

AC/DC 병가선로의 개폐서지 과전압 해석

유성수* · 신구용** · 문채주***

Analysis of Switching Surge Over-voltage in AC/DC Hybrid Transmission Lines

Seong-Soo Yoo* · Koo-Yong Shin** · Chae-Joo Moon***

요 약

개폐서지는 전력시스템에서 발생하는 과전압 현상 중의 하나이며 변전소의 차단기 등 개폐장치의 동작이나 송전선로의 고장으로 인해 발생한다. 특히 송전선로의 절연설계를 위하여 개폐서지의 피크를 산정하는 것은 매우 중요하고 AC/DC 병가선로의 안정적인 운영을 위한 절연협조의 기본적인 검토항목이다. 본 논문에서는 새로운 AC/DC 병가구조의 전력시스템에 대한 상정해석을 위하여 AC 765kV와 DC ± 500 kV Bi-Pole 시스템이 조합된 송전선로를 대상으로 하였다. 일반적으로 교류 송전시스템의 절연설계를 위한 비정상적인 과전압은 외부과전압으로 낙뢰에 의한 과전압과 내부과전압으로 개폐에 의한 과전압을 고려한다. 직류 송전시스템의 경우에는 개폐에 의한 과전압 보다 송전선로의 중간에서 지락고장이 발생하면 인접한 정상선로에 유기되는 내부과전압을 개폐서지라하며 직류송전선로에 유기되는 가장 큰 일시적인 과전압을 의미한다. 본 논문의 연구목적으로 구성된 선로에 대하여 EMTDC 소프트웨어를 사용하여 모의하였으며, 다양한 AC/DC 혼합 형태에 대한 개폐과전압의 영향을 검토하였다.

ABSTRACT

Switching surges are a common type of phenomenon that occur on any sort of power system network. These are more pronounced on long transmission lines and in high voltage converter stations. At AC/DC hybrid transmission lines, the insulation coordination of such lines is mainly dictated by the peak level of switching surges, the most dangerous of which include three phase line energization and AC/DC converter station. The power system structure consist of AC/DC hybrid transmission lines which is combination of AC 765kV and ± 500 kV HVDC 1 bipole system for contingency analysis. The power system under study and its components are simulated using EMTDC software package, the effects of the various AC/DC mixing power lines are reviewed. The developed models of EMTDC conversion lines based on combination of AC/DC system are simulated and the characteristics of switching surge over-voltage from its results are discussed.

키워드

Switching Surge, HVDC, Power Line, Over-voltage, Hybrid Transmission
개폐서지, 고압 직류, 전력선, 과전압, 하이브리드 송전

* 국립목포대학교 대학원(yssnjin@kepco95.co.kr)

** 한전 전력연구원 (gyshin@kepco.co.kr)

*** 교신저자 : 국립목포대학교 스마트그리드연구소

• 접수 일 : 2022. 05. 06

• 수정완료일 : 2022. 05. 27

• 게재확정일 : 2022. 06. 17

• Received : May. 06, 2022, Revised : May. 27, 2022, Accepted : Jun. 17, 2022

• Corresponding Author : Chae-Joo Moon

Smart Grid Institute, Mokpo National University,

Email : cjmoon@mokpo.ac.kr

I. 서론

탄소중립이라는 과제를 수행하기 위해서는 재생에너지의 보급이 필수적으로 요구되고 있다. 우리나라 태양광의 선로접속은 호남권을 중심으로 거의 모든 송·배전선로가 포화상태에 이르게 되어 문제점으로 대두되고 있다. 신재생에너지와 분산전원의 확대, 전력수요의 집중성과 급격한 증가 등으로 전력전송 시스템 환경이 변화하고 있으나, 기존 AC 송전망 체계로 대응하는 것에는 근본적 한계 존재한다. 송전설비 확장 한계에는 송전망 용량이 포화되어 구축된 분산전원을 연결할 수 없고, 주민의 반대로 인해 새로운 송전시설의 확충 역시 어려움이 가중되고 있다. 또한, 송전계통 제어 한계와 현재의 송전계통은 수동적 단방향 전력의 흐름으로 구성되어 전력 제어의 한계성이 존재한다. 제주의 경우 신재생에너지 발전기 증가로 계통 안정성이 보장되지 않아 봄과 가을철의 출력제한이 빈번하게 발생된다. 이러한 송전계통의 접속용량 부족을 해결하는 방안은 송전선로를 대용량의 선종으로 교체하는 방안, ESS를 활용한 선로 운전 시간조정으로 송전용량을 확대하는 방안, 선로 양단에 전력을 저주파수로 변환하여 송전용량을 확보하는 방안 이외에 HVDC 선로를 구축하여 DC를 이용한 송전용량 추가 확보 등 다양한 방법들이 제시되고 있다[1-5].

