특집 : 조명설계의 신기술

초세관형 T5(16[mm]) 형광램프 및 안정기

박 성 목<금호전기(주) 기술부장>

1. 개 요

형광램프는 1938년 미국의 G.E(General Electric) 社의 Inman에 의해 처음으로 실용화되었으며 실용화된 후 지금까지 60년동안 새로운 형광체의 개발이나 방전기술, 양산 기술의 현저한·진보가 있었다.

선진외국을 비롯하여 전세계적으로 최근의 광원의 기술개발동향은 고효율화, Compact化, 장수명화, Slim化 및 조명질의 향상에 초점을 맞추어 개발되어 왔다. 관경 38[㎜]에서 32[㎜]로 다시 32[㎜]에서 28[㎜]로 또 수년전에는 관경이 26[㎜]까지 세관화되어 효율을 향상시켰다. 또한 전자 점등회로나 전자기술을 활용한 여러 가지 전자제어 회로와의 System化가 진행되고 있고 정보화에 부합되는 광원 System으로 발전되고 있다. 또 최근에는 직관형 형광램프나 환형 형광램프 모두 관경 16[㎜](T5)까지 초세관화되어 획기적인 energy절감 및 기술적인 진보를 거듭하고 있다. 그러나 국내의 경우 관경 26[㎜]형광램프를 개발하여 실용화시켰으나 그 보급 활성화가 기대에 미치지 못하였으나 최근에는 점차 그 수요가 확대되고 있다.

따라서 현재와 같이 자원부족이 심각한 우리나라의 경우 에너지 절감 및 고효율 광원의 대폭적인 확대로 전체 전기 수요량의 18~20[%]정도인 조명부하를 절감하는데 기폭제가 되었으면 한다.

2. T5 형광램프의 특징

1) 직관 형광램프

T5 직관 형광램프는 최고의 효율과 기구의 소형화를 실현하도록 설계한 관경 16[㎜]의 새로운 형광램프이다. 이 램프는 적절한 전극 예열조건을 갖는 전용의 전자 안정기와 조합하여 동작하고 에너지 절약과 기구설계의 자유도를 높이려는 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 램프이다.

① 관경의 세관화 : 기구효율향상(T8대비+5[%]) 기구의 Slim化 가능

② 관장의 최적화 : Modular ceiling system에 설치가 용이하다.(일부는 기존 등기구와 호환가능)

③ 효율향상 : 에너지 절약(T8대비 약 12.5[%], T10대비 약 30[%])

④ 35[℃]에서의 최대 광출력 : 실내 조명에서 효율향상

⑤ 장수명 : 높은 경제성(기존 대비 1.5배 긴수명)

⑥ 환경 친화성 : 저수은, 폐기물 감소로 환경친화

적인 램프

⑦ 고주파 점등 : 전용 전자 안정기 사용으로 높은 energy 절약 가능

2) 환형 형광램프

T5 환형 형광램프는 고효율 또는 고조도화 및 램프의 Slim化를 주안점으로 한 관경 16[㎜]의 차세대 환형 형광램프이다. 아직 우리나라에서는 개발 단계이지만 일본에서는 상당히 실용되어있다. 이 램프는 적절한 전극 예열조건을 갖는 전용의 고주파 점등 안정기와 조합하여 자원절약 에너지 절약 및 기구의 박형화를 가능하게 하였다.

① 정격점등과 고출력점등의 2Model의 점등이 가능

- 효율이 높은 정격점등시 ⇒ 동일외경의 기존 환형 형광램프에 비해 약 10[%]에너지 절감
- 밝기를 중시한 고출력 점등시 ⇒ 동일외경의 기존 환형 형광램프에 비해 약 30[%] 밝기 향상

