

제주 HVDC#3 영향 분석

박정수*, 정홍주, 김준성, 서인영
(주)효성 중공업연구소

The effect of HVDC#3 on Juju Power System

Jungsoo Park, Hong-Ju Jung, June-Sung Kim, In-Young Suh
Power & Industrial Systems R&D Center, Hyosung Corporation

Abstract - 최근 발표된 제5차 전력수급계획에 의하면 제주도에 3번째 HVDC 연계선 설치가 계획되고 있다. 이전까지 설치된 2개의 HVDC는 LCC(전류형) HVDC로써 안정적이고 우수한 성능으로 제주지역의 전력 수급에 기여를 했지만 전압 불안정 문제를 초래할 가능성을 가지고 있다. 따라서 3번째 HVDC는 VSC(전압형)으로 설치하는 것을 고려해야 한다. VSC HVDC는 유효 전력의 동시 제어 가능하다는 장점이 있으나 비싼 가격과 높은 변환 손실, 그리고 작은 용량으로 제한적인 용도로만 사용되어 왔다. 그러나 최근 Multi-Level Converter 기술이 적용되면서 이전의 많은 문제들이 해결되었다. 이 논문에서는 VSC HVDC의 최신 동향에 대해서 간략히 소개하고 제주 전력망에 VSC HVDC가 설치되었을 때의 효과에 대해서 논의하고자 한다.

1. 서 론

제5차 전력수급기본계획에 의하면 2016년 진도-제주 간에 HVDC #3가 설치되어 운전(200MW)될 예정이다. 따라서 제주 전력망은 지난 2000년부터 운전 중인 해남-제주 간 HVDC #1(150MW)과 2012년에 운전 예정인 진도-제주 간 HVDC #2(250MW)에 이어 HVDC #3까지 최대 600MW의 전력을 HVDC를 통해 육지로부터 공급받게 된다. 이는 2016년 제주 지역의 최대 부하 예측량 826MW의 72.6%에 해당하는 양으로써 사실상 남제주 기력을 제외한 거의 대부분의 발전기들이 휴전 상태에 들어가게 된다.

이러한 계통 운영은 제주 지역 내 순동 무효전력 예비력의 감소를 가져오게 되며 신제주, 한라의 50MVA STATCOM과 같은 새로운 전압 제어 방안을 추가로 마련해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 HVDC #3를 기존의 LCC(전류형) HVDC가 아닌 유효전력의 제어가 모두 가능한 VSC(전압형) HVDC로 설치하게 되면 이러한 문제를 원천적으로 해결할 수 있다.

본 논문에서는 VSC HVDC 기술의 최신 동향에 대해서 소개하고 제주 HVDC #3가 설치된 2016년 제주 전력 계통의 PSS/E 시뮬레이션을 통해 VSC HVDC가 설치되었을 때의 장점에 대해서 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 VSC HVDC 최신 동향

아래 표 1은 LCC와 VSC HVDC의 특성을 비교한 것이다. 이 표에서 볼 수 있는 것처럼 VSC는 여러 가지 장점들을 가지고 있으나 LCC에 비해 역사가 짧아 아직 용량이 작고 높은 스위칭 주파수(PWM)로 인해 변환 손실이 크며 가격이 비싸다는 단점이 있어 일부 제한적인 용도로만 사용되어 왔다.

그러나 최근 기술의 발전으로 인해 HVDC 시장에 새로운 변화가 일어나고 있다. 첫 번째로 Multi-Level Converter 기술이 적용된 VSC HVDC가 상용화 되면서 변환 손실이 LCC와 대등한 수준인 1.x%로 감소되었다. 이 방식은 기존 PWM 방식에 비해 스위칭 주파수가 낮기 때문에 Switching Loss를 현저히 감소시킬 수 있다. 이 기술의 선두 주자는 Siemens로써 2010년 미국 캘리포니아 Trans Bay Cable Project(400MW, ±200kV_{DC}, 85km)에 세계 최초로 Multi-Level 방식의 VSC HVDC(HVDC PLUS)를 설치/운영하는데 성공한 이후 현재까지 총 4개의 Project를 추가로 수주하였다. 최근에는 Alstom Grid 또한 개발에 성공하여 HVDC MaxSine이라는 이름으로 제품을 내놓고 있으며 2014년 미국 Tres Amigas Superstation에 750MW의 BTB를 설치하는 계약을 체결 하였다.

