지중송전계통 병행지선 설치 방안 검토

강지원*, 정채균*, 윤형희*, 윤종건**, 김두진**, 김재승**,
한전 전력연구원*, 한국전력공사**

Analysis of Installation Methods of Earth Continuity Conductor on Underground Power Cable Systems

J. W. Kang*, C. K. Jung*, H. H. Yoon*, J. K. Yoon**, D. J. Kim**, J. S. Kim**
KEPRI*, KEPCO**

Abstract - In this paper, the effects of earth continuity conductor are deeply analyzed for reducing the level of induced sheath voltage at the single point bonded sections. The various installation conditions of an earth continuity conductor are considered including conductor dimensions, its spacing from the three phase cables, and utilization of two earth continuity conductors when the grounding fault occurs on real power cable systems. Finally, the transient characteristics including reduction effects of induced sheath voltage are proved by EMTP simulations. The optimal installation condition of earth continuity conductor is also proposed based on those results.

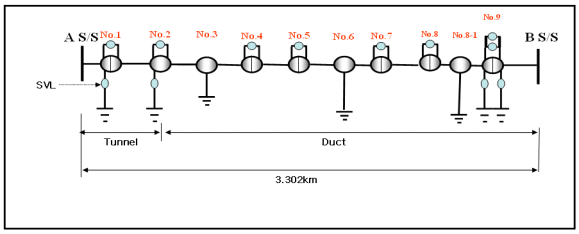
1. 서 론

대부분 국내 지중송전계통은 크로스본드 시스템을 구축하고 있고 각 크로스본드 대구간은 3구간의 소구간으로 구성되어 있다. 그러나, 크로스본드 시스템의 말단에는 많은 편단접지의 구간이 있으며, 지락고장 등의 과도현상 발생시 편단접지 구간에서 발생하는 시스전압은 급격히 상승하게 되어 지중송전계통의 고장발생 원인이 되고 있다[1]. 이러한 구간에서 발생되는 과도한 시스전압을 저감하기 위해 여러 문헌[2-3]에서는 병행지선 사용을 권장하고 있으나, 현재 까지 국내에서는 적용되는 사례가 많지 않을 뿐 아니라 이에 대한 명확한 설치 규정도 없는 상황이다.

따라서, 본 논문에서는 병행지선과 상도체 사이의 이격거리, 또한 병행지선으로 사용되는 도체의 위치 및 도체 직경, 2회선 병행지선의 사용 등을 고려한 검토 케이스를 설정하여 지중송전계통의 편단접지 구간에서 발생되는 과도한 시스전압을 억제하기위한 병행지선 설치효과를 자세히 분석하였으며, 최적 설치 방안을 제시하였다.

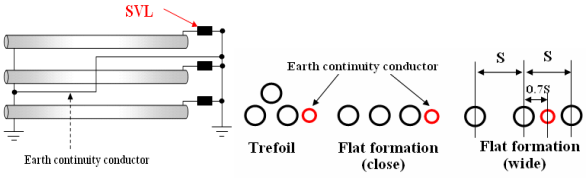
2. 모델 계통

병행지선 설치효과를 검증하기 위해 그림 1과 같은 실계통 모델을 이용하였다. 그림 1의 실계통은 총 케이블 길이가 3.302km인 154kV 계통이며, 3구간의 크로스본드 대구간을 가지고 있고 N0. 9 접속부는 편단접지 구간으로 되어있다. 병행지선 설치효과를 검증하기 위해 A S/S로부터 1.065km 떨어진 지점의 A상에서 1선지락고장이 발생하는 것으로 가정하였으며, EMTP 시뮬레이션을 통해 다양하게 검증하였다.



<그림 1> 지중송전계통 모델 계통

3. 병행지선



<그림 2> 병행지선 설치 및 설치 방법의 예

그림 2에서는 ANSI/IEEE Std. 575[3]에서 권장하는 병행지선 설치 방법을 소개하고 있으며, 포설 방식에 따른 병행지선 설치 방법을 나타내고 있다. 본 논문에서는 TFR-CV 240㎟와 TFR-CV 500㎟의 두 종류의 병행지선 사용을 검토하였으며 이들의 특성은 표 1과 같다.

