

반사율 및 램프크기에 따른 조명기구 효율 변화

(Efficiency variation of the luminaires as reflectance and lamp diameter change)

황 재산 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정
 윤 미림 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정
 진 상규 영동전문대학 전기과 교수
 김 훈 강원대학교 전기전자공학부 교수

요 약

일반적으로 반사판의 반사율이 변화하거나, 사용하는 램프의 크기가 변화하면, 동일형상의 조명기구에서도 기구 효율이 변화하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이와 같은 기구 효율변화가 어느 정도인지 알아내기 위하여, 형광등 기구의 확산 반사판과 경면 반사판의 반사율 변화와, 직관형형광램프의 직경 변화에 따른 기구효율 변화를 시뮬레이션을 통하여 계산하여 보았다. 계산 결과 반사판의 반사율이 상승함에 따라, 그리고 램프 관직경이 감소함에 따라 기구 효율이 상승하며, 이를 이용하여 큰 에너지 절감을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

현재 에너지 자원의 고갈과 에너지 생성과정에서 발생하는 환경문제로 인하여 에너지 절약에 대한 관심이 증가하고 있으며, 전체 에너지 소비의 약 20%를 차지하는 조명분야에서도 에너지 절감이 필수적이다.

반사판의 반사율과 직경이 기구 효율에 영향을 준다는 것은 이미 알려져 있는 사실이지만, 아직까지 구체적인 기준이나 효율향상의 정도가 수치로 제시되지는 않았다.

적절한 반사율의 반사판 선정을 위한 기준을 제시하고, 작은 관경의 형광등 개발로 에너지 절감이 된다는 사실을 입증하기 위하여 반사판의 반사율과 관직경에 따른 효율 변화에 대해 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 직관형 형광등기구의 확산

반사판과 경면 반사판의 반사율 변화와 램프 직경 변화에 따른 기구효율 변화를 시뮬레이션 하였다.

2. 이론

2.1 기구효율

대상을 비교하기 위한 조명기구의 기구효율은 다음과 같이 나타나게 된다.

$$\text{기구효율} = \frac{\text{조명기구출력광속}}{\text{총램프광속}} \quad (2.1)$$

또한 기구에서의 출력광속은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{조명기구 출력광속} &= \text{직사 광속} + \text{반사광속}_1 \times \rho \\ &+ \text{반사광속}_2 \times \rho^2 \\ &+ \text{반사광속}_3 \times \rho^3 + \dots \end{aligned} \quad (2.2)$$

ρ 는 반사율
반사광속₁= 1번 반사되어 기구 밖으로 나가는 광속
반사광속₂= 2번 반사되어 기구 밖으로 나가는 광속
반사광속₃= 3번 반사되어 기구 밖으로 나가는 광속

위의 식(2.1)과 식(2.2)를 바탕으로 여러 가지 기구 효율의 추정방법이 제시되고 있으나, 시간적으로나 경제적으로 유리하며, 그 정확도가 인증된 조명기구용 배광 예측 소프트웨어인 포토피아의 시뮬레이션을 통하여 기구효율과 배광을 계산 하였다.

2.2 Photopia의 구성과 계산 원리

본 논문에서 사용된 Photopia는 조명기구의 광학적 성능을 예측하기 위해 설계된 3D raytrace 프로그램이다.

raytrace 라는 것은 램프에서 나온 빛을 각각의 광선으로 모델화하여 그 광선들의 궤적을 추적하는 것이다.

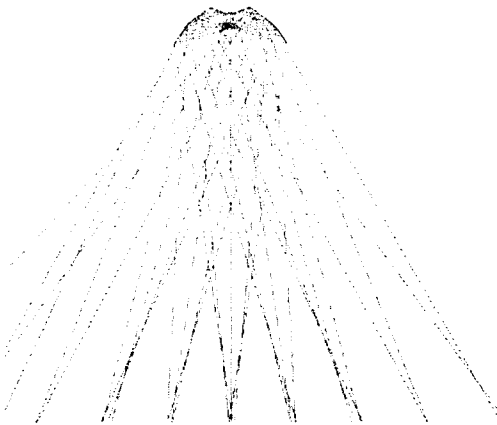


그림 2.1 raytrace 의 진행도
Fig 2.1 Process of Raytrace

Photopia 에서는 램프에서 빛이 방사하여 나오는 경로를 추적함으로써 직사광과 반사판, 램프, 루버 등의 다른 대상을 만나 반사와 굴절을 거쳐 나오는 반사광의 방향 및 크기를 계산한다. 반사나 굴절을 통하여 결국에는 조명기구 밖으로 나오는 빛도 있으며, 흡수

되어 나오지 못하는 빛도 있다.

