

Analysis of Common Grounding Effect during the Transient State in Underground Transmission and Distribution Systems

林 廣 植* · 李 鍾 範†
(Kwang-Sik Lim · Jong-Beom Lee)

Abstract - This paper describes the effect of transient state in underground transmission and distribution lines installed together in the same tunnel. Two systems installed in the same tunnel are operated by the common grounding. This paper analyzed that how much one of the two kinds of systems influences the other systems during the transient state by EMTP/ATPDraw. Single line-to-ground fault and lightning surge were selected in transient state condition. These cases were simulated variously according to the variation of common grounding magnitude, fault location and lightning surge magnitude. It is evaluated that the analyzed results will be used for establishment and operating materials of common grounding in the same tunnel.

Key Words : Transient state, Same tunnel, Common grounding, Grounding fault, Lightning surge

1. 서 론

최근 도심지의 급격한 성장과 비대화되어 가는 이유뿐만 아니라 환경을 고려한 신축주거단지의 건설로 말미암아 가공송배전선로가 갖고 있는 한계 때문에 전국적으로 지중송배전계통은 계속 확대되어가고 있으며, 이러한 추세는 계속 증가될 것으로 전망된다. 그러나 지중송배전계통은 가공송배전계통보다 자연재해로부터의 피해가 적은 반면 선로경과지 확보의 어려움, 건설비 증가, 전력구 공사 등의 막대한 토목건설비 그리고 고장에 따른 정전의 광역화 등이 문제로 대두되고 있다. 그럼에도 불구하고 지중송배전계통은 도심지 전력공급에 최적의 계통방식이기 때문에 이러한 문제점들을 극복하면서 계속 채용할 수밖에 없다[1-2].

지중송배전계통은 부하지의 종류에 따라 송전선로와 배전선로가 각기 포설되었으나 최근에는 경과지의 부족으로 인하여 동일 전력구내에 포설되고 있다. 이러한 경우 접지는 각 계통을 독립시키기 위해 필요한 접지저항값의 확보가 원활하지 못하기 때문에 독립접지 보다는 공통접지로 하는 경우가 많다. 일반적으로 공통접지는 접지선의 길이가 짧아지므로 접지체계가 단순해지고 계통상의 병렬구조와 건축물의 구조를 이용하여 접지저항값을 얻기가 쉬우며, 한 계통의 접지가 어려워도 타계통의 접지로 보완할 수가 있어 접지체계의 신뢰도가 향상된다. 또한 접지의 수가 적어져서 설비시공 면에서 경제적인 면에서 장점을 가지고 있다. 반면에 어

는 한 계통에 고장으로 인한 과도전류가 발생하면, 이 과도전류가 공통접지를 통하여 타 계통에 전위를 상승시키는 등의 영향을 미치는 문제점을 갖고 있다. 공통접지된 지중송배전계통이 정상상태 운전에서는 특별한 이상이 없지만 가공계통을 통한 뇌서지가 침입하거나 각 계통에서 1선 지락고장 등 과도상태가 발생하였을 경우에 어떠한 영향이 상호간에 발생하는가를 정확하게 평가하지 못하고 운영되고 있는 실정이다. 특히 국내에서는 지중송배전계통의 과도현상 분석, 각종 불평형 요소 및 접지체계 등에 관한 연구가 미약한 실정이어서 이를 위해 체계적이고 다양한 기술적인 분석을 통하여 전력구내에서의 지중송배전계통 통합운용에 있어서 발생 가능한 각종 과도현상을 분석하고 그 경우에 대비한 적절한 보호대책을 세우는 것은 매우 중요하다[3-5].

따라서 본 논문에서는 전력구내에 공통접지된 지중송배전계통에서 각각의 실계통에 1선 지락고장 및 가공선로에서 뇌서지 침입으로 인한 과도현상이 발생하였을 경우 타 계통에 미치는 영향을 EMTP/ATPDraw를 이용하여 상세히 분석하였다. 1선 지락고장의 경우에는 지락고장위치 및 공통접지의 크기에 따른 과도영향을 분석하였으며, 뇌서지 침입에 대한 분석에서는 공통접지저항 값 및 뇌격의 크기에 따라 분석하였다. 이러한 분석을 통해 얻은 결과는 동일한 전력구내에 있는 지중송배계통의 보호방안 및 접지체계구축에 유용한 운용 자료가 될 것으로 사료된다.

2. 지락고장

2.1 모델계통

그림 1은 본 논문에서 지락고장 모의에 사용될 송배전 공용 전력구내에 포설된 지중송배전계통의 단면도를 나타낸 것이다. 지중송배전계통의 경우는 실 계통으로서 154[kV] 2000[mm²] XLPE 케이블을 전력구식 삼각배열의 포설방식을

† 교신저자, 正會員 : 圓光大 工大 電氣電子 및 情報工學部 教授 · 工博

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr

* 學生會員 : 圓光大 大學院 電氣工學科 碩士課程

接受日字 : 2007年 11月 15日

最終完了 : 2008年 1月 4日

적용하였으며, 11개의 접속함으로 이루어져 있다. 총 길이 3[km]의 선로에서 각각의 접속함간의 거리는 250[m]로 일정하게 설정하였다. 지중배전계통의 경우 역시 실 계통으로 CNCV-W 325[mm] 케이블을 사용하여 전력구식 삼각배열 포설방식을 적용한 총 길이 3[km]의 1회선으로 구성하였다.

