

2022년도
에너지기술개발사업
과제기획보고서

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

무단 전재 및 재배포 금지

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

제3자의 기획보고서 및 관련자료의 재할용시 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 . 기획대상과제 도출	34
1. 과제기획방향	
2. 기획과제 RFP	

1. 개 요

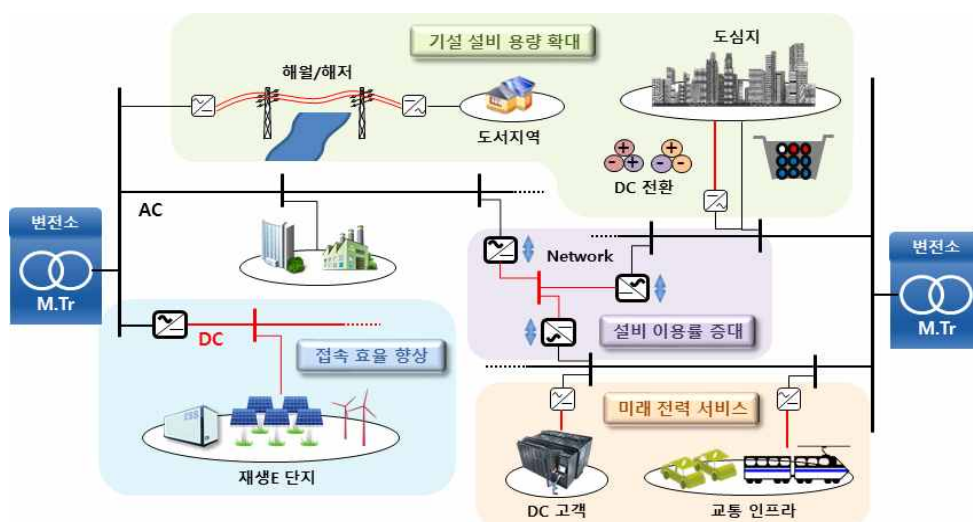
(1) 개 념

□ 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 380V, 220V를 사용 중임

□ AC/DC 복합배전망

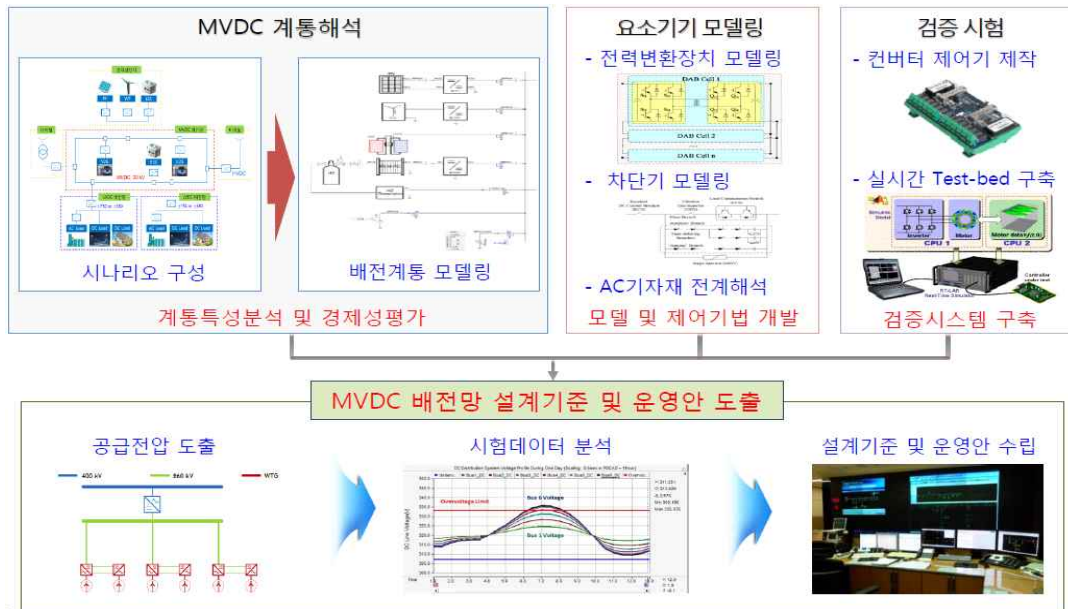
- 기존 특고압 배전계통에 MVDC를 연계하여 신재생에너지원, DC수용가의 접속 증가에 효율적으로 대응하는 기술
- DC출력을 가지는 신재생에너지원과 직접적으로 연계하여 접속 효율을 향상
- BTB기반 컨버터를 이용한 전력조류 제어로 기설 배전망의 설비 이용률 증대
- 기설 AC선로를 DC로 전환함으로써 송전전력량 증가
- 대규모 직류수용가에 무정전 전력, 고품질 전력공급 등과 같은 미래전력 서비스 제공



[그림] AC/DC Hybrid 배전망 개념도

□ AC/DC 복합배전망 설계

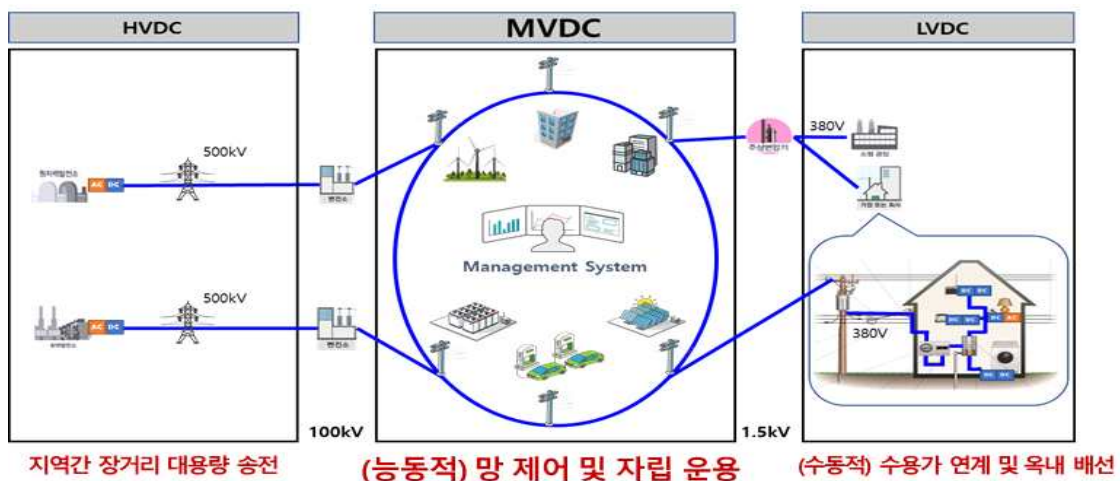
- MVDC와 관련된 설비 및 AC/DC Hybrid 망을 모델링하고 다양한 시나리오 기반으로 한 모의 결과를 활용하여 설계기준 및 배전계획방안 도출



[그림] MVDC 배전망 설계 개념도

□ AC/DC 복합배전망 운영시스템

- 기존 AC설비, MVDC 설비와 연동하여 데이터수집, 모니터링 및 제어가 가능하고 전력조류 능동제어, 복합배전망 고장처리와 같은 기능을 수행하여 망의 능동적인 제어 및 자립운영이 가능한 시스템



[그림] MVDC 기술 개념 및 범위

(2) 주요 이슈

□ 정책변화에 따른 재생에너지 증가

- 2040년 재생에너지 발전비중 30~35%로 확대, 분산형·참여형 에너지 시스템 확대 및 계통체계 정비 등을 담은『제3차 에너지기본계획』 수립(2019.6)
 - 수요지 인근 분산형 전원 발전량 비중을 2040년 30%로 확대('17년도 12%)
- ‘지능형 전력망’ 분야에서 재생에너지 확대에 따른 안정성 확보 및 분산형 에너지 확산을 위한 직류 송배전(HVDC, MVDC) 시스템을 개발하는『제4차 에너지기술개발계획』 수립(2019.12)
 - 분산에너지 확산에 따른 신재생 수용성 확보를 위해 2030년까지 MVDC 직류배전운영 시스템 기술을 확보하여 AC-DC 혼용 운전을 목표로 제시
- (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여하는 MVDC 전력망 기술 도입 추진

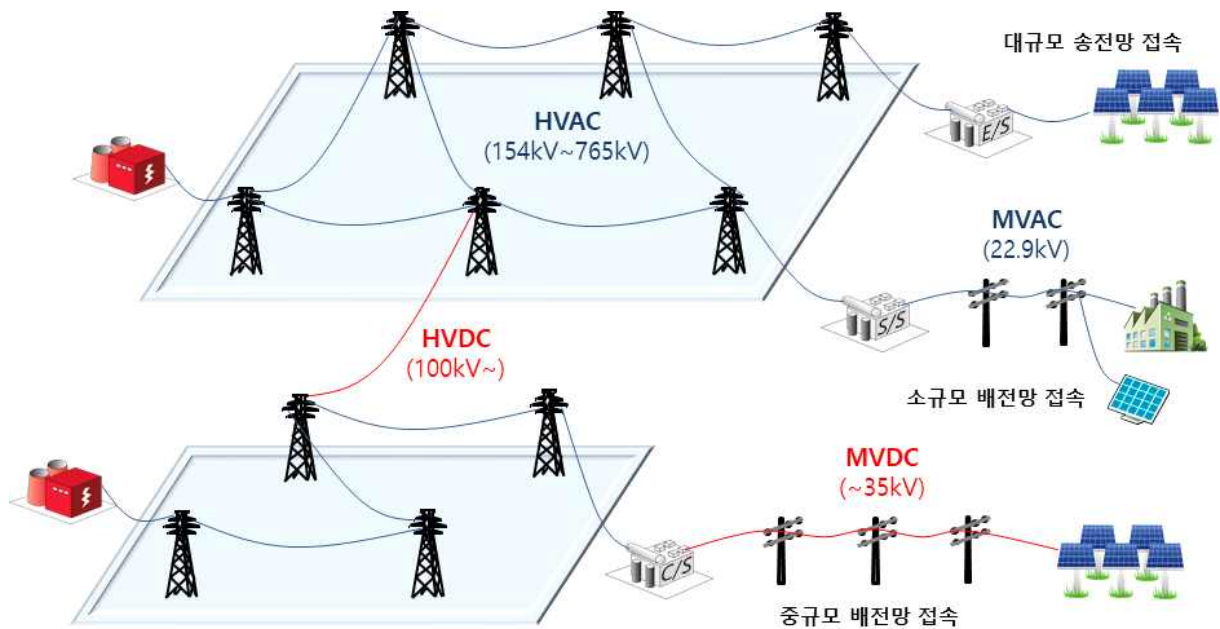
□ 배전설비 확장의 한계

- 분산전원 연계 및 도심전력 수요 증가의 대응을 위해서는 포화된 배전망 증설이 필요하지만, 배전설비 외 변전설비도 증설이 수반되므로 이에 대한 주민의 수용성 확보가 어려움
 - 분산전원 증가에 따른 접속 대기 또는 원거리 변전소 우회 접속 비용 발생
 - 분산전원의 간헐적 출력에 따른 역조류 발생은 계통의 수용 용량 한계로 인해 발생
 - 제한된 배전계통 용량의 한계로 전기차 충전소와 같은 도심 내 대규모 전력 수요 증가에 대응이 어려움

