

전압원 HVDC를 이용한 부하집중지로의 송전용량 증대방안

오세승 장길수 차준민
고려대학교 대전대학교

Transfer Capability Enhancement Using Voltage Source Converter HVDC

Seaseung Oh, Gilsoo Jang Jun-Min Cha
Korea University Daejin University

Abstract - This paper presents a transfer capability enhancement of using VSC HVDC system which can control reactive power as well as active power.

The transfer capability is constrained by stability like voltage stability. These constraints may be relieved by reactive power control ability of the VSC HVDC system.

Site selection algorithm is also proposed.

1. 서 론

우리나라와 같이 주요 부하집중지와 발전단이 멀리 떨어져 있고 입지 수용성의 악화로 인하여 발전단지가 대용량화가 진행되는 계통에서는 필연적으로 제약조건에 의하여 부하집중지로의 송전용량이 제한받을 수밖에 없으며 이는 선로의 열용량 보다 작게 된다. 송전용량이 선로의 열용량보다 계통의 안정도에 의해 제약 받는 상황에서는 새로운 교류 송전선을 건설하는 것은 큰 효율성을 기대하기 어렵고 고장용량이 문제가 되는 상황에서 고장용량 증가를 해결하기 위한 여러 가지 대책이 동반되어야 하기 때문에 경제성이 낮아진다. 따라서 현재 송전용량증대는 주로 안정도 제약을 FACTS를 이용하여 해소하는 방식으로 연구되고 있다.

본 논문에서는 이러한 기존의 접근법과는 달리 전압원 HVDC를 이용하여 송전용량을 증대시키는 방식을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전압원 HVDC

전압원 컨버터(Voltage Source Converter, VSC)를 이용한 HVDC시스템은 각 변환소의 독립적 제어가 가능하고 무효전력을 보상하는 장치가 필요하지 않으며 인버터 측에 교류전원이 없어도 전력전송이 가능하다.

현재의 기술로써 2pole의 HVDC시스템의 경우 300MW의 전력전송이 가능하다.

2.1.1 전압원 HVDC의 기본 원리

VSC의 기본적인 동작원리는 그림 1과 같다. VSC는 커패시터의 직류전압을 교류전류로 바꾸는 역할을 한다. 컨버터 직류전압의 부호(polarity)는 다이오드 브릿지의 부호에 의해 결정된다. VSC의 valve는 gate에 적절한 전압을 걸어줌으로써 언제든지 켜질 수 있지만 커패시터의 단락을 막기 위해 하나의 valve가 켜졌을 경우 항상 그것과 직렬로 연결된 valve는 미리 꺼져있어야 한다. 하나의 상(phase) 모듈에 연결된 두 개의 valve를 교대로 on, off를 반복하면 VSC의 교류 terminal이 직류 커패시터의 양극에 번갈아 연결되어 결과적으로 두 개의 전압레벨을 갖는 사각파가 생성되고 이러한 VSC를 2-level 컨버터라 한다. 커패시터와 valve의 수와 배열

순서를 조합하면 multi-level 컨버터의 구현이 가능하고 이러한 컨버터의 교류출력은 보다 더 정현파에 가깝게 된다.[1]

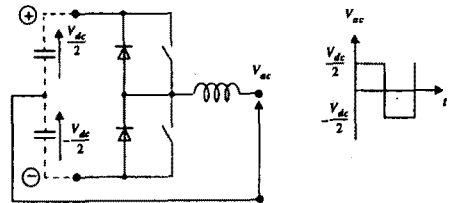


그림 1 VSC의 동작원리

2.2 전압원 HVDC 적용위치 선정

송전량을 효과적으로 증대시킬 수 있는 전압원 HVDC의 설치위치를 선정하기 위해서 2010년 한전계통 Peak 부하를 대상으로 그림 2와 같은 방식으로 계통의 조류를 해석하였다.

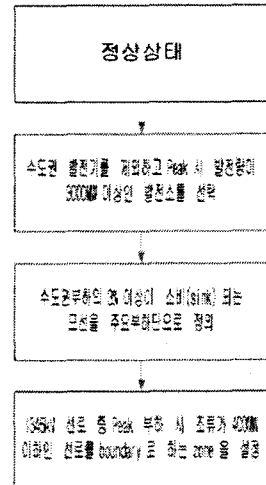


그림 2 Power Tracing을 통한 주요 부하/발전단 파악

표 2 2010년 한전계통조건(peak)

	Generation	Load	Losses
P	61313	60314	1000
Q	14078	27903	

2010년 한전계통은 부하집중지역과 대규모 발전단지들은 그림 3과 같이 표시할 수 있다.

그림 2와 같은 과정을 통해 정상상태 Peak 부하 조건에서의 조류계산을 통해 계통이 정상상태를 유지하고 있는지를 파악하고 선로에 흐르는 조류의 양과 버스로 유입되는 유효전력과 유출되는 유효전력간의 차이를 기준으로 특정 부하집중지와 연관되는 발전단지를 파악한다.

