

하우징 형태(Housing Type)로 제작된 배선 연결 커넥터의 안전성 평가에 관한 연구

논문

59P-4-21

A Study on the Safety Estimation of Wiring Connection Connector Manufactured by Housing Type

최 충 석[†]
(Chung-Seog Choi)

Abstract - The purpose of this study is to evaluate the safety of a wire connector fabricated for the effective installation of a lighting fixture including its contact resistance, insulation resistance, withstanding voltage characteristics, etc., and to provide the basis for the analysis and judgment of PL(Product Liability) dispute by presenting a damage pattern due to a general flame and overcurrent. This study applied the Korean Standard (KS) for the incombustibility test of the connector using a general flame and performed an overcurrent characteristics test of the connector using PCITS (Primary Current Injection Test System). The contact resistance of the housing connector was measured using a high resistance meter and the insulation resistance was measured using a multimeter. In addition, a supply voltage of AC 1,500V for testing the withstanding voltage characteristics was applied to both ends of the connector. Measurement was performed on 5 specimens and the measured values were used as a basis for judgment. Since the connector is fabricated in the form of a housing, it can be connected and separated easily and has a structure that allows no foreign material to enter. In addition, since it has a structure that allows wires to be connected only when their polarity is identical, any misconnection that may occur during installation can be prevented. When the incombustibility test was performed by applying a general flame to the connector, it showed outstanding incombustibility characteristics and the blade and blade holder connected to the housing remained firmly secured even after the insulation sheath (PVC) was completely destroyed by fire. In addition, the mechanism of the damaged connecting wire showed a comparatively uniform carbonization pattern and it was found that some residual melted insulation material was attached to both ends. In the accelerated life test (ALT) to which approximately 500% of the rated current was applied, the connector damage proceeded in the order of white smoke generation, wire separation, spark occurrence and carbonization. That is, it could be seen that the connector damaged by overcurrent lost its own metallic color with traces of discoloration and carbonization. The contact resistance of the connector at a normal state was 2.164mV/A on average. The contact resistance measured after the high temperature test was 3.258mV/A. In addition, the insulation resistance after the temperature test was completed was greater than 10G Ω and the withstanding voltage test result showed that no insulation breakdown occurred to all specimens showing stable withstanding voltage and insulation resistance characteristics.

Key Words : Safety Evaluation, PL Dispute, Wire Connector, Incombustibility, Contact Resistance, Withstanding Voltage

1. 서 론

전기에너지를 활용하는 많은 설비 중에서 조명설비는 인간의 활동 영역과 범위를 광범위하게 확대 시켜주는 물론 심리상태를 제어할 수 있어서 응용의 대상이 다양하게 나타나고 있다[1]. 우리나라는 조명설비에 대한 투자 증가로 조명에서 소비하는 전력이 총 소비전력의 20~35%로 증가하였다[2]. 또한 조명시장은 고효율 발광 다이오드(LED; Light Emitting Diode)의 출현에 따라 매년 성장하고 있고 향후 전기설비 시장의 중요한 부분을 차지할 것으로 예상된다. 2004년 세계 조명시장의 규모는 약 37억 달러로 전년

에 비해 37%가 확대되었으며, 2007년에는 약 50억 달러를 나타냈다[2]. 새로운 시장의 확산은 조명산업기술 선점이라는 점에서 국가별로 집중적인 R&D 투자가 진행되고 있다. 또한 쾌적한 환경에서 안전을 확보하고자 하는 사용자의 요구가 증가함에 따라 조명등기구 역시 환경 친화적이고 건물과 조화를 이루는 구조로 바뀌고 있다. 효율적인 조명을 위한 라이트웨이 조명등기구는 기존의 조명등기구의 단점을 보완하고 사용 환경에 잘 어울리는 환경 친화성을 갖고 있어서 초고층 빌딩, 병원, 복합 상가, 주차장 등과 같이 많은 사람이 왕래하는 다중이용시설에 적합하다[3-6]. 그런데 이와 같은 우수한 전기시스템이 적합한 구조와 설계가 되었다 하더라도 설치 공사에 결함이 있으면 사고의 발생은 물론 전기시스템의 유지 관리에 어려움이 예상된다. 전기설비에서 발생하는 출화의 형태는 전기배선 및 기기에 의한 출화, 누전에 의한 출화, 정전기 불꽃에 의한 출화 등이 있다 [7,8].

