

# IEC 60364 전기설비 안전관리용 점검·검사 계측장비 개발

김선구<전기안전연구원 수석연구원> 윤명섭<선두전자 대표이사>

## 1. 서 론

우리나라는 전기설비 설치 후 안전성 확인을 위한 법적 기준으로서 지식경제부 고시인 “전기설비기술기준” 및 “전기설비기술기준의 판단기준”을 국내 유일한 기준으로 수십년 동안 적용되어 왔으나, WTO/TBT 협정에 따라 전기분야도 국제표준과의 부합화를 위해 IEC 60364가 전기설비기술기준의 판단기준 제27조에 도입되었으며, 더 나아가 2011년 1월에는 판단기준 본문중에 IEC 접지시스템인 TN-C-S의 시공이 가능하다고 개정이 되었다.

그러나 IEC 60364의 내용 중 대부분은 기존의 기술기준과는 수치적·시스템적으로 상충되는 차이점이 있어 IEC 기준에 의한 TN 접지방식을 국내 적용시 루프임피던스, 회로의 연속성 확인, 예상단락전류 등이 검토되지 않아 안전성 여부에 대한 논란 발생의 소지를 내포하고 있으나 이에 필요한 점검·검사 및 안전관리 계측장비의 경우는 아직까지 국내 개발이 전무한 실정이다.

향후에는 IEC 60364 기준의 국내 적용이 점진적으로 확대될 것으로 예상되고 있으므로 이에 따른 계측장비 수요도 더욱 확대될 것으로 보이나 수입 계측장비는 국내 경쟁제품이 없어 고가로 수입되고 있으

며, 또한 장비 성능이나 요구 기능들이 국내 실정에 부적합하다는 문제점을 가지고 있어 국내 실정에 적합한 장비 개발이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 관련규격에 대한 분석과 설문조사, 그리고 실증실험장 구축 등을 통하여 IEC 60364 기반으로 설계 및 시공된 건축전기설비에 대한 loop impedance, 연속성 시험, 차단기 동작시험 등의 기능을 가진 IEC 계측장비를 개발하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 IEC 60364 규격검토 및 분석

KS C IEC 60364는 총 7부로 구성되어 있으며, 이 중 제4부와 제5부가 안전보호 및 시공과 관련된 내용이 수록되어 있으며, 제6부에서는 이와 같은 보호를 위한 시험검사 및 항목을 크게 다음과 같은 9가지 항목으로 구분하고 있다.

① 보호도체 및 등전위 결합의 연속성, ② 전기설비의 절연저항, ③ 회로분리에 의한 보호, ④ 바닥과 벽의 저항, ⑤ 전원의 자동차단 ⑥ 극성시험, ⑦ 내전압 시험, ⑧ 기능시험, ⑨ 전압강하

이에 대한 중요항목에 대한 시험방법 및 계측장비의 특성을 알아보면 다음과 같다.

### 2.1.1 보호도체 및 등전위 결합의 연속성

건축전기설비의 등전위 시공은 인체감전 보호를 목적으로 시공되며 측정범위, 정확도 등은 IEC 61140에 준하여 시공하도록 되어 있다. 이중 IEC 60364의 경우 각각의 보호도체 사이의 저항을 1.0 Ω으로 규정하고 있다. 그러나 보호도체의 연속성의 경우 지락사고 전류와 밀접한 연관이 있어 개발될 장비의 측정범위를 0.01~2,000Ω으로 규정하였다. 또한 정확도는  $\leq \pm 2\%$  이내로 규정하였으며 시험전압은 4~24V(AC 또는 DC)로 정의하였고, 시험전류는 0.2A 이상에서 실시하도록 KS C IEC 60364-6-61에 정의되어 있다. 보다 자세한 내용은 표 1에 나타내었다.

표 1. 보호도체 연속성 측정 기준

항 목	시험(측정) 기준	비고
○보호도체 연속성 측정	○연속성 측정기 - 측정범위 : 0.01~2,000Ω - 정 확 도 : $\leq \pm 2\%$ - 시험전압 : 4~24V(AC 또는 DC) - 시험전류 : 0.2A 이상 - 주 파 수 : 교류 또는 직류	

### 2.1.2 절연저항 측정

인체 감전보호 및 충전부의 회로 분리를 위한 절연저항 측정방법의 경우 충전 도체 사이에서 2도체씩 교대로 실시한다. 단 TN-C시스템에서 PEN 도체는 대지의 일부로 간주하고 측정 중에 상도체와 중성선을 함께 접속해도 무방하다. 표 2는 IEC 60364에서 규정하는 절연저항의 최소값을 나타내고 있다.

