

주광의 개념과 주광을 고려한 인텔리전트빌딩의 조명설계 및 제어기술

한양대학교 건축공학과 교수
건축학박사 송 규동

1. 주광의 개념

건축에서 주광을 이용하는 것은 특정지역의 시간, 날짜 그리고 천공상태에 따른 천공에서 오는 빛을 활용하는 것을 말한다. 주광을 이용함으로써 재실자들은 외부환경을 직접적으로 접촉하고 있다는 기분을 주고 또한 주광은 공간내의 조도를 자연스럽게 변화시켜 재실자들에게 즐겁고 생산적인 분위기를 만들어 준다. 또한 효율적인 면에서 전기조명보다 우수하여 건물전체 에너지를 줄이고 최대부하를 낮추는 잠재력을 가지고 있다. 궁극적으로 건물의 에너지 효율 향상은 연중전력사용을 줄여서 발전시설에서 방출되는 오염물질을 줄임으로써 대기환경보호에도 도움이 된다.

이러한 많은 장점을 가지고 있는 주광의 원천은 태양이다. 태양으로부터 입사되어 지구에 도달하는 빛은 직사일광과 천공광으로 구성되는데 직사일광은 천기의 상태와 시간에 따라서 변동이 심하기 때문에 채광계획에서는 원칙적으로 직사일광보다는 천공광을 광원으로 사용하고 있다.

직사일광의 일부는 대기층에서 산란 또는 흡수된다. 산란된 빛의 일부는 직접 또는 산란을 반복해서 지표면에 도달하는데 이것을 청공광(晴空光)이라 한다. 날씨가 흐린 경우, 빛은 구름에서 확산, 투과, 또는 반사되어 지표면에 도달하는데 이것을 담천광(曇天光)이라 한다. 이러한 청공광과 담천광을 합하여 천공광(天空光)이라 하며 직사일광과 천공광을 합하여 주광(晝光)이라 한다.

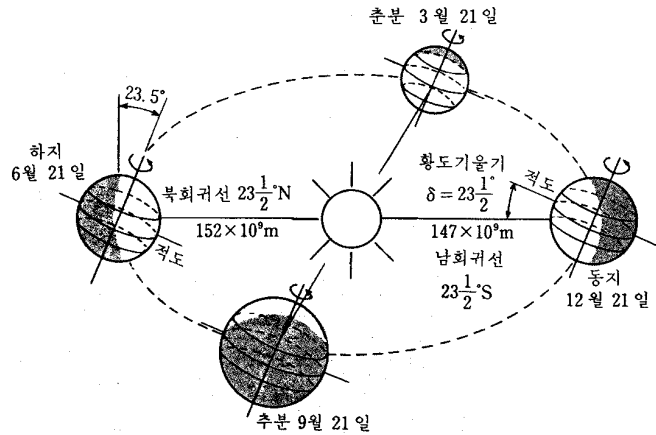
건축에서 주광에 의한 실내조도를 예측하기 위해서는 우선 태양과 지구의 위치관계 즉, 태양의 고도와 방위각을 계산한 다음 대기권에서의 산란과 흡수정도를 예측해야 한다. 이들 사항은 다음 절에서 언급하였다.

1.1 태양과 지구

(1) 태양과 지구의 위치 관계

지구는 [그림 1]에 보인 것과 같이 태양의 주위를 원형에 가까운 곡률 1/297의 타원궤도를 따라 365일을 주기로 공전하면서 자구자체도 24시간 주기로 자전한다. 태양의 운동은 공전과 자전으로 인한 결과이다.

지축은 태양과 적도를 지나는 평면(공전면)의 법선과 23.5°의 기울기를 유지하고 있다. 이 기울기를 황도의 기울기(declination) 또는 적위라고 하며 일사의 세기, 낮의 길이, 계절간 기후변화의 원인이 된다. 만일 이 황도가 없다면 일년내내 일정한 기후조건이 된다. 태양과 지구의 거리는 가장 멀어질 때가 1억 5천 2백만 km이고 가까워 질 때가 1억 4천 7백만 km이다.



[그림 1] 태양과 지구의 위치관계

(2) 대기권 밖에서의 연직면 복사에너지 (태양상수)

태양으로부터 지구의 대기권 밖에 도달하는 일사량은 지구와 태양의 거리가 항상 일정한 것이 아니기 때문에 계절에 따라 다르다. 그러나 1년을 평균하면 일사의 방향에 수직인 면에서 받는 법선면 일사량은 $1373\text{W}/\text{m}^2$ ($1.966\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$)이다. 이것을 태양상수라고 하며 J_0 로 표시한다.

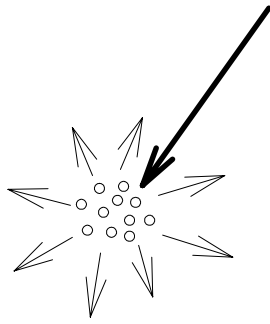
(3) 대기권에서의 태양복사에너지의 산란과 흡수

① 산란 (Scattering)

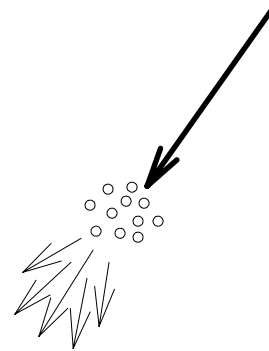
대기의 산란은 대기 입자들로 인해 발생하며, 예측할 수 없는 복사에너지 확산현상이다. 대상물체와 상호작용을 하는 복사파장이 자신보다 직경이 매우 작은 미세 분자 및 대기 분자들과 상호작용을 하는 경우 [그림 2]와 같은 레일리 산란(Rayleigh Scatter)이 가장 일반적이다. 레일리 산란의 효과는 파장의 4제곱에 반비례한다. 따라서 단파장은 이러한 분산 구도에서 장파장보다 훨씬 높게 분산되는 경향이 있다.

"푸른" 하늘은 레일리 산란을 입증하는 예이다. 대기의 분산이 존재하지 않는다면 하늘은 검게 보일 것이다. 그러나 태양광이 지구 대기와 상호작용을 일으키기 때문에, 모든 가시광선의 파장 중에서 가장 짧은 파장인 청색파장이 지배적으로 분산되는 것이다. 그래서 우리가 푸른색의 하늘을 볼 수 있는 것이다. 일몰과 일출시 태양 광선은 낮 시간 보다 훨씬 긴 대기통과 경로를 여행한다. 긴 통과 경로로 인해 모든 단파장이 분산 및 흡수되어, 결과적으로 우리는 덜 분산된 장파장인 오렌지색이나 적색파장을 보는 것이다.

