

TN-C-S계통에서 PEN도체 단선이 인체 안전에 미치는 영향

(Personnel safety related to a loss of PEN conductor in TN-C-S system)

김정철* · 이복희 · 이규선 · 조정현

(Jung-Cheol Kim · Bok-Hee Lee · Kyu-Sun Lee · Jung-Hyun Joe)

Abstract

In electrical power supply systems, an earthing system determines the electrical potential of the conductors relative to that of the Earth's conductive surface. The choice of earthing system has implications for the safety of the power supply. Note that regulations for earthing (grounding) systems vary considerably among different countries. A protective earth(PE) connection ensures that all exposed conductive surfaces are at the same electrical potential as the surface of the Earth,

This paper investigates that when PEN conductor of TN-C-S system is disconnected, dangerous touch voltage is caused at personnel body. According to this paper, we can understand that when TN-C-S system is applied in Korea, what we should set up to ensure the personnel safety from fault current.

1. 서론

전기의 합리적인 사용과 인체의 안전을 위한 수용가 설비의 접지방식을 전기설비기술기준에 국제 표준규격인 IEC 60364를 도입하고, 이를 KS화함에 따라 수용가 설비 운용자는 설비의 기능적 요건 및 경제성에 따라 IEC 60364에 기술된 저압 배전용 전원 계통 즉, TT방식, IT방식, TN-S방식, TN-C방식 또는 TN-C-S방식 중에서 어느 하나를 적절하게 적용할 수 있다[1]. 중·대용량 저압 수용가 설비에서 많이 채택하고 있는 TN-C방식도 마찬가지로이지만 특히 TN-C-S방식 저압전원계통에서 PEN도체가 접촉 불량 또는 단선된 경우에 접속되어 있는 전기설비의 노출도전성 부분에 상전압에 상응하는 높은 접촉전압이 발생하므로 인체의 안전을 보장 할 수 없다[2]. 이와 같이 전원계통의 이상에 의해 발생하는 감전 사고는 인명의 위협과 재산의 큰 손실을 초래할 수 있기 때문에 전원계통의 사용에 앞서 인체의 안전을 보장할 수 있는 연구가 반드시 수행되어야 한다.

IEC 60364를 우리나라에 도입하여 KS화하면서, 다양한 저압전원계통을 저압수용가의 상황에 맞추어 적절하게 선택적 사용이 가능하게 되었다[3].

본 연구는 북미, 유럽의 대부분의 저압수용가에서 사용하고 있는 TN-C-S방식 저압전원계통의 특성 평가에 대하여 국내에서 실제 저압수용가설비에 시설하여 평가실험을 수행함으로써 TN-C-S방식 저압전원계통의 PEN도체의 이상이 발생하는 경우

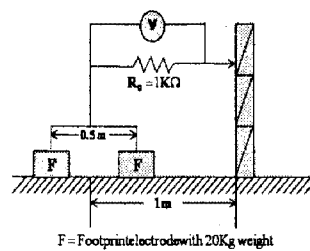
인체 안전을 확보함으로써 TN-C-S방식 저압전원계통을 안전하게 국내에서 사용할 수 있는지를 검증하였다[4].

2. 실험

2.1 인체 임피던스 모델의 설계

TN-C-S방식 저압전원계통에서 PEN도체의 단선 시 실제적으로 인체안전에 미치는 영향을 측정하기 위하여 IEEE Std 81.2-1991을 참고하여 인체 임피던스 모델을 설계 및 제작하였다. 아래 인체 임피던스 모델은 접촉전압을 측정할 수 있도록 그림 1-A의 규격에 맞추어 그림 1-B의 인체 임피던스 모델을 제작하였다[5].

그림 1 인체 임피던스 모델
Fig.1 Personal impedance model



[A: IEEE Std 81.2-1991 인체 임피던스 모델]



인체 저항: 998 ohm, 10kg
인체 발 면적: 각각 20kg

[B: 접촉전압측정에 사용된 인체 임피던스 모델]

2.2 실증실험정의 시공

그림 2은 TN-C-S방식 저압전원계통에서 PEN도체 단선시의 안전성을 실증적으로 검증하기 위해서, 실제 TN-C-S방식 저압전원계통의 저압 수용가 설비를 시설한 것을 보여주고 있다. 각 실험요소들의 시설위치를 부하를 기준으로 하여 이격한 거리를 나타내었다. 또한 우측에 변수요소, 측정요소를 정의하였다.