표 2. 절연저항의 최소값

공칭회로전압(V)	시험전압(V)	절연저항(MΩ)
SELV와 기능특별저압 : 회로가 안전 변압기로부터 공급되며, IEC 60364 411.1.3.3의 요구사항을 만족하는 경우	250	$\geq 0.25$
500V 이하(위의 사항 제외)	500	$\geq 0.5$
500V 초과	1000	$\geq 1.0$

절연저항 측정을 위한 시험장치는 1mA의 부하 시에 표 2에 규정된 시험전압을 공급할 수 있어야 하며, 회로에 전자기기가 포함된 경우, 접지에 함께 접속된 상과 중성선 사이에서만 측정을 수행해야 한다. 단 충전도체 사이를 접속하지 않고 시험을 실시하면 전자기기에 손상을 줄 위험이 있으므로 이에 대한 예방조치가 필요하다.

### 2.1.3 전원의 자동차단

전원의 자동차단을 위해서는 loop impedance와 차단기 상호 관계가 매우 중요하다.

loop impedance와 차단기의 상호관계로는 루프 임피던스( $Z_s$ )는 책임분기점을 기준으로 전기사업자 측의 루프임피던스( $Z_e$ )를 측정한 후 수용가 내부의 루프임피던스( $R_1+R_2$ )를 측정한다.

$$Z_s = Z_e + (R_1 + R_2)$$

- $R_1$  : 수용가 내부의 전원선 임피던스
- $R_2$  : 수용가 내부의 보호도체 임피던스

현재 우리나라는 외부루프임피던스 값( $Z_e$ )에 대한 규정은 없지만 영국의 경우는 다음의 값 이하로 규정하고 있다.

- TN-C 및 TN-C-S : 0.35Ω
- TN-S : 0.8Ω

여기서 루프임피던스( $Z_s$ ) 측정 결과는 공칭전압과 차단기의 정격전류 및 순시동작전류를 모두 고려하여 아래 식의 계산결과에 안전율 0.8을 곱한 결과가 되도록 한다.

$$Z_s = 0.8 \times \frac{U_0}{K \times I_n}$$

- $Z_s$  : 루프임피던스
- $U_0$  : 공칭전압
- $K$  : 차단기 순시 동작 전류
- $I_n$  : 차단기 정격전류

이와 같은 방법을 이용하는 loop impedance의 측정범위는 0.01~2,000Ω으로 규정되고 측정주파수는 50/60Hz로 정의하였다.

#### 2.1.4 RCD 시험기

누전차단기의 측정범위는 시험전류 : 1~1,000 mA, 정확도 :  $\leq \pm 2\%$ , 시험시간 : 0.01~2,000s, 정확도 :  $\leq \pm 1\%$  이내로 하며, 30mA 누전차단기를 기준으로 1배, 5배 시험을 정방향으로 실시하며 전원이 투입된 상태에서 누전차단기 시험을 실시한다.

### 2.2 IEC 60364 전기설비 검사장비 관련 규격

IEC 60364 전기설비를 검사하기 위한 계측장비와 관련된 규격은 IEC 61557(AC 1,000V 이하 및 DC 1,500V 이하의 저압 배전시스템에서의 전기안전)에 나타나 있으며 자세한 내용은 다음과 같다.

#### 2.2.1 IEC 61557-2(절연저항)

- ① 출력전압은 DC 전압이어야 한다.

- ② 개방회로 전압은 출력전압의 1.5배 이내로 한다.
- ③ 공칭 전류는 최소 1mA 이상으로 한다.
- ④ 측정전류는 15mA 이내로 한다.
- ⑤ 출력전압의 120%를 초과하는 전압(DC, AC)이 10초 동안 인가되어도 이상이 없어야 한다. 이때 스위치 on/off 동작을 반복한다.

#### 2.2.2 IEC 61557-3(루프임피던스)

- ① 접촉전압(50V)를 측정할 수 있어야 하며 초과시 자동 종료한다.
- ② 공칭전압의 120%가 인가되어도 장비에 이상이 없어야 하며 사용자에게도 이상이 없어야 한다. 이때 보호 장치가 동작하면 안 된다.
- ③ 공칭전압의 173%가 인가되어도 장비에 이상이 없어야 하며 사용자에게도 이상이 없어야 한다. 이때 보호 장치가 동작하면 안 된다.

