

AC/DC 선로 커플링에 따른 정상상태 영향 분석

천이경*, 박성진*, 이육화*, 정용호*, 윤중수**, 문형배***
 LS산전(주)*, 전력연구원**, 한국전력공사***

The Study of Steady-State Interaction Between AC/DC Line Coupling

Yi-Kyung Chyun*, Sung-Jin Park*, Uk-Hwa Lee*, Yong-Ho Chung*, Jong-Su Yoon**, Hyeong-Bae Moon***
 LSIS*, KEPRI**, KEPCO***

Abstract - 본 논문은 2011년 제주계통 한림변전소와 금악변환소 사이에 설치 예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템의 DC 가공선로를 기존의 AC 송전 철탁의 AC 선로와 병렬로 추가하여 운영할 때 선로 Coupling에 따른 정상상태 영향을 분석한 내용이다. 한림변전소와 금악변환소 사이 철탁 17개의 데이터를 기반으로 송전선로를 모델링함으로써 실제 데이터에 최대한 근접할 수 있도록 정확성을 도모하였으며, 모델링과 분석에 있어서 전자계과도현상 해석프로그램인 PSCAD를 이용하였다. 특히 AC 병렬 연계 유무에 따른 DC 전류 주파수를 비교함으로써 AC/DC Coupling의 영향을 분석하였으며 최종적으로 이에 따른 기본과 성분 제거에 필요한 DC 필터 설치 유무에 관한 결론을 도출하였다.

1. 서 론

최근 송전선로 포화로 인한 송전선로 신증설의 어려움을 기존 AC 송전철탁에 DC 선로를 병렬 연계 혹은 AC 송전 계통의 일부를 DC 선로 계통으로 변환함으로써 그 문제점을 해결하고자 하고 있다[1].

기존의 AC 송전철탁에 AC 선로와 병렬로 DC 선로를 추가하여 운영하는 AC/DC 선로 Coupling은, DC 가공선로 송전의 전용 송전철탁 건설에 있어서의 단점이라 할 수 있는 경제적인 문제점을 해결해 줄 수 있다. 반면에 AC 전력조류로 인한 DC 송전선로의 전자계 유도현상의 영향이 시스템에 악영향을 미칠 수 있으며, 반대로 DC 선로 사고로 인한 AC 조류의 영향을 받을 수도 있다. 2011년 제주계통 한림 S/S와 금악 C/S사이에 설치 예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템의 경우, DC 가공선로를 기존의 154kV AC 4회선 철탁에 병렬 연계하여 운용할 계획이다. DC 선로의 설치 예정 총 길이가 약 5.3km이며 DC 가공선로와 AC 선로의 병렬연계 선로의 길이는 약 4.8km이고 나머지 0.5km는 DC 지중케이블로 구성되어 있다. 따라서 4.8km 가공선로 구간의 154kV 철탁에서의 AC 및 DC 선로 Coupling에 대한 영향을 분석할 필요성이 있다. 본 논문은 제주계통 ±80kV 60MW HVDC 시스템 운전에서 있어서, 동일철탁 내 AC 및 DC 선로 Coupling으로 인한 정상상태에서의 영향을 분석하였다. 보다 정확한 Coupling 영향 분석을 위하여 병렬 연계 구간 4.8km 내 17개의 실제 철탁 데이터를 전자계과도현상 해석프로그램인 PSCAD의 입력 데이터로써 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 본 론

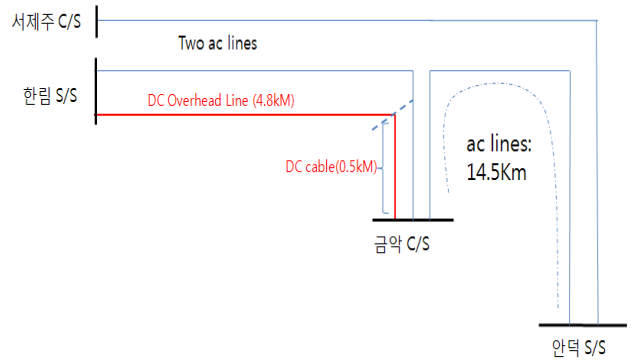
2.1 HVDC 구성 및 모델링

그림 1은 제주계통에서 한림 S/S와 금악 C/S 사이의 AC 및 DC 선로 Coupling 구간을 나타내고 있다. 총 5.3km DC 구간 중 기존의 154kV AC 4회선 철탁에 병렬 연계되는 DC 가공선로 구간은 4.8km이며, 나머지 0.5km는 DC 지중케이블로 연계된다. 표 1은 한림 S/S와 금악 C/S 사이 AC 및 DC 선로가 Coupling 되는 구간 4.8km 간 기존 AC 송전철탁 17개에 대한 데이터들이다. 두 번째 철탁의 경우 현재 사용되고 있지 않기 때문에 경간이 존재하지 않으며, 누계 경간은 변전소 내부 구조물 131m를 포함해서 총 4,707km를 나타내고 있다. 기존 154kV AC 4회선 철탁에서 상부 2회선이 AC 송전선로로, 하부 1회선은 ±DC 선로 및 중성선으로 설치될 예정이다.

