

PSCAD/EMTDC에 의한 IEC60364의 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터 모델링

김순식*, 이후동*, 최익준*, 황승욱*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:flowekim@hanmail.net

Modeling of Simulator for Safety Evaluation by Grounding System With IEC60364 Based on PSCAD/EMTDC

Soon-Sik Kim*, Hu-Dong Lee*, Ik-Joon Choi*, Seung-Wook Hwang*, Dae-Seok Rho*

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

요약

기존의 국내 접지기준은 접지종별로 일정 저항값 이하가 되도록 제한되고 있으나, 이에 대한 근거나 상세한 평가방법이 없어 접지설비의 인체 및 전기기기의 보호수준이 적정인지 판단하기 어려운 실정이다. 이에 따라, 국내에서도 2021년에 IEC60364 표준을 도입하여 KSC(IEC60364-1~60364-7-709)로 전기설비기술기준에 적용할 계획을 가지고 있다. 새로운 접지기준이 도입되는 경우, 기존의 저압 전로에 설치 및 운용되고 있는 저압기기들에 대하여 기기 및 인체 안전성의 검토가 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 IEC 60364에 제시된 접지방식을 기반으로 사고전류 및 인체에 통과하는 전류에 대한 안전성을 평가하기 위하여, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터의 모델링을 제시한다. 제안한 모델링을 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, TN-S 접지방식에서의 인체 통과 전류와 접촉전압이 TT 접지방식보다 낮게 발생하여, TN-S 접지가 저압전로에서의 기기 및 인체를 안전하게 보호할 수 있는 접지방식임을 확인하였다.

1. 서론

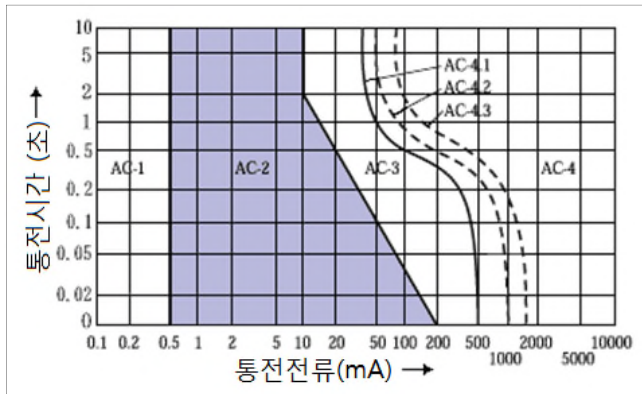
접지는 인체감전보호 및 전기기기나 전력계통을 보호하는 목적으로 시설하는 중요한 설비이다. 국내의 경우 접지종별로 일정 접지저항 값 이하가 되도록 제한하고 있으나, 이에 대한 근거나 상세한 평가방법이 없어 접지설비의 인체 및 전기기기 보호수준이 충분한지 판단하기 어려운 실정이다. 그러나, 국제표준(IEC 60364)에서는 인체감전보호에 대한 안전성 평가를 저항값이 아닌 허용접촉전압과 보폭전압을 적용하고 있으며, 인체감전 보호대책으로 등전위본딩과 누전차단기의 설치를 제시하고 있다. 이에 따라, 최근 우리나라도 기존의 접지저항값에 의한 방식이 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 구현하기 위해 PSCAD/EMTDC에 의한 모델링으로 접지방식별 사고전류와 인체에 통과하는 전류 등의 특성분석을 수행한다. 기기의 외함 저항을 고려하여 접지방식별로 사고특성 시험을 수행한 결과, TN-S 접지방식의 경우 TT 접지방식 보다 인체에 흐르

는 전류가 낮고, 인체 접촉전압이 낮은 특성이 나타나 인체를 안전하게 보호할 수 있는 접지방식으로 확인되었다. 이에 따라 IEC 60364에 따른 접지방식별 PSCAD/EMTDC에 의한 모델링으로 접지방식별 사고전류에 의한 인체 안전성을 정확하게 평가할 수 있어, 본 논문의 대한 유용성을 확인하였다.