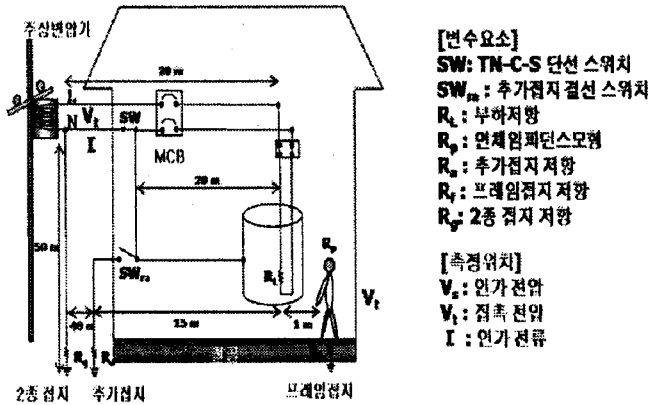


그림 2 TN-C-S 전원계통 수용가 회로도
Fig. 2 A consumer's circuit diagram of TN-C-S system

2.3 실험장비

그림 3은 실제로 시공한 실증 실험장에 설치한

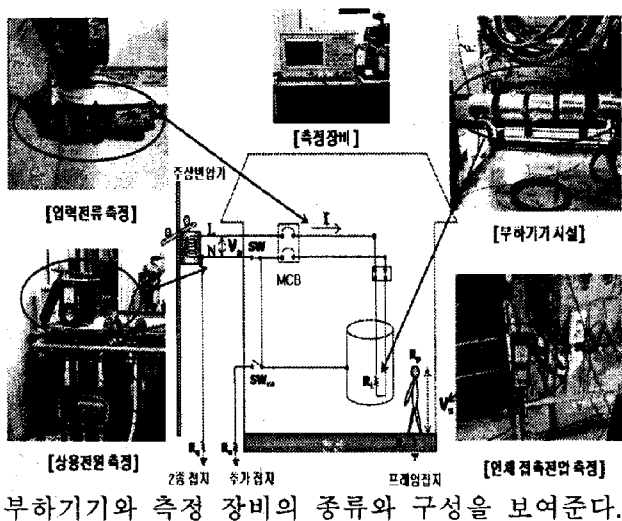


그림 3 실험설비의 구성
Fig. 3 Configuration of the experimental equipment

2.4 선행 실험

TN-C-S 저압전원계통의 PEN도체의 단선이 인체안전에 미치는 영향을 실험을 수행하기 위해서 표 1와 같이 우선적으로 측정을 해야 하는 요소들

이 있다. 측정방법은 IEEE81.2-1991에서 권고하는 측정 방법을 이용하였다[6].

표 1. 선행 측정요소 실험결과

Table 1. Measurement result of a condition precedent

측정요소	측정결과
프레임접지저항(R_f)	2.3 [ohm]
추가접지저항(R_n)	18 [ohm]
2중 접지저항(R_g)	10.23 [ohm]

2.4 측정 요소의 선정

TN-C-S방식 저압전원계통의 PEN도체 단선시 인체에 미치는 영향을 실험하기 위하여 표 2와 같이 측정요소를 선정하였다.

표 2. 실험 변수 선정

Table 2. Decision of the experimental variables

실험 변수 선정	선정값
부하용량(P_L)	1, 2, 3, 4, 5 [KW]
인체저항(R_p)	1 [KΩ]

3. 결과

3.1 PEN도체 단선 실험

3.1.1 PEN도체 단선시 접촉전압

TN-C-S방식 저압전원계통에서 PEN도체가 단선되는 경우, 인체임피던스에 걸리는 접촉전압의 파형의 예를 그림 4에 나타내었다. PEN도체가 PEN도체와 노출도전성부분인 부하의 외함을 접촉하기 때문에 PEN도체의 단선에 의해 상전압 220 V에 상응하는 접촉전압이 인체임피던스모델에 발생하는 결과를 초래하는 것을 보여준다. 수용가에서 사용하는 부하용량이 감소하면 접촉전압이 다소 줄어들기는 하나 거의 상전압에 가까운 접촉전압이 발생하는 것을 알 수 있다.

