

지중송전케이블의 불완전 순환전류에 관한 연구

이관우, 이용성, 김보경*, 박복기**, 박대희
원광대학교, 메가파워테크*, 호원대학교**

A Study on unperfected circulating current of underground cable

Kwan-Woo Lee, Yong-Sung Lee, Bo-Kyeng Kim, Bok-Ki Park*, and Dae-Hee Park
Wonkwang Univ., Megapower Tech.*, Howon Univ.**

Abstract

In this paper, we studied on permissible current of unperfected earthing for cross-bond system. The factors of unperfected earth were jacket damage, cross-bonding mistake, arrester damage, effect of other circuit but we only studied permissible current of arrester or jacket damage. In the result, we earned that permissible current of normal 154[kV] CV 1Cx400SQMM cable is 760[A] but current of unperfected earthing cable is 76[A]. unperfected earthing confirmed that accident of underground cable could occur. So, we could confirmed that Earthing resistance of unperfected earthing need to limit.

Key Words : Unperfected earth, Circulated current, Permissible Current, Sheath current loss

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 전력 수요는 급성장하게 되고, 특히 도심지에서는 도시 미관 및 가공송전선로의 수요 한계 때문에 지중송전 선로로 대체되는 것이 증가되는 추세이다. 154[kV] 및 345[kV] 지중케이블에서 송전 용량을 높이고 통신선에 유도 장애를 주는 유도 전압을 낮추기 위하여 크로스 분당 시스템을 사용하는 것이 고전압에서는 일반적인 추세이다. 스위스 유기 전압은 점검원의 안전 및 기기의 안전을 위하여 크로스 분당 시스템에서는 과전압을 방지하기 위하여 어레스터를 사용하고 있다. 케이블 및 방식층도 시간이 경과되면서 열화에 의하여 손상이 발생하면 크로스 분당 시스템에 영향을 받게 되어 스위스 순환전류[1]가 현저히 저하된다. 이 경우 시스 순환전류는 시스 손실을 발생시키게 되는데 이 시스손은 케이블 허용전류를 급격히 저하시키게 된다.

스위스 순환전류의 불완전은 타회선에 의한 영향, 크로스 분당 미스테인크, 접지 불완전, 인접 회선

의 영향, 급격한 부하 변동등 여러 가지가 있다.

본 논문은 이 관점에서 순환전류의 불완전한 영향을 끼치는 영향중 일부인, 시스 손상 및 어레스터 불량인 154[kV]케이블 크로스분당 시스템의 계통에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 지중 송전 선로의 모델

지중 크로스 분당 시스템은 아래 그림과 같다.

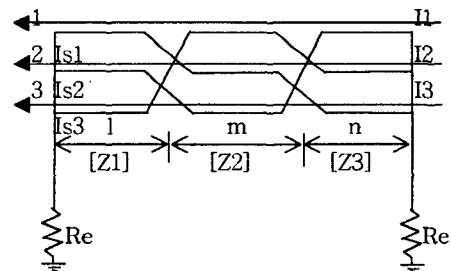


그림 1. 지중케이블 크로스 분당 시스템

이 경우 크로스 본딩 시스템의 쉬스 순환 전류의 식은 식 1과같이 주어진다.

$$l*[z1][Is1] + m*[z2][Is1] + n*[z3][Is1] + [Vs] + 2 \operatorname{Re} \Sigma Is1 = 0 \quad (1)$$

$$[Vs]=l [Z1]*I1 + m [Z2]*I2 + n[Z3]*I3$$

여기서 l,m,n : 크로스본딩구간의 경간 길이[km]
 [z1],[z2],[z3] : 각 구간에서의 케이블 시스템
 대지귀로 임피던스 행렬[Ω/km]

[Is1] : 순환전류 행렬

[Vs] : 케이블 쉬스 유기전압 행렬

Re : 접지 저항

$$[z1] : \begin{pmatrix} Z11 & Z12 & Z13 \\ Z21 & Z22 & Z23 \\ Z31 & Z32 & Z33 \end{pmatrix}$$

$$[z2] : \begin{pmatrix} Z22 & Z23 & Z21 \\ Z32 & Z33 & Z31 \\ Z12 & Z13 & Z11 \end{pmatrix}$$

$$[z3] : \begin{pmatrix} Z33 & Z31 & Z32 \\ Z13 & Z11 & Z12 \\ Z23 & Z21 & Z22 \end{pmatrix}$$

그러나 방식층 불량 및 쉬스 접지 불량인 경우 그림 1은 그림 2와 같이 변형된다. 이 경우 zz에 의하여 크로스 본딩 시스템은 영향을 받게 된다. 즉 zz에 의하여 쉬스 순환 전류 Is1, Is2, Is3는 변화하게 된다. 이 경우 식 (1)은 식 (2)와 같이 변환된다. 즉 zz에 의하여 순환전류는 왜곡되어 흐르게 된다.