2. 감전사고시 인체통과전류에 따른 안전특성

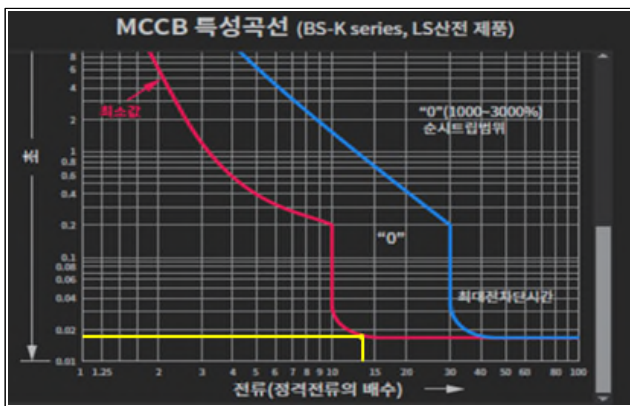
국제전기표준위원회에서 제시한 인체통과전류에 따른 인체의 반응 곡선은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 통전시간과 인체통과전류의 크기에 따라 인체반응은 크게 AC 1 ~ AC 4의 구간으로 구분된다. 여기서, AC1 구간은 감지는 가능하나 놀라는 반응이 아닌 구간이고 AC 2는 감지 및 비자의적인 근육수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 유해한 전기 생리학적인 영향은 없다. AC 3은 강한 비자의적인 근육의 수축, 혼혹곤란, 회복 가능한 심장 기능의 장애, 마비등이 발생할 수 있으며, AC 4구간은 심장마비, 호흡정지 및 화상 또는 다른 세포의 손상과 같은 병리생리학적 영향을

일으킬 수 있다.



[그림 1] 인체통과전류에 따른 인체의 반응 곡선

한편, 상기의 감전사고를 방지하기 위하여 저압전로에는 MCCB를 사용하고 있으며, 일반적인 MCCB의 동작특성 곡선은 그림 2와 같다. 이 그림에서와 같이, 정격전류의 2배 전류에서 5초 이내 차단되고, 정격전류의 10배 이상 과전류가 흐를 경우 0.02초 이내에 차단되는 특성을 가지고 있다.



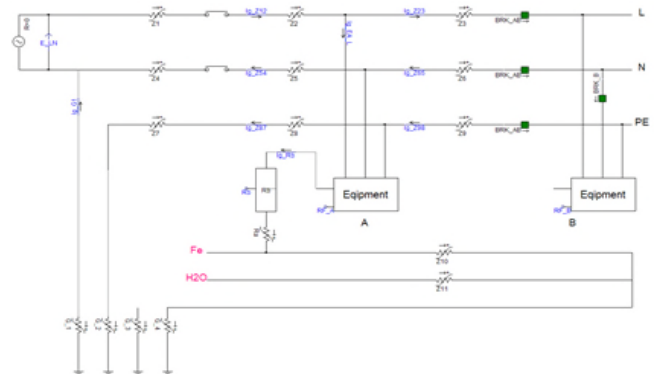
[그림 2] MCCB 동작 특성곡선

3. PSCAD/EMTDC에 의한 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터 모델링

3.1 안전성 평가용 시뮬레이터 모델링

IEC 60364를 바탕으로 PSCAD/EMTDC에 의한 안전성 평가용 시뮬레이터 모델링은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 이 시뮬레이터는 실제 수용가의 구내배전계통을 축소 모의 한 것으로, 수변전실, 분전반, 접지단자함 그리고 인체감전부로 구성된다. 여기서, 구내배전계통이 TT 접지방식인 경우, 접지계통의 회로는 그림 3과 같이 수변전실의 MOF 및 변압기의 외함, 분전함에서 분기되는 보호도체선, 전기기기의 외함, 수도관 및 피뢰침을 각각 단독접지 한 형태로 구성된다. 또한, 구내배전계통이 TN 접지방식인 경우에는 접지단자함 부분에

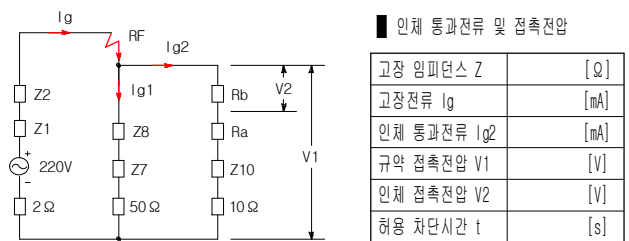
공통접지바를 연결하여, 접지계통의 회로가 등전위분당으로 구성된다. 한편, 본 논문에서는 IT 접지방식의 특성상 사고전류의 검출이 어려우므로 IT 접지방식은 고려하지 않는다.



