

照明用 光源技術 의 現況과 展望

Today and Future of Light

Source Technology

— 1 —

추석우

한양대학교 강사

1. 光源總論

照明이란 빛을 人間이 活動하고 生活하는데 有用하게 하는 일을 말한다. 우리 人間은 언제나 어디서나 여러가지 모습으로 視覺에 의해서 活動하고 生活을 영위하고 있다. 따라서 視覺과 직접 관계가 있는 것이 빛이다.

이 빛으로부터 視覺까지의 전달 경로는 光源에서 放射되어 어떤 事物을 反射시켜서 우리 人間の 눈으로 들어 오게 된다. 우리의 눈은 그 빛에 의해서 外界의 像을 만들고 이것이 視神經을 통해서 腦에 전달된다. 腦는 이것을 받아 들여 판단하는 視知覺을 일으키고 이에 相應한 行動을 취하게 된다. 이런 經路에 의해서 우리 人間 文化를 형성하고 이것이 발전되어 오늘날의 컴퓨터 文化形成까지 이룩한 것이다.

따라서 人間이 活動하는 데 있어 照明이 부족하거나 빈약하면 여러가지 장애를 가져오거나 능력을 저하시켜 사회구성원의 균형과 기능에 있어 큰 영향을 미치게 된다. 바꾸어 말하면 현대 사회에서는 가정생활을 위시하여 産業, 交通, 娛樂 등 모든 분야에서 人間이 존재하는 곳에는

알맞은 照明없이 人間生活을 영위할 수 없다는 뜻이다.

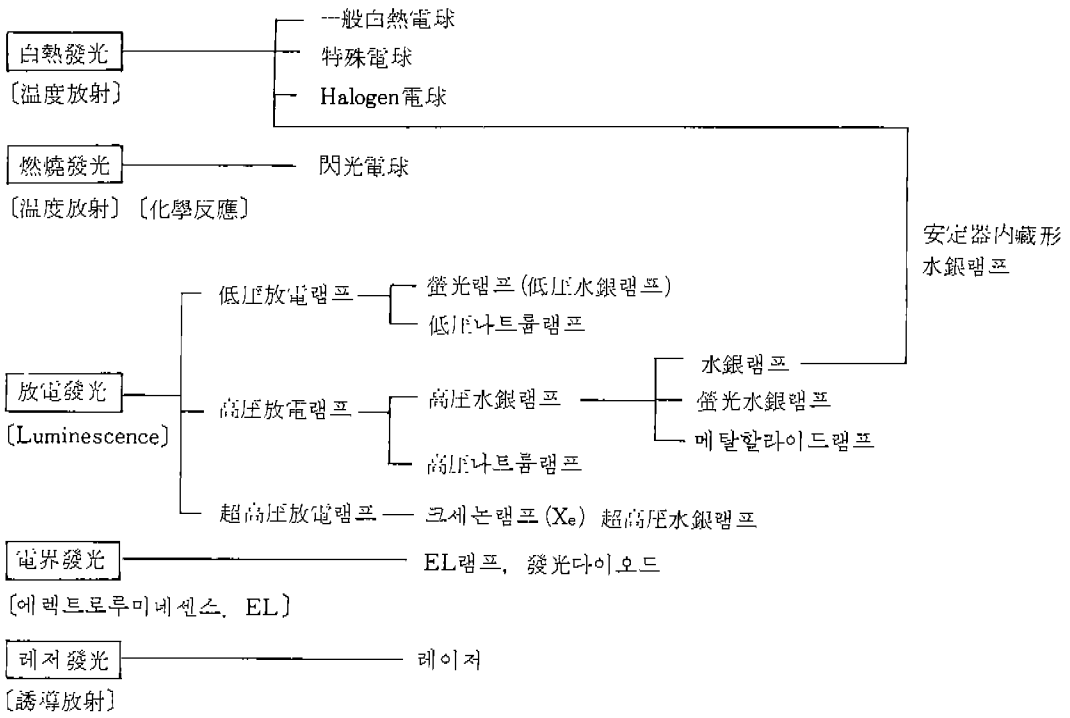
앞으로의 照明分野의 연구주제는 과거나 현재나 人間の 生活水準과 生産性を 低下시키지 않고 또한 視環境이나 安全性을 해치지 않으면서 효율 향상을 위해서 노력하여 왔으며 照明技術의 향상으로 풍요한 社會를 창조하고 에너지를 有效 適正하게 활용하도록 시도하는 데 있다.