해상풍력의 경우 장거리 송전과 선로용량 확보를 위하여 해저케이블을 통한 직류송전이 활발하게 적용되고 있으며, 육지의 경우 신규 송전선로 확보가 어렵기 때문에 초고압교류와 초고압직류를 함께 운영하는 병가선로가 적극적으로 검토되고 있다. 이 중에서 교류와 직류선로를 동일한 철탁에 설치하는 하이브리드 선로는 교류 및 직류의 송전도체 간에 상호 작용을 유발시켜 송전선로에 인가되는 전압과 전류에 의해 지표면에 형성되는 전계와 자계강도, 직류송전도체에서 발생하는 이온의 흐름으로 형성되는 지표면의 이온전류밀도, 송전도체에서 코로나가 발생하기 시작하는 임계전압 등에 영향을 미친다. 또한 하이브리드 선로를 구축할 경우 개폐서지 과전압에 대한 해석은 공기절연의 계산에서 중요한 인자가 된다[2],[6-8].

국내를 비롯해 전 세계적으로는 새로운 송전선로 경과지 확보 등의 어려움이 많아 이를 해결하기 위

해 전압격상이나 기존 송전선로를 활용한 송전용량 증가방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에 인도와 유럽을 중심으로서는 기존의 AC 계통 중 일부를 DC 송전계통으로 대체하는 하이브리드형 송전방식에 대해 연구하고 있다. 기존 AC 선로를 DC 선로로 전환하여 병가선로로 구축하고자 하면 송전탑 공기절연거리, 극-대지간 공기절연거리, 극간 공기절연거리, 기존 도체의 재사용 또는 고 사양 도체 신설, 기존 철탁의 재사용 여부, 기존 애자의 교체 여부, 기존 경과지 폭 유지 등 고려해야 할 사항이 많다. 물론 경제성을 고려할 때 기존의 도체, 철탁, 애자들의 재사용 가능 여부 그리고 기존 경과지의 폭을 유지할 수 있는지에 대해서는 매우 중요한 문제이다. 특히 가공 송전선로의 구축을 위해서는 전기환경 설계 기준에 맞는 송전도체의 크기, 배치 및 지상고 등을 결정해야 한다. 그러나 직류 송전선로와 하이브리드 송전선로에 대한 정확한 기준은 국내뿐만 아니라 해외에도 존재하지 않고 있다. 일반적으로 기존의 철탁 규격을 크게 훼손하지 않는 범위의 최대 DC 전압은 AC 상-대지 실효치 전압을 고려하고, DC에서의 절연체 소재는 같은 환경조건과 등가전압 조건에서 보다 더 높은 오손조건을 고려해야 한다[9-11].

본 연구에서는 향후 국내계통에서 AC/DC 병가선로 적용 가능성이 있을 것으로 예상되는 AC 765kV 2회선 철탁을 AC 765kV 1회선 및 ± 500 kV HVDC 1-Bipole 시스템으로 구성한 경우에 대하여 분석한다. 이는 기존 AC 765kV 1회선 구간의 철탁에 HVDC 시스템을 함께 운영하는 형태를 가정하였고, 병가선로의 길이는 15km로 구성한다. 일반적으로 선로 중간지점의 사고 시 가장 높은 개폐서지 과전압이 발생함 것으로 보고되고 있으나 본 연구의 선로구성의 경우 EMTDC 모의결과를 확인하고, 공기절연거리를 산정하는 개폐서지 과전압 현상을 분석하고자 한다.

