

# IEC60364에 따른 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터 구현

김순식\*, 강민관\*, 광충근\*, 원우연\*\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교 전기공학부,

\*\*한국폴리텍대학

e-mail:flowerkim@hanmail.net

## Implementation of Safety Evaluation Simulator for Grounding System based on IEC 60364

Soon-Sik Kim\*, Min-Kwan Kang\*, Chung-Guen Kwak\*,

Won Woo Yeon\*\*, Dae-Seok Rho\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

\*\*Korea Polytechnics

### 요 약

접지는 인체감전보호 및 전기기기나 전력계통을 보호하는 목적으로 시설하는 중요한 설비이다. 국내의 경우 접지종별로 일정 접지저항 값 이하가 되도록 제한하고 있으나, 이에 대한 근거나 상세한 평가방법이 없어 접지설비의 인체 및 전기기기 보호수준이 충분한지 판단하기 어려운 실정이다. 본 논문에서는 IEC 60364에서 제시하고 있는 접지방식에 기반한 안전성 평가용 시뮬레이터를 구현하고, 이를 바탕으로 접지방식별 사고전류와 인체를 통과하는 전류 등의 특성분석을 수행한 결과, TN-C접지방식에서 완전지락사고가 아닌 경우 누전차단기(RCD)의 감지전류는 차단기를 동작시킬 수 없을 정도 매우 낮게 나타나 누전차단기를 설치할 필요가 없는 것을 확인했고, TT접지 방식에서 제3종 접지를 제거하지 않고 TN 접지계통으로 전환하여도 감전에 대한 보호성능을 향상시킬 수 있었다. 이에 따라 IEC60364에 따른 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터 구현을 통해 TN접지방식이 TT접지방식에 비해 감전에 대한 보호성능이 우수함을 확인하였다.

### 1. 서 론

접지는 인체감전보호 및 전기기기나 전력계통을 보호하는 목적으로 시설하는 중요한 설비이다. 국내의 경우 접지종별로 일정 접지저항 값 이하가 되도록 제한하고 있으나, 이에 대한 근거나 상세한 평가방법이 없어 접지설비의 인체 및 전기기기 보호수준이 충분한지 판단하기 어려운 실정이다. 그러나, 국제표준(IEC 60364)에서는 인체감전보호에 대한 안전성 평가를 저항값이 아닌 허용접촉전압과 보폭전압을 적용하고 있으며, 인체감전 보호대책으로 등전위본딩과 누전차단기의 설치를 제시하고 있다. 이에 따라, 최근 우리나라도 기존의 접지저항값에 의한 방식이 아닌, 허용접촉전압과 보폭전압을 이용하여 안전성을 평가하는 국제규격의 방식을 검토하고 있어, 접지방식에 따른 안전성의 평가가 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 IEC 60364에서 제시하고 있는 접지방식에 기반한 안전성 평가용 시뮬레이터를 구현하고, 이를 바탕으로 접지방식별 사고전류와 인체를 통과하는 전류 등의 특성분석을 수행한다. 기기의 외함 저항을 고려하여 접지방식별로 사고특성 시험을 수행한 결과, TN 접지계통의 경우 타 방식 보다 인체에 흐르는 전류가 낮고, 인체 접촉전압이 낮은 특성을 나타내는 것을 알 수 있었고, TT 접지계통의 경우 인체에 흐

르는 전류가 높고 인체 접촉 전압이 높게 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서, IEC 60364의 접지방식에 기반 한 시뮬레이터를 이용하여 안전성을 정확하게 평가할 수 있어, 본 논문의 대한 유용성을 확인하였다.