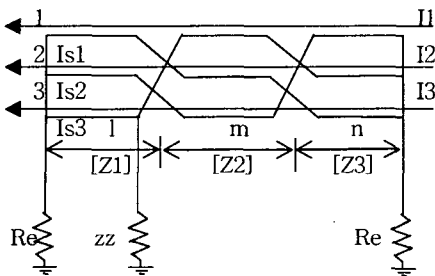


그림 2. 불완전접지시의 크로스본딩 시스템

$$l*[z1][Is1] + m*[z2][Is1] + n*[z3][Is1] + [Vs] + 2 \operatorname{Re} \Sigma Is1 + Za = 0 \quad (2)$$

$$[Z1] : \begin{pmatrix} Z11 & 0 & Z12 & Z13 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z21 & 0 & Z22 & Z23 \\ Z31 & 0 & Z32 & Z33 \end{pmatrix}$$

$$[Z2] : \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z22 & Z23 & Z21 \\ 0 & Z32 & Z33 & Z31 \\ 0 & Z12 & Z13 & Z11 \end{pmatrix}$$

$$[Z3] : \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z22 & Z23 & Z21 \\ 0 & Z32 & Z33 & Z31 \\ 0 & Z12 & Z13 & Z11 \end{pmatrix}$$

$$[Za] : \begin{pmatrix} \infty & -\infty & 0 & 0 \\ -\infty & \infty & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

zz : 사고시 접지 저항

이 경우 순환전류도 4가지로 나뉘어 지게 된다.

이 경우 zz에 의하여 방식층 및 접지 불완전에 의한 저항의 변화와 zz를 통하여 흐르는 순환전류를 구할 수 있다.

2.2 시스 순환 전류의 계산

구간 크로스 본딩이고, 154[kV] 1c x 400SQMM의 l=511[m], m=456[m], n=499[m]의 순환전류를 구하면, zz의 값의 변동에 따라 순환전류 및 순환전류손은 표1처럼 변동된다. 케이블 포설은 지중, 기중, 직매포설의 종류가 있으며, 이 포설은 기중포설로 제한하였다. 지중이나 직매 포설이라도 크로스 본딩 방식이면, 허용 전류는 달라질 것으로 예상된다. 기중포설의 허용 전류는 식 (3)에 의하여 구할 수 있다.

표 1. 손실 전류 표 및 불완전 저항

Za[Ω/km]	0.001	0.1	1	10	100
Isa	277	89	22	13	12
Isb	-129	-29	6	11	12
Isc	18	18	18	18	18
Isd	18	18	18	18	18
순환전류 [A]	407.2	118.63	15.9	1.65	0.165
시스손실 [W/km]	165	1407	254	27	2.74

이 경우 케이블의 허용전류[2]는

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2 - T_0}{\rho \rho R_{th}}} \quad (3)$$

- I : 허용 전류 [A] :
- T1 : 도체의 온도 [°C] : 90
- T2 : 기저 온도 [°C] : 40
- Td : 유전체의 온도 상승 [°C] : 0.4
- Rth : 전열 저항 [°C.cm/W]
- Rth = R1 + (1 + Ps) (R2 + R3)

이다.

- R1 : 절연체의 열저항 [°C.cm/W] : 85.7
- R2 : 방식층의 열저항 [°C.cm/W] : 9.8
- R3 : 표면 방산 열저항 [°C.cm/W] : 36.5

여기서 케이블 허용 전류는 순환 전류손에 영향을 받게 되므로 순환 전류만 제외한 나머지 계수는 동일하게 놓을 수 있다. 순환전류손은 시스 손실율에 영향을 받게 되는데 이 경우 회로 손실율에 적용할 수 있다.

$$PS = P1 + P2$$

- P1 : 회로 손실율
- P2 : 쉬스 와전류 손실율 : 0.157

시스 회로손실율은 식 (4)과 같이 결정된다.

$$P1 = Ws/Wc = I_s^2 R_s / I^2 / r \quad \text{---(4)}$$

- Ws : 시스 손실율 [w/cm]
- Wc : 도체 손실율 [w/cm]
- Rs : 시스 저항 [Ω/km]

여기서 Ws 및 Rc는 케이블 형상에 의하여 결정되는 상수이므로 허용 전류 만 남게 된다.

이 경우 접지 불완전에 따른 쉬스 손실율을 구하게 되면 표와 같이 변하게 된다. 그리하여 불완전 접지에 따른 허용전류를 산정하면 표 2와 같다.

표 2. 불완전 접지에 따른 허용전류

접지저항	기준	0.001	0.1	1	10	100
시스 손실	0.2	5.85	302	12.1	0.643	5.9E-2
도체 손실율	4.6E-4	2.8E-4	4.6e-5	2.1E-4	4.2E-4	4.6E-4
허용전류 [A]	760	464	76	342	693	755

상기 표 2로부터 접지 저항에 따른 허용 전류는 절연 저항의 증가에 따라 점차 감소하다가 다시 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 접지 저항을 고려하지 않고 크로스 본딩 시스템시 허용 전류는 760[A]이었으나 불완전 접지가 발생하는 경우 76[A]까지 저하될 수 있게 됨으로 이 경우는 바로 송전 용량의 과부하로 사고로 이어질 수가 있게 된다.

