

시스순환전류 저감장치의 적정 설치위치 검토

홍동석*, 장태인, 강지원, 이동일
한국전력 전력연구원

A Study on the Proper Installation Location of a Sheath Circulating Current Reduction Equipment

D.S.Hong, T.I.Jang, J.W.Kang, D.I.Lee
KEPRI

Abstract - 본 논문에서는 지중 실계통에 저감장치의 설치 위치를 다양하게 변경시켰을 경우 시스 순환전류의 변화를 분석하였으며, 그 결과 보통접속함에 저감장치를 설치하였을 경우가 절연접속함에 설치했을 경우에 비해 적은 저감효과를 보임으로써 저감장치 적용지점 선정에 있어 보통접속함의 저감장치 취부를 가능한 자제할 것으로 권하고 있는 국내 기준(안)의 타당성을 확인하였다.

1. 서 론

최근 도심지의 인구집중현상과 함께 전력수요의 밀도가 급격히 높아짐에 따라 송전선로 건설의 필요성이 증대되고 있으나 도심지 통과 및 환경적 요인 등 인구 밀집지역 내의 가공송전선로가 갖고 있는 한계 때문에 지중송전선로의 건설이 증대되고 있으며, 특히 이러한 추세는 앞으로도 서울 등 대도시를 중심으로 계속 확산될 전망이다.

그러나 국내 지중송전계통의 건설은 케이블의 포설환경에만 의존하여 이루어졌기 때문에 포설방식의 혼용과 접속함간의 거리 불균형 등 전기적인 불평형 현상이 심화되어 많은 지중선로에서 시스순환전류 과다로 문제가 발생하고 있다. 이에 대한 해결책으로 국내에서는 리액터 성분을 이용한 시스순환전류 저감장치를 개발하여 각종 전기적인 Test와 저감장치 적용시 과도특성 및 고장전류분류용, 그리고 거리계전기 동작특성 등 현장적용 가능성에 대하여 다각적인 검토를 한 후, 현재는 일부 지중 실선로에 적용하여 시험운영 중에 있다[1-4]. 한편, 저감장치 적용지점 선정에 있어 국내 기준(안)에서는 대상선로 크로스본드 단위구간의 절연접속함 중 현장 시공성, 측정된 시스전류의 크기 등을 고려하여 저감효과를 극대화 시킬 수 있는 지점으로 선정한다고 명시하고 있으며, 보통접속함의 저감장치 취부는 가능한 자제할 것을 권하고 있다[5].

따라서, 본 논문에서는 과다한 시스 순환전류가 흘러 문제가 되고 있는 실선로에 저감장치의 설치 위치를 다양하게 변경시켰을 경우 시스 순환전류의 변화를 분석하여 저감장치 적용지점 선정에 있어 국내 기준(안)의 타당성 및 적정 설치위치를 검토하였다.

2. 본 론

2.1 대상선로의 계통도

해석선로는 전력구와 관로의 혼합 포설형태로 구성되어 있으며, 총 길이가 6.284[km]의 2회선 실계통 선로이다. 본 논문에서는 시뮬레이션의 편의상 1회선으로 모의하였으며 그림 1에 해석선로의 접속형태 및 구간길이를, 표 1과 2에 케이블 포설조건 및 전원임피던스를 나타내었다.

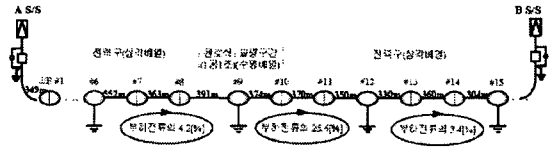


그림 1. 해석선로의 계통도 및 포설형태

표 1. 해석 선로의 케이블 포설조건

포설방식	전력구(정삼각배열) + 관로(직각배열 및 수평배열 혼용)
케이블 선종	154kV OF 2000[mm ²]
선로길이	6.284[km]

표 2. 해석선로의 전원 임피던스

전원 임피던스(A, B S/S)	R[Ω]	X[Ω]
영상	1.198	5.912
정상(역상)	0.332	2.687

2.2 저감장치 설치에 따른 시스 순환전류 특성 검토
2.2.1 대상선로의 시스순환전류

그림 2에 해석선로의 시스 순환전류 실측치 및 해석치를 나타내었다. 그림 2에서 알 수 있듯이 시스 순환전류는 J/B #11에서 최대값을 보였으며 J/B #9 - J/B #12 구간 사이에서 상승하고 있다. 이와 같은 이유는 J/B #6 - J/B #12 구간은 전력구식과 관로식이 혼용되어 있는 구간으로 도체 중심점간의 간격 불일치로 인하여 시스 상호임피던스 및 도체와 타상 시스간 상호임피던스가 불안정해지며 이로 인한 임피던스의 변화와 접속함간 길이의 불평형으로 시스 순환전류가 상승하고 있음을 원인으로 들 수 있다.

