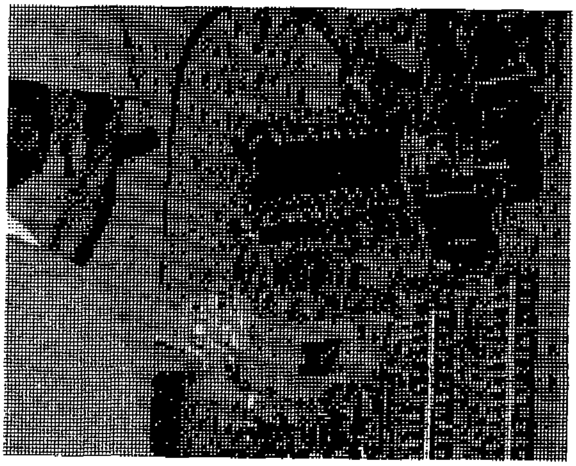
에너지 節約을 위한 連載



運轉改善으로 達成할 수 있는 에너지 節減

⑳

4·4 保守計劃 樹立方法·保守面에서 본 照明設備의 改善

4·4·1 保守計劃이 照明計劃의 값을 결정한다

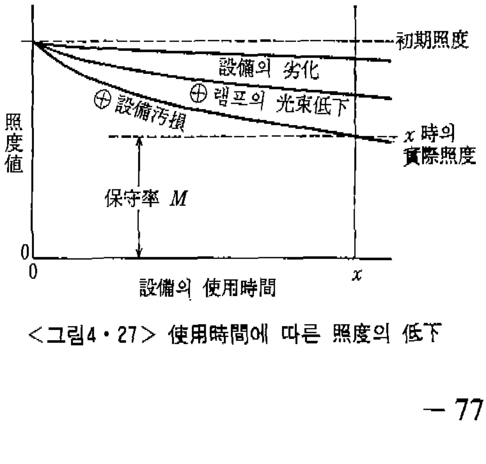
일반적인 電氣設備設計, 예를 들면 受變電設備나 電路設計에서는 保全을 고려하여 設備의 구조나 배치가 검토되는 것이 당연한 일이라 하겠으나 保守計劃에 의하여 設計上의 所要設備容量이 변경되는 일은 보편적으로는 있을 수 없다. 그렇기 때문에 照明設備에 대하여도 마찬가지로 保守라는 것은 設計値와는 다른 문제로 단지 당초의 양호한 상태가 되도록 유지 관리하는 행위라고만 생각할 수 있을 뿐 실은 照明設備에서의 保守計劃(운용상은 보수의 실행상태)이란 최초의 設備設計의 값에 피드백되어 실제의 設計値를 결정하는 요인이라는 인식이 부족한 것으로 생각된다.

이런 점을 이해하기 위하여는 우선 照明設計에서의 設計照度란 무엇인가에 대하여 올바른 인식이 필요하다.

設計照度는 그 장소에서의 視覺上의 필요함을 충족시키기 위하여 충분하고 또 최소의 값이 구해진다.

이러한 것은 그 設備가 정상적으로 동작하고 있는 동안은 결코 下廻해서는 안되는 維持最小値라는 것이다.

그러나 실제의 照明設備는 사용개시한 날부터 그림4·27과 같이 조금씩 照度가 떨어져 가는데 이것을 그대로 방치한다면 시간의 경과와 더불어 照度는 계속 떨어지게 된다. 예를



<그림4·27> 使用時間에 따른 照度의 低下

들어 그림4·27에서의 x時에 照明設備의 청소, 램프의 교환 등 照度回復 조치를 강구하였다고 하면 실제의 照度는 초기 照度에서 照明裝置의 劣化分(反射鏡의 光學特性 열화 등에 의한)만큼 떨어진 값까지 회복하게 된다.

이와 같이 x時에 照明設備의 청소와 램프를 교환하는 保守計劃을 세운다는 것은 최초의 照明設計에서 設計照度값을 x時에서의 실제 照度 예측치에 둔다는 것이다. 이 예측치의 초기 照度에 대한 比를 照明計算上 保守率 M이라 한다. 즉 이런 관계로 초기의 照度値, 즉 設備容量은 設計照度를 保守率로 나누어 구할 수 있다는 것을 알 수 있다. 保守率이 적어질수록 일정한 設計照度를 얻기 위하여 큰 設備容量이 필요하게 된다.

