

TT, TN접지계통의 감전보호 성능평가

(Performance Evaluation of Protection against Electric Shocks for TT and TN Systems)

이복희 · 최영철 · 유재덕 · 신희경 · 양순만 · 김태기 · 이주철*

(Bok-Hee Lee · Young-Chul Choi · Jae-Duk Yoo · Hee-Kyung Shin · Soon-Man Yang · Tae-Gi Kim · Zu-Cheul Lee*)

인하대학교 IT공대 전기공학과, 대한전기협회*

Abstract

Electric shock is the accident caused by the current through a person or animal's body. That is characterized by the physiological effects. In this paper, we evaluate performance of protection against electric shocks for TT and TN grounding systems which are used by a low voltage consumer nowadays. The performance of protection against electric shocks for TT grounding system is very excellent in equipotential area of the third class grounding, but the performance is poor outside the equipotential area. The performance of protection against electric shocks for TN grounding system is excellent because the potential difference is less than 50V. Accordingly, the performance of protection for TN grounding system is good as compared with that for TT grounding system.

1. 서 론

감전(Electric Shock)은 사람 또는 동물의 몸을 통과하는 전류에서 야기되는 생리학적 효과로 정의 되어진 사고이다. 전기안전공사에서 수집한 자료를 살펴보면 2007년 감전 사고에 의해서 61명이 사망하였으며 589명이 부상한 것으로 나타났다. 이 중 139명이 주거시설에서 감전 사고를 당한 것으로 조사되었다. 뿐만 아니라 충전부 직접접촉 및 누전에 의한 사상자가 367명에 달하는 것으로 나타났다[1]. 이러한 감전 사고에 대한 보호 대책으로는 설비의 충전부에 접촉함으로써 발생할 수 있는 위험으로부터 사람과 가축을 보호하는 직접 접촉에 대한 보호 및 고장 시 노출 도전부분에 접촉됨으로써 발생하는 위험으로부터 사람과 가축을 보호하는 간접 접촉에 대한 보호가 있다. 간접 접촉에 대한 보호방법으로는 전원의 자동차단에 의한 보호 및 접지에 의한 보호 등의 방법이 있다. 자동차단에 의한 보호의 경우 차단장치의 고장 시 안전성을 보장할 수 없기 때문에 접지를 통하여 충분한 안전성을 확보하여야 한다. 모든 노출 도전성 부분을 보호도체로 전원계통의 접지점에 접속하는 TN접지계통, 전원계통의 중성점 접지와는 별도로 설비의 노출 도전성 부분을 접지시키는 TT접지계통 및 계통의 중성점을 대지로부터 절연하거나 충분히 높은 임피던스를 삽입하여 대지와

접속하고 설비의 노출 도전성 부분을 별도로 접지하는 IT접지계통이 있다[2~4].

이러한 접지계통 중에서 우리나라의 전원 계통의 대부분을 차지하는 TT접지계통에서의 감전에 대한 보호성능 및 국제적으로 가장 많이 사용되고 있는 TN접지계통에서의 감전에 대한 보호성능에 대해서 모의실험을 통하여 비교, 분석하고 이의 결과에 대하여 논하였다.

2. 본 론

2.1 실험계의 구성

그림 1과 같이 모의실험을 위한 시스템을 구성하였다. 실제 규모의 모의를 위하여 주상변압기에서 주택분전반과의 거리를 20m, 주택분전반에서 가전기기까지의 거리를 20m, 가전기기에서 접지단자까지의 거리를 20m로 설정하였으며, 철골기초에서 2종 접지까지의 거리를 50m로 설정하여 실험을 수행하였다. 접지단자반의 SW1, SW2, SW3의 조작을 통하여 접지계통을 바꿀 수 있도록 시설하였다. SW1을 열고 SW2를 닫은 경우 TT접지계통의 시스템이 된다. SW2를 열고 SW1을 닫은 경우 TN접지계통이 된다. SW1과 SW2를 동시에 닫은 경우는 TN접지계통에 추가접지를 한 상황을 모의한 것이다.

