

지중송전계통에서 보통접속함의 접지방식에 따른 고장전류분류를 재검토

홍동석*, 강지원, 장태인
한국전력 전력연구원

김형호, 윤형희
한국전력공사

Restudy of Fault Current Distribution Ratio with Grounding Type of Normal Joint Box in Underground Transmission Systems

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

H.H.Kim, H.H.Yoon
KEPCO

Abstract - Recently, Underground transmission system is getting increased. Therefore the design of grounding system becomes very important to discharge overcurrent of lightning and fault through earth and reduce sheath induced voltage and sheath circulation current. This paper describes fault current distribution ratio for grounding line with grounding types of normal joint box and sheath grounding resistor at line-to-ground fault of cable.

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 : 접지선재질의 체적비열 [$J/°Cmm^3$]

B : 0°C에서 도체열저항율의 역수

ϕ_{20} : 20°C에서의 도체전기저항율 [Ωmm]

θ_f : 도체의 초기온도(°C)

θ_i : 도체의 최종온도(°C)

1. 서 론

최근 산업경제 및 국민생활의 급격한 성장으로 전력수요는 해마다 증가하고 있으며 가공 송전선의 경우 도심지 통과나 부지확보, 잦은 민원유발 및 여러 가지 환경적인 이유로 인하여 지중송전선의 건설은 해마다 증대되고 있는 실정이다. 이에따라 지중송전계통에서 써지침입 및 지락고장시 과도전류의 대지로의 원활한 방전과 시스의 유기전압, 순환전류 저감등 지중시스템 보호 및 인체의 안전을 위해 접지시스템의 설계는 매우 중요하게 대두되고 있다. 계통에서 발생할 수 있는 여러 가지의 고장형태중에서 접지계에 직접적인 영향을 미치는 것은 지락고장으로서 지중송전계통의 경우는 가공송전계통의 경우와는 달리 케이블 도체와 시스 사이의 절연체 파괴에 의해 이루어 진다. 따라서 지중송전계통에서의 접지계통을 해석하기 위해서는 케이블 절연파괴에 의한 1선지락 고장시의 전류분포해석이 무엇보다 선결되어야 한다. 특히, 지락고장시의 고장전류분포는 케이블 접지선의 굵기를 산정하는데 있어 중요한 역할을 하고 있다[1-3].

따라서 본 논문에서는 국내에서 포설되고 있는 계통에 대해서 케이블의 1선지락 사고시 시스의 접지저항, 보통접속함의 접지방식에 따른 접지선의 고장전류 분류율의 재검토 및 정상상태시 보통접속함의 접지방식에 따른 시스 불평형율을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 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. 우리나라에서는 IEC규격을 적용하여 접지선의 굵기를 산정하고 있으며 그 계산공식은 아래의 식(1)과 같다[1].

$$A = \frac{I\sqrt{t_c}}{k} \tag{1}$$

여기서, I : 접지선에 흐르는 전류(A)

2.2 해석계통 모델링 및 시뮬레이션 조건

2.2.1 해석계통 모델링

지중송전계통은 시스유기전압과 순환전류를 제한시키기 위해 케이블의 시스를 완전접지, 편단접지, 크로스본딩접지방식으로 접지하고 있으며, 우리나라에서는 일반적으로 크로스본딩접지방식을 채용하고 있지만 최근들어 크로스본딩방식과 편단접지가 혼용되어 포설되는 선로가 생기고 있다. 본 논문에서는 크로스본딩방식으로만 접지되어져 있는 계통과 각각 다른 형태의 편단접지 방식이 혼용되어져 있는 총 세가지 경우의 선로에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 1에 각각의 계통에 대한 케이블의 접속형태 및 구간길이를 나타내었으며 선로의 포설형태만 검토대상으로 선정하였으므로 구간길이는 300(m)로 동일시하여 시뮬레이션을 수행하였다.

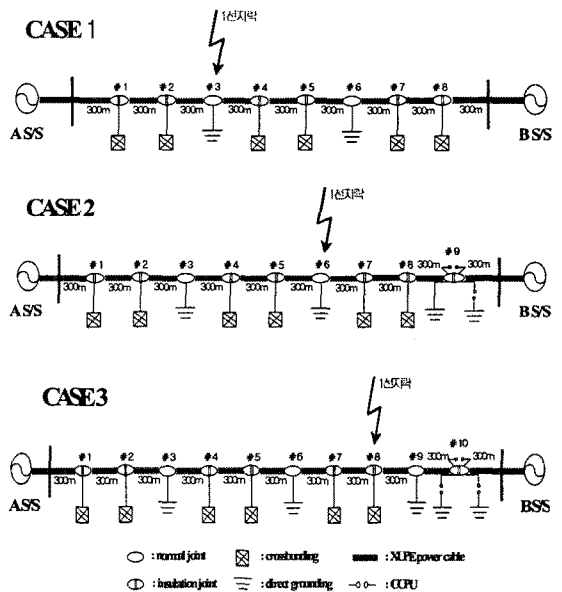


그림 1. Case별 케이블의 접속형태 및 구간길이

2.2.2 전원 임피던스

전원의 등가임피던스는 154 kV 계통의 3상단락전류의 70(%)인 35[kA]를 1선지락고장전류로 가정하여 계산하였으며, 표 1에 모델의 전원임피던스를 나타내었다.

