

전력산업 신시장 개척을 위한 한전의 DC배전 추진노력



이승윤
한전 배전계획처 배전계획팀장

1 개황

최근 IT기술의 급속한 발전에 따라 디지털 기기가 일반화 되었고, IDC(Internet Data Center)와 같은 직류(DC) 전원을 필요로 하는 시설이 증가하는 추세이다. EPRI 보고서에 의하면 2020년 직류부하는 전체 부하의 약 50% 이상을 점유할 것으로 예상하고 있으며, 에너지 효율 향상 측면에서 직류(DC)의 중요성은 더욱 커지고 있다.

특히, 정부의 신재생에너지 확대 정책에 따라 태양광 등 분산전원이 급격히 증가하여 배전계통 연계가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 분산전원은 직류(DC)로 전력을 생산하고 있으므로, 기존 교류(AC)기반인 배전계통에 연계되기 위하여 별도의 변환단계(DC/AC)를 거치며, 이때 전력변환 손실이 발생한다.

만일 배전망이 직류(DC)기반일 경우, 직류로 생산된 전력을 교류로 변환하지 않아 분산전원의 효율적인 연계가 가능하고, 직류전원을 직접 공급함으로써 에너지효율을 높일 수 있을 것이다. 더불어 직류는 주파수가 없어 통신선의 유도장



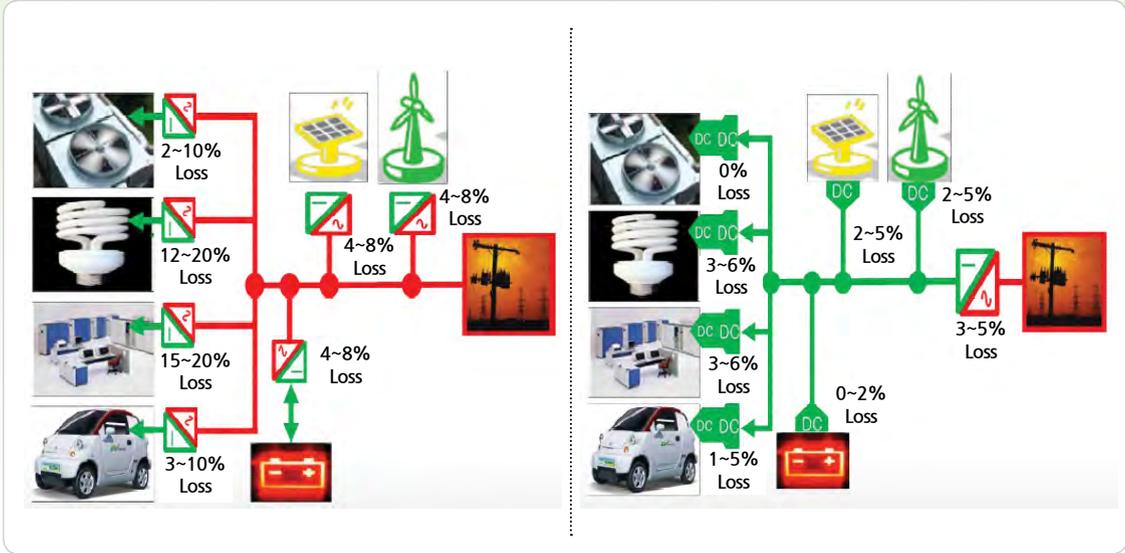


그림 1 교류(AC) 공급 개요(좌), 직류(DC) 공급 개요(우)

애가 발생하지 않고 기자재의 절연레벨을 낮추며 분산 전원의 연계용량을 확대시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

이처럼 직류전원의 장점이 부각되면서 직류기술의 관심은 전 세계적으로 증가하는 추세이며, 기술개발 초기 단계인 직류배전은 전력산업계 입장에서 미래 먹거리 개발분야로 주목 받고 있다.

2 현황

가. DC배전 추진현황

한국전력은 2010년부터 DC배전 비즈니스 모델을 개발하고, 로드맵에 따라 기술개발을 추진하고 있다. 최근 연구를 통해 저압 DC배전의 표준전압, 공급방식, 접지 등의 시스템 구성요소를 결정하였고, 현장적용을

위한 DC배전 실증인프라를 구축하고 있다.

