

# 최신 조명실무 ③ <마지막회>

기술사사무소 고려기술단 대표 김동조  
건축전기기술사/전기응용기술사(031-562-4215)

조명설비는 에너지 사용의 약 30%를 차지하는 중요한 전기설비이며 LED, 무전극 램프 등 새로운 광원의 개발과 이를 응용한 기기가 최근 급속하게 팽창하고 있어 이들에 대한 이론적 이해가 절실한 상태이다. 따라서 LED와 무전극 램프에 대한 개괄적 소개와 함께 전자식안정기 선정시 유의사항과 취급 그리고, 방전등의 기초 이론 및 주요 조명용어에 대하여 논하였으며 조명 기술자를 위한 간접조도와 직접조도 계산법과 최신의 조명제어와 건물 자동제어에서 open protocol을 이용한 LONWORK 시스템에 대하여 외국 서적을 번역한 내용을 소개하였다.



## 목 차

- 제1장 방전등의 이론적 배경
- 제2장 형광램프 점등특성
- 제3장 전자식안정기 선정과 취급
- 제4장 조명용어와 조도측정
- 제5장 최신조명기술**
- 제6장 경관조명

### [참고]

- 1. LONWORKS 대응조명제어 시스템
- 2. 간접조도와 직접조도 계산

## 제5장 최신 조명기술

### 1. 무전극 램프

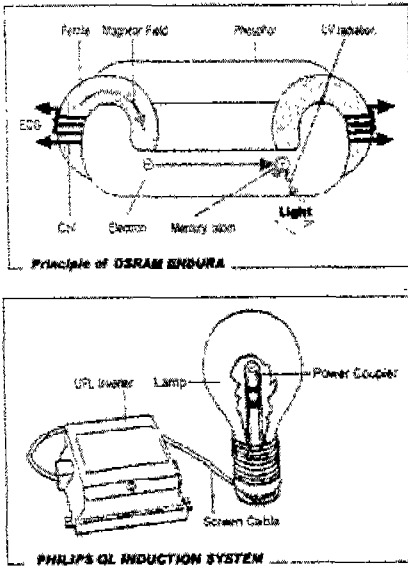
#### 1) 개요

고효율 무전극 형광등의 개발은 필립스의 QL 램프 55W(1992), GE의 Genura 램프 23W(1993), 같은 해 오스람의 Endura 램프 65W가 개발되고 점차 150W, 165W로 대출력화 하고 있다. 고효율과 장수명의 장점을 이용한 무전극 램프의 활용이 증가하고 있는 실정이다. 무전극 램프가 60,000시간 이상의 수명을 보증하기 위해서는 고장수명시험을 포함한 신뢰성 평가가 요구된다.

#### 2) 구성

유도결합방전등 시스템과 용량결합 시스템으로 구분된다. 무전극 램프는 램프 내부의 전극이나 필라멘트를 제거해 전극의 노화에 의한 램프의 성능저하를 근본적으로 차단함으로써 램프의 수명을 극대화시키고 높은 발광효율을 장점으로 한 차세대 램프이다. 이것은 가스가 봉입된 벌브 외부에

ferrite core가 장치된 램프로서 이 core에 고주파 switching(259KHz~2.65MHz)이 가능한 인버터 (안정기)에 의해 램프에 자장이 형성되고 이에 따라 봉입가스를 勵起시켜 발광이 되는 원리이다. 따라서 고조도 조명이 필요하거나 유지보수가 어려운 장소에 사용하기가 적합하다.



[그림19] 무전극램프의 구조 예

2) Application

LED는 반도체인 p형과 n형을 접합시키거나 혹은 접합면에 전자와 홀을 구속시킬 수 있는 활성층을 가진 반도체 접합 양면에 양극과 음극을 만들고 양 단자에 전류를 흘리면 p-n접합부근이나 혹은 활성층에서 전자와 홀의 결합에 의해 빛을 방출하는 소자를 말한다. [그림20]과 같이 LED의 응용은 mobile 부분이 52%, sign부분이 16%, automotive 부분이 12%, 조명 부분이 4%, 신호관련 부분이 2% 등이나 최근 경관조명 부분이나 야외조명 부분에도 Fresnel lens를 이용한 투광기의 응용이 선보이고 있다.

mobile	signs	automotive	illumination	signals	others
52%	16%	12%	4%	2%	14%



[그림20] 2002년 고휘도 LED 응용 분포도

3) 종류 및 용도

삼파장 형광램프 계열과 flood light 계통의 조명 기구로 출시되고 있으며 대형 할인점, 톨게이트, 고속도로 표지판 등에 널리 사용 되고 있음.

