

## HVDC 차단기 필요성과 연구개발 동향

**정영환\***, 황휘동\*, 김병철\*  
(주)효성 중공업연구소

### Necessity and R&D Trends of HVDC Circuit Breaker

Young-Hwan Chung\*, Hwi-Dong Hwang\*, Byoung-Choul Kim\*  
Heavy Industrial R&D Center, HYOSUNG\*

**Abstract** - 본 논문에서는 태양광, 해상풍력 등 신재생 에너지 증가에 따른 HVDC Grid의 가능성을 소개하고, HVDC Grid에서 HVDC 차단기의 필요성을 언급하며, 유럽 선진사의 개발동향과 차단방식에 따른 비교 및 당사의 연구개발 진행상황을 간략히 소개하고자 한다.

#### 1. 서 론

몇 년전 후쿠시마 원전사태로 인해 원전에 대한 불안감이 증가함과 동시에 지구온난화 문제를 해결하기 위해 저탄소 에너지, 즉 신재생 에너지를 전력 공급원으로 적극적으로 도입하려는 움직임이 전 세계적으로 활발히 일어나는 추세이다. 또한 전력을 사용하는 수용가가 갈수록 기하급수적으로 증가하고 밀집되고 있지만 대부분 수용가들은 발전원들과 거리상으로 멀리 떨어져 있기 때문에 전력공급의 효율이 갈수록 떨어지고 있는 상황으로 전 세계의 전력 관련 전문가들은 이를 보다 효과적으로 해결하기 위한 방안으로 HVDC 기술을 이용하는 것을 적극 검토하고 있으며, 이미 많은 프로젝트들이 계획되거나 진행되고 있다.

예로써 최근 유럽에서는 북아프리카의 사막에서 태양열에 의해 생산된 전기에너지를 유럽의 전력 공급원으로 활용하는 프로젝트(Desertec project)와 북해의 풍력단지에서 생산된 전기에너지를 HVDC에 의해 유럽으로 송전하는 수퍼 그리드에 대해 많은 논의가 되었으며, '10년 12월에는 북해를 인접하고 있는 유럽 10개국을 수퍼 그리드를 구축키로 합의하고(North Seas Countries' Offshore Grid Initiative, NSCOGI) 유럽 대부분의 전력회사, 중전기업체, 대학, 연구기관들은 이를 실현하기 위해 머리를 맞대고 연구개발을 추진하고 있는 상황이다.

우리나라에서도 유럽과 마찬가지로 갈수록 전력난은 심화되고 있으며, 원전에 대한 불안감, 송전철탄 건설에 대한 반대가 사회문제까지 이슈화될 정도로 효율적인 전력수급 문제는 더 이상 다른 나라의 문제만은 아니라는 점은 이미 우리도 경험하고 있는 실정이다. 결국 전 세계적으로 발생하는 이러한 전력수급 문제는 과거에 풀어왔던 방식으로는 이미 한계에 봉착해 있는 상황으로 유럽의 연구기관들은 HVDC Grid를 대안으로 준비중이다.

'11년 CIGRE Working Group B4.52에서는 HVDC Grid의 feasibility를 검토하였고, HVDC Grid가 충분히 가능하다는 검토 결과를 발표한다. 그러나, AC에서와 마찬가지로 지락사고 및 단락사고에 의한 계통 고장을 차단하기 위한 솔루션이 필요하며 그 솔루션의 하나가 바로 HVDC 차단기이다.

본 논문에서는 현재까지 발표된 문헌을 바탕으로 HVDC차단기의 필요성과 유럽 중전기 메이커들이 주도하고 있는 HVDC차단기 개발동향을 소개하고 당사의 추진상황도 밝히고자 한다.