산란의 또 다른 형태 중 하나는 [그림 3]과 같은 마이어 산란(Mie Scatter)인데, 이는 대기 입자의 직경이 관측에 이용되는 에너지 파장과 같은 경우에 발생한다. 수증기와 먼지 등이 마이어 분산을 발생시키는 주요요인이다. 이러한 분산의 형태는 레일리 산란에 비해 장파장일수록 그 영향이 강해지는 경향이 있다. 레일리 산란이 일반적인 대기조건에서 지배적인 반면, 마이어 분산은 비교적 흐린 날씨에 일어나는 현상이다.



[그림 2] 레일리 (Reyleigh) 산란

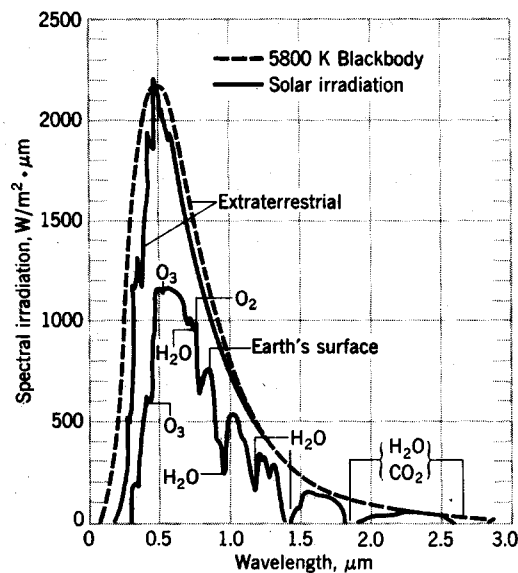


[그림 2] 마이어 (Mie) 산란

② 흡수(Absorption)

흡수 현상은 대기 구성요소로 인해 지표면에 도달하는 복사에너지를 손실시킨다. 대기 중의 가스 분자는 [그림 4]에 보인 것과 같이 일반적으로 특정파장을 흡수하는데 태양 복사에너지를 가장 탁월하게 흡수하는 흡수체로는 오존, 산소, 수증기 등이며, 장파장 적외선은 주로 이산화탄소에 의해 흡수된다.

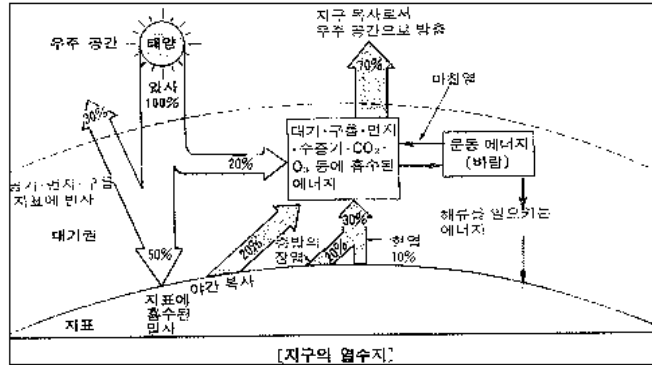
- O₃ : 자외선 (300 nm 이하는 거의 흡수)
- O₂ : 가시광선
- H₂O : 적외선



[그림 4] 대기권에서의 태양 복사 에너지의 흡수

(4) 지표면 복사에너지

지구는 태양 복사 에너지를 계속 흡수하고 있지만 온도가 계속 올라가지 않는다. 그것은 지구가 흡수한 에너지의 양과 같은 양을 지구복사로 방출하기 때문이다. 지구에 들어오는 태양 복사 에너지 양과 지구에서 방출하는 복사 에너지의 양은 [그림 5]에서처럼 서로 같아 평형을 이루고 있다.



[그림 5] 지표면의 복사에너지

1.2 주광방식

(1) 측광 채광방식(sidelighting)

[그림 6]에 보인 것과 같이 일반적으로 벽면에 연직인 창에 의한 채광방식을 측광채광이라고 한다. 측광채광 중 벽의 한면에 채광하는 것을 편측채광이라 하며 두 벽면에 채광하는 것을 양측채광방식이라고 한다. 편측채광은 실안쪽의 조도가 떨어지고 조도분포가 불균형하지만 건축설계상 무리가 없고 이러한 문제점은 인공조명의 사용으로 쉽게 해결될 수 있다. 시각적으로는 수평방향으로 외부를 볼 수 있는 장점을 가지고 있다.

(2) 고창 채광방식(clerestory)

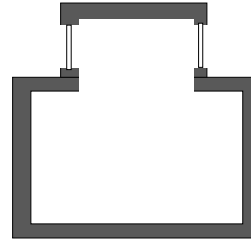
[그림 7]과 같이 지붕면에 수직 또는 수직면에 가까운 창을 고창 채광이라 한다. 벽면의 광량을 수평면의 것보다 크게 하기 위해 전시공간에서 많이 사용되는 방식이다.

(3) 천창 채광방식(toplighting)

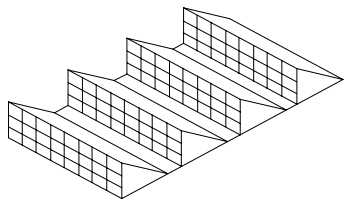
[그림 8]과 같이 지붕면에 있는 수평 또는 수평에 가까운 창을 천창이라 하고 그것에 의한 채광을 천창채광이라고 한다. 천창채광에서는 편측채광의 문제점인 실내 깊숙한 곳의 조도 저하, 조도분포의 불균형등은 해소된다. 하지만 시선방향의 시야가 차단되므로 폐쇄된 분위기가 되기 쉽다. 천창은 평면계획상 하기 어렵고 구조, 시공이 어려운 단점이 있는 있지만 측광이나 고창 방식에 비해서 같은 면적의 개구부로 훨씬 많은 자연광을 유입시킬 수 있다. 주로 아트리움의 자연채광 방식이다.



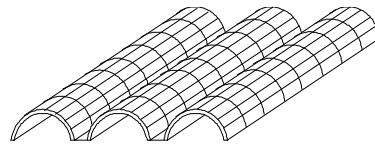
[그림 6] 측창 채광방식



[그림 7] 고창
채광방식



다중 톱날형 창호



다중 볼트형 창호

[그림 8] 천창 채광방식

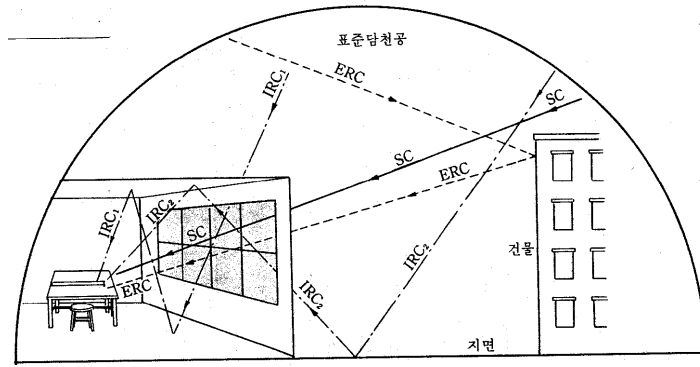
1.3 주광에 의한 실내조도예측

주광률은 담천공으로부터의 천천공조도(E_0)에 대한 실내 한 지점의 작업면조도(E_i)의 백분율로 정의된다.

$$DF = E_i / E_0 \times 100$$

천공에 의한 조도는 시시각각 변동함으로 실내에서의 조도레벨은 조도단위인 lx 대신 주광률을 사용하고 있다. 주광률은 천공의 상대적인 휘도분포, 창과 수조점의 기하학적인 관계, 실의 형태와 마감등에 의해 결정되며, 천공의 휘도값 그 자체의 영향을 받지 않는다. 따라서 천공의 상대적인 휘도분포를 결정하면 주광률은 기하학적인 수치로 결정되며, 채광 계산의 지표로 사용될 수 있다.