조명기구 밖으로 나온 빛의 양과 램프가 방사한 빛의 양에 대한 비로서 조명기구 효율이 구해진다.

조명기구 밖으로 나온 빛은 자신의 방향으로 진행하여 관측점에 도달하게 되고, 관측점에 도달한 빛의 양은 특정방향의 광도를 나타낸다. 이러한 값들을 연결하여 배광곡선, IES 파일 등이 만들어진다.

3. 기구효율의 계산

램프와 반사판의 반사율은 실제로 사용되고 있는 것을 채택하였으며, 램프는 T5(28W, 2900lm, Philips, F28/T5), T8(32W, 2900lm, Osram Sylvania FO32/31K), T10(40W, 3400lm, Philips, F40T10), T12(40W, 3150lm, General-Electric, F40CW)이다. 직경은 각각 16mm, 26mm, 32mm, 38mm에 해당한다.

반사판은 크게 확산 반사판과 경면 반사판으로 구분되고, 확산 반사판은 그 재질이 완전 확산면으로 반사율은 60%, 70%, 80%, 90% 로 하였으며, 경면 반사판은 specular aluminum 86% 와 95%로 하였다.

조명기구는 모두 trough 형태이고, 램프 직경과 반사율의 변화에 따른 기구 효율을 이용하여 조명기구 발광효율을 다음과 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{조명기구 발광 효율} [lm/W] \\ &= \frac{\text{기구 효율} \times \text{램프총광속}}{\text{램프전력}} \end{aligned} \quad (3.1)$$

과 같이 된다.

3.1 확산 조명기구A

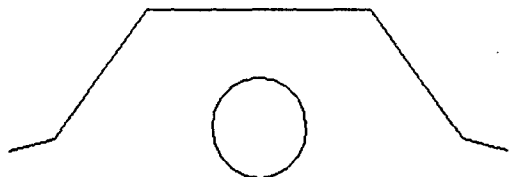


그림 3.1 확산 조명기구A의 단면도
Fig 3.1 A cross-section of diffuse luminaire A

이 조명기구는 국내의 A사에서 사용하고 있는 1등용의 매입형 조명기구이고, 이하의 단면도에 들어가 있는 램프는 T8램프이다.

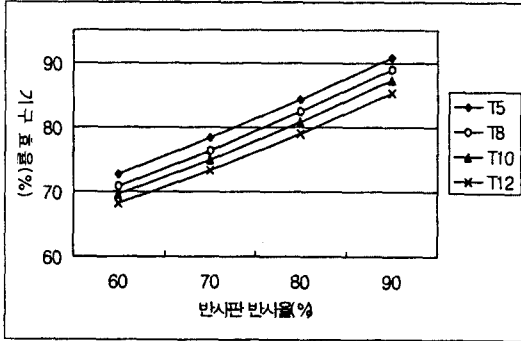


그림 3.2 확산 조명기구A의 반사율, 램프 직경, 효율과의 관계

Fig 3.2 Relation of reflectance, lamp diameter and efficiency of diffuse luminaire A

램프의 환경(T5-T8-T10-T12)을 변화시키면, 각 단계당 1.3-2%의 효율 변화가 있으며, 또 환경을 일정하게 유지시키면서, 등기구의 반사율을 10%씩 증가시켰을 경우는, 5.2-6.2%의 효율상승이 있었다. 이러한 변화의 정도는 저직경과 고반사율로 갈수록 조금씩 심해진다. 이 변화는 확산 등기구B에 비하여 작는데 이는 램프를 둘러싸고 있는 반사판의 크기가 상대적으로 작아서 반사율의 변화의 영향이 상대적으로 작기 때문이다.

