

삼성 KPMG

Samjong INSIGHT

Vol. 92·2025

삼성KPMG 경제연구원

전력 인프라로 완성될 전기의 시대

Thought Leadership I
폭발적으로 증가할 전력 수요

Thought Leadership II
밸류체인으로 본 전 세계
전력 산업 주요 이슈

Thought Leadership III
미래 전력 산업을 이끌어 갈
비즈니스 기회와 전략적 고려사항



전력 인프라로 완성될 전기의 시대

Thought Leadership I

폭발적으로 증가할
전력 수요

02 에디슨의 백열전구 발명 145년 만에 모든 것이 전기화된 시대

04 탄소 감축·AI 활용 니즈(Needs)로 인한 전력 수요 폭증

07 국내 전력 수요 전망

Thought Leadership II

밸류체인으로 본 전 세계
전력 산업 주요 이슈

08 발전부터 소비까지, 전력 산업 밸류체인과 주요 인프라

발전: 신재생에너지 발전 비중 증가, 그리드(Grid) 약화 가능성 부각

송배전: 발전량 대비 송배전망 부족 심화 및 노후화

변전: 대형 변압기 리드타임, 배전 변압기 리드타임 및 가격 상승

소비: 에너지 프로슈머(Prosumer) 등 전력 산업 구조적 변화 부상

Thought Leadership III

미래 전력 산업을 이끌어 갈
비즈니스 기회와
전략적 고려사항

26 직류 송배전·변압기·그리드 현대화 및 디지털화가 이끌 전력 산업

① 직류 전기 시대 대비: HVDC(초고압직류송전) 및 DC(직류) 배전

② 주요국의 변압기 시장 현황: 중대형 변압기 및 배전 변압기 수출

③ 그리드 현대화 및 디지털화: 전선 및 스마트그리드(Smart Grid)

39 비즈니스 기회를 선점·주도하기 위한 전략적 고려사항

① 중단기 성장 주도할 Biz. 기회: 미국+@로 수출 전략 수립

② 중장기 성장 견인할 Biz. 기회: 경험 기반 해외 시장 개척

③ 미래 먹거리로 육성할 Biz. 기회: 기술 개발·표준 획득

Contact us

김나래 수석연구원

nkim15@kr.kpmg.com

(02)2112-7095

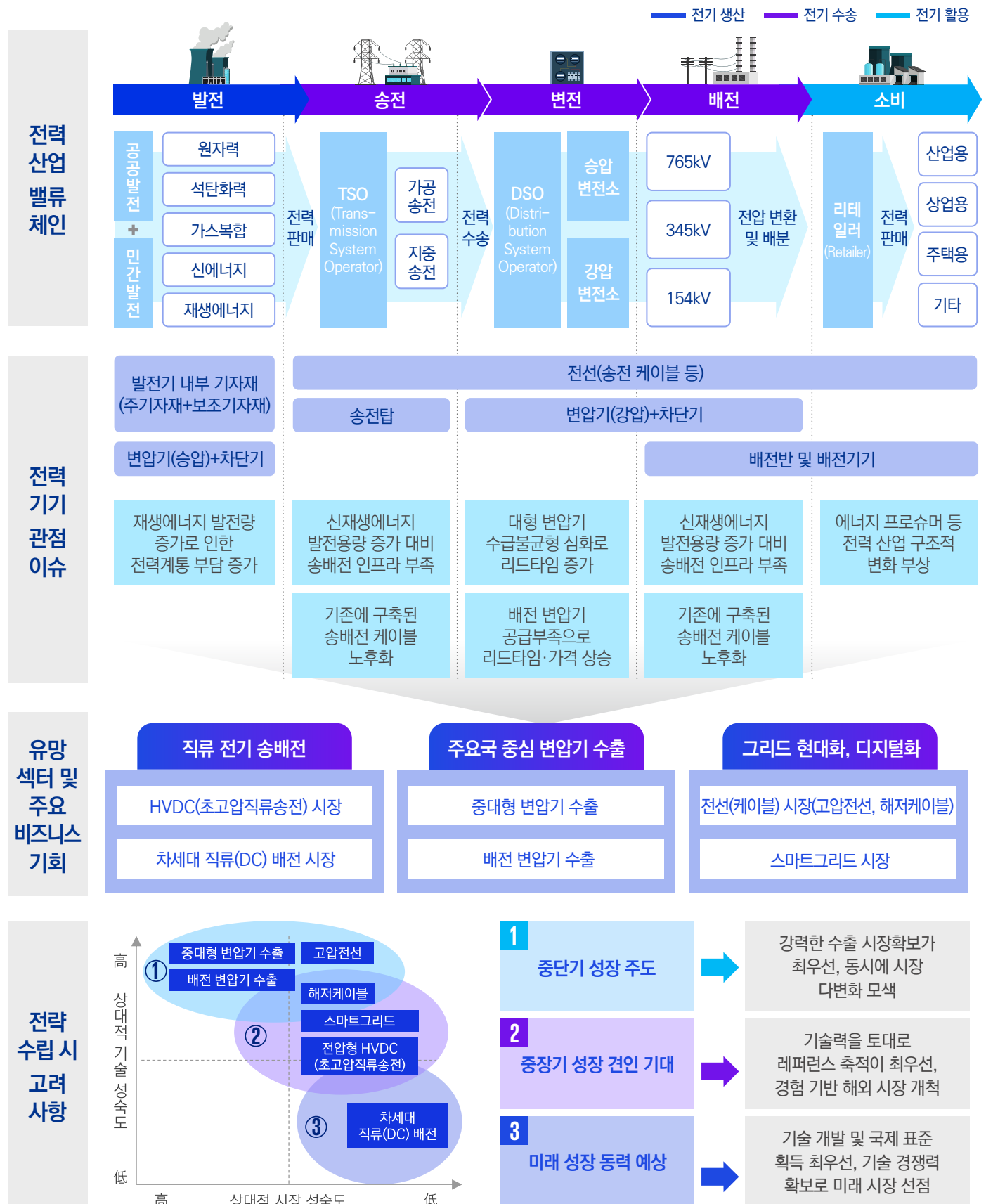
정미주 책임연구원

mijujung@kr.kpmg.com

(02)2112-4802

본 보고서는 삼정KPMG와 KPMG member firm 전문가들이 수집한 자료를 바탕으로 일반적인 정보를 제공할 목적으로 작성되었으며, 보고서에 포함된 자료의 완전성, 정확성 및 신뢰성을 확인하기 위한 절차를 밟은 것은 아닙니다. 본 보고서는 특정 기업이나 개인의 개별 사안에 대한 조언을 제공할 목적으로 작성된 것이 아니므로, 구체적인 의사결정이 필요한 경우에는 당 법인의 전문가와 상의하여 주시기 바랍니다. 삼정KPMG의 사전 동의 없이 본 보고서의 전체 또는 일부를 무단 배포, 인용, 발간, 복제할 수 없습니다.

Executive Summary



Source: 삼성KPMG 경제연구원

Note: 전력기기 관점 이슈에서 송전 및 배전 부분은 동일한 이슈가 부각되고 있어 중복하여 작성

Thought Leadership I

폭발적으로 증가할 전력 수요

에디슨의 백열전구 발명 145년 만에 모든 것이 전기화된 시대

현대를 살아가는 사람의 일상에서 전기란 마치 공기와 같은 존재다. 아침에 눈을 뜨는 순간부터 잠드는 순간까지, 아니 자고 있는 동안에도 전기 없이 살아가기 어려운 것이 현대인의 삶이라고 해도 과언이 아니기 때문이다. 가정과 사회, 직장과 산업의 모든 영역에서 이미 거의 모든 것이 전기화(Electrification)된 지금, 전기가 없는 시대를 상상하기란 어렵다.

현대인이 전기 없이 생활한다는 것은 불가능한 일에 가깝지만, 불과 150년 전만 해도 전기가 없는 삶은 일상이었다. 토마스 에디슨이 백열전구를 발명한 것은 150년도 채 되지 않은, 비교적 '최근의' 일이기 때문이다. 1879년 에디슨은 미국 뉴저지주 멘로파크 연구소에서 백열전구를 발명했다. 독일의 역사학자 에밀 루트비히는 이 사건을 두고 “프로메테우스가 불을 발견한 이후 인류는 두 번째 불을 발견한 것”이라는 유명한 말을 남겼을 정도로, 에디슨의 백열전구 발명은 인류 역사에 중대한 영향을 미친 사건이 되었다.

에디슨의 백열전구 발명 외에도 인류가 전기를 생활의 편의를 위해 발전시켜 오는 과정에서 주목해야 하는 사건과 인물은 상당히 많다. 에디슨의 경쟁자로 알려진 인물이자 최근에는 전기차 브랜드명으로도 인식되는 니콜라 테슬라도 전기 역사상 빼놓을 수 없는 인물이다. 에디슨과 테슬라가 경쟁하던 당시, 에디슨은 직류(DC, Direct Current) 시스템을, 테슬라는 교류(AC, Alternating Current) 시스템을 상업화 하고자 노력했다.

경쟁 관계에 있던 직류와 교류 시스템은 특성이 달랐는데, 초창기 직류 시스템은 전기를 멀리 보내기 어려워 좁은 지역 내에서만 활용하거나 발전소를 많이 세워야만 했기 때문에 경제성이 떨어졌다. 반면 교류 시스템은 전압을 바꾸기가 쉬워, 보다 먼 지역까지 저렴한 비용으로 송전할 수 있었기에 경제성 측면에서 뛰어났고 이는 교류 시스템이 현대 그리드(Grid)의 근간을 이루게 된 주요한 이유가 되었다.

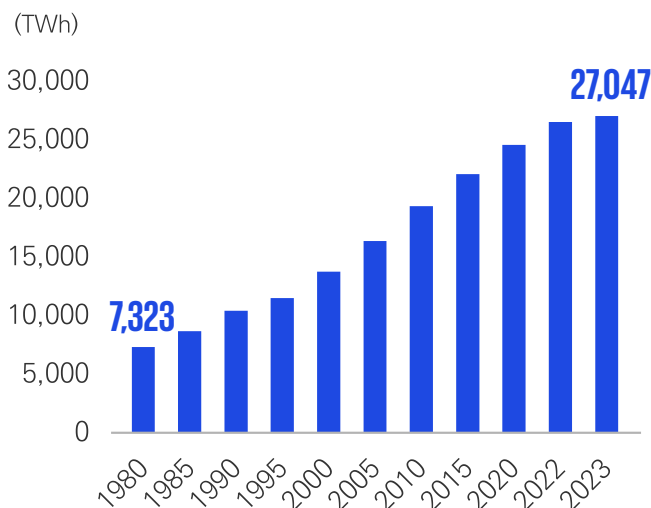
“
에디슨의 직류와 테슬라의
교류 시스템이 경쟁한 결과,
경제성이 높은 교류가
채택되어 현대 그리드의
근간을 이루게 됨 ”

“
2023년 전 세계
순전력소비량은 1980년
대비 3배 이상 증가,
향후 전기 수요는 더욱
빠르게 증가할 전망 ”

에디슨과 테슬라의 시대에서 146년을 지나 현대로 오자 미국 에너지정보청(EIA, Energy Information Administration)은 2024년 7월, 전 세계를 대상으로 1980년부터 2023년까지 연도별 순전력소비량(Net Electricity Consumption)을 발표했다. 1980년 순전력소비량은 7,323TWh였으나 2023년의 순전력소비량은 27,047TWh로 약 3.6배 이상 증가했다. 전 세계적으로 전기 소비량이 증가한 이유는 각 국가가 산업화를 통해 경제 성장을 이루고자 했기 때문이다. 특히 2000년 이후 중국은 에너지를 많이 사용하는 제조업을 필두로 경제 성장을 도모했기에 중국의 전기 소비량이 급증한 것이 주요 요인으로 꼽힌다. 즉, 전기는 각 국가의 경제 성장에 필수적인 요소이자 기반으로 자리잡았는데, 이러한 경향은 향후 더욱 두드러질 전망이다.

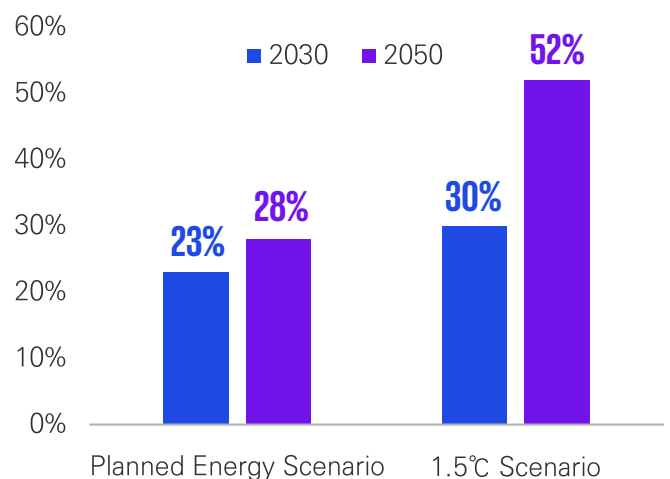
국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)는 ‘Electricity 2025’에서 2024년 전 세계 전기 수요는 4.3% 성장했고 2027년까지 약 4%의 연평균성장률을 보일 것으로 전망했다. 또한 IEA는 향후 3년 동안 전 세계 전기 수요는 3,500TWh까지 증가할 것이라 예상했는데 이는 인류 역사상 유례없이 높은 수준이다. 매년 일본의 연간 전력 소비량을 초과하는 수준의 추가 전력이 사용될 것으로 보인다. 국제재생에너지기구(IRENA, International Renewable Energy Agency)는 ‘World Energy Transition Outlook 2024’를 통해 2050년 전 세계 최종 에너지 수요에서 전기 비중을 시나리오별로 도출했다. IRENA는 2050년 전기 비중을 Planned Energy Scenario(각 국이 발표한 정책 준수)에서 28% 수준, 1.5°C Scenario(지구의 평균 기온 상승분을 1.5°C로 제한)에서는 52%까지 오를 것으로 예상했다. 이는 지구 평균 기온을 올리는 화석연료 대신 신재생에너지를 중심으로 전기화가 이루어져야 기후위기 대응 정책이 실효성을 가질 수 있다는 것을 의미한다. IRENA가 2050년 최종 에너지 수요에서 전기가 절반 이상을 차지하게 될 것이라고 전망한 것은 다소 이상적이거나, 전망 기관·시나리오에 상관 없이 전기 수요가 증가할 것으로 일관되게 도출된다는 점에서 미래는 전기의 시대라 해도 무방할 것이다.

1980~2023년 전 세계 순전력소비량



Source: EIA(2025.3.20 검색 기준)

2030년·2050년 최종 에너지 수요 중 전기 비중



Source: IRENA World Energy Transition Outlook 2024

탄소 감축·AI 활용 니즈(Needs)로 인한 전력 수요 폭증

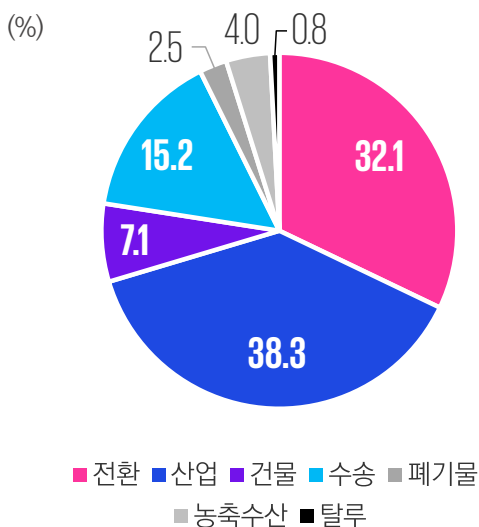
“ 산업, 수송 분야에서
전기 사용 비중의 증가는
탄소 감축 기조 강화 및
전기차 시장 확대로부터
기인 ”

발전(전기, 열 생산)이 전기를 생산, 공급하는 분야라면, 최종적으로 전기를 사용하는 분야는 크게 산업, 수송, 건물로 구분된다. 최종 수요 부문인 산업, 수송, 건물 분야에서의 필요한 전력량은 가파르게 증가할 전망이다, 그 이유는 크게 2가지다. 첫째는 탄소 감축 필요성이 강화되며 최종 에너지 수요에서 전기의 중요성이 높아지고 있기 때문이고, 둘째는 사회 전반에서 AI(Artificial Intelligence, 인공지능) 활용도가 증대되면서 AI 운영을 위해 기존보다 더욱더 많은 전력이 필요해졌기 때문이다.

우선 탄소 감축 필요성이 강화되며 전기 수요가 높아지는 배경을 최종 수요 부문별로 알아보자. 에너지 집약적인 제조업을 중심으로 한 산업 분야는 이산화탄소 배출량이 높다. 철강, 기초 화학물질, 시멘트, 석유 정제, 반도체 제조 등 제품 생산 시 막대한 에너지가 필요한 분야가 여기에 속하기 때문이다. 이 때 화석연료를 태워 에너지를 얻는다면 이산화탄소 배출량이 높을 수밖에 없다. 국내 환경부 온실가스종합정보센터가 2024년에 발표한 '2023년 국가 온실가스 배출량 통계(잠정)'에 따르면 산업 분야 온실가스 배출량 비중은 약 38%로 수송, 건물 분야에 비해 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 탄소 감축 목표를 달성하기 위해서는 산업 분야에서 신재생에너지를 중심으로 한 전기화가 수반되어야 하며, 이는 전력 수요 증가로 이어지고 있다.

수송 분야에서는 탄소 감축을 위해 내연기관차 대신 전기차가 부상하고 있어 전기차 및 충전 인프라가 증가하며 전력 수요가 높아졌다. 2023년 전 세계 전기차 판매량은 2022년 대비 35% 증가해 약 1,400만 대로 집계된다. 또한 2023년 기준 전 세계에서 운행 중인 전기차는 4,000만 대가 되었다. 이에 전기차 충전인프라 보급도 확대되어 2023년 기준 공용 충전소의 누적 설치용량은 전년 대비 40% 이상 증가했다. IEA는 전기차와 충전 인프라에 필요한 전력

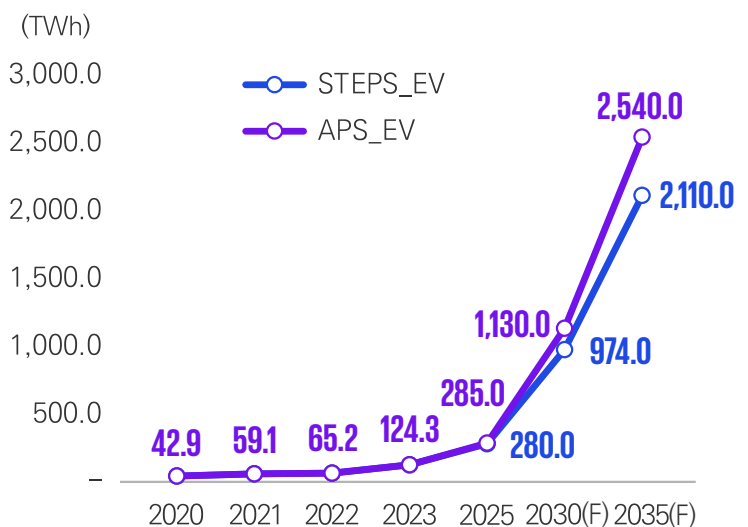
2023년 국가 온실가스 배출량 통계



Source: 환경부 온실가스종합정보센터 '2023년 국가 온실가스 잠정 배출량' (2024.09 보도)

Note: '전환'은 전기와 열을 생산하는 발전 분야를 지칭, '탈루'는 특정 부문으로 분류하기 어려운 배출원을 미분류한 부문

시나리오별 전기차에 필요한 전력 수요 현황 및 전망



Source: IEA Global EV Outlook 2024(Global EV Data Explorer, 2025.03.20 검색 기준)

Note: 승용차(Battery Electric Vehicle + Plug-in Hybrid Electric Vehicle), 버스, 트럭(3.5톤 이상 상용차), 밴(3.5톤 미만 상용차)의 전력 수요 전망치 합계, STEPS(The Stated Policies Scenario, 현 정책 유지 시나리오), APS(The Announced Policies Scenario, 개별 국가 및 지역의 탄소중립 선언 및 중장기 감축목표 등 공약 내용 이행 시나리오)

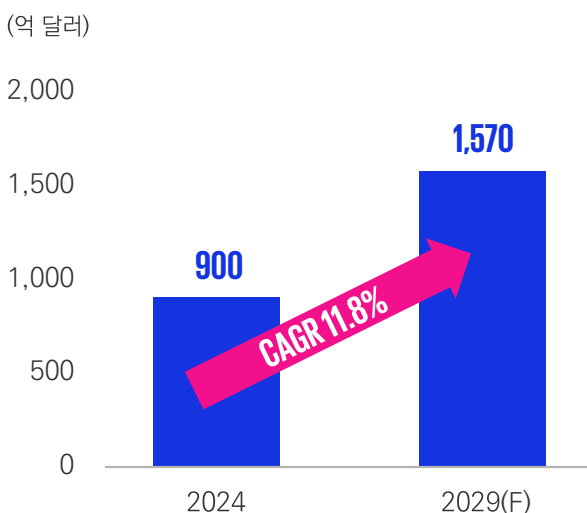
“ 건물 분야에서 전기 비중이 증가하는 주된 이유는 유럽·미국을 중심으로 확대되는 히트펌프 시장 때문 ”

규모를 STEPS(The Stated Policies Scenario)에서 2025년 280TWh, 2030년 974TWh, 2035년 2,110TWh 수준으로, APS(The Announced Policies Scenario)에서 2025년 285TWh, 2030년 1,130TWh, 2035년 2,540TWh 수준이 될 것으로 전망했다.

건물(냉·난방) 분야에서는 온실가스 배출량을 줄이기 위해 P2H(Power to Heat) 방법의 히트펌프를 냉난방 시스템에 사용하며 전력 수요가 증가하게 되었다. 히트펌프는 저온의 열원에서 열을 흡수하여 더 높은 온도의 공간으로 열을 이동시키는 기기다. 이는 기존에 건물 난방을 위해 사용하던 가스보일러 등의 화석 연료 기반 기계 및 난방을 위한 에어컨을 대체할 수 있는데 에너지 효율성이 높고 친환경적인 특성으로 인해 유럽과 미국을 중심으로 그 수요가 증가하고 있다.

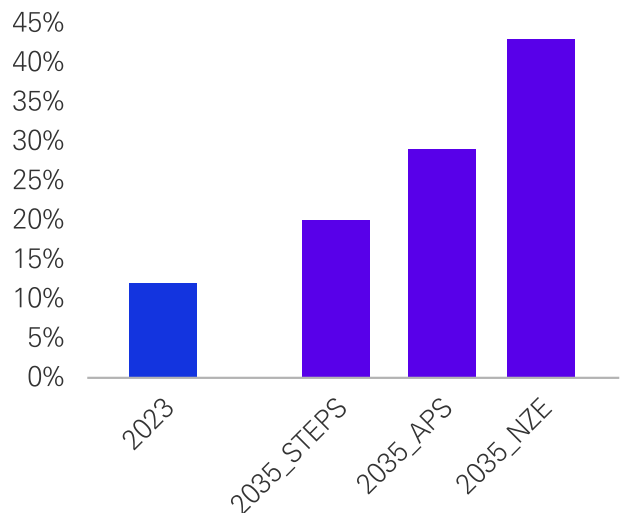
시장조사기관 MarketsandMarkets는 전 세계 히트펌프 시장 규모를 2024년 약 900억 달러에서 2029년 1,570억 달러(연평균성장률 11.8%)까지 성장할 것으로 전망했다. 유럽 연합은 IEA에서 권고한 2025년 화석연료 기반 보일러 신규 판매 금지를 받아들여, 오스트리아는 2023년, 영국은 2025년, 네덜란드는 2026년 가스보일러의 신규 판매 금지 계획을 발표했다. 미국 역시 일반 소비자가 히트펌프 가전제품을 구매할 때 2024년 2분기부터 지원금을 지급하기로 했다. 국내에서는 히트펌프가 다소 생소하지만, 중국과 일본을 중심으로 아시아·태평양 지역에서도 수요가 높아지고 있기 때문에 전 세계 히트펌프 시장은 성장세를 보일 것으로 예상된다. 이러한 성장세는 IEA의 'World Energy Outlook 2024'의 난방기기 판매량 중 히트펌프가 차지하는 비중 전망을 보면 더욱 뚜렷하다. 2023년 히트펌프는 전 세계 주거용 난방기기 판매량에서 12%의 비중을 차지했고 2035년이 되면 이 수치는 3배 이상 확대될 것으로 전망했다. 단 시나리오에 따라 증가 폭은 다르다. IEA는 STEPS 시나리오에서는 약 2배 증가, APS 시나리오에서는 약 30% 수준, NZE(Net Zero Emissions by 2050) 시나리오에서는 40% 정도 차지할 것으로 추정했다.

전 세계 히트펌프 시장 성장 추이



Source: MarketsandMarkets, Heat Pump Markets, 2024.02

난방기기 판매량 중 히트펌프 비중 전망



Source: IEA, World Energy Outlook 2024

Note: STEPS(현 정책 유지 시나리오), APS(개별 국가 및 지역의 탄소중립 선언 및 중장기 감축목표(NDC) 등 공약 내용 이행 시나리오), NZE(2050년 전 세계 기온 상승폭을 1.5℃ 내 유지하는 것을 전제로 전망한 시나리오)

“

미국 내 데이터센터로 인한 전력 소비량이 전체 소비량에서 차지하는 비중은 2023년 4.4%에서 2028년 최대 12%까지 증가할 전망 ”

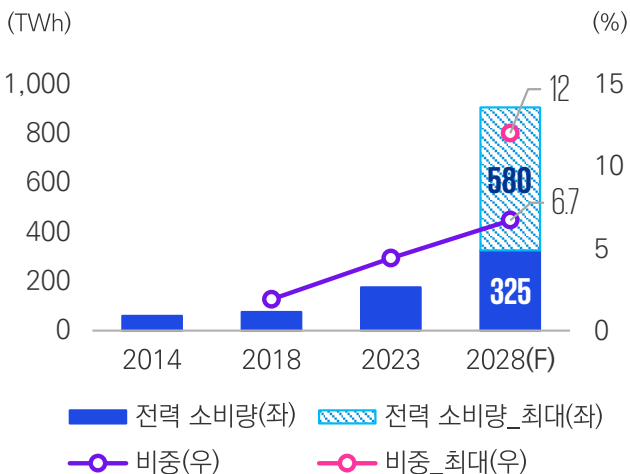
“

생성형 AI를 활용 시 전력 소모량이 높아지고 이를 지원하기 위한 하이퍼스케일 데이터센터가 구축되며 전력 수요는 더욱 증가 ”

AI 활용 니즈와 전력 수요 증가 간 상관관계도 살펴보자. AI의 활용 분야가 확대되고 사용 빈도가 증가하고 있어 이를 지원하기 위한 데이터센터도 전 세계적으로 전력 수요를 증가시키는 핵심 동인 중 하나로 주목받고 있다. IEA의 'Electricity 2025'에서 인용하고 있는 최근의 연구 결과에 따르면 미국 내 데이터센터로 인한 전력 소비량은 2014년 60TWh 수준에서 2023년 176TWh, 2028년에는 325TWh~580TWh까지 확대될 것으로 전망된다. 즉, 미국 내 데이터센터 전력 소비량이 미국 전체 전력 소비량에서 차지하는 비율이 2023년 4.4%에서 2028년 6.7%~12%까지 증가할 것으로 예상된다.