#### 2.2.3 IEC 61557-4(연속성 시험)

- ① 개방회로 전압은 4~24V 이내여야 한다.(AC, DC)
- ② Range는 0.2~2Ω의 범위를 포함해야 하며 측정 전류는 200mA 이상이어야 한다. Resolution은 0.01Ω 이상이어야 한다.
- ③ 공칭전압의 120%가 인가되어도 장비에 이상이 없어야 하며 사용자에게도 이상이 없어야 한다.

#### 2.2.4 IEC 61557-5(접지 저항)

- ① E(ground), H(C) 전극에서 나타나는 출력전압은  $V_{ac}$  이어야 한다. 이때 주파수와 파형은 전기간섭이 적은 것을 선택해야 한다.
- ② E와 S(P) 사이에 400Hz, 40Hz, 50Hz, 16 2/3 Hz 또는 DC 직렬 간섭전압(RMS 3V)을 인가하여 오차범위 내에 있어야 한다.

③ 보조접지전극과 프로브의 저항은 0~50kΩ에 있어야 한다. 50kΩ 이상이었을 경우는 이를 알아낼 수 있어야 한다.

④ 출력전압의 개방회로 전압은 50Vrms 를 초과하지 말아야 한다.

## 2.2.5 IEC 61557-6(누전차단기(RCD) 시험)

① 잔류운용전류가 정격 잔류운용전류보다 낮거나 같을 경우에 표시할 수 있어야 한다.

② 정격잔류운용전류의 50% Range가 있을 경우 검사 시간은 0.2sec로 한다.

③ Trip 전류가 30mA 이하의 Range를 포함하고 있다면 5배의 Trip 전류 Range도 포함하여야 한다.

④ 정격전류의 5배 Range에서는 검사 시간이 40ms로 제한된다.

⑤ X1에서의 Trip 전류의 오차는 0% +10%를 이내여야 한다.

⑥ X5에서의 Trip 전류의 오차는 0% -10%를 이내여야 한다.

⑦ Trip 전류는 사인파여야 한다.

⑧ 접촉전압(50V)를 측정할 수 있어야 하며 초과시 자동 종료한다.

⑨ 공칭전압의 120%가 인가되어도 장비에 이상이 없어야 하며 사용자에게도 이상이 없어야 한다.

## 2.2.6 IEC 61557-7(상 확인)

① 기계적, 시각적, 청각적 어느 하나로 설계할 수 있다.

② 연속적으로 작동하여도 이상이 없어야 한다.

③ 이중절연으로 케이스가 설계되어야 한다.

④ 두 개의 측정 리드가 어느에 접속되고 나머지 측정 리드가 해당되는 위상 전도체에 접속 되도록 하여 결과적인 접지에 대한 전체 전류가 3.5mA rms를 초과하지 않아야 한다.

⑤ 공칭전압의 120%가 인가되어도 장비에 이상이 없어야 하며 사용자에게도 이상이 없어야 한다.

⑥ Test lead

- 외부 지름 : 3.5mm 이상

- 구리 단면적 : 0.75mm<sup>2</sup> 이상

- 리드는 이중절연으로 설계

⑦ 50mm 두께의 나무에 2m 길이의 진자로 1m 높이에서 충격 시험 시 이상이 없어야 한다.

## 2.3 개발장비 기능 및 사양 결정

### 2.3.1 국내 관련기술현황

IEC 60364에서 요구하고 있는 항목에는 연속성 시험, 절연저항 측정, loop impedance 및 차단기 동작시험 등이 있다. 이 중 일부 기술의 경우 국내에서 자체 개발을 통해 활용하고 있으나 loop impedance의 경우 개념만을 인식하고 있을 뿐 측정방법 및 관련 내용에 대한 세부적인 사항까지 이해를 하고 있지 못한 실정이다. 따라서 차단기 동작시험의 경우도 누설 전류를 투입하여 차단기의 동작여부만을 확인하고 있을 뿐 차단시간, 차단전류 등 세부적인 사항까지의 시험은 불가능하여 KS C IEC 60364 시험항목을 모두 충족하는 계측장비의 개발이 요구된다.

