

# IEC 60364 기반 접지계통 비교 분석

(The Comparison and Analysis about Earth System based on IEC60364)

정진수\* · 한운기 · 김오환 · 김재철

(Jin-Soo Jung · Woon-Ki Han · Oh-Hwan Kim · Jae-Chul Kim)

## 요 약

본 논문에서는 IEC 60364에서 제시하고 있는 접지계통(TT접지계통, TN-S 접지계통 및 TN-C)의 누전 차단기 동작특성 및 보호도체의 임피던스변화에 따른 Loop Impedance 특성분석을 실시하였다.

분석결과 Loop Impedance의 경우 저항성분과 인덕턴스성분에 영향을 받는 것으로 나타났다. 접지계통 별 전류·전압특성은 TN-S 접지계통 및 TN-C 접지계통의 경우 사고전류가 높고 접촉전압이 낮은 특성을 나타낸 반면 TT 접지계통의 경우 사고전류는 낮고 접촉전압이 높게 나타남을 확인하였다.

## Abstract

This paper describes the analysis of loop impedance characteristics by impedance alteration of protective conductors and operating characteristics of electric leakage circuit breaker by each earth systems(TT system, TN-S system and TN-C system) in IEC 60364.

As a result, loop Impedance was affected by resistance & inductance. The current& voltage characteristics about earth system were identified that the TN-S system was high fault current & low touch voltage. TN-C system was almost same the TN-S system but TT system was low fault current & high touch voltage.

Key Words : IEC 60364, TT System, TN System, Protective Conductor, Circuit Breaker

## 1. 서 론

국내 저압용 전기설비의 경우 각국의 기술기준을 국제규격에 부합시켜야 한다는 WTO/TBT협정

\* 주저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원

Tel : 031-580-3067, Fax : 031-580-3070

E-mail : mirmir0822@hanmail.net

접수일자 : 2009년 2월 9일

1차심사 : 2009년 2월 13일, 2차심사 : 2009년 8월 10일

심사완료 : 2009년 8월 21일

(1995년)에 따라 국내의 저압용 전기설비(공칭전압 AC 1,000[V], DC 1,500[V] 이하)에 IEC 60364가 적용가능하다고 고시되었다(2005년 12월)[1]. 이에 따라 현행 국내 전기설비 분야는 국내기준과 IEC (international electrotechnical commission : 국제전기표준회의)기준의 선택적 적용이 가능하게 되었다. 한 예로 보호도체 방식 중 TN 접지시스템은 국내에는 적용사례가 거의 없어 이와 같은 접지시스템이

본격적으로 현장에 도입될 경우 전기설비의 설계, 시공 및 검사 시 많은 혼란이 예상되고 있다[2]. IEC 60364는 주택, 상업, 공업 등 저압용 전기시설에 대한 인체 및 전기설비를 보호하기 위해 전기설비 시공, 검사, 유지 및 관리에 대한 지침이 표기되어 있다. 그러나 IEC 60364에서 제시하고 있는 건축전기설비의 시공, 접지시스템 구성 및 검사기법 등은 국내 환경과 차이가 있어 전면적 도입 이전에 안전성 검증 및 기존 설비와의 연계방안을 고려할 필요가 있다. IEC 60364를 도입하여 운영하고 있는 국외 국가의 경우 설비 보호 및 인체 감전을 위해 Loop Impedance를 측정하고 있으며 전류 및 전압의 크기에 따라 Loop Impedance의 크기를 각각 규정하고 있다. 또한 TN 접지시스템의 경우 사고전류가 크다는 특징을 가지고 있으므로 이에 대한 검증이 필요하다. 마지막으로 인체감전을 위해 IEC 60364에서는 건축전기설비 내부를 모두 등전위시키기 위해 모든 금속도체의 연속성을 확보하도록 규정하고 있다. 이에 본 논문에서는 모의 실증실험설비를 이용하여 접지시스템 및 위치별 Loop Impedance 특성 분석, 차단기 동작특성 분석 및 금속도체 시공방법에 따른 특성 분석을 실시하였다.