II. 병가선로의 해석모델

2.1 시스템 기본구성

개폐서지 과전압 해석을 위한 대상 계통은 동

해안 발전력 8GW 수준을 수도권으로 전송하기 위해 도체수로 Double Bipole $\pm 500\text{kV}$ HVDC 송전선로 모델을 적용하는 형태이다. 송전거리는 1단계 Single Bipole 기준으로 226km, 2단계 Single Bipole 258km이다. 양단 변환소 측에서는 각각 Single Bipole로 인입 및 인출되며, 중간 구간에서는 Double Bipole DC선로 공통으로 연계된다. 대부분 가공선로이지만 일부 인입 및 인출과 중간지점에서 지중선로를 적용한다. AC 765kV 2회선 첩탑을 AC 765kV 1회선 및 $\pm 500\text{kV}$ HVDC 1-Bipole 시스템으로 구성한 경우를 상정한 것은 기존 AC 765kV 1회선 구간의 첩탑에 HVDC 시스템을 함께 운용하는 형태를 가정한 것이다. 2단계 Single Bipole 영역에서 수도권 지역에 진입하는 특정구간에 병가선로가 최대 15km정도 예상되므로 그림 1과 같이 도체수로 Double Bipole의 개폐서지 과전압 해석모델을 추가하여 해석한다.

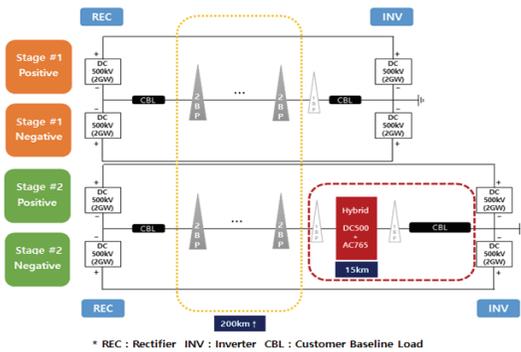


그림 1. 병가선로가 포함된 송전시스템 모델의 구성도
Fig. 1 Configuration of transmission system model with hybrid lines

2.2 EMTDC 해석모델

변환모델과 제어각 모듈이 미포함된 정전압 모델을 통하여 DC 500kV를 공급하는 형태로 모델을 구성하였으며, 각 단계별 pole당 전압은 500kV, 전류는 4kA, 송전전력 2GW이다. 그림 2와 같이 전체적인 선로구성 방식은 향후 여건에 따른 변경사항에 대응할 수 있도록 지중선로와 병가선로는 모듈화로 구성하였다. 선로구성의 대

부분을 차지하는 1-Bipole 및 2-Bipole의 가공선로는 EMTDC 모델을 그대로 사용하였다. 병가선로의 모델은 2단계에 인버터 측으로 분기되는 지점에서 모델을 구성하였으며, 선로의 길이는 15km를 기본으로 지정하였다.

개폐서지 과전압 해석시 Double Bipole 선로 구간은 전체적으로 극도체 4개, 중성선 2개, OPGW(Composite Overhead Ground Wire with Optical Fiber) 1개인 7도체로 구성한다. 가공지선 별도구간은 7도체에 OPGW 1개 포함된 8도체 구성으로 변환소 인근에서 2km 내외로 예상되며, 첩탑 경간 500m를 가정하면 4개 정도의 수준이다. 이는 직접적으로 전력전송에 기여하지 않는 2km 수준의 선로 1개가 되며, 전체 200km가 넘는 시스템 구성에서 큰 영향을 미치지 않기 때문에 고려하지 않는다.

지중선로 구성은 도체와 중성선을 3도체로 적용한다. 1pole 당 전송전력을 2GW로 맞추기 위해서는 도체당 공칭단면적 2500mm^2 , 관로포설시 허용전류 1.6kA로 가정하여 $500\text{kV} \times 1.6\text{kA} = 800\text{MW}$ 가 된다. 도체 3조로 구성하여 전체 $800\text{MW} \times 3 = 2400\text{MW}$ 를 적용한다. 그리고 중성선도 3조로 적용하는 것은 양(+)극이든 음(-)극이든 하나의 극이 고장이 났을 때 중성선으로 전력이 회귀할 수 있도록 하는 것이지만, 평상시에 중성선에 운영전압이 걸리지 않기 때문에 중성선 케이블은 DC500kV보다 절연계급이 낮은 것으로 채택한다.

가공선로의 HVDC 2-Bipole 선로는 7도체로 모의하고, 8도체는 고려하지 않는다. HVDC 2-Bipole 선로는 아래에서부터 극도체 4개, 중성선 2개, 가공지선 1개로 구성되며, 전체 첩탑높이는 약 75m를 적용한다. HVDC 1-Bipole 선로는 4도체로 모의하고, 중성선은 6도체 1회선으로 구성한다. 3도체씩 첩탑 양을 이용하여 양쪽에 배열하는 형태와 6도체를 첩탑 가운데 배열하는 방식은 200km 2-Bipole 시스템의 개폐서지 과전압에 큰 영향을 미치지 않는다. HVDC 1-Bipole 첩탑의 높이는 약 50m로서 2-Bipole 첩탑높이 보다 25m 가량 낮게 구성한다.

