

저압 DC 배전기술의 현황 및 전망

박건우 <(주)케이디파워 책임연구원>

1. DC 배전 개요

1880년 12월 “에디슨 전기 조명 회사”를 설립한 에디슨은 1982년 미국 뉴욕시의 Pearl Street에 발전소를 건설하고 1882년 9월 4일 맨하탄 59가구에 110볼트 직류 전기를 공급하는 전기 배전 시스템의 스위치를 손수 올렸다. 하지만, 테슬라가 정립한 교류의 장거리 송전 용이성 등으로 발전, 송전, 배전 시스템은 전 세계적으로 교류 방식이 사용되면서 쓰린 속을 앓던 직류는 디지털 부하, 저탄소 녹색성장을 위한 그리드 시장의 신재생에너지원과 분산전원 시스템을 만나 다시금 세상의 빛을 보기 시작했다. 전자 회로 등 직류의 특성이 필요한 기기 내부에는 교류를 정류하여 만든 직류가 광범위하게 사용되고 있는데 전력 계통을 DC로 바꾸어 배전하게 된다면 디지털 부하에 전력변환의 과정이 줄어 전력효율을 높일 수 있게 된다. 직류는 리액턴스 성분이 없어 무효전력으로 인한 손실이 없고, 주파수가 0이므로 표피효과가 없다. 전압이 일정해서 교류와 동일 전압 대비 절연을 낮출 수 있다는 경제적 이점도 있다. 이제야 에디슨이 품었던 알인 직류가 스마트한 세상을 맞아 부화하려 한다.

2. DC 배전 현황

신재생에너지원의 직류 전원과 직류 부하인 디지털

부하가 등장하고 또 증가하면서 교류 시스템 내에서 전원 설비와 부하 사이에는 직류/교류, 교류/직류의 불필요한 전력변환 단계가 발생하게 되었다. 만약 직류 전원설비에서 바로 직류 부하로 전력변환이 필요 없이 배전한다면 어떤 이점이 생길까?

직류배전의 논의는 태양광 발전설비의 확대와 전자 회로가 필요한 직류 부하들의 증가로 목마른 전력의 갈증을 해소하기 위해 본격적으로 이루어지기 시작했다. 기술이 발전되면서 ESS(에너지저장장치)를 통한 전기 에너지의 저장, IDC(Internet Data Center) 등 고품질·고신뢰성 전력이 필요한 빌딩의 등장, 마이크로그리드 등 독립전원망의 공급과 효과적인 계통 연계를 필요로 하게 되면서 교류시스템 대신 직류시스템이 해결할 수 있게 되었다. 또한, 전력 분야 기술이 발전되면서 직류시스템이 스포트라이트를 받자 굳이 교류시스템을 고집할 이유가 없다는 주장이 커지게 된 것이다.

교류는 시간에 따라 정현적으로 크기가 변하는 특성이 있는데 이는 진폭, 위상각이 모두 같아야 동일 전원으로 판단할 수 있기 때문에 동기화를 위한 문제가 발생하게 된다. 반면, 직류 전원의 경우 일정한 크기와 방향을 갖는 전원으로 그 크기만 같으면 같은 전원이라 할 수 있다. 따라서, 직류는 위상각을 고려하지 않아도 되어 교류에서 위상각이 조금이라도 다른 경우 상호 간에 복잡한 전기 현상이 발생하여 문제점

이 생기는 것 보다 간소함과 안정도가 높은 특성이 있는 것이다.

표 1. 직류배전과 교류배전의 특성 비교

항목	직류(에스스지)	교류(웨스팅하우스)
전압 변환	DC/DC 전력변환장치 필요	변압기를 이용하여 용이
송전 방식	2상 송전	회전기를 통한 3상 송전
보호 기기	아크소호에 불리	아크소호에 유리
절연 비용	교류보다 저렴	직류보다 1.4배
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	근접기에 유도 장애
전동기 비용	교류보다 고가	제작이 용이하고 가격 저렴

직류배전은 전력변환의 최소화를 통하여 에너지 효율성을 증가시킬 수 있다. 직류 발전 및 사용량이 증가할 경우 전력변환 단계의 감소로 손실을 줄일 수 있으며 이는 무정전 공급이 중요한 현장에서 전력 변환으로 인한 손실을 줄여 10~15%의 효율성을 향상할 수 있음을 의미한다. 신재생에너지원의 연계를 통해서도 약 2~10%의 에너지 효율성이 제고된다. 또, 전력변환 장치 제거를 통해 수변전 설비의 경량화 및 소형화를 이끌어 낼 수 있다. 이러한 직류배전의 장점으로 사업화 시 전기발전 및 소비가 직류와 교류의 혼용 운용이 될 것으로 예상하고 있다.

