

피뢰기 적용에 따른 지중송전케이블 시스 유기전압 해석

이준성* 이종범 김영
원광대학교 대한전선(주)

Analysis of Induced Voltage on Sheath of Transmission Power Cable Connected with Surge Arrester

Jun-Sung Lee* Jong-Beom Lee Young Kim
Wonkwang University Taihan Electrical Wire Co.

Abstract - This paper have analyzed sheath induced voltage in underground transmission cable system which will be operated with cable cover protection unit(CCPU). Simulation was carried out to analyze sheath induced voltage using on real cable system in the case with and without CCPU. Sheath induced voltage was also analyzed according to grounding method, fault resistance and fault angle. Simulation was performed using EMTP and ATP Draw, the simulation results represent whether the arrester is necessary or not in cable system.

계통 특성상 설치해야 할 필요성이 있는 것인지에 대해투자 측면에서 면밀히 검토해 볼 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 곧 운전예정인 154kV 지중송전 계통에 포설 되어있는 CV케이블의 금속 시스에 유기되는 유기전압을 EMTP와 ATP Draw로 상세히 시뮬레이션하였다. 특히 여기서는 지중송전 계통에서 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치한 방식층 보호장치에 따라 발생하는 시스 유기전압을 다양한 고장조건 즉 케이블에서 발생될 수 있는 고장각과 접지저항의 변화에 따른 시스 유기전압 및 과전압을 해석하였고, 이 결과를 바탕으로 방식층 보호장치 설치효과를 분석하였다.

1. 서론

최근 산업경제 및 국민생활의 급격한 성장으로 전력수요는 해마다 증가하고 있으며 인구집중현상에 따른 대도시의 전력수요 밀도가 급격히 높아짐에 따라 도심지의 가공송전선로가 갖고 있는 한계성을 극복하기 위해 지중송전 건설은 해마다 증대되고 있다. 따라서 전국의 주요 대도시에는 지중송전선로가 포설되어 운전되고 있으며 이러한 현상은 계속 증대되리라 전망된다. 지중송전케이블은 도체, 시스 및 절연체로 구성되어 있는데 이러한 시스에는 손실이 발생하며 이를 방지하기 위하여 케이블 시스에 크로스본드 접점을 하여 운전하고 있다. 그러나 이 크로스본드 접속점은 변이점으로 복잡한 투과와 반사가 생기고, 또 도체와 시스 사이의 전압으로 인하여 시스와 대지간의 전압이 발생한다. 또한 지중송전계통에서 고장이 발생하거나 각종 Surge가 케이블에 침입하면 시스에 전압이 유기되는데, 만일 이 전압의 크기가 방식층의 내충격 전압 이상이 되면 케이블의 방식층이 파괴될 위험성이 있다. 그리고 이 방식층이 파괴되면 케이블 시스가 부식되어 마침내는 케이블의 절연이 파괴되어 대정전 사태까지 유발되는 중대한 고장이 발생하게 된다. 따라서 현재 포설되어 운전중인 지중송전 케이블에서는 시스 유기전압을 제한할 목적으로 시스를 크로스본드 접속하고 여기에 방식층 보호장치를 별도로 설치하여 운전하고 있다. 이러한 방식층 보호장치는 형태에 따라 대지간 접지방식, 교락 비접지방식 및 교락 접지방식으로 구분되고 있다[1]-(3). 또한, 현재 포설되고 있는 실제계통에서는 방식층 보호장치 뿐만 아니라 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 더욱 효과적으로 시스 유기전압을 제한할 목적으로 방식층 보호장치를 설치하여 운전예정이다.

기존에 발표된 시스 유기전압 관련 논문들을 보면 주로 크로스본드된 지점에서 발생하는 시스 유기전압을 단상고장파 3상고장파의 경우에서만 단순히 해석하였다(1). 따라서 케이블에서 발생될 수 있는 다양한 고장 조건을 고려하여 케이블 시스의 유기전압을 해석하여 정확한 케이블 보호대책을 수립할 필요가 있다. 또한 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치한 방식층 보호장치가

2. 모델계통 및 시뮬레이션

2.1. 모델계통

본 논문에서 사용된 모델계통은 편단 전원에서 154kV 전압이 인가되는 실제계통으로서 전력구와 관로가 병행되어 있다. 시뮬레이션에서 사용된 케이블은 단면적 2000mm² 154kV CV케이블이다.