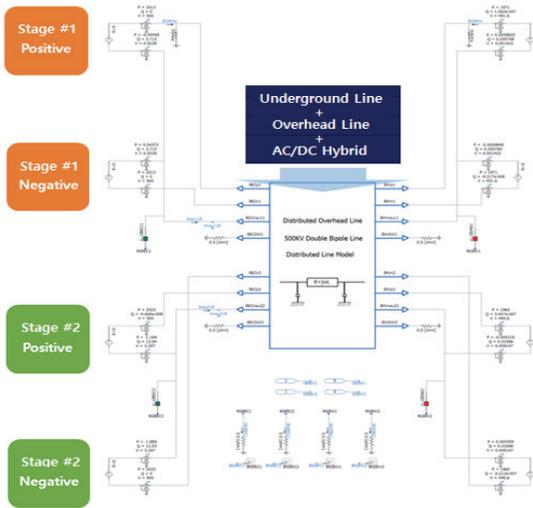


그림 2. EMTDC 해석모델
Fig. 2 Analysis model of EMTDC

AC 765kV/DC 500kV 병가선로는 8도체로 모의한다. 기존의 AC 765kV 철탑을 활용하여 한 쪽에는 AC 765kV 선로를 구성하였고, 반대편에는 DC500kV 선로를 구성하였다. 기존의 AC 765kV 철탑이 구상하고 있는 HVDC 2-Bipole 철탑보다 규모면에서 다소 크기 때문에 공기절연거리를 충족한다. AC 765kV 철탑 높이는 HVDC 2-Bipole 철탑보다 약 25m가 높고, 한쪽 압 길이는 도체기준으로 약 3m 길다. AC 765kV 선로와 DC 500kV 선로는 동일한 사양을 적용하였고, AC와 DC측의 가공지선도 동일한 사양의 선로를 각각 설치한다. 통상적으로 대지저항률은 100~200 [ohm*m] 범위이지만 AC/DC 병행구간이 있는 가평균 및 강원도 대지저항률을 기준으로 1000[ohm*m]를 적용한다.

III. 해석모델 검증

3.1 병가선로 없는 기존 모델

병가선로가 추가된 그림 1에서 병가선로를 제외하면 그림 3과 같이 송전시스템을 구성할 수 있다. 정전압 모델을 통하여 DC 500kV 공급하는 형태로 모델을 구성하는 가공시스템이 주요 요소이며, HVDC 시스템

의 변환 및 제어의 역할보다는 200km를 상회하는 거대한 송전시스템의 특성을 분석한다. 각 단계별 pole 당 전압 500kV, 전류 4kA, 송전전력 2GW가 개별 송전시스템에 주입이 되어 고장특성을 평가한다.

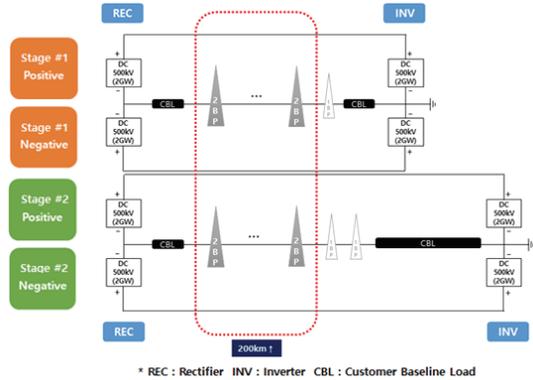


그림 3. 병가선로가 없는 송전시스템 모델의 구성도

Fig. 3 Configuration of transmission system model without hybrid lines

3.2 병가선로 해석모델 검증

병가선로가 없는 모델과 병가선로가 추가된 모델을 모의하여 그 특성을 비교하여 모델의 정확성을 검증한다. 기본적으로 선로의 중간 지점에서 고장이 발생하였을 때, 반대 극성에서 최대 개폐서지 과전압이 나타나는 특성은 그림 4와 같이 유사하게 나타난다.

