

개폐과전압 발생시 지중송전선로 편단접지 구간에서 SVL에 미치는 과도특성에 관한 연구

A Study on SVL Transient Characteristics by Switching Overvoltage at Single Point Bonding Section in Underground Transmission Cables

정 채 균^{*} · 강 지 원^{*}
(Chae-Kyun Jung · Ji-Won Kang)

Abstract - This paper describes sheath voltage limiter(SVL) transient characteristics by switching overvoltage considering single point bonding in underground transmission cables. The crossbonding system is generally used for grounding methods of underground transmission system. However, the single point bonding system is used in selective area which is difficult to consist of crossbonding major section. The sheath voltage limiters are connected between joints in the single point bonding. Specially, the high overvoltage might be generated in that section as well as the aging of sheath voltage limiter might be progressed by various electrical stress including lightning overvoltage, switching overvoltage and power frequency overvoltage. Therefore, in this paper, the switching overvoltage characteristics in underground cables are firstly analysed using EMTP simulation. Then, the switching overvoltage of sheath voltage limiter is also studied in single point bonding. Finally, the reduction method of sheath voltage limiter switching overvoltage is proposed by various simulation studies including circuit breaker operating order.

Key Words : Sheath voltage limiter, Single point bonding, Switching overvoltage, Underground power cables

1. 서 론

최근 도심지 지역의 지중화 요구 등으로 지중송전선로의 건설이 해마다 증가하고 있으며 2012년 기준으로 국내 송전선로 지중화율은 10.4%, 서울지역의 지중화율은 87.5%이다. 일반적으로 국내 지중송전선로는 금속 시스에 크로스본딩 접지방식을 채택하고 있으며, 각각의 크로스본딩 대구간(Major section) 내에는 3구간의 소구간(Minor section)이 있다. 또한 선로 말단 부분 등에서 크로스본딩 대구간을 구성하기가 어려울 때는 시스순환전류 상승에 따른 손실을 고려해 절연통보호장치(SVL : Sheath Voltage Limiter)를 이용한 편단접지 방식을 적용한다. 편단접지 방식은 정상 운전시 시스순환전류를 억제하여 시스회로손이 영이 되게 하는 방식으로 크로스본딩시 단위 연가 구간의 구성이 불가능한 경우나 발·변전소 인출용 선로와 같이 길이가 짧은 단구간 케이블에서 제한적으로 적용하는 방식이다[1]. 그러나 지락고장 등의 과도현상 발생시 크로스본딩 구간에 비해 편단접지 구간에서 시스 및 접속함간의 전압이 급격히 상승하는 등 지중송전계통 운영에 미치는 영향이 크게 나타나고 있다. 최근 들어 국내 일부 지중송전계통의 편단접지 개소에서 절연통보호장치 소손 및 이로 인한 화재 등 2차사고로 과급되는 사례가 발생됨에 따라 예방 대책 수립에 대한

관심이 증가하고 있다. 이미 상용주파 과전압에 의한 편단접지구간 과전압 저감을 위해 국내[2-4] 뿐 아니라 ANSI/IEEE Std. 575[5], CIGRE WG B1.18[6]에서는 병행지선의 사용을 권장하고 있다.

그러나 편단접지 구간에 적용되는 병행지선은 개폐과전압이나 뇌과전압 등 써지 과전압에 대한 차폐효과는 없으며 상용주파 고장시 고장전류의 귀로 경로를 확보해줌으로써 접속함의 과전압을 저감시켜주는 역할을 한다. 따라서 본 논문에서는 지중송전계통의 개폐과전압의 특성 및 과전압에 의한 SVL의 열화 특성을 분석하고 편단접지 방식이 적용된 실계통 분석을 통해 차단기 개폐 동작시 편단접지 구간 SVL에 미치는 과전압과 이의 최소화 방안에 대해 검토하였다. 편단접지 구간에서 과전압, 누설전류 증가, 열폭주 등으로 인해 SVL의 절연이 파괴될 경우, 접속함 및 방식층이 절연성능 유지에 영향을 미칠 수 있으며, SVL 소자를 통한 대전류 통전시 화재발생 등 2차사고로 과급되기도 한다. 따라서 과전압에 취약한 편단접지구간에서 SVL의 성능유지는 지중송전선로의 안정적 전력공급을 위해 매우 중요한 요소 중 하나이다.

2. 지중송전케이블 편단접지 방식 특징

지중송전케이블의 접지는 시스에 유기되는 전압을 낮추고 시스 순환전류에 의한 손실을 저감시키면서 고장시 고장전류의 귀환경로를 제공해야 한다. 이를 위해 지중송전케이블의 시스의 접지방식은 중성선 다중접지 방식, 크로스본딩 접지방식, 편단접지 방식의 3가지 방식으로 나뉜다[1].