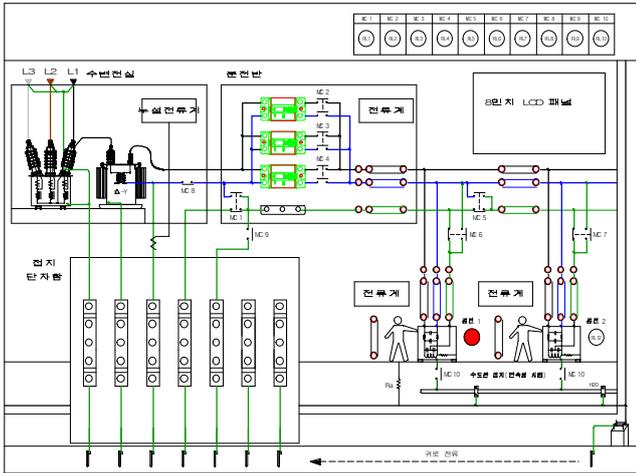
### 2. 접지방식에 따른 안전성 평가용 시뮬레이터 구현

#### 2.1 접지방식의 개요

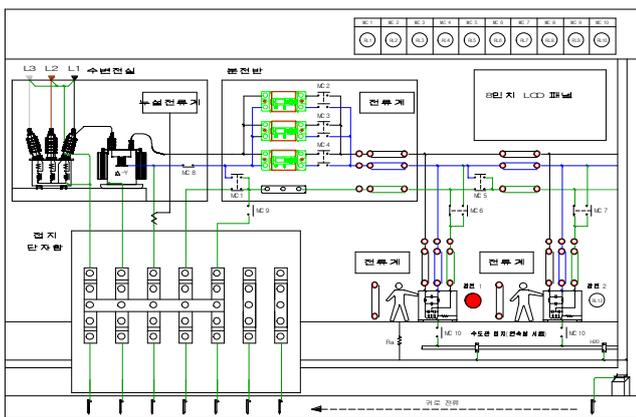
IEC 60364에서 제시하고 있는 접지방식은 설비의 노출 전도성 부분과 보호도체의 접속방식에 따라, TN 접지계통, TT 접지계통 그리고 IT 접지계통으로 분류된다. 먼저, TN 접지계통은 직접 접지된 전력계통의 접지극과 설비의 노출 도전성 부분을 보호도체로 접속하는 방식이며, TT 접지계통은 설비의 노출 전도성 부분을 전력계통의 접지극과 전기적으로 독립된 접지극으로 접속하는 방식이다. 또한, IT 접지계통은 충전부 전체를 대지로부터 절연시키거나 중간에 임피던스를 삽입 하여, 대지에 접속 시키고 전기설비의 노출 도전성 부분을 단독 혹은 일괄로 접지시키거나 또는 계통의 접지로 접속하는 방식이다.

### 2.2 시뮬레이터의 구성

IEC 60364를 바탕으로 구현한 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터는 그림 1과 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 1은 TT 접지방식에 대한 시뮬레이터의 구성도를 나타낸 것이고, 그림 2는 TN 접지방식에 대한 시뮬레이터의 구성도이다. 이 시뮬레이터는 실제 수용가의 구내배전계통을 축소 모의 한 것으로, 수변전실, 분전반, 접지단자함 그리고 인체감전부로 구성된다. 여기서, 구내배전계통이 TT 접지방식인 경우, 접지계통의 회로는 그림 1과 같이 수변전실의 MOF 및 변압기의 외함, 분전함에서 분기되는 보호도체선, 전기기기의 외함, 수도관 및 피뢰침을 각각 단독접지 한 형태로 구성된다. 또한, 구내배전계통이 TN 접지방식인 경우에는 그림 2와 같이 접지단자함 부분에 공동접지바를 연결하여, 접지계통의 회로가 등전위본딩으로 구성된다. 한편, 본 논문에서는 IT 접지방식의 특성상 사고전류의 검출이 어려우므로 IT 접지방식은 고려하지 않는다.