이렇듯 한 국가가 사용하는 전체 전력 소비량 중에서 데이터센터 전력 소비 비중이 확대되는 배경으로는 생성형 AI로 인해 필요한 전력량이 더욱 증가했기 때문이다. 2024년 6월 미국 전력연구소(EPRI)가 발표한 바에 따르면, 생성형 AI인 챗GPT에 검색할 경우 구글 검색 대비 약 10배의 전력이 더 필요한 것으로 나타났다. 구글에서 한 번 검색 시 사용되는 전력은 0.3Wh 수준이지만 챗GPT는 검색할 때마다 2.9Wh 수준의 전력을 사용했다. 그런데 생성형 AI 검색이 웹 검색과 통합될 경우에는 단순한 구글 검색보다 약 30배 정도 전력 소모량이 높아진다. 미국 전력연구소는 “구글의 AI 기능이 구글 검색에 통합된다면, 검색 당 전력 소모량은 6.9~8.9Wh로 챗GPT보다 3배 이상 높아질 수 있다”고 언급했다. 생성형 AI를 포함한 인공지능 시장의 성장과 함께 이를 지원하기 위한 하이퍼스케일 데이터센터 구축도 활발하다. 하이퍼스케일 데이터센터란 대규모 워크로드에 맞게 최적의 네트워크 인프라, 효율적인 네트워크 연결 기능, 대기 시간 최소화 등을 만족하는 데이터센터다. 일반적으로 최소 10만 대의 서버를 초고속 네트워크로 운영하기 때문에 인공지능, 대규모 데이터 분석 등에 활용도가 높다. 따라서 AI가 사회 전반에 적용된다면 하이퍼스케일 데이터센터는 늘어날 것이며 많은 수의 서버를 운영하는 만큼 각 데이터센터에서의 전력 수요도 계속 증가할 전망이다.

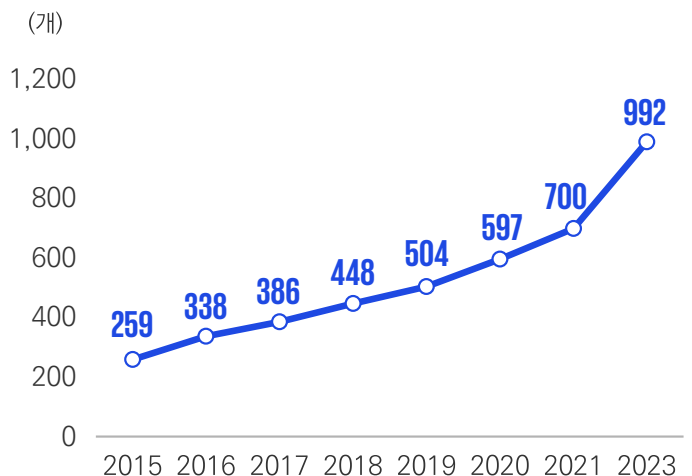
데이터센터로 인한 미국 내 전력 소비량 및 비중



Source: IEA Electricity 2025

Note: '비중'은 미국 내 전체 전력 소비량 중에서 데이터센터로 인한 전력 소비량이 차지하는 비중을 의미

하이퍼스케일(Hyperscale) 데이터센터 증가 추이



Source: Statista

국내 전력 수요 전망

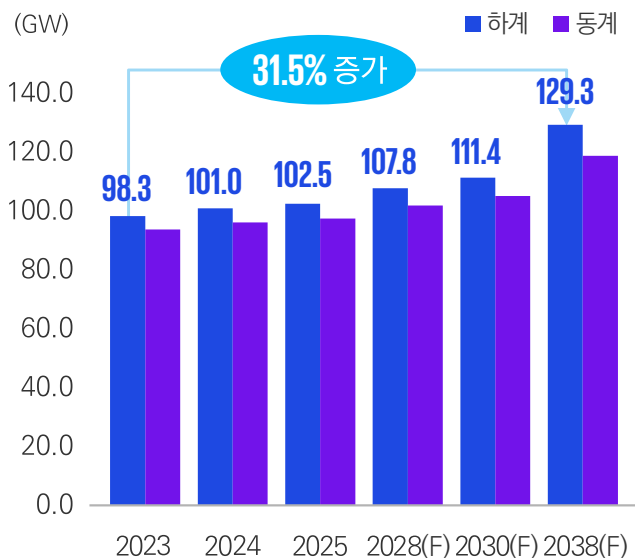
“ 우리나라 2038년 목표수요 129.3GW로 전망, 이는 2023년 대비 31.5% 증가한 것으로 기후 영향, 첨단산업 내 전력 수요 확대, AI 확산 등이 수요 확대의 주요 원인 ”

전 세계적으로 탄소 감축과 AI 활용이 전기 수요의 폭발적 증가를 촉진할 것으로 예상되며, 국내에서도 같은 흐름이 이어질 것으로 보인다. 구체적인 국내 전기 수요 전망은 국가 중장기 전력수급 상황을 안정적으로 유지하기 위해 2년마다 세우는 전력수급기본계획을 참고할 필요가 있다.

2025년 2월에 확정된 제11차 전력수급기본계획에 따르면, 우리나라의 2038년 목표수요(하계 최대전력 기준)는 129.3GW로 전망된다. 2038년 목표수요(하계 최대전력 기준)는 2023년 98.3GW에서 약 31.5% 증가했다. 이는 경제 성장, 기후변화 영향, 산업구조 및 인구 변화 전망을 토대로 추정한 전력 수요에 반도체 클러스터 조성 등 첨단산업에서 전력 수요가 확대될 것으로 예상한 전망치를 별도로 반영했을 뿐 아니라 AI 확산으로 큰 폭의 증가가 예상되는 데이터센터 시장의 성장, 산업 및 수송 부문에서 탈탄소화를 위해 화석연료에서 무탄소 전원 중심의 전기화 수요까지 반영했기 때문이다.

국내 전기 총수요 및 최종 소비도 증가하고 있다. 에너지경제연구원의 '2025년 에너지수요 전망'에 따르면 2021년 전기 총수요는 572.7TWh나, 2025년에는 597.1TWh까지 증가할 것으로 예상된다. 앞서 언급한 것처럼 생산된 전기가 최종적으로 사용되는 분야는 산업, 수송, 건물로 구분되는데, 산업의 최종 소비는 4TWh 정도 감소할 것으로 전망되는 반면 건물과 수송은 각각 270TWh, 6.1TWh까지 증가한다고 나타났다. 산업 부문의 최종 소비가 감소할 것이라고 예상되는 이유는 국내 경기 회복이 지연되면서 철강, 석유화학 등 에너지 다소비 산업이 영향을 받고 있기 때문이다. 산업 부문의 소비는 소폭 감소했으나 건물과 수송이 확대되어 총수요 및 최종 소비는 확대될 것이라는 점은 주목할 필요가 있다.

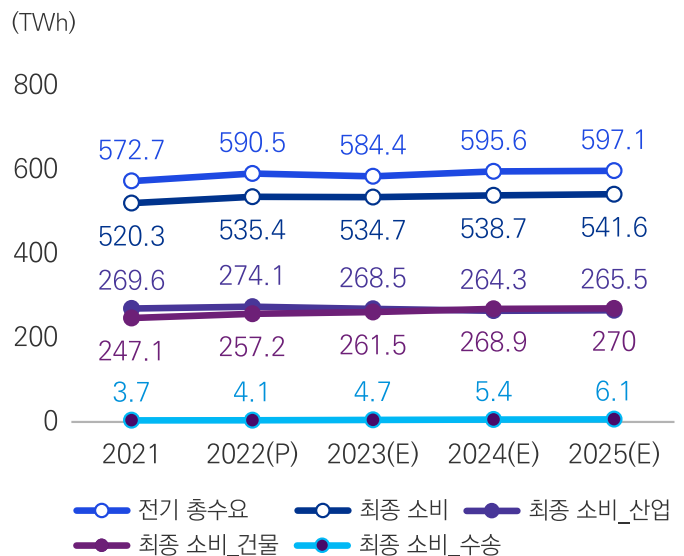
국내 전력 목표수요 실적(2023년)과 전망



Source: 산업통상자원부 '제11차 전력수급기본계획'

Note: 최대전력 산정기준으로 하계는 당해연도 7~8월, 동계는 당해연도 12월~익년도 1월이며 2023년만 실적이고 나머지는 전망치

국내 전기 총수요 및 최종 소비 추이



Source: 에너지경제연구원 '2025년 에너지수요전망'

Note: 최종 소비는 전기 총수요에서 전환자체소비 및 손실 양을 뺀 것과 동일

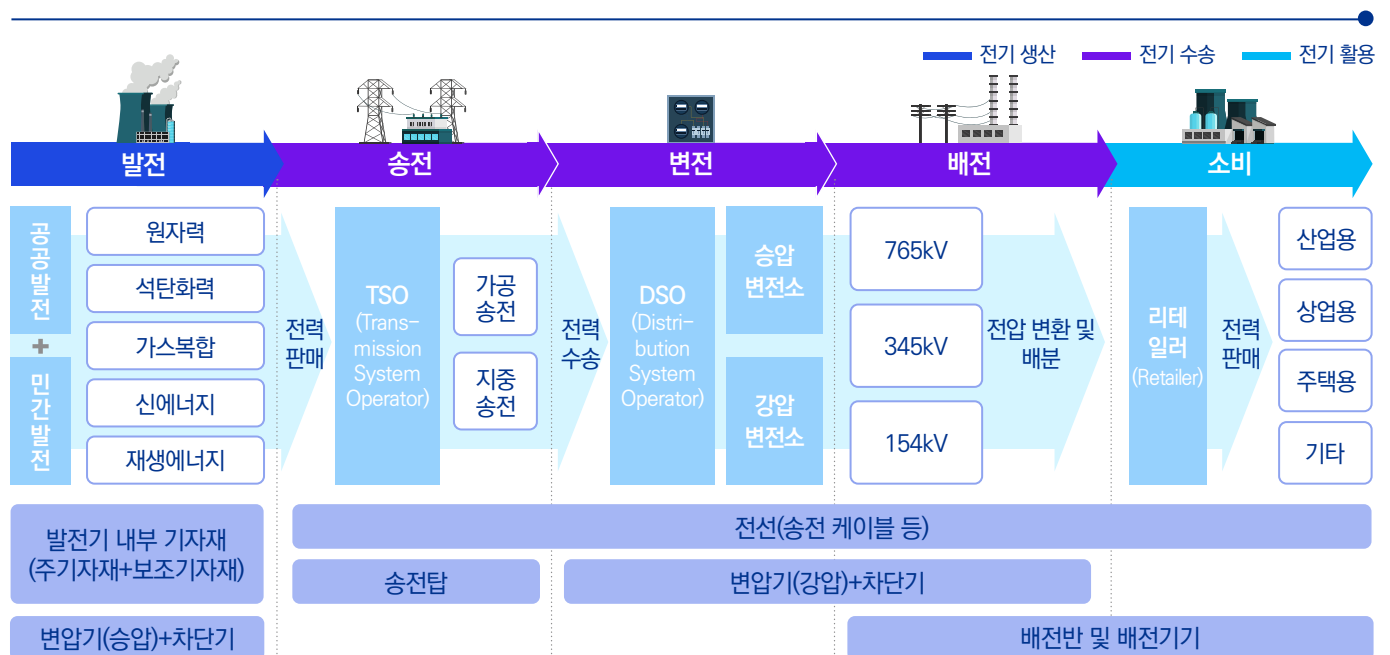
Thought Leadership II

밸류체인으로 본 전 세계 전력 산업 주요 이슈

발전부터 소비까지, 전력 산업 밸류체인과 주요 인프라

폭발적으로 증가하는 전기 수요로 인해 성장하는 전력 시장을 선점하기 위해, 기업은 어떤 비즈니스 기회를 주목해야 할까? 전력 산업에서 부상하는 기회를 선별하려면, 전력 산업 밸류체인 단계별로 이슈를 알아야 하고 이를 위해 먼저 전력 산업 밸류체인을 정의해야 한다. 본 보고서에서 논의하는 전력 산업 밸류체인이란 전기가 생산되어 최종 이용자가 전기를 소비하기까지의 과정 및 각 단계로, 발전(전력 생산), 송전, 변전, 배전, 소비(최종 수요)의 다섯 단계로 구성된다.

전력 산업 밸류체인 및 전력망 구성 주요 전력·배전기기



“

생산된 전기가 사회 전반에서
사용되려면 발전부터
소비까지 밸류체인 단계별
이슈를 극복하고 전력망
인프라 확충이 필수 ”

“

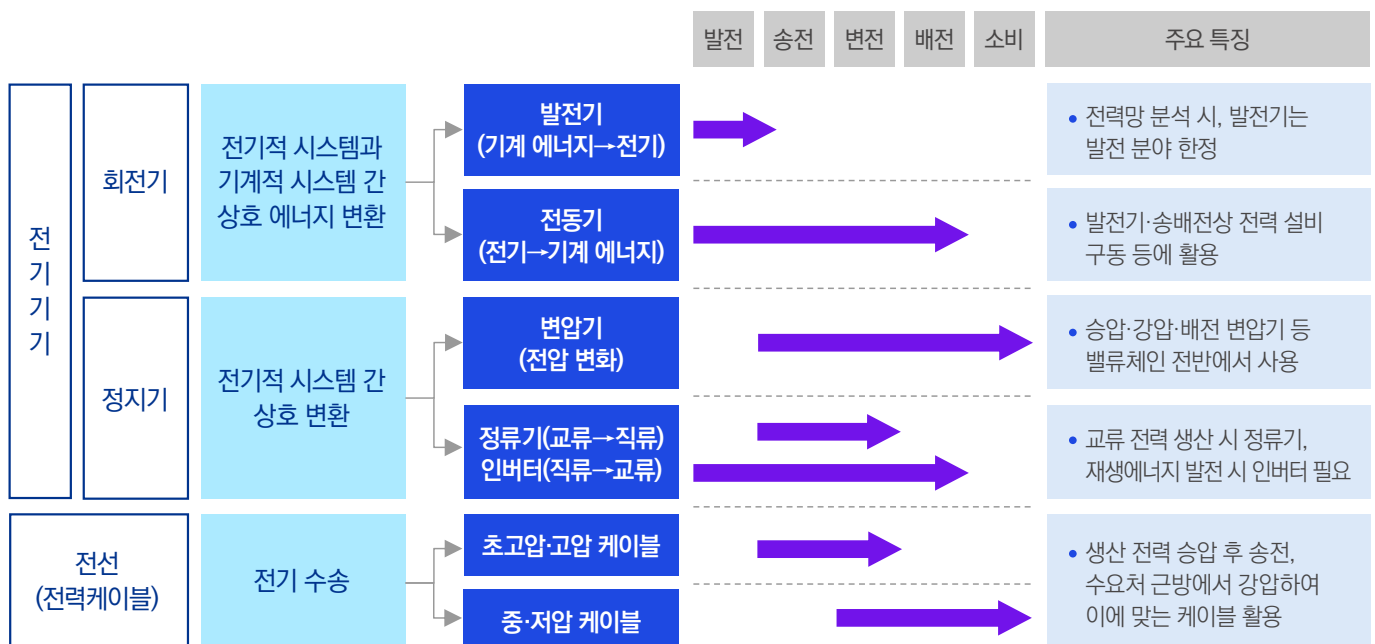
인프라 구성을 위해
회전기·정지기로 구분되는
전기기기 및 전선은
우선적으로 필요 ”

발전 단계에서는 공공 또는 민간 발전사가 원자력·석탄화력·가스복합의 화석연료 기반 발전 방식 외에도 수소를 포함한 신에너지·수력을 포함한 재생에너지 발전을 통해 전기를 만든다. 생산된 전기는 변전소로 수송되는 송전을 거친다. 전력거래소에 따르면 협의의 송전이란 발전소에서 직접 연결된 배전용 변전소까지의 전력 수송을, 광의의 송전은 발전소에서 일반 가정까지의 전력 수송을 의미하는데, 본 보고서에서는 협의의 송전을 따른다. 전기는 수송 과정에서 최종 소비처에서 사용할 수 있는 전압으로 변환해주는 변전소를 거치게 된다. 이 때 거치는 변전소는 전압을 낮춰주는 강압 변전소다. 그런데 변전소 중에는 전압을 올리는 승압 변전소도 있다. 승압 변전소는 대체로 발전소 쪽에 위치해 송전 과정에서 전력 손실을 예방하기 위해 전압을 올리는 역할을 한다. 변전소를 거친 전기는 배전 단계를 통해 최종 수요처까지 간다. 일반적으로 154kV 변전소에서 소비자까지의 전력공급을 배전이라 칭한다. 최종 수요처까지 도달한 전기는 산업용, 상업용, 주택용, 기타 분야에서 사용된다. 최근에는 발전~송배전을 거쳐 최종 수요처에 도달한 전력이 아니라 주택·산업단지에서 태양광 설비로 전력을 생산하기도 한다.

전기를 활용하려면 단순히 전기를 많이 만드는 것이 능사가 아니다. 생산된 전력을 손실 없이 최종 수요처까지 수송해야 하고 수요처에서도 이를 안전하고 원활하게 사용할 수 있도록 인프라를 구축하는 것이 중요하다. 즉, 전력망 전체에서 인프라를 확충해야만 한다. 이러한 인프라를 구성하기 위해 회전기와 정지기로 구분되는 전기기기, 그리고 전선이 우선적으로 필요하다.

우선 전기기기는 ‘회전력’을 중심으로 회전기 및 정지기로 나눌 수 있다. 회전기는 전기적 시스템과 기계적 시스템 사이에서 상호 에너지를 변환시키는 기기로 발전기, 전동기 등이 속한다. 발전기는 기계 에너지를 전기로 바꾸는 전기기기로 전력망을 토대로 분석할 경우에는 발전 단계에서 주로 쓰인다고 볼 수 있다. 전동기는 전기를 기계적인 에너지로 변환하는 역할을 담당하며, 발전기의 보조 기기를 작동시키거나 송전·변전·배전 단계에서 차단기 또는 배전반 내 계기 등을 구동 시킬 때 쓰이기 때문에 전력망 전반에서 활용된다.

전력망 구성 주요 인프라 특징



“

회전기는 발전기·전동기로
정지기는 변압기·정류기·
인버터로 전선은 전압별
케이블로 구분 ”

“

전 세계 신재생에너지
발전량은 2023년부터
2027년까지 연평균
10.2% 수준 성장 ”

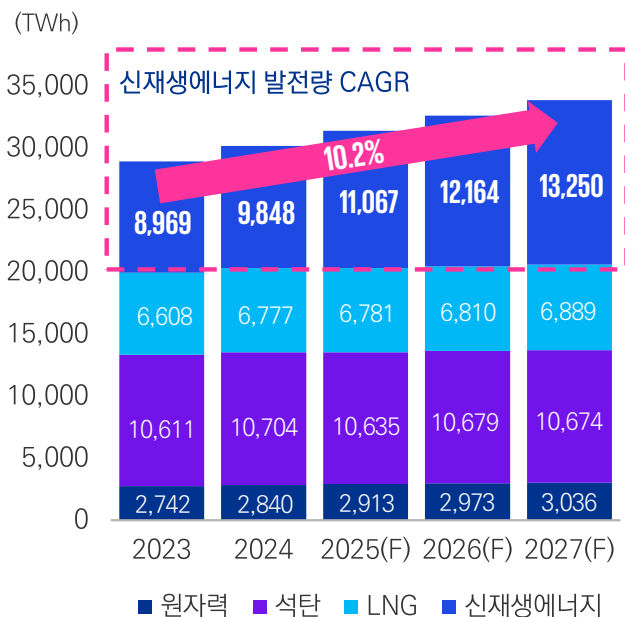
한편, 정지기는 전기적 시스템 간 상호 변환을 지원하는 기기로서 교류 전력의 전압을 변화시키는 변압기, 교류에서 직류로 변환하는 정류기, 직류를 교류로 변환하는 인버터 등을 포함한다. 변압기는 송전·변전·배전 단계에서 주로 사용되는데, 생산된 전력의 전압을 높여 수송 시 전력 손실에 대비할 때도 쓰이고 최종 수요처 근방에 도착한 고전압 전력을 낮은 전압으로 강압할 때도 필요하다. 정류기는 교류 전력을 직류로 변환 시, 인버터는 직류 전력을 교류로 변환 시 각각 필요하다.

전선은 설치 장소(가공·지중·해저), 전압(저압·중압·고압·초고압), 최종 수요 산업(항공우주·건설·통신·에너지 등) 등의 기준으로 구분할 수 있으나 본 보고서에서는 전압을 중심으로 살펴보고자 한다. 송전 단계에서 전력 손실을 예방하기 위해 초고압 또는 고압으로 전압을 높여 송전하므로 초고압·고압 케이블이, 배전 단계에서는 최종 수요처에서 수용할 수 있도록 전압을 낮추므로 이에 맞는 저압 케이블이 필요하다. 다음부터는 탄소중립을 달성하고 증가하는 전기 수요에 대응하기 위해 전력 산업 밸류체인 단계별로 나타나는 주요 이슈를 전력 인프라 중심으로 알아보도록 하겠다.

발전: 신재생에너지 발전 비중 증가, 그리드(Grid) 약화 가능성 부각

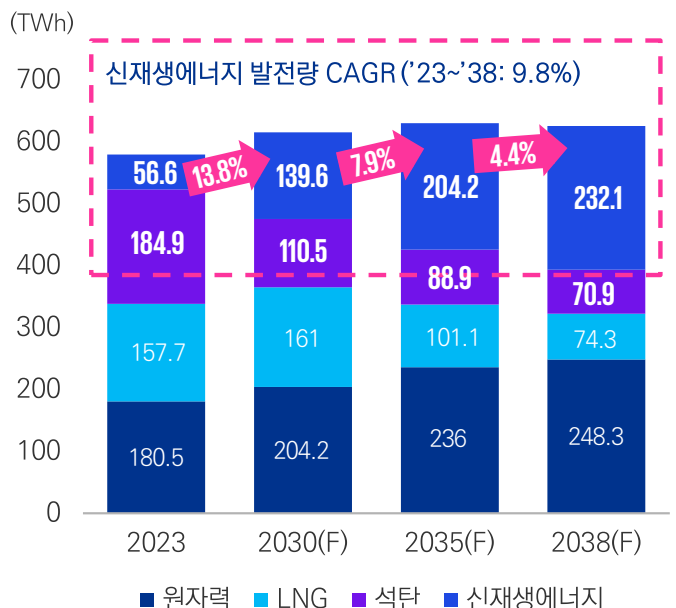
탄소중립 달성의 필요성이 점차 강화되면서 저탄소 및 무탄소 발전원의 역할이 더욱 두드러지고 있다. 이에 따라 저탄소·무탄소 발전원인 태양광 및 풍력을 중심으로 한 신재생에너지의 발전량과 발전 비중이 높아졌다. IEA의 'Electricity 2025'에 따르면, 전 세계 신재생에너지 발전량은 2023년 8,969TWh, 2024년 9,848TWh다. 이 수치는 2025년 11,067TWh, 2026년 12,164TWh, 2027년 13,250TWh로 증가할 것으로 전망된다.

전 세계 발전원별 발전량 추이



Source: IEA 'Electricity 2025'

국내 발전원별 발전량 추이



Source: 산업통상자원부 '제11차 전력수급기본계획(확정안)'

“
국내 역시 신재생에너지
발전량은 2023년부터
2030년까지 연평균
13.8%씩 성장할 전망 ”

“
안정적인 전력공급을 위해
신뢰도, 적정성, 안전성
확보가 필수적이나 변동성
재생에너지는 변동성,
불확실성이 높고 관성이
낮아 전력공급의 불안정성을
높일 우려도 존재 ”

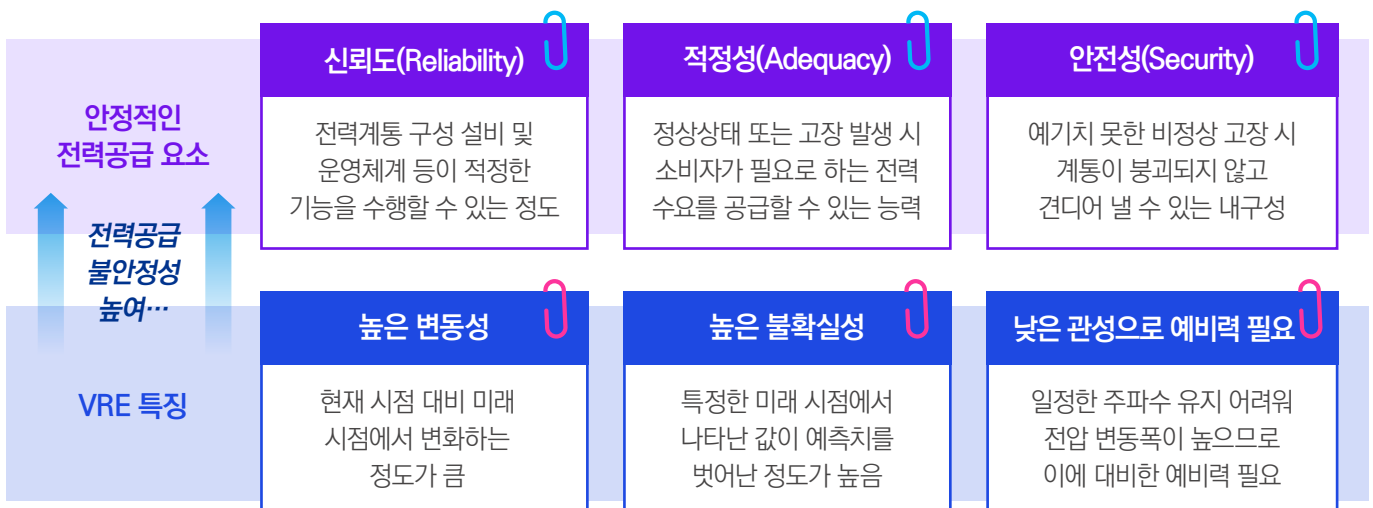
전 세계 신재생에너지 발전량의 2023년부터 2027년까지 연평균성장률은 10.2%로 빠르게 성장하고 있다. 국내 상황도 비슷하다. 확정된 '제11차 전력수급기본계획'에 따르면 신재생 에너지의 발전량이 2023년에 약 56.6TWh였으나, 2030년에는 139.6TWh에 달할 것으로 보인다. 국내 발전량 내 비중으로 보면 2023년 발전 비중 9.6%에서 2030년에는 21.7%로 크게 확대된다.