2. LED(Light Emitting Diode)

1) 개요

발광 다이오드는 고체 발광소자로서 전자, 전력기기의 표시등이나 숫자표시, 자동차 signal lamp, 신호등에 사용됨으로서 우리 생활과 친숙해져 있다. 개발 초기에는 저휘도와 광색 표현의 한계가 있었으나 최근에는 백색을 포함한 가시광 영역에서 모든 색의 고휘도 LED(high brightness LED)가 생산되고 있다. LED는 장수명, 저전력, 고 신뢰성의 장점을 갖고 있어 기존의 형광램프나 백열등이 수행했던 역할을 빠르게 대체해 가고 있다.

[주요 응용 분야]

① 자동차

Tail lamp, side lamp, high mounted stop lamp, back light등에 이용되고 있으며 특히 stop lamp는 기존의 램프에 비해 예열시간이 없이 즉시 점등되어 사고 예방 측면에서도 유리하다.

② 교통신호등

고휘도 LED의 보급에 따른 신호등, 횡단보도 등에 고휘도 LED를 사용함에 따라 유지보수비의 절감과 그에 따른 교통 혼잡비용 절감 및 주간에 난반사에 의한 휘도 저하로 발생하는 교통



사고 감소가 예상되며 미국에서는 LED를 사용한 사거리에서의 한 장소 당 비용 절감이 년 1300만원 정도 된다고 함.

③ LCD Monitor

Back light로 R,G,B 3개의 LED를 사용하면 종래의 CCFL(Compact Cathode Fluorescent)보다 더욱 선명한 자연색의 구현이 가능하게 된다.

④ 의료용

황달치료용, 계절변화에 의한 우울증 광치료 등

⑤ 조명용

- 경관조명용: 색 변화가 자유롭고 저전력이며 고 휘도이므로 먼 거리에서도 image 전달이 용이함. 특히 수중용의 경우 flood lighting은 발열이 없으므로 수중에 잠기지 않았을 때에도 파손될 위험이 없다.
- 램프 및 스텐드 램프: 장수명, 고휘도, 여러 색의 구현 가능
- 박물관, 미술관: 장기적 광량 투사에 의한 전시물 변색을 방지하기 위해 발열이 매우 적은 LED 사용.

⑥ mobile back light

- 수 명: 공급자 측의 제시 사용시간 100,000hr

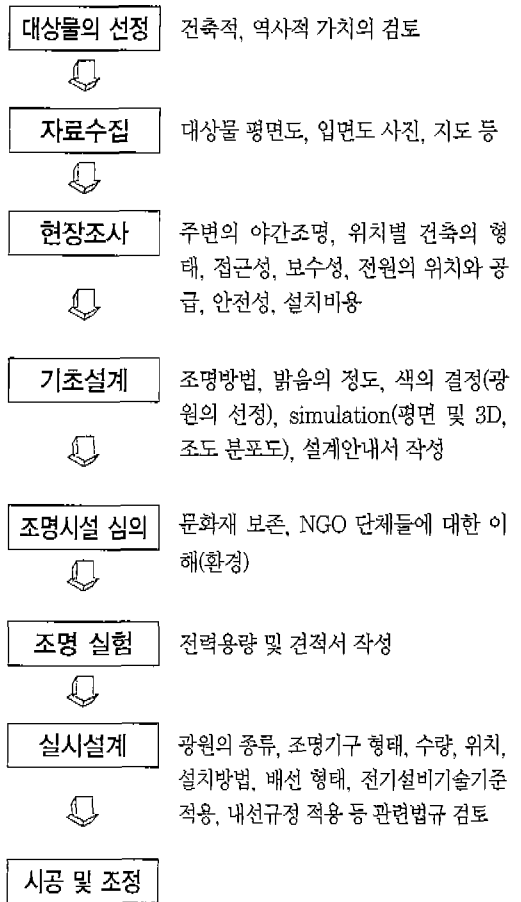
### 제6장 경관조명

최근 국민소득의 향상과 국제적인 경기 및 ASEM과 같은 대형 국제회의가 국내에서 잇달아 개최되는 등 외국에 우리나라의 이미지를 긍정적으로 홍보하고 도시정체성 제고와 도시미관 향상, 도시 안전성 확보라는 목적으로 경관 조명이 시행되고 있으며 정부에서도 지자체별로 시행되어가고 있다. 서울의 경우 각 교량, 공공기관, 문화재 등에 설치되었거나 설치 중에 있는 사례가 많이 있다.

야간경관조명의 형성은 다양한 빛의 형성에 있으며 도시의 특성과 주변 환경을 고려하고 빛의 적정

한 제어와 에너지 절약이 고려된 설계가 되어야하며 주간에 감상하지 못했던 새로운 조형의 아름다움이나 색채의미를 부각시켜 독특한 분위기를 창출하는 것이다. 따라서 경관조명은 자연환경과 어울리고 주변 생태계에는 빛의 영향에 의한 피해가 최소화되는 계획이 이루어져야 할 것이다.

