류* 초고전압직류* 초고전압 adj직류* 직류송전* 직류 adj송전* HVDC high adjvoltage adjdirect adjcurrent high adjvoltage adjDC high adjvoltage adjpower adjtransmi* DC adjpower adjtransmi* direct adjcurrent adjpower adjtransmi* direct adjcurrent adjpower adjgrid* DC adjpower adjgrid* direct adjcurrent adjpower adjsystem* DC adjpower adjsystem*) AND(차단* 스위치* 브레이커* break* switch* interrupt* isolat* eliminat* separat*)AND(@AD>=19930101)							
검색결과	133	685	213	163	1,533	202	28	2,957
검색DB	Wips							

(2) 해외 동향

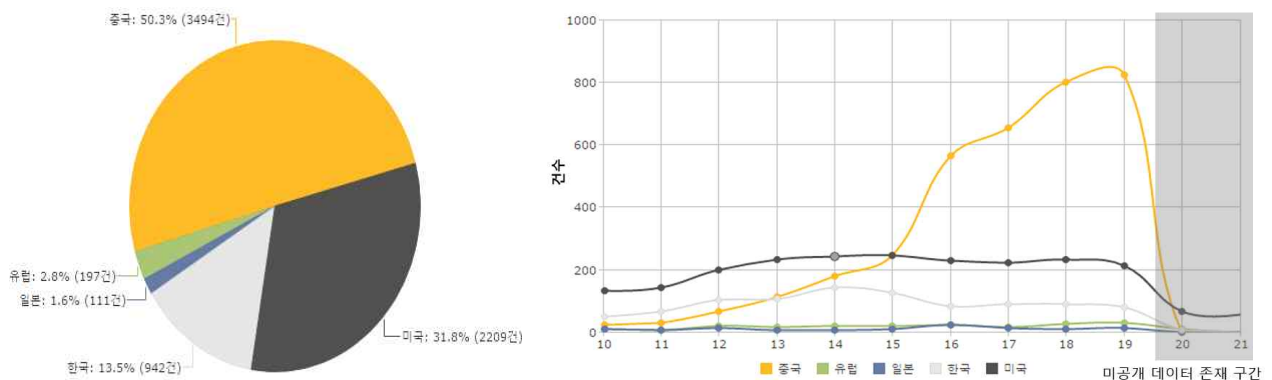
□ 주요국 특허 출원 현황

- 2010년 이후 연평균 약 10~25% 내외의 지속적인 증가 추세를 나타내고 있어, 해당 시장이 빠른 속도로 성장하고 있다고 파악됨



[그림] 주요국 특허 출원량 통계 (한국, 미국, 일본, 유럽, 중국)

- 다출원 국가는 중국(50.3%), 미국(31.8%), 한국(13.5%), 유럽(2.8%), 일본(1.6%) 순으로, 한국은 2011년~2015년에 출원량이 상대적으로 많아 리딩그룹에 속했으나, 최근 통계가 미공개 데이터로 인해 부정확한 점을 고려하더라도, 최근에 급격히 줄어드는 추세를 보이는 반면, 중국이 최근 큰 폭으로 증가하는 것으로 파악됨¹⁾



[그림] 주요국 특허출원 비율 통계 (한국, 미국, 일본, 유럽, 중국)

1) '20~'22년은 미공개 데이터 존재 기간

□ 주요 Top 5 출원인 (한국, 미국, 일본, 유럽, 중국)

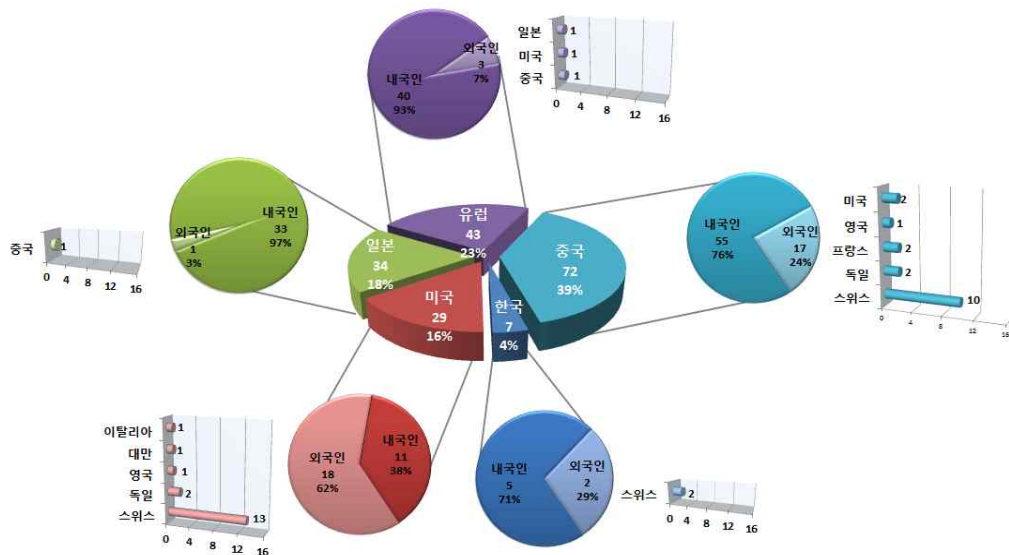
- 주요 Top 5 출원인을 살펴보면, 중국기업/연구기관인 STATE GRID CORPORATION OF CHINA, ELECTRIC POWER Research Institute/CHINA SOUTHERN POWER GRID, NR ELECTRIC Co.,Ltd.가 각 1위, 2위, 5위를 기록하고, ABB와 SIEMENS가 각 3위와 4위를 기록하였고, Top 20 출원인에 한국기업은 10위에 엘에스일렉트릭이 랭크되어 있을 뿐, 중국기업/연구기관이 대다수를 이루고 있어, 중국의 선전이 돋보임

No	출원인	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	건수
1	STATE GRID CORPORATION OF CHINA	4	7	14	30	43	85	150	149	140	141	2		765
2	ELECTRIC POWER Research Institute CHINA SOUTHERN POWER GRID			3	14	8	24	41	34	29	6			159
3	ABB	17	14	9	34	14	17	9	16	10	12	1		153
4	SIEMENS	3	4	19	13	16	9	16	16	29	18	8		151
5	NR ELECTRIC Co.,Ltd.			3	8	10	16	21	22	31	34			145

[그림] Top 5 주요 출원인 (한국, 미국, 일본, 유럽, 중국)

- 전압형 컨버터(VSC) 방식 DC 차단기 개발 기술의 연도별 전체 특허 동향을 살펴보면, 분석구간의 2000년대 초반부터 최근까지 증가세를 보임
- 2000년 이전에는, 주로 접지전위에서 회기 전류 회로구조를 변경하기 위한 용도로 전류형 컨버터(CSC) 기반의 DC 차단기가 사용되었으며, 차단 시간도 수십 ms에 해당하는 기계식 스위치 방식 DC 차단기인 것으로 분석됨
- VSC 방식 DC 차단기 개발 기술 분야의 국가별/출원인 국적별 특허 동향을 살펴보면, 중국의 특허출원 활동이 39%로 가장 높게 나타났으며, 뒤를 이어, 유럽 23%, 일본 18%의 점유율을 나타냄
- 주요 시장국의 내·외국인 특허출원 현황을 살펴보면, 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국의 내국인 점유율이 각각 71%, 38%, 97%, 93%, 76%로 나타나, 미국을 제외하고 나머지 국가들은 외국인보다 내국인에 의한 특허 활동이 활발한 것으로 나타나며, 국가 주도형 시장이 형성된 것으로 보임
- 미국에서 특허 활동을 하고 있는 외국인 비율은 62%로, 외국인의 비율 중 스위스, 독일 등 유럽 국적의 외국인(ABB, SIEMENS)의 특허출원이 활발

하게 나타나, 미국 시장은 외국인에게 잠재적 성장 가능성이 높은 시장으로 인식된 것으로 보임



[그림] 주요 시장국 국가별 내/외국인 특허출원 현황

- 유럽은 2000년대 초반부터 최근까지 급격한 증가세를 보임 → 유럽은 해상 풍력을 VSC HVDC로 연계하는 다수의 프로젝트와 국가 간 신재생에너지를 상호 공유하는 “Super Grid” 구축을 추진 한 것이 원인으로 보이며, 자국 내 수요는 적으나, SIEMENS, ABB, GE(舊Alstom) 등과 같은 전력기기 분야의 우수한 제작용체를 보유함에 따라 활발한 특허출원 활동이 나타난 것으로 분석됨
- 중국은 2000년 초반부터 급격한 증가세를 보임 → 2000년 초반까지 ABB, SIEMENS, AREVA와의 기술 협력을 통하여 HVDC 기술이전을 진행하였으며, 이후 독자적인 기술 확보를 위해 지속적인 투자가 이루어진 것이 원인으로 보임
- 주요 출원인 상위 TOP 10에서 ABB TECH.(스위스)가 1위를 차지하였으며, Hybrid type CB를 주력 분야로 함
- ABB TECH.(스위스)의 최근 5년간 증가율은 3,300%로 VSC 방식 HVDC DC 차단기 분야에 집중적인 연구개발을 수행하고 있는 것으로 나타나고, 또한, 한국, 미국 및 중국 등에서 활발한 특허출원 활동을 나타내어, 주요 시장국에서의 시장 경쟁력을 키워나가고 있는 것으로 판단됨

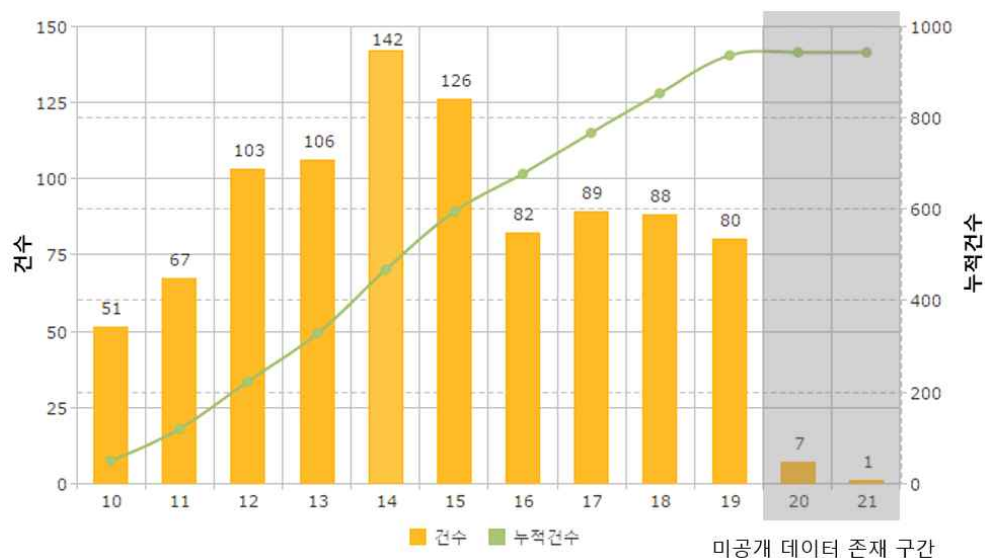
<표> 주요 상위 출원인 분석(전체)