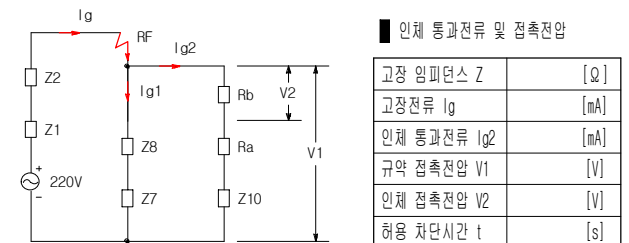
[그림 3] PSCAD/EMTDC에 의한 접지방식별 시뮬레이터 모델링

3.2 접지방식별 등가회로 모델링

상기의 PSCAD/EMTDC에 의한 시뮬레이터 모델링을 바탕으로, 인체 통과전류 및 보폭전압을 해석하기 위한 TT 및 TN 접지방식의 등가 회로도를 나타내면 각각 그림 4와 그림 5와 같다. 이 그림에서와 같이, 감전사고가 발생하면 고장전류 (I_g)는 인체와 보호도체로 분류되어 흐르며, 접촉전압이 높을수록 인체를 통과하는 전류 또한 높아진다.



[그림 4] TT 접지방식의 등가회로도



[그림 5] TN-C 접지방식의 등가회로도

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

3.1절에서 제시한 PSCAD/EMTDC에 의한 접지방식별 시뮬레이터 모델링을 바탕으로 입력 시험조건을 나타내면 표 1과

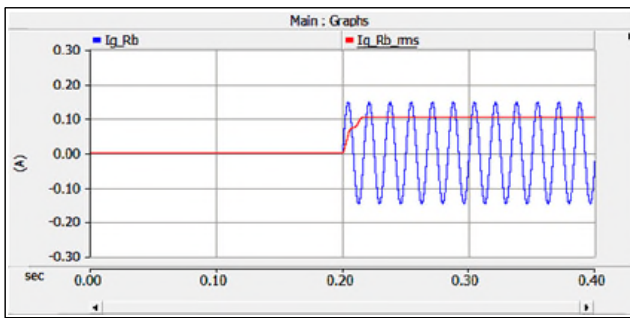
같다. 여기서, 기기외함 저항(R_F)은 기기의 재료나 크기에 의해 다양한 시험을 할 수 있으나, 본 논문에서는 R_F 값을 0 [Ω], 10 [Ω], 100 [Ω]으로 변경하면서, 임의의 사고를 발생시켜 계통의 고장전류 및 인체 통과전류 등을 비교한다.

[표 1] 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~ 100 [Ω]
Z6	0.3 [Ω]	Ra	1000 [Ω]
Z7	0.1 [Ω]	Rb	1000 [Ω]

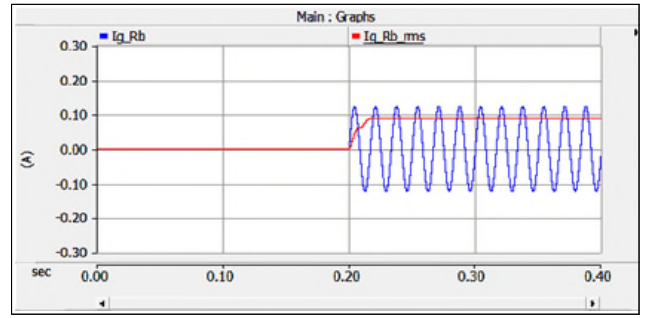
4.2 TT 접지방식의 사고특성

그림 4의 기기A의 접촉저항(R_F)이 0 [Ω]인 경우에 대한 TT 접지방식에서의 인체통과전류 특성은 그림 6과 같다. 이 그림에서와 같이, 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류는 발생하지 않았으나, R_F 값이 0 [Ω]일 때 인체통과전류는 104[mA]로 나타나, 그림 1의 교류전류에 대한 영향에 대한 그래프와 같이 100[ms]이상 접촉 시 근육의 수축, 호흡 곤란, 회복 가능한 심장기능의 장애, 마비 등이 발생할 수 있어 누전차단기가 설치되지 않은 장소일 경우 매우 위험함을 알 수 있다.