#### 1) 조명설계



#### 2) 각종 조명기구의 자외선 함유율

晝光(Day light)의 자외선 함유는 일광의 5% 이하이므로 청광의 조도를 60,000lx라고 하면 자외선 함유량은 3,000lx 정도이다. 따라서 건축물의 외부 경관조명에서 인공조명에 의한 자외선 함유량과 자연 자외선 함유량을 비교하여 그 피해 정도를 예측할 수 있을 것이다. (박물관이나 전시장 조명

에서는 UV-Filter 사용)

[표5] 각종 lamp의 자외선 함유율

Lamp 종류	자외선 함유율(%)	자외선 환산 조도[lx]
IL, 할로젠 (500W)	0.2	150[lx]×0.002=0.3
FL (백색 40W)	0.5	150[lx]×0.005=0.75
M,H (HQI 400W)	3.4	150[lx]×0.34=5.1
고압나트륨	0.3	150[lx]×0.003=0.45

따라서 [표5]에서와 자외선 함유량이 가장 많은 메탈할라이드 램프의 경우 자외선 함유량은 5.1 lx이므로 자연광에 의한 자외선량 300lx에 비해 1/588이므로 자외선에 의한 건축물 표면 손상은 별 문제가 없다.

3) 경관조명에서 주로 사용하는 광원

구분	규격	적용
메탈헤일 (HQI)	250W/400W/1KW	원거리 투사
메탈헤일(CDM PAR)	70W	근거리 투사 및 고연색성을 요구하는 곳 조경조명
LED	Bar type, flood type	고휘도를 요구하거나(bar) 열 방산을 적극 피하여야 하는 곳
Filter	Red, Green, Blue기타	다양한 color를 필요로 하는 곳에 사용

참고1

LONWORKS 대응조명제어 시스템

1. 서론

조명제어시스템 분야에서 기기간 네트워크의 개방화가 세계적 추세이다.

네트워크의 개방화를 실현하는 기술로서 대표적으로 BACnet, LONWORKS라고 하는 기술이 알

려져 있다.

본고에서는 LONWORKS 기술의 개요와 최신동향, 과제에 대하여 서술한다.

2. 종래의 조명제어 시스템 기술

LONWORKS 기술에 대하여 기술하기전에 일반적인 조명제어 시스템의 개념에 대하여 간단하게 서술한다. 조명을 제어하는데 가장 기본적인 구성은 벽에 취부하는 스위치와 조명기구의 전원을 절체(ON/OFF)하는 relay 단말기이다. 기본적인 기능으로 스위치에서 relay 단말기를 바깥에 부착하거나 내장된 relay를 on/off 제어하는 것이다. 조광제어를 행하는 경우 각종 센서가 내장된 조광제어 장치인 센서 부착 조광 단말기를 사용한다.

센서 부착 조광 단말기는 천정면에 설치되고 내장된 조도센서와 인체감지 센서의 검지 상태에 의해 조광용 형광등 기구로 조광 신호를 출력한다.

일반적 배선으로는 조명을 스위치에서 점, 소등하는 경우 스위치로 간단히 부분적 조명 전원을 on/off 할 뿐이므로 1개의 스위치로는 특정한 조명기구의 점, 소등 밖에 행할 수 없다. 전송신호를 사용한 조명제어시스템의 경우 floor 내의 layout 변경에도 대응될 수 있도록 시공한 후에도 스위치와 조명기구(정확하게는 단말기)와의 대응관계를 변경할 수 있는 綫로 구성되어 있다. 그림1과 같이 스위치에서 출력된 on/off 신호는 조명 주 장치를 거쳐 relay 단말기에서 수신하고 조명의 on/off를 행한다.

이 같은 경우 조명제어시스템은 각사에서 제공되고 있지만 각 기기간의 통신사양은 각사에 의해서 독자적으로 결정되어 있다. 예를 들면 A사의 스위치에서 B사의 relay 단말기를 제어하는 것은 할 수 없으며 역으로 B사의 스위치에서 A사의 relay를 제어하는 것도 할 수 없다. 공조와 보안이라는 다른 제어 시스템도 모두 다른 network로 시스템이 형성된다.



Open network 기술은 이러한 제약을 배제하고 복수의 제어시스템을 같은 규격의 network에서 gateway를 거쳐 접속가능하고 같은 주 장치에서 감시, 제어가 가능한 네트워크 시스템을 구축하는 것이 가능하다.

이와같은 시스템 구성의 일례로 BACnet이 거론되고 있다.

또한 종래는 조명, 공조 security라고 하는 제어 시스템마다 독자적인 network system(sub system)을 구축하고 있지만 이 sub system level에 있어서도 통신하는 신호의 내용과 종류를 미리 통일(규격화)하는 것으로 복수의 maker 기기를 혼재시키는 것이 가능하게 된다. (multi-vendor 화)

LONWORKS는 주로 이와같은 시스템으로 구성된다.