예를 들면 螢光灯에 의한 照明設備에서 램프가 수명시간에 이르기까지 램프 교환이나 청소 등의 照度回復의 조치를 취하지 않으면 設備의 오손정도에 따라 일정하지는 않으나 평균적으로 보아 保守率은 0.4~0.5 정도가 되리라 생각된다. 따라서 가령 設計照度를 500Lux라 하면

$$\frac{\text{設計照度 } E' \ 500[\text{Lux}]}{\text{保守率 } M \ 0.5\sim0.4}$$

$$= \text{初期設備照度 } E \ 1000\sim1250[\text{Lux}]$$

가 되어 초기에는 1000~1250Lux의 것, 실제로 필요한 照度의 2배 이상의 初期照度가 되는 照明設備를 시설하지 않으면 안되게 된다.

이에 대하여 계획적으로 가장 철저하게 保守하였을 때는 保守率을 0.8 정도로 할 수 있으므로(통상적인 設計에서는 保守率을 0.6~0.7 정도로 본다) 동일한 設計照度를 얻기 위해서는

$$\frac{E' \ 500[\text{Lux}]}{M \ 0.8} = E \ 625[\text{Lux}]$$

가 되어, 保守方法의 개선으로 照明의 設備容量을 保守가 나쁜 앞의 例보다 50~60% 감소시킬 수 있는 것을 알 수 있다. 設備容量의 감소는 초기설비비용도 문제이려니와 이보다 매우 큰 러닝코스트의 대부분을 점유하는 電力 에너지 비용의 저감이 그에 연계되므로 이와 같은 큰 폭의 차는 적당한 시기에 램프를 일제히 교환하든가 설비를 청소하는 비용을 보상하고도 오히려 여유가 있는 것으로, 合理的인 保守計劃의 추구는 에너지 節減對策의 관점에서 뿐 아니고 設備利用者의 경제적인 메리트로서도 중요한 부분으로 고려하여야 한다.

4·4·2 保守率 M과 補償率 K

照明設備를 사용하는데 따른 効率低下는 다음과 같은 요인이 복합되어 일어난다.

(1) 램프의 光束減退

(2) 램프의 汚損

(3) 照明器具의 光學的 特性 劣化

(4) 照明器具의 汚損

(5) 室內 主要反射面의 汚損

즉 保守率 M은 이들 (1)~(5)까지의 종합적인 현상으로 결정된다. 따라서 이들 각각을 개선함으로써 保守率을 높게 설정할 수 있다.

위의 보수율에 의하여 설명되는 요인 외에 照明設備의 初期 設備照度와 실제의 照度와의 차이는 照明設備에 加해지는 여러 가지 物理的인 영향에 의하여 생기는 것이다. 그것들은 다음과 같은 것이 있다.

(1) 램프의 周圍溫度 降下(또는 上昇)

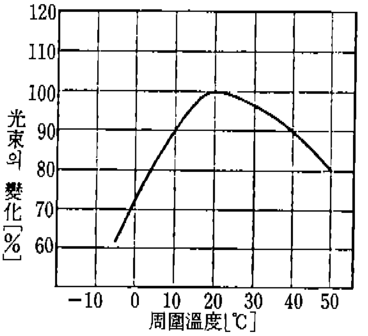
(2) 램프 주위의 강한 空氣 흐름

(3) 點灯電壓의 降下

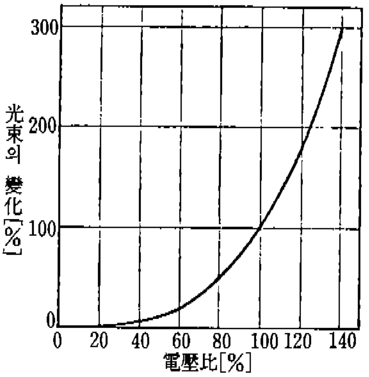
(4) 不適正 또는 品質이 不良한 安定器와의 組合

예를 들면 일반적으로 螢光램프는 주위의 온도변화에 따라 光束의 변동이 크고 그림4·28의 예와 같이 주위온도 20℃에서의 光束을 1.0이라 하면 0℃에서의 光束은 0.7 정도로 줄어든다. 램프 주변의 강한 바람의 흐름은 램프管壁의 溫度를 冷却하고 低溫環境에서는 다시 光束을 내리도록, 과도한 高溫環境에서는 光束低下를 改善하도록 동작한다.