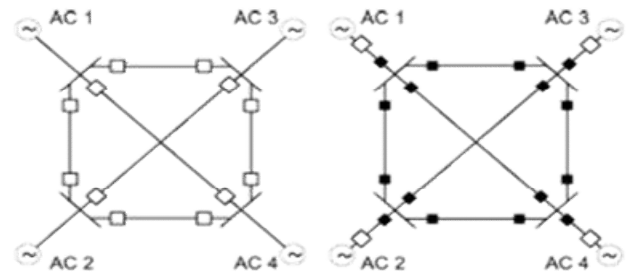


〈그림 1〉 유럽 수퍼그리드 및 Desertec project

#### 2. 본 론

##### 2.1 HVDC 차단기 필요성

HVDC차단기의 필요성은 두가지 관점에서 생각해볼 수 있다. 첫 번째로 계통 구축 측면에서 초기에 투자되는 비용을 단순 비교해보면, 그림 2.(a)와 같이 Full Bridge방식의 HVDC 컨버터를 이용한 HVDC Grid의 경우와 그림2.(b)와 같이 Half Bridge방식의 HVDC 컨버터와 HVDC차단기를 이용한 HVDC Grid를 비교해 볼 수 있다. 표 1에서 같이 HVDC 차단기를 이용했을 경우가 HVDC 컨버터만을 이용했을 경우의 87% 수준으로 Grid구축이 가능하다고 볼 수 있으며, 여기에 고려되지 않은 Full Bridge방식의 송전 loss(1.5%이상)까지 고려하고 HVDC차단기의 cost가 저자들이 제시한 cost보다 더 낮아질 수 있는 점까지 고려한다면 격차는 더 크게 벌어질 것으로 판단된다.



〈그림 2〉 4-Terminal HVDC Grid 예  
(□:HVDC 컨버터, ■:HVDC 차단기)

〈표 1〉 HVDC Grid 투자비 비교

	HVDC 컨버터를 이용한 HVDC Grid	HVDC 차단기를 이용한 HVDC Grid
HVDC 컨버터 (A)	1800M€ (150M€×12EA)	600M€ (150M€×4EA)
HVDC 차단기 (B)	-	960M€ (30M€×32EA)
Total Investment Cost (A+B)	<b>1800M€</b> <b>(100%)</b>	<b>1560M€</b> <b>(87%)</b>

두 번째로 HVDC 계통에서 지락이나 단락사고가 발생하면 고장전류가 급격히 상승하게 된다. HVDC Grid의 고장 전류 분석과 관련된 문헌에 따르면, 이러한 고장 전류는 ms당 최대 수십kA까지 상승하는 것으로 분석되고 있다. 결국 이를 적절한 시간내에 차단하지 않으면 HVDC 컨버터에 복구 불가능한 손상을 입힐 수 있기 때문에 HVDC 계통에서 가장 큰 비중을 차지하는 컨버터를 보호하기 위해서는 수 ms내에 고장전류 차단이 가능한 HVDC 차단기가 필요로 된다. 물론 Full Bridge방식의 컨버터인 경우 고장 전류 차단이 가능하다고 알려져 있으나, 정상 운전시에 송전 loss가 Half Bridge방식에 비해 높기 때문에 HVDC 차단기가 개발된다면 Half Bridge방식의 컨버터가 가격면에서나 송전효율면에서나 우수하므로 HVDC Grid에서는 Half Bridge방식의 전압형 HVDC가 채택될 가능성이 높을 것으로 판단된다.

##### 2.2 HVDC 차단기 연구개발 동향

연구개발 동향을 소개하기에 앞서 HVDC차단기의 차단방식을 설명할 필요가 있다. CIGRE B4.52에서 발표한 Technical Brochure[1]에 의하면

HVDC차단기는 크게 4가지의 차단방식으로 분류할 수 있다. 차단시에 발생하는 아크 전압을 계통전압보다 높게 상승시켜서 차단하는 역전압 방식(Inverse Voltage Generating Method, 이하 IV방식으로 약칭)과 L-C 공진회로를 이용한 전류 공진 방식(Divergent Current Oscillation Method, 이하 CO방식), 고장 전류의 에너지를 흡수/소화시키는 전류 전환 방식(Current Commutating Method, 이하 CC방식), 마지막으로 역전류를 주입시켜 강제 전류 영점을 생성시켜 차단하는 역전류 방식(Inverse Current Injecting Method, 이하 IC방식)이 있다. 물론 이러한 차단방식의 정의는 다시 CIGRE Working Group(A3/B4.34)에서 재검토/정의되고 있으며 내년 CIGRE에서 Technical Brochure로 발간될 것으로 생각된다.

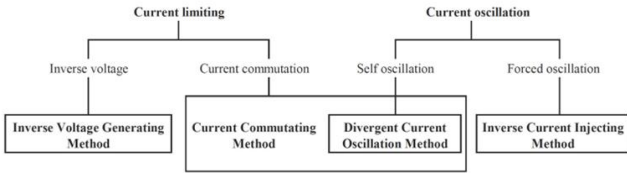
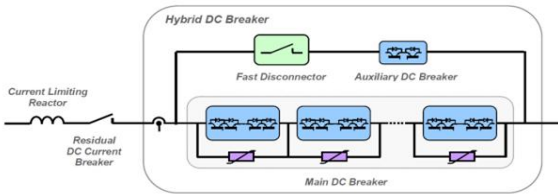


Figure H.2: Classification of DC interrupting methods.

