

지중케이블 변전소의 고장전류 분류율과 접지전위상승 특성

최종기**, 정길조**, 김선구*
 한전 전력연구원**, 한국전력공사*

Characteristics of Fault Current Division Factor & Groud Potential Rise of a Substation fed exclusively by Power Cables

Jong-Kee Choi, Seon-Gu Kim, Gil-Jo Jung
 KEPCO KEPRI

Abstract - This paper shows characteristics of fault current division factor S_r , which is a ratio of earth- return current to total fault current, at a substation fed exclusively by power cables under unsymmetrical fault condition, such as single line-to-ground fault. In substation grounding system design, S_r is a very important factor determining GPR, touch and step voltage at a substation under fault condition. In case of substations fed by overhead lines, 40-60% of S_r has been typically used, although it is a very conservative value with no other network conditions considered. It is authors' hope that S_r presented in this paper could hopefully be a basic reference in designing of substation grounding system, especially for a substation fed exclusively by power cables.

1. 서 론

접지계의 첫 번째 기능은 접지전위상승(Ground Potential Rise; GPR), 즉 접지전류가 접지망을 통하여 대지로 누설되면서 접지도체의 전위가 올라가는 것을 억제함으로써 절연파괴나 감전사고 등으로부터 설비와 사람을 보호하는 것이라고 할 수 있다. 이처럼 GPR을 설비의 절연내력 이하로 유지하기 위해서는 접지계의 접지저항을 허용치 이하로 낮추는 것이 필요하다. 일반적으로 접지망의 성능을 나타내는 대표적 지수로서 접지저항을 사용하고는 있으나 이는 계통특성이나 고장조건 등과는 독립된 수치로서, 사고시 접지전위가 얼마나 상승하며 설비와 사람에게 안전인가 여부를 직접적으로 나타내 주지는 않는다. GPR은 접지저항과 접지망으로 유입되는 전류(이하 접지전류)의 곱으로 구해지는데, 접지전류는 접지저항이 클수록 작아지며, 접지저항이 작을수록 커지므로 접지저항만으로는 GPR을 결정할 수 없고, 따라서 고장전류분류율, 즉 총 고장전류 중 접지망을 통해 대지로 빠져나가는 전류의 비율을 알아야 GPR이 얼마나 되는지 예측할 수 있다.

현행 변전소 접지설계시 가공선 변전소의 경우, 가공선선에 의한 지락고장전류의 분류율을 40-60%로 가정하고 있으며, 대개는 가혹한 조건을 가정하여 60%의 고장전류 분류율, 즉 총 고장전류의 60%가 접지망으로 유입한다고 본다. 그러나 최근들어 건설되고 있는 지중선 변전소의 경우는 고장전류 분류율 적용예가 없어, 접지설계시 어떤 값을 적용할 것인가의 결정에 어려움이 있어왔다. 또한 가공선변전소의 경우라도 대지저항을 또는 접지저항이 높은 경우에 40-60%의 고장전류 분류율을 적용하는 것은 지나치게 가혹한 가정일 수 있다. 특히

심층에 암반이 있고 변전소 부지가 한정되어 있는 등 접지저항 저감이 어려운 경우에 지나치게 가혹한 고장전류 분류율을 적용한데 따른 비경제적인 접지설계를 피하기 위해서는 각각의 계통조건에 맞는 보다 신뢰성있는 고장전류 분류율을 예측하는 것이 매우 중요할 것이다.

지중선 변전소의 접지전위상승(GPR) 특성은 가공선 변전소일 때와는 다소 다른 양상을 보이며, 가장 큰 특징은 상도체와 중성선(케이블 슈스, 가공선 등) 사이의 유도결합에 의하여 상도체의 고장전류 흐름과 반대방향으로 유기되어 케이블슈스를 흐르게 되는 자기중화전류(self neutralized current) 또는 잡혀진 전류(trapped current)가 가공선로일때에 비하여 매우 크다는 것이다. 이는 케이블슈스가 가공선에 비하여 상도체에 매우 가깝기 때문에 상호 유도결합이 커지는데 기인한 것이며, 이에 따라 지중선 변전소에서 지락사고가 나더라도 인근의 케이블선로에서 가공선로로 바뀌는 변전소에서 자기중화전류의 병목현상이 발생하여, 이곳의 접지전위가 지락점보다 오히려 높아지는 "사고 이동현상(Fault Transfer)"이 나타나기도 한다[1]. 또한 고장시 케이블슈스의 열용량을 초과하는 과다한 전류가 흐를 수도 있다.

