

運轉改善으로 達成할 수 있는 에너지節約

17

IV. 照明設備의 에너지節約運用

4.1 照度の 재검토와 適正照明

4.1.1 照度란 무엇인가

램프에서 放射된 光束이 어느 面に 도달하였을 때 그 面은 照明된다. 이때 그 面に 대해서 도달하는 光束이 많을수록 그 面은 밝게 照明된다. 이와 같이 任意의 面(또는 點)의 “照明되는 밝기”를 표시하는 것이 照度이다. 물체에 도달한 빛(光)은 그 表面에서 反射되고 反射光 中の 눈에 도달한 빛(α量)이 그 물체의 밝기, 즉 輝度を 만든다.

照度 [lx]는 照明된 面の 面積을 $A[m^2]$, 그 面に 入射하는 일정한 光束을 $F[lm]$ 라고 하면

$$E = \frac{F}{A} [lx]$$

로 표시된다. 어느 點의 照度는 이 面の 面積이 극한으로 작아진 때의 照度이다, 라고 정의된다.

(1) 平均照도와 그 의미

위에 기술한 바와 같은 照度の 개념을 발전시켜 어느 넓은 平面(面積 $A[m^2]$)에 入射하는 (반드시 같지는 않다) 全光束 $F_0[lm]$ 를 이용하여

$$E = \frac{F_0}{A} [lx]$$

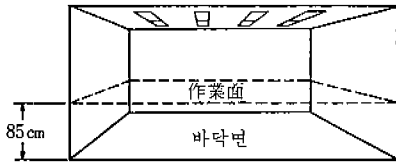
를 그 面 全体の 平均照度 [lx]라고 하기도 한다.

어느 하나의 照明施設에 관해서는 바닥面, 壁面, 天井面 등 다수의 平面이 존재하므로 이들 모두의 “平均照度”를 論할 수가 있지만 실제로 어느 照明施設의 「平均照度」라 할 때는 한정된 뜻을 갖는 가공의 “作業面上的 照度”를 뜻하는 일이 많고 이 面の 「平均照度」를 그대로 그 방의 “밝기의 레벨”로서 취급하는 일도 있다.

통상 作業面으로서의 바닥위 85cm의 수평면을 취하고, 일반적 屋内조명을 설계하는 데 계산되는 「평균조도」도 이 面上的 照度이다 (그림4.1).

(2) 계산된 平均照도와 실제의 平均照度

여기서 잊어서는 안될 것은 위에 기술한 바와 같이 해서 계산되는 平均照度는 이론적인 것으로, 여러가지 이유로 실제의 시설에서의 平均照



(그림 4·1) 作業面

도와는 다르다는 것이다. 이와 같은 차가 생기는 주된 원인은

- (i) 室内的 상황
- (ii) 保守率의 영향
- (iii) 주위온도의 영향
- (iv) 電源電壓의 영향

등이다.

(a) 室内的 상황

이론적으로 계산되는 실내작업면의 平均照度는 실내에 家具, 什器, 기계 등도 없고 그 안에서 일하고 있는 사람도 없는 완전한 空의 상태에서 의 값이다. 이러한 상태에서는 천장의 照明器具가 放射하는 光束이 극히 효율적으로 작업면에 도달하고 바닥面, 벽面에서의 반사에 의한 “相互反射”도 크다.

그러나 실내에 家具, 什器, 機械 등이 있으면 이것들은 일종의 벽과 같은 작용을 하여 照明器具로부터의 빛의 일부를 흡수, 平均照度を 저하시킨다(그림 4·2 참조). 동시에 이들에 의하여 바닥면의 일부가 덮여져 “作業面”에 入射한 光

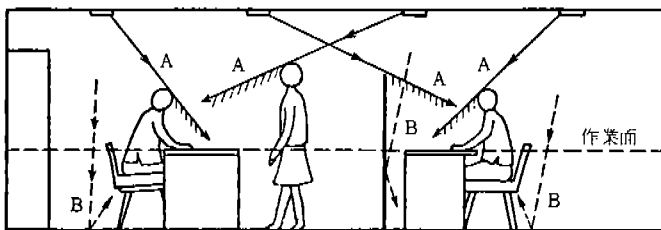
束이 이것들에 의해서도 흡수된다.

따라서 계산시에 기대되고 있던 相互反射가 감소하며, 什器 등의 표면 反射에 의한 증가가 있기는 하지만 대개의 경우 平均照도가 저하한다. 또 계산할 때 採光窓의 “反射率”을 바르게 고려하지 않으면 이에 의한 빛의 손실도 平均照도를 저하시키는 원인이 된다.