이러한 주광률은 [그림 9]에 보인 것 처럼 천공성분, 외부반사성분, 실내반사성분의 3가지로 나눌 수 있다. 천공성분은 측정점에서 보이는 천공부분에서 도달하는 빛이고 외부반사성분은 외부 건물로부터의 반사광을 나타내며 실내반사성분은 내표면에 반사된 후 측정점에 도달하는 반사광이 된다.



$$DF = SC + IRC + ERC$$

[그림 9] 주광률의 구성 : 천공성분(SC), 실외반사성분(ERC), 실내반사성분(IRC)

2. 주광을 고려한 인텔리전트 빌딩의 조명설계

인텔리전트 빌딩이 본래의 취지에 맞도록 운영되기 위해서는 다음과 같은 세 가지의 기능이 요구된다. 첫째, 건물의 내부와 외부에서 무엇이 일어나고 있는지 알아야 한다. 둘째, 재실자에게 편리하고 쾌적하며 생산성 높은 환경을 제공하는 가장 효율적인 방법을 알아야 한다. 그리고 세 번째로 앞의 두 가지를 통해 얻어진 정보와 방안을 통해 재실자의 요구에 신속하게 대응해야 한다.

이러한 기본적인 요구 기능을 만족시키기 위하여 인텔리전트 빌딩의 조명은 다른 빌딩 자동화시스템과 마찬가지로 재실감지 센서 또는 주광 센서와 제어기를 통한 자동제어에 의존하는 것이 상식화 되어 있다. 그러나 단순히 조명을 자동적으로 제어하는 것이 건물 재실자와 건물 관리자의 요구에 현명하게 대처하는 것은 아니라는 것을 알아야 한다. 즉, 조명제어의 지나친 자동화는 재실자로 하여금 누군가에 의해 기존의 건물에서는 갖고 있던 조명기구 제어에 관한 권리를 박탈당했다는 기분을 느끼게 할 수도 있고, 더 나아가 누군가에 의해 자신이 항상 감시당하고 있다는 반감을 불러일으킬 수도 있다는 것이다. 따라서 인텔리전트 빌딩에 있어서의 조명제어는 자동화를 기본적으로 하되 개개인에게 조명을 조절할 수 있는 수단을 부여하여 각자에게 가장 적합한 조명조건을 선택할 수 있는 권리를 보장하면 그와 같은 부정적인 반응을 완화할 수 있을 것이다.

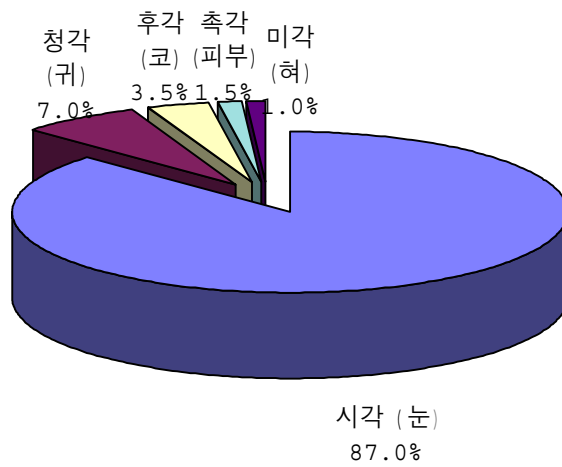
본 절에서는 기존의 사무소 건물이 아닌 인텔리전트 빌딩에 있어서 조명을 설계할 때 검토되어야 하는 요구 사항과 이러한 요구 사항에 대한 접근 방식에 대해 다루고 있다.

2.1 인텔리전트 빌딩의 시환경

건물에서의 환경은 그 범위에 따라서 작업자에 근접한 작업공간 환경과 건물의 한층 또는 건물 전체를 포함하는 광역 환경으로 구분할 수 있다. 이중 작업자와 가장 밀접한 작업공간에 있어서 중요한 환경요소로는 시환경과 음환경 및 온열환경을 들 수 있다. 그런데 1980년과 1985년 미국에서의 건물환경에 대한 조사 연구의 결과에 따르면 응답자의 65%가 기존의

작업공간에서의 시환경에 불만을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 조사 결과는 인체의 정보취득을 담당하고 있는 감각기관과 관련이 있는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 인체 감각기관의 정보취득 능력은 [그림 10]에서 보는 바와 같이 시각에 의한 것이 87%로 가장 지배적이며 따라서, 작업환경에서도 시환경이 압도적으로 중요한 위치를 차지한다고 말할 수 있다.

인텔리전트 빌딩에서의 시환경의 경우, 수평 책상면에서의 작업이 주로 이루어지는 기존의 일반적인 사무소 건물과는 달리 VDT(Video Display Terminal)작업이 주로 이루어지고 있으므로 기존의 사무실과는 다른 조명설계가 요구된다고 말할 수 있다. 기존 사무소 건물에 있어서의 시환경에 대한 개선 요구, 재실자의 요구에 신속히 대응하고자 하는 인텔리전트 빌딩으로서의 요구, VDT작업에 대한 고려 및 에너지 소비 절감 등의 이유로 인하여 일반 건물과 인텔리전트 빌딩에 있어서의 조명의 차이는 [표 1]과 같이 요약될 수 있다.



[그림 10] 인체 감각기관의 정보취득 능력

[표 1] 일반건물과 IB의 조명의 차이

비교 항목	일반 사무소 건물	IB 건물
작업면	· 책상면(수평면)	· VDT(수직면) · 책상면(수평면)
조명방식	· 직접조명 / 전반조명	· TAL(작업+전반병용조명)
조명 제어	· 수동제어 (벽스위치) · 자동제어(스케줄 On/Off)	· 스케줄 On/Off · 재실감지 On/Off · 개별제어 On/Off
자연광 제어 및 활용	· 수동 블라인드 · 창문근처 On/Off	· 자동 블라인드 · 창문근처 On/Off · 조광제어(Dimming) · 설비형 자연채광 장치

2.2 인텔리전트 빌딩의 조명설계 목표 및 방법

인텔리전트 빌딩에서의 조명 설계 목표는 재실자의 관점과 건물 관리자의 관점에서 서로 다르게 설정될 수 있다. 재실자를 고려한 조명설계의 목표는 적절한 양의 빛을 필요로 하는 시간과 장소에 공급하는 것이고, 건물 관리자를 고려한 조명설계의 목표는 에너지 절약과 효율적인 보안관리 등을 들 수 있다. 다음은 이들 두 가지 관점에서의 조명설계 방법에 대해 설명하고 있다.

