

조명등기구 배선용 커넥터의 안전성 평가 및 분석에 관한 연구

논문
58P-4-33

Safety Estimation and Analysis Study of the Connector for Lighting Fixture Wiring

최 충 석[†]
(Chung-Seog Choi)

Abstract - This study evaluated the contact resistance, insulation resistance, withstand voltage characteristics and insertion force, etc., of the wire connector used inside an integrated LITE WAY lighting fixture developed for efficient installation. Since the connector connecting the lighting fixture's internal wires is housed, it is easily connected and separated and has a structure enabling a close-fitting connection. The temperature and time applied to the high temperature characteristics test of the connector are 105 °C and 16 hours, respectively. The measured contact resistance of the high temperature tested connector was 3.258 mV/A, and its measured insulation resistance was greater than 10 G Ω. All specimens demonstrated uniform insulation characteristics, which could be seen to be in good condition. From the withstand voltage test results found before and after performing the high temperature operation test on the connector for cable connection, it was confirmed that the withstand voltage characteristics between all terminals were good. The insertion force of the connector connecting the internal wiring averaged 9.67 kgf. It was observed that the insertion force between the plug housing and the female terminal, and that between the plug housing and the male terminal, were 0.680 kgf and 1.27 kgf on average, respectively.

Key Words : Safety Estimation, Connector, Lighting Fixture Wiring, Contact Resistance, Withstand Voltage Characteristics

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. 우리나라는 조명설비에 대한 투자 증가로 조명에서 소비하는 전력이 총 소비전력의 20~35%로 증가하였다. 또한, 조명시장은 고효율 발광 다이오드(LED; Light Emitting Diode)의 출현에 따라 매년 성장하고 있고 향후 전기설비 시장의 중요한 부분을 차지할 것으로 예상된다. 예를 들면 2004년 세계 조명시장의 규모는 약 37억 달러로 전년에 비해 37%가 확대되었으며, 2007년에는 약 50억 달러를 나타냈다. 특히 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 진화되고 있다[1-3].

효율적인 조명을 위한 방법 중의 하나가 일체형 조명등기구를 이용하는 것이다. 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. 그런데 이와 같은 우수한 전기시스템이 적합한 구조와 설계가 되었다하더라도 설치 공사에 결함이 있으면 사고의 발생은 물론 전기시스템의 유지 관리에 많은 어려움이 예상된다. 전기설비에서 발생하는 출화의 형태는 전기배선 및 기기에 의한 출화, 누전에 의한 출화, 정전기 불꽃에 의한 출화가 있다[4-6].

따라서 본 연구에서는 효율적 시공을 위해 개발된 일체형 라이트웨이 조명등기구의 내부에 적용하는 배선 커넥터의 접촉저항, 절연저항, 삽입력 및 내전압 평가 등을 실시하여 안전성 여부를 제시하고자 한다.

2. 전선 접속부의 저항

전기설비의 구성에 있어서 계측장치, 설비, 전선 등 다양한 제품이 서로 연결되어 있는 것을 알 수 있다. 이러한 제품의 구성에는 각각 전기적으로 접속(촉)하고 있는데 작은 전기제품에서도 수 개에서 수십 개 이상의 접속부를 가지고 있다. 접속부는 각종 전력기기의 도체 부분에 대한 전기적 접속 및 접촉에 있어서 장시간 운전시 접촉저항의 증가에 따라 발열되고 이로 인해 사고가 일어날

[†] 교신저자, 시니어회원 : 전주대학교 소방안전공학과 교수·공박
E-mail: enetek@naver.com/choi365@jj.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 3일

최종완료 : 2009년 11월 12일

<본 논문은 본 학회 2009년도 전기설비전문위원회 추계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문지에 게재 되었음>

우려가 있다. 또한, 설비의 설치 당시 나사나 볼트 및 너트의 조임 상태가 불량하여 발열 되거나 차단기, 개폐기 등 스위치 기어류의 접속부 이완에 의해 발열이 되는 과정을 나타낸다.