## 2. 실험설비 구성 및 실험 방법

본 실험에서는 IEC 60364로 시공된 건축설비와 현

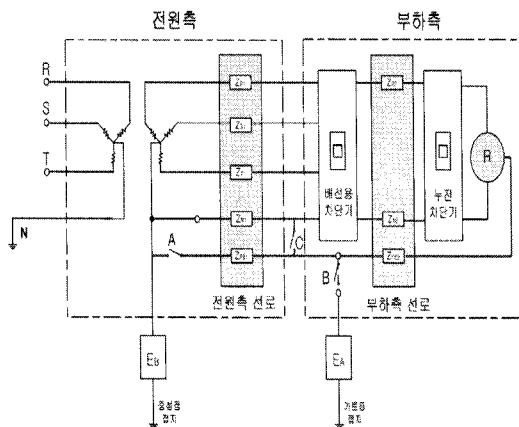


그림 1. 접지시스템 실험 장치  
Fig. 1. Experiment setup for earth systems

국내 건축전기설비의 인체감전 보호 특성을 비교분석하기 위해 그림 1과 같이 실험설비를 구성하였다. 그림 1에서 모의실험설비는 IEC 60364에서 제시하고 있는 TT, TN 및 현 국내 건축전기설비의 접지시스템 구성이 가능한 전원측과 Loop Impedance 특성, 차단기 동작특성, 선로저항 변환, 접지의 추가 연결 및 보호도체의 연속성 등의 모의가 가능한 부하측으로 구성되어 있다.

표 1은 IEC 60364에서 제시하고 있는 TT, TN 및 국내 건축전기설비의 접지시스템의 감전보호를 위해 구성된 실험설비의 각 부분에 대한 용어 정의를 나타내었다.

표 1. 계통 기호  
Table 1. The system mark

R, S, T	상도체	PE	보호도체
$Z_{R1}$ $Z_{S1}$ $Z_{T1}$	전원측 상도체 임피던스	$Z_{R2}$ $Z_{S2}$ $Z_{T2}$	부하측 상도체 임피던스
A, B, C	계통 구성 스위치	$E_A$	보조접지
$E_B$	중성점 접지		

### 2.1 접지시스템 실험설비 구성

접지시스템 실험을 위한 전원은 3상4선식 380[V]/380[V], 15[kVA] 절연변압기를 사용하여 사고모의 시타 설비로의 과급을 미연에 방지할 수 있도록 설계하였다. 또한 선로 길이에 따른 선로 저항, 보호도체, 차단기 등은 IEC 60364에서 인체 감전보호를 위해 제시하고 있는 실제 건축전기설비와 동일하게 구성하였다.

### 2.2 전원측 실험설비 구성

지락사고 모의 시 사고전류가 2차측으로 회귀하여 계통으로의 과급을 막기 위해 절연변압기를 사용하였다.

그림 1 및 표 2와 같은 스위치(A, B, C)의 동작을 이

용하여 접지계통은 N상과 보호도체(PE)의 구성에 따라 TT, TN-S, TN-C 등의 접지계통으로 변환이 가능하며 각 접지계통은 접지저항 및 선로의 임피던스 크기에 따라 인체 및 전기설비에 대한 안전성이 변경되므로  $Z_S$ 와  $R_A$ 를 변환시켜 모의를 실시하였다.

