

지중송전케이블의 분산식 접속법에 따른 영향 분석

하체웅 · 김정년
LG 전선(주)

Effect analysis of distributed jointing method on underground Transmission Cables

C.W. Ha · J.N. Kim
LG Cable Ltd.

Abstract - The distributed jointing method is used in the underground tunnel due to narrow space of jointing. This method causes non-uniform length between cable joints. It has an effect on the sheath circulating current and the induced voltage. Furthermore the distributed jointing method may cause transient overvoltage resulting from lightning in underground cable which is connected with overhead line.

The author diversely studied the sheath circulating current and induced voltage on underground cable depending on the distributed jointing length under the normal and the transient circumstances.

The various simulation results really improve the cable system utility.

1. 서론

도심지의 급속한 팽창과 가공송전 건설이 어려운 지역의 출현 등으로 기존의 가공선로를 전력케이블로 대체하는 등 지중화율이 점점 높아지고 있다. 아울러 부하밀도가 높은 지역에서는 송전시 한 덕트 안에 2회선이나 3회선 등으로 다중 포설하는 사례가 증가하고 있는 추세이다[1-4].

지중송전계통에서 케이블 3상을 동일한 장소에서 접속하지 못하여 각 상의 접속점을 어느 정도 간격을 둔 분산식 접속을 하게되는 경우가 발생한다. 이때, 케이블 구간의 길이가 일정하지 않게 되고, 크로스 본드 구간 내 소 구간에 유기되는 유기전압 및 시스 순환전류가 증가하여 시스 손실이 증가할 우려가 있다. 또한 뇌격 침입시 크로스 본드선과 접지선에 과전압이 유기 될 수 있다.

본 논문은 전력계통분야에서 널리 이용되고 있는 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 지중 케이블 모델링을 완성 하였다. 그리고 크로스 본드 구간내의 분산식 접속구간의 변화에 따른 시스 순환전류 및 뇌격 침입시 각 지점에서의 시스 유기전압의 영향에 대해 분석한 결과를 기술하였다.

본 연구로 다양한 분산 접속에 따른 시스 순환전류의 변화를 사전에 예측 가능하게 되었고, 뇌격 침입시에 분산접속 선로에 유기되는 뇌격 전압의 영향을 검토함으로써 지중선로의 합리적 운영에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 케이블 분산식 접속법

국내 전력구 포설 방식에서 케이블 3상을 동일한 장소에서 접속하지 못하여 각 상의 접속점을 어느정도 간격을 둔 분산식 접속을 하게되는 경우가 있다. 이러한 분산접속을 하게 되면 보통의 접속법에 비해 케이블 구간의 길이가 일정하지 않게 되고, 크로스 본드 접지방

에서 크로스 본드 리드선 및 접지선의 길이가 길어지게 된다. 따라서 크로스 본드 구간 내 소구간의 시스 유기 전압 및 순환전류에 영향을 주게 된다.

이러한 사항은 상시에는 커다란 문제점이 없을 것으로 예상되나 뇌 썩지 침입으로 절연통 양단 및 방식층에 과도한 뇌 썩지가 발생할 우려가 있어 충분한 검토가 요구된다. 그림 1에 분산 접속법의 특징 및 접속방법을 나타내었다. 여기서 a는 B상 접속함을 기준으로 하였을 때 분산접속함 간 길이 차를 의미한다.

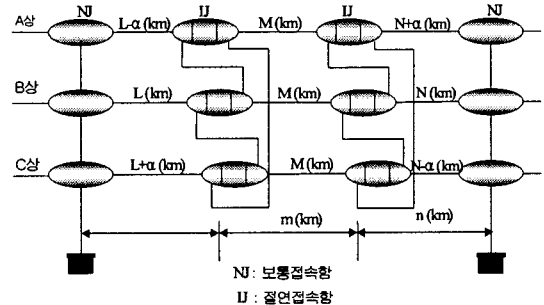


그림 1. 분산식 접속법을 사용한 크로스 본드

이러한 분산식 접속에 의한 크로스 본드 구간내의 케이블 길이를 표 1에 나타내었다.

표 1. 분산식 접속에 의한 크로스 본드 구간내의 케이블 길이

분산식 접속 (a의 길이)	L (m)	M (m)	N (m)	각 상별 불평형율(%)	
0m (기준)	A 상	400	300	200	0
	B 상	400	300	200	0
	C 상	400	300	200	0
5m	A 상	395	300	205	0.0125
	B 상	400	300	200	0
	C 상	405	300	195	0.0125
10m	A 상	390	300	210	0.05
	B 상	400	300	200	0
	C 상	410	300	190	0.05
15m	A 상	375	300	225	0.0625
	B 상	400	300	200	0
	C 상	425	300	175	0.0625

3. 정상상태에서 분산식 접속법의 영향

정상상태에서 분산식 접속법에 의한 시스 순환전류의 크기를 추정하기 위해서 그림 1을 기준으로 하여 표 1과 같이 분산식 접속함 간 거리를 변화시켜가면서 정상상태에서의 시스 순환전류와 과도상태에서의 각 지점의 시스 유기전압에 대해서 분석을 실시하였다. 먼저 정상상태에서 모델 조건을 보면 다음과 같다.

