



전류형 HVDC 시장 현황 및 기술 동향

이경빈

LS산전(주) 연구소
HVDC연구단 선임연구원



정용호

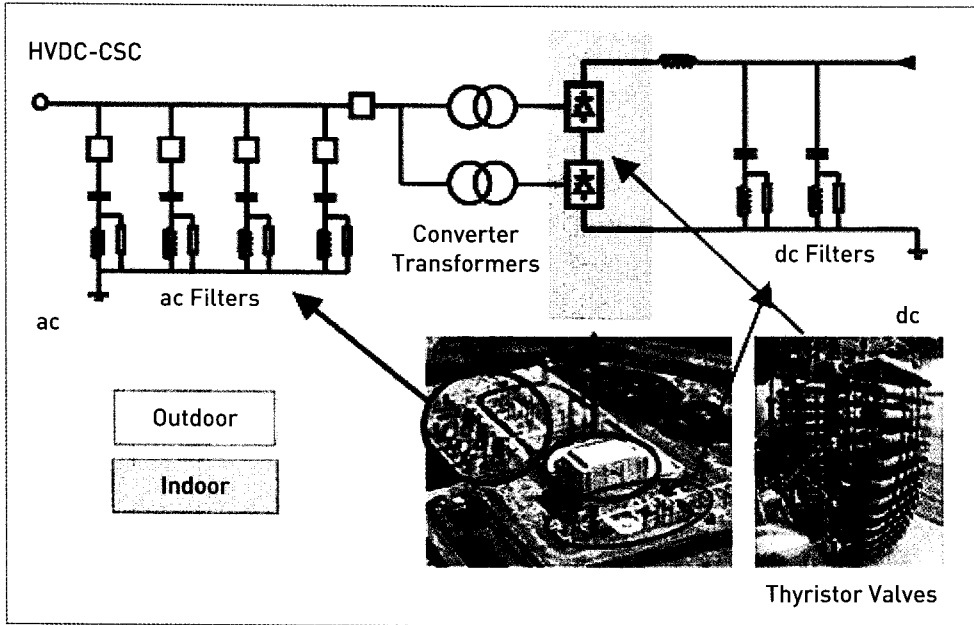
LS산전(주) 연구소
HVDC연구단 부연구위원



1. 서론

장거리 대용량의 전력 전송, 주파수가 다른 국가 간 전력망 연계, 각 나라별 지역별 계통 분리, 신 재생에너지와의 계통 연계 등 기존 AC 계통에서 해결하기 어려웠던 문제점들이 HVDC가 가지고 있는

특유의 장점으로 해결되고 있으며 최근에 들어서는 이러한 HVDC 개발과 건설이 세계 각국에서 경쟁적으로 개발/연계되고 있다. 본 기고에서는 전류형 HVDC의 전세계적인 발전 방향과 시장 흐름을 살펴 보고 국내 기술 개발 현황, 신재생 에너지와 전류형 HVDC시스템의 연계, 그리고 앞으로 우리나라



[그림 1] 전류형 타입의 HVDC 컨버터

라가 나아갈 방향에 대해서 살펴 보기로 한다.

2. 전류형 HVDC 시스템의 발전

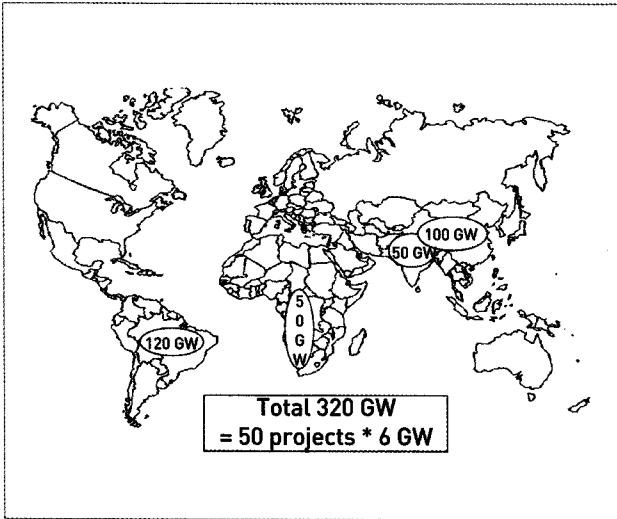
그림 1은 사이리스터 스위칭 소자를 사용한 전형적인 전류원 HVDC 시스템의 구성을 나타내고 있다. 교류를 직류로 변환하기 위한 Converter Transformer와 Thristor Valve, 점호각에 사용에 따른 고조파 및 무효전력 보상을 위한 필터 및 캐패시터 뱅크, 직류 전류를 평활하기 위한 평활 리액터 및 DC 필터로 구성되어 있다.

