

# 저압직류배전 기술동향 및 발전전략

최근 수용가에서 사용되는 부하의 디지털화로 인해 직류부하가 증가하고, 전 세계적으로 이산화탄소 저감 정책으로 인한 분산전원이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 이유로 수용가 및 분산전원 계통연계에 대한 전력손실 저감, 전력전송에 대한 효율향상을 위한 직류배전에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 전 세계적인 관심이 고조되고 있는 상황이다. 이에 저압직류 배전에 대한 기술동향 및 향후 저압직류 산업발전을 위한 전략에 대해 소개하고자 한다.

## 1. 서론

최근 여러 나라에서는 이산화탄소 저감을 위해 분산전원 확대, 전기자동차 보급/확대 등과 같은 많은 정책들을 추진 중에 있다. 하지만, 전력계통의 선로용량 부족으로 인해 많은 어려움을 겪고 실정이다.

CIGRE 보고서에 따르면 전력계통을 직류로 전환할 경우 동일 선로에서 교류에 비해 약 2.9배의 용량 증가가 가능하여 직류배전에 대한 관심이 고조되고 있다<sup>[1]</sup>.

대부분의 분산전원의 경우 직류 전력을 발생하므로 직류 배전이 활성화 될 경우 현재 교류배전 계통에 연계하기 위한 전력변환(DC to AC) 단계가 필요치 않아 전력손실이 저감 될 뿐 아니라 관련 제품의 비용 절감에도 효과적이다. 또한, 기술의 발달로 인해 수용가에서 사용하는 대부분의 부하들은 아날로그에서 디지털화되어 직류 전원을 사용하므로 수용가의 에너지 절감에도 매우 효과적이다. 이러한 이유로 선진국 중심으로 많은 연구개발과 실증이 진행되고 있으며, 국제 표준 단체인 IEC와 국내에서는 직류수용가 관련 기기에 대한 표준제정 추진 중에 있다.

이에 본 원고에서는 각 나라에서 추진되고 있는 저압직류 배전에 기술 및 국제표준 추진 동향에 대해서 소개하고, 국내 저압직류 산업 육성하기 위한 전략에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 저압직류(LVDC)기술의 개요

LVDC 기술은 DC부하에 DC전원을 직접 공급하여 AC 수전에 따른 부하 단에서의 변환손실을 줄여 계통의 효율을 높이는 기술로서 이에 수반되는 직류 차단기술, 직류아크 검출 기술 등의 많은 기술을 요한다.

최근 직류 기반 신재생에너지와 직류 부하 증가에 발맞춰 LVDC 직류 배전 기술에 대한 투자 확산 중에 있어 분산전원의 계통 연계 효율성, 경제성 등 여러가지 측면에서 직류 배전의 상용화가 요구되고 있다.

수용가에 직류 전력을 공급할 경우 수용가에서 사용되는 디지털 부하의 전력변환 과정이 줄어 전력효율을 높일 수가 있으며, 직류는 리액턴스 성분이 없어 무효전력으로 인한 손실이 없고, 주파수가 '0'이므로 표피효과가 없어 수용가 내부의 선로 용량을 증가시킬 수 있다.

현재 사용되고 있는 교류 전력망을 직류 전력망으로 대체할 경우 전력손실을 약 2~10%정도를 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

“LVDC and Power Electronics-Enabling Technologies-Roadmap 2025”에서는 LVDC 적용 분야별 기술 성숙도(또는 기술 준비 수준, Technology Readiness Levels, TRL를 그림과 같이 나타내고 있다<sup>[2]</sup>.

표 1 직류 VS 교류 배전 기술비교

항목	직류	교류
전압방식	DC/DC 전력변환장치 필요	변압기를 이용하여 용이
송전방식	2상 송전	회전기를 통한 3상 송전
보호기기	아크소호에 불리	아크소호에 유리
절연 비용	교류보다 저렴	직류보다 1.4배 고가
계통 연계성	전압 크기만 동기화 필요	위상, 주파수, 크기, 회전 방향 동기화 필요
전력 품질	1단계 전력변환으로 인한 EMC 감소	2단계 전력변환에 따른 EMC 증가
분산전원 연계	분산전원 시스템과 계통연계 용이	계통 연계 복잡
예비 전원	축전지를 직접연결설치 용이	UPS를 통한 상시 비상전원 준비
LED, 형광등 조명	1단계 전력 변환 또는 불필요	2단계 전력변환 필요
전자기파 영향	유도 장애 없음	근접기기에 유도 장애
전동기 비용	교류보다 고가	제작이 용이하고 가격이 저렴