중성선 다중접지 방식은 케이블 시스 양단을 접지하여 유

[†] Corresponding Author : KEPCO Research Institute, Senior Researcher

E-mail : chekyun@kepri.re.kr

* KEPCO Research Institute, Principal Researcher

Received : March 6, 2014; Accepted : May 22, 2014

기전압을 저감시키기 위한 방법으로 시스 유기전압은 매우 낮지만 시스순환전류에 의한 시스손실이 발생하여 송전용량이 저감될 가능성이 있는 접지방식으로 허용전류전류 측면에서 충분한 여유가 있으며, 시스회로손이 문제가 되지 않는 경우 또는 장거리 해저케이블과 같이 케이블 접속구간이 길어 다른 시스전압 저감방식의 적용이 불가능한 경우 제한적으로 사용된다.

크로스본드 접지방식은 케이블 시스를 연가하여 시스전압을 기준값 이하로 제한하고 크로스본드 구간 양끝 시스를 접지하여 시스 양단의 유기전압을 거의 제로로 유지하는 접지방식으로 국내 뿐 아니라 해외에서도 가장 널리 사용되는 접지방식이다. 그러나 크로스본드 접지방식은 소구간내에 시스 유기전압이 항상 존재하고 소구간의 길이가 긴 경우 또는 고장이나 찌지에 의해 큰 시스 전압이 유기될 수 있기 때문에 상시에는 시스유기전압을 억제하면서 찌지 침입시 케이블의 방식층 및 절연통을 보호하기 위하여 절연통 보호장치를 설치하여 소구간 내의 시스 유기전압을 방식층의 절연레벨(50kV) 이하로 억제 시키고 있다. 그림 1에서는 크로스본드 접지방식의 일반적인 계통을 나타내었다. 그림에서처럼 직접접지점인 보통접속함(NJ : Normal Joint) - 크로스본드 접지점인 절연접속함(IJ : Insulation Joint) - IJ - NJ가 하나 크로스본드 대구간이며 이는 3개의 소구간으로 구성된다.

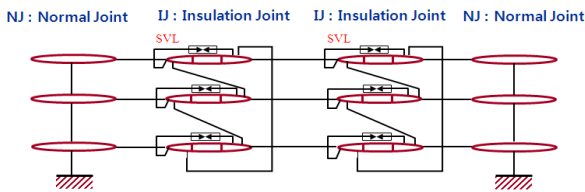


그림 1 크로스본드 접지방식 계통
Fig. 1 Cross bonding system

일반적으로 지중송전계통은 그림 1과 같이 크로스본드 접지방식을 채택하고 있다. 그러나 선로 말단 부분이나 선로 중간부분 등에서 크로스본드 대구간을 구성하기 어려울 때 시스순환전류 상승에 따른 송전손실을 예방하기 위해 편단 접지 방식을 적용한다. 그림 2와 같이 편단접지 구간에서는 SVL에 의해 양단간의 시스가 분리되며, 시스순환전류가 없기 때문에 시스손실이 매우 적어 전력손실을 최소화 하면서 케이블의 허용전류를 유지할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 편단접지방식이 적용된 계통에 과도현상 발생시 편단접지 구간의 시스 전압이 급격히 상승하여 접속함 및 SVL 손실 뿐 아니라 이로 인한 화재 등 2차사고로 파급되는 사례가 발생할 가능성이 높은 단점이 있다.

따라서 편단접지 방식에서는 지락고장과 같은 상용주파 과전압 발생시 편단접지 구간의 접속함 및 방식층을 절연레벨이하로 보호할 수 있도록 병행지선이라는 보호방식을 사용하고 있으며, 뇌찌지와 개폐찌지와 같은 찌지 과전압 보호를 위해 SVL을 설치한다. 그림 3에서는 병행지선과 SVL이 설치된 편단접지방식의 시스템도를 나타내었다.

