

### 고장전류를 고려한 수도권 BTB HVDC 위치선정 연구

윤민한\*, 장길수\*, 박정수\*\*, 장병훈\*\*\*  
고려대\*, 효성중공업\*\*, 전력연구원\*\*\*

### A study on BTB HVDC location in metropolitan area considering fault current analysis

Minhan Yoon\*, Gilsoo Jang\*, Jungsoo Park\*\*, Byunghoon Jang\*\*\*  
Korea University\*, Hyosung Industrial\*\*, KEPRI\*\*\*

**Abstract** - Fault current problems is considered a serious issue in the power system because large fault currents not only cause many side effects to the equipments of power system but also lead to severe problems, such as blackouts. This paper deals with the structural analysis and 3-phase fault current stability of the future Seoul metropolitan power system. The simulation composition and analysis are performed with the 4th KEPCO power supply planning data using PSS/e. Through the results of the simulations, it can be observed that the future Seoul metropolitan system results in a fault current which exceeds the circuit breaker (CB) rate. This unremovable fault current can cause critical damage to power system. To resolve the problem, the algorithm for the application of Voltage Sourced Converter Back-to-Back High Voltage Direct Current (VSC BTB HVDC) is being proposed. where the most suitable location for solving fault current problem in Seoul metropolitan area is being implemented.

#### 1. 서 론

여러 기관에서 발표된 전력수급현황과 계획에 따르면 우리나라는 1970년대부터 경제 규모가 급속히 확산되고 점진적으로 생활 수준이 향상됨에 의해서 전력 사용량이 해마다 크게 늘었으며 현재도 빠르게 증가하고 있다. 그 중에서도 서울을 포함한 수도권에서의 전력 수요는 전체의 40%를 차지할 만큼 큰 부분을 차지하고 있고 앞으로도 계속 증가할 전망이다.[1],[2]

〈표 1〉 우리나라 전력수급현황과 전망

			2010	2016	2022
수도권	발전	MW	16,053	15,517	14,434
	부하	MW	27,347	31,777	33,398
전체	발전	MW	68,971	78,019	81,308
	부하	MW	67,962	76,857	80,037
발전량 비율(%)			23.28	19.35	17.75
부하량 비율(%)			40.24	41.42	41.73

수도권은 특히 주요 시설들이 많이 위치해 있음으로서 전력공급의 안정화가 주안점이 되어왔다. 이에 따라 평상시 공급 여력의 확보를 통해 전력공급 신뢰도를 증가시키기 위한 방안이 요구되었다. 이에 따른 연구가 한국전력공사에서 수행되었고 현재 수도권 계통의 345kV망은 환상 형태로 구성되어 있다.[3]

하지만 환상 형태로 구성된 거대한 규모의 수도권 계통은 사고 시에 고장전류량이 증대하는 문제를 수반하고 있다.[4]

고장전류는 그 크기가 매우 커 전력계통의 설비에 악영향을 미친다. 특히 차단기 용량을 넘어서는 고장전류가 발생할 시에는 사고 제거가 불가능해 광역 정전 등의 대규모 계통 문제를 유발할 수 있다.[5]

위에서 언급한 문제를 분석하고 그에 대한 방안으로 BTB HVDC를 검토, 적용시켜 그 효용성을 확인하기 위해 수도권 계통을 직접 구현, 시뮬레이션하는 연구를 수행한 바 있으나 위치 선정에 있어서 명확한 단계를 통해 이루어지지 못하였다.[6]

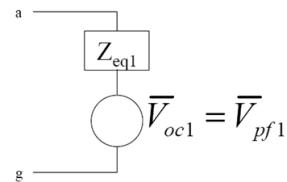
따라서 본 논문에서는 PSS/e를 사용하여 고장전류 문제를 분석하고, 그에 대한 해결책으로 HVDC가 투입되어야 하는 가장 적합한 위치를 선택하는 과정의 알고리즘을 제안하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 고장전류 계산과 분석

3상 고장전류( $I_f$ )는 일반적으로 고장이 일어난 지점 a에서 계산된 계통 전체의 테브닌 임피던스( $Z_{th}$ )와 고장지점과 대지 사이에 형성되는 고장 임피던스( $Z_f$ )의 합으로 고장이 일어나기 직전 a지점에 인가되었던 전압( $V_{pf1}$ )을 나누어 준 값으로 계산된다. 즉, 고장 시에 형성되는 단락회로에 고장 직전 a지점에 인가되었던 전압을 지닌 개회로 전압원이 연결된 모델로 나타내어진다. 수식은 아래 (1)과 같다. [5]