직류는 선로의 절연계급이 낮아 교류보다 경제적이고 송전에 교류보다 최소 1상이 적으므로 선로 구성 비용도 절감이 가능하다. 또, 교번하는 성분(주파수)이 없어 리액턴스 성분이 없으므로 무효전력도 발생하지 않고, 표피효과도 발생하지 않는다. 단순히 비교하면 직류송전이 교류송전보다 송전용량 상승, 송전 손실 저감, 환경적 적은 영향, 투자비를 줄일 수 있다

는 이점이 있는 것이다. 이러한 직류의 특성을 이용해 대용량의 장거리 송전, 도시 밀집 지역에서의 교류 계통간 연계 단락용량의 저감을 위해 활용되면서 HVDC(초고압직류송전)란 이름으로 활발히 적용되고 있다. 또한, 전력계통의 고장전류 저감 등 계통효율화를 위해 직류송전 시스템으로 HVDC는 효율적인 시스템으로 필요성이 높아지고 있다.

2.1 국내 DC 배전 현황

국내에도 그린에너지 전략로드맵 2011의 스마트 그리드 분야에 전략품목으로 DC 시스템이 포함되어 있으며, 핵심기술로써 DC배전망 설계 및 운영기술, DC 배전기기 제작기술, 실증기술, 법규 및 표준시험을 정의하고 전력 계통의 효율성, 안전성 확보를 위한 기술 필요성 대두되면서부터 HVDC 기술 도입을 진행하고 있는데 HVDC는 비동기계통, 장거리 전력 전송, 인위적인 조류제어가 가능하다. 국가 간 전력연계를 통한 전력공급안정성 및 경제성 확보와 신재생에너지 확대를 위한 국가 간, 지역 간 계통연계 등 그 활용도가 높으며 다양한 아이디어로 신시장이 형성되고 있다.

직류시스템은 이러한 송전급 뿐 아니라 배전급에서도 적용이 되는데 MVDC, LVDC 등으로도 새롭게 조명받고 있다. 앞서 설명한 내용과 같이 직류 부하에 전원을 공급하기 위해 교류 수전에 따른 부하단에서의 변환손실(AC/DC)을 줄여 계통의 효율을 높이는 것이다. 이러한 LVDC계통은 국내 수용가에 적용되거나 공장, 선박, 마이크로그리드 단지 등 독립망 구성을 통해 전력 수급이 용이한 곳에 적용이 될 전망이다. 한편에서는 배전급 기본개념으로 전압은 DC 1500V(mono-polar : 단극성) 또는 DC ±750 (bi-polar : 양극성), 공급용량은 50~300kW급으로 설정하고 있으며 앞으로 2015년까지 저압 장거리 직류배전 필요성 및 경제성을 분석하고, 최적 LVDC

표준전압 및 공급방식을 도출하는 한편 분산전원을 고려한 DC망 토폴로지를 개발한다는 계획이다. 또 2016년부터 2020년까지를 ‘저압DC 배전 실증 및 상용화단계’로 설정하고 DC 배전 보호 및 접지기술 개발, DC 배전기기 개발 및 표준화, 저압DC 배전 망 설계·구축·실증·상용화 등에 매진할 것으로 보인다.

또한, DC배전의 연구로 전력변환의 최소화를 통한 에너지 효율성의 증가를 목표로 DC배전을 활용하고 있으며, 2008년 KT 남수원 IDC에 직류배전을 적용하여 13.2%의 효율향상을 실증한데 이어 전자부품 연구원에서는 DC Home 구축 타당성검토를 수행한 결과 현재 옥내의 600V전선으로 400Vdc 공급이 가능하며 DC 공급 시 41% 용량 증대 효과가 있어 태양광 발전 및 전기자동차가 연계될 경우 5~6% 에너지 효율 상승이 가능한 것으로 확인하였다. 삼성물산을 중심으로 Active House(Green Tommorrow) 모델에 직류 배전을 적용한 프로젝트를 수행하였고, 최근 K-MEG 사업의 일환으로 서울대학교 K동을 DC배전 실증사이트로 구축하여 에너지 효율 검증을 수행 중이다. 신재생 에너지에 직류배전 시스템을 적용하여 전력변환의 감소로 에너지 효율이 약 10% 절감됨을 검증하기 위해 성공적으로 수행하고 있다. 이 서울대 K동은 교수연구실과 강의실로 사용되는 건물로 AC/DC 양방향 정류기를 활용한 DC전력과 신재생에너지(Roof-Top PV & BIPV)시스템에서 발전되는 DC전력을 통해 안정적인 380V DC전력을 건물 내 PC, 모니터, TV 및 LED조명시스템을 부하로 공급하고 있으며 공조 설비, 엘리베이터 등 현 DC기술로 구동이 어려운 설비에 있어서 불편함을 해소하기 위해 AC전력도 동시에 공급되는 하이브리드 방식으로 설계되었다.