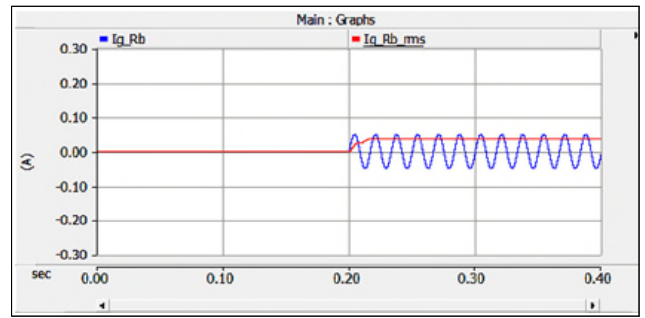
[그림 6] R_F 0 [Ω]에서 인체통과전류

또한, 그림 4의 기기A의 접촉저항(R_F)이 10 [Ω]인 경우에 대한 TT 접지방식에서의 인체통과전류 특성은 그림 7과 같다. 이 그림에서와 같이, 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류는 발생되지 않았으나 인체통과전류는 87.4[mA]로 나타나 500[ms]이상 접촉 시 근육의 수축, 호흡 곤란, 회복 가능한 심장기능의 장애, 마비등이 발생할 수 있어 누전차단기가 설치되지 않은 장소일 경우 위험함을 알 수 있다.



[그림 7] R_F 10 [Ω]에서 인체통과전류

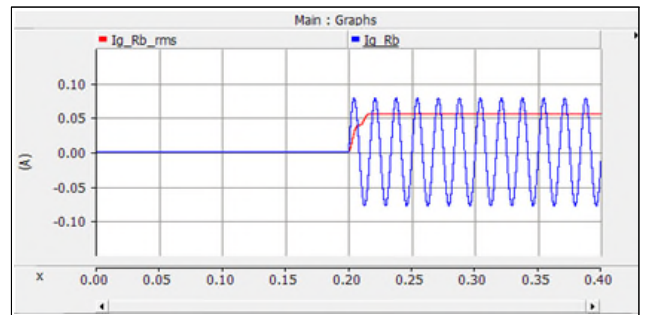
한편, 그림 4에서 기기A의 접촉저항(R_F)이 100 [Ω]인 경우에 대한 TT 접지방식에서의 인체통과전류 특성은 그림 8과 같다. 이 그림에서와 같이, 인체통과전류는 35.5[mA]로 나타나 감지 및 비자의적인 근육 수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 유해한 전기 생리학적 영향이 없음을 알 수 있다.



[그림 8] R_F 100 [Ω]에서 인체통과전류

4.3 TN-S 접지방식의 사고특성

그림 5의 기기A의 접촉저항(R_F)이 0 [Ω]인 경우에 대한 TN-S 접지방식에서의 인체통과전류 특성은 그림 9와 같다. 이 그림에서와 같이, 인체통과전류는 54.99[mA]로 나타나 약 500[msec]이상 접촉시 감지 및 비자의적인 근육 수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 유해한 전기 생리학적 영향은 없는 것을 알 수 있다.



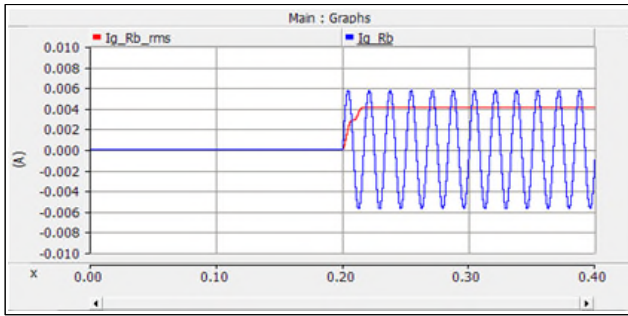
[그림 9] R_F 0 [Ω]에서 인체통과전류

한편, R_F 값을 10 [Ω]과 100 [Ω]으로 변경한 경우에 대한 TN-S 접지방식에서의 인체통과전류 특성은 각각 그림 10과 그림 11과 같다. 이 그림에서와 같이, 인체통과전류는 매우