신재생에너지 발전량 증가는 전력계통(발전부터 소비까지 전기를 공급하기 위해 연결된 네트워크)에 안정적인 전력공급을 저해할 가능성이 있어 발전 단계에서 전력망 관련 주요 이슈로 부각되고 있다. 그렇다면 안정적인 전력공급을 위해 전력계통이 확보해야 하는 요인은 무엇인지 알아보고, 변동성 재생에너지(VRE, Variable Renewable Energy)를 중심으로 한 신재생에너지 확대가 전력계통에 어떻게 부담으로 작용하는지 살펴보자.

안정적인 전력공급을 위해서는 신뢰도(Reliability), 적정성(Adequacy), 안전성(Security) 확보가 필수적이다. 산업통상자원부가 고시한 '전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준'에 의하면 신뢰도는 전력계통을 구성하는 제반 설비(발전, 송배전, 변전) 및 운영체계 등이 주어진 조건에서 의도된 기능을 적정하게 수행할 수 있는 정도를 말한다. 적정성은 정상상태 또는 고장 발생 시 소비자가 필요로 하는 전력 수요를 공급해 줄 수 있는 능력을, 안전성은 예기치 못한 비정상 고장 시 계통이 붕괴되지 않고 견디어 낼 수 있는 내구성을 의미한다.

그런데 전 세계적으로 확대되고 있는 태양광과 풍력은 변동성 재생에너지(VRE)로서 석탄화력, 원자력 같은 기존 발전원과 다른 특징을 가지는데, 이는 변동성, 불확실성, 낮은 관성으로 인한 예비력 확보 필요로 도출된다. 한국전력공사 경영연구원에 따르면 변동성이란 현재 시점 대비 미래 시점에서 변화하는 정도를 의미하고, 불확실성은 특정한 미래 시점에서 나타난 값이 예측치를 벗어난 정도를 말한다. 낮은 관성으로 인해 예비력 확보가 필요하다는 의미는 변동성

안정적인 전력공급을 위한 요인과 변동성 재생에너지(VRE) 특징



재생에너지가 기존 발전원보다 관성이 낮아 일정한 주파수를 유지하기 어렵고 전압의 변동폭이 높아지므로 전기 수급을 맞추려면 예비력을 갖추는 것이 필요하다는 것을 말한다. 즉, 변동성 재생에너지는 현재 대비 미래 시점에서 변화하는 정도가 크고, 특정 미래 시점에서의 변화 값을 예측하기가 어려우며, 관성 수준이 낮아 비정상 상태에 대한 대응력이 떨어질 수 있다고 이해할 수 있다. 따라서 변동성 재생에너지는 전력계통의 안정적인 전력공급을 위해 반드시 갖춰야 할 신뢰도, 적정성, 안전성 측면에서 부담으로 작용할 수 있어 그리드의 약화 가능성을 높게 된다.

[참고] 발전방식별·인버터 기반 전원별 주요 특성으로 본 VRE의 낮은 관성

원자력과 석탄화력 등은 연료를 연소하여 증기의 힘으로 회전체의 터빈을 돌림으로써 전기를 생산했다. 물리적으로 터빈을 돌려 전기를 생산하는 대형 발전기들은 관성(Inertia) 에너지를 포함하고 있다. 물리학에서 관성은 주로 운동의 상태를 유지하려는 경향을 말하므로, 회전체의 터빈이 움직일 때 계속 회전력을 유지하고자 하는 힘이 관성이다. 반면, 태양광과 풍력의 발전방식에서는 관성이 없거나 약화된다. 태양광 발전은 태양광 모듈을 통해 빛을 모아 직류로 전기를 생산하고, 풍력 발전은 블레이드의 회전을 통해 기계 에너지를 전기로 바꾸므로 회전체가 없기 때문이다.

그렇다면 관성은 전력계통에서 어떤 역할을 하는가? 관성은 주파수(진동이나 파동 현상에서 1초 동안 똑같은 상태가 반복되는 횟수)를 일정하게 유지함으로써 전압도 일정시간 단위로 변화하는 상태를 지속하게 해준다. 이는 항상 전기의 수요와 공급이 맞아야 하는 전력계통 특성상 중요한 요인이다. 그런데 변동성 재생에너지는 관성이 낮거나 없기 때문에 전력수급 불균형을 초래할 가능성이 높고, 주파수 및 전압 변동에 민감하게 대응하기 어렵게 될 수 있어 짧은 시간 내 부하 상승 또는 하락 시 사고로 이어질 가능성이 높다.

발전방식에 따른 전원 구분			인버터 기반 전원 구분		
	회전체 기반 전원	인버터 기반 전원		태양광	풍력
종류	원자력, 석탄화력 ¹⁾ 등	태양광, 풍력	발전 시스템	• 태양전지 모듈, 전력 변환장치, 축전지 등으로 구성	• 블레이드, 발전기, 전력변환장치, 타워 등으로 구성
날씨 영향	덜 민감	민감	생산 전력 및 전력계통 연계 특징	• 직류로 전기 생산 • 인버터를 통해 교류로 변환하여 전력계통 ²⁾ 에 연계	유도 발전기 • 교류 생산 • 전력계통 그대로 연계
관성 에너지	포함	불포함	전력계통에 미치는 영향	• 회전체가 없는 발전기 특성상 물리적 회전 관성이 없거나 약화되어 전력계통 관성 ³⁾ 저감 • 관성 저감(주파수 유지 힘 감소)은 전력계통 주파수 유지에 추가적인 노력을 요구	동기 발전기 • 교류 생산 • 전력변환 후 계통에 연계
전기 공급 방식	연료를 연소해 증기의 힘으로 회전체의 터빈을 돌려 전기 생산 후 그대로 공급	태양광 및 바람 에너지를 전기로 바꾼 후 전력변환장치인 인버터로 변환하여 공급			

Source: 에너지경제연구원, 한국전력, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1): 화력 발전은 회전체의 관성을 통해 일정한 주파수(진동이나 파동 현상에서 1초 동안 똑같은 상태가 반복되는 횟수)를 유지해 전압도 일정시간 단위로 변화

Note 2): 발전부터 소비까지 전기를 공급하기 위해 연결된 네트워크

Note 3): 계통 관성은 계통 내에서 사고 발생 이후 2초 이내 주파수 변화를 억제하려는 힘

송배전: 발전량 대비 송배전망 부족 심화 및 노후화

“탄소중립 목표를 달성하고 급증하는 전력 수요에 대응하기 위해 송배전망 역할이 중요하나 송배전망 부족, 설비 노후화는 전력 수송 효율성을 저해”

“청정 에너지 발전 분야와 달리, 송배전망 분야는 투자가 매년 유사한 수준. 송배전망 분야의 투자 부족은 인프라 확충 속도를 늦추는 주요 이슈”

탄소중립 목표를 달성하고 급증하는 전력 수요에 효과적으로 대응하기 위해서는 안정적인 전력 생산 뿐만 아니라, 전력을 최종 수요처까지 효율적으로 수송하는 송배전망의 역할이 중요하다. 그러나 현실에서는 송배전망이 충분히 구축되지 않았거나 기존에 구축된 송배전망의 노후화로 인해 전력 수송이 효율적으로 이루어지지 않고 있어 전력 산업 밸류체인 전반의 원활한 운영을 저해하고 있다. 따라서 본 고에서는 송배전 단계의 주요 이슈를 ‘송배전망 부족’과 ‘설비의 노후화’로 구분해 살펴보고자 한다.

송배전망 부족: ① 인프라 확충 속도를 늦추는 송배전망 투자 부족 이슈

산업, 교통 등 전 분야에서 전기화가 지속되고 탄소중립 목표 달성을 위한 노력이 강화되면서 청정 에너지(재생에너지, 원자력, 저탄소 발전 등)를 중심으로 발전용량은 증가해왔다. IEA에 따르면 청정 에너지 투자 중 발전 분야(재생에너지, 원자력, 저탄소 발전 및 CCUS(Carbon Capture Utilization and Storage))에 대한 투자는 2015년 3,670억 달러에서 2023년 7,480억 달러까지 연평균 9.3%씩 증가했다고 조사된 바 있다.

그런데 이러한 투자는 전력 산업 밸류체인 단계별로 고르게 진행되지 않았다. 청정 에너지 발전 분야에 투자가 매년 급증한 것과 다르게 송배전망 분야 투자금액은 2015년 3,250억 달러에서 2023년 3,310억 달러로 매년 유사한 수준을 유지했기 때문이다. 이러한 투자금액의 차이는 청정 에너지에 대한 관심이 재생에너지를 이용해 전기를 ‘생산’하는 데에만 집중되었고 이를 ‘전력계통에 연계’하는 분야에는 낮았음을 보여준다. 하지만 청정 에너지로 전기를 만드는 것에만 그치는 것이 아니라 이를 사용할 수 있도록 해야만 청정 에너지 활용 목적인 탄소중립 달성에 도움이 되는 것임을 감안할 때 송배전망 부족은 심각한 문제라고 할 수 있다.

청정 에너지 투자 중 발전 및 송배전망별 글로벌 투자금액



Source: IEA 'World Energy Investment 2023'

Note: 발전 분야에는 재생에너지 발전, 원자력, 저탄소 발전 및 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 시설 투자금액 포함, 송배전망은 그리드에 투자하는 것을 의미

“

송배전망 투자 부족으로
인해 신재생에너지
적기 공급 지연 빈번,
이를 극복하기 위해
송배전망 분야는 기존
투자금액 대비 2배 이상
증가되어야 함 ”

“

계통 유연성은 전력 수급
변동성, 불확실성을
안정적으로 관리하는
계통의 능력 의미하며
재생에너지 발전량 증가 시
계통 유연성 확보가 필수적 ”

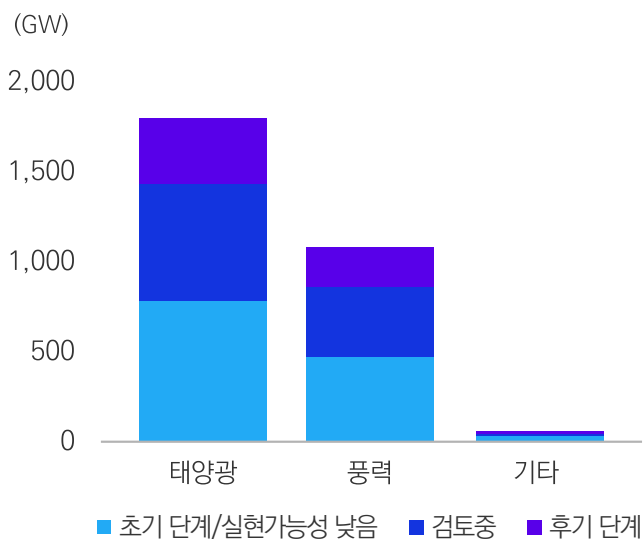
송배전망 부족이 탄소중립 달성 및 급증하는 전력 수요에 대응하는 데 저해 요인이라는 점은 전 세계적으로 나타나고 있는 재생에너지 프로젝트 대기열 현황을 보면 더욱 명확하게 알 수 있다. 재생에너지 프로젝트 대기열은 전기를 생산하더라도 전력계통에 연계하지 못하고 연결 대기 중인 프로젝트를 말한다. IEA에서 발표한 바에 따르면 2024년 9월 기준 태양광 프로젝트는 약 1,800GW, 풍력은 1,080GW 수준이다. 즉, 태양광 1,800GW, 풍력 1,080GW의 전력을 수요처에서 사용할 수 있음에도 불구하고 전력계통에 연계되지 못해 적기에 공급되지 못하고 있다는 것이다.

탄소중립을 달성하는 동시에 증가하는 전력 수요를 충족하려면 신재생에너지를 활용해야 한다는 것은 명확하다. 그렇다면, 신재생에너지를 적기에 공급하기 위해서 재생에너지 발전과 송배전망에 대한 투자는 얼마나 확대되어야 할까? IEA의 'World Energy Investment 2024'에 따르면, 재생에너지 발전과 송배전망 대상 2030년 투자금액은 2023년 투자금액의 2배인 2조 2,180억 달러 수준이다. 이 중 송배전망 분야에 필요한 투자금액은 7,300억 달러로 지난 8년 간 약 3,000억 달러로 유지되어 왔던 투자금액에 비해 큰 폭으로 확대되어야 하는 상황이다.

송배전망 부족: ② 전력망 효율성을 낮추는 송배전망 유연성 부족 이슈

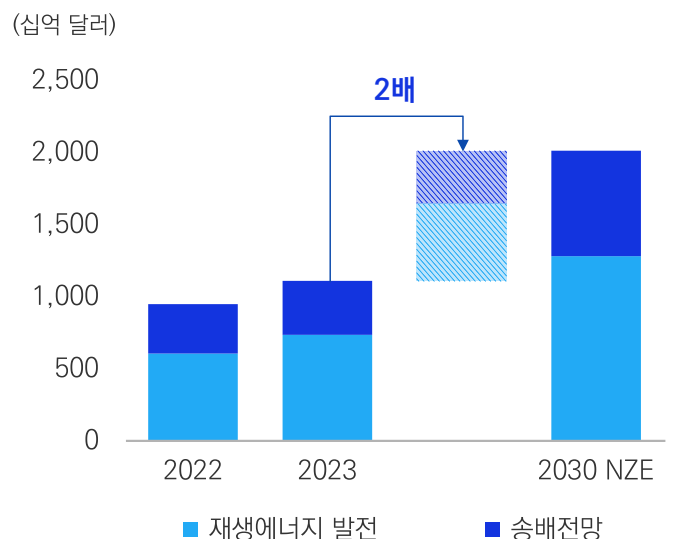
재생에너지를 중심으로 발전량이 늘어나면 송배전망을 비롯한 전력계통의 유연성 확보가 더욱 필요하다. '계통 유연성'은 전력 수급의 변동성, 불확실성을 안정적으로 관리할 수 있는 계통의 능력을 의미하는데, 앞서 살펴본 바와 같이 태양광 및 풍력과 같은 변동성 재생에너지의 발전량이 증가하면 계통 내 안정적인 전력공급이 저해될 수 있기 때문에 반드시 확보해야 한다. 계통 유연성이라는 단어에서 알 수 있듯이 발전부터 소비까지 전 단계에서 유연성을 확보하는 것이 필요하지만 본 고에서는 송배전망에 한정하여 유연성 부족 이슈에 대해 알아보려고 한다.

2024년 전 세계 재생에너지 프로젝트 대기열 현황



Source: IEA 'Renewable 2024' (2024.09.27 기준)

재생에너지 발전 및 송배전망 대상 필요 글로벌 투자금액



Source: IEA 'World Energy Investment 2024'

Note: NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario

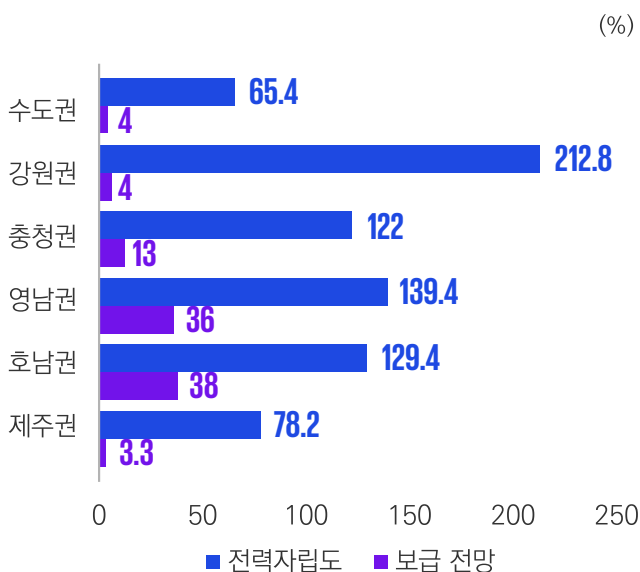
“ 전력자립 지역에서 비자립 지역으로 잉여 전력 전송, 비자립 지역은 전력자립 지역으로부터 필요 전력 공급할 수 있게 만드는 것이 유연성 확보의 핵심 ”

“ 송배전망의 유연성이 확보되지 않는다면 출력제어가 필요하며 유연성 확보를 위해 국가 간 계통 및 시장 연계, 새로운 송전 기술 도입 등이 필요 ”

계통 유연성이 부족하다는 것은 결국 전력계통이 경직되어 있다는 것이다. 송배전망의 경우, 앞서 살펴본 것처럼 변동성 재생에너지 증가는 기존에 구축된 송배전망의 경직성을 더욱 두드러지게 했다. 특히 신재생에너지의 발전이 활발한 지역, 즉 전력자립을 이룬 지역은 해당 지역에서 생산된 에너지가 다 소비되지 못하는 상황이 발생하므로 인근 수요처로 남는 전력을 전송해야 하는 일이 많아지면서 유연한 송배전망 구축 필요성은 더욱 주목받고 있다. 국내 전력자립도 현황을 살펴보면 수도권·제주권 외 지역은 이미 전력자립을 이루어 강원·충청·영남·호남권에서 생산되는 전력은 그 지역 내에서 다 소비되기 어려운 실정이므로 국내 송배전망의 유연성 확보는 필수적이라 할 수 있다. 향후 신재생에너지 발전 설비가 지속적으로 구축된다면, 송배전망의 유연성 확보는 더욱 절실했을 것이다.

전력자립을 이룬 지역에서는 그렇지 않은 지역으로 잉여 전력을 보내야 하고, 전력자립을 이루지 못한 지역에서는 전력자립을 이룬 지역으로부터 전력을 공급받아야 하기에 송배전망의 유연성은 양방향성을 띤다. 만약 잉여전력을 주거나 모자란 전력을 받을 수 있는 구조가 갖춰지지 않는다면, 전체 전력망의 안정적인 전력공급능력을 저해하지 않기 위해 발전소 가동을 강제로 차단하는 ‘출력제어’가 필요하다. 실제로 국내에서 출력제어는 빈번하게 일어나고 있다. 2023년 1월부터 6월까지 제주도에 실시한 재생에너지 출력제어는 133회로 2022년 연간 출력제어 횟수인 132회를 6개월만에 초과하기도 했다. 이에 송배전 단계에서 유연성을 확보하기 위하여 국가 간 계통 및 시장 연계, HVDC(High Voltage Direct Current, 초고압 직류송전)나 유연송전시스템(FACTS, Flexible AC Transmission System) 등의 새로운 송전 기술을 도입하면서 돌파구를 마련하고자 한다.

국내 전력자립도 현황¹⁾ 및 신재생에너지 보급 전망²⁾

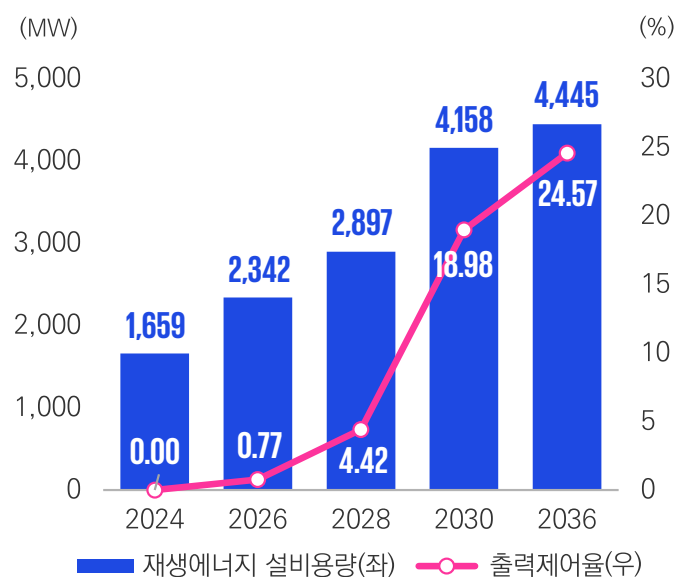


Source: 한국전력공사 '제93호(2023년 한국전력통계), 산업통상자원부, 한국에너지공단 '2020 신·재생에너지 백서'

Note 1): 수도권(서울, 인천, 경기), 강원권(강원도), 충청권(대전, 세종, 충북, 충남), 영남권(부산, 대구, 울산, 경북, 경남), 호남권(광주, 전북, 전남), 제주권(제주도)

Note 2): 2036년 기준

국내 재생에너지 설비용량과 출력제어율 전망



Source: 한국전력공사 '제10차 장기 송변전설비계획'

“ 송배전망 부족에 더해 기존 송배전망 노후화 역시 전기화를 일찍 시작한 선진국을 중심으로 가속화 되고 있는 중 ”

“ 미국 송전선 중 70%가 25년 이상, 유럽은 40%가 40년 이상된 전력망이 차지 ”

송배전망 노후화: 미국·유럽 등 선진국 중심으로 노후화 부각

송배전 단계에서 향후 전기 수요에 대응하기 위해 살펴봐야 하는 또 다른 이슈는 기존 송배전망 인프라의 노후화다. 앞서 송전망을 중심으로 송배전망 부족 현상에 대해 논의했다면, 지금부터는 기존에 구축된 인프라에 대해 논의한다.

송배전 케이블의 노후화에 대해 알아보기 위해 송배전 케이블 유형별 수명을 알아보자. IEA의 ‘Electricity Grids and Secure Energy Transition’에 의하면 땅 밑에 매립하는 지하·해저 케이블(Underground·Subsea Line) 수명은 일반적으로 약 40~50년이다. 한편 케이블을 매립하지 않고 철탑 등의 지지물을 거쳐 공중으로 높이 설치하는 가공 케이블(Overhead Line)의 수명은 일반적으로 50~60년 수준이다. ‘일반적인 수명’이 의미하는 바는 케이블 내 일부 부품을 반드시 교체해야만 하는 시점이 도래하기 전까지의 사용 기간을 뜻한다. 그러나 부품 고장으로 반드시 교체해야 하는 시점까지 놔두는 것은 전력 인프라의 안정성 및 신뢰성에 상당한 위험을 야기할 수 있다. 한국전력 전력연구원은 국내에 1980년부터 설치되기 시작한 지중 송전선(지하 케이블)은 일반적인 수명이 30년 내외인데 20년 경과 후부터는 고장이 증가하는 추세를 보인다고 밝힌 바 있다. 즉, 케이블 수명의 2/3 시점부터는 교체 주기는 시작된다. 이를 토대로 볼 때 지하·해저케이블은 대략 26년~33년 이후, 가공 케이블은 약 33~40년 경과 시 케이블 교체를 고려해야 한다.

케이블 교체 시기를 고려할 때 전기화를 일찍 시작한 미국, 유럽, 일본과 같은 선진국에서는 교체 수요가 높다. IEA가 ‘Electricity Grids and Secure Energy Transitions’에서 선진국 및 개발도상국을 각각 하나의 그룹으로 구분해 분석한 결과에 따르면, 선진국은 사용 가능 해수가 20년이 초과된 노후 케이블이 절반 이상을 차지한다. 이 때 20년이 초과된 케이블의 실제 사용 기간을 추정한다면, 선진국이 전력 인프라를 운영해 온 기간이 이미 50년 이상 되었다는 점을 감안했을 때 대다수는 케이블의 교체 주기인 26년 이후 시점에, 일부는 교체 주기 최대치인 40년을 넘긴다고 봐도 큰 무리는 없을 것이다. 선진국 중 미국의 경우를 살펴보자. 미국은 전력망 주요 인프라의 심각한 노후화로 신규 발전 프로젝트가 전력망에 연결되기까지 최소

송배전 케이블 유형별 일반적인 수명¹⁾ 및 교체 필요 시점

		〈일반 수명〉	〈교체 필요 시점〉
지하/해저케이블 (Underground/Subsea Line)	지하 또는 해저에 매설한 전력 케이블로 자연재해나 외부 사고로 인한 영향을 덜 받게 하기 위해 지중으로 전력을 공급할 때 사용	40~50년	26~33년
가공 케이블 (Overhead Line)	발전소에서 소비자까지 전력을 공급하기 위한 송배전 계통에서 철탑 등의 지지물을 거쳐 공중으로 높이 설치할 때 사용하는 케이블	50~60년	33~40년

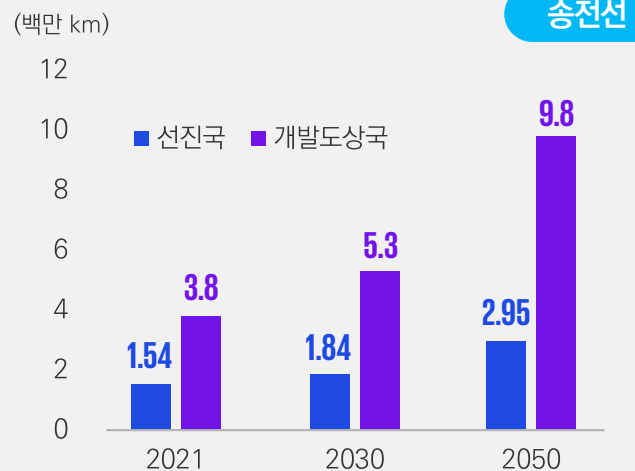
Source: IEA ‘Electricity Grids and Secure Energy Transitions’, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note 1): 원문에서 ‘일반적인 수명’을 ‘Typical design lifetimes’라고 표현

4~5년이 소요되는 문제를 겪고 있다. 대형 변압기와 더불어 송전선의 노후화가 주요 이슈인데, 미국에너지부에 따르면 미국 내 설치된 송전선의 70%는 최소 25년 전에 설치되었다. 즉, 미국 내 대다수의 송전선은 교체 대상이라고 봐도 과언이 아니다. 전기화를 빠르게 시작한 또 다른 지역인 유럽 역시 미국과 유사한 상황이다. 유럽집행위원회는 2023년 11월 기준 유럽 전력망 가운데 40%가 40년 이상 돼 노후화되었다고 밝혔다. 유럽 역시 전력 수요가 급증할 것으로 전망되므로 노후화된 전력망의 개선이 급선무다. 반면, 개발도상국은 10년 내 구축된 송배전 케이블 비중이 약 40%를 차지하면서 노후화 측면에서 선진국 대비 덜 심각한 상황이다. 인도는 전체 송배전망 중 약 45%의 사용 기간이 10년 이내로 집계되었고, 중국은 'The West-East Electricity Transmission Project'와 같이 자국 내 도심과 외곽 지역을 잇는 그리드 개선 프로젝트를 수행하면서 새로운 송배전 인프라를 구축하고 있기 때문에 10년 이내 설치된 송전선의 비중이 가장 높은 국가로 꼽히고 있다.