[†] 교신저자, 시니어회원 : 전주대학교 소방안전공학과 교수·공박

E-mail : enetek@naver.com/choi365@jj.ac.kr

접수일자 : 2010년 8월 18일

최종완료 : 2010년 11월 8일

전기설비 및 기계기구의 사고 유발 요소 중에서 접속부는 발열의 가능성이 상존하는 곳이다. 전기설비의 접속부가 반복적인 연결과 분리가 있을 때 물리적 변형이 발생하여 접촉 저항의 증가에 따른 사고가 예상된다. 따라서 국제전기위원회(IEC)에서는 전기적 접속(촉)이 이루어지는 부분에 대해서 기준이 되는 내용을 서술하고 있다. 특히 IEC 60943(Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment in particular for terminals)에서 전력기구의 도체 접속부의 접속(촉) 불량에 따른 온도 측정에 의해 열화 가속 조건을 이론적으로 제시하고 있고, 최대 허용온도와 허용온도 상승 등의 기준을 정하고 있다. 즉, 도체 접속부 과열의 원인이 되고 있는 접촉 저항(contact resistance)은 집중 저항 constriction resistance)과 경계 저항(film resistance)으로 나누어 정의하고 있다. 집중 저항은 도체 표면의 불균일로 전류가 흐를 수 있는 면적이 적어 저항이 커지는 것을 의미한다. 따라서 줄 열이 커지고 발열이 발생하여 접촉력이 크고 도체의 저항률이 작으며 금속의 경도가 낮을수록 집중 저항은 작아지는 경향을 보인다. 경계 저항은 금속이 공기에 노출되어 표면에 산화막이 형성되는 것으로 알루미늄이나 스테인리스 스틸(stainless steel) 등은 수 나노미터 정도의 산화막이 발생하고 추가적으로 산화를 방지하는 산화방지막이 작용하여 실질적으로는 산화의 진행 속도를 느리게 된다. 전선이나 설비의 도전 부분으로 가장 많이 이용되는 구리는 금속이 공기 중에서 산화 및 부식이 발생하나 장시간 경과되면 산화의 진행 속도가 느려지는 것을 의미한다[9-18].

따라서 본 연구에서는 조명등기구의 효율적 시공을 위해 제작된 하우징 배선 커넥터의 접촉 저항, 절연 저항 및 내전압 등의 안전성 평가를 실시하여 제조물책임법(PL; Product Liability) 해석을 위한 기본 자료로 확보하고, 일반화 및 과전류에 의해 소손된 패턴을 제시함으로써 사고 원인 판정을 위한 기초 근거를 제공하고자 한다.

2. 실험 방법

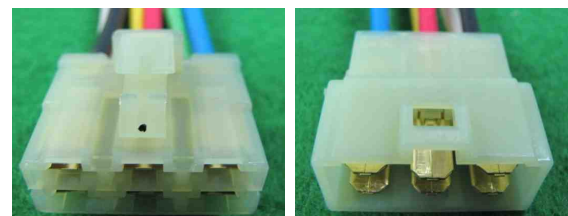
본 연구에 적용된 배선 커넥터는 조명등기구의 연속 시공을 위해 사용된 것으로 암컷과 수컷이 분리되어 있고, 하우징 타입(housing type)으로 이물질의 유입이 불가능한 구조이다. 일반 화염에 의해 열적 스트레스를 받은 배선 커넥터의 특성 해석을 위한 실험 조건은 한국산업규격(KS)의 난연성 시험 방법을 적용하였다. 시료의 설치는 60도 기울어진 대각선으로 유지하였으며, 화염은 시료의 끝단에 인가하였다[18]. 또한 배선 연결용 커넥터의 과전류 특성 실험은 대전류 공급장치(PCITS; Primary Current Injection Test System, ODEN AT/1X BH-62421, Programma, Sweden)를 이용하였다. PCITS의 정격은 240V, AC 50/60Hz이며, Control Unit은 ODEN AT 240C, Current Unit은 240X 2set, Cable Set은 2 x 5m x 120sqm GA-12052 등이다.

