

EMTP를 이용한 송전케이블 시스전압 분석

오동수  
한전 중앙교육원 송변전교육팀

Underground Transmission Cable Sheath Voltage Analysis Using EMTP

Dong-Soo Oh  
KEPCO Central Education Institute

**Abstract** - This paper describes under-ground transmission cable sheath voltage by using EMTP and proposes a new design method for calculating cable sheath voltage in steady state. The cross bonding system of power cable is modeled on  $\pi$  equivalent circuit and the sheath voltage(current) of cable can be analyzed with comparing to conventional method.

1. 서 론

지중송전케이블은 금속체의 시스(Sheath : 주로 알루미늄으로 제작)로 구성되어 선로(케이블의 도체부)에 전류가 흐를 경우 상호전자유도현상에 의하여 금속시스에 전압이 유기된다. 이 때 유기되는 전압은 안전을 고려하여 50V로 제한하였으나 이 기준치가 너무 가혹하여 시스유기전압을 50V 이하로 유지하기 위해서는 유기전압이 도체 부하전류에 비례하므로 경우에 따라서 케이블 허용전류(송전용량)를 감소시켜 지중송전선로의 시스템설계를 하고 이에 따라 설비운전을 하였다. 근래에는 지중송전선로의 포설방식에 따라 전력구방식에서는 50V 관로방식에서는 100V로 제한전압을 탄력적으로 적용하고 있다. 지중송전선로의 구성은 가공송전선로에 비해서 수십배의 설치비용이 소요되나 케이블절연체의 온도특성상 같은 수준의 가공송전용 도체와 비교하여 허용전류(송전용량)는 1/5 이하 수준으로 경제성이 매우 낮은 편이다. 이러한 상황에서 시스유기전압에 의해 송전용량을 제한하는 경우에는 경제성이 더욱 떨어질 수밖에 없다. 그러므로 지중송전-시스템설계시 시스유기전압의 정확한 산출 및 적용은 매우 중요한 문제라 생각되나 현행의 시스유기전압 계산법은 케이블도체와 금속시스간의 간격 및 케이블간의 등가선간거리를 고려한 상호유도리액턴스에 케이블절연체가 허용하는 도체최대전류치를 금속시스 접지방식(주로 크로스본딩 또는 편단접지)에 따라 단순히 산출적으로 계산하여 적용하고 있다. 그러나 지중송전선로의 경우는 가공선로에 비하여 선로정수중 단위길이 당 C성분(용량성리액턴스)이 크므로 단순히 상호유도성리액턴스 성분만을 고려한 시스유기전압산출은 정확도가 떨어지며 도체최대전류값 또한 단순한 조건만을 적용하므로 다양한 조건에서의 시스유기전압 산출 및 적용은 고려하지 않고 있다. 이런 문제점의 대안으로 EMTP를 케이블시스 전압분석에 도입하여 기존 계산방법과 비교 및 분석하였다. 정상운전상태에서 시스유기전압을 계산하기 위하여 크로스본딩 1구간의 케이블정수 산출에 필요한  $\pi$  등가모형을 고려하였으며 또한 크로스본딩 구간내 시스순환전류값을 산출하였다.

2. 본 론

2.1 등가모형

2.1.1 케이블정수 산출을 위한  $\pi$  등가모형

크로스본딩 단위구간(3경간) 1회선의 3상도체 및 3상 시스에 대한  $\pi$  등가모형을 다음과 같이 설정하였다.