1954년 세계 최초로 ASEA에 의해 스웨덴 본토와 Gorland의 섬 사이를 전류형 HVDC 시스템을 이용한 상용운전 이후, 지금까지 전류형 HVDC 시스템은 많은 연구와 기술 개발을 바탕으로 송전전압과 송전 전력이 크게 증가되어 왔다. 기존 전류형 HVDC 시스템은 100kV~500KV의 전압과 100MW~수백 MW의 송전 용량으로부터 시작하

여, 근래에는 약 1000km 이하의 송전거리에서 600kV의 직류 송전 전압을 사용하여 수백 MW에서 약 1500MW의 전력을 송전하였다. 최근 들어 송전 거리가 더욱더 장거리화되고 요구되는 송전용량이 2,000MW~7,000MW까지 증가하였고, 이에 따른 송전 손실증가로 인하여 더 높은 전압이 필요하게 됨으로써 현재는 전 세계적으로 800kV급 직류송전 방식을 상용화되어 전력 전송시스템에 도입하고 있는 실정이다. 향후 10년간은 고전압 장거리 송전용으로 800kV급 HVDC시스템이 표준화되어 사용될 것으로 예상하고 있으며 그 수요 또한 빠르게 증가할 것으로 예상된다.

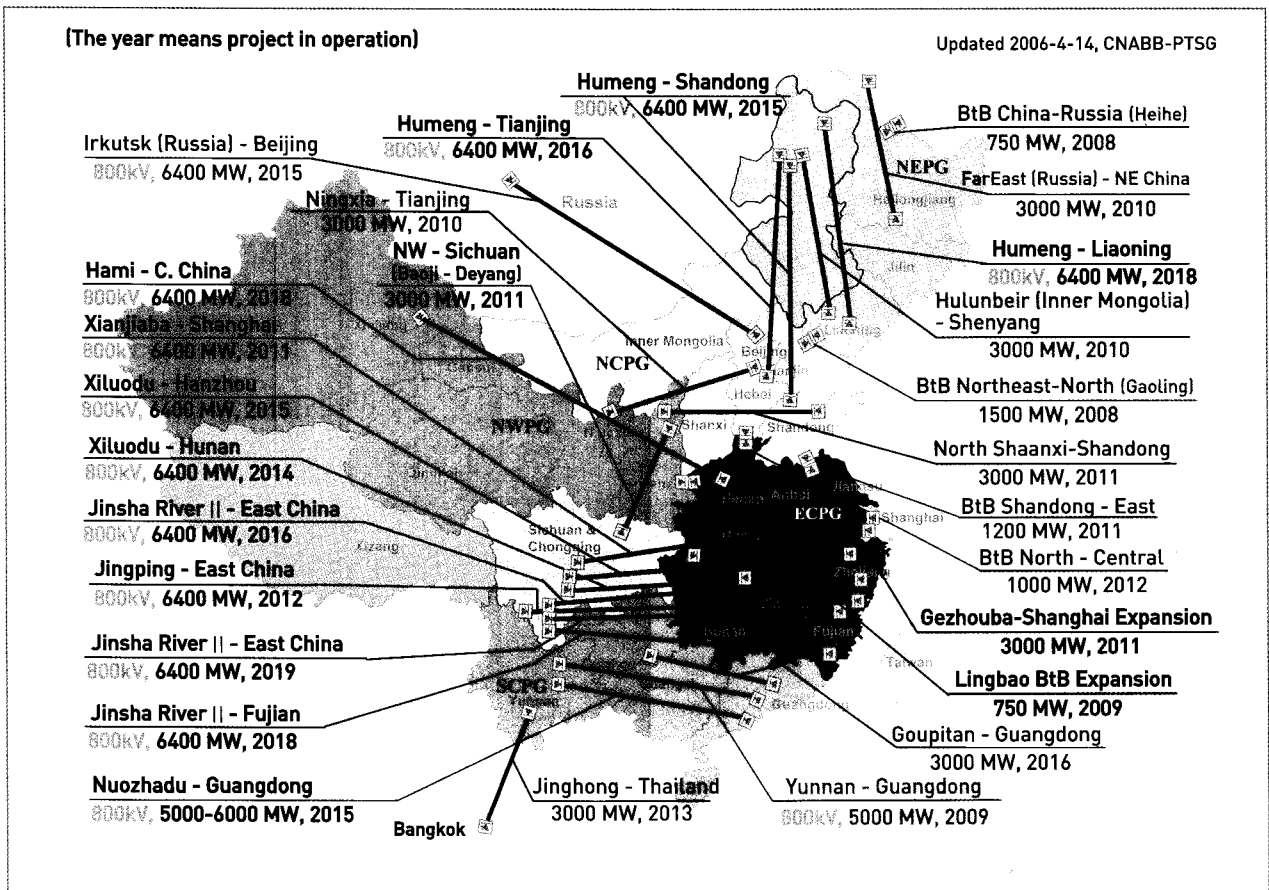
3. 전류형 HVDC 시장의 현재와 미래

현재 전세계적으로 약 9조원에 달하는 HVDC 시장이 형성되어 있으며 ABB, SIEMENS, AREVA가 전세계 시장의 약 95%를 점유하고 있다. 또한