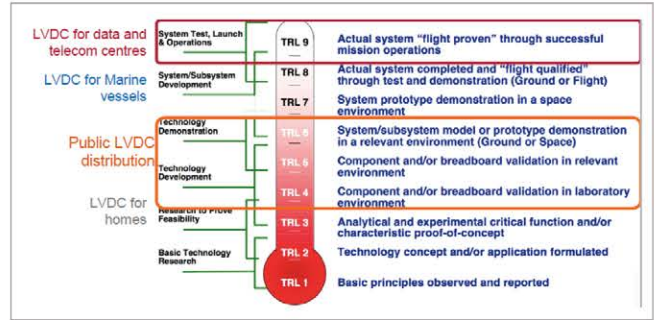


그림 3 LVDC 적용 분야별 기술 성숙도(Technology Readiness Levels)

- 데이터 및 통신 센터에 적용된 LVDC(LVDC for data and telecomcenters): TRL 9
- 선박에 적용된 LVDC(LVDC for Marine vessels): TRL 8
- 공공 배전 시스템에 적용된 LVDC(Public LVDC distribution): TRL 4-6
- 가정집에 적용된 LVDC(LVDC for homes): TRL 3

### 3. 시장 및 기술동향

#### 3.1 직류배전 시장동향

##### 3.1.1 용량별 시장규모

DC 배전 시스템 시장의 연간 총 용량은 2018년에 65.9 MW에서 시작하여 2027년에는 41.4%의 CAGR로 1,491.0 MW까지 증가할 것으로 예상된다.

지역별로는 북아메리카의 경우 DC배전 용량은 2018년에 0.9 MW에서 2027년에는 CAGR 5.1 MW로 증가할 것으로 예상되며, 이에대한 시장규모는 2018년 5.3백만 달러에서 2027년 19.9백만 달러로 증가할 것으로 예상되며, 유럽 시장에서는 2018년에 0.6MW에서 2027년에는 연간 4.1 MW로 증가할 것으로 예상되며, 시장규모는 2018년 2.7백만 달러에서 2027년에는 16.8백만 달러로 증가할 것으로 예상된다.

아시아 태평양 지역은 두 번째로 큰 DC 배전 시스템 시장으로서, 2018년에 24.5 MW에서 2027년에는 670.4 MW로 증가할 것으로 보이며, 시장규모는 2018년 359.7백만 달러에서 2027년에는 1,790.4백만 달러로 증가할 것으로 예상되며, 중동과 아프리카의 경우 모든 지역에서 가장 큰 것으로 나타났다, 2018년 용량은 37.5 MW에서 2027년에는 805.2 MW까지 증가할 것으로 예상되며, 시장규모는 2018년 494.5백만 달러에서 시작해 2027년에는 CAGR 22.1%로 연간 2,973.4백만 달러로 증가할 것으로 예상된다<sup>13)</sup>.