□ 중전압 DC 배전망 기술 부재

- 신재생에너지 접속용량 증대 및 효율성 제고를 위하여 HVDC, LVDC와 같은 DC관련 기술이 지속적으로 개발되고 있으며 미래에는 HVDC와 LVDC를 연계할 수 있는 중규모 MVDC 배전망이 도입예상됨에도 MVDC 기술개발 및 활용은 초기 단계임

- 국내 HVDC는 1998년 해남-제주간 400MW 준공을 시작으로 제주-육지간은 총 700MW가 가동중에 있으며 현재 3호선을 추가 건설하여 제주지역의 신재생에너지원을 대응할 예정임
- * 뿐만 아니라 내륙에도 전력조류 혼잡에 대응하기 위하여 북당진-고덕, 동해안-수도권 HVDC건설을 9차 전력수급기본계획에 의거 추진 중임
- 한전을 중심으로 LVDC 배전과 관련하여 2016부터 기술개발을 활발하게 진행 중이며 개발 기술을 바탕으로 실증 및 비즈니스 모델 발굴을 위해 노력하고 있음
- MVDC는 해외 실증결과에 의하면 MVDC 기존 AC대비 신재생에너지접속 용량과 변환효율상승에 분명한 효과가 있음이 증명됨
- * 그럼에도 불구하고 국내 기술개발은 아직 학술적 연구 단계에 머물러 있기 때문에 추가적인 연구개발이 필요함



[그림] 미래 전력망 개념도

□ 분산전원의 불확실성 제어 한계

- 배전망 계통에서 확대되는 다수의 분산전원의 간헐적 특성으로 전체 전력계통의 복잡도가 높아지지만 배전단에서는 이를 제어하기 어려우므로 전체 계통의 안정성이 낮아짐

- 제한된 계통 내 재생에너지와 분산전원의 증가는 전력시스템의 변동성(Variability)과 불확실성(Uncertainty)을 증가시켜 주파수 등 전력품질의 저하를 초래하며, 최악의 경우 정전 등의 사고가 발생할 수도 있음
- 전 지구적인 기후변화에 따라 한반도에 지진, 태풍 등 예기치 못한 재난의 발생 시 전력 공급의 안정성을 확보할 수 있도록 사고의 확산 가능성이 높은 중앙집중식 통합형 전력공급이 아닌 지역별 분산된 형태로 독립운전이 가능한 전력공급체계의 준비 필요

□ 전력변환 손실 증가

- 증가하는 DC 전원과 부하 속에서 기존의 AC 배전에 따른 공급과 수요단의 개별 AC/DC 변환은 전력 효율과 비용 측면에서 손실이 큼

□ 이슈 해결 및 과제추진 방향

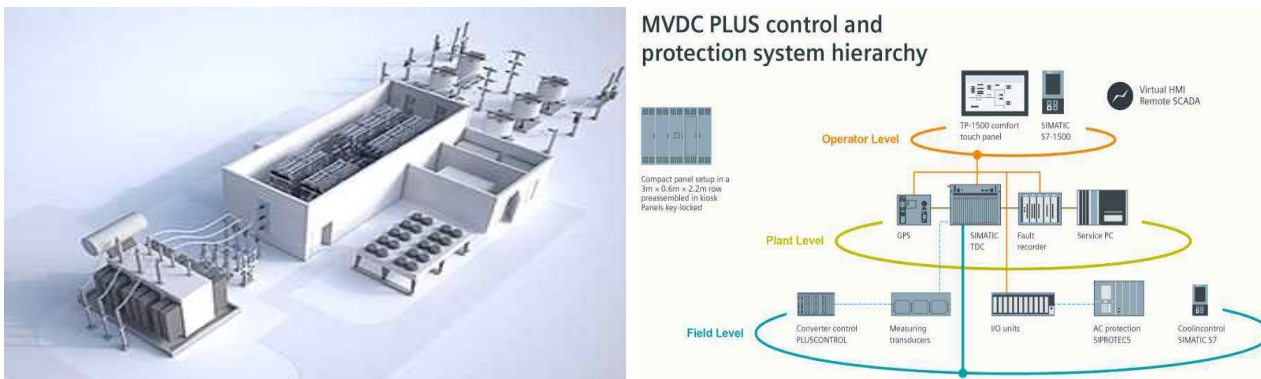
- AC배전망의 MVDC망으로의 완전 대체는 현실적으로 어려운 측면이 있기 때문에 계통 해석, 경제성 평가를 기반으로 한 AC/DC Hybrid 배전망의 최적 토폴로지 설계, 운영기술 개발을 통하여 아날로그-디지털로 전환되는 과도기적 환경을 고려한 연구개발이 필요
- **(경제성, 비용최소화)** 기존 배전망 설비를 최대한 활용하고 MVDC 기술을 도입한 최적설계를 통하여 분산전원과 도심수요 연계를 확대하고 불필요한 투자를 최소화
- **(효율성 제고)** 신재생에너지원 도입에 따른 AC/DC 전환 및 전압레벨의 여러 단계별 변환에 따른 손실 감소를 고려한 하이브리드 배전망 토폴로지 설계 및 운영기술 개발
- **(공급신뢰도 제고)** 분산전원이 위치한 배전망 단위에서 수동적인 단방향 전력 흐름이 아닌 능동적 다방향 제어의 구현으로 분산전원의 불확실성과 간헐성 대응하고, 계통사고 발생시 부하 중요도를 고려하여 고장 지역 차단 및 능동 조류제어를 활용한 전력 우회 공급으로 계통 신뢰도 제고
- **(환경친화)** 설비의 위험성과 안정성을 강화하고 전자기장 유해성을 저감하는 기술 개발로 기술적 해결의 방향이 기기, 인체, 환경 측면에서 안전성과 친화성을 확보하여 사회적 수용성 확대

2. 산업·기술 동향

(1) 해외 동향

□ 독일 SIEMENS는 30kV~150kV 사이의 AC 그리드를 위한 새로운 직류 전송 시스템을 출시함

- 최대 125마일의 거리를 연결할 수 있는 MVDC 시스템은 분산 및 재생에너지원으로부터 배전 시스템으로 공급되는 전력량을 수용 가능하도록 설계함
- MVDC PLUS는 HVDC 기반으로 설계되었으며 20kV~50kV의 전압으로 공급 가능함
- SIEMENS는 HVDC 개발을 통해 상승된 기술력을 기반으로, 최근 MVDC 시장에 진출하였으며, 자사 MVDC 기술을 MVDC PLUS라 명명함



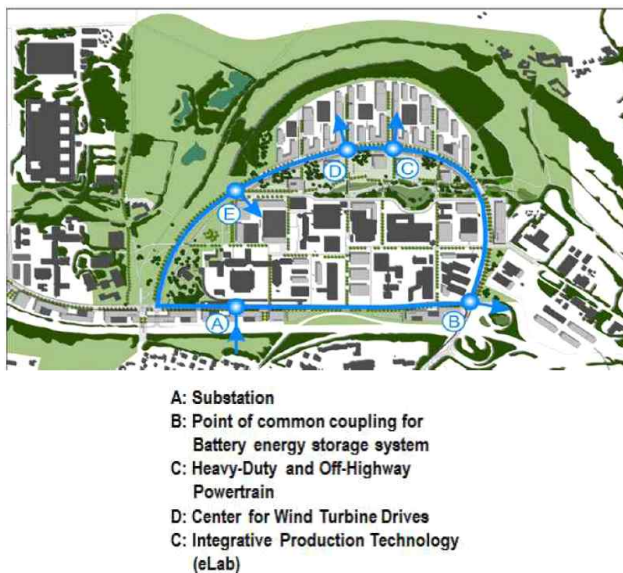
[그림] SIEMENS MVDC PLUS 소개자료

- 2003년부터 Siemens는 자체 정류된 IGBT 컨버터를 기반으로 MV급 레벨에서 Back-to-Back 응용을 위한 제품을 개발하고 있음
- 이를 통해, 2개 이상의 MV급 AC 그리드가 주파수, 위상각 및 전압과 같은 그리드 파라미터와 상관없이 서로 연결될 수 있음
- 연결된 AC 시스템 간에는 각 AC 터미널에서 전원 흐름과 AC의 무효 전력을 제어할 수 있음
- 이는 서로 분리된 AC 배전망의 결합, 산업 그리드의 구현, 항구에서 선박에 전원공급 등에 활용될 수 있음

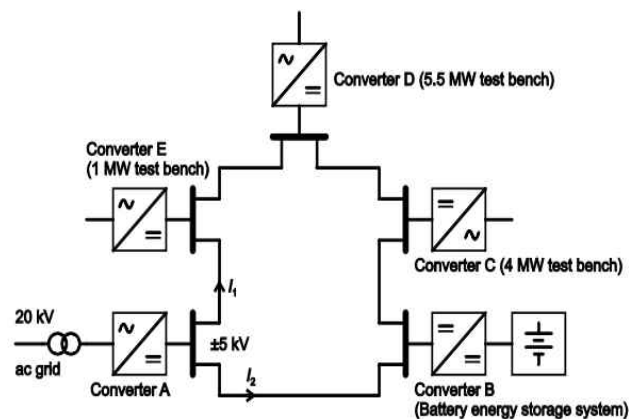
- 독일에서는 이미 성숙된 제품으로 적어도 2개 이상의 유틸리티 그리드에서 적용이 되고 있음

□ 독일 E.ON은 RWTH Aachen University에서 새로운 분원을 MVDC 전력망 형태로 건설 중에 있으며, BESS와 연계하여 약 20kV의 전압 레벨로 배전 계통을 구성하여 선로 규격에 따른 전력 전송량, DC 전압 제어 기술, DC 조류 계산, 보호 장치, 고장 분석에 대해 다방면으로 연구하고 실증하고 있음

- 대표적 MVDC 선도국가 독일의 경우 RWTH Aachen University에서 해상풍력 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 제어기법에 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

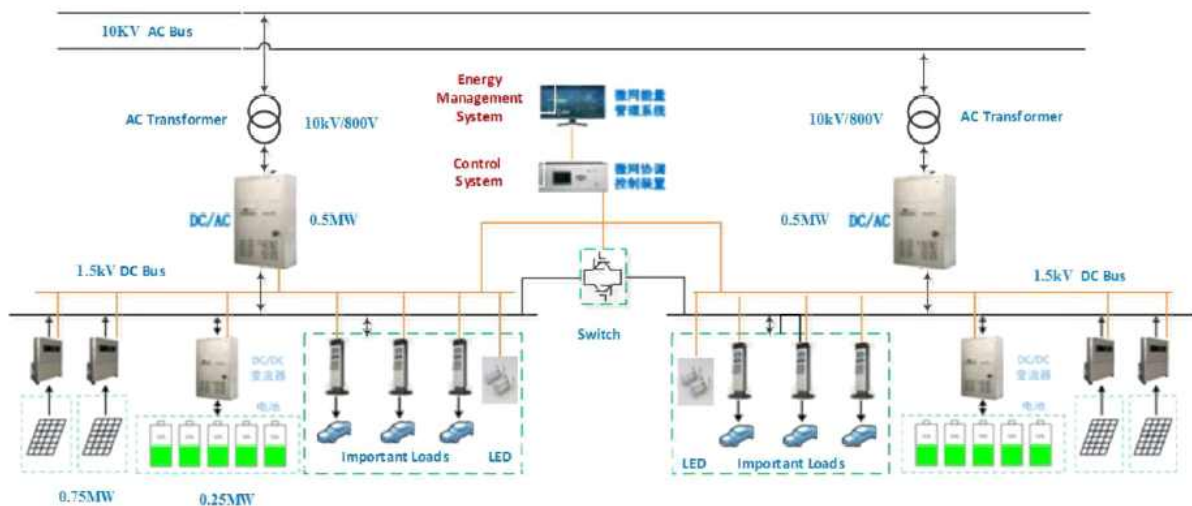


[그림] E.on MVDC 프로젝트(캠퍼스 배치도)