순위	출원인	국적	한국	미국	일본	유럽	중국	IP시장 종합국	최근5년 증가율
1	ABB TECHNOLOGY AG	스위스	2 (5%)	11 (28%)	0 (0%)	17 (42%)	10 (25%)	유럽	3300%
2	SIEMENS AG	독일	0 (0%)	1 (14%)	0 (0%)	5 (71%)	1 (14%)	유럽	-
3	AREVA T&D SA	프랑스	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (83%)	1 (17%)	유럽	-
4	ALSTOM TECHNOLOGY LTD	스위스	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (83%)	1 (17%)	유럽	-
5	TOSHIBA	일본	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	일본	-
6	STATE GRID CORP	중국	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)	중국	-
7	FUJITSU COMPONENT	일본	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	일본	-
8	PANASONIC ELECTRIC WORKS	일본	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	일본	-100%
9	MITSUBISHI ELECTRIC	일본	0 (0%)	0 (0%)	3 (75%)	1 (25%)	0 (0%)	일본	-
10	XI AN JIAOTONG UNIV	중국	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	중국	-
11	CHINA ELE POWER RES INS	중국	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	중국	-
12	GM GLOBAL TECHNOLOGY	미국	0 (0%)	1 (25%)	0 (0%)	2 (50%)	1 (25%)	유럽	0%
13	INS OF ELE ENGINEERING	중국	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	중국	-
14	SHANDONG TAIKAI ISOLATING SWITCH	중국	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	중국	-
15	GE AVIATION SYSTEMS	영국	0 (0%)	1 (33%)	0 (0%)	1 (33%)	1 (33%)	일본유럽중국	-
16	ABB RESEARCH	스위스	0 (0%)	2 (67%)	0 (0%)	1 (33%)	0 (0%)	미국	-
17	KANSAI ELECTRIC POWER	일본	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	일본	-
18	FUJI ELECTRIC CO LTD	일본	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	일본	-
19	SOUTHERN POWER GRID	중국	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (100%)	중국	-
20	NTT DATA EX TECHNO CORP	일본	0 (0%)	0 (0%)	2 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	일본	-

(3) 국내 동향

□ 국내 특허 동향

- MVDC 관련 논문 수가 증가 추세를 보이는 발전기에 해당하는 것으로 판단되나, 국내 연구 실적은 미미한 단계임
- 2009년부터 논문 수가 증가하고 있으며 2017~2018년에 가장 많은 수의 논문이 발표됨
 - 전반적으로 논문 발표 수가 증가하고 있는 발전기 단계이나 미국, 중국, 유럽의 발표 논문 수가 많으며 국내 실적은 미미한 단계임
- 2008년부터 특허 활동이 나타나고, 2012년 이후 특허출원 건수가 증가 추세에 있음
 - MVDC 관련 특허가 직류송배전 특허의 극히 일부를 차지하고 있어 전반적으로 MVDC 관련 기술의 특허 장벽은 낮은 수준으로 판단되며, 국내 출원 실적이 저조
- 2010년부터 2015년 사이에 특허출원이 활발히 이루어졌으나, 2015년을 기점으로 급격히 감소하고 있어, 소수의 주요 출원인의 관련 사업 전략에 따른 직접적인 영향을 받는 것으로 해석됨



[그림] 국내 특허출원 통계

- 국내 주요 출원인은 아래와 같이, 엘에스일렉트릭, 효성, 한국전력공사, 지멘스(독), 엔알 일렉트릭 컴퍼니(중)이 순위를 차지하고 있음

No.	출원인	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	건수
1	엘에스일렉트릭(주)		2	8	10	30	20	15	13	8	2	108
2	효성		3		12	10	5	3	3	2	3	41
3	한국전력공사	1	8	3	1	3	2	5	3	6	8	40
4	SIEMENS	2	4	2	3	3	2	2	2	9	3	32
5	엔알 일렉트릭 컴퍼니 리미티드				1	1	5		8	8	5	28

[그림] Top 5 국내 주요 출원인

- 최근 중국이 2015년 이후 유관된 다양한 기술 분야의 특허를 적극적으로 출원하고 있어, 기술이 종속될 우려가 높아, 해당 기술을 적용할 수 있는 다양한 분야에 대한 연구개발 및 특허출원에 지속적으로 박차를 가해야 할 것으로 사료됨

4. 표준화 동향

(1) 해외 동향

□ 직류 시스템 관련 국제 표준 및 권장 사항

<표> 직류 시스템 관련 표준 개요

구분	적용	설계	보호협조	안전	전력품질	접지&본딩	배전반 & 차단기
LVDC ≤ 1,500V	일반	IEEE 946-2020 IEC 60038 IEC 30364-1	BS EN 60947-2	IEC 62477-1	IEC TR 63282	IEC 50162	IEC 60947-1 IEC 60947-2 IEC 60947-3
	마이크로 그리드	IEEE P2030.10					
	공중 통신망	IEEE P2030.10.1. IEEE P2030.10.2	BS EN 60947-3	IEEE P2984 IEC 61439-2 IEC 61557	IEC TR 63282 IEC 61000-2-2	ESQCR	IEC 61439-1
	전력 변환 장치	IEC TS 62578 IEC 60146-1-1 IEC 60146-2 IEC 62909-1 IEC 62909-2		IEC 62477-1	IEC 61204-3		
	주거	IEEE P2030.10.2. IEEE P2847			IEC 61000-4-17 IEC 61000-4-29		IEC 61008-1
	통신	ITU T Rec. L.1201 ITU T Rec. L.1204			ITU T Rec. L.120029		
	데이터 센터			IEC 62040-1			
	LED 조명			IEC 60598-1 IEC 61347-1			
	태양광 발전		IEC 60269-6	IEC 61643-32			
	선박 전원	IEC 60092-201					
MVDC 1.5 ~ 100kV	공중 통신망	CIGRE WG C6.31 CIGRE WG C6/B4.37	IEEE PC37.01	IEC 62477-2 IEC TS 61936-2	IEC 61000-4-30	IEC 50162	
	전력 변환 장치	IEC TS 62578 IEC 60146-1-1 IEC TR 60146-1-2 IEC 60146-2		BS EN 50122 IEC 62477-2			
	선박 전원	IEEE 1709-2018					
	철도	BS EN 50123 BS EN 50328 IEC 62924		IEC 62128-1 IEC 62128-3	IEC 62590		IEC 61992
HVDC > 100kV	공중 통신망	CIGRE WG B4.52	IEEE P2832		CIGRE WG B4.68		IEC 62271
	전력 변환 장치		IEC 60099-9				

* 출처 : International Conference on Electricity Distribution, 2021. 4., CIRED

□ CIGRE C6/B4.37 Working Group에서 MVDC 시스템 권장 사항(표준) 연구 및 보고서 발간 작업 진행 중

□ IEC 62477 : 전력전자 변환기 시스템 및 장비에 대한 안전 요구사항

- IEC 62477-1:2012는 1,500V 이하의 LVDC 시스템에서의 요구사항을, IEC 62477-2:2018는 1,500V ~ 54kV의 MVDC 시스템에서의 요구사항을 제시
- 전력전자 변환기 시스템(PECS) 및 장비, 전자전력 변환 및 전자전력 스위칭 용 구성요소에 적용
- 영국 시험 프로젝트에서 LVDC/MVDC 애플리케이션용 전력전자 변환기에 대한 안전 요구사항에 사용
- 또한 배전망에서 사용할 새로운 전력전자 장비를 개발할 때 최소 요구사항 설정에 적용 가능

□ IEC TS 62578:2015 : 전력전자 시스템 및 장비

- 전력 공급 네트워크(라인) AC 측과 정전류/DC 측 사이에 연결되고, 전기를 변환하는 활성 인피드 컨버터(AIC)의 작동 조건 및 일반적인 특성을 설명
- AC 배전 네트워크를 DC 장비에 연결하는 변환기를 설계할 때 충족해야 하는 기본 기준을 설정, MVDC 기술을 개발하는 데 도움이 되는 다양한 변환기의 제어 및 전체 시스템에 대한 세부 정보를 제공
- 영국의 프로젝트로 LVDC 및 MVDC 컨버터 개발에 적용

□ IEC 60146-1-1:2010 : 반도체 변환기 - 일반 요구 사항

- 제어 가능/불가능 전자 밸브 장치를 사용하는 모든 반도체 전력 변환기 및 스위치 성능 요구 사항 지정
- 일반적으로 변환기에 대한 기본 요구사항과 AC <-> DC 전력 정류 변환기에 적용할 수 있는 요구사항 지정
- 이 표준의 일부는 자체 제품 표준이 없는 경우, 다른 유형의 전자전력 변환기에도 적용 가능
- 해당 표준은 33kV 직류배전 네트워크에서 전압과 전력을 제어하기 위해 백

투백 AC-DC 컨버터가 구현된 Network Equilibrium 프로젝트에서 적용

- 전체 설계 측면 및 컨버터 장비 시험 요구사항 세부 정보 제공

□ IEC 60146-1-1:2010 : 반도체 변환기-적용 가이드

- IEC 60146-1-1를 보완하고 컨버터 사양에 대한 추가 지침

□ BS EN 50122:2011 - 철도 : 전기안전, 접지 및 반환 회로

- DC 철도 시스템의 기본 안전 및 유지보수 작업 중 전기안전을 보장하는 데 필요한 설비의 모든 측면에 적용
- BS EN 50122는 철도용 표준이나 직류 시스템의 안전 측면에 대해 참조가 가능하며, 전기 표준(BS EN 50522)에 설명된 요구사항을 보완
- 보호 설계/성능에 대한 한계와 요구사항 강조

□ BS EN 50123:2003 - 철도 : DC 배전반

- BS EN 50122와 유사하게 이 표준은 철도에 대한 지침을 제공하지만, DC 개폐 장치에 대한 표준으로 참고 가능
- 해당 표준을 통해 사용자는 다양한 DC 스위치 기어 제품에 대한 요구사항 파악

□ BS EN 50328:2003 - 철도 : 변전소용 전자 전력 변환기

- 철도 전원 공급을 위한 제어 가능/불가능 전자전력 변환기의 성능에 대한 요구사항을 지정
- 철도에 대한 지침을 제공하지만, DC 전자전력 변환기 장치에 대한 표준으로 참고 가능