3.1 정상상태 모델 조건

표 1에서 나타낸 바와 같이 B상의 크로스 본드 소구간의 거리를 각각 400m, 300m, 200m로 설정한 후 기준으로 하였고 A상과 C상에 있는 a의 길이 만큼 거리를 변경하면서 시뮬레이션을 실시하였다.

모델링에 사용된 선로는 154kV 1회선 T/L이며, 공장은 지중 지중 0.9km~가공 7km로 이루어진 혼합선로이다. 케이블 종류는 2000 mm²OF 케이블이고, 포설 형태는 정삼각 배열 형태를 택하였다. 그림 2는 시뮬레이션 대상 선로를 나타낸 것이다. 이때 정상상태시 부하전류는 850A로 정하였다.

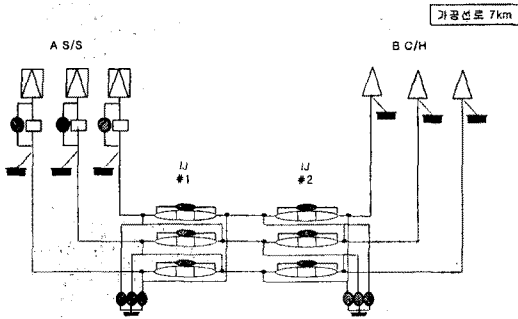


그림 2. 시뮬레이션 대상 혼합송전선로 모델

3.2. 정상상태에서의 시뮬레이션 결과 분석

표 2에서 보듯이 분산식 접속법으로 포설된 선로에서 각 접속함 간 크로스 본드 리드선인 a의 길이에 따라 시스 순환전류는 대체적으로 증가함을 알 수 있다.

표 2. 분산식 접속법에 따른 시스 순환전류 영향 [A]

측정지점		a길이			
		0m	5m	15m	25m
A S/S	A	161.5	154.8	189	189.5
	B	135.9	137.1	148.5	133.6
	C	165.6	117.8	139.5	136.3
# 1	A→B	165.6	158.9	195.9	196.4
	B→C	139.7	118.8	134.4	120.9
	C→A	141.2	136	160.3	164.5
# 2	A→B	135.9	130.8	152.5	156.5
	B→C	160.3	153.7	188.4	188.9
	C→A	134.5	113.6	127.1	113.7
B C/H	A	127	114.7	128.1	114.1
	B	137.7	132.6	155.1	158.8
	C	161	153.9	188.1	184.6

a의 길이가 5m인 경우 시스 순환전류는 최대치를 기준으로 하였을 때 약 4% 감소하였다. 그렇지만 a의 길이가 15m인 경우 시스 순환전류가 약 8% 증가되었고, 25m 인 경우 최대값을 기준으로 하였을 때 14.4%가 증가하였다.

4. 뇌써지 침입에 따른 분산식 접속법의 영향

분산식 접속으로 인해 케이블 접속 길이가 일정하지 않게 되고 이에 따른 크로스 본드선 및 접지선의 길이가 일정하지 않은 상태에서 뇌 써지가 침입한 경우에 시스 및 절연통 양단간 유기전압을 계산하였고, 절연통(방직층) 보호장치의 동작 특성을 분석하기 위하여 다음과 같은 모델을 설정하였고 시뮬레이션을 실시하였다.

4.1 과도상태 모델 조건

가공선로 모의에는 154kV 철탑 모델을 사용하였다. 가공지선 접지저항이 0.5km 마다 10Ω으로 접지 되어 있는 형태를 택하였다.

뇌격전류 파형의 피크값 은 70kA(2/70μs)로 가정하였다. 뇌격 형태는 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였고, 뇌격 침입지점은 지중선로의 케이블 헤드로부터 약 1km 떨어진 지점의 A상에 직격뇌 형태로 침입한 것으로 설정하였다.

그리고 절연통 및 방직층을 보호하기 위하여 현재 설계통에서 사용하고 있는 대지간 방식과 교락 비접지 방식을 혼용하여 시뮬레이션에 적용하였다.(그림 2 참조) 이때, 케이블 인입구 및 인출구에 피뢰기는 동작하는 것으로 설정하였다.

마지막으로 분산식 접속법은 부수적으로 크로스 본드 선이나 접지 리드선의 길이가 증가되는 단점을 안고 있다. 따라서 본 논문에서는 크로스 본드선과 리드선의 영향을 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다.

4.2 과도상태에서의 시뮬레이션 결과 분석

분산식 접속으로 인해 케이블 접속 길이가 일정하지 않게 되고 이에 따른 크로스 본드선 및 접지선의 길이가 일정하지 않은 상태에서 뇌써지가 침입한 경우의 과전압 발생을 검토하여 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. 뇌격 침입시 분산식 접속법의 영향 분석 - I [kV]

측정지점		a길이			
		0m	5m	15m	25m
# 1	시스 유기전압	10.96	17.49	17.53	20.40
	절연통간 유기전압	15.97	17.56	21.88	15.99
# 2	시스 유기전압	12.27	23.97	20.15	23.29
	절연통간 유기전압	16.04	20.15	15.86	15.92

표 3에서 보듯이 써지 인입 지점에 가장 높은 써지 전압이 발생하였고, 써지 인입 지점으로부터 멀어질수록 써지 전압이 감소하는 양상을 보여주고 있다. 또한 #1과 #2에서 분산접속에 따른 a의 길이에 비례하여 시스

에 발생하는 써지 전압이 대체적으로 증가함을 알 수 있다.