표 2. 스위치를 이용한 접지계통 구성  
Table 2. Earth system structures Using switching

접지계통	스위치 동작
TT 접지 계통	A 스위치 off, B 스위치 on, C 스위치 off
TN-C 접지 계통	A 스위치 off, B 스위치 off, C 스위치 off
TN-S 접지 계통	A 스위치 on, B 스위치 on, C 스위치 off

### 2.3 분전반 실험설비 구성

정상 운전상태의 경우 이상전압 및 사고전류가 타 설비 및 인체감전사고로 파급이 되지 않지만 L상과 전기설비 외함과 지락사고가 발생할 경우 이에 대한 파급사고를 예방하기 위해 차단기 동작특성, 고장루프 임피던스의 특성을 측정하였다. 또한 IEC 60364의 경우 모든 금속도체를 접지와 연결시켜 등전위를 시키고 있으나 국내에서 어떠한 검증도 이루어지지 않아 이에 대해 사고발생시 안전성 및 파급효과에 대해 검증을 실시할 수 있도록 설계하였다.

### 2.4 부하설비 실험설비 구성

기술기준과 IEC 60364는 여러 가지 면에서 차이점을 가지고 있는데 이중 하나가 금속으로 구성된 Gas Pipe와 Water Pipe의 등전위 전극으로의 사용 여부이다. 국내의 경우 전기설비 기술기준 및 판단 기준 제20조(제3종 접지공사 등의 특례)에서 대지의 저항이  $100[\Omega]$  이하일 경우 3종 접지 시공이 가능하며  $10[\Omega]$  이하일 경우 특 3종 접지시공이 가능하도록 하고 있다. 또한 제21조(수도관 등의 접지

극)에서  $3[\Omega]$ 이하일 경우 모든 접지공사에서 접지극으로 사용할 수 있다고 표기하고 있다[3]. IEC 60364 및 BS7671 규격에서는 단면적으로 표기하여  $10[\text{mm}]$ 이상인 경우 보조전극으로 사용이 가능하다 표기되어 있어 수도관의 저항값 및 보조전극으로 사용할 경우에 대한 실증실험이 필요하다[4-5]. 부하용 실증실험 설비는 단상과 3상을 모의할 수 있도록 단상용과 3상용을 제작하였다.

## 3. 접지시스템별 계통사고 모의 결과

실증실험은 TN-S, TN-C 및 TT 접지계통에 대해 루프임피던스와 차단기 동작특성시험을 통해 건축전기설비 시공 및 검사시 검토를 요하는 사항을 도출하기 위해 실시하였다. 선로길이, 보호도체 저항값, 접지 저항을 파라미터로 하여 각각을 변경시켜 가 계통별 루프임피던스 특징, 장비별 특이점, 보호도체 저항값이 불량할 경우 발생하는 현상, 추가 접지 시공 시 현상에 대해 실증실험을 실시하였다.

### 3.1 Loop Impedance 특성 분석

Loop Impedance 특성 분석을 위해 저항성분을 측정하는 multi-meter와 Loop impedance 측정을 위해 개발된 장비를 이용하여 실험을 실시하였다. 본 실험에 사용된 장비는 Chauvin-Arnoux의 multi-meter인 F3N과 Loop Impedance를 측정하기 위해 개발된 Chauvin-Arnoux의 6115N을 이용하여 Loop Impedance를 측정하였다. F3N과 6115N의 기능 중 보호도체의 연속성을 측정하는 기능의 경우 DC를 이용하여 선로의 저항을 측정하지만 6115N의 Loop Impedance를 측정하는 기능의 측정방식은 공칭전압을 측정하고 선로의 R, L 값을 측정하여 4단자 회로방식을 이용하여 선로의 임피던스 값을 나타내는 특징을 가지고 있다. 이와 같은 특성을 분석하기 위해 구간별, 선로의 길이별, 보호도체의 저항 변환에 따른 임피던스를 측정한 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서와 같이 변압기에서 측정을 시작하여 50