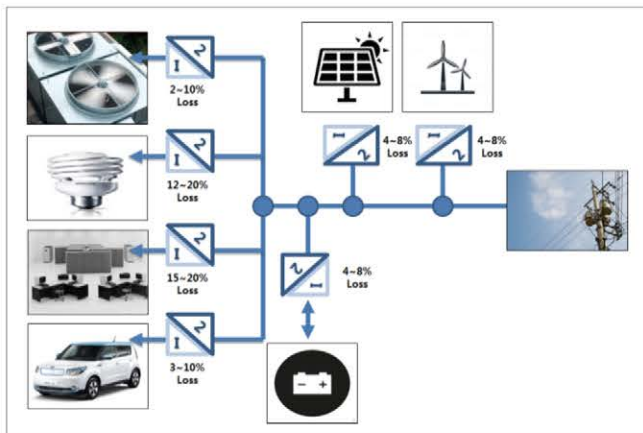


그림 1 교류(AC) 전력 공급 망에서의 전력손실

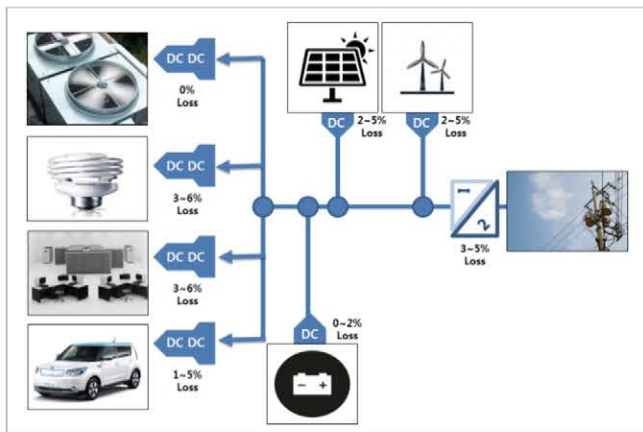


그림 2 직류(DC) 전력 공급 망에서의 전력손실

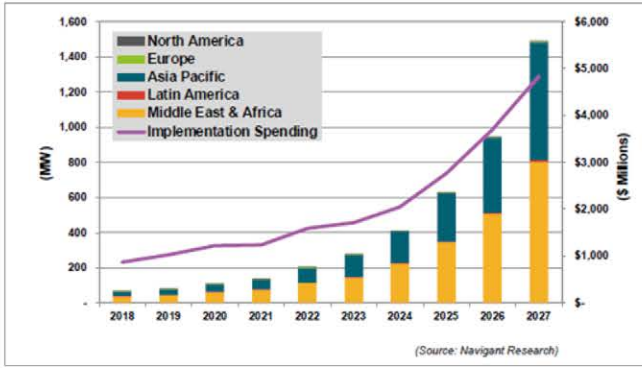


그림 4 Annual DC Energy Access Distribution Network Capacity and Implementation Spending by Region, World Markets: 2018-2027, 출처 : Navigant Research>

### 3.1.2 시장전망

세계시장 전망은 DC배전 기술 중 HVDC가 2018년 기준 시장 규모는 196억 달러이고 1위를 차지하고 있으며, 2027년에는 316억달러에 달할 것으로 전망되며, LVDC 현재 시장은 31.6억달러로 HVDC 시장규모와 차이가 크지만 2027년에는 297억달러로 HVDC시장과 거의 대등한 시장규모를 형성할 것으로 예상된다<sup>[3]</sup>.

LVDC 시장규모가 향후 HVDC와 대등한 규모의 시장을 형성하는 이유는 HVDC의 경우 전력계통에 한정되어 있지만 LVDC의 경우 배전 계통 및 수용가에 관련된 전 산업분야에 영향을 미쳐 시장규모가 더욱 확대될 것으로 예상된다.

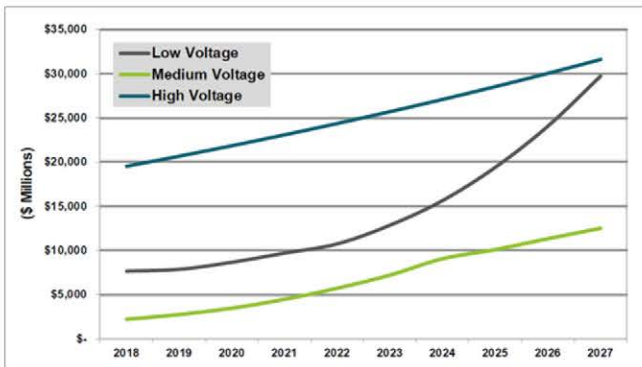


그림 5 Annual DC Transmission and Distribution Networks Implementation Spending by Voltage Levels, World Markets: 2018-2027, 출처 : Navigant Research>

## 3.2 국내 기술동향

국내의 경우 2009년을 기점으로 저압직류배전에 대해 관심을 가지고 되어 2011년 ~ 2019년까지 저압직류에 대한 효율성 검증에 집중하였으며, 이후 산업기반마련을 위한 여러가지 사업들을 진행 중에 있다.