### 2.3.2 국외 관련기술현황 및 계측장비 비교분석

국외의 경우 유럽을 중심으로 프랑스의 Chauvin Arnuox와 일본의 Kyoritsu사가 IEC 60364 건축 전기설비에 대한 검사 가능한 장비가 개발되어 있으나 분석결과, Chauvin Arnuox의 경우 안전성은 좋으나 장비가 상대적으로 크고 무거운 단점, Kyoritsu의 경우 경량화 및 소형화의 장점을 가지고 있으나 사용자의 안전측면에서 조금은 불안정한 면을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

연속성 시험과 관련한 선행 연구결과에 의하면 IEC

60364 연속성 시험은 인체감전 보호측면에서 0.1Ω 이 내까지 측정이 가능하여야 하므로 이러한 조건을 만족시킴과 동시에 장비의 경량화 및 소형화를 도모하

였다.

표 3은 본 연구를 통해 개발될 계측장비의 사양 비교 검토내용의 예를 보여주고 있다.

표 3. 계측장비 사양 비교 검토 예

제조사	C.A.6115N	KEW6016	선두테스터(가칭)
	CHAUVIN ARNOUX(프랑스)	KYORITSU(일본)	선두전자(대한민국)
외형			
일반	C.A.6115N	KEW6016	선두테스터(가칭)
디스플레이	3 1/2digit(1999 카운트)	160(W)×240(H) 픽셀	128×64 dots graphic
정격온도	(0~35) °C	(0~40) °C	(-10~50) °C
보관온도	(-20~60) °C	(-20~60) °C	(-25~70) °C
상대습도	최대 80%R.H.	최대 80%R.H.	최대 80%R.H.
전원	NiMH 7.2V/1000mAh 충전지와 충전기 테스트리드를 통해 연결	LR6 or R6 X 8개 비충전식	LR6 or R6 X 8개 비충전식
크기	295(L) X 230(W) X 108(H) mm	235(L) X 136(W) X 114(H) mm	255(L) X 200(W) X 110(H) mm
무게	약 2.1kg (배터리 포함)	1.35kg (배터리 포함)	약 1.8kg (배터리 포함)
사용시간	최대전류사용시 최소 1500회	부하 1MΩ에서 최소 약 1000회	부하 1MΩ에서 최소 약 1000회
안전	C.A.6115N	KEW6016	선두테스터(가칭)
EMC	EN 50081-1, EN 50082-2	EN 61326, EN 55022/24	EN 61326, EN 55022/24
보호지수	EN 60529에 따른 IP40 EN 50102(Ed.95)에 따른 IK04	IEC 60529(1989+A1) IP40	IEC 60529(1989+A1) IP40
안전	EN 61010-1(Ed.01) 300CAT III 에 따른 이중절연 오염도 2+EN61557-(Ed.97)	IEC/EN 61010-1(2001) CAT III (300V) - Instrument IET/EN 61010-031(2001) CAT II (250V) - Test Lead Model 7218 CAT III (600V) - Test Lead Model 7188 CAT III (1000V) - Test Lead Model 7196	IEC/EN 61010-1(2001) CAT III (300V) - Instrument IET/EN 61010-031(2001) CAT II (250V) - Test Lead CAT III (600V) - Test Lead CAT III (1000V) - Test Lead

## 2.4 현장실무자를 대상으로한 설문조사 실시

본 설문조사의 목적은 장비를 개발함에 있어 장비 형태나 측정기능 등이 현장 실무자들이 사용하기 편리하도록 하기 위한 것으로서, 총 7개의 설문내용을 분석한 결과, 장비거취 형태는 설문자 중 70%가 스탠드형 보다는 목에 거는 이동형을, 장비무게는 약 1kg 정도, 장비색상은 회색을 선호하고 있는 것으로 나타나 이를 장비 디자인개발에 반영하였으며, 장비 버튼 형태는 피아노버튼형과 로터리형 모두 비슷한 선호도를 나타냈으나 안전상 로터리형 버튼으로 개발하였다.



