기술해설

小形螢光燈의 實用化를 위한 기술적 방안

Techical Poiuts for Compact Fluorescent Lamps.

呂 寅 善
全南大學校 電氣工學科 敎授

1. 머릿말

螢光燈은 水銀 蒸氣의 低壓放電에 의해 다량으로 放射되는 波長 253.7[nm]의 紫外線을 發光管에 塗布되어 있는 螢光體에 照射시켜 可視光線으로 변환시키는 원리를 이용한 光源으로서, 일반조명 분야의 주光源으로서의 위치를 차지하고 있다. 1938년에 소개된 이후 처음 30년간은, 램프의 수명과 始動特性의 개선 및 高出力光源의 개발이 중점적으로 연구된 결과, 이 기간에 瞬時와 速時起動 回路가 소개되었고 環形과 U形 램프 등이 개발되었다.

그러나, 1973년 에너지 위기를 계기로 하여, 螢光燈의 개발에는 에너지소비 節減을 목표로 하는 두 가지 큰 움직임이 일어나기 시작하였는데, 그 중 하나는 低電力, 高効率 螢光燈의 개발이고, 다른 하나는 白熱電球를 長壽命, 高効率의 螢光燈으로 대체하려는 움직임이었다. 그 결과, 前者의 경우, 螢光體의 개량에 의한 發光光速의 증대, 管徑의 축소와 크립톤 가스의 封入에 의한 節電型 램프의 개발, 그리고 點燈回路의 電子化에 따른 시스템効率의 상승 등의 결실을 보게 되었다. 그렇지만, 1980년대 중반에 이르러서는, 低電力, 高效率 螢光燈의 개발은 거의 한계에 도달해 있는 실정이어서 개개의 램프보다는 전체 照明시스템의 에너지節減에 기대를 거는 형편이다.

한편, 後者의 경우, 당초 白熱電球대체용 램프로서 출발하여 기존의 白熱燈器具에 사용할 수 있도록 發光管과 點燈回路를 내장한 電球口金型 램프가 개발되어 實用化에까지 이르렀다. 더우기 低電力, 高効率 램프의 개발이 거의 한계에 달함에 따라 이 분야의 연구는 더욱 박차를 가하게 되었고, 이 과정에서 白熱電球의 최대의 장점인 點光源에 가까운 유용성과 쾌적한 분위기를 갖는 照明에 대한 필요성이 절실히 요구되어, 결국 螢光燈의 小形化가 추진되기에 이르렀으며 이에 따라 여러가지 형태의 콤팩트한 電球口金型 및 專用口金型 螢光燈이 개발되고 있다.

본 稿에서는 螢光燈의 小形化에 있어서 해결해야 할 기술적인 문제를 요약하고, 대표적인 콤팩트 램프로서 分離雙U形 램프를 소개하여 이 램프의 實用化 방안을 바탕으로 小形化의 기술을 발전시켜 나가고자 한다.

2. 小形化 기술의 요점

螢光燈을 小形化하기 위한 방법으로서 放電原理面에서의 접근도 시도되고 있지만, 대체로 螢光燈의 형상 및 구조를 변화시키는 것이 주종을 이루고 있으므로, 小形化에 대한 기술적인 논의는 이 경우에 한정하도록 한다. 螢光燈을 小形化하여 實用化할 경우에 해결해야 하는 기술적인 문제를 요약하면 다음과 같다.

1) 좁은 공간에 내장될 發光管의 크기 결정

2) 發光管의 溫度上昇에 의한 發光效率의 저하를 막는 문제

3) 높은 管壁溫度와 高負荷 상태에서의 點燈에 견디는 螢光體의 개량

이들은 小形化에 따라 필연적으로 발생하는 문제로서 특히 2)의 해결방안에 따라 여러가지 형태의 小形化가 이루어질 수 있다.

2.1 發光管의 크기

일반적으로, 램프電壓은 管이 길어지거나 管徑이 줄어듬에 따라 증가한다. 이 때문에 管徑은 管이 길어질수록 늘어나야 하고, 管徑이 줄어들수록 管길이는 짧아져야 하므로, 단순히 小形化의 입장에서 보면 管길이는 짧게, 管徑은 작게 하는 것이 바람직하나, 실제로는 效率的인 면도 고려하여 적절한 管徑과 管길이가 결정되어야 한다. 즉, 螢光等의 效率은 램프入力 중에서 陽光柱電力이 차지하는 比率과 陽光柱에서의 發光效率의 곱으로 표시할 수 있는데, 이 중에서 陽光柱電力으로 투입되는 比率은 發光管이 길어야 상승하므로, 콤팩트性과 效率사이의 상반된 입장을 고려하여 가능한 한 發光管을 길게 하여야 한다. 이를 위해서는 램프를 적절히 屈曲化하는 것이 바람직하다.