照明을 이룩하려면 맨 먼저 光源이 없어서는 안된다. 光源을 크게 나누면 自然光源(太陽, 달, 별 등)과 人工光源(램프, 모닥불, 초, 가스등, 電球 등)으로 나눌 수 있다. 그 중 오늘날 사용되고 있는 人工光源을 發光原理에 의해서 분류하면 표 1·1과 같다.

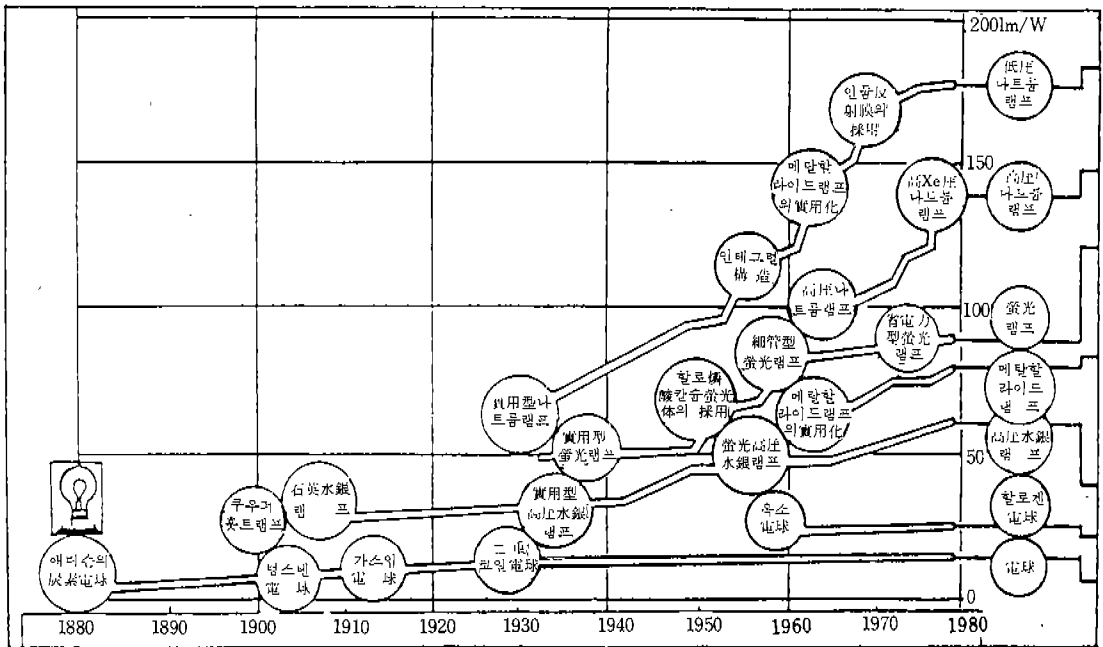
1879년 에디슨이 실용탄소전구를 발명한 이후 약 一世紀동안에 여러가지 새로운 光源이 開發되어 왔다. 이는 즉 光源開發의 主眼點은 에너지節約과 效率化의 역사라 말할 수 있다. 그림 1·1은 光源의 效率의 인 면에서 發展過程을 나타낸 것이다. 光源의 에너지節約化에 대한 推進方法으로서는 다음 두가지 방향이 있다.

① 既存設備에서 效率이 낮은 光源을 效率이

〈표 1·1〉發光原理에 의한 現用光源의 分類



安定器內藏形
水銀램프



〈그림 1·1〉램프 100年 동안의 效率發展

높은 光源으로 交替(Replace)하는 方法

② 光源 자체의 에너지 절약화(高效率化)로 기존설비의 조명기구와 호환성(Retrofit)를 갖도록 함으로써 밝기를 低下시키지 않고 에너지를 절약하는 方法이다.

