

지중송전계통에서 SVL 및 병행지선 설치 검토

김정년, 김남열, 안미경, 이상진, 허희덕, 김광모

The Study on SVL and Earth Connectivity Conductor in Under Ground Cable System

J. N. Kim, N. Y. Kim, M. K. An, S. J. Lee, Harris Heo, K. M. Kim

Abstract - The role of SVL (Sheath voltage limiter) in cable system is to protect the PVC(or PE) jacket in case of transient overvoltage resulting from lightning and other causes. But, in Korea, there is so many SVL failure cases resulting from power frequency overvoltage.

So, the paper investigates the phenomenon of failure SVL comparing with other countries' system.

Finally, the installation of ECC(Earth Connectivity Conductor) in under ground cable system is presented to remove the possibilities of SVL thermal runaway due to the power frequency overvoltage.

- (3) SVL의 방전 내량 증가
- (4) 편단접지 구간의 이동(말단→중간)
- (5) 취약구간 SVL 병렬화 등

그러나 상기의 방법의 현재 발생하고 있는 SVL 파괴사례의 근본적인 원인은 되지 못하고 있다.

본 논문에서는 국내에서 발생하고 있는 SVL파괴의 근본적인 원인을 검토하고 그 대책을 제시하고자 한다.

2. 국내의 케이블 계통의 차이점

본 절에서는 지중전력 케이블 시스템을 구성하는데 있어서 국내 계통 및 해외계통에 대해서 비교를 통하여 SVL을 적용하는데 있어서 차이점을 설명하고자 한다.

1. 서 론

지중전력 케이블 시스템에 뇌 썩어지 침입시 및 스위칭 발생시 케이블 시스템과 대지사이에 발생하는 과전압으로 인해 케이블 자켓 손상을 방지하기 위해서 SVL(Sheath Voltage Limiter)을 취부하여 보호한다.

최근에 국내전력케이블 시스템의 SVL파괴 사례가 발생하며 SVL 소손 및 화재로 파급되는 사고도 간헐적으로 발생하고 있다.

국내에서 지중 전력케이블 방식층 및 절연통 보호에 관한 방안으로 SVL 취부 방법에 대한 연구가 과거부터 진행되어 왔다. 과거 국내 지중 케이블 시스템은 대지간 방식을 채택하고 있었으나 1996년 이후 교락 비접지 방식으로 변경하였다. 또한 연구의 분야가 과전압에 대한 검토는 주로 썩어지 영역에서 검토로서 SVL의 용량 및 보호 레벨이 정해졌다.

그러나 근래에도 SVL 파괴가 계속 발생하고 있으며 그 원인 및 대책에 대해 검토가 이루어지고 있다. SVL 소손을 그대로 방치한 경우 절연통 또는 방식층 등의 절연 파괴 등의 사고가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 케이블 운영상에 문제가 발생할 수 있으며, SVL의 열화에 의한 화재 및 지락사고 발생 등 계통 사고에 막대한 영향을 끼칠 수 있어 이에 대한 대책이 필요한 시점이다.

현재까지 국내에서는 SVL 및 방식층 보호에 관한 대책으로 다음과 같은 방법을 시행하고 있다.

- (1) 크로스 본딩 리드선 최소화
- (2) 교락 비접지 방식 채택

2.1 일본 지중전력 케이블 시스템

일본의 국내 계통과 가장 유사하게 지중 전력시스템을 구성한다. 그러나 국내 계통과의 가장 큰 차이점은 일본의 경우 변압기 중성점 접지를 저항접지를 채택하고 있으며 국내의 경우에 직접 접지를 채택하고 있다.

그러나 국내의 경우에는 일본과 유사한 사양의 SVL을 채택하고 있다. 그러나 일본과 국내 계통의 접지방식의 차이에 따라 사고시 발생하는 시스의 상용주파 과전압의 크기에 차이가 발생한다. 예를 들어 일본의 경우 일선지락시 일반적으로 154kV계통의 500A미만의 지락전류가 발생하며 국내의 경우 최대 50kA의 지락전류가 발생한다. 이는 일선 지락시 일본과 국내시스템을 비교해 볼 때 같은 계통 구성에서 일본의 100 배 정도의 과전압이 발생한다. 이는 SVL선정에 있어서 상용주파 특성을 결정하는 연속운전전압(Continuous Operating Voltage) 및 정격전압(Rated Voltage)가 다르게 선정되어야 함을 의미한다.

일본의 경우 SVL의 열폭주로 인한 파손은 거의 경험하지 않는 반면 국내의 경우에는 SVL의 열폭주 및 그로 인한 화재사고로 까지 파급되는 경우가 있다.