다시 또 사람이 자기의 위치에서 활동을 시작하면 그 사람이 자기앞에 있는 대상물에 向하는 빛의 일부를 흡수하여 대상물의 照度を 저하시킨다.

이렇기 때문에 실제로 실내에 사용되고 있는 상태에서는 같은 조건아래에서 “계산된” 평균조도보다 照도가 떨어지는 때가 많다. 따라서 어느 실용상태의 방의 平均照도를 實測하고 이를 기본으로 하여 그 방의 平均照도를 논하는 것은(설사 뒤에 기술하는 여러요인을 고려하였다 하여도) 잘못된 결론을 유도하기가 쉽다.

에너지 節減을 위해서는 既設의 照明施設에 대해서 平均照도를 論하지 말고 오히려 요소요소의 照度 레벨 파악이 중요하다. 책상, 가구, 什器의 배치와 천장의 照明器具의 위치관계에 대해 검토를 하여 그림 4·2에 표시한 바와 같은 빛의 손실이 생기지 않도록 하여야 한다. 한편 新設의 照明施設을 설계할 때는 실용상황에서의 이들의 배치를 충분히 고려하여 照明器具의 配列 등이 효과적인 照明을 실현할 수 있도록 하는 것이 중요하다.



- A: 照明器具에서 오는 光束中 什器, 사람 등으로 가로 막히는 것
- B: 바닥이나 벽에서 反射되거나 家具 등에 흡수되는 빛

(그림 4·2) 실내에 什器, 家具, 사람 등이 있으면 “作業面”에 도달하는 光束이 감소하고 또 바닥에서 반사되어 천장, 벽 등과의 사이에서 서로 反射하는 光束도 감소하여 平均照도가 떨어진다.

(b) 保守率의 영향

照明設計에 있어서는 사용되기 시작한 照明 시스템이 램프나 照明器具의 光學的劣化 및 이들에 대한 먼지의 堆積 등에 의해 光束이 감소하는 것을 고려하여야 한다. 이 때문에 平均照度の 계산에서 保守率(M)이라는 개념을 도입하여 照明 시스템 신설시에 얻어지는 照度(E_i)에 이를 곱한 것을 「設計平均照度」(E_a)로 한다. 즉

$$E_a = E_i \times M$$

단, M 은 반드시 1 이하의 값으로 그 照明施設에 있어서의 램프나 照明器具의 사용에 따른 光學的劣化, 먼지의 堆積狀態 등과 램프의 교체 주기, 청소방법이나 주기에 따라 경험적으로 정하는 것이다. 통상적인 사무실 등에서의 M 의 값은 0.2~0.7이다.

이 때문에 이러한 照明施設에서는 照明 시스템이 상당한 시간 사용되어 약간 劣化, 램프 교환 직전이고 또한 그 시설의 청소직전의 “최악의 시점”에서의 理論上的 平均照도가 목적하는 값이 되도록 설계되어 있게 된다. 이것은 평상시의 照明 시스템에서는 램프가 비교적 새롭다든가 청소한 후의 기간이 짧거나 한 이유로 그 平均照도가 「設計平均照度」보다 높다는 것을 뜻하고 있으며, 일상상태에 있어서의 平均照도를 기초로 하여 設計值로서의 平均照도를 논의하면 오류를 범하기 쉽다.

따라서 照明設備에서의 에너지의 효율적 이용은 照明機器의 청소·보수를 충분히 하는 것이 전제이고 設計時에는 계획적인 청소·보수를 전제로 하여 保守率을 높이는 것이 가장 효과적이다.

(c) 周圍溫도의 영향

형광 램프의 효율 및 光束出力은 램프의 종류 및 주위온도에 따라서) 변동한다. 따라서 실제의 照明施設 照度も 그때의 램프 주위온도에 따라 변동, 일반적으로는 카탈로그 등에 발표되고 있는 “理想狀態” 보다는 저하하고 있다고 생각

하여야 한다.

(d) 電源電壓의 영향

모든 램프의 효율 및 光束出力은 램프의 종류 및 (放電燈의 경우는) 램프와 조합시키는 安定器의 종류에 따라 電源電壓과 함께 변동한다. 램프가 定格光束을 放射하는 것은 安定器의 특성이 표준적인 것이고 또 電源電壓이 그 安定器의 定格電壓인 경우이다.