현재 DC배전으로 진행 중인 사업들은 DC핵심 부품들에 대해서는 개발 내용에서 기업이 주도하여 개발을 진행하고, 핵심 기술별 산·학·연이 컨소시엄

형태로 사업을 진행하고 있으며 학·연에서 개발된 핵심 기술은 국내 전문 기업에 기술이전을 통해 전략 품목에 대한 국내 전문 업체를 육성을 목표로 하고 있다. 직류 송·배전 시스템은 조선경기 불황으로 향후 국내 대표 먹거리로 대두되는 해양 플랜트 및 대용량 해상풍력과 연계가 가능하여, 기존의 전력 인프라 개선 이 외에 직류 송·배전 시스템의 신사업영역 확보가 가능할 것으로 사료된다.

2.2 국외 DC배전 현황

국제적으로 DC배전에 영향력을 가진 위원회는 ‘IEC SMB SG4’로 확인할 수 있다. 이 위원회는 스웨덴 NC가 서울에서 열린 SMB(표준화관리이사회) 134차 회의에서 에너지 효율과 관련해 1,500Vdc 이하 저압직류(LVDC) 배전 시스템에 대해 전략그룹(SG)을 만들자고 제안한 것이 지지를 받아 2009년 9월에 벨기에 Wim De Kesel(현재 TC32 간사)을 의장으로 선출하여 구성되었다.

또한, 국제적으로도 에너지 문제 및 신재생에너지 보급 확대에 의해 전력시스템의 안정성 및 효과적인 제어 방법으로 DC배전에 대한 관심이 증대되고 있으며 효율적인 송전 시스템으로 HVDC시스템을 적극적으로 도입하고 있다. 미국 EPRI에서는 향후 디지털 부하의 급증에 대비하여 MicroGrid의 구성방식으로 교류와 직류계통을 동시에 선정하였고, 이미 다양한 전압의 직류공급이 가능한 지능형 변압기 시제품을 제작하였다. 전력변환 최소화를 통한 에너지 효율성 증가 연구를 목표로 로렌스버클리연구소(LBNL)에서는 IDC 380V DC 배전시스템을 통해 10~15% 효율 향상을 확인하였다. 직류빌딩 표준 선점을 목표로 Emerge Alliance에서 2009년 10월에 상업용 건물에 대한 플랫폼으로 24V DC표준을 발표하였고, SUN·NTT 등에서는 DC에 대한 표준 전압으로 300~550V를 제안하고 있으며, 미국

CPES에서는 300V와 48V DC전원으로 구성된 Test-Bed를 구축하여 효율을 검증하고 있다. 미국 Nextekpower는 'Hi-efficiency DC Lighting', 'Air Handling', 'Server Farms & datacenters', 'Emergency prepared Community centers' 이상 4가지 솔루션으로 DC배전 서비스를 상용화 진행하고 있다. 최근 DC배전 분야는 HVDC 도입 및 활용 분야 기술개발에 집중하고 있으며, 차세대 전력용 반도체 개발을 중심으로 미래 기술 대응 차원의 연구개발이 이루어지고 있다. 대부분의 연구개발은 EPRI와 ARPA-E 연구개발 자금을 통해 진행이 되고 있다.

DC배전은 다양한 용도와 거리, 용량의 프로젝트가 활발하게 추진되고 있는데 해저 케이블을 이용하거나 지중선을 이용한 전압형 등 국가간 연계 사례도 많고 해상풍력을 HVDC로 연계하는 프로젝트(8건) 추진 중에 있으며, 최근에는 대규모 태양광 발전단지를 HVDC로 연계하려는 새로운 아이디어도 시도되고 있다. 신재생에너지의 적극 도입과 국가 간 전력거래 활성화를 위하여 EU정부 차원에서 기술개발 및 적용을 추진 중이다. DC 배전망과 관련된 연구는 핀란드에서 가장 활발하게 진행되고 있다. 핀란드 Lappeenranta 대학에서 교류 방식과 다양한 직류 배전 방식의 특성과 효과를 비교 평가한 결과 전압 품질 향상과 송전용량 증대, 선로손실 저감이 가능하고, 특고압 분기 선로를 대체함으로써 건설비용 저감도 가능한 것으로 평가하였다. 핀란드 국립연구소인 VTT에서는 Distribution Network 2030에서 향후 배전망 구축에서 LVDC 도입 필요성을 제시하였다.

