

지중송전계통에서 시스유기전압 및 CCPU 동작 특성 해석

진혜영\*, 이종범\*  
원광대학교\*

김 영\*\*  
대한전선\*\*

조한구\*\*\*  
전기연구소

Analysis of Sheath Induced Voltage and CCPU Operating Characteristic in Underground Transmission Cable

Hye-Young Jin\*, Jong-Beom Lee\*  
Wonkwang University\*

Young Kim\*\*  
Taihan Electric Wire\*\*

Han-Koo Cho\*\*\*  
KERI

**Abstract** - This paper describes sheath induced voltage and operating characteristic of cable cover protection unit(CCPU) in underground transmission cable. Real cable system operating by 154kV XLPE cable was modelled for simulation. Sheath induced voltage and operating characteristic of CCPU were analyzed. In particular, sheath induced voltage was analyzed in case of individual grounding and common grounding, respectively, and operating characteristics of CCPU were compared each other.

1. 서 론

최근 전력수요의 급증, 인구밀집 지역의 전력공급 원할화, 환경적 요인등에 의해 가공송전선로가 갖는 한계성을 극복하기 위해 지중송전선로의 비중이 커지고, 지중송전선로의 건설은 해마다 증가하는 추세이다.

지중송전 케이블은 도체, 절연체, 시스 및 방식층으로 구성되어있으며 이 가운데 시스는 절연체의 기계적 보호 및 절연유 압력에 견디고 대기 중 습기 그리고 이물질의 내부 침입 방지, 고장전류 귀로 및 전기적 차폐기능을 갖고 있다. [1] 그러나 전력케이블이 장거리일 경우 보통 접속재에서의 직접접지와 절연접속재에서 크로스본드 접지 방법을 이용해 시스전압을 평활화시키는 것이 일반적이다. 또한 케이블계통에서는 뇌서지나 개폐서지와 같은 이상전압은 물론 지락고장이 발생하였을 경우 방식층을 보호하기 위해 방식층 보호장치(CCPU)를 케이블 절연 접속부에 설치하여 운영하고 있다. 그러나 이러한 설비들이 정확한 과도특성 해석이 없이 운영된다면 당초의 방식층 보호 목적을 이룩할 수가 없어 실제계를 대상으로 한 구체적인 해석이 요구되고 있다. 또한 특히 현재는 지중송전선로에 대한 해석적 연구가 1회선의 경우가 대부분이어서 동일한 전력구에 다회선이 포설되어 있는 현실을 고려하여 볼 때 이 경우에서의 시스유기전압해석 및 CCPU 특성 연구는 매우 중요하다고 하겠다.

따라서 본 논문에서는 현재 154kV 다회선으로 포설되어 있는 전력구방식의 실제 지중송전선로를 대상으로 ATPDraw를 이용해 모델링하였고 병렬 2회선중 한 회선에 고장이 발생하였을 때 다른 회선에 미치는 시스유기전압 및 CCPU의 동작특성을 해석하였다.

2. 시스유기전압 및 방식층 보호장치

2.1 시스유기전압

전력케이블은 전류를 흘리는 도체, 도체의 전압을 유지하는 절연체, 이들의 기능을 외부에서 보호하기 위한 보호부(차폐, 금속 시스, 보호층 등)라 하는 주요 3개 부분으로 구성되어 있으며, 그중 시스는 기계적 및 전기적으로 중요한 기능을 한다. 도체에 전류가 흐르면 도체 주위에 자계가 형성되어 전자유도현상에 의한 전압이 시

스에 유기되며 케이블을 장거리에 포설할 경우 시스를 일정구간마다 분리하여 시스에 유기되는 전압을 제한해 주어 여러 사고를 방지한다. [1],[2] 시스유기전압은 적절한 케이블 간격, 일정구간 케이블 시스 분리, 도체 또는 시스의 연가 등을 통해 저감시킬 수 있으며 장거리선로에서 가장 널리 사용되는 시스유기전압 저감방식은 크로스본드접지방식으로 일정구간마다 시스를 연가하여 시스유기전압을 일정치 이하로 제한한다.

본 논문에서 사용한 모델의 시스유기전압을 구하는 식은 다음과 같다.

