

지중송전시스템의 스위칭서지 해석

정채균*, 이종범, 장성환
원광대학교

강지운
한전 전력연구원

Switching Surge Analysis of Underground Transmission Systems

Chae-Kyun Jung*, Jong-Beom Lee, Sung-Hwan Jang
Wonkwang University

Ji-Won Kang
KEPRI

Abstract - In this paper, for continuously changed closing time of circuit breakers, switching overvoltage on 345kV underground transmission systems are variously analyzed using EMTP with statistical analysis method. And, switching overvoltage and closing surge occurred in conductors at sending and receiving end and metal sheath with variation of cable length are analyzed, and the reduction effects for switching overvoltage considered preinsertion resistance of circuit breakers are examined.

저항접점은 주접점 동작 10[ms]이전에 동작하는 것으로 하였으며 투입저항은 400Ω으로 하였다.

1. 서 론

지중송전계통에는 가공선로나 중단접속부로부터 유입되는 뇌서지로 인한 뇌과전압과 차단기 차단과 투입에 의한 개폐 과전압, 지락이나 부하차단으로 인해 발생하는 일시 과전압 등의 과전압이 발생한다. 이러한 과전압에 관한 해석 및 연구는 국내외 적으로 많은 부분에서 활발하게 진행되고 있으며, 과전압이 계통에 미치는 영향 등을 고려하여 선로 및 전력기기 설비의 절연설계에 반영하고 있다[1-6]. 또한 스위칭 서지에 관한 해석은 배전계통 및 345[kV]급 이상의 가공송전계통 분야에서는 활발히 진행되고 있으나, 차단기의 재폐로가 적용되지 않는 지중송전계통에서는 재투입 서지에 의한 영향이 없어 투입시 발생하는 개폐 과전압의 영향이 가공선로에 비해 적게 나타나는 이유로 스위칭 서지에 관한 체계적인 연구가 활발히 진행되고 있지 않다. 그러나 지중송전계통은 가공선로와는 달리 시스템 구성이 복잡하고 급속시스, 접속함, CCPU등 과전압에 직접적으로 영향을 받는 많은 설비들이 있으며, 중전전하의 영향으로 가공선로에 비해 높은 스위칭 과전압이 발생할 수 있다.

2.2 케이블 길이에 따른 개폐 과전압 분석

본 논문에서는 케이블 길이에 따른 개폐 과전압을 해석하기 위해 345kV 양단전원의 수전단은 개방상태로 하였으며, 케이블 총 길이가 2.7km, 4.5km, 6.3km, 8.1km인 선로에서 송전단과 수전단의 도체와 각 접속함의 시스에 유기되는 과전압을 해석하였다. 케이블은 2000mm² OF 케이블이 전력구방식의 정삼각배열로 포설되어 있으며, 접속함간 길이는 300m로 일정하게 하였고, 교락비접지 방식으로 크로스본딩된 2구간에 직접접지가 이루어지는 특성을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 연속적으로 투입위상을 변화하여 확률적 과전압을 계산하는 통계적 해석방법을 이용하여 차단기 투입시 발생하는 345kV 지중송전계통의 투입 과전압을 다양하게 해석하였다. 또한 케이블 길이 변화에 따른 송전단과 수전단의 도체 및 급속시스 등에 발생하는 스위칭 과전압과 실제 운전중인 지중송전계통과 확률적 과전압에서의 투입서지를 분석하였으며, 차단기 투입시 저항을 고려한 경우 나타나는 개폐 과전압의 저감효과를 검토하였다.

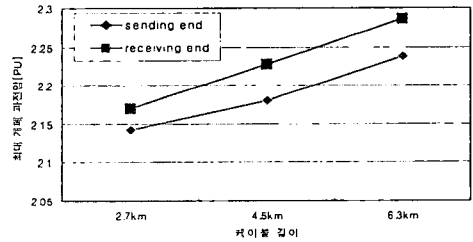


그림 1. 케이블 길이 변화에 따른 도체의 개폐 과전압

그림 1은 차단기 투입시 케이블 길이 변화에 따른 송전단과 수전단의 도체에 발생하는 최대 개폐 과전압이다. 그림에서처럼 수전단에서는 송전단에 비해 높은 과전압이 발생하며, 케이블 길이가 증가할수록 발생하는 개폐 과전압의 크기는 비례하여 증가한다. 현재 한전에서 적용하고 있는 개폐과전압 절연설계 목표치는 154kV 계통의 경우 2.8[PU]이며, 345kV 계통은 2.3[PU]로 설정하고 있다. 본 논문에서 검토한 결과 최대 개폐 과전압이 2.3[PU]를 초과하고 있지 않으나, 케이블 길이가 더욱 증가하면 절연설계 목표치를 초과할 수 있다.