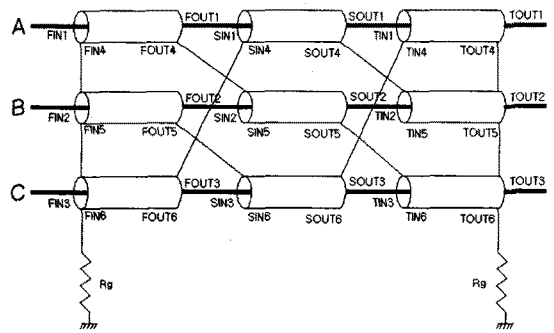


그림 1  $\pi$  등가모형

2.1.2 케이블 시스전압 산출을 위한 모의회로

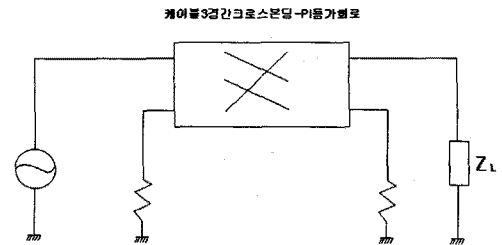


그림 2 모의회로

2.2 154kv 1회선(관로식) 시스전압 비교

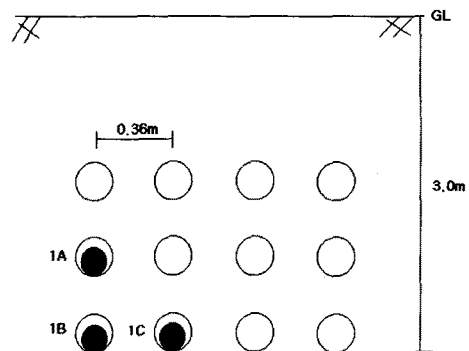


그림 3 관로내 1회선 케이블배열

그림 3과 같이 설치된 기존 154kV 관로식 지중송전선에 대하여 시스템전압을 산출하였다.

- 선종 : 154kV 단심 XLPE 2000mm<sup>2</sup>
- 크로스분딩의 각 경간 : 344m - 356m - 340m
- 부하전류 : 1533[A](EMTP 사용시 역률 90% 적용)

### 2.2.1 기존 방식에 의한 계산치

- 344-356 개소 : 75.6 [V]
- 356-340 개소 : 75.2 [V]

### 2.2.2 EMTP를 이용한 결과치

- 344-356 개소 : 65, 52, 64 [V] - A, B, C 상별
- 356-340 개소 : 64, 52, 64 [V] - A, B, C 상별

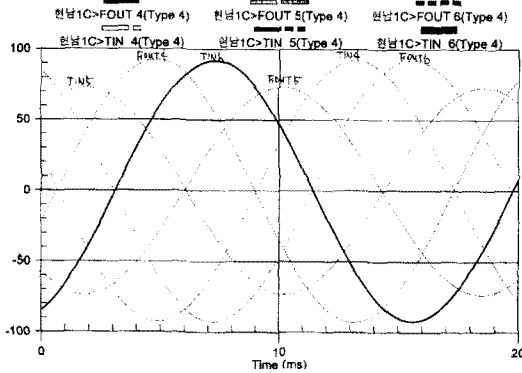


그림 4 EMTP로 산출한 1회선 시스템전압파형

### 2.3 154kV 2회선(관로식) 시스템전압 비교

- 선종 : 154kV 단심 XLPE 2000mm<sup>2</sup>
- 크로스분딩의 각 경간 : 390m - 359m - 336m
- 부하전류 : 1309[A](EMTP 사용시 역률 90% 적용)

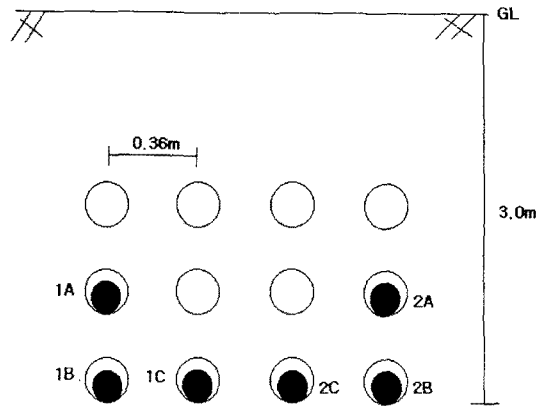


그림 5 관로내 2회선 케이블배열

### 2.3.1 기존 방식에 의한 계산치

- 390-359 개소 : 75.7 [V]
- 359-336 개소 : 70.3 [V]