□ 각 국가별 직류배전 지침 및 표준

- 직류배전 계통에 대한 표준화는 국가적 차원에서 진행 중

<표> 국가별 직류배전 지침 및 표준

국가	지침&표준	내용
중국	GB/T 35727-2017	M/LVDC 직류배전 시스템의 표준전압 규정
	GB 10963.2-2020	DC 회로 차단기에 대한 권장 사항
	T/CEC 107-2016	100kV~110kV DC 배전시스템에 대한 권장 사항
핀란드	SFS 6000 "Low-voltage electrical installations". Part 8-801 (2017):	전원 공급 시스템 특성, 시스템 접지 방법 및 TN 및 IT 시스템의 보호에 대한 권장 사항
네덜란드	NPR 9090:2018 – DC installations for low voltage	직류 시스템의 설계 및 설치

□ 직류 개폐 장치와 관련된 규격의 경우 IEC 61992 및 IEC 60947이 존재하나, 각각 3kV 및 1.5kV 이하 직류 개폐 장치와 관련된 규격으로, 본 연구개발과제의 정격에 해당하는 규격은 없음

- 2017년 CIGRE의 A3 및 B4 Working Group에서 HVDC용 개폐 장치의 기술적 요구사항 및 상세 사양에 대해 연구하여 Technical Brochure로 편찬하는 등 관련한 연구가 진행 중에 있음

* DC 차단기에 대한 요구사항은 컨버터 형태, DC 배전망의 토폴로지 및 설계, 보호협조에 따라 달라지며, 상기의 사항은 완벽하게 정립되지 않음

□ 직류 송/배전 시스템 국제 표준화 동향

- 초고압직류송전시스템 (HVDC)은 아래와 같은 기존의 다양한 TC를 이용하여 상향식 (Bottom Up)으로 표준화 진행 중

IEC TC/SC	TC8	TC14	TC17 SC17A/C	TC20	TC38	TC95	TC99 TC115	TC22 SC22F
Horizontal Issues	○						○	
System Issues	○			○	○	○	○	○
Sub-System Issues			○					
Product Issues		○	○	○	○	○		

TC8: System aspects of electrical energy supply

TC14: Power transformers

TC17: High-voltage switchgear and controlgear; SC17A: Switching devices SC17C: Assemblies

TC20: Electric cables

TC38: Instrument Transformers

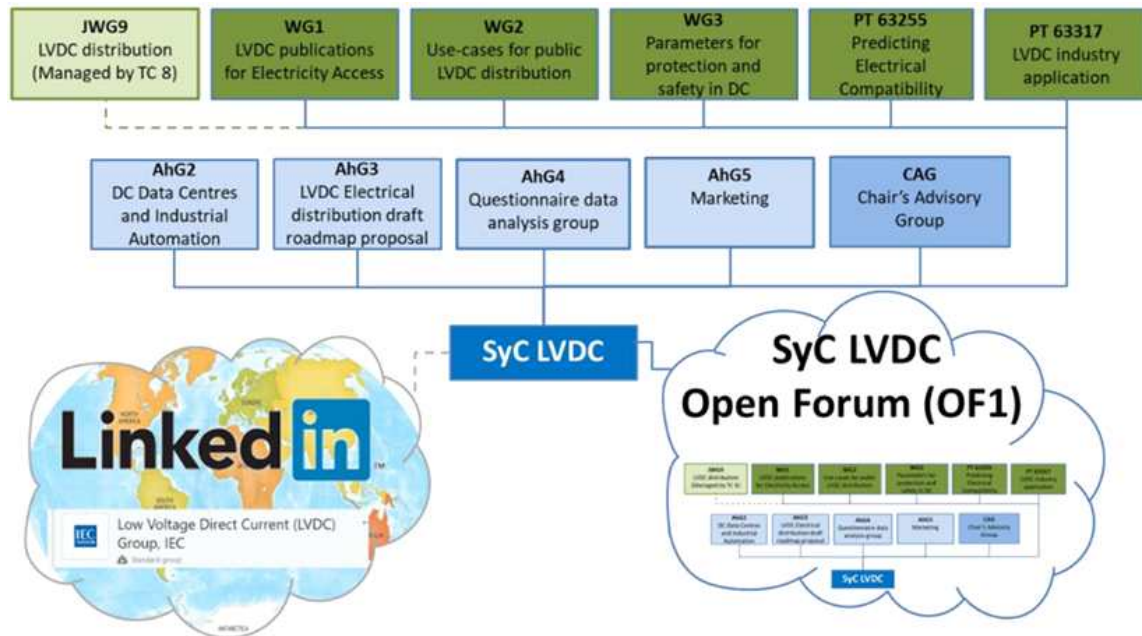
TC95: Measuring relays and protection equipment

TC99: Insulation co-ordination and system engineering of high voltage electrical power installations above 1.0 kV AC and 1.5 kV DC

TC115: High Voltage Direct Current (HVDC) transmission for DC voltages above 100 kV

TC22: Power electronics for electrical transmission and distribution systems; SC22F: Power electronics for electrical transmission and distribution system

- 저압직류배전시스템 (LVDC)은 아래와 같이 별도의 시스템 위원회(SyC LVDC)를 만들어 하향식 (Top Down)으로 활발히 표준화 진행 중



- 고압직류배전시스템 (MVDC)의 경우 선박용 표준은 사실상국제표준화기구에서 개발 (IEEE 1709-2018)되어 있으나 이는 선박용이라는 한정된 응용분야에 해당하는 방법표준으로써 전력시스템 차원의 표준화는 초보적 단계에 있음
- MVDC 시험 및 인증에 대한 표준은 초보적인 단계에 있으며 주로 기존의 IEC TC115에서 기존에 AC에 적용되던 표준을 DC로 변환하는 작업 수행 중
- IEC에 HVDC를 다루는 위원회 (IEC TC115) 및 송배전급 전력전자 시스템 및 장비를 다루는 위원회 (IEC TC22)가 있으나 현 기준으로 MVDC용 컨버터 스테이션에 대한 제어 및 보호에 대한 표준화 활동은 없음
- 전력산업계에서 사실상 표준으로 취급하고 있는 CIGRE는 연구위원회 C6 (Active Distribution Systems and Distributer Energy Resources)와 연구위원회 B4 (DC Systems and Power Electronics)가 연합으로 워킹그룹 (CIGRE C6/B4.37 - Medium Voltage DC Distribution Systems)을 만들어 MVDC 표준화 기초 작업을 수행하고 있음
- 결론적으로 MVDC 표준의 경우 사업자 단체에 해당하는 CIGRE에서 표준화 기초 작업을 위한 워킹그룹이 있으나 현재까지 개발된 표준은 없고, MVDC를 담당하기 위한 TC 또는 SyC도 없는 상태이며, 그나마 가장 연관성이 높은 위원회는 IEC TC22 SC22F

- 즉, HVDC는 기존의 TC를 이용하여 표준을 개발하고 있고, LVDC는 별도의 System Committee (SyC LVDC)를 구성하여 표준 개발 중
- MVDC는 인프라의 규모, 다양한 요소기술과 그 기술의 융합이 필요한 분야임을 고려할 때 시스템의 구성 요소에 초점을 맞추는 기존의 상향식 접근방법보다는 전체 시스템 아키텍처부터 시작하는 하향식 접근방법이 적절하다고 판단되므로 SyC LVDC와 같은 SyC MVDC를 구성하여 표준을 개발하는 것이 보다 효과적으로 판단
- 따라서 표준화 권고목표는 장기적으로는 MVDC를 위한 별도의 System Committee (SyC MVDC) 구성을 제안하고, 단기적으로는 제시한 유관 TC 및 SC를 통해 표준화 활동을 할 것을 권장함

(2) 국내 동향

☐ MVDC 시스템 국제 표준과 부합하는 국내 표준 규격

<표> MVDC 시스템 국제 표준과 부합하는 국내 표준

국제 표준	국내 표준
IEC 60947	KS C IEC60947
IEC 60146-1-1	KS C IEC60146-1-1
IEC TR 60146-1-2	KS C IEC60146-1-2
IEC 60146-2	KS C IEC60146-2
IEC62477-2	KS C KSCIEC62477-2
IEC TS 61936-2	KS C IEC61936-2
IEC 62477-2	KS C KSCIEC62477-2
IEC 62128-1	KS C IEC62128-1
IEC 61000-4-30	KS C IEC61000-4-30
IEC 61992	KS C IEC61992

- 현재 MVDC 기술 개발 및 표준화는 초기 단계로 국내에서 제정되지 않은 관련 국제 표준 분석 및 표준화 활동을 통해 국가 경쟁력 향상 필요

☐ 3kV 이하 직류 개폐 장치와 관련된 규격으로 한국산업표준이 있으며, IEC 61992 및 IEC 60947를 부합화하였음

☐ 그 외, 본 연구개발과제의 정격에 해당하는 규격은 없음

5. 정부R&D 자원현황

(1) 투자 동향

□ R&D 투자 동향

- 전 세계적으로 재생에너지에 대한 투자가 확대되고 있고, 계통 접속 및 안정에 대한 관심 및 필요성이 증대하는 추세이나, 기술적 대안으로 대두되는 DC 송·배전 R&D에 대한 정부투자는 미흡한 실정
- 동 사업 관련 정부R&D 투자(2014~2018)를 살펴보면, 산업부, 과기정통부가 주를 이루고 있으며, 산업부가 주된 역할을 담당하나 최근 큰 폭으로 투자가 감소하였음
- 정부R&D 투자가 일정 규모로 꾸준히 유지되는 추세였으나, 2018년에 전년 대비 큰 폭으로 감소
- 산업부, 과기정통부, 중기부 모두 관련 분야 투자가 감소했고, 산업부 투자의 감소 폭이 55%로 가장 크게 나타남

<표> 부처별 정부 연구비 현황 (2014~2018)

(단위 : 억 원)

부처	2014	2015	2016	2017	2018	합계	연평균 증가율
산업통상자원부	1,589	1,758	1,562	1,557	701	7,167	-19%
	-	11%	-11%	0%	-55%		
과학기술정보통신부	719	568	540	603	434	2,864	-12%
	-	-21%	-5%	12%	-28%		

* 자료 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

- 산업부와 과기정통부의 정부 연구비를 각 세부 분야별로 살펴보면, 모두 투자가 전반적으로 감소하였음을 알 수 있음
 - 송배전 계통과 전력 IT 분야의 감소가 두드러지며, 특히 송배전 계통 분야에 대한 투자는 전년 대비 70% 감소하였음

<표> 세부 분야별 정부 연구비 현황 (2014~2018)