1) 표준전압 및 공급방식 검토

저압 DC배전시스템의 표준전압은 전력손실, 용량, 전송거리 등 다양한 조건을 분석하여 1,500V(±750V)가 저압 DC계통에 적합하다는 결론을 얻었다. 반면 수용가 구내 표준전압은 표준화가 필요한 사항으로써 국내 표준전압은 결정되지 않았다. 하지만 전 세계적으로 240~400V로 표준을 선정하는 추세이고, 미국과 일본 등은 380V를 표준전압으로 선정할 예정이다.

공급방식은 한쪽의 극성(Pole)이 차단되더라도 다른 극성으로 전력공급이 가능한 Bi-pole 방식이 적합하다. 이와함께 현재 배전계통에서 분산되어 있는 수용가에 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 다중 터미널 인버터 구조가 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

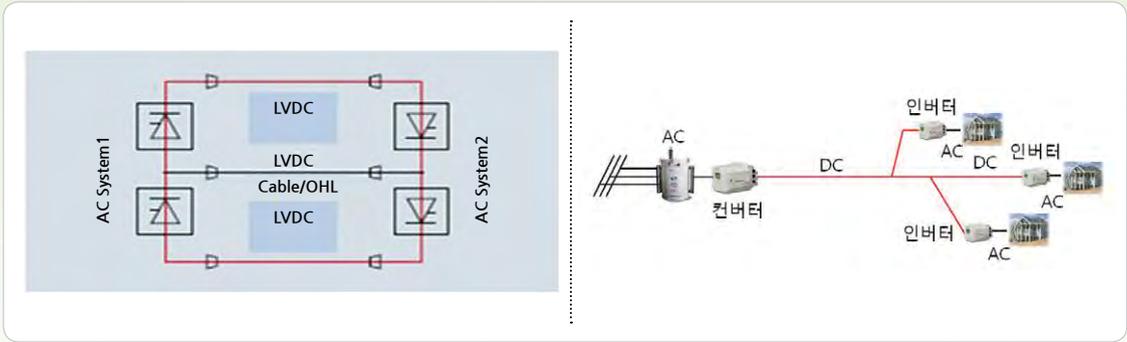


그림 2 Bi-pole 방식(좌), 다중터미널 인버터 결선방식(우)

2) 접지, 보호 및 기자재 검토

저압 DC배전시스템 접지의 경우 전식을 방지하고 안전측면에서 가장 유리한 IT(Impedance Terra) 접지 방식이 적합하며, 접지 설치 및 유지보수 비용을 절감할 수 있어 경제적으로도 유리한 것으로 나타났다. 케이블, 전선, 보호기기 등의 기자재는 기존 교류시스템의 기자재를 적용할 수 있는 것으로 검토되었다.

3) 직류배전용 전력변환기 설계

저압 DC배전시스템에 적용할 정류기는 고효율 및 응답특성을 고려하여 3레벨 PWM AC-DC 컨버터로 설계하였고, 50kW 시제품 제작 및 시험을 통해 성능을 확인하였다. 최종적으로 단락보호 및 전류제한 기능을 추가하여 저압 DC용 300kW 정류기를 설계하였고, DC부하용 DC/DC 컨버터는 고효율을 고려한 LLC 공진형 컨버터 및 양방향 동작이 가능한 Dual Active Bridge(DAB) 컨버터를 제작하였다.

4) 직류배전망 해석

AC/DC 하이브리드 시뮬레이터를 통해 저압 DC배전시스템의 전력품질을 분석하였고, PV, BESS 및 EV 연계에 대한 DC계통의 안정성도 확인하였다. 태양광 밀집 지역의 경우, DC배전이 전압 유지측면에서 유리하고 이로 인한 분산전원 연계용량을 확대할 수 있는

것으로 분석되었다. 추가적인 전압 유지를 위해 필요한 ESS 용량을 도출함과 동시에 DC배전시스템에서의 전압 안정화를 위한 ESS 용량은 AC배전시스템 대비 적은 것으로 나타났다.