국제 전기기준에서는 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 전력기기의 도체 접속부의 접속 불량에 따른 온도 측정에 대해 열화 가속 조건을 이론적으로 제시하고 있고, 최대 허용온도와 허용온도 상승 등의 기준을 정하고 있다. 즉 도체 접속부 과열의 원인이 되고 있는 접촉저항(contact resistance)은 집중저항(constriction resistance)과 경계저항(film resistance)으로 분류한다. 집중저항은 도체표면의 불균일로 인해 도체의 면과 면 접촉에서 확대하여 보면 점과 점사이의 접촉으로 이루어져 있어 전류가 흐를 수 있는 면적이 적어 저항이 커지는 것을 의미한다. 결과적으로 줄열이 커지고 발열이 발생하여 접촉력이 크고 도체의 저항률이 작으며 금속의 경도가 낮을수록 집중저항은 작아지는 경향을 보인다고 되어 있다. 경계저항은 금속이 공기에 노출되어 표면에 산화막이 형성되는 것이다. 알루미늄이나 스테인리스 스틸(stainless steel) 등은 수 나노미터 정도의 산화막이 발생하고 추가적으로 산화를 방지하는 산화방지막이 형성된다. 즉 산화의 진행속도를 느리게 하여 전선이나 설비의 도전부분으로 가장 많이 이용되는 구리는 금속이 공기 중에서 산화 및 부식이 발생하나 장시간 경과되면 산화의 진행속도가 느려지는 것을 의미한다.

그림 1은 전기접속부에 대한 확대 면을 보여주는 것으로 접촉 저항과 경계저항에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 전기설비에는 수많은 접속부가 존재하고 있으며 그 대부분은 일정 기준 이상의 조임 토크(torque)를 통해 접촉저항을 최소화 하고 있다. 일반적인 상태에서 발열이 발생하는 메커니즘을 보면, 금속과 금속이 접속된 곳에서 상부와 하부가 일정한 단면적으로 일정한 힘으로 접속된 것을 확인되었으나 B에서와 같이 접속된 일부분을 확대하여 보면, 수많은 산과 골의 집합이 서로 접촉되어 있는 것을 볼 수 있다. 미세 확대 한 결과 C와 같이 산과 산이 만나는 부분을 볼 수 있다. C에서의 a 부분에 형성된 저항을 집중저항이라 하고, a 부분에 전류가 흘러 발열되고 주변의 공기와 결합하여 발생하는 b부분을 경계저항이라 한다. 접촉저항의 진행과정은 흔히, 나사, 볼트와 너트 이음매, 압착단자 등 물리적으로 접속된 부분에서 볼 수 있으며, 발열조건은 재료의 특성, 표면 거칠기 등에 의해 좌우되는 것으로 나타난다. IEC 60943에서

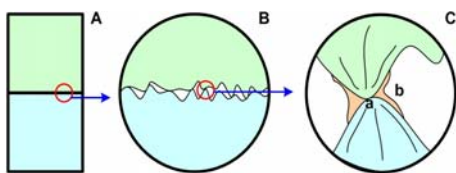


그림 1 전기 접속부와 접촉 저항을 나타낸 개략도
Fig. 1 Schematic diagram that display electrical connection and contact resistance

제시하는 그림 1의 B에서와 같은 기본 구조로 되어 있다. 상부 접촉과 하부 접촉 사이에 외견상 보이는 접촉범위는 전체 구역을 가로와 세로의 구역으로 하여 실제 접촉구역을 보면 검은 점들로 나타날 수 있고, 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

전기 접속부의 이러한 외견상 보이는 접촉과 실제 접촉된 상태를 보여주는 것으로 실제 접촉된 부분이 연결부분에 허용된 전류 이상의 전류가 흐르게 되면 전체적으로는 허용전류라 하더라도 접촉부분에서는 집중저항에 의한 과전류가 흐르게 된다. 실질접촉이 적은 경우 과전류에 의한 영향으로 허용온도 이상의 발열이 나타나 주변가연물에 착화하여 화재로 이어질 수 있다[7-10].

