

우리나라 전력계통의 유효접지 검토기준 결정방안에 대한 고찰

유영식                      조범섭                      김재호                      오화진  
 한국전력거래소

A Study on the determination for Effective Grounding Reference of Korea Power Grid

LYU, YOUNG SIK                      CHO, BURM SUP                      KIM, JAE HO,                      OH, HWA JIN  
 KOREA POWER EXCHANGE

**Abstract** - 본 논문은 유효접지계통 및 접지계수의 정의와 이에 대한 연관성을 고찰하였으며, 유효접지에 대한 각종자료와 실제계의 모의결과로 산출된 수치를 비교, 검토하여 이에 적합한 전력계통의 유효접지검토 기준을 제시하였다. 또한 우리나라의 유효접지계통을 75%접지계수로 통칭하는 것은 전력계통을 정확히 표현하는데 한계가 있음을 밝혔다

1. 서 론

우리나라의 전력계통 중 345kV 및 765kV계통은 직접접지 방식을, 154kV계통은 유효접지 방식을 적용하고 있다. 즉, 345kV이상 변전소의 변압기 중성점은 직접접지운전을 하고 있으며, 154kV계통은 계통조건을 검토하여 변압기 중성점의 접지시행 여부를 결정한다. 유효접지는 변압기 등 전력설비의 제작비와 관련 있는 경제적인 측면과 지락보호계전기의 동작을 확실히 보장하기 위한 지락 고장전류의 공급속면으로 크게 나눌 수 있다. 첫째, 경제적인 측면에서 유효접지권을 유지하는 것이 중요하다. 유효접지권을 유지하면 지락고장시 발생하는 건전상 및 영상전위의 과도한 상승 억제 가능하므로, 변압기 등 전력설비의 절연설계시 단절연이 가능하다. 비접지 계통의 경우에는 지락고장시 발생하는 건전상 전위상승 때문에 변압기의 절연은 전절연을 해야 하며 이는 변압기 제작비의 상승을 초래한다. 둘째, 유효접지권을 유지하면 신속한 고장 검출 및 제거가 가능하다. 전력설비 고장의 70% 이상이 지락고장이기 때문에 지락고장을 검출하는 것이 중요하다. 유효접지권의 고장전류는 최소한 3상 단락전류의 60% 이상은 공급되기 때문에 지락보호계전기가 동작하는데 있어 큰 문제점은 발생하지 않는다. 본 논문은 우리나라의 실 계통을 PSS/E프로그램을 이용하여 모의하였으며, 모의결과와 Data와 이론적 전위상승 Data의 오차는 계통의 충전용량 등 상대적 오차가 큰 영상회로 및 비대칭적 계통임피던스의 영향에 의해 발생한 것으로 추정된다. 그러나 계통의 전위변화 추이는 접지계수로 표현할 경우는 유사하였으나, 임피던스 비율에 의한 계산결과와는 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이를 기반으로 유효접지검토 기준을 제시하였고, 접지계수와 유효접지의 연관성을 밝혀 올바른 계통용어를 사용할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 현 유효접지검토 기준 및 참고자료

2.1.1 전력시장운영규칙

가. 1선 지락고장시 영상임피던스 대비 정상임피던스의 비율은  $R0/X1 \leq 1, X0/X1 \leq 3$  조건을 만족해야한다.  
 나. 3상단락전류  $\times 60\% \leq 1$ 선지락전류  
 다. 비접지 중성점의 전위상승  $\leq$  (상전압  $\times 85\%$ )