(단위 : 억 원)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	합계	연평균 증가율
송배전계통	425	342	319	379	113	1,578	-28%
	-	-20%	-7%	19%	-70%		
전력IT	680	732	746	659	319	3,136	-17%
	-	8%	2%	-12%	-52%		
계측기기	220	265	373	413	273	1,544	6%
	-	20%	41%	11%	-34%		
중전기	983	987	664	709	430	3,773	-19%
	-	0%	-33%	7%	-39%		

* 자료 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

□ 연구개발단계 기준으로는 응용·개발연구의 비중이 높은 것으로 나타남

- 송·배전 및 전력 분야는 기술의 활용성 측면에서 보급을 위한 R&D 성격을 띠며, 연구개발단계별 비중 역시 응용·개발연구 비중이 50% 이상을 차지

<표> 연구개발단계별 정부 연구비 비중

구분		2014	2015	2016	2017	2018	평균
산업통상 자원부	기초연구	7.0%	6.3%	5.8%	5.3%	5.0%	6.0%
	응용연구	35.9%	32.0%	15.0%	16.6%	13.4%	24.0%
	개발연구	47.9%	53.8%	62.6%	57.5%	47.4%	54.6%
	기타	9.3%	7.8%	16.5%	20.6%	34.5%	15.4%
	계	100%	100%	100%	100%	100%	100%
과학기술 정보통신부	기초연구	35.2%	41.9%	33.1%	39.5%	32.3%	36.6%
	응용연구	7.4%	11.3%	15.6%	16.1%	21.4%	13.7%
	개발연구	46.6%	39.4%	45.9%	34.7%	39.4%	41.4%
	기타	10.7%	7.6%	5.6%	9.8%	7.1%	8.4%
	계	100%	100%	100%	100%	100%	100%

* 자료 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

- 연구수행주체별 정부 연구비를 살펴보면, 전체적인 기업 지원 비중이 증가하였으며, 대기업 지원 비중은 감소한 반면, 중소기업 지원 비중은 일정 수준을 유지하고 있는 것으로 나타남

<표> 연구수행주체별 정부 연구비 비중

구분		2014	2015	2016	2017	2018	평균
산업통상 자원부	국공립연구소	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	출연연구소	31.3%	27.0%	4.6%	8.3%	13.0%	17.6%
	대학	6.9%	6.9%	8.8%	8.0%	5.0%	7.4%
	대기업	10.2%	11.7%	16.6%	8.6%	3.4%	11.0%
	중견기업	3.5%	2.8%	3.3%	3.6%	3.6%	3.3%
	중소기업	34.2%	40.9%	47.5%	46.6%	42.4%	42.2%
	기타	13.8%	10.6%	19.2%	25.0%	32.8%	18.5%
	계	100%	100%	100%	100%	100%	100%
과학기술 정보통신부	국공립연구소	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.1%
	출연연구소	80.8%	75.7%	70.9%	69.7%	52.3%	71.3%
	대학	11.8%	15.8%	18.0%	20.6%	29.0%	18.2%
	대기업	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	중견기업	0.3%	0.0%	0.4%	0.0%	0.5%	0.2%
	중소기업	7.1%	8.5%	10.2%	8.3%	7.8%	8.3%
	기타	0.3%	0.2%	0.9%	1.2%	10.6%	2.1%
	계	100%	100%	100%	100%	100%	100%

* 자료 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

<표> 주요국 에너지 R&D 투자 동향

구분	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 효율 향상 및 재생에너지 중심의 R&D 투자 확대 ※ 투자 비중('13~'17) : 효율 향상 21% > 재생에너지 15% > 화석연료 7%
유럽	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지·효율 향상 R&D 투자는 공통적으로 확대되고 있으나, 원자력·청정화력 기술 투자 증감은 국가별로 상이 ※ 중점분야('13~'17) : (독일·덴마크) 재생E, 효율 향상, (영국·프랑스) 원자력, 효율 향상
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 원자력에서 재생에너지·효율 향상 중심으로 투자 방향 전환 ※ 투자변화('10~'16) : 신재생·효율 향상 17.1% → 39.6%, 원자력 69.9% → 40.5%
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지기술 강국 진입을 목표로 선도국과 기술 추격이 필요한 중점 기술혁신 분야 선정 및 R&D 투자 확대 ※ 재생에너지, 원자력, ESS 송배전, 에너지 효율화, 화석연료 등

* 자료 : 제4차 에너지기술개발계획

- 정부 에너지 R&D는 연평균 8,000억 원 수준으로 지속 투자되어 세계 5위권 규모*로 성장하였으나, 전략적 투자가 미흡하고 에너지 전환 정책의 성공적 목표 달성을 위해서는 재생에너지 및 전력 분야에 대한 R&D 투자 규모 확대가 요구됨

* 국가별 투자 규모(억불, '13~'17) : 미국(325)>>일본(150)>프랑스(79)>독일(61)>한국(41)

- 전력 분야 R&D 투자 방향 연구(김기봉 외, 2018)에서도 전력 계통 안정화를 위한 요소기술 중 에너지저장장치, 송전 기술 뿐 아니라 전력망 기술 등에도 집중 지원이 필요하며, 전력망 통합관리시스템 구축을 통한 출력 변동성 대응능력 강화 필요가 강조됨
- 에너지 R&D 중에서도 전력 R&D 분야에 해당하는 DC 송·배전의 연평균 정부R&D 투자는 에너지 R&D 투자의 3%(230억 원) 수준으로 매우 미흡한 실정임

* (2018년 정부R&D 투자) HVDC : 164.1억 원, MVDC : 112.7억 원, LVDC : 70.4억 원

□ 송배전 전압레벨의 양극단에 해당하는 HVDC와 LVDC에 대한 연구에 비해 MVDC는 연구가 활발하지 않은 상황임

- 최근 5년간 MVDC 분야에서 추진된 정부 연구개발과제는 총 28개(335.2억 원)로 연구개발과제 단위에서도 유사 연구가 활발하지 않은 것으로 분석됨
- 연구개발과제 수 기준으로 LVDC(105개), HVDC(69개), MVDC(28개) 순서로 나타남

<표> DC 송·배전 분야 연구개발과제 수 (2014~2018)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	합계
HVDC	11	11	13	18	16	69
MVDC	6	5	3	6	8	28
LVDC	12	15	23	28	27	105

* 자료 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

- 정부R&D 투자예산의 경우, 크게 저전압(LV)과 고전압(HV) 급으로 나뉘어지며, 전체 예산 중 LV급은 55.8%를 HV급은 44.2%를 차지함
- LV 연구는 주로 대학에서 주관하는 기초연구, 중소기업에서 주관하는 상용화 연구로 분류되며, HV 연구는 정출연 연구지원비가 유일함

<표> 정부R&D 투자 동향

부처명	사업명	연구개발과제명	연구 수행 주체	기준 연도	정부R&D 투자예산 (백만원)	연구자	전압레벨 (HV, LV) ¹⁾
교육부	개인기초연구	DC 그리드용 차세대 DC 전력차단기에 관한 연구	대학	2018	37.50	김인동	LV
				2019	50.00		
				2020	50.00		
				2021	50.00		
		DC 전력망 보호를 위한 한류 및 차단 기술 연구	대학	2015	51.00	최효상	LV
				2016	51.00		
				2017	51.00		
		직류 전력계통용 차단기 및 접속기기류에서 발생하는 아크현상 분석과 대책 연구	대학	2016	49.90	김효성	LV
				2017	37.40		
				2018	49.90		
				2019	49.90		
				2020	49.90		
				2021	49.90		
지경부	산업기술 표준화 및 인증지원	DC 차단기 개발을 통한 안전성 검토 및 안전기준 제정	중소기업	2011	116.00	김종우	LV
	지역전략 산업육성	DC 고전압 릴레이(500VDC 250A) 개발	중소기업	2010	150.00	김흥기	LV
중기청	산학연 협력기술	1000V DC 스위치개발 및 DC 분전 시스템 개발	중소기업	2017	33.30	김태평	LV
	중소기업 상용화기술 개발지원	직류전류차단장치 개발	중소기업	2012	51.00		
산업부	소재부품 기술개발	전기철도스위치기어용 3600V 직류고속도차단기, 직류단로기 개발 및 직류 전압, 전류 계측 부품 개발	중소기업	2012	484.00	김정우	LV
				2013	490.00		
				2014	440.00		
		저압 직류 배전용 대용량 차단 보호 장치 개발(5000A, 65kA)	중소기업	2016	550.00	김종우	LV
				2017	502.00		
				2018	483.00		
				2019	197.00		
	에너지안전 기술개발	600V, 2.5kA급 저압 직류(DC)용 양방향 전자식 차단기 개발	중소기업	2018	300.00	김영수	LV
				2019	392.00		
과기 정통부	연구개발 특구육성	반도체 소자를 이용한 개선된 양방향 직류 차단기 개발	중소기업	2017	220.00	편태일	LV
				2018	180.00		
미래부	한국전기 연구원 연구운영비 지원	250kV 8kA HVDC용 DC 차단기 개발	정출연	2012	200.00	이우영	HV
				2013	496.40		
				2014	914.10		
		80kV 8kA HVDC용 DC 차단기 개발	정출연	2015	1150.00	이우영	HV
				2016	1150.00		
		초고압 DC 차단기 기반기술 개발	정출연	2016	243.00	이우영	HV

(2) 기술개발 현황

□ DC 송·배전 연구가 전압 범위의 정의 없이 High voltage와 Low voltage 영역에서 진행되었으며, 최근 양극단의 전압레벨 기술의 가교역할이 되어 줄 수 있는 Medium voltage 연구의 필요성 대두

○ 국내에서는 DC 전압에 대해 용도에 따른 구분을 적용하고 있고 국제적으로도 전압의 범위가 명확히 정립되지는 않음

- (해외) CIGRE의 MVDC 타당성 연구에서는 HVDC와 LVDC 사이의 전압인 1.5~100kV의 전압 범위에서 MVDC의 활용도가 언급되고 있음

- (국내) 전압 범위가 용도에 따라 송전 및 배전 전압 범위로 구분되고 있음

* 송전전압 : 154kV, 345kV, 765kV / 배전전압 : 220V, 380V, 6.6kV, 22.9kV

□ 국내 배전 관련 업체는 주로 국가 공공기관 및 대기업으로 에너지 효율 상상을 위한 검증 및 연계 기술을 연구 중임

○ 한국전력은 ‘DC 배전 기술 개발 및 확대 기본계획(2016-2023)’을 수립하여 3단계에 걸쳐 추진 중이나 현재까지는 저압 LVDC 중심의 추진

- 1단계(2016-2017) : 광주전남지역 망월, 반암 등 5개의 13.2kV 배전선로 (5.7km)를 DC 750V 저압으로 전환하는 저압 DC 배전 모델을 구축해 DC 전원 공급기술력 확보