배선 연결 커넥터의 접촉 저항 측정은 고저항미터(High Resistance Meter, Agilent, 4339B)를 이용하였고, 절연 저항 측정은 멀티미터(Multimeter, Fluke, 19, Japan)를 이용하였다. 또한 연결된 배선 사이에 인가된 전압은 AC 1,500V 이며, 5개의 시료를 측정하여 그 평균값을 판단의

근거로 활용하였다. 그리고 실험이 진행될 때의 온도는 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도는 40~60%를 유지 시켰다.

3. 실험 결과 및 고찰

제조물에서 발생하는 사고의 원인(PL 분쟁)은 설계 및 구조불량, 취급불량, 제조 및 시공(공사) 불량, 경년 열화(劣化) 및 그 밖의 요인(방화 또는 실화) 등이 있다[6]. 따라서 본 연구에서는 조명등기구 내부배선 연결에 사용되는 하우징 커넥터의 소손원인 판정을 위한 기초자료를 확보하기 위해서 정상제품의 안전성 평가를 실시하였다. 실험에 적용된 배선 연결 커넥터는 일체형 조명등기구의 접속기구이며, 그림 1은 실제 사진을 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 하우징(housing) 커넥터의 칼받이(holder)이며, 그림 1(b)는 칼(blade)을 나타낸 것이다. 각각의 배선은 색으로 구분되어 있으며, 플라스틱(PVC) 재질로 일체형 구조이다. 따라서 연결과 분리가 간단하고 견고하게 체결되므로 이물질의 유입이 불가능한 구조를 갖고 있다. 그림 1(c)는 커넥터를 연결한 실제 사진이며, 전선의 극성이 일치될 때만 연결되는 구조이므로 조립(시공) 중에 발생할 수 있는 오결선을 근본적으로 예방할 수 있다.



(a) holder of connector

(b) blade of connector



(c) Photograph of wire connector

그림 1 조명등기구 배선 연결용 커넥터의 실제 사진

Fig. 1 Photograph of wire connector for lighting fixture

그림 2는 배선 연결 커넥터의 접촉 저항 측정을 위해 나타낸 실제 사진이다. 측정 대상은 하우징 터미널이며 부하의 공급 전압은 250V, 전류는 15A이다. 표 1은 커넥터에 고온의 스트레스를 인가하기 전의 접촉 저항을 측정한 것이다. 실험에 적용된 5개의 접촉 저항은 평균 2.164mV/A로 측정되었으며, 허용 접촉 저항 3mV/A보다 적게 측정되어 정상이었다. 측정된 접촉 저항은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{접촉저항}(R_c) = \text{총 접촉저항}(R_T) - \text{선간저항}(R_L) \quad (1)$$

$$\text{선간저항}(R_L)$$

$$= \text{Female 선간저항}(R_{LF}) - \text{Male 선간저항}(R_{LM}) \quad (2)$$



그림 2 배선 연결 커넥터의 접촉 저항 측정
Fig. 2 Measurement of contact resistance of wire connector

표 1 커넥터의 고온 동작 시험 전 접촉 저항

Table 1 Contact resistance before high temperature operation test of connector

Terminal number	접촉 저항, R_C [mV/A]				
	#1	#2	#3	#4	#5
01	1.45	2.64	2.20	2.55	1.25
02	2.13	2.37	1.45	2.83	1.98
04	2.13	2.15	2.59	2.07	2.69
평균	1.90	2.39	2.08	2.48	1.97
전체 평균	$10.82 \div 5 = 2.164$ [mV/A]				

표 2는 커넥터에 고온 시험이 완료된 후의 접촉 저항을 측정한 결과이다. 고온 시험의 온도는 105°C이며, 시험 시간은 16 시간이다. 시험은 모든 단자를 직렬로 연결한 후 교류 전압 250V, 전류 15A를 공급하고 항온 항습조에 방치한 것이다. 고온 시험이 완료된 제품은 물리적 변형이 없어야 하며, 접촉 저항은 허용 값 6mV/A 보다 적어야 한다. 실험 결과 커넥터의 고온 동작 시험 후 접촉 저항은 3.258mV/A로 측정되었고 모두 양호한 것을 알 수 있다.