② 기존 환형 형광램프의 1.5배 장수명

③ 관경의 세관화 ⇒ 기구의 박형화(높이 약 40[%] Slim化) 자원절약, 공간절약

④ 기존 사용중인 형광램프와 동일한 외경 ⇒ 관중심의 발광장을 길게하여 고효율化

⑤ 환경 친화성 ⇒ 저수은, 자원절약 폐기물 감소

⑥ 고주파 점등 ⇒ 회로 전력손실 감소

3. T5 형광램프의 핵심기술

1) 전극 설계 및 전자 방사물질 조성 및 입도의 최적화

관경이 세관화되면 전극이 관벽에 근접하기 때문에 전자 방사물질이 램프의 시동 또는 점등중에 쉽게 관벽에 비산되어 관양단에 흑화현상이 조기에 발생하기 쉽다. 이러한 문제점을 해결하면서 일반램프에 비해 낮은 램프전류(170[㎃])에서 적정한 전극온도를 유지하는 전극을 설계해야 한다.

전자 방사물질은 통상 $SrCO_3$, $BaCO_3$,$CaCO_3$ 의 화합물이다. 시동 또는 점등중에 과다한 전자 방사물질의 입도 및 조성을 최적화해야 한다.

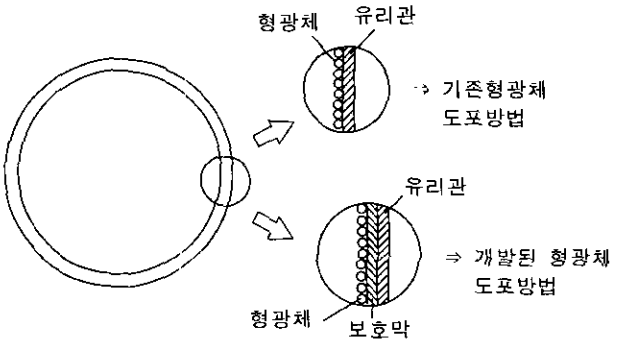


그림 1. 형광체 도포막 단면

2) 형광체 도포막 형성 및 보호막 코팅기술

램프의 세관화에 따라 관벽 부하 및 자외선의 영향이 증가되어 형광체의 조기열화 및 유리관의 소다 성분이 석출되어 관내에 봉입된 수은과 반응하여 광속유지율이 급속히 저하하는 현상이 발생한다. 광속유지율이 수명 말기까지 높게 유지하기 위해서는 이를 억제하도록 형광체막을 도포하기 전에 유리관에 아래 그림과 같이 보호막을 *pre-coating*하여 유리관에서 석출되는 소다성분과 수은과의 반응을 차단해야 한다. 보호막의 재료는 보통 산화 알루미늄, 산화 티타늄, 실리카, 산화세슘등을 사용한다.

또한 형광체로는 일반적으로 사용되는 할로인산칼슘 형광체는 점등시간이 경과함에 따라 세관화된 램프에서는 높은 광속 유지율을 달성할 수 없기 때문에 희토류 금속이 부활된 적색, 녹색, 청색의 고품질 3파장 형광체를 채용하였다.

동일한 형광체 혼합비율에서 관경의 변화에 따라 램프의 광원색이 다르다. 따라서 T5 램프에

적합한 형광체의 배합 기술을 개발하여 적용해야 한다.

3) 형광체 표면처리 기술 및 수용성 바인더 적용 형광체 코팅기술

형광체 표면에 자외선에 안정한 2성분계의 초미립자의 복합 금속 산화물 코팅기술을 활용하여 형광체의 표면 개질시킴으로서 형광체의 자외선 열화특성을 향상시킴과 동시에 형광체 자체의 수은 흡착을 최대한 억제하여 수명말기까지 높은 광속을 유지할 수 있도록 하였다. 당사에서 현재까지 이 기술을 이용하여 램프를 만들어 2000시간 경과시의 광속유지율을 측정한 결과 96[%]로 매우 높게 나타났다.

그리고 형광체 도포시에 사용되는 바인더를 현재의 유기용매인 Butyl Acetate와 Nitro Cellulose에서 물과 수용성 수지로 대체하면서 결착제로 산화 알미늄을 사용하여 광속 유지율을 향상시킴과 동시에 환경 친화적인 측면을 고려하였다.