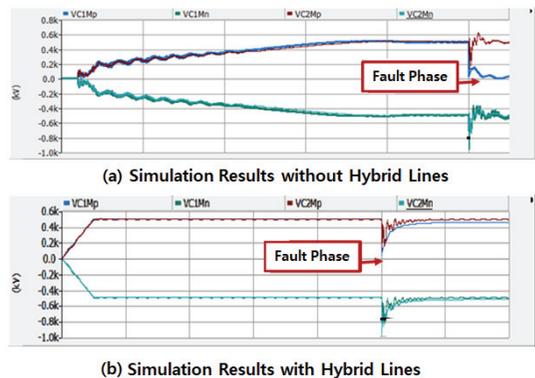


그림 4. 개폐서지 과전압 특성

Fig. 4 Characteristics of switching surge over-voltage

병가선로가 없는 기존 모델 그림 4의 (a)는 고장 적용시 반대편 극성에서 최대 개폐서지 과전압을 나타내고 빠른 응답을 보이는 반면, 병가선로가 추가된 신규 모델 그림 4의 (b)에서는 상대적으로 느린 응답을 보이고 있다. 이러한 상태는 최대 개폐서지 과전압을 분석하는 차원에서는 중요한 요소가 아니며, 송전 설계 관점에서는 고장 시 발생하는 과전압 값이 중요하다. 기존 모델은 948.78kV, 신규모델에서는 952.22kV로서 950kV 내외의 최대 개폐서지 과전압 값이 도출되어 그 특성이 합리적으로 나타나 모델 구성의 문제는 없는 것으로 평가되었다.

IV. 병가선로 개폐서지 과전압 해석

1단계에서는 전체 송전거리가 226km이며, 2단계는 258km로서 비대칭적인 구성이다. 최대개폐서지 과전압은 선로의 중간지점 고장 시 반대편 극성에서 나타난다. 여기서는 각 단계별 선로 중간지점에서만 고장분석을 통해 최대 개폐서지 과전압을 도출한다. 1단계의 경우 113km에서 검증을 하고, 2단계의 경우 129km에서 고장 분석을 시행한다.

4.1 선로구성

선로구성은 병가선로 없는 기존선로와 병가선로가 있는 신규선로로 구분하여 해석한다. 병가선로를 고려하지 않는 CASE ID [W/OHB]는 2단계 병가선로 0km + 1BP Cable 39km로 선정한다. 변환소와 인버터 구간의 선로 구성은 표 1과 같다.

표 1. CASE ID [W/OHB]의 EMTDC 선로
Table 1. EMTDC Lines of Case ID [W/OHB]

	REC											INV
	1BP_CBL	2BP_OH_0	2BP_OH_1	2BP_OH_2	2BP_OH_3	2BP_OH_4	2BP_OH_5	BP_OH	Hybrid	BP_OH	1BP_CBL	
#1	3	40	40	30	21	40	40	5	0	0	7	
	113km				113km							
#2	3	40	40	46	20	25	40	2.5	0	2.5	39	
	129km				129km							

신규선로는 병가선로 5km + 1BP 34km인 CASE ID [WHB5], 병가선로 10km + 1BP 29km인 CASE ID [WHB10] 및 병가선로 15km + 1BP 24km인 CASE ID [WHB15]로 나누어 해석한다. 각 CASE별 선로는 표 2, 표 3 및 표 4와 같이 구성된다.

표 2. CASE ID [WHB5]의 EMTDC 선로
Table 2. EMTDC Lines of Case ID [WHB5]

	REC											INV
	1BP_CBL	2BP_OH_0	2BP_OH_1	2BP_OH_2	2BP_OH_3	2BP_OH_4	2BP_OH_5	BP_OH	Hybrid	BP_OH	1BP_CBL	
#1	3	40	40	30	21	40	40	5	0	0	7	
	113km				113km							
#2	3	40	40	46	20	25	40	2.5	5	2.5	34	
	129km				129km							

표 3. CASE ID [WHB10]의 EMTDC 선로
Table 3. EMTDC Lines of Case ID [WHB10]

	REC											INV
	1BP_CBL	2BP_OH_0	2BP_OH_1	2BP_OH_2	2BP_OH_3	2BP_OH_4	2BP_OH_5	BP_OH	Hybrid	BP_OH	1BP_CBL	
#1	3	40	40	30	21	40	40	5	0	0	7	
	113				113							
#2	3	40	40	46	20	25	40	2.5	10	2.5	29	
	129				129							