### 3. LONWORKS의 개요

LONWORKS는 미국 Echelon사가 개발한 지적 분산제어 네트워크 기술의 명칭이다. 빌딩관리시스템의 open화, multi-vendor화의 움직임이 진행되고 있으며 추후라도 시스템 구축이 가능한 공동 protocol을 지닌 네트워크로의 요구가 높아지고 있는 가운데 LONWORKS는 이러한 multi-vendor 환경에 적합하고 빌딩관리시스템에 있어서 network의 개방화를 실현하는 기술로서 개발되었다.

LON(Local Operating Network)의 대응기기로는 Neuron chip으로 불리어 지는 LSI chip이 탑재 된다. Neuron chip으로는 3개의 CPU가 실장되어 있고 통신처리와 제어 연산처리가 chip 1개로 실현된다. Lontalk로 불리어지는 통신 protocol이 Neuron chip에 미리 매입되어 있고 이 칩과 같은 것들에 의해 network이 간단하게 구축되어 진다. 또한 통신 미디어의 종류를 통일하기 위하여 전용의 트랜시버도 수 종류가 제공되고 있으며 일반적으로 LONWORKS 대응기기로는 이들 Neuron chip과 트랜시버를 실장할 필요가 있다.

기기간 통신을 할 때에는 NETWORK 변수(NV : Network Variable)라고 하는 한 무리를 이용하고 통신을 행한다. 각 기기의 프로그램을 "Neuron C"라고 불리어지는 ANSI-C(American National Standard Institute 규격으로 준거-準據-하는 C 언어)로 프로그래밍 됐지만 program에서 취급하는 변수와 같이 마찬가지로 network에서의 입, 출력 data를 취급할 수 있는 한 무리(仕組)가 network 변수이다. network 변수는 제어 프로그램을 작성할 때에 전송을 전혀 의식하지 않고 간단하게 정의할 수 있다. 정의된 Standard 변수는 PC에서 동작하는 범용의 install tool로 신호의 image를 확인할 수 있다. 시스템을 구축할 때에 install tool 위에서 image 된 network 변수를 연결하여 합한다.(Binder : nerwork 상에서의 관계를 정의한다) 이것으로 말미암아 간단하게 시스템을 구축할 수 있다.

범용적인 network 변수는 표준 network 변수(SNVT : Standard Network Variable Type)로서 표준화 되어 있고 사용되는 SNVT을 미리 합치시키는 것에 의해서 다른 메이커의 기기끼리(同士) 정보 교환이 간단하게 이루어진다.

스위치가 눌러졌을 때에 어떻게 SNVT를 송신하는가 라고 하는 사양도 표준적으로 정해져 있고 다른 메이커의 기기 끼리(同士) 상호 접속성이 보증되어지고 있다. 이를 위하여 지금까지는 동일한 network이 존재하지 않았던 조명제어 시스템 기기와 공조 제어 시스템 기기가 동일한 network 위에서 가동되는 것은 가능하다. 예를 들면 센서 부착 조광 단말기의 인체 감지 센서 기능으로 부재를 검지하면서 조명을 소등하고 동시에 동일한 신호로 에어콘의 전원을 끄는다고 하는 연동제어도 할 수 있다.

LONWORKS로 제한하지 않고 조명제어 시스템을 실제 물건으로 가동하기 위한 시스템의 설계는 불가하다.

종래의 조명제어시스템에서는 각사가 시스템의 설계와 구축을 실행하고 있지만 LONWORK에서 는 multi-vendor 환경이므로 시스템의 설계, 구

축을 전문의 system integrator 하고 시스템으로 사용하는 기기의 선정도 기기단위, 장치단위로 실행한다. 또한 운용 후에 기기의 추가와 교환이 용이하게 이루어지기 때문에 호환성이 있는 기기를 선택할 수 있으므로 running cost를 내리는 것이 가능하다.

#### 4. 최신 동향과 과제

LON 대응 제품은 국내에 있어서도 각사에서 제품화되고 있고 스위치와 릴레이 단말기, 센서부 조광단말기 등 조명제어 시스템에 필요한 기본적인 요소는 대부분 제공되고 있다. 또한 LON 대응 기기를 이용하는 조명제어 시스템을 실제로 납입한 물건도 증가하고 있다. 또 관리시스템 만이 아니라 경관조명에 응용하는 시도도 이루어지고 있다. 실적이 있는 system integrator에 의한 도입 사례 등도 증가하고 각 분야로 LON 대응 대응조명제어 시스템도 구축의 경험치는 상승 경향이 있다.

조명제어시스템에 있어서도 LONWORKS의 과제는

- (1) 조명에서 요구되는 제어기능의 실현과 표준화
- (2) 제어대수의 제약
- (3) Install의 간소화
- (4) 기기의 COST DOWN이다.