두 번째로는 VSC HVDC가 점점 대용량화 되어 가고 있다. 최근 Siemens는 France-Spain 간 INELFE Project(2×1GW, ±320kV_{DC}, 60km Land Cable)를 수주하여 2013년 Commissioning 예정에 있다. 그 외에도 2014년까지 Commissioning 예정인 Big 3의 전체 수주 Project들을 살펴보면 400MW~864MW 용량에 이르고 있다. 이러한 시장 추세로 보

아 이제 1GW 이하 용량에서는 VSC HVDC의 기술 또한 LCC HVDC 만큼 안정화에 접어들었다고 할 수 있다.

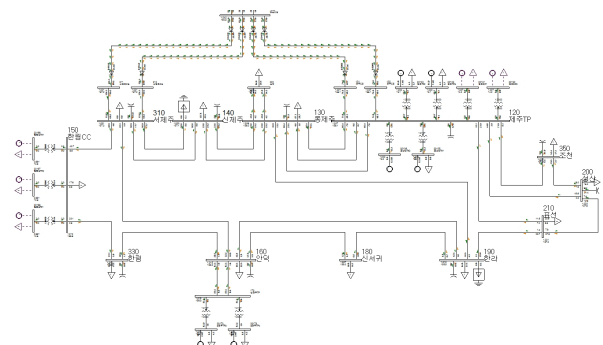
세 번째로는 VSC와 LCC HVDC 컨버터 Station 간의 가격 차이가 점점 줄어들고 있다. 기존에는 VSC HVDC의 가격이 LCC에 비해 약 1.5배였으나 최근 자료에 의하면 이 가격 차이가 20~25% 수준으로 감소하였다. 여기에 LCC HVDC의 경우 소요면적이 넓고 무효 전력 보상장치가 추가로 설치되어야 하며 Cable은 오히려 더 비싸다. 따라서 전체 Project 비용을 고려했을 때 어느 제품이 더 비싼지는 단정 지어 말할 수 없게 되었다.

〈표 1〉 LCC와 VSC HVDC 비교

		LCC	VSC (PWM)
반도체 소자		Thyristor	IGBT
AC 전압 제어		불가능	가능
무효 전력 보상장치		필요	불필요
고조파 필터	AC	큼(저차 고조파)	작음(고차 고조파)
	DC	큼	아주 작거나 불필요
면적		큼	작음
송전 방향 전환		불연속(DC 극성 전환)	연속(DC 극성전환 무)
정전 기동		불가능	가능
전류 실패		있음	없음
용량		수백MW~수GW	수백MW
손실(변환 손실)		1.X%	3.X%
가격		쌈	비쌈

2.2 2016년 제주 전력 계통

아래 그림 1은 2013년 제주계통도를 나타내고 있다. 2016년 제주 계통 데이터는 이 계통 데이터를 바탕으로 2016년 제5차 전력수급계획의 제주계통 운영조건을 반영하여 구성하였다. 제5차 전력수급계획에 의하면 제주-진도 간 HVDC #3는 2016년 6월부터 운전 예정에 있으며 2016년 제주 지역의 최대 부하량은 약 826MW에 이를 것으로 예상된다. 따라서 아래 표 2에서 볼 수 있는 것처럼 2016년에는 최대 부하 시에도 남제주 기력 2기와 제주 기력 1기 외 나머지 발전기들은 모두 휴전 상태에 들어가게 된다고 가정 하였다.