또한, 陽光柱에서의 發光效率은 특히 紫外線 253.7[nm]의 放射效率에 좌우되고, 이 放射效率은 水銀蒸氣壓, 管徑, 對入가스 등의 영향을 받는다. 이 중에서 管徑이 미치는 영향은 그림1에 나타난 바와 같고, 이것은 管徑의 크고 작음에 따라 달라지는 管壁溫度와 光量子의 再吸收確率에 의해 放射效率이 결정됨을 의미한다.

이 그림은 각 管內徑에 있어서 水銀蒸氣壓이 最適인 조건에 있다고 보고 계산된 결과로서, 管內徑이 18[mm] 부근에서 253.7[nm]의 放射效率이 최대가 됨을 보여주고 있다. 그러나 실제의 경우, 管電流가 보다 낮아지면 管內徑은 더욱 줄어들 수 있으며, 水銀蒸氣壓의 조절방식에 따라서도 약간의 차이가 있으리라 생각된다.

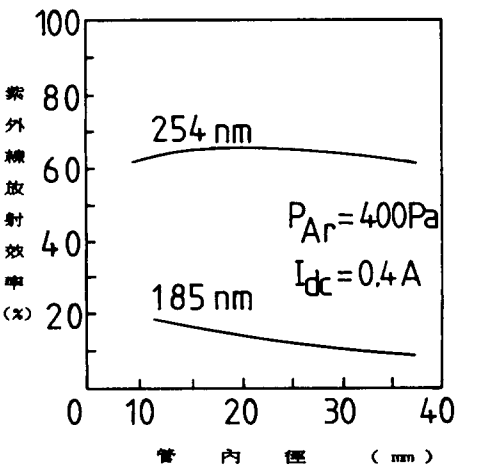


그림 1. 管內徑과 紫外線放射效率과의 관계

2.2 水銀蒸氣壓의 過昇 방지

콤팩트化 時 高效率을 유지하기 위한 최대의 과제는 水銀蒸氣壓의 過昇을 방지하는 데에 있다. 253.7[nm]의 放射效率은 發光管내의 水銀蒸氣壓에 크게 좌우되고 이 水銀蒸氣壓은 管壁의 最冷部溫度에 의해 결정되므로, 일반적으로 小形化가 진전되면 管壁負荷가 커지고 램프의 熱容量이 작아지는 반면에 熱放散이 나빠지므로 管壁溫度가 상승하여 水銀蒸氣壓이 最適치를 넘게 된다. 그 결과, 量子의 再吸收確率이 늘어나 紫外線의 放射效率은 감소한다. 따라서 發光效率의 저하를 막도록 水銀蒸氣壓을 적절한 수준으로 낮추어야 하며, 이에는 대체로 다음과 같은 방법이 사용된다.

(1) 冷却部의 설치

發光管 管壁의 일부를 放電路로부터 멀어지게

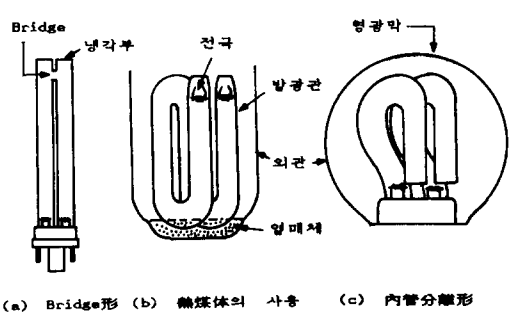


그림 2. 수은증기압의 과승을 방지하기 위한 방법

하여 冷却部로 동작시키는 방법으로, 그림 2(a)와 같이 Bridge를 형성하는 방식이 대표적이고 흔히 Bridge形 또는 H形이라고 한다. 이 방식은 冷却部와 Bridge와의 거리를 변화시켜 冷却部溫度를 적당히 조절할 수 있으므로 램프의 규격별로 水銀蒸氣壓을 最適으로 할 수 있으나 點燈방향의 영향을 받는 단점이 있다.