(1) 재실자를 고려한 조명설계

재실자를 고려할 때 조명의 설계는 무엇보다도 충분한 양의 빛을 필요한 때와 장소에 공급하여 작업 능률의 향상을 꾀해야 하며, 더불어 현휘(Glare)의 제어도 필요하다. 이때 충분한 양의 빛이란 조도(Illuminance)라는 측광량으로 표현되며, 눈부심이란 시야내에 들어오는 표면의 평균 밝기인 휘도(Luminance)라는 측광량으로 표현될 수 있다.

① 조도(Illuminance)

어떤 공간 내에서 필요로 하는 조명의 양은 일정하게 정해진 것이 아니라 수행되는 작업의 성질, 종류 또는 작업자의 연령 등에 따라 달라진다. [표 2]는 북미조명공학회(IESNA)의 작업별 권장조도의 예를 보여주는 것이다.

[표 2] 북미조명공학회(IESNA)의 권장 조도

작업 종류	권장 조도
일반 작업	40세 이하 : 500~1000lx
	40세 이상 : 800~1600lx
VDT 작업	50~100lx
청소 작업	150~300lx

② 휘도(luminance)

적절한 조도와 더불어 휘도 분포와 현휘의 제어는 사무공간의 쾌적한 시환경을 유지하기 위해 필요하다. 이를 위해 다음을 배려한다.

시야내 휘도의 변화가 큰 경우는 시선을 움직일 때마다 밝기의 차이에 따라 눈이 움직여지므로 눈에 피로를 초래할 우려가 있다. 또는 사무실의 벽면이 어둡게 되면, 위의 문제 이외에 어두운 느낌을 주며 눈의 휴식에 도움이 되는 원경으로서의 대상이 없게 되어 작업 대상물만을 과도하게 주시하기 때문에 피로의 원인으로 되는 문제점이 있다. 이 때문에 오피스내 각 부위의 휘도비를 균일하게 할 필요가 있다. [표 3]은 북미조명공학회에서 권장하는 작업면과 주변과의 휘도비의 최대치를 보인 것이다. 또한, 시환경에 중요한 역할을 하는 실내 표면의 반사율의 권장치는 [표 4]와 같다.

[표 3] 작업면과 주변의 휘도비 최대치

	휘도비의 최대치
작업대상물과 그 근접 주위면 (예: 서적과 책상면)	3:1
작업대상물과 그것에서 떨어진 면 (예: 책과 바닥면 또는 벽면)	10:1
조명기구나 그 근접 주위면	20:1
보통 시야내에서	40:1

[표 4] 실내반사율 권장치

표면	반사율의 권장치
천정	80%(80~90%)
벽	50%(40~60%)
책상·작업대·기계	35%(25~45%)
바닥	30%(30~40%)

③ VDT 작업에 대한 고려

정보기술에 의존하는 현대사회에서 대부분의 사무실은 OA(Office Automation)환경이 이루어져있고 그에 따른 VDT에 의한 작업이 업무의 대부분을 차지하고 있다. VDT작업의 조명환경은 일반 사무작업의 조명환경과 근본적으로 다르다. 일반 작업의 경우 일정한 조명의 질이 유지되고, 조도가 상승하면 시각 대상물이 보기 쉽게 되는 것에 비해서, VDT작업시의 경우 조도가 상승하면 키보드 입력용 원고는 보기 쉬워지는 반면 VDT상에 표시되어진 문자나 도형 등은 보기 어려워지는 대조적인 현상이 일어난다. 또한, VDT면에 고휘도 조명기구의 상이 반사되어 작업자의 시야에 들어오면 현휘에 의한 시각적 불편감을 느낄 수 있고, 화면의 문자를 읽기 어렵게 되는 광막반사(Veiling Reflection)현상에 의한 작업능률의 저하를 초래할 수 있다. 이 때문에 인텔리전트 빌딩 사무공간에서의 VDT작업을 위해서는 다음과 같은 고려를 해야한다.

㉔ 키보드나 입력용 서류면에 대해서 필요한 조도를 확보한다

㉕ VDT 화면의 글자나 도형 등이 잘 보이도록 화면 위의 수직면 조도를 제한한다

㉖ VDT화면에 비치는 고휘도 조명기구의 반사상에 의해 글자 등이 잘 보이지 않는 곳이 나타나므로 조명기구의 휘도를 제한한다

㉗ 각각의 시대상물로 시선을 이동하게 되는 경우 눈의 적응상태가 크게 변화하지 않도록 하기 위해서 작업면과 그 주변의 휘도차를 적절한 한계 이내에서 제한해야 한다.

이러한 점을 고려할 때 VDT작업을 주로 하는 사무공간의 조명방식으로서 가장 적합한 조명방식은 국부전반병용조명(TAL, Task and Ambient Lighting)을 들 수 있다. 이 방식은 전반조도를 최소한의 필요한 정도로만 유지하여 VDT에 대한 시작업을 용이하게 하고, 키보드 입력을 위한 원고의 조명은 국부적인 조명기구를 이용하는 방식이다. 전반조명은 조명기구를 천장으로 향하여 간접조명으로 하고 국부조명은 탁상용 소형 조명기구나 칸막이 등의 가구에 조명기구를 매입하는 방식이 일반적이다. 이 조명방식은 1974년 미국 필라델피아

에 소재한 ARCO사에서 최초로 채택하였고 지금은 미국의 신축 사무소 건물의 60%가 채택하고 있다. 이 조명방식은 재실자의 쾌적도 및 VDT작업의 능률 향상은 물론이고 에너지절약도 동시에 만족시키는 방법으로 선호되고 있다.

TAL 방식에 의해 조명을 하는 경우는 실 전체가 음울한 느낌을 주지 않도록 하기 위해 천장과 벽의 휘도가 동시에 과도하게 높아지지 않도록 주의하여야 한다. [그림 11]과 [그림 12]는 TAL방식의 사무실의 예를 보여주고 있다.



[그림 11] 사무가구 내장형 국부조명기구와 간접조명방식의 TAL



[그림 12] 탁상용 국부조명기구와 간접조명방식의 TAL

② 필요 장소와 필요 시기의 조명 제공

재실자는 건물안에 있을 때면 언제든지 적절한 조명이 있어야 한다는 것을 당연한 것으로 생각하고 있다. 이는 주간 근무시간은 물론이고 퇴근시간 이후에도 잔업을 위해 사무실에 남아 있을 경우 재실자 개인의 작업공간 뿐 아니라 간헐적으로 사용되는 곳(예: 복사실, 휴게실, 홀, 엘리베이터 로비 등)도 조명이 되어야 함을 의미한다.