〈그림 1〉 2013년 제주 계통

진도-제주 간 HVDC #3는 #2와 동일한 서제주 변전소에 설치된다고 가정하였다. HVDC #3를 LCC로 가정한 경우에는 설비용량 400MW의 Bipole이라고 가정하였고 120MVAR의 Switched Shunt를 추가로 설치하였다. VSC HVDC는 200MVA의 VSC HVDC 2회선이 설치되었다고 가정하였으며 이 때 Switched Shunt의 추가 설치는 생략 하였다. 두 경우 모두 제주 계통의 주파수 제어를 위한 제어기 모델은 HVDC #1과

#2에만 설치하였다. 상정사고는 표 3에서와 같이 서제주-안덕 간 1회선 상정사고 후 이 여파로 남제주 기력 1기가 탈락하는 경우를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 2013년과 VSC HVDC가 설치된 2016년 제주 계통의 경우 사고 후 계통의 정상운영이 가능 하였으나 LCC HVDC가 설치된 2016년 계통의 경우 계통이 붕괴하였다.

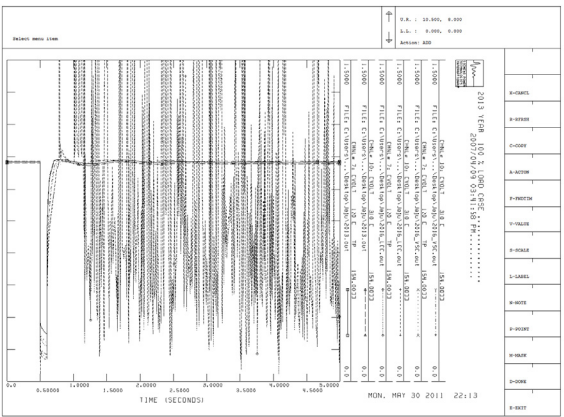
〈표 2〉 2016년 제주 계통의 운영 조건 가정

		2013년	2016년	
계통 운영	HVDC	150 & 250	150 & 250 & 200	
	제주내연#1			
	제주내연#2			
	남제주기력#3	90	90	
	남제주기력#4	90	90	
	제주기력#2	63	46	
	제주기력#3	63	46	
	한림복합			
	계	706MW	826MW	
무효전력보상장치	STATCOM	신제주	50	50
		한라	50	50
	조상GT#1	35	35	
	조상GT#2	35	35	

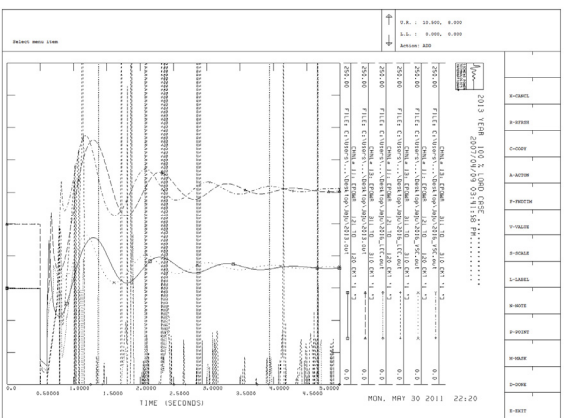
〈표 3〉 상정사고 시나리오

시간	시나리오
0.5	서제주-안덕 간 선로에서 안덕 인근에 3상 지락 사고 발생
0.6	서제주-안덕 간 사고 선로 차단, 사고 제거
0.7	남제주 기력 1기 탈락

그림 2는 HVDC가 설치된 제주TC와 서제주 모선의 전압 변동을 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 2013년과 VSC HVDC가 설치된 2016년의 경우 사고 후 전압이 원상태로 복귀 되었으나 LCC HVDC가 설치된 경우에는 남제주 기력 탈락 후 계통이 붕괴되어 정상적인 네트워크 방정식의 계산이 이루어지지 않고 있음을 보여주고 있다.