2011년 K-MEG(Korea Micro Energy Grid)사업을 시작으로 저압직류 수용가에 대한 효율검증을 시작하였다. 이어 2012년 한국전자기술연구원에서는 AC수용가와 DC수용가에 에너지

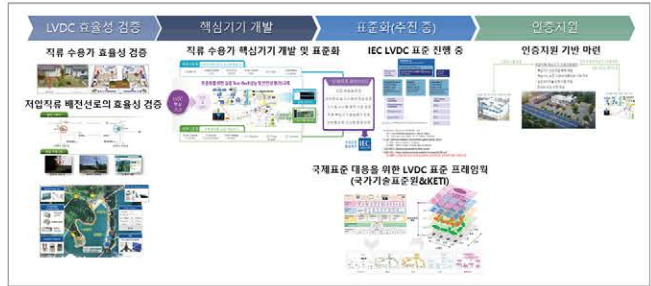


그림 6 국내 기술개발 현황

효율 비교시험을 통해 약 5%이상의 소비전력이 저감되는 것을 입증하였다. KD파워에서는 강원도 춘천전력IT 문화복합산업단지 ‘카이로스’에서 Mono-Pole배전 방식을 적용하여 이에 대한 효율성을 검증하기 위해 저압직류배전망 요소기기 및 실증엔지니어링 기술개발 사업을 진행하였다.

직류배전의 경우 육상에서 뿐만 아니라 부하변동이 심한 선박에 적용할 수 있는 기술개발을 (주)에코스 주관으로 관련 기술개발을 진행하여 기존 선박 대비 연료비 20%를 절감할 수 있는 시스템을 개발하였다.

한국전력공사에서는 전압지류 배전망의 상용화를 위해 광주·전남 5곳에 교류(AC) 13,200V의 특고압을 750Vdc로 전압화는 사업을 2016년도에 완료 하였으며, 한국전자기술연구원 및 LS일렉트릭 등과 함께 섬지역에 저압직류배전에 대한 실증을 진행하여 저압직류배전에 대한 효율성을 검증하였다.

저압직류 배전에 대한 효율성 검증 완료후 한국전력공사에서는 저압직류 배전계통의 상용화를 위해 2019년 저압직류 배전계통의 절연저항, 가공선로접지, 지락/낙뢰등 공장에 대한 보호장치 관련 규정 일부 내용에 대하여 전기설비기술기준에 반영하여 사업 준비를 완료한 상황이다.

최근 한국전자기술연구원에서는 저압직류 수용가에 적용되는 각종 전력기기에 대한 산업기반 마련을 위해 기술개발 및 실증을 진행하고 있으며, 이를 기반으로 단체표준을 진행 중에 있다.



그림 7 수용가에 적용되는 저압직류 시스템 실증사이트

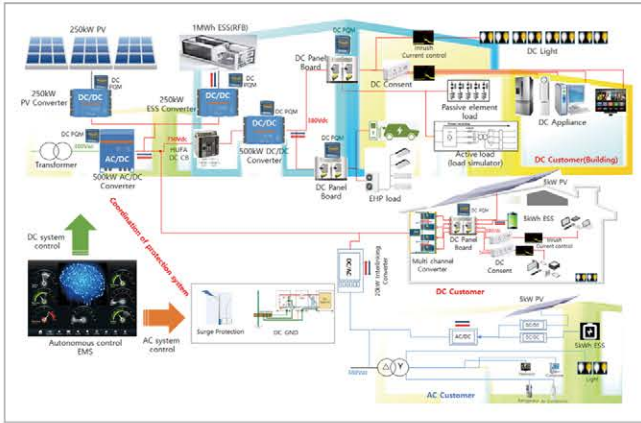


그림 8 수용가에 적용되는 저압직류 시스템 구성도

또한, 직류 수용가에 적용되는 기기에 대한 표준제정 후 관련 제품에 대한 인증지원을 위한 체계 구축 및 관련 장비, 시설에 대한 기반구축사업을 진행 중에 있다.

### 3.3 국외 기술동향

IEC 기술보고서(LVDC: electricity for the 21st century)에 따르면 48V 이하 저전압 직류(ELV)기기의 사용량이 가장 많았으며, 다음으로 350~450V 전압 대역 직류기기의 사용량이 많은 부분을 차지하고 있어 수용가들이 사용하는 가정용 직류기기의 전압기기가 450V 이하의 전압 대역을 갖는 것을 감안한다면 사용자의 안전을 위한 기준과 연구가 필요하다<sup>[4]</sup>.

송배전 및 스마트그리드 등의 전력 시스템 시장은 스위스의 전력 및 자동화 기술 분야 선도 기업 ABB, 프랑스의 ALSTOM, 그리고 독일의 SIEMENS 등이 주도하고 있어, 유럽이 전력 시스템 시장을 선도하고 있는 추세이며, 그 외 Schneider-Electric, Emerson Network Power, Eaton, Johnson Control 등이 기술을 주도하고 있다.