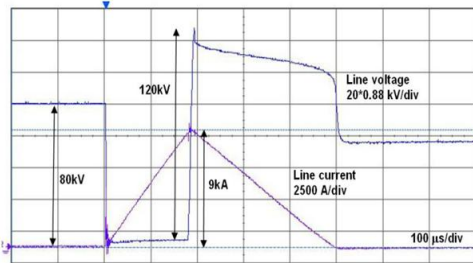
〈그림 3〉 DC차단기 차단방식 분류

### 2.2.1 ABB

ABB는 '12.11월 "A 100-year old engineering puzzle is solved"라고 대대적으로 발표하면서 자신들의 HVDC차단기 Topology(그림 4)와 차단시험 결과(그림 5)를 발표하였다.

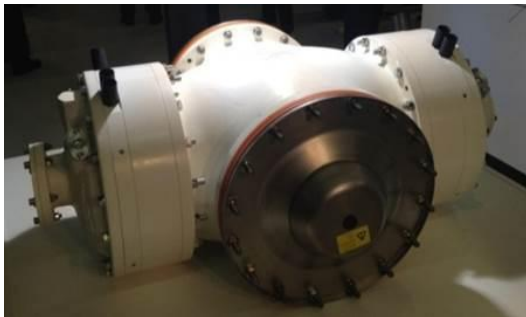


〈그림 4〉 ABB HVDC 차단기 Topology(CC방식)



〈그림 5〉 ABB HVDC 차단기 차단시험 오실로그래프

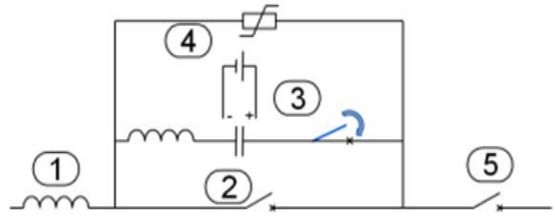
그리고, ABB는 작년 Hannover messe에서 320kV Fast Disconnector를 공개하였다.(그림 6) ABB의 Topology(그림 4)는 Main Breaker를 IGBT가 담당하고 있으며, 사고 전류가 모두 Main Breaker로 commutation된 후에 Fast Disconnector가 open하므로 기본적으로 아크가 발생하지 않는 구조이며 그림 6과 같은 사이즈로 충분히 가능하다.



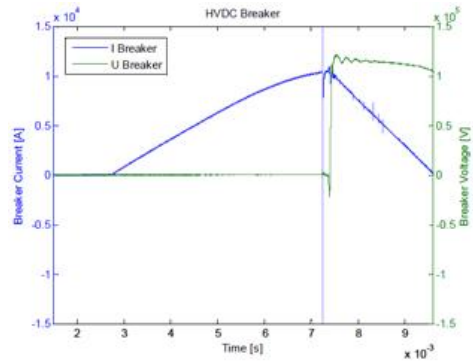
〈그림 6〉 ABB 320kV HVDC 차단기용 Fast Disconnector

또한 ABB는 작년 CIGRE에서 IC방식에 해당하는 HVDC차단 시험결과도 발표하였다.(그림 8) '12년에 발표한 방식은 정상 운전시에 전력만

도체를 통하여 전력을 공급하기 때문에 On-state loss가 계속 발생할 수 밖에 없지만, IC방식은 기본적으로 정상 운전시에는 AC차단기와 같이 Mechanical Switch를 통해서만 송전하므로 On-state loss가 발생하는 문제는 원천적으로 해결되는 장점이 있다.



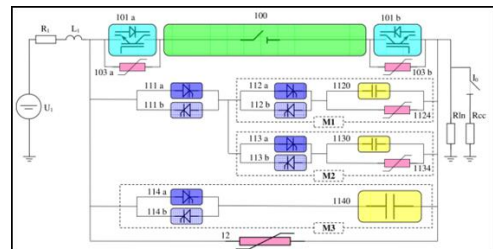
〈그림 7〉 ABB HVDC 차단기 Topology(IC방식)