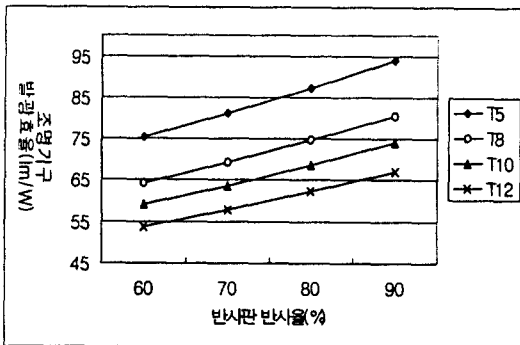


그림 3.3 확산 조명기구A의 반사율, 램프 직경과 발광효율의 관계

Fig. 3.3 Relation of reflectance, lamp diameter and luminaire efficacy of duffuse luminaire A

발광효율에 대한 비교에서는 환경의 변화에 대해 5.1-7lm/W이나 T8에서 T5로 교체 하였을 경우는 11.1-13.6lm/W의 발광효율 상승을 나타내며 반사율 10% 변화에 대해서는 4.1-6.7 lm/W의 발광효율차를 나타낸다. 이 결과는 조명기구 효율과 램프의 발광효율을 모두 포함하기 때문에 T8에서 T5로의 변화시 발광효율 상승이 크게 나타나게 된다.

여기서도 저직경, 고반사율로 갈수록 발광효율 상승의 정도는 증가하게 된다.

3.2 확산 조명기구B

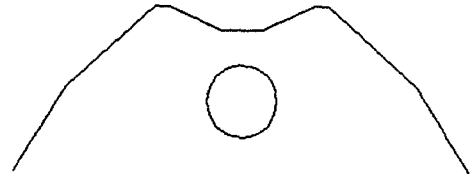


그림 3.4 확산 조명기구B 단면도

Fig. 3.4 A cross section of diffuse luminaire B

이 조명기구는 해외 B사에서 사무실 전반조명 용도로 사용하고 있는 매입형기구의 반사판이다.

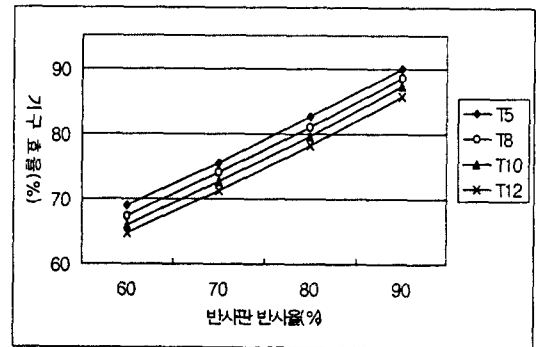


그림 3.5 확산 조명기구B의 반사율, 램프 직경, 효율과의 관계

Fig 3.5 Relation of reflectance, lamp diameter and efficiency of diffuse luminaire B

램프의 환경에 따라서는 각 단계당 1.3-1.6%의 효율 변화가 있으며, 반사율에 대해서는 6.5-7.6%의 효율변화가 있었다. 확산 등기구A보다 반사율에 따라 변

화가 심한데 반사판의 위치가 등기구 안쪽으로 들어가 반사광이 확산등기구A보다 많아 졌기 때문이다.

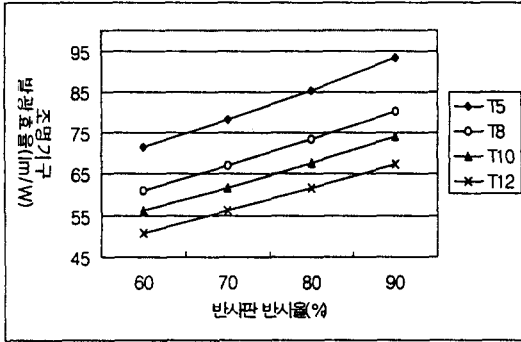


그림 3.6 확산 조명기구B의 반사율, 램프 직경과 발광효율의 관계
Fig. 3.6 Relation of reflectance, lamp diameter and luminaire efficacy of diffuse luminaire B

발광효율의 차이는 관경의 변화에 대해 5-6.2lm/W이나, T8에서 T5로 교체 하였을 경우는 10.4-12lm/W의 발광효율 상승을 나타내며, 반사율에 대해서는 각 단계당 5.2-7.7lm/W의 발광효율차를 나타낸다. 저직경, 고반사율로 갈수록 발광효율 상승의 정도는 조금 증가하게 된다.