(1)의 조명에서 요구하는 제어기능의 실현과 표준화의 현상은 표준화 된 사양으로 곧 조명제어기능을 실현할 단계이고 사양에 대한 여러 가지의 해석이 가능하고 상세가 정의되지 않은 그대로 인 것도 많고 완전한 기능의 호환성이라도 하나하나의 과제가 많다. 센서와 조광단말의 사양은 표준화되고 있으나 센서부 조광 단말기와 같은 기능이 복합된 기기의 표준화는 되지 않고 있다. 이와같은 기기의 기능을 실현하기 위한 표준화도 필요하다고 생각한다.

#### 5. 절약에너지 효과

LONWORKS 기술을 이용한 조명제어시스템이 아니고는 절약에너지 효과를 시산한다고 하는 것은

어렵다. 기기간 또는 중앙 주장치와의 통신수단이 다르더라도 종래의 조명제어시스템과 비교하여 점멸제어와 조광제어의 방식이 크게 다르지 않다.

종래의 조명제어방식과 마찬가지로 주광 이용제어로 약 10-20%, 적정조도제어(초기조도보정)로 약 10~15%, time schedule 제어로 약 10-15% 절약에너지로 된다. LONWORKS에 의해 이루어지는 생에너지 효과를 구하고 다른 제어 시스템(예를 들면 공조시스템 등)과의 상호접속성을 이용하여 다른 시스템과의 연동제어에 의해 관리시스템 전체로서의 절약에너지 효과를 기대할 수가 있을 것이다.

#### 6. 결론

이상, LONWORKS 기술을 이용한 조명제어시스템에 의해서 서술하였다. 종래의 조명제어시스템을 각사가 시스템 설계, 구축과 maintenance을 실행하고 있다. 금후, multi-vendor 환경으로 시스템을 운영하는 경우 기기의 고장 등이 일어날 경우에 책임소지가 명확화되지 않을 가능성이 있다. 이것을 피하기 위해 시스템의 설계에서 품질보증까지 포함된 시스템 제공을 시행하는 system integrator가 증가하면 LONWORKS 대응 시스템도 지금 이상으로 보급될 것이다.

### 참고2

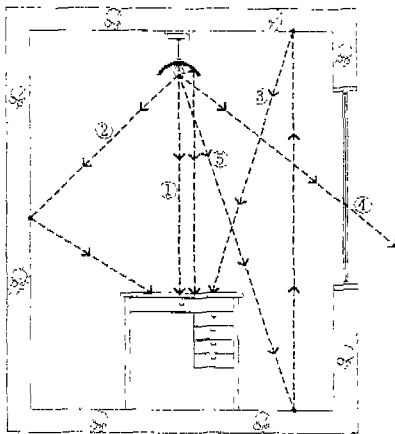
#### 간접조도와 직접조도 계산

광원에서 나온 광속이 피조면에 도달하는 양의 계산은 광속전달(Flux Transfer)이론에 의한다. 피조면에 도달하는 광속에는 광원이나 조명기구에서 직접적으로 전달되는 직접분과 인접한 물체 등에서 반사되어 도달하는 간접분이 있다. 직접분에 의한 피조면의 조도를 직접조도 또는 직사조도라 하고, 건축공간과 같이 실내의 벽이나 천정면을 통해서 반사되어 피조면에 얻어지는 조도를 간접조



도라 한다. 점광원에 의한 조도계산시 사용하는 거리역제곱의 법칙이나 자연채광의 설계에 사용하는 입체각투사의 원리, 주광을 산정시 사용하는 분할광속법의 천공성분을 구하는 원리는 모두가 광속 전달이론에 의해 직접조도를 구하는 것이다.

그러나 <그림 1>에서 보듯이 인공조명에 의한 것은 실내의 천정, 바닥, 벽면에서 서로 반복하여 반사되어 피조면의 조도가 상승하는 간접조도를 무시할 수 없다. 이를 자세히 살펴보면, 직접조도의 구성성분은 ①과 ⑤와 같은 형태이고, 간접조도는 ②나 ③과 같은 부분이며, ④와 같은 성분은 작업면에 도달하지 않는다. 특히 ④와 같은 성분은 인공조명의 측면에서 본다면, 전혀 조명의 역할을 하지 못하는 손실이다. 이렇게 작업면의 조도를 계산한다는 것은 복잡한 것이다. 복잡한 계산을 하기 위해서는 수학적 도구를 이용하지 않을 수 없다. 더욱이 실내공간의 물리적 규모가 건물의 용도나 형태에 따라 무수히 변화하기 때문에 하나의 통일된 형식에 의해 정형화할 수 없는 것이다. 그러나 우리가 현재 사용하고 있는 소위 광속법이라고 하는 것은 이와 같은 복잡한 수식을 이용하지 않고 직접조도와 간접조도를 한꺼번에 구하기 위하여 고안된 실험법칙에 의한 것이다.