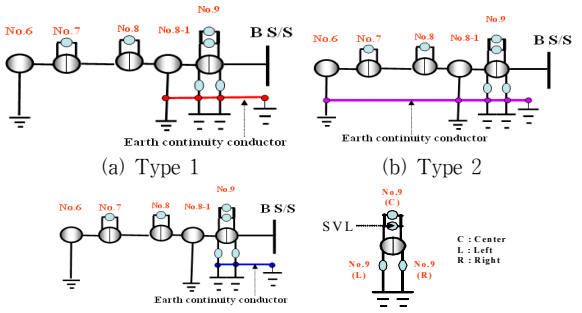
<표 1> 병행지선 도체 특성

종류	도체반경[m]	도체저항율 [Ωm]	절연체반경 [m]	유전율
TFR-CV 240㎟	0.00915	1.98e-8	0.01085	2.4
TFR-CV 500㎟	0.0132	2.00e-s	0.0174	2.4

4. 시뮬레이션 케이스 설정

4.1 설치구간에 따른 분류

본 논문에서는 그림 3에서처럼 병행지선 설치구간에 따라 3 Type으로 구분하였다. Type 1은 No. 8-1과 B S/S사이에서 설치되며, Type 2와 Type 3은 각각 No. 6과 B S/S 사이, No. 9와 B S/S 사이에서 설치된다.



(a) Type 1 (b) Type 2

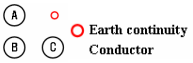
(c) Type 3 (d) No.9의 SVL

<그림 3> 병행지선 설치구간에 따른 분류

4.2 설치방법에 따른 분류

설치방법에 따른 다양한 분석을 위해 설치 위치, 도체 직경, 고장 상, 2회선 병행지선 사용 등을 고려해 총 15가지의 Case가 검토 되었으며 이는 표 2에서 자세히 요약되었다.

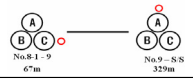
<표 2> 병행지선 설치 방법에 따른 분류

Case	Type	도체	설치위치
Case 1	Type 1	CV 240	
Case 2	Type 2	CV 240	
Case 3	Type 3	CV 240	
Case 4	Type 1	CV 240	
Case 5	Type 1	CV 240	
Case 6	Type 1	CV 500	
Case 7	Type 2	CV 500	
Case 8	Type 1	CV 500	
Case 9	Type 1	CV 500	

〈표 3〉 고장상에 따른 분류

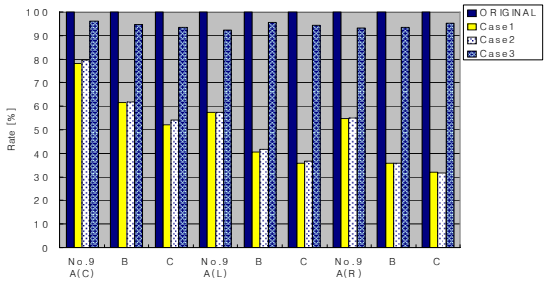
Case	Type	도체	고장상	설치위치
Case 10	Type 1	CV 240	A	
Case 11	Type 1	CV 240	B	
Case 12	Type 1	CV 240	C	

〈표 4〉 2회선 병행지선 사용에 따른 분류

Case	Type	도체	설치위치
Case 13	Type 1	CV 240	
Case 14	Type 1	CV 240	
Case 15	Type 1	CV 240	

5. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 1선지락고장 발생시 그림 1의 실계통 No. 9의 편단접지 구간에서 15가지 병행지선 설치 Case에 따라 발생하는 시스전압을 다양하게 분석하였다. 그림 4는 병행지선이 없는 Original 계통에서 발생하는 시스전압 대비 Case 1 - Case 3의 저감율을 나타내었다.



〈그림 4〉 병행지선 설치구간에 저감 효과(Case 1 - Case 3)

그림 4에서처럼 Case 3은 Original 대비 평균 94.4%로 저감효과가 거의 나타나지 않았으나, Case 1과 Case 2는 각각 49.87%와 50.5%로 약 50%의 저감효과가 있음을 알 수 있었다. 따라서 병행지선의 설치 거리를 비교할 때 Case 2에 비해 Case 1이 유리하다는 것을 알 수 있다. 표 5에서는 Case 4와 Case 5의 저감효과를 나타내었다. 표에서처럼 Case 4와 Case 5는 각각 평균 44.02%와 44.69%를 보여 Case 1과 비교할 때 5.8%의 효과가 있음을 알 수 있었으나 Case 4의 경우는 관로식의 포설방식을 고려할 때 실제 설치 가능성은 없으나 병행지선이 상도체에 근접할수록 저감 효과가 있다는 것을 검증할 수 있었다.

〈표 5〉 Case 4와 Case 5의 분석 결과

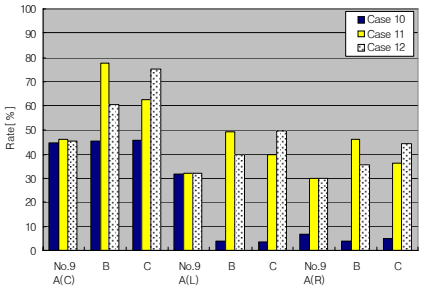
Case	No.9 A(C)	No.9 B(C)	No.9 C(C)	No.9 A(L)	No.9 B(L)	No.9 C(L)	No.9 A(R)	No.9 B(R)	No.9 C(R)	평균 저감
Case 4	75.47	50.20	45.10	53.91	33.68	30.83	51.18	29.52	26.30	44.02
Case 5	65.09	57.50	47.81	49.55	40.23	33.46	44.09	34.65	29.86	44.69

Case 6 - Case 9는 Case 3을 제외한 Case 1 - Case 5의 경우에서 병행지선의 도체 굵기가 500㎟인 경우로 표 6에서는 평균 저감율의 차이를 각각 비교하여 나타내었다. 표에서처럼 도체 굵기를 500㎟로 한 경우 저감율은 4.41% - 4.7%까지 효과가 개선됨을 알 수 있다.

