

가공송전선 지락시 고장전류의 접지분류계수 산정에 관한 연구

論 文

57-11-6

A Study on Calculation of Line-To-Ground Fault Current Split Factor to Earth in Overhead Transmission Lines

崔鍾基[†] · 李源敎^{*} · 崔仁赫^{**} · 李相潤^{***} · 黃甲喆[§]

(Jong-Kee Choi · Won-Kyo Lee · In-Hyuk Choi · Sang-Yun Lee · Kab Cheol Hwang)

Abstract - In case of a line-to-ground fault at transmission lines, a portion of fault current will flow into the earth through the footings of the faulted tower causing electrical potential rise nearby the faulted tower footings. In this situation, any buried pipelines or structures nearby the faulted tower can be exposed to the electrical stress by earth potential rise. Although many research works has been conducted on this phenomena, there has been no clear answer of the required separation distance between tower footings and nearby buried pipeline because of its dependancy on the soil electrical characteristics of the concerned area and the faulted system.

Key Words : Ground, Split Factor, Shielding Factor, Fault

1. 서 론

지락고장전류의 접지분류계수란 고장전류 중 중성선이 아닌 대지를 통해 귀환하는 전류의 비(比)로 정의되며, 지락사고시 접지근 인근의 대지전위간섭이나 위험전압의 평가에 매우 중요한 요소이다. 3상 전력계통을 정상, 역상 및 영상 회로로 분할하여 해석하는 대칭좌표법은 지락전류의 귀로인 중성선(ex.가공지선)과 대지를 통합하여 하나의 도체로 해석하기 때문에 대지와 중성선간 전류분포를 알 수 없다는 단점이 있다. 따라서 ANSI/IEEE 변전소 접지설계 지침인 IEEE Std. 80-2000에서는 간단한 수 계산식을 이용하여 접지분류계수를 계산하는 몇 가지 방법을 제시하고 있으나 도체 간 유도결합이 무시되고 테이블 또는 그래프를 참조하는 등 정확성이나 사용상 불편한 점이 있고 선종과 임피던스가 국내와 달라 그 적용이 곤란한 면이 있다[1]. 이처럼 간단한 수 계산식으로 접지전류의 계산이 어렵기 때문에 여러 연구자들이 접지전류 계산을 위한 모델을 제안하였다. Sebo, Meliopolus는 대칭좌표요소의 영상회로를 일부 수정하여 접지전류를 산정하는 방법을 제안하였으나 그 계산절차가 복잡하여 오늘날은 거의 사용되지 않는다[2,3]. F.P.Dawalibi는 절탑 다중접지로 인해 회로방정식의 개수가 커져 계산량이 많아지는 것을 해결하고자 양단소거법(double-sided elimination

method)를 제시하였고[4] Popos 등 여러 연구자들이 접지전류를 효율적으로 계산하기 위한 모델들을 제안하였다[5,6].

본 논문에서는 컴퓨터를 이용하지 않고도 가공지선의 차폐계수와 테브난 등가임피던스를 이용하여 접지분류계수를 계산하는 방법을 제안하였으며 ATP-EMTP를 이용한 계산 결과와의 상호비교를 통해 수 계산식의 적용범위를 검토하였다.

2. 본 론

2.1 접지분류계수 계산모델

그림 1은 1선지락 사고시 고장전류(I_F)가 전원단으로 돌아가는 두 개의 경로를 보여주는 그림이며, 지락전류는 ① 가공지선과 ② 대지를 통해 전원단으로 귀환하게 된다. 가공지선의 차폐계수(K)는 전력선 인근의 유도장해 평가시 기유도전류(inducing current) 산정에 사용되는 계수로서 고장상-가공지선간 유도결합 및 지락고장전류(I_F)로 인해 고장전류의 반대방향으로 유기되는 가공지선 전류로 인해 불평형전류(I_G) 또는 기유도전류가 얼마나 감소하는지를 나타내는 값이며 (식 1)로 정의된다. 가공지선의 차폐계수(K)의 범위는 0과 1 사이이며 0에 가까울수록 가공지선에 의한 차폐효과가 우수하여 불평형전류 또는 기유도전류가 작아짐을 의미한다.