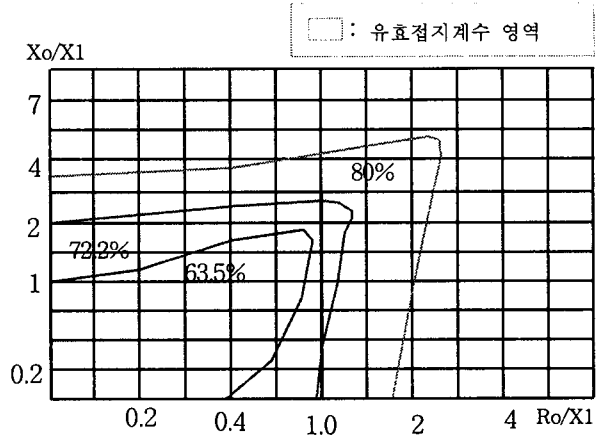
2.1.2 유효접지에 대한 정의

가. 1선 지락고장시 건전상의 전압상승이 상전압의 1.3배를 넘지 않도록 접지임피던스를 조절하여 접지하는 것을 유효접지라 한다.  
 나. 접지계수가 80%(선간전압의 80%)를 초과하지 않는 계통을 말하며, 이 값은 임피던스 비율조건( $R0/X1 \leq 1, X0/X1 \leq 3$ )을 만족할 경우 얻어진다. <그림1참조>

(접지계수 =  $100\% \frac{ELG}{ELL}$ , ELG:상전압, ELL:선간전압)

2.1.3 한전의 상용주파 단시간 과전압 허용한계 기준

구 분	배수 [PU]	기준전압 [kV]
상-대지간	1.35	$1 [p.u] = \frac{170}{\sqrt{3}}$
중성점-대지간	0.68	



<그림1> Boundaries for coefficients of grounding for  $R1/X1=0.5$  (IEEE Std C62.92.1-2000) ra68PU계 기준 0 상-대지간 : 1.35PU 0 중성점-대지간 : 0.68PU

2.2 검토내용

2.2.1 유효접지계수와 이론적 계산에 의한 전위변화의 관계

가. 우리나라는 일반적으로 건전상 전위상승이 1.3배 이하인 계통을 유효접지계통(75%접지계수)으로 기술하고 있으며, 유효접지계수 및  $X0/X1=3$  조건인 경우의 이론적 전위변화 계산 값은 다음과 같다. (1PU =  $\frac{170}{\sqrt{3}}$  kV)

- 1) 접지계수가 75%인 경우
  - 0 영상전압 상승  $\leq 0.47$ PU
  - 0 건전상 전위상승  $\leq 1.3$ PU
- 2) 접지계수가 80%인 경우
  - 0 영상전압 상승  $\leq 0.58$ PU
  - 0 건전상 전위상승  $\leq 1.386$ PU
- 3)  $\frac{X0}{X1} = 3$  조건인 경우
  - 0 건전상 전위(Vc)  $\frac{(a-1)Z0 + (a-a^2)Z2}{Z0 + Z1 + Z2} \times Ea = 1.25$ PU
  - 0 영상전압 =  $-Z0 \times I0 = \frac{3Z1}{5Z1} \times Ea = 0.6$ PU
  - 0 지락전류 =  $\frac{3}{5Z1} \times Ea = 0.6 \times I3\phi$

나. 분석

IEEE에서 정의한 유효접지계통의 접지계수와 임피던스 비율( $0 \leq R0/X1 \leq 1, 0 \leq X0/X1 \leq 3$ )에 의한 건전상 전위 및 영상 전위 상승을 계산하면 상호 관련성이 있음을 알 수 있다. 즉 영상전위상승은 81%접지계수에, 건전상 전위상승은 72%접지계수에 근접하는 것을 계산으로 확인할 수 있다.

<표 1> 임피던스 대비 전위상승 상호 연관성

접지계수 및 임피던스비율	건전상 전위상승 [pu]	영상전위상승 [pu]
72.2%	1.25	0.40
81%	1.4	0.60
$X0/X1=3$	1.25	0.60

## 2.2.2 계통모의 분석

### 가. 계통모의 결과

[표2]에 나타난 수치를 보면 건전상의 전위상승을 기준하여 유효접지계수를 구하면 77.3%에서 69.2%사이에서 분포함을 알 수 있다.  $\frac{X_0}{X_1} = 3$ 인 조건에서 A상 지락고장시 건전상인 C상의 전위상승은 2개 모선을 제외하고는 1.3배를 초과 하지 않는다. 이는 유효접지계통을 말할 때에 75%접지계수로, 즉 건전상 전위상승이 1.3배 이하 계통으로 정의하더라도 기준에서 크게 벗어나지 않는다. 그러나 영상전위 상승은 0.58PU~0.63PU의 전위상승 분포를 나타내고 있다. 대체적으로 1상 지락 고장시 영상전위상승은 0.61PU 이 내가 되며, 이를 접지계수로 환산하면 82.8%에 해당한다. 따라서 영상전위상승을 고려하면 75%접지계수를 유효접지계통과 동일하게 사용하는 것은 바람직하지 않음을 알 수 있다. 또한 고장상 대비 앞선 상의 전위상승은 뒤진 상의 전위상승보다 높음을 계통모의 결과를 통하여 확인 할 수 있다.