그림 1. 장비 거취형태

그림 2. 장비의 무게

## 2.5 시작품 제작 및 문제점 보완

### 2.5.1 규격의 이해

개발 중인 절연 저항계, 접지 저항계, 연속성 측정기의 규격과 국내에 일반적으로 국내에서 사용되고 있는 각 제품의 규격은 차이점이 발생한다. 국제 규격과 국내 규격의 차이라고도 할 수 있는데 이 규격을 적용하여 제품을 개발하려면 규격에 대한 정확한 이해가 필요하다. 예를 들면 등전위 측정 시 사용하는 CONTINUITY RANGE의 경우 200mA 이상의 출력을 발생시켜야 하지만 초기에는 등전위 측정이 일반적인 저저항 측정으로만 이해한 상태에서 규격 분석을 하여 오류가 발생하였고, 정확한 측정을 위해 200mA 이상 출력하는 회로를 설계한 후 해결하게 되었다.

## 2.5.2 제품설계

본 연구개발 다기능 측정기는 한정된 크기에 여러 기능을 구현하다 보니 사용되는 부품 크기의 한계와 편의성을 위한 부가기능을 추가하고자 하였기 때문에 소형화 설계가 어려웠으나 몇 차례에 걸친 타겟 보드 수정을 통해 회로의 소형화가 진행되었다. 예를 들면 RCD시험을 위한 계단식 측정 방법의 기능구현을 위하여 몇 차례에 걸친 회로 설계와 타겟 보드 수정을 통해 구현하였다. 또한 일반적인 측정기의 경우 제품뿐만 아니고 측정 단자도 크기에 맞기만 하면 되었지만, 본 연구에서는 국제 규격에 부합하는 측정기를 개발함에 있어 CAT I~IV의 규격을 이해하고 이에 맞추어 CAT III에 부합하는 설계를 만족하였다.

### 2.5.3 3차 통합보드 설계 결과

최종 통합보드 설계는 제품의 소형화를 위하여 3단 계로 설계를 하였다. 각 기능은 모두 정상 동작을 하는 것으로 나타났으며, 오차는 IEC 61557에 모두 충족하는 것을 확인하였다. 참고로 IEC 61557의 경우 본 개발 장비와 관련된 기능에 대한 규격으로 루프 임피던스, RCD 동작시험, 절연저항, 연속성 등에 대한 전압, 전류 등에 대한 규격이 정의되어 있다.

본 계측장비 개발에서 가장 중요한 요소는 회로 설계로서, 설계는 크게 장비 기능, 장비 크기, 장비 무게 등으로 분류하여 총 3차례에 걸쳐 통합보드 설계 하였다.

1차 통합보드 설계 후 loop impedance, 차단기 동작시험에 대한 기능 시험결과, 전반적으로 에러가 발생하여 기능시험이 불가능하였으며 절연저항, 연속성 측정에 대한 측정결과는 기준저항을 이용한 측정 결과의 정확성 분석결과 10% 이상의 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 이후 2차례에 걸쳐 이러한 문제점 보완을 통한 시작품을 제작하였다.

그림 3은 최종 디자인된 장비외형을 보여주고 있다.



그림 3. 최종 디자인 정면도 및 사시도

## 2.6 개발장비 현장적용 신뢰성 시험

본 연구에서는 개발장비 신뢰성 검증과 감전보호, 차단기 동작특성, Loop Impedance 측정 방법 제시 등을 목적으로 2층 크기의 실증 시험장을 구축하였다.

실증 시험장의 설계 관련 규격은 국내 전기설비기술기준의 판단기준, KS C IEC 60364, IEC 60364, BS 7671, IEC 61009-1, IEC 60038을 참고하여 IEC 규격에서 규정하는 접지방식 중 TT, TN-S, TN-C-S 등 3가지 접지계통에 대한 변환이 가능하도록 설계 및 시공을 하였으며 이를 통하여 현장적용 신뢰성 시험을 실시하였다.

### 2.6.1 1층 실증 시험장

1층 실증시험장의 내부는 현관을 거쳐 분전반을 지나 거실과 부엌 및 화장실로 구분을 하여 설계를 하였으며 연속성 확보를 위해 전기설비 뿐만 아니라 창틀, 수도관 등 금속성 비 충전부는 인체감전보호를 위해 모두 등전위를 실시하였다.

이때 전기 배선의 경우 IEC 60364-5-52의 전기설비 시공 및 공사방법에 따른 전선의 종류, 굵기의 산정결과를 기반으로 전선 굵기를 선정하였다.