따라서 실제의 照明施設에서는 電源電壓의 변동에 따라서도 平均照도가 변동하는 점에 유의하여야 한다.

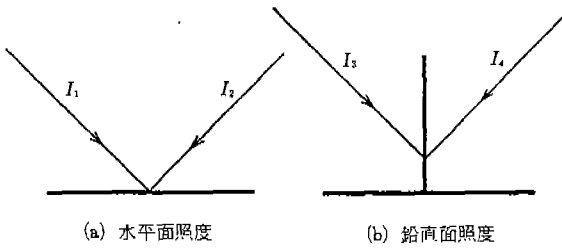
4·1·2 水平面照도와 鉛直面照度

전술한 바와 같이 통상적 平均照도는 水平 작업면(그림 4·1 참조) 상의 평평한 면의 照度였다. 그러나 실내에서 사람이 “보지 않으면 안되는 대상물”이 반드시 작업면 또는 어떤 水平面上에 놓여지는 것은 아니다. 예를 들면 사람의 얼굴은 오히려 “鉛直面”이다.

사람이 하는 활동은 이른바 커뮤니케이션을 기초로 하고 있는데, 이 커뮤니케이션 내에서 사람의 얼굴(表情)이 하는 역할은 가장 미묘하고 중대하다. 통상적인 커뮤니케이션은 文書나 電話 등과 같이 文字 또는 音聲만으로 전달할 수 있는데 대해서 중요한 커뮤니케이션을 필요로 하는 경우 사람은 반드시 직접 상대와 面接하여 하고자 한다.

이는 면접에 의해 音聲상태의 약간의 변화와 그때마다 이에 따라 변하는 상대 표정의 변화를 관찰할 수 있어 “진짜 커뮤니케이션”을 할 수가 있기 때문이다. 따라서 사람의 여러가지 활동이 원활하고 또 능률적으로 이루어질 수 있도록 하려면 서로의 얼굴 표정의 미묘한 변화가 틀림없이 인식되도록 하는 조명환경을 만들어 주는 것이 중요하며, 사람의 얼굴을 조명하는 효과, 즉 鉛直面照度の 역할을 잊은 照明設計를 하여서는 안된다.

그림 4·3에 표시하는 바와 같이 水平面의 照



(그림 4·3) 水平面照도와 鉛直面照도에 대한
各方向에서의 빛의 작용

도는 천장방향에서 入射하는 모든 빛이 積算된 결과에 따라 결정되지만 鉛直面의 照도는 그 면에 정면방향에서 入射하는 빛만으로 결정되고 다른 방향으로부터의 빛은 영향을 주지 않는다. 이 때문에 照明의 조건에 따라서는 水平面도 鉛直面도 모두 높은 照도가 되는 일도 있으나 반대로 그 부분의 水平面照도는 극히 높는데 表面照도는 극히 낮은 경우도 있을 수 있다.

이와 같은 설계로는 文字를 읽고 쓸 수는 있으나 사람끼리의 커뮤니케이션을 적절하게 하기는 어렵다고 본다.

앞에서 기술한 그림 4·2를 가지고 말하면 A라는 기호가 붙여진 빛의 흐름은 해치로 표시한 부분의 鉛直面照도에는 공헌하지 않는다. 예를 들면 採光窓으로부터의 自然光은 入射方向이 크게 경사지기 때문에 실사 水平面照도를 크게 증가시키더라도 창을 등지고 있는 사람 얼굴의 鉛直面照도에는 거의 공헌하지 않고 이 사람을 실루엣으로 보이게 하여 이때문에 방 전체도 이따금 어둡게 보이게 되는 원인이 된다.

그리고 그림 4·2와 같은 단면도를 검토하면 照明器具 또는 작업대나 책상의 위치 등을 천장의 照明器具 위치에 대해 수 10cm 정도만 이동시킴으로써 이와 같은 “빛의 손실”은 쉽게 방지할 수 있을 것이다. 이와 같이 하여 필요한 장소에 도달하는 빛이 증가한다고 하면 실사 平均照도는 上昇하지 않더라도 室内이 몰라볼 정도

로 많이 밝아져 그 에너지 효율이 매우 증대한다.

4·1·3 필요한 照度

照明에 있어서의 에너지 절감의 大前提는 필요 최소한의 照明用電力을 사용하여 필요한 것이 필요한 만큼 보일 수 있도록 하는 것으로서, 단순히 “照도를 줄인다”는 것은 결코 아니다.