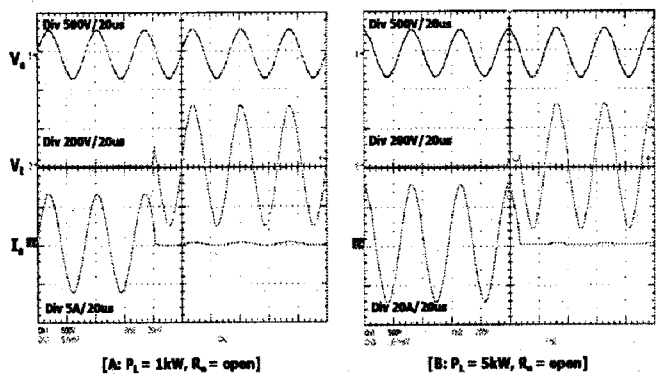


그림 4 PEN도체 단선 시 접촉전압
Fig. 4 Touch voltages when PEN conductor is disconnected

3.1.2 부하변화에 따른 접촉전압의 변화 추이

그림 5는 PEN도체가 단선시, 1 kW 에서 5 kW 까지 부하용량의 증가에 따라 인체임피던스모델에 발생하는 접촉전압이 증가하는 것을 보여준다. 부하저항의 관점에서 보면, 부하저항이 10 Ω 에서 50 Ω 으로 증가함에 따라서 다소 접촉전압이 낮아지기는 하지만 220 V 에서 210 V 의 매우 적은 전압강하를 보여주고 거의 상전압과 같은 접촉전압이 인체저항모델에 발생하기 때문에 .추가접지를 비매설 하였을 경우 TN-C-S방식의 저압전원계통은 인체의 안전을 보장하지 못하는 것을 확인할 수 있다.

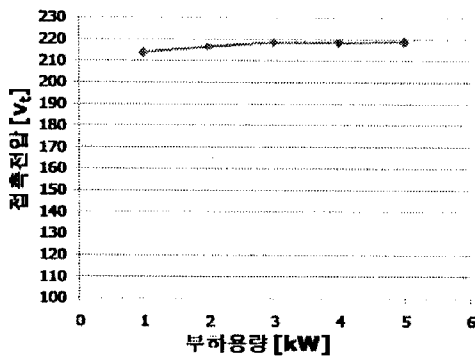


그림 5 부하용량에 따른 접촉전압의 변화추세
Fig. 5 Touch voltage variation related to load changed

3.2.2 부하변화 따른 접촉전압의 변화 추이

그림 7은 TN-C-S방식 저압전원계통에서 추가접지를 대지에 실제로 시공한 후 PEN도체의 단선시에 나타나는 접촉전압의 추세를 부하용량의 변화에 따라 보여주고 있다. 그림 7을 보면 부하용량이 동일한 경우에 추가접지 $R_a=18 \Omega$ 을 매설하는 경우 부하용량이 1kW이하인 경우는 접촉전압이 50V 이하가 되어서 안전전압을 유지하는 것을 알 수 있다. 하지만 2 kW로 부하가 증가하는 경우는 다시 안전전압 50 V이상의 접촉전압이 인체임피던스 모델에 걸리기 때문에 인체에 위험을 초래하는 것을 확인할 수 있다.

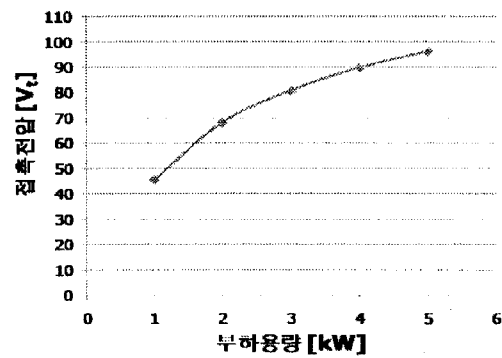


그림 7 부하용량에 따른 접촉전압의 변화추세
Fig. 7 Touch Voltage variation related to load changed

3.2 추가접지 설치 시 PEN 도체 단선

3.2.1 PEN도체의 단선시 접촉전압

그림 2에서 SW_{ra} 를 동작시켜서 추가접지의 시설을 모의 하였다. 그림 6은 TN-C-S 접지방식의 전원계통에서 추가접지 $R_a=18 \Omega$ 을 수용가의 외부에 실제로 매설한 후 PEN도체의 단선시에 나타나는 결과파형을 보여주고 있다. 추가접지의 비매설시에 비해서 접촉전압이 2배에서 3배 정도 낮아지고, 부하용량에 따라서 변동이 크다는 것을 확인할 수 있다.

