

지중 케이블 시스템에서 본딩방식의 혼용으로 인한 영향

김정년, 하체용, 이수길

The Effect of Different Bonding Methods in Under Ground Cable System

J.N. Kim, C. W. Ha, S. K. Lee
Electric Power Research & Technology Center, LG Cable Ltd.

Abstract - 국내에서 CCPU(Cable Covering Protection Unit)의 결선방식은 97년 이전에는 대지간 방식을 취하였고, 97년 이후에는 교락 비접지 방식을 채택하여 적용중이다. 따라서 국내 선로 중에 97년 이전 준공되어 97년 이후에 증설한 선로에서는 CCPU의 연결방식이 대지간 및 교락 비접지 방식이 혼용되어 사용되어 왔다. 본 논문에서는 CCPU의 결선방식이 혼용된 선로에서 문제점을 규명하고 개선안을 제시하였다.

1. 서 론

지중 송전 케이블에서 시스의 유기전압은 인체에 위험을 줄 수 있으므로 국내에서는 50[V]로 제한치가 규정되어 있다. 또한, 시스 순환전류는 송전손실에 영향을 미치므로 송전용량 검토시 충분한 검토를 거친 후 시스템을 설계해야 한다. 반면, 유기전압 및 순환전류를 제한시키기 위해 케이블의 시스를 편단접지, 양단접지, 크로스 본드 접지방식 등의 시스접지 방법을 사용하고 있으며, 일반적으로 사용되고 있는 방식은 크로스 본드 접지 방식으로 케이블의 3구간을 하나의 대구간으로 하여 양단접지하고 내부의 두 구간의 시스를 서로 교차하여 접속하여 정상 상태시 시스에 유기 되는 전압 벡터적으로 상쇄되어 시스의 손실을 감소시킨다. 그러나 크로스 본드 접지 방식을 사용할 경우 시스의 전류를 억제할 수는 있지만 시스를 서로 교차 접속한 접속부에서 유기전압은 제한치를 초과하는 경우가 발생할 수 있으며 과도 상태시 발생하는 시스와 대지간의 전압, 절연통간(절연통 양단)의 전압이 절연 내력을 초과할 수 있다. 이러한 이상전압에 의해 케이블 시스 및 절연통간의 절연내력을 초과하는 것을 방지하기 위해서 방식층 보호장치 및 절연통 보호장치를 설치한다.

한편, 국내의 케이블 시스템에서 보호장치의 결선은 97년 이전에는 대지간 방식을 취하였고, 97년 이후부터는 교락 비접지 방식을 채택하였다. 그러므로 95년 준공되어 97년 이후에 증설한 선로의 경우 두 가지 결선방식이 혼용되어 사용되었다.

본 논문에서는 상술한 것처럼 방식층 보호장치의 결선 방식을 혼용하였을 경우 케이블 방식층 및 절연통간에 발생할 수 있는 문제점을 규명하고, 개선안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 케이블 방식층 및 절연통의 내전압 시험

케이블 방식층의 내전압치는 시스에 침입하는 이상전압의 크기와 방식층의 기계적 강도에 의해 결정되어진 방식층의 두께에 따라 정해져 있다. 154kV 케이블 방식층의 초기특성 시험은 AC 및 임펄스 전압을 50kV로 시험을 하지만 케이블의 포설시 외상, 가열 및 흡수에 의

한 경년변화, 반복 통전에 의한 영향 및 Unknown Factor에 의해 154kV계통에서는 14kV를 넘지 않도록 보호장치를 설치하도록 규정되어 있다. 절연통 또한 동일한 시험 및 설계 규격을 따른다.

2.2 CCPU의 연결방식

케이블에 찌지가 침입 했을 경우 절연 접속함 접지 단자간 전압(절연통간 전압)과 절연 접속함의 접지단자와 대지간의 전압(시스-대지간 전압)을 절연내력 이내로 제한할 목적으로 CCPU를 설치한다. 이러한 CCPU의 결선방식은 대지간 방식, 교락접지 및 교락 비접지 방식이 있다.