[그림 1] TT접지방식 시뮬레이터

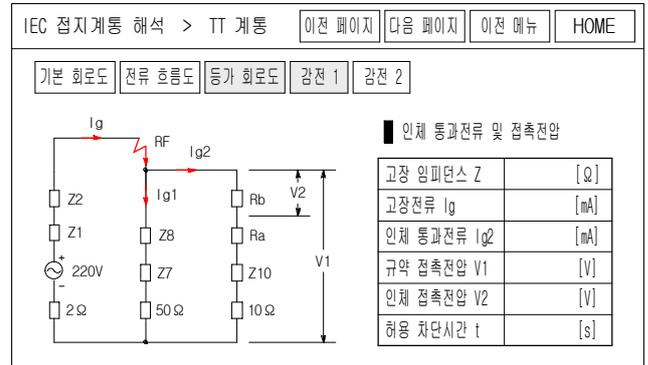


[그림 2] TN접지방식 시뮬레이터

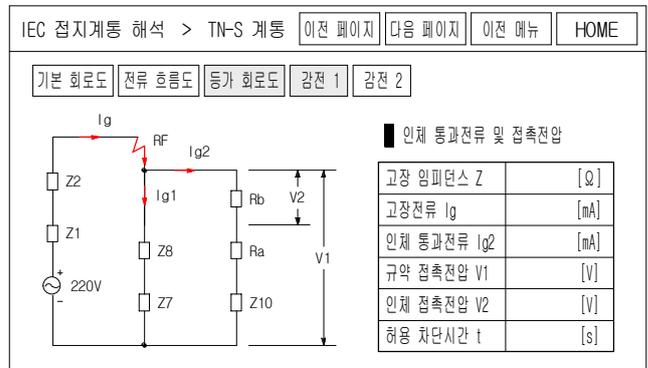
### 2.3 접지방식별 등가회로 모델링

상기의 TT 및 TN 접지방식에 대한 시뮬레이터의 회로구성을 바탕으로, 인체 통과전류 및 보폭전압을 해석하기 위한 TT 및 TN 접지계통의 등가 회로도를 나타내면 각각 그림 3

과 그림 4와 같다. 이 그림에서와 같이, 감전사고가 발생하면 고장전류( $I_g$ )는 인체와 보호도체로 분류되어 흐르며, 접촉전압이 높을수록 인체를 통과하는 전류 또한 높아진다.



[그림 3] TT 접지계통의 등가회로도



[그림 4] TN 접지계통의 등가회로도

상기에서 제시한 감전사고시 등가회로도를 바탕으로, 총 고장전류를 구하기 위한 합성임피던스(Z)는 식 (1)과 같이 산정되며, 고장전류( $I_g$ )는 식 (2)와 같이 선로공급전압을 합성임피던스로 나누어 계산된다. 또한, 인체를 통하여 흐르는 사고전류( $I_{g2}$ )는 식 (3)과 같이 임피던스의 병렬계산을 통해 비율적으로 적용된다.

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_F + \frac{(Z_8 + Z_7 + 50) \times (R_b + R_a + Z_{10} + 10)}{(Z_8 + Z_7 + 50) + (R_b + R_a + Z_{10} + 10)} + 2[\Omega] \quad (1)$$

$$I_g = \frac{220 \times 10^3}{Z_1 + Z_2 + Z_F + \frac{(Z_8 + Z_7 + 50) \times (R_b + R_a + Z_{10} + 10)}{(Z_8 + Z_7 + 50) + (R_b + R_a + Z_{10} + 10)} + 2} \text{ [mA]} \quad (2)$$

$$I_{g2} = \frac{(Z_8 + Z_7 + 50)}{(Z_8 + Z_7 + 50) + (R_b + R_a + Z_{10} + 10)} \times I_g \text{ [mA]} \quad (3)$$

여기서, Z : 고장시 합성임피던스[Ω],  $Z_1, Z_2$ : 선로 임피던스[Ω],  $Z_F$ : 기기 외함 임피던스[Ω],  $Z_7, Z_8$ : 보호도체 임피던스[Ω],  $Z_{10}$ : 대지 임피던스[Ω],  $R_a$ : 대지 임피던스[Ω],  $R_b$ : 인체접촉 임피던스[Ω],  $I_g$ : 고장전류[mA],  $I_{g2}$ : 인체통과전류[mA]