표 4. CASE ID [WHB15]의 EMTDC 선로
Table 4. EMTDC Lines of Case ID [WHB15]

	REC											INV
	1BP_CBL	2BP_OH_0	2BP_OH_1	2BP_OH_2	2BP_OH_3	2BP_OH_4	2BP_OH_5	BP_OH	Hybrid	BP_OH	1BP_CBL	
#1	3	40	40	30	21	40	40	5	0	0	7	
	113				113							
#2	3	40	40	46	20	25	40	2.5	10	2.5	29	
	129				129							

4.2 해석결과

일반적으로 DC 시스템에서 나타나는 개폐서지 과전압은 변환설비의 제어동작 또는 직류선로 고장 등에 의해 발생하는 수 ms 단위의 서지성 과전압을 의미한다. 그리고 DC 시스템에서 최대 개폐서지 과전압은 한 극성의 지락 사고시 반대편 상대극에서 개폐서

지성 과전압이 수 ms 동안 나타나며 이때의 과전압을 해석한다. 특히 선로중앙에서 지락사고가 발생했을 때, 가장 높은 개폐서지 과전압이 발생한다. 선로중앙 고장 시 CASE ID [W/OHB]의 해석 결과는 그림 5, CASE ID [WHB5]의 해석 결과는 그림 6, CASE ID [WHB10]의 해석 결과는 그림 7 및 CASE ID [WHB15]의 해석 결과는 그림 8에 각각 나타냈다.

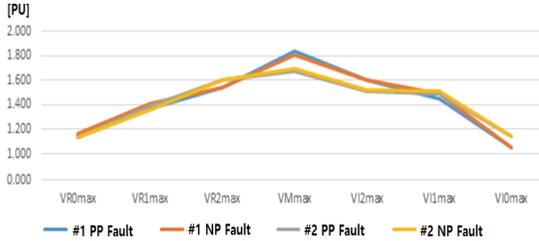


그림 5. CASE ID [W/OHB] 해석결과
Fig. 5 Analysis results of CASE ID [W/OHB]

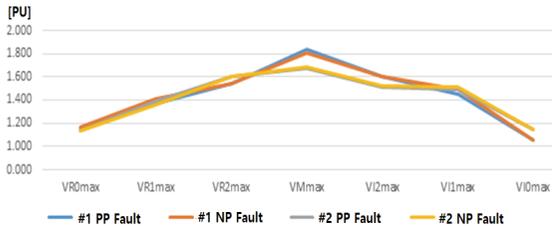


그림 6. CASE ID [WHB5] 해석결과
Fig. 6 Analysis results of CASE ID [WHB5]

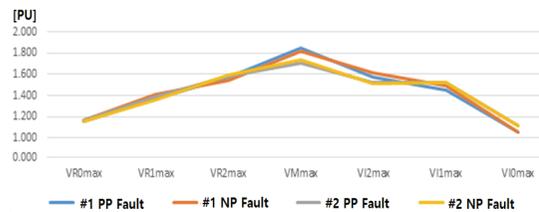


그림 7. CASE ID [WHB10] 해석결과
Fig. 7 Analysis results of CASE ID [WHB10]

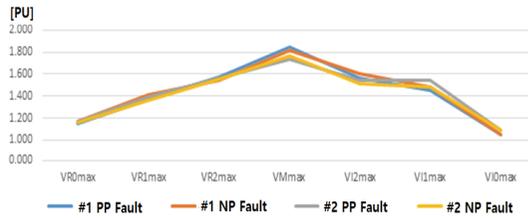


그림 8. CASE ID [WHB15] 해석결과
Fig. 8 Analysis results of CASE ID [WHB15]

그림 5, 그림 6, 그림 7 및 그림 8을 정리하면 표 5와 같다.