그렇지만 어떠한 사고나 고장이 발생하여 절연통 보호장치나 방식층 보호장치가 제대로 동작하지 않았을 경우, 뇌써지의 영향에 의하여 절연통 및 방식층에 유기되는 전압은 a 의 크기에 비례해서 절연통 및 방식층 내량을 초과하는 과도한 유기전압이 발생하게 된다. 다음 4 표에 #3 절연통 보호장치를 생략하였을 때 a 의 변화에 따른 각 지점의 유기전압을 나타내었다. 표 3과 비교하여 봤을 때 절연통 보호장치가 있을 때에 비해서 a 의 증가에 따라 급격한 유기전압이 발생됨을 알 수 있다. 특히 집중 접속방식인 경우($a=0$) #2에 최대 유기 전압인 31.68kV가 발생되는 반면 5m 인 경우 50.52kV, 15m인 경우 87.36kV 더욱이 25m 일 때 106.29kV를 초과하는 과도한 유기 전압이 발생하게 된다.

따라서, 분산 접속방식에 있어서 절연통 보호장치 및 방식층 보호장치의 역할이 집중 접속방식에 비해서 더욱 중요함에 따라 선로 점검에 있어서 절연통 및 방식층 보호장치에 대한 집중적인 관리가 요구된다.

표 4 뇌격 침입 시 분산식 접속법의 영향 분석 - II

[kV]

측정지점		a길이			
		0m	5m	15m	25m
# 1	시 스 유기전압	11.4	39.09	335.27	21.63
	절연통간 유기전압	15.92	15.36	15.48	21.63
# 2	시 스 유기전압	15.85	38.15	72.06	92.14
	절연통간 유기전압	31.68	50.52	87.36	106.29

5. 결 론

본 연구에서는 분산식 접속법이 지중송전 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위하여 154kV 지중송전 케이블을 기본으로 하여 다양한 시물레이션에 따른 시스 순환전류 및 유기전압의 변화를 분석하였고, 케이블 포설 설계 및 운영에 있어서 고려해야 될 사항에 대하여 제시하였다. 이를 위하여 필요한 정밀 시물레이션은 EMTP를 이용하여 수행하였으며 이러한 연구를 통해 얻은 주요결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 지중케이블 선로에서 분산식 접속법에 의한 시스 순환전류 증가는 크로스 본드 리드선의 길이가 15m인 경우 집중식 접속법에 비해서 약 8% 증가되었고 25m 인 경우 최대 14.4% 증가되었다. 하지만 우리나라에서는 분산식 접속법을 채택하였을 경우 통상 154kV는 집중 접속법에 비해서 분산식 접속합 간 거리 차를 최대 약 6m를 넘지 않도록 하고 있고 345kV의 경우는 약 9m를 넘지 않도록 하고 있기 때문에 정상상태에서의 시스 순환전류의 크기에 미치는 영향은 그리 크지 않다.
- (2) 가공송전선로와 연결된 지중케이블 선로에 분산접속법이 이루어져 있었을 경우 뇌 써지 침입시 인입 지점에 가장 높은 써지 전압이 발생하였고 써지 인입지점으로부터 멀어질수록 써지 전압이 감소하는 양상을 보여주고 있다. 또한 분산식 접속합 간 거리 차의 길이에 비례하여 시스 유기전압이 대체적으로 증가 하였으며, 분산식 접속합 간 길이가 25m인

경우 최대 89% 까지 증가하였다.

- (3) 분산식 접속법을 사용하고 있는 지중케이블 계통에 뇌써지가 침입하였을 경우 절연통 보호장치 및 방식층 보호장치를 사용하여 보호협조가 이루어진 선로에서는 절연통 및 방식층에 미치는 영향이 크지 않다고 할 수 있다.
- (4) 분산식 접속법을 사용하고 있는 케이블 선로에서 보호협조가 제대로 이루어지지 않았을 경우 뇌써지 침입시 크로스 본드 리드선의 길이에 비례해서 시스 유기 전압 및 절연통간 유기전압이 급격히 증가함에 따라 선로 점검에 있어서 절연통 및 방식층 보호장치에 대한 집중적이고 지속적인 관리가 요구 된다.

참 고 문 헌

- [1] KEPRI, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구", 1998
- [2] H. Nakanishi, et al., "A Study of Zero-sequence Current Induced in a Cable System", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 6, No. 4, pp. 1352-1358, OCT. 1991
- [3] KEPRI, "지중선 임피던스 및 허용전류 계산기법 연구", 1991
- [4] Canadian-American EMTP Users Group, "ATP-EMTP Rule Book", 1997
- [5] Turan Gonen, "Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design", 1988