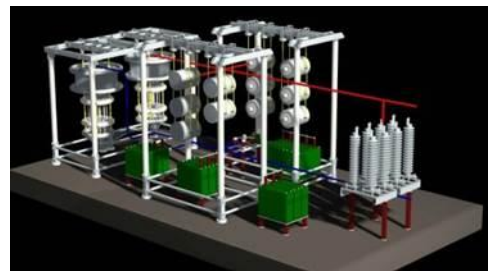
〈그림 8〉 ABB HVDC 차단기 차단시험 오실로그래프

### 2.2.2 ALSTOM

ALSTOM은 '10.4월부터 시작된 TWENTIES project를 통해 DC차단기 개발을 추진하였으며, 작년 CIGRE에서 공식적으로 DC차단기 Topology(그림 8)와 차단시험 결과를 발표하였다. TWENTIES project에는 ALSTOM 뿐만 아니라, 유럽의 여러 국가들의 계통 운영 기관, 대학/국가 연구기관, 발전사, 중전기 업체 등 약 26개 기관이 참여하였다.



〈그림 8〉 ALSTOM HVDC 차단기 Topology(CC방식)



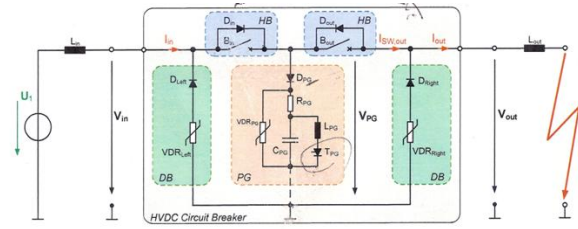
〈그림 8〉 ALSTOM HVDC 차단기 Prototype

ALSTOM HVDC차단기도 ABB와 마찬가지로 정상 운전시에 전력만 도체(IGBT)를 경유하게 되므로 On-state loss가 발생하는 단점이 있다.

### 2.2.3 SIEMENS

SIEMENS는 현재 Full Bridge방식의 컨버터가 고장전류 차단이 가능하기 때문에 Full Bridge방식의 컨버터로 대응/흡수를 하고 있지만, 특허를 조사해본 결과 그림 9와 같은 HVDC차단기 Topology를 출원하였고 비공개적으로 HVDC차단기에 대한 검토를 하고 있는 것으로 파악하고 있다.

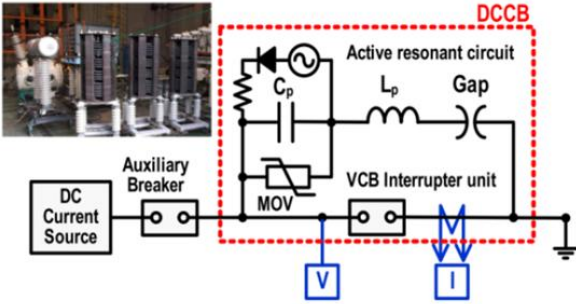




<그림 9> SIEMENS HVDC 차단기 Topology(IC방식)

### 2.2.4 MITSUBISHI

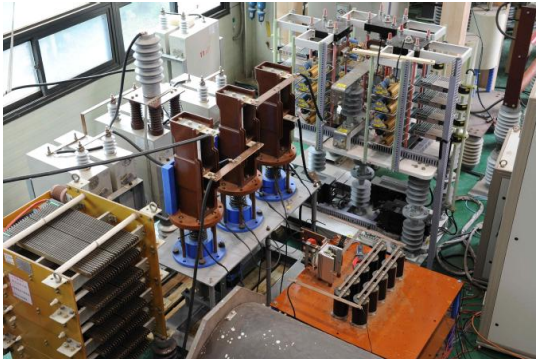
MITSUBISHI는 '14년 5월 AORC-CIGRE에서 IC방식의 Topology로 Feasibility를 확인한 결과를 발표하였다.



<그림 10> 미쯔비시 HVDC 차단기 Topology(IC방식)

### 2.2.5 전기연구원

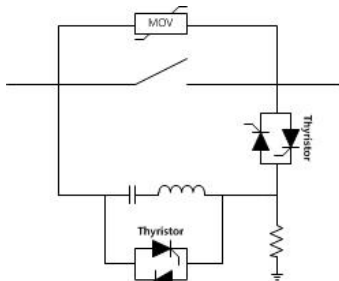
전기연구원은 국내에서 가장 먼저 HVDC차단기 개발을 시작하였으며, 최근 33kV급 Prototype 개발을 완료하였다.