[그림] RWTH Aachen University의 MVDC 전력망 다이어그램

- 중국전력연구소(CEPRI)에서 수행한 Anhui Lu'an Jinzhai DC 배전 프로젝트는 2017년에 시작되었으며, Anhui 지방의 Lu'an 도시 내의 Golden Phoenix Tree Innovation Park에 위치함
- CEPRI는 DC 배전 프로젝트를 배전 네트워크, 분산전원 및 마이크로그리드 측면의 3가지 주요 관점에서 설계함
- 이 프로젝트는 모노폴 버스로 1,500V DC 버스와 연결된 DC 마이크로그리드 시스템을 구축함
- 이 시스템은 실외 DC 전원 배전 섹션을 포함하여 실내 DC 배전 섹션, 측정 및 제어 시스템, 보호시스템 및 에너지관리시스템(EMS) 등의 5가지 시스템으로 구성됨
- 이 시스템은 태양광 발전, Lead-carbon 에너지저장장치, 슈퍼 커패시터, 전기차용 30kW DC 충전기 10개 세트 등에 연결됨
- 계층적 조정 제어를 통해 전체 시스템에 대한 모니터링 및 제어를 달성하려고 함

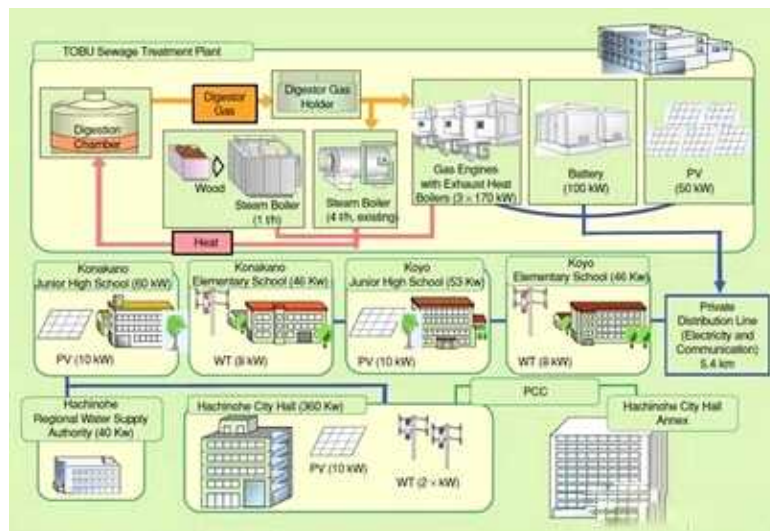


[그림] Anhui Lu'an Jinzhai DC 배전 프로젝트의 세부 구성

- 중국해양석유총공사(CNOOC)는 2010년~2013년에 문창 인근의 해상 플랫폼과 지상 플랫폼 사이의 해저케이블 복구를 위해 $\pm 15\text{kV}$ 의 DC 선로 구축을 위한 ‘Wenchang’ 프로젝트 수행함
- 중국 RXPE는 약 30km 거리에 나뉘어 있는 석유 굴착용 플랫폼을 10kV 직류 시스템으로 연결하는 프로젝트와 복잡한 도심지의 전력공급을 위한 MVDC 기술 적용을 증명하기 위한 ‘Wenchang’ 프로젝트 진행 중

- 해상 석유 발전소와 지상까지 전력전송을 위해서 DC 10kV point to point 배전 방식을 개발하여 적용하였으며, 칭화대 및 저장대와 합작으로 전압형 MVDC 국가 프로젝트를 진행 중

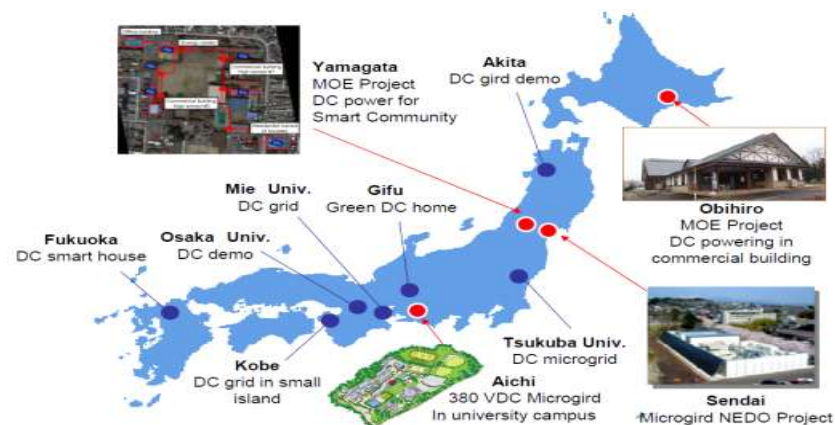
□ 일본 Hachinohe 프로젝트에서는 분산 전원(태양광발전, 풍력발전, 바이오에너지 등)을 이용하면서, 대형 송전시스템이랑 연결되며 AC/DC 하이브리드 배전 실증 프로젝트를 진행 중에 있음



[그림] 일본 Hachinohe 프로젝트

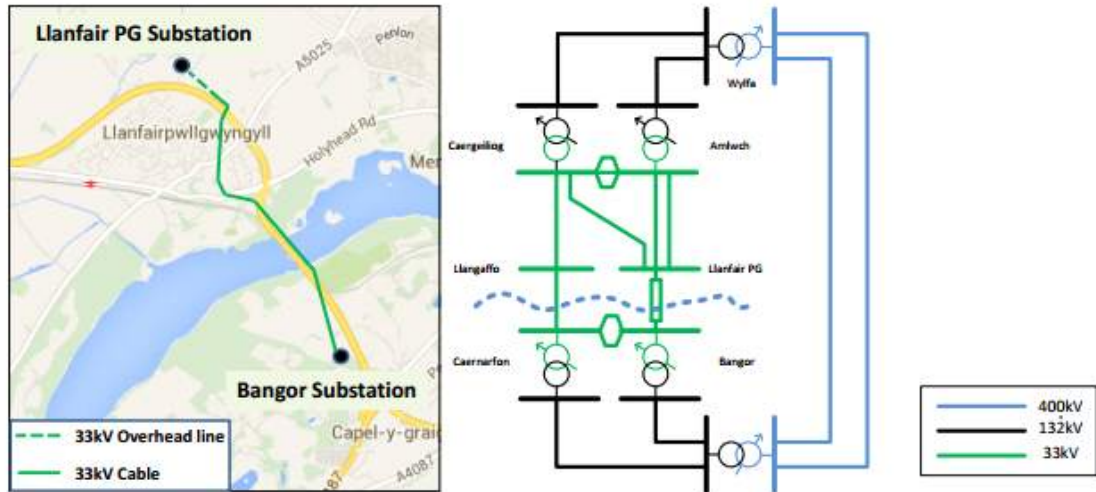
□ 일본 센다이프로젝트에서는 NEDO의 지원으로 NTT에서는 센다이프로젝트를 통한 마이크로그리드 실증사업에서 신재생원의 직류연계를 실증

- 직류 IDC 사업 이후 현재는 스마트 커뮤니티를 위한 직류배전 실증사업을 추진 중



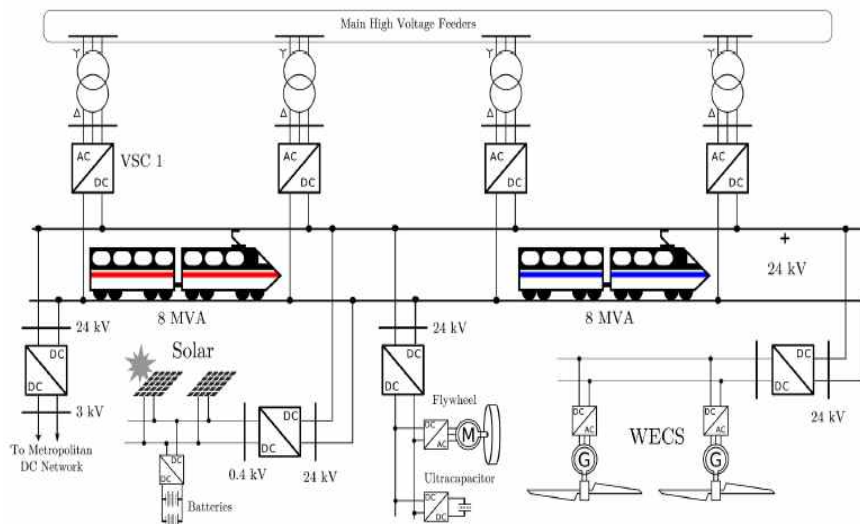
[그림] 일본의 DC 커뮤니티 실증사업

- 스코틀랜드 SP Energy Network에서는 ANGLE-DC 프로젝트를 통해 Llanfair PG 변전소와 Bangor 변전소까지 MVDC로 설치하였으며, 50Hz의 AC에서 DC로 변환하여 30MW 규모의 직류배전 사업을 추진 중임



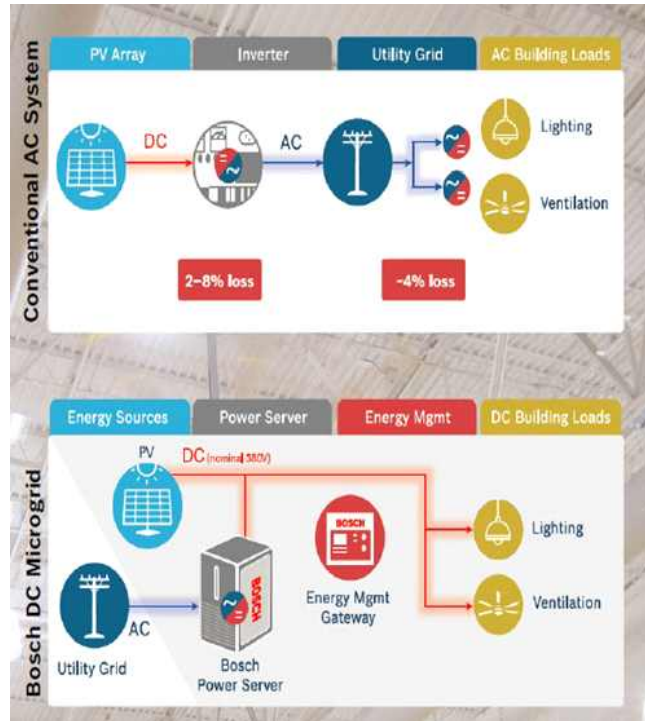
[그림] Llanfair PG 변전소와 Bangor 변전소 사이의 33kV 선로

- 스페인은 철도 전력공급 시스템 연계 프로젝트를 통해 AC기반 철도용 전력공급 시스템 체계에서 신재생에너지원과 에너지저장장치 기반의 MVDC 시스템이 상호 연계 되는 신규 시스템의 설계를 완료함