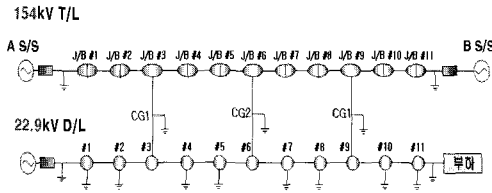


그림 1 지락고장 분석을 위한 실계통 모델
Fig. 1 Model of real system for grounding fault

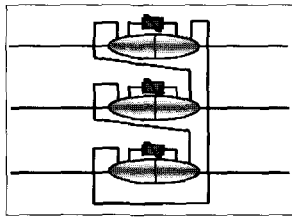


그림 2 교락비접지방식
Fig. 2 Non-grounding type with cross-connected for SVL

지중송전계통에서 ZnO 금속산화물질로 제조된 갭이 없는 절연통보호장치(SVL)는 V-I 특성곡선에 의해 동작한다. 이상전압 침입시 케이블 시스-대지간이나 절연통간에 발생하는 과도전압을 제한전압 이하로 차폐하는 역할을 하는 절연통보호장치를 ATPDraw의 비선형소자를 사용하여 구성하였으며, 결선방식은 그림 2와 같이 교락비접지방식을 적용하였다. 또한 접지의 경우는 독립접지 부분과 공통접지 부분으로 나누어지는데, 독립접지부분은 지중송전계통의 말단부분 접지저항으로 변전소 배류에 접지됨으로서 1[Ω]을 적용하고 중간접속부는 10[Ω]으로 각각 설정하였다[7]. 지중배전계통의 각 개소는 식 (1)과 같이 국내 전력회사에서 사용하는 ES-3500 규정에 있는 22.9[kV] 3상 4선식 다중접지방식 계산식에 의거하여 산출하여 적용하였다[6-7]. 그리고 공통접지 부분은 현행 지중송배전계통의 공통접지에 관한 명확한 기준이 없으며, 각 계통의 접지기준이 서로 상이하므로 1 [Ω], 5[Ω], 10[Ω], 15[Ω], 20[Ω]의 값을 선정하여 고려하였다.

$$R = 1.2 \left(\frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}} \right) \quad (1)$$

여기서 R : 합설저항
r₁, r₂, ..., r_n : 매 개소 접지저항[Ω]

그림 3은 지중송배전계통 공용 전력구내 케이블의 표준배치도를 나타내고 있으며, 표준배치도에 의거하여 지중송배전계통의 케이블을 ATPDraw를 사용하여 각각 1회선에 대해 모델링하였다[8].

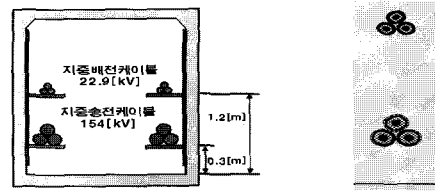


그림 3 지중송배전계통 공용 전력구
Fig. 3 Common tunnel of underground transmission and distribution systems

본 논문에서 사용된 지중송배전계통의 전원임피던스와 지중배전계통의 부하 임피던스는 표 1과 같다.

표 1 전원임피던스 및 부하임피던스
Table 1 Source impedance and load impedance

전원 임피던스	송전계통	영상분[Ω]	0.8128+j8.1292
		정상분[Ω]	0.3556+j3.5564
부하 임피던스	배전계통	영상분[Ω]	0.0247+j1.336
		정상분[Ω]	0.072+j0.757
		A상[Ω]	50.95+j22.36
		B상[Ω]	47.95+j12.36
		C상[Ω]	21.95+j22.36

2.2 지중송전계통의 지락고장

동일한 전력구내에 포설되어 공통접지된 지중송배전계통에서 지중송전계통에서 1선 지락고장이 발생하였을 경우 공통접지를 통하여 유입되는 고장전류에 의해 정상상태로 운전되고 있는 지중배전계통에 미치는 영향을 분석하였다. 다양한 상황에서의 검토를 위해 그림 1의 지중송전계통의 J/B #4, J/B #7, J/B #10 지점에서 지락고장이 발생하는 것으로 모의하여 해석하였다.

2.2.1 고장전류

표 2 지중송전계통의 지락고장위치 및 공통접지저항값에 따른 도체전류

Table 2 Conductor current according to common grounding resistance and grounding fault location

측정점 전류 [kA]	지락고장위 치	공통접지크 기	A S/S	고장지점	B S/S
	J/B #4	1[Ω]	38.254	75.627	38.588
		5[Ω]	37.579	73.867	36.293
		10[Ω]	37.418	73.550	36.138
		15[Ω]	37.356	73.429	36.078
		20[Ω]	37.324	73.364	36.046
	J/B #7	1[Ω]	37.405	75.173	37.758
		5[Ω]	36.753	73.847	37.098
		10[Ω]	36.595	73.531	36.939
		15[Ω]	36.53	73.410	36.879
		20[Ω]	36.503	73.346	36.847
	J/B #10	1[Ω]	36.595	75.214	38.616
		5[Ω]	35.958	73.883	37.934
10[Ω]		35.803	73.566	37.771	
15[Ω]		35.744	73.444	37.708	
20[Ω]		35.713	73.380	37.676	

표 2는 지중송전계통의 J/B #4, J/B #7, J/B #10 지점에서 1선 지락고장 발생시 공통접지저항의 크기에 따라 양단 및 고장점에서 발생하는 고장전류를 나타내고 있다. 표 2와 같이 고장전류의 크기는 계통에 양단 변전소의 전원임피던스 영향으로 인하여 고장위치에 따른 차이는 크지 않았으며, 공통접지저항의 크기에 따른 고장전류는 공통접지저항의 크기가 1[Ω]일 경우에서만 1[kA]정도의 차이가 있을 뿐 나머지 공통접지에서의 고장전류의 크기는 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 고장점에서 발생한 고장전류는 양단으로 진행되는 것을 알 수 있다.