가전기기를 사용할 때 가전기기의 절연성능이 저

하되거나 지락(외함과의 단락)이 발생한 경우의 누설저항을 R_1 로 하여 감전지점 E와 A점 또는 B점 사이의 전압 $V(E/A)$, $V(E/B)$ 를 사용하여 평가하였다. $V(E/A)$ 와 $V(E/B)$ 는 가전기기를 사용하는 사람이 제 3종 접지 및 추가접지의 등전위의 공간에서 감전되었을 경우와 등전위 공간을 벗어난 원거리에서 감전된 경우를 상정한 것이다. 시험 파라미터로는 제 3종 접지저항 및 추가접지저항을 20, 50, 100[Ω]의 3가지 경우로 상정하여 실험하였으며, R_1 의 경우 가전기기의 절연이 파괴된 경우인 0[Ω] 및 10, 50, 100, 500, 1000[Ω]으로 누설되었을 경우의 저항을 상정하여 실험하였다.

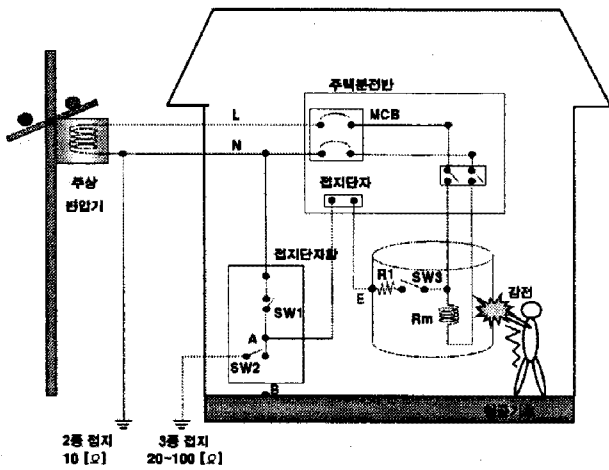


그림 1. TT, TN접지계통의 감전보호 성능평가 개요도
Fig. 1. Configurations of performance evaluation of protection against electric shocks for TT and TN systems

본 연구에서는 DC~100[MHz]의 주파수 대역을 갖는 전류프로브를 이용하여 전류를 측정하였으며, E/A와 E/B간 전위차는 DC~75[MHz]의 주파수 대역을 갖는 능동형 차동프로브로 측정하였다. 전류와 전위 파형은 500[MHz], 2.5[GS/s] 분해능의 오실로스코프로 관측하였다.

2.2 TT접지계통의 감전보호 성능평가

TT접지계통에서의 감전 시 위험성을 그림 1에서 SW1을 열고 SW2를 닫은 상태에서 제 3종 접지 저항 및 누설저항을 달리하며 $V(E/A)$ 의 전위차와 $V(E/B)$ 의 전위차를 측정하였다. 그림 2는 TT접지계통에서 제 3종 접지저항이 100[Ω], 누설저항이 0[Ω]일 때(직접 지락고장)의 전위차와 전류를 측정 한 파형의 예이다. 그림에서 보는 바와 같이 감전 보호용 누전차단기의 동작시간인 0.03초 이내에 누전차단기가 동작하여 고장전류가 매우 짧은 시간 동안 흐르는 것으로 나타났다[5].