표 5. 개폐서지 과전압 해석 결과 요약
Table 5. Summary of analysis results for switching surge over-voltage[Unit:PU]

CASE ID	W/OHB	WHB5	WHB10	WHB15
#1 Positive Fault	1.815	1.840	1.845	1.845
#1 Negative Fault	1.792	1.808	1.819	1.819
#2 Positive Fault	1.649	1.670	1.710	1.737
#2 Negative Fault	1.664	1.690	1.736	1.769
Average	1.730	1.752	1.777	1.793

병가선로가 고려되더라도, 평균적으로 최대 개폐서지 과전압 결과 1.85[PU] 이하로 도출되었다. 다만 병가선로의 길이가 길어질수록 평균적으로 개폐서지 과전압 배수가 상대적으로 높게 나오는 것으로 관측된다. 병가선로가 5km 단위씩 길어질수록 1.752[PU], 1.777[PU], 1.793[PU]로 증가한다. WHB5와 WHB15간에는 최대 개폐서지 과전압의 평균이 약 0.041[PU] 차이가 발생한다. 이는 병가선로가 1km 부가될 때마다 약 0.004[pu/km]의 개폐서지 과전압 증대가 예상된다. 이러한 현상은 병가선로가 추가됨으로써 시스템 전체적으로 에너지를 부가하는 상황으로 이해할 수 있다. 즉, 선로 중앙에서 고장이 나더라도 2단계의 Inverter 측 인근에 위치한 병가선로에 의한 AC에서 DC로의 유도전압 요소가 더욱 부가됨으로써 나타나는 현상으로 해석된다. 또한 시스템 모델링상 병가선로가 추가됨으로써 matching point 수가 증가되고, 이는 개폐서지의 인입과 반사의 영향이 가해지면서 평균적으로 최대 개폐서지 과전압이 상승한 것으로 추정한다.

V. 결론

전반적으로 1단계 개폐과전압과 2단계 개폐과전압은 다른 형태를 보이고 있다. 이는 기본적으로 1단계와 2단계의 1-Bipole 시스템의 비대칭성 존재에 의한 것이다.

그리고 1단계의 개폐과전압이 2단계의 개폐과전압보다 높게 형성된다. 통상적으로 커패시터 성분이 상대적으로 많이 포함된 케이블이 2단계에 더 많이 적용되었기 때문에 2단계의 개폐과전압이 높을 것으로 예상되었으나 결과는 1단계에서 더 높은 개폐과전압 결과가 도출되었다. 이러한 결과는 나온 이유는 아래와 같이 정리할 수 있다.

일반적으로 전력계통에 무효전력을 주입하게 되면 전압은 상승하게 된다. 다만 적정수준의 임계치를 벗어나게 되면 주입되는 무효전력량에 비례하지 않는 전압이 나타난다. 즉, 무효전력에 반비례하여 전압은 감소하게 되는 무효전력 성분의 비선형성이 발생하게 된다. 이러한 현상이 본 시스템에도 적용될 수 있는 가능성이 있다.

본 연구에서는 가공선로와 지중선로가 혼재되어 있는 선로로 구성되어 있다. 이러한 시스템에서는 가공과 지중의 matching point 마다 개폐서지의 진행과 반사가 복합적으로 이루어지게 된다. 이와 같은 상황에서 복합적 서지전파의 합성효과로 인해 오히려 지중선로 구간이 많이 적용되는 2단계 사업에서 개폐서지 과전압의 크기가 상대적으로 낮게 나온 것으로 추정한다.

서지감쇠는 일반적으로 C 성분의 제곱근에 비례하여 나타나는데 이러한 현상에 의한 것으로 추론된다. 감쇠정수는 특성 임피던스에 반비례하게 되며, 이는 시스템 C에 대해 제곱근 형태로 반비례한다. 결론적으로 지중선로의 C가 크면 특성 임피던스는 낮아지고, 낮은 특성 임피던스에서는 감쇠정수가 커지게 된다.

DC 시스템의 경우 일반적으로 가장 보수적인 개폐서지 과전압 배수를 바탕으로 DC 시스템 전체를 대상으로 일괄적 절연설계를 진행한다. 다만, 장거리 DC 시스템에서 전체 구간에 대해 최대 개폐서지 과전압 배수의 일률적 적용보다는 DC 시스템 중앙부와 같이 특별한 구간에 대해 별도의 개폐서지 과전압 배수를 적용할 수 있는 방안도 고려할 수 있다. 예를 들

면, 200km 이상에 이르는 모든 철탑에 확일적으로 1.85[PU]의 개폐서지 과전압 배수를 적용하기보다는 선로 중앙지점의 몇 개 경간에 대해서만 별도의 개폐서지 과전압 배수를 검토하여 특수철탑을 개별 설계하는 것이다. 이러한 설계방안을 적용하기 위해서는 변환/지중/가공 분야의 최종적인 기술규격을 바탕으로 시스템 모델링이 우선되어야 하며, 최종적으로 시스템의 안정성과 경제성을 동시에 고려하여 적용될 수 있는 개폐서지 과전압 배수를 결정해야 한다. 개폐서지 과전압 해석모델에서 도출되는 개폐서지 과전압 배수는 추후 $\pm 500\text{kV}$ HVDC 도체귀로 Double Bipole 가공선로의 공기절연거리 설계의 주요 파라미터로 활용할 수 있다.