<  $0 \leq x \leq l$  구간 >

$$E(x) = \frac{\sqrt{3} \cdot X_s \cdot I}{L} \sqrt{m^2 + m \cdot n + n^2} \cdot l \quad (V) \quad (1)$$

<  $l \leq x \leq (l+m)$  구간 >

$$E(l+m) = \frac{\sqrt{3} \cdot X_s \cdot I}{L} \sqrt{l^2 + l \cdot m + m^2} \cdot n \quad (V) \quad (2)$$

<  $(l+m) \leq x \leq (l+m+n)$  구간 >

$$E(l+m+n) = 0 \quad (V) \quad (3)$$

$X_s$  : 시스리액턴스 [ $\Omega/m$ ]

$I$  : 도체전류 [A]

$L$  : 크로스본드 구간 길이 [m]

2.2 방식층 보호장치

뇌서지나 개폐서지 등이 케이블에 침입하면 방식층 및 케이블시스에도 서지가 발생하여 절연파괴 등이 일어날 수 있다. 방식층 보호장치는 이러한 과도 서지전압을 방지할 목적으로 설치하고 최근 케이블 방식층 보호장치는 주로 ZnO(산화아연) 방식층 보호장치를 사용한다. 방식층 보호장치는 결선방식에 따라 교락 접지방식, 교락 비접지방식, 대지간 접지방식과 CIGRE방식, 대지간 접지방식과 교락비접지 방식을 병용하는 방식이 있지만 케이블계통에서는 교락접지, 교락비접지, 대지간접지 방식을 주로 사용한다. [3],[4] 본 논문에서는 모델계통을 교락접지, 교락비접지, 대지간접지 방식으로 결선하여 시스전압을 비교하였다.

3. 모델계통 및 입력데이터

3.1 모델계통

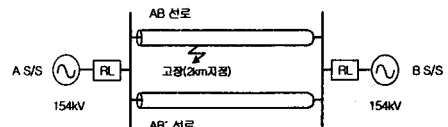


그림 1. 모델 계통도

그림 1은 본 논문에서 사용된 모델의 계통도로 양단 전원에 154kV의 전압이 인가되는 실제계통으로 총 선로 길이는 5.681(km)이며, 전체선로는 18구간이고 전력구

로 포설된 2회선 지중송전선로이다. 모델에 사용된 케이블은 154kV 2000mm<sup>2</sup> XLPE 케이블이며 포설형태는 선로를 세 구간으로 나누어 두 개의 구간은 크로스본드하였고, 세 번째 구간은 직접 접지한 형태이다. 각 선로의 접지 저항은 중단부는 1[Ω], 나머지부분은 10[Ω]으로 시뮬레이션 하였으며, 표 1과 표 2는 선로 길이 및 접지 상태와 케이블 입력데이터를 나타내었다.

표 1. 선로길이 및 접지상태

구간	A S/S	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간
선로길이(m)	350	340	340	340	370	380
접지상태	△	○	○	△	○	○
구간	6구간	7구간	8구간	9구간	10구간	11구간
선로길이(m)	282	263	308	347	318	269
접지상태	△	○	○	△	○	○
구간	12구간	13구간	14구간	15구간	16구간	B S/S
선로길이(m)	340	244	300	300	260	330
접지상태	△	○	○	△	○	△

[직접접지 : △ 크로스본드 접지 : ○]

표 2. 154kV XLPE 2000mm<sup>2</sup> 케이블 입력데이터

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

### 3.2 전원 임피던스

전원 임피던스는 정확한 데이터를 확보하기 위해 전력계통 해석 프로그램인 PSS/E와 PSS/U를 이용하여 계산된 데이터를 사용하였으며 표 3은 사용된 전원 임피던스이다.

표 3. 전원 임피던스

변전소	임피던스	R[Ω]	X[Ω]
A	정상	0.5218	2.9337
	정상	0.2253	2.7653
B	정상	0.4316	2.7819
	정상	0.2111	2.6823