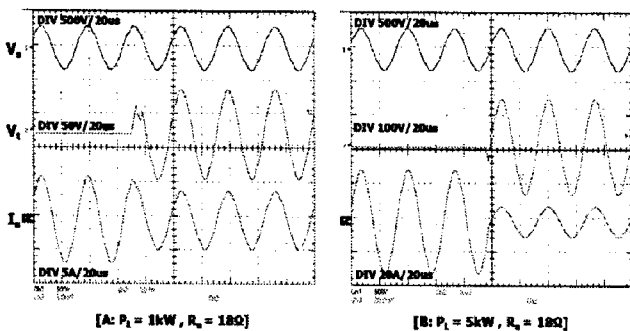


그림 6 PEN도체의 단선 시 접촉전압
Fig. 6 Touch voltages when PEN conductor is disconnected

4. 검토

그림 8은 TN-C-S 저압전원계통에 추가접지를 시설하지 않은 경우와 추가접지를 시설한 경우 두 가지 경우를 비교한 것이다. 추가접지를 시설하지 않은 경우에는 부하용량이 1 kW ~ 5 kW까지 변화를 하더라도 상전압 220 V에 거의 근사한 접촉전압이 인체임피던스모델에 발생하는 것을 알 수 있다. 그에 반하여 추가접지 $R_a=18 \Omega$ 를 매설한 경우에는 부하용량의 변화에 따라 실험1에 비하여 변화폭이 크기는 하지만 실험1의 결과보다 2배에서 5배정도가 낮은 접촉전압이 인체임피던스 모델에 발생한다. 이것은 TN-C-S방식의 저압전원계통을 사용할 경우에 감전사고를 예방하기 위해서는 반드시 추가접지를 시설해야 하며, 추가접지에 따른 수용가의 실제 사용하는 부하의 용량도 제한이 필요하다는 것을 보여주고 있다.

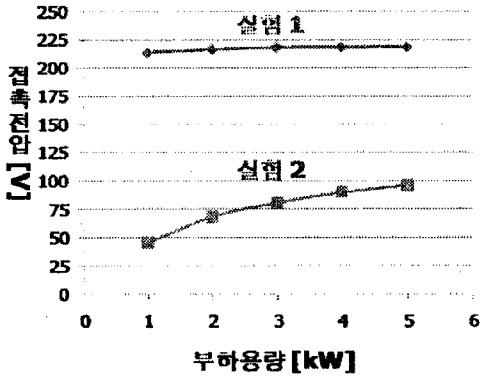


그림 8 실험 1과 실험 2의 결과 비교
Fig. 8 Comparison between the experiment result 1 and result 2

5. 결 론

우리나라의 저압전원계통의 경우 대부분이 TT방식을 사용해 왔다. 하지만 다양한 용도와 상황에 유연한 저압수용가를 설계할 수 있도록 TN방식의 도입요구가 증가하고 있다. 이러한 세계적인 추세에 맞추어 TN-C-S방식을 사용하는 경우에 인체의 안전을 확보하는 일이 최우선적으로 검증되어야 하는 일이라 하겠다.

실험 1에서와 같이 TN-C-S 방식의 저압전원계통은 PEN도체가 단선이 되는 경우 부하의 용량이 증가함에 따라 즉 부하저항값이 감소함에 따라 접촉전압이 증가한다. 추가접지를 시설하지 않은 상태에서 단선사고가 발생하는 경우에는 상전압에 가까운 접촉전압이 PE도체를 경유하여 노출도전성 부분인 부하의 외함에 발생하기 때문에 추가접지의 시설이 없을 경우에는 절대 사용을 금지해야 할 것이다.

실험 2에서와 같이 추가접지 $R_a=18 \Omega$ 를 대지에 실제로 시공한 경우에 단선사고가 발생하는 경우 PE도체가 부하의 외함과 추가접지와 병렬로 접속이 된다. 이 경우 실험 1에서 인제임피던스모형에 상전압에 상응하는 전압 220 V이 걸리는 경우와 다르게 부하용량이 1 kW인 경우는 50V이하의 안전전압을 유지하는 것을 확인할 수가 있었다. 이렇듯이 추가접지를 수용가 외부에 실제 시설하는 경우에는 추가접지저항값에 상응하여 수용가에서 사용하는 부하용량을 제한함으로써 인체안전을 확보할 수가 있다.

- (1) IEC International Standard, IEC 60364-1, Ed.5, Low-voltage electrical Installations - Part 1: Fundamental principle, assessment of general characteristics, definitions, 2005.
- (2) 이복희, 이승철, "The Major Foundational Technics for Grounding Systems, 집지의 핵심 기초 기술", 도서출판 의제, pp.1-197, 1999.
- (3) 건축전기설비 - 제5부 전기기기의 선정 및 시공 - 제54장 접지설비 및 보호도체 KS C IEC 60364-5-54: 2002 (IEC 60364-5-54: 1980)
- (4) 이규선, "저압 전원계통에서 PEN도체의 단선고장의 위험성 및 보호대책", 인하대학교, pp. 9-26, 2006.
- (5) IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", IEEE Inc., pp.1731, 1991.
- (6) IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", IEEE Inc., pp.17-31, 1991.