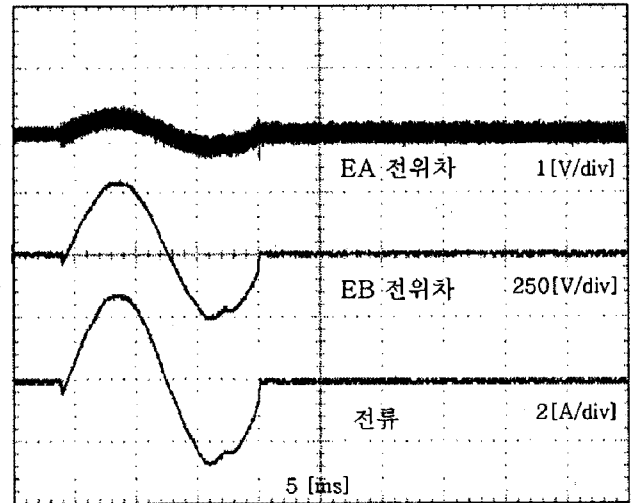


그림 2. TT접지계통에서의 전위차와 전류 파형의 예
Fig. 2. Typical waveforms of the current and potential difference for TT system

표 1. TT접지 계통에서의 전위차 및 전류
Table 1. The potential difference and current for TT system

제 3종 접지 저항	누설저항 R_1	E/A전위차[V]	E/B전위차[V]	전류 [A]
20[Ω]	0[Ω]	0.78	128.69	8.13
	10[Ω]	0.55	89.10	5.59
	50[Ω]	0.26	42.43	2.64
	100[Ω]	0.18	27.05	1.63
	500[Ω]	0.04	6.79	0.42
	1000[Ω]	0.03	3.43	0.21
50[Ω]	0[Ω]	0.36	171.83	3.75
	10[Ω]	0.30	140.71	3.11
	50[Ω]	0.20	87.68	1.87
	100[Ω]	0.13	61.52	1.29
	500[Ω]	0.05	18.38	0.40
	1000[Ω]	0.03	9.72	0.21
100[Ω]	0[Ω]	0.18	183.85	1.84
	10[Ω]	0.15	166.17	1.70
	50[Ω]	0.12	123.04	1.27
	100[Ω]	0.11	96.17	0.99
	500[Ω]	0.04	35.36	0.37
	1000[Ω]	0.02	18.38	0.21

표 1에 TT접지계통에서 제 3종 접지저항값과 누설저항값에 따른 전위차와 전류를 나타냈다. 제 3종 접지의 등전위 공간(접지극 주변)에서 감전되었을 때를 가정한 $V(E/A)$ 의 경우 제 3종 접지저항이 20[Ω]이고 완전지락을 가정한 누설저항이 0

[Ω]인 경우에도 0.78[V]의 전위차를 나타내었으며, 모든 경우에서 1[V]이하의 매우 낮은 전위차를 나타내었다.

TT접지계통의 경우 제 3종 접지의 등전위 공간에서 감전되었을 때 안전하게 기능함을 알 수 있다. 하지만 제 3종 접지의 등전위 공간에서 벗어난 위치에서 감전되었을 때를 가정한 V(E/B)의 경우 최대 183.85[V]의 매우 위험한 전위차가 나타났다. 뿐만 아니라 제 3종 접지저항이 100[Ω]인 경우에는 완전지락이 아닌 기기의 절연이 완전히 파괴되지 않은 상태인 누설저항이 100[Ω]인 경우에도 96.17[V]의 위험한 전위차가 나타났다. 제 3종 접지저항을 20[Ω]으로 낮춘 경우에도 누설저항이 10[Ω]인 경우 89.10[V]의 전위차가 나타났다. 감전보호용 누전차단기의 동작시간인 0.03초 이내에서는 500[V]의 전압까지도 안전성을 보장할 수 있기 때문에 누전차단기가 설치되어 있는 경우 TT접지계통에서 감전되는 경우 안전이 충분히 보장된다고 판단된다. 하지만 누전차단기의 고장 시 50[V]이상의 전위차는 큰 위험을 초래할 수 있기 때문에 종래의 많은 저압 수용가에서 사용되고 있는 TT접지계통의 경우 큰 위험성을 가지고 있다고 판단된다.