* 2018년 7월 준공을 목표로 진도 서거차도에서 직류 독립섬 실증사업 추진하였으며, 2019년 8월에 발전원과 배전망 모두 100% 직류를 사용하는 ‘직류 아일랜드(DC Island)’ 실증 완료

□ 실증연구 수행

○ MVDC와 같은 전력 분야의 대규모 시스템은 트랙 레코드가 없으면 실제 적용이 불가하므로, 실제 환경과 유사한 테스트베드 구축 및 실증연구를 통해 개발된 기술의 검증 및 신뢰성 확보

○ 해외에서도 정부 지원을 통한 MVDC 실증연구가 활발히 수행 중

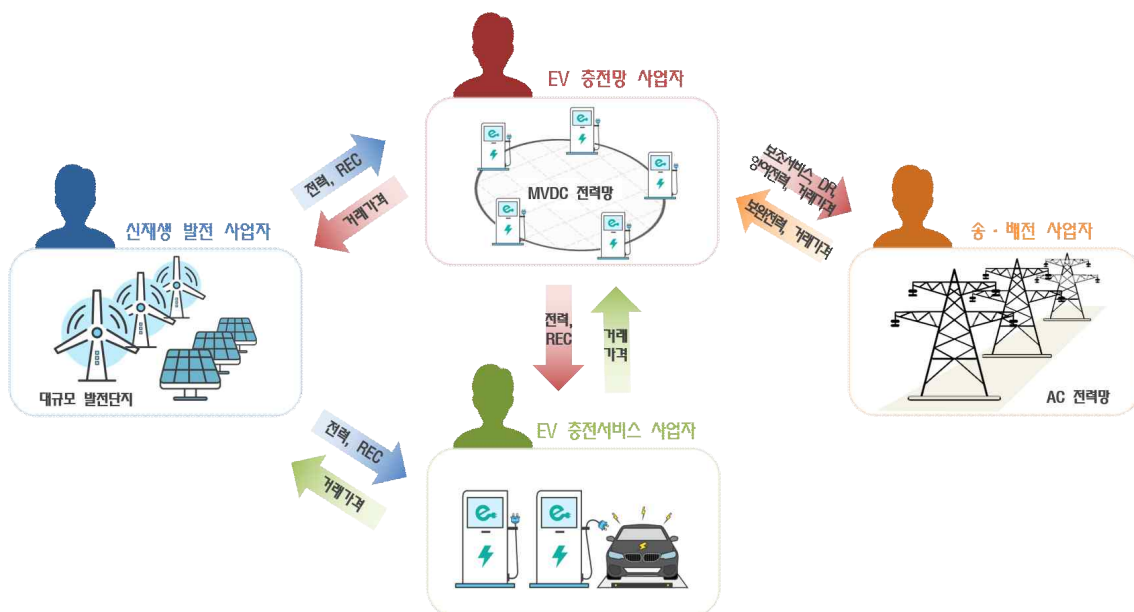
* (해외) FEN Research Campus MVDC 그리드(독일), Western Power Distribution(영국), Angle DC(영국), Power Networks Demonstration Centre(영국), Anhui Lu'an Jinzhai DC 배전 프로젝트(중국) 등 다수의 MVDC 실증연구가 각 국가의 정부 지원을 통해 수행 중

- 정부의 기술 개발 및 실증시험 설비 투자가 선행되고, 이를 통해 트랙 레코드 확보를 위한 실증, 제품 시험/인증 기술 및 인프라 구축이 진행되어야 함

* (국내) 'Multi-Terminal 직류 송·배전 시스템 개발사업'(2014년), '전력피크대응을 위한 ESS 실증 연구사업'(2012년) 등의 실증연구 사례 존재

□ 후속 시범사업 연계

- 동 사업을 통해 확보된 기술이 실제 전력 계통에 적용되어 확산 될 수 있도록 대규모 DC 전력 공급이 필요한 전기자동차 급속충전소 중심으로 MVDC 기반의 사업모형을 개발하고 후속 단계의 시범사업 준비
 - 수익 창출 비즈니스 모델 제시와 가시적인 실증 결과를 통한 민간의 에너지 신산업 참여 유도
 - MVDC 사업성과가 중소·중견기업 등 산업 전반으로 확산 될 수 있는 협력적 상생 생태계 구축
- 실증사이트 후보지와 참여 사업자 주체를 발굴 중이며, 동 사업 종료 후 MVDC 기술 개발 결과와 연계하여 추진 필요



[그림] 친환경 EV 충전망 사업모형(안)

6. 시사점

□ MVDC 배전망 운영상의 문제를 종합적으로 해결하기 위한 연구개발사업은 존재하지 않으므로 토달솔루션적인 연구개발 추진 필요

- 기존에 추진되지 않았던 접속 수요 대응 차원의 배전설비 용량 확대와 운영 효율 확대 측면에서 부분적 독립 운전과 배전망 혼용 운전을 위한 기술 확보를 위한 사업추진 필요
- 배전망 운영 이슈 일부만을 해결하기 위한 연구개발이 아닌 모든 이슈를 기-망 운용-테스트베드 전 과정에 걸쳐 해결하기 위한 연구개발 추진 필요

□ 기존 연구개발사업의 성과를 연계하여 신산업 창출을 위한 연구개발 신설 필요

- 배전망 기술 고도화와 기존 연구성과를 연계하기 위한 연구개발 추진이 필요(멀티터미널직류송배전기술개발사업 ' 20년 종료, 스마트그리드핵심기술개발 ' 20년 일몰)
- HVDC-MVDC 연계를 통해 고용량 전기자동차 충전 계통, 태양광·풍력 신재생에너지 고효율 계통 연계 시스템과 같은 미래 에너지 신산업 창출 가능

□ (기술 특징) DC 송·배전 연구가 전압 범위의 정의 없이 High voltage와 Low voltage 영역에서 진행되었으며, 최근 양극단의 전압레벨 기술의 가교역할이 되어 줄 수 있는 Medium voltage 연구의 필요성 대두

- 국내에서는 DC 전압에 대해 용도에 따른 구분을 적용하고 있고, 국제적으로도 전압의 범위가 명확히 정립되지는 않음
 - (해외) CIGRE의 MVDC 타당성 연구에서는 HVDC와 LVDC 사이의 전압인 1.5~100kV의 전압 범위에서 MVDC의 활용도가 언급되고 있음
 - (국내) 전압 범위가 용도에 따라 송전 및 배전 전압 범위로 구분되고 있음
 - * 송전전압 : 154kV, 345kV, 765kV / 배전전압 : 220V, 380V, 6.6kV, 22.9kV
- DC 차단기 연구는 IEC 규격이 존재하는 3kV 이하와 그 이상으로 구분되어 진행되었으며, 특히 3kV 이하 DC 차단기 연구는 상용화 단계에 이르렀으나, 그 이상 전압 범위는 연구가 미흡함
- 해외의 경우, 송전급 DC 차단기 연구를 위해 정부 주도의 대규모 투자가 진행 중에 있음

- (해외) 미국의 경우 미국에너지부의 주관으로 APRA-E 프로그램을 통해 MVDC 차단기 연구개발과제 진행 중이며, 유럽의 경우 호라이즌 2020의 Promotion project를 통해 HVDC 차단기 연구개발과제 진행

- 국내의 경우 송전급 DC 차단기 연구는 기초연구에 국한되어 있으며, 이에 대한 연구는 필요할 것으로 사료 됨

□ (R&D 투자 동향) 전 세계적으로 재생에너지에 대한 투자가 확대되고 있고, 계통 접속 및 안정에 대한 관심 및 필요성이 증대하는 추세이나, 기술적 대안으로 대두되는 DC 송·배전 R&D에 대한 정부투자는 미흡한 실정

- (해외) 재생에너지 확대 정책을 펼치고 있는 주요국은 발전설비 입지의 확보, 계통 접속 및 계통 안정 등 공통의 관심사를 갖고 있음²⁾

<표> 주요국 에너지 R&D 투자 동향

구분	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 효율 향상 및 재생에너지 중심의 R&D 투자 확대 ※ 투자 비중('13~'17) : 효율 향상 21% > 재생에너지 15% > 화석연료 7%
유럽	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지·효율 향상 R&D 투자는 공통적으로 확대되고 있으나, 원자력·청정화력 기술 투자 증감은 국가별로 상이 ※ 중점분야('13~'17) : (독일·덴마크) 재생E, 효율 향상, (영국·프랑스) 원자력, 효율 향상
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 원자력에서 재생에너지·효율 향상 중심으로 투자 방향 전환 ※ 투자변화('10~'16) : 신재생·효율 향상 17.1% → 39.6%, 원자력 69.9% → 40.5%
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지기술 강국 진입을 목표로 선도국과 기술 추격이 필요한 중점 기술혁신 분야 선정 및 R&D 투자 확대 ※ 재생에너지, 원자력, ESS 송배전, 에너지 효율화, 화석연료 등

* 자료 : 제4차 에너지기술개발계획

- (국내) 정부 에너지 R&D는 연평균 8,000억 원 수준으로 지속 투자되어 세계 5위권 규모*로 성장하였으나, 전략적 투자가 미흡하고 에너지 전환 정책의 성공적 목표 달성을 위해서는 재생에너지 및 전력 분야에 대한 R&D 투자 규모 확대가 요구됨

* 국가별 투자 규모(억불, '13~'17) : 미국(325)>>일본(150)>프랑스(79)>독일(61)>한국(41)

- 전력 분야 R&D 투자 방향 연구(김기봉 외, 2018)에서도 전력 계통 안정화를 위한 요소기술 중 에너지저장장치, 송전 기술 뿐 아니라 전력망 기술

2) 「정부의 에너지전환 정책에 따른 전력 분야 R&D 투자 방향」, 한국과학기술기획평가원, 2018 참고

등에도 집중 지원이 필요하며 전력망 통합관리시스템 구축을 통한 출력 변동성 대응능력 강화 필요가 강조됨

- 에너지 R&D 중에서도 전력 R&D 분야에 해당하는 DC 송·배전의 연평균 정부R&D 투자는 에너지 R&D 투자의 3%(230억 원) 수준으로 매우 미흡한 실정임

* (2018년 정부R&D 투자) HVDC : 164.1억 원, MVDC : 112.7억 원, LVDC : 70.4억 원

□ (국내 정부R&D 현황) 송배전 전압레벨의 양극단에 해당하는 HVDC와 LVDC에 대한 연구에 비해 MVDC는 연구가 활발하지 않은 상황

- 최근 5년간 MVDC 분야에서 추진된 정부 연구개발과제는 총 28개(335.2억 원)로 연구개발과제 단위에서도 유사 연구가 활발하지 않은 것으로 분석됨
- 연구개발과제 수 기준으로 LVDC(105개), HVDC(69개), MVDC(28개) 순서로 나타남