$$K = \left| 1 - \frac{Z_m}{Z_n} \right| \quad (1)$$

(단, Z_m : 상도체-가공지선 상호임피던스 [Ω/km],

Z_n : 가공지선 자기임피던스 [Ω/km])

[†] 교신저자, 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소
선임연구원

E-mail : jkchoi@kepeco.co.kr

^{*} 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원

^{**} 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 책임연구원

^{***} 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 일반연구원

[§] 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 수석연구원

接受日字 : 2008年 8月 22日

最終完了 : 2008年 9月 3日

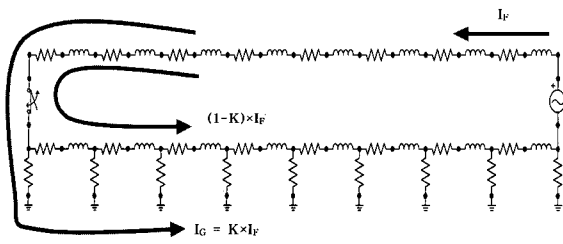


그림 1 가공지선과 대지간 지락고장전류(If) 분포
Fig. 1 Ground Fault Current Distribution between Overhead Groundwire and Earth

그림 1에서 불평형전류 또는 대지를 통한 귀로전류(Ig)는 지락점을 통해 대지로 빠져나가는 전류(Ig)와 그 외의 철탑 다중접지를 통해 대지로 가는 귀로전류(Ig-Ig)로 나누어 생각할 수 있다(그림 2 참조).

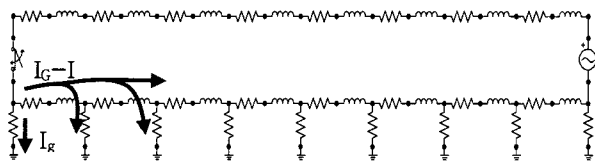


그림 2 대지 귀로전류(Ig)의 분포
Fig. 2 Ground Current Distribution between Faulted Tower and others

지락점의 가공지선에서 전원단 측을 바라본 테브난 등가임피던스(또는 chain impedance)를 Z_{th_{ev}}라고 하면 그림 2의 회로는 그림 3으로 바꾸어 표현할 수 있다.

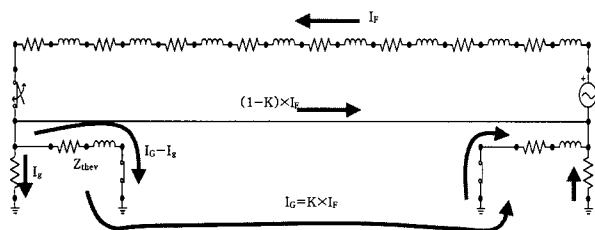


그림 3 지락전류 분포를 표현한 등가회로
Fig. 3 Equivalent Circuit for Fault Current Distribution

만일 가공지선과 전원단 사이의 거리가 충분히 멀다면 사다리회로의 등가임피던스식을 이용하여 Z_{th_{ev}}는 (식 2)로 표시할 수 있다.

$$Z_{th_{ev}} = Z_n + (R_T // Z_{th_{ev}}) \leftrightarrow Z_{th_{ev}} = \frac{Z_n \pm \sqrt{Z_n^2 + 4 \times Z_n \times R_T}}{2} \quad (2)$$

(단, Z_{th_{ev}} : 가공지선과 철탑 다중접지의 테브난 등가임피던스 [Ω],
Z_n : 가공지선 한 경간의 자기임피던스 [Ω],
R_T : 철탑접지 평균값 [Ω])

그림 3으로부터 지락점에서 접지 분류계수(β=I_g/I_F)는 (식 3)으로 표현되고, 만일 선로가 양쪽으로 있다면 가공지선 등

가임피던스의 병렬연결 효과에 의하여 그 값이 1/2이 되므로 (식 4)가 된다.

$$\beta = \frac{I_g}{I_F} = \frac{Z_{th_{ev}}}{R_g + Z_{th_{ev}}} \times K \quad (3)$$

$$\beta = \frac{I_g}{I_F} = \frac{0.5Z_{th_{ev}}}{R_g + 0.5Z_{th_{ev}}} \times K \quad (4)$$

(단, β : 접지 분류계수, R_g : 지락점의 접지저항 [Ω],
Z_{th_{ev}} : 선로 1개의 가공지선 및 송전철탑 다중접지의 테브난 등가임피던스 [Ω])

2.2 제안방법의 검증

그림 4는 154kV 2회선 선로를 대상으로 접지분류계수를 계산하기 위한 ATPDraw/EMTP 모델을 보인 것이다. 철탑간 경간은 300 [m], 철탑의 평지저항은 15 [Ω]을 가정하였으며 지락점의 철탑저항이 1~15 [Ω] 범위에 있을 때 저항값에 따른 EMTP 계산값과 (식 4)를 이용한 계산값을 서로 비교한 결과를 그림 5에 보였다.