위와 같은 방식으로 결정된 주요부하단과 주요 발전단지는 표 3과 같다.

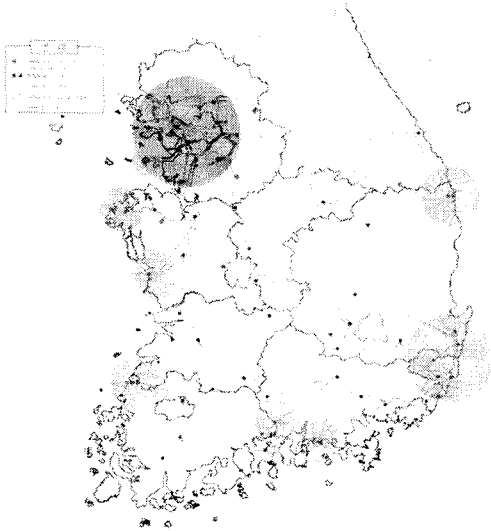


그림 3 2010년 한전계통의 부하집중지와 주요 발전단지

표 3 주요부하단과 주요 발전단지

주요 발전단지	태안, 당진, 울진, 월성, 고리, 하동, 삼천포, 영광, 서인천, 영흥
주요 부하단	양주, 의정부, 미금, 신성남, 신용인, 신부평, 신시흥, 신포천, 신안산

설정된 Zone은 그림 4와 같다.

상정고장 시 조류변화는 distribution factor를 이용하여 각 상정고장 별 조류변화를 파악하는 방법을 사용하였다.

Distribution Factor는 (1)과 같이 정의되며

$$D.F. = \frac{(MW \text{ in contingency case}) - (MW \text{ in basecase})}{\text{Power Shift}} \quad (1)$$

(2)와 같이 post-contingency 선로의 조류 계산에 사용된다.

$$P_{\text{post}} = P_{\text{pre}} + (D.F. \times \Delta P) \quad (2)$$

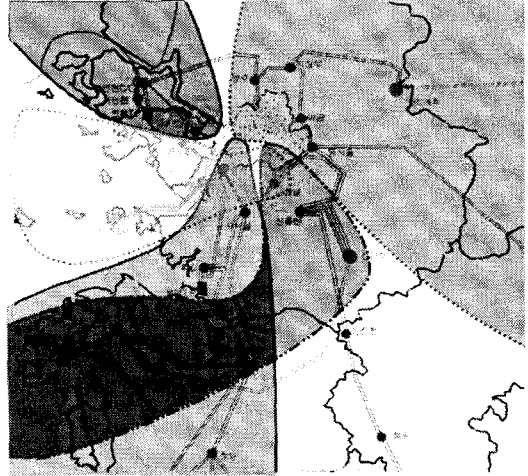


그림 4 제안된 Power Zone

2010년 한전계통 Peak 부하 시 수도권 지역의 주요 345kV 선로에 대해 상정고장 별 Distribution Factor를 계산하여 상정고장에 의한 주요 선로의 조류변화를 추정하였다.

상정고장 시 표 4, 표 5와 같이 다른 선로로의 distribution factor(D.F.)를 계산할 수 있다. D.F.가 높을수록 고장선로에 의한 조류변화가 크다는 것을 의미한다.

표 4 신가평-신안성간 765kV 선로고장 시 D.F.

Contingency (Line Trip)		Monitor (Selected)		Distribution Factor	Pbase	rP
From Bus	To Bus	From	To Bus			
신가평7	신안성7	신태백7	신가평7	0.11285	3112	198
Power Shift = 882M		신안성3	신성남3	0.14966	1374	264
		신안성3	신용인3	-0.10227	1436	180
		신가평3	의정부3	0.10217	651	-180
		동서용5	신성남3	0.12458	-508	-218
		동서용5	동서용3	-0.62032	242	547
		신용인3	동서용5	-0.18951	944	334
		신가평3	미금3	0.20786	1580	396

신가평-신안성간 765kV 선로가 trip되면 선로에 흐르고 있던 882M가 모두 다른 선로로 배분(shift)된다. 각각의 선로에 분배되는 유효전력의 양은 D.F.값에 비례하게 되어 유효전력의 변화(rP)가 나타나게 된다.

화성-아산간 345kV 선로고장의 경우 2회선 중 1회선만 trip시켰으므로 trip된 선로로 흐르던 조류의 대부분은 같은 위치의 정상선로로 대부분 흐르게 되어 화성-아산간 345kV 선로가 가장 큰 D.F. 값을 가지게 된다.

표 5 화성-아산간 345kV 선로고장 시 D.F.