그럼 1은 국내선로에서 SVL의 열폭주(Thermal Runaway)로 인한 사진을 나타내었다.



그림 1. SVL 열폭주 사례

2.2 해외 지중전력 케이블 시스템과의 비교

일반적으로 동남 아시아 및 유럽을 중심으로 전력계통 접지는 직접접지 방식을 채택하고 있는 측면에서 볼 때 국내 지중전력 케이블 시스템과 같다. 그러나 이들 국가의 경우 국내 지중 전력케이블 시스템에 적용하고 있지 않는 병행지선(ECC, Earth Connectivity Conductor)를 적용하고 있어서 일선지락 발생시 발생하는 급속시스에 발생하는 상용주파 과전압을 줄이고 있다.

3. 편단접지 구간에 병행지선 포설

앞 절에서 설명한 바와 같이 국내 지중 전력계통에 있어서 가장 큰 문제점은 편단접지 구간에 있어서 병행지선이 포설되어 있지 않고 지락 사고 발생시 국내에 설치된 SVL는 동작하게 되며 상당히 큰 전류에 의해서 파괴로 까지 이어질 수 있다.

3.1 ECC (Earth Continuity Conductor)설치 국제표준

IEEE 575와 Eletra 규정을 살펴보면 편단접지 구간에는 ECC(Earth Continuity Conductor)를 포설하도록 규정하고 있으며 그림 2와 같이 포설하도록 권장하고 있다.

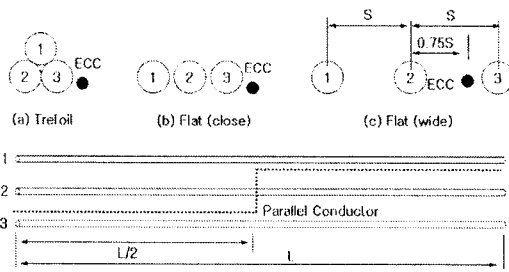


그림 2. 병행지선 설치 및 연가방안 (IEEE 575)

상기와 같이 포설할 경우 사고전류의 귀환 loop는 도체를 통해서 유입된 사고전류는 ECC를 통해서 귀환하며 급속시스에 유도되는 전류는 도체에 흐르는 전류와 ECC를 통해서 귀환하는 전류에 의해서 유도가 된다.

이때, 이 두전류는 방향이 반대이므로 급속시스에서 볼 때는 두전류의 차벡터에 해당하는 만큼이 시스템 유기전압에 기여를 하게되므로 병행지선을 포설하면 사고시 시스템에 유도되는 전류를 상당부분 저감시킬 수 있다.

그러나, 국내 지중 전력케이블의 경우 편단접지 구간에 병

행지선을 포설하지 않았기 때문에 사고시 시스템에 유기되는 전압은 도체에 흐르는 사고전류 및 무한히 먼거리(일반적으로 600M이상)를 통한 대지 귀로도체로 전류가 귀환하기 때문에 상당히 큰 상용주파 과전압이 발생한다.

3.2 ECC의 단면적 및 설치 개수에 따른 효과

본 절에서는 ECC의 단면적 및 설치 개수에 따른 효과를 살펴 보고자 한다

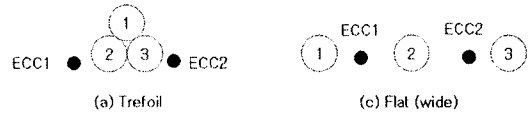


그림 3. 2개의 ECC 설치한 경우

ECC의 효과를 살펴보기 위해서 아래와 같은 계통에서 그림 3과 같이 정삼각 배열(Trefoil) 및 수평 배열(flat)인 경우를 비교해 보자. 이때 사용된 케이블은 400kV 2000mm²이며 수평배열인 경우 케이블 상간 간격 300mm 케이블 길이 500m의 편단인 경우를 고찰한다. 또한 ECC의 단면적은 240mm² 및 500mm²를 대상으로 한다.

표 1은 각각의 케이블에서 사고가 발생하였을 경우 최대 발생할 수 있는 상용주파 과전압을 나타 낸 것이다. 이때 사고 전류는 63kA이다.

표 1. ECC의 단면적 및 개수에 따른 시스템유기전압

배열	ECC 단면적	ECC를 1개 포설한 경우 유기전압[kV]			ECC를 2개 포설한 경우 유기전압[kV]		
		1	2	3	1	2	3
정삼각 배열	240mm ²	7.1	9.1	7.1	3.7	5.6	3.7
	500mm ²	6.5	8.3	6.5	3.4	5.2	3.4
수평 배열	240mm ²	9.2	9.2	9.2	5.3	5.2	5.3
	500mm ²	8.8	8.8	8.8	4.9	4.8	4.9

상기의 결과를 살펴 볼 때 ECC설치에 있어서 ECC를 한 개 설치한 경우보다 두 개 설치한 경우가 현저하게 상용주파 과전압을 줄일 수 있음을 보여준다.