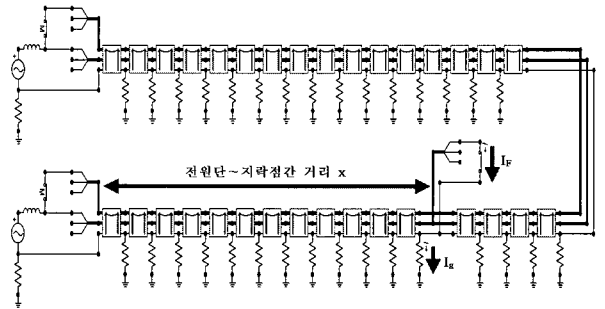


그림 4 접지 분류계수(Ig/If) 계산을 위한 ATPDraw/EMTP 모델
Fig. 4 ATPDraw/EMTP Model for Calculation of Fault Current Split Factor

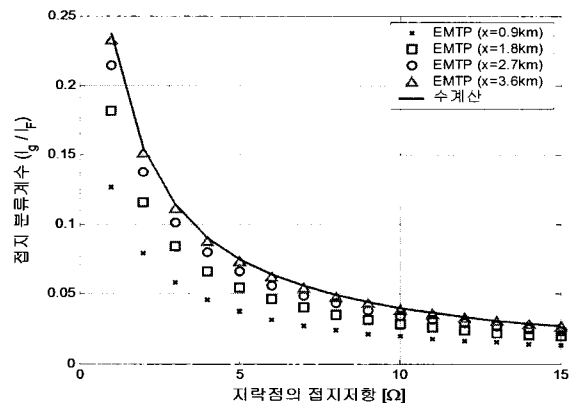


그림 5 EMTP와 수계산 결과 비교
Fig. 5 Comparison of EMTP and the Proposed Calculation Method

그림 5를 보면 지락점과 전원단 사이의 거리가 작을수록 수계산식의 결과는 분류계수를 과대평가하게 됨을 볼 수 있다. 지락점과 전원단간 거리 및 지락점의 접지저항에 따른 수계산의 오차율을 계산한 결과를 그림 6에 보였다.

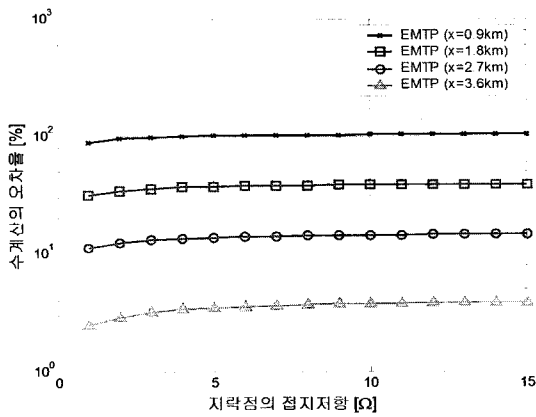


그림 6 수 계산의 오차율 비교
Fig. 6 Errors of the Hand-Calculation Method

이 같은 결과는 (식 2)가 철탁접지가 병렬 연결된 가공지선 선로의 길이가 무한하다는 가정을 전제로 하고 있으나, 지락점과 선원단간 거리가 짧아질수록 이 가정에 위배되기 때문이다. 이를 보여주는 것이 그림 7로서 경간의 개수 또는 가공지선 선로의 길이가 길수록 (식 2)에 수렴하고 있으며 약 3 [km] 이상이 되면 (식 2)의 테브난 등가임피던스로 표현이 가능함을 보여준다. 즉 첫째 경간에서 테브난 등가 임피던스는 가공지선 임피던스(0.0614+j0.1925 [Ω] = 2046+j0.6416 [Ω/km] × 0.3 [km])와 철탁접지(15 [Ω])를 직렬 연결한 값이나 두 번째 경간부터는 그 이전 경간의 등가임피던스와 철탁