본 논문에서는 한전 154kV 신내변전소 접지설계 사례를 통하여 지중선 변전소 지락사고시 케이블 슈스와 대지간 전류분포 및 접지전위, 고장전류 분류율, 접지저항간의 상관관계에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 고장전류분포 계산모델

기존의 symmetrical component method에 기초한 단락회로 해석법은 영상회로에서 철탑접지가 고려되지 않으며 중성점 접지전위를 0로 가정하는 등 총 고장전류 크기 계산시에는 큰 영향을 주지는 않으나 철탑접지와 대지 및 중성선간의 전류분포를 알 수 없게 만드는 여러가지 가정을 포함하고 있다. 따라서 전력계통의 불평형 고장시 상도체, 중성선 및 대지간 고장전류의 분포를 결정하기 위해서는 기존의 단락회로 해석법이 아닌 다른 해석법이 필요하다. 이러한 해석법은 크게 다음 두가지로 분류할 수 있다.

① symmetrical component method에 기초한 방법[2]

② 회로모델에 기초한 직접해석법

첫 번째 방법은 중성선, 철탑접지 등 모든 영상전류의 통로를 포함하도록 영상회로를 재구성하여 단락회로 계산을 수행함으로써 고장전류 분류율을 구하는 방법이다. 그러나 symmetrical component method 자체의 한계와 매우 복잡한 계산과정 때문에 거의 사용되지 않는다.

두 번째 방법은 계통을 정상, 영상, 정상분으로 분할하지 않고 회로방정식을 직접 푸는 방법이다. 이 경우 회로방정식이 매우 방대해지므로, 계산시간 및 용량을 줄

이기 위하여 여러 가지 가정 또는 축약기법 등이 사용된다. PATH[3], SMECCI[4], SPLITS 등의 계산코드가 이 부류에 속하며 본 논문의 시뮬레이션 결과들은 F.P. Dawalibi가 제안한 양단소거법(double-sided elimination method)을 이용한 SPLITS[5,6]를 활용하여 계산한 것이다.

2.2 고려대상 계통의 구성

다음 그림1은 대상계통의 구성을 보인 것이다. HK S/S와 KR S/S간과 SN S/S 분기구간은 각각 154 kV 2회선로이나, 동일한 고장조건시 보다 보수적인 중선선 굵기임피던스를 가정하기 위하여 모두 1회선 선로로 모의하였다.

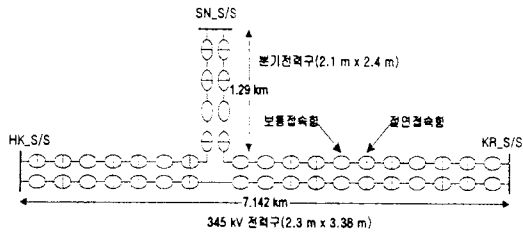


그림 1. 고려대상 계통의 구성

선로정수 계산시 전력주변 토양저항율은 $100 \Omega\text{-m}$ 를 가정하였는데, 이는 대지저항율이 작을수록 상도체-중선선간 유도결합이 약해지므로 자기중화전류는 작아지고 따라서 고장전류분류율은 커지도록 하여 보다 가혹한 조건을 가정하기 위함이다(표3의 경우4참조). 보통접속함의 접지저항은 $7.4 \sim 14 \Omega$ 이며, HK S/S 및 KR S/S 접지저항은 실제로는 고장전류 분류율에 큰 영향이 없고, 또한 등가계통의 접지저항이므로 정확히 결정하기가 어려워 0.1Ω 으로 가정하였다. 1선지락 고장전류 최대치는 154 kV 차단용량(50 kA)을 가정하였는데, 이는 계통조건을 고려하지 않은 매우 가혹한 조건이다.

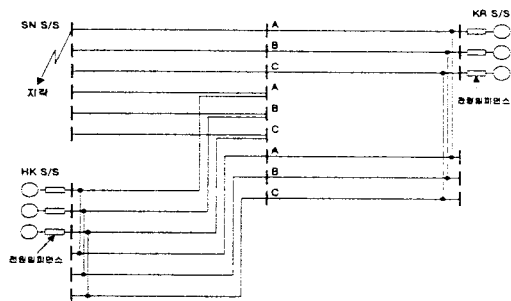


그림 2. 대상계통의 SPLITS 모델

2.3 고장전류분포 계산결과

1선지락 고장계산을 하지않고 차단기 차단용량만을 기준으로 총 고장전류를 가정하였으므로, 다음의 3가지 시나리오를 가정하여 계산을 수행하고 계산결과를 비교하였다.