<표> DC 송·배전 분야 연구개발과제 수 (2014~2018)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	합계
HVDC	11	11	13	18	16	69
MVDC	6	5	3	6	8	28
LVDC	12	15	23	28	27	105

* 자료 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

- 전 세계적으로 재생에너지에 대한 투자가 확대되고 있고, 계통 접속 및 안정에 대한 관심사 및 필요성이 증대하는 추세이나, 기술적 대안으로 대두되는 DC 차단기에 대한 정부투자는 미흡한 실정
- 재생에너지 및 분산 전원의 확대 등 정부의 에너지 전환 정책에 따른 인프라의 수요가 증가하고 있음에도 차세대 송전계통인 DC 계통에 대한 연구가 미흡
- 특히 선로의 고장 파급 방지와 Multi-terminal DC 계통의 구성을 위한 핵심 요소 기기인 DC 차단기는 국내에 관련 연구를 찾아보기가 힘들
- 해외의 경우 ABB, GE, SCiBreak등이 참여한 Promotion project를 통해 DC 차단기의 개발, 성능평가방안 및 표준화 활동까지 진행 중임
- 이에, 국내에서도 DC 차단기 개발을 위한 설계기술, 성능평가 기술, 제어 기술

및 성능평가를 위한 시험기준안이 필요할 것으로 사료 됨

□ (해외 주요국 동향) 주요 선진국에서는 배전망 운영효율 및 기술적 장점 구현 측면에서 MVDC 연구가 진행되고 있으나, 국내 사례는 전무

- (영국/Angle DC project) 영국에서 수행 중인 Angle DC project는 AC를 DC로 변환하여 MVDC 레벨로 연결하고 MVDC 배전 네트워크 구축에 대한 실증을 수행하여 향후 공급에 대한 신뢰성을 확보하는 것을 목표로 함

* 영국의 가스·전력시장국(Ofgem; Office of Gas and Electricity Markets)의 지원사업임

- (독일/E.on MVDC project) 독일의 E.on, RWTH 대학의 공동 MVDC 실증 개발사업인 E.on MVDC project는 RWTH 캠퍼스 내에 10MW 실증선로를 구축하고 MVDC 보호 및 차단 기술 개발, 다양한 전원 및 부하의 연계에 대한 실증을 추진

- (중국/MVDC distribution network in Zhuhai) 중국은 MVDC 연구를 활발히 추진 중이며, 최근 MVDC 배전망 실증연구*가 Zhuhai 지역에서 수행되었음

* 중국 the “Internet+”Smart Energy (Energy Internet) Demonstration Project

□ (논문/특허 동향) MVDC 관련 논문 수가 증가 추세를 보이는 발전기에 해당하는 것으로 판단되나, 국내 연구 실적은 미미한 단계

- (논문) 2009년부터 논문 수가 증가하고 있으며 2017~2018년에 가장 많은 수의 논문이 발표됨

- 전반적으로 논문 발표 수가 증가하고 있는 발전기 단계이나 미국, 중국, 유럽의 발표 논문 수가 많으며, 국내 실적은 미미한 단계임

- (특허) 2008년부터 특허 활동이 나타나고, 2012년 이후 특허출원 건수가 증가 추세에 있음

- MVDC 관련 특허가 직류송배전 특허의 극히 일부를 차지하고 있어 전반적으로 MVDC 관련 기술의 특허 장벽은 낮은 수준으로 판단되며, 국내 출원 실적이 저조

□ 선도를 위한 핵심역량 집중 필요

- 아직 국내외에서 MVDC에 대한 연구가 본격화되지 않았으므로, 우리에게 좋은 기회가 될 수 있음
- 기존의 HVDC와 LVDC 연구결과를 잘 참고해서 활용 및 연계할 부분에 대한 전략적 추진 필요
- 기술적 측면 외에도 국내에 한국전력공사, 전기연구원, 효성, LS 등 기존 HVDC와 LVDC 연구의 핵심 주체들의 MVDC 개발을 위한 협력체계 구축이 연구개발의 효율성 측면에서 중요할 수 있음

II. 기획대상연구개발과제 도출

1. 연구개발과제기획 방향

(1) 연구개발과제기획 기본방향

- ☐ MVDC 도입을 통해 정부의 신재생에너지·분산 전원 확대 목표를 달성하고 전력수요 집중·증가 대응을 통해 경제성장의 기반 조성
- ☐ MVDC 기술개발 및 적용으로 배전 연계 전력수요 대응 및 안정적 전력공급 기반 구축
- ☐ MVDC 기능 확보 및 실증연구를 위해 기존의 AC와 다른 DC 배전 환경에서 필요한 HW 측면의 핵심 부품·기기 개발
- ☐ AC/DC 혼용 배전망 운영을 위한 MVDC 핵심 기술 확보

(2) 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	총연구개발비*
지정공모	-	590.1	590.1

* 총연구개발비는 예타보고서 기준 총 정부지원연구개발비로 추후 변동될 수 있음

(3) 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상연구개발과제 (품목)명	
AC/DC Hybrid 배전망 요소기기	특고압 직류배전용 20MW급 MMC 방식 컨버터스테이션 기술개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (제3차 에너지기본계획) 재생에너지 발전비중 확대 및 재생에너지계통수용률 제고 등 에너지전환 목표 달성 지원 ○ (제4차 에너지기술개발계획) 16대 중점분야에 집중투자 하고, 대형·장기 연구개발과제 및 초고난도 한계돌파형 도전적 R&D 적극 지원 ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업
	특고압 직류수전용 2MW급 모듈형 컨버터스테이션 기술개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (제3차 에너지기본계획) 재생에너지 발전비중 확대 및 재생에너지계통수용률 제고 등 에너지전환 목표 달성 지원 ○ (제4차 에너지기술개발계획) 16대 중점분야에 집중투자 하고, 대형·장기 연구개발과제 및 초고난도 한계돌파형 도전적 R&D 적극 지원 ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업
	특고압 직류배전용 멀티터미널 제어시스템 고도화 및 컨버터스테이션 엔지니어링 기술개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (제3차 에너지기본계획) 재생에너지 발전비중 확대 및 재생에너지계통수용률 제고 등 에너지전환 목표 달성 지원 ○ (제4차 에너지기술개발계획) 16대 중점분야에 집중투자 하고, 대형·장기 연구개발과제 및 초고난도 한계돌파형 도전적 R&D 적극 지원 ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업
	특고압 직류배전용 직류차단 기술개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (제3차 에너지기본계획) 재생에너지 발전비중 확대 및 재생에너지계통수용률 제고 등 에너지전환 목표 달성 지원 ○ (제4차 에너지기술개발계획) 16대 중점분야에 집중투자 하고, 대형·장기 연구개발과제 및 초고난도 한계돌파

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상연구개발과제 (품목)명	
		<p>형 도전적 R&D 적극 지원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 <p><input type="checkbox"/> 기술수요조사명</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업
	특고압 직류배전용 계측·진단 및 신뢰성 평가 기술개발	<p><input type="checkbox"/> 정부정책</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (제3차 에너지기본계획) 재생에너지 발전비중 확대 및 재생에너지계통수용률 제고 등 에너지전환 목표 달성 지원 ○ (제4차 에너지기술개발계획) 16대 중점분야에 집중투자 하고, 대형·장기 연구개발과제 및 초고난도 한계돌파 형 도전적 R&D 적극 지원 ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 <p><input type="checkbox"/> 기술수요조사명</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업

2. 기획연구개발과제 RFP

[지정공모 (RFP)]

연구개발과제명 : 특고압 직류배전용 20MW급 MMC 방식 컨버터스테이션 기술개발	77
연구개발과제명 : 특고압 직류수전용 2MW급 모듈형 컨버터스테이션 기술개발	79
연구개발과제명 : 특고압 직류배전용 멀티터미널 제어시스템 고도화 및 컨버터스테이션 엔지니어링 기술개발	81
연구개발과제명 : 특고압 직류배전용 직류차단 기술개발	83
연구개발과제명 : 특고압 직류배전용 계측·진단 및 신뢰성 평가 기술개발	85

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 제안요청서(RFP) (지정공모)

관리번호	2022-MVDC-요소기기-1																																									
과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)																																								
		실증형()																																								
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)																																									
과제명	특고압 직류배전용 20MW급 MMC 방식 컨버터스테이션 기술개발																																									
1. 필요성	<p>○ 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여하기 위해 MVDC와 MVDC를 연계하는 컨버터스테이션 제품개발 필요</p> <p>○ MVDC 컨버터스테이션 국내기술 확보를 통한 국가 기술수준 강화</p>																																									
2. 연구목표	<p>○ 최종목표 : MVDC용 DC±20kV급 MMC방식 DC/DC 컨버터 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 6단계)</p> <p>- (요소기술 1) MMC방식 DC/DC컨버터 기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · MMC 서브모듈 설계 및 개발 · 고신뢰 스마트 게이트 드라이버 설계 개발 · MMC방식 DC/DC컨버터 냉각시스템 개발 <p>- (요소기술 2) 고신뢰 절연 변압기 기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · DC계통 고장의 과도특성 분석 및 절연설계 · 60kV이상 절연 확보 및 부분방전(Partial Discharge) 검증 · 신뢰성 검증 및 고신뢰 확보 방안 적용(고장 예측 기술 등) <p>- (요소기술 3) Compact 제어시스템 기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · HILs용 MVDC-MVDC컨버터 시뮬레이션 모델 개발 · 축소형 MVDC-MVDC컨버터 제작 및 제어시스템 검증 · 패널 마운트형 HMI 개발 <p>- (요소기술 4) MVDC-MVDC 시험 장치 개발 및 단위 시험평가</p> <ul style="list-style-type: none"> · MVDC-MVDC 핵심 부품 고장 모드 분석 · MVDC-MVDC 단위 파워 모듈 시험 절차 및 평가장치 개발 · MVDC-MVDC 단위 파워 모듈 시험 평가 <p>○ 개발목표</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">핵심 기술/제품 성능지표</th> <th rowspan="2">단위</th> <th colspan="2">달성목표</th> <th rowspan="2">국내최고 수준^{주1)}</th> <th colspan="2">세계최고수준^{주1)} (보유국, 기업/기관명)</th> </tr> <tr> <th>3차년도</th> <th>최종</th> <th>현재</th> <th>연구개발과제 종료시점</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 컨버터 DC전압</td> <td>kV</td> <td>±5</td> <td>±20</td> <td>±1.5</td> <td>±10 (중국,CSG)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 컨버터 용량</td> <td>MW</td> <td>1</td> <td>20</td> <td>1</td> <td>2 (중국,CSG)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 변압기 절연전압</td> <td>kV</td> <td>-</td> <td>60</td> <td>5</td> <td>40 (중국,CSG)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 MMC제어 이중화절체시간</td> <td>msec</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1 (독일,SIEMENS)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>주1) 국내 및 세계최고수준은 HVDC 기술 기준이며, MVDC는 현재 최고 수준이 제시되지 않음</p>			핵심 기술/제품 성능지표	단위	달성목표		국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)		3차년도	최종	현재	연구개발과제 종료시점	1 컨버터 DC전압	kV	±5	±20	±1.5	±10 (중국,CSG)		2 컨버터 용량	MW	1	20	1	2 (중국,CSG)		3 변압기 절연전압	kV	-	60	5	40 (중국,CSG)		4 MMC제어 이중화절체시간	msec	-	1	1	1 (독일,SIEMENS)	
핵심 기술/제품 성능지표	단위	달성목표				국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)																																			
		3차년도	최종	현재	연구개발과제 종료시점																																					
1 컨버터 DC전압	kV	±5	±20	±1.5	±10 (중국,CSG)																																					
2 컨버터 용량	MW	1	20	1	2 (중국,CSG)																																					
3 변압기 절연전압	kV	-	60	5	40 (중국,CSG)																																					
4 MMC제어 이중화절체시간	msec	-	1	1	1 (독일,SIEMENS)																																					