4) 관벽온도 상승에 의한 발광효율 저하대책 및 주위온도 특성의 최적화

형광램프는 소량의 수은을 봉입하고 있고 최대의 효율을 달성할 수 있는 수은 증기압은 6×10^{-3} Torr이며, 이때의 램프 관벽온도는 40[℃]일 때이다. 그러나 관경이 세관화되면 관벽부하가 커지고 램프의 관벽온도가 상승하여 수은 증기압은 최적치를 넘게되므로 발광효율이 저하하게 된다. 그리고 일반 형광램프는 주위온도 25[℃]일 때 최대 효율을 나타낸다. 그러나 T5램프는 기구내 주위온도 35[℃]에서 최대의 광속을 내도록 전극의 Stem 부에 Cold Chamber라는 특수한 구조로 램프를 설계하고 있다. 이 구조는 전극의 구조가 +측과 -측의 길이의 차이가 있다. 즉 -측 전극이 +측 전극보다 10[㎜]정도 길다. 이것이 최냉부의 역할을 한다.(Cold Chamber)

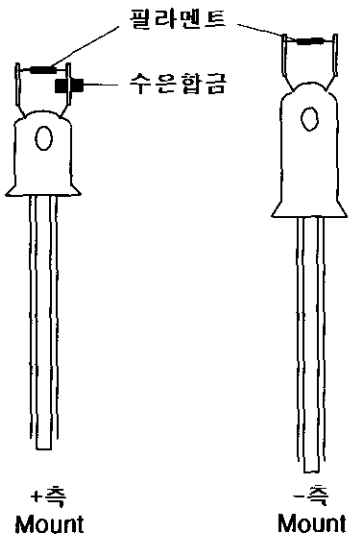


그림 2. T-5용 전극의 구조

5) 봉입가스의 선택 및 최적 봉입가스의 설계

형광램프에 있어서 봉입가스의 종류는 Neon, Argon, Kripton, Xenon 등의 불활성가스가 램프의 종별에 따라 사용된다. 각 가스는 서로 다른 방전특성을 나타내고 봉입가스압에 의해서도 영향을 받는다. 절전화와 고효율, 장수명의 T5 형광램프에는 최적의 봉입가스 혼합 비율과 봉입가스압을 설정해야 한다.

6) 저수은 봉입기술의 개발

형광램프의 수은 봉입 방법은 액상 수은 주입법, 수은 합금법, 수은 캡슐법, 아말감법 등이 있다. 일반적으로는 액상 수은 주입법을 가장 많이 채용하고 있다. 액상 수은 주입법의 단점은 봉입수은량의 편차가 5~40[㎎]으로 커서 필요한 양만큼 수은 주입이 곤란하다. 필요이상으로 봉입된 수은은 광속 유지율에 악영향을 주고 높은 광속 유지율을 달성하기가 힘들다. 따라서 T5램프에 적합한 저수은 봉입기술을 개발해야 한다.

본 연구에서는 수은 봉입방법으로서 액상 수은을 그대로 주입하는 것은 10[㎎]이하(직경 약 1[㎜])로 주입하기 어렵기 때문에 수은을 고체상의 아말감을 형성하고 그 입자를 관내에 봉입시키는 특수구조의 아말감 주입장치를 개발하여 형광등으로부터 발생하는 수은의 환