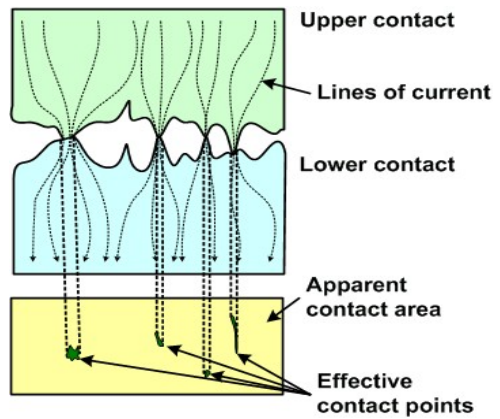


그림 2 전기 접속부의 접속의 형태
Fig. 2 Form of juncture of electrical connection department

3. 실험 및 결과

그림 3은 실험에 사용된 일체형 조명등기구를 나타낸 실체사진이다. 조명등기구의 구성은 몸체 및 덮개, 행거 클램프, 커넥터, 램프홀더 및 홀더 고정판, 형광램프, 반사각 등으로 되어 있다. 하나의 일체형 조명등기구는 전선 및 통선선 등을 동시에 구분 수납이 가능하고, 연속 시공이 가능하므로 작업 공정이 단순하다. 또한, 형태 및 색상을 다양하게 적용되므로 미관이 수려하여 건물과 조화를 이룬다. 표 1은 일체형 조명등기구의 명칭과 특징을 정리한 것이다.

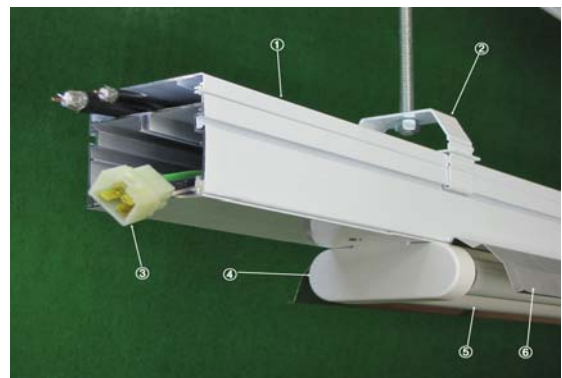


그림 3 LITE-WAY 조명등기구의 주요 구성
Fig. 3 Main structure of LITE-WAY Lighting Appliance

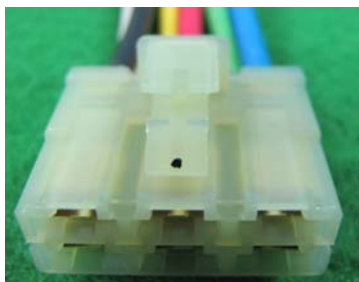
표 1 LITE-WAY 조명등기구의 규격 및 특징

Table 1 Standard and characteristic of LITE-WAY Lighting Appliance

번호	품명	규격(사양)	특징(용도)
①	몸체 및 덮개	70*60*모듈길이	알루미늄, 분체도장
②	행거 클램프	73.5*55mm	알루미늄, 분체도장
③	커넥터	1~6 POLE AC 250V, 15A	배선회로 접속용
④	램프홀더 및 홀더 고정판	2등용 맞대기형	형광램프 취부용
⑤	형광램프	26mm, 32W 형광램프 직관형	고효율 에너지가자재
⑥	반사갓	32W/2등 노출용	고조도 반사갓 반사율 95%이상

그림 4는 조명등기구 내부 배선을 연결하는 커넥터(connector)를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 하우징(housing)되어 있는 커넥터의 칼받이(holder)이며, 그림 4(b)는 칼(blade)을 나타낸 것이다. 각각의 배선은 색 배선이 되어 있으며, PVC를 이용하여 일체형으로 제작되었다. 따라서 연결과 분리가 간단하고 견고하게 체결되므로 이물질의 유입이 불가능한 구조를 가지고 있다.

배선 연결 커넥터의 접촉저항 측정 대상은 하우징 터미널이며 부하의 공급 전압은 250V, 전류는 15A이다. 실험이 진행될 때의 실험실 온도는 15~35℃이고, 상대습도는 25~85RH를 유지 시켰다[11].



(a) holder of connector



(b) blade of connector

그림 4 배선 연결용 커넥터의 구조

Fig. 4 Structure of connector for wiring connection

표 2는 커넥터에 고온의 스트레스를 인가하기 전의 접촉저항을 측정한 것이다. 접촉저항 측정은 고저항미터(High Resistance Meter, Agilent, 4339B)를 이용했으며, 5개의 시료를 실험에 사용하였다. 측정된 접촉 저항은 평균 2.164mV/A를 나타냈으며, 허용 접촉저항은 3mV/A보다 적게 측정되어 정상이었다. 측정된 접촉저항은 아래의 식 두 식을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{접촉저항}(R_c) &= \text{총 접촉저항}(R_T) - \text{선간저항}(R_L) \\ \text{선간저항}(R_L) &= \text{Female 선간저항}(R_{LF}) - \text{Male 선간저항}(R_{LM}) \end{aligned}$$