3. 기타 지원 요건	
<p>○ 안전관리 사항</p> <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함) - 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 특고압 관련설비 (낙하, 감전, 화재 등) <p>○ 기타사항</p> <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 설치 및 시운전 포함 	
4. 지원기간/추진체계	
<p>○ 기간 : 60개월 이내</p> <p>(1차년도 정부지원연구개발비: 24.5억원 내외, 총 정부지원연구개발비* : 109.7억원 내외)</p> <p>* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으로 추후 변동될 수 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 단계평가 결과에 따라, 추후 연구개발과제 수행여부 결정 <p>○ 주관연구개발기관 : 기업</p> <ul style="list-style-type: none"> - 중소·중견기업 참여 필수 <p>○ 기술료 : 징수</p>	

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 제안요청서(RFP) (지정공모)

관리번호	2022-MVDC-요소기기-2	
연구개발과제유형	원천기술형()	혁신제품형(○) 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)	
연구개발과제명	특고압 직류수전용 2MW급 모듈형 컨버터스테이션 기술개발	
1. 필요성	<p>○ (기술성) MVDC 시스템 활용시 MVDC와 LVDC간의 컨버터스테이션 역할 필수</p> <p>○ (경제성) MVDC 배전망 구성에 있어서 부하계통에 최적의 DC전압 공급을 통해 전체 계통망 손실 최소화 및 효율화</p> <p>○ (사회성) 선로 보강 및 증설에 따른 주민 수용성 문제 해결하고 환경 친화형인 직류 기반 배전망 구축에 기여</p>	
2. 연구목표	<p>○ 최종목표 : 고효율 모듈형 MVDC/LVDC 컨버터스테이션 개발 및 시험평가 기술개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계)</p> <p>- (요소기술 1) MVDC/LVDC 컨버터스테이션 개념/기본 설계</p> <ul style="list-style-type: none"> · Power Topology 및 단위파워모듈 개념설계 · 모델링 및 시뮬레이션을 통한 기본설계 <p>- (요소기술 2) MVDC/LVDC 컨버터스테이션 단위모듈 상세 설계/제작</p> <ul style="list-style-type: none"> · 모듈형 MVDC/LVDC 컨버터 전력스택 상세설계 및 제작 · 모듈형 고압 절연변압기 상세설계 및 제작 · 모듈형 MVDC/LVDC 컨버터 단위모듈 제어기 상세설계 및 제작 <p>- (요소기술 3) MVDC/LVDC 컨버터스테이션 효율 고도화 기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · MVDC/LVDC 컨버터스테이션 효율 분석 및 효율 고도화 전략 수립 · MVDC/LVDC 컨버터 전력스택 고효율화 기술 개발 · MVDC/LVDC 컨버터 고효율 스위칭 기술 개발 · 절연변압기 고효율화 기술 개발 <p>- (요소기술 4) MVDC/LVDC 컨버터스테이션 전체 시스템 상세 설계/제작</p> <ul style="list-style-type: none"> · 제어 플랫폼, 로컬/원격 HMI, 컨버터스테이션 제어기 개발 · 컨버터스테이션 보호 알고리즘 및 시스템 절연 기술개발 · 컨버터스테이션 냉각 및 구조설계 기술개발 <p>- (요소기술 5) MVDC/LVDC 컨버터스테이션 시험평가 기술개발 및 시험평가</p> <ul style="list-style-type: none"> · 시험평가 기준 수립 및 시험평가 기술개발(실시간 시뮬레이션 포함) · MVDC/LVDC 컨버터스테이션 시험평가(단위모듈평가 및 전체시스템 평가) 	

○ 개발목표

핵심 기술/제품 성능지표		단위	달성목표		국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)	
			3차년도	최종		현재	연구개발과제중 표시점
1	MVDC/LVDC 전압	kVdc	3.0/1.5	37.4/1.5	7.5 / 0.38 <small>(한국전기연구원)</small>	21 / 1.5 <small>(스위스, ABB)</small>	37.4 / 1.5
2	컨버터 스테이션 용량	MW	0.1	2	0.01 <small>(한국전기연구원)</small>	1.2 <small>(스위스, ABB)</small>	2
3	전력변환 효율	%	96	96.5	96 <small>(한국전기연구원)</small>	96 <small>(스위스, ABB)</small>	96.5

주1) 국내 및 세계최고수준은 HVDC 기술 기준이며, MVDC는 현재 최고 수준이 제시되지 않음

3. 기타 지원 요건

○ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 특고압 관련설비 (낙하, 감전, 화재 등)

○ 기타사항

- 테스트베드 설치 및 시운전 포함

4. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 14.0억원 내외,
총 정부지원연구개발비* : 71.6억원 내외)

* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으로 추후 변동될 수 있음

- 단계평가 결과에 따라, 추후 연구개발과제 수행여부 결정

○ 주관연구개발기관 : 기업

- 중소·중견기업 참여 필수

○ 기술료 : 징수

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 제안요청서(RFP) (지정공모)

관리번호	2022-MVDC-요소기기-3		
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)	
		실증형()	
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()		
연구개발과제명	특고압 직류배전용 멀티터미널 제어시스템 고도화 및 컨버터스테이션 엔지니어링 기술개발		
1. 필요성	<p>○ (기술성) MVDC 시스템 활용 시 다양한 형태의 전력망과 부하 조건 필요 * MV에서 다른 전압 레벨로 변환해주는 컨버터스테이션 역할 필수</p> <p>○ (경제성) MVDC 배전망 구성에 있어서 수용가 최적 DC전압 공급을 통해 전체 계통망 손실 최소화 및 효율화</p> <p>○ (사회성) 선로 보강 및 증설에 따른 주민 수용성 문제 해결하고 환경 친화형인 직류 기반 배전망 구축에 기여</p>		
2. 연구목표	<p>○ 최종목표 : 특고압 직류배전용 멀티터미널 제어시스템 고도화 및 컨버터스테이션 엔지니어링 기술개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)</p> <p>- (요소기술 1) 멀티터미널용 MVDC 통합 제어/운용 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · MVDC 컨버터스테이션 배전계통 협조 제어 기술 개발 · 멀티터미널 이종(異種) 스테이션간 통합 연계 기술 개발 · 멀티터미널 MVDC 표준 통신프로토콜 개발 * 전력산업 표준프로토콜 (DNP(Distributed Network Protocol), IEC60870, IEC61850 등) 고려 · 고장 시나리오별(계통/스테이션) 보호 및 제어기술 개발 · 멀티터미널 제어/운영 전략 및 실증 검증용 HILS 구축/모델링 · 사이버 공격 유형별 대응 보안 기술(감시, 진단, 보호 알고리즘 및 하드웨어) 개발 <p>- (요소기술 2) 고밀도 MV AC/DC 컨버터 C&P 고도화 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · 고밀도 AC/DC 컨버터스테이션용 C&P 플랫폼 개발 · 멀티터미널 제어/운영시스템 연계를 위한 네트워크 게이트웨이 개발 · 이종(異種) 스테이션 C&P 플랫폼 검증용 HILS 구축/모델링 · 이종(異種) 스테이션 C&P 플랫폼 성능검증 <p>- (요소기술 3) MVDC용 컨버터스테이션 엔지니어링 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · 컨버터스테이션별 시스템 사양 설계 프로세스 개발 · 컨버터스테이션 설계/제작을 위한 엔지니어링 문서 체계 및 가이드라인 개발 · 컨버터스테이션별 핵심부 고도화 기술개발 · MVDC 컨버터스테이션별 시장 및 효용 분석 · MVDC 컨버터스테이션 배전계통 영향 평가 * MVDC 적용 전후 제어 및 보호 등의 성능적인 연관 및 영향 평가 · 배전계통 검토 기반 컨버터스테이션 시운전 및 시험 절차서(ITP) 개발 * 주요 부품 성능, 운전 시퀀스, 제어기능, 보호기능 등에 대한 시험방법 및 평가기준 정립 		

○ 개발목표

핵심 기술/제품 성능지표	단위	달성목표		국내최고 수준 ^{주2)}	세계최고수준 ^{주2)} (보유국, 기업/기관명)	
		3차년도	최종		현재	연구개발과제 종료시점
1 C&P Panel ^{주1)}	면	3면	2면	-	3 (독일/지멘스)	-
2 C&P 이중화 절체 기술	μs	<250μs	<200μs	250μs (KERI)	250μs (스위스/ABB)	-
3 공격 유형별 PE 기반 사이버보안 기술	건	4건	5건	-	4건 (USA/UA)	-
4 MVDC용 컨버터스테이션 성능 평가 절차서	건	-	1건	성능 평가 기준 부재	IEEE Std 1662	IEEE Std 1662'

주1) 표준 19인치 rack 기준 Panel로 단일 컨버터스테이션 기준으로 이중화가 적용된 제어/보호 기능 포함

주2) 국내 및 세계최고수준은 HVDC 기술 기준이며, MVDC는 현재 최고 수준이 제시되지 않음

3. 기타 지원 요건

○ 안전관리 사항 : 해당없음

○ 기타사항 :

- 테스트베드 설치 및 시운전 포함
- 이종(異種) 스테이션 C&P 개발을 위해서는 복수 기업 참여 필수
- 요소기술3에서 제시한 엔지니어링 문서체계에 따른 문서작성 필수
- 예타보고서 P184 기준 “1-1-2. 컨버터 보안기술개발”은 48개월 이내로 수행

4. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 25.5억원 내외,
총 정부지원연구개발비 : 97.7억원 내외)

* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으로 추후 변동될
수 있음

- 단계평가 결과에 따라, 추후 연구개발과제
수행여부 결정

○ 주관연구개발기관 : 제한없음

- 기업참여 필수

○ 기술료 : 징수

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 제안요청서(RFP) (지정공모)

관리번호	2022-MVDC-요소기기-4	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)	
연구개발과제명	특고압 직류배전용 직류차단 기술개발	
1. 필요성	<p>○ (기술성) 직류 배전망에서 선로사고 발생 시 직류계통이 붕괴되는 상태가 발생되지 않도록 컨버터스테이션의 가동상태를 유지하면서, 사고선로가 건전계통으로부터 분리되도록 하기 위한 직류전류 차단기술이 요구됨</p> <p>○ (경제성) 현재 직류배전 차단기는 초기 시장단계 기술로 정부의 선제 투자를 통해 위험요소 해결 및 상용화 기술 선점이 필요함</p> <p>- 신재생 및 EV/UAV/육상선박 충전인프라 등과 같이 로컬 단위의 중소규모 전력 인프라망(도심지, 교통, 항만 등)의 MVDC 적용으로 새로운 전력시장 창출이 기대됨</p>	
2. 연구목표	<p>○ 최종목표 : MVDC 배전망용 차단기 기술개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 6단계)</p> <p>- (요소기술 1) MVDC용 직류차단기 설계 및 제작기술</p> <ul style="list-style-type: none"> · 차단기 설계를 위한 운용계통 요구조건 및 성능지표 정합기술 개발 · 기계식 고속 스위치 설계 및 제작기술 개발 · 전류영점 생성을 위한 commutation 방식설정 및 기술개발 · 전류기울기 제한용 리액터 설정 및 구성 · 차단에너지 흡수회로 구성기술 개발 · 차단기 구동을 위한 동작 명령용 제어부 개발 <p>- (요소기술 2) MVDC용 직류차단기 성능 평가 및 실증 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> · 차단기 시험기준안 선정 및 성능검증 기술개발 · 차단기 성능검증 기술에 따른 성능 평가 · 테스트베트 적용을 위한 차단기 제작 · 테스트베트 적용 운용을 통한 실증 검증 <p>- (요소기술 3) 직류차단기 에너지 흡수(2MJ 이상)를 위한 기반기술</p> <ul style="list-style-type: none"> · 직류 차단기술 분석 및 도전적 차단에너지 흡수기술개발 전략 수립 · 직류 차단에너지(2MJ이상) 흡수기술 개발 · 흡수에너지 대용량화를 위한 소자구성기술 개발 	

○ 개발목표

핵심 기술/제품 성능지표		단위	달성목표		국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)	
			3차년도	최종		현재	연구개발과제 종료시점
1	rated voltage/current	kVdc/A	42kV/1000A	42kV/1000A	80kVdc TRL3 수준 (KERI/LS)	500kVdc 실증 (중국, NR)	-
2	peak fault current	kA	8kA	9kA	8kA	<25kA (중국, NR)	-
3	fault neutralization time	ms	<3.5ms	<3ms	<4ms	<5ms (중국, NR)	-
4	Transient Interruption Voltage (TIV) /rated voltage	%	150~170%	150~170%	150%	150~170%	-
5	배전급 직류차단 시험평가 표준(안) 제안	건	1	1	-	IEC 등 검토 중	-
6	Test bed를 통한 성능실증	건	-	1	-	현장 실증 (중국)	-
7	총 차단에너지 흡수크기	MJ	>2	>2	<2	스위스, ABB	-

주1) 국내 및 세계최고수준은 HVDC 기술 기준이며, MVDC는 현재 최고 수준이 제시되지 않음

3. 기타 지원 요건

○ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외 함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 초고압 직류 (감전, 화재 등), 기계식 차단기 (협착위험)

○ 기타사항

- 테스트베드 설치 및 시운전 포함
- 연구개발계획서 내에 요소기술 간의 유기적인 연계방안 제시 필수
- 예타보고서 P184 기준 “1-3-2. 직류 차단에너지 소호기술개발”은 2023년 착수

4. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 7.2억원 내외
총 정부지원연구개발비* : 60.4억원 내외)

* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으로 추후 변동될 수 있음

- 단계평가 결과에 따라, 추후 연구개발과제 수행여부 결정

○ 주관연구개발기관 : 기업

- 중소·중견기업 참여 필수

○ 기술료 : 징수

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 제안요청서(RFP) (지정공모)

관리번호	2022-MVDC-요소기기-5	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)	
연구개발과제명	특고압 직류배전용 계측·진단 및 신뢰성 평가 기술개발	
1. 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직류기반의 신재생에너지원 증대에 따라 에너지 효율성 측면에서 MVDC 변환소 구축이 필요하며 MVDC 변환소를 안정적으로 운영하기 위한 기술 개발 필요 ○ 전량 수입에 의존하거나 아직 개발되어 있지 않은 MVDC급 특고압 DC 스마트 계측시스템 국산화를 통하여 수입대체 효과 창출 및 국내 배전망 소재·부품산업의 고도화 필요 ○ MVDC 변환소 및 배전선로의 신뢰성 확보, 안정적·효율적 운영을 위한 MVDC 변환소를 구성하는 핵심기기들의 감시진단 및 자산관리 기술개발 필요 	
2. 연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종목표 : MVDC 변환소용 계측·감시진단 및 신뢰성 평가 기술개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계) <ul style="list-style-type: none"> - (요소기술 1) MVDC 변환소용 DC 전류·전압 ICT 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> · DC 전류 센싱기술 개발 (500A 이상 정격 전류, 600% 이상 과부하 내량, MVDC 내전압) · DC 전압(42kV 이상) 센싱기술 및 과전압 운영 범위의 센싱 기술개발 · DC 전류/전압 계측 센서 선형성 및 안전성 향상을 위한 구조 개발 · DC 전류/전압 계측 센서 신호의 계측·통신 및 모니터링 기술개발 - (요소기술 2) MVDC 전력기기용 DC 부분방전·누설전류 ICT 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> · DC 부분방전, DC 누설전류 측정 및 신호 분석 기술 개발 · MVDC 핵심 DC 전기기기 DC 부분방전 DB화 기반 구축 · DC 부분방전 및 누설전류 센서 신호의 계측·통신 및 모니터링 기술개발 - (요소기술 3) MVDC 변환소용 감시진단 ICT 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> · MVDC 변환소 전기기기별 데이터 구조화 기술개발 · 다중프로토콜 정보연계를 위한 게이트웨이 개발 · IEC 61850 Ed.2 기반 IED 개발 · MVDC 변환소 핵심기기 감시진단기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 변환소 핵심기기 선정기준 수립 및 감시진단 대상 선정 ▷ Converter System Sub-Module 및 냉각시스템 진단기술 개발 ▷ DC 접속재 및 차단기 진단기술 개발 ▷ 변환소 전후단 배전반 진단용 센서 개발 및 핵심기기 진단 IED 개발 · MVDC 변환소용 감시진단기술 연계 자산관리 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 수명평가, 건전도 평가, 리스크 평가, 의사결정지원 등 - (요소기술 4) MVDC용 계측·감시진단시스템 성능검증 및 실증시험 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> · MVDC용 계측 및 감시 진단기기의 성능검증 기준과 기반기술 개발 · MVDC용 계측 및 감시 진단기기의 성능검증 · MVDC용 계측 및 감시 진단기기의 실증시험 기준 개발 및 실증시험 - (요소기술 5) MVDC용 컨버터스테이션 시험평가 엔지니어링 <ul style="list-style-type: none"> · MVDC용 컨버터스테이션 검증을 위한 성능 평가 기준 및 절차 개발 · 컨버터스테이션 신뢰성 평가 기술 개발 (RAMS 분석, 전자기/환경/진동) 	

· MVDC용 컨버터스테이션 시험평가 기술 표준화

○ 개발목표

핵심 기술/제품 성능지표		단위	달성목표		국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)	
			3차년도	최종		현재	연구개발과제 종료시점
1	DC 전압 측정정격	kV	≥ 42	≥ 42 ^{주2)}	-	-	-
2	DC 전류 측정정격	A	≥ 500	≥ 500 ^{주2)}	-	-	-
3	DC 전류, 전압 센서 측정 오차율	%	-	≤ 0.2 ^{주3)}	0.5 ^{주4)}	0.2 (중국/NR Electric)	-
4	DC 절연 열화 감시용 센서 종류	EA	1	2	-	-	-
5	Converter System 감시진단지표 (IGBT Vce(on) 및 Capacitance 추정 오차율)	%	-	≤ 10 ^{주5)}	-	-	-
6	MVDC 변환소 감시진단 대상 전기기기 수	EA	-	≥ 7	-	-	-
7	MVDC 변환소 감시진단 및 자산관리 국내표준·운영가이드(안)	건	-	2	-	-	-
8	MVDC용 컨버터스테이션 시험평가 국내 단체 표준(안) 제안	건	-	1건	국내 표준 부재	IEEE Std 1709	IEEE Std 1709

주1) 국내 및 세계최고수준은 HVDC 기술 기준이며, MVDC는 현재 최고 수준이 제시되지 않음

주2) 센서의 과부하 및 운영범위 내량에 있어서 측정정격 전류 600%, 측정정격 전압 150% 이상 목표 만족 필요

주3) 전류 센서의 오차율은 정격전류 범위의 10~120%, 전압 센서의 오차율은 정격전압 범위의 10~110% 에서 목표 만족 필요

주4) KS C 1706 표준에 따른 고압 AC 계기용 변성기의 국내 최고 수준

주5) 계측치 대비 추정치의 오차율을 의미하며, 요소기기-3과 연계하여 2종 이상의 DC 전기기기에서 만족 필요

3. 기타 지원 요건

○ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 고압 직류전원 (감전, 화재), 기계식 차단기 (협착)

○ 기타사항

- 테스트베드 설치 및 시운전 포함
- 실증시험을 위한 상세 계획 및 연관 연구개발과제들과의 협력방안 제시 필요
- 예타보고서 P184 기준 “1-5-1. 전류 계측기술개발”, “1-5-2. 전압 계측기술개발”은 36개월 이내로 수행
- 예타보고서 P184 기준 “1-5-3. 진단용 ICT 기술개발”은 48개월 이내로 수행

4. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 64.7억원 내외,
총 정부지원연구개발비* : 250.7억원 내외)

* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으로 추후 변동될 수 있음

- 단계평가 결과에 따라, 추후 연구개발과제 수행여부 결정

○ 주관연구개발기관 : 제한없음

- 기업참여 필수

○ 기술료 : 징수