또 點灯電壓의 변동에 따른 光束의 변동이 가장 심한 것은 白熱電球으로, 그림4·29와 같이



<그림4・28> 一般 螢光램프의 周圍溫度 變動特性(光束)



<그림4・29> 一般 電球의 電壓變動特性 (光束變動)

定格電壓으로 點灯하였을 때 光束을 1.0으로 하면 電壓이 90%로 降下하였을 때의 光束은 약 0.7까지 떨어진다.

放電램프에서 램프의 성능은 組合시키는 安定器의 특성에 따라서도 左右된다. 부적합한 安定器와의 組合으로는 충분한 성능을 얻을 수 없는 것이 당연하며 꼭 不適合하다고는 할 수 없을 때라도 安定器의 특성에 따라 램프에 定格以下의 入力밖에 공급할 수 없을 때나 電源電壓의 변동에 대한 二次側의 特性變動이 큰 安定器의 경우에는 光束이 低下하든가 변동하든가 한다.

이와 같은 物理的인 요인을 피할 수 없을 경우 照明設計時 設備容量을 구할 때 保守率과 함께 예측되는 減失分을 보상하는 率도 보아 두어야 한다. 이를 照明計算에서의 補償率 K라 부른다.

따라서 최종적으로 그 시설에 요구되는 必要照度(設計照度 E)를 유지하기 위하여 필요로 하는 初期設備照度 E는 다음과 같은 관계에 의하여 구하게 된다.

$$E = \frac{E'}{M \times K}$$

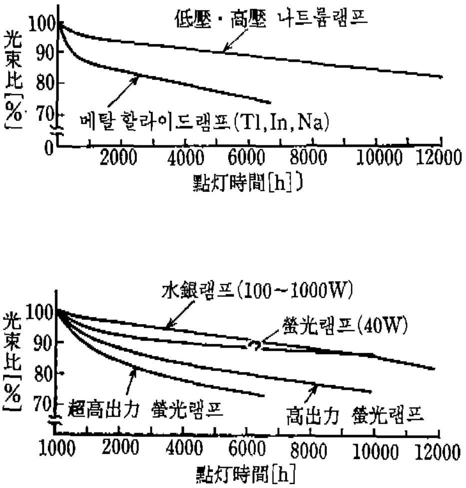
즉, 照明設備의 구성방법과 保守方法에 의하여 이 M과 K의 값을 어떻게 큰 값으로 유지하느냐 하는 것은 필요한 設計照度를 어떻게 적은 設備容量, 즉 최소의 에너지 소비로 얻을 수 있는가의 열쇠이다.

保守率 M, 補償率 K를 구하는 방법이나 관계되는 데이터는 照明關係書籍에 자세하게 기술된 바가 있으므로 여기서는 중요한 項目에 대하여 設計對策上 고려되어야 할 점을 기술한다.

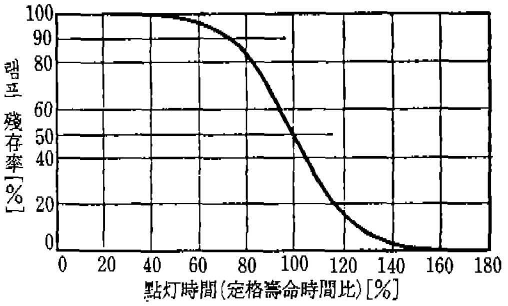
4・4・3 램프의 動程特性・壽命特性과 램프 交換方法

램프는 使用時間의 경과와 함께 光束이 減退한다. 螢光램프의 수명에 대해 日本이나 歐洲에서는 램프의 平均壽命時間을 不點灯 혹은 光束이 70%까지 低下하였다고 표시하고 있으나 美國에서는 통상적으로 光束低下에 관계치 않고 點灯이 안될 때까지의 平均時間을 壽命이라 표시하고 있다.