(2) 건물 관리자를 고려한 조명설계

건물 관리자의 관점에서 볼 때 조명설계의 주 관심사는 에너지 소비의 절감, 근무 요원 관리, 보안 관리, 작업공간 재배치시 유연성 확보 등이다.

① 에너지 소비 절감

사무소 건물에서의 조명과 관련한 에너지 사용량은 조명기구에 공급되는 전기 에너지와 조명기구로부터 발생한 열을 처리하기 위한 냉방부하를 합할 경우 건물 전체 소비전력의 약 30-50%에 이르고 있다. 조명기구와 관련하여 에너지 소비량을 줄이기 위해 조명제어 시스템에서 사용되는 몇 가지 전략이 있다. 우선 자연광을 적극적으로 작업 조명을 위한 광원으로 이용 하는 것이다. 자연광은 풍부한 스펙트럼으로 인하여 정서적, 감정적으로 인공광에 비해 훨씬 우수한 장점을 갖고 있다. 사무소 건물의 대부분의 사용 시간대가 주간인 점을 고려한다면 자연광을 주광원으로 하고 인공광은 보조광원으로 하는 설계가 그 타당성을 갖

게 된다. 자연광을 받아들이고 실내에 분배하기 위하여 창호에 대한 적절한 설계와 광덕트나 광튜브와 같은 설비형 자연채광 시스템의 도입도 고려해 봄이 권장된다.

또 다른 에너지 절약을 위한 전략으로는 조명레벨의 조절이 있다. 이는 재실자의 수행업무 및 연령에 따라 적절한 조도를 제공할 수 있도록 조명 레벨을 다양하게 조절할 수 있도록 하는 것을 말한다. 조명레벨의 제어는 각각의 조명기구를 제어하거나 구역별 제어를 통해 이루어질 수 있다. 예를 들어 천장 조명 방식이 작업면에서 약 500 lx의 조도를 유지하도록 설계되어 있는 경우 각각의 조명기구를 제어하는 방식을 통해 중요한 업무를 수행하는 영역에 영향을 주지 않으면서 보행 통로에는 100 lx 정도로 줄일 수 있도록 하며, VDT를 많이 사용하는 부서에 대해서는 구역별 제어를 통해 약 100lx 정도의 조도만을 전반적으로 유지할 수 있도록 하는 것이다.

② 근무 요원 관리

관리자의 관점에서 불 때 자동화된 조명제어 시스템은 가치 있는 정보를 제공할 수 있다. 예를 들면 모든 조명 장치가 중앙에서 감시될 수 있다면, 관리자는 청소원의 진척사항과 경비요원의 경비구역 순찰 상황을 모니터링할 수 있다.

③ 보안 관리

조명의 중앙모니터링은 보안요원에게 경보를 제공할 수 있다. 이를테면 카드 액세스 시스템은 직원이 근무시간 외에 건물이나 특정한 장소에 들어올 경우 조명을 켜도록 조명제어 시스템에 명령을 줄 수 있도록 프로그램될 수 있다. 그리고 직원이 허락되지 않은 영역의 조명을 켜 경우 보안요원으로 하여금 그 지역을 점검하도록 경보를 받을 수도 있다. 또한, 자동화된 조명제어는 경비원이 순찰시 자동적인 점검을 통하여 보다 향상된 안전성을 제공할 수 있다.

④ 작업 공간 재배치시 유연성 확보

이상적인 조명제어시스템은 작업 공간이 재배치되었을 때 추가적인 배선 작업이나 비용이 필요하지 않는 것이어야 한다. 건물 관리자는 공간의 평면 계획이 변경될 때마다 장치나 센서의 재구성하는 것을 꺼리는 것이 일반적이다.

2.3 조명시스템의 제어방식

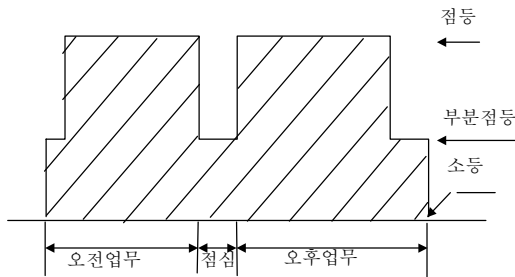
조명시스템의 제어의 목적은 크게 3가지로 건물환경의 쾌적성 유지, 운영인원의 절감, 에너지 절약으로 나누어 볼 수 있다.

실내의 직사일광의 입사에 의한 과도한 휘도대비와 현휘는 빛환경의 쾌적성에 악영향을 미친다. 따라서 직사일광의 제어를 위한 블라인드와 루버 등이 제어의 대상이 되고 있다. 인력 절감의 제어는 여러 개의 건물이 넓은 대지 위에 분산되고 1개의 제어 센터에서 관리하는 경우의 제어를 말한다. 관리의 인력절감을 위하여 전용의 조명제어 시스템이 구축되는 경우가 많다. 중앙제어시스템을 설치하고 각 건물에 분산제어반을 설치하고 중앙제어기와 분산제어반 사이를 광통신 케이블로 접속하는 시스템이 출현하고 있다. 마지막으로, 고효율 광원의 사용과 TAL조명방식, 자연채광의 효과를 고려하여 에너지 절약적 제어를 채용하고 있다. 다음은 인텔리전트 빌딩의 요구사항에 부응하기 위하여 채택될 수 있는 조명시스템의

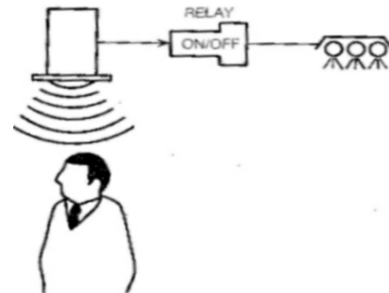
제어에 대해 설명하고 있다.

1) 인텔리전트 빌딩 조명 제어의 기본개념

조명의 제어는 기본적으로 점멸제어(On/Off Control)와 조광제어(Dimming Control)의 두가지로 구분할 수 있다. 에너지 절약을 기본적으로 고려할 때 [그림 13]과 [그림 14]와 같이 건물의 사용 스케줄과 재실감지 센서(초음파, 적외선 또는 레이더 감지)에 의한 점멸제어는 일반적인 사무소 건물에서도 볼 수 있는 제어 방식이지만 인텔리전트 빌딩의 경우 좀더 적극적인 에너지 절약을 위해 실내로 유입되는 주광 레벨을 감지하여 조명기구를 점멸 또는 조광제어 하는 것이 바람직하다. 다음은 조명기구의 출력 광속(光束)을 조절하는 방식에 따른 제어방법을 설명하고 있다.