〈표 6〉 병행지선 도체 굵기에 따른 저감율

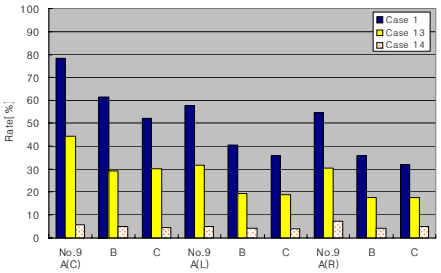
CV240㎟	Case 1	Case 2	Case 4	Case 5
	49.87%	50.5%	44.02%	44.69%
CV500㎟	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
	45.38%	45.95%	39.61%	40.00%
차이	+4.49%	+4.54%	+4.41%	+4.70%

Case 10 - Case 12는 병행지선이 A상위에 설치될 때 고장상에 따른 저감율 차이를 분석하였으며, 그림 5에서는 Case 10 - Case 12의 저감율을 비교하여 나타내었다. 그림에서처럼 A상 고장의 경우 평균 전압은 Original 대비 23.62%로 매우 낮은 전압을 보였으며, B와 C상의 고장은 각각 46.66%와 45.83%를 보였다. 이 결과로부터 병행지선은 고장상에 근접할수록 저감효과가 좋아짐을 알 수 있다.



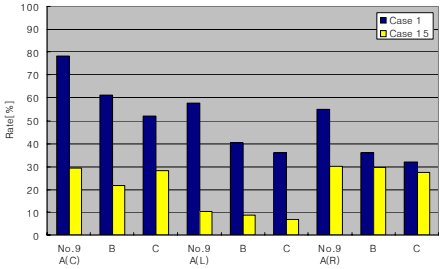
〈그림 5〉 고장상에 따른 저감효과(Case 10 - Case 12)

Case 13과 Case 14에서는 2회선 병행지선을 사용한 경우의 저감효과를 분석하였다. 그림 6에서는 Case 13과 Case 14의 저감효과를 나타내었으며 그림에서처럼 2회선을 사용한 경우 저감효과는 각각 Original 대비 26.58%와 4.98%로 다른 설치방법에 비해 저감효과가 매우 좋아짐을 알 수 있으며 특히, 2회선 중 고장 상(A상)에 병행지선을 설치한 경우는 4.98%로 거의 완벽히 전압이 저감됨을 확인하였다.



〈그림 6〉 2회선 병행지선 설치에 따른 저감효과

마지막으로 1회선의 병행지선을 이용해 각 상별로 Case 15와 같이 교차 설치할 경우의 저감효과를 분석하였다. 그림 7에서처럼 A와 C에 교차설치할 경우 저감효과는 Original 대비 21.37%로 2회선 병행지선을 사용한 Case 13(26.58%)에 비해 오히려 더 좋은 효과를 보였다. 따라서 경제적인 효과를 고려할 때 2회선 병행지선 설치에 비해 1회선의 병행지선을 각 상별로 교차하여 설치하는 방안이 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있었다.



〈그림 7〉 1회선 병행지선의 교차 설치에 따른 저감효과

6. 결 론

본 논문에서는 병행지선 설치 구간 및 설치방법에 따라 편단접지 구간에서 발생하는 저감효과를 다양하게 분석하였다. 병행지선은 상도체에 근접할수록 저감효과가 커지며, 특히 고장상에 인접할수록 저감효과는 좋아진다. 또한 병행지선의 도체가 굵을수록, 2회선 병행지선을 사용할수록 병행지선 효과는 더욱 좋아진다. 그러나 경제성을 고려할 때 1회선의 병행지선을 각 상별로 교차하여 설치하는 방안이 가장 효율적일것으로 사료되며, 현재 병행지선의 적정 규격 검토를 위해 지속적인 연구를 진행하고 있다.

.

[참 고 문 헌]

[1] KEPRI, "A Study on the Establishment of Grounding Technology for the Underground Power Transmission System, 1998

[2] CIGRE WG B1.18, "Special Bonding of High Voltage Power Cables, Oct. 2005

[3] EEE, "IEEE Guide for the Application of Sheath Bonding Methods for Single-conductor Cables and Calculation of induced Voltage and Current in Cable Sheaths, ANSI/IEEE Std. 575-1998