(2) 熱媒體의 사용

그림 2(b)에서와 같이 熱媒體를 이용하여 發光管의 熱을 外管글로브를 통해 傳導시킴으로써 發光管 管壁溫度를 낮추는 방법이다. 여기에 사용되는 熱媒體는 熱傳導率과 光透過性이 높고, 耐熱性 및 內紫外線性이 있어야 하는 것으로, 예를 들면, 투명실리콘 등이 있다.

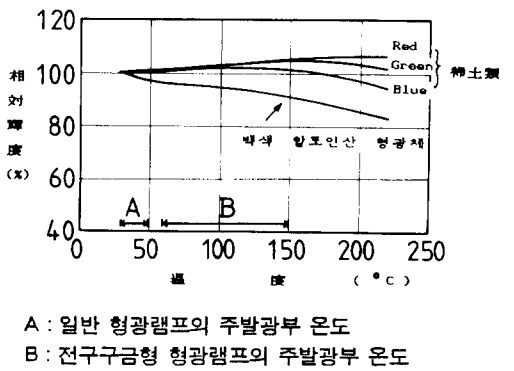
(3) 아말감의 사용

水銀單體대신 Bi-In-Hg의 아말감을 사용하면, 정상點燈시 光出力을 최대로 하는 水銀蒸氣壓을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 넓은 溫度 범위에서 水銀蒸氣壓의 변동을 작게 할 수 있다.

(4) 分離內管方式

發光管의 分離에 의해 放電路를 형성하는 內管의 공간과 外管글로브內의 공간을 연속시켜, 內管內의 水銀蒸氣壓을 표면적이 큰 外管最冷部의 溫度로써 제어하는 방식으로서 內管分離型이라고도 한다. (그림 2(c))

이상의 水銀蒸氣壓조절방안에는 小形化에 따른 管壁負荷上昇 뿐 아니라, 밀폐형 外管글로브의 斷熱效果 및 安定器내장에 의한 溫度上昇도 고려하여야 한다.



A : 일반 형광램프의 주발광부 온도
B : 전구구금형 형광램프의 주발광부 온도

그림 3. 稀土類 螢光體의 溫度特性

표 1. 대표적인 稀土類 螢光體

Table 1. Typcical Rare-earth Phosphors

발광색	조 성	피이크 파 장 (nm)	용 도	
적 색	Y_2O_3 : Eu	611	전구색 색온도 2800k CRI84	3파장 주백색온도 5000k CRI83
녹 색	$LaPO_4$: Ce, Tb	543		
청 색	$3Sr_3(PO_4)_2 \cdot SrCl_2$: Eu	447		

2.3 螢光體의 개량

小形化에 따라 管內徑이 작아지면, 塗布되어 있는 螢光體에는 다음과 같은 영향이 미치게 된다.

1) 高管壁負荷와 管壁溫度上昇으로 인한 劣化
2) 紫外線 185[nm]의 放射效率증가와 함께 放電路에 근접함에 따라 심해지는 紫外線에 의한 劣化

이러한 劣化는 그 동안 개발되어 온 3 波長挾帶域 螢光體와 같은 稀土類 螢光體로써 대폭 개선이 가능하다. 특히, 3 波長挾帶域 螢光體는 高演色性으로서 高效率을 가능하게 할 뿐 아니라, 기존의 할로燐酸 螢光體에 비해 溫度變化에 따른 輝度의 변동이 적고 全壽命중의 光速維持가 뛰어나다는 장점을 갖고 있어서, 螢光燈의 콤팩트化에 결정적인 역할을 한 것으로 평가되고 있다.

그림 3에 이러한 稀土類 螢光體의 溫度變化에 따른 發光特性과 光速維持特性을 나타내고, 표1에 실제로 사용되는 稀土類 螢光體의 예를 들어 이들의 組成과 光色 등을 표시한다.

3. 小形螢光燈의 實用化 방안

實用化된 小形螢光燈은 電球를 대체하는 정도에 따라 電球口金型과 專用口金型으로 구분된다. 電球口金型은 點燈回路를 내장하고 電球口金을 갖는 것으로서 백열電球의 직접대체를 최대의 목적으로 한다. 이에 반해, 專用口金型은 보다 小形化하도록 點燈回路는 별도의 專用器具를 이용하고 專用口金을 갖는다. 이들 램프는 앞에서 설명한 小形化 기술을 적절히 고려한 것들로, 發光管의 형태나 發光原理 등에 따라 각각 독특한 구조를 갖는다.

이 절에서는 현재 實用化되어 있는 小形螢光燈

의 종류를 살펴보고, 대표적인 콤팩트 램프로서 分離雙U形 램프를 소개하여 그것의 小形化 방안과 特性을 검토함으로써 小形化 기술을 응용하는 예를 보이고자 한다.