전 세계 전력 시스템 관련 시장을 주도하고 있는 ABB의 경우, 2013년부터 'Nupharo 프로젝트'를 통해 MVDC-LVDC 통합 전력공급 모델 실증사업을 추진하고 있으며, 이를 통해 DC 기반의 새로운 비즈니스 모델을 발굴하고 있다<sup>[5]</sup>.

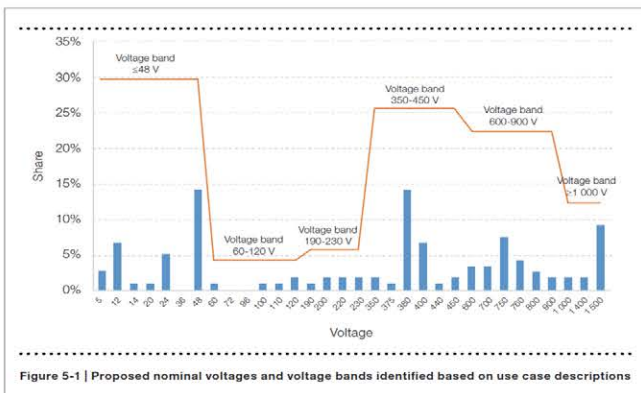


그림 9 LVDC 관련 표준화 작업 진행 국가

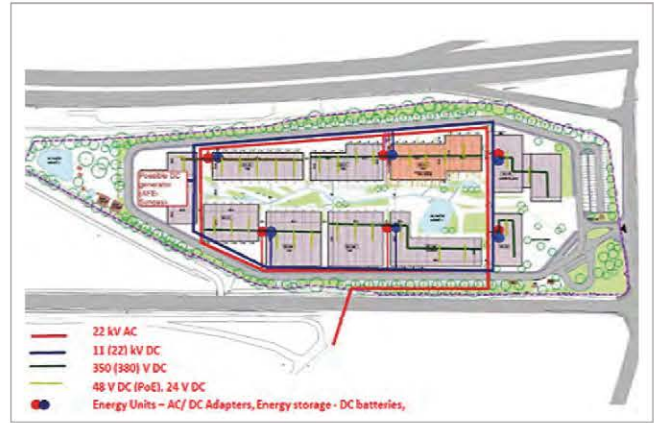


그림 10 Nupharo 프로젝트

이탈리아 CESI에서는 2006년에 DC 배전 계통의 연구를 시작하여, 고장으로 인한 외란이 발생할 때와 정상상태에서의 특성을 분석하였으며, 이후 400V의 LVDC 마이크로그리드를 제안하고 DC망의 제어 전략과 최적화 방법을 연구하고 있다.

핀란드의 전력회사 중 하나인 Suur-Savon社는 핀란드 Lappeenranta University of Technology(LUT)와 공동으로 2006년부터 'Power Electronics in Electricity Distribution and DC Distribution' 연구를 통해 직류 배전이 전력공급 품질향상, 배전 시스템 구축 비용 절감, 소규모 발전원 계통연계 지원이 가능함을 제시하였으며, 2012년부터  $\pm 750\text{V}$ 의 저압 직류배전 실증선로를 구축하여 AC 수용가를 대상으로 전력을 공급하고 있으며, 이를 통해 기존의 배전선로 운영비용을 절감하고 있다.

핀란드 LUT 연구에 따르면 DC 전류로 인한 전식이 AC 전류로 인한 전식의 100배 이상 심각하며 전식, 안전, 선로고장 검토 결과를 반영한 접지방식을 발표하였다.

IEC의 조사 결과 현재 DC 계통을 사용하는 산업계에서는 다양한 접지가 사용되고 있으며 아직 세분화된 표준화가 제정되지 않아 DC 계통의 접지는 지역, 용도 등에 따른 영향이 다른 것으로 분석되어 각각의 케이스에 대한 접지방식 가이드라인 필요하다.