2.1.1. 모델계통 1

그림 1은 편단전원을 갖는 계통(모델계통1)으로서 선로의 등장은 5,681m이며, 전체선로 18구간중 T S/S 및 1~6, 16구간은 전력구 매설로 매설길이는 2,642m이고, D S/S 및 7~15구간은 관로식 매설로 매설길이는 3,039m로 포설되어 있으며, 포설 형태는 선로를 세 구간으로 나누어 두 개의 구간은크로스본드하였고, 세 번째 구간은 직접 접지한 형태로서 구간별 선로길이 및 접지상태는 표 1에 나타내었다.

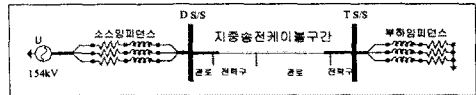


그림 1. D ~ T 변전소 구간(모델 계통1)

표 1. 선로길이 및 접지상태

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

[직접접지:○ 크로스본드 접지:△]

2.1.2. 모델계통 2

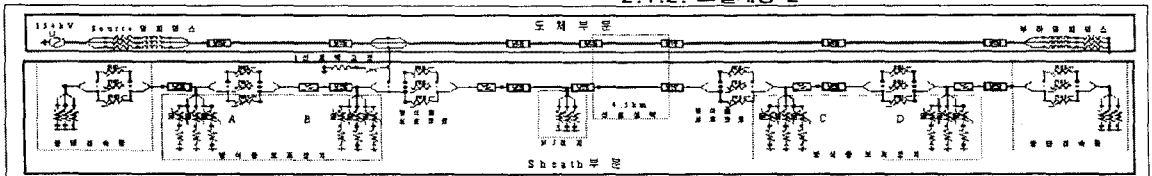


그림 2. 방식층 보호장치 A, B, C, D를 적용한 케이블 계통 (모델계통2)

그림 2는 본 논문에서 고려된 방식층 보호장치 A, B, C, D를 적용했을 경우(모델계통 2)로서 이 방식층 보호장치는 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치되어 있으며 대지간 접지방식을 이용하여 접지되었다. 또한 방식층 보호를 위해 교락 비접지방식으로 다시 방식층 보호장치가 설치되었다. Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치된 방식층 보호장치 상황하에서 고장형태는 1선 지락고장을 모의하였으며 보통접속함의 접지저항을 5Ω, 25Ω으로 변화시키고 고장각도 0도, 45도, 90도의 경우에서 다양하게 해석하였다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 방식층 보호장치 결선방식에 따른 시스 유기전압

모델계통 2와 비교하기 위해서 방식층 보호장치의 결선방식을 대지간 접지방식, 교락 비접지방식 및 교락 접지방식으로 바꾸면서 시뮬레이션하였다. 그림 3 ~ 그림 8은 방식층 보호장치의 결선방식의 변경에 따라서 발생하는 시스 유기전압의 해석 결과이다.

3.1.1 대지간 접지방식

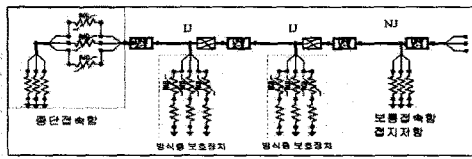


그림 3. 대지간 접지방식

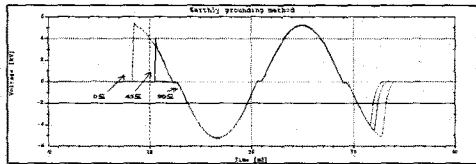


그림 4. 대지간 접지방식인 경우의 시스유기전압

그림 3은 방식층 보호장치의 결선방법중 대지간 접지방식을 나타낸 모델이며 3상 일괄형 또는 단상형 보호장치를 설치하고, 리드선을 사용하여 절연접속함의 접지단자에 연결하는 방식으로서 그림 5에서와 같이 시스 유기전압은 0도, 5Ω일 경우 최대 5.447 kV로 시스 유기전압이 발생하였으며, 90도 25Ω일 경우에는 1.418 kV로 가장 낮게 나타났다.