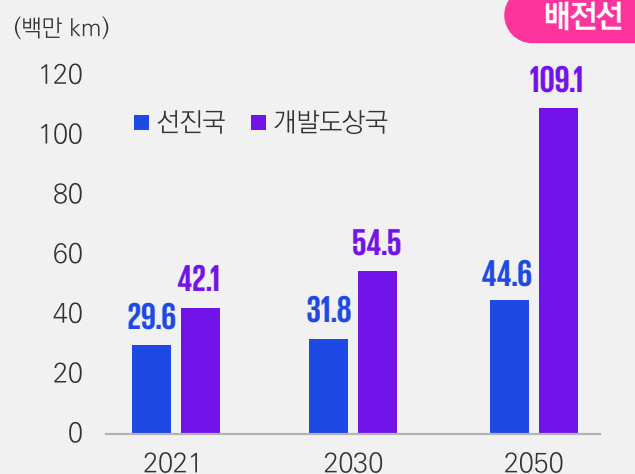
[참고] 송전선 설치 현황 및 APS¹⁾ 기반 전망

2021년 기준 설치된 송전선 길이는 선진국 154만 km, 개발도상국 380만 km 수준인데, APS(Announced Pledges Scenario) 하에서 2050년까지 선진국은 약 2배 정도, 개발도상국은 약 3배 수준으로 늘어날 것으로 전망된다. APS는 개별국가의 탄소중립 선언 및 중장기 감축목표(NDC)를 공약한 대로 이행한다는 것을 가정했을 때의 탄소중립 시나리오다. 즉, APS 기준으로 탄소중립을 달성하기 위해서는 전기 사용량을 늘려야 하며 이를 지원하기 위해 송전선도 확충되어야 한다.



[참고] 배전선 설치 현황 및 APS¹⁾ 기반 전망

2021년 기준 설치된 배전선 길이는 선진국 2,960만 km, 개발도상국 4,210만 km 수준이다. 송배전망에서 배전선이 차지하는 비중은 약 90% 수준인데, 이는 전력 최종 소비자까지 배전선이 연결되어야 하기 때문이다. APS 하에서 2050년까지 선진국은 배전선을 4,460만 km, 개발도상국은 1억 910만 km 수준으로 늘려야 한다. 개발도상국의 경우 도시를 제외한 외곽 지역이 전력망을 갖추지 못한 곳이 많기 때문에 배전망의 증가 수준이 높게 나타난 것으로 보인다.



“

변전은 발전부터 소비까지 단계에서 적당한 전압으로 바꾸는 과정을 의미, 승압 및 강압 모두 변전에 해당 ”

“

변전에 활용되는 전기기기는 다양하나 변전 단계에서 핵심이 되는 설비는 변압기 ”

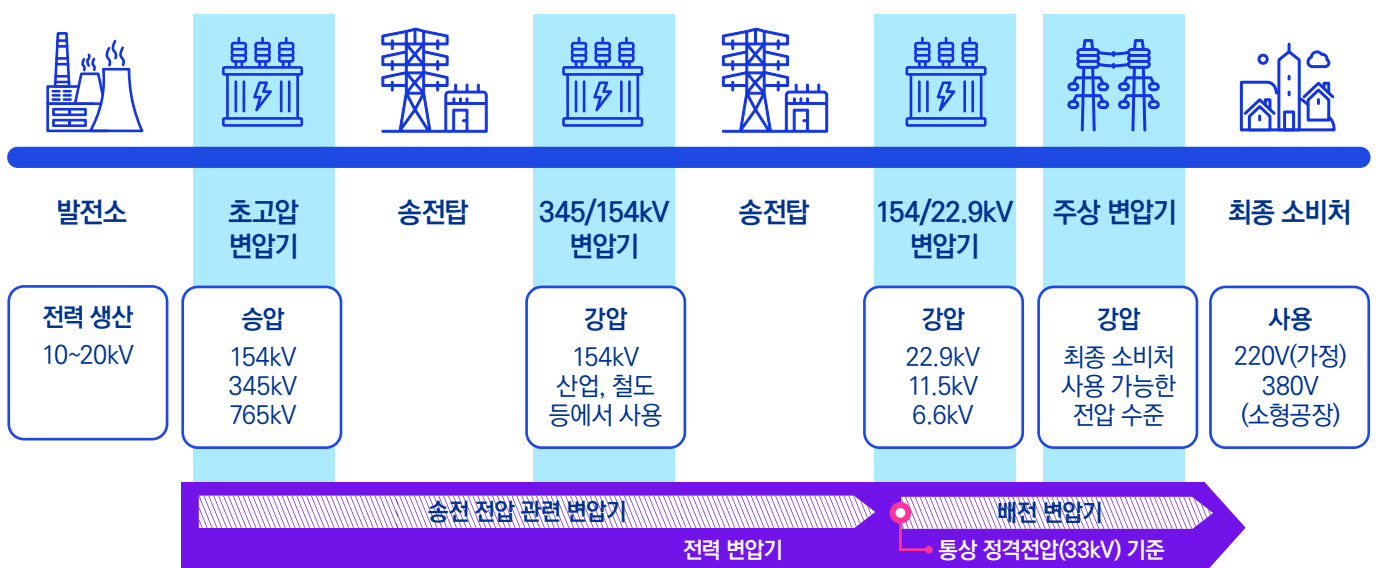
변전: 대형 변압기 리드타임, 배전 변압기 리드타임 및 가격 상승

변전은 전기를 발전소부터 소비자까지 수송할 때 적당한 전압으로 바꾸는 과정을 의미한다. 앞서 언급한 ‘전력 산업 밸류체인 및 전력망 구성 주요 전력·배전기기’에는 변전 과정이 발전부터 소비까지 이르는 과정 중 하나로 나타나 있지만, 실제로 변전은 전기 수송 과정에서 여러 차례 이루어진다. 발전소에서 송전할 때 전기 손실을 줄이기 위해 전압을 올리는(승압) 과정, 고압 전기를 부하가 적절하게 사용할 수 있도록 전압을 내리는(강압) 과정 모두가 변전에 해당한다.

이 때 변전에 활용된 설비를 변전 설비 또는 변전소라고 한다. 변전소를 구성하는 주요 기기로는 변압기, 조상 설비(무효전력을 조정하는 설비), 개폐기(일반적인 상황에서 사용자의 필요에 의해 회로를 열고 닫을 수 있게 만드는 전기기기), 계기용 변성기(전압 또는 전류 레벨을 분리하거나 변환하는 데 사용되는 고정밀 등급 전기기기)에 더해 계통에서 사고가 날 경우를 대비한 보호 계전기 및 차단기가 설치되고 이외에도 배전반 등의 다양한 기기들이 더해진다.

변전에 활용되는 전기기기는 다양하지만 변전이 뜻하는 바가 전기 수송 과정에서 각 단계별 적합한 전압으로 바꾸는 것이라는 것을 염두에 둘 때, 변전소의 다양한 기기들 중 가장 핵심이 되는 설비는 변압기다. 다양한 기준으로 변압기를 분류하나, 본 보고서에서는 전력 변압기(Power Transformer), 배전 변압기(Distribution Transformer)로 구분한다. 전력 변압기는 승압과 강압을 모두 지원하는 변압기로 장거리 송전 시 전력 손실을 최소화하기 위한 초고압 변압기부터 최종 소비자에서 전력을 사용할 수 있도록 하는 저전압 변압기까지 포함한다.

계통상 위치에 따른 변압기 분류



Source: 언론보도 종합, 삼정KPMG 경제연구원

Note: 354/154kV, 154/22.9kV 변압기는 업계에서 많이 사용되는 용어로, 각 변압기에서 주로 다루는 전압을 표시하는 측면에서 기입하였으며 공식적인 용어는 아님. 또한 각 단계의 변압기/변전소에서 다루는 전압은 더욱 다양할 수 있으나 분석의 편의를 위해 대표적인 전압 유형만 표시

“

전압 구분과 변압기 구분을
연결하면 대형 변압기는
배전 전압을 제외한 모든
송전 전압에서 사용 가능해
전력 수송 시 핵심 기기 ”

“

대형 변압기가 대용량 전력
수송에 필수적이라면 배전
변압기는 짧은 거리에서
구석까지 전력을 보내는 데
필수적 ”

변압기가 전압 변환에 사용되므로 우선 전압을 구체적으로 알아보자. 교류 전력을 송전하고 배전함에 있어서 5가지 수준의 전압이 주로 사용된다. 미국 에너지부의 2014년 보고서에 따르면, 교류 전력의 송전 전압 구분은 UHV(1,100kV 이상, Ultra High Voltage), EHV(345kV~765kV, Extra-High Voltage), HV(115~230kV, High Voltage), MV(34.5~115kV, Medium Voltage)로 나뉘고 그 이하는 배전 전압(Distribution Voltage)이다. 국내에서는 ‘초초고압, 초고압, 고압, 중압’ 또는 ‘초고압, 특고압, 고압, 중압’ 등 다양한 용어로 사용하나, 본 보고서에서는 원문에 충실하고자 UHV, EHV, HV, MV로 기입하였다.

변압기의 특성과 전압이 어떻게 연결되는지 알아보기 위해서 정격 용량(Capacity Rating) 단위인 VA(Voltage-Amperes)도 알아야 한다. 정격 용량은 변압기가 정상적으로 작동할 때 출력단에서 제공할 수 있는 안정적인 전력 용량을 말한다. 2006년 발간한 미국 에너지부 보고서에 따르면 100MVA 이상을 ‘Large Power Transformer(High Power Transformer)’, 10~100MVA는 ‘Medium Power Transformer’, 1~10MVA는 ‘Small Power Transformer(Low Power Transformer)’, 5kVA~5MVA는 ‘Distribution Transformer’로 나눈다.

정격 용량으로 구분된 변압기별로 앞서 구분한 전압과 어떻게 연결되는지 살펴보자. 일반적으로 100MVA 이상의 정격 용량을 가지는 대형 변압기(LPT, Large Power Transformer)는 입출력 전압 중 높은 쪽의 전압이 115kV 이상이라는 특징을 갖는다. 따라서 LPT는 MV, HV, EHV, UHV의 송전 시스템에서 사용될 수 있는데, 이는 곧 LPT가 송전 시스템에서 전력을 최대한 손실 없이 보냄에 있어 필수적인 것임을 의미한다. 한편, 5kVA~5MVA 사이 정격 용량을 가지고 입출력 전압 중 높은 쪽의 전압이 35kV 이하인 변압기는 배전 변압기다. LPT가 먼 거리까지 대용량 전력 수송에 필수적이라면 배전 변압기는 비교적 짧은 거리에서 구석구석까지 전력을 원활하고 안전하게 보내는데 필요하다. 이처럼 LPT와 배전 변압기는 명확하게 활용도가 구분되므로, LPT와 배전 변압기 시장 각각에 대해 주요 이슈를 도출했다.

교류 전력 전압 범위 구분

송전 전압 (Trans- mission Voltage)	UHV (Ultra High Voltage)	1,100kV
	EHV (Extra-High Voltage)	345~765kV
	HV (High Voltage)	115~230kV
	MV (Medium Voltage)	34.5~115kV
배전 전압 (Distribution Voltage)		2.5~35kV

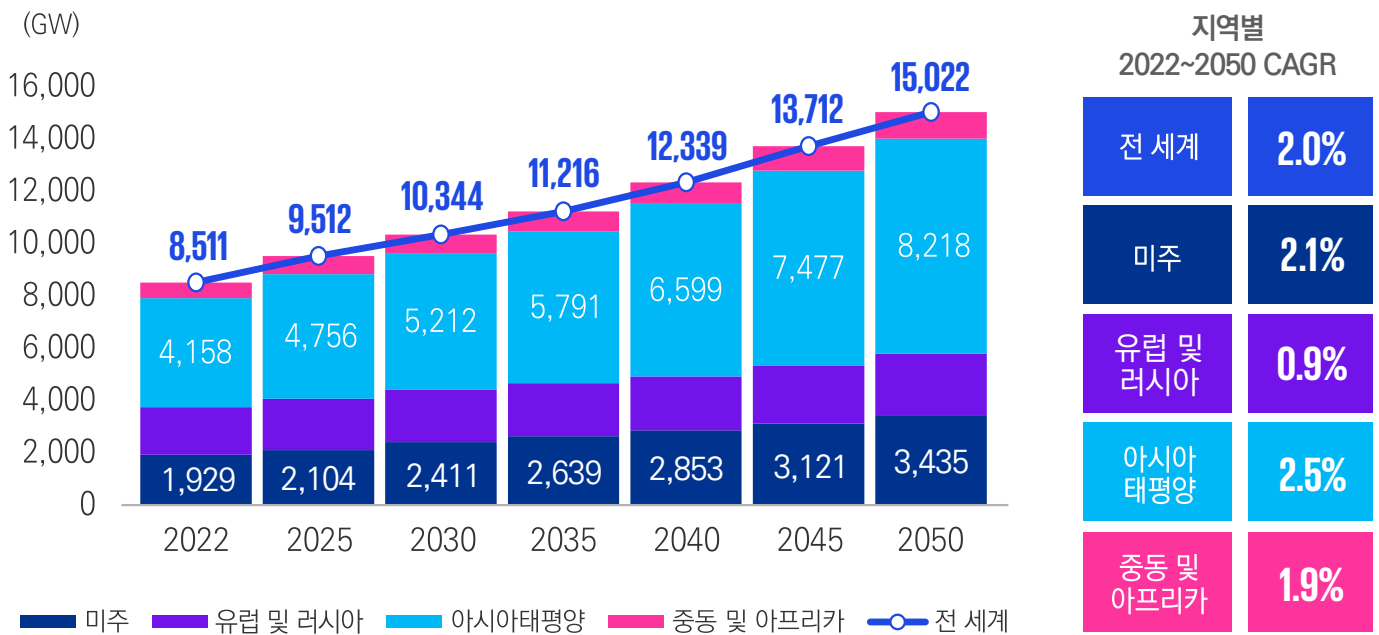
정격 용량(Capacity Rating)에 따른 변압기 구분

대형 변압기 Large Power Transformer	100MVA 이상	대체로 높은 전압이 115kV 이상
중형 변압기 Medium Power Transformer	10~100 MVA	
소형 변압기 Small Power Transformer	1~10 MVA	1~5MVA 구간은 겹침
배전 변압기 Distribution Transformer	5kVA~ 5MVA	

수급불균형으로 인한 대형 변압기(LPT) 리드타임 증가

전 세계적으로 순전력소비량이 증가하면서 발전시설의 용량도 확대되어 왔다. EIA가 전 세계 발전시설 용량이 2022년부터 2050년까지 연평균 2.0%로 성장할 것으로 전망한 가운데, 이를 지역별로 나누어 보았을 때 미주(America), 아시아태평양 지역이 각각 2.1%, 2.5%씩 성장하면서 미주와 아시아태평양 지역의 성장률이 전 세계 평균 성장률을 상회할 것으로 예측했다.

전 세계 발전시설 용량 전망



Source: EIA, World Energy Projection System(2023)

Note: 미주(아메리카 대륙), 유럽 및 러시아, 아시아태평양(아시아 국가 및 오세아니아 대륙) 지칭

“발전용량과 함께 대형 변압기 수요도 증가, 그러나 대형 변압기는 제작 공정이 까다로워 리드타임이 상당히 소요된다는 특징이 있음”

이러한 전력 생산 시설 확대가 변압기와 관련해 시사하는 점은, LPT 시장 역시 함께 성장할 것이라는 점이다. 앞서 살펴본 바와 같이 LPT는 일반적으로 높은 쪽의 전압이 115kV 이상이라는 점에서 발전 후 송압 과정이나 전력을 수송하는 과정 전반에서 반드시 확보되어야 하는 전기기기이다. 그런데 LPT는 고객별 상세 주문 조건에 따라 하나씩 제작되어 리드타임이 상당히 소요될 뿐 아니라, 제작 과정에 숙련된 인력이 반드시 필요하단 특성을 가진다. 따라서 단시간 내 LPT의 수요 증가분만큼 공급량도 같이 증가하는 것은 제한적이다. 시장에서 나타나고 있는 LPT 수급불균형 이슈를 더 알아보기 위해 기존 리드타임과 제조 공정 특징에 대해 살펴보자.

먼저, LPT는 제품이 고객의 상세 조건에 맞춰 제작되기 때문에 리드타임이 상당히 긴 편에 속한다. 2010년 기준 미국 에너지부(DOE)가 조사한 바에 따르면 미국 내에서 제조된 LPT의 경우 리드타임은 5~12개월, 미국 외 국가에서 제조되는 LPT는 6~16개월 수준의 리드타임을 예상한다고 밝혔는데, 만약 수요가 공급보다 높을 경우 이 기간이 18~24개월까지 증가할 수 있고 핵심 부품의 조달 부족 등의 상황에서는 5년까지도 늘어날 수 있다고 언급했다.

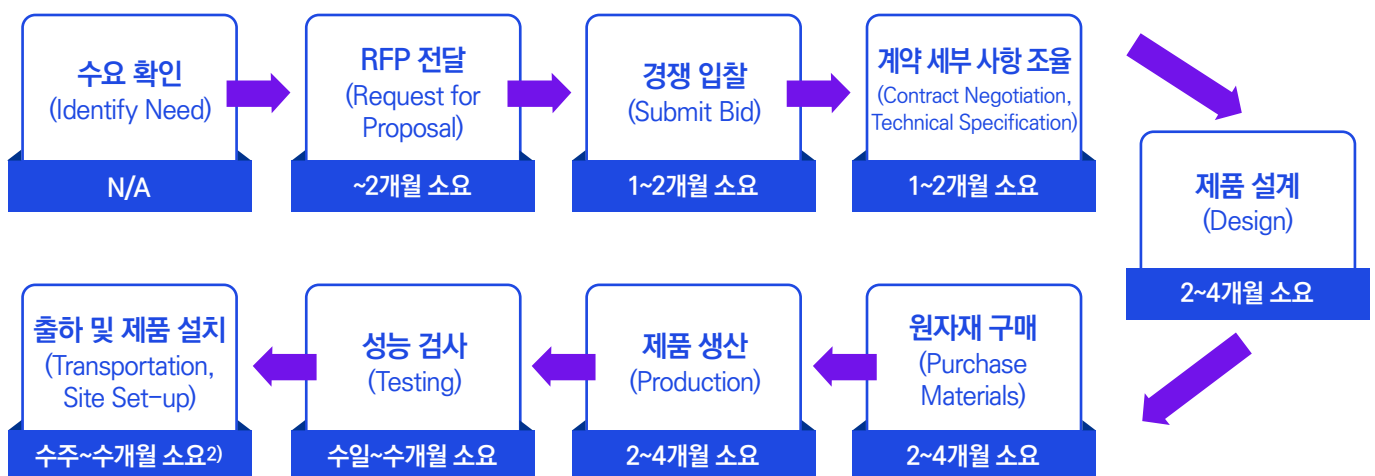
“
대형 변압기의 리드타임은
30~52개월까지 증가해
공급자 우위 시장 현상이
한층 더 강화 ”

“
까다로운 제조 공정으로
대형 변압기 공급량이
탄력적으로 늘기
어려운 상황 ”

그렇다면 전기기기 산업이 호황기에 접어들었다는 평가를 받는 2024년은 어떻게? 2024년 7월 KOTRA가 작성한 미국 변압기 시장 동향에 따르면 변압기 제조 리드타임은 지난 2년간 지속적으로 증가해 평균 115주(약 28개월)~130주(약 32개월)에 달하는 것으로 조사되었다. 특히 변전소 전력 변압기(Substation Power Transformer), 발전기 승압 변압기와 같은 대형 변압기의 리드타임은 120주(약 30개월)~210주(약 52개월)에 달하며 수요가 공급을 초과하여 공급자 우위의 시장 현상이 한층 더 강화되었음을 보여준다.

이런 상황을 타개하기 위해 LPT 공급량을 더욱 늘리면 될 것이라고 생각할 수 있지만, 앞서 언급한 바와 같이 LPT는 제조 공정 특성 상 숙련된 노동력이 필요해 단시간 내 공급량을 늘리기 어렵다. 변압기 제조 공정을 구체적으로 보면 권선 공정, 철심 가공 공정, 철심 적층 공정, 본체 조립 공정, 본체 진공 건조 공정, 총 조립 공정, 최종 시험으로 나뉜다. 권선 공정은 구리를 가공해 전류가 흐를 수 있도록 원형의 권선기(자동으로 코일을 감아주는 기계)에 감아 권선을 제작하는 것이다. 이 때 고객별 요구 사항에 맞춰 제작되기 때문에 숙련된 기술이 필요하다. 철심 가공 공정은 전기강판(Electric Steel)을 절단하는 공정을 말하고, 철심 적층 공정은 가공된 전기강판을 자기 회로 구성을 위해 쌓는 작업을 말한다. 이후 적층된 철심에 권선을 넣고 조립하여 메인 회로를 구성하게 되는 본체 조립 공정을 거치는데, 조립 과정에서 오차가 발생하면 제품의 안전성과 신뢰성이 확보되지 않으므로 숙련된 기술이 필요하다. 조립이 완료 되면 진공 건조조에 넣고 수분을 제거한 후 외함(Tank)에 넣고 조립하게 하여 최종 검증에 들어간다. 변압기 제조 공정은 전반적으로 수작업 비중이 높아 노동 집약적이다. 특히 권선 공정, 철심 적층 공정, 본체 조립 공정, 최종 시험 등에서 수작업이 요구되며 업계에서는 보통 3개월 이상의 숙련과 1년 이상의 실무 경험이 있어야만 생산라인에 투입될 수 있다고 판단하므로 투입 가능한 인력이 제한적이다. 또한 전력기기는 제품에 대해 높은 안전성과 신뢰성을 요구하기 때문에 각 단계마다 고객의 다양한 요구 사항에 정확히 대응하면서도 안전성과 신뢰성에도 부합할 수 있도록 만드는 역량이 필수적이다. 이러한 특성을 토대로 볼 때 변압기 공급은 비탄력적 구조를 갖는다고 볼 수 있다.

대형 변압기(LPT) 조달 단계 및 예상 리드타임¹⁾



Source: 미국 에너지부(DOE), Large Power Transformers and the U.S. Electric Grid(2014.04)

Note 1): 해당 프로세스 및 예상되는 리드타임은 이상적인 시나리오를 상정한 것으로, 시점 및 계약 당사자간 상황 등에 따라 리드타임 변동 가능

Note:2): 제조사와 설치해야 하는 현장 간 거리와 물류 이슈에 따라 변동 가능

배전 변압기 공급 부족으로 리드타임과 가격 모두 상승

LPT와 마찬가지로, 배전 변압기 역시 전 세계적으로 수요가 공급을 초과하는 상황이 최근 2~3년 동안 지속되어 왔고 향후에도 이어질 전망이다. 이러한 시장 상황에 대해 각국 정부, 조사 기관 등은 크게 2가지 이유를 꼽는다.

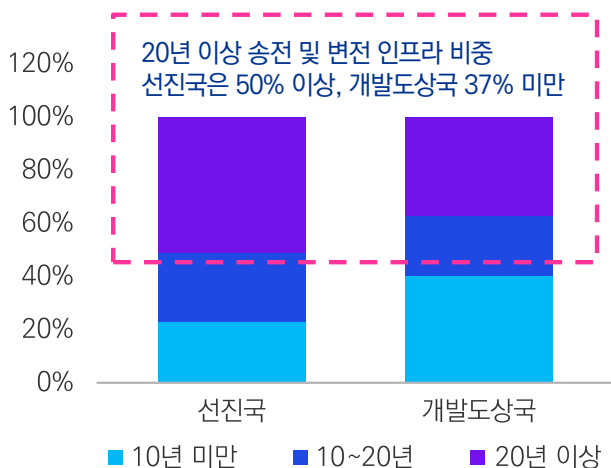
“
배전 변압기도 AI 확산으로 인한 하이퍼스케일 데이터센터의 증가, 기존 배전 변압기 교체 수요로 인해 초과 수요 현상이 지속되고 있는 중 ”

첫 번째 이유는 전력 소모량이 많은 AI가 각 산업에 확대되어 적용되고 있고 공장이나 기업으로 확산되면서 기존에 사용했던 배전 변압기보다 더 높은 용량의 배전 변압기가 많이 필요해 졌다는 점이다. 본 보고서 6쪽에 기술한 것처럼 IEA는 미국 내 데이터센터로 인한 전력 소비량만 해도 2028년에 325TWh~580TWh까지 확대될 것으로 보았는데, 이를 전 세계로 확대한다면 데이터센터로 인한 전력 소모량은 예상보다 훨씬 높을 것이다. 그리고 이는 최소 10만 대의 서버를 초고속 네트워크로 운영하는 하이퍼스케일 데이터센터가 증가하며 현실화 될 것으로 보여진다.