즉 ①의 방법은 효율이 낮은 백열전구나 고압수은램프를 효율이 높은 螢光 램프나 高圧나트륨램프 등으로 교체하는 방법이다. 표 1·2는 제품화된 대표적인 에너지 절약형 光源을 모은 것이다.

이 표에서 光源의 종합효율과 光束 1000lm 당의 소비전력을 비교하면 백열전구를 형광램프로 교체하여 약 75%, 또 螢光水銀램프를 高圧나트륨램프로 교체할 경우 약 60%의 電力이 절감된다. 다음 ②의 방법은 에너지 절약률이 높지는 않지만 보급성이 좋으며 전체적으로 큰 에너지 절약적 효과를 기대할 수 있다는 것을 뜻한다.

이제까지의 效率向上은 밝기를 높게하는 경향이 있으나 밝기는 같으며 소비전력만을 절감시키는 전력절감화가 필요하다. 즉 光束은 높이지 않고 3~4%의 電力절감을 실현하고 있다.

에너지 절약형 광원의 연구개발은 당연히 高效率化에 있다. 램프效率은 可視部 放射效率과 視感效率과의 곱으로 나타내고 있다. 그의 理論的인 限界値는 555nm單色光인 경우 683 lm/W이지만 近白色光源에서는 280~220lm/W가 最高效率이다. 현재 실용화되어 있는 가장 효율이 높은 高圧나트륨램프도 그 값의 절반정도에 불과하다.

光源의 效率을 높이는 方法으로는

① 入力에 대한 可視光의 放射效率을 높인다(발광물질의 선택 등).

② 放射의 視感效率을 높인다(螢光體, 發光物質 등).

〈표 1·2〉 에너지節約形 照明用光源의 特性

	種 類		全光束 (lm)	램프效率 (lm/w)	綜合效率 (lm/w)	電力消費量 (W/1000 lm)	色溫度 K	平均演色評 價數(Ra)	壽 命 (h)
白 熱 電 球	白色塗裝電球	100W	1500	15.2	15.2	66	2850	100	1000
	에너지節約形電球	95W	1520	16.0	16.0	63	2850	100	1000
	에너지節約形볼電球	95W	1345	14.2	14.2	70	2850	100	2000
	크립톤電球	90W	1400	15.5	15.5	64	2850	100	2000
	할로젠電球	500W	10500	21.0	21.0	47.6	3000	100	2000
螢 光 램 프	一般用螢光램프(白色)	40W	3100	78	63	15.8	4200	64	10000
	에너지節約形螢光램프(白色)	38W	3100	82	66	15.2	4200	64	10000
	에너지節約래피트스타트 램프(白色)	37W	3000	81	68	14.7	4200	64	10000
	三波長形螢光램프	38W	3100	82	66	15.2	5000	84	10000
H I D 램 프	螢光水銀램프	400W	22000	55	52	19.2	4100	44	10000
	白熱電球色螢光水銀램프	400W	21000	53	50	20.0	3300	55	12000
	메탈할라이드램프(水銀安定 器適合)	400W	32000	80	76	13.2	5000	65	9000
	高圧나트륨램프	400W	52000	130	120	8.3	2100	28	12000
	高圧나트륨램프(水銀燈安定 器)	360W	51000	142	132	7.6	2100	28	12000
	低圧나트륨램프	180W	31500	175	140	7.1	—	—	9000

③ 赤外線을 유효하게 활용한다(투광성 적외선 반사막의 활용).

④ 紫外線을 可視光으로 변환하여 效率을 향상시킨다(螢光體의 改良).

⑤ 對流 등에 의한 熱損失을 減少시킨다(크립톤가스와 같이 무거운 희유가스의 이용과 보존).

⑥ 유리구, 發光管의 光透過率을 높인다 등으로 분류하여 생각할 수 있다.