2. 지중송전케이블 스위칭 서지 해석

2.1 통계적 해석방법

본 논문에서는 연속적인 투입위상의 변화에 따른 확률적 투입 과전압을 해석하기 위해 통계스위치를 이용하였다. 주 차단기의 평균 투입시간은 0.02[sec], 표준편차를 1[ms]로 설정하고 투입시간 분포는 정상분포로 하여 200회 반복계산을 하였다. 통계스위치는 정상상태를 포함하여 초기상태에서는 항상 개방되어 있으며, 확률적인 특성에 의해 정해지는 적절한 시간에 투입되고, 투입된 이후 다시 개방되지 않는다. 또한 투입저항 고려시

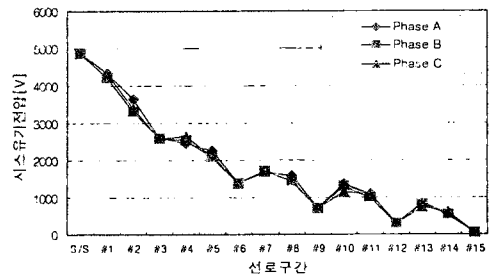


그림 2. 4.5 km 선로의 각 접속함에서 시스-대지간 전압

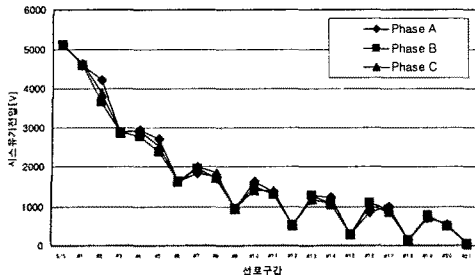


그림 3. 6.3 km 선로의 각 접속함에서 시스-대지간 전압

그림 2와 그림 3은 케이블 길이가 4.5km와 6.3km인 계통에서 차단기 투입시 시스에 유기되는 과전압을 나타내었다. 그림에서처럼 전원단 중단접속함 시스에서 최대 과전압이 발생하며 수전단으로 갈수록 시스에 발생하는 개폐과전압의 크기는 감소하고 있다. 또한 그림 4에서처럼 케이블 길이가 증가할 수록 시스-대지간에 발생하는 최대 과전압의 크기도 증가하는 경향을 나타내고 있다.

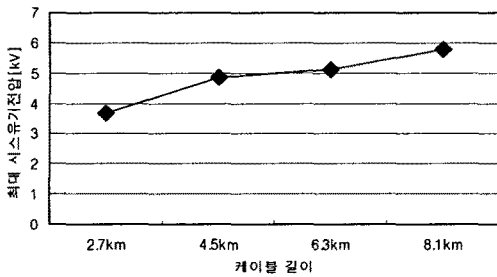


그림 4. 케이블 길이 변화에 따른 시스-대지간 개폐 과전압

표 1과 그림 5에서는 8.1km 케이블선로에서 투입저항 400Ω의 적용 유무에 따른 도체 및 시스에서 발생하는 투입 과전압을 나타내었다. 표 1에서처럼 투입저항을 고려한 경우 도체의 투입 과전압은 최대 1.46(PU)로 약 2배정도 저감되며, 시스에서 유기되는 과전압도 중단부의 최대값을 기준으로 62%의 저감효과가 나타난다. 따라서 개폐서지 저감을 위한 투입저항의 적용을 통해 345kV 계통의 절연설계 목표치인 2.3(PU)에 충분한 여유를 가지게 됨을 알 수 있다.

표 1. 8.1km 케이블 선로에서 투입저항 유무에 따른 도체의 개폐 과전압

		투입저항			유			무		
		상			A	B	C	A	B	C
최대개폐 과전압 [PU]	송전단	1.42	1.44	1.35	2.15	2.24	2.18			
	수전단	1.45	1.46	1.37	2.23	2.28	2.24			

2.3 혼합송전계통에서의 개폐 과전압 분석

2.2 절의 케이블 길이 변화에 따른 개폐 과전압 분석을 통해 케이블 길이가 증가함에 따라 도체 및 시스에 발생하는 과전압도 증가하며, 투입저항의 적용을 통해 도체에서는 35%, 시스에서는 60% 이상의 개폐 과전압이 저감됨을 알 수 있었다. 본 절에서는 실제 국내에서 운전중인 혼합송전계통을 대상으로 차단기 투입시 발생

하는 도체와 시스의 과전압과 투입저항을 고려한 경우의 저감효과를 검토하였다.

