

전압형 컨버터 HVDC를 이용한 정적 안정도 해석

채병하, 오세승, 장길수, 이병준, 한병문, 차준민, 김찬기**
 고려대학교, *명지대학교, **대전대학교, 전력연구원**

Static Stability Analysis Using Voltage Source Converter HVDC

Byungha Chae, Saeshung Oh, Gilsoo Jang, Byungjun Lee, Byungmun Han, Junmin Cha, Chanki Kim
 Korea University, Myongji University, Daejin University, KEPRE

Abstract - The current source HVDC using thyristor valves requires the reactive power compensator, the increment of short circuit ratio(SCR) by AC source, and the harmonic filter in power transmission. The voltage source HVDC that controls active power and reactive power independently can minimize the requirements and also can be used as a reactive power source without additional reactive power compensators. In this paper, the solution of supplying active power using direct current transmission and compensating additional reactive power at the heavy load zone in metropolitan area is proposed and verified by simulations.

교류전원이 없어도 전력전송이 가능하다.

VSC는 그림 1과 같이 자기-전류(self-commutating) 스위치(GTO 또는 IGBT)를 가진 6펄스 브리지와 다이오드가 역병렬 방향으로 연결되어 있다. 필요한 용량을 얻기 위해서, 스위치 수는 하나의 밸브를 구성하기 위해 직렬로 연결되어진다. GTO 밸브의 전류는 높지만, IGBT 밸브보다는 DC 전압이 낮다. 장거리 송전을 위해서 손실을 줄이기 위해 송전전압을 높게 유지하려 하기 때문에, IGBT 밸브는 그러한 면에서 GTO 밸브보다 더 선호한다.

1. 서 론

한전 계통의 송전선로 중 일부는 거의 열용량에 가깝게 운전되고 있어 유사시 공급 여력의 부족이 생길 수 있다. 345 kV 송전선로의 경우 다중 루프계통으로 되어 있어 정상시 공급여력확보에는 유효하다. 그러나 서울을 포함한 수도권 지역은 대규모 발전 설비가 없는 부하 집중 지역으로 고장 용량이 높아 이 경우에 이점을 갖는 HVDC를 이용하여 부하 집중지역에 직접적으로 전력을 공급하는 방안을 연구하고자 한다. 전류형 HVDC의 경우에는 전압형 HVDC보다 대단위 전력 전송에 이점을 가지고 있으나, 무효전력보상장치, 교류전원에 의한 단락비 증대, 고조파 필터가 필요하다 제약이 따른다. 위의 제약을 완화 시키면서 유효전력과 무효전력을 독립적으로 제어 할 수 있는 특징을 갖는 전압형 HVDC를 사용하여 전력 송전에 추가적인 송전선로를 가설하지 않고 기존 선로의 활용도도 높이고 무효전력 보상 역할을 수행하는 방안을 제시하고자 한다.

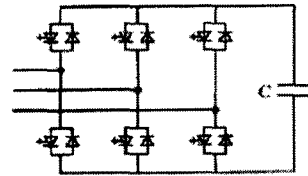


그림 1. 전압형 컨버터 브리지

현재의 기술로써, IGBT 밸브는 150kV까지 전달수 있다. 그런 밸브를 사용하는 VSC는 1000A(rms) 전류까지 전송할 수 있다. 이것은 VSC당 약 150MVA의 전력 전송을 가능하도록 한다. 더욱이 2극 시스템은 쉽게 약 300MW의 전력 단계까지 다룰 수 있게 되었다.

2. 본 론

2.1 전압형 컨버터

현재 IGBT(Insulated Gate-off based thyritor) 스위치 때문에 VSC 용량은 2극 링크로 $\pm 150\text{kV}$, 300MW까지 확대 될 수 있었다. 게다가, VSC는 약한 계통에 연결이 가능하다. 제어 방법은 독립적으로 유효 전력과 무효전력을 제어할 수 있는 펄스폭변조(PWM)에 기초를 두고 있고, 저차수 고조파의 발생을 제한할 수 있다.