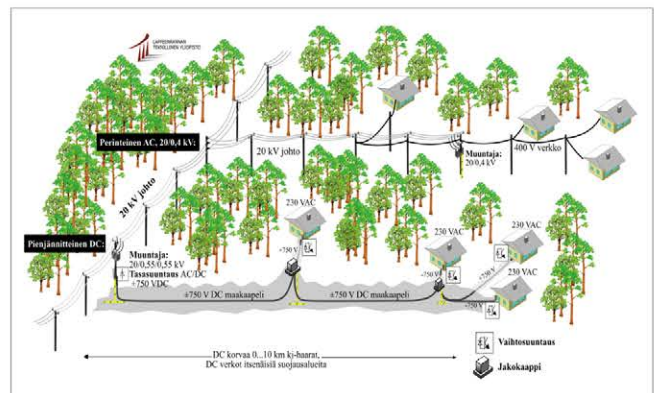


그림 11 핀란드 저압 직류 배전 실증선로

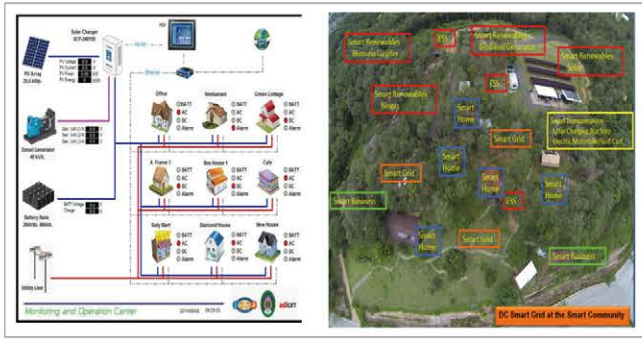


그림 12 태국 치앙마이 월드 그린시티 모델

일본의 경우, 빌딩 규모에서 진행되던 직류배전을 Community 수준으로 확장하는 사업을 진행하고 있으며, NTT에서는 “Smart community project by DC power distribution for commercial and residential buildings” 프로젝트를 통해 Yamagata와 Obihiro 2개의 실증사이트 구축을 진행하였고, ‘Industry-University Research Group’에서는 Nushima 섬에 직류 마이크로그리드를 구축하고 실증 시험을 시행하였다.

태국의 경우, 치앙마이 라자벳 대학에서는 2013년부터 ‘월드 그린시티 프로젝트’를 통해 직류 배전을 이용하여 DC 커뮤니티를 구축하였으며, 태양광과 바이오디젤 및 에너지저장 시스템을 통해 DC 발전원을 구성하고 이를 통한 직류전원을 300V 이하의 저압 직류 배전 선로를 통해 8개의 DC 수용가에 공급하는 DC 마이크로그리드를 구축하고 운영 중에 있다.

네덜란드의 배전회사인 Alliander에서는 2017년에 신규 구축되는 Lelystad 공항에 대규모 EV 등의 직류 부하에 직류전원을 직접 공급하기 위해 1,500kW급 직류 배전 스테이션을 구축을 진행하고 있다.

독일 아헨공대에서는 E.On 등의 유틸리티사와 컨소시엄을 구성하고 대규모 신재생발전원의 효율적 계통연계를 위해 MVDC 연구를 진행하고 있다. MVDC 연구의 주요 내용은 전력전자 응용 변압기 개발, 고효율 전력변환기 개발, DC 케이블 개발 등이며 MVDC 실증을 위해 캠퍼스 내 MVDC test-bed 구축을 진행하고 있다.

#### 4. 저압직류배전 산업 발전 전략

저압직류배전 산업을 발전시키기 위해서는 전문가 그룹을 구성하여 관련 사업육성을 위한 제도적 검토가 필요하다. 현재 규정이나 제도로는 저압직류배전 산업 추진이 어렵기 때문이다. 이러한 이유로 현재 제도나 규정 등을 점검하고, 추가적으로 필요한 제도나 규정이 어떤 것들이 있는지에 대한 검토가 필요하다.