2.3 TN접지계통의 감전보호 성능평가

TN접지계통에서의 감전보호의 성능을 알아보기 위하여 그림 1에서 SW2를 열고 SW1을 닫아 TN접지계통을 구성하여 접지단자반과 등전위 공간에서의 감전 시 전위차 V(E/A)와 접지단자반의 등전위 공간을 벗어난 상태에서의 감전 시 전위차 V(E/B)를 측정하여 성능을 평가하였다.

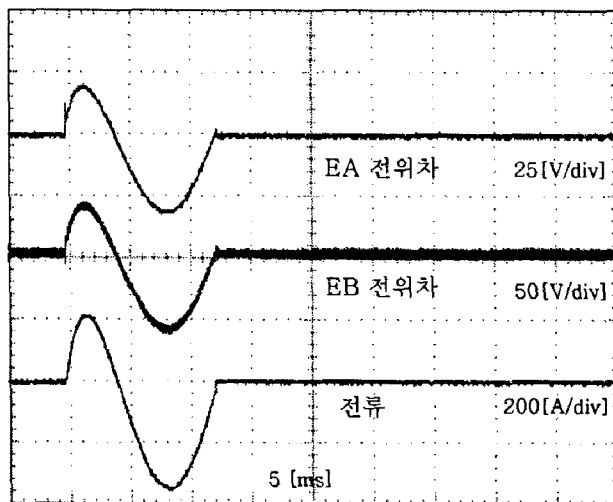


그림 3. TN접지계통에서의 전위차와 전류 파형의 예
Fig. 3. Typical waveforms of the potential difference and current for TN system

그림 3은 TN접지계통에서 누설저항이 0[Ω]일 때의 V(E/A)와 V(E/B) 및 전류를 측정된 파형의 예이다. 그림 3에 나타난 것과 같이 0.015초 이내의 짧은 시간 안에 차단기가 동작하는 것으로 나타났다. 표 2는 TN접지계통에서의 전위차 및 전류를 나타낸다. TN접지계통에서는 누설저항이 10[Ω]이상인 경우 최대 4[V]의 전위차를 보여 TT접지계통에 비하여 매우 낮은 전위차를 나타내었으며, 젖은 경우에도 안전한 25[V]이하의 값을 나타내었다 [6]. 누설저항이 0[Ω]인 경우에는 V(E/A)간의 전위차는 17.68[V]로 낮은 전위차를 보였지만 V(E/B)의 경우 젖은 손으로 접촉할 경우 위험할 수 있는 35.18[V]를 나타내었다. 이러한 전위차는 완전지락 시에 전로에 큰 전류가 흐르면서 전로의 인덕턴스의 영향으로 나타나는 전위차로 판단된다. 하지만 일반적인 경우 50[V]이하의 전위차에서는 충분히 안전을 보장할 수 있기 때문에 TN접지계통의 경우 차단기의 고장 시에도 충분한 안전이 보장됨을 알 수 있다.

표 2. TN접지계통에서의 전위차 및 전류

Table 2. The potential difference and current for TN system

	누설저항 R_1	E/A전위차[V]	E/B전위차[V]	전류[A]
TN접지계통	0[Ω]	17.68	35.18	199.40
	10[Ω]	1.63	3.68	18.53
	50[Ω]	0.35	0.85	3.96
	100[Ω]	0.21	0.64	2.12
	500[Ω]	0.06	0.35	0.43
	1000[Ω]	0.03	0.25	0.22

그림 1에서 SW1과 SW2를 동시에 닫음으로써 TN접지계통에 추가접지를 한 경우를 상정하여 실험을 실시한 결과를 표 3에 나타내었다. 현재 저압수용가의 대부분에서 사용하고 있는 TT접지계통에 TN접지계통을 추가하였을 때와 같은 상황을 상정한 것이다. 이를 통해 저압수용가에서 TN접지계통을 사용하게 될 경우 감전에 대한 보호성능을 평가할 수 있다.