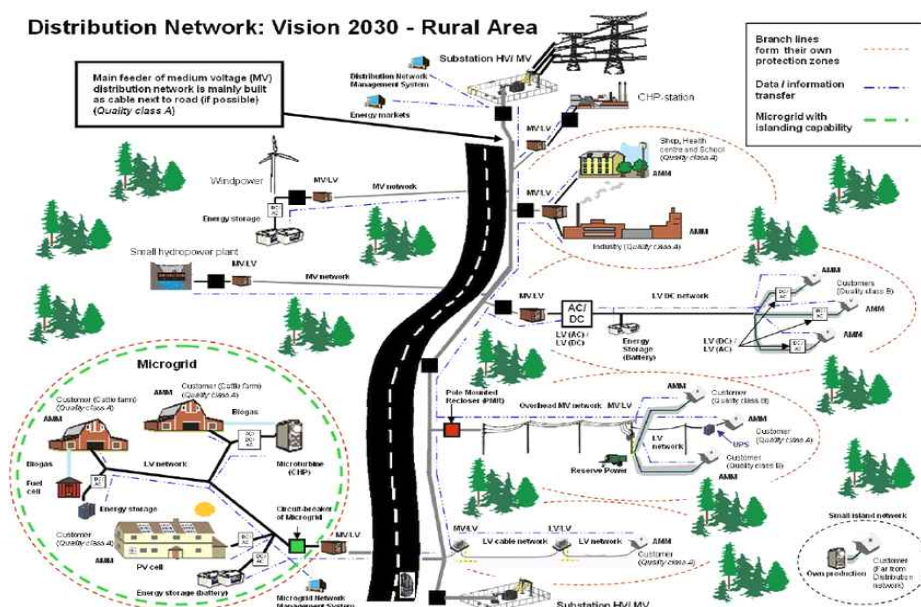
[그림] 전압형 전력변환장치기반 MVDC 구성도

- 유럽의 Bosch社は 직류 전력 공급망 구축 시 기존의 AC 시스템 대비 효과를 검증하는 프로젝트를 수행하였으며, 캘리포니아에 있는 Honda 자동차의 플랜트를 위한 직류 전력망 구축을 수주함



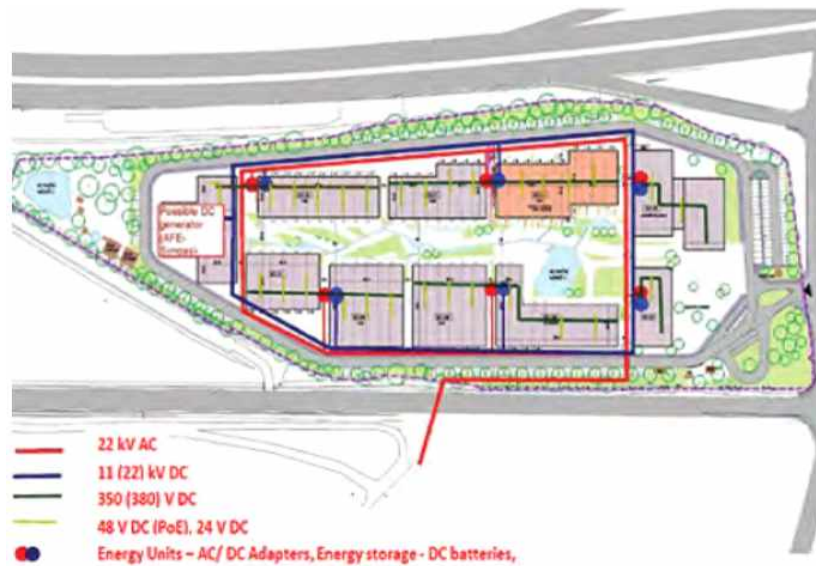
[그림] Bosch의 AC와 DC 시스템의 비교

- 핀란드의 국립연구소인 VTT에서는 ‘Distribution Network 2030’에서 향후 배전망 구축에서 고전압 직류 도입의 필요성을 제시함



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

- 스위스의 ABB에서는 2013년부터 ‘Nupharo Park 프로젝트’를 통해 MVDC-LVDC 통합 전력공급 모델 실증 사업을 추진 중에 있음



[그림] Nupharo Park 프로젝트 개념도

(2) 국내 동향

□ 한국전력

- ‘LVDC 사업화 모델개발 및 MVDC 기술개발 타당성 조사 연구’ 과제를 통해 MVDC의 경제성 및 사업화 방안에 대한 연구를 수행하고 있음

표 1 DC 전압단계별 기술현황		
LVDC(1.5kV 이하)	MVDC(35kV 이하)	HVDC(35kV 초과)
〈실증단계〉 태양광, ESS 연계	〈미개발〉 기술개발 미비	〈상용화〉 지역간 송전망 연계

[그림] DC 전압 단계별 기술 현황

- ‘DC 배전 기술개발 및 확대 기본계획’ 을 3단계로 수립하여 도심지 대용량 빌딩에 대해 DC 20kV로 전력을 공급하는 한편 IDC 및 EV 충전 빌딩 등 DC 전력공급 기반의 비즈니스 모델을 구축할 계획임

1단계	2단계	3단계
<ul style="list-style-type: none"> 13.2 kV AC 배전선로 DC 750 저압 전환 사업 	<ul style="list-style-type: none"> DC 20 kV 기술 개발 AC / DC 신재생 연계형 저압 그리드 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 도심 대용량 빌딩 DC 20 kV 전력 공급 계획

[그림] 한국전력공사 DC 배전 기술개발 및 확대 기본 계획

□ 중소기업진흥공단

- MVDC 급 직류 배전 시스템 기초 연구, MVDC 마이크로 그리드 엔지니어링 기술개발, MVDC 배전선로용 전력변환기 요소기술 개발에 투자하고 있음

□ 한국전기연구원

- 33kV 1kA MVDC급 차단기를 개발하였지만 MVDC 케이블, 애자 등에 대한 연구는 미흡한 실정임

□ 효성

- 20MW의 대규모 풍력단지의 연계를 위한 $\pm 12\text{kV}$ 의 MVDC 급 전압형 컨버터 개발하여 2016년 실증을 완료함

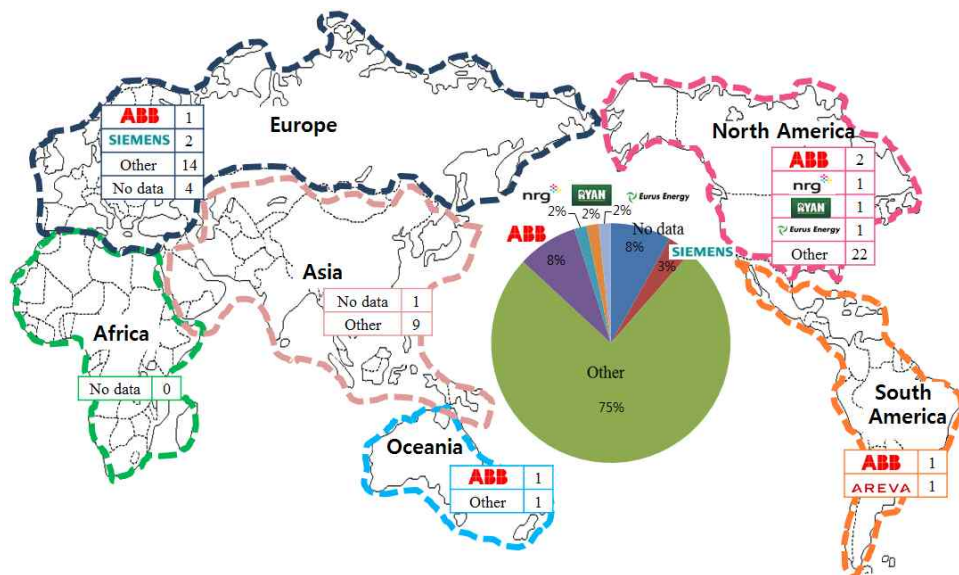
□ 전남 나주

- 에너지밸리 일대가 에너지신산업규제 자유특구로 지정되었으며, 규제자유특구에서는 전력 전송을 현행 교류(AC) 전기가 아닌 직류(DC) 전기로 보내 에너지 효율을 높이는 각종 실증 사업이 이뤄질 예정임
- 나주시 일원 19.94km²가 2020년부터 4년간 에너지신산업 규제자유특구로 지정되었으며, 이곳에서는 대용량 분산 전원과 연계한 중압직류(MVDC)를 실증할 예정임
- 한국전력공사·일진전기 등 16개 특구 사업자가 참여하고, 총 390억 원(국비 227억원·지방비 97억원·민자 65억원)의 예산이 투입될 예정임
- 실증사업은 1단계 MVDC 핵심기자재 개발, 2단계 MVDC 실증사이트 구축, 3단계 MVDC 계통안정성 실증, 4단계 MVDC 실증결과 활용 및 표준 제시 등 단계별로 추진할 예정임

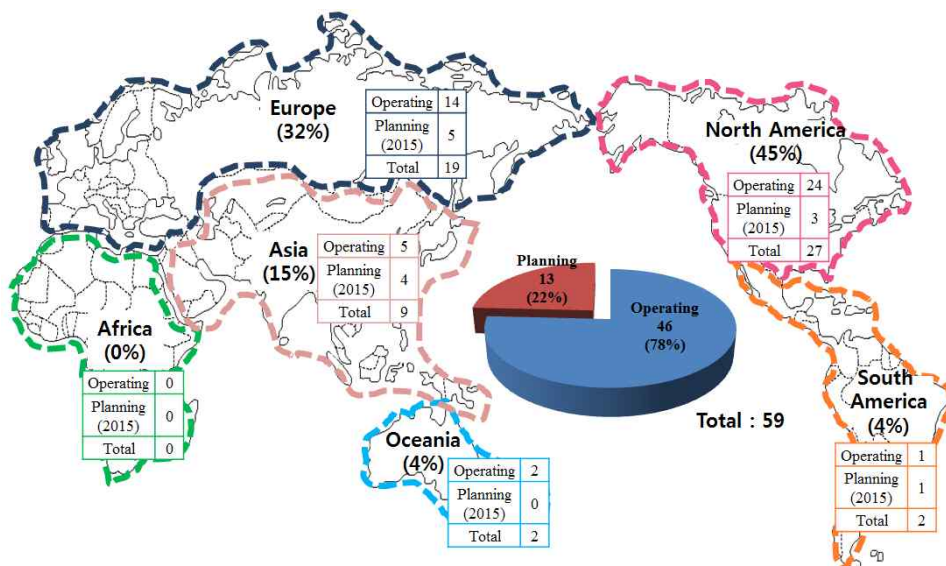
(3) 국내외 시장 동향

□ 세계 MVDC 시스템 현황 및 규모

- 현재 전 세계에서 운전 및 계획 중인 MVDC 시스템 현황(업체별/대륙별)을 살펴보면 주로 신재생에너지를 기반으로 한 국가 간 송전(타송)이 정착된 북미와 유럽에 MVDC 시장이 주로 형성되어 있음
- 업체 기준으로는 ABB와 Siemens가 가장 많은 시스템을 운전 중이며, 대륙 기준으로는 북미와 유럽을 중심으로 시스템이 적용되고 있음



[그림] 전 세계 운전 및 계획 중인 MVDC 시스템 현황(업체별)



[그림] 전 세계 운전 및 계획 중인 MVDC 시스템 현황(대륙별)