### 3. 시험결과 및 특성분석

#### 3.1 시험조건

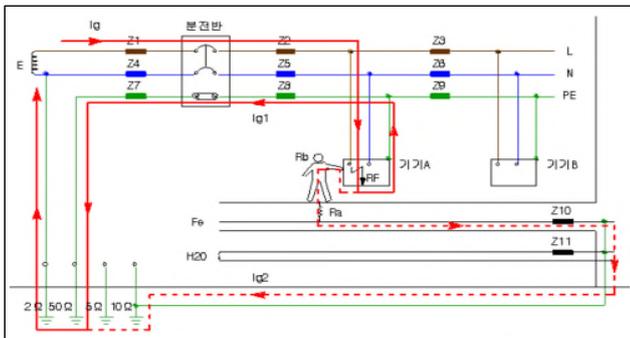
2.2절에서 제시한 등가회로도를 바탕으로 접지방식별 안전성을 평가하기 위한 시뮬레이터의 입력 시험조건을 나타내면 표 1과 같다. 여기서, 기기외함 저항( $R_F$ )은 기기의 재료나 크기에 의해 다양하게 나타나므로 0 ~ 500[Ω]으로 가변할 수 있도록 구성된다. 본 논문에서는  $R_F$ 값을 0[Ω], 50[Ω], 500[Ω]으로 변경하면서, 임의의 사고를 발생시켜 계통의 고장전류 및 인체 통과전류 등을 비교한다.

[표 1] 시뮬레이터의 입력 임피던스 조건

항목	입력값	항목	입력값
Z1	0.1[Ω]	Z8	0.2[Ω]
Z2	0.2[Ω]	Z9	0.3[Ω]
Z3	0.3[Ω]	Z10	0.2[Ω]
Z4	0.1[Ω]	Z11	0.1[Ω]
Z5	0.2[Ω]	RF	0~500[Ω]
Z6	0.3[Ω]	Ra	1000[Ω]
Z7	0.1[Ω]	Rb	1000[Ω]

#### 3.2 TT 접지계통의 사고특성

그림 1에서 기기A에  $R_F$ 값을 시험조건과 같이 변경하여 사고를 발생시키면 전류흐름도는 그림 5와 같이 Z1과 Z2의 선로 임피던스를 통과한 후 기기A의 외함 접지선 PE를 통해 흐르는 전류와 기기 외함으로부터 접촉된 인체에서 대지로 흐르는 전류임을 알 수 있었다.



[그림 5] TT접지 방식에서의 A기기 사고전류 흐름도

기기외함 저항  $R_F$ 값을 0[Ω], 50[Ω], 500[Ω]으로 변경하여 시뮬레이션을 실행한 결과 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류는 발생되지 않았으나  $R_F$ 값이 0[Ω]일 때 인체통과전류는 104[mA]로 나타나 100[ms]이상 접촉 시 근육의 수축, 호흡곤란, 회복 가능한 심장기능의 장애, 마비등이 발생할 수 있어 누전차단기가 설치되지 않은 장소일 경우 매우 위험함을 알 수 있었다. 또한,  $R_F$ 값을 50[Ω]으로 변경하여 시뮬레이션을 실행한 결과 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류는 발생되지 않았으나 인체통과전류는 53[mA]로 나타나 500[ms]이상 접촉 시 근육의 수축, 호

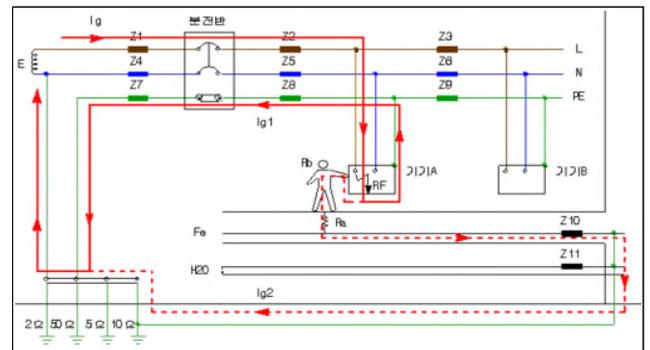
흡곤란, 회복 가능한 심장기능의 장애, 마비등이 발생할 수 있어 누전차단기가 설치되지 않은 장소일 경우 위험할 것으로 확인되었다. RF값을 500[Ω]으로 변경하여 시뮬레이션을 실행한 결과 인체통과전류는 9.8[mA]로 나타나 감지 및 비자의적인 근육 수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 유해한 전기생리학적 영향은 없는 것을 확인하였다.