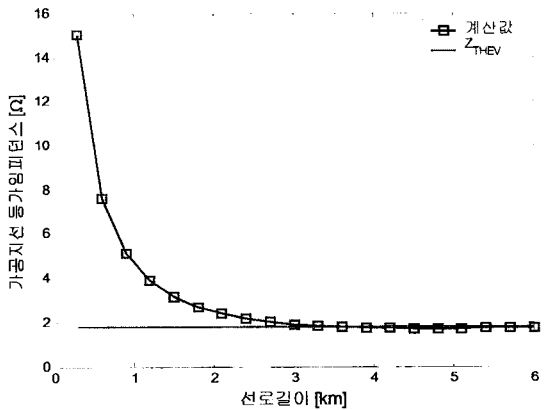


그림 7 선로길이에 따른 등가임피던스와 Z_{THEV} 비교
Fig. 7 Comparison of OHGW's Equivalent Impedance and Z_{THEV}

접지(15 [Ω]) 병렬연결 후 여기에 가공지선 임피던스가 직렬 연결되므로 접점 감소하게 된다.

따라서 그림 6의 결과에서처럼 지락점과 선원단간 거리가 2.7 [km] 일 때는 오차율이 10 [%]를 넘으나 3.6 [km] 가 되면 2~3 [%]로 오차가 작아지게 된다.

2.3 사례연구

표 1은 EMTP의 LINE CONSTANT기능을 이용하여 구한 가공선로 선로정수를 이용하여 전압별, 철탁형상별 가공지선 등가임피던스(Z_{thev}), 차폐계수(K)를 계산한 결과이다.

단, 대지저항율은 100 [Ωm], 철탁의 평균탑각저항은 전압별로 154kV 가 15 [Ω], 345kV 이상은 20 [Ω]을 가정하였고, 철탁간 평균경간은 154kV 300 [m], 345kV 400 [m], 765kV 500 [m]를 각각 상정하였다. 또한 차폐계수 계산시에는 가혹한 조건을 상정하기 위하여 가공지선으로부터 가장 먼 쪽의 상의 고장을 상정하였다.

표 1 가공송전선로 파라메타
Table 1 Overhead Transmission Line Parameters

송전 전압	회선수	가공지선 조수	가공지선 차폐계수(K) 최대값	가공지선의 등가 임피던스(Z _{thev}) [Ω]
154kV	2	1	0.68	1.77 + j 1.34
	2	2	0.54	1.43 + j 1.12
	4	2	0.61	1.42 + j 1.34
345kV	2	2	0.56	1.79 + j 1.50
	4	2	0.64	1.78 + j 1.50
765kV	1	2	0.56	2.02 + j 1.79
	2	2	0.54	1.89 + j 1.59

표 1과 식 1 및 식 4를 이용하면 선원단으로부터 대략 10 경간 이상 떨어진 철탁의 지락사고시 철탁접지로 유입되는 접지분류계수를 쉽게 계산할 수 있다. 단 접지 분류계수는 지락점의 접지저항(식 3, 4의 R_g)에 따라 민감하게 변하기 때문에 이 값의 측정 또는 상정할 때에 주의하여야 한다.

예를 들어 765kV 2회선 송전선로 중 탑각저항이 10 [Ω]인 철탁에서 가공지선과 가장 먼 쪽의 상도체에서 지락사고가 나는 경우 접지 분류계수는 식 4를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있으며, 참고로 지락고장전류가 주어지면(ex. 10 [kA]) 탑각의 전위상승도 쉽게 계산할 수 있다(식 6 참조).

$$\beta = \left| \frac{0.5Z_{thev}}{0.5Z_{thev} + R_g} \right| \times K \tag{5}$$

$$= \left| \frac{0.5 \times (1.89 + j1.59)}{0.5 \times (1.89 + j1.59) + 10} \right| \times 0.54 = 0.06$$

$$V_T = R_g I_g = R_g \times \beta I_F = 10 \Omega \times 0.06 \times 10 \text{ kA} = 6 \text{ [kV]} \tag{6}$$

(단, V_T : 탑각의 전위 [kV], R_g : 탑각저항 [Ω], I_g : 접지전류 [kA], I_F : 지락고장전류 [kA])

3. 결 론

본 논문에서는 가공송전선로 지락사고시 고장전류의 접지 분류계수를 산정하는 방법과 정확성 및 적용범위에 대하여 검토하였다. 사례연구로서 국내 가공송전선로의 전압별, 철탁형태별 차폐계수와 철탁접지가 병렬연결 된 가공지선의 등가임피던스 표를 제시함으로써 누구나 쉽게 분류계수 및 이를 이용한 철탁전위 계산이 가능토록 하였다.