### 2.3.2 EMTP를 이용한 결과치

- 390-359 개소 : 69, 54, 62 [V] - A, B, C 상별
- 359-336 개소 : 66, 52, 58 [V] - A, B, C 상별

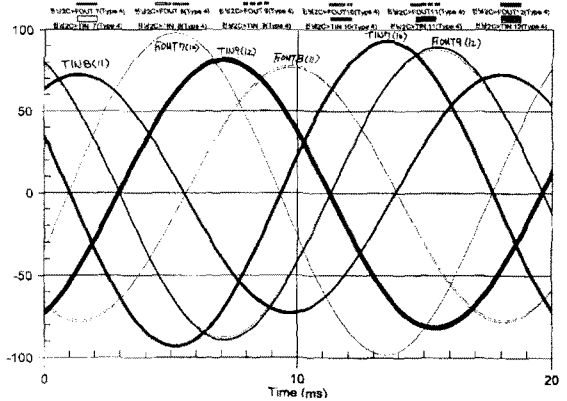


그림 6 EMTP로 산출한 2회선 시스템전압파형

### 2.4 도체전류 성분변화에 따른 시스템전압(1회선)

측정개소	90% 지상역률	100% 역률	90% 진상역률
344-356	65, 52, 64	60, 48, 57	48, 39, 48
356-340	64, 52, 64	59, 47, 60	47, 38, 47

(표1) 1회선 전류(1533A) 성분변화에 따른 시스템전압

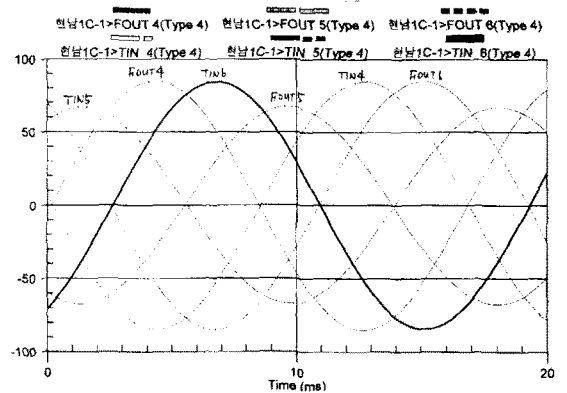


그림 7 100% 역률일 때 1회선 시스템유기전압파형

### 2.5 시스템전류

크로스분딩선에 대하여 EMTP 모델설정시 SW Card를 이용하여 크로스분딩선에 흐르는 시스템순환전류를 1회선 및 2회선의 경우에 산출하였다.

- 1회선 부하전류 : 1533[A] 90% 지상역률
- 2회선 부하전류 : 1309[A] 90% 지상역률

구간(회선)	1회선	2회선
1구간	14, 18, 16	38, 41, 48
2구간(2회선)	13, 17, 15	(55, 41, 40)