[표 2] TT 접지계통에서의 사고특성

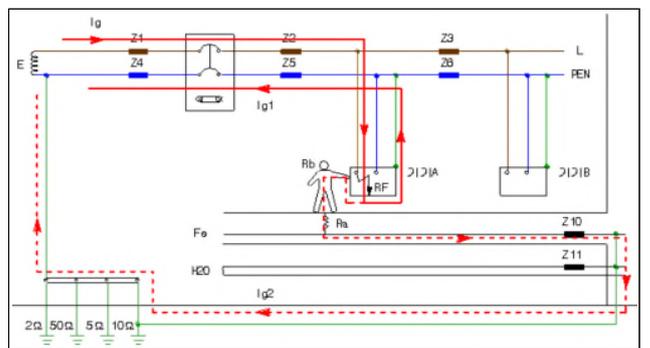
측정 값	사고지점	기기A 사고		
	RF[Ω]	0	50	500
고장 임피던스 Z[Ω]		51.6	101.6	551.6
고장전류 Ig[mA]		4,266.3	2,166.1	398.9
인체 통과전류 Ig2[mA]		104.3	53.0	9.8
RCD 감지전류 mA		4,266.3	2,166.1	398.9
PE에 흐르는 전류 g1[mA]		4,161.9	2,113.1	389.1
규약 접촉전압 V1[V]		209.8	106.5	19.6
인체 접촉전압 V2[V]		104.3	53.0	9.8
허용 차단시간 t[s]		1.2	4.8	141.4

#### 3.3 TN 접지계통의 사고특성

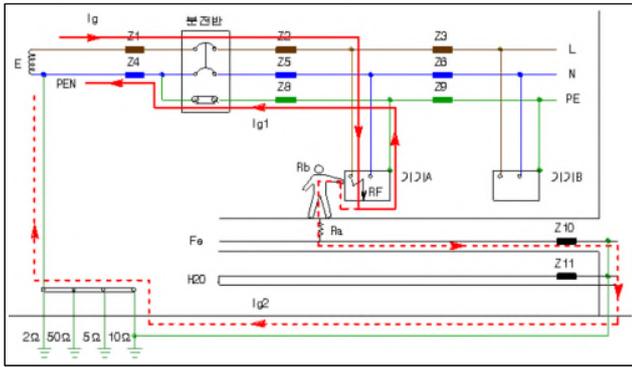
TN-S접지방식에서 기기A에 사고가 발생할 경우 전류 흐름도는 그림 6와 같이 나타났고, TN-C접지방식의 경우 그림 7, TN-C-S접지방식의 경우 그림 8과 같이 나타났다. 기기A에  $R_F$ 값을 0[Ω], 50[Ω], 500[Ω]으로 변경하여 시뮬레이션을 실행한 결과  $R_F$ 값이 0[Ω]일 때를 제외하고 표 3, 표 4, 표 5와 같이 인체에 흐르는 전류가 매우 작게 나타난 것을 알 수 있었다.



[그림 6] TN-S접지 방식에서의 사고전류 흐름도



[그림 7] TN-C접지 방식에서의 사고전류 흐름도



[그림 8] TN-C-S 접지 방식에서의 사고전류 흐름도

TN접지방식에서  $R_f$  값이 0[Ω]일 때 정격전류의 약 13배이상의 사고전류가 발생하였고, 이때 MCCB는 즉시 차단되었으며 차단특성곡선을 확인한 결과 0.03초 이내에 차단되는 것으로 확인하였다. 한편,  $R_f$  값을 50[Ω]과 500[Ω]으로 변경하여 시뮬레이션을 실행한 결과 TN-S 접지방식 및 TN-C-S 접지방식의 경우 인체통과전류는 매우 작게 나타났으나 누전차단기(RCD)의 감지전류는 매우 높게 나타나 누전차단기를 설치하여 안전을 확보해야 하는 반면, TN-C 접지방식의 경우 누전차단기(RCD)의 감지전류는 차단기를 동작시킬 수 없을 정도 매우 낮게 나타나 누전차단기를 설치할 필요가 없는 것을 알 수 있었다. 또한, TN 접지방식에서는 인체에 통과하는 전류가 매우 작게 흐르는 것을 확인할 수 있었고, 인체접촉전압도 매우 작은 것으로 확인되어 감전에 대한 보호성능이 우수한 것을 알 수 있었다.