3. 1 小形螢光燈의 분류

小形螢光燈은 각각 적당한 水銀蒸氣壓조절방식을 채택하고 있고 형태로 여러 가지의 것이 있으나, 대체로 發光管의 구조에 따라 그림 4와 같이 분류된다.

이 중에서 直管形, 環形 그리고 U形 등은 콤팩트化 이전부터 사용되어온 형태로서 일반적으로 電球와의 호환성이 적은데 비해, 鞍裝形과 分離雙U形 및 雙H形 등은 콤팩트 램프용으로서 적합하다. 鞍裝形의 경우는 아말감제어 등 별도의 水銀蒸氣壓조절방식을 이용하지만, 分離雙U形이나 雙H形에서는 각각 독특한 水銀蒸氣壓조절방식에 의해 그 구조가 결정되는 차이점이 있다.

雙H形은 H形을 더욱 발전시켜 3개의 Bridge에 의해 發光管을 길게한 것으로 小形化에 高出力化를 가미한 형태이다. 아말감을 이용한 鞍裝形의 電球式 螢光燈에 대해서는 이미 본 학회지에 자세히 소개된 바 있으므로, 여기에서는 다만 分離雙U形에 있어서 그 구조적 특징, 效率-溫度特性 그리고 光出力特性등을 살펴 보기로 한다.

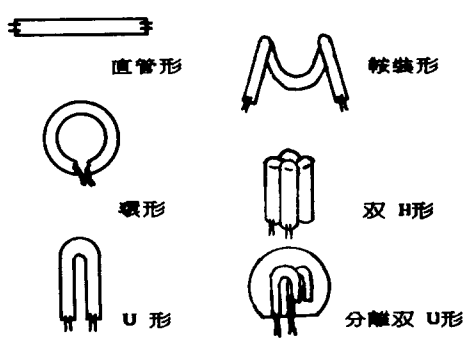


그림 4. 小形 螢光燈의 분류

3. 2 分離雙U形 램프

分離雙U形 램프는 內管分離型의 대표적인 것으로서, 分離된 두개의 U形 內管을 갖는 형태이다. 이러한 구조에 의한 특징을 鞍裝形의 램프와 비교하여 그림 5에 나타낸다. 鞍裝形의 구조에서는 發光管의 管壁溫度가 水銀蒸氣壓을 결정하는 最冷部溫度로서 작용하기 때문에 외측의 拔散글로브에 의한 斷熱效果가 특히 문제가 되므로, 글로브에 공기통로를 만들거나 아말감사용 및 熱媒體를 이용하여 水銀蒸氣壓을 조절하는 방법으로써 發光效率의 저하를 막는다.