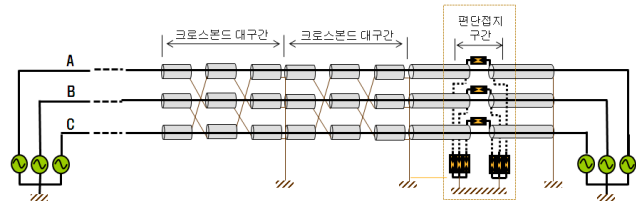


그림 2 편단 접지방식 계통
Fig. 2 Single point bonding system

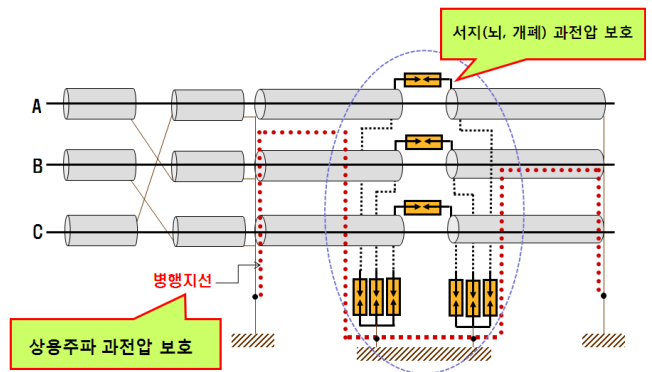


그림 3 편단 접지방식 계통 보호방식
Fig. 3 Protection methods of single point bonding system

지중송전케이블 편단접지 구간에 찌지 발생시 SVL의 차폐효과는 매우 크며, SVL이 열화로 동작하지 않을 경우 방식층 및 접속함에서 높은 과전압이 발생할 가능성이 높다. 따라서 실제계통에서는 SVL의 누설전류 상태를 상시 점검하여 1[mA] 이상의 누설전류 측정시 SVL을 즉시 교체하고 있다[2].

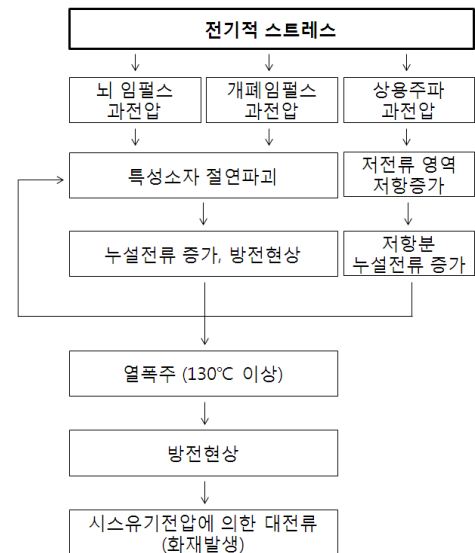


그림 4 편단 접지구간 SVL 열화 발생 메커니즘
Fig. 4 Ageing mechanism of SVL in single point bonding

그림 4에서는 SVL이 뇌임펄스 과전압, 개폐임펄스 과전압, 상용주파 과전압 등 전기적 스트레스에 의해 열화되는 메커니즘을 나타내었다. 그림에서처럼 뇌임펄스 및 개폐임펄

스 과전압이 발생하면 특성소자의 절연이 파괴되면서 누설 전류가 증가하며 지락고장과 같은 상용주파 과전압에 의해 저전류 영역 저항 및 저항분 누설전류가 증가하면서 열화가 진전 되는 특성을 보인다[2]. 즉, SVL의 열화는 임펄스 및 지락고장에 의하여 정격이상일 시과전압 유입시, 그리고 SVL 특성소자의 저항분 전류가 증가에 따른 온도 상승과 동작개시전압 저하 및 누설전류 증가에 의해, 특성소자 지지 절연체부 절연저항 감소에 의한 누설전류 증가, Melting, 가스발생에 의해, 시스 유기전압에 의한 대전류 방전, 열폭주 등에 의해 나타난다. 따라서 본 논문에서는 편단접지방식이 적용된 지중송전케이블에 개폐과전압 발생시 EMTP 과도해석을 통해 개폐과전압에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 수립하고자 한다.

3. 지중송전케이블의 개폐과전압 특성

전력케이블의 단위길이 당 저항 R, 인덕턴스 L, 커패시턴스 C, 누설 콘덕턴스 G로 정의 할 때, 임피던스 Z와 어드미턴스 Y는 식 (1), (2)와 같이 표현된다[7-8].

$$Z(\omega) = R + j\omega L \tag{1}$$

$$Y(\omega) = G + j\omega C \tag{2}$$

여기서, 전파정수 γ 와 특성 임피던스 Z_c 는 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \sqrt{Z(\omega)Y(\omega)} = \alpha + j\beta \tag{3}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z(\omega)}{Y(\omega)}} \tag{4}$$

식 (3)에서 전파정수의 실수분(α)은 전력케이블의 단위 길이당 신호 감쇄의 정도를 나타내는 감쇄정수이며, 허수분(β)은 위상각 상수이다. 여기서, α 의 단위는 [Nepers/m]이며 이를 식 (5)와 같이 [dB/m]로 환산할 경우 8.686배를 하면 된다. 또한, 전력케이블 길이에 따라 감쇄되는 전압의 크기는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha(\text{dB/m}) = \alpha \times 20 \log(e) \tag{5}$$

$$U = U_0 \times 10^{-\alpha(\text{dB/m}) \cdot L(\text{m})/20} \tag{6}$$

한편, 케이블의 전파속도 v 는 위상각 상수 β 를 이용해 식 (7)과 같이 계산된다.

$$v = \frac{\omega}{\beta} [\text{m/s}] \tag{7}$$

식 (3) ~ (7)과 같이 전파정수, 즉 감쇄정수와 전파속도는 케이블 매질의 특성, 기하학적 구조, 주파수에 의존적임을 알 수 있다.