3.3 경면 조명기구 A

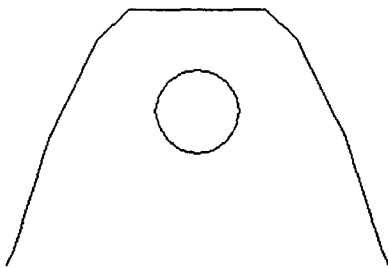


그림 3.7 경면 조명기구A의 단면도
Fig. 3.7 A cross section of specular luminaire A

이 조명기구는 해외 B사에서 사무실 전반조명 용도로 사용하고 있는 매입형기구의 반사판이다.

표 3.1 경면 조명기구A의 반사율, 램프 직경, 효율과의 관계

Table 3.1 Relation of reflectance, lamp diameter and efficiency of specular luminaire A

	T5	T8	T10	T12
86%	85.3	83.5	81.8	79.7
95%	93.7	92.1	90.6	88.7

램프의 관경의 변화에 의해서는 각 단계당 1.5-2.1%의 효율 변화가 있으며, 반사율의 9%변화에 대해서는 8.4-9%의 효율변화가 있었다. 이 값은 확산등기구A와 확산 등기구B 보다 높으며, 이것은 경면등기구A의 반사판 모양이 깊숙하여 반사광 비율이 높기 때문이다.

표 3.2 경면 조명기구A의 반사율, 램프 직경과 발광효율의 관계

Table 3.2 Relation of reflectance, lamp diameter and luminaire efficacy of specular luminaire A

	T5	T8	T10	T12
86%	88.3	75.7	69.5	62.8
95%	97.0	83.5	77.0	70.0

발광효율의 변화는 관경의 변화에 대해 6.1-7.2lm/W이나 T8에서 T5로 교체 하였을 경우는 12.7-13.6lm/W의 발광효율 상승을 나타내며, 반사율에 대해서는 각 단계당 7.1-8.7lm/W의 출력차를 나타낸다. 저직경, 고반사율로 갈수록 발광효율 증가치는 증가하게 된다.

3.4 경면 조명기구B

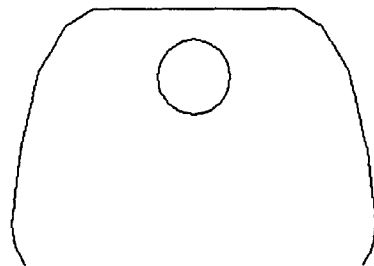


그림 3.8 경면 조명기구B의 단면도
Fig. 3.8 A cross section of specular luminaire B

표 3.3 경면 조명기구B의 반사율, 램프 직경, 효율과
의 관계

Table 3.3 Relation of reflectance, lamp diameter
and efficiency of specular luminaire B

	T5	T8	T10	T12
86%	83.8	82.5	81.4	80.2
95%	93.4	92.4	91.6	90.5

램프의 관경의 변화에 의해서는 각 단계당 0.8-1.3%의 효율 변화가 있으며, 이는 다른 조명기구에 비하여 변화의 폭이 작은 것이다. 그 이유는 잘 파악하기 어려우나 반사광이 램프로 재흡수되는 것을 막는 반사판의 형태에 기인한 것으로 짐작된다. 반사율의 변화에 대해서는 9.6-10.3%의 효율변화가 있었다.

표 3.4 경면 조명기구B의 반사율, 램프 직경과 발광
효율의 관계

Table 3.4 Relation of reflectance, lamp diameter
and luminaire efficacy of specular luminaire B

	T5	T8	T10	T12
86%	86.8	74.8	69.2	63.2
95%	96.7	83.7	77.9	71.3

발광효율과의 비교에서는 관경의 변화에 대해서 5.6-6.6lm/W이나 T8에서 T5로 교체 하였을 경우는 12-13lm/W의 효율상승을 나타내며, 반사율에 대해서는 각 단계당 8.1-9.9lm/W의 발광효율 차를 나타낸다.

3.5 배광의 변화

다음의 그림은 경면 조명기구A에서 T5램프와 반사율95%의 경우와 T12램프와 반사율 86%경우의 배광 곡선이다.