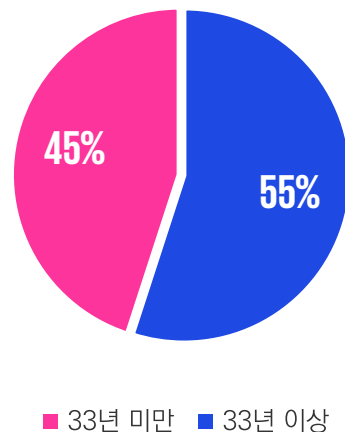
두 번째 이유는 기존에 사용했던 배전 변압기의 수명이 다 하면서 이를 교체해야 하는 시기에 도달했다는 점이다. IEA가 2023년 10월, 선진국과 개발도상국의 송전 및 변전 인프라를 대상으로 노후화 수준을 비교한 바에 따르면 선진국의 송전 및 변전 인프라의 경우 20년 이상 노후화된 인프라의 비중이 50%를 넘는데 반해, 개발도상국의 경우 그 비중이 37% 미만으로 나타났다. IEA가 구분한 선진국에는 전기화를 일찍 시작한 미국, 유럽, 일본 등이 포함되는데, 이 중 전기화의 선두 주자인 미국은 배전 변압기 노후화가 더욱 두드러진다. 2024년 미국의 국립재생에너지연구소(NREL)가 미국 내에서 사용하고 있는 배전 변압기 6,000만~8,000만 대 (해당 배전 변압기 전체의 정격 용량은 대략 2.5~3.5TVA)를 분석한 바에 따르면 55%가 33년 이상 사용해온 것으로 나타났다. 나머지 45%는 33년 미만의 사용 가능 해수를 가지고 있다고 볼 수 있지만, 10년 미만으로 사용한 배전 변압기 비중은 낮을 것으로 추정된다.

기존에는 없었으나 새롭게 배전 변압기를 쓰게 되든, 기존에 사용하던 변압기가 노후화되어 교체하게 되든, 배전 변압기가 새로 필요하다는 점은 동일하다. 이 말은 곧, 현재는 미국을 포함한 선진국에서 배전 변압기의 수요가 증가하고 있으나 일정 시간이 지난 후 개발도상국에서도

선진국 vs. 개발도상국 송전+변전 인프라 노후화



미국, 33년 이상된 배전 변압기 비중이 55%



“
 배전 변압기 역시
 탄력적으로 공급량이
 늘지 않아 수급불균형
 심화·리드타임이
 길어지는 동시에 가격도
 4배에서 9배까지 오르는
 현상 발생 ”

“
 배전 변압기는 사람들의
 일상과 가장 직접적으로
 연관되기 때문에 배전
 변압기 수급불균형 심화
 현상은 산업적으로
 중차대한 이슈 ”

이러한 시점에 도달할 것임을 뜻한다. 왜냐하면 모든 전기기기는 수명이 유한하여 결국 교체 시점에 도달할 것이고 AI 등의 영향으로 전기화가 더욱 강화되는 만큼 배전 변압기 수요는 더욱 증가할 것이기 때문이다. 이렇듯 수요는 증가하는데 반해 공급량이 그에 맞게 늘어나지 않고 있어서 수급불균형이 심화되고 있다. 세계에서 가장 큰 전력망을 구성하고 있는 미국의 사례를 토대로 배전 변압기 분야의 수급불균형이 어떻게 진행되고 있는지 알아보자.

NREL이 2024년 2월에 발간한 자료에 따르면, 미국은 유례없는 배전 변압기 공급 부족 현상을 겪고 있으며 이는 배전 변압기 리드타임과 가격 변동을 일으켰다. NREL이 분석한 바에 따르면, 유틸리티는 2022년 이전 배전 변압기 리드타임과 비교했을 때 보다 약 4배가 늘어 최대 2년까지 리드타임이 증가하고 있다. 미국 내 언론 보도에서도 2020년과 2022년을 비교했을 때 배전 변압기의 리드타임이 429% 증가했다고 나왔는데 이는 NREL이 발표한 결과와 유사하다. 또한 배전 변압기 가격도 치솟고 있다. 2024년 초 기준으로 과거 3년 전 가격과 비교했을 때, 배전 변압기 가격은 약 4배~9배까지 올랐다. 이러한 배전 변압기의 수급불균형 심화는 코로나19 팬데믹 때 멈춰졌던 주거용, 상업용 시설 건축이 재개되며 배전 변압기의 수요가 증가한 것 외에도 배전 변압기 생산에 적합한 노동력 공급에 제약이 있었던 점, 인력을 구한 후에도 숙련도가 올라가는 데까지 시간이 걸리는 점, 원재료(전기강판, 알루미늄, 구리 등) 수급이 원활하지 않았던 점 등이 동시다발적으로 나타나며 일어난 결과다.

전체 전력망에서 배전 변압기가 차지하는 중요성을 고려하면, 배전 변압기 부족은 치명적인 문제를 일으킬 수 있다. 일례로 리드타임 증가와 높은 가격으로 인해 미국에서는 공공 유틸리티 프로젝트 중 약 20%가 배전 변압기 부족으로 인해 취소되거나 연기되기도 했는데, 공공 유틸리티 프로젝트 취소나 연기는 일상 생활에서 전기가 원활하게 공급 될 수 없게 만든다는 점에서 중차대한 일이다. 더 나아가서 전력망이 원활하게 작동하지 않는다면, 기후위기 극복을 위해 전기를 사용해야 함에도 불구하고 화석연료로 퇴행하는 일을 겪을 수도 있다. 이러한 의의를 고려해 보았을 때 급증하는 수요에 배전 변압기 공급이 부족한 것은 산업적으로 중요한 이슈라 할 수 있다.



소비: 에너지 프로슈머(Prosumer) 등 전력 산업 구조적 변화 부상

전력 산업 밸류체인 of the 마지막은 최종 수요처로 전기가 흘러가 '소비'되는 단계다. 과거에는 발전부터 소비까지 일방향으로 전기가 흘러가는 양상이었으나, 이제는 에너지의 소비자가 곧 생산자가 되는 '에너지 프로슈머(Prosumer)'가 활성화되며 전기의 양방향 수송이 가능해졌다. 또한 기존에는 전기를 받아 소비만 했던 주체가 전기를 생산할 수 있게 되면서 잉여 전기를 다른 사람 또는 기존 전력 공급사에게 판매하게 되었다.

“
전력 산업의 구조적 변화는
① 소비자가 직접 에너지를
만들고 ② 만든 에너지를
직접 판매하게 된다는 것에
방점이 있음 ”

ETRI(한국전자통신연구원) 등에 따르면 일반적으로 에너지 프로슈머가 거래하는 방식은 크게 3가지다. 첫째, 태양광 패널 등 신재생발전기를 통해 직접 전력을 생산·소비한 후 남은 전력을 전력회사로 보내면 회사가 해당 개인이 사용한 전기요금에서 차감해주는 상계 거래가 있다. 둘째는 중개시장 판매 방식이다. 개인이 생산, 소비하고 남은 전력을 중개사업자가 대신 하여 도매시장에서 거래하고 이에 대한 수익을 개인과 공유하는 방식이다. 셋째는 P2P(Peer-to-Peer) 거래다. 개인 간 거래로 남은 전력에 대해 그 양과 가격을 확정하여 P2P 플랫폼 상에서 사고 판다.

에너지 프로슈머의 거래 방식을 볼 때 이는 생산자와 소비자의 경계가 허물어지고 양방향을 넘어 다중방향으로 전력 거래가 일어날 수 있는 기반을 만들게 됨을 알 수 있다. 즉, 전력 산업의 구조적인 변화가 일어나고 있는 것이다. 이러한 모습은 특히 P2P 거래에서 나타나는데, 국제 재생에너지기구(IRENA)에 따르면 P2P 전력 거래 모델은 그리드 전체에서 재생에너지 수용도와 유연성을 높이고 보조 전력 서비스로서 기여한다고 평가받는다.

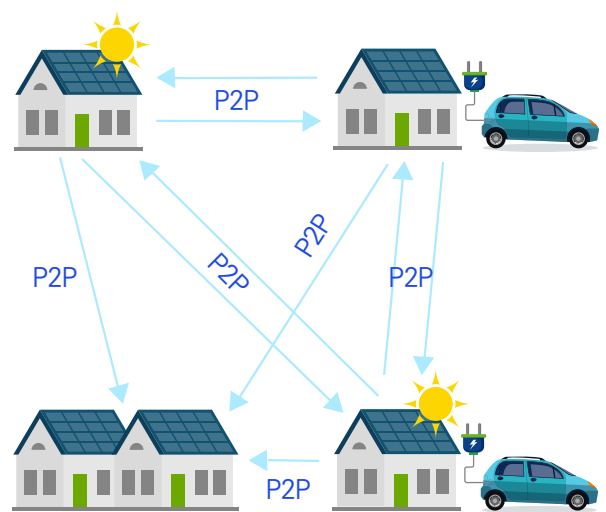
이러한 전력 산업의 구조적 변화를 좀 더 세분화해보면, ① 소비자가 직접 에너지를 만들고, ② 만든 에너지를 직접 판매하게 된다는 것에 방점이 있다. 먼저 에너지를 직접 만드는 변화를 살펴보자. 개인은 에너지 생산을 위해 발전기가 필요하다. 장소, 비용 등 제약사항으로 인해

에너지 프로슈머의 3가지 거래 방식



Source: ETRI, 한국남부발전, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

P2P 전력 거래 모델 구조



Source: IRENA

Note: 화살표의 방향은 재무적 흐름 및 전력 흐름을 모두 의미

“
에너지 프로슈머는
신재생에너지 발전기와
ESS 등 수요를 증가시킬
뿐만 아니라 개인간 전력
거래를 지원하는 디지털
플랫폼 구축도 촉진 ”

“
국내에서도 개인이 에너지
생산 및 판매하는 변화가
마이크로그리드,
스마트그리드를 견인...
정부는 전력 수요 기업이
한국전력을 거치지 않고
직접 구매하는 방식도 시행 ”

개인은 신재생에너지, 그 중에서도 태양광 발전을 선택하는 비중이 높아 많은 수는 소규모 태양광 모듈을 주택의 지붕이나 공터에 설치하여 전력을 생산하고 있다. 에너지 프로슈머는 생산된 에너지를 저장하고 에너지 가격이 비싼 시점을 택하여 판매할 수 있으므로 에너지 저장을 위한 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)도 필요하다. 따라서 전력 인프라 관점에서 볼 때, 소비 주체의 에너지 생산은 태양광 발전기의 수요 증가, ESS 수요 증가 및 전력계통과 잉여전력의 연계 이슈 등과 연관될 수 있다.

또한 에너지를 직접 판매할 때 생기는 변화를 살펴보면, 판매 대상이 전력 회사인 경우 잉여 전력을 전력계통에 송출 및 연계하기 위한 방안을 마련해야 하고 개인에게 판매할 경우 개인 간 거래를 지원할 수 있는 플랫폼을 확보해야 한다. IRENA는 2020년 보고서를 통해 P2P 전력 거래 모델은 물리적인 인프라 구축뿐만 아니라 디지털 플랫폼 구축도 필요하다고 언급했다. 개인 간 거래에서 발생하는 데이터가 수집되면 전력 시스템의 신뢰도와 안정성을 확보하기 위해 분석되어야 하기 때문이다. 이러한 맥락에서 블록체인과 같은 분산원장기술도 필요하다. IRENA의 2019년 자료에 따르면, 블록체인 기술은 프로슈머 간 전력거래시 P2P 모델에서 거래 비용을 줄이는 데 기여할 수 있다고 나타났다. 따라서 전력 인프라 관점에서 볼 때, 소비 주체의 에너지 판매는 물리적인 인프라(직류를 교류로 변환해주는 인버터나 스마트미터)뿐만 아니라 디지털 플랫폼 구축을 촉진한다는 점을 들 수 있다.

국내에서는 2021년 직접전력구매제와 재생에너지 전력구매계약(PPA, Power Purchase Agreement)이 도입되면서 한국전력이 전력소매를 담당하는 구조에서 변화가 관찰되고 있다. 규모는 작더라도 개인이 에너지 생산 및 판매하는 변화가 마이크로그리드(Microgrid), 더 나아가 스마트그리드(Smart Grid)와 같은 새로운 모델을 견인하고 있다. 2025년 3월 말 정부는 '전력직접구매제도 정비를 위한 규칙개정(안)'을 의결했다. 규칙개정안이 통과되면서 전력 수요 기업은 한국전력을 거치지 않고 전기를 직접 구매할 수 있게 되었다. 전력직접구매를 최초로 신청한 기업인 SK어드밴스드는 향후 전력거래소를 통해 발전사가 생산한 전기를 직접 구매할 수 있게 되었다. 이와 같이 기존에는 존재하지 않았던 현상이 나타나고 있어서 소비 단계의 구조적 변화가 전력 산업 내 주요 이슈로 더욱 부각되고 있다.

소비 측면 전력 산업의 구조적 변화 방향이 전력 인프라에 미치는 영향



소비자가
직접 에너지 생산

- 신재생에너지 발전기 수요 증가(특히 태양광 발전기 위주 확대)
- 개인별 생산한 에너지 저장을 위한 ESS(Energy Storage System) 수요 증가



소비자가
직접 에너지 판매

- 전력계통에 잉여 전력 송출, 연계하는 인프라 구축을 위한 인버터, 스마트미터 수요 증가
- P2P 거래를 지원할 수 있는 전력 거래 디지털 플랫폼 구축 촉진

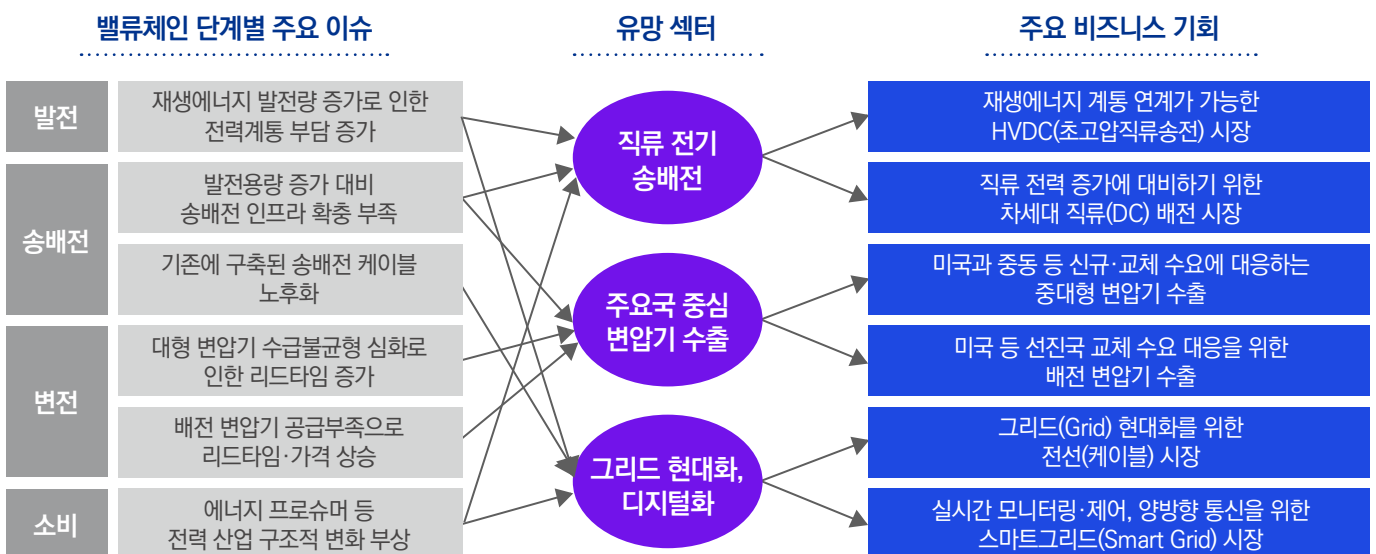
Thought Leadership III

미래 전력 산업을 이끌어 갈 비즈니스 기회와 전략적 고려사항

직류 송배전·변압기· 그리드 현대화 및 디지털화가 이끌 전력 산업

발전부터 소비까지 밸류체인 단계별 주요 이슈를 요약하면 6가지다. 발전 단계에서는 재생 에너지의 간헐성과 낮은 예측가능성으로 인해 재생에너지 발전 비중 증가가 전력망 안정성 측면에서 부담이 되고 있다. 송배전 단계에서는 발전용량은 증가했으나 송배전 인프라가 부족한 점과 예전에 구축된 송배전 케이블의 노후화가 화두다. 변전 단계에서는 탄소중립 달성 기조 강화와 AI 확산으로 인해 전력 생산량이 늘어나면서 대형 변압기 수요는 늘어나는데 반해 공정상 제한 조건으로 인해 공급이 탄력적으로 늘어나지 않으며 리드타임이 기존보다 증가하고 있는 점과 함께 배전 변압기의 노후화 이슈도 부각되고 있다. 소비 단계에서는

미래 전력 산업을 견인하는 유망 섹터 및 주요 비즈니스 기회



“

밸류체인 단계별 주요 이슈를 극복하기 위해 국내 전력 유관 기업이 주목해야 할 유망 섹터는 직류 전기 송배전, 주요국 중심 변압기 수출, 그리드 현대화 및 디지털화로 도출 ”

에너지 생산과 소비가 동시에 일어나는 에너지 프로슈머가 활성화되며 에너지를 개인이 직접 만들고 판매함으로 인해 전력 산업의 구조적 변화를 이끌고 있다는 점을 들 수 있다.

본 보고서는 폭발적으로 증가하는 전기 수요로 인해 전력 시장이 지속적으로 성장할 것으로 전망되는 시점에서 국내 전력 산업 유관 기업은 어떤 비즈니스 기회를 주목해야 할지 분석하고자 한다. 이에 도출된 6가지 주요 이슈를 극복하기 위해 기업이 주목해야 하는 유망 섹터를 ‘직류 전기 송배전’, ‘주요국 중심 변압기 수출’, ‘그리드 현대화 및 디지털화’로 선별했다. 또한 유망 섹터별로 민첩하게 대응할 필요가 있는 비즈니스 기회를 2가지씩 제시했는데, ‘HVDC(High Voltage Direct Current, 초고압직류송전)’, ‘DC(Direct Current, 직류)배전’, ‘중대형 변압기 수출’, ‘배전 변압기 수출’, ‘전선(케이블)’, ‘스마트그리드’가 그 주인공이다.

① 직류 전기 시대 대비: HVDC(초고압직류송전) 및 DC(직류) 배전

“

교류 시스템의 단점인 무효전력 및 전자파 발생을 극복하기 위해 직류 시스템이 주목 받고 있음 ”

에디슨의 초창기 직류 시스템은 테슬라의 교류 시스템에 비해 전기를 멀리 보내기 어려워 좁은 지역 내에서만 활용하거나 발전소를 많이 세워야만 했기에 경제성이 떨어졌다. 그래서 현대 그리드의 근간은 교류 시스템이 차지하게 되었고, 현재까지 대부분의 전력 인프라는 교류 시스템을 기본으로 설계, 운영되고 있다. 그런데 교류 시스템도 완벽하지는 않다. 교류는 사용할 수 없는 무효전력(부하에서 소비되지 않고 발전소와 부하 사이에서 흐르는 전력)이 존재하고, 전류의 방향이 바뀌면서 전자파가 발생하기 때문이다. 전자파 발생 문제로 인해 국내에서는 송전탑 건설 문제를 두고 한국전력과 각 후보 지역 주민들 간 갈등이 불거지기도 한다.

교류 시스템의 단점과 이로 인한 지역 내 갈등을 해소할 수 있는 방안으로 직류(DC)가 주목 받고 있다. DC 전력 전송은 교류를 직류로 변환하여 전송하는 기술이며, 전압에 따라 HVDC(초고압직류송전), MVDC(중전압직류배전), LVDC(저전압직류배전)로 구분된다.

직류 송전 및 배전 유형과 특징

	HVDC (High Voltage Direct Current)	MVDC (Medium Voltage Direct Current)	LVDC (Low Voltage Direct Current)
개념 모식도			
전압범위	100kV 초과	1.5kV~100kV	1.5kV 이하
전송거리	장거리(수백km 이상)	중거리(수십~수백km)	단거리(수km 이하)
전송용도	국가 간 대규모 전송	지역 전력망 간 전력 연계	건물 내 전력 분배
응용분야	해저케이블, 재생에너지 연결	해양플랜트, 대규모 산업시설	배터리 충전, LVDC 배전 시스템
개발수준	상용화	개발 중	상용화 초기

산업통상자원부와 한국전력 자료에 따르면, HVDC는 100kV 초과 고압으로 대규모·장거리 송전에 적합하게 상용화된 방식이다. MVDC는 100kV 이상 고압직류 선로와 1.5kV 이하 저압직류 지선을 연결하며 중규모·중장거리 전력 전송에 적합한 방식이나 국제표준이 수립되지 않은 기술 개발 초기 단계다. LVDC는 1.5kV 이하 저압으로 건물 등 직류 부하 공급에 활용 할 수 있는 방식이나 상용화 초기로서 활용을 위한 제도(기술표준, 요금) 수립 단계에 있다.

미래 전력 산업에서 부상할 직류 전기 시대를 대비하기 위해 국내 기업은 DC 송배전 분야에 적극적으로 대응해야 한다. DC 송전 분야에서는 HVDC가, DC 배전 분야에서는 LVDC가 주목받고 있는 가운데 추가적으로 이 둘을 잇는 MVDC 역시 국제 표준 등을 선점하기 위한 각국의 경쟁이 치열한 상태다. 따라서 기업은 HVDC와 DC배전(LVDC 중심이나 MVDC도 고려)을 주요한 비즈니스 기회로 살펴볼 필요가 있다.

“

초고압직류송전 시스템인 HVDC는 재생에너지 시대 도래, HVDC 관련 기술의 발전, 주요 국가의 호의적인 정책으로 인해 연평균 5.5%씩 성장할 것으로 전망 ”

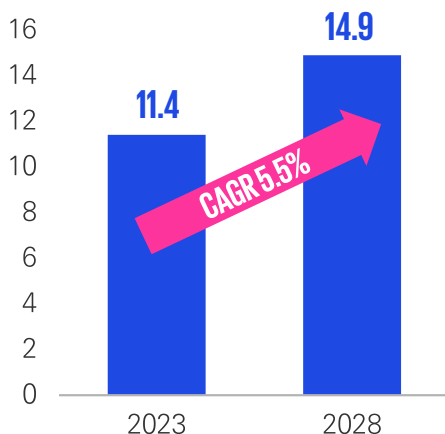
(1) HVDC 시장: 2028년 149억 달러 규모로 성장 전망

MarketsandMarkets(2023.09) 자료에 따르면, 전 세계 HVDC 시장은 2023년 약 114억 달러 규모에서 매년 5.5%씩 성장하여 2028년 149억 달러 수준으로 확대될 것으로 전망된다. HVDC 시장 성장세는 크게 3가지 요인으로부터 기인한다.

첫째는 에너지 패러다임이 화석연료에서부터 재생에너지로 전환되고 있기 때문이다. 앞서 언급한 바 있듯이 태양광은 직류로 전기를 생산하므로 직류 송전 방식이 유리하다. 풍력은 교류를 생산하기는 하나 변동성이 커서 바로 전력계통에 연결되기 어렵다. 특히 해상풍력은 무효전력 보상 장비 및 동작 전압이 필요해 육상 송전망과 연결할 방법도 제한적이다. 결국 풍력 발전에서 생산된 전력을 현재의 교류 시스템에 연계하기 위해서는 우선 직류로 변환 후 다시 교류로 변환해야 한다. 이렇게 2번 변환하는 것보다, 직류로 변환한 전력을 HVDC에 바로 연결하는 것이 전력 손실과 효율성 측면에서 훨씬 유리하다. 탄소중립 기조 강화로 인해 재생 에너지 발전량이 늘어나고 있다는 점을 감안하면 직류 송전이 주목받는 이유를 알 수 있다.

전 세계 HVDC 시장 전망

(십억 달러)



Source: MarketsandMarkets(2023.09)

HVDC가 부상한 3가지 요인



Source: 삼성KPMG 경제연구원

“
 재생에너지로의 에너지
 패러다임 변화, HVDC
 기술에 대한 발전이 HVDC
 시장 성장세를 가속화
 시키는 주요한 요인 ”

“
 HVDC 시장을 선점하기
 위해 중국, 유럽, 미국은
 자국에서 기술 개발 활발
 국내 역시 HVDC
 프로젝트를 진행 또는
 계획 중에 있음 ”

둘째, 기술적 발전 때문에 HVDC 시장의 성장세가 더욱 밝아졌다. 컨버터 기술, 그리드 관리 시스템, 전력 효율성 측면 기술, 전력 분야의 디지털화, 해저 HVDC 송전 케이블 발전 등이 HVDC가 상용화되는 것에 기여한 부분이 크다. 예를 들어 해저 HVDC 송전 케이블을 살펴 보자. 과거와 달리 최신 세대 HVDC 송전 케이블은 전선 한 개에 최대 1.2GW 용량을 쏘아 보낼 수 있고, 1,000km 당 전력 손실이 3% 안팎에 불과하여 본격적인 국가 간 전력 송전을 감당할 수 있게 되었다. 이러한 기술 발전을 토대로 인도는 1,000~2,000km에 달하는 전기 고속도로를 구축했고, 영국-모로코, 호주-싱가포르와 같이 국가와 국가를 해저 전선으로 잇는 프로젝트는 그 수와 규모가 날로 커져가고 있다. HVDC 기술의 효용은 과거에도 널리 알려져 있었지만, 이를 상용화할 수 있게 된 것은 결국 기술의 발전 때문이다. HVDC를 구성하고 있는 기술과 부품에 대해 기술 완성도와 구매 가능성 측면에서 인정받았기에 가능한 일이다.