표 1은 154kV XLPE 2000mm²를 대상으로 EMTP 주파수 독립모델(Bergeron)을 이용해 1 kHz ~ 500 MHz 영역에서 단일 계산 주파수에 따른 전파특성에 대한 계산결과이다. 표에서처럼 XLPE 2000mm²의 감쇄정수(dB/km)는 주파수가 상승할수록 증가하는 특성을 보이나, 전파속도와 서지임피던

스는 1 MHz 이상의 주파수에서 일정한 값으로 수렴하게 된다. 표 1에서 Attenuation은 식 (3)의 전파정수에서 α 에 의해 영향을 받고 있으며 β 는 전파속도에 영향을 미친다.

표 1 EMTP를 이용한 서지 전파특성 분석(XLPE 2000mm²)
Table 1 Analysis of surge propagation characteristics using EMTP(XLPE 2000mm²)

Frequency	Attenuation [dB/km]	전파속도 [m/μs]	서지임피던스 [Ω]
1 kHz	0.0204197	185.85	20.54
10 kHz	0.0637161	193.13	19.81
100 kHz	0.203857	196.22	19.51
1 MHz	0.647388	197.21	19.41
10 MHz	2.04998	197.53	19.38
20 MHz	2.89964	197.57	19.37
30 MHz	3.55161	197.59	19.37
100 MHz	6.48537	197.63	19.37
500 MHz	14.5033	197.66	19.37

$$\gamma = \sqrt{Z(\omega)Y(\omega)} = \alpha + j\beta$$

다음으로 크로스본드 3상 케이블선로에서 개폐써지가 도체에 침입할 경우 도체 및 시스 크로스본드 지점의 과도전압을 EMTP를 통해 분석하였다.

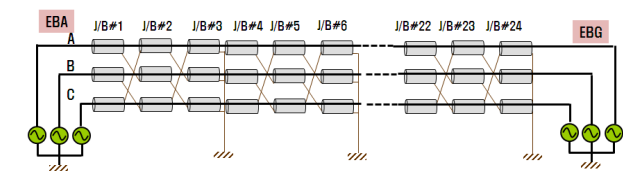


그림 5 154kV XLPE 2000mm² 케이블 모의 계통도
Fig. 5 Simulation system diagram for 154kV XLPE 2000mm² cable

그림 5에서는 EMTP 분석에 사용된 154kV XLPE 2,000mm² 모의 계통도를 보여준다. EBA ~ EBG간 총 24개의 접속함임이 있고 접속함간 길이는 300m로 일정하게 유지하였으며, 선로 투입시 케이블구간에서 발생하는 개폐과전압 특성을 분석하였다. 투입써지에 의한 개폐과전압 분석을 위해 EBG말단 개방상태에서 EBA쪽 전원단에서 전압을 투입하는 것으로 하였으며, 개폐과전압 분석을 위해 사용한 주파수 영역은 1kHz이다[7-9]. 그림 6은 선로 투입시 케이블구간 도체에서 발생하는 과전압의 특성을 나타내었다. 그림에서처럼 투입시 개폐과전압은 써지의 진행과 특성에 의한 영향으로 개방단으로 진행할수록 증가하는 추세를 보이며, 개방단 말단에서 최대 개폐과전압을 보인다. 즉, 투입단에서 개폐과전압을 U_0 라고 한다면 개방단에서는 식 (6)과 같이 U_0 에서 $10^{-\alpha(\text{dB/m}) \times L(\text{m})/20}$ 의 전압이 감쇄된 만큼의 2배 전압이 발생함을 알 수 있다. 반면 그림 7에서처럼 시스와 대지사이의 시스과전압은 인입단에서 최대 과전압을 보이다가 인입단에서 멀어질수록 감소하는 특성을 보인다. 여기에서 크로스본드 지점 리드선 길이는 3m로 가정하였다.