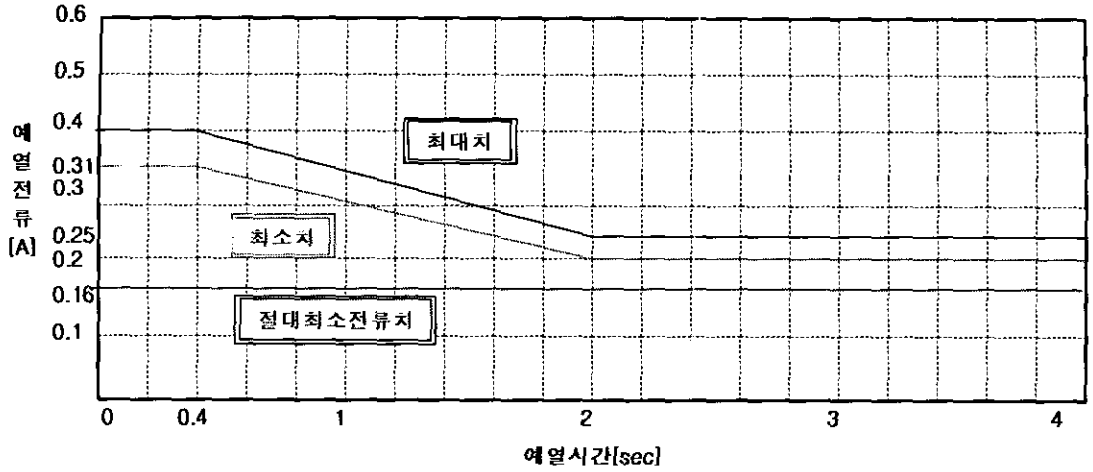


그림 3. 시동시 예열조건

경오염을 방지하고 과잉수은의 형광체 흡착을 방지함으로써 광속 및 광속유지율의 향상이 가능하게 되었다.

4. 전용 전자 안정기 설계정보

4.1 T-5 직관 형광램프용 안정기

1) 램프의 시동 특성

일반 형광램프와 같이 T-5 직관램프에는 충분히 예열하면 램프의 방전개시에 필요한 열전자를 방출하는 전자방사물질(Emitter)이 방출한다. 적절한 시동조건으로서는 램프로의 인가전압을 램프가 방전개시하는 값까지 상승시키기전에 전극을 충분한 온도까지 예열해야한다.

2) 시동시 예열조건(그림 3번 참조)

전류제어 예열방식의 경우 T-5 램프는 전극시동시의 예열시간에 대한 예열전류의 최소치 및 최대치를 아래그림에 나타냈다. FHF14, FHF21, FHF28 및 FHF35 모든 램프는 이 범위에서 제어할 필요가 있다.

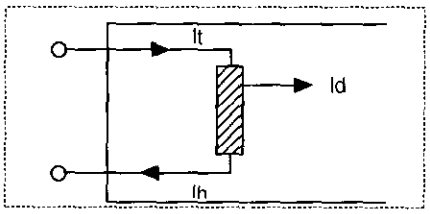
① 0.4sec 이하의 예열시간은 바람직하지 않다.

② 예열전류가 최소치 말단에는 램프시동이 불안정하게 되기도하고 전극이 충분히 열을 받지않아 시동시의 전극의 소모가 심하고 단수명의 원인이 된다.

③ 예열전류가 최대치를 초과하면 전극이 필요이상으로 가열되어 관단흑화와 단수명의 원인이 된다.

3) 안정점등시의 LEAD선 전류

양호한 점등상태를 유지하기 위해서는 점등중의 Lamp의 Emitter를 적정한 온도를 유지해야한다. T-5 램프는 방전전류가 적합하게 설계되어있다.



Id : 방전전류(램프전류)
Ih : 전극가열전류
It : Lead 선에서의 합성전류
(It = Id + Ih)

그림 4.

전극가열전류는 Zero가 이상적이지만 이를 놀리는 경우에는 전극 Spot온도의 상승을 방지하기위해 전극가열전류(Ih) 및 Lead선에서의 합성전류(It)를 아래표의 범위내에서 설정하는 것이 바람직하다.

표 1. 점등 MODE별 정격 전류

점등 MODE	Id[A]	Ih[A]	It[A]
정 격 점 등	0.13 ~ 0.22	0.16이하	0.140<It<0.250

① 표외값은 모두 실효치이다.

② 이값의 범위에 있어도 어느 주기에서 유지기간을 갖고 계속적으로 높은 Peak를 갖는 경우에는 조기흑화와 단수명의 원인이 된다.

③ 전극가열전류(Ih), Lead선의 합성전류(It)가 위표 중의 값을 넘는 경우에는 조기흑화와 단수명의 원인이 된다.

4) 시동전후의 인가전압

아래표에 각램프의 시동전후에 필요한 인가전압을 나타내고 있다. 이 인가 전압은 Inverter의 개방회로 전압을 설정하는 목표가 된다.