References

- [1] J. Kim, H. Kim, Y. Cho, and J. Cho, "Application of a DC Distribution System in Korea: A Case Study of the LVDC Project," *Applied Sciences*, MDPI, vol. 9, issue 1073, 2019, pp. 21-33.
- [2] E. Kwak and C. Moon, "Analysis of Power System Stability by Deployment of Renewable Energy Resources," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 633-642.
- [3] S. Kim, J. Oh, O. Kim, H. Lim, and C. Moon, "A Study on Decision Plan of Hosting Capacity for Distribution Feeder," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 653-660.
- [4] S. Kim, Y. Chang, K. Jim, S. Kim, and C. Moon, "Operation System Design of Distribution Feeder with Distributed Energy Resources," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1183-1194.
- [5] M. Safder, S. Rizvi, Y. Meng, M. Javed, M. Jaffery, and M. Hassan, "Low-frequency AC Power Transmission and Distribution for Subsea Application Using Hexverter", *Electronics*, MDPI, vol. 9, issue 61, 2020, pp. 1-33.
- [6] A. Ingole, "Enhance Power Transfer in Existing

Transmission Line Simultaneous AC-DC Transmission," In. *J. of Research and Analysis in Science and Engineering*, vol. 1, issue 3, 2021, pp. 21-33.

- [7] E. Kwak, J. Min, H. Jung, and C. Moon, "A Study on HVDC and BESS Application for High Penetration of Renewable Energy Sources," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1339-1348.
- [8] A. Guillamon, K. Das, and N. Cutululis, "Offshore Wind Power Integration into Future Power Systems: Overview and Trends," *J. of Marine Science and Engineering*, vol. 7, issue 399, 2019, pp. 1-23.
- [9] X. Liu, Y. Liu, J. Liu, Y. Xiang, and X. Yuan, "Optimal Planning of AC-DC Hybrid Transmission and Distributed Energy Resource System: Review and Prospects," *J. of Power Energy Systems*, vol. 5, no. 3, 2019, pp. 409-421.
- [10] Y. Son and J. Lee, "Proper Cable Arrangement Selection by Induced Voltage Evaluation of DC Cable in AC/DC Hybrid Combined Transmission Systems," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 64, no. 5, 2015, pp. 680-688.
- [11] S. Oh, J. Song, J. Lee, S. Jung, H. Ku, and J. Shin, "Development of Full-Scale Power System Real-time Simulation Technology for AC-DC Integrated Power System Analysis," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 69, no. 11, 2020, pp. 1586-1596.

저자 소개

유성수(Seong-Soo Yoo)



1993년 성균관대학교 공학사
2020년 전남대학교 경영학석사
1994년~현재 한국전력공사 근무
(2020년~현재 처장)

2021년~현재 목포대학교 대학
원 신재생협동 박사과정

한국전력공사 신송전사업처 부장, 강진전력지사장
역임

※ 관심분야 : Smart Grid시스템, HVDC시스템,
신재생 전력변환시스템

신구용(Koo-Yong Shin)



1991년 동아대 전기공학과 공학사
1993년 경남대 석사
1988년~1993 한국전력공사 근무
1993년~현재 한전전력연구원 근무
(2020년~현재 수석연구원)

한전 전력연구원 송변전설비연구실장,
대한전기학회 C부문화 이사, CIGRE 송전분과 한국
대표

※ 관심분야 : 송전기술, HVDC, 전기환경설계

문채주(Chae-Joo Moon)



1981년, 1983년 및 1994년 전남대
학교 공학사, 공학석사, 공학박사
1997년~현재 목포대학교 공과
대학 전기 및 제어공학과 교수
2017년~현재 에너지밸리산업학
융합원장

한국전력기술(주) 책임연구원, 광주일보 테마칼럼
니스트, 전력전자학회 부회장, 이투스 및 한국전
기신문 칼럼니스트, 기초전력연구원 에너지밸리분
원장 역임

※ 관심분야 : 풍력발전시스템, 전력변환시스템, 전
력시스템