결과적으로 대부분은 선로말단에 설치되어 있는 편단접지

구간 SVL은 편단접지구간 측 변전소 차단기 투입으로 인해 개폐과전압 발생시 높은 과전압에 노출될 수밖에 없는 조건임을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 편단접지방식이 적용된 실계통 과전압 분석을 통해 편단접지구간에 설치된 SVL에 미치는 개폐과전압 최소화 방안을 수립하고자 한다.

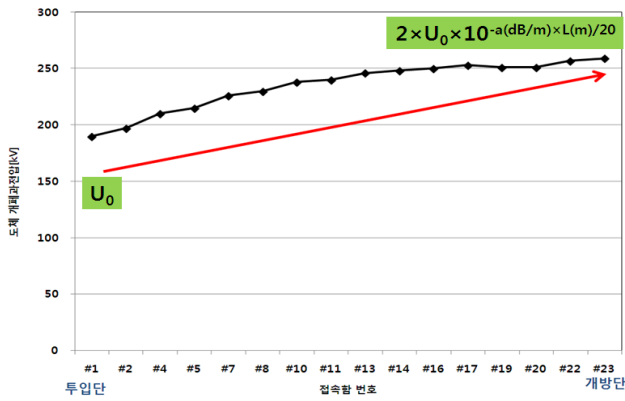


그림 6 도체 개폐과전압 특성
Fig. 6 Characteristics of conductor switching overvoltage

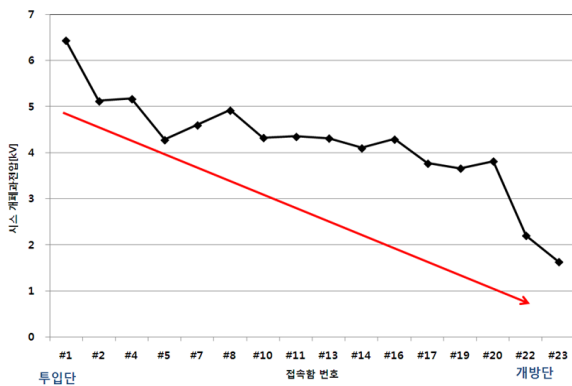


그림 7 시스 개폐과전압 특성
Fig. 7 Characteristics of sheath switching overvoltage

4. 실계통 분석을 통한 편단접지구간 SVL 개폐과전압 특성

본 절에서는 실제 운전 중인 실계통 분석을 통해 편단접지구간 SVL 개폐과전압 과도특성을 분석하였다. 본 논문에서 검토하고자 하는 실계통은 그림 8과 같이 345kV OF 케이블 2000mm² 계통으로 접속합이 총 42개이며 선로 길이는 21km이다. 그림 8에서처럼 편단접지 방식은 선로 말단인 J/B #42에 적용되었다. 그러나 위 계통에서는 선로 부하조정 중 B S/S에서 차단기 투입시 개폐과전압 등 이상전압으로 인한 편단접지구간 SVL의 손실이 지속적으로 발생하는 문제점이 있었다. 그림 7에서처럼 SVL이 설치된 시스의 개폐과전압은 차단기 투입단에서 최대 과전압을 보이며 개방단으로 갈수록 과전압이 저감되는 특성을 보인다. 따라서 그림 8과 같은 계통에서 편단접지 구간에서 발생하고자 하는 과전압의 영향을 줄이고자 현장 작업 여건을 고려하여 그림 9와 같이 편단접지 구간을 기존의 J/B #42에서 J/B #40으로 크로스본드 대구

간 기준 1구간 앞으로 변경하여 시스템을 개선하였다. 본 논문에서는 아래와 같이 케이스를 설정하여 편단접지구간 변경에 따른 SVL의 개폐과전압 영향을 분석하였으며 과전압의 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 수립하였다.

- Case 1 : 편단접지구간 변경이전(위치 : J/B #42)
- Case 2 : 편단접지구간 변경이후(위치 : J/B #40)

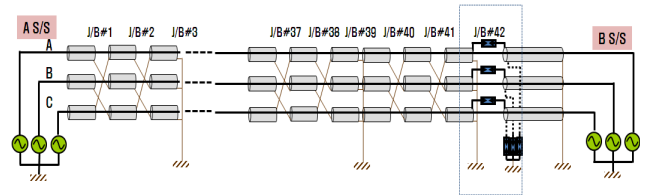


그림 8 편단접지방식이 적용된 실계통 시스템도(Case 1)
Fig. 8 System diagram of real underground power cables applied to single point bonding(Case 1)