[mm]의 케이블을 30[m] 연결시, 10[mm]케이블을 30[m] 추가 연결시, 보호도체(PE)의 저항 증가, 등전위 및 추가 접지값 변화시에 대해 3가지 측정방식에 따른 차이를 도출하였다. 실험결과 F3N과 6115N의 보호도체의 연속성을 측정하는 기능의 경우 측정결과가 매우 유사하게 나오는 것을 확인하였다. 그러나 6115N의 Loop Impedance를 측정하는 기능의 경우 앞의 두 결과보다 높은 임피던스값을 나타내는 특징을 알 수 있었다. 이는 변압기 및 케이블이 L값을 측정하지 않고 순수 R값만을 측정하는 앞의 두 방식에 비해 6115N의 Loop Impedance 측정방식은 R, L값을 모두 측정하여 나타내기 때문으로 판단된다. 또한 변압기의 경우 L값이 매우 높으므로 L을 고려하여 측정을 해야만 정확한 Loop Impedance를 측정할 수 있다.

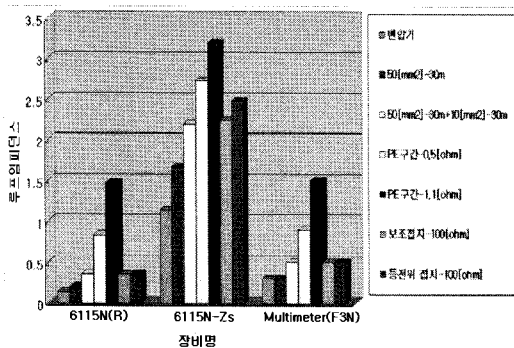


그림 2. Loop Impedance 측정결과  
Fig. 2. Measurement results of loop Impedance

결과적으로 건축전기설비의 Loop Impedance를 측정할 경우 변압기, 케이블 등 Loop Impedance를 측정하는 구간에 접속되어 있는 모든 금속도체의 저항성분과 인덕턴스성분을 모두 측정할 수 있는 장비를 사용해야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 Loop Impedance 측정을 통한 계통 비교

앞의 실험방식과 동일하게 표 2에서와 같이 보호도체에 연결된 3개의 스위치를 이용하여 TN-S, TN-C 및 TT 접지계통을 구성하여 구간별 Loop

Impedance의 특징을 분석하였다. 케이블의 경우 케이블 50[mm]의 케이블을 30[m] 연결시, 부하측 10[mm]의 케이블을30[m] 추가 연결 시, 보호도체의 저항 증가, 등전위 및 추가접지의 변화에 따른 Loop Impedance를 측정하였다. 그림 3은 계통별 Loop Impedance 측정결과를 나타내었다.

측정결과 변압기 구간에서는 3가지 접지계통(TN-S, TN-C, TT)에서 모두 동일한 결과가 측정되었다. 그러나 TT 접지계통의 경우 L, N, PE를 연결하며 최대 측정 저항값이 100[Ω]인 6115N의 장비한계로 인해 더 이상의 측정은 불가능하였다. 이후 TN-S 접지계통과 TN-C 접지계통의 Loop Impedance의 측정결과는 매우 유사하다 할 수 있으나 보호도체의 저항이 증가할수록 TN-S 접지계통의 Loop Impedance의 값이 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 보호도체의 임피던스 값이 증가할수록 감전에 대한 위험성은 높아지게 된다. 참고로 KS C IEC 60364 표 413-3(최대 고장 루프 임피던스)에서는 정격전압 200[V], 정격전류 15[A], 차단기 Type B인 지점에서의 최대 고장 루프 임피던스(Zs)를 2.67[Ω]으로 규정하고 있으며 실험결과 TN-S 접지계통 구간에서 보호도체에 1.1[Ω]의 저항을 증가시킨 계통의 경우 3.19[Ω]의 측정결과를 나타내고 있다. 이는 결과적으로 사고전류는 감소하지만 인체감전전류는 증가함으로 계통의 구성만으로는 사고 발생시 감전에 의한 인체보호에 실패할 가능성이 있음을 알 수 있다.