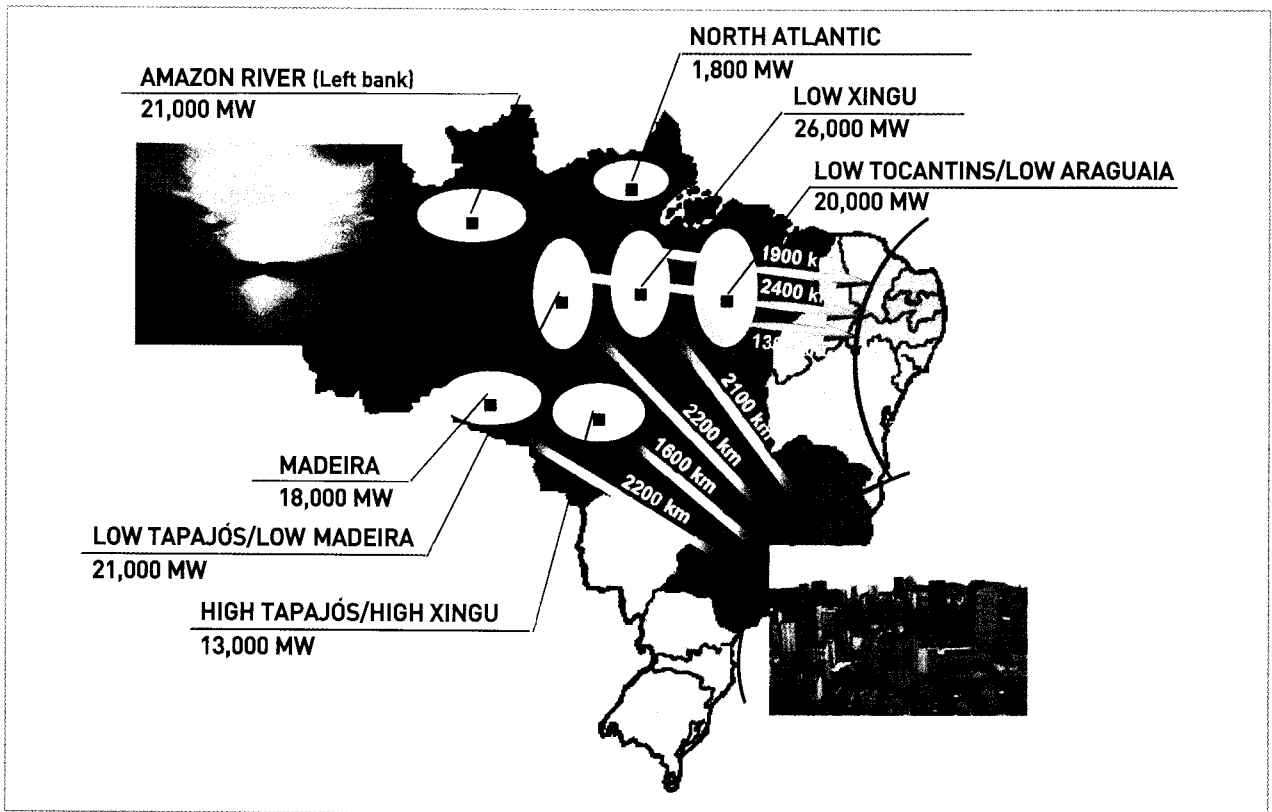


[그림 2] 2020년 이내 건설 예정 ±800kV HVDC Project Total Capacity

약 24개국에서 61개의 HVDC Project를 건설하고 있거나 계획하고 있다. 최근에는 중국 내부에 HVDC 핵심 기술 분야별 전문 업체가 3~4개 등장하여 활발한 비즈니스를 전개하고 있는데 조만간 ABB, SIEMENS, AREVA가 주도하는 HVDC 시장의 판도가 크게 바뀔 것으로 예상하고 있다. 그림 2는 현재 전세계에서 건설 중이거나 건설 예정인 800kV급 HVDC Project의 용량을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존 유럽과 미국뿐만 아니라 최근에 중국, 인도, 브라질 및 남아프리카에서도 수천~수만 MW급 HVDC건설에 대한 수요가 급증하고 있다.



[그림 3] 2020까지 중국 내 800kV급 HVDC 건설 Project



[그림 4] 2020년 내 브라질에 건설 예정 HVDC Project

그림 3은 중국에서 현재 건설 중이거나 2020년 까지 건설 예정인 800kV급 HVDC Project를 나타 내고 있다. 중국에서는 매년 스웨덴의 전체 발전량 과 맞먹는 용량의 발전소가 건설되고 있으며 이러 한 수요를 감당할 수 있는 에너지원으로 수력발전 을 사용하고 있다. 또한 이러한 수력 발전을 에너지로 송전하는 방식으로 직류 송전 방식을 채택하여 사 용하고 있다. 