$$I_f = \frac{V_{oc1}}{Z_{eq1}} = \frac{V_{pf1}}{Z_f + Z_{th}} \quad (1)$$



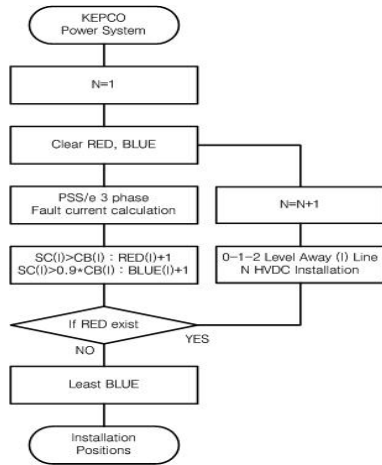
〈그림 1〉 3상 고장전류 계산방법

제4차 전력수급계획을 반영한 한전 중장기 계통(2010~2022)을 대상으로 고장전류 계산을 수행하고 차단기 용량을 초과하는 고장전류가 발생하는 케이스를 표2에 나타내었다. 빨간색으로 표시된 부분이 현재 설치된 차단기 용량을 초과하는 케이스들이고 파랑색으로 표시된 부분이 차단기 용량의 90%를 초과하는 고장전류가 계산되는 케이스들이다. 이 문제는 부하집중도가 증가하고 전력조류량이 증가함에 따라 더욱 심화되어 2012년에는 1400 양주3, 1500 의정부3, 1600 성동3의 세 개 모선에서 발생하게 된다. 1500 의정부3 모선과 1600 성동3 모선의 문제는 2013년으로 예정되어 있는 2500 동서울3 모선 분리로 인해 잠정적으로 해결된다. 하지만 여전히 문제가 완벽히 해결되지는 않으며 2016년 3850 포스코CC-3450 인천TP3 간 선로 제거와 함께 계획된 3350 가정-2450 신운수-2400 영서3 루트 생성으로 2400 영서3 모선 또한 차단기 용량 초과 고장전류 발생 개소가 된다. 1900 신평천 모선 또한 2022년 동두천 765kV 연결로 고장전류가 급증한다.

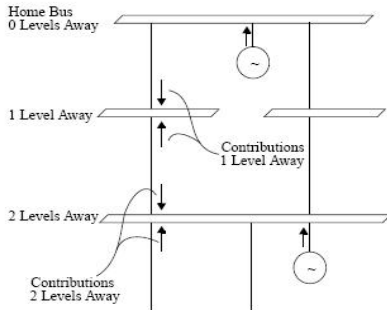
〈표 2〉 차단기 용량 초과 고장전류 발생 케이스 (2010~2022) [kA]

	1400 양주3	1500 의정부3	1600 성동3	1900 신평천	2400 영서3
2010	38.165	31.29	40.417	N/A	31.837
2011	39.111	31.665	41.143	27.848	30.95
2012	41.108	40.875	41.639	27.005	32.191
2013	42.478	37.614	33.232	30.217	32.607
2014	42.625	37.823	33.465	30.301	33.362
2015	43.444	39.252	35.164	30.812	30.845
2016	44.411	40.371	36.099	32.003	41.985
2017	44.603	40.711	36.408	32.158	41.994
2022	47.436	50.808	38.706	50.356	42.174

## 2.2 BTB HVDC 설치 위치 선정 방안



〈그림 2〉 위치선정 알고리즘



〈그림 3〉 고장전류 기여 단계

- N : HVDC 개수
- SC : 해당 모선 3상 고장전류
- CB : 해당 모선 차단기 용량
- RED : 차단기 용량 초과 고장전류
- BLUE : 차단기 용량 90% 초과 고장전류
- Home Bus : 고장발생 모선
- Level Away : Home Bus 와 떨어진 단계

고장전류 문제 해결을 위한 BTB HVDC 설치 위치 선정 방안으로 그림5와 같은 알고리즘을 제안한다. 먼저 PSS/e 시뮬레이션을 통해 수도권 345kV 모선들의 고장전류(SC(I))를 계산한다. 해당 결과 테이블을 이용하여 각 모선의 차단기 용량(CB(I))을 초과하는 고장전류(RED)가 발생하면 해당 모선을 홈 모선(Home Bus)으로 설정하고 홈 모선으로 고장전류를 유입시키는 선로(0-1 Level Away)들과 인접 모선에 연결된 선로(1-2 Level Away)들에 각각 BTB HVDC를 적용시켜 고장전류를 재계산한다. 이러한 단계를 거쳐서 고장전류 문제를 해결한 케이스가 나온다면 해당 케이스들 중 차단기 용량 90%에 달하는 고장전류 케이스(BLUE)가 가정 적은 것을 취한다.