3.1.2. 교락 비접지 방식

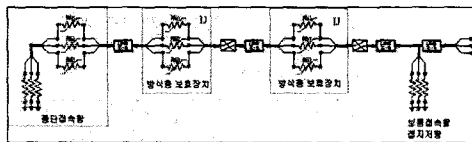


그림 5. 교락 비접지방식

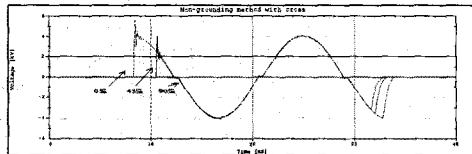


그림 6. 교락 비접지방식인 경우의 시스 유기전압

그림 5는 교락 비접지방식의 모델을 보여주고 있다 이것은 절연접속함 양단에 한 개층의 보호장치, 즉 방식층 보호장치를 설치하는 방식으로 본 논문에서의 연구대상인 모델계통 2도 교락 비접지방식으로 표시되어 있다. 그림 6은 교락 비접지시의 경우에서 0도, 45도, 90도 및 보통접속함의 접지저항 5Ω일 경우에 대한 해석결과로서 0도에서는 5.633kV, 45도에서는 4.038kV, 90도에서는 가장 낮은 4.030kV의 시스 유기전압이 발생하였다. 보통 접

속함의 접지저항을 25Ω으로 변경시킨 후에 시스 유기전압을 해석해 보면 위의 결과와 비슷하게 해석되었다. 그리고 고장각이 증가할 수록 시스 유기전압은 감소하였으며 접지 저항이 적을수록 시스 유기전압은 증가하는 현상을 보였다.

3.1.3. 교락 접지방식

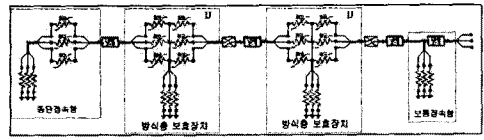


그림 7. 교락 접지방식

그림 7은 교락 접지방식으로 ZnO 피뢰기 두 개를 이용하여 직렬로 연결하고 그 중간점에 접지를 시키는 방식으로 시스 유기전압은 그림 8과 같다. 대지간 접지방식 및 교락 비접지방식에서와 같이 여기서도 시스 유기전압은 0도에서 5.214kV로 가장 높게 발생하였고, 90도에서 가장 낮게 나타났다.

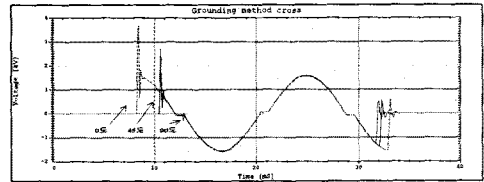


그림 8. 교락 접지방식인 경우의 시스 유기전압

방식층 결선방식에 따른 시스 유기전압 해석 결과는 표 2와 같다. 방식층 보호장치의 결선방식에 따라서 해석한 시스 유기전압을 살펴보면 교락 비접지방식 0도 및 보통 접속함 접지저항이 5Ω일 경우 고장시에 시스 유기전압이 5.633kV로 가장 높게 나타났다. 세 가지 경우 모두에서 알 수 있듯이 결선방식에 따른 시스 유기전압은 고장각 및 접지저항이 증가할 때 더욱더 높게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로는 연구에서 기본적으로 해석해야 할 모델계통 2와 비교해 볼 때 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있다. 표 3은 각각의 방식층 보호장치 설치 상태에서 3개의 고장조건 및 보통접속함의 접지저항을 5Ω, 25Ω으로 변경하였을 경우의 결과이다.