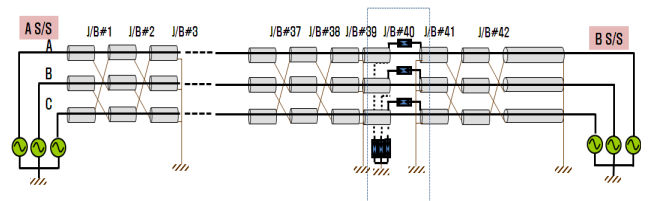


그림 9 편단접지방식 위치가 변경된 실계통 시스템도(Case 2)
Fig. 9 System diagram of real underground power cables applied to changed single point bonding position (Case 2)

표 2에서는 B S/S측 차단기 투입시 Case 1인 편단접지구간 변경이전의 시스과전압을 나타내었다. 표에서처럼 시스과전압은 편단접지구간에서 9.82kV로 최대값을 보였으며 J/B #1측으로 갈수록 저감되는 특성을 보인다. 반면 Case 2의 편단접지구간 개폐과전압은 8.14kV를 보였다. 이를 통해 Case 2는 Case 1에 비해 17.1%가 저감되는 효과가 있음을 확인하였다. 그러나 Case 2의 편단접지구간 과전압도 여전히 높게 형성된다.

표 2 편단접지구간 변경이전 시스 개폐과전압(Case 1)
Table 2 Sheath switching overvoltage before single point position change(Case 1)

시스 개폐과전압[kV]						
J/B#1	J/B#2	J/B#37	J/B#38	J/B#40	J/B#41	J/B#42 (편단)
0.17	0.23	4.96	5.27	6.77	7.62	9.82

표 3 편단접지구간 변경이후 시스 개폐과전압(Case 2)
Table 3 Sheath switching overvoltage after single point position change(Case 2)

시스 개폐과전압[kV]						
J/B#1	J/B#2	J/B#4	J/B#5	J/B#37	J/B#38	J/B#40 (편단)
0.24	0.33	0.51	0.49	5.77	6.07	8.14

일반적으로 송전선로는 변전소와 변전소 간을 연결하는 양단전원의 개념으로 투입시 개폐과전압은 먼저 투입되는 변전소의 차단기가 동작시 나타나게 된다. 따라서 본 논문에서는 편단접지구간의 SVL 개폐과전압 영향을 최소화 하는 방안으로 선로 투입시 편단접지방식이 적용된 구간에서 먼 쪽의 차단기를 먼저 투입하는 방식 차단기 조작순서를 조정하는 방안을 제안하고자 한다.

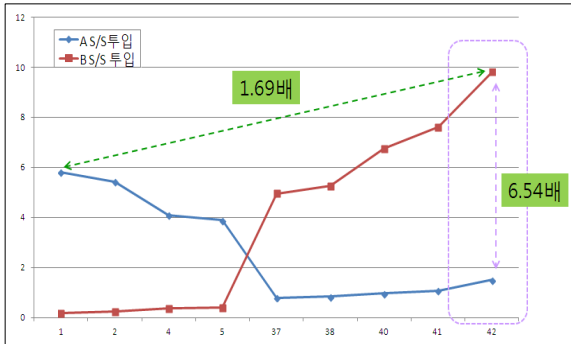


그림 10 차단기 조작순서에 따른 개폐과전압 특성(Case 1)
Fig. 10 Switching overvoltage according CB operating order

표 4 차단기 조작순서에 따른 개폐과전압 계산(Case 1)
Table 4 Switching overvoltage calculation according to CB operating order

	J/B 1	J/B 2	J/B 4	J/B 5	J/B 37	J/B 38	J/B 40	J/B 41	J/B 42 (편단)
	시스과전압(kV)								
A S/S 투입	5.8	5.43	4.1	3.89	0.8	0.84	0.96	1.08	1.5
B S/S 투입	0.17	0.23	0.38	0.39	4.96	5.27	6.77	7.62	9.82

실제로 그림 10과 표 4와 같이 Case 1에서 A S/S측 차단기가 먼저 투입되는 경우와 B S/S측 차단기가 먼저 투입되는 경우를 각각 분석하여 비교한 결과 A S/S 차단기 선 투입시 J/B #42의 편단접지구간 시스과전압은 1.5kV인 반면 B S/S측 차단기 선 투입시 편단접지구간 시스과전압이 9.82kV로 차단기 조작순서 조정에 의해 6.54배(9.82kV → 1.5kV)의 과전압이 저감되는 효과가 있음을 검증하였다. 또한 모든 계통에서의 최대 시스 과폐과전압도 A S/S 차단기 선 투입시 J/B #1에서의 5.8kV와 비교하면 B S/S 차단기 선 투입시 1.69배(5.8kV → 9.82kV)의 과전압이 상승되고 있음을 확인하였다.