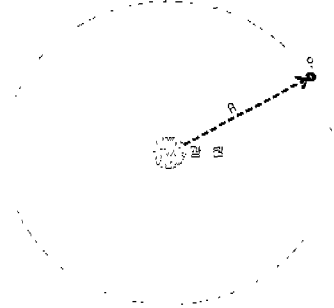


[그림 1] 피조면의 조도

1) 거리역제곱의 법칙과 조명의 직접분 조도계산의 원리는 조도의 정의-단위면적당의 입

사광속-에서부터 출발한다. 점조도법이나 광속법에 의한 조도계산이라고 하는 것이 조도의 정의에서 유도된 것이다. 점조도법은 실내공간의 조명이나 옥외조명의 설계에 사용한다.

점조도법은 소위 '거리 역제곱의 법칙'이라고 칭하는 원리에 의한 것이다. <그림 3>을 살펴보자. Icd의 광도를 갖는 점광원이 구의 중심에 있다고 가정할 때, 이 점광원으로부터 임의의 거리 R만큼 떨어진 임의의 점 P의 조도를 알아보자. 이 문제에서 주어진 것은 단지 점광원의 광도와 조도를 구하고자 하는 점과 광원사이의 거리뿐이다. 그렇지만 이미 알고 있는 거리역제곱의 법칙이란 지식으로 쉽게 조도를 구할 수 있을 것이다.



[그림 2] 거리 역제곱의 법칙

그러나 이미 우리가 암기하고 있는 '거리 역제곱의 법칙'을 다음과 같이 이해한다면, 전혀 암기할 필요가 없다는 것을 알 수 있을 것이다. 먼저 조도의 개념에서 출발하자. 측광량으로서 조도의 정의는 단위면적당 입사하는 광속이다. 이 정의에 따라 조도를 구한다면 피조면의 면적과 그 피조면에 입사하는 전광속을 알고 있어야 한다. 그러나 앞에서 살펴보았듯이 이 두 가지에 대한 정보는 주어지지 않았다. 그러므로 필요한 정보를 스스로 구해야 한다.

먼저 점광원에서 발산하는 총광속을 구해보자. 광원을 둘러싸고 있고 가상의 구를 생각한다. 점광원의 광도가 어느 방향에서나 Icd의 값으로 동일하고, 구의 입체각이  $4\pi$ 이므로 점광원에서 발산하는 총광속은  $4\pi I_{lumen}$ 이 된다. 다음에 이 광원의 발

산광속은 전부 가상의 구면을 통과하게 된다. 그러므로 구의 면적  $4\pi R^2$ 으로 나누어주면, 이 값이 점 P의 조도가 되는 것이다.

$$E = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{4\pi I}{4\pi R^2}$$

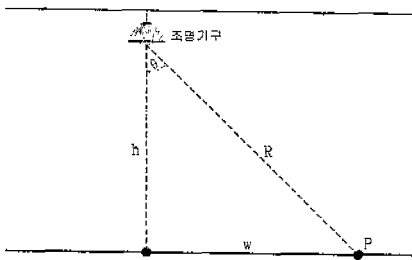
$$\therefore E = \frac{I}{R^2}$$

이제 점도법에 대한 이해를 확장해 보자. 실제 상황에서 사용하는 점조도법에 의한 조도계산은 대부분 조명기구의 직하에 있는 점이 아니고, 조명기구와 수직을 이루는 위치에서 일정한 거리만큼 떨어져 있는 점이다. <그림 4>의 예를 보자. 그림과 같이 거리가 w만큼 떨어진 곳에  $\theta$ 의 각도를 이루고 있는 점의 조도는 입사각 여현의 법칙에 의해 다음 식과 같이 된다.

$$E = \frac{I \cdot \cos \theta}{R^2}$$

$$= \frac{I \cdot \cos \theta}{h^2 / \cos^2 \theta}$$

$$\therefore E = \frac{I \cdot \cos^3 \theta}{h^2}$$



[그림 3] 조명기구의 직하부에 있지 않은 점의 조도계산

여기서 위 식의  $\cos^3 \theta$ 의 값의 변화를 살펴보자. 이 값은  $\theta$ 의 각도가 커질수록 급격히 감소한다. 즉 조명기구의 설치 높이 h에 비해 떨어진 거

리 w가 증가할수록 조도는 급속히 감소하는 것이다. <표 1>에 w/h의 값으로 구한  $\cos^3 \theta$ 의 값의 변화를 표시했다.