Contingency (Line Trip)		Monitor (Selected)		Distribution Factor	Pbase	rP
From Bus	To Bus	From	To Bus			
화성3	아산3	신은양SW	서서울3	-0.13882	1209	168
Power Shift = -1057M		화성3	서서울3	0.19463	585	-205
		신서산3S	아산3	0.12856	546	-136
		신서산3S	아산S	0.12856	546	-136
		청양3	신은양S	-0.05584	650	59
		신서산7	신안성7	-0.03782	2345	40
		신안성3	신성남3	-0.03675	688	39
		신서흥3	영서3	-0.03581	-56	38
		화성3	아산3	0.51556	-1057	-545

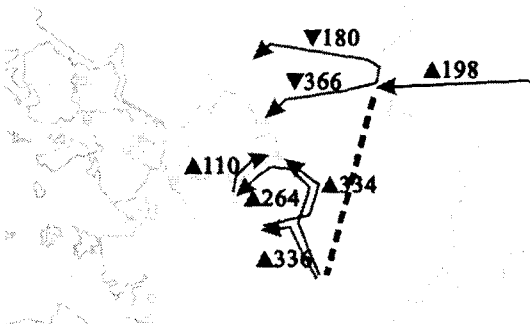


그림 5 D.F.를 이용한 신안성-신가평 상정고장 시 조류 변화 추정

정상상태와 상정고장 시 조류의 변화를 통해 부하단과 발전단을 정의하고 표 6과 같이 정류기와 인버터단의 설치예상지역을 선정하였다.

표 6 전압원 HVDC 설치위치(예정)

정류기단	주요 발전단 모선 근처의 모선 중 선택 북경남, 신태백, 보령
인버터단	같은 Power zone 내에서 발전단과 부하집중지를 직접 연결하는 Alternative route를 만들 수 있는 위치 화성, 동서울, 신가평, 영서, 신성남

표 7 Basecase PV 분석

정류기단	인버터단	HVDC 용량		P (MW)	Violation (0.95p.u.)	계통손실 (MW)
		P(MW)	Q(MVAr)			
				900	화성3 서서울3 서서울3 신서산3	1000
북경남	동서울	300	200	1200	화성3 서서울3 서서울3 신서산3	980
보령	동서울	300	200	1200	청원3	984
신태백	신가평	300	200	1300	화성3 서서울3 서서울3 신서산3	993
북경남	신가평	300	200	1200	화성3 서서울3 서서울3 신서산3	984

예상설치지역에 대한 PV분석결과는 표 7과 같다. 정상상태 ±5% 전압기준과 100%선로부하 등의 기준을 적용하였다. 기존의 연구결과들과 같이 모든 case에서 전압안정도가 제약조건으로 나타났으며 보령-동서울 case가 가장 좋은 효과를 보이는 것으로 나타났다.

이 모의에는 향후 동서울에 설치될 SVC에 대한 고려를 하지 않았기 때문에 이것을 고려했을 때의 결과는 달라질 것으로 예상된다.

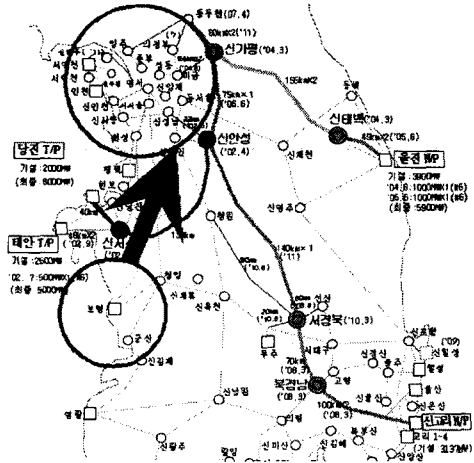


그림 6 전압원 HVDC 설치 예정후보 보령-동서울 case

3. 결론

본 논문에서는 주요 부하지역/발전지역 선정을 이용하여 Power Zone을 정의하였으며 하나의 Power Zone 내에서 전압원 HVDC를 이용하여 송전용량을 증대시키는 방식으로 HVDC 설치위치 선정 알고리즘을 제안하였고 현재 설계통을 대상으로 전압원 HVDC의 계통 impact study를 포함하는 모의를 진행 중이다.

전압원 HVDC가 계통의 무효전력마진에 미치는 영향은 전류원 방식의 HVDC와는 달리 무효전력을 계통으로 공급할 수 있으므로 컨버터단에 STATCOM을 설치한 것과 같은 효과로 인해 계통에 유리하게 작용한다.

현재 전압제어효과로 인한 송전량 증대 영향을 분석하고 전압원 HVDC의 용량결정 알고리즘 개발 중이다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 지원 전력산업연구개발 사업(R-2004-0-069)으로 수행된 논문입니다.

[참고문헌]

- [1] Vijay K.Sood, "HVDC and FACTS Controllers, Applications of Static Converters in Power Systems", 153-157, 2004
- [2] Seascung Oh, Gilsoo Jang, Sae-Ilyuk Kwon "Application of HVDC System for Korean Power System Security Enhancement", ICSEE2004, Conference Proceedings, Vol 2, p623, 2004
- [3] 제병하, 오재승, 장길수, 이병준, 한병문, 차준민, 김찬기, "전압원 컨버터 HVDC를 이용한 정적 안정도 해석", 대한전기학회 전력기술위원회 추계학술대회, 논문집, p66, 2004