등전위 시공과 관련하여서는 BS 7671에서 표기하고 있는 금속의 수도 및 가스 파이프 시공 시 록 밸브와 분전반과의 거리를 600mm 이내에 시공하도록 되어 있어 금속 파이프와 분전반의 거리를 600mm 이내에 설치하였다. 본딩단자의 경우 주 본딩 단자에 연결되는 모든 요소는 10mm<sup>2</sup> 이상의 접지선을 사용하도록 되어 있어 이 규격에 준하여 접지선을 시공하였다.

### 2.6.2 2층 실증 시험장

2층 실증 시험장은 1층과 동일하게 설계를 하였으

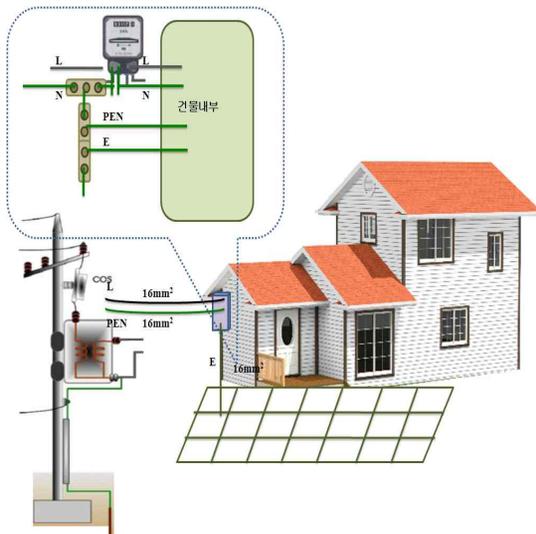


그림 4. 실증시험장 설계 및 외관 모습



며, 2층 현관과 사무실 2개로 구분하여 루프임피던스, 연속성, 누전차단기(RCD) 동작시험, 절연저항 측정, 검상 측정 등 모든 IEC 60364에 요구하고 있는 모든 요소에 대한 측정이 가능하도록 구축하였다.

누전차단기 설치는 건조구역의 경우 30mA의 누전차단기를 설치하였으며 차단기 용량은 최소 5kA의 것을 사용하였다. 그러나 욕실의 경우 상습적으로 물을 사용하는 구간으로 인체 저항이 1/2 이하로 줄어들어 전기설비 기술기준 및 IEC의 경우 이 구간에 15mA누전차단기를 설치하도록 서술되어 있어 본 실증시험장에서도 이 구간에 15mA의 누전차단기를 설치하였다.

그림 4는 개발장비 신뢰성 검증과 측정방법 제시를 위해 구축한 실증시험장에 대한 접지시스템 설계도면과 전체 외관모습을 나타내 주고 있다.

### 3. 결 언

본 연구에서는 위와 같은 과정을 거쳐 IEC 국제전기기준에 부합화한 계측장비를 개발하였으며, 신뢰성 확보를 위해 유럽최대 인증기관으로부터 TUV 인증과 미국의 수출을 위해서는 반드시 받아야 하는 FCC 강제 인증 그리고 EMC와 IP 인증 KCC 인증을 획득하였으며, 장비정확도 검증을 위해 KOLAS 교정성적서도 발급받아 그 신뢰성을 검증하였다.

외국 수입 계측장비의 경우 현지 시세보다 고가인 경우가 많기 때문에 국산개발 장비가 양산될 경우 외국 장비의 수입 대체 효과 및 외국 장비의 가격 인하로 인해 국가경쟁력 향상에 이바지가 가능할 것으로 판단되며, 또한 IEC 60364를 기반으로 한 건축전기설비의 설계·시공 시 점검·검사 및 안전관리도 국제전기기준(IEC 60364)에 따라 실시를 할 수 있게 되어 전기설비 안정성 향상을 통한 국민의 생명과 재산보호에 크게 기여할 것으로 판단된다.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



김선구(金善球)

1961년 2월 25일생. 1985년 한양대학교 전기공학과 졸업. 2009년 서울시립대학교 산업대학원 전자전기공학과 졸업(석사). 현재 본 학회 정회원 및 편수위원. 2002년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 수석연구원.

Tel : (031)580-3070

E-mail : ksg@kesco.or.kr



윤명섭(尹明燮)

1959년 5월 12일생. 1985년 성균관대학교 전자공학과 졸업. 2007년 무역진흥 산자부장관표창 2009년 과학기술유공자 지경부장관표창. 1997년 11월 24일~현재 선두전자 대표.

Tel : (02)3397-3291

E-mail : sundoo97@sdtron.co.kr