±80kV 60MW HVDC 시스템은 6 pulse Monopole 2대가 직렬로 연계된 12 pulse Bipole HVDC 시스템으로써 구성 요소들은 아래와 같다.

- 정류기 및 인버터 : 각 2대
- 변압기 : 154kV/33.5kV, 36MVA/18MVA/18MVA(Y/YΔ), %Z=12%
- Smoothing Reactor : 0.15H 2대
- Resistor : 1.226 ohm 2대
- AC 송전선로 : ACSR/AW 330mm²
- DC 송전선로 : LACSR 330mm²
- DC Cable 정전용량 : 0.2248 μF/km

그림 2는 PSCAD Line Tower Universal Model의 입력 Data로 이용하여 송전선로를 모델링한 것으로써 17개의 철탁 데이터 중 대표적으로 첫 번째 철탁의 상별 배치를 보여주고 있다.



<그림 1> 제주계통 AC/DC 선로 Coupling 구간

<표 1> AC/DC Coupling 구간 송전선로 Data

철탁 번호	경간(m)	누계경간(m)	철탁형	하단(m)
1	84	215	D02	36
2	0	215	D02	24
3	268	483	B4	29
4	274	757	F4	32
5	288	1,045	F4	26
6	304	1,349	C4	28
7	303	1,652	E4	34
8	368	2,020	E4	34
9	265	2,285	B4	27
10	287	2,572	F4	32
11	263	2,835	F4	28
12	321	3,156	F4	40
13	304	3,460	F4	34
14	261	3,721	B4	34
15	296	4,017	C4	36
16	360	4,377	SF4	34
17	330	4,707	B4	34

Tower: AC_DC1 Conductors: chakar				Tower Centre 0 [m]			
Cond #	Connection Phasing #	X(from power centre)	Y (at tower)	GW #	Connection Phasing #	X(from tower centre)	Y (at tower)
1	1	-3.7 [m]	41.6 [m]	1	Eliminated	-3.1 [m]	63.6 [m]
2	2	-4.7 [m]	46.1 [m]	2	Eliminated	3.1 [m]	63.6 [m]
3	3	-3.6 [m]	46.6 [m]				
4	4	3.7 [m]	41.6 [m]				
5	5	4.7 [m]	46.1 [m]				
6	6	3.6 [m]	46.6 [m]				
7	7	-5.1 [m]	29 [m]				
8	8	-4.8 [m]	33.3 [m]				
9	9	-5.0 [m]	37.1 [m]				
10	10	5.1 [m]	29 [m]				
11	11	4.4 [m]	33.3 [m]				
12	12	5.0 [m]	37.1 [m]				

Ground Resistivity: 10.0 [ohm·m]
 Relative Ground Permeability: 1.0
 Earth Return Formula: Analytical Approximation

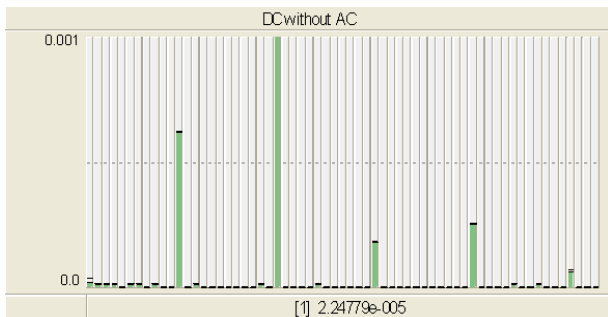
<그림 2> 송전선로 모델

2.2 AC/DC 선로 커플링의 정상상태 영향 분석

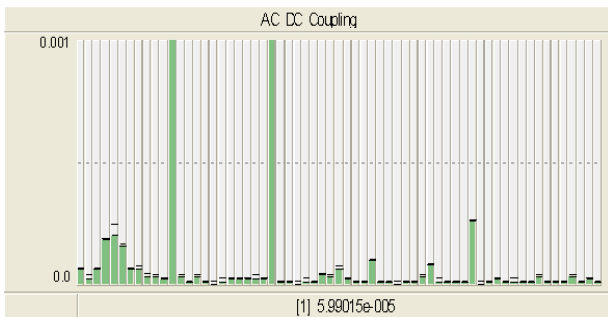
AC/DC Coupling으로 인하여 60Hz 기본파 주파수 전류성분이 DC선로를 순환하여 AC Converter bus의 2차 고조파 전압을 생성시켜 AC 선로의 전류에 2차 고조파 전류를 발생시키게 된다. 이 2차 고조파 전압은 DC 측의 기본파 전류의 영향을 주게 되며 AC/DC 커플링 영향으로 인한 특성고조파와 비특성고조파 전압은 AC 계통으로 이동하여 시스템에 악영향을 준다[2].