표 2. 방식층 보호장치 결선방식에 따른 시스 유기전압해석 결과

고장종류	0도 고장		45도 고장		90도 고장	
	시스 유기전압[kV]		시스 유기전압[kV]		시스 유기전압[kV]	
보통접속함 접지저항	5Ω	25Ω	5Ω	25Ω	5Ω	25Ω
	5.447	3.607	5.270	2.988	5.200	1.418
교락비접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030	0.995
교락접지	5.214	3.669	5.144	2.726	5.029	1.585

표 3. 방식층 보호장치 적용에 따른 시스 유기전압 해석

고장종류	0도 고장		45도 고장		90도 고장	
	시스 유기전압[kV]		시스 유기전압[kV]		시스 유기전압[kV]	
보통접속함 접지저항	5Ω	25Ω	5Ω	25Ω	5Ω	25Ω
	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030	0.995
A, B, C, D 접지	A, B 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
	A 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
	C, D 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
	D 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
설치하지 않을 경우	A, B, C 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
	A, C, D 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
설치하지 않을 경우	A, D 접지	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030
	5.633	4.037	4.038	2.908	4.030	0.995

3.2 모델계통 2에서의 해석

본 연구의 연구대상인 모델계통 2에서의 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치된 방식층 보호장치에 따라서 시스템 유기전압을 해석하였다.

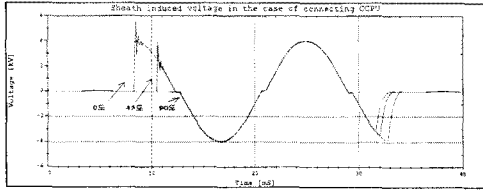


그림 9. 방식층 보호장치 A, B, C, D를 고려했을 경우의 시스템 유기전압(R=5Ω, 0도, 45도, 90도)

그림 9는 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 방식층 보호장치가 설치된 경우 보통 접속합의 접지저항을 5Ω, 고장각도를 0도, 45도, 90도에서 해석한 시스템 유기전압이다. 그림 9의 결과에서 볼 수 있듯이 방식층 보호장치 설치시 시스템 유기전압은 고장각도의 증가에 따라서 유기전압 또한 감소하였고, 보통접속합의 접지저항을 25Ω으로 변경시켰을 경우에도 동일한 결과가 나타났다.

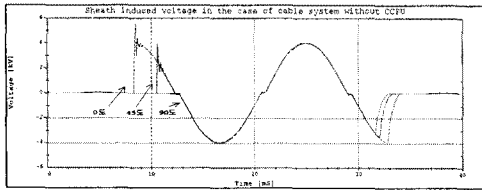


그림 10. 방식층 보호장치 A, B, C, D를 제거하였을 경우 시스템 유기전압(R=5Ω, 0도, 45도, 90도)

그림 10은 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 방식층 보호장치를 제거시켰을 경우에 보통 접속합의 접지저항을 5Ω으로 하여 그림 9와 동일한 조건하에서 해석한 결과이다. 그림 10의 결과에서처럼 고장각도를 0도, 45도, 90도로 변경하여 해석한 결과 그림 10 또한 그림 9와 같이 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

표 4. 접지방식에 따른 모델계통

Type	방식층 보호장치의 결선방식
E	대지간 접지방식
F	교락비접지 방식
G	교락접지 방식
H	모델계통 2의 방식층 보호장치 A, B, C, D 적용시

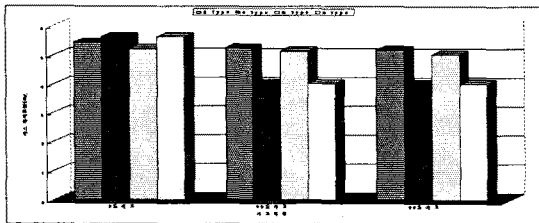


그림 11. 형태에 따른 시스템 유기전압(E, F, G, H)

그림 11은 시스템 유기전압을 방식층 보호장치의 접지방식에 따라서 해석한 것으로 E Type은 그림 3에 나타난 것처럼 대지간 접지방식만을 모델계통 2에 이용하여 해석한 시스템 유기전압이며, F Type은 그림 5에서 보인 것처럼 교락 비접지방식만을 이용하여 해석한 시스템 유기전압이다. 그리고 G Type은 그림 7에서 제시한

모델과 같이 교락 접지방식을 채택하여 해석한 시스템 유기전압의 결과이다. 또한 H Type은 방식층 보호장치 A, B, C, D를 고려한 모델계통 2를 이용하여 해석한 시스템 유기전압으로서 B Type과 D Type의 시스템 유기전압은 일정하게 얻어졌다.