중국 내 대부분의 수력 에너지원은 서 쪽 지역에 위치하고 있으나 대부분의 수용가는 반 대편인 동쪽 및 남쪽 지역에 위치하고 있으며, 따라 서 수력 발전소로부터 수용가까지 약 1,500km에 서 2,000km의 거리를 송전해야 한다. 이러한 장거 리 대용량의 전력 송전을 위해 중국은 최근 800kV 급의 HVDC시스템을 활발하게 건설하고 있으며 대 표적인 예로 Xiangjiaba - Shanghai간 ±800kV

6,400MW HVDC시스템을 들 수 있다. 송전거리는 약 2071km에 달하며 2011년 운전을 목표로 하고 있다. 중국에서는 향후 2020년까지 매년 ±800 kV, 5,000MW~6,400MW급의 HVDC 시스템을 계속하여 건설 할 예정이다.

인도에서도 중국의 경우와 마찬가지로 풍부한 수 력 에너지를 이용하여 매년 발전용량을 늘리고 있으며 수력발전소는 인도의 동남쪽에 위치하고 있 고, 수용가는 약 2000km이상 떨어진 곳에 집중되 어 있다. 따라서 송전손실을 줄이고 안정도를 확보 하기 위하여 수력발전소와 수용가를 연결하는 800kV, 수천 MW급의 HVDC시스템을 건설하고 있으며 2020년까지 매 2년 간격으로 6000MW급 HVDC 시스템을 건설하려는 계획을 가지고 있다. 마찬가지로 브라질과 남아프리카에도 800kV, 수

천 MW급의 HVDC시스템이 건설 중이거나 건설예정에 있다. 그림 4는 브라질에 건설 중이거나 건설예정인 HVDC Project를 나타낸 것이다.

이와 같이 전세계적으로 초 장거리 대용량 송전을 위한 800kV급 HVDC송전이 표준화되고 있는 추세이다. 아울러 세계 각국에서는 송전 손실을 더욱 줄이고 송전용량을 극대화 시키기 위한 1000kV 이상의 HVDC 개발도 활발하게 진행하고 있다.