불완전 접지는 케이블의 포설시 방식층의 피복 손상 및 케이블 어레스터의 불량등에 의하여 발생할 수 있다.

그래프에서 보는 것과 같이 순환전류가 많이 흐를 경우 허용 전류가 저하가 되는 것이 아니라 불완전 전류가 118[A]인 경우 즉, 0.1[Ω/km]근방에서 더 허용 전류가 저하됨을 확인하였다.

이 결과로부터 크로스 본딩 시스템은 허용 전류를 저감시키는 이상적인 시스템이긴 하지만 크로스 본딩 이상이 발생하면 허용 전류는 급격히 저하됨을 확인할 수 있었다.

그러므로 본딩 저항 및 방식층의 피복 벗겨짐등을 제한하는 규격이 필요할 것으로 예상된다.

3. 결과 및 고찰

케이블의 허용전류는 IEC 287 및 JCS 168에 적용되어 있다. 그러나 일반적인 사항으로서 순환전류의 비가 적용되어진 경우는 없다.

순환전류의 불완전은 타 케이블의 영향, 크로스 본드 미스테인크, 접지 불량, 방식층 불량등에 의하여 급격히 변화가 되며 이는 시스 손실로 연결된다. 불완전한 경우 발생하는 시스 손실은 케이블의 송전 용량은 1/10정도로 떨어트리나 아직 이에 대한 시스템적인 대책은 전무한 실정이다. 그러므로 방식층 및 CCPU에 의한 불완전 접지 저항의 체크는 전력케이블 시스템의 진단에 필요한 사항으로 예상된다.

순환전류의 경우 무조건적인 저감이 아니라 특정한 부분에서 송전용량의 저하가 발생하기 때문에 위험한 부분의 순환전류를 제거하는 것이 필요

하다. 이를 위하여 시스 손실이 가장 피크로 발생하는 지점을 피하도록 접지저항을 체크하는 것이 필요하다. 또한 허용전류에 영향을 미치는 것은 열저항인데 도체 및 절연체의 열저항은 표3 와 같다.

표 3. 도체 및 절연체의 열저항

재질종류	Cu	Al	PE	PVC
열저항 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)	0.25	0.4	450	600

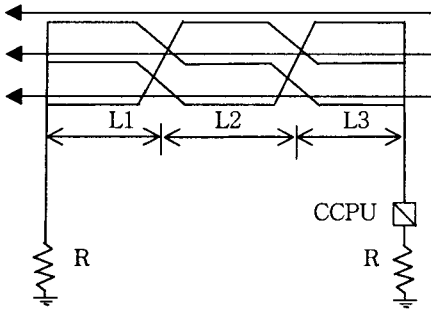


그림 3. 불완전 접지 저항 측정을 위한 초고압 케이블 시스템도

그러므로 도체의 경우에는 열전도가 도체 방향으로 전하여 지는 것으로 검토하여도 큰 오차는 발생하지 않을 것이다. 방식층에서 접촉하는 열저항 및 본딩 미스에 의한 열저항도 절연체의 열저항의 약 2000배 정도되기 때문에 본딩에 의한 열이 쉬스 방향으로 전달되어 열적 평형이 되었다고 가정하여도 허용전류 검토에는 큰 영향을 미치지 않는다고 생각할 수 있다. 그러나 접촉 열저항은 아직 검토되어진 예가 없기 때문에 도체의 불완전 접촉 저항의 등가 저항을 만드는 것은 향후 연구할 과제이다. 그리고 방식층 및 어레스터의 불완전 저항을 측정하기 위하여는 그림3과 같은 회로를 구성하면 보다 효과적으로 불완전 저항을 관리할 수가 있다.

4. 결론

이상의 이론적 검토 결과를 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 시스 순환 전류는 정상 크로스 본드의 경우에는 불완전 접지가 일정 값 이상, $100[\Omega/\text{km}]$ 인 경우에 허용전류는 큰 차이가 없다.
2. 포설 및 어레스터 불량이가 발생하면 이상 순환 전류가 발생된다. 이 경우 허용전류는 정상시보다 약 1/10정도로 감소되는 것을 확인할 수 있었다.
3. 그러므로 시스 불완전 접지 저항을 점검할 수 있는 장치가 필요하다. 특히 시스 불완전 접지 저항이 허용전류를 최저로 발생시키는 지점을 피하는 방법이 필요하다.

참고 문헌

[1] J. W. Kang, Hai-Won Yang, “해석 및 측정을 통한 시스 순환전류 특성 및 상승원인검토”, J. of KIEE. vol. 51A, No. 10 p. 525-553, 2002.

[2] S. H. Jung, et. al. “The Development of Program for Determining the Ampacity of Underground Transmission Cable”, 한국전력공사 전력연구원, p. 12-24, 2001.