## 4. 시뮬레이션 및 결과

### 4.1 시스유기전압 시뮬레이션 및 결과

앞서 설명한 모델계통으로 2회선중 한 회선의 2km지점에서 1선지락고장이 발생하였을 때 그 회선과 병행하는 다른 회선의 시스유기전압을 각 회선을 개별접지한 경우와 공동접지한 경우 양 전원단측과 각 회선의 2km 지점(고장발생지점)을 비교하였다. 표 4과 표 5는 고장이 발생했을 때 개별접지와 공동접지의 경우 측정된 시스유기전압을 나타낸 표이고, 표 6은 정상상태에서의 각 접지방식에 따른 시스유기전압의 이론값과 시뮬레이션 측정치를 비교해 놓았고 개별접지, 공동접지의 경우 각 선로(AB와 AB' 선로) 시스유기전압은 같은 값으로 검출되었다. 시스유기전압 이론값은 앞에서 기술한 식

표 6. 개별접지와 공동접지 2회선 시뮬레이션시 이론 및 측정치 시스유기전압(V)

측정위치	이론값	개별접지시 AB, AB' 선로의 시스유기전압(V)			공동접지시 AB, AB' 선로의 시스유기전압(V)		
		A상	B상	C상	A상	B상	C상
A S/S	0	0.20637	0.86841	0.70362	0.20002	0.91082	0.79068
제1크로스본드구간	15.232	7.7377	7.0101	7.5603	7.8248	6.9662	7.5276
제2크로스본드구간	15.015	7.8952	7.453	7.2807	7.9421	7.4983	7.1954
B S/S	0	1.6644	1.7497	1.1887	1.732	1.6594	1.2102

(1), (2), (3)을 이용하여 구한 값이다.

표 4. 개별접지의 경우 시스 유기전압값 비교

시스 유기전압 비교(개별접지)			
측정위치	AB선로 시뮬레이션 결과(V)		
	A상	B상	C상
A S/S	308.71	295.16	312.95
2km 고장지점	230.56	343.02	351.03
B S/S	443.19	246.38	291.11
측정위치	AB' 선로 시뮬레이션 결과(V)		
	A상	B상	C상
A S/S	136.7	138.05	158.26
2km 고장지점	52.565	48.439	48.851
B S/S	145.8	160.85	187.57

표 5. 공동접지의 경우 시스 유기전압값 비교

시스 유기전압 비교(공동접지)			
측정위치	AB선로 시뮬레이션 결과(V)		
	A상	B상	C상
A S/S	323.95	299.13	320.4
2km 고장지점	240	338.27	356.1
B S/S	461.46	271.08	309.4
측정위치	AB' 선로 시뮬레이션 결과(V)		
	A상	B상	C상
A S/S	281.61	261.33	274.26
2km 고장지점	143.39	210.42	211.98
B S/S	299.35	277.22	280.6

위의 표에서 알 수 있듯이 병렬 2회선 중 각 회선을 개별접지 하였을 경우와 공동접지 하였을 경우 A, B 변전소측의 시스유기전압은 큰 차이가 없다. 그러나 고장 지점의 경우 고장이 발생한 회선(AB 선로)의 시스유기전압은 10V이하의 차이가 있으나 직접적인 고장이 발생하지 않는 회선(AB' 선로)의 시스유기전압은 공동접지의 경우 개별접지의 시스유기전압에 비해 3~4배정도 높은 전압값이 검출되었다.

### 4.2 방식층 보호장치 동작특성 시뮬레이션 및 결과

그림 2는 본 논문에 사용된 모델계통의 방식층 보호장치의 V-I 특성곡선이다. 아래의 특성을 갖는 방식층 보호장치를 모델계통에 설치하여 고장이 발생하였을 경우 CCPU의 결선방식을 교락접지, 교락비접지, 대지간 접지 방식으로 변화하여 시뮬레이션하였고, 각 접지 방식에 따른 시스유기전압을 중단부, 제1크로스본드구간, 제2크로스본드구간에서 검출하였다.

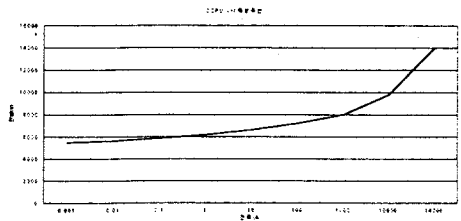


그림 2. CCPU V-I 특성 곡선

표 7. 개별접지시 방식층 보호장치 결선방식에 따른 시스유기전압 해석 결과

회선 및 접지방식 측정위치	AB선로 시스유기전압(kV)			AB' 선로 시스유기전압(kV)		
	교락접지	교락비접지	대지간접지	교락접지	교락비접지	대지간접지
중단부	44.498	46.292	44.498	7.738	7.738	7.842
제1크로스본드구간	43.767	45.816	43.777	12.426	12.439	12.754
제2크로스본드구간	43.206	45.331	43.212	12.429	12.429	12.529