4. 국내 전류형 HVDC 개발 현황

우리나라는 1998년 AREVA(구 ALSTOM)사를 통하여 제주와 해남 사이에 $\pm 180\text{kV}$, 300MW급 HVDC를 설치하여 현재 운영 중에 있다. 또한 AREVA사를 통하여 올해 초 제주-진도간 $\pm 250\text{kV}$ 400MW급 HVDC시스템 건설을 시작하여 2011년 준공을 목표로 진행 중에 있다. 그러나 아직까지 국내의 자체 기술로 HVDC 시스템을 설계하여 건설한 경험은 전혀 없는 상태이다.

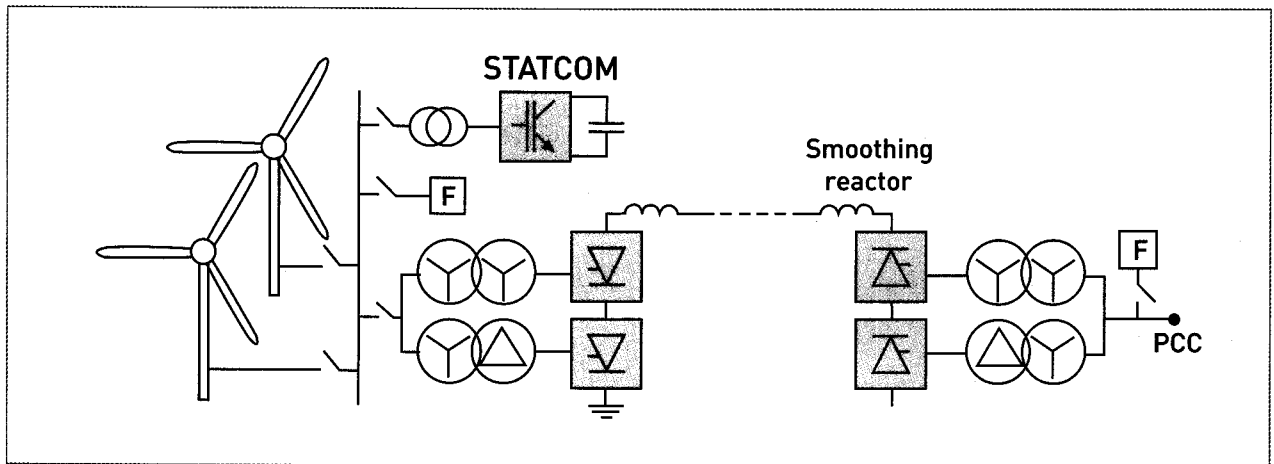
전 세계뿐만 아니라 지금까지 우리나라를 둘러싸고 있는 러시아, 중국 및 일본에 비하여 우리나라는 상대적으로 DC 송전분야의 기술수준이 매우 취약한 상태였으며, 이러한 상태에서 신재생 에너지 연계사업이나 동북아 국가 간 HVDC연계사업 등을 추진하게 되면 설계, 건설 및 운영 단계에서 우리의 입장은 치명적으로 약화될 수밖에 없는 실정이다. 이러한 상태가 지속될 경우, 세계적으로 시장이 빠른 속도로 성장되고 있는 HVDC 송전 관련기술을 개발할 수 있는 기회를 상실하게 될 것이 우려된다. 이에 2009년 11월 30일 한국전력, LS산전, LS전선, 대한전선이 공동으로 HVDC 국산화 기술개발 협동연구를 위한 양해각서(MOU)를 체결하고

HVDC핵심기술 개발과 사업화에 공동으로 노력하기로 하였다. 또한 2011년 12월까지 제주특별자치도내 한림 풍력단지 - 한림 C/S를 연계시키는 $\pm 80\text{kV}$ 60MW급 HVDC 실증단지를 구축하는 프로젝트를 착수하고, 변환 및 송전설비의 국산기자재 개발을 위한 협동연구를 진행하여 HVDC 기반 기술을 확보하여 독자적인 직류송전기술을 확보할 예정이다.