[표 1] w/h의 값으로 표시한  $\cos^3 \theta$ 의 값의 변화

w/h	(도, 분)	$\cos^3 \theta$
0.1	5° 42'	0.985
0.2	11° 18'	0.943
0.3	16° 42'	0.879
0.4	21° 48'	0.800
0.5	26° 36'	0.716
0.6	31° 00'	0.631
0.7	35° 00'	0.550
0.8	38° 42'	0.476
0.9	42° 00'	0.411
1.0	45° 00'	0.354
1.5	56° 18'	0.171
2.0	63° 24'	0.089
3.0	71° 36'	0.032
4.0	76° 00'	0.014
5.0	78° 42'	0.008

조명기구가 일정한 간격을 두고 규칙적으로 설치되는 경우에는 각각의 조명기구에서 나오는 빛에 의한 어떠한 점의 조도를 계산해야 할 필요가 있다. 현대의 오피스빌딩처럼 고층화하면서 각 층이 대규모의 open공간으로 계획될 경우에는, 하나의 공간에 많은 조명기구가 설치되고, 각각의 조명기구에 대한 계산을 한다는 것은 대단히 번잡한 일이 아닐 수 없다. 그러나 이런 번잡한 계산을 고집할 필요는 없다.

위에서 w/h의 값으로 구한  $\cos^3 \theta$ 의 값의 변화를 살펴보면, 조명기구의 설치 높이 h만큼 떨어진 점의 수평면의 조도는 직하부 조도의 35.4%가 되며, 높이 h의 2배의 거리가 되는 곳은 불과 8.9%가 되고, 3배의 거리가 되는 곳은 다시 3.2%로 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 그래서 수계산으로 인접한 조명기구에 의한 조도계산을 하는 경우에는, 조명기구의 설치 높이에 비해 2.0 ~ 2.5배의 거리만큼 떨어진 곳에 취부된 조명기구에 의한 영향은 생략하는 것이다.

거리 억제법의 법칙은 조명기구를 점광원으로 가정하는 데서 출발한다. 광원의 크기에 비해 5배의 거리 이상 떨어진 점의 조도는, 현실적으로 적용하





는 데 무리가 없는 오차의 범위에 들어간다는 것이다. 이 경우에 오차는 1% 이하가 된다. 백열전구나 HID램프는 대개 이러한 범주에 포함된다고 가정한다.

그러나 형광램프의 경우에는 좀 더 정밀한 계산이 필요하다. 근래에 사무공간 등에 국부조명을 위해 형광램프를 이용하는 경우가 많이 있다. 국부조명을 할 경우에는 작업면과 조명기구 사이의 거리가 짧아지므로 형광등기구를 점광원으로 간주하기에는 상대적으로 기구의 크기가 크다. 이러한 경우에 배광곡선에 의해 바로 조도를 계산하는 것은 커다란 오차가 생긴다.

〈표 2〉와 같은 배광특성을 가진 40w형광등기구를 생각해 보자. 사무실의 국부조명용으로 설치하려는 것이고, 책상의 상부에 설치해서 책상면을 피조면으로 하고 있다. 편의상 필요한 부분의 광도만 표기했다. 이러한 배광특성을 갖는 조명기구에 의해 1.5m 직하부의 책상면에 위치하고 있는 점 P의 조도를 계산한다.

〈표 2〉 조명기구의 광도

각도(°)	광도(cd)
0.0	2,000
2.5	1,994
5.0	1,987
7.5	1,975
10.0	1,956
12.5	1,931
15.0	1,906
17.5	1,872

먼저 광원의 크기를 고려하지 않고, 바로 거리역제곱의 법칙을 적용하여 보자. 조도계산을 한 결과, 조도는 889룩스( $E=2,000/(1.5)^2$ )가 된다. 그러나 형광램프의 길이가 1.2m이므로, 피조면과의 거리 1.5m는 거리역제곱의 법칙을 적용하기에는 너무 짧다. 그래서 거리역제곱의 법칙이 성립하는 범위의 길이 이하로 조명기구를 나누었다고 생각하자. 편의상 형광램프를 〈그림 4〉와 같이 4등분했다고 가정한다. 이 때 4등분된 각각의 형광램프는 길이가 0.3m이고, 등분된 각각의 조명기구에 의한 조도는 거리역제곱의 법칙과 입사각여현의 법칙에

의해 다음과 같이 구할 수 있다.

각 형광램프가 점 P와 이루는 각도는 외측의 두 개는 16.7도, 내측의 두 개는 5.7도이고, 점 P를 중심으로 좌우대칭이므로 두 성분에 의한 조도를 구하여 2배 하는 것으로 한다. 먼저 광도를 구하면,

$$I_{5.7^\circ} = 1984 \text{ (cd)}, \quad \frac{1}{4} I_{5.7^\circ} = 496 \text{ (cd)}$$

$$I_{16.7^\circ} = 1896 \text{ (cd)}, \quad \frac{1}{4} I_{16.7^\circ} = 474 \text{ (cd)}$$