그림 11과 표 5에서는 Case 2에서 A S/S측 차단기가 먼저 투입되는 경우와 B S/S측 차단기가 먼저 투입되는 경우를 각각 분석하여 비교한 결과를 보여준다. 그림에서처럼 A S/S 차단기 선 투입시 J/B #40의 편단접지구간 시스과전압은 2.88kV인 반면 B S/S측 차단기 선 투입시 편단접지구간 시스과전압이 8.14kV로 차단기 조작순서 조정에 의해 2.82배(8.14kV → 2.88kV)의 과전압이 저감되는 효과가 있음을 검증하였다. 또한 모든 계통에서의 최대 시스 과폐과전압도 A S/S 차단기 선 투입시 J/B #1에서의 5.72kV와 비교하면 B S/S 차단기 선 투입시 1.42배(5.72kV → 8.14kV)의 과전압이 상승되고 있음을 확인하였다.

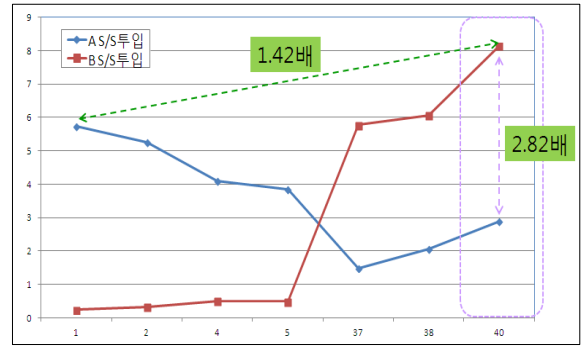


그림 11 차단기 조작순서에 따른 개폐과전압 특성(Case 2)
Fig. 11 Switching overvoltage according CB operating order

이처럼 개폐씨지 등 이상전압에 의해 편단접지구간 SVL의 소손이 지속적으로 발생하는 계통에서 양단 변전소 차단기 조작순서 조정에 의해 상당한 과전압의 저감효과가 있음을 확인하였다.

표 5 차단기 조작순서에 따른 개폐과전압 계산(Case 2)
Table 5 Switching overvoltage calculation according to CB operating order

	J/B 1	J/B 2	J/B 4	J/B 5	J/B 37	J/B 38	J/B 40 (편단)
	시스과전압(kV)						
A S/S 투입	5.72	5.26	4.1	3.85	1.49	2.06	2.88
B S/S 투입	0.24	0.33	0.51	0.49	5.77	6.07	8.14

표 6 케이스별 편단접지구간 시스과전압 시뮬레이션 결과 비교

Table 6 Comparison of sheath overvoltage EMTF simulation results at single point bonding position in each case

CB 투입	Case 1 (at J/B #42)	Case 2 (at J/B #40)	Difference [%]
A S/S 투입시	1.5 kV	2.88 kV	
B S/S 투입시	9.82 kV	8.14 kV	17.1 %
Difference	6.54배	2.82배	

표 6에서는 각 케이스별 편단접지 구간에서 차단기 조작순서에 따른 개폐과전압 EMTF 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 표에서처럼 편단접지구간 위치변경에 의한 저감율은 17.1%인 반면 차단기 조작순서 조정에 의해 편단접지구간 시스 최대 개폐과전압은 6.54배까지 저감됨을 알 수 있다.

편단접지구간에서 과전압에 의한 SVL 소손시 역폭주로 인한 화재 발생가능성이 있으며, 특히 낙뢰나 개폐씨지와 같은 과전압에 의해 접속함 및 방식층의 절연내력을 초과하여 고장을 발생시킬 가능성이 있는 만큼 안정적인 계통운영을 위해 과전압 최소화에 대한 방안 수립이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 그림 8과같이 B S/S 측에 편단접지구간이 있는 경우 편단접지구간 과전압 최소화를 위해 아래와 같이 차단기 조작순서를 조정하는 방안을 제시하고자 한다. 만약 편단접지구간이 A S/S측에 있는 경우는 선로 투입 및 개방시 차단기 조작순서를 반대로 적용하면 된다.

- 선로 투입시 : A S/S CB On → B S/S CB On
- 선로 개방시 : B S/S CB Off → A S/S CB Off

즉, 위와 같은 방법은 선로 투입시 편단접지구간 지점에서 먼 쪽의 변전소 차단기를 먼저 투입하고, 선로 개방시는 편단접지구간 지점에서 가까운 변전소 차단기를 먼저 차단하는 방식으로 접지방식이거나 위치 등의 시스템 변경에 의한 저감방안 보다 과전압 저감효과가 매우 높을 뿐 아니라 단순 차단기 조작순서 변경에 의해 적용할 수 있는 만큼 설계통 적용이 쉽다.