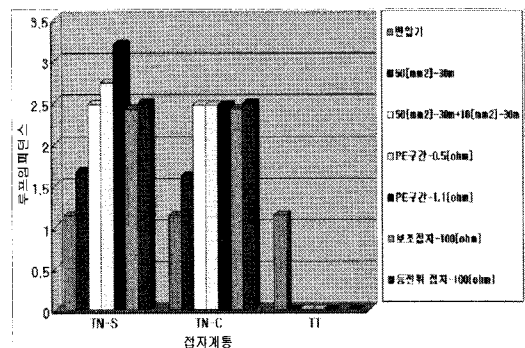


그림 3. 접지계통에 따른 Loop Impedance  
Fig. 3. Loop Impedances by earth systems

이와 같은 결과만을 놓고 봤을 때 TN-C 접지계통

이 TN-S 접지계통에 비해 보다 좋은 접지계통으로 볼 수 있으나 TN-S 접지계통의 경우 그림 4 (a)와 같이 사고 전류가 차단기를 통과하지 않고 보호도체를 경유하기 때문에 누전차단기의 사용이 가능하지만 TN-C 접지계통의 경우 중성선과 보호도체를 동일한 선로로 사용하기 때문에 사고가 발생하더라도 모든 사고전류가 차단기로 회기되는 특성을 가지게 되어 누전차단기의 누전감지가 불가능 하며 과전류만을 감지하여 차단기가 동작을 하게 된다. 이로 인해 TN-C 접지계통 구성상 누전차단기의 설치가 불가능하므로 감전위험성이 높은 곳 혹은 인체의 접근이 많은 장소의 경우 TN-S 접지계통을 시공한 후 누전차단기를 설치하는 것이 유리하다.

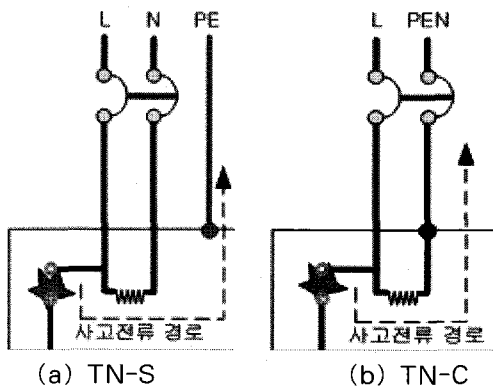


그림 4. 사고전류 경로  
Fig. 4. Path of a fault current by earth systems

### 3.3 누전차단기 동작시험을 통한 접지계통 특징 분석

누전차단기는 누설전류로 인해 인체의 감전을 예방하기 위한 장치로 인체보호를 위해서 반드시 필요한 장치이다. 이를 위해 본 논문에서는 각각의 접지계통에 대한 누전차단기 동작 특성 시험을 실시하였으며 TN-C 접지계통의 경우 계통 특성상 누전차단기를 설치할 수 없으므로 본 실험에서는 제외를 하였다. 누전차단기 동작특성을 위한 실험항목으로는 정격차단전류( $I_R$ ), 차단시간(T), 사고전류( $I_K$ ), 접지의 저항( $R_S$ ) 등이며 그림 5는 차단기 동작

특성 실험을 실시한 결과를 나타내었다.

분석 결과 TN-S 접지계통의 사고전류는 모든 실험에서 TT 접지계통보다 사고전류가 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 접지저항이  $2[\Omega]$ 이하이기 때문인 것으로 판단되며 계통외저항( $R_S$ )의 측정결과를 통해 보다 확실하게 알 수 있다. TN-S 접지계통의 계통외저항은 평균  $2[\Omega]$  이내를 유지하고 있었다. TN-S 접지계통에서의 사고전류는 약  $1[kA]$ 를 나타내었다. 단 보호도체에  $100[\Omega]$ 의 저항을 연결하였을 때  $2.2[A]$ 로 사고전류가 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 선로의 저항, 보호도체의 저항 및 접지 저항이 높을수록 인체에 유입되는 전류가 증가하여 인체감전의 위험성이 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 건축전기설비 이상으로부터 인체를 보호하기 위해 누전차단기를 설치하여 보호를 하고 있으며 차단기 동작시간( $58.1[ms]$ ), 정격차단용량 ( $26.1[mA]$ )은 매우 양호한 것으로 나타났다.