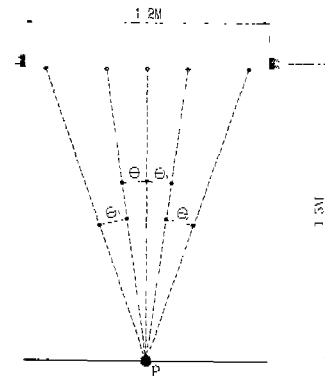
이제 각각의 조도를 구하여 합하면,

$$E_{5.7^\circ} = \frac{496 \cdot \cos^3 5.7^\circ}{(1.5)^2} = 217 \text{ (lx)}$$

$$E_{16.7^\circ} = \frac{474 \cdot \cos^3 16.7^\circ}{(1.5)^2} = 185 \text{ (lx)}$$

$$\therefore E_{total} = 2 \cdot E_{5.7^\circ} + 2 \cdot E_{16.7^\circ} = 804 \text{ (lx)}$$

거리역제곱의 법칙이 성립하는 범주로 조명기구를 나누어 얻은 조도는 804룩스이다. 이제 두 가지 계산 방법의 차이로 인한 결과를 살펴보자. 먼저 4등분하여 계산하는 것이 보다 정밀한 계산이므로, 이를 기준으로 할 때 오차는 10.6%에 이른다는 것을 알 수 있다. 또한 책상면과 조명기구 사이의 거리가 현재 수준의 절반으로 줄어든다면, 동일한 계산을 반복하여 무려 41%에 이르는 오차가 발생한다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 이와 같은 계산은 보수율이 감안되지 않은 것이므로 실용상으로 이러한 계산방법을 사용할 때에는 보수율을 계상하여 사용 도중에 조도가 낮아지지 않도록 한다.



〈그림 4〉 형광램프의 조도계산

2) 조명의 간접분과 평균조도의 계산

〈그림 1〉에서 보았듯이 조명의 간접분에 대한 영향을 빠르게 적용할 수 있어야 피조면의 전체적인 입사광속을 구할 수 있다. 그림에서 패널의 크기가 각도, 반사율 등이 변화하면 피조면에 입사하는 광속은 변할 것이다. 이것을 실내의 조명에 연관지어 생각한다면, 실내의 벽면, 천정면 등의 면적이나 반사율에 따라 조명의 간접분에 의한 조도의 변화를 쉽게 예측할 수 있다. 이와 같은 간접분을 어떻게 고려할 것인가에 따라 조도계산에는 여러 종류가 있는 것이다.

간접분을 고려하는 계산법의 시초는 1920년대에 미국의 Harrison과 Anderson이 모형에 대한 실험을 통하여 제안한 3배광법에 의한 것이다. 즉 모형을 제작하여 실내조도를 측정하고, 이 결과를 응용하여 실내의 작업면에 대한 조도를 예측할 수 있도록 실용화한 것이다. 우리나라도 이 방법을 사용하고 있고, 인접한 일본도 이 방법을 사용하고 있다.

그러나 간접분의 평가에 있어서 정확도가 다소 떨어진다는 단점을 갖고 있기 때문에, 각국의 조명학회나 국제조명위원회(CIE)에서는 보다 개선된 방법을 사용하고 있다. 대표적인 것들이 북미조명학회(Illuminating Engineering Society of North America, IESNA)의 구역공간법(Zonal Cavity Method, ZCM), 영국의 영국구역법(British Zonal Method), 국제조명위원회에서 권고하는 CIE법 등이 있다. 그리고 독일이나 프랑스에서는 3배광법에 의한 조도계산법을 사용하고 있지만, 보다 정밀한 예측이 가능하도록 보완한 것을 사용하고 있다. 3배광법은 보수율의 산정에도 정확도가 떨어진다.

조도계산법에는 평균조도를 구하는 것과 조도분포를 구하는 것이 있다. 앞에서 설명한 계산방법들은 평균조도의 계산방법이다. 평균조도의 계산은 작업면의 평균조도만을 구할 수 있을 뿐이고 각 지점의 정밀한 조도분포를 구하는 것은 원리적으로 불가능하다. 반면에 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo Simulation)을 이용한 입자추적법이나 적분방정식을 이용한 해석적방법 등은 조도분포를 구할 수 있는 방법이다. 이 방법들은 비교

적 정확도가 높으나, 실내의 조도계산에 이용하기는 실용성이 떨어진다. 또한 손으로 계산하기에는 많은 계산량을 갖고 있어 컴퓨터에 의한 계산에 의존할 수밖에 없다. 컴퓨터에 의한 조명설계 프로그램은 해석적 방법에 의한 것이 많이 있다. 〈끝〉

※ 참고자료 ※

1. 조명공학 문운당 지철근
2. 조명설비설계 심안당 최흥규외
3. 중앙전자통신 기술자료
4. 한국조명전기설비학회 2003vol. 17, No5  
김훈, 홍창희
5. 일본전기학회지 2003.10
6. Lighting Engineering—R.H Simons &  
A.R. Bean
7. 유일산업 기술자료
8. www.skenertec.co.kr
9. SILVANIA catalogue
10. Solid-state Lighting—Michael S. Shur 외