[그림 13] 건물 사용 스케줄에 의한 조명제어



[그림 14] 재실 감지센서에 의한 조명제어

(1) 점멸제어(On/Off Control)

점멸제어는 조명기구 별로 또는 조명구역별로 점등 또는 소등을 하는 방식으로서 일반적인 사무소 건물에서 가장 흔히 볼수 있는 방식이다. 조명기구를 점멸하는 방법에 따라서 벽에 위치한 스위치를 재실자가 직접 조작하는 경우를 수동식 점멸 방식이라 하고, 건물 사용 스케줄이나 재실 감지 센서와 연동하여 릴레이에 의해 점멸하는 경우를 자동식 점멸 방식이라 한다.

(2) 레벨제어 (Level Control)

하나의 조명기구가 다수의 전구를 갖는 경우 각각의 전구를 점멸하여 출력광속을 조절하는 방식으로서 릴레이에 의해서 전구 모두를 소등 또는 1개, 2개 또는 전부를 점등할 수 있는 제어 방법이다. 주로 자연채광이 가능한 건물의 외주부에 보조인공조명으로 설치하여 사용되고 있고 재실자 각자가 조도 레벨을 선택할 수 있도록 하는 개인 사무실에도 응용될 수 있다.

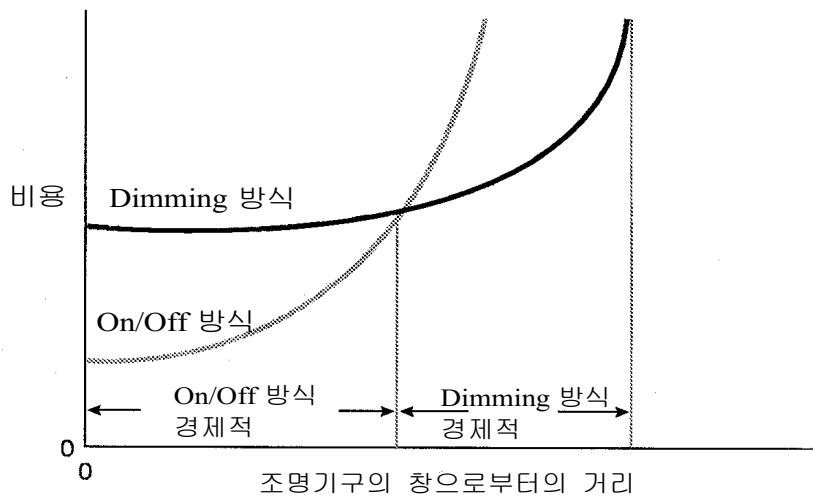
(3) 조광제어 (Dimming Control)

조광제어는 조명기구의 출력 광속을 0~100% 까지 계속적으로 변화시킬 수 있는 방식으로서 점멸제어보다 구성이 복잡하고 초기 설치비가 비싸지만 작업에 필요한 조도를 일정하게 유지 할 수 있어서 재실자로 하여금 급격한 조도변화에 의한 불쾌감을 느끼지 않게 할 수 있다. 이러한 조광제어 시스템의 구성은 조광용센서, 제어기 및 Dimmer로 크게 구분할 수 있다.

2) 점멸제어(On/Off)와 조광제어(Dimming)제어의 경제성 비교

창문으로부터 유입되는 자연광에 의한 조명레벨을 고려하여 인공조명을 제어할 경우 창문

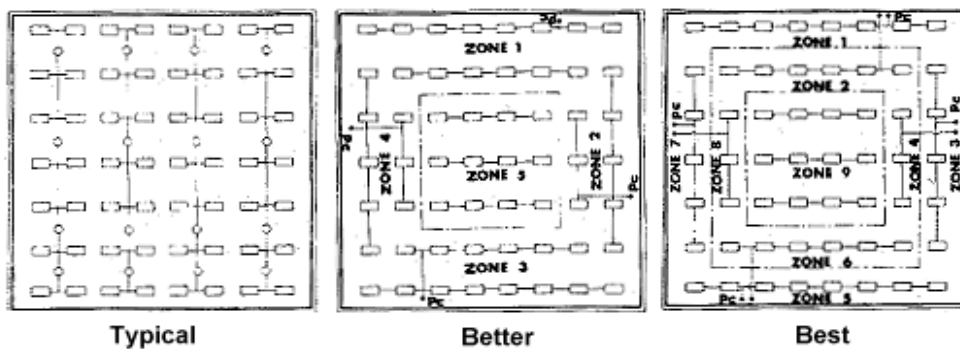
근처에 위치한 조명기구들과 먼 곳에 위치한 조명기구들을 서로 다른 방식으로 제어함으로써 좀 더 쾌적한 시환경을 조성할 수 있고 에너지 절약 효과를 향상시킬 수 있게 된다. 즉, 창문 근처에 위치한 구역에서는 주간에는 대부분의 경우 외부로부터의 주광에 의해서도 작업에 충분한 양의 빛을 확보할 수 있으므로 조광 보다는 점멸 방식을 채택하여 주로 조명기구를 꺼진 상태로 유지하고, 창문에서 먼 구역은 작업에 필요한 조도가 자연광에 의해 충족되지 못할 경우 부족한 부분을 인공조명에 의해 보충하는 의미에서 조광제어를 하는 것이 바람직하다. 이러한 기본 개념은 시스템의 설치 비용과 운용에 드는 비용을 동시에 고려해서 도출된 결과로써 [그림 15]와 같이 표현할 수 있다.



[그림 15] 점멸제어(On/Off)와 조광제어(Dimming)의 경제성비교

3) 조명기구의 쯤-닝

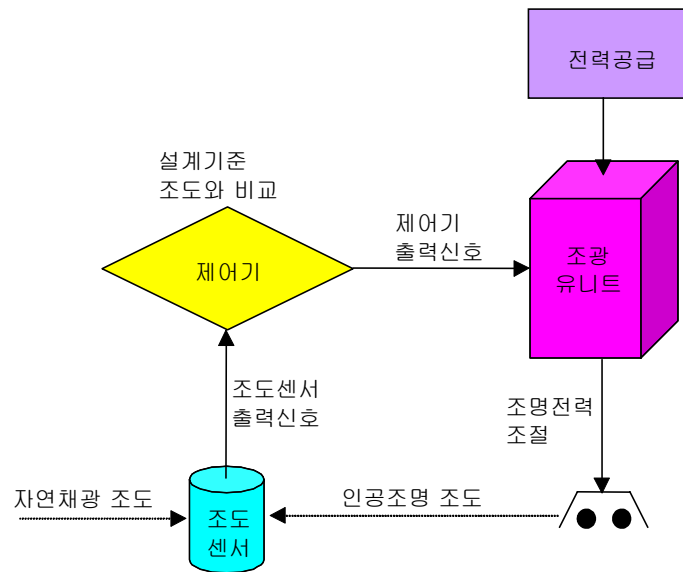
위에서 언급한 것과 같이 주광의 이용이 가능한 공간 또는 공간의 사용목적이나 시간이 유사한 지역을 구역별로 나누어서 조명제어를 하는데 이를 쯤-닝이라 한다. 제어장비 및 배선의 설치비용이 증가하는 것을 막기 위하여 쯤의 크기를 크게 하는 것이 바람직하지만 너무 구역을 크게 설정하면 쯤 내의 조도의 불균일을 초래할 수도 있다. 조명기구의 쯤-닝은 [그림 16]과 같이 창문과 수평한 방향으로 설정하는 것이 원칙이다.