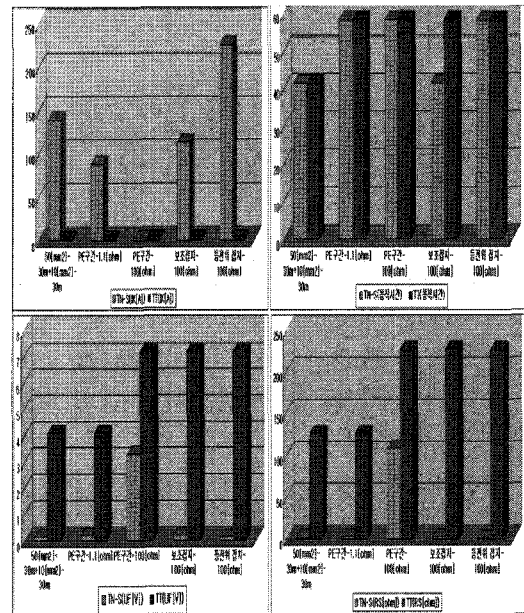


그림 5. 누전차단기 동작 특성  
Fig. 5. Operating characteristics of an electric leakage circuit breaker

TT 접지계통의 사고전류는 모든 실험에서  $2[A]$ 를 초과하지 않는 특성을 나타내었다. 이는 접지저항이

200[Ω]이상이기 때문인 것으로 판단되며 계통외저항(RS)의 측정결과를 통해 보다 확실하게 알 수 있다. TT 접지계통의 RS는 평균 200[Ω]을 초과하고 있으며 접지저항을 합산한다면 이보다 더 높을 값이라 판단된다. 이는 선로 저항, 보호도체 저항 및 접지저항이 높을수록 인체감전의 위험이 증가함을 알 수 있었다. 이를 위해 TT 접지계통은 누전차단기를 설치하여 보호를 하고 있으며 차단기 동작시간(58.1[ms]), 정격차단용량(26.1[mA])로 TN-S와 동일한 결과를 나타내었다.

결과적으로 두 가지 방식 모두 누전차단기에 의한 인체보호가 필요하며 모의결과 TN-S 접지계통의 경우 지락사고 전류가 크므로 Loop Impedance와 차단기의 정격단락용량[kA]과의 상관관계분석이 필요하다.

### 3.4 금속도체 접속 불량시 특징 분석

보호도체의 접속 및 금속도체의 등전위 시공은 인체감전보호를 위해 매우 중요한 시공 중 하나이다. 이를 위해 본 실험은 TN-S 접지계통에서 보호도체 및 금속도체 등전위 시공시 접속이 불량할 경우에 대한 실험을 실시하였다.

실험결과 도체 접속부 불량인 경우 일반상태에서 실측을 통해 찾아내는데 한계를 나타내었다. 이는 장비를 이용하여 금속도체의 연속성을 측정할 시 발생시키는 전류의 크기가 매우 작아 사고가 발생하기 이전까지 연속성을 확보하고 있기 때문이다. 이에 보호도체의 접속부는 시공 시 확실하게 접합하는 것이 매우 중요하다. 또한 추가 접지 시공 시 Loop Impedance는 감소를 하고 사고전류는 증가하는 특징을 나타내었다. 이에 접지계통 시공 후 Loop Impedance가 높게 나온다면 추가 접지 시공을 통해 이를 감소시키는 것도 하나의 좋은 방법이라 하겠다. 그림 8은 추가접지 시공 및 시공 부위에 대한 접속불량을 측정된 결과를 나타내었다.