- (국내시장) 2015년도를 기준으로 약 6,500억 원 정도로 향후 10년간 3조 가량의 시장 규모의 확대를 예상되며, 수출 분야의 경우 15년도 기준 1,900억 원으로 향후 10년간 약 1조 5천억 원의 시장이 확대 될 것으로 예상하고 있음
- (세계시장) 근래 외국의 시장 전망 전문조사기관이 발행한 보고서에 따르면 2013년 25억불의 전 세계 MVDC 시장은 2025년 241억불까지 성장할 것으로 전망하고 있음
- Navigant사의 2013년 보고서에 따르면 DC 배전망 시장 규모는 2030년에 17조 원까지 성장할 것으로 전망함

<표> 직류배전 관련 시장규모 전망

Region and Segment (억 원)	2015년	2020년	2025년	2013-2020	2020-2025
Data Centers	62	237	551	33.2%	14.1%
Telecom/Village Power	6,330	16,590	32,440	37.6%	14.8%
Commercial Buildings	20	97	281	38.0%	10.5%
Military Applications	42	151	300	12.5%	13.3%
Total	6,454	17,075	33,572	37.8%	13.2%

※ Source: Navigant Research(2013~2025), 전기산업통계(저압기기) 등을 참고

□ DC 배전 세계 주요 기업 시장점유율

- DC 배전망 주요 기업 현황을 살펴보면, 독일의 Siemens AG가 시장점유율 13.1%로 세계 1위 매출규모를 보이고 있으며 ABB와 Vertiv Critical Power 사 순으로 높은 매출규모를 나타냄
- 매출액 Top3 기업 모두 시장점유율이 매년 증가하고 있는 추세임
- Top3 기업을 제외하면 모두 시장점유율이 1% 미만이고 Top3 기업의 점유율 규모가 23% 내외인 것으로 보아, 시장은 아직 활성화되지 않은 것으로 보이나 주요 기업의 점유율 상승 추세가 강화될 것으로 전망됨

<표> 주요 선진사 매출액 및 DC 시장점유율

단위 : USD Million

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ABB	215.3 (6.77%)	222.7 (6.81%)	231.9 (6.87%)	243.9 (7.00%)	257.7 (7.13%)	273.3 (7.27%)
Siemens AG	389.3 (12.25%)	402.6 (12.30%)	421.5 (12.49%)	442.2 (12.68%)	466.1 (12.89%)	492.6 (13.10%)
Vertiv Critical Power(Emerson)	119.0 (3.74%)	123.6 (3.78%)	132.6 (3.93%)	139.4 (4.00%)	148.0 (4.09%)	157.2 (4.18%)
Mobisol Group (ENGIE)	19.2 (0.60%)	19.8 (0.60%)	20.4 (0.61%)	21.3 (0.61%)	22.3 (0.62%)	23.2 (0.62%)
Pareto Energy	4.2 (0.13%)	4.3 (0.13%)	4.5 (0.13%)	4.7 (0.14%)	5.0 (0.14%)	5.2 (0.14%)
Pika Energy	3.1 (0.10%)	3.2 (0.10%)	3.3 (0.10%)	3.5 (0.10%)	3.6 (0.10%)	3.8 (0.10%)
Nextek Power Systems	3.9 (0.12%)	4.0 (0.12%)	4.2 (0.12%)	4.3 (0.12%)	4.6 (0.13%)	4.8 (0.13%)
EnSync Energy Systems	7.2 (0.23%)	7.5 (0.23%)	7.9 (0.23%)	8.3 (0.24%)	8.8 (0.24%)	9.3 (0.25%)
Others	2,427.9 (76.40%)	2,495.9 (76.28%)	2,560.0 (75.87%)	2,631.8 (75.48%)	2,713.5 (75.04%)	2,805.2 (74.60%)
Total	3,178.0 (100%)	3,272.1 (100%)	3,374.2 (100%)	3,486.9 (100%)	3,616.2 (100%)	3,760.5 (100%)

*자료 : 「DC Distribution Network Market, 2013-2025」, MRS, 2019

□ DC 배전망 기술의 주요 시장

- 전세계 DC 배전 시장규모는 꾸준히 증가추세를 보이며 MVDC 수요처 증대로 인하여 MVDC 배전 시장¹⁾규모 역시 지속적으로 증가할 것으로 예상됨
- MRS社 시장자료에 의하면 DC 배전 시장규모는 3,918.1백 만 달러 (2019년 기준)이고 그 중 MVDC 시장은 68.5% 수준이며 CAGR은 5.2% (2019~2025)로 나타남


1) ① Mordor社의 market report인 「Global DC Distribution Network Market(2016-2021)」에서는 MVDC의 수용가에 대해 간접적인 범위를 제시하고 있음 ("Now, with the increasing smart grids and renewable power generation sources, the DC distribution lines for medium voltage are gaining importance, catering to telecom towers, data centers and commercial buildings.", pp.14)

② MRS社 market report인 「DC Distribution Network Market, 2013~2025」에 제시된 전기차 급속충전 스펙은 MVDC 영역이므로 'Electric Vehicle Charging'은 MVDC 수용가에 포함하여 검토 ("Today, a DC charger with 150 kW can put a 200 km charge on an EV in around just 15 minutes.", pp.28)

* 수용가별로 살펴보면 전기차급속충전에 대한 CAGR이 8.1%로 가장 두드러지며 상업빌딩과 통신망 관련 배전망 시장규모가 높은 시장점유율을 차지

<표> DC 배전 수용가별 시장규모 및 CAGR

구분	시장규모 (비율)		CAGR (‘19~’25)
	2019	2025	
DC Data Center Micro Grid	551.7 (14.1%)	729.3 (13.7%)	4.8%
Commercial Building Grid	755 (19.3%)	1,027.60 (19.3%)	5.3%
Telecommunication Tower	892.1 (22.8%)	1,156.20 (21.7%)	4.4%
LED Lighting Anchor	551.3 (14.1%)	763.9 (14.4%)	5.6%
Military Application	325.2 (8.3%)	415.7 (7.8%)	4.2%
Electric Vehicle Charging	487 (12.4%)	778.8 (14.7%)	8.1%
Others	355.8 (9.1%)	444.4 (8.4%)	3.8%
Total	3,918.1 (100%)	5,316.0 (100%)	5.2%

*  : MVDC 수용가에 해당

**자료 : 「DC Distribution Network Market, 2013~2025」, MRS, 2019

3. 특허 동향

(1) 분석 개요

□ 분석 범위

- 특허동향은 직류 송배전 기술분야에서 MVDC 기술을 분석대상으로 하였으며, 분석을 통해 국가별 연도별 동향 및 기술 분야별 성장 단계 등을 파악하고자 함
 - (분석구간) 1998년 ~ 2020년 3월
 - (분석대상) 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO), 중국(SIPO)의 MVDC 기술 특허

<표> 특허 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개.등록특허 (공개.등록일 기준)	한국 (KIPO)	WIPS ON	~ 2020.03	특허 등록.공개 전체문서
	미국 (USPTO)			
	일본 (JPO)			
	유럽 (EPO)			
	중국 (SIPO)			

□ 분석 방법

- 직류 송배전 관련 특허(HVDC, MVDC, LVDC관련 특허)를 수집하고, 직류송배전관련 특허에서 MVDC관련 특허가 차지하는 점유율을 파악함
 - 유효 데이터 수집을 위하여 직류송배전 관련 키워드를 조합하여 검색식을 도출하고, 검색식을 DB에 적용하여 관련 특허를 우선적으로 수집
 - 키워드 및 검색식을 적용하여 얻은 Raw Data를 기술분류체계에 따라 분류하여 기술분류별 MVDC 점유율을 파악
- MVDC 관련 특허에 대하여 추세분석 및 기술성장단계 등 분석 실시

<표> 직류 송배전 특허 검색식

구분		검색식
직류 송배전	HVDC LVDC	(고압직류* and (송전* 배전*) 고압 adj 직류* and (송전* 배전*) 고전압직류* and (송전* 배전*) 고전압 adj 직류* and (송전* 배전*) 초고압직류* and (송전* 배전*) 초고압 adj 직류* and (송전* 배전*) 초고전압직류* and (송전* 배전*) 초고전압 adj 직류* and (송전* 배전*) HVDC* high adj voltage adj direct adj current high adj voltage adj DC high adj voltage adj power adj transmi*) (저압직류* and (송전* 배전*) 저압 adj 직류* and (송전* 배전*) 저전압직류* and (송전* 배전*) 저전압 adj 직류* and (송전* 배전*) LVDC* low adj voltage adj direct adj current low adj voltage adj DC low adj voltage adj power adj transmi*)
	MVDC	(중압* 미디움* 미둠*) adj 직류* (MVDC* medium* adj voltage* near2 (DC direct* adj current*) "medium-voltage DC" "medium voltage DC" "mediumvoltage DC")

(2) 해외 동향

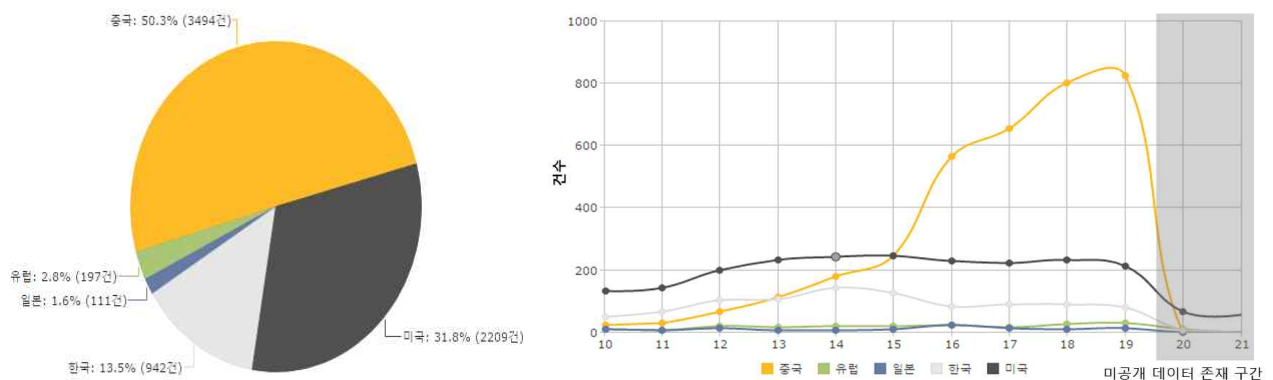
□ 주요국 특허 출원 현황

- 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)