[그림 16] 조명기구의 쯤-닝

4) 자연채광을 고려한 조명제어의 방식

앞에서 기술한 바와 같이 주광을 고려하여 인공조명 기구의 출력을 제어하는 기본적인 개념은 [그림 17]과 같이 나타낼 수 있다. 조광용 센서에서 감지된 조도값이 제어기로 보내지고 제어기에서는 미리 설정된 값과 비교 판단하여 조광제어 신호를 조광제어기로 보내서 공급되는 전력을 조절하는 방법으로 인공 조명기구의 출력광속을 제어한다. 이러한 기본적인 개념은 또다시 개방 루-프(Open Loop)와 폐쇄 루-프(Closed Loop) 방식으로 구분되는데, 이들 두가지 방식에 대한 설명과 최소 출력 광속 및 최대 출력 광속의 결정을 위한 보정(Calibration)방법은 다음과 같다.



[그림 17] 자연채광을 고려한 조명제어의 개념

(1) 개방 루-프(Open Loop) 방식

이 방식은 외부로부터 조광용 센서로 유입되는 자연광의 레벨만을 감지하여 인공 조명기구의 출력을 제어하는 방법이다. 이 방식은 조광용 센서를 외부 자연광의 확보량을 가장 잘 감지할 수 있는 위치에 설치하고 센서의 시야를 좁게 하여 창문으로부터의 자연광만을 감지하도록 하고 인공조명으로부터의 빛은 감지하지 않도록 한다. 이 방식은 제어 알고리즘이 단순하다는 장점을 갖고 있지만 조명기구의 사용시간 경과에 따른 출력광속의 저하를 고려하지 않는 단점을 가지고 있다.

조명기구의 최소 출력 광속과 최대 출력 광속을 결정하기 위한 보정은 주간에 충분한 주광이 확보되는 상태에서 다음과 같은 방법으로 행한다.

- ① 직사일광이 창문을 통해 유입될 경우에는 직사일광이 조광용 센서에 직접 입사하는 것을 방지하기 위해서 재실자로 하여금 창문의 차양시설을 쾌적한 상태가 되도록 조절하도록 한다.
- ② 조명기구의 최대 출력 결정: 천장에 설치된 광센서를 덮어서 빛이 들어가지 않게 한 상태에서 기준 작업면 상에 조도계를 놓은 다음 설계조도가 확보될 때까지 조명기구의 출력을 조절하여 이때의 출력을 최대 출력으로 결정한다.
- ③ 조명기구의 최소 출력 결정: 천장에 설치된 광센서를 열고 손전등을 조광용 센서에 비춘

다음 조명기구의 출력이 줄어드는 것을 관찰한다. 만일 조명기구가 깜박거리면 깜박거림이 없어질 때까지 출력을 높이고 이때의 출력을 최소출력으로 결정한다.

(2) 폐쇄 루프(Closed Loop) 방식

이 방식은 작업면으로 유입된 자연광과 인공조명광이 작업면으로부터 천장을 향해 반사되는 빛의 레벨을 조광용 센서로 감지하여 인공 조명기구의 출력 광속을 제어하는 것이다. 인공 조명기구로부터 나온 빛을 감지하고 그 정도에 따라서 다시 인공 조명기구의 출력 광속을 제어하기 때문에 폐쇄 루프 방식이라 부른다.

이 방식에서 조광용 센서의 위치는 자연광에 의해 조명이 가능한 영역에서 창문으로부터의 깊이의 약 2/3 지점 천장에 조광용 센서를 하향으로 설치한다. 조광용 센서의 시야는 넓은 지역을 바라 볼 수 있게 하지만 창문으로부터의 자연광은 직접 보지 않도록 하고 작업면의 반사광을 측정하도록 해야한다.

조명기구의 최소 출력 광속과 최대 출력 광속을 결정하기 위한 보정은 야간의 인공 조명에 의한 작업면 반사광에 의한 입력 조도를 기준으로 하고 다음과 같은 방법으로 행한다.

① 조명기구의 최대 출력 결정: 조명기구를 점등하고 제어기의 스위치를 이용하여 조명기구를 최대출력으로 조절한다. 이때 기준 작업면 상에 놓인 조도계는 설계기준 조도보다 약 40% 정도 더 높은 조도값을 나타내야 한다. 약 1시간 정도를 기다려서 조명기구의 온도가 충분히 올라간 다음 작업면에서 측정된 조도가 최고 조도 보다 약 70% 정도 낮은 조도가 되도록 조명기구의 출력을 낮춘다. 이때의 출력을 최대 출력으로 결정한다.

② 조명기구의 최소 출력 결정: 천장에 설치된 광센서를 열고 손전등을 조광용 센서에 비춘 다음, 조명기구의 출력이 줄어드는 것을 관찰한다. 만일 조명기구가 깜박거리면 출력을 높이고, 깜박거림이 없어질 때의 출력을 최소출력으로 결정한다.

2.4 조명설계의 평가

(1) 조명시스템의 비교

각 조명시스템을 비교하는데 있어서 첫 번째 단계는 건물의 요구사항을 이해하는 것이다. 이러한 요구는 건물의 형태 및 사용 뿐 아니라 개별 영역의 구성방식에 따라 다양하다. 각 조명제어시스템의 특징을 비교하기 위해서는 표준화된 데이터가 필요하고 이러한 데이터를 작성하기 위한 기준들은 다음과 같다.

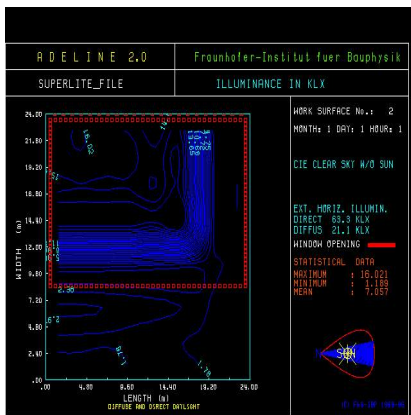
- ① 재실감지도 : 재살자가 있을 때 센서에 의해 감지되는 정도
- ② 조명레벨선택 : 적정조도에 맞추어 조절이 가능한 시스템으로 디밍(Dimming)장치는 효과적으로 사용될 수 있다.
- ③ 에너지 절감 성능
- ④ 관리모니터 : 시스템을 화면에 나타내거나 분석, 분석자료를 전달하는 평가항목
- ⑤ 통합능력 : 건물전체의 자동화시스템에 통합되기 위한 항목
- ⑥ 공간활용의 가변성 : 공간이 재배치될때의 적응성
- ⑦ 비용 : 설치비용, 운영비, 유지비를 포함한 종합적인 면에서 분석이 요구된다.