2. 白熱電球

2.1 白熱電球의 特性

白熱電球은 溫度放射에 의한 발광원리를 이용한 光源이다. 溫度放射란 모든 物體는 온도를 높이면 에너지를 발산한다. 이 에너지의 스펙트럼은 연속적이며 그 분포는 온도에 따라 결정된다. 흑체의 溫度放射는 Stefan-Boltzmann 법칙에 따른다. 즉 黑體에서 단위시간에 그 표면의 단위면적에서 방출하는 방사 에너지 U는 그 절대온도 T의 4승에 비례한다.

$$U = \delta T^4 \quad (2.1)$$

다만 δ 는 Stefan-Boltzmann의 상수로서

$$5.67 \times 10^{-8} \text{ [wm}^{-2} \text{K}^{-4}]$$

또한 黑體에서 최대분광방사가 일어나는 波長 λ_{\max} (nm)는 溫度에 반비례한다는 Wien의 變位則이다.

즉

$$\lambda_{\max} T = 2.876 \times 10^6 \text{ [nmK]} \quad (2.2)$$

이 두가지 온도방사의 법칙에서 온도를 올리면 발산 에너지가 많아지고 또한 파장이 짧아져 가시광선이 많아짐을 알 수 있다.

백열전구의 發光體는 텅스텐필라멘트로 이루어지는데, 이 텅스텐은 공교롭게도 可視部의 放射發散率이 좋아서 같은 온도에서 光效率(lm/W)은 흑체보다 높다. 온도가 올라가면 光效率은 좋아지지만 赤外線部의 放射發散率이 증가하므로 2,600°K에서 溫度 1% 상승하면 光效率은 5.1% 높아지지만 2,800°K에서는 4.5%이다.

텅스텐 용점은 원소중 炭素 다음으로 3,660°K에서 效率은 53(lm/W)이며, 黑體의 最高效率은 6,500°K에서 85(lm/W)의 62[%]이다. 만일 텅스텐의 온도가 6,500°K까지 오를 수 있다면 效率은 621(lm/W)로서 黑體의 7배로 된다. 백열전구의 수명은 효율의 7승에 반비례하기 때문에 텅스텐의 온도는 제한을 받지 않을 수 없다.

또한 실제의 電球에서 단자손실, 봉입 가스의 전도, 대류에 의한 가스 손실, 유리球, 베이스의 흡수에 의한 빛의 손실 때문에 전구의 효율은 같은 온도의 텅스텐보다 낮게 된다.

이 白熱電球은 1879년 에디슨에 의해서 實用 電球가 발명된 이후 百餘年 사이에 효율, 수명 등의 특성향상을 이루어 왔다. 즉 그 동안 필라멘트 재료는 최초의 탄소선으로 부터 오늘 날에는 텅스텐선으로 바뀌었고, 眞空電球의 경우 텅스텐의 분자가 텅스텐線의 표면에서 증발할 때 이를 억제하는 것이 아무것도 없기 때문에 증발을 억제하기 위해서 텅스텐과 화학적으로 안정된 가스를 봉입하여 필라멘트의 증발을 저하시켜 수명을 길게 하였다. 필라멘트의 모양도 直線 필라멘트에서 單코일 2重코일로 개량되었다. 코일링 效果의 원리는 가스입 전구에서 필라멘트의 표면적이 커지면 열손실도 커지게 되므로 직경이 커질수록 적어지지만 가는 선에서도 필라멘트를 밀접하게 코일로 감으면 코일의 외경과 같은 굵기의 선과 같은 열손실을 갖게 한다는 Langmuir의 이론에 따라 코일링함으로써 필라멘트의 온도를 더 높여서 효율을 올릴 수 있다. 이렇게 하여 코일링된 코일필라멘트를 다시 코일링하여 즉 2중 코일로 하면 효율이 약 6% 상승하는 좋은 電球를 얻을 수 있다. 표 2.1에 봉입가스압력과 텅스텐의 증발과의 관계를 나타냈다. 또한 봉입 가스의 분자량이 커지면 열전도율도 적어지고 증발율도 적어진다. 이 관계를 그림 2.1에 나타냈다.