셋째, HVDC 시장을 선점하기 위해 주요 국가는 HVDC 시장 활성화를 위한 여건을 만들고 있다는 점도 고려할 필요가 있다. 언론보도에 따르면 2023년 기준 유럽은 전류형 HVDC 33개 설비(20.8GW) 및 전압형 HVDC 35개 설비(24.9GW)를 보유하고 있고, 중국은 42개 전류형 HVDC 설비(188.6GW)에 13개 전압형 HVDC 설비(35.5GW)를 가지고 있다. 유럽은 설비 개수 측면에서, 중국은 용량 측면에서 강점을 보인다. 설비가 가장 많은 유럽은 HVDC를 활용하여 슈퍼 그리드를 형성하고 있는 지역이다. 유럽의 특성상 국가 간 전력망을 형성하기에 유리하기 때문이다. 특히 해저케이블을 통한 HVDC 프로젝트가 많이 수행되었다. 그 중 하나로 노르웨이와 영국간 450마일(730km)에 거친 구간을 515kV의 전압으로 송전하는 시스템을 구축한 'North Sea Link'를 들 수 있다. 한편 중국은 내륙에 있는 에너지 생산 지역으로부터 인구가 밀집되어 있는 동남부, 동북부 등으로 대량의 에너지를 송전하기 위해 대용량, 장거리 HVDC 프로젝트를 많이 수행했다. 일례로 2016년 2,040마일(3,300km)에 걸친 구간을 1,100kV의 전압으로 송전하는 HVDC 프로젝트를 시작해 2019년 초에 준공했다. 유럽과 중국 외에도 미국도 에너지 수송을 위해 HVDC를 활용, 2021년부터 195마일(320km) 구간을 320/525kV 수준 전압으로 송전하는 프로젝트를 진행했다.

주요국의 HVDC 프로젝트

HVDC 프로젝트	국가 (시작 연도)	전압	거리 (마일, km)
Changji-Guquan	중국 (2016)	±1,100kV	2,040마일, 3,300km
New England Coast	미국 (2021)	±320/525kV	195마일, 320km
North Sea Link	노르웨이-영국 (2021)	±515kV	450마일, 730km
SOO Green	미국 (2021)	±525kV	350마일, 570km

Source: 미국에너지부(DOE)

국내 HVDC 프로젝트 현황

복당진-고덕	1단계: 운영 중	2단계: 건설 중
해남-제주	운영 중(300MW급 HVDC)	
진도-제주	운영 중(400MW급 HVDC)	
완도-제주	계획(국내 최초 전압형, 200MW급)	
동해안-신가평	건설 중(8GW급 HVDC)	
양주 BTB HVDC	계획(전압형, 200MW급)	
신부평 HVDC	계획(전압형, 500MW급)	

Source: 한국전력 홈페이지(2024.12.27 검색 기준), 삼성KPMG 경제연구원 재구성

국내에서도 여러 개의 HVDC 프로젝트가 완료되어 운영 중이거나, 건설 중 또는 계획 단계에 있다. 2024년 12월 기준 운영 중인 HVDC 프로젝트는 해남-제주, 진도-제주, 북당진-고덕 1단계 구간이다. 또한 건설 중인 프로젝트로는 북당진-고덕 2단계 구간과 동해안-신가평 구간이 있다. 이들 프로젝트는 모두 전류형 HVDC(전류 고정 값을 가짐)다. 한편 계획 중인 HVDC 프로젝트는 완도-제주, 양주 BTB HVDC, 신부평 HVDC가 있다. 계획 중인 프로젝트는 모두 전압형으로 설치 면적이 전류형 대비 조금 필요하고 양방향 전력 전송이 가능하단 점이 장점이다.

[참고] 전압형 HVDC와 전류형 HVDC

HVDC 기술은 반도체 소자의 동작원리에 따라 전류형(LCC, Line Commuicated Converter)과 전압형(VSC, Voltage Source Converter)으로 구분된다.

전류형 HVDC는 교류를 직류로 바꿔주는 사이리스터 소자를 사용한다. 사이리스터 소자는 Turn-On만 가능한데 이 때 Turn-On 시간을 조절함으로써 흐르는 전류의 크기를 제어하게 된다. 전류형은 최대 1100kV, 11GW급 이상의 대용량 설비가 가능하고 전력 손실률이 0.7% 수준으로 낮다는 점에서 장점을 가진다. 그러나 전류형은 무효전력을 사용하므로 이를 위한 별도의 설비가 필요하고 설치 면적을 많이 차지하는데다, DC Grid 적용이 어렵다는 단점도 있다.

전류형의 단점을 극복하기 위해 나온 것이 전압형이다. 전압형은 IGBT 반도체 소자를 사용하는데 이 소자는 자체적으로 Turn-On, Turn-Off 능력이 있는 일종의 스위칭 소자다. 이를 통해 고속으로 교류를 직류로 바꾸므로 실시간 양방향 송전이 가능하다. 또한 시스템 구성이 간단해 필요한 설치 면적이 작고, DC Grid를 적용할 수 있어 신재생에너지 계통 연계에 유리하다. 다만 전류형 대비 전력 손실률이 높고 설치 비용도 비싸다는 점이 단점으로 꼽힌다.

		전류형 HVDC	전압형 HVDC
장단점 비교	원리	• 사이리스터 소자 사용(Turn-On만 가능) • 소자의 Turn-On 시간을 조절, 흐르는 전류의 크기를 제어	• IGBT 사용(Turn-On/Off 가능) • 소자의 Turn-On/Off를 통해 교류전압의 크기와 위상을 제어
	장점	• 전력 손실률 낮음(약 0.7%) • 최대 1,100kV 11GW급 이상 대용량	• 시스템 구성이 간단해 설치 면적 작음 • DC Grid 가능(터미널 수 제한 없음) • 양방향 송전이 자유로워 제어 용이
	단점	• 무효전력 보상을 위한 별도 보상설비 필요 • 시스템 구성이 복잡해 설치 면적 넓음 • DC Grid 적용 어려움(3개 이하)	• 전력 손실률 다소 높음(약 1%) • 최대 500kV, 1.3GW급 용량 • 전류형 대비 설치 비용 높음(약 10~15%)
	활용 범위	• 1:1 대용량/장거리 송전에 적합	• 기술적 제약이 적어 용도 제한 없음 • 멀티터미널(1:N) 연계 적합

Source: 한국전기연구원(2019.3), 한국스마트그리드협회 'TC동향보고서'

“

DC 배전은 직류 기반의
배전 시스템이 직류 부하에
직접 직류전원을 공급해
에너지 효율이 높다는
장점 보유 ”

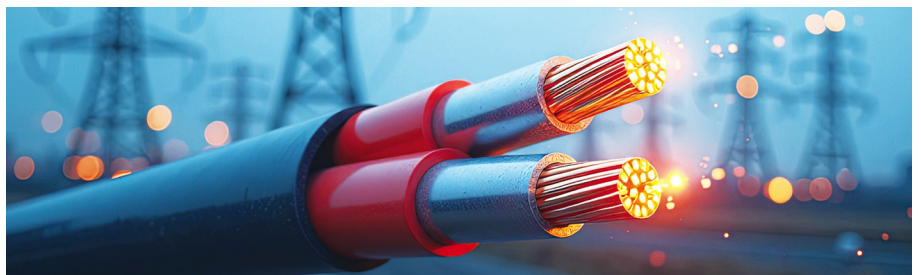
“

LVDC는 상용화 초기,
MVDC는 상용화 준비
중이나 향후 HVDC
시장만큼 성장할 것으로
예상되고 있음 ”

(2) DC 배전 시장: 2030년 전후 HVDC 시장과 대등한 수준으로 성장 전망

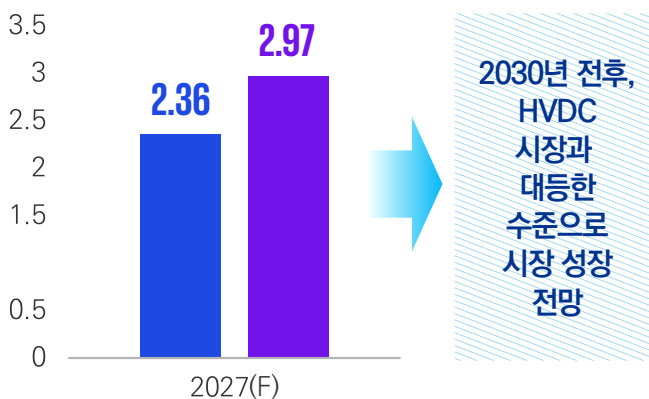
DC 배전은 직류 기반의 배전 시스템을 구성 후 이를 통해 직류 부하에 직접 직류전원을 공급함으로써 에너지 효율성을 높이는 기술을 뜻한다. DC 배전 의미로 볼 때, 앞서 언급했던 MVDC(Medium Voltage Direct Current), LVDC(Low Voltage Direct Current)가 배전과 관련되므로, DC 배전 범위 안에 포함된다고 할 수 있다. DC 배전 시장에서 우선적으로 고려해야 할 사항은 LVDC는 상용화 초기, MVDC는 상용화를 위한 준비를 거치는 과정에 있으므로 시장에 대한 업계의 합치된 결론은 없다는 점이다. 따라서 대다수의 기관은 정확한 시장 규모를 제시하기 보다는, 2030년을 전후로 하여 HVDC 시장과 유사한 수준으로 성장할 것이라고 전망하는 것이 중론으로 보인다. 다만, 일부 기관에서는 2027년 기준 DC 배전 시장의 추정치를 대략 240억 달러에서 300억 달러 사이로 제시되고 있기는 하다.

DC 배전 시장이 성장세를 타는 배경은 HVDC 시장의 성장 요인과 유사하다. 태양광 및 풍력 등 직류전원이 급증하고 있고, 분산에너지도 활성화됨에 따라 중앙집중적 형태의 전력계통 보다는 지역단위의 소규모 마이크로그리드가 확대되고 있기 때문이다. DC 배전 기반의 마이크로그리드는 에너지 효율이 높기 때문에 향후 확산될 가능성이 높다. 실제로 한국전력이 전라남도 서거차도에 DC 마이크로그리드를 구축해 실증한 결과, 교류 대비 에너지 효율이 10% 이상 향상되는 것을 확인한 바 있다. 또한 AI의 확산으로 크게 성장할 것으로 전망되는 AI 데이터센터 역시 DC 배전 시장의 성장과 무관하지 않은데, 데이터센터는 대규모 직류 부하를 사용하는 대표적인 시설이기 때문이다. 이러한 요인들을 토대로 DC 배전 시장은 HVDC 시장과 유사하게 지속적으로 성장할 분야로 전망되고 있다.



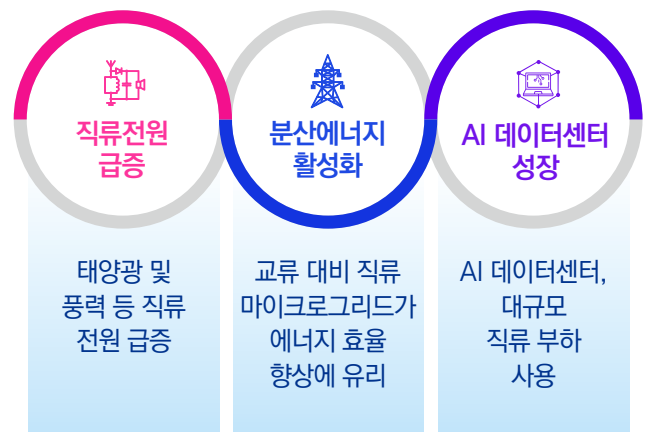
전 세계 DC 배전 시장 전망

(십억 달러)



Source: 언론보도 종합, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

DC 배전 시장 성장 배경



Source: 삼정KPMG 경제연구원

② 주요국의 변압기 시장 현황: 중대형 변압기 및 배전 변압기 수출

(1) 중대형 변압기 수출: 2024년 전년대비 38.5% 성장

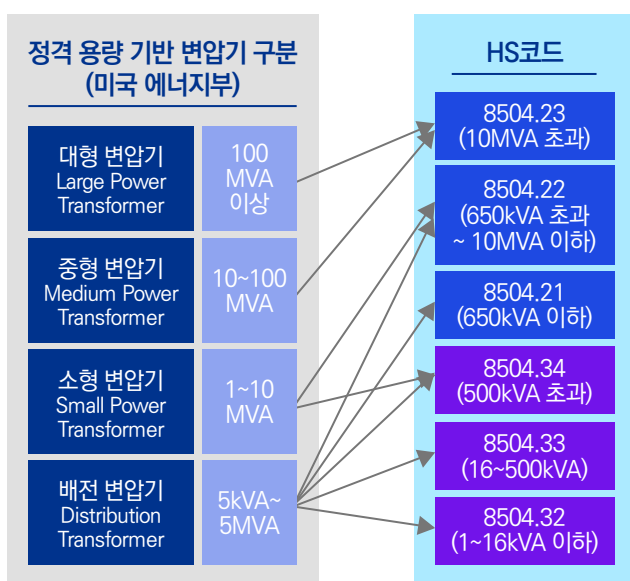
“

변압기 초과 수요는
선진국, 중국, 중동 등 일부
지역에서 더욱 뚜렷하게
나타나고 있으며 각 시장에서
국내 변압기는 경쟁력을
인정받아 수출액이 점차
증가하고 있는 상황 ”

변압기 시장은 전 세계적으로 초과 수요에 의한 공급 부족에 시달리고 있다. 변압기의 초과 수요는 특히 선진국과 중국·중동 등 일부 지역을 중심으로 뚜렷하게 나타나고 있으며, 이는 국내 변압기 수출 동향을 통해 구체적으로 살펴볼 수 있다. 수출 동향을 살펴보기 위해 정격 용량 기반의 변압기 구분과 HS코드를 맞춰야 한다. HS코드는 국제통일 상품분류체계에 따라 무역거래 상품을 분류한 코드를 말한다. HS코드 중에서 중대형 변압기를 의미하는 것은 용량이 10MVA를 초과하는 변압기를 가리키는 '8504.23'이다. 한편, '배전 변압기(5kVA~5MVA)'는 정격 용량으로 HS코드와 연결할 경우, '8504.22', '8504.21', '8504.34', '8504.33', '8504.32'에 속한다. 그러나 '8504.22'와 같이 배전 변압기의 정격 용량보다 더 높은 정격 용량 범위를 아우르는 HS코드나 '8504.32'와 같이 더 낮은 정격 용량 범위를 포함하는 HS 코드도 있어 배전 변압기의 수출입 금액이 정확하게 맞지 않을 수 있다. 다만, 수출입 동향을 보다 확실히 살펴보기 위해 5개 HS코드 모두 배전 변압기 분석 데이터에 포함시켰다.

한국무역협회 통계자료에 의하면, 국내산 중대형 변압기의 2024년 연간 누적 수출액은 9억 5천만 달러 수준으로 전년대비 38.5% 성장했다. 2023년 수출액은 약 6억 8천만 달러였으며, 전년대비 77.9% 증가했다. 최근 10년 내 수출액 동향을 보면 2021년을 기준으로 수출액이 반등하고 있으며, 2024년의 경우 반등 폭이 과거 대비 커서 최근 10년 내 가장 높은 수준의 수출액을 기록한 바 있다.

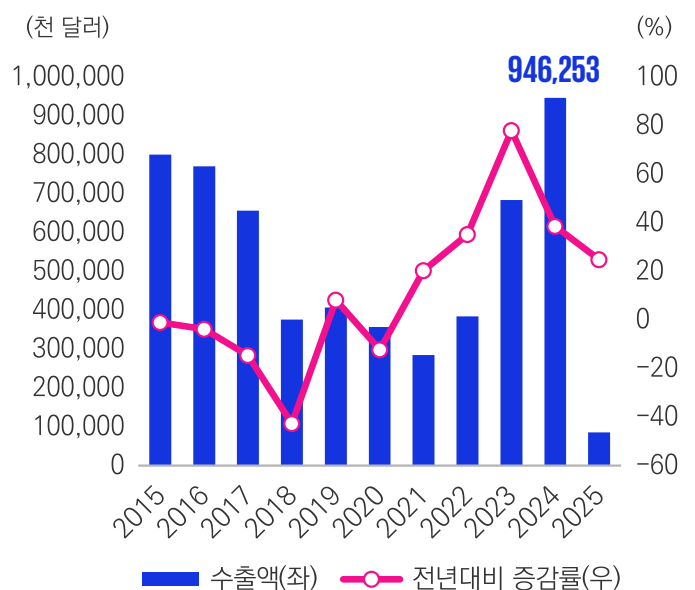
정격 용량 기반 변압기 구분과 수출입품목코드 연계



Source: 미국에너지부(DOE), 관세청, 삼성KPMG 경제연구원 재구성

Note: 8504.2번 대와 8504.3번 대 HS코드가 용량을 중심으로 나뉘어져 있으나 변압기를 구분하는 코드이므로 모두 고려했으며 분석의 편의성을 위해 미국 에너지부의 정격 용량을 중심으로 HS코드를 연결함

국내 중대형 변압기(HS코드 8504.23) 수출 추이



Source: 한국무역협회(2025.3.12 검색 기준)

Note: HS코드 8504.23 기준으로 해당 코드는 용량이 10,000kVA를 초과하는 것을 의미, 2025년은 1월 수출액

“

미국 시장에서 국내산
중대형 변압기 수출이
호조를 보이며

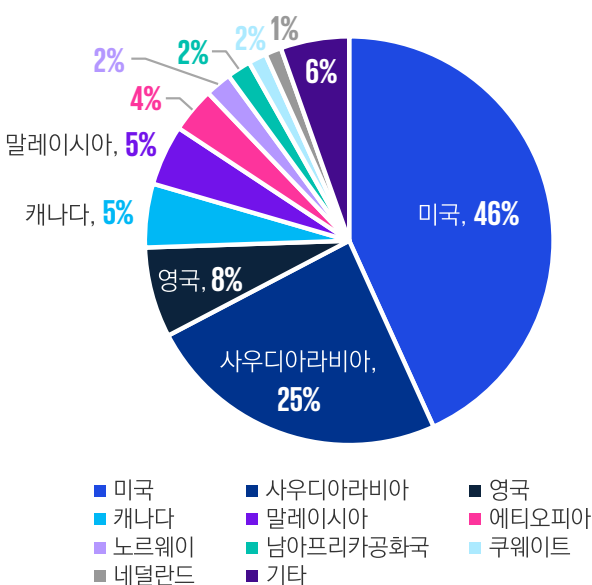
2024년 연간 수출금액에서
미국은 전체 수출액 중
1/3 이상 차지 ”

2022년 이후 중대형 변압기의 수출 호조는 대미 수출액 확대에 힘입은 결과다. 2024년 연간 누적 수출금액을 국가별로 구분 시, 미국 비중은 46%로 전체 수출액 중 1/3 이상이다. 국내 중대형 변압기 수출 비중에서 2위인 사우디아라비아는 25%를 차지하며, 미국과 사우디아라비아를 제외하고 두 자릿수 비중을 갖는 국가는 없다. 영국, 캐나다는 각 5%씩이며 그 외 국가는 5% 미만의 비중을 차지하고 있다. 즉, 미국과 사우디아라비아가 71% 이상의 비중을 차지하며 전체 수출액의 2/3 이상을 갖는데, 그 중에서도 미국이 차지하는 위상이 크다고 할 수 있다.

최근 10년간 대미 수출액 추이를 살펴보면, 2015년부터 2022년까지 수출액 자체는 하향세였으나 2023년을 기점으로 반등했다. 2023년에는 전년대비 137.4% 증가해 2억 6천만 달러의 변압기를 수출했으며 2024년에는 약 4억 달러의 변압기를 수출하며 전년대비 56.4% 성장했다. 이러한 성장은 국산 중대형 변압기의 우수한 경쟁력과 함께 미국 정부의 정책적 지원도 한 몫 했기에 가능했다. 특히 IIJA(인프라 투자 및 일자리 법안)으로 인해 노후화된 미국의 인프라 교체 수요가 증가하면서 변압기 수요도 증가했기 때문이다.

미국 전력 노후 설비 교체 수요, 리쇼어링에 따른 제조업 공장 신설, AI 확산에 따른 데이터센터 전력 소비량이 증가하며 미국 내 중대형 변압기 수요가 증가하고 있다. 국내 중대형 변압기의 주요 기회가 될 미국 시장에서 향후 지속적으로 성장하려면 품질과 가격 측면에서 경쟁국과 격차를 벌려야 한다. 트럼프 2기 정부가 들어서며 관세 및 IRA(인플레이션 감축법) 및 IIJA 등 변압기 수요를 뒷받침하던 정책이 중단될 리스크가 부각되었는데, 기업은 미국 내 생산 시설 확보 및 활용 등 유연한 생산 전략을 발휘함과 동시에 정부와 함께 관세·정책 리스크를 낮출 방법을 찾아 성장세를 이어가야 한다.

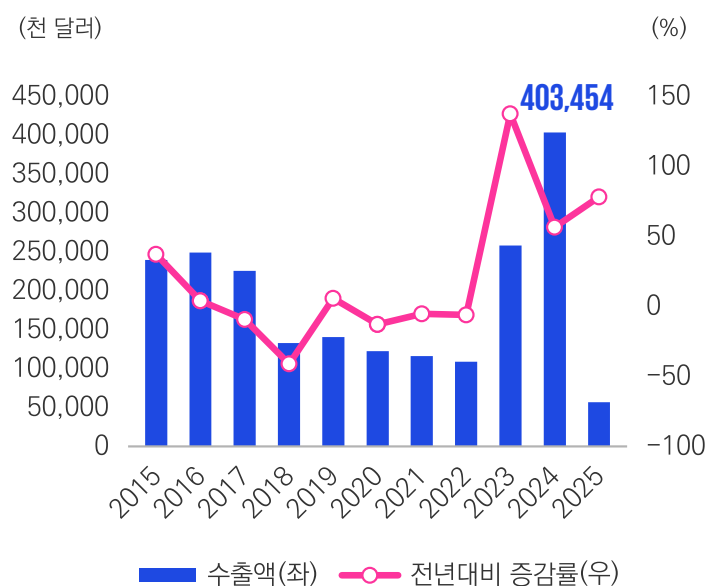
2024년 중대형 변압기 수출 국가별 비중



Source: 한국무역협회 국가별 품목 수출입 통계, 삼정KPMG 경제연구원 재구성

Note: 2025년 3월 기준, 2024년 연간 누적 수출금액을 토대로 비중 도출

대미 중대형 변압기(HS코드 8504.23) 수출 추이



Source: 한국무역협회(2024.03.12 검색 기준)

Note: HS코드 8504.23 기준으로 해당 코드는 용량이 10,000kVA를 초과하는 것을 의미, 2025년은 1월 수출액

“

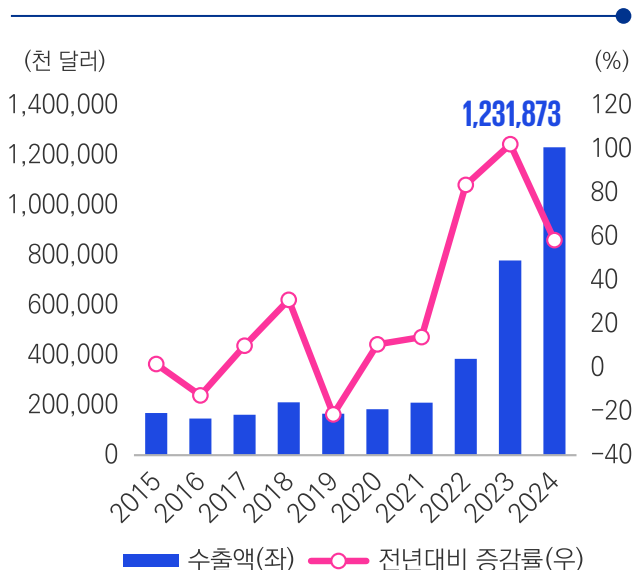
2024년 배전 변압기
수출액은 전년대비 58%
성장해 12억 3천만 달러.
향후에도 성장세를 지속해
나갈 것으로 기대하나
트럼프 2기 정부의
관세 정책이 변수로
작용될 전망 ”

(2) 배전 변압기 수출: 2024년 전년대비 58.3% 성장

한국무역협회 통계자료에 의하면, 국내산 배전 변압기(HS 코드 기준 8504.22, 8504.21, 8504.34, 8504.33, 8504.32)의 2024년 연간 누적 수출액은 전년대비 58.3% 성장해 12억 3천만 달러를 달성했다. 2023년에는 7억 8천만 달러 수준으로 수출했는데, 이는 전년대비 102%가 넘게 증가한 것이다. 특히 2024년은 2023년에 이미 높은 수출액을 달성한 상태에서 또 다시 성장을 일궈냈다는 점에서 의미가 있다. 그러나 해당 수치는 미국 에너지부의 배전 변압기 정격 용량 범위(5kVA에서 5MVA)가 포함되는 HS코드 5개의 수출액을 합산한 것으로 정확한 배전 변압기 전체의 수출액과 같지 않을 수 있음을 밝힌다. 다만 배전 변압기의 수출액이 점차 확대되고 있으며 성장세가 가파르다는 점을 확인한다는 점에서는 의미가 있다고 판단한다.

중대형 변압기와 유사하게 국내 배전 변압기 수출액이 큰 폭으로 증가한 이유는 미국 수출액이 증가했기 때문이다. 수출액의 경우, 대미 배전 변압기 수출액은 2022년을 기점으로 증가했는데, 2022년 1.75억 달러(전년대비 289.8% 성장), 2023년 5.48억 달러(전년대비 212.4% 성장)를 거쳐 2024년 10억 달러(전년대비 83.1% 성장)를 달성했다. 이렇게 미국향 수출액이 증가한 것은 미국 내 노후화된 변압기 교체 수요 덕분이다. 미국의 국립재생에너지연구소(NREL)가 자국에서 사용 중인 배전 변압기 6,000만~8,000만 대를 조사한 바에 따르면 55%에 달하는 배전 변압기가 이미 33년 이상 사용한 것으로 나타났다. 한편, 미국에 제조산업 관련 생산 시설이 확장될 가능성이 높다는 점에서 교체 수요 외 신규 수요도 있을 것으로 기대된다. 다만 트럼프 2기 행정부가 출범하며 전 세계를 대상으로 한 보편관세와 상호관세, 품목별 관세 등 잇따른 관세 정책으로 어떤 산업도 미국 시장에서 지속적인 수출 호조를 담보하기는 어려운 것이 사실이다. 2025년 초부터 발효될 예정이었으나 90일 유예처분을 받은 25% 상호관세를 제외하더라도, 10% 기본관세는 여전히 부과되고 있기 때문에 미국 현지에서 생산하고 있는 일부 전력기기를 제외한 나머지는 관세 영향 하에 있는 상황이다. 따라서 미국의 관세 정책은 대미 수출에 직접적으로 영향을 미치는 요인이므로 면밀하게 모니터링하여 선제적인 전략을 수립해야 할 것이다.