2.1.2 VSC의 동작 원리

VSC의 기본 동작 원리는 그림 2와 같다. 그것의 기능은 저장 커패시터의 DC 전압을 AC 전류로 변환하는 것이다. 컨버터의 DC 전압 극성은 다이오드 브리지의 극성에 의해 결정되어진다.

2.1.1 전압형 컨버터

전압형 컨버터(VSC : Voltage Source Converter) 기술의 사용은 각 변환소의 독립적 제어가 가능하고 무효전력을 보상하는 장치가 필요하지 않으며 인버터 측에

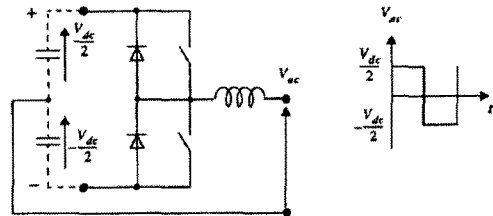


그림 2. VSC의 원리

VSC 밸브는 적절한 게이트 전압에 의해 언제든지 스위치-온 될 수 있다. 그러나, 하나의 밸브가 스위치-온이 되었다면, 다른 밸브들은 반드시 스위치-오프되어 있어야 한다. 연속적인 한 상 변조에 연결된 밸브의 변화는

스위칭은 VSC의 AC단에 연결된 DC 커패시터에 양과 음의 값을 연결시켜 준다. 이는 두 개의 전압 값(+ V_{dc} 와 - V_{dc})으로 구성되는 사각파 AC 전압을 생성한다.[1]

2.2 사례 연구

전압형 HVDC의 용량이 300MW로 초고압 송전 선로의 용량보다는 작다. 부하 집중에서 멀리 떨어져서 있는 모선에 전압형 HVDC를 설치하여 부하 집중지역으로 전력 조류의 흐름을 바꾸는 불가능 하다. 2010년 한전계통에서 부하 집중지인 수도권에서 부하가 집중되어 있는 곳을 파악하여 전압형 HVDC를 설치할 모선을 선정하였다. 그리고 선정된 위치별로 전력량, 손실 등을 비교하려고 한다.

2.2.1 HVDC 위치선정

한전 2010년도 계통을 바탕으로 수도권 지역의 부하용량을 PSS/E 시뮬레이터를 사용하여 조사하였다. 수도권 전체 부하용량 25471MW이다. 154kV 모선에 연결되어 있는 부하 중 100MW이상의 부하 연결 모선은 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 의정부 모선에 가까운 상계, 노원, 미아 지역에 수도권 지역의 약 10%의 부하가 집중되어 있는 것으로 나타났다. 그리고 수도권의 서부지역인 서인천 지역이 약 8%를 나타내었고, 사당, 분당의 수도권 남부가 약 5%를 나타내었다.[2]

표 1. 수도권 부하량(MW)

모선명	용량	모선명	용량	모선명	용량	모선명	용량
일산	181	오산	144	만호	134	구로	124
신수	180	송탄	144	동두천	133	서소문	123
원정	178	용인	144	북인천	133	양천	123
구리	171	여의	143	안암	132	평촌	122
안산	165	경서	143	신길	131	교대	121
연수	165	목내	143	남수원	130	주안	121
부천	164	남동	143	안성	130	신봉	120
일동	162	성포	142	덕소	129	송파	119
중동	162	부개	142	문산	129	정자	119
북시화	159	가양	141	군자	128	목동	115
소래	158	신수원	141	송파	128	삼미	115
뚝도	157	화양	140	동춘	128	부흥	114
사당	157	미아	139	우만	128	신당	113
반월	155	동수원	139	중원	127	상계	112
포천	153	오봉	138	화곡	127	강동	112
구공	151	신양재	137	시흥	126	임학	112
안양	148	송월	137	의사당	126	송도	112
창동	147	이천	136	역삼	126	의왕	112
서시화	147	신현	136	서수원	126	원남	110
신촌	146	수서	135	휘경	125	분당	110
개포	146	시화	135	풍납	125	양곡	110
명택	145	인천	135	잠실	125	수지	110
남인천	144	동수원	134	신내	124	왕십리	109

표 1을 나타난 지역을 중심으로 부하 집중 지역의 가까운 모선을 선택하여 전압형 HVDC의 설치 지역을 표 2와 같이 결정하였다. 표 1을 중심으로 한 부하 집중지역의 도식화는 그림 3과 같다.