나. 국내 기술동향

DC시스템은 정부의 ‘그린에너지 전략로드맵(2011년)’에서 전략품목으로 선정되었고, 핵심기술로써 ‘DC 배전망 설계 및 운영기술, DC 배전기기 제작기술’을 정의하는 등 DC 기술개발의 중요성이 강조되었다.

국내 DC기술은 장거리 송전에 있어 HVDC가 먼저 상용화되었고, 지하철 및 경전철에 DC 750~1500V가 적용되고 있다. DC배전 분야는 산·학·연을 중심으로 활발하게 기술개발이 추진되고 있다. 학계에서는 DC배전 기술의 경제성 및 타당성에 대한 연구를 진행하고 있고, 전력변환기 및 차단기의 설계, DC기반 전력시스템의 운영 및 보호기술에 대한 연구를 추진하는 한편, MVDC-LVDC의 계통연계 가능성과 저압 DC기술의 상용화에 대해서도 연구를 추진하고 있다.

산업계에서는 IDC(Internet Data Center) 빌딩 구내를 DC화하여 전기에너지 효율향상 검증을 추진하였고, 태양광으로 발전된 직류전원을 주택 내 DC설비에서 소비하는 제로에너지 하우스 실증을 완료한 바 있다. 또한, DC배전을 건물 에너지 관리시스템에 적용하

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

여 신재생에너지 및 에너지저장장치 직류배전 통합기술을 개발하였으며, DC배전 그린빌딩 구조시스템의 설계기준을 마련하여 DC배전 건축물의 시장성 확보에 노력하고 있다. 기자재 제조사를 중심으로 직류변환기 및 차단기 등 하드웨어 개발을 통한 기술완성에도 주력하고 있다.

연구기관에서는 DC홈 테스트베드를 구축하여 AC 대비 DC전원 공급의 타당성 연구를 통해 에너지효율 향상을 입증한 바 있으며, 고효율 및 고신뢰성이 확보된 IDC 실증 테스트베드 플랫폼 구축을 통해 IDC의 소비전력 저감 및 구내 DC배전 표준화 연구를 진행 중이다. 또한, 13.2kV 3상 전력용반도체 및 대용량 고객용 수배전시스템을 개발하고 있으며, DC배전망 전압제어 알고리즘 등 DC배전 기술의 상용화에 앞장서고 있다.

다. 글로벌 기술동향

세계 각국의 DC배전 공급을 위한 추진사례를 살펴보면, 핀란드 VTT(Technical Research Centre of Finland)는 '2030 전망'을 통해 『DC 저압배전과 DC 마이크로 그리드』 도입을 제안했으며, Suur-Savon Electric사는 2011년부터 장거리 저부하 AC선로를 저압 DC선로로 전환하는 실증시험을 추진하고 있다.

ABB에서는 2013년부터 'Nupharo Park 프로젝트'를 통해 MVDC-LVDC 통합 전력공급 모델 실증사업을 추진하고 있으며, 이를 통해 DC기반의 새로운 비즈니스 모델을 발굴할 예정이다.

독일의 Eon에서는 RWTH대학교 공동으로 MVDC 급 기술개발을 추진하고 있으며, 전력용 반도체 응용변압기, 고효율 전력변환기, DC 케이블 및 MVDC급