2.1.1 대지간 방식(97년 이전)

절연 접속함의 접지단자와 대지 사이에 보호장치를 설치하며 38SQ IV전선을 접지선의 리드선으로 사용한다. 이 때 리드선의 길이는 최대한 짧게 유지하는 것을 원칙으로 하여 리드선의 인덕턴스로 인한 과도 상태시 시스-대지간 전압 발생을 최소로 유지시킨다.

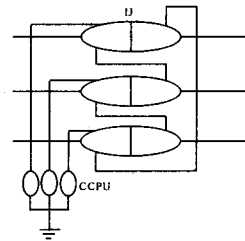


그림 1. 대지간 방식의 결선

2.1.2 교락 접지방식

절연 접속함의 접지단자 사이에 두 개의 CCPU를 직렬로 달고, 중간점을 접지시키는 방식으로 접지 단자간의 유기전압을 억제시킬 수 있지만 보호장치가 직렬로 2개가 연결되어야 하므로 보호회로 이상시(단락 또는 단선)에는 다른 방식에 비해 위험하다.

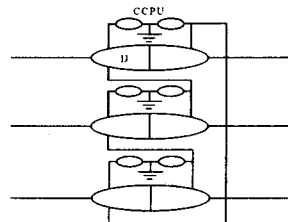


그림 2. 교락 접지방식의 결선

2.1.3 교락 비접지 방식(97년 이후)

교락 비접지 방식은 절연 접속함 양단에 한 개의 보호 장치를 설치하는 방식이다. 절연통간 전압을 충분히 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다.

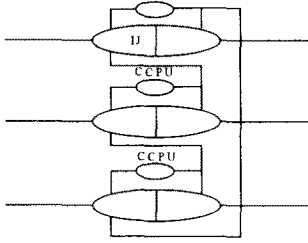


그림 3. 교락 비접지 방식의 결선

2.3 시뮬레이션 조건

본 논문의 대상계통은 154kV OF선로 중에 같은 루트 내에 95년 준공한 선로와 97년 증설한 선로가 같이 존재하여 CCPU의 연결방식을 혼용해서 사용하고 있는 선로이다. 이 계통에 대해서 CCPU 연결방식에 따른 뇌 썬어지 해석을 수행하였다.

2.3.1 시스템 구성

모의한 계통의 각 구간별 길이와 접지방식은 표 1과 같다.

표 1. 케이블 포설 데이터

접속개소	CH	MH1	MH2	MH3	MH4
접지방식	접지	X	X	접지	X
구간길이[m]	350	310	255	233	

접속개소	M/H4	MH5	MH6	MH7	S/S
접지방식	X	X	접지	O-O	접지
구간길이[m]	205	331	140	350	

X:크로스 본딩, O-O : 개방-개방

표 1의 계통은 95년 준공한 선로는 대지간 방식, 97년 선로는 교락 비접지 방식으로 CCPU를 연결하여 사용중에 있으며 가공 1회선이 철탑에서 분리되어 지중 2회선으로 분기되어 운용중인 선로이다.

2.3.2 케이블 모델링

그림 4와 같이 ATP_LCC를 사용하여 케이블 모델링 하였으며 케이블은 154kV OFZV 2000SQ를 모델링 하였다.

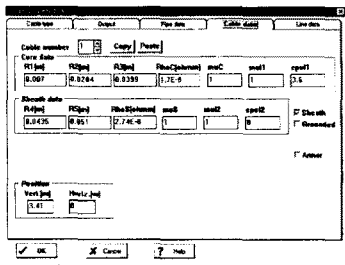


그림 4. APP_LCC의 데이터 입력

그림 5는 95년(기설) 선로와 97(증설) 선로의 기하학적인 포설 위치를 나타낸 것이다.