표 2. 전압형 HVDC의 위치

Cases	From Bus	To Bus
Case 1	보령	신인천
Case 2	보령	신시흥
Case 3	보령	서서울
Case 4	보령	신성남
Case 5	동해	동서울
Case 6	동해	미금
Case 7	동해	의정부

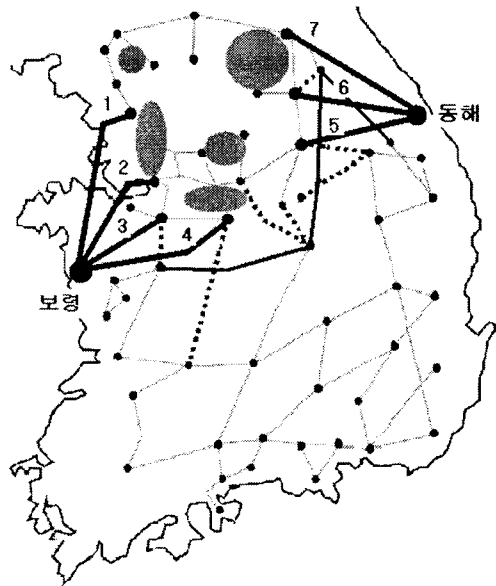


그림 3. 간략화한 한전 계통

다섯 개의 원으로 표시된 지역은 표 1을 참고로 부하 집중 지역을 나타낸 것이다. 진한 선으로 나타낸 것은 7가지 Case를 나타낸 것이고 지도에 나타난 1-7까지의 번호는 표 2번의 Case 번호와 일치한다.

2.2.2 전압형 HVDC 시스템

각 경우에 설치될 전압형 HVDC는 유효전력, 무효전력 제어를 위해 표 3과 같이 각 정수를 결정하였다. 전압형 HVDC의 동작은 렉티파이어단은 전력 제어 모드를 사용하였고 인버터단에서는 무효전력을 제어하기 위해 역률 제어를 하였다.

표 3. 전압형 HVDC의 Parameter

용량(MW)	300
DC 전압(kV)	380
Terminal AC 전압(kV)	345
Power Factor(p.u)	0.894

2.2.3 정적 해석 모의 결과

2010년 한전계통과 전압형 HVDC를 Case 별로 설치하여 전압형 HVDC가 설치되지 않은 경우와 비교하여 전력의 손실량을 비교한 결과는 표 4과 같다.

표 4. Case 별 손실 1

		DELTA MW	%	DELTA MVAR	%
Case 1	GENERATION	-8.1	0	-472.4	3.5
	LOSS	-8.1	0.8	-253.2	1
Case 2	GENERATION	-6	0	-412.2	3
	LOSS	-6.1	0.6	-217.7	0.9
Case 3	GENERATION	-2.9	0	-326.1	2.4
	LOSS	-2.9	0.3	-169.5	0.7
Case 4	GENERATION	1.9	0	162.5	1.2
	LOSS	1.9	0.2	105.2	0.4
Case 5	GENERATION	-9.2	0	-545.5	4
	LOSS	-9.2	0.9	-286	1.2
Case 6	GENERATION	-9.8	0	-573.1	4.2
	LOSS	-9.8	1	-299.8	1.2
Case 7	GENERATION	-10.3	0	-590.2	4.3
	LOSS	-10.3	1	-310.2	1.3

표 4에서와 같이 Case 4를 제외한 나머지 경우에는 유효전력, 무효전력의 손실이 전압형 HVDC를 설치하기 전보다 줄어들어 같은 양을 송전하더라도 부하지에 더 많은 유효전력을 전달할 수 있다. 무효전력의 부분에서도 마찬가지로 결과를 얻을 수 있다. 위에서 언급했듯이 의정부 모선에 가까운 지역이 부하가 집중되어 있기 때문에 Case 7이 경우가 가장 효과적이다.