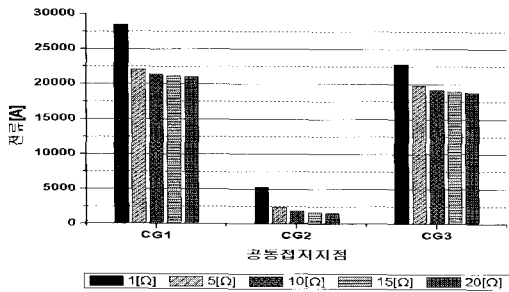


그림 4 J/B #4에서 지락고장시 접지크기에 따라 지중배전계통으로 유입되는 전류

Fig. 4 Current in underground distribution system according to common grounding in case of grounding fault occurred in J/B #4

그림 4는 지중송전계통의 J/B #4에서 지락고장시 발생한 고장전류가 공통접지를 통해 지중배전계통에 유입되는 고장전류를 공통접지저항의 크기에 따라 나타낸 그림이다. 지중송전계통의 J/B #7, J/B #10에서 지락고장시 지중배전계통으로 유입되는 고장전류에 대해 J/B #4에서와의 비교시 유입전류의 크기만 조금 줄어들 뿐 유사한 결과를 보인다. 각각의 공통접지저항의 크기에 따라 유입되는 고장전류의 크기는 1[Ω]을 제외한 나머지 공통접지저항의 크기에서는 큰 차이를 보이고 있지 않았으며, J/B #4에서 지락고장시 최대유입고장전류는 공통접지저항의 크기가 1[Ω]일 경우에 CG1을 통하여 28[kA]가 유입되는 것으로 나타났다. 그림 4와 같이 공통접지를 통해 유입되는 고장전류는 CG1과 CG3에 집중적으로 나타나고 있는데, 이는 지중송전계통의 변전소 양단의 메취접지의 영향으로 인한 것으로 판단된다.

2.2.2 지중배전계통 각 상의 중성선 전류

그림 5는 지중송전계통에서 J/B #4에서 발생한 지락고장으로 인하여 지중배전계통 각 상의 중성선으로 유입된 고장전류를 분석한 그림이다. 그림 5와 같이 지중배전케이블 A상, B상, C상의 중성선에 흐르는 전류가 거의 모든 선로구간에서 정상상태보다 높은 전류분포를 나타내고 있다. 특히 대부분의 고장전류가 유입되는 CG1과 CG3으로 인하여 지중배전계통의 선로구간 #1, #2와 #10, #11에서 높은 과도전류를 나타내며, 유입된 고장전류는 정상상태보다 최대 15배 이상의 높은 전류를 보이고 있다. 또한 말단의 불평형 부하임피던스의 영향으로 인하여 지중배전케이블의 A상 중성선에 흐르는 고장전류가 B, C상에 비해 비교적 적게 나타나

며, 이로 인하여 유입되는 고장전류는 부하임피던스의 큰 영향을 받고 있다고 판단된다.

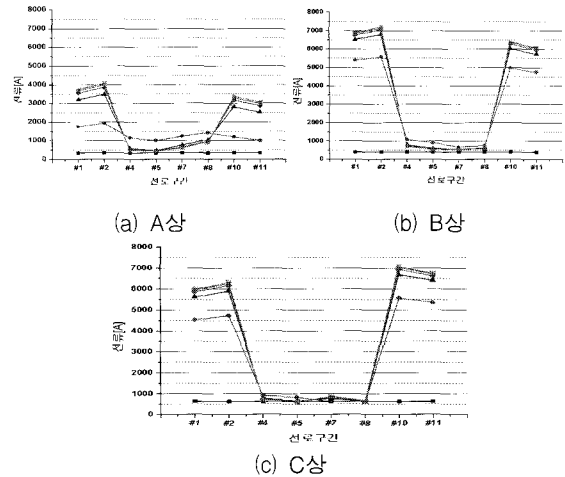


그림 5 J/B #4에서 지락고장발생시 중성선 전류

Fig. 5 Neutral current in case of grounding fault occurred in J/B #4

2.2.3 지중배전계통 중성선의 유기전압

그림 6은 지중송전계통에서 J/B #4에서 발생한 고장전류가 공통접지를 통해 지중배전케이블의 중성선으로 유입되어 나타나는 각 구간의 유기전압이다. 중성선의 전류분석에서 나타난 것과 같이 공통접지저항의 크기가 커질수록 중성선에 흐르는 과도전류가 크게 되며, 이로 인해 그림 6과 같이 유기되는 전압도 공통접지저항의 크기가 커질수록 크게 나타남을 알 수 있다.

