

시스전류 저감장치 적용시 고장전류분류를 검토 및 대책

홍동석*, 장태인, 강지원
한국전력 전력연구원

김재승, 윤형희, 임현의
한국전력공사

A Study of Fault Current Distribution Ratio with a Reduction Equipment of Sheath Circulating Current

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

J.S.Kim, H.H.Yoon, H.E.Lim
KEPCO

Abstract - 본 논문에서는 방전캡을 이용한 시스 순환 전류 저감장치 보호유닛을 제안하여 SVL형식의 저감장치 보호유닛과 뇌써지시 과도특성을 비교하였으며, 또한 시스 순환전류 저감장치 보호유닛 적용시의 고장전류분류율을 검토한 결과 모든 경우에 대하여 각 접지선의 고장전류분류율이 현행의 기준을 만족함으로써 시스 순환 전류 저감장치 보호유닛을 적용한 저감장치의 현장 적용 가능성을 제시하였다.

1. 서 론

최근 산업경제 및 국민생활의 급격한 성장으로 전력수요는 해마다 증가하고 있으며 인구집중현상에 따른 대도시의 전력수요가 급격히 높아짐에 따라 도심지의 가공송전선로가 갖고 있는 한계성을 극복하기 위해 지중송전선로의 건설은 해마다 증대되고 있는 실정이다. 그러나 국내 지중송전계통의 건설은 케이블의 포설 환경에만 의존하여 이루어졌기 때문에 포설방식의 혼용과 접속함간의 거리 불균형 등 전기적인 불평형 현상이 심화되어 많은 지중선로에서 시스 순환전류 과다의 문제점을 안고 있다[1-3]. 이에 대한 해결책으로 국내에서는 리액터성분을 이용한 시스 순환전류 저감장치를 개발하여 실증시험을 통해 그 효과를 입증한 바 있으며, 낙뢰나 1선 지락고장시 과전압에 의하여 발생할 수 있는 저감장치의 파괴를 방지하기 위해 SVL(Sheath Voltage Limiter)과 같이 Gapless 피뢰기와 같은 동작특성을 갖는 RDP (Reduction Device Protector)의 적용을 제시하였다[2-3]. 하지만 이런 Gapless 피뢰기 형태의 RDP는 설계 제작시 크기가 커질 수 있어 현장 설치시와 운용상에 불편을 줄 수 있다는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 Gapless 피뢰기 형태의 RDP와는 다르게 커패시턴스성분을 이용한 방전캡 형태의 RDP를 제안하여 뇌써지가 케이블에 침입했을 때의 과도특성을 비교하였고, RDP 적용시의 고장전류 분류율을 검토하여 현재 적용되고 있는 접지선 굵기기준을 만족하는지 검토하였다.

2. 본 론

2.1 시스 순환전류 저감장치 보호방식

이전에 제안된 시스 순환전류 저감장치 보호유닛(앞으로 RDP-1으로 표기)은 SVL과 같이 Gapless 피뢰기와 같은 동작특성을 갖는 RDP를 각상 시스 순환전류 저감장치와 병렬로 접속하여 정상 운전시는 동작하지 않지만 저감장치 양단에 과전압이 발생하게 되면 SVL보다 낮은 전압에서 동작을 하도록 설계된 장치이다[2-3]. 한편 본 논문에서 제안하고자 하는 보호유닛(앞으로 RDP-2로 표기)은 커패시턴스성분을 이용한 방전캡 형태의 보호장치로서 저감장치와 병렬로 방전캡을 두어 저감장치 양단에 유기된 과전압이 방전전압 이상이 되면 동작하도록 하여 케이블 계통을 보호할 수 있도록

하였다.

RDP-2는 저감장치의 양단에 걸리는 전압이 1500[V] 이상이 되면 동작하도록 설정하였는데, 이는 현장 실측 결과를 근거로하여 정상상태시 시스 순환전류의 평균치를 약 100[A]로 설정하고 이때 저감장치의 임피던스를 0.5[Ω]으로 하였을 때 저감장치의 양단에 걸리는 전압 값인 50[V]의 약 30배로 설정한 값이다. RDP-2 방전 전압의 설정을 위해 적용된 0.5[Ω]의 임피던스 값은 시스 순환전류의 저감효과 측면에서 약 87[%]이상의 시스 순환전류 저감 효과를 보인 1[Ω]의 저감장치에 비하여 약 77.9[%]이상의 시스 순환전류 저감효과로 많은 차이를 보이지 않았으며[3], 지중케이블의 포설 특성상 현장 적용시에 중요한 문제가 될 수 있는 저감장치의 크기 또한 1[Ω]의 저감장치에 비해 보다 경량화하여 제작할 수 있기 때문에 설정하였다.