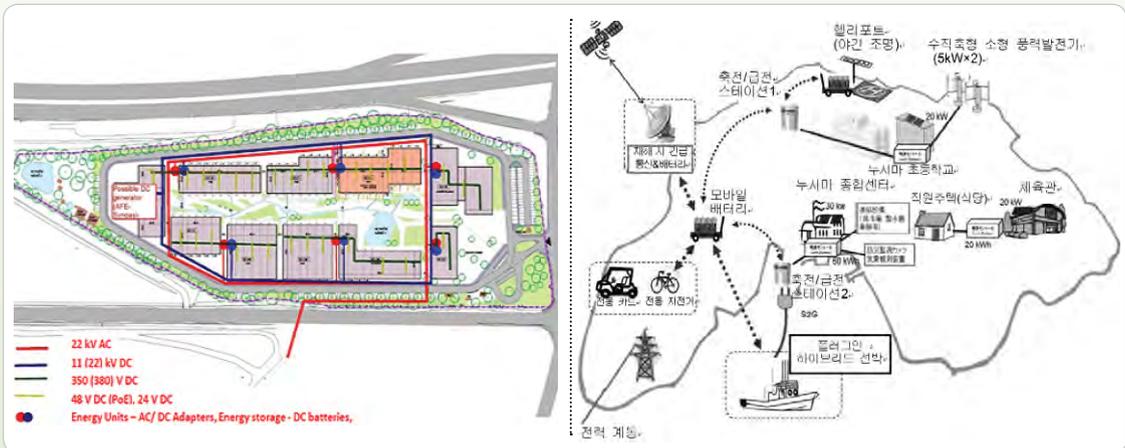


그림 3 ABB Nupharo Park(좌), Nushima Island DC 마이크로그리드(우)

기술을 개발해 10MW 용량의 MVDC 배전 실증선로 건설을 추진하고 있다.

일본의 NTT에서는 400V DC배전을 위한 플러그와 소켓 등을 개발하여 실증시험을 마친 상태이며, DC전력을 기반으로 하는 2개의 스마트시티 실증 프로젝트를 추진하고 있다. 고베 대학교에서는 지구온난화 대책 기술개발 실증연구사업의 일환으로 정부의 지원을 받아 누시마섬에 DC 마이크로그리드를 구축하여 직류전원의 효율성 연구를 추진하고 있다.

3 향후 계획

가. DC배전 실증인프라 구축

한국전력은 그동안의 연구성과를 바탕으로 DC배전 핵심 요소기술의 완성을 위해 고창전력시험센터에 『DC배전 실증인프라 구축』을 추진 중에 있다. 실증인프라는 총 4C-km의 모의선로로 구성되며, 태양광 및

ESS 등 신재생에너지를 연계하고 DC Home 및 DC부하 연계를 통하여 발전원부터 부하까지 직류배전망을 구축할 예정이다.

이를 통해 분산전원 DC연계 및 조류제어 기술을 검증하고, 전력변환장치 등 다양한 DC배전 기술을 실증할 계획이다. 실증인프라는 DC배전 기술의 테스트베드로 활용되고 다양한 Track Record를 확보하여 세계적인 수준의 기술력을 갖추는 초석이 될 전망이다.

나. DC 독립섬 비즈니스 모델 개발

아울러 DC배전 실증인프라 구축이 완료되면 DC배전 기술의 사업화를 위한 첫 단계로 소규모 도서지역을 선정하여 신재생에너지원과 연계된 DC 독립섬을 구축할 계획이다. 계통이 독립된 지역의 신재생에너지 직류발전원을 배전계통으로 수송하고, 고객설비를 DC화함으로써 전기의 생산부터 소비까지 DC화가 이루어질 전망이다. 또한, DC배전망 보호기술 및 실시간 운



그림 3 ABB Nupharo Park(좌), Nushima Island DC 마이크로그리드(우)

영기술 개발을 통한 DC배전망 종합 운영기술도 확보 될 것으로 기대된다. 이처럼 신재생에너지와 연계한 DC 독립섬 비즈니스모델은 도서지역의 에너지자급률을 향상시키는 동시에 원격지 및 독립지역의 경제적인 전화(電化)사업 모델로 자리 잡을 수 있을 것이다.

4 전망

DC배전은 전 세계적으로 기술개발 초기단계에 있다. 이에 핵심기술 개발, 표준화 등 기술선점을 통한 글로벌 경쟁력 확보가 요구되며, 상용화까지 적지 않은 시간과 초기 투자비용이 소요될 것으로 전망된다.

분산전원의 연계용량을 확대하고, 국가적 에너지 효율 향상을 위해 DC배전 확대기반을 조성해 나가야 한

다. 기술개발 또한 MVDC급까지 확대해야 할 것이다. 아울러 전력산업계 뿐만 아니라 IT, 전자 및 가전업계를 포함한 산업 전반의 협력을 확대해 나갈 경우, DC 배전산업이 창조경제의 중심으로 자리 잡을 수 있을 것으로 전망된다. 또한 이를 통해 우리 전력산업계가 초기 글로벌 DC배전 시장을 선도해 나갈 수 있는 토대로 작용할 전망이다. 