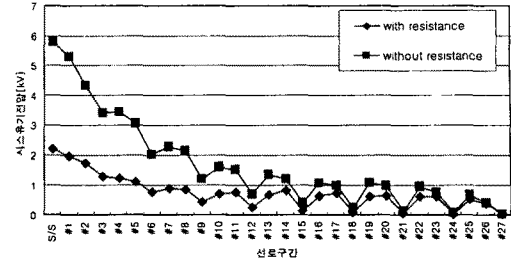


그림 5. 8.1km 케이블선로에서 투입저항 유무에 따른 시스-대지간 개폐 과전압

2.3.1 모델계통

본 논문에서 모델링한 혼합송전계통은 한전에서 실제 운전중인 가공선로 345kV ACSR 480mm×2B 8km와 전력구방식의 삼각배열로 포설되어 있는 OF 2000mm의 선로공장이 8.9km인 케이블 선로가 혼합되어 있는 계통이다. 그림 5에서는 선로계통도 및 케이블 구간의 구간길이와 접지방식을 나타내었다.

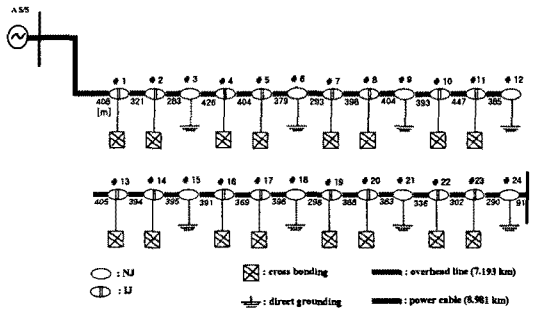


그림 6. 선로 계통도 및 케이블 접속형태

2.3.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 케이블 길에 따른 개폐 과전압을 해석하기 위해 345kV 양단전원의 수전단은 개방상태로 하였으며 A/S/S에 차단기 투입시 발생하는 도체와 시스-대지간 과전압을 분석하였다. 지중송전계통은 가공선로와는 달리 선로고장으로 인해 차단기가 동작하면 재폐로가 이루어지지 않기 때문에 차단기 선로에 남아있는 충전전하와 재투입 서지는 고려하지 않았다. 차단기 투입 서지는 통계적 해석방법을 이용하였으며, 투입시간 분포는 정상분포로 하여 200회 반복계산을 하였다.

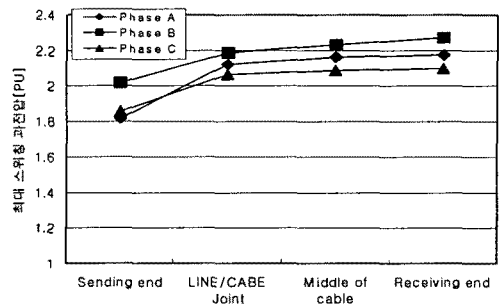


그림 7. 선로위치에 따른 각 상별 도체의 개폐 과전압

그림 7은 혼합송전계통의 선로위치에 따른 각 상별도체에서 발생하는 개폐 과전압이다. 과전압의 크기는 A S/S에서 수전단으로 갈수록 증가하고 있으며, 최대 과전압은 수전단에서 2.27(PU)로 345kV 절연설계 목표치인 2.3(PU)에 근접하고 있다.

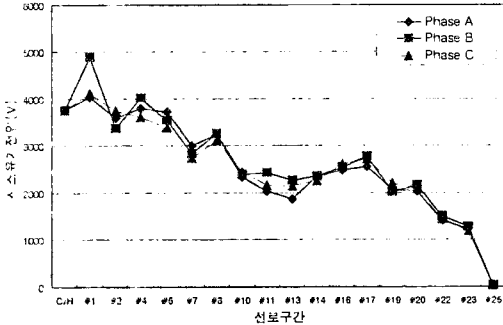


그림 8. 케이블 구간의 각 상별 시스-대지간 개폐 과전압

그림 8에서는 A S/S에서 차단기 투입시 케이블 구간의 시스에서 발생하는 개폐 과전압을 그래프로 나타내었다. 그림에서처럼 시스-대지간 과전압은 C/H 종단접속부의 시스에서 4.8kV로 최대 과전압이 유효되며 수전단으로 갈수록 과전압의 크기는 점차 감소한다.

▶ 투입저항 고려

투입저항 고려시 저항점접은 주점접 동작 10[ms]이 전에 동작하는 것으로 하였으며 표준편차는 0.7[ms]이고, 투입저항은 400Ω으로 하였다.

그림 9에서는 혼합송전계통에서 투입저항 유무에 따라 도체에 발생하는 개폐 과전압을 비교한 그래프이다. 그림에서처럼 투입저항 400Ω을 고려한 경우 수전단에서 발생하는 최대 개폐 과전압의 크기는 1.5(PU)로 투입저항을 고려하지 않은 경우에 비해 34%의 과전압이 저감됨을 알 수 있다.

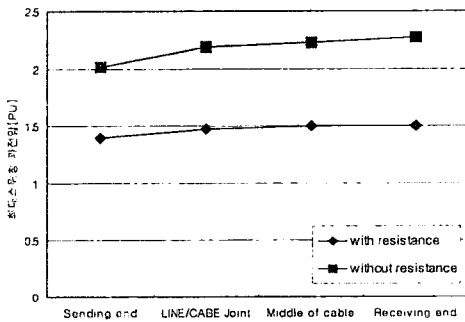


그림 9. 투입저항 유무에 따른 도체의 개폐 과전압

그림 10은 혼합송전계통에서 투입저항 유무에 따라 시스에서 발생하는 개폐 과전압의 크기를 비교한 그래프이다. 투입저항 400Ω을 고려한 경우 지중송전계통의 급속 시스에서 발생하는 개폐 과전압의 영향은 2.16 kV로 투입저항을 고려하지 않은 경우에 비해 55%가 저감되었다.

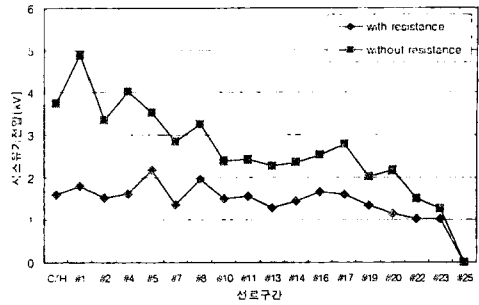


그림 10. 투입저항 유무에 따른 시스-대지간 개폐 과전압

3. 결 론

본 논문에서는 연속적으로 투입위상을 변화하여 확률적인 과전압을 계산하는 통계적 해석방법을 이용하여 345kV 지중송전계통에서 차단기 투입시 발생하는 개폐 과전압을 다양하게 분석하였다. 본 논문에서 분석한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 차단기 투입시 케이블 길이 변화에 따라 도체에 발생하는 개폐 과전압의 크기는 선로길이가 증가할수록 비례하여 증가한다.
- 2) 차단기 투입시 케이블 시스에 발생하는 과전압은 전원단 시스에서 가장 높은 과전압이 발생하며, 수전단으로 갈수록 개폐 서지에 의한 영향이 감소된다. 또한 전원단 시스에서 발생하는 최대 과전압의 크기도 케이블 길이가 증가에 비례하여 상승한다.
- 3) 실제 운전중인 혼합송전계통의 개폐과전압 해석결과 수전단 도체에서 발생하는 최대 과전압의 크기는 2.27(PU)로 345kV 절연설계 목표치인 2.3(PU)에 근접하였고, 시스에서는 4.8kV의 과전압이 발생하였다.
- 4) 지중 및 혼합송전계통에서 400Ω의 투입저항을 고려할 경우 도체에서는 약 35%의 과전압이 감소하였으며, 시스에서는 50~60%의 과전압이 감소하였다.

(참 고 문 헌)

- [1]Jeong-Boo Kim, Eung-Bo Shim, Jeong-Woon Shim, "Switching Overvoltage Analysis and Air Clearance Design on the KEPCO 765 kV Double Clearance Transmission System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, 2000
- [2]전력연구원, "지중송전 케이블의 썬어지 보호 대책에 관한 연구, 1993. 6
- [3]Yilmaz UYAROGLU, M. Ugar UNVER, "Switching Transients in Power Cables", IEEE Conference, 1998
- [4]A. C. Legate, J. H. Brunke, J. J. Ray, E. J. Yasuda, "Elimination of Closing Resistors on EHV Circuit Breakers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 1, 1998
- [5]A. Carvalho, M. Lacorte, O. Knudsen, "Improved EHV Line Switching Surge Control by Application of Mo-arresters and Controlled Switching", IEEE Conference, 1995
- [6]D. A. Woodford, L. M. Wedepohl, "Transmission Line Energization with Breaker Pre-Strike", IEEE Conference, 1997
- [7]전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용에 관한 연구", 1991