그림 1에 RDP-1과 RDP-2의 설치도를 나타내었으며, 그림 2에 SVL 및 RDP-1의 V-I 특성곡선을 나타내었다.

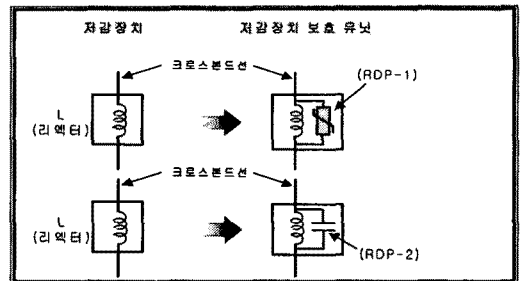


그림 1. RDP-1과 RDP-2의 설치도

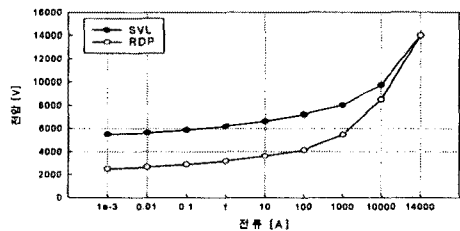


그림 2. SVL과 RDP-1의 V-I 특성곡선

2.2 대상선로의 계통도 및 시뮬레이션 데이터

2.2.1 대상선로 계통도

대상선로는 전력구와 관로의 혼합 포설형태로 구성되어 있으며, 총 길이가 6.284[km]인 2회선 실계통 선로이다. 본 논문에서는 시뮬레이션의 편의상 1회선으로 모의 하였으며 그림 3에 대상선로의 접속형태 및 구간길이를, 표 1에 케이블 포설조건을 나타내었다.

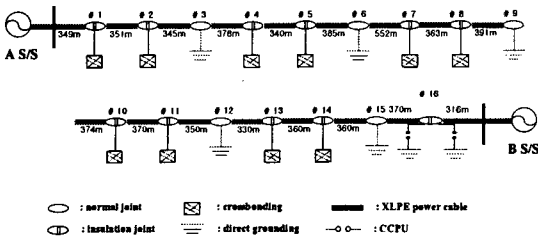


그림 3. 대상 케이블의 접속형태 및 구간길이

표 1. 대상 선로의 케이블 포설조건

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

2.2.2 전원 임피던스

전원의 등가임피던스는 고장전류분류를 해석을 위하여 154kV 계통의 3상단락전류의 70[%]인 35[kA]를 1선 지락고장전류로 가정하여 계산하였으며, 표 2에 모델의 전원임피던스를 나타내었다.

표 2. 대상선로의 전원 임피던스

전원 임피던스(A, B S/S)	R[Ω]	X[Ω]
영상	0.8128	8.1292
정상(역상)	0.3556	3.5564

2.3 뇌격도의 및 뇌격모델 선로

본 연구의 특성상 뇌 썩지 해석을 위해 그림 3의 계통에 154kV 20[km]의 가공선로를 동시에 모델링하여 혼합송전계통을 구성하였다. 가공선로는 0.5[km]단위의 분포정수선로로 모델링 하였으며 접지저항은 10[Ω]으로 하였다. 그림 4에 뇌 썩지 해석 모델의 단선도를 나타내었다.

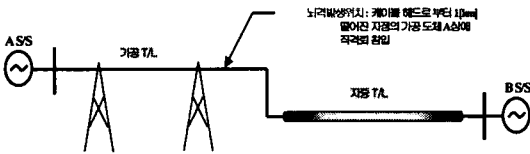


그림 4. 뇌썩지 해석모델의 단선도

뇌격은 그림 5에 나타난 것처럼 뇌격전류의 피크값(I₀)이 60[kA], 파두장파 파미장은 2/70[μs], 뇌썩지 임피던스는 집중저항으로 처리하여 400[Ω]으로 가정하였다. 특히 뇌격 파형은 램프파를 이용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였다.

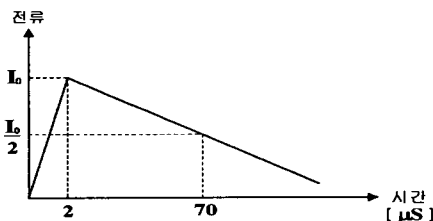


그림 5. 뇌격전류 파형

2.4 뇌썩지에 의한 과도특성 비교

본 논문에서는 RDP-1과 RDP-2의 과도특성을 비교하고자 하였기 때문에 아래의 표 3과 같이 전 구간의 SVL 결선방식이 실제와 같이 전부 대지간접지방식으로 결선되어져 있을 경우 총 4가지의 Case를 두어 시물레이션을 수행하였다.