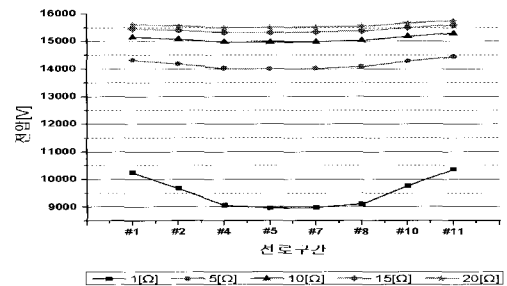


그림 6 J/B #4에서 지락고장발생시 중성선 전압

Fig. 6 Neutral voltage in case of grounding fault occurred in J/B #4

현재 22.9[kV] 325[mm] 규격의 CNCV-W 지중배전케이블의 비닐시스에 대한 상용주파 내전압은 4kV/10분이며, 이것은 154[kV] 지중송전계통에서 고장차단 시간을 0.5초로 환산을 하게 되면 내전압치는 8.8[kV]가 된다. 본 논문에서 사용된 모델에서는 154[kV] 지중송전계통의 지락고장으로 지중배전계통의 중성선에 유기되는 전압이 그림 6에서 공통접지저항의 크기가 1[Ω]일 때, 최저유기전압이 9[kV]를 나타내고 있다. 이 값은 방식층 내전압치(8.8kV/0.5초)를 상회하므로 지중배전케이블 비닐시스의 절연이 파괴될 것으로 예상되며, 이로 인해 지중배전계통에 2차적인 과급효과가 나타날 것으로 사료된다.

2.3 지중배전계통의 지락고장

그림 1의 송배전 겸용 전력구내에 포설되어 공통접지된 지중송배전계통에서 지중배전계통의 1선 지락고장시 발생한 고장전류가 공통접지를 통하여 송전케이블의 시스로 유입되는데, 이 고장전류가 지중송전계통의 시스 및 계통의 안정도 측면에 미치는 영향을 분석하였다. 계통의 다양한 검토를 위해 지중배전계통의 선로구간 #4, #7, #10에서 지락고장을 모의하여 해석하였다.

2.3.1 고장전류

표 3 배전계통의 지락고장위치 및 공통접지저항값에 따른 도체전류

Table 3 Conductor current according to grounding fault location in underground distribution system and common grounding resistance

측정 지점 전류	지락 고장 지점	공통접지크기	전원		고장 지점 [kA]	부하 [A]	송전 A S/S [A]	송전 B S/S [A]
			[kA]	[kA]				
측정 지점 전류	#4	1[Ω]	20.787	20.769	332.198	493.895	470.177	
		5[Ω]	20.012	19.987	332.176	493.085	468.17	
		10[Ω]	19.836	19.808	332.179	490.731	465.637	
		15[Ω]	19.770	19.740	332.18	489.72	464.637	
		20[Ω]	19.735	19.705	332.181	489.167	464.089	
	#7	1[Ω]	19.910	19.892	332.198	473.101	449.297	
		5[Ω]	19.199	19.162	332.176	473.187	448.238	
		10[Ω]	19.037	18.997	332.179	471.114	445.997	
		15[Ω]	18.976	18.935	332.18	470.215	445.108	
		20[Ω]	18.944	18.902	332.181	469.215	444.619	
	#10	1[Ω]	19.104	19.088	332.198	453.946	430.072	
		5[Ω]	18.447	18.435	332.176	454.796	429.819	
		10[Ω]	18.298	18.283	332.179	452.969	427.834	
		15[Ω]	18.242	18.225	332.18	452.167	427.041	
		20[Ω]	18.213	18.195	332.181	451.724	426.603	

표 3은 그림 1의 계통도에서 지중배전계통의 #4, #7, #10 지점에서 1선 지락고장이 발생할 경우 고장위치 및 공통접지저항의 크기에 따라 지중배전계통의 양단, 고장지점 그리고 지중송전계통 양단의 전류를 측정하여 나타낸 것이다. 발생한 고장전류는 전원임피던스와 부하임피던스의 영향을 받게 되는데, 그림 1과 같이 지중배전계통의 말단의 부하임피던스의 영향으로 계통의 고장지점에 따라 차이가 발생하게 된다. 부하 측에서 거리가 가장 먼 #4에서 발생한 지락고장전류가 가장 크게 나타나며, 부하에 가장 근접하여 발생한 #10에서의 고장전류가 작게 나타나고 있다. 이로부터 부하 측에서 원거리일수록 큰 고장전류, 근거리일수록 작은 고장전류가 발생하는 것을 알 수 있다. 공통접지저항의 크기에 따른 고장전류는 1[Ω]일 경우를 제외하고는 나머지 공통접지에 대해서는 유사하게 나타나며, 전체적인 계통에서 공통접지저항의 크기가 고장전류에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 지중배전계통의 지락고장시 고장이 발생하지 않은 지중송전계통의 양단 도체의 전류에도 고장지점 및 공통접지저항의 크기에 따라 차이가 있지만 정상상태보다 매우 큰 전류가 발생한다. 또한 고장점에서의 고장전류는 지중배전계통 말단의 부하임피던스로 인하여 전원측으로 진행하는 것을 표 3을 통해 알 수 있다.