표 2 정상 상태의 커넥터의 접촉저항

Table 2 Contact resistance of connector of normal state

시료 번호 터미널 번호	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 ÷ 5 = 2.164 [mV/A]				

표 3은 커넥터에 고온 시험이 완료된 후의 접촉저항을 측정한 결과이다. 고온시험의 온도는 105℃이며, 시험시간은 16 시간이다. 시험은 모든 단자를 직렬로 연결한 후 교류 전압 250V, 전류 15A를 공급하고 향온 향습 조에 방치한 것이다. 고온 시험이 완료된 제품은 물리적 변형이 없어야 하며, 접촉 저항은 허용 값 6mV/A보다 적어야 한다. 실험 결과 커넥터의 고온 동작 시험 후 접촉저항은 3.258mV/A로 측정되었고 모두 양호한 것을 알 수 있다.

커넥터의 절연저항 측정은 멀티미터(Multimeter, Fluke, 19)를 이용했으며, 5개의 시료를 대상으로 실시하였다. 측정 접점은 커넥터 사이이며, 전압은 직류 500V를 1분간 인가한 후에 측정하였다[11].

표 3 고온 처리한 후의 커넥터의 접촉저항

Table 3 After handle high temperature contact resistance of connector

시료 번호 터미널 번호	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 ÷ 5 = 3.258 [mV/A]				

표 4는 고온 동작 시험을 하기 전의 절연저항을 나타낸 것으로 평균 10GΩ 이상을 나타냈다. 모든 시료에서 균일한 절연 특성을 보이며 양호한 상태임을 알 수 있다.

표 4 정상 상태의 커넥터의 절연저항
Table 4 Insulation resistance of connector of normal state

시료 번호 터미널 번호	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 ÷ 5 = 10 [GΩ] 이상				

그림 5는 배선 연결 커넥터의 내전압 시험(Withstanding Voltage Tester, Kikusui, TOS8750, Japan)을 위해 나타난 실체사진이다. 측정 접점은 터미널 사이에 인가전압 AC 1,500V를 1분간 공급하였다. KS에서의 판단 기준은 시험 중에 절연 파괴가 없는 것을 요구하고 있다.



그림 5 배선 연결용 커넥터의 내전압 시험
Fig. 5 Withstand voltage test of connector for wiring connection

표 5는 배선 연결용 커넥터의 고온 동작 시험 전의 내전압 시험을 실시하여 측정된 상태이다. 시료는 5개를 준비하여 실시하였고, 모든 시료에서 안정된 특성을 나타냈다. 표 6은 표 5와 동일한 조건의 시료에 고온 동작 시험을 한 후에 측정된 상태를 나타낸 것으로 모든 시료가 안정된 특성을 나타냈다.

표 5 정상 상태의 커넥터의 내전압 시험
Table 5 Withstand voltage test of connector of normal state

시료 번호 터미널 번호	고온 동작 시험 전				
	#1	#2	#3	#4	#5
01-02	정상	정상	정상	정상	정상
01-04	정상	정상	정상	정상	정상
02-04	정상	정상	정상	정상	정상

표 6 고온 처리된 커넥터의 내전압 특성
Table 6 Withstand voltage properties of connector processed high temperature

시료 번호 터미널 번호	고온 동작 시험 후				
	#1	#2	#3	#4	#5
01-02	정상	정상	정상	정상	정상
01-04	정상	정상	정상	정상	정상
02-04	정상	정상	정상	정상	정상

그림 6은 배선 연결용 커넥터의 삽입력(Push-Pull Gauge, SHIMPO, FGN-5)을 시험하기 위해 타낸 실체사진이다. 시험 조건은 삽입속도 20~200mm/min이며, 시험방법은 Push-Pull Gauge를 이용한 삽입력을 측정하였다. KS에서의 안전성 판단기준은 10kgf 이하를 유지해야 한다.



그림 6 배선 연결용 커넥터의 삽입력 시험
Fig. 6 Insertion power examination of connector for wiring connection

표 7은 배선 연결 커넥터의 삽입력을 나타낸 것이며, 평균 9.67kgf를 나타냈다. 즉 모든 시료가 10kgf 이하를 나타내는 것으로 보아 특성은 양호한 것으로 확인되었다.