측정결과 위에서와 같이 추가 접지 시공시 Loop Impedance가 감소하며 임의로 접속불량을 발생시키더라도 연속성이 확보되면 위의 결과와 같이 현장 실

측에서 연속성에 대한 문제점을 도출할 수 없음을 알 수 있었다.

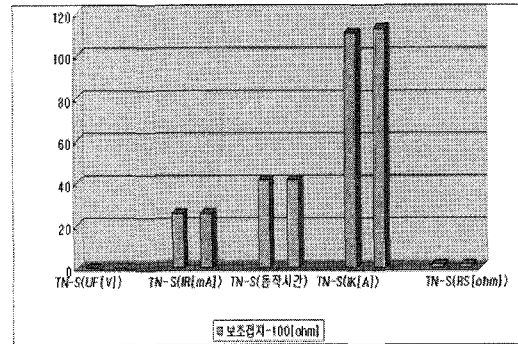


그림 8. 추가접지 시공 시 loop Impedance  
Fig. 8. Characteristics of loop Impedance by additional earth construction

## 4. 결 론

모의실험을 통한 수용가 접지계통의 Loop Impedance 특징 실험 및 차단기 동작시험 등을 실시한 결과 Loop Impedance를 측정하는 구간에 접속되어 있는 모든 도체의 저항성분과 인덕턴스성분을 모두 측정해야 하고 인체보호를 목적으로 할 경우 TN-S 접지계통으로 시공해야 하며 거리 및 위치의 문제로 선로의 임피던스가 높은 지역의 경우 TT 접지계통을 이용하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

누전차단기 특징 실험결과 TN-S 접지계통의 경우 사고전류가 높게 측정된 것을 알 수 있었다. 이는 누전차단기가 정확하게 동작되며 차단기 동작에 실패하더라도 인체감전으로부터 보호가 가능하다. 그러나 보호도체의 저항이 높아질수록 사고전류가 감소하는 반면 인체감전의 위험성이 증가하게 된다. TT 접지계통의 경우 사고전류는 낮으나 인체감전의 위험성을 내포하고 있으며 누전차단기의 설치를 통해 이를 예방할 수 있다.

접속부 불량인 경우 계측기의 발생 전류가 낮기 때문에 점검을 통해 불량지점을 검출하는 것이 불가능하므로 보호도체 접속부는 시공 시 확실하게 접합하여 확인하는 것이 매우 중요하다. 또한 추가 접지 시공 시 Loop Impedance는 감소를 하고 사고전류는 증

가하는 특징을 나타내었다. 이에 접지계통 시공 후 Loop Impedance가 높게 나온다면 추가 접지 시공을 통해 이를 감소시키는 것도 하나의 좋은 방법이라 하겠다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

### References

- [1] 한국전기안전공사, "IEC60364 건축전기설비 해설서", 2006. 11.
- [2] 정진수, 한운기, "국제 건축전기설비 기준 (IEC60364)의 국내 적용 실태조사", 한국조명전기설비학회 논문집, Vol. 22, No. 10, pp. 134~140, 2008.
- [3] 산업자원부, "전기설비 기술기준 및 판단기준", 2006. 10.
- [4] British Standards, "Requirements for Electrical Installation", 2008.
- [5] IEE, "Earthing and Bonding", 2004.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 정진수 (鄭鎭洙)

1976년 9월 12일생. 2003년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 2004년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹 주임연구원.

#### 한운기 (韓雲基)

1973년 6월 20일생. 1997년 목포대학교 전기공학과 졸업. 2001년 성균관대학교 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 숭실대학교 전기공학과 박사과정. 1998년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹 선임연구원.

#### 김오환 (金午煥)

1960년 5월 8일생. 1980년 삼척공업전문학교 졸업. 1987년 대전공업대학 전기공학과 졸업. 1989년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹 책임연구원.

#### 김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 교수.