그림 3과 그림 4는 AC 송전 선로 연계 유무에 따른 DC 전류 주파수를 나타낸다. 일반적으로 DC 선로만 존재할 경우 12n특성 고조파가 크게 나타나게 되며, AC/DC Coupling으로 인하여 비특성 고조파가 크게 변함을 그림 3과 그림 4의 비교를 통하여 확인할 수 있다. 우선 그림 3은 AC 선로 연계가 없는 경우의 DC 전류 주파수로 DC 선로의 기본파 전류는 0.0248A 임을 나타낸다. 이에 반해 AC 선로와 DC 선로를 병렬연계한 AC/DC Coupling의 경우 전자기 유도 영향으로 인하여 DC 선로에 기본파가 보다 증가 된 값인 0.0599A를 나타낸다. 이는 DC 선로가 AC 조류로 인하여 기본파 성분뿐만 아니라 저차 주파수 전류 성분에서부터 12차 주파수까지 커플링 영향을 상당히 많이 받게 됨을 확인할 수 있다. 참고문헌 [2]에 의해 경험적으로 DC 전류에서 60Hz 기본파 주파수 성분이 정격전류의 1%이상이면 HVDC 시스템에 큰 영향을 미친다는 것으로 보고된다. 본 논문의 AC/DC Coupling 영향 분석에 있어서는 Coupling으로 인한 기본파 주파수 성분 값이 DC 전류 378A에 0.1%에 해당하는 0.378A에도 한참 미치지 못하기 때문에, 60Hz 기본파 성분 제거를 위한 DC 필터 혹은 Blocking 필터의 설치가 불필요하다고 볼 수 있다.

[1] M.I.Khan, R.C.Agrawal, "Conversion of AC line into HVDC", Inaugural IEEE PES 2005 Conference & Exposition in Africa Durban, South Africa, 11-15, July 2005
 [2] K. Ramesh, T. Adhikari, S.C. Kapoor, D.P. Gupta, "Parallel Operation of AC and DC Lines Running on the Same Tower", Cigre International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 14-06, 1988
 [3] E.V. Larsen, R.A. Walling, C.J. Bridenbaugh, "Parallel AC/DC Transmission Lines Steady-State Induction Issue", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.4, No.1, January 1989
 [4] M.Kizilcay, A.Agdemir, M.Losing, "Interaction of a HVDC System with 400kV AC systems on the same tower", International Conference on Power System Transient in Kyoto, Japan June 3-6, 2009.
 [5] 윤중수, "AC 및 DC 송전선로 병렬연계에 따른 정상상태 커플링 영향 분석", Trans. KIEE. Vol.60, No.1, January 2011



<그림 3> AC 선로 연계가 없는 경우 DC 전류 주파수



<그림 4> AC/DC 선로 Coupling의 경우 DC 전류 주파수

3. 결 론

본 논문은 제주계통 한림변전소와 금악변전소 사이 첩탑 17개의 데이터를 기반으로 송전선로를 모델링하여 ±80kV 60MW HVDC 시스템의 AC/DC Coupling에 따른 정상상태 영향을 분석한 내용이다. 기존의 AC 송전첩탑에 DC 선로를 추가하여 운용하는 AC/DC 선로 Coupling은 경제성에 장점이 있으나 AC 전류조류로 인한 DC 송전선로의 전자기 유도현상의 영향이 시스템에 악영향을 미칠 수 있다는 단점이 있다.

AC 송전선로 유무에 따른 DC전류 주파수를 비교함으로써 AC/DC Coupling 영향을 분석하였으며 Coupling으로 인한 기본파 주파수 성분 값이 차이가 있었으나 DC 전류 378A에 0.1%에 해당하는 값에도 미치지 못하기 때문에, 60Hz 기본파 성분 제거를 위한 DC 필터 혹은 Blocking 필터의 설치는 불필요하다는 결론을 도출하였다. 본 논문은 2011년 제주계통 설치예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템 설계 사양을 기반으로 수행되었으며, 시스템 설계사양의 수정 여부에 따라 분석내용에 대한 보완을 지속할 예정이다.