5. 결 론

본 논문에서는 개폐과전압 발생시 지중송전선로 편단접지 특성을 고려한 SVL의 과도특성에 대해 검토하였다. 본 논문에서 검토한 내용을 요약하면 아래와 같다.

1) 지중송전선로 투입단에서 개폐과전압을 U_0 라고 한다면 개방단에서는 U_0 에서 $10^{-a(\text{dB/m}) \times L(\text{m})/20}$ 의 전압이 감쇄된 만큼의 2배 전압이 발생한다. 또한 시스과전압은 인입단에서 최대 과전압을 보이다가 인입단에서 멀어질수록 감소하는 특성을 보인다.

2) 편단접지방식이 적용된 설계통 개폐과전압 분석 결과 편단접지구간을 크로스본드 대구간 기준 1구간 앞으로 이동할 경우 17.1%가 저감(9.82kV → 8.14kV)되는 효과가 있으나 편단접지구간 과전압은 여전히 높게 형성된다.

3) 차단기 조작순서 조정에 의해 선로 투입시 편단접지방식이 적용된 구간의 반대편 차단기를 먼저 투입할 경우 개폐과전압은 6.54배까지 저감(9.82kV → 1.5kV)됨을 확인하였다.

4) 따라서 본 논문에서는 A, B의 양단 변전소중 B S/S 측에 편단접지구간이 있는 경우 편단접지구간 과전압 저감을 위해 아래와 같이 차단기 조작순서를 조정하는 방안을 제시하였다.

- 선로 투입시 : A S/S CB On → B S/S CB On
- 선로 개방시 : B S/S CB Off → A S/S CB Off

위에서 제안하는 방식은 시스템 변경이 아닌 단순 차단기 조작순서 조정에 의해 적용할 수 있는 만큼 설계통 적용이 용이하여 현재 편단접지구간 SVL 소손이 지속적으로 발생한 선로에서는 본 논문의 연구결과를 근거로 위와 같은 방식이 적용중이다. 실제로 SVL은 정기 점검주기가 길고 내부 소자의 소손이 육안으로 관측이 안 될 경우 지중송전계통에서 과전압 발생시 접속함 및 방식층의 절연레벨을 초과할 수 있으며, SVL 소자를 통한 대전류 통전시 화재발생 등 2차사고로 과급될 가능성이 있는 만큼 과전압에 취약한 편단접지구간에서는 SVL이 받는 전기적인 스트레스를 최소화할 필요가 있다.

References

[1] KEPCO, "Underground Transmission Cable System", 2002. 12.
 [2] KEPRI, "A study on the composition scheme establishment of optimum system in Underground

Transmission Systems(Final report), 2009. 9
 [3] Chae-Kyun Jung, Ji-Won Kang, Hung-Sok Park, Jin Kim "A Study on Overvoltage Reduction Method of Single Point Bonded Section on Combined Transmission Lines", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 58, No. 10, 2009. 10
 [4] Chae-Kyun Jung, Hung-Sok Park, Tai-In Jang, Ji-Won Kang, Jong-Keon yoon, "A Study on Transient Characteristics of Single Point Bonded Grounding in Underground Power Cable Systems", 2013 KIEE Summer Annual Conference Proceedings, 2013. 07
 [5] IEEE, "IEEE Guide for the Application of Sheath Bonding Methods for Single-conductor Cables and Calculation of induced Voltage and Current in Cable Sheaths, ANSI/IEEE Std. 575-1998
 [6] CIGRE WG B1.18, "Special Bonding of High Voltage Power Cables, Oct. 2005
 [7] Chae-Kyun Jung, Hung-Sok Park, Ji-Won Kang, Jong-Beom Lee, "A Study on Reclosing Decision on 154kV Combined Transmission Lines", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No. 10, 2010. 10
 [8] Jong-Beom Lee, Chae-Kyun Jung, Kwang-Sik Lim, Ji-Won Kang, "Effects of Reclosing for Insulation Coordination in 345kV Combined Transmission Lines", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No. 8, 2010. 8
 [9] KEPRI "A Study on Theory and Application of Power System Transient Anlysis Program(Final Report), 1991. 1

저 자 소 개



정 채 균 (鄭彩均)

1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업.
 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).
 2006년~2007년 독일 University of Siegen, Post-doc 연구원.
 2007년 ~ 현재 한전 전력연구원 송변전연구소 선임연구원

E-mail : chekyun@kepri.re.kr



강 지 원 (姜地原)

1987년 한양대 공대 전기공학과 졸업.
 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 2003년 동 대학원 기전공학과 졸업(공학박사).
 1993년 ~ 현재 한전 전력연구원 송배전연구소 책임연구원

E-mail : jwkang@kepri.re.kr