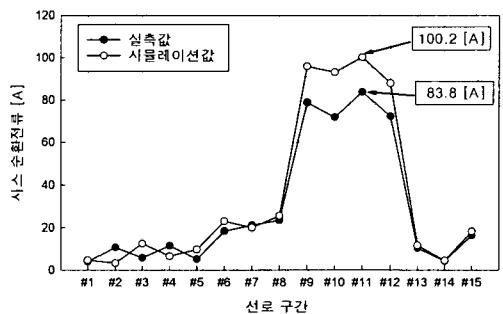


그림 2. 해석선로의 시스순환전류 실측치 및 해석치

2.2.2 Case 설정

본 시뮬레이션에서는 그림 2의 그래프에서 나타난 바와 같이 시스 순환전류가 과다하게 흐르고 있는 #10, #11, #12번에 1[Ω]의 저감장치를 설치하였을 경우에 시스 순환전류의 변화를 비교 분석하였다. 표 3에 Case별 설정조건을 나타내었으며, 그림 3에 시스순환전류 저감장치의 설치도를 나타내었다.

표 3. Case 설정조건

Case	설정조건
Case 1	- 저감장치를 설치하지 않는 경우
Case 2	- #10번 절연접속함에 저감장치를 설치하는 경우
Case 3	- #11번 절연접속함에 저감장치를 설치하는 경우
Case 4	- #12번 보통접속함에 저감장치를 설치하는 경우

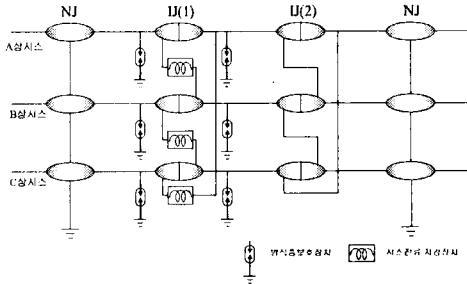


그림 3. 시스순환전류 저감장치의 설치도

2.2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 4에서 알 수 있듯이 저감장치를 설치한 모든 경우에 대하여 시스 순환전류가 과다하게 흐르는 #9 - #12 구간에 대하여 시스 순환전류 저감효과를 확인 할 수 있었다.

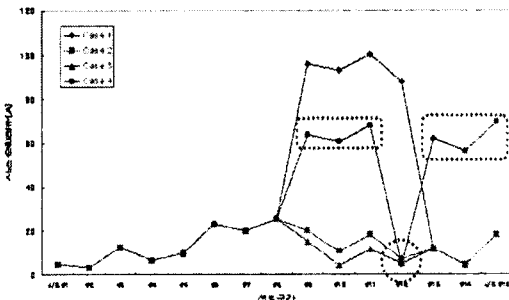


그림 4. 저감장치 설치위치에 따른 시스 순환전류

가장 큰 값의 시스 순환전류가 측정된 #11번 절연접속함에서의 저감효과를 Case 1과 비교·검토한 결과 #10번에 저감장치를 설치한 Case 2의 경우 약 82[%], #11번에 저감장치를 설치한 Case 3의 경우 약 88.5[%]로 아주 양호한 저감효과를 보였다. 하지만 #12번 보통접속함에 저감장치를 설치한 Case 4의 경우는 저감장치를 설치한 #12번에서는 양호한 저감효과를 보였지만 #11번에서는 Case 2, Case 3의 경우에 비하여 약 32.3[%]로 적은 저감효과를 보였으며, 특히 #13-#15 구간에서는 #9-#11의 구간의 데이터와 비슷한 시스 순환전류 분포를 보이며 설치 전보다 더 큰 시스 순환전류가 측정되었다. 이러한 현상이 나타난 이유에 대하여 다음절에서 검토하였다.