실용상 중요한 것은 光束이 一定率 이상으로 유지되고 있는 壽命時間이고, 단순한 放電壽命은 거의 뜻이 없다. 램프의 光束은 그림4・30과 같이 램프의 設計에 따라 각기 차이가 있으나 사용시간의 경과에 따라서 發光體의 劣化나 管端部의 黑化 등에 의한 光束低下가 생긴다. 램프의 光束低下는 設備의 汚損과 함께 保守率 M을 引下시키는 큰 要素이고 光束이 低下하여도 消費電力은 감소하지 않으므로(오히려 약간 늘어난다) 光束이 一定한 비율까지 내려간 時點에서 새로운 램프와 교환하는 것이 유리하다.



<그림4·30> 램프의 動程特性



<그림4·31> 램프의 壽命分布曲線의 例

램프의 效率面에서 보아도 램프의 計劃交換時點에서 유지되고 있는 光束이 가장 중요하고 처음의 光束 그 자체는 그다지 큰 뜻이 없다.

예를 들면 메탈할라이드 램프에 있어 스칸듐 添加形의 高効率 램프는 나트륨-탈륨-인듐 添加形의 램프보다 初光率을 비교하였을 때 극히 効率이 좋은 것처럼 보이나 스칸듐을 添加한 高効率型의 램프는 使用時間에 따른 光束低下가 크므로 野球場의 나이터 設備와 같이 年間點灯時間이 200~300時間 程度밖에 안되는 특수한 設備에서는 高効率設計가 가능하게 되나 點灯時間이 긴 일반용 照明設備에 이용하면 극히 短時間마다 램프를 교환하든가 혹은 保守率 M의 값을 극히 작게 한 効率이 낮은 設備로 할 수밖에 없어 光束維持率이 비교적 양호한 나트륨-탈륨-인듐形 램프에 비하여 不經濟的인 設計가 된다.

또한 램프의 壽命時間은 어디까지나 통계상의 平均壽命時間으로서 모든 램프가 어느날 똑같이 壽命이 다되는 것은 아니다. 그림4·31은 다수의 램프의 壽命時間의 차이를 표시한 램프 壽命分布曲線의 예로서 定格壽命時間의 40~50%일 때부터 조금씩 壽命을 다하기 시작하여 머지않아 半數의 램프가 壽命이 다 되어가고 나머지 半數는 그대로 點灯되어 있는 상태가 된다. 이때를 平均壽命時間이라 부른다.

램프의 交換方法으로서 가장 不合理한 方法은 램프 각각의 壽命이 다할 때마다 새로운 램프와 개별로 교환하는 것이다. 이와 같은 방법을 취하면 그림4·31의 예와 같이 平均壽命時間의 80~120% 사이에 전체의 60%의 램프가 차례차례로 壽命을 마치게 되기 때문에 그 사이 連日 全施設에 分散해 있는 램프의 交換作業을 계속하게 된다. 그리하여 머지않아 交換周期가 一巡 二巡하게 되면 全施設中에 壽命이 다하기 직전의 光束低下가 심한 램프가 항상 相當數를 占有하게 되어 照明設備 全體의 光束維持率, 즉 保守率 M은 最低의 조건으로 유지되게 된다.

이에 대하여 가장 合理的인 램프交換方法은 "個別·一齊交換方式"이다. 이 方法은 早期에 壽命이 다한 少數의 램프에 대하여는 개별적으로 새로운 램프와 교환하고 一定時間 경과후의 時點에서 우선 개별적으로 交換했던 램프도 포함하여 램프 全數를 일제히 새로운 램프와 교환하는 方法이다. 交換時點은 사용하는 램프의 光束維持率, 壽命時間의 차이에 의하여 가장 經濟的인 시점을 구할 수도 있으나 통상적인 螢光램프에 대하여는 平均壽命時間의 80%時보다 이전의 時點을 선택하는 것이 유리하다.

그림4·31의 램프 壽命分布曲線의 예에서 보

면 가령 平均壽命時間의 70%時에 壽命이 다한 램프는 전체 숫자의 10% 미만이어서 개별 교환에 그다지 빈번한 손질을 필요로 하지 않는다. 그리고 70%時에 램프의 全數를 일제히 교환한다고 하면 40W 螢光램프의 예로 볼 때 그 時點까지의 램프 光束低下는 初光束의 15% 미만인 것을 動程特性 데이터에서 확실하게 예측할 수 있기 때문에 照明設備 保守率 M 중 램프의 光束低下에 의한 成分, 保守率 M_l은 0.85 이상으로 극히 높게 設定할 수 있다. 동시에 이 方法에 따르면 照明裝置의 청소도 함께 할 수 있어 一定한 인터벌로 計劃的인 保守作業을 할 수 있다.