그림 7은 지중배전계통의 #4에서 발생한 고장전류가 공통접지를 통하여 지중송전계통에 유입되는 고장전류를 공통접

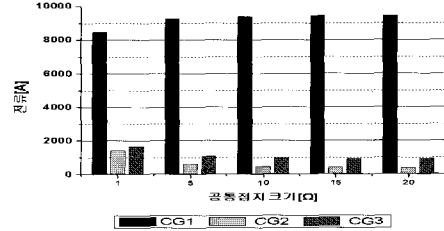


그림 7 #4 지락고장시 공통접지저항에 따른 지중송전계통으로 유입되는 전류

Fig. 7 Current in underground transmission system according to common grounding in case of grounding fault occurred in #4

지저항의 크기에 따라 나타낸 그림이다. 지중배전계통의 각각의 #7, #10에서 지락고장시에도 지중송전계통으로 유입되는 고장전류는 #4에서의 고장시와 비교하여 고장전류의 크기면에서 작게 나타날 뿐 유사한 결과를 보인다. 그림 7의 그래프를 보면 알 수 있듯이 유입되는 고장전류의 대부분이 CG1을 통해 유입되는데, 이는 지중배전계통의 말단의 부하임피던스의 영향으로 대부분의 고장전류가 전원측으로 흐르게 되어 전원측에 근접한 CG1에 집중되는 것이다. 공통접지저항의 크기에 따라 유입되는 고장전류는 1[Ω]을 제외하고 나머지 공통접지저항에 대해서는 유사하게 나타나며, 지중배전계통의 #4에서 지락고장에서 CG1을 통하여 유입되는 전류는 공통접지저항이 1[Ω]일 때 최소 8.5[kA]와 공통접지저항이 20[Ω]에서 최대 9.4[kA]의 고장전류가 유입된다.

2.3.2 지중송전케이블 시스전류

표 3에서 지중배전계통의 #4 지점에서 1선 지락고장이 발생할 경우 가장 큰 고장전류가 발생하며, 이에 따라 유입되는 고장전류도 가장 높게 나타나고 있다. 따라서 지중배전계통의 #4에서 1선 지락고장이 발생한 경우에 지중송전계통의 영향을 해석하였다. 그림 8은 지중배전계통 #4에서 지락고장발생시 공통접지를 통하여 유입되는 고장전류에 의해 나타나는 지중송전케이블의 시스전류이다. 그림 7과 같이 대부분의 고장전류가 CG1을 통해 유입과 변전소의 메쉬 접지의 영향으로 선로구간 J/B #1과 J/B #2에서 최대시스전류가 나타나는 것을 알 수 있다. 각각의 계통이 정상상태일 때 지중배전계통의 부하임피던스 등과 같은 불평형 구성요소 영향으로 인해 지중송전케이블에는 23~27[A]의 시스전류가 흐르게 된다. 지중배전계통의 지락시 유입되는 고장전류로 인하여 지중송전케이블 시스에는 정상상태보다 약 70배 정도의 높은 고장전류가 흐르게 된다.

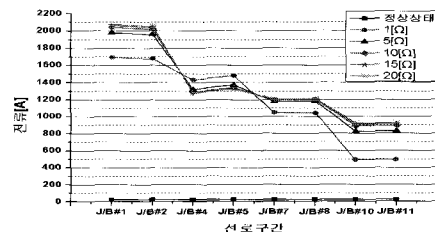


그림 8 #4에서 지락고장발생시 시스전류

Fig. 8 Sheath current in case of grounding fault occurred in #4

2.3.3 지중송전케이블 시스템

그림 9와 10에서는 지중배전계통의 #4에서 발생한 고장전류가 공통접지를 통해 유입될 때 지중송전케이블의 시스템에서 발생하는 시스-대지간 전압 및 절연통간 전압을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 전류분석을 통해 알 수 있듯이 공통접지저항의 크기가 커질수록 유입되는 과도전류가 크게 되므로 이로 인한 시스-대지간 전압도 공통접지저항의 크기가 커질수록 크게 나타내고 있지만 절연통간 전압은 공통접지저항의 크기에 따른 영향이 거의 없는 것으로 사료된다. 절연통보호장치의 보호레벨 50[kV]와 154[kV] 2000[mm] 규격의 XLPE 지중송전케이블의 방식층에 대한 상용주파 내전압이 30[kV]/1분 인 것을 0.5초로 환산한 결과 51[kV]인 것을 감안하면, 그림 9와 10의 그래프에서 보듯이 상용주파 내전압(51kV/0.5초)치와 절연통보호장치 보호레벨(50kV)에 많은 여유를 보여 지중배전계통의 1선 지락고장발생시 지중송전케이블의 방식층 및 절연통에는 문제가 없을 것으로 판단되지만 유입된 고장전류의 영향으로 단기적인 측면에서 전력손실과 장기적인 측면에서 지중송전케이블 열화 및 연관된 전력설비의 절연상태와 수명에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다.

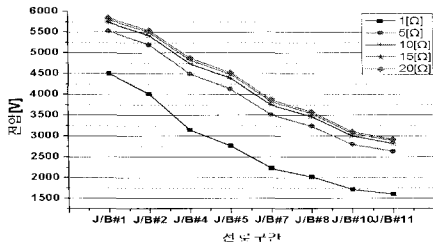


그림 9 #4에서 지락고장발생시 시스-대지간 전압
Fig. 9 Voltage between sheath and earth in case of grounding fault occurred in #4

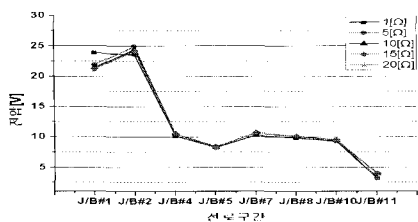


그림 10 #4에서 지락고장발생시 절연통간 전압
Fig. 10 Voltage between joint boxes in case of grounding fault occurred in #4