室内에는 여러가지 물건이 놓여지고 여러 장소에서 가지가지의 자세로 사람이 활동하고 있다. 따라서 照明은 이들 全部에 대해서 효과적으로 빛을 주는 것이라야 한다. 그러나 室内의 여러가지 什器 등의 배치나 장소, 사람의 자세와 시간과 함께 조금씩 변화하고 어느 때는 대폭적인 변경이 생길 때도 있다. 따라서 이와 같이 세세한 부분에 대하여 개개의 照明을 독립시켜 생각하는 것은 一見 合理的이기는 하지만 실제로는 번잡하고 도리어 큰 에너지 손실을 초래하기 쉽다. 그러므로 그 室内에서 사람이 하는 활동을 기초로 하여 방을

- (i) 특별히 細細한 視作業을 하는 부분
- (ii) 정상적으로 하는 활동중에서 가장 섬세한 視作業을 하는 부분
- (iii) 정상적으로 하는 활동중에서 그다지 섬세한 視作業을 하지 않는 부분

으로 크게 나누어 각기 필요한 照明을 하도록 한다.

예를 들면 上記 (i)에 상당하는 부분이 비교적 넓은 장소를 점유하는 때는 그 부분을 뿔 수 있는 한 小區劃으로 나누어 각각의 小區劃에 高레벨 照明을 한다. 만일 (i)이 극히 일부의 區劃이거나 산재하고 있을 때는 그 局部만의 照도를 보완하는 補助照明에 의하여 高照도를 얻도록 한다. 방 전체의 기본적인 照明 레벨은 (ii)를 대상으로 검토하고 이것이 쉽게 될 수 있는 照明을 「平均照도」로 확보한다. (iii)에는 (ii)에 비해 약간 낮은 照도로 준다.

이미 4·1·1에서 기술한 바와 같이 「設計照度」와 방안 각부의 照明과는 반드시 일치하지는

않는다. 따라서 照明設計의 순서로서는 우선 그 방에서 하는 활동의 주요 視對象物체 각각에 대한 視覺情報(형태의 상세, 물체 표면의 흠, 사람 얼굴의 표정 등)를 필요한 세밀성으로 쉽게 식별할 수 있을 만큼의 照度 레벨을 자기 결정하고 그것을 전체적인 照明으로 얻는가, 국부적인 補助照明으로 얻는가에 따라 「設計照度」를 정하는 방법을 취한다. 통상적인 방에서 대표적인 視對象物로서는

- (i) 文字
- (ii) 물체의 세세한 形狀, 凹凸, 흠 등
- (iii) 사람의 표정

등이 있다.

(1) 文字를 읽기 위한 照度

文字는 클수록 읽기 쉽고 밝을수록 읽기 쉽다. 일반적인 照明에서 “겨우 읽을 수 있는 文字”는 극히 적인데, 일반적인 文書가 겨우 읽을 수 있는 작은 文字로 印刷되거나 기록되어 있을 때는 읽기 어렵기 때문에 대단히 눈이 피로해진다.

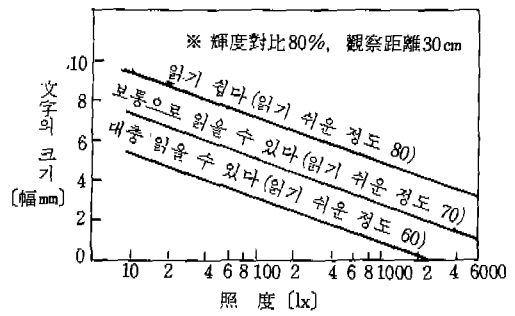
이 때문에 신문을 비롯하여 대부분의 인쇄물은 이 “한계의 크기”보다 큰 文字로 인쇄되어 있다. 照明의 경우도 통상적인 크기의 文字를 “겨우 읽을 수 있는 照度”는 극히 낮으나 그와 같은 照明 조건하에서는 이를 계속해서 읽기가 어렵다. 이 때문에 照明에 있어서도 印刷에서의 文字의 크기와 같이 그 文字를 “쉽게 계속하여 읽을 수 있는 최저의 照度”를 고려한 設計를 하여야 한다.

그림 4·4는 이러한 뜻에서 文字의 크기와 照度와 읽기 쉬운 정도의 관계를 표시한 실험적 결과이다.

또 표 4·1은 이를 바탕으로 하여 작업의 정밀성에 따라 필요한 照度를 求한 것이다.