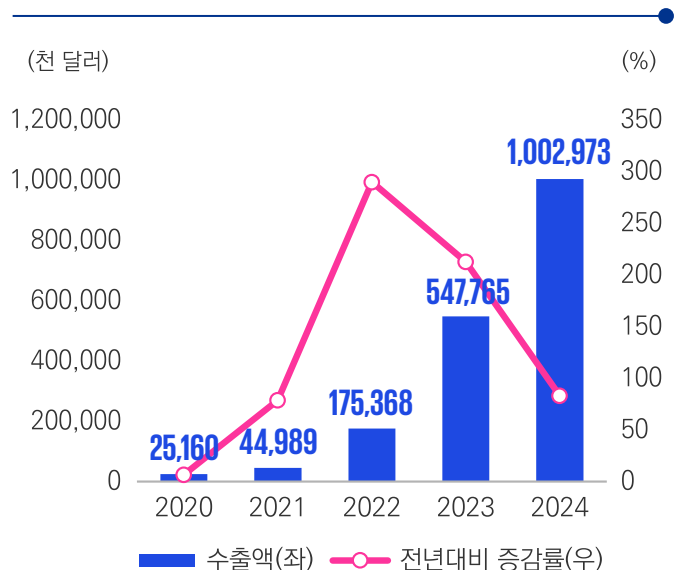
국내 배전 변압기(HS코드 5개 합) 수출 추이



Source: 한국무역협회(2025.03.12 검색 기준), 삼성KPMG 경제연구원 재구성

Note: HS코드 8504.21, 8504.22, 8504.32, 8504.33, 8504.34 대상

대미 배전 변압기(HS코드 5개 합) 수출 추이



Source: 한국무역협회(2025.03.12 검색 기준), 삼성KPMG 경제연구원 재구성

Note: HS코드 8504.21, 8504.22, 8504.32, 8504.33, 8504.34 대상

③ 그리드 현대화 및 디지털화: 전선 및 스마트그리드(Smart Grid)

(1) 전선(케이블): 고전압 케이블 및 해저케이블 시장 성장세 주목

“ 전선의 현대화는 노후화된 전선을 교체하거나 진화된 형태(높은 스펙)의 전선을 구축함으로써 달성 가능 ”

“ 전 세계 전선 시장은 2023년부터 2029년까지 5.8%씩 성장해 2,662억 달러 규모로 확대될 전망 ”

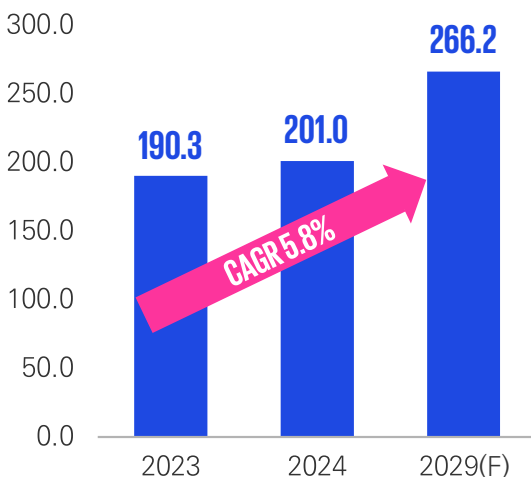
그리드 현대화는 발전부터 최종 소비처까지 연결해주는 전선 없이는 달성할 수 없다. 그리드, 특히 전선 현대화는 크게 2가지로 나뉜다. 첫째는 노후화된 전선의 교체이고 둘째는 진화된 형태의 전선 구축이다.

우선, 노후화된 전선의 교체는 사용 가능 해수가 다 되어가는 전선을 새것으로 교체하는 것이다. IEA에 따르면 선진국에서 사용 가능 해수가 20년이 초과된 케이블은 전체 케이블에서 절반 이상을 차지한다. 전선은 변압기의 교체 및 구축과 함께 이루어질 가능성이 높으므로 변압기 수요가 많은 국가(미국, 유럽, 일본, 중국, 인도 등)를 중심으로 수요가 높게 나타난다. 한편, 더 높은 스펙의 전선을 구축할 수도 있다. 특히 풍력 등 대규모 발전원을 새롭게 건설하고 멀리 떨어져 있는 소비처와 연결할 때 초고압전선이 필요하므로 154kV·345kV 또는 그 이상의 고압전선을 쓰게 된다.

전선 교체 및 신규 수요는 전 세계적으로 전선 시장의 성장을 견인하고 있다. MarketsandMarkets에 따르면 2023년에는 1,903억 달러 시장이었던 전선 시장이 매년 약 5.8%씩 성장하여 2029년에 2,662억 달러 시장을 형성할 것으로 전망했다. 다양한 기관에서 251kV 이상 400kV 전선은 물론, 400kV 이상의 전선 비중도 증가하며, 고압 뿐 아니라 초고압전선 시장이 확대될 것으로 예측하고 있다. 초고압전선 시장은 미국, 유럽, 일본, 중국을 중심으로 성장할 것으로 보이는데, 미국의 경우 2025년 4월 초에 발효된 상호관세(중국을 제외한 70여 상호관세 대상국은 90일간 유예)를 포함하여 관세 정책을 적극적으로 활용하고 있기 때문에 국내 기업은 미국 정부의 정책을 주의 깊게 살펴야 할 것이다.

전 세계 전선(케이블) 시장 전망

(십억 달러)



Source: MarketsandMarkets

Note: 원문에서는 전선(케이블)을 'Wire and Cable'이라고 표현

미국의 대규모 송배전망 투자계획 발표 내용(2024.10)

미국 에너지부, 1,000마일(1,600km) 및 7,100MW 규모의 신규 송배전망 건설을 위한 15억 달러 규모 투자계획 발표

아루스톡 (Aroostock)	• 아루스톡 재생에너지 프로젝트 기반, 뉴잉글랜드주는 메인주 북부에서 생산한 저렴한 청정에너지 이용 가능
시마론 링크 (Cimarron Link)	• 텍사스 카운티에서 오클라호마주까지 400마일의 HVDC 송전선로 구축해 1,900MW 규모 송전 계획
서던 스피릿 (Southern Spirit)	• 텍사스주와 미국 남동부의 전력망을 처음으로 연결하기 위한, 320마일의 HVDC 건설 프로젝트
사우스라인 (Southline)	• 전력 부하가 증가하고 있는 뉴멕시코에 에너지를 공급하기 위한 프로젝트

Source: 언론보도 종합

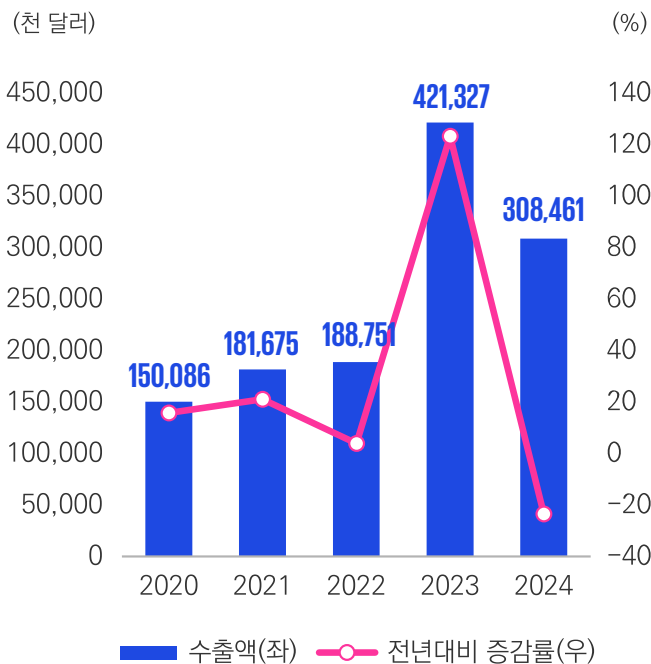
“

고압전선과 해저케이블
시장이 주목받고 있는
가운데, 국내 기업은
고압전선 수출에서 두각을
나타내고 있음 ”

실제로 국내 전선 기업들의 고압전선 수출은 2023년 급격히 증가하며 변압기의 미국 수출 추이를 따라가고 있다. 2022년 1억 8,875만 달러에서 123.2% 성장해 4억 2,133만 달러를 기록했다. 2023년 수출액이 급성장했기 때문에 2024년 11월까지 누적 수출금액은 3억 846억 달러로 2023년 대비 소폭 감소했지만 2022년을 기준으로 본다면 63% 증가한 것이다.

고압전선과 더불어 해저케이블 시장도 주목받고 있다. AI가 사회 전반에 확산되면서 전력 수요가 급증했고, 이를 감당하기 위한 대책으로 해상풍력발전이 부상했다. 해상풍력발전은 말 그대로 바다에 위치하므로 생산된 전력을 육상으로 끌어오기 위한 장치가 필요하다. 이에 해저케이블이 주목받고 있다. 세계풍력에너지협회(GWEC)에 따르면 전 세계 해상풍력 누적 설치 용량은 2022년 63GW에서 2032년 477GW로 늘어날 전망이다. Statista에 의하면 2023년 158억 달러 규모였던 해저케이블 시장은 2032년까지 연평균 5.9%씩 성장하여 265억 달러 시장을 형성할 것으로 예측된다. 동기간 지중 케이블(Underground Cable)은 연평균 4.8%씩 성장, 가공 케이블(Overhead)은 연평균 3.2%씩 성장할 것으로 예측된 것과 비교하면 해저케이블 시장의 성장세가 가장 높다. 해저케이블 시장은 유럽 기업을 주축으로 소수의 기업이 시장 전체의 80% 수준을 차지하는 과점 형태를 띄고 있으나, 국내 기업 역시 적극적인 투자와 기술 개발로 전 세계 시장 점유율을 높이고자 하는 노력을 기울이고 있기 때문에 국내 기업 역시 비즈니스 기회를 찾을 수 있을 것으로 기대되고 있다.

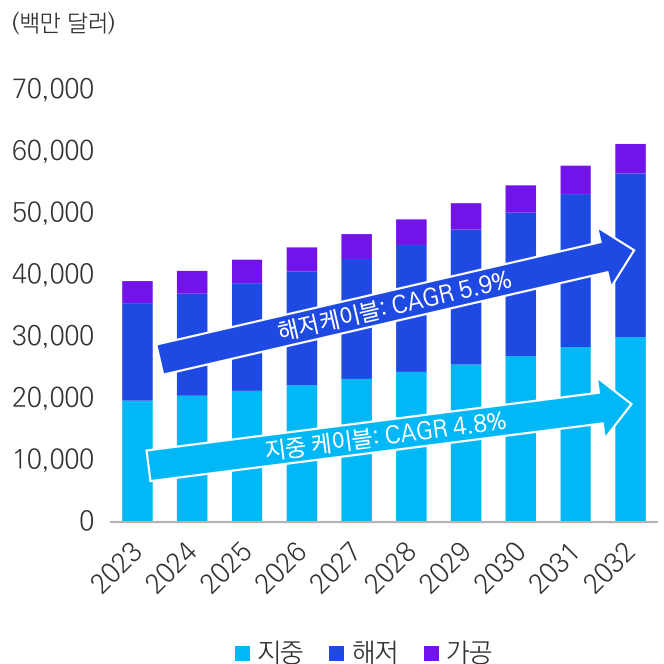
대미 고압전선 수출 추이



Source: 한국무역협회(2024.12.30 검색 기준)

Note: HS코드 8544.60 기준으로 해당 코드는 전압이 1,000V를 초과하는 전기도체와 절연 전선을 포함, 2024년 데이터는 11월까지 연간 누적 금액

케이블 설치 유형별 시장 전망



Source: Statista

Note: 지중(Underground), 해저(Submarine), 가공(Overhead)

“
그리드에 정보통신 기술을
접목해 전력망을
실시간으로 관찰하거나
양방향 통신으로 그리드
운영 효율을 최적화하는
시스템이 스마트그리드 ”

(2) 스마트그리드: 두 자릿수 성장률을 기록하며 견고한 위상을 유지

그리드 현대화 및 유틸리티의 디지털화에서 빠지지 않는 화두는 스마트그리드다. 스마트 그리드는 기존 그리드에 정보통신 기술을 접목하여 전력망을 실시간으로 관찰하거나 모니터링 하고, 양방향 통신에 기반하여 그리드 운영 효율을 최적화하는 전력 시스템을 말한다. 그리드 운영 효율이 최적화된다는 의미는 전력망 운영자 또는 전력 산업 내 기업의 입장에서는 전력망의 안정성을 높여 비용을 절감한다는 의미이고, 전력을 사용하는 소비자에게는 자신이 쓴 전력량 및 요금을 실시간으로 파악해 소비자가 자신이 생산한 에너지를 팔거나, 스스로 에너지를 절약하는 등의 의사결정을 할 수 있는 환경을 만들어준다는 것이다. 이러한 환경 마련은 전력의 소비 단계에서 부상하고 있는 ‘에너지 프로슈머(Prosumer)’와도 맥락을 같이 한다. 소비자가 생산한 전력을 전기요금이 낮은 시간대에는 저장 장치에 저장하고, 요금이 높은 시간대에 파는 등의 행위가 가능해지기 때문이다.

미국 에너지부에 따르면 스마트그리드는 기존 그리드와 대비되는 뚜렷한 특징을 보이는데, 그 중 대표적인 것은 앞서 언급한 바와 같이 기존 그리드는 송배전이 공급자 중심의 단방향 이었던 것에 반해 스마트그리드는 양방향이라는 점이다. 따라서 기존 그리드는 소수의 공급자가 중앙집중형태로 수직적인 구조를 가지는 데 반해 스마트그리드는 다수의 생산자와 소비자 간의 상호작용이 일어나 수평적이고 협력적인 형태의 네트워크를 이루게 된다. 네트워크 형태의 스마트그리드는 기존 그리드 대비 상대적으로 높은 신뢰도의 전력을 제공할 수 있고, 특정 전력 자산이 고장 나더라도 네트워크 내 다른 자산의 백업(Backup)이 가능하므로 운영 효율성도 높아진다고 할 수 있다.

기존 그리드 vs. 스마트그리드

	기존 그리드	스마트그리드
통제시스템	아날로그	디지털
발전	중앙집중형 전원	중앙집중형+분산형 전원
송배전	단방향(공급자 위주), 비실시간	양방향, 실시간
미터링	전자 기계적 미터링	디지털미터링, RTP ¹⁾ 가능
전력공급원	중앙전원, 화석연료 위주	분산전원 포함
제어시스템	국지적, 제한적 제어	광범위, 자동적 제어
운전	수동감시, 정기적 유지보수	자동감시, 상태기반 유지보수
신뢰도	낮은 신뢰도, 사고 파급 大	높은 신뢰도, 사고 파급 한정적
시스템 흐름	정해진 방향의 전력흐름	네트워크, 다양한 전력흐름

Source: 미국전기전자학회, 한국무역협회

Note 1): Real Time Pricing, 실시간 요금제

주요 국가의 스마트그리드 관련 정책

미국	2000년대 초반부터 그리드 2030 프로젝트 추진 - 그리드 2030 프로젝트 1단계(~2010)는 스마트미터 보급, 2단계(~2020)는 스마트그리드 보급률 50%, 3단계(~2030)에서 전국적인 스마트그리드 구축을 목표로 함
일본	- 후쿠시마 원전사고 후 수요관리와 재난대비용 시스템으로 스마트그리드 구축 노력 - 전력망과 독립적인 마이크로그리드 구축하며 2010년부터 2014년까지 125억 엔 투자해 4개 스마트그리드 커뮤니티 실증 추진
중국	- 스마트그리드 산업에 2020년까지 주로 고압 송전망 등 하드웨어 중심으로 4조 위안 투자 ‘제 13차 5개년 에너지 계획’에 따르면 배전 자동화, 지능형 원격 검침 인프라 및 전력망 원격리 감시통제시스템 보급 중점 추진

Source: 한국무역협회 국제무역통상연구원

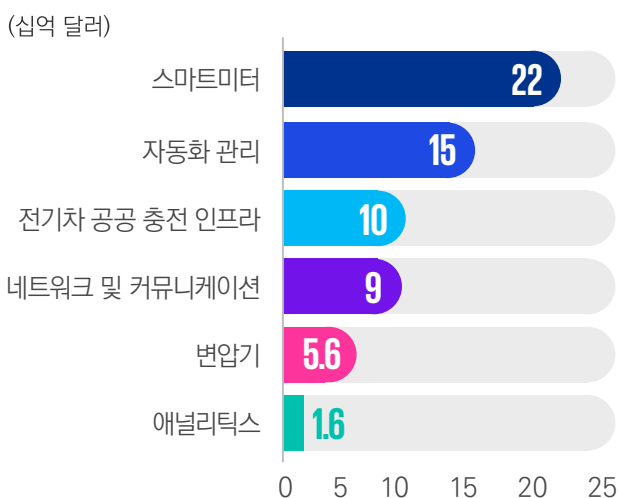
“
주요 국가에서
스마트그리드를 통해
그리드 현대화 및
디지털화를 달성하고자
함으로써 스마트그리드
시장은 2022년부터
지속적으로 성장세 ”

스마트그리드의 장점은 세계 각국에서 스마트그리드 구축을 위한 노력을 불러 일으켰다. 미국은 2000년대 초반부터 'Grid 2030 Project'를 추진해 왔다. 2025년 기준 3단계를 지나고 있는데, 3단계 목표는 스마트미터 보급률을 향상시켜 2030년까지 전국적인 스마트그리드를 구축하는 것이다. 스마트미터는 지능형 계량기를 의미하며, 이를 소비처에 설치하면 소비자는 전기 소비량을 실시간으로 확인하고 서비스 공급자는 각 소비처로부터 발생한 데이터를 수집하여 유틸리티로 전송한다. 이를 활용해 유틸리티는 수요에 대한 정밀한 분석 및 실시간 수요 대응이 가능해지고 궁극적으로 전체 전력망에 대한 운영 효율성이 증대되는 효과를 갖게 된다. IEA가 2022년 전 세계 디지털 인프라 분야별 투자 규모를 분석한 바에 따르면 스마트미터가 217억 달러로 1위를 차지했으며 이를 통해 스마트미터를 통한 스마트그리드 구축이 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

한편, 유럽, 일본, 중국 등에서도 스마트그리드에 대한 투자는 지속되고 있다. 유럽은 신재생 에너지 보급 확대 및 회원국 간 전력거래 활성화를 위해, 일본은 후쿠시마 원전사고 이후 수요 관리와 재난대비용 시스템으로, 중국은 전력자원을 국가 차원에서 최적으로 배분하고 송전 계통을 강화하기 위해 스마트그리드 사업을 적극 추진해오고 있다.

이처럼 스마트그리드를 통해 그리드 현대화 및 디지털화를 달성할 수 있어, 전 세계 스마트 그리드 AMI(Advanced Metering Infrastructure), 네트워크 및 배전 시스템 관리, 전력 공급 보안 솔루션 등 다양한 기술 포함) 시장은 2022년부터 지속적으로 성장할 전망이다. Statista에 따르면 2022년 전 세계 스마트그리드 시장은 497억 달러 수준이나, 2028년까지 약 17.4%씩 성장해 약 1,302억 달러로 확장될 것으로 전망된다. 일부 기관은 20%에 달하는 성장률을 예상하기도 하므로 향후에도 스마트그리드 분야가 전력 인프라에서 차지할 위상은 높을 것으로 예상된다.

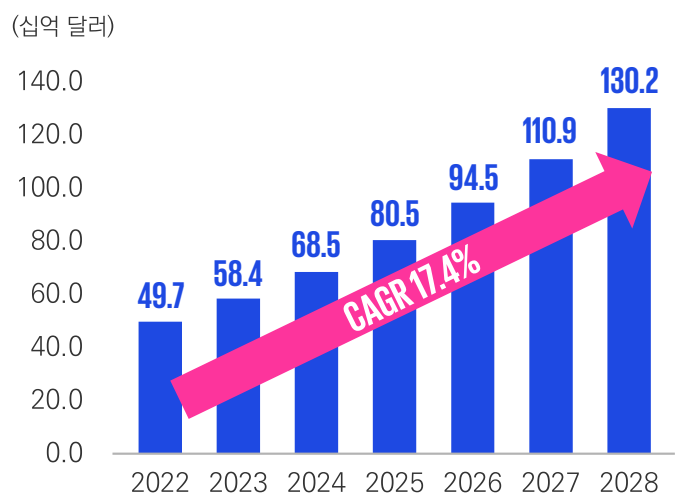
전 세계 디지털 인프라 분야별 투자 규모



Source: IEA(2023.07)

Note: 원문 내 표기 내역 중 Automation and Management은 자동화 관리, Networking and Communication은 네트워크 및 커뮤니케이션, Analytics는 애널리틱스로 기재

전 세계 스마트그리드 시장 규모 전망



Source: Statista(2023.2 조사 기준)

Note: 스마트그리드 시장에는 AMI(Advanced Metering Infrastructure), 네트워크 및 배전 관리, 전력 공급 보안(Security) 등 다양한 분야 포함

비즈니스 기회를 선점·주도하기 위한 전략적 고려사항

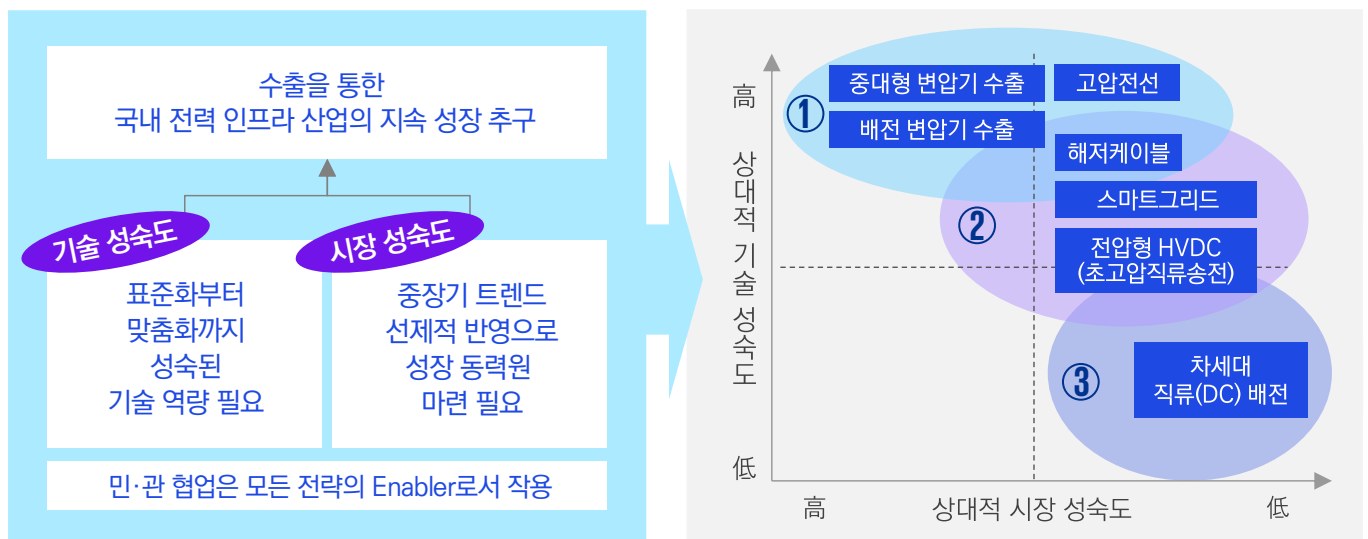
“
국내 전력 인프라 산업이
글로벌 시장에서
미래 비즈니스 기회를
선점·주도하기 위해서는
기술 성숙도 및 시장
성숙도를 고려해
전략 수립 필요 ”

2025년에도 전력 및 관련 기업은 앞서 언급한 6가지 시장을 중심으로 성장을 이어 나가기 위해 부단히 애를 쓰고 있다. 그 결과, 낙관적이지만은 않은 상황 속에서도 국내 전력 인프라 기업은 성장의 신화를 쓰고 있다. 성장 가도를 달리고 있지만, 국내 기업의 고민이 없는 것은 아니다. 국내 전력 인프라 산업은 내수만으로는 지속적인 성장을 담보하기에 한계가 있어 수출이 필수적이다. 실제로 미국향 수출량이 증가하면서 전력기기를 중심으로 전력 인프라 시장 전체가 급성장한 것을 목도하기도 했다.

그렇다면 글로벌 시장에서 지속적으로 성장을 견인하는 요소는 무엇인가? 기술력과 시장 니즈에 대한 선제적 대응이다. 우선, 전력 인프라를 구성하는 제품 및 서비스에서 기술은 핵심적이며, 이에 기업은 기술의 성숙 단계(기술 개발, 표준화, 맞춤화 등)마다 자사 경쟁력을 강화하기 위한 방안을 강구해야 한다. 동시에 기업은 시장의 니즈를 충족시키는 것에서 더 나아가 미래 시장의 방향성을 선제적으로 예측하고 대비해야 한다. 전력 인프라 산업의 특성상, 대규모 수요가 도래하는 주기가 길기 때문에 먹거리가 없을 경우를 대비해 중장기 관점에서 시장이 원하는 바를 찾아야 하기 때문이다.