이와는 달리, 分離雙U形에서는 水銀蒸氣壓이

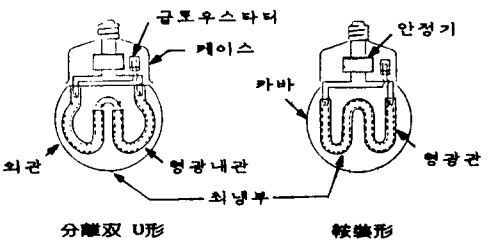


그림 5. 分離雙 U形과 鞍裝形램프의 구조비교

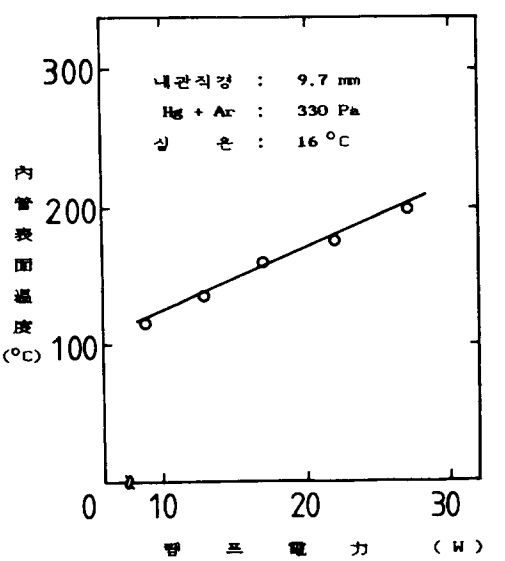


그림 6. 分離內管形 램프電力에 따른 內管表面의 溫度변화

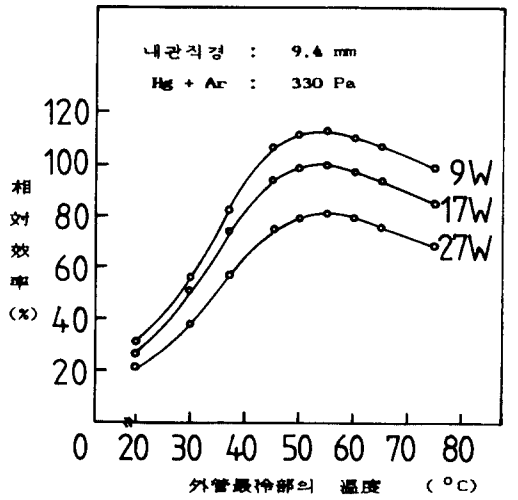


그림 7. 分離內管形 램프의 溫度－效率特性

을 적절히 하여 熱放散을 제대로 이룸으로써 높은 發光效率의 維持가 가능해진다. 특히, 같은 出力에 있어서, 鞍裝形에 비해 外球의 크기가 작게되어 콤팩트化에 유리한 장점을 갖고 있다. 그러나, 內管分離에 따라 光出力特性이 나빠지므로 이 점을 고려하지 않으면 안된다.

(1) 溫度-效率特性

이 램프에서는 發光管과 內管의 溫度차이가 심하여 상대적으로 高溫인 發光管내의 水銀原子密度가 外管最冷部溫度로 결정되는 값보다도 낮아지므로, 發光效率이 최대로 되는 最適溫度가 直管形의 경우보다 높게되어 그만큼 外球의 크기를 줄일 수 있다. 이같은 점은 그림 6과 7에 잘 나타나 있다.

그림 6은 全長 260 [mm], 內徑 9.7 [mm]인 內管과 直徑 90[mm]인 外管으로 이루어진 分離雙U形 램프를 16 [°C]의 常溫에서 點燈시켰을 때의 램프 電力에 따른 內管표면의 溫度변화를 나타내는 것으로, 이 그림에 의하면, 램프電力이 17[W]인 경우에 內管표면의 溫度는 약 160[℃]에 달하여 주위溫度를 약간 상회하는 外管最冷部溫度와는 상당한 차이가 있다. 따라서 最適溫度도 그림 7에서 보는 바와 같이 內管內經 9.4 [mm]에서 약 55[℃]로서, 內管內經 9.5[mm]인 直管形 램프를 發光管溫度 100[℃]로 點燈시켰을 때의 最適溫度 49[℃]보다 높게 된다. (통상 直管形 螢光燈의 最適溫度는 管內徑 15.8[mm]에서 44[℃], 25.4 [mm]에서 37[℃]로 알려져 있다.