표 1. 모델의 전원 임피던스 및 부하 임피던스

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

2.2.3 케이블 모델링

해석모델들은 전부 전력구로 포설되어 있으며, 선로는 K.C.LEE 모델로 모의하였고, 전력구에 배치된 케이블에 대한 선로정수는 전력구의 바닥을 대지로 간주하고 케이블이 기중에 설치된 것으로 표현하는 방법을 사용하여 대지 저항율을 100(Ω-m)로 가정하고 ATPDraw의 보조프로그램인 ATP-LCC를 사용하여 산출하였다. 사용된 케이블의 종류는 154 kV XLPE 2000(mm²)이며, 사용된 전력케이블의 입력자료는 표 2에 나타내었다.

표 2. 154 kV XLPE 2000(mm²) 케이블의 입력자료

구분(외경)	도체	절연체	시스	방식층
단위				
mm	53.8	103.8	130.8	139.8

2.2.4 고장조건

154 kV 계통에서 접지선의 굵기 선정시에 고려되는 계산조건에 부합하는 3상단락전류는 50[kA]이며 그때의 1선지락고장전류는 최대고장전류의 70~80(%)로 정한다. 따라서 본 논문에서는 1선지락시의 고장전류의 크기를 35[kA]로 가정하였으며, 각각의 계통에서의 고장위치는 그림 1에서와 같이 보통접속합의 A상 접지단자 부근에서 발생하는 것으로 모의하였다.

3. 시뮬레이션 및 검토 결과 고찰

3.1 지중송전계통 모델링

현재 우리나라의 154 kV 계통에서 적용되고 있는 고장전류분류율은 Case 1의 경우에서 방식층보호장치의 결선방식과 접지저항의 변화에 따른 각 접지선의 고장전류최고값에 피복절연전선의 경연변화를 고려한 안전율 20(%)와 기계적인 강도를 고려한 안전율 20(%)를 적용하여 아래의 표 3과 같이 결정하여 적용중에 있다 [1].

표 3. 현재 적용되고 있는 고장전류분류율

구분	분류율(%)	
중단접속부	각상의접지선	100
	공통접지선	70
선연접속합	크로스본드선	100
	각상의접지선	15
보통접속합	공통접지선	15
	각상의접지선	100
	공통접지선	15

따라서 본 논문에서는 그림 1에서 보여준 각각의 Case에 대해 1선지락고장시 고장전류분류율을 재검토하고자하였다. 여기서 시스의 접지저항은 5(Ω), 10(Ω), 25(Ω)으로 하였으며, 중단접속합에서의 접지저

항은 지중선 공사의 지침을 고려하여 1(Ω)으로 하였다. 또한 보통접속합의 접지방식을 각각의 Case에 대하여 3상 일괄접지와 개별접지, 그리고 1상은 개별접지하고 나머지 두상은 일괄접지로 한 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며 아래의 그림 2에 나타내었다.

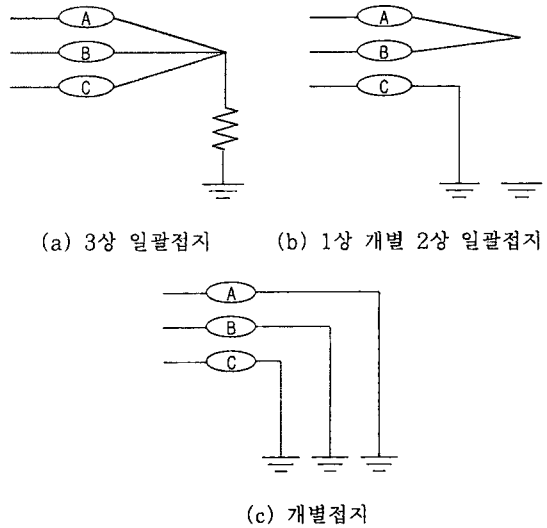


그림 2. 보통접속합의 접지방식

3.2 Case별 시뮬레이션 결과

3.2.1 접지저항별 시뮬레이션 결과

본 논문에서 설정한 각각의 Case별로 NJ의 시스접지 저항을 5(Ω), 10(Ω), 25(Ω)으로 변화를 주었을때의 고장전류 분포해석을 한 결과 크로스본드선과 각상의 접지선에 흐르는 고장전류는 접지저항에 큰 영향을 받지 않았지만, 보통접속합과 중단접속합의 공통접지선에서는 큰 영향을 받을 수 있었다. 아래 표 4는 시스접지 저항의 변화에 따른 보통접속합과 중단접속합의 공통접지선에서의 고장전류분류율 시뮬레이션 결과이다.