표 2. 램프별 시동전후 인가전압

종 별	인 가 전 압 실 효 치 [V]	
	예열이 불충분할 경우	정 상 시 동 시
FHF 14	130이하	230 이상 (+10[℃]일때)
		275 이상 (-15[℃]일때)
FHF 21	200이하	360 이상 (+10[℃]일때)
		390 이상 (15[℃]일때)
FHF 28	240이하	425 이상 (+10[℃]일때)
		530 이상 (-15[℃]일때)
FHF 35	275이하	530 이상 (+10[℃]일때)
		700 이상 (-15[℃]일때)

5) 설계 상세(표 3) 참조

4.2 T-5 환형 형광램프용 안정기

1) 램프의 시동 특성

일반 형광램프와 같이 T-5 직관램프에는 충분히 예열하면 램프의 방전개시에 필요한 열전자를 방출하는 전자방사물질(Emitter)이 방출한다. 적절한 시동조건으로서는 램프로의 인가전압을 램프가 방전개시하는 값까지 상승시키기전에 전극을 충분한 온도까지 예열해야한다.

2) 시동시 예열조건

전류제어 예열방식의 경우 T-5 램프는 전극시동시의 예열시간에 대한 예열전류의 최소치 및 최대치를 아래그림에 나타냈다. FHC20, FHC27 및 FHC34 모든 램프는 이 범위에서 제어할 필요가 있다.

① 0.4sec 이하의 예열시간은 바람직하지 않다.

② 예열전류가 최소치 말단에는 램프시동이 불안정하게 되기도하고 전극이 충분히 열을 받지않아 시동시의 전극의 소모가 심하고 단수명의 원인이 된다.

③ 예열전류가 최대치를 초과하면 전극이 필요이상으로 가열되어 관단흑화와 단수명의 원인이 된다.

표 3. 설계 상세표

항 목			FHF14ST	FHF21ST	FHF28ST	FHF35ST
주 파 수 [kHz]			20이상	20이상	20이상	20이상
안정점등시 각 Lead선에서의 최대전류 [mA]			250	250	250	250
램프 동작전류 범위 [mA]			130~220	130~220	130~220	130~220
예열조건의 설정	전자방출을 위한 최소 예열전류 ($I_k=(a/te+Im^2)$)	음극정수 (a)	0.03	0.03	0.03	0.03
		상대최소전류 Im [A]	0.16	0.16	0.16	0.16
	최대예열전류 [A]	t≤0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
		0.4<t<2.0	0.440 ~ 0.095t	0.440 ~ 0.095t	0.440 ~ 0.095t	0.440 ~ 0.095t
		t≥2.0	0.25	0.25	0.25	0.25
시동전후의 인가전압 [V]		t≤te (최대)	130	200	240	275
		t>te(+10℃)최소	230	340	425	530
		t>te(-15℃)최소	275	390	530	700
각 전극 대체 의사저항 [Ω]			40	40	40	40