반사판의 반사율과 램프 관경의 변화에 따라 배광 곡선은 크게 변화하였고, 기구효율, 발광효율과 함께 조명률도 크게 변화한다. 따라서 사용되는 램프나 반사판에 무관하게 같은 조명률을 사용하고 있는 국내조명설계 관행은 시급히 개선되어야 할 것으로 생각된다. 투광기등의 다른 등기구에서도 큰 영향을 미칠 것

으로 예상된다.

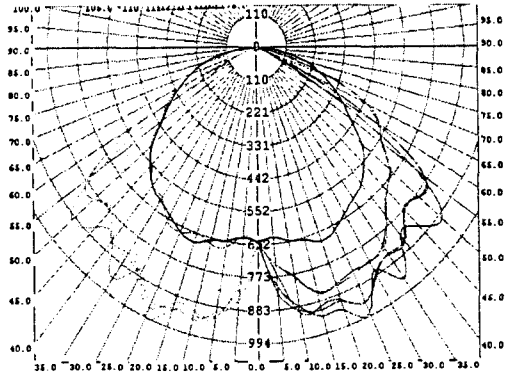


그림 3.9 T5, 반사율 95%를 사용한 경면 조명기구A의
배광곡선
Fig. 3.9 Polar intensity diagram of specular luminaire A
with T-5 lamp and reflectance 95%

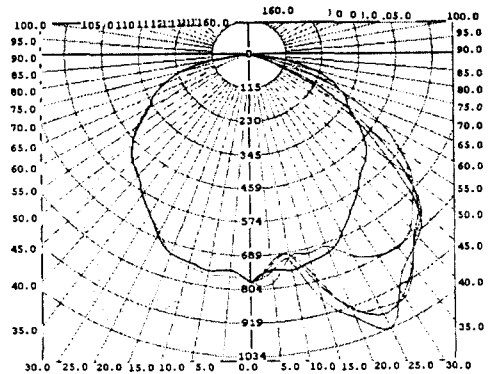


그림 3.10 T12, 반사율 86%를 사용한 경면 조명기구A의
배광곡선
Fig. 3.10 Polar intensity diagram of specular luminaire A
with T-12 lamp and reflectance 86%

4. 결론

반사판의 반사율과 램프 관경의 변화에 따라서 등기구 효율과 발광효율을 예측하였으며 결과는 다음과 같다.

- 1) 반사율과 기구효율과의 관계는 조명기구의 구조와 관련이 있으며

- ① 깊숙하지 않은 등기구의 경우 반사율 10%를 높일 경우 약 5-8%의 기구효율 향상이 있다.
 - ② 깊숙한 등기구의 경우는 반사율 10%를 높일 경우 약 8-11%의 기구효율 향상이 있다.
 - 2) 램프의 환경(T5-T8-T10-T12)이 한 단계 적어질 경우 대개 1-2%의 효율 향상이 있다.
 - 3) 반사율과 발광효율과의 관계는 조명기구의 구조와 관련이 있으며
 - ① 깊숙하지 않은 등기구의 경우 반사율 10%를 높일 경우 4-8lm/W의 발광효율 향상이 있으며, 이것은 낮은 반사율의 반사판을 사용한 것보다 약 7-10%의 효율 향상이 있는 것이다.
 - ② 깊숙한 등기구의 경우 반사율 10%를 높일 경우 7-10lm/W의 발광효율 향상이 있으며, 이것은 낮은 반사율의 반사판을 사용한 것보다 약 10-13%의 향상이 있는 것이다
 - 4) 램프환경(T5-T8-T10-T12)이 한단계 작은 것을 채택함으로써, 5-7lm/W의 발광효율 향상이 있고, 이것은 기존의 램프에 비해 7-10%의 향상을 의미한다. 특히 T8에서 T5로 교체할 때에는 10-14lm/W의 발광효율향상을 보이고, 이것은 기존의 램프사용보다 약 16-17%의 향상을 의미한다.
- 위의 조건 내에서 램프의 직경과 반사판의 반사율을 선택한다면, 저직경 램프와 고 반사율 반사판이 기구 효율에서는 최고 40%, 발광 효율에서는 최고 80%의 향상 효과를 가져오기도 한다. 따라서 에너지 절약 측면에서 저직경램프와 고반사율 반사판의 채택이 필요하다.