표 4. 접지저항에 따른 고장전류분류율

Case1	고장전류	A S/S	#3 NJ	#6 NJ	B S/S
5(Ω)	46.74	17.46	3.36	3.38	17.37
	(100)	(37.36)	(7.19)	(7.23)	(37.16)
	46.60	19.60	1.94	1.93	19.51
10(Ω)	(100)	(42.06)	(4.16)	(4.14)	(41.87)
	46.35	21.48	0.86	0.85	21.39
	(100)	(46.34)	(1.86)	(1.83)	(46.15)

Case2	고장전류	A S/S	#3 NJ	#6NJ	#9	B S/S
5(Ω)	46.83	19.14	3.79	3.88	4.07	9.29
	(100)	(40.87)	(8.09)	(8.29)	(8.69)	(19.84)
	46.68	22.65	2.27	2.31	2.71	12.01
10(Ω)	(100)	(48.52)	(4.86)	(4.94)	(5.81)	(25.73)
	45.74	25.83	1.04	1.05	1.37	14.80
	(100)	(56.47)	(2.27)	(2.29%)	(2.99)	(32.36)

Case3	고장전류	A S/S	#3 NJ	#6 NJ	#9 NJ	B S/S
5(Ω)	46.57	18.62	3.64	3.71	3.86	8.99
	(100)	(39.98)	(7.82)	(7.97)	(8.29)	(19.30)
	46.46	22.08	2.21	2.24	2.63	11.84
10(Ω)	(100)	(47.53)	(4.76)	(4.82)	(5.66)	(25.48)
	45.84	25.40	1.02	1.03	1.33	14.71
	(100)	(55.41)	(2.23)	(2.25)	(2.90)	(32.09)

표 4에서 알 수 있듯이 고장전류분류율의 관점에서 Case 1의 경우는 현재 적용되고 있는 고장전류분류율과 같은 값을 나타냈고, Case 2와 Case 3의 경우도 각상의 접지선과 크로스본드선 및 보통접속합 공통접지선의 고장전류분류율은 같은 값을 나타냈다. 한편, Case 2,3의 경우 중단접속부의 공통접지선에서의 분류율은 안전율을 적용한 결과 80(%)의 분류율을 보이고 있어 현재 적용되고 있는 분류율 70(%)보다 10(%) 이상의 증가함을 알 수 있다. 그러나 접지선의 굵기를 계산하는 식(1)의 계산조건에서 접지선 도체 재질을 동으로 하고 접지선 피복의 재질을 PVC로 했을 때 접지선의 굵기를 계산한 결과 기존의 고장전류분류율 70(%)의 경우 174(mm²), 80(%)의 경우는 198(mm²)이므로 현재 적용되고 있는 접지선 굵기(>174(mm²))를 그대로 적용하여도 문제가 없을 것으로 사료된다.

3.2.2 보통접속합의 접지방식별 시뮬레이션 결과

본 논문에서 설정한 각각의 Case별로 고장지점인 보통접속합의 접지방식을 지중송전계통에서 주로 시공되고 있는 3상 일괄접지(Type1), 1상은 개별 나머지 2상은 일괄접지(Type2), 개별접지(Type3)로 한 경우에 각각의 고장전류분류율을 검토하고자 하였으며 표 5에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 각 Case별, 접지방식별 고장전류분류율은 현재의 적용기준을 만족함을 알 수 있다.

표 5. 보통접속합의 시스템접지방식에 따른 고장전류분류율

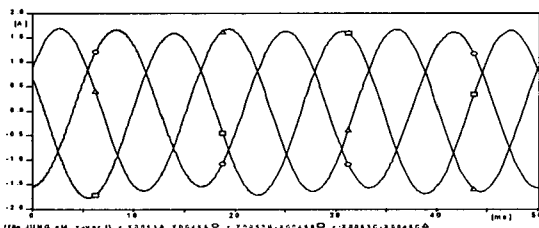
Case1	고장전류	A S/S	#3 NJ		#6 NJ	B S/S	
Type1	46.60 (100)	19.60 (42.06)	1.94 (4.16)		1.93 (4.14)	19.51 (41.87)	
Type2	46.50 (100)	18.76 (40.3)	1.85 (3.98)	1.85 (3.98)	1.86 (4)	18.91 (40.67)	
Type3	46.23 (100)	17.93 (38.8)	1.76 (3.81)	1.76 (3.81)	1.76 (3.81)	1.78 (3.85)	18.30 (39.58)