백열전구는 다른 어느 광원보다 효율이 낮음에도 불구하고 따뜻한 光色과 演色性, 集光性 등

〈표 2·1〉 봉입 가스 압력과 텅스텐의 증발비

봉입가스의 압력 (mmHg)	증발비%
진 공	1
10	1 / 10
100	1 / 50
1000	1 / 100

〈표 2·2〉 白熱電球의 發達

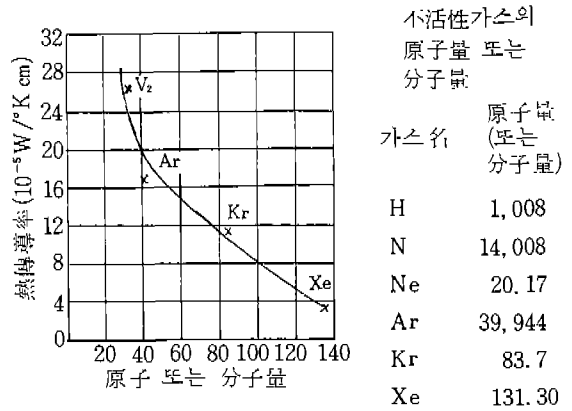
幼年期의 電球 (110V 50W)

年度	필라멘트	壽命(時間)	効率(lm/W)
1879	炭化紙	45	1.4
80	炭化竹	600	1.68
81	炭化竹	600	2.25
84	후렛쉬섬유소(溫度1875°K)	400	3.4
88	炭化竹아스팔트 被覆	600	3
93	炭化竹후렛쉬아스팔트被覆	600	3.3
97	耐火性酸化物(Nelst燈)	300(D. C) 800(A. C)	5
98	Osmium	1,000	5.5
1902	Tantalum	1,000(D. C) 300(A. C)	5
04	處理炭素	600	4
04	非引線텅스텐	800	7.85
10	引線텅스텐	1,000	10

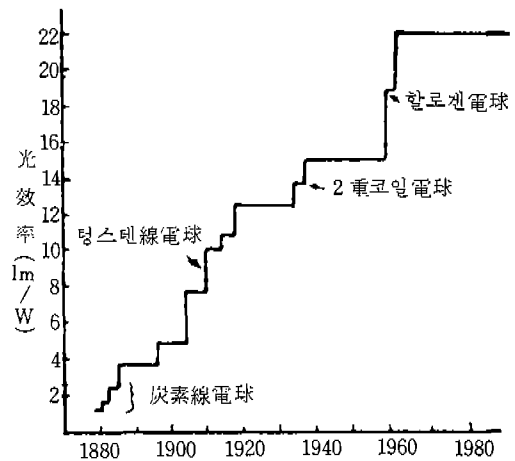
壯年期의 電球 (110V 60W, 1000時間텅스텐)

年度	필라멘트	環 境	필라멘트 溫度(°K)	効率(lm/W)
1910	直 線	眞 空	2,450	10
13	coil	N ₂	2,500	11
17	coil	Ar	2,600	12.5
34	2重coil	Ar	2,700	13.5
36	2重coil	Kr	2,705	15
59	2重coil	Ar에 Halogen添加	2,850	18.5
62	2重coil	Xe에 Halogen添加	3,000	22

이 양호하고 값이 싸고 구조가 간단하여 취급이 간편하기 때문에 아직도 광범위하고 다양하게 이용되고 있다. 특히 불 전구, 反射電球, 投光器用 電球, 耐振用 電球, 表示信號燈, 大小形電



〈그림 2·1〉 50°C에서 封入가스의 熱傳導率과 原子量 또는 分子量과의 關係



〈그림 2·2〉 白熱電球의 效率變遷

球, 실드빔 電球 등 헤아릴 수 없이 많은 백열 전구가 용도에 알맞도록 생산되고 있다. 백열전구의 효율향상측면에서 본 발달사를 표 2·2와 그림 2·2에 나타냈다. 이 표에서와 같이 技術革新에 따라 비약적인 향상을 이루었음을 알 수 있다. 물론 형광 램프 HID램프 등과 같이 효율이 높은 광원들이 현존하지만 앞에 언급한 바와 같이 많은 장점과 특수성이 있어 앞으로도 백열전구의 사용은 불가피할 것이다.

앞으로 이 백열전구의 개발동향은 에너지 절약 측면에서 고효율화와 빛의 이용 효율의 향상에 있다.