以上의 결과 이와 같이 合理的인 保守方式을 計劃的으로 설정함으로써 照明設計에서의 保守率을 높일 수 있으므로 最高의 設備로 必要한 照度로 유지할 수 있어 設備償却費, 러닝·코스트, 保守作業費, 使用 에너지 모두를 대폭적으로 저감할 수 있다.

4·4·4 照明設備의 汚損特性과 淸掃

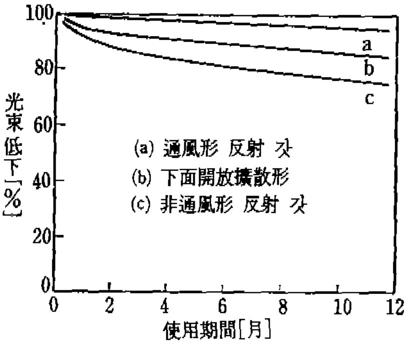
照明設備는 設備를 完了한 그날부터 조금씩 더럽혀져 設備 全體의 照明率이 조금씩 低下된다.

汚損의 정도는 다음과 같은 要因의 정도가 클수록 커진다.

(1) 먼지 등이 주로 램프에 부착되어 생기는 汚損으로, 纖維나 粉體를 취급하는 工場이나 여럿이 모이는 혼잡한 장소, 屋外의 흙 등이 날리는 장소 등은 汚損이 심한 장소로서 保守率을 작게 잡아야 한다.

(2) 油煙, 담배연기 등이 주로 反射板, 루버, 擴散 패널 등에 부착되어 생기는 汚損으로, 주방, 식당, 다방, 대합실, 특히 換氣가 잘 안되는 會議室 등에는 汚損의 정도를 크게 잡아야 한다.

(3) 그을음, 煤煙 등이 부착하여 생기는 汚損으로, 燃燒裝置가 있는 建物內, 自動車 특히 디젤車나 混合燃料車가 항상 出入하는 장소 등에서는 대개의 경우 다른 汚損要因도 첨가되어 汚損의 정도가 심할 때가 있다.



<그림4·32> 램프·照明器具의 汚損에 의한 效率低下

環境要因이 일정해도 照明裝置의 종류나 구성에 따라 汚損의 정도차가 생긴다.

일반적으로 램프나 照明裝置의 溫度가 높을수록 먼지나 油煙이 부착하기 어렵고 또 구조에 따라서 먼지가 앉기 쉬운 것과 그렇지 않은 것이 있어 保守率 중 램프·照明器具의 汚損에 의한 成分은 螢光灯照明裝置에 비하여 HID灯이나 白熱灯의 裝置가 良好하게 유지될 때가 많다.

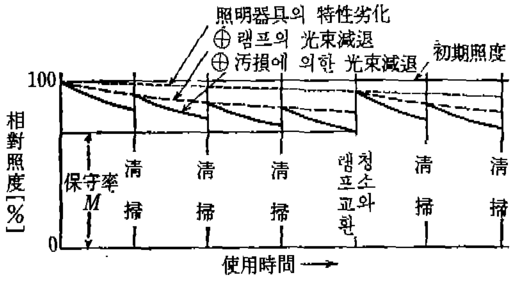
또 같은 램프를 이용한 照明裝置라도 그 구조에 따라 汚損의 정도에는 상당한 차가 생긴다. 그림4·32는 螢光灯器具를 通常的인 오피스와 같은 일반적인 屋內環境에서 사용하였을 때의 汚損에 대한 데이터이다. 汚損에 의한 램프와 照明器具의 效率低下(保守率의 低下)가 가장 큰 것은 램프가 露出된 반사갓 달린 照明器具이고 가장 汚損이 덜한 것은 照明·空調合成 시스템에 있어서 실내 照明器具 反射板의 램프 바로 위에 되돌아오는 空氣의 吸入口를 시설한 싱글셸트로퍼라 하는 通風形式의 照明器具이다. 이와 같이 照明裝置의 종류나 구성에 따라 保守率에 매우 큰 차이가 생긴다는 것은 照明器具 1個當 가격의 高低로 照明設備費用의 高低를 단정함은 옳지 않음을 뜻한다. 裝置의 單價가 다른 方