[표 3] TN-S 접지계통에서의 사고특성

측정 값	사고지점		
	기기A		
RF[Ω]	0	50	500
고장 임피던스 Z[Ω]	0.80	50.80	500.80
고장전류 I <sub>g</sub> [mA]	275,027	4,330	439.3
인체 통과전류 I <sub>g2</sub> [mA]	54.99	0.87	0.09
RCD 감지전류[mA]	275,027	4,330.7	439.3
PE에 흐르는 전류 I <sub>g1</sub> [mA]	274,972	4,329.8	439.2
규약 접촉전압 V1[V]	109.99	1.73	0.18
인체 접촉전압 V2[V]	54.99	0.87	0.09
허용 차단시간 t[s]	4.45	17,947.2	1,744,213

[표 4] TN-C 접지계통에서의 사고특성

측정 값	사고지점		
	기기A		
RF[Ω]	0	50	500
고장 임피던스 Z[Ω]	0.80	50.80	500.80
고장전류 I <sub>g</sub> [mA]	275,027	4,330	439.3
인체 통과전류 I <sub>g2</sub> [mA]	54.99	0.87	0.09
RCD 감지전류[mA]	54.99	0.87	0.09
PEN에 흐르는 전류 I <sub>g1</sub> [mA]	274,972	4,329.8	439.2
규약 접촉전압 V1[V]	109.99	1.73	0.18
인체 접촉전압 V2[V]	54.99	0.87	0.09
허용 차단시간 t[s]	4.45	17,947.2	1,744,213

[표 5] TN-C-S 접지계통에서의 사고특성

측정 값	사고지점		
	기기A		
RF[Ω]	0	50	500
고장 임피던스 Z[Ω]	0.80	50.80	500.80
고장전류 I <sub>g</sub> [mA]	275,027	4,330	439.3
인체 통과전류 I <sub>g2</sub> [mA]	54.99	0.87	0.09
RCD 감지전류[mA]	275,027	4,330.7	439.3
PE에 흐르는 전류 I <sub>g1</sub> [mA]	274,972	4,329.8	439.2
규약 접촉전압 V1[V]	109.99	1.73	0.18
인체 접촉전압 V2[V]	54.99	0.87	0.09
허용 차단시간 t[s]	4.45	17,947.2	1,744,213

#### 4. 결 론

본 논문에서는 IEC 60364에 따른 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터를 구현하였고, 이를 바탕으로 사고전류와 인체를 통과하는 전류 등의 특성분석을 수행한 결과, TT 접지계통의 경우 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류가 발생되지 않아 감전에 대한 보호 대책으로 누전차단기를 반드시 설치하여 안전을 확보해야 함을 알 수 있었다. 또한, TN-C 접지방식의 경우에는 완전 지락사고 시 배선용차단기에 의한 보호가 가능하고 완전 지락사고이외의 누전이 발생하여도 감지전류가 매우 작아 누전차단기를 설치할 필요가 없지만, TN-S 접지방식 및 TN-C-S 접지방식에서는 감지전류가 매우 크게 나타나므로 누전차단기를 설치하여 안전을 확보해야 함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 한국기술교육대학교, "LH공동주택 접지시스템 고장전류 특성해석", 2016년
- [2] 신동호, "3가지 접지방식에 대한 접지 특성비교", 대한전기학회, pp. 289-297, 2000년.
- [3] 정진수, "IEC 60364 기반 접지계통 비교 분석", 조명전기설비학회논문지, pp. 56-62, 2010년.
- [4] 김준택, "국제표준(IEC 60364-4-41) 도입에 대한 감전보호 개선연구", 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 1629-1630, 2015년.
- [5] 이기홍, "IEC 60364에서의 감전보호", 조명전기설비학회 논문지, pp. 11-16, 2007년.