(표2) 회선별 구간별 시스템순환전류

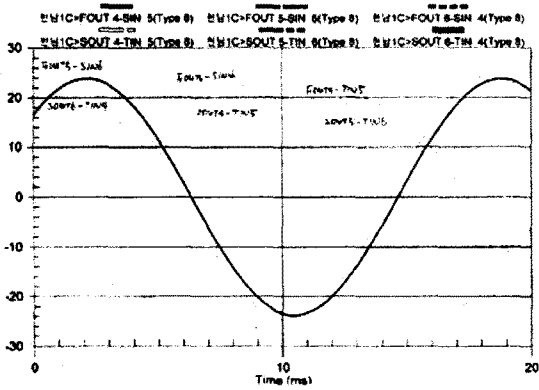


그림 8 1회선 구간별 상별 시스템환전류파형

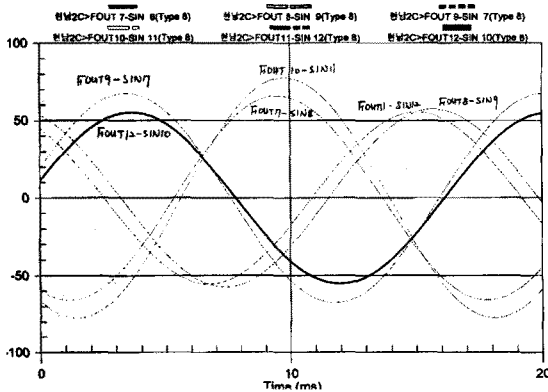


그림 9 2회선 회선별 상별 시스템환전류파형

### 3. 결 론

EMTP를 이용하여 송전케이블의 단위 크로스분딩 구간에 대한 시스템기전압 및 시스템환전류를 산출하여 기존의 계산치와 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1. EMTP에 의해 산출된 시스템기전압(3상 평균치)이 기존 계산치에 비하여 약 20% 감소되었는데 이는 크로스분딩 결선을  $\pi$  등가모델로 설정하였기 때문에 케이블정수의 C성분(용량성리액턴스)이 상호유도리액턴스와 상쇄되어 감소된 것으로 판단된다.
2. EMTP 모의회로에서 부하  $Z_L$ 을 순수한 100% 역률, 90% 지상역률 및 90% 진상역률로 변화를 주어 산출한 결과 진상부하일 때 시스템기전압이 적게 산출된 것도 역시 상기 1항과 같은 이유로 추정된다.
3. 1회선 운전시 시스템환전류값이 동일 순환경로내에서도 구간에 따라 약간의 차(1A)가 발생한 이유는  $\pi$  등가모델의 충전전류로 인한 것이며 전류위상차도 발생한 것을 알 수 있다.
4. 2회선 운전시 시스템환전류는 시스템기전압보다 복잡한 양상을 띠고 있음을 그림 9의 전류파형에서 알 수 있다. 시스템기전압의 크기와 시스템환전류값이 비례하지 않고 있다. 이는 시스템환전류값이 부하전류의 크기보다는 케이블의 회선수, 간격 및 배치 등 주변 여건에 의해 더욱 큰 영향을 받고 있음을 나타내고 있다.
  - 1회선: 평균시스템전압(60V)→평균시스템전류(15A)
  - 2회선: 평균시스템전압(60V)→평균시스템전류(44A)

5. 관로식 케이블포설시 기존의 배치방법에서는 B상 케이블시스템전압이 작게 나타나고 있으며 다회선 포설시에는 시스템환전류의 크기와 종합적으로 고려하여 케이블배치를 검토할 필요가 있다.
6. EMTP를 활용하면 정상운전상태에서 부하전류변화 및 케이블배치에 따라 시스템환전류값의 산출이 가능하다. 물론 크로스분딩선의 길이, 단자의 접촉저항 및 부식정도 등에 따라 현장에서의 실측치와 차이가 발생할 수 있으나 모의회로를 오결선, 크로스분딩선의 접지 등 여러 경우를 상정하여 변경하여 모의시험을 시행할 수 있으므로 설비관리에 판단기준의 근거로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 EMTP를 이용하여 시스템기전압(3상중 최고치 기준)을 산출하였을 때는 기존의 방법에 의한 계산치보다 설치 회선수 별로 약 7% - 14% 정도 작게 나타나고 있으므로 시스템전압의 제한으로 절연체가 허용하는 도체최고허용전류 이하로 운전중인 기존 선로에 도체전류의 성분(역률) 등을 종합적으로 고려하여 시스템전압 및 송전용량을 재검토할 필요가 있다고 본다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 심용보 외 4인, "찌지해석반교재", 한전중앙교육원, 2000
- [2] "EMTP RULE BOOK", 1996