(2) 物체의 세세한 形狀, 凹凸, 흠 등의 존재를 구분하기 위한 照度

物체의 세세한 形狀, 凹凸, 흠 등을 보기 쉽게 하는 것은 자기 그들이 갖는 고유의 상태에 따라 다르기 때문에 단순하게 기술할 수는 없으



(그림 4·4) 文字의 크기와 照度와 읽기 쉬운 정도의 관계

나 일반적으로 필요한 照度는 표 4·1의 값을 준용하면 된다.

(3) 사람의 表情을 구분하기 위한 照度

사람의 표정은 여러가지가 있으며, 단순히 웃고 있을 때라든가 울고 있을 때 정도이면(만일 그 당사자가 감추려고 하지 않는다면) 이를 구분하는 것을 간단하다. 그러나 고도의 상거래 질충이나 미묘한 人間關係下에서 이루어지는 對話의 場 등에서는 상대가 보이는 미세한 표정의 변화를 잘 구분할 수 있어야 하는데, 이를 위해서는 상당한 레벨의 높은 照明이 필요하다.

표 4·2에 구분하여야 할 얼굴 표정의 세세한 정도에 對應시켜 통상적인 照明設計에서 필요로 하는 平均照度의 값을 표시하였다. 이에 의해 對話(會議) 규모에 따라 相異한 대화상대와의 거리, 회의의 성격 등에 따라 구별하여야 할 상대의 얼굴 표정에 대응해서 設計照度를 정할 수가 있을 것이다. 예를 들면 主要會議室에 대하여

- (i) 日常事務活動 (랭크: 4 거리 1~5m) 700lx
 - (ii) 중요도가 中程度인 一般會議 (랭크 3, 거리 5~15m) 1,500lx
 - (iii) 大規模의 극히 중요한 會議 (랭크 2, 거리 15~30m) 3,000lx
- 의 정도가 필요하다.

4·1·4 照度에 미치는 다른 要因

(1) 對象物 表面에 있어서의 鏡面反射

윤이 나는 대상물 표면에 천장 照明器具의 發光部分이나 밝은 窓이 영사되면 이것들의 빛남

이 대상물 표면의 빛남에 중첩되어 대상물(예를 들면 文字)을 보기 힘들게 한다. 이와 같은 현상이 일어나는 것은 대상물의 位置, 傾斜, 觀者의 위치나 보는 방향에 따라 同一한 空間에서도 상당히 다르다.

〈표 4·1〉 視作業의 精密性和 設計照度の 關係

보통으로 읽을 수 있는 文字의 크기 [mm] ^{1) 2)}	設計照度 [lx] ³⁾	作 業 的 精 密	
		랭 크	場 所 · 作 業 的 例
6 以上 16 포인트相當	60	粗作業	(工場) 動力設備의 全般照明 (病院) 운반차 (一般) 物品收納室, 浴室, 테라스
5 以上 14 포인트相當	200	약간粗作業	(工場) 포장, 크레인 조작 (病院) 病室 (一般) 廚房의 全般照明, 日用品店의 店內
4 以上 11 포인트相當	500	一般作業	(工場) 一般加工, 組立, 機械操作, 塗裝(손작업), 計量 (病院) 檢診, 注射 (一般) 調理台, 레지스터, 一般事務, 店內의 全般照明
3 以上 8 포인트相當	1,500	精密作業	(工場) 設計·製圖, 外觀檢査, 部品選別, 計算機室 (病院) 精密檢診, 手術室의 全般照明 (一般) 쇼윈도 상점 앞의 디스플레이
2 以上 6 포인트相當	4,000	매우 精密한 作業	(工場) 精密加工品の 치수·配線·組立·마무리檢査 (病院) 手術室, 視機能檢査室 ⁴⁾ (一般) 寶石 등의 쇼윈도

- 1) 읽기 쉬운 정도를 70(보통 읽을 수 있다)으로 하였을 때
- 2) 視認거리 30cm에서 輝度對比 80%의 대상물을 구분할 때에 상당
- 3) 設計照度の 값은 실제의 視作業面에 요구되는 所要照度 × 1.5로 함
- 4) 無影燈에 의한 특정수술이나 목적에 따라 視機能檢査 등에 대하여는 이보다 훨씬 높은 照度を 필요로 할 때가 있다.