표 7 배선 연결용 커넥터의 삽입력 시험 결과
Table 7 Insertion power test result of connector for wiring connection

번호	#1	#2	#3	#4	#5	평균
삽입력 [kgf]	9.85	9.80	9.85	9.45	9.40	9.67

표 8은 Plug Housing과 Female Terminal 사이의 삽입력 시험 결과를 나타낸 것이다. Plug Housing과 Female Terminal 사이의 삽입력은 평균 0.680kgf를 나타냈으며, Plug Housing과 Male Terminal 사이의 삽입력은 평균 1.27kgf로 확인되었다.

표 8 Plug Housing과 Female Terminal 사이의 삽입력 시험 결과

Table 8 Insertion power test result between Plug Housing and Female Terminal

번호 \ 항목	Plug Housing - Female Terminal [kgf]	Plug Housing - Male Terminal [kgf]
#1	0.632	1.18
#2	0.653	1.27
#3	0.668	1.16
#4	0.774	1.27
#5	0.697	1.45
평균	0.680	1.27

4. 결 론

효율적 시공을 위해 개발된 일체형 라이트웨이 조명등기구의 내부에 사용되는 배선 커넥터의 접촉저항, 절연저항, 내전압 특성 및 삽입력 등을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 조명등기구 내부 배선을 연결하는 커넥터는 하우징되어 있어서 연결과 분리가 간단하고 견고하게 체결되므로 이물질의 유입이 불가능한 구조를 가지고 있다.
- (2) 온도 105℃, 시험 시간 16 시간일 때의 커넥터의 접촉저항은 3.258mV/A로 측정되었고, 모든 시료는 양호한 것을 알 수 있었다.
- (3) 고온 동작 시험을 완료한 후의 절연저항은 10GΩ 이상을 나타냈다. 모든 시료에서 균일한 절연 특성을 보였으며 양호한 상태를 알 수 있었다.
- (4) 내부 배선 연결용 커넥터에 고온 동작 시험을 하기 전과 후의 내전압 시험 결과에서 모든 터미널 사이의 내전압 특성은 양호한 것으로 나타났다.
- (5) 내부 배선 연결용 커넥터의 삽입력은 평균 9.67kgf를 나타냈으며, 모든 시료가 10kgf 이하를 나타내는 것으로 보아 특성은 양호한 것으로 확인되었다.
- (6) Plug Housing과 Female Terminal 사이의 삽입력은 평균 0.680kgf를 나타냈으며, Plug Housing과 Male Terminal 사이의 삽입력은 평균 1.27kgf로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Kurt Nowak, "Zwanzig Jahre FI-Schutzschaltung Chronologie und Entwicklung varianten" pp.7-9, aus de 16/, 1978
- [2] A.W. Smoot, N. Magan, "Method of Calculating electrical

body impedance and equipment for measuring leakage currents", p.298, Underwriters Laboratories, USA, 1985

- [3] 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
- [4] 최충석, 고재완, "배선 일체화된 조명등기구의 작업지시서 개발에 관한 연구", 대한전기학회논문지 Vol.58P No.2, pp.196-201, 2009.
- [5] 최충석 외 5, "전기화재공학", 도서출판 동화기술, pp.193-197, 2004
- [6] 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
- [7] IEC 60943, "Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals", 2nd edition, 1998
- [8] IEC 60050-441, "International Electrotechnical Vocabulary(IEV) Chapter 441: Switch gear and controlgear and fuses", 1984
- [9] IEC 60085, "Thermal evaluation and classification of electrical insulation", 1984
- [10] 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
- [11] 최충석, 고재완, "조명등기구 배선 커넥터의 전기적 특성 평가에 관한 연", 대한전기학회 전기설비추계학술대회논문지, pp.165-168, 2009.

저 자 소 개



최 충 석 (崔 忠 錫)

1991년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업.
1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
1993년 나고야대학 초청연구원.
1994~1995년 구마모토대학 객원연구원.
2006년 3월~2006년 12월 서울대학교 산업안전최고전략과정 수료.
1997년 3월~2008년 2월 전기안전연구원 과장/그룹장/수석연구원/부원장.
2008년 3월~현재 전주대학교 소방안전공학과 교수.

Tel : 063-220-3119

Fax : 063-220-3119

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