이탈리아 CESI에서는 2006년에 DC배전계통의 연구를 시작하여, 고장으로 인한 외란이 발생할 때와 정상상태에서의 특성을 분석하였으며 이후 400V의 LVDC 마이크로그리드를 제안하고 DC망의 제어 전략과 최적화방법을 연구하고 있다. 독일, 스웨덴, 프랑스는 미국, 일본과는 달리 자국 내의 수요는 적으나

SIEMENS, ABB, AREVA, ALSTOM과 같은 전력기기 분야의 우수한 제작업체를 보유하여 전 세계의 시장을 점유하고 있는 형태로 특히 스웨덴 ABB의 경우 세계 최초로 직류송전의 연구 개발에 착수한바 있고 SIEMENS와 AREVA도 직류송전의 제작, 건설, 운용, 엔지니어링에 많은 경험을 갖고 있다. 전류형 HVDC는 이미 성숙단계로 기술개발을 완료하였으며, 현재 전압형 HVDC의 대용량화 기술개발 및 상용화를 추진 중이다. 가까운 일본에서는 전력 주파수가 상이한 관동(50Hz)-관서(60Hz) 간의 계통연계 및 홋카이도, 시코쿠 등 주요 지역 간 전력전송을 위하여 HVDC 기술개발을 추진하고 있다. NEDO의 지원으로 NTT에서는 샌다이 프로젝트를 통한 마이크로그리드 실증사업에서 신재생원의 직류연계를 실증하였으며, 직류 IDC 사업이후 현재에는 스마트 커뮤니티를 위한 DC 실증사업을 추진 중에 있다.

중국에서는 매년 스웨덴의 전체 발전량과 맞먹는 용량의 발전소가 건설되고 있으며 이러한 수요를 감당할 수 있는 에너지원으로 수력발전을 사용하고, 생산된 에너지를 송전하는 방식으로 직류 송전 방식을 채택하여 사용하고 있다. 중국 내 대부분의 수력 에너지원은 서쪽 지역에 위치하고 있으나 대부분의 수용가는 반대편인 동쪽 및 남쪽 지역에 위치하고 있으며, 따라서 수력 발전소로부터 수용가까지 약 1,500km에서 2,000km의 거리를 송전해야 한다.

이러한 장거리 대용량의 전력 송전을 위해 중국은 최근 800kV급의 HVDC시스템을 활발하게 건설하고 있으며 대표적인 예로 Xiangjiaba - Shanghai 간 ±800kV 6,400MW HVDC시스템이 있으며, 송전거리는 약 2,071km에 달하며 2011년 상업운전을 개시하였다. 정부의 전폭적인 지원에 힘입어 향후 2020년까지 매년 ±800kV 5,000MW이상의 초대형 시스템을 계속하여 건설할 예정이며, 용량 기준 최고기록을 계속 갱신 중으로(6.4GW 운전 중, 7.2GW 및 8.0GW 건설 중, 10GW급 계획 중) 전압

형 HVDC의 경우도 pilot 단계에서부터 GW급으로 추진되고 있다.

3. DC 배전 문제점

전력 시장에서 DC배전은 아직 뜨거운 감자와 같다. 현재까지 직류는 IDC 직류배전을 통한 효율성 제고, DC배전 Building, DC배전 계통연계에 따른 외란 및 보호협조 등의 주제로 연구 및 상용화 과정이 진행 중에 있다.

첫째, DC배전 전압 표준 등 명확한 규정이 아직 제정되어 있지 않아 전기 설비 사양에 대한 규격조차 명확하지 않기 때문이다. 이 때문에 제품 개발 후에도 타당성에 대한 인증을 받기가 상당히 어렵다.

이러한 문제의 해소를 위해 직류 표준이 필요하다. 직류배전 사업이 세계적으로도 아직 초기 단계에 있는 만큼 관련 기술 주도 및 시장 선점이 기대되는 부분이 있으나 표준 기준전압, 플러그, 콘센트 등의 표준이 전혀 없어 상용화가 이루어지지 않고 있는 실정으로 이에 대한 표준화가 시급한 상황이다. 표준화를

이슈로 국내에서는 산학연 전문 위원으로 구성된 “직류배전표준화위원회”를 통해 국내 배전 표준화 항목에 대한 구체화 및 로드맵을 구축하여 표준 선정을 통한 직류배전 관련 분야의 육성과 산업 활성화를 위해 노력하고 있다. 표준을 위해 IEC에서도 직류시스템 표준화를 추진 중에 있으나 속도가 붙지 않고 있는 상황으로 추진을 위해 범국가적인 뒷받침이 필요한 상황이다.