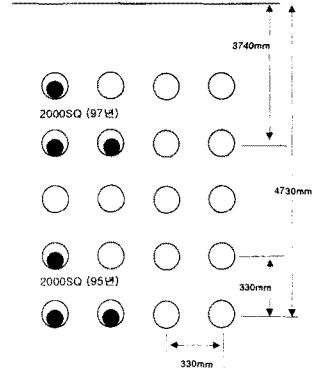


그림 5. 케이블의 포설 위치

실제 계통은 지중 6회선으로 운용 중인 선로로 EMTP의 계산 한계로 인해서 2회선만 모델링하였다. 참고로, 지중 케이블은 시스를 포함시켜서 모델링 하고자할 때 3회선까지 가능하다.

2.3.3 뇌썬어지 조건

대상선로의 주변 환경은 가공과 지중의 복합 선로로서 가공선 측의 잦은 뇌 썬어지가 케이블로 침입할 가능성이 크다. 시뮬레이션에 사용된 뇌 썬어지의 크기는 국내에서 발생하는 뇌 썬어지의 평균치인 40kA로 모의하였다.

2.3.4 전원임피던스 및 부하조건

전원은 154kV계통으로 계산된 전원의 임피던스는 다음과 같다

영상 임피던스 $Z_0 = 0.296 + j5.92 [\Omega]$

정상 임피던스 $Z_1 = 0.148 + j2.96 [\Omega]$

역상 임피던스 $Z_2 = Z_1$

부하는 각 상당 850A, 지상역률 0.95로 운전된다고 가정하였다.

2.3.5 리드선 조건

방식층 보호장치 및 접지선의 리드선은 아래와 같이 결정한다.

표 2. 리드선의 종류

종류	선 종	R [Ω /km]	L [mH/km]
크로스본딩선	IV절연전선 600V 250SQ	0.0959	0.471
접지선/보호장치 리드선	IV절연전선 600V 38SQ	0.521	0.502

크로스 본딩 리드선, 접지선은 각각 1m, 5m로 가정하였다.

2.3.6 방식층 보호장치의 특성

방식층 보호장치는 국내에서 사용하고 있는 것으로 전류-전압 특성은 표 3와 같다.

표 3. 방식층 보호장치의 전압-전류 특성

전류 [A]	전압[kV]	전류[A]	전압[kV]
10^{-3}	5	100	7.0
10^{-2}	5.4	1,000	8.0
10^{-1}	5.9	5,000	8.75
1	6.25	10,000	9.25
10	6.75	20,000	10.25

2.4 결과 고찰

시뮬레이션은 우선 95년과 97년의 시스템 상의 문제점에 대해 검토하고 97년 이후 시스템에서 개선안에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다.

각 경우에 CCPU의 결선 방법은 다음과 같다.

- Case 0 : 95년 시스템으로 1회선만 운전될 때
 - 기설 선로 : 대지간 방식
- Case 2 : 97년 증설로 회선이 추가 되었을 경우
 - 기설 선로 : 대지간 방식
 - 증설 선로 : 교락 비접지 방식
- Case 3 : 95년 준공한 선로의 CCPU결선 방식을 교락 비접지 방식으로 변경하였을 경우
 - 기설 선로 : 교락 비접지 방식
 - 증설 선로 : 교락 비접지 방식

2.4.1 정상상태

아래 그림 6~8은 각각 95년 당시와 97년 증설한 이후에 정상상태에서 시스-대지간 전압, 절연통간 전압, 시스의 순환전류를 나타낸 것이다.