### 2.3 Case Study

#### 2.3.1 2015년 수도권 계통

2013년 2500 동서울3 모선 분리 이후 지속되는 1400 양주3 모선 고장전류 문제 해결을 위해 제안한 방법을 2015년 수도권 계통에 적용해 보았다. 그 결과 세 가지 케이스가 차단기 초과 고장전류 문제 해결하였다. 세 가지 케이스 모두 같은 방향의 같은 Level로부터 유입되는 선로 2회선에 적용시킬 때이다. 그 중 90% 초과 개소(BLUE)를 최소로 만들 수 있는 케이스는 1300 신파주3-3300 신김포3, 1301 신파주3S-3301 신김포3S 2회선 적용시킬 때이다. 이로부터 1400 양주3 모선의 고장전류 중 많은 양이 서쪽의 인천 지역 발전기들로부터 유입되는 것 또한 유추할 수 있다.

〈표 3〉 2015년 BTB HVDC 적용

2015 Case	RED	BLUE
1300-3300 1301-3301	N/A	4700
1400-1300 1400-1301	N/A	3350, 3451 4700
1400-1500 (2)	N/A	3350, 3451 3800, 4700

#### 2.3.2 2017년 수도권 계통

2016년 이후 지속되는 1400 양주3, 1500 의정부3, 2400 영서3 모선 고장전류 문제 해결을 위해 제안한 방법을 2017년 수도권 계통에 적용해 본 결과 1400 양주3-1300 신파주3, 1400 양주3-1301 신파주3S와 2400 영서3-2450 신온수 2회선에 전압형 BTB HVDC를 적용시켰을 때와 1400 양주3-1500 의정부3 2회선, 2400 영서3-2450 신온수 2회선에 적용시켰을 때 문제가 해결됨을 확인할 수 있었다. 이를 통해 북부 지역 고장전류는 인천 지역 발전기들과 1020 신가평7 765kV 변전소로부터 유입되는 양이 큰 것을 유추할 수 있고, 2400 영서3 모선 고장전류 또한 대부분 인천 지역 발전기로부터 3950 가정, 3951 가정S, 2450 신온수 모선을 거쳐 유입된다는 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 2017년 BTB HVDC 적용

2017 Case	RED	BLUE
1400-1300 1400-1301 2400-2450 (2)	N/A	4650 4700
1400-1500 (2) 2400-2450 (2)	N/A	

## 3. 결 론

계속해서 규모가 커지고 있는 수도권 전력계통은 운영자에게 안정도 측면에서 많은 고민거리를 안겨주고 있다. 그 중에서도 부하밀집 지역에 서 발생하는 고장전류는 그 크기가 매우 커 전력계통의 설비에 악영향을 미칠 가능성이 크다. 특히, 차단기 용량을 넘어서는 고장전류가 발생할 시에는 사고 제거가 불가능해 광역 정전 등의 대규모 계통 문제를 유발할 수 있다. 제4차 계통수급계획에 따른 미래 수도권 계통은 위와 같은 문제점을 내재하고 있다. 이러한 문제점을 해결하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 수도권에 가장 적합한 솔루션으로 전압형 BTB HVDC 시스템을 택하였다. 이를 수도권 345kV 회선들에 적용시키는 알고리즘을 제안하고 그 결과 2022년 계획계통까지 차단기 초과 고장전류 문제를 해결할 수 있음을 PSS/e 시뮬레이션을 통해 보였다. 향후에는 BTB HVDC를 이용해 고장전류 문제 해결 뿐만 아니라 전압, 과도안정도 개선 등을 위한 최적 위치, 용량 분석 등을 연구할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구원, 전력계통 신뢰도 제고를 위한 중장기 발전방향 수립, 산업자원부, 2006.3, pp. 95~97
- [2] 지식경제부, 제4차 전력수급기본계획, 제2008-377호, p.41, 2008.12
- [3] 정태호, 수도권 345kV 송전 환상망이 전력공급 안정화에 미치는 효과, 한국에너지공학회 추계학술발표회 논문집, 1992.11, pp.50~54
- [4] 전기넷([www.jungi.net](http://www.jungi.net)), 무프 계통에 생기는 문제와 대책
- [5] 최진만, 전력계통의 단락전류 증대에 따른 문제점과 대책, 발송배전기술사, 1995
- [6] 윤민환, 박정수, 장길수, 문승필, 장병훈, 한전 중장기 계통의 수도권 고장전류 분석, 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, pp.96~98, 2009.11
- [7] William D. Stevenson, ELEMENTS OF POWER SYSTEM ANALYSIS, McGraw-Hill, pp. 248-274, 1982
- [8] C. Kim, V. K. Sood, G. Jang, HVDC Transmission, WILEY, pp.257~277, 2009