특히 LS산전은 이를 토대로 단계적으로 $\pm 250\text{kV}$, $\pm 500\text{kV}$ 급 기술을 확보해 나간다는 전략을 수립하고, HVDC 개발이 완료되면 사업송전분야 사업영역을 확장하는 동시에 대규모 태양광 발전 단지, 해상풍력 발전 단지 등의 신·재생에너지와의 계통 연계 측면에서 핵심 사업인 그린비즈니스의 한 축으로 자리매김할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

5. 그린 에너지 연계 관점에서의 전류형 HVDC 시스템

그림 5는 대표적인 그린 에너지인 해상 풍력 발전과 전류형 HVDC의 연계를 나타낸 것이다. 전류형 HVDC 전송 시스템은 해상풍력 시스템의 기동을 위한 AC 전원이 필요하며 무효전력과 유효전력의 독립적인 제어가 불가능하며, 또한 고조파 제거를 위한 필터를 사용함에 따른 시스템의 크기가 증가하기 때문에 해상풍력 연계 시스템에 대해서는 많은 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 새로운 형태의 해결방안이 제시되었는데 일명 하이브리드 HVDC 전송 방법이다. 이러한 방법은 그림 5와 같이 전류형 HVDC와 STACOM를 결합하여 사용하는 형태로서 STACOM은 HVDC의 전류에 필요한 전압을 제공함과 동시에 무효전력을 공급하게 된다. 또한 과도 상태에서 해상풍력 유효



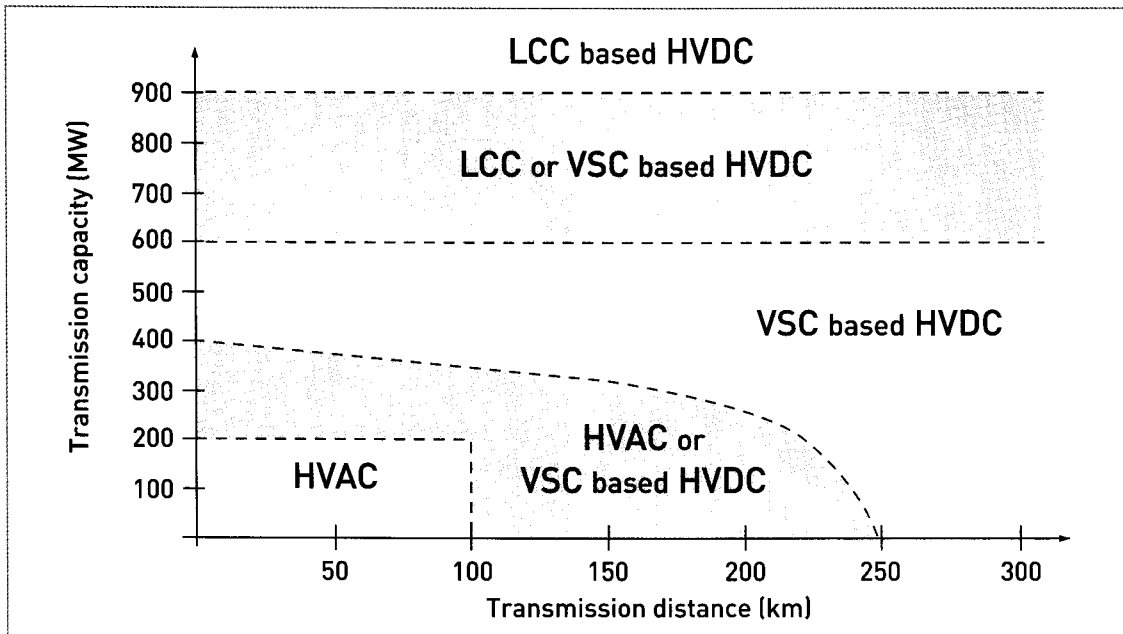
[그림 5] 전류형 HVDC를 이용한 해상풍력 시스템

전력의 요동을 제한시켜 주는 역할을 담당한다. 또한 필요에 따라서는 STATCOM 대신에 축전지 에너지 저장 장치(Battery Energy Storage System)를 사용하여 유효전력, 무효전력을 동시에 제어할 뿐만 아니라 풍력발전의 큰 단점인 발전 전력의 큰 변동분을 흡수하는 역할까지 수행할 수 있게 해준다. 특히 한국의 경우에는 해상풍력 단지 인근에 섬이 위치한 경우가 대부분이기 때문에 해상풍력 단지와 섬 사이는 AC Cable로 연결하고, 섬과 육지 혹은 섬과 전력 최대 사용처인 수도권을 대용량 전류형 HVDC로 연결하는 방법이 적극적으로 검토되고 있다. 이는 전류형 HVDC가 일반적으로 해상풍력에는 전압형 HVDC에 비해서 불리한 점도 많이 있지만 해상 풍력발전에서 발생한 대용량 전력을 장거리 송전하는 경우나 한국처럼 육상에 송전 선로를 추가로 건설하는 경우에 민원 문제로 인하여 쉽지 않은 환경에서는 바다를 경유하는 해저 케이블 방식의 HVDC 송전이 유력한 대안으로 떠오르고 있다 이러한 경우에 전압형 HVDC 보다는 전류형 HVDC가 여러 가지 요인으로 인하여 훨씬 유리한 입장에 놓여있다.