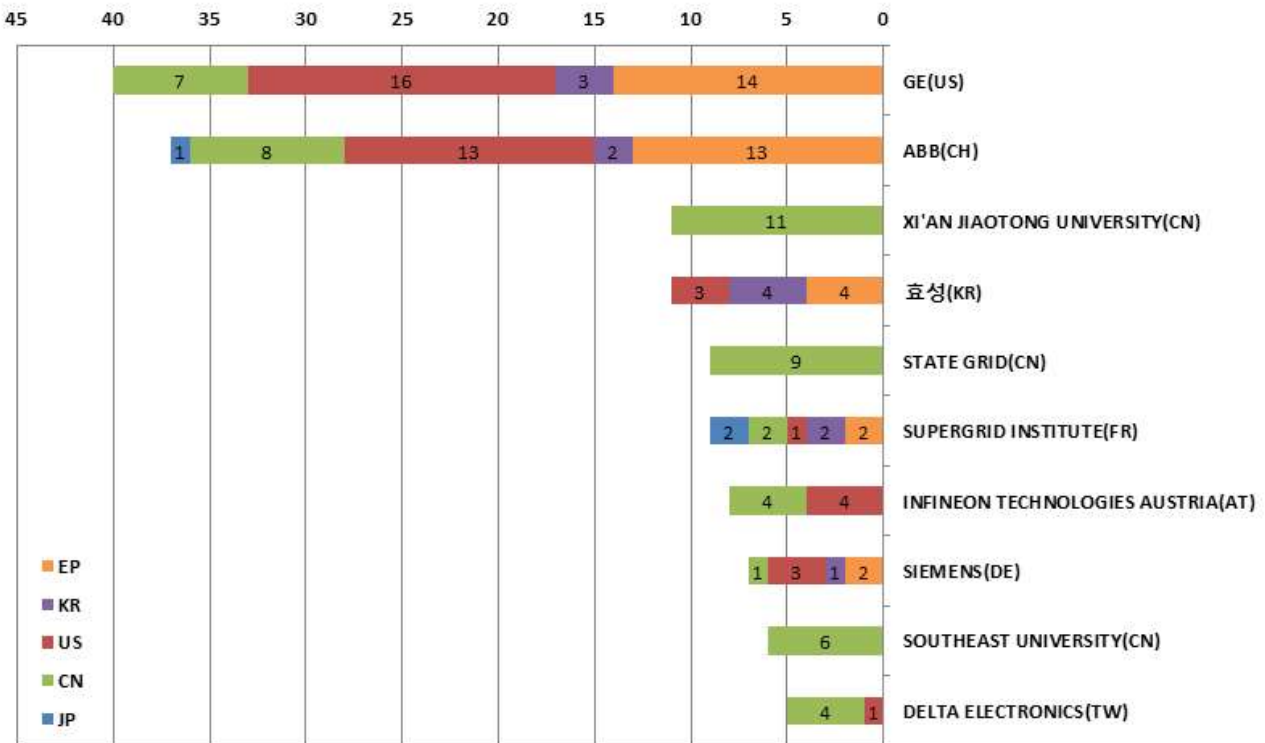
- 다출원 국가는 중국(50.3%), 미국(31.8%), 한국(13.5%), 유럽(2.8%), 일본(1.6%) 순으로, 한국은 2011년~2015년에 출원량이 상대적으로 많아 리딩 그룹에 속했으나, 최근 통계가 미공개 데이터로 인해 부정확한 점을 고려하더라도, 최근에 급격히 줄어드는 추세를 보이는 반면, 중국이 최근 큰 폭으로 증가하는 것으로 파악됨²⁾



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

2) '20~'22년은 미공개 데이터 존재 기간

□ MVDC 기술 주요출원인 (국가별 상위 10)



[그림] MVDC 기술 분야 주요 출원인 (국가별 상위 Top 10)

- MVDC 관련 특허의 주요 출원인을 살펴본 결과, GE(US)과 ABB(CH)사가 각각 1위 및 2위에 기록되었으며, 3위 이하 출원인들과 비교하여 압도적으로 높은 특허 활동을 보이는 것으로 나타남
- 출원 건수가 가장 많은 GE사의 각 국에서의 출원을 구체적으로 살펴보면, 한국에서 3건, 미국에서 16건, 유럽에서 14건, 중국에서 7건을 출원한 것으로 나타남
- * 시장이 활성화되어 있거나 활성화될 가능성이 큰 지역에 특허 출원을 늘리는 글로벌 기업의 특성을 고려할 때, MVDC 시장은 미국, 유럽, 중국을 중심으로 형성되고 있는 것으로 판단됨
- 또한, ABB사 역시, 한국에서 2건, 미국에서 13건, 일본에서 1건, 유럽에서 13건, 중국에서 8건을 출원한 것으로 나타나, 미국, 유럽, 중국에 출원을 집중하고 있는 것으로 파악됨
- 중국 국적 출원인의 경우, 자국 내 출원에 집중하고 있어, 자국시장을 기점

으로 기술력 및 시장을 주도하는 것으로 파악됨

- 한국 출원인의 경우, 효성이 11건의 특허를 출원하며 활발한 특허 활동을 나타내고 있으며, 미국과 유럽에도 패밀리 출원을 진행한 것으로 나타나나, 상대적으로 미진한 특허 활동을 보이고 있어, MVDC 기술 분야에서 상대적으로 낮은 기술 경쟁력을 나타내고 있음

* 다만, MVDC 관련 기술 분야는 현재 연구개발 초기 단계로, 기술경쟁력 격차가 높은 수준은 아닌 것으로 판단됨

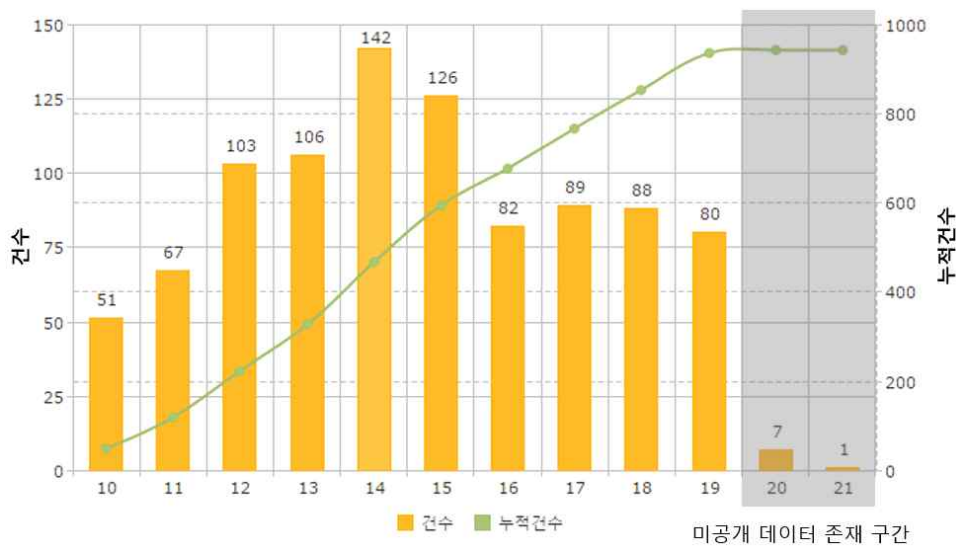
<표> MVDC 분야 국가별 주요출원인 Top 10 (제 1출원인 기준)

순위	한국		미국		일본		유럽		중국	
	출원인	건수	출원인	건수	출원인	건수	출원인	건수	출원인	건수
1	효성(KR)	4	GE(US)	16	HITACHI (JP)	2	GE(US)	14	XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY (CN)	11
2	GE(US)	3	ABB(CH)	13	SUPERGRID INSTITUTE (FR)	2	ABB(CH)	13	STATE GRID(CN)	9
3	ABB(CH)	2	INFINEON TECHNOLOGIES AUSTRIA (AT)	4	ABB(CH)	1	효성(KR)	4	ABB(CH)	8
4	SUPERGRID INSTITUTE (FR)	2	SIEMENS (DE)	3	CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY (JP)	1	SIEMENS (DE)	2	GE(US)	7
5	한국전기연구원 (KR)	2	효성(KR)	3	MEIDENSHA (JP)	1	SUPERGRID INSTITUTE(FR)	2	SOUTHEAST UNIVERSITY (CN)	6
6	한국전력공사 (KR)	2	CLEMSON UNIVERSITY (US)	2	MITSUBISHI (JP)	1	ALEVO (CH)	1	HUNAN UNIVERSITY (CN)	5
7	SIEMENS (DE)	1	FLORIDA STATE UNIVERSITY RESEARCH FOUNDATION (US)	2	TOYO DENKI(JP)	1	ALSTOM (FR)	1	SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY (CN)	5
8	명지대학교 산학협력단 (KR)	1	QATAR UNIVERSITY (QA)	2			HITACHI(JP)	1	DELTA ELECTRONICS (TW)	4
9	전남대학교 산학협력단 (KR)	1	RESILIENT POWER SYSTEMS (US)	2			VESTAS (DK)	1	INFINEON TECHNOLOGIES AUSTRIA (AT)	4
10	조선대학교 산학협력단 (KR)	1	VESTAS (DK)	2					NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY(CN)	4

(3) 국내 동향

□ 국내 특허 동향

- 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 특허 출원 통계

- 국내 주요 출원인은 아래와 같이, 엘에스일렉트릭, 효성, 한국전력공사, 지멘스(독), 엔알 일렉트릭 컴퍼니(중)이 순위를 차지하고 있음
- 최근 중국이 2015년 이후 유관된 다양한 기술분야의 특허를 적극적으로 출원하고 있어서, 기술 종속될 우려가 높아 해당 기술을 적용할 수 있는 다양한 분야에 대한 연구개발 및 특허 출원에 지속적으로 박차를 가해야 할 것으로 사료됨

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

4. 표준화 동향

□ MVDC 표준화 현황

- 현재 IEC는 1.5kV(± 750 V)를 LVDC의 표준 전압으로 규정하고 있으며 HVDC는 국제 연구위원회 CIGRE5)에서 ± 100 kV이상의 전압으로 정의하고 있는 데에 반해, 아직 기술적으로 연구 초기단계인 MVDC의 경우 국내·외로 명확하게 정의된 표준 전압이 있지는 않음
- CIGRE에서 진행중인 MVDC 관련 타당성 연구 보고서에 의하면 LVDC와 HVDC 사이의 전압인 1.5kV~100kV 사이의 전압으로 정의하고 있음

□ IEEE 1709 : 선박의 1kV ~ 35kV 중전압 DC 전원 시스템에 대한 권장 사례

- MVDC(중전압직류) 전력 시스템의 효과적인 유지 관리를 위한 매뉴얼, 안전 절차, 관행 및 절차를 지정, 조달, 설계, 제조 및 개발하기 위한 지침이 포함
 - MVDC 전기 부품을 선박 MVDC 전력 시스템에 안정적으로 통합하기 위한 분석 방법, 선호하는 상호 연결 인터페이스 및 성능 특성에 대한 권장 사항
 - 해당 가이드에는 직류 공급 장치의 단락 값이 낮은 AC 시스템 연결 지점에서 종료되는 DC 연결 계획 및 설계에 대한 지침이 포함

□ CIGRE : 중전압직류(MVDC) grid 타당성 조사

- MVDC grid는 향상된 신뢰성, 유연성 및 효율성을 향한 배전시스템 개선 및 현대화를 위한 기술로 전 세계의 주목을 받고 있음
- CIGRE 실무 그룹의 목표는 기존 및 계획된 MVDC 프로젝트 및 연구를 평가하고 다양한 애플리케이션에 대한 MVDC 기술의 잠재적인 시스템 이점과 주요 기술적 과제를 식별함
 - (MVDC grid의 타당성에 대한 글로벌 조사) ‘MVDC 기술의 이정표’, ‘MVDC grid의 동기 및 운영’, ‘MVDC grid의 기술적 요구사항 및 기능’, ‘MVDC grid의 응용’ 등 R&D와 관련된 조사를 실시
- * MVDC 및 MVAC 배전 시스템, MVDC grid의 기술요구사항 및 작동기능, MVDC 기술의 유망한 응용 프로그램 등을 조사하여 발표함

- (MVDC grid의 요구에 대한 글로벌 조사 결과) DC 배전 개발의 주요 원동력은 DER 및 DC 부하의 증가와 AC 시스템의 상호 연결이라는 것을 발견 요구되는 MVDC 배전 전압 범위는 1.5kV ~ 100kV이고 선호되는 전압 레벨 시퀀스는 100kV, $\pm 50\text{kV}$ —35kV-- $\pm 10\text{kV}$ -1.5kV로 MVDC는 서로 다른 애플리케이션 시나리오를 위한 백투백 또는 지점 간 DC 링크, 방사형 또는 이중 중단 DC 피더 및 다중 터미널 DC 시스템과 같은 다양한 구성을 가질 수 있음