3. 뇌 서지

3.1 모델계통

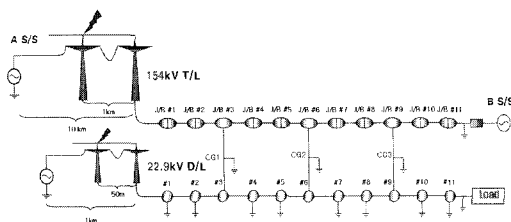


그림 11 뇌서지 해석모델
Fig. 11 Model for lightning surge analysis

그림 11은 뇌서지 해석을 위한 실계통 모델로서 지중송전계통은 송배전 겸용 전력구내에 154[kV] 2000[mm] XLPE 케이블을 전력구 방식으로 포설하였고 지중배전계통은 22.9[kV] 325[mm] CNCV-W 케이블을 전력구 방식으로 포설하여 총 선로길이 3[km]로 1회선으로 구성하였다. 가공송전선로는 도체 ACSR 330[mm], 가공지선 ACSR 120[mm]을 사용하여 총 선로길이 10[km]를 모의하였으며, 가공배전선로의 모델은 가공지선 ACSR 32[mm], 상도체 ACSR 160[mm], 중성선 95[mm]을 사용하여 총 1[km]를 모의하였다. 또한 피뢰기는 양단 인입구 및 가공선로와 지중선로가 접속하는 지점에 설치하였다.

뇌격전류는 그림 12와 같이 램프파형을 적용하여 파두시간과 파미시간이 2/70[μs]인 뇌격을 모의하였으며, 뇌도 임피던스는 400[Ω]을 적용하였다. 각각의 가공선로에 침입하는 뇌격 크기에 대해서는 발생률이 높은 송전계통은 50[kA]와 100[kA]를 선정하였고 배전계통은 10[kA]와 20[kA]를 선정하였다[4-5].

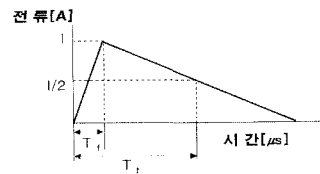
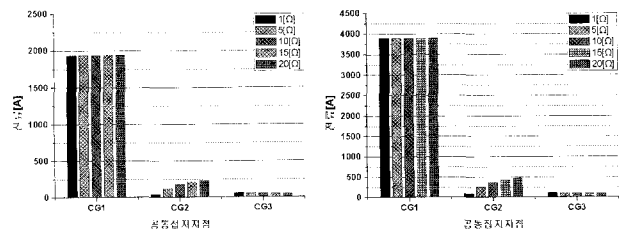


그림 12 뇌격전류 파형
Fig. 12 Typical lightning current waveform

3.2 송전계통으로 뇌 침입시 지중배전계통에서의 영향

그림 11의 모델처럼 가공송전선로와 지중선로가 혼합된 계통에서 종단접속부로부터 1[km] 떨어진 지점의 가공지선에 50[kA]와 100[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 지중배전계통에 미치는 뇌서지 영향을 검토하였다. 그림 13은 지중배전계통에 유입되는 과도전류를 공통접지저항에 따라 나타낸 것이다. 지중배전계통에 유입되는 과도전류는 뇌격크기에 비례하여 유입되며, 그림 13에서 유입되는 과도전류는 공통접지저항 크기에 영향을 받지 않고 가공선로와 지중선로가 접속되는 지점에서 가장 근접한 공통접지저항을 통해 대부분의 과도전류가 유입되는 것을 알 수 있다. 송전철탑의 가공지선에 50[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 28.61[kA]와 100[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 57.23[kA]의 과도전류가 지중송전계통으로 유입된다. 이 과도전류 중에서 단지 6.8%만 지중배전계통에 유입되는데, 이는 지중배전계통의 말단 불평형 부하임피던스로 인하여 지중송전계통보다 임피던스 측면에서 더 크게 나타남으로 인한 것으로 사료된다.



(a) 뇌격전류:50[kA] (b) 뇌격전류:100[kA]

그림 13 배전계통 유입하는 전류
Fig. 13 Current coming in distribution system

그림 14는 공통접지저항의 크기가 1[Ω]일 경우에 50[kA]와 100[kA]의 뇌격이 송전철탐의 가공지선에 침입했을 때, 지중계통으로 유입된 과도전류가 지중배전계통 각 상의 중성선에 나타나는 과도전류이다. 나머지 공통접지저항 5[Ω], 10[Ω], 15[Ω], 20[Ω]에 대한 결과에서도 흡사한 결과를 나타내었으며, 대부분의 과도전류가 CG1을 통해 유입되어 지중배전선로구간 #1, #2에서 높은 과도전류를 나타내고 있다. 선로구간 전체에서 모두 정상상태보다 높은 전류가 나타나며, 계통말단의 불평형 부하임피던스의 영향으로 각 상의 중성선 전류에도 차이가 보이는 것을 알 수 있다.