앞서 도출한 미래 전력 산업의 비즈니스 기회를 선점하거나 주도하기 위해 기업은 어떻게 해야 하는가? 이를 위해 본 보고서에서는 지속적인 성장을 견인하는 요인인(상대적) 기술 성숙도와 시장 성숙도를 토대로 비즈니스 기회를 구분했다. 기술은 발전 단계를, 시장은 성장률, 경쟁강도 등을 토대로 성숙도를 도출하되, 비즈니스 기회간 비교를 통해 '상대적 수준의 성숙도'를 고려했다. 그 결과, ①기술 및 시장 성숙도가 높아서 단기·중기 관점에서 국내 산업 성장을 주도할 기회, ②기술 수준이 점차 높아지면서 시장도 성장하고 있어 중장기 성장을 견인할 것으로 기대되는 기회, ③기술이 개발되며 관련 시장이 형성되고 있어 미래 먹거리로 키워야 하는 기회로 나누었다. 이제부터 각 비즈니스 기회 그룹별로 해당 섹터를 선점하거나 주도하고자 기업이 전략을 수립할 때 고려할 사항을 알아보도록 하자.

상대적 기술 성숙도·시장 성숙도 기반 비즈니스 기회를 3가지 그룹으로 구분



Source: 삼정KPMG 경제연구원

Note: 상대적 기술 성숙도 및 시장 성숙도는 비즈니스 기회 간 상대적, 정성적 평가로 구분했음을 유의. 또한 앞서 비즈니스 기회로 전선(케이블)을 하나의 분야로 작성해서 총 6가지로 도출되었으나, 본 장에서는 전선 내 하위 시장별 기술 성숙도가 달라 하위 시장인 '고압전선'과 '해저케이블'로 구분했음

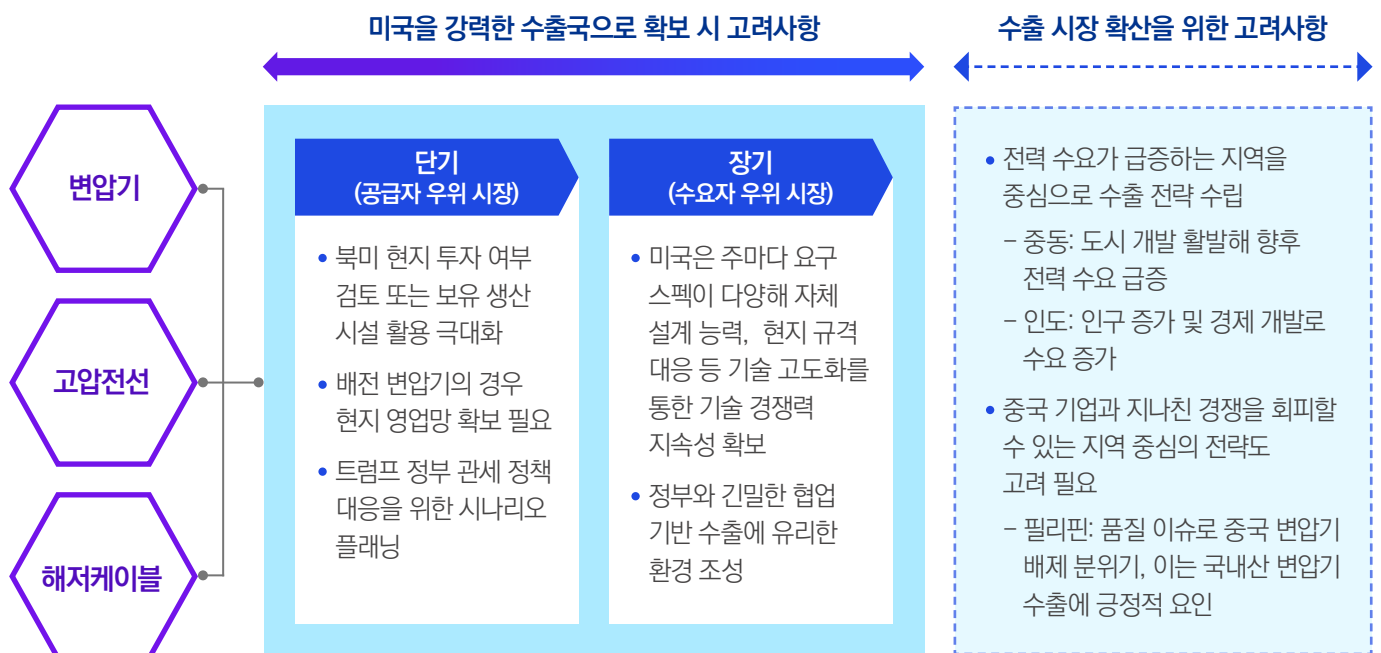
“ 변압기(중대형, 배전), 고압전선, 해저케이블 시장은 미국을 강력한 수출 시장으로 자리매김 시키는 동시에 수출 성공 모델을 신규 시장으로 확산시키는 전략 필요 ”

① 중단기 성장 주도할 Biz. 기회: 미국+@로 수출 전략 수립

변압기(중대형, 배전), 고압전선, 해저케이블 시장은 중단기 관점에서 국내 전력 산업의 성장을 주도할 수 있는 비즈니스 기회로 구분된다. 관련 기술 및 시장이 성숙되어 있지만, 환경이 변화하여 수요가 증가하는 사이클을 겪고 있기 때문이다. 기업별로 기술력은 다르지만, 대체로 국내 기업은 기술력을 인정받고 있다. 더욱이 최근 2~3년 동안, 중대형 변압기 등을 중심으로 초과 수요 현상이 발생되고 있어 공급자 우위 시장이 형성됨으로써 수출을 통한 성장에 방점을 두고 있는 국내 기업에겐 더욱 유리한 환경이 조성되었다.

중단기 관점에서 국내 전력 산업의 성장을 주도할 수 있는 비즈니스 기회를 선점, 주도하기 위해서는 강력한 수출 시장을 확보하고 성공 모델을 확산시켜야 한다. 국내 기업의 경우 가장 중요하게 고려하는 수출 시장은 미국이다. 2024년 중대형 변압기 수출 국가별 비중을 보면, 미국이 차지하는 비중은 46%로 전체 중 절반에 육박한다. 변압기 뿐 아니라 국내산 고압전선 수출도 급격히 늘고 있다. 2023년 수출 금액은 2022년 대비 123.2% 늘어 급증했다. 해저케이블의 경우 미국을 중심으로 굵직한 비즈니스 기회가 예상되고 있기도 하다. 메타, 구글, 아마존 등 빅테크의 자체 통신망 구축 니즈를 선점하고자 프로젝트에 나서고 있기 때문이다. 메타는 북미부터 아프리카까지 4만km를 해저케이블로 연결하고자 하며 구글은 미국과 일본을 잇는 해저케이블 프로젝트에 10억 달러를 투자한데 이어 호주와 아프리카를 잇는 프로젝트도 준비하고 있다. 아마존 역시 싱가포르부터 미국 서부까지 1만 5,000km가 넘는 거리를 연결할 예정이다.

미국을 강력한 수출 시장으로 확보하면서 수출 시장을 다변화하기 위해 고려할 사항



“
미국을 강력한 수출
시장으로 확보하기 위해
공급자 우위 시장인 단기
시점과 수요자 우위 시장인
장기 시점을 구분하여
고투마켓(Go-To-Market)
전략 수립 ”

“
기업은 수출 시장 다변화도
모색해야 하는데, 특히
지역을 선택할 때 전력
수요 급증 가능성 및
중국 기업과 지나친 경쟁
회피 가능 여부를 중심으로
의사결정 필요 ”

그렇다면 강력한 수출 시장 확보 및 성공 모델 확산 시 국내 기업은 무엇을 고려해야 하는가? 우선 미국을 강력한 수출 시장으로 확보하기 위해 단기, 장기 관점에서 고려해야 할 사항을 살펴보자. 단기적으로 미국 시장은 공급자 우위 시장이라는 점을 감안하면, 기업은 북미 현지 투자 여부를 검토할 수 있고 이미 현지에 생산 시설을 구축한 기업은 생산 시설 활용을 극대화 하는 방안을 고려해야 한다. 배전 변압기의 경우 제품 특성상 현지 영업망을 확보할 필요가 있다. 공급량 및 판매량을 늘리는 방안을 적극적으로 취하는 동시에 국내 기업은 트럼프 정부의 관세 정책에 대해 시나리오 플래닝을 수립할 필요가 있다. 트럼프 2기 정부에서는 관세 정책이 시시각각 바뀌는 경향을 띄고 있기 때문에 세밀한 시나리오 플래닝이 필요한 시점이다.

단기적으로는 공급자 우위 시장이지만, 장기적으로 보면 결국 공급량이 수요를 때릴 수요자 우위 시장으로 될 것이다. 전력 인프라는 대규모 교체 수요 사이클을 겪고 나면 한동안 수요가 정체되거나 하락하는 시기를 보내는 것이 특징이기 때문이다. 이 시기를 대비하기 위해 미국 시장에서 강력한 기술력을 확보해 두어야 한다. 미국은 주마다 요구 스펙이 다양해 기업 자체적으로 설계 능력을 가지고 현지 규격에 대응할 필요가 있는데, 이러한 역량을 기업 내부적으로 축적하기 위해서는 기술력을 고도화해야 한다. 더불어 국내 정부와 긴밀하게 협업해서 수출에 유리한 환경을 조성해야 한다. 전력 인프라는 기간 산업에 속하기 때문에 정부의 의사결정이 중요하기 때문이다.

미국 시장을 국내 전력 산업의 확고한 수출처로서 자리매김 시키는 것이 중요한 가운데, 기업은 수출 시장 다변화도 모색하면서 향후 미국 의존도가 높아지는 것에 대한 리스크를 헷지할 필요가 있다. 그렇다면 진출할 시장을 결정할 때 어떤 점을 고려해야 할까? 전방위적 검토가 필요한 사항이나, '지역' 선택을 할 때 다음의 2가지를 고려할 필요가 있다. 첫째는 전력 수요가 급증하는 지역을 중심으로 수출 전략을 수립해야 한다. 도시 개발이나 인구 증가 지역을 중심으로 살펴 보아야 한다. 둘째는 중국 기업과 지나친 경쟁을 회피할 수 있는 지역이 우선 순위라는 점이다. 지나친 경쟁은 결국 가격 경쟁력으로 수렴되는 특징이 있으므로 이를 감안해야 한다. 실제로 기업은 이러한 점을 고려하여 신규 시장에 진출하고 있거나 진출할 계획이다. HD현대일렉트릭은 변압기 수출의 새로운 시장으로 호주를 선택했다. 호주는 2022년 32%였던 재생에너지 비중을 정부 차원에서 2030년까지 82%로 올릴 계획으로 발표했는데, 이에 신규 발전시설 증가에 따른 전력기기 수요가 높아질 것으로 예상되기 때문이다. LS일렉트릭은 2023년 영국에 진출 하여 수출 시장의 외연을 확대하고 있고, 효성중공업은 2015년 인도 시장 공략을 위해 인도 법인을 설립해 경제성장률과 인구 증가율이 높은 인도 시장을 공략하고 있다.



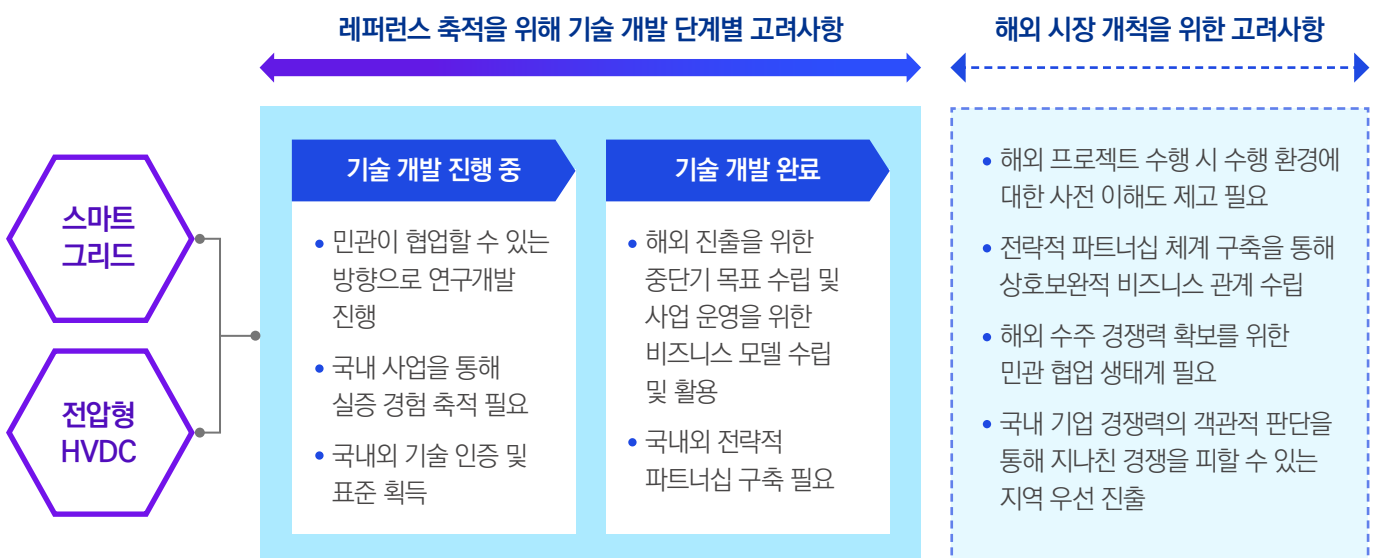
② 중장기 성장 견인할 Biz. 기회: 경험 기반 해외 시장 개척

“기술이 점차 발전하고 있고 중장기 성장을 견인할 것으로 기대되는 비즈니스 분야에서는 경험 축적이 관건이고 이를 지렛대 삼아 해외 시장을 개척하는 전략 수립”

중장기 관점에서 전력 인프라 시장의 성장을 견인할 비즈니스 기회를 선점하기 위해서 국내 기업은 우선 국내를 중심으로 한 레퍼런스를 축적, 이를 지렛대 삼아 해외 시장에서 주목할 만한 위상을 구축해야 한다. 이를 위해서 기업은 정부와 협업하는 방향으로 기술 개발을 진행할 뿐만 아니라 실증 경험을 확보할 수 있도록 국내 사업에 적극적으로 참여할 필요가 있고 동시에 국내외에서 기술에 대한 인증을 받아 기술 경쟁력을 증명해야 한다. 이후 본격적인 해외 진출에 앞서 실제 사업 운영을 위한 비즈니스 모델을 수립하고 이를 영위하는 과정에서 상호보완적인 역할을 수행할 수 있는 국내외 전략적 파트너사를 찾을 필요도 있다. 이러한 레퍼런스 축적 및 환경 조성은 결국 해외 시장을 개척하기 위함이다. 해외 시장을 진출할 때 프로젝트 수행 환경에 대한 이해를 토대로 전략적 파트너십을 견고하게 구축해야 하기 때문이다. 또한 해외 수주 경쟁력 확보를 위해 민간 협업 생태계 마련도 필요하다. 특히 앞서 살펴본 것과 같은 맥락에서 국내 기업은 각 사의 경쟁력을 객관적으로 판단하고 지나친 경쟁을 피할 수 있는 지역을 우선 순위로 고려해야 한다.

스마트그리드는 국내 기업과 정부가 힘을 합쳐 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해 노력하고 있는 분야다. 우리나라는 2030년까지 '세계 최초의 국가 단위 스마트그리드 구축'을 목표로 하는데 국내 기업은 이를 달성하기 위한 일련의 사업을 통해 관련 기술 개발을 촉진하고 있다. 스마트그리드 구축에 2030년까지 총 27조 5,000억 원을 투자하여 지능형 전력망, 지능형 소비자, 지능형 운송, 지능형 신재생, 지능형 전력 서비스 총 5개 분야에서 기술 개발을 추진 중이다. 이 프로젝트는 해외시장 진출에도 활용될 전망이다. 국내 기술을 활용하여 베트남, 인도네시아, 인도, 필리핀 등으로 시장 확대를 도모하고자 한다.

레퍼런스 축적 및 해외 시장 개척할 때 고려할 사항



“
스마트그리드 및 전압형
HVDC 시장에서 국내
시장에서의 실증을 토대로
기술 경쟁력을 확고하게
하는 것이 필요 ”

베트남의 경우 2025년까지 약 600억 달러가 전력 인프라 확충에 투자될 것으로 전망되고 있고, 인도 역시 2017년부터 신재생에너지, 마이크로그리드 등의 분야에서 그리드 고도화 작업을 추진하고 있으므로 국내 기업은 각 시장의 상황을 면밀히 모니터링해 프로젝트 경험을 토대로 시장을 확대해 나가야 할 것이다.

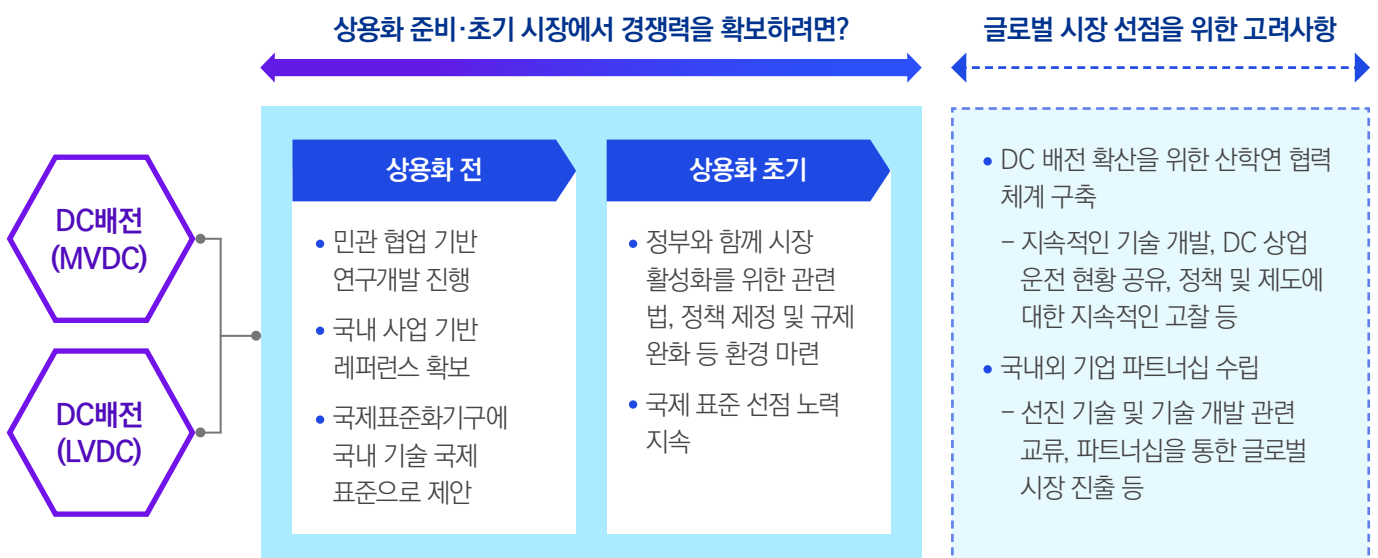
국내 정부와 기업이 경험을 축적하고 있는 분야 중 하나로 전압형 HVDC도 있다. 전압형 HVDC 시장을 선점하기 위해 산업통상자원부와 한국전력, 효성중공업 등 약 20개 기관이 컨소시엄을 맺어 설비 설계, 개발, 시험, 실증운전을 2017년부터 수행해 왔다. 2024년 4월 경기 양주변전소에서 ‘200MW 전압형 HVDC 설비’를 준공했는데, 이는 세계에서 5번째로 전압형 HVDC 기술 개발에 성공한 것이다. 국내의 경우 기술 개발뿐 아니라 상용화까지 달성했으므로 전압형 HVDC 기술 경쟁력을 토대로 향후 해외 전압형 HVDC 시장 진출의 발판을 마련했다고 볼 수 있다. 업계는 향후 GW급까지 올리게 된다면 전압형 HVDC 분야가 전력 인프라 산업의 중장기 성장을 견인하는 핵심 기회로 손색이 없을 것으로 평가하고 있다.

③ 미래 먹거리로 육성할 Biz. 기회: 기술 개발·표준 획득

“
기술 성숙도는 낮지만
미래 성장 동력으로
평가되는 비즈니스
분야에서는 기술 개발 및
국제 표준 획득을 통해
경쟁력을 확보하는 것이
핵심적 ”

아직 상용화 전이거나 기술 표준을 마련하는 과정 중에 있어 시장 자체는 활성화되지 않았으나 미래 주요 기반 기술로 평가되는 분야는 중장기 성장 동력으로서 중요하게 다루어져야 한다. 이러한 예로 앞서 살펴본 비즈니스 기회 중에서는 DC 배전을 들 수 있다. DC 배전은 LVDC를 중심으로 MVDC까지 포함한다. 기술 발전 과정으로 보면 LVDC는 상용화 초기에 해당하고 MVDC는 상용화 준비 단계에 있는 상황으로, 본 보고서에서 다룬 여타의 비즈니스 기회와 비교해본다면 상대적으로 시장이 덜 형성되었으나 미래 전력 산업에서 직류 전기 시대의 중요성이 부각되고 있기에 중장기 성장 동력으로서 반드시 주목해야 할 기회라고 보여진다.

기술 개발 및 표준 획득 기반 글로벌 시장을 선점하기 위해 고려할 사항



국내 기업 및 정부는 LVDC 시장이 개화할 상황에 대비하고 있다. 한국형 마이크로에너지 그리드(K-MEG) 사업을 통한 LVDC급 배전선로의 실증을 시작으로 다양한 사업이 추진되고 있는데, 이러한 사업에 참여함으로써 국내 기업은 기술 경쟁력을 확보할 수 있다. 한국전력은 DC 배전을 실제 계통에 적용하여 DC 배전 사업모델이나 운영 기술이나 직류 마이크로 그리드의 설계 능력을 확보함으로써 향후 글로벌 시장을 선점하겠다는 계획이다. 또한 HD 현대그룹은 글로벌 R&D센터를 지으면서 세계 최초로 1MW급 상업용 빌딩 LVDC 시스템을 구축해 1년 넘게 운영한 결과 연간 전력 소모량을 4% 넘게 절감했음을 밝힌 바 있다. LS 일렉트릭은 LVDC 관련 전력 반도체 기반 변압기 및 차단기 개발을 통해 LVDC 시장을 선점하고자 한다.

MVDC 시장에서 우리나라는 국제 표준을 선도할 기회를 만들면서 시장 선점을 위해 적극 대응 중이다. 우리나라는 국제전기기술위원회(IEC)에 국내 MVDC 기술을 백서 주제로 제안했고 해당 기술이 백서 주제로 선정되면서 국내 주도의 표준화 전략을 수립할 뿐만 아니라 더 나아가 국제 표준을 선도할 기회를 얻게 되었다. 이러한 노력은 향후 MVDC 시장에서 기술 경쟁력 우위를 차지할 수 있는 초석이 된다는 점에서 고무적인 일이다.

지금까지 전력기기를 중심으로 전력 산업의 이슈, 주요 비즈니스 기회, 그리고 국내 기업이 전략적으로 고려해야 할 사항을 기술 및 시장 성숙도에 따른 특징을 토대로 알아보았다. 전력 산업은 수십 년에 한 번 나타나는 새로운 물결을 타고 나아가고 있다. 다행히 국내 기업은 물결이 흘러가는 대로 떠다니는 것이 아니라 물결을 잘 다루는 역량을 가지고 있다. 어디로 나아가야 할지 모르는 망망대해에서 본 보고서가 국내 기업이 전진할 방향을 고민하는 데 도움이 되기를 바란다.

비즈니스 기회 유형에 따른 전략적 고려사항과 국내 산업 동향

1 중단기 성장 주도	강력한 수출 시장을 확보가 최우선, 동시에 시장 다변화 모색	• 변압기: 강력한 수출 시장으로 미국 확보 + 중동·호주 등으로 다변화 • 전선: 미국 빅테크 자체 통신망 구축 니즈에 대응해 해저케이블 사업 추진
2 중장기 성장 견인 기대	기술력을 토대로 레퍼런스 축적이 최우선, 경험을 레버리지해 해외 시장 개척	• 스마트그리드: 세계 최초의 국가 단위 스마트그리드 구축을 목표로 5개 분야에서 기술 개발 추진 중으로 이후 베트남 등으로 해외 진출 계획 • 전압형 HVDC: 민·관 20개 기관이 컨소시엄으로 협력해 세계에서 5번째로 HVDC 기술 개발, 향후 GW급으로 기술 고도화해 해외 시장 개척 목표
3 미래 성장 동력 예상	기술 개발 및 국제 표준 획득이 최우선, 기술 경쟁력 확보해 미래 시장 선점	• DC배전(LVDC): 한국형 마이크로에너지그리드 사업을 통한 LVDC급 배전선로 실증, 상업용 빌딩 LVDC 시스템을 구축, 운영하며 기술 경쟁력 확보 중 • DC배전(MVDC): 국내 MVDC 기술이 IEC 백서 주제로 채택되어 국제 표준을 선도할 기회 확보

Business Contacts

전력 & 전력 인프라 전문팀

Audit

노상호

부대표

T 02-2112-7626

E sanghoroh@kr.kpmg.com

이정수

전무

T 02-2112-0572

E jungsoolee@kr.kpmg.com

김연정

상무

T 02-2112-0297

E yeonjungkim@kr.kpmg.com

이학범

상무

T 02-2112-6585

E hakbeomlee@kr.kpmg.com

전태웅

상무

T 02-2112-6592

E taeungjeon@kr.kpmg.com

Deal Advisory

김효진

부대표

T 02-2112-0393

E hkim68@kr.kpmg.com

홍민성

상무

T 02-2112-3564

E minsunghong@kr.kpmg.com

정유철

상무

T 02-2112-7753

E yuchuljeong@kr.kpmg.com

Business Consulting

이동석

부대표

T 02-2112-7954

E dongseoklee@kr.kpmg.com

허인재

상무

T 02-2112-3399

E ihur@kr.kpmg.com

home.kpmg/kr

The information contained herein is of a general nature and is not intended to address the circumstances of any particular individual or entity. Although we endeavor to provide accurate and timely information, there can be no guarantee that such information is accurate as of the date it is received or that it will continue to be accurate in the future. No one should act on such information without appropriate professional advice after a thorough examination of the particular situation.

© 2025 KPMG Samjong Accounting Corp., a Korea Limited Liability Company and a member firm of the KPMG global organization of independent member firms affiliated with KPMG International Limited, a private English company limited by guarantee. All rights reserved.

The KPMG name and logo are trademarks used under license by the independent member firms of the KPMG global organization.