표 3. Case 설정조건

Case	설정조건
Case A	- 저감장치가 설치되어 있지 않은 경우
Case B	- 저감장치가 설치되어 있는 경우
Case C	- #11번 접속함 각상의 저감장치에 병렬로 RDP-1을 설치하는 경우
Case D	- #11번 접속함 각상의 저감장치에 병렬로 RDP-2를 설치하는 경우

2.4.1 뇌썩지시의 시물레이션 결과

혼합송전계통에 뇌썩지 침입시 저감장치 설치유무와 RDP-1, RDP-2가 설치된 저감장치 보호유닛의 적용에 따른 #10번, #11번 절연접속함의 시스-대지간 전압과 절연통간 전압을 표 4에 나타내었다.

표 4. 뇌격침입시 Case별 시스전압

Case	J/B #10 절연접속함		J/B #11 절연접속함	
	시스-대지간 전압[kV]	절연통간 전압[kV]	시스-대지간 전압[kV]	절연통간 전압[kV]
Case A	9.389	18.766	9.111	18.166
Case B	9.391	18.772	177.530	185.720
Case C	9.500	17.500	9.300	18.500
Case D	9.390	18.768	9.112	18.166

표 4에서 알 수 있듯이 RDP-1과 RDP-2가 설치된 저감장치 보호유닛이 적용되어 있는 Case C와 D의 경우 보호유닛이 적용되어 있지 않은 Case B의 시스-대지간 전압 177.53[kV]와 절연통간 전압 185.72[kV]에 비하여 상당한 보호 효과를 보였다. 또한 Case C와 D를 비교하여 보았을 때 시스-대지간 전압과 절연통간 전압의 보호효과 면에서 큰 차이를 보이지 않음으로 써 본 논문에서 제시한 RDP-2를 이용한 저감장치 보호유닛의 적용이 시스 순환전류 저감효과와 개발된 저감장치의 크기 및 제작적 측면에서 보다 타당할 것으로 사료된다.

2.5 RDP-2 적용시 고장전류분류를 검토

2.5.1 접지선 굵기 계산 규격 비교

지중송전계통에서의 접지선은 최대지락전류 및 고장지속시간을 고려하여 용단되지 않는 굵기로 선정하는 것이 일반적이다. 접지선의 굵기를 결정하는 규격으로는 북미에서 주로 쓰고 있는 규격(ANSI/IEEE std 80), 일본에서 쓰고 있는 공식 및 유럽에서 쓰고 있는 규격(IEC pub. 364-5-54)등이 있다[4-5]. 국내에서는 IEC규격을 적용하여 접지선의 굵기를 산정하고 있으며 그 계산 공식은 아래의 식(1)과 같다.

$$A = \frac{N \sqrt{t_c}}{k} \quad (1)$$

여기서, A : 접지선 단면적[mm²]

I : 접지선에 흐르는 전류[A]

t_c : 통전시간[sec]

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\phi_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i}\right)}$$

Q_c : 접지선 재질의 체적 비열[J/°C mm³]

B : 0°C에서 도체의 열저항율의 역수

ϕ_{20} : 20°C에서 도체의 전기 저항율[Ωmm]

θ_f : 도체의 최종온도[°C]

θ_i : 도체의 초기온도[°C]

2.5.2 고장전류분류율

아래의 표 5에 현재 국내 154kV 계통에서 적용되고 있는 고장전류분류율을 나타내었다.

표 5. 현재 적용되고 있는 고장전류분류율

구분	분류율(%)	
중단접속부	각상의접지선	100
	공통접지선	70
절연접속함	크로스본드선	100
	각상의접지선	15
보통접속함	공통접지선	15
	각상의접지선	100

2.5.3 고장조건

본 논문에서는 시스 순환전류 저감을 위하여 설치한 저감장치의 양단에 방전갭 형태의 RDP-2를 적용한 후 케이블의 절연체 파괴에 의한 1선 지락고장에 대한 고장전류 분포해석을 통하여 접지선, 크로스본드선 및 SVL의 리드선에 대한 고장전류의 분류율을 결정하고, 현재 국내에서 적용되고 있는 접지선의 크기기준에 부합되는지를 검토하고자 한다. 따라서 본 논문에서는 1선 지락전류의 크기를 35[kA]로 가정하였고, 그림 3과 같은 검토선로에서 시스 순환전류가 상대적으로 과다하게 흐르는 #11번 절연접속함에 RDP-2가 설치되어있을 때 1선 지락고장이 #11번 절연접속함의 전원측 절연통단자 부근에 발생한 경우를 Case 1, RDP-2가 #12번 보통접속함에 설치되었을 때 #12번 보통접속함의 접지단자 부근에 1선 지락고장이 발생한 경우를 Case 2, #11번과 #12번의 접속함에 RDP-2가 설치되었던 상태에서 중단접속함에 1선 지락고장이 발생한 경우를 Case 3로 설정한 후 각각에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.5.4 고장전류분류율 시뮬레이션 결과 및 검토