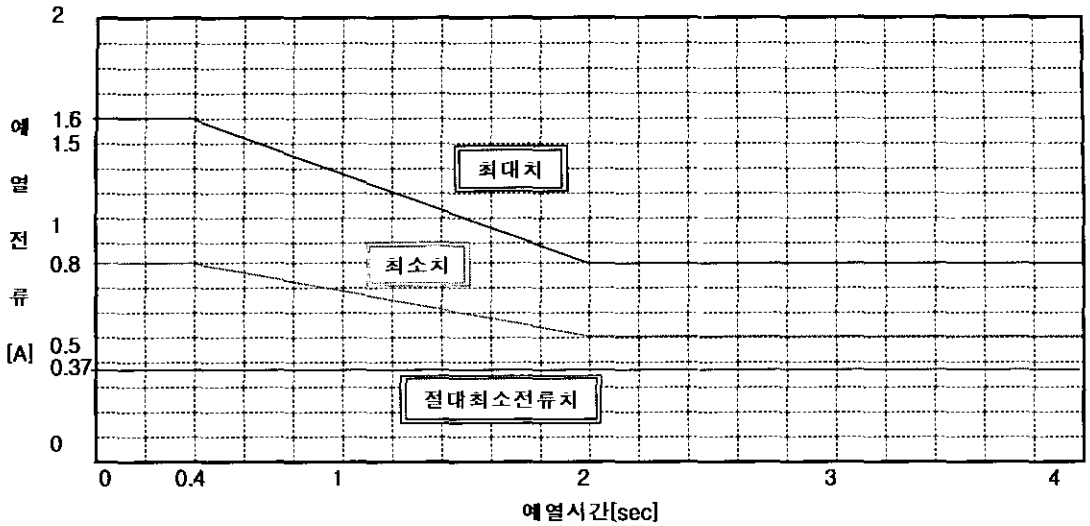


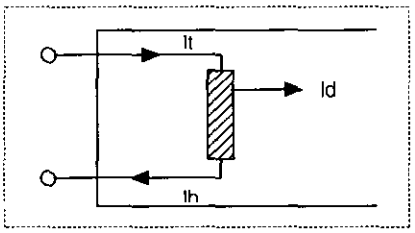
그림 4. T-5램프 전극시동 예열시간에 대한 예열전류

④ 램프의 전극 대신에 의사저항(각각 9.5Ω)을 이용하여 정할수도 있다.

3) 안정점등시의 LEAD선 전류

양호한 점등상태를 유지하기 위해서는 점등중의 Lamp의 Emitter를 적정한 온도를 유지해야한다. T-5 램프는 방전전류가 적합하게 설계되어있다.

전극가열전류는 Zero가 이상적이지만 이를 늘리는 경우에는 전극 Spot온도의 상승을 방지하기위해 전극가열전류(Ih) 및 Lead선에서의 합성전류(It)를 아래표의 범위내에서 설정하는 것이 바람직하다.



Id : 방전전류(램프전류)
Ih : 전극가열전류
It : Lead 선에서의 합성전류
(It = Id + Ih)

그림 5. 시동전후의 인가전압

표 4. 합성전류 제한치

점등 MODE	Id[A]	Ih[A]	It[A]
정 격 점 등	0.23	0.40이하	0.63이하

① 표의 값은 모두 실효치이다.

② 이값의 범위에 있어도 어느 주기에서 유지기간을 갖고 계속적으로 높은 Peak를 갖는 경우에는 조기흑화와 단수명의 원인이 된다.

③ 전극가열전류(Ih), Lead선의 합성전류(It)가 위 표 중의 값을 넘는 경우에는 조기흑화와 단수명의 원인이 된다.

4) 시동전후의 인가전압

아래표에 각램프의 시동전후에 필요한 인가전압을 나타내고 있다. 이 인가 전압은 Inverter의 개방회로전압을 설정하는 목표가 된다.

표 5. 방전전류의 Diagram

종 별	인가전압실효치 [V]	
	예열이 불충분한 경우	정상시 동시
FHC 20	180이하	450이상
FHC 21	200이하	450이상
FHC 28	215이하	500이상

주) 인가전압의 조건
① 정현파전압
② 주파수 45[kHz]
③ 주변온도 : 5~40[℃]

5) 설계 상세

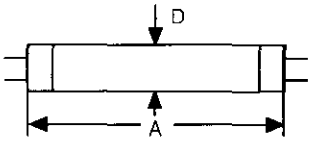
표 6. 설계 상세

항목			FHC20ST	FHC27ST	FHC34ST
주 파 수 [kHz]			40이상	40이상	40이상
안정점등시 각 Lead선에서의 최대전류 [A]			0.63	0.63	0.63
예열조건의 설정	전자방출을 위한 최소 예열전류 ($Ik=(a/te+Im^2$)	음극정수 (a)	0.220	0.220	0.220
		상대최소전류 Im [A]	0.370	0.370	0.370
	최대예열전류 [A]	t≤0.4	1.6	1.6	1.6
		0.4<t<2.0	1.8~0.5t	1.8~0.5t	1.8~0.5t
		t≥2.0	0.8	0.8	0.8
시동전후의 인가전압 [V]		t≤te	≤180	≤200	≤215
		t>te	≥450	≥450	≥500
각 전극 대체 의사저항 [Ω]		0.4<t<0.8	10	10	10
		0.8≤t	7	7	7