(2) 光出力安定特性의 개선

한편, 이와같은 램프에서는 始動직후 最冷部의 溫度上昇에 시간이 걸리므로 光出力安定이 지연되

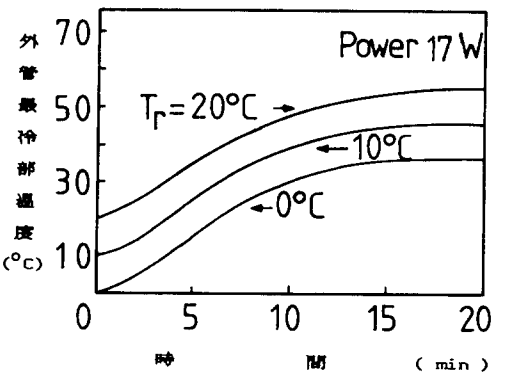


그림 8. 外管最冷部의 溫度上昇特性

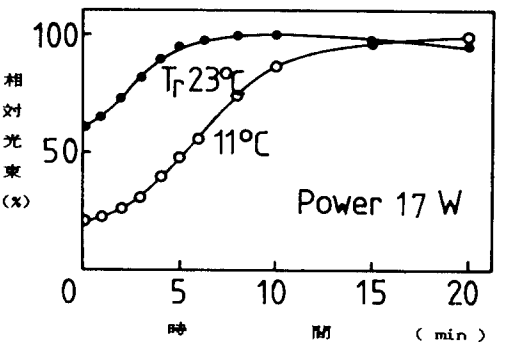


그림 9. 分離內管形 램프의 光出力安定特性

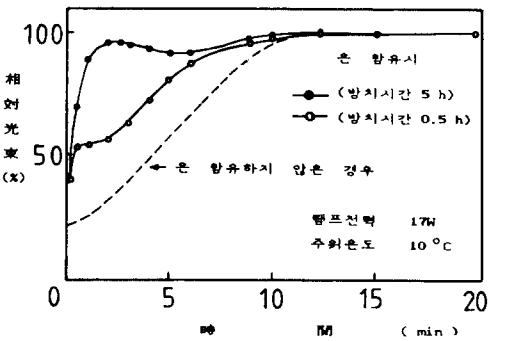


그림 10. 銀에 의한 光出力安定特性의 개선

는 새로운 문제가 발생한다. 그림 8과 9에 內管內徑 12[mm], 全長 260 [mm] 그리고 外管直徑 90[mm]인 17 [W]램프에 있어서의 最冷部溫度上昇特性 및 光出力安定特性을 나타낸다. 이들에 의하면, 주위 外管溫度가 0-20 [℃]의 범위에서는 內管으로부터의 熱放射에 따라 外管溫度가 安定상태에 이르는데에 약 20분이 걸리며, 光出力安定에는 주위溫度 23 [℃]에서 약 5분, 11 [℃]에서 약 12분이 소요된다.

이의 해결을 위해, 아말감제어 램프에 있어서 낮은 水銀蒸氣壓으로 인하여 始動후 安定상태에 이르기까지 다소 시간이 걸리기 때문에 In-Hg 계의 補助 아말감을 電極근방에 설치하는 것과 유사한 방법이 연구되고 있다. 즉, 電極근방에 安定金屬인 銀으로 된 리본을 설치함으로써, 消燈 중에 吸着된 水銀이 始動직후 電極에서 발생되는 熱에 의해 즉시 증발되는 점을 이용한 방법이 그것이다.

銀을 선택하는 이유는, 이것이 低溫에서 水銀과 아말감을 만들기 쉽고, In의 融點이 156 [℃]인데 비해 銀은 961 [℃]이므로 램프제작상 여유를 가질 수 있는 등의 장점이 있기 때문이다. 이 경우에 필요한 銀의 양은, 外管溫度가 上昇할 때까지의 光速維持에 필요한 水銀을 吸着할 수 있는 정도로서, 銀리본의 표면적이 약 0.4-0.8 [㎠]이며 이는 질량으로 약 10-20 [mg]에 해당한다.

그림 10에 앞에서 사용한 램프의 電極으로부터 7[mm] 아래에 표면적 0.8 [㎠]의 銀리본을 설치한 경우의 光出力安定特性을 나타낸다. 여기에서 放置時間이라함은 點燈전의 消燈特續時間을 말하며, 銀에 吸着되는 水銀의 양을 결정하는 요소이다.

4. 맺는 말

지금까지 螢光登의 小形化에 있어서 발생하는 기술적인 문제와 이의 해결방안을 알아보았다. 또한, 分離雙U形 램프를 통하여 小形化 기술을 응용하는 실례를 소개하였다.

螢光登을 小形化하여 보다 응용범위를 확대하려는 노력은 環形 및 U形 램프에서와 같이 오래 전부터 있어왔지만, 최근에는 더욱 더 小形化하여 단순히 白熱電球대체용이라고 부르기 보다는 새로운 高效率 光源으로서의 독자적인 영역을 구축하고 있다. 즉, 小形化에 따른 재료의 절약과 공간의 절약을 통하여 螢光燈이 갖고 있는 경제성 뿐 아니라 白熱電球와 같은 高輝度, 콤팩트性을 갖게 됨으로써, 새로운 螢光燈器具의 개발 등에 의해 다양한 照明을 실시할 수 있다는 것이다.

이것은 明視를 고려한 生產性中心의 照明으로부터 쾌적한 환경을 고려한 人間性尊重의 照明으로 전환함을 의미한다.

參 考 文 獻

1. 奥野郁弘, "小形變形螢光 ランプの 設計 ポイント", 日本照明學會誌, Vol 7, No, pp. 7~10, 1987.
2. 細谷勝幸 外, "電球形螢光 ランプについて", 日本照明學會誌, Vol. 71, No. 1, pp. 19~22, 1987.
3. 小野哲郎 外, "分離內管方式電球形螢光ランプの效率の 溫度特性", 日本照明學會誌, Vol. 68, No. 6, pp. 18~22, 1984.
4. 小野哲郎 外, "分離內管方式電球形ランプの光束立ち上ガリ特性", 日本照明學會誌, Vol. 68, No. 10, pp. 26~29, 1984.