전류형 HVDC는 전압형에 비해 오래 전부터 개

발되어 온 기술이기 때문에 보다 기술적으로 안정적이며, 높은 신뢰성과 유지보수가 쉽다. 또한 전류형 HVDC는 전압형 HVDC에 비해 손실의 30~50%에 불과하고 보다 적은 비용으로 높은 전력을 보낼 수 있다. 현재 200MW급 이하의 시스템에서는 그 목적에 따라 전류형과 전압형 HVDC가 선택적으로 사용되고, 250MW급 이상의 시스템에서는 전류형 HVDC시스템이 대부분 사용되고 있다. 향후 해상풍력 단지가 대용량화되고 수용가까지의 거리가 장거리화 될수록 전류형 HVDC를 사용하게 될 것이며, 우리나라에서도 해상풍력 연계를 위한 전류형 HVDC시스템의 개발이 반드시 필요한 상황이다.

그림 6은 전압형 HVDC가 충분한 가격 경쟁력을 가졌을 때의 해상 풍력단지 거리와 송전용량에 따른 송전방식 선택에 대한 그림이다. 해상 풍력단지가 육지에서 100km이상 되는 경우는 거의 없다고 생각해도 되기 때문에 주로 송전용량에 의해서 경제성이 결정된다. 200MW이하 송전에서는 HVAC가 경제적이며, 그 이상에 대해서는 손실의 증가와 정전 충전 전류의 증가에 따른 손실의 증가로 인하여 HVAC의 사용은 제한적일 수 밖에 없다. 전압형



[그림 6] 거리와 송전용량에 따른 송전 방식 선택

HVDC는 400MW~600MW 송전 용량에 대해서 가장 경제적 것으로 분석되고 있으나, 현재 기술의 한계는 거리는 약 50km, 송전 용량은 200MW 정도의 수준이다.

전압형 HVDC는 제어의 어려움과 손실이 전류형에 비해 2~3배 가량되며 시스템이 전류형 HVDC보다 고가이기 때문에 각 프로젝트의 상태에 따라서 전류형과 전압형을 선택하여 사용한다. 특히 900MW급 이상의 대규모 풍력단지에서는 전류형 HVDC가 가장 신뢰성 있고 경제적인 대책이며 앞으로 풍력단지가 대형화 될수록 전류형 HVDC시스템이 더욱 널리 사용될 것으로 예상된다.

6. 결론

본 기고에서는 전류형 HVDC 시스템 발전의 세계적인 흐름과 시장 동향에 대한 내용을 다루었다.

아울러 국내에서 한국전력과 LS산전에서 진행 중인 60MW급 HVDC시스템 및 신 재생 에너지와 전류형 HVDC 시스템의 연계에 대한 내용도 다루었다. 전압형과 전류형 HVDC는 사용 목적과 경제성 분석 원리에 따라 독자적인 영역을 구축하고 있으며 상호 보완적인 관계이다. 현재 전세계적인 흐름으로 볼 때, 장거리 대용량의 전력 전송이나 전력 계통을 분리하는 Back-to-Back HVDC 시스템에 있어서는 전세계 대부분의 나라가 전류형 HVDC시스템을 도입하여 송전망을 구축하고 있으며, 이에 우리나라에서도 시급히 독자적인 HVDC 기술을 개발해야 할 것이다. 현재 한국전력과 LS산전에서 공동으로 전류형 HVDC기술을 개발하고 있으며 반드시 HVDC기술의 국산화를 달성해야 할 것이다. 또한 이를 통해 향후 직류 송전의 세계적인 추세와 흐름을 선도할 수 있어야 한다. KEA