5. T-5 직관 램프의 치수 및 특성(KS규격)

1) 치수 및 Base

표 5. 규격별 램프치수

Figure	종 별	크기의 구분	치 수 [mm]		Base
			A	D	
	FHF14ST	14	549.0±1.5	15.5±0.6	G5
	FHF16ST	16	580.0±1.5	15.5±0.6	G5
	FHF21ST	21	849.0±1.5	15.5±0.6	G5
	FHF28ST	28	1149.0±1.5	15.5±0.6	G5
	FHF32ST	32	1198.0±1.5	15.5±0.6	G5
	FHF35ST	35	1449.0±1.5	15.5±0.6	G5

2) 특성

표 6. 전기적인 특성 및 광특성

종 별	크기의 구분	정격 램프 전력 [W]	음극전류 (7.0V에서)	시동시험에 의한 예열전압 [V]	정격 입력 전압 [V]	시동 시험 전압 [V]	초특성						광속 유지율 [%]	(참고) 수명 [h]
							램프 전력 [W]	램프 전류 [A]	램프전압 (참고값) [V]	전광속 EX-D [lm]	전광속 EX-N [lm]	전광속 EX-WL [lm]		
FHF14ST	14	14	0.210이하	6.0	167	230	13.7	0.170±0.01	82	1100	1180	1250	80이상	8000이상
FHF16ST	16	16	0.210이하	6.0	188	220	15.8	0.170±0.01	95	1280	1330	1350	80이상	8000이상
FHF21ST	21	21	0.210이하	6.0	246	350	20.7	0.170±0.01	123	1910	2060	2100	80이상	8000이상
FHF28ST	28	28	0.210이하	6.0	329	375	27.8	0.170±0.017	167	2570	2730	2790	80이상	8000이상
FHF32ST	32	32	0.210이하	6.0	374	430	31.7	0.170±0.017	190	3020	3200	3300	80이상	8000이상
FHF35ST	35	35	0.210이하	6.0	413	450	34.7	0.170±0.017	209	3360	3550	3660	80이상	8000이상

주) 상기값은 최소값만을 규정하는 KS기준치이므로 제품의 실제 특성은 이보다 상당히 높은 값임.

6. T-5 환형 형광램프의 치수 및 특성 (참고치)

1) 구조 및 치수

발광효율을 높이기 위해 FHC20은 종래의 FCL30/28과 FHC27은 종래의 FCL32/30과 FHC34는 종래의 FCL40/38과 각각 환외경치수를 일치시키고 관중심의 직경을 크게하므로써 방전길이를 길게하였다. BASE는 종래의 환형형광램프용과 HOLDER 부분이 동일하다(G10[g]).

표 7. 램프치수

종 별	관경[㎜]	환 경[㎜]		베이스
		내 경	외 경	
FHC20	16.5±1.5	192±5	225±5	G10[g]
FHC27	16.5±1.5	266±6	299±6	G10[g]
FHC34	16.5±1.5	340±6	375±6	G10[g]

2) 전기적 특성 및 전광속

표 8.

(광원색 EX-D)

항 목	규 격	FHC20[W]	FHC27[W]	FHC34[W]
정격점등특성	램프전력[W]	19.9	27.4	35.0
	램프전류[mA]	223.2	233.4	239.7
	램프전압[V]	90.0	118.4	148.7
	광속[lm]	1589	2302	2974
	효율[lm/W]	80	88	85
	색온도[K]	6500	6490	6510
	평균연색평가수[Ra]	85	86	85
	수명[Hrs]	9,000	9,000	9,000
고출력점등특성	램프전력[W]	28.2	37.9	48.1
	램프전류[mA]	440	432	435
	램프전압[V]	67	88	116
	광속[lm]	2087	2842	3704
	효율[lm/W]	74	75	77
	색온도[K]	6450	6480	6510
	평균연색평가수[Ra]	85	86	85
	수명[Hrs]	9,000	9,000	9,000

① 색온도, 평균연색평가수는 3파장 주광색(EX-D) 기준임.