표 1. 고장계산 조건

	계산조건
경우1	HK S/S로부터 80%(40 kA) 유입 KR S/S로부터 20%(10 kA) 유입
경우2	HK S/S로부터 50%(25 kA) 유입 KR S/S로부터 50%(25 kA) 유입
경우3	HK S/S로부터 20%(10 kA) 유입 KR S/S로부터 80%(40 kA) 유입

표 2. SN S/S 접지저항에 따른 고장전류 분류율

	경우1	경우2	경우3
2.5 ohm	3.45 %	3.55 %	3.65 %
3.97 ohm	2.52 %	2.59 %	2.66 %
5.0 ohm	1.87 %	1.92 %	1.97 %
10.0 ohm	0.97 %	1.00 %	1.03 %
20.0 ohm	0.50 %	0.51 %	0.53 %

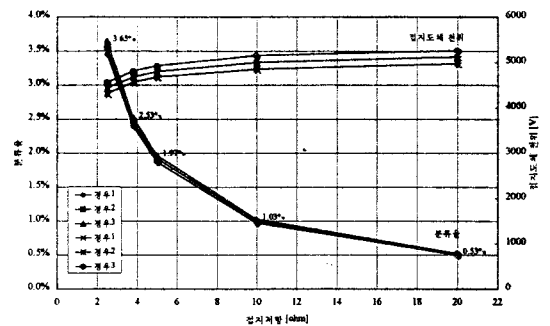


그림 2. 접지저항 변화에 따른 분류율과 접지전위

경우3 선로정수 계산시 대지저항율을 크게 했을 때(경우4), 보통접속함의 저항을 크게 했을 때(경우5) 그리고 선로를 2회선으로 증가시켰을 때(경우6) 고장전류 분류율과 접지전위가 어떻게 변하는지 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같았다.

- 1) 변전소 접지저항 10 ohm, 보통접속함 접지저항 10 ohm, 대지저항을 1000 ohm-m 일 때, 고장전류 분류율은 0.99% (이 때의 접지전위는 4931 [V])
- 2) 변전소 접지저항 10 ohm, 보통접속함 접지저항 30 ohm, 대지저항을 100 ohm-m 일 때, 고장전류 분류율은 1.05% (이 때의 접지전위는 5250 [V])
- 3) 변전소 접지저항 10 ohm, 보통접속함 접지저항 10 ohm, 대지저항을 100 ohm-m, 각 구간이 각각 2회선(총 4회선)일 때, 고장전류 분류율은 0.55% (이 때의 접지전위는 2750 [V])

표 3. 시뮬레이션 결과 요약

	변경 조건 ¹⁾	분류율(GPR)
경우4	대지저항율 100 $\Omega\text{-m}$ --> 1000 $\Omega\text{-m}$	0.99% (4931 V)
경우5	보통접속함 접지저항 10 Ω --> 30 Ω	1.05% (5250 V)
경우6	1회선 --> 2회선 선로	0.55% (2750 V)

¹⁾그의 조건은 경우3과 동일(분류율 1.03% (5150 V))

3. 결 론

○ 인입출이 모두 케이블로 되어있는 변전소의 지락사고시, 접지망으로 유입하여 대지를 통해 귀환하는 전류의 비율(=고장전류 분류율)은 매우 작으며 대부분의 전류는 케이블 쉬스를 통해 전원단으로 귀환하는 것으로 나타났다[7,8].

○ 고장전류 분류율은 대상 변전소의 접지저항과 회선수(=중선선 커로임피던스)에 따라 민감하게 변한다.

○ 고장전류 분류율이 매우 작은 지중선 변전소의 경우, 접지저항이 커져도 접지전위는 크게 상승하지 않는다[1,7].

[참 고 문 헌]

- [1] J.Villas, D.Mukhedkar, V.Fernandes, A.Magalhaes, "Ground Grid Design of a Transition Station System-A Typical Example of Fault Transfer", IEEE Trans.on PD, Vol.5, No.1, Jan., 1990
- [2] A.P.Sakis Meliopoulos, "Power System Grounding and Transient", pp.278-291, Marcel Dekker Inc, 1988,
- [3] SES, "Transmission Line Grounding", EPRI EL-2699, Vol.1, 1982
- [4] GIT, "Analysis Techniques for Power Substation Grounding Systems", EPRI EL-2682, Vol.1, 1982
- [5] F.P.Dawalibi, "Ground Fault Current Distribution Between Soil and Neutral Conductors", IEEE Trans., PAS-99, No.2, Mar/Apr, 1980
- [6] SES, SPLITS Users' manual, 1995
- [7] S.T.Sobral, J.Barbosa, V.Costa, "Ground Potential Rise Characteristics of Urban Step-down Substations Fed by Power Cable-A Practical Example", IEEE Trans. on PD, Vol.3, No.4, Oct., 1988
- [8] 進雅美, "地下式變電所の 接地設計 事例", 電氣評論, 1995.10