<표 2> Xo/X1=3인 경우 모선별 전위변화

모선	$\frac{R_0}{X_1}$	$\frac{X_0}{X_1}$	건전상 전위상승		영상전위 상승(Vo)
			Vb	Vc	
1430	0.68	3.0	1.23	1.29	0.61
1440	0.64	3.0	1.23	1.29	0.61
1525	0.6	2.91	1.28	1.34	0.63
1595	0.58	3.0	1.29	1.33	0.63
4775	1.0	3.0	1.24	1.27	0.6
4870	0.49	3.0	1.24	1.26	0.6
5640	0.64	3.0	1.22	1.23	0.59
5880	0.65	3.0	1.24	1.28	0.61
6875	0.59	3.0	1.19	1.23	0.59
8325	0.69	3.0	1.19	1.22	0.58
8335	0.72	3.0	1.19	1.22	0.58
10195	0.7	3.0	1.16	1.22	0.58
10780	0.43	3.0	1.18	1.2	0.57

[표3]은 실제계의 영상대비 정상분 임피던스비율이  $3.1 < \frac{X_0}{X_1} < 4.6$  인 경우에 전위상승 및 영상전위상승 값을 나타내었다. 임피던스 비율이  $\frac{X_0}{X_1} < 3.5$  이내인 경우에 건전상의 전위상승은 1.35PU를, 영상전위상승은 0.65PU를 초과하지 않음을 볼 수 있으나, 정상분 대비 영상 임피던스 비율의 증가에 따라 건전상의 전위상승 변화는  $\frac{X_0}{X_1} < 3$ 의 경우 보다 불규칙한 것으로 모의되었다 또한 영상전위 상승은 이론적 계산 값에 근접하였다. 이러한 모의 결과는 "L"성분과 "C"성분의 상호관계 변화에 따른 것으로 추정된다.

<표 3> Xo/X1>3인 경우 모선별 전위 변화

모선 번호	$\frac{R_0}{X_1}$	$\frac{X_0}{X_1}$	건전상 전위 상승(Vc)	영상전위 상승(Vo)	이론적 전위상승
1430	0.75	3.13	1.31	0.62	0.61
1440	0.88	3.49	1.34	0.65	0.64
1595	1.13	4.1	1.43	0.71	0.67
4775	1.16	3.2	1.3	0.62	0.62
4870	0.97	4.21	1.36	0.68	0.68
5640	0.97	3.73	1.29	0.64	0.65
5880	1.06	3.9	1.36	0.67	0.66
6875	1.08	4.05	1.32	0.66	0.67
8325	0.89	3.39	1.26	0.61	0.63
8335	0.8	3.15	1.24	0.59	0.61
8865	0.91	3.36	1.25	0.61	0.63
10780	1.02	4.55	1.32	0.67	0.69

### 나. 변압기 중성점 보호 피뢰기 및 절연내력

앞에서도 언급하였지만 유효접지의 주목적은 전위상승을 억제하여 전력설비에 대한 단절연을 가능하게 하여 제작비를 절감하는 것이다. 변압기 중성점의 접지여부는 유효접지 검토결과에 따라 중성점을 비접지 운전하는 개소가 있으며, 이때 과도한 영상전위상승에 의한 변압기 중성점의 절연파괴를 방지하기 위해 피뢰기를

통한 Floating 접지를 시행한다. 일반적으로 154kV변압기의 피뢰기 정격은 72kV급 이상을 사용하고 있으나, 변압기 중성점의 기준충격 절연강도(BIL)는 매우 낮은(100kV이하) 값을 적용하는 경우도 있으므로 이를 고려하여 중성점 전위 상승을 억제하여야 한다. 피뢰기의 정격전압은 속류가 흐르는 상태에서 정격전압 이상의 상용 주파 전압이 피뢰기 단자에 인가되는 경우에 속류를 차단할 수 없어 피뢰기가 소손될 수 있다. 따라서 피뢰기의 정격과 변압기 중성점의 기준충격 절연강도(BIL) 등도 확인하여, 필요시 이를 고려하여 적절한 값 이하로 유지하여야 한다.