둘째, DC부하로 사용할 수 있는 제품이 많지 않다는 점이다. 현재 DC배전 효율 검증을 위해 기존 AC 부하의 컨버터 부분만 교체하여 DC배전 시험용으로 활용하고 있다. 다양한 DC부하의 개발이 필요하나 시장 수요가 없고 DC배전 기반이 마련되어 있지 않아 활성화에 어려움이 있다.

이는 전력산업 시스템 특성상 직류 송배전 시스템이 국가적 주도와 관심이 필요함을 시사한다. DC배전 상용화 개발을 기업 주도의 기술개발로 진행하는 것도 중요하나 직류 송·배전 시스템의 경우 다양한 기술이 융합되어있어 시장의 형성이 한 기업이 주도하는 경우 다양한 기술개발이 저해되고 기업 위주의

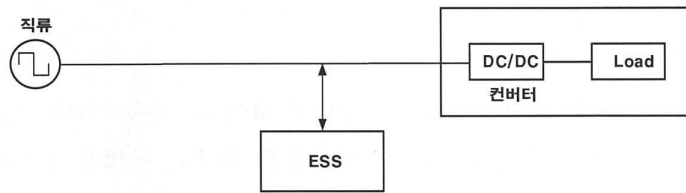


그림 1. 직류배전 시스템

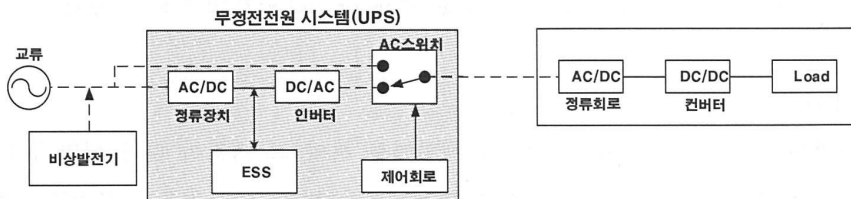


그림 2. 교류배전 시스템

편익을 줄 수 있는 문제점이 있다.

셋째, 직류 기술에 문제가 되는 아크소호 문제이다. 일반적으로 사용하는 스위치를 off하면 발생하는 서지전압으로 인해 아크가 발생할 수 있다. 직류에서는 영전류는 지나는 지점이 없기 때문에 한번 발생한 아크는 소멸 시간이 매우 길게 발생한다. 이때 국부적인 높은 열이 발생하는데 이는 아크용접과도 같은 원리로 전극의 파손 뿐 아니라 화재가 발생할 위험이 발생한다. 도통 시에도 순간적인 돌입전류의 크기가 교류에 비해 상당히 크다. 돌입전류방지 대책은 부하기에서 이루어져야하는데 아직 직류 제품(DC-LED, DC-PC, TV 등)에 돌입 전류 제한에 대한 규정이 없기 때문에 이 또한 문제가 된다. 이에 국내 실증 시 기존 교류 스위치를 사용할 수 없었고, 동일한 전기배선을 가지는 기계식 직류 스위치의 제작하여 진행이 필요했다. 직류 아크를 소호하는 효율적인 방안과 억제 를 위한 추가적인 기술 대안과 전류 제한에 대한 제도 적 대책 마련이 시급한 것으로 보인다.

4. 맺음말

전력사업은 지난 100여년간 교류(공급자) 위주로 발전이 되어왔다. 기술의 발전과 디지털 부하의 증가와 함께 전기 발전량, 소비량이 증가하면서부터 전력 산업은 직류 부하를 사용하는 소비자 중심의 시장으로 변화하고 있다.

19세기 직류배전 시스템이 구축되는 시장에 교류 전기가 잠식하기 시작하여 시작된 에디슨과 테슬라의 전류전쟁이 교류의 승리로 끝이 났다. 하지만, 21세기에 접어들어 직류가 다시 힘을 모으기 시작했다. 직류가 교류 시장에 스며들기 시작하면서 전력 분야 에너지 효율화를 이끌어 낼 것임을 확신하기에 전 세계 에너지 시장을 위한 에디슨과 테슬라의 2차 전류전쟁이 발발하길 기대해본다.

◇ 저 자 소개 ◇



박건우(朴乾禩)

2007년 8월 성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학부 대학원 졸업(전공 : 전력 계통). 2007년 9월~현재 (주)케이디 파워 융합연구소 책임연구원 재직 중.