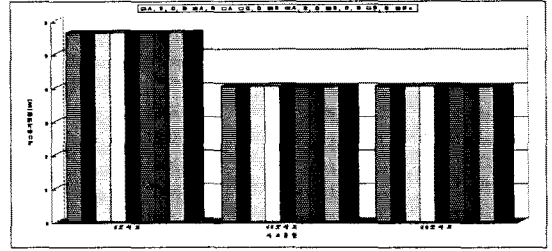


그림 12. 방식층 보호장치 적용에 따른 시스템 유기전압

그림 12는 그림 2에서처럼 방식층 보호장치 A, B, C, D의 설치 상태에 따라서 각각의 시스템 유기전압을 해석하여 나타낸 것으로서 방식층 보호장치 설치시와 제거시의 시스템 유기전압은 같은 고장상태에서 일정하게 발생하였다. 그러므로 그림 11과 12에서 보는 바와 같이 방식층 보호장치 A, B, C, D의 설치 전과 및 설치 후의 시스템 유기전압은 일정하게 발생하고, 방식층 보호장치의 결선방식인 교락 비접지방식과 방식층 보호장치 A, B, C, D를 제거했을 경우 결선방식이 일치하기 때문에 해석한 시스템 유기전압 또한 동일하게 발생하였다. 따라서 본 논문에서 해석한 결과에 따르면 Source측 두 구간과 부하측 두 구간에 설치된 방식층 보호장치 A, B, C, D는 사실상 설치할 필요성이 없는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 각종 접지방식으로 이루어져 있는 방식층 보호장치와 함께 운전되는 지중송전케이블 계통에서 시스템 유기전압을 EMTP 및 ATP draw를 이용하여 상세히 해석하였다. 연구를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 각각의 방식층 보호장치 A, B, C, D의 설치 전후에 따른 시스템 유기전압의 해석결과는 일정하였다. 따라서 크로스본드 접지구간에서 방식층 보호장치 A, B, C, D를 설치할 필요성은 없는 것으로 사료된다.
- (2) 교락 비접지방식과 모델계통 2의 방식층 보호장치 A, B, C, D를 제거한 경우에도 동일한 시스템 유기전압이 발생하였다.
- (3) 방식층 보호장치 결선방식에 따른 시스템 유기전압을 해석해 본 결과 교락 접지방식일 경우 시스템 유기전압이 가장 낮게 발생하였으며, 접지저항이 높을수록 시스템 유기전압도 낮게 나타났다.
- (4) 지중송전케이블 계통 구성시에 방식층 보호장치인 A, B, C, D 피뢰기는 기존의 설비이외에 추가할 필요는 없는 것으로 판단된다. 다만 이의확인을 위해서는 좀더 다각적인 Field test가 뒤따라야 할 것으로 보인다.

(참고 문헌)

- (1) 최석영, 유명호, 배두환, 오정환, 임성경, 김재철, "154kV 지중케이블에서 유기전압 해석", 대한전기학회 하계 학술대회, pp. 1184-1186, 1997. 7
- (2) 김대경, 정성환, 이종범, 김점식, "지중송전계통의 방식층 보호장치 결선방식에 대한 뇌써이지 해석", 대한전기학회 하계 학술대회 pp. 1018-1020, 1997. 7.
- (3) 이준성, 이종범, "다양한 고장조건에서 154kV 지중송전케이블 시스템 유기전압해석에 관한 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 pp. 1179-1181, 1998. 7.