표 2 커넥터의 고온 동작 시험 후 접촉 저항

Table 2 Contact resistance after high temperature operation test of connector

Terminal number	접촉 저항, R_C [mV/A]				
	#1	#2	#3	#4	#5
01	2.37	2.85	5.07	2.83	2.51
02	2.99	2.64	5.68	2.93	4.57
04	2.77	2.80	3.81	2.35	2.73
평균	2.71	2.76	4.85	2.70	3.27
전체 평균	$16.29 \div 5 = 3.258$ [mV/A]				

그림 3은 커넥터의 절연 저항 측정을 위해 나타난 실체 사진이다. 실험에 적용된 5개의 절연 저항 측정을 위한 실체 사진으로 측정 접점은 커넥터 사이이며, 전압은 직류 500V를 1분간 인가한 후에 측정하였다.

표 3은 고온 동작 시험을 하기 전의 절연 저항을 나타낸 것으로 평균 10GΩ 이상을 나타냈다. 모든 시료에서 균일한 절연 특성을 보이며 양호한 상태임을 알 수 있다.

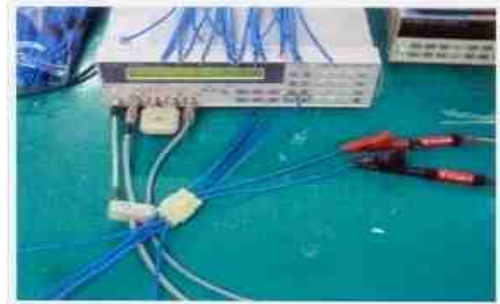


그림 3 배선 연결 커넥터의 절연 저항 측정
Fig. 3 Measurement of insulation resistance of wire connector

표 3 커넥터의 고온 동작 시험 전 절연 저항

Table 3 Insulation resistance before high temperature operation test of connector

Terminal number	절연 저항, DC 500[V]				
	#1	#2	#3	#4	#5
01-02	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
01-04	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
02-04	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
평균	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
전체 평균	$50 \div 5 = 10$ [GΩ] 이상				

표 4는 동일한 온도 시험이 완료된 후의 절연 저항을 측정한 값을 나타낸 것이다. 모든 시료에서 10GΩ 이상을 나타냈다. 기준에서 요구되는 100MΩ보다 우수하였다. 표 5는 배선 연결 커넥터에 고온 동작 시험을 하기 전의 내전압 시험 결과이다. 모든 하우징 터미널 사이의 내전압 특성은 양호한 것으로 나타났다.

표 4 커넥터의 고온 동작 시험 후 절연 저항

Table 4 Insulation resistance after high temperature operation test of connector

Terminal number	절연 저항, DC 500[V]				
	#1	#2	#3	#4	#5
01-02	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
01-04	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
02-04	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
평균	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ	>10GΩ
전체 평균	$50 \div 5 = 10$ [GΩ] 이상				

그림 4는 동일한 커넥터의 내전압 특성을 해석하기 위해 나타난 실체 사진이다. 하우징 터미널 사이에 인가된 전압은 AC 1,500V이며, 시간은 1분을 실시하였다. 표 5는 고온 동작 시험을 하기 전의 결과이며, 표 6은 고온 동작 시험이 완료한 후의 내전압 시험 결과를 나타낸 것이다. 모든 시료에서 절연 파괴가 발생하지 않았고 안정된 특성을 나타내는 것으로 확인되었다.