2.3 NJ에 저감장치 설치시 시스 순환전류 특성 검토

본 절에서는 2.2.3절에서 문제가 제기되었던 #12번 보통접속함에 저감장치를 설치하였을 때의 시스 순환전류 특성을 계산식과 EMT/ATPDraw를 통하여 검토하였다.

2.3.1 계산식을 통한 특성 검토

보통 접속함에는 저감장치를 설치하지 않고 절연접속함에만 저감장치를 설치하였을 경우의 시스 순환전류는 그림 5에서와 같은 경로를 통하여 흐르게 되며 그 때의 계산식은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

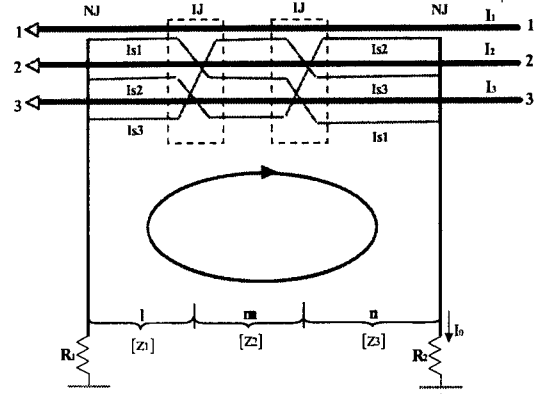


그림 5. 저감장치 미 적용시 시스순환전류 해석 단면도

$$I \cdot [z_1 [I_n] + m \cdot [z_2 [I_n] + n \cdot [z_3 [I_n] + [V_s]] + 2R_g \sum_{n=1}^3 I_n = 0$$

$$[V_s] = I \cdot [Z_1 [I_s] + m \cdot [Z_2 [I_s] + n \cdot [Z_3 [I_s]] \quad (1)$$

한편, 보통접속함에 저감장치를 설치하였을 경우는 그림 4에서 나타난 바와 같이 #12번 보통접속함에 약 94.4[%]의 저감효과를 보이며 아주 적은 시스 순환전류가 흐르게 된다. 이를 계산식에 확대 적용하여 보통접속함에 저감장치를 설치하였을 때 저감장치의 큰 임피던스로 인하여 보통접속함의 접지선에 시스 순환전류가 흐르지 않는다고 가정한다면 시스 순환전류의 경로는 그림 6과 같이 나타낼 수 있으며, 그 때의 계산식은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

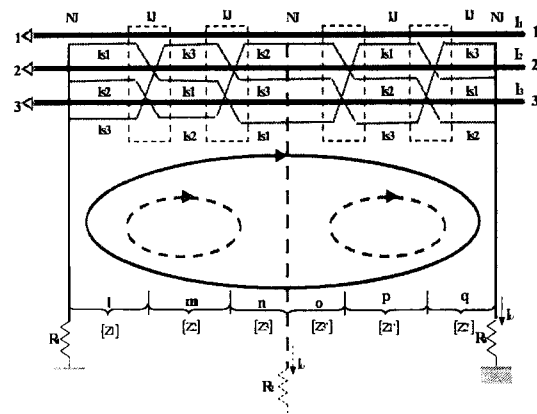


그림 6. 보통접속함에 저감장치 적용시 시스순환전류 해석 단면도

$$l[z_1][I_n] + m[z_2][I_n] + n[z_3][I_n] + o[z_3']][I_n] + p[z_1']][I_n] + q[z_2'] + [V_S] + 2R_1 \sum_{i=1}^n I_{ni} = 0$$

$$[V_S] = l[Z_1][I_1] + m[Z_2][I_1] + n[Z_3][I_1] + o[Z_3']][I_1] + p[Z_1']][I_1] + q[Z_2']][I_1] \quad (2)$$

여기서,

- l, m, n, o, p, q : 크로스본드 각 구간의 경간길이[km]
- $[z_1], [z_2], [z_3], [z_1'], [z_2'], [z_3']$: 각 구간에서의 케이블 시스 대지위로 임피던스 행렬[Ω/km]
- $[Z_1], [Z_2], [Z_3], [Z_1'], [Z_2'], [Z_3']$: 각 구간에서의 케이블 도체-시스 간 상호 임피던스 행렬[Ω/km]
- $[I_n]$: 케이블 시스전류 행렬[A]
- $[I_1]$: 케이블 도체전류 행렬[A]
- $[V_S]$: 케이블 시스유기전압 행렬[V]
- R_1, R_2 : 접지저항[Ω]

2.3.2 Case 설정

본 시뮬레이션에서는 표 4에서와 같이 저감장치를 설치하지 않았을 경우의 EMTP해석과 계산식을 이용한 해석, #12번 보통접속함에 1[Ω]의 저감장치를 설치했을 경우의 EMTP해석과 계산식을 이용한 해석 등 총 4가지 Case를 설정하여 각각의 시스 순환전류의 특성을 비교 분석하였다.