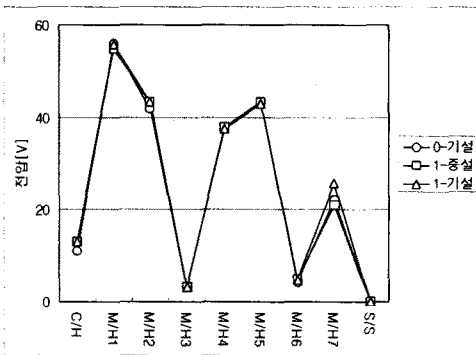


그림 6. 정상상태시 시스-대지간 전압

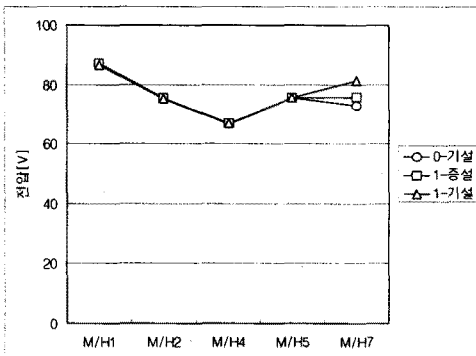


그림 7. 정상상태시 절연통간 전압

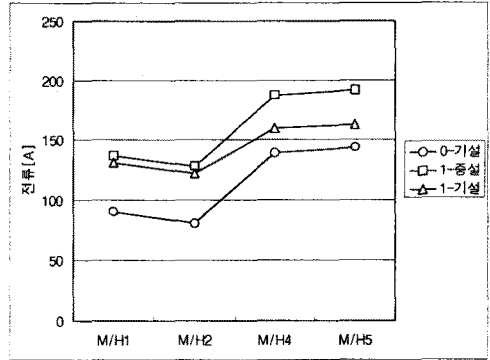
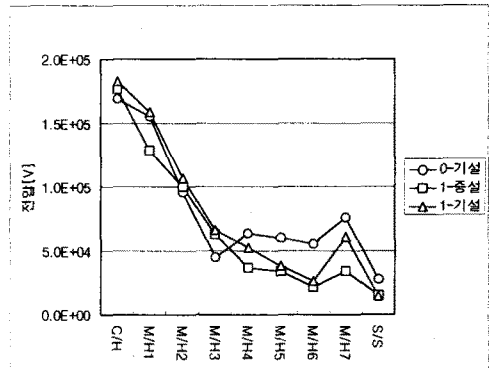


그림 8. 정상상태시 순환전류

그림 6, 7에서 보는 바와 같이 시스-대지간 전압 및 절연통간 전압은 95년/97년에 있어서 동일한 수준이고, 시스 순환전류는 95년에 비해 97년 증설한 후에 약 1.5배 정도로 증가한 것을 알 수 있다. 이는 증설로 인한 각 회선간의 상호 임피던스의 영향이 증가하였기 때문이다.

2.4.2 과도상태(뇌써어지 침입시)

그림 9~10은 95년/97년에 가공선 측에서 뇌 써어지 침입시 시스-대지간 전압 및 절연통간 전압을 비교한 것이다.



9. 뇌 써어지 침입시 시스-대지간 전압

그림9에서 시스-대지간 전압은 써어지 침입단에서 가장 크고 거리가 멀어 질수록 감소하는 형태로 95년/97년 시스템에서 비슷한 수준으로 유기전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나, 그림 10의 절연통간 전압은 95년보다는 97년 증설 후 두 번째 접속 구간인 M/H2에서 높게 (90kV수준) 유기되어 증설후에 M/H2의 절연통간 전압이 기준치 이상을 상회함을 알 수 있다. 절연통은 규격에 따라 50kV를 견디도록 설계가 되었으며, 접속함 개발 시 얻어진 데이터를 참조할 때 75kV정도에서 절연통간에 절연파괴(or 플래쉬 오버)가 되는 것으로 보아 써어지 침입시 M/H2에서 절연통간 플래시 오버가 발생할 가능성이 있으며, 또한 접속 내부적인 절연구조에 영향을 미칠 우려가 있다.

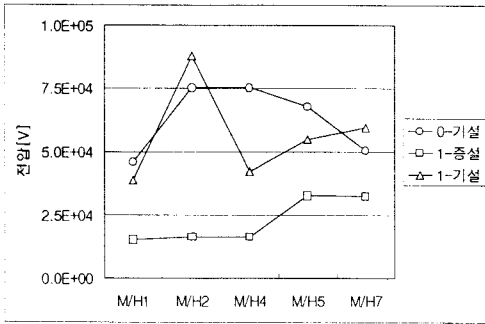


그림 10. 뇌 썬어지 침입시 절연통간 전압

따라서 이 시스템은 뇌 썬어지 침입시 절연통 및 접속함 내부의 절연구조에 영향을 미치지 않게 하기 위해서 추가적인 보호장치나 시스템의 설계상의 변경이 요구된다.