(2) 조명제어시스템의 예측·평가

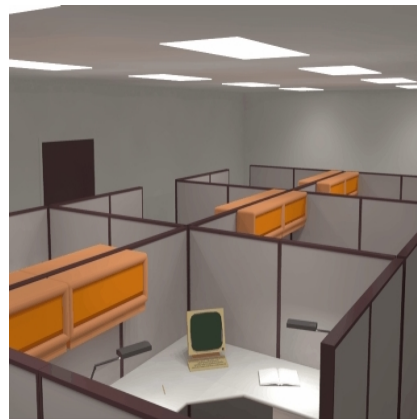
앞에서 살펴봤던 조명방식과 제어방식에 의해 조명설계가 이루어지면 설치하기 전에 미리

조명의 양과 질, 에너지비용과 운영비를 예측하여 최적화된 시스템을 설치해야 한다. 이미 많은 프로그램들이 개발되어 검증되어 있지만 주로 외국에서 개발된 것이기 때문에 국내에서 사용하는 데는 어려움이 따른다. 이러한 예측프로그램의 개발 또한 제어기술의 개발과 더불어 중요한 연구과제이다. [그림 18]과 [그림 19]는 각각 Superlite와 Radiance라는 조명시뮬레이션 프로그램의 실행결과를 보여주고 있다.

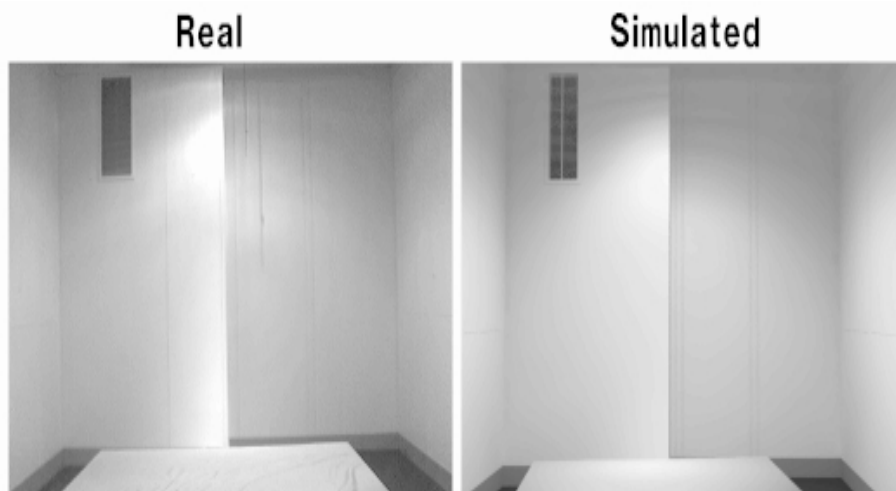
[그림 20]은 실제공간을 대상으로 Radiance 프로그램에 의해 가시화된 조명효과와 사진촬영된 조명효과를 비교하여 있다. Radiance프로그램의 경우 실내의 조도 및 휘도분포를 정확하게 계산할 뿐만 아니라 가시적으로 조명효과를 보여줌으로써 매우 훌륭한 조명설계도구임을 알 수 있다.



[그림 18] Superlite의 컴퓨터 시뮬레이션 결과



[그림 19] Radiance의 컴퓨터 시뮬레이션 결과



[그림 20] Radiance 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 결과의 정확성 검증

3. 결 론

인텔리전트 빌딩이란 단순히 컴퓨터, 자동제어기기, 통신설비 등의 하드웨어와 소프트웨어를 건물에 장착하는 것이 아니라 건물사용자와 건물운영자의 요구에 민감하게 응함으로써 건물의 가치를 상승시키는 것이다.

기존의 건물에서는 필요한 곳과 필요한 때에 항상 일정하게 조명이 되고 있었는데 인텔리전트 빌딩에서는 재실자가 자신이 사용하고 있는 장소가 제어되고 있는 환경에 대해 부정적인 생각을 갖게 된다. 따라서, 인텔리전트 빌딩의 조명설계의 기본방향은 건물사용자가 개개인이 자신의 작업영역에 대한 조명제어를 가능하게 한다는 것을 염두에 두고 자동제어를 계획해야 한다.

따라서, 건물의 설계 초기 단계에서부터 건축가와 조명설계자는 자연채광과 인공조명설계의 최적화를 위해 긴밀한 협조가 필요하다. 그리고 도출된 설계안들에 대해서 축소모형 실험 또는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 자연채광 효과 및 인공조명의 효과를 예측함으로써 최적안을 결정할 수 있게 된다.

4. 참고문헌

1. 임덕구의 5인, "인텔리전트빌딩 설계·계획 가이드 북", 기문당, pp 187-188, 1996.
2. 김정태 외 1명, "VDT 조명계획", 조명·전기공학회지, vol.7, no.1, pp 6-8, 1993.
3. 육정원, "사무소 건물의 에너지 절약적 조명설계 및 제어", 석사학위논문, 한양대학교, pp 9-14, 1998.
4. 여인선, "사무실 조명", 조명·전기공학회지, vol.13, no.1, pp 9-10, 1999.
5. Pritchard, D.C. "Lighting", Longman scientific & technical, pp 173-174, 1995.
6. Coaton, J.R. and A.M. Marsden, "Lamps and Lighting", Arnold, pp 377-378, 1997.
7. O'Connor, J. "Tips for Daylighting with Windows", LBNL, 1997.
8. Bernaden, J.A. and R.E. Neubauer, "Intelligent Building Sourcebook", Fairmount Press, pp 83-102, 1988.
9. Carlson, R.A. "Understanding Building Automation Systems", R.S. Means Company, pp116, 119, 1991.

5. 집필자 약력

성명: 송 규동 (宋圭棟)

연락: kdsong@email.hanyang.ac.kr <http://aesl.hanyang.ac.kr>

학력: 1984. 한양대학교 공과대학 건축학과 졸업, 공학사

1986. 한양대학교 대학원 건축공학과 졸업, 공학석사

1989. 미국 Univ. of Oklahoma, 건축대학 졸업, M.Arch

1993. 미국 Texas A&M Univ., 건축대학 졸업, Ph.D.

경력: 1986.1. - 1987.1. 현대건설주식회사 해외건축부 근무

1991.9. - 1993.8. Texas A&M Univ. 에너지 및 광물자원연구소 연구원

1994.3. - 현재 한양대학교 공학대학 건축공학과 조교수