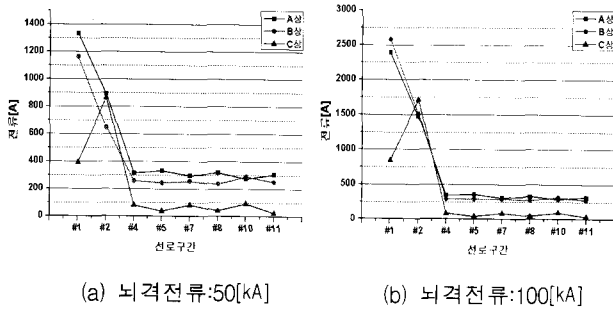


그림 14 각 상의 중성선 전류 크기
Fig. 14 Neutral current of each phase

그림 15는 가공송전선로의 가공지선에 각각 50[kA]와 100[kA]의 뇌격이 침입시 공통접지를 통해 지중배전계통으로 유입되는 과도전류에 의해 유기되는 전압을 공통접지저항의 크기에 따라 나타낸 것이다. 지중배전케이블의 중성선에 유기되는 전압은 공통접지의 크기에는 영향을 받지 않으며, 최대유기전압은 지중배전계통의 선로구간 #2에서 50[kA]의 뇌격에 대해 6.9[kV]이고 100[kA]의 뇌격에 대해 13.6[kV]를 나타내고 있다. 이 최대유기전압이 지중배전케이블 비닐시스에 대한 충격 내전압치 40[kV]에 대해 많은 여유를 보이고 있어서 지중배전케이블의 소손은 없을 것으로 사료되지만 #2에서 상당한 과전압이 발생하므로 케이블 열화 및 각종 점검시 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

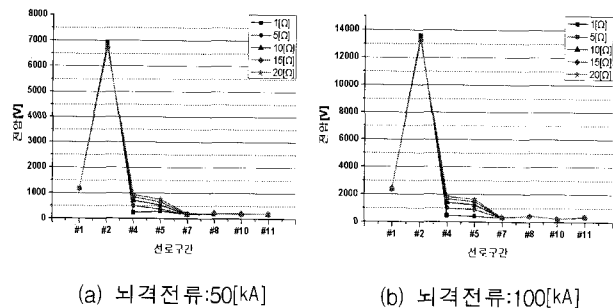


그림 15 중성선 전압 비교
Fig. 15 Comparison of neutral voltage

3.3 배전계통으로 뇌 침입시 지중송전계통에서의 영향

그림 11에서 가공배전계통과 지중배전계통이 혼합된 계통에서 지중배전계통의 말단으로부터 50[m] 떨어진 지점의 가공지선에 10[kA]와 20[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 지중송전계통에 미치는 뇌격의 영향을 검토하였다. 그림 16은

가공배전선로의 가공지선에 10[kA]와 20[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 공통접지를 통하여 지중송전계통으로 유입되는 전류를 나타내고 있다. 가공배전계통으로 침입한 뇌격이 지중송전선로로 침입한 뇌격과 마찬가지로 공통접지의 크기에 따른 영향을 받지 않으며, 가공선로와 지중선로가 접속되는 지점에 근접한 공통접지저항(CG1)을 통해 대부분의 과도전류가 지중송전계통으로 유입된다. 또한 뇌격크기에 대해 유입전류는 비례하는 것으로 나타난다. 가공배전선로의 가공지선에 10[kA]의 뇌격이 침입하였을 때 1.35[kA]와 20[kA]의 뇌격에 의해 2.77[kA]의 과도전류가 지중배전계통으로 유입되는데, 유입되는 고장전류 중 약 70[%] 이상이 공통접지를 통하여 지중송전계통으로 유입되어 계통에 영향을 미친다. 이는 지중송전계통이 불평형적 요소가 없어 지중배전계통보다 안정적이고, 계통의 임피던스측면에서도 적은 값을 나타내기 때문으로 사료된다.

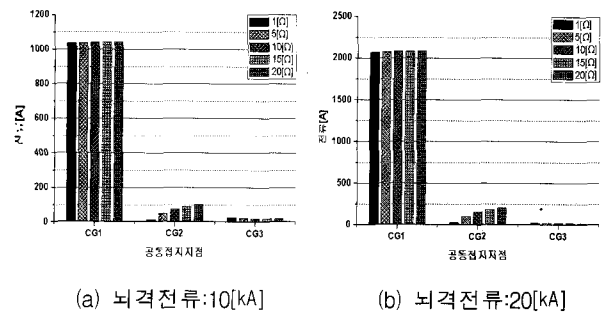


그림 16 송전계통에 유입하는 전류
Fig. 16 Current in underground transmission system

그림 17은 공통접지저항의 크기에 영향이 없어 1[Ω]일 경우에 10[kA]와 20[kA]의 뇌격에 대하여 지중송전케이블의 시스전류를 나타낸 것이다. 공통접지저항 CG1을 통하여 유입된 과도전류는 송전계통의 변전소 메쉬 접지의 영향을 받아 편중되어 선로구간 J/B #1, J/B #2에서 높은 과도전류를 나타내고 있다. 제 1 크로스본드 구간을 제외한 나머지 구간에 대해서는 영향이 미미한 것을 알 수 있다

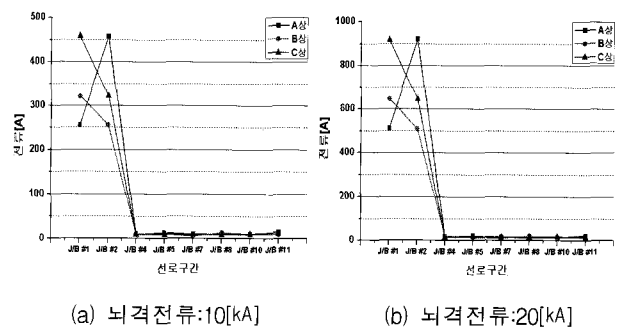


그림 17 시스전류
Fig. 17 Sheath current

그림 18은 가공배전선로의 가공지선에 10[kA]와 20[kA]의 뇌격이 침입했을 때, 공통접지를 통해 유입된 과도전류에 의한 지중송전케이블의 시스전압이다. 한편, XLPE 2000[mm] 지중송전케이블에서 방식층에 대해 충격 내전압치는 50[kV]