Case2	고장전류	A S/S	#3 NJ	#6 NJ	#9		B S/S	
Type 1	46.68 (100)	22.65 (48.5)	2.27 (4.86)	2.31 (4.94)	2.71 (5.81)		12.01 (25.7)	
Type 2	46.45 (100)	21.28 (45.8)	2.12 (4.56)	2.15 (4.63)	2.19 (4.72)	2.22 (4.78)	10.94 (23.6)	
Type 3	46.07 (100)	20.44 (44.4)	2.04 (4.43)	2.06 (4.47)	2.15 (4.67)	2.09 (4.54)	2.09 (4.54)	10.16 (22.1)

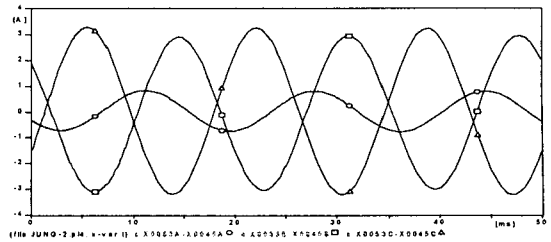
Case3	고장전류	A S/S	#3 NJ	#6 NJ	#9 NJ	B S/S		
Type 1	46.46 (100)	22.08 (47.5)	2.21 (4.76)	2.24 (4.82)		2.63 (5.66)	11.84 (25.5)	
Type 2	46.48 (100)	21.74 (46.8)	2.17 (4.67)	2.20 (4.735)	2.21 (4.76)	2.44 (5.25)	11.23 (24.2)	
Type 3	45.88 (100)	20.81 (45.4)	2.07 (4.51)	2.12 (4.62)	2.09 (4.56)	2.09 (4.56)	2.16 (4.71)	10.45 (22.8)

3.2.3 보통접속합의 접지방식별 불평형률

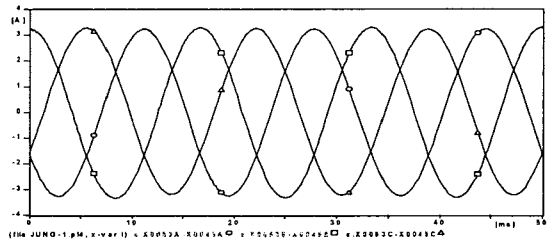
본 절에서는 정상상태시 Case 1의 보통접속합 접지방식을 변화시켰을 때의 시스템순환전류 불평형률을 검토해 보았다. 그림 3은 각각의 접지방식에 따른 #4 IJ에서의 시스템순환전류 파형이다.



(a) Type 1



(b) Type 2



(c) Type 3

그림 3. Type별 시스템순환전류 검토

그림 3에서 알 수 있듯이 Type 1,3에 비해 Type 2의 경우 시스템순환전류의 불평형이 심각함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 현재 국내에 포설되어 있는 지중케이블 계통을 ATPDrw를 이용하여 모델링 하였고, 접지선의 굵기를 선정하는데 있어 중요한 요소인 1선지락시 접지 저항과 보통접속합의 접지방식에 따른 고장전류분류율을 재검토 하였으며, 정상상태시 보통접속합의 접지방식에 따른 시스템순환전류의 불평형에 대해서 검토하였다. 그 내용을 정리하면 아래와 같다.

1. 크로스본드선과 각상의 접지선에 흐르는 고장전류는 접지저항에 큰 영향을 받지 않지만, 보통접속합과 중단접속합의 공통접지선에서는 Case별로 다른 특성을 보였다.
2. Case 2, 3의 경우 중단접속합 공통접지선의 고장분류율이 현재 적용되고 있는 분류율 보다 10(%) 이상 높은 약 80(%)를 보였지만 접지선 굵기의 경우 현재 적용되고 있는 기준은 만족한다.
3. 시스템접지방식별 시스템순환전류 불평형률은 Type 2가 가장 심하였다.
4. 고장전류분류율 및 정상상태 시스템순환전류 불평형을 고려시 보통접속합의 시스템접지방식은 Type 1(3상 일괄접지)으로 시공하는 것이 타당하다고 사료됨.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)" 1998.1
- [2] 한국전력전력연구원, "축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구(최종보고서)" 1998.4
- [3] 정채균, 홍동석, 이종범, "지중송전계통의 접지특성분석에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 482 - 484, 2001.7