누설저항이 10[Ω]이상인 경우 추가접지저항 값과 상관없이 4[V]이내의 매우 낮은 전위차를 보이는 것으로 나타났다. 이는 TN접지계통에서와 유사한 전위차로써 감전에 대한 보호성능이 매우 뛰어나음을 알 수 있다. 누설저항이 0[Ω]인 경우에 V(E/B)의 경우 최대 42.43[V]의 전위차를 나타내어 일반

적인 상황에서는 감전에 대한 보호성능이 충분하다고 판단된다. 하지만 이는 습기가 많거나 젖은 곳에서는 감전에 대한 위험을 초래할 수 있으나 차단기 동작시간 내에서는 충분한 안전을 보장할 수 있다. 또한 TN접지계통에 추가접지를 한 경우에는 PEN도체의 단선 시 기기의 외함에는 높은 전위가 나타날 수도 있으므로 등전위 본딩을 할 필요가 있다.

표 3. TN접지계통에 추가접지를 한 경우의 전위차 및 전류

Table 3. The potential difference and current for TN system with additional ground electrode

추가접지 저항	누설저항 R_1	E/A전위차[V]	E/B전위차[V]	전류 [A]
20[Ω]	0[Ω]	20.72	32.35	234.76
	10[Ω]	1.66	2.79	18.67
	50[Ω]	0.38	0.76	3.92
	100[Ω]	0.21	0.42	2.05
	500[Ω]	0.05	0.19	0.42
	1000[Ω]	0.02	0.12	0.22
50[Ω]	0[Ω]	21.92	35.36	241.83
	10[Ω]	1.70	3.20	18.81
	50[Ω]	0.35	0.76	3.82
	100[Ω]	0.18	0.44	2.09
	500[Ω]	0.05	0.23	0.43
	1000[Ω]	0.02	0.22	0.21
100[Ω]	0[Ω]	20.86	42.43	243.24
	10[Ω]	1.70	3.46	19.09
	50[Ω]	0.39	0.81	4.17
	100[Ω]	0.16	0.49	2.19
	500[Ω]	0.04	0.21	0.42
	1000[Ω]	0.03	0.19	0.21

3. 결 론

TT접지계통에서는 제 3종 접지극 주변에서 감전되는 경우에는 감전에 대한 보호성능이 매우 뛰어났으나 접지극 주변을 벗어난 경우에는 전원전압에 가까운 전위차를 보여 감전에 대한 보호가 충분히 이루어지지 못한다고 판단된다. 하지만 누전차단기를 적용함으로써 안전을 확보할 수 있으나 누전차단기의 동작불량에 의한 감전에 대비하여야 할 것이다. TN접지계통은 어떠한 지락고장에 대하여도 50[V]이하의 전위차를 나타냄으로써 충분

한 감전보호성능을 갖는다고 판단된다. 이에 따라 TT접지계통에 비하여 TN접지계통이 감전에 대한 보호성능이 우수하다고 판단된다. TN접지계통에 추가접지를 한 경우 TN접지계통과 거의 유사한 감전보호성능을 갖는 것으로 나타났다. 이에 따라 현재 대부분의 저압수용가에서 사용 중인 TT접지계통에서 제 3종 접지를 제거하지 아니하고 TN접지계통으로 전환하여도 감전에 대한 보호성능을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 전기안전공사, "2007년도 전기재해 통계보고서", 2008.
- [2] IEC International Standard, IEC 60364-4-41, Ed.5, Low-voltage electrical Installations - Part 4-41: Protection for safety-Protection against electric shock, TC64/1489/FDIS, 2005.
- [3] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", pp. 4-8, 2000
- [4] 한국전기안전공사, "IEC 60364 해설서", pp.135-141, 2005.
- [5] 한국산업규격, "KS C 4613", 2002.
- [6] IEC International Standard, IEC 61200-413, Electrical Installations Guide, Part 413: Protection against Indirect Contact Automatic Disconnection of Supply, 1996.