* DC회로 차단기 및 DC 퓨즈를 포함한 보호 하드웨어에 대한 개발 필요성이 있으며, MVAC 배전 네트워크를 연결하기 위한 AC/DC 변환기와 LVDC 분배 네트워크 또는 DC 부하를 연결하기 위한 DC/DC 변환기를 포함한 고효율 전력 변환기 등도 중요 장비임

- MVDC grid는 재생 가능 에너지 액세스, DC 부하 전원 공급 및 AC grid에 비해 다른 측면에서 큰 이점을 가지고 있으며 많은 관심을 끌고 있으며, 이에 따라 MVDC grid는 향상된 신뢰성, 유연성 및 효율성을 향한 배전 시스템 개선 및 현대화를 위한 유망 기술이지만 MVDC grid에 대한 연구는 아직 초기 단계로 지속적인 연구 활동과 실증연구를 통해 해결해야 할 기술적 과제가 많음
- MVDC grid의 일부 기존 프로젝트에도 불구하고 MVDC grid에 대한 기술은 프로젝트 기반이며 아직 통일되고 신뢰할 수 있는 MVDC 관련 표준이 없음에 따라 MVDC grid에 대한 일련의 표준을 개발하는 것이 필요함

□ CIGRE : Working Group(FINAL REPORT of the 2019 CIGRE Symposium in Aalborg)

- CIGRE Study Committee B4
 - SC B4의 주요 학습 포인트는 미래에 대부분의 DC grid가 처음에는 PtP 링크로 형성되고 나중에는 점진적으로 확장되어 다중 터미널이 될 것이라는 점으로, 이로 인해 다중 공급업체 VSC시스템이 생성될 가능성이 높음에 따라 이러한 Converter 간의 상호 운용성은 향후 DC grid의 관점에서 더욱 시급해지고 있음
 - 다른 주요 논의 사항은 메시형 HVDC grid의 본격적인 개발에는 모든 영역의 입력이 필요하다는 것이며, 이는 그러한 grid의 현상이 복잡하고 추정하기 어렵기 때문에 공급업체 및 향후 사용자와 함께 연구개발이 필요한 실정임
 - DC 차단기 기술 및 DC grid의 제어 및 보호 요구사항에 대한 강력한 필요성이 다시 한번 확인되었으며, DC 오류 억제 기능을 제공하는 새로운 Converter

Topology와 혼합 회로의 오류감지에 대한 추가 논의가 진행되었음

- 또한 MVDC 네트워크에서 분산 재생에너지를 통합하기 위한 경제적인 솔루션으로 이어지는 VSC 기술의 혁신이 확인되었음

○ CIGRE Study Committee C6

- 다수의 분산에너지자원(DER) 및 시스템은 첫 번째 변환 단계에서 AC 전압이 아닌 DC 전압을 생성하는 전력 전자 변환기를 사용하며, 풍력 및 태양열 발전기와 배터리 에너지 저장 시스템, 운송 시스템, 산업용 드라이브 및 데이터 센터는 모두 DC를 주요 전원으로 사용하는 DER의 예임
- AC전압과의 변환에는 DC 배전 시스템이 배치 된 경우 피할 수 있는 추가 단계가 필요하므로 변환손실이 감소하며, 또한 DC 네트워크를 통해 배전 손실을 줄이고 배전 작업을 단순화 할 수 있음
- 반도체 스위치 (IGBT) 및 Converter Topology (모듈식 멀티 레벨 Converter, MMC)와 같은 중전압 DC (MVDC) 전력 시스템을 구현할 수있는 기술이 준비되었으며, CIGRE는 이러한 네트워크의 이점과 잠재력을 입증하기 위해 최신 기술 발전을 대표하는 것이 중요함
- Study Committee C6 및 기타 연구위원회의 전문 지식을 통해 지식기반을 구축하고 이를 활용하여 AC 배전 시스템의 대안으로 DC 접근 방식(DER를 통합한 MVDC 네트워크)의 잠재적 이점을 제시하고 연구함

□ 직류 송/배전 시스템 국제 표준화 동향

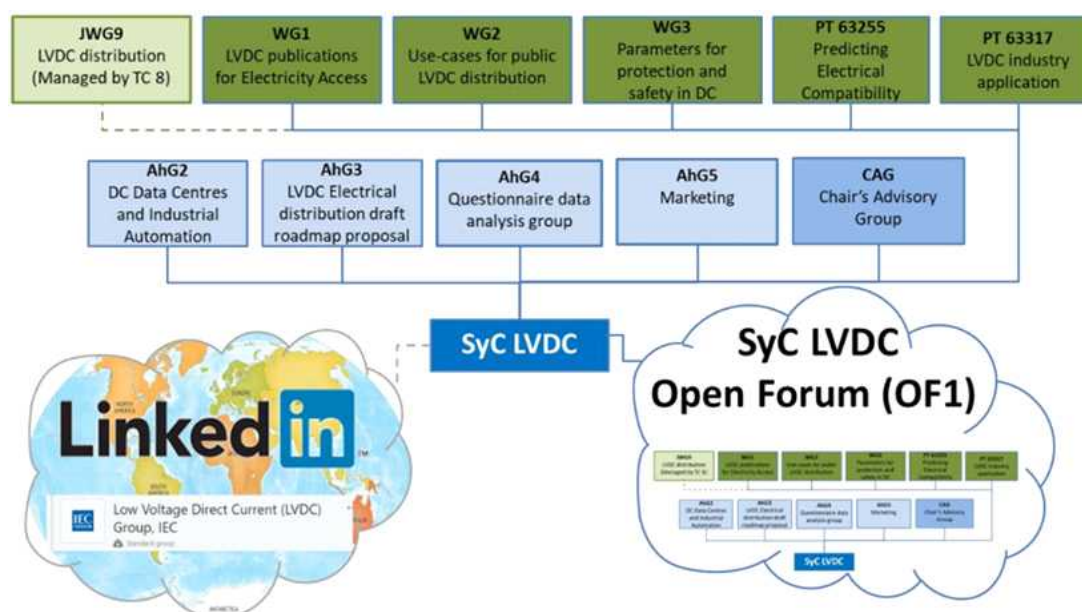
- 초고압직류송전시스템 (HVDC)은 아래와 같은 기존의 다양한 TC를 이용하여 상향식 (Bottom Up)으로 표준화 진행 중

[표] HVDC 국제 표준화 동향

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



- AC/DC 복합형 배전시스템 표준은 IEC SC8B 소위원회의 WG5 (Direct Current and Hybrid Distribution Systems)에서 진행 중

<표> IEC SC8B 소위원회 구성

구분	이름	내용
Working Group	WG3	Microgrid monitoring, control and energy management systems
	WG4	Virtual Power Plants
	WG5	Direct current and hybrid distribution systems
	WG6	Demand side resources utilization
Project Team	MT1	Maintenance of IEC 60038, IEC 60059 and IEC 60196
Joint Working Groups	JWG1	General Planning, Design, Operation and Control of Microgrids linked to TC 120
	JWG1	Terminology Managed by TC 8
	JWG44	Prosumer's Low Voltage Installation Managed by TC 64
Advisory Groups	AG2	Roadmap for Decentralized Electrical Energy Systems

- AC/DC 복합형 배전시스템 관련 현재까지 제정 완료된 표준은 없으며, 제정 중인 표준으로써 IEC TS 63354 (Guideline for the Planing and Design of Decentralized DC Distribution Systems)가 있음
- 분산자원의 증가, AC 배전시스템의 확장의 어려움 등으로 AC/DC 복합형 배전시스템의 활용이 늘어갈 것으로 예상되며, 이에 따른 표준화 수요도 늘어날 것으로 예상됨
- 따라서 IEC SC8B 및 CIGRE JWG C6.B4.37에 참여하여 표준화 활동을 모니터링 하고, 적극적으로 안건을 제안하는 것이 필요하다고 판단됨
- 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 임
- 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 판단됨
- 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

5. 정부R&D 지원현황

(1) 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 확대정책을 펼치고 있는 주요국은 발전설비 입지의 확보, 계통 접속 및 계통 안정 등 공통의 관심사를 갖고 있음³⁾

<표> 주요국 에너지 R&D 투자동향

구분	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 효율향상 및 재생에너지 중심의 R&D 투자 확대 ※ 투자비중('13~'17) : 효율향상 21% > 재생에너지 15% > 화석연료 7%
유럽	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지·효율향상 R&D 투자는 공통적으로 확대되고 있으나, 원자력·청정화력 기술 투자 증감은 국가별로 상이 ※ 중점분야('13~'17) : (독일·덴마크) 재생E, 효율향상, (영국·프랑스) 원자력, 효율향상
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 원자력에서 재생에너지·효율향상 중심으로 투자 방향 전환 ※ 투자변화('10~'16) : 신재생·효율향상 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, ESS송배전, 에너지효율화, 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 전력분야에 대한 R&D 투자규모 확대가 요구됨

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

- 전력분야 R&D 투자방향 연구(김기봉 외, 2018)에서도 전력계통 안정화를 위한 요소기술 중 에너지저장장치, 송전기술뿐 아니라 전력망 기술 등에도 집중 지원이 필요하며 전력망 통합관리시스템 구축을 통한 출력변동성 대응능력 강화 필요가 강조됨

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

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

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

(2) 기술개발 현황

□ 국내 정부R&D 현황

- 송배전 전압레벨의 양극단에 해당하는 HVDC와 LVDC에 대한 연구에 비해 MVDC는 연구가 활발하지 않은 상황임
- 최근 5년간 MVDC 분야에서 추진된 정부과제는 총 28개(335.2억 원)로 과제 단위에서도 유사연구가 활발하지 않은 것으로 분석됨
- 과제수 기준으로 LVDC(105개), HVDC(69개), MVDC(28개) 순서로 나타남

<표> DC 송·배전 분야 과제수('14~'18)

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)

6. 시사점

□ (시장측면) 전세계 DC 배전 시장규모는 꾸준히 증가추세를 보이며 MVDC 수요처 증대로 인하여 MVDC 배전 시장규모 역시 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

- MRS社 시장자료에 의하면 DC 배전 시장규모는 42.8억 불(2021년 기준)이고 그 중 MVDC 시장은 69% 수준이며 CAGR은 4.6%('18~'21)로 나타남
- 반면, 국내는 MVDC에 대한 연구가 초기단계로 아직 시장이 본격화되지 않아 정책적 대비가 필요
- 국내에서는 MVDC에 대한 민간의 출시제품은 전무한 실정이나, HVDC 및 LVDC 연구 수행 경험을 기반으로 MVDC 배전 연구 및 시장형성에 적극적으로 노력하고 있음
- 한국전력공사를 중심으로 DC배전 비즈니스 모델 개발을 위한 직류배전망 시험 인프라를 구축하고 있지만 대부분 1.5kV 이하 LVDC급에 해당하므로, 동 사업의 $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증에는 한계가 존재함

□ (기술개발 측면) 국내 MVDC 배전망은 아직 학술적 연구 단계임

- MVDC 배전망은 차세대 전력망을 구성할 요소로, 학술적으로는 그 효과가 널리 알려져 있으나 현재는 MVDC 배전망 구축에 대한 초기 단계로 관련 시장은 존재하지 않음
- MVDC 계통 및 요소기기 모델링과 해석을 활용하여 다양한 MVDC 어플리케이션을 개발한다면 향후 예상되는 국·내외 대규모 시장을 선점할 수 있을 것으로 기대
- DC 송·배전 연구가 전압범위의 정의 없이 High voltage와 Low voltage 영역에서 진행되었으며, 최근 양극단의 전압레벨 기술의 가교역할이 되어 줄 수 있는 Medium voltage의 연구의 필요성 대두
 - 국내에서는 DC전압에 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) 전압범위가 용도에 따라 송전 및 배전 전압범위로 구분되고 있음

□ (기술개발전략) 핵심역량 집중 및 종합적 연구개발 추진 필요

○ 선도를 위한 핵심역량 집중 필요

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

○ MVDC 배전망 운영상의 문제를 종합적으로 해결하기 위한 연구개발사업은 존재하지 않으므로 토털솔루션적인 연구개발 추진 필요

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

○ 기존 연구개발사업의 성과를 연계하여 신산업 창출을 위한 연구개발 신설 필요

- 기존사업이 ' 20년 종료*되는 만큼 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

II.