단, 2.2절에서 기술한 바와 같이 이러한 계산방법은 지락점과 선원단간 거리가 약 10경간 이상, 즉 154kV 인 경우는 약 3 [km], 345kV는 약 4 [km], 765kV 는 약 5 [km] 이상 떨어진 경우에 정확도가 높으며, 이보다 더 가까운 곳의 지락사고는 EMTP 등과 같은 해석프로그램을 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 제시된 수계산 식에 의한 분류계수가 항상 참값보다 큰 보수적인 값이므로 초기 검토시 사용은 무방하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding (Std. #80), pp.78~83, 2000
- [2] J.Pohl, Influence of high-voltage overhead lines on covered pipelines, CIGRE-326, 1966
- [3] B.C.Hydro, Study of problems associated with pipelines occupying joint-use corridors with AC transmission lines, Vol.1, CEA No.75-02, 1979
- [4] S.Sebo, "Zero sequence current distribution along transmission lines", IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-88, No.6, Jun. 1969, pp.910-919
- [5] L.M.Popovic, "Practical method for evaluating ground fault current distribution in station supplied by an unhomogeneous line", IEEE Trans. on PD, Vol.12, Apr. 1997, pp.722-727
- [6] A.P.Sakis Meliopoulos, "Power System Grounding and Transient", pp.278-291, Marcel Dekker Inc, 1988,
- [7] F.P.Dawalibi, "Ground Fault Current Distribution Between Soil and Neutral Conductors", IEEE Trans.,PAS-99, No.2, Mar/Apr,1980
- [8] SES, SPLITS Users' manual, 1995
- [9] CIGRE Study Committee 36, "Results of an International Survey of the Rules Limiting Interference Coupled into Metallic Pipelines by High Voltage Power Systems", 1987
- [10] 산업자원부, 전력선 접지점과 매설배관의 이격거리 표준화(중간보고서), 2006



최 인 혁 (崔 仁 赫)

1963년 04월 13일생.
 1986년 성균관대 전기공학과 졸업.
 1989년 성균관대학원 전기공학과 졸업
 2002년 동대학원 전기공학과 박사과정
 1992년~현재 전력연구원 책임연구원
 Tel : 042)865-5851
 E-mail : cvlngu@kepco.co.kr



이 상 윤 (李 相 潤)

1979년 01월 24일생.
 2004년 부산대 물리학과 졸업.
 2006년 서울대 물리학과 졸업.
 2008년~현재 전력연구원 일반연구원
 Tel : 042)865-5859
 E-mail : jljpl@kepco.co.kr



황 갑 철 (黃 甲 喆)

1954년 07월 22일생.
 1989년 경북산업대 전기공학과 졸업.
 1998년 한양대산업대학원 전기공학과 졸업
 2006년~현재 전력연구원 송전기술그룹장
 Tel : 042)865-5870
 E-mail : hkchl@kepco.co.kr

저 자 소 개



최 중 기 (崔 鍾 基)

1969년 02월 01일생.
 1992년 동국대 전기공학과 졸업.
 1995년 홍익대 전기공학과 졸업(석사)
 2007년 동대학원 전기공학과 졸업(박사)
 1995년~ 현재 전력연구원 선임연구원
 Tel : 042)865-5854
 Fax : 042)865-5844
 E-mail : jkchoi@kepco.co.kr



이 원 교 (李 源 敎)

1975년 11월 17일생.
 2002년 시립인천대 전기공학과 졸업
 2004년 한양대학원 전기공학과 졸업
 2004년~현재 전력연구원 선임보연구원
 Tel : 042)865-5855
 E-mail : leewonkyo@kepco.co.kr