式의 경우를 上廻한다 하여도 保守率이 높게 설정되어 設備容量이 감소하고 그후 오랜시간에 걸쳐 러닝코스트가 대폭적으로 감소되는 것을 고려하면 그 편이 훨씬 이득이 된다. 또 특히 먼지 등이 많은 곳에서는 리플렉트形의 螢光램프를 이용함으로써 照明率을 높게 설정할 수 있고 동시에 保守率의 값을 20% 정도 改善할 수 있다.

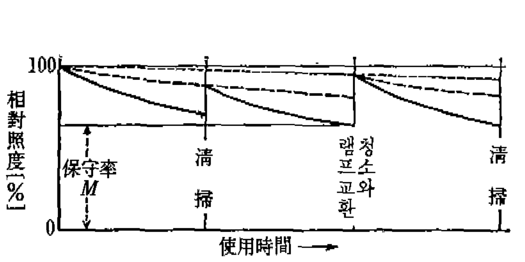
照明設備의 청소간격 설정방법을 그림4・33 (a), (b)에 의하여 검토해 보기로 한다.

照明設備의 사용시간 경과에 따른 效率低下는 앞서도 기술한 바와 같이 照明器具의 光學特性劣化, 램프의 光束低下, 램프・照明器具의 汚損 등의 組合에 의하여 생긴다. 이중 照明器具의 光學特性의 劣化에 의한 것은 反射板이나 擴散패널 등의 교체나 照明器具 그 자체를 更新하지 않는 한 회복할 수 없으므로 日常保守作業의 대상은 램프 交換과 淸掃로 축소된다.

지금 그림4・33 (a), (b) 모두 램프를 交換하는 시점을 同一時間으로 設定하고 淸掃간격만



(a)



(b)

<그림4・33> 淸掃間隔과 램프 交換間隔의 모델

을 변화시켰을 때의 照度 維持率을 검토해 보면 당연히 청소간격이 짧은 (a)의 경우가 相對照度가 높이 유지되고 따라서 照明計算上의 保守率을 높게 설정할 수 있다.

만일 청소가 사람 손이나 비용이 필요 없고 그것이 현실적으로 머지않아 실행 가능하다면 청소간격을 짧게 설정할수록 經濟性은 높아진다. 그러나 현실적으로는 청소를 하기 위해서 作業의 中斷이나 淸掃費用의 支出 등이 수반된다.

이 淸掃에 필요한 費用은 施設의 종류나 淸掃의 조건, 照明設備의 구성 등에 의하여 일정하지 않다.

따라서 청소간격의 설정은 淸掃回復으로 保守率이 높아져서 돌아오는 利益과 청소에 따른 지출과의 밸런스를 구하여 유리한 時點을 구하면 된다.

일반적으로는 年間點灯時間 3000時間 정도인 보편적인 사무실을 螢光灯으로 照明하였을 때를 상정하여 보면 6개월마다 청소를 하고 2년(4회째의 청소)마다 램프交換을 하는 與件에서 거의 良好한 保守率을 구할 수 있다. 設備의 汚損이 이보다 큰 장소에서는 청소간격을 3개월로 설정하고 또 連續點灯과 같이 點灯時間이 긴 장소에서는 램프交換時點을 1년으로 설정하면 좋다.

한편 照明設備의 청소비용과 작업시간을 경감하는 設備方式을 고려하여 둠으로써 청소를 쉽게 하고 결과적으로 保守率이 높아지도록 淸掃問題를 설정할 수 있다.

예를 들면 高所照明設備에 대하여는 手動 또는 電動 리프터를 거쳐 照明器具를 설치함으로써 保守・淸掃作業에서 高所作業을 빼고 作業性이나 作業費用을 대폭으로 改善할 수 있다.

또 排氣煤煙 등에 의한 오손이 심한 장소에서는 密閉形의 防噴流構造의 照明器具를 이용함으로써 램프나 照明器具 內部 反射板의 汚損을 방지하고 외부 글로브는 壓力水의 噴流에 의하

여 쉽게 청소되도록 할 수 있다.