기획대상과제 도출

1. 과제기획 방향

(1) 과제기획 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 SW 측면의 설계 및 운영 기술개발
- ☐ AC/DC 혼용 배전망 운영을 위한 MVDC 핵심 기술 확보

(2) 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	총연구개발비*
지정공모	332.8	-	332.8

* 총연구개발비는 예타보고서 기준 총 정부지원연구개발비로 추후 변동될 수 있음

□ 기획대상과제 현황

과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상과제(품목)명	
AC/DC Hybrid 배전망 운영기술	AC/DC 하이브리드 배전망 설계 및 해석 기술개발	<p>□ 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 과제 및 초고난도 한계돌파형 도전적 R&D 적극 지원 ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 ○ (제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획) 신재생 변동성 대응을 위한 차세대 전력계통 기술개발_AC/DC 하이브리드 송·배전 시스템 기술 확보 <p>□ 기술수요 연계</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ('20년 2차 예비타당성 조사) 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업 (STEPI, 2021.3월)
	AC/DC 하이브리드 운영시스템 기술개발	<p>□ 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 과제 및 초고난도 한계돌파형 도전적 R&D 적극 지원 ○ (제9차 전력수급기본계획) 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강·확대 추진에 기여 ○ (제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획) 신재생 변동성 대응을 위한 차세대 전력계통 기술개발_AC/DC 하이브리드 송·배전 시스템 기술 확보 <p>□ 기술수요 연계</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ('20년 2차 예비타당성 조사) 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업 (STEPI, 2021.3월)

2. 기획과제 RFP

[지정공모 (RFP)]

과제명 : AC/DC 하이브리드 배전망 설계 및 해석 기술개발	37
과제명 : AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 기술개발	39

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

관리번호	2022-MVDC-운영기술-1	
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형() 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
연구개발과제명	AC/DC 하이브리드 배전망 설계 및 해석 기술개발	
1. 필요성	<p>○ 신재생에너지원 및 특고압 DC수용가 대응을 위한 AC/DC 하이브리드망 설계, 해석 기술 필요</p> <p>○ 전력전자 기술 발전으로 AC기반 전력망의 DC체계로의 전환 가능성 증대</p> <p>- HVDC 송전계통과 LVDC 배전계통의 연계를 통한 디지털 전력인프라 구축 필요</p>	
2. 연구목표	<p>○ 최종목표 : AC/DC 하이브리드 배전망 설계 및 해석 기술개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 3단계)</p> <p>- (요소기술1) MVDC 배전네트워크 설계기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · MVDC 배전망 구성방식 및 시나리오 개발 · MVDC 배전망 접지 방법 및 시스템 설계기술 개발 · MVDC 배전망 보호방식 설계기술 개발 · MVDC 배전네트워크 최적 토폴로지 개발(규모별, 용도별) <p>- (요소기술2) 배전망 연계 DC Local 그리드의 MVDC 상호 영향 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> · 배전망 연계 DC Local 그리드(EV, 선박 등)의 구성 방식 및 시나리오 개발 · DC Local 그리드 배전망 접지시스템의 MVDC 상호 영향 분석 · DC Local 그리드 보호시스템의 MVDC 연계 <p>- (요소기술3) AC/DC 하이브리드 배전망 설계기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · AC/DC 하이브리드 배전망 구성방식 및 시나리오 구성 · AC/DC 하이브리드 배전망 공급전압 및 토폴로지 개발 · AC/DC 하이브리드 접지방식 및 시스템 설계 · AC/DC 하이브리드 보호방식 설계 · AC/DC 하이브리드 배전망 주요기기 기능 및 사양 설계 <p>- (요소기술4) AC/DC 하이브리드 배전망 해석기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · AC/DC 하이브리드 배전망 및 요소기기 모델링 · AC/DC 하이브리드 배전망 정밀 해석 모델 개발 · AC/DC 하이브리드 배전망 정상/비정상 및 고장 해석기술 개발 · AC/DC 하이브리드 배전망 성능 예측 평가기술 개발 <p>- (요소기술5) AC/DC 하이브리드 배전망 계획기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> · MVDC 배전망 분산전원 및 부하 영향 평가지표 개발 · MVDC 배전망 분산전원 및 부하 설치 최적화기술 개발 · MVDC 배전망 신뢰도 및 편익 산정 방법 개발 · AC/DC 하이브리드 배전망 수용력 개선 계획기술 개발 · AC/DC 하이브리드 배전망 계획 시뮬레이션 프로그램 개발 	

○ 개발목표

핵심 기술/제품 성능지표	단위	달성목표 (3차년도)	국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)	
				현재	연구개발과제 종료시점
1 AC/DC 하이브리드 배전계통 설계 모델	건	1	-	-	-
2 AC/DC 하이브리드 배전계통 손실	%	≤10%	-	-	-
3 기존 배전망 대비 최대 허용 부하율	%	130	-	130 (GE, 미국)	130
4 AC/DC 하이브리드 배전망 해석모델 정확도	%	97	-	97 (ABB, 스위스)	97

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

* AC/DC 하이브리드 배전계통 설계모델은 적용 국가에 따라 모델이 다양하기 때문에 세계최고 수준을 제시하기 어려움

* AC/DC 하이브리드 배전계통 손실은 계통 구성에 따라 달라지기 때문에 세계최고 수준을 제시하기 어려움

3. 기타 지원 요건

○ 안전관리 사항 : 해당없음

○ 기타사항 :

- 예타보고서 P185 기준 “2-2. MVDC 배전망 상태평가”은 24개월 이내로 수행

4. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 36개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 40.5억원 내외,

총 정부지원연구개발비* : 123.9억원 내외)

* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으
로 추후 변동 될 수 있음

○ 기술료 : 비징수

○ 주관연구개발기관 : 제한없음

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

관리번호	2022-MVDC-운영기술-2		
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()	
		실증형()	
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()		
연구개발과제명	AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 기술개발		
1. 필요성	<p>○ (기술성) 신재생에너지원 및 양방향 마이크로그리드 계통 연계 및 배전계통 수용 능력과 이용율 증대를 수용할 수 있는 운영기술 필요</p> <p>○ (경제성) 직류기반 기술의 변환효율 증가로 직류 전력산업 성장 기대</p> <p style="padding-left: 20px;">- 태양광발전, ESS, 전기자동차 등 직류기반 기술의 보급 확대 기여</p> <p>○ (사회성) 계통 사고에 대한 파급효과 억제로 배전망의 안정도 향상</p>		
2. 연구목표	<p>○ 최종목표 : AC/DC 하이브리드 배전망 보호체계 및 운영시스템 기술개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계)</p> <p style="padding-left: 20px;">- (요소기술1) AC/DC 하이브리드 배전망 운영기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· MVDC 배전네트워크 운영 및 관리기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 제어 및 운영기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· 배전망 연계 DC Local 그리드 운영기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· MVDC 배전망 연계 기준 및 AC/DC 하이브리드 배전망 운영 기준 개발</p> <p style="padding-left: 20px;">- (요소기술2) AC/DC 하이브리드 배전망 고장처리기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 단락용량 계산기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 보호계전 기술 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 보호협조 기술 개발</p> <p style="padding-left: 20px;">- (요소기술3) AC/DC 하이브리드 배전망 운영프로그램 및 운영시스템 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 운영체계 설계</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 통합 정보 모델 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 데이터모델링 및 관리시스템 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 데이터 신뢰성 향상 기술 기반 DB 설계 및 구현</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 주요기기 연계 통신장치 설계 및 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 운영 프로그램 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 개발 및 사이버보안 적용 검토</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 해석 실시간 데이터 처리 및 인터페이스 개발</p> <p style="padding-left: 20px;">- (요소기술4) AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 기능시험</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 실증 사이트 구축</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 기능시험 기준 개발</p> <p style="padding-left: 40px;">· AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 교육훈련시스템 개발</p>		

- (요소기술5) AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 통합연계 및 실증

- 파일럿 플랜트 기반 운영시스템 실증 방안 수립
- 파일럿 플랜트 요소기기 연계
- 파일럿 플랜트 통합관제센터 연계
- 파일럿 플랜트 실증 시험 지원 및 운영시스템 보완

○ 개발목표

핵심 기술/제품 성능지표	단위	달성목표		국내최고 수준 ^{주1)}	세계최고수준 ^{주1)} (보유국, 기업/기관명)	
		3차년도	최종		현재	연구개발과제중 표시점
1 배전계통 신재생 연계 용량 향상률	%	-	60%	-	-	-
2 기동 복구 시나리오 건수	건	-	3건	-	-	-
3 AC/DC 하이브리드 배전망 전압변동율	%	≤15%	≤10%	-	10% (GE, 미국)	10%
4 운영알고리즘 속도	분	-	≤5초	-	5초 (Siemens, 독일)	5초
5 운영프로그램 수립률	%	-	≥95%	-	95% (Siemens, 독일)	95%

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

* 배전계통 신재생 연계 용량 향상률의 경우, AC/DC 하이브리드 배전망 구성방식에 따라 차이가 발생하기 때문에 세계최고수준을 제시하기 어려움

* 기동복구 시나리오 건수의 경우, 기동복구의 대상이 되는 DC 배전망 토폴로지에 따라 필요한 시나리오에 건수가 차이가 발생함으로 세계최고수준을 제시하기 어려움

3. 기타 지원 요건

○ 안전관리 사항 : 해당없음

○ 기타사항

- 테스트베드 설치 및 시운전 포함
- 예타보고서 P185 기준 “2-5. 배전망 운영체계개발” 일부 수행 및 후속 연구개발과제 연계 필수
- 예타보고서 P185 기준 “2-3. 복합배전망 제어”, “2-4. 복합배전망 고장처리”는 36개월 이내로 수행
- 예타보고서 P185 기준 “2-6. 복합배전망 운영프로그램”은 24개월 이내로 수행 (2차년도에 착수)

4. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 60개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 57.6억원 내외,
총 정부지원연구개발비* : 208.9억원 내외)

* 총 정부지원연구개발비는 예타보고서 기준으로 추후 변동 될 수 있음

- 3차년도 단계평가 결과에 따라, 추후 연구 개발과제 수행여부 결정 (3+2년)

○ 주관연구개발기관 : 제한없음

○ 기술료 : 비징수