그림 5는 외부 화염에 의해 소손된 커넥터의 실체 사진을 나타낸 것이다. 연결용 커넥터의 일반 화염에 의한 실험



그림 4 배선 연결 커넥터의 내전압 시험
Fig. 4 Withstanding voltage test for wire connector

표 5 커넥터의 고온 동작 시험 전 내전압 시험
Table 5 Withstanding voltage test before high temperature operation test of connector

Terminal number	내 전 압, AC 1,500[V]				
	#1	#2	#3	#4	#5
01-02	OK	OK	OK	OK	OK
01-04	OK	OK	OK	OK	OK
02-04	OK	OK	OK	OK	OK

표 6 커넥터의 고온 동작 시험 후 내전압 시험
Table 6 Withstanding voltage test after high temperature operation test of connector

Terminal number	내 전 압, AC 1,500[V]				
	#1	#2	#3	#4	#5
01-02	OK	OK	OK	OK	OK
01-04	OK	OK	OK	OK	OK
02-04	OK	OK	OK	OK	OK



(a) Photograph of combustion process



(b) Photograph after combustion

그림 5 외부 화염에 의해 손상된 커넥터의 실제 사진
Fig. 5 Photograph of connector damaged by external flame

조건은 한국산업규격(KS)의 난연성 시험 방법을 적용하였다. 그림 5(a)는 외부 화염을 인가하고 제거한 후의 초기 실제 사진으로 화염의 제거와 동시에 불꽃이 없어지고 연소가 정지한 것으로 보아 난연성이 우수한 것으로 확인되었다. 그림 5(b)는 외부 화염이 장시간 공급되어 절연 피복(PVC)이 완전히 소실

된 후의 실제 사진으로 절연물의 대부분은 용융되어 소락되었지만 하우징 연결된 칼과 칼받이는 견고하게 체결되어 있고, 비교적 균일한 탄화 패턴을 보이는 것이 확인된다. 따라서 일반 외부 화염에 의해 연결 커넥터가 손상되었을 때 고른 열적 스트레스에 의해 비교적 균일한 색의 특징을 보이고, 절연물의 잔존물이 양단에 일부 부착되어 있는 것을 알 수 있다. 즉, 하우징 커넥터의 연소 방향성뿐만 아니라 칼 및 칼받이의 잔존물 등을 해석함으로써 손상의 원인 판정이 가능할 것이다.

그림 6은 과전류에 의해 손상된 커넥터의 탄화 과정을 나타낸 것으로 가속수명시험(ALT)을 위해 정격전류의 약 500%를 공급하였다. 그림 6(a)는 과전류가 공급되고 초기 단계로 하얀색의 연기가 발생하였고, 그림 6(b)는 연기의 발생과 더불어 상부의 연결 배선이 본체에서 분리된 것을 알 수 있다. 그림 6(c)는 분리된 연결 커넥터에서 불꽃과 연기를 동반한 연소가 진행됨을 알 수 있다. 그림 6(d)는 가연물(PVC)이 완전히 소락되었고 연결 금속류와 전선이 남아있는 실제 사진이다. 즉, 과전류에 의해 손상된 연결 커넥터는 금속 고유의 색이 없어지고 탈색 및 탄화의 얼룩 등이 형성되는 것을 근거로 방화 및 실화인지 아닌지 또는 전기적 요인인지 아닌지 등의 원인판정이 가능할 것이다.



(a) Smoke occurrence



(b) Separation of wiring



(c) Combustion of wiring



(d) Charred connector

그림 6. 과전류에 의해 손상된 커넥터의 실제 사진
Fig. 6 Photograph of connector damaged by overcurrent

4. 결 론

조명등기구의 효율적 시공을 위해 제작된 배선 연결 커넥터의 접촉 저항, 절연 저항 및 내전압 특성 등의 안전성을 평가하고, 일반화염 및 과전류에 의해 소손된 패턴 등을 분석하여 다음과 결과를 얻었다.

(1) 조명등기구 내부 배선 연결에 이용되는 하우징 커넥터의 연소의 방향성, 전기적 특성 변화, 물리적 변화 등을 정상제품과 사고제품을 상호 비교하면 소손 원인 판정이 가능하다.

(2) 배선 연결 커넥터의 접촉 저항은 평균 2.164mV/A을 나타냈으며, 고온 시험 후의 접촉 저항은 3.258mV/A로 측정되었다. 또한 온도 시험이 완료된 후의 절연 저항은 10GΩ 이상을 나타냈으며, 내전압 시험 결과 모든 시료에서 절연 파괴가 발생하지 않고 안정된 특성을 나타냈다.