2.4.2 CCPU연결방식을 통일 했을 경우

2.5.2절에서 M/H2에서 절연통간 전압을 제한 할 목적으로 95년에 준공한 기설선로의 CCPU연결 방식을 대지간 방식에서 교락 비접지 방식으로 변경하였을 경우에 뇌 썬어지 해석을 수행하였다.

그림 11~그림 12는 두 T/L 모두 교락 비접지 방식으로 변경하였을 경우 시스-대지간 전압 및 절연통간 전압을 비교한 것이다.

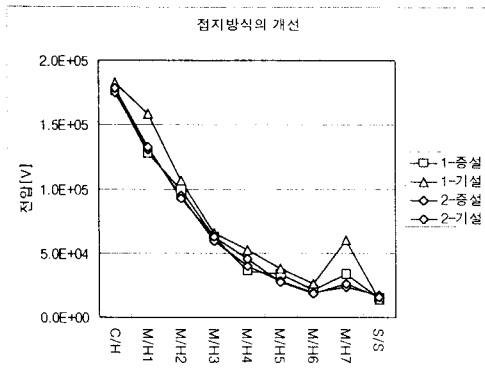


그림 11. 뇌 썬어지 침입시 시스-대지간 전압

그림 11에서 보는 바와 같이 시스-대지간 전압은 변경 전·후에 있어서 비슷한 수준을 나타내었다. 하지만, 절연통간 전압은 CCPU의 연결방식을 변경시킴으로써 95년 기설 선로의 절연통간 전압을 파괴전압이하로 유지할 수 있었다.

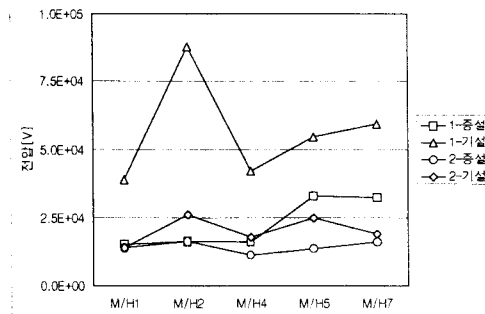


그림 11. 뇌 썬어지 침입시 절연통간 전압

상기의 결과를 살펴볼 때 현재 CCPU의 연결방식을 혼용하여 사용하고 있는 선로에 대해서 체계적인 검토가 필요하고 문제가 되는 선로에 대해서는 적절한 조치가 필요한 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 국내 선로 중 대지간 방식과 교락 비접지 방식을 혼용하고 있는 선로를 대상으로 뇌 썬어지 해석을 수행하여 시스템의 건정성을 평가하였다. 해석 결과 CCPU의 연결방식을 혼용한 대상선로의 경우 정상상태에서는 아무런 영향을 미치지 않았다. 그러나 과도상태 즉, 가공선 측에서 뇌 썬어지 침입하였을 경우 첫째 크로스 본딩 구간의 절연 접속함에서 절연통간 즉 접속함 양단간에 높은 이상전압의 발생하였다.

또한, 이에 대한 대책으로 CCPU의 연결방식을 교락 비접지 방식으로 통일하여 이상전압의 발생을 억제할 수 있도록 개선안을 제안하였다.

해석 결과를 살펴 볼 때 현재 국내 지중 시스템 중 대지간 방식과 교락 비접지 방식을 혼용하고 있고, 뇌 썬어지 침입 가능성이 큰 선로에 대해서 세부적인 검토가 필요하고 그에 대한 대책으로 교락 비접지 방식으로 통일하는 것이 바람직하리라 사료된다.

[참고문헌]

1. ATP rule book
2. 일본 전기학회 기술보고, "케이블 계통에 있어서 썬어지 현상 및 대책", 1991년
3. 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이룬 및 활용에 관한 연구", 1991
4. 전력연구원, "지중 송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구", 1998
5. 정성환, 최인혁, "케이블 방식중 보호장치의 결선방식에 대한 고장 전류해석", 전기학회 하계 학술대회, 1996년, pp160-162