〈그림 2〉 제주TC와 서제주 모선의 전압 변동

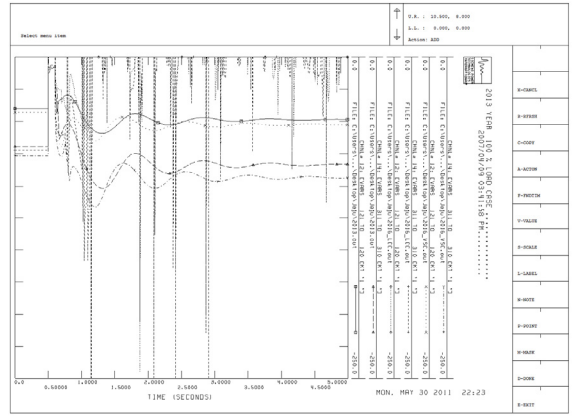


〈그림 3〉 HVDC#1과 #2의 유효 전력 변화

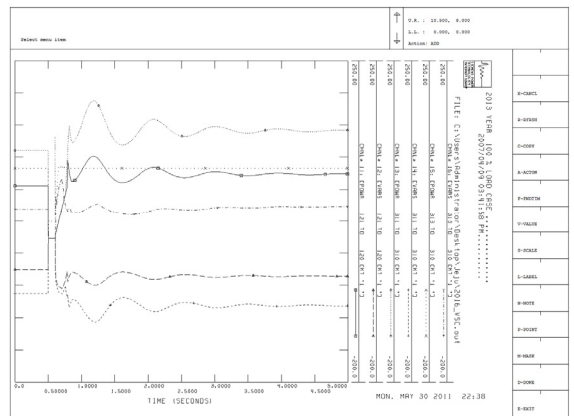
그림 3과 4는 HVDC #1과 #2의 인버터 단에서 주입되는 유효전력과

무효전력 변화를 각각 나타낸 것이다. 남제주 기력 탈락 후 상실된 유효전력을 보상하기 위해 HVDC #1과 #2의 유효전력 주입량은 늘어나지만 무효전력의 흡수량 또한 증가하게 되는 LCC HVDC의 특성이 잘 나타나고 있다.

그림 5는 VSC HVDC가 설치된 2016년 제주 계통에서 HVDC #1~#3의 인버터 단에서 주입되는 유효전력들을 나타낸 것이다. 상정사고 후 HVDC #1과 #2의 LCC HVDC는 유효전력 주입량이 늘어나면서 동시에 무효전력 흡수량 또한 늘어나고 있다. 그러나 HVDC #3의 VSC HVDC는 주파수 제어가 없기 때문에 유효전력 주입량은 일정하지만 사고 전후 모두 무효전력을 계통에 주입하고 있다. 특히 사고 직후 전압 제어를 위해 무효 전력을 주입하고 있는 것 또한 확인할 수 있다. 따라서 이러한 VSC HVDC의 전압 제어 능력으로 인해 LCC HVDC가 설치 되었을 때와 달리 계통이 정상적으로 운전될 수 있었다.



〈그림 4〉 HVDC#1과 #2의 무효 전력 변화



〈그림 5〉 2016년 HVDC#1~3의 유효전력 변화

3. 결 론

본 논문에서는 제주지역에 설치 예정인 HVDC #3가 LCC 또는 VSC HVDC로 선택 되었을 경우 제주 계통에 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 본문의 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있는 것처럼 기존의 HVDC #1과 #2에 이어 #3까지 LCC HVDC로 설치될 경우 제주 전력망에 전압 불안정 문제가 발생할 것이 예상되지만 VSC HVDC가 설치될 경우 이런 문제가 해결될 수 있다.

과거에는 VSC HVDC가 높은 변환 손실률과 비싼 가격, 그리고 용량 한계로 인해 제한적인 용도로만 사용 되었다. 그러나 최근 Multi-Level 기술이 적용되면서 손실이 LCC HVDC 수준으로 감소하고 용량도 최대 1GVA에 이르렀을 뿐만 아니라 가격 격차 또한 약 25% 정도로 줄어들고 있다. 따라서 이제는 VSC HVDC도 선택 가능한 옵션으로 고려하여 더욱 효율적이고 유연한 계통 운영 방안을 모색해야 할 때이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 지식경제부, “제5차 전력수급 기본계획”, 2011
- [2] <http://www.energy.siemens.com/>
- [3] <http://www.abb.com/>
- [4] <http://www.alstom.com/grid/>
- [5] Peter Fairly, “Fixing Japan’s Fragmented Grid”, IEEE Spectrum, 13 page, May 2011