표 4. Case 설정조건

Case	설정조건
Case A	- 저감장치를 설치하지 않는 경우(EMTP)
Case B	- 저감장치를 설치하지 않는 경우(계산식)
Case C	- #12번 보통접속함에 저감장치를 설치하는 경우(EMTP)
Case D	- #12번 보통접속함에 저감장치를 설치하는 경우(계산식)

2.3.3 시뮬레이션 결과 및 분석

표 5에 Case별 시스 순환전류 데이터를 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 동일한 조건의 Case A, B 그리고 Case C, D의 경우 비슷한 경향의 데이터 분포를 보이고 있다. 특히 Case D의 경우는 그림 6 및 식 (2)에서 나타내는 바와 같이 시스 순환전류의 경로가 기존의 한 크로스본드 구간에서 두개의 크로스본드 구간으로 확대 변경되어 그 효과가 미침을 알 수 있다.

표 5. Case별 시스 순환전류

Case 접속함	시스순환전류[A]			
	Case A	Case B	Case C	Case D
J/B #7	20	28.09	20	28.09
#8	25.5		25.5	
#9(NJ)	95.9	110.42	63.75	64.48
#10	93.1	117.48	60.75	73.76
#11	100.2		67.81	
#12(NJ)	87.9	114.25	4.49	
#13	11.6	6.89	62.01	
#14	4.5		56.14	

3. 결 론

본 논문에서는 과도한 시스 순환전류가 흘러 문제가 되고 있는 실선로에 저감장치의 설치 위치를 다양하게 변경시켰을 경우 시스 순환전류의 변화를 분석하여 저감장치 적용지점 선정에 있어 국내 기준(안)의 타당성 및 적정 설치위치를 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 저감장치를 설치한 모든 경우에 대하여 시스 순환전류가 과도하게 흐르는 #9 - #12 구간에 대하여 시스 순환전류 저감효과를 확인 할 수 있었지만 #12번 보통접속함에 저감장치를 설치한 Case 4의 경우는 보통접속함 양쪽의 크로스본드 구간에서 다른 Case 보다 적은 저감효과를 보였다.
- 2) 위의 현상이 나타난 원인을 EMTP해석과 계산식을 이용하여 검토한 결과 보통접속함에 저감장치를 설치하였을 때 저감장치의 큰 임피던스로 인하여 시스 순환전류의 경로가 기존의 한 크로스본드 구간에서 두개의 크로스본드 구간으로 확대 변경되어 그 효과가 미침을 알 수 있었다.

따라서, 저감장치 적용지점 선정에 있어 측정된 시스 전류의 크기 등을 고려하여 저감효과를 극대화 시킬 수 있는 지점의 절연접속함에 저감장치를 설치하고 특히, 보통접속함의 저감장치 취부를 가능한 자제할 것으로 권하고 있는 국내 기준(안)은 타당하다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- 1] 정채균, 이종범, 강지원, 장태인, "지중송전계통에서 시스 순환전류 해석 및 저감방안", 대한전기학회 논문지, Vol. 50A, No. 11, 2001
- 2] 강지원, 양해원, "해석 및 측정을 통한 시스 순환전류 특성 및 상승원인 검토", 대한전기학회 논문지, Vol. 51A, No. 10, 2002
- 3] 강지원, 양해원, "지중송전계통에서 저감장치를 이용한 시스 순환전류 저감방안에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 2002. 09
- 4] 강지원, 한용희, 정채균, 이종범, "시스 순환전류 저감장치의 과도특성 및 보호방식에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 52A, No. 7, 2003
- 5] 한국전력 전력연구원, "지중송전케이블 금속시스의 유기전압 및 순환전류 저감에 관한 연구(최종보고서)", 2003