아래의 표 6은 Case 1의 경우 #11번 절연접속함의 각 크로스본드선과 공통접지선 및 SVL의 리드선에 흐르는 고장전류의 분포를 나타낸 것이며, 표 7은 Case 2의 경우 #12번 보통접속함 각 상의 접지선과 공통접지선의 고장전류 분포를 나타낸 것이고, 표 8은 Case 3의 경우 중단접속함의 접지선과 공통접지선의 고장전류 분포를 나타낸 것이다.

표 6. #11번 절연접속함에서의 고장전류 분포

Case 1	고장 전류 [kA]	크로스 본드선[kA]			공통접지선 [kA]
		A-C	B-A	C-B	
J/B #11	42.63 (100)	25.85 (60.64)	1.98 (4.64)	13.57 (31.83)	
		SVL 리드선[kA]			
		A	B	C	
		0.62 (1.45)	0.45 (1.06)	0.98 (2.29)	

표 7. #12번 보통접속함에서의 고장전류 분포

Case 2	고장 전류 [kA]	접지선[kA]			공통접 지선 [kA]
		A	B	C	
J/B #12	42.99 (100)	31.5 (73.27)	16.07 (37.38)	18.59 (43.24)	2.27 (5.28)

표 8. 중단접속함에서의 고장전류 분포

Case 3	고장 전류 [kA]	접지선[kA]			공통접 지선 [kA]
		A	B	C	
중단 접속함	44.22 (100)	35.49 (80.26)	8.86 (20.04)	8.76 (19.81)	18.55 (41.95)

위의 표 6,7,8에서 알 수 있듯이 고장전류분포 해석을 통하여 계산된 최고값에 대하여 피복절연전선의 경년변화를 고려한 안전율 20[%]와 기계적인 강도를 고려한 안전율 20[%]를 각각 적용하였을 때 모든 경우의 접지선에 대하여 표 5의 현재 적용되고 있는 고장전류 분류율을 만족함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 Gapless 피뢰기 형태의 RDP-1과 커패시턴스성분을 이용한 방전갭 형태의 RDP-2의 뇌써지시 과도특성을 비교하여 RDP-2를 이용한 시스 순환전류 저감장치 적용의 타당성을 제시하였으며, RDP-2 적용시의 고장전류 분류율을 검토하여 현재 적용되고 있는 접지선 크기기준을 만족하는지 검토하였다. 그 내용을 정리하면 아래와 같다.

1. 뇌써지시 RDP-1과 RDP-2의 보호특성을 비교하여 보았을 때 시스-대지간 전압과 절연통간 전압의 보호효과 면에서 큰 차이를 보이지 않음으로써 본 논문에서 제시한 RDP-2를 이용한 저감장치 보호유닛의 적용이 시스 순환전류 저감효과와 개발된 저감장치의 크기 및 제작적 측면에서 보다 타당할 것으로 사료된다.
2. 지중송전계통에 RDP-2 적용시 고장전류분포해석을 실행한 결과 모든 경우에 대하여 각 접지선의 고장전류분류율이 현행의 기준을 만족함으로써 RDP-2를 이용한 시스 순환전류 저감장치의 현장 적용 가능성을 제시하였다.

지중케이블계통의 과도특성 및 고장전류분류율은 선로 길이의 장·단 여부, 각 소구간사이의 거리, 지중케이블의 포설형태 및 가공선로와의 연계여부 등에 따라서 다양하게 변하므로 상세한 검토 및 평가를 위해서는 향후 더욱 다양한 케이블 계통 조건을 고려한 검토가 수행되어야 할 것이라 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 측정용 통한 시스 순환전류 특성 및 저감방안", 대한전기학회 논문지, Vol. 50A, No. 10, 2002
- [3] 한국전력 전력연구원, "지중송전케이블 금속시스의 유기전압 및 순환전류 저감에 관한 연구(중간보고서)", 2002
- [4] 한국전력 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)", 1998
- [5] 한국전력공사, "설계기준(송전분야)", 2003