표 8. 공동접지시 방식층 보호장치 결선방식에 따른 시스유기전압 해석 결과

회선 및 접지방식 측정위치	AB선로 시스유기전압(kV)			AB' 선로 시스유기전압(kV)		
	교락접지	교락비접지	대지간접지	교락접지	교락비접지	대지간접지
중단부	44.490	46.336	44.491	40.681	42.163	40.682
제1크로스본드구간	43.429	45.359	43.431	41.079	42.723	41.080
제2크로스본드구간	42.611	44.585	42.613	41.444	43.247	41.444

표 7과 표 8은 개별접지와 공동접지시 CCPU의 결선 방식을 변화하였을 때의 시스유기전압값을 나타내었고, 해석결과 개별접지의 경우 AB선로는 교락접지와 대지간접지 방식으로 결선하였을 때와 AB' 선로는 교락접지와 교락비접지 방식으로 결선하였을 때 시스유기전압이 비슷하게 검출되었다. 공동접지의 경우 두 회선 모두 교락접지와 대지간접지 방식으로 결선하였을 경우 시스유기전압이 비슷하였다.

(3) 고장구간에서의 시스유기전압을 보면 고장이 발생한 회선(AB선로)의 경우 두 경우 모두 시스전압은 10V이하의 차이가 있지만 고장이 발생하지 않은 회선(AB' 선로)의 경우 공동접지의 경우가 개별접지의 경우에 비해 3~4배 이상 높게 검출되었다.

(4) 방식층 보호장치의 결선방식의 변화에 따른 시스유기전압의 해석 결과 교락접지 방식으로 결선하였을 경우 가장 낮은 시스유기전압이 검출되었으며 대지간접지, 교락비접지 순으로 높게 나타났다.

따라서 병렬 2회선의 지중선로를 건설할 경우 각 회선을 개별접지하는 것이 고장발생시 사고파급이 적다고 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사, "지중송전실무 I", 1996.
- [2] 이준성, 이종범, "다양한 고장조건에서 154kV 지중송전 케이블 시스 유기전압해석에 관한 연구", 대한전기학회 학회 학술대회 pp. 1179-1181, 1998. 7.
- [3] 이준성, 이종범, 김영, "방식층 보호장치의 설치에 따른 지중송전케이블 시스 유기전압 해석", 대한전기학회지, 49권 1호, pp. 19-25, 2000. 1.
- [4] 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구", 1998. 1.

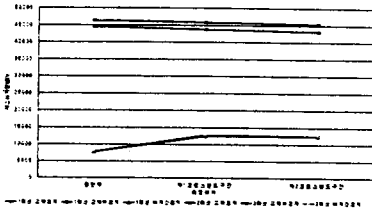


그림 3. 개별접지시 CCPU 결선방식에 따른 시스유기전압

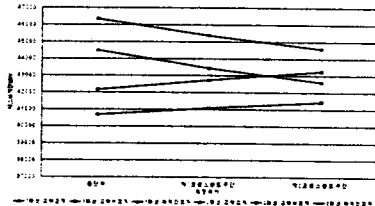


그림 4. 공동접지시 CCPU 결선방식에 따른 시스유기전압

5. 결 론

본 논문에서는 총 선로길이 5,681[m]인 실계통의 2회선 154kV 2000mm<sup>2</sup> XLPE 케이블을 모델로 한 회선에 1선지락고장이 발생했을 때 각 회선의 시스에 유도되는 전압과 방식층 보호장치의 접지 방식을 변화하여 시스전압을 통한 동작특성을 ATPDraw를 이용해 해석하였고 결과는 다음과 같다.

- (1) 정상상태의 병렬 2회선에서 각 선로를 개별접지, 공동접지 하였을 경우 모두 각 선로가 같은 시스유기전압이 검출되었다.
- (2) 병렬 2회선을 각각 개별접지 하였을 경우와 공동접지 하였을 경우 1선지락고장이 발생하면 다른 회선에 유도되는 시스전압을 비교해보면 두 가지 경우 모두 양 변전소의 시스유기전압은 큰 차이가 없다.