이고 절연통보호장치의 보호레벨은 50[kV]이다. 그림 18에서 보는바와 같이 각각의 기준에 대해 충분한 여유가 있어 지중송전케이블 방식층 및 절연통에는 문제가 없을 것으로 사료되지만 대부분의 영향이 제 1 크로스본드 구간에서 나타나므로 이 구간에 대해서는 감시 및 운전상태 점검시 주의해야 할 것으로 사료된다.

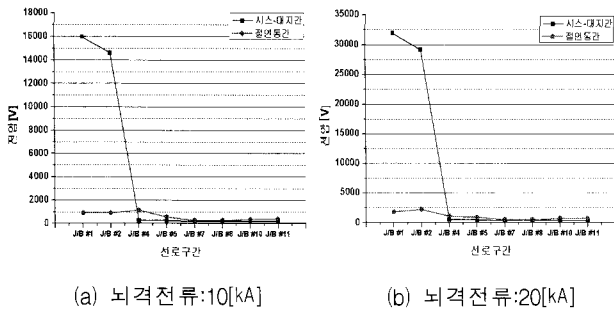


그림 18 시스 과전압
Fig. 18 Sheath overvoltage

4. 결 론

본 논문에서는 지중송배전계통이 공동 전력구내에 포설되어 공동접지된 경우에서 어느 한 계통에 지락고장 및 뇌서지 침입과 같은 과도현상이 발생하였을 경우 타 계통에 미치는 영향을 분석하였다. 특히 고장조건, 고장지점, 공동접지 저항의 크기 등과 같은 여러 변수를 고려하고 상세한 분석을 하였으며 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 지중송전계통의 지락고장으로 인해 과도전류가 지중배전계통으로 유입되는 경우에는 중성선의 전압과 전류를 분석한 결과 지중배전케이블 비닐시스에 대한 상용주파내전압을 초과하게 되어 비닐시스의 절연이 파괴되는 등 지중배전계통의 2차적인 파급효과가 나타날 것으로 판단된다.

(2) 지중배전계통에 지락고장시 발생하는 고장전류가 공동접지를 통해 지중송전케이블의 시스로 유입될 때, 전압과 전류를 분석한 결과 지중송전케이블에 대한 상용주파 방식층 내전압 값과 절연통보호장치의 보호레벨에는 많은 여유가 있어 문제는 없지만 지중송전계통에 과도전류, 과전압으로 인한 전력손실, 케이블 성능, 케이블 수명 및 절연상태에 대해서 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(3) 공동 전력구내에 공동접지 된 지중송배전계통에서 각각의 가공선로를 통하여 침입한 뇌격에 의한 상호계통 영향을 살펴보면 각 계통은 가공선로와 지중선로 접속하는 지점에서 근접한 공동접지지점으로 대부분의 과도전류가 유입되므로 과전압, 과도전류가 발생한 가공선로와 지중선로 접속하는 지점에서부터 첫 번째 공동접지지점까지의 구간에 대해 케이블 감시나 점검시 주의 기술여야 할 것으로 사료된다.

(4) 전력구내에 지중송배전계통 상호간에 운용하고 있는 공동접지체계에서 과도현상은 전력설비의 수명, 케이블성능,

케이블 수명, 전력손실 및 계통도 안정도 측면에서 영향이 큰 것으로 판단되어 상호 영향을 최소화하기 위해 공동접지를 분리하여 독립적으로 운영하는 것이 합리적이라고 사료된다.

한편, 지중송배전계통의 공동접지 운용에 대한 좀 더 상세한 기술적 검토를 하기 위해서는 케이블의 종류, 길이는 물론 혼합계통 등 보다 다양한 경우에서의 상세한 검토가 요망되며, 이 부분에 대해 계속적인 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 전력연구원, “송전케이블 허용전류 산정프로그램 개발 연구(최종보고서)”, 2001
- [2] 전력연구원, “송전용량 증대를 위한 열 방산회로 개선에 관한 연구(최종보고서)”, 2003
- [3] 전력연구원, “지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)”, 1998
- [4] 한국전력공사 기술연구원, “지중송전 케이블의 서지 보호대책에 관한 연구(최종보고서)”, 1993
- [5] 한국전력공사, “지중배전과도현상해석 및 보호대책 연구(최종보고서)”, 2007
- [6] 한국전력공사, “설계기준 - 3500(접지공사)”, 1999
- [7] 한국전력공사, “설계기준 - 5001(총칙)”, 1998
- [8] 한국전력공사 중앙교육원, “지중실무 I, II”, 2000

저 자 소 개



임 광 식 (林 廣 植)

1981년 11월 4일생. 2007년 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2007년~현재 동 대학원 석사과정
Tel : (063)850-6735
E-mail : asd0007@nate.com



이 종 범 (李 鍾 範)

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987~1990년 한국전기연구원 지중송전연구실 실장. 현재, 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수.
Tel : (063)850-6735
E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr