

가공 및 케이블로 구성된 선로의 개폐서지 해석

강연옥, 심용보, 주병수, 김문덕
전력연구원 765kV송변전그룹

Analysis of Switching Surge in Overhead Transmission Line with Underground Cable Line

Y.W.Kang, E.B.Shim, B.S.Joo, M.D.Kim
KEPRI 765kV Transmission Group

Abstract

As transmission systems has been complicated and various, cases of transmission systems which is made up with underground cable line only or overhead transmission line with underground cable line have been increased. When transmission lines with different types of cable, it is more likely to be vulnerable to the surges. This paper analyzed these surge in 154kV transmission line by means of EMTP (Electro Magnetic Transient program).

1. 서론

전력계통이 점차 복잡 다양화 되어감에 따라, 지중케이블 단독선로 또는 지중케이블 선로와 가공선로가 혼재된 경우가 많아지고 있으며, 가공선로 전선규격이 상이하여 임피던스 부정합점이 발생하는등 과거보다는 썬지에 대하여 가혹한 현상이 발생될 가능성이 많아 이를 해석하여 안정적 계통운영에 참고하고자 한다.

전력계통의 개폐과전압에는 차단기 투입시에 발생하는 투입 썬어지, 지락전류 차단시에 건전상 건전계통에 발생하는 차단 썬어지, 지락 직후에 건전상 건전계통에 발생하는 지락 썬어지 및 차단기 재투입시 발생하는 재투입 썬어지 등이 있다.

본 논문에서는 EMTP(Electro Magnetic Transient program)를 이용하여 감심 알루미늄 연선 240 mm² 와 330 mm²가 접속된 가공선로에 지중케이블이 접속되어 운전중인 154kV 송전계통의 개폐 과전압을 검토하였다.

2. 본론

2-1. 썬지 전파특성

전송선로를 분포정수회로로 해석한 경우 전파정수와 특성임피던스는 식 (1)과 (2)로써 표현된다.

$$\gamma = \sqrt{(r + ja\omega L)(g + ja\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{\frac{r + ja\omega L}{g + ja\omega C}} \quad (2)$$

단, γ : 전파정수

Z : 특성임피던스

α : 감쇠정수

β : 위상정수

ω : 각주파수

고주파 영역에서는 $\omega L \geq r$, $\omega C \geq g$ 이므로 위 식들은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$\gamma = \frac{r}{2Z} + ja\omega\sqrt{LC} = \alpha + j\beta \quad (3)$$

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

위와 같은 정수를 갖는 송전선로에 $v_1(t)$ 인 썬지전압이 침입했을 경우, 거리 x 를 진행한 이후의 썬지전압 $v_2(t)$ 는 감쇠정수, 전파속도 및 진행거리의 함수로써 아래의 식과 같이 된다.

$$V_2 = e^{-\alpha x} V_1(t - \sqrt{LC}x) \quad (6)$$

위 식에서 보는 바와 같이 거리 x 만큼 진행한 썬지파형은 시간상으로는 $\sqrt{LC}x$ 만큼 지연되어 나타나고, 진폭은 $e^{-\alpha x}$ 로 감쇠한다.

2-2. 모의방법

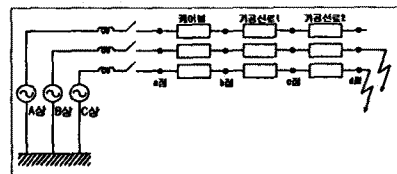


그림 1. 송전계통 구성도

본 논문에서는 2선 지락고장시 개폐썬지의 영향을 살펴보고자 하였으며, 모의하고자 하는 송전계통 구성도는 그림 1과 같고, 모의방법은 아래와 같다.

o 변전소

- 정격전압 : 154kV
- 전원 임피던스 : 영상분 - $17.37 \Omega + 46.1mH$
정상분 및 역상분 - $17.37 \Omega + 46.1mH$

o CV 케이블 (2000 mm², 2.0km)

- 저항 : $9.1 e^{-5} \Omega/m$
- 썬지 임피던스 : 439
- 전파속도 : $1.92 e^5 km/s$

o 가공선로 1 (240 mm², 36.7km)

- 저항 : $0.12 \Omega/km$
- 썬지 임피던스 : 439
- 전파속도 : $1.84 e^5 km/s$

o 가공선로 1 (330 mm², 33.3km)

- 저항 : $0.088 \Omega/km$
- 썬지 임피던스 : 435
- 전파속도 : $1.85 e^5 km/s$

d점에 자락이 발생하였을 경우, c점에서의 썬지 투과계수 ($2Z_2 / (Z_2 + Z_3)$)는 약 1.00이며, b점에서의 썬지 투과계수 ($2Z_1 / (Z_2 + Z_1)$)는 약 0.1정도의 작은 값을 나타내며 케이블 선로의 경우, 감쇠정수 α 는 표피효과에 의한 영향을 받으므로 고주파일수록 감쇠가 커지게 되어 케이블 내 썬지전압은 낮아진다. 그러나 케이블 말단 a점에서 반사되어온 반사파 때문에 b점에서의 투과파는 커지게 되다.

2-3. 모의결과

그림2 - 그림6의 파형은 아래의 조건에서 분석한 결과이며, 지락사고 발생시, 차단기 개폐시 및 재투입시 a점, b점, c점 각각의 개폐썬지는 위상각의 조정 및 통계적인 방법을 통하여 최대 썬지를 구하였다.

표1. 임피던스 부정합점에서의 최대썬지전압 비교 단위 (p.u)

	점	점	점
지락썬지	1.29	1.31	1.48
차단썬지	1.35	1.34	1.55
재투입썬지	2.8	-	-

0. 모의조건 :

- 지락사고 발생 : 16.7mS
- 차단기 개방 : 50mS
- 차단기 재투입 : 66.7mS

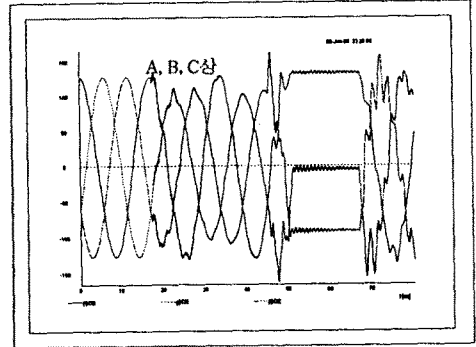


그림 2. A점에서의 3상 개폐과전압

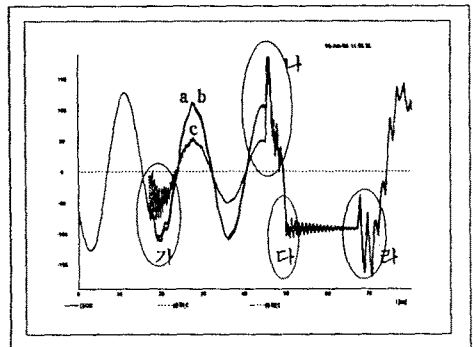


그림 3. a, b, c점에서 C상 개폐과전압

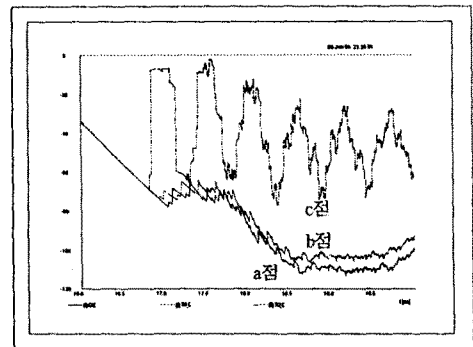


그림 4. a, b, c점에서 C상 지락썬지전압

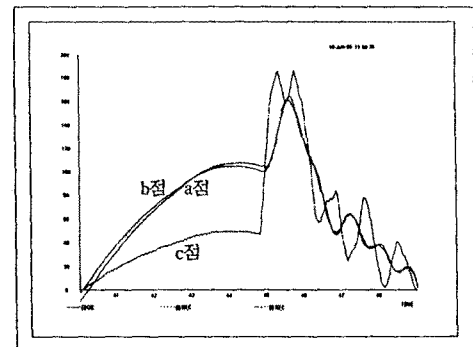


그림 5. 순시 지락고장후 C상 각점의 썬지전압

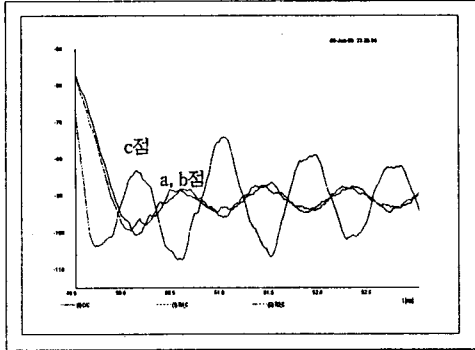


그림 6. 각점에서 C상 차단 써지전압

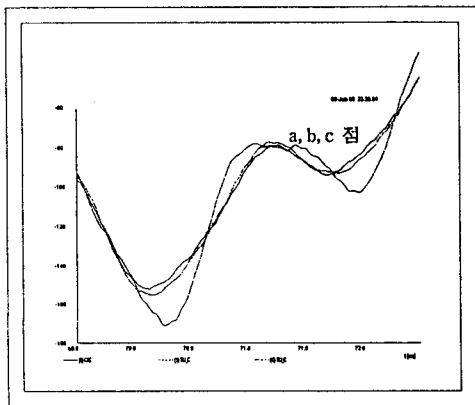


그림 7. 각점에서 C상 재투입 써지

3. 결론

이상 살펴본 바와 같이 지중케이블 선로와 가공선로가 혼재된 경우, 임피던스 부정합점이 발생하여 써지에 대하여 가혹한 현상이 발생하고 있으며, 특히 지중케이블 보다는 가공선로 측이 차단기 투입시에 발생하는 투입 써어지, 지락전류 차단시에 건전상 건전계통에 발생하는 차단 써어지, 지락 직후에 건전상 건전계통에 발생하는 지락 써어지 및 차단기 재투입시 발생하는 재투입 써어지 등이 취약함을 알수있다.

4. 참고문헌

- (1) "Alternative Transients Program Rule Book", Leuven EMTP Center, 1987
- (2) "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis, IEEE Std 399, 1980
- (3) "電力系統 過渡解析 프로그램의 理論 및 活用に 關한 研究", 한전 기술연구원, 1991
- (4) "Electromagnetic Transients Program (EMTP)", Application Guide EPRI EL-4650,
- (5) 朴健株외5, "電力傳送工學", 淸文閣, 1992
- (6) E.W.P Jones, "Power Cable Installation Practice", Butterworth-Heinemann, 1993
- (7) CIGRE 한국국내위원회, "전력케이블 하계감좌"