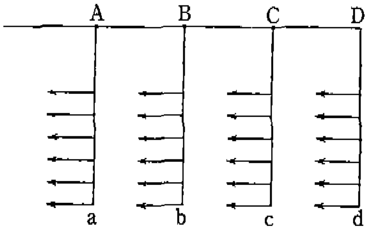
4·4·5 變動補償率의 改善

螢光램프와 같이 주위온도의 변화에 따라 光束變動이 큰 것, 白熱電球와 같이 電源電壓變動에 의해 光束變動이 심한 것 등 램프의 성질에 따라 變動特性이 다르다. 照明設備가 받는 物理的인 환경을 피할 수 없는 것이라면 그 환경변화에 따른 영향을 가장 덜 받는 종류의 램프를 이용하는 것을 고려하여야 한다.

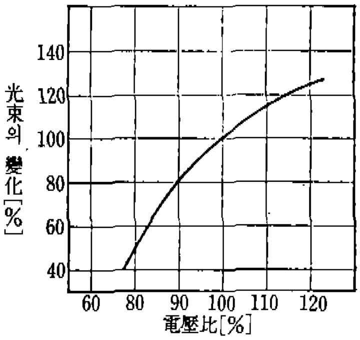
예를 들어 冷凍倉庫 안의 照明에 螢光灯을 사용한다고 하면 통상적인 램프나 點灯裝置에서는 기동하지 않으므로 溫度補償機能을 갖는 특수한 低效率 램프와, 램프를 適正溫度로 보호하기 위한 照明器具를 필요로 하기 때문에 螢光灯이 高效率이라서 경제적이라는 利點은 없어지고 단지 裝置만 복잡해진다. 따라서 演色性이 무시되는 冷凍倉庫에서는 주위온도의 영향을 거의 받지 않는 低壓 나트륨램프 등을 이용하는 것이 적합하다 하겠다.

반대로 HID 램프는 하루종일 작업을 하는 倉庫에서는 좋으나 부정기적이고 短時間 작업을 할 때에는 點灯後 필요한 照度에 도달할 때까지 시간이 걸리고 作業性이 나빠지거나 짧은 작업시간 때문에 불필요한 시간까지 點灯하여야 되므로 하루동안의 使用電力量을 검토하면 오히려 필요한 때 點滅할 수 있는 白熱灯이 유리할 때도 있다.

이와 같이 設備를 이용하는 장소의 環境條件과 운용실태에서 보아 實效面으로 가장 合理的



<그림4·34> 電路의 各點에서의 電壓降下



<그림4·35> 一般 螢光램프의 電壓變動特性(光束)

인 設計値를 구하여야 하고 단지 定格値로 본 效率値의 大小에 구애받지 않도록 하여야 한다.

어떤 種類의 램프이거나 點灯裝置가 비교적 큰 영향을 받는 것은 電源電壓의 변동이다. 계속 點灯이 불가능하게 되는 異常電壓變動은 당연히 고려되나 통상적으로 부득이하다고 지나쳐버리는 것이 電路의 電壓降下이다. 그림4·34에서 A點의 電壓이 定格狀態로 유지되고 있어도 a點 혹은 D點에서는 어떤가를 또 d點에서는 어떤가를 체크하여 보면 定格대로 電壓이 공급되지 않는 設備를 자주 볼 수 있다. 또 照明機器側에서도 사용조건이 定格電壓의 ±6% 이내라고 지정되어 있는 등 마치 ±6% 이내의 변동이면 이용하는데 아무런 지장이 없는 것같이 취급되고 있다.

그러나 그림4·35에 螢光 램프의 예를 표시한 바와 같이 램프의 種類에 따라 差는 있으나 電源電壓이 定格値보다 6% 降下하였을 때 램프의 光束은 10~20% 떨어진다. 즉 6%의 電壓降下를 허용하는 것은 電壓變動에 대한 補償率 K로 하여 0.8~0.9를 보아준다는 것이고 이에 따라 一定한 設計照度를 얻기 위한 照明設備의 규모는 11~25% 증가하게 된다. 이와 같이 出力이 떨어진 照明設備의 利用方法이 과연 電路의 改善보다 經濟的인 선택인가 검토하여 보는 것도 중요할 것이다.

☞ 다음 호에 계속