(3) 일반 외부 화염을 인가했을 때의 난연성 시험 결과 우수한 특성을 나타냈고, 절연 피복(PVC)이 완전히 소실된 후에도 하우징 연결된 칼과 칼받이는 견고하게 체결되어 있었다. 또한 탄화된 연결 배선의 기구부는 비교적 균일한 탄화 패턴을 보이고, 절연물의 잔존물이 양단에 일부 부착되어 있는 것을 알 수 있다.

(4) 정격전류의 약 500%를 인가한 가속수명시험에서 커넥터의 소손 과정은 하얀색의 연기 발생, 배선의 분리, 불꽃 발생 및 탄화 등의 과정으로 진행되었다. 즉, 과전류에 의해 소손된 커넥터는 금속 고유의 색이 없어지고 탈색 및 탄화의 흔적이 형성되는 것을 알 수 있다.

따라서 배선 연결용 하우징 커넥터의 안전성 평가의 객관적 근거에 기초하여 연소의 방향성, 전기적 특성의 변화 및 물리적 변형 등의 요소를 적용하여 해석하면 PL 판정의 근거로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 조명학회 편, "조명 핸드북", pp.2~8, 성안당, 2006.
 [2] 테이코산업연구소, "LED 및 LED조명 시장의 실태와 전망", pp.25-95, Jinha M&B, 2009.
 [3] Kurt Nowak, "Zwanzig Jahre FI-Schutzschaltung Chronologie und Entwicklung varianten" pp.7-9, aus de 16/, 1978.
 [4] A.W. Smoot, N. Magan, "Method of Calculating electrical body impedance and equipment for measuring leakage currents", p.298, Underwriters Laboratories, USA, 1985.
 [5] Walter F.Hart, P.E., "A Five-part Resistor-Capacitor Network for measurement of Voltage and Current Levels Related to Electric Shock and Burns", pp.183-190, Electrical Shock Safety Criteria, 1985.
 [6] 최충석, 고재완, "배선 일체화된 조명등기구의 작업지시서 개발에 관한 연구", 대한전기학회논문지 Vol.58P No.2, pp.196-201, 2009.
 [7] 최충석 외 5, "전기화재공학", 도서출판 동화기술, pp.193-197, 2004.
 [8] C.S. Choi et al, "Flame Spread and Damaged Properties of RCD Cases by Tracking", IEEJ Trans. PE, Vol.127, No.1, pp.321-326, 2007.

[9] IEC 60943, "Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals", 2nd edition, 1998.
 [10] IEC 60050-441, "International Electrotechnical Vocabulary(IEV) Chapter 441: Switch gear and control gear and fuses", 1984.
 [11] IEC 60085, "Thermal evaluation and classification of electrical insulation", 1984.
 [12] IEC 60216-1, "Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials part 1: general guideline for aging procedures and evaluation of the test results", 1990.
 [13] IEC 60364-4-42, "Electrical installations of buildings part 4: Protection for safety-Chapter 42: Protection against thermal effects", 1980.
 [14] IEC 60694, "Common specification for high-voltage switchgear and control gear standards", 1996.
 [15] IEC 60721-2-1, "Classification of environmental conditions part 2: environmental conditions appearing in nature. Temperature and humidity", 1982.
 [16] IEC 60890, "A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low voltage switchgear and controlgear", 1987.
 [17] ANSI/IEEE C57.13.1-1981, "IEEE Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers", 1981
 [18] IEEE Std 55-1953, "IEEE Guide for Temperature Correlation in the Connection of Insulated Wire and Cables to Electronic Equipment", 1953.
 [19] 최충석, 김향곤, 송길목, "외부화염에 의해 소손된 비닐코드의 단락 특성에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문, Vol.18 No.4, pp.72-77, 2004.

저 자 소 개



최 충 석 (崔 忠 錫)

인하대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~1995년 구마모토대학객원연구원. 2006. 3~2006년 12월 서울대학교 산업안전최고전략과정 수료. 1997~2008년 2월 전기안전연구원 과장/그룹장/수석연구원/부원장. 2008년 3월~현재 전주대학교 공과대학 소방안전공학과 교수.

Tel : 063-220-3119

Fax : 063-220-2056

E-mail : enetek@naver.com/choi365@jj.ac.kr