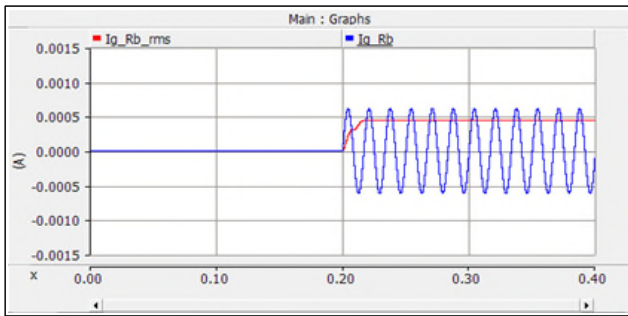
작게 나타났으나 누전차단기(RCD)의 감지전류는 매우 높게 나타나 누전차단기를 설치하여 안전을 확보해야 할 것으로 확인하였다. 따라서, TN-C 접지방식의 경우 누전차단기(RCD)의 감지전류는 차단기를 동작시킬 수 없을 정도 매우 낮게 나타나 누전차단기를 설치할 필요가 없으며, 또한, TN 접지방식에서는 인체에 통과하는 전류 및 인체접촉전압이 매우 낮아 감전에 대한 보호성능이 우수함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 IEC 60364에 따른 접지방식별 안전성 평가용 시뮬레이터를 구현하기 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링을 하고, 이를 바탕으로 사고전류와 인체 통과하는 전류 등의 특성분석을 수행한 결과, TT 접지방식의 경우 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류가 발생되지 않아 감전에 대한 보호 대책으로 누전차단기를 반드시 설치하여 안전을 확보해야 함을 확인 하였다. TN-S 접지방식에서는 고장전류가 크게 나타났으나 인체를 통과하는 전류가 작아 보호기기 고장에도 안전을 확보할 수 있는 것으로 확인 하였다. 한편, TN-S 접지방식에서는 RCD 감지전류가 매우 크게 나타남으로 누전차단기를 설치하여 안전을 확보해야 함을 확인 하였다. 또한, TN-C 접지방식의 경우에는 완전 지락사고 시 배선용차단기에 의한 보호가 가능하고 완전 지락사고이외의 누전이 발생하여도 감지전류가 매우 작아 누전차단기를 설치할 필요가 없는 것으로 확인하였다.



[그림 10] R_F 10[Ω]에서 인체통과전류



[그림 11] R_F 100[Ω]에서 인체통과전류

4.4 종합분석

TT 접지방식의 경우 고장전류는 배선용 차단기를 동작시킬 만큼의 사고전류가 발생되지 않아 감전에 대한 보호 대책으로 누전차단기를 반드시 설치하여 안전을 확보해야 하는 반면, TN-S 접지방식에서는 인체를 통과하는 전류가 작아 보호기기 고장에도 안전을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

[표 2] TT 접지방식 및 TN-S 접지방식 사고특성 비교

접지방식	TT	TN-S	TT	TN-S	TT	TN-S
측정 값						
RF[Ω]	0	0	10	10	100	100
고장전류 Ig[A]	4.266	275.027	3.573	20.371	1.452	2.183
인체 통과전류 Ig2[mA]	104.3	54.99	87.4	4.07	35.5	0.44
RCD 감지전류[A]	4.266	275.027	3.573	4.331	1.452	2.183
PE에 흐르는 전류 g1[A]	4.162	274.973	3.458	20.371	1.416	2.182

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.201912103 01940)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 한국기술교육대학교, “LH공동주택 접지시스템 고장전류 특성해석”, 2016년
- [2] 신동호, “3가지 접지방식에 대한 접지 특성비교”, 대한전 기학회, pp. 289-297, 2000년.
- [3] 정진수, “IEC 60364 기반 접지계통 비교 분석”, 조명전기 설비학회논문지, 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.