표 5. Case 별 손실 2

		DELTA MW	%	DELTA MVAR	%
Case 1	GENERATION	2.9	0	-203.5	1.5
	LOSS	2.9	0.3	-103.2	0.4
Case 2	GENERATION	4.2	0	-198.4	1.5
	LOSS	4.2	0.4	-89.3	0.4
Case 3	GENERATION	6.6	0	-139.2	1
	LOSS	6.6	0.7	-53.7	0.2
Case 4	GENERATION	4.2	0	-62.4	0.5
	LOSS	4.2	0.4	-94	0.4
Case 5	GENERATION	0.2	0	-585.7	4.3
	LOSS	0.2	0	-246.7	1
Case 6	GENERATION	-0.5	0	-618.5	4.5
	LOSS	-0.5	0	-259.7	1.1
Case 7	GENERATION	-0.9	0	-627	4.6
	LOSS	-0.9	0.1	-269.1	1.1

발전단가가 비싼 수도권 지역의 발전기 중에서 300MW의 용량에 해당되는 발전기의 운전을 정지하고 대신에 발전단가가 수도권보다 저렴한 지역의 발전기를

운전함으로써 전압형 HVDC를 운영하는 경우의 손실 비교는 표 5와 같다. 송도 복합 발전기 중 300MW에 해당되는 2대의 발전기의 운전을 정지하는 대신에 전압형 HVDC의 액티파이어가 연결된 모선 근처의 보령 발전기 2대를 운전하였다. Case 6, 7의 경우만 유효전력과 무효전력의 손실이 전압형 HVDC를 설치하기 전보다 손실이 줄어든 것을 알 수 있다. 표 5에 Case 4의 경우에는 유효전력의 손실은 증가했으나 무효전력의 손실이 감소했음을 알 수 있다. 이번 경우에도 Case 7의 경우가 유효전력 손실이 표 4의 Case 7 경우보다는 줄었지만 손실 면에서 수도권 지역의 비싼 발전기를 운영할 때 보다 손실을 줄일 수 있고 수도권을 발전단가가 비싼 수도권 발전기의 운전을 하지 않게 할 수 있었다. 여기서는 해당 발전기가 과도 안정도 측정에서 반드시 운전되어야 하는 발전기가 되는 상황을 고려하지 않았다. 또한 부하중심 지역에 직접적으로 전력을 공급할 수 있는 모선이기 때문에 Case 7의 경우가 전압형 HVDC를 설치하기에 적합한 장소로 고려된다.

3. 결 론

수도권은 한전계통 전체 부하량의 40%를 차지하는 대단위 부하집중이다. 매년 부하량이 지속적으로 증가한다. 기존에 설치되어있는 AC 송전선로를 이용하여 늘어나는 부하에 전력을 공급하기에는 한계가 있다. 그러나 새로운 AC 선로를 이용한 전력 공급은 고장용량 증대, 안정도 제약 등으로 인해 새로운 대안이 필요하다. 본 논문에서는 그 대안으로 전압형 HVDC를 설치하여 부하중심지역에 직접적으로 유효전력과 무효전력을 공급할 수 있을 뿐 아니라, 조류의 흐름을 제어하여 기존에 설치된 AC 선로의 가용율을 높일 수 있는 안을 제시하였다. 향후 전압형 HVDC의 동적 모델을 상정사고 분석을 통하여 전압형 HVDC가 한전계통에 미칠 수 있는 영향을 분석하려고 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Vijay K.Sood, Ph.D., ing., FEIC "HVDC and FACTS Cont rollers, Applications of Static Converters in Power Systems" p.153-157, Kluwer Academic Publishers, 2004
- [2] Saeseung Oh, Gilssoo Jang, Sae-Hyuk Kwon "Application of HVDC system for Korean power system security enhance mnet", ICEE2004, Conference Proceedings Vol.2, p.623, 2004
- [3] "PSS/E V29.1 Opreation Manual Vol.1" p.4-22 ~ 4-24
- [4] Narang G.Hingorani, Laszlo Gyugyi "Understanding FACT S Concpets and Technology of Flexible AC Transmission S ystems"