<그림 11> 전기연구원 HVDC 차단기 Prototype (CC방식)

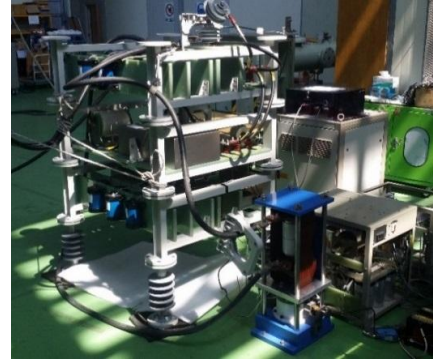
### 2.2.6 ㈜효성

당사에서는 '13.7월부터 과제계획에 착수하여 9건의 Topology 아이디어를 고안, 특허출원하였으며, 그림 12와 같은 역전류 방식의 DC차단기 Topology를 당사의 Topology로 채택하였다. 당사 Topology의 장점으로는 정상 운전시에는 Mechanical Switch가 close되어 있는 상태로 운전되므로 ABB와 ALSTOM과 같은 CC방식에 비해 on-state loss가 없는 장점이 있으며, 전력반도체는 Thyristor를 이용하기 때문에 IGBT를 사용한 ABB와 ALSTOM에 비해 가격면에서 저렴한 장점을 가질것으로 판단하고 있다.

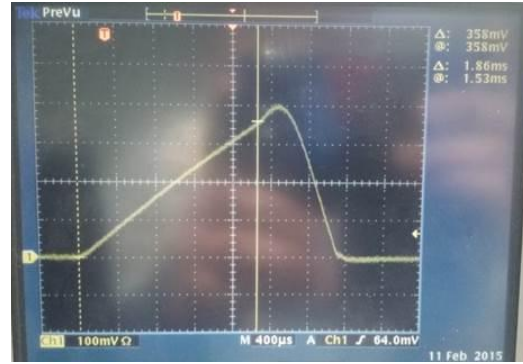


<그림 12> ㈜효성 HVDC 차단기 Topology(IC방식)

'14년 2월부터 Small scale의 prototype(그림 13)을 설계/제작하였으며 '15년 2월 간이 합성차단 시험설비를 이용하여 Topology의 Feasibility를 확인하였다(그림 14). 올해부터는 수십kV의 MVDC급 차단기 Prototype 개발을 통해 HVDC 차단기에 필요한 고압화 후보 기술을 검증/개발할 예정이며, 필요 기술 개발이 완료되는 2018년부터는 본격적인 상용 HVDC 차단기 개발에 착수하여 전문가들이 전망하는 2020년까지 HVDC 차단기를 확보할 예정이다.



<그림 13> ㈜효성 HVDC 차단기 small scale prototype



<그림 14> ㈜효성 HVDC 차단기, DC차단시험 오실로그래프 (5kA, 2ms 차단성공)

## 3. 결 론

지금까지 HVDC Grid와 관련된 HVDC 차단기의 필요성과 유럽 선진사들의 연구개발 동향을 간략히 소개하였다. HVDC 차단기는 송전 효율을 극대화하기 위한 방법인 HVDC Grid의 실현을 전제로 하고 있기 때문에 기본적으로 on-state loss가 없는 방식이 되어야 하고 HVDC계통의 가장 중요한 기기인 컨버터를 적절한 시간내에 고장전류와 전압으로부터 보호할 수 있어야 한다. 결국 AC차단기의 경험에서와 마찬가지로 HVDC계통에서 어떠한 고장이 발생하고 이러한 때에 어느정도의 고장전류/전압이 발생하는지에 대한 검토 등이 반드시 선행될 필요가 있다고 판단된다.

그리고, 유럽의 사례를 보더라도 고가의 전력반도체가 사용되는 HVDC차단기는 기업체에서 단독으로 개발하기에는 비용면으로나 개발기간면에서나 여러모로 리스크가 큰 아이টে인 것은 사실이다. 또한 전력계통에서 사용되어야 하는 아이টে이기 때문에 반드시 계통의 보호체계와도 연동되어 개발되어야 하는 아이টে이라 할 수 있다. 최근 우리나라에서도 동북아 슈퍼그리드에 대한 논의가 이뤄지고 있는 만큼 유럽 전력회사들이 주도했던 TWENTIES Project와 같은 대형 국책과제를 통해 관련 기술을 보유한 연구기관, 기업체, 대학이 연합하여 개발하는 것이 필요하다고 생각된다.

### [참 고 문 헌]

[1] CIGRE Working Group B4.52, "HVDC Grid Feasibility Study", 2013.4