### 다. 지락고장전류

우리나라의 계통정수는 계통의 밀집화 및 도시화에 따른 전력 케이블의 사용 증가와 발전단지의 대형화로 영상임피던스가 정상 임피던스에 비하여 작은 개소가 증가하고 있다. 즉 3상 단락전류는 차단기의 차단용량을 충족하나, 1선 지락전류는 차단용량을 초과하는 발전소 및 변전소가 증가하고 있어, 유효접지 검토시 지락고장 전류를 적절한 수준으로 유지할 수 있도록 변압기 중성점의 접지를 조정해야 한다.

## 2.2.3 검토결과

### 가. 유효접지 정의에 대한 고찰

일반적으로 1선 지락 고장시 건전상의 전압상승이 상전압의 1.3배를 넘지 않도록 접지임피던스를 조절하여 접지하는 것을 유효 접지라고 정의하였는데, 이는 정확한 유효접지의 정의로는 부적합하며 임피던스 비율조건, 건전상 및 영상전위의 상승을 포함하여 표현하는 것이 바람직하다.

### 나. 기기의 절연 특성 확인

변압기 중성점의 기준충격 절연강도(BIL)와 피뢰기의 정격전압 등도 확인하여 영상전위상승 값을 제한하는 것이 필요하다.

### 다. IEEE 및 한전의 절연설계 기준

- IEEE은 유효접지를 80%접지계수로 표현하였는데, 건전상 전위상승측면에서 보면 상당히 높은 범위까지 허용하게 되어 우리나라 전력계통의 전위상승 유지기준으로 적용하기에는 부적합하며, 영상전위는 상대적으로 작은 값을 나타내고 있다.
- 한전의 절연설계기준은 계통모의결과 및 이론적 값 범위를 충족하며, 여유가 있으므로 적절한 기준설정으로 판단된다.

### 라. 고찰 결과

- 유효접지 검토기준은 임피던스 비율과 건전상 및 영상전위의 상승 정도를 검토하여 결정하여야 한다.
  - 건전상 전위는 1.35PU이하로, 영상전위상승은  $0.6PU < Vo[PU] < 0.7PU$ 로 유지하는 것이 바람직하다.
  - 유효접지 검토시 검토기준을 충족하더라도 지락고장용량이 차단용량을 초과하면 이를 고려하여 재조정하여야 한다.
  - 변압기 중성점의 기준충격 절연강도(BIL) 및 피뢰기 정격전압도 고려하여야 한다.

## 3. 결 론

이상에서 살펴본 것처럼 건전상의 전위상승측면만을 고려하여 유효접지계통을 표현하면 일부 변전소에서 이를 충족하지 못하는 사례가 발생하였고, 영상전위에 의한 설비의 소손 가능성을 배제할 수 없기 때문에 영상전위상승을 포함하여 유효접지계통을 정의하는 것이 바람직하다. 따라서 유효접지와 접지계수의 용어는 구분하여 사용하여야 한다. 아울러, 유효접지는 건전상 및 영상전위의 상승을 종합적으로 검토하여 적용해야 하며, 여유를 고려하여 다음과 같이 기준 및 검토사항을 제시하고자 한다.

- 임피던스 비율 :  $R_0/X_1 \leq 1, X_0/X_1 \leq 3$
- 건전상 전위상승 : 1.35PU이하
- 영상전위 상승 : 0.65PU이하
- 1선 지락고장용량의 차단기 차단용량 초과 여부
- 변압기 중성점 BIL 및 피뢰기 정격전압 충족 여부

### [참 고 문 헌]

- [1] 송길영, 최신 송배전공학 P244, P377~P383, 1999
- [2] 김재철역저 전력계통기술계산 응용 P265, 1998
- [3] IEEE Std C62.92.1-2000
- [4] 전력시장운영규칙(한국전력거래소) "별표20 발전전소 주변압기 탭 정정 및 유효접지 검토절차"