〈표 4·2〉 사람얼굴을 識別하는 程度와 設計照度の 關係

식 별 랭 크	識 別 程 度	상 대 와 의 距 離 [m]			
		1~5	5~15	15~30	30~50
1	누구인지 구별된다	20 [lx]	50 [lx]	100 [lx]	300 [lx]
2	개략적인 표정을 안다	70	150	300	1,000
3	보통으로 표정을 알 수 있다	200	500	1,000	3,000
4	노력하면 세세한 표정까지 알 수 있다	700	1,500	3,000	—
5	세세한 표정을 알 수 있다	2,000	4,000	—	—

통상 이와 같은 문제가 생겼다 하더라도 이들 조건을 약간 바꾸어 봄으로써 대개의 경우 비교적 간단히 해결된다.

이것들을 전부 고정시킨채로 照明器具의 配光을 바꾸어 해결하는 방법으로서 ESI (等價球面照度)를 이용하는 방법도 생각할 수 있으나 이것이 실용적인 가치를 발휘하는 일은 극히 드물다.

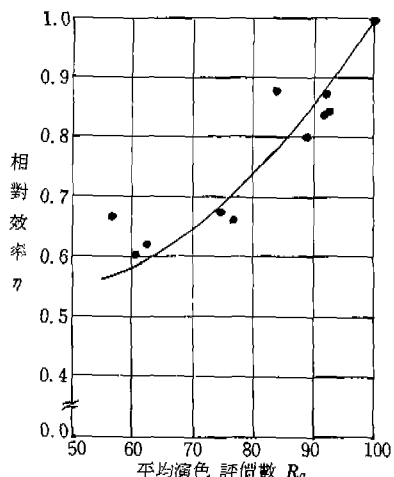
(2) 글레어(눈부심)

光源이나 窓 등 빛이 강한 것이 視野 안에 있으면 이것들로부터의 빛이 眼球 안에서 散亂하여 눈속에 一種의 光幕을 만들어 대상을 보기 어렵게 하거나 不快感이 생기거나 한다. 이것들은 配光의 부적절한 照明器具 사용, 부적절한 照明器具 배치, 또는 부적절한 採光窓의 이용 등이 주된 원인이다. 이러한 현상은 전부 “물건을 보기 어렵게 한다.” 즉 實事 物理적으로 照도가 높아져도 生理적으로는 대상물이 어둡게 보여 視覺의 효율을 저하시키며, 결과적으로 에너지 손실을 초래한다. 따라서 “눈부심은 에너지 손실”이라는 것을 인식하여야 할 것이다.

(3) 램프의 演色성과 밝기

일반적으로 “밝기”는 照度 또는 輝도로 표시되는데, 이것들은 결코 “사람 눈에 느껴지는 밝기”를 표시하는 것은 아니다. 同一한 照度나 輝度の 장소라도 조건에 따라 밝게 보이거나 어둡게 보이거나 한다. 前述한 글레어는 주로 生理的인 이유에 의하여 視野가 어두어지는 원인이 되는데, 램프에 의해 얻어지는 물체의 良否도 “主觀的인 밝기”에 영향을 미친다.

실험에 따르면 사람 얼굴의 밝기는 이를 照明하는 램프의 演色성에 따라서 實事 照도가 같더라도 상당히 相異하게 보이는 것이 명백해지고 있다. 그림 4·5는 이를 형광 램프, 白熱電球에 대하여 표시하는 것으로, 이 그림에서 演色성이 우수한 (R_a 가 100에 가깝다) 램프는 演色성이 떨어지는 램프에 비해 상당히 밝게 보이는 것을



〈그림 4·5〉 각종 螢光 램프의 平均演色 評價數와 相對效率

알 수 있다.

일반적인 白色 또는 晝光色 螢光 램프의 R_a 는 60~65이므로 演色성이 좋은 종류의 螢光 램프 (R_a : 80~90) 또는 白熱電球 (R_a : 100)에 의한 照明은 白色이나 晝光色 螢光 램프에 의한 照明보다 數 10% 밝게 보인다.

照明에 있어서의 에너지 절감에서는 이 점을 충분히 검토하여야 할 것이다.

4·1·5 結 語

照度라는 개념에는 여러가지가 있다. 이들 각기의 내용을 적절히 이용, 照明設計와의 사이에 올바른 관련을 갖도록 하는 것이 에너지 절감의 前提이다.

照度を 결정하는데 있어서는 대상물의 성질에 따라 실내의 水平·鉛直 兩面에 충분한 레벨을 주어야 하고 일반적인 대상물의 詳細, 대화상대의 얼굴 표정 등이 필요한 정도를 확실하게 구분되도록 하여야 한다. 그리고 또 보기쉬움을 그르치는 여러가지 요인에 유의하고 글레어 등에 의한 “에너지의 損失”이 생기지 않도록 하여야 한다.

(다음 호에 계속)