3.3 국내지중선로에 병행지선 포설 예

국내 계통에 ECC를 포설할 경우 효과를 살펴보기 위해서 EMTP를 통한 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 대상계통은 154kV OFZE 2000mm²로 아래 표2과 같이 크로스 본드 2구간에 대해서 시뮬레이션을 실시하였다. 편단접지는 2구간으로 크로스 본딩 접지를 할 수 없는 경우 M/H 7 지점을 개방시키고, M/H 6과 S/S를 접지시키는 편단 접지를 실시하였다.

지락 사고 발생 지점은 S/S의 B Phase로 하였고, 사고 전류는 약 35kA로 설정하였다.

표 2. 케이블 포설 데이터

	A CH	MH1	MH2	MH3	MH4	MH5	MH6	MH7	B SS
접지 방식	접지	X	X	접지	X	X	접지	O-O	접지
케이블 길이[m]	350	310	255	233	205	331	140	350	
포설 방식	관로	관로	관로	관로	관로	관로	관로	전력구	

X:크로스 분당, O-O : 개방-개방

그림 4는 상기의 지중케이블 시스템에 병행지선을 설치한 경우를 상정한 것이다.

국내 지중케이블 시스템은 주로 전력구 및 관로 구간으로 구성되어 있으며 상기의 시스템의 경우 관로구간(MH6-MH7)의 경우 그림 4의 (a)와 같이 빈관로에 병행지선을 포설하며 전력구 구간의 경우에는 그림 4의 (b)와 같이 케이블과 인접하여 병행지선을 포설한다.

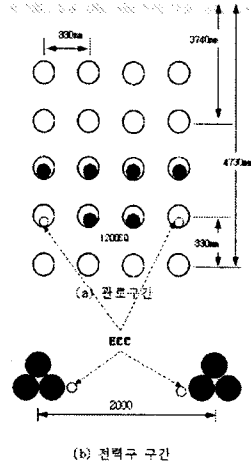


그림 4. 국내계통에 병행 지선 설치안

그림 5는 국내 시스템에 일선 지락이 발생하였을 경우 병행지선의 유무에 따른 상용주파 과전압의 크기를 나타내었다.

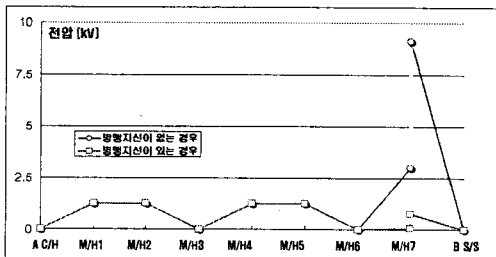


그림 5. 국내 계통에 병행지선 설치 효과

그림 5에서 보는 바와 같이 병행지선을 설치하였을 경

우 9kV정도에서 1kV수준으로 상용주파 과전압을 줄일 수 있음을 보여준다.

따라서 국내 지중 시스템의 경우에도 병행지선 설치 검토가 시급히 필요하며 이에 따라 현재 발생하고 있는 SVL소손 문제를 해결할 수 있으리라 기대한다.

4. 결 론

본 논문은 국내에서 발생하고 있는 SVL과피 문제에 관한 근본적인 원인에 대해서 검토하였으며 그 대책을 하였으며 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 현재 지중 전력케이블 계통에서 발생하고 있는 SVL의 과피문제는 주로 상용주파 과전압에 의해서 발생한다.
- (2) 그 대책으로 지중 전력케이블 시스템에서 특히, 편단 접지 구간에서는 병행지선 설치가 우선적으로 검토되어야 한다.
- (3) 향후 기설 및 선로에 대한 병행지선을 설치에 대한 심도 깊은 연구가 진행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 하세용, 김정년, 이인호, 김종철, 이광열, "지중 송전 케이블의 편단접지 시스템에서의 계통보호 방안", 대한전기학회 하계 학술 대회 논문집(A권), 2005년 7월 18일-20일
- [2] IEEE Standards Board, "IEEE Guide for the Application of Sheath Bonding Methods for Single-Conductor Cables and the Calculation of Induced Voltages and Currents in Cable Sheaths", ANSI/IEEE Std. 575, 1988
- [3] Working Group 07 of Study Committee 21, "Guide to the Protection of Specially Bonded Cable Systems Against Sheath Overvoltages"