② 3파장 주광색(EX-D), 주백색(EX-N), 백색(EX-W)도 가능.

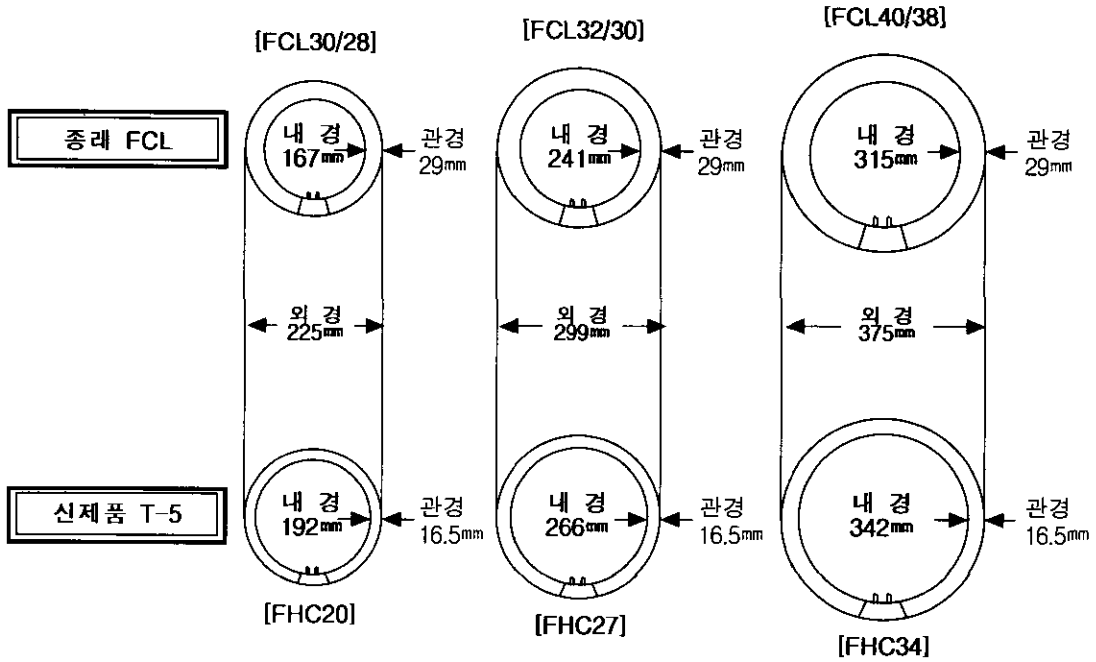


그림 6. 기존제품과의 치수 비교

7. 결 론

앞에서 설명한 바와 같이 T-5램프는 에너지 절감 및 환경보호에 획기적으로 기여할 것으로 보인다.

현재 산업자원부의 에너지 절감 정책등에 따른 고효율 조명기기의 보급활성화를 위한 제도적 여건이 조성되고 있고, 미래사회는 지구 온난화와 대기오염 등의 환경문제가 크게 대두되고 조명의 질적인 측면이 중시될 것으로 예상되기 때문에 현재 고효율 조명기기로서 보급에 주력하고 있는 T-8램프의 과감한 정책적인 지원과 향후 2002이후에는 T5램프의 보급 확대도 병행되어 활성화시켜야 된다고 생각된다.

T-5램프는 기존의 등기구나 안정기와 조합하여 사용할 수 없고 (일부 호환가능)전용의전자안정기 등 기구와 함께 사용되어야하므로 보급초기에는 기존건물의 사용보다는 신규건물의 수요가 대부분일 것으로 예상되며 에너지의 수요관리 차원에서 보급확대를 위한 프로그램 개발이나 홍보 또는 적극적인 보급 지원방안의 수립이 필요하다고 생각된다.

◇ 著 者 紹 介 ◇

박 성 목 (朴性穆)

1955년 12월 5일생. 중앙대학교 전기공학과 졸업. 현재 금호전기(주) 기술부장.