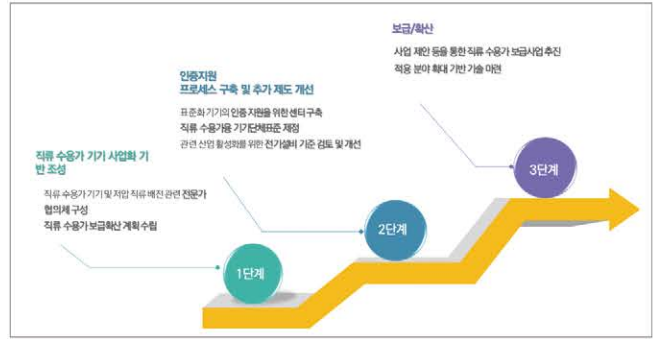


그림 13 저압직류 산업 발전전략

최근 저압직류에 대한 필요성을 충분히 인식되고 있지만, 현재 교류전원 체계를 직류전원 체계로 전환할 경우 경제성에 대한 분석이 필요하다. 선로손실, 용량에 따른 전력설비의 경제성, 소비전력 등 다양한 사항을 고려한 경제성 분석을 통해 현재 교류 전원체계 비해 경제성 확보 전략 등에 대한 전략 수립이 요구된다. 저압직류배전 산업을 육성하기 위해서는 경제성 확보가 무엇보다도 중요하다. 다음으로 국가차원에서의 저압직류 배전 산업 육성 로드맵이 요구된다. 전원체계의 전환은 산업전반에 걸쳐 큰 영향을 미치므로 장기적인 로드맵 수립을 통해 연관된 사업을 고려한 보급 확산에 대한 방향 설정이 매우 중요하다.

다음단계로는 저압직류배전 산업과 연계된 각종 기기들에 대한 표준제정이다. 현재 국제표준 단체인 IEC에서는 직류 수용가에 적용되는 직류 차단기에 대한 표준제정이 완료되었으나, 이외의 기기들에 대한 표준은 매우 더디게 진행되고 있어 국내 산업육성을 위한 표준제정이 시급하다. 이와 더불어 표준 제정 후 인증지원을 위한 체계 및 인프라 구축이 요구된다. 최근 한국전자기술연구원에서는 직류 수용가에 적용되는 핵심기기에 대한 단체표준 제정 진행 및 인증지원을 위한 기반구축이 진행되고 있어 향후 3년 후 이에 대한 기반이 확보될 것으로 예상된다.

마지막으로 국가차원의 보급/확산 사업 추진이다. 앞서 언급한바와 같이 전원체계의 전환은 전반적인 산업에 영향을 미치므로 관련 산업과 연계한 국가차원의 사업추진이 요구된다. 직류전원에 대한 사용자의 안전성확보를 위해 전기안전 관리자가 상주하는 중/대형 빌딩, 공장 등에 우선 적용하고, 충분한 안전성이 검증된 후 일반인이 거주하는 주거시설로 확대/보급되어야 할 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 저압직류 배전에 대한 시장 및 기술동향, 향후 저압직류 산업 육성을 위한 전략에 대하여 간단하게 기술하였다. 앞서 언급 했던 것처럼 전원체계의 변화는 산업 전반에 거처 큰 영향을 미친다. 최근 중국 등 기술격차가 좁혀지고 있는 현 상황에서 기존 시장의 변화가 요구되고, 이 시장변화에 빠른 대응이 무엇보다도 중요하다. 이러한 이유로 현재 국내에서 추진되고 있는 직류 산업에 대한 국가차원의 관심이 필요하며, 대기업 중심의 초기시장 형성이 매우 중요하다.

각종 분산전원 확대정책, RE100 등 이산화탄소 저감을 위

한 많은 정책들이 시행되고 있다. 이러한 정책들을 수행하기 위해서는 선로용량 확보가 우선시 되어야 한다.

관련 산업계는 현재 시장의 경쟁 심화로 인한 제품 단가의 하락 등으로 인해 기업의 이윤창출이 저하되고 있다. 정책 수행을 뒷받침 하고, 관련기업들의 새로운 먹거리 창출을 위해서는 저압직류배전 시장 활성화가 요구된다.

현재 국내 저압직류배전 관련 기술은 다른 나라에 비해 많은 연구가 이루어졌으며, 관련된 기반 지원을 위한 단체표준 제정 및 지원 인프라를 구축 중에 있어 국가차원의 많은 관심과 지원, 대기업의 시장창출 의지가 더해진다면 세계시장 선점이 가능할 것으로 사료된다. ■

## 참고/문헌

- [1] Medium voltage direct current(MVDC) grid feasibility study. CIGRE, 2020.
- [2] Ter Kaipia et.al, LVDC and Power Electronics-Enabling Technologies-Road map 2025, 2015.
- [3] Annual DC Energy Access Distribution Network Capacity and Implementation Spending by Region, World Markets: 2018-2027, Navigant Research, 2018.
- [4] "LVDC: electricity fir the 21st century" Technology Report, IEC, 2017.
- [5] Journal of the Electric World, July 2015.

**오승열** 한국전자기술연구원 지능형 LVDC실증사업단 단장  
2004년 전남대 공과대학 전기공학과 졸업(석사).  
2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).  
2007년~현재 한국전자기술연구원 - 지능형LVDC 실증사업단 단장

