

수은-할로겐 램프 조합방식 삼파장 솔라뱅크 개발에 관한 연구

이재명·백상화[†]·박소진*

국방과학연구소, *충남대학교 화학공학과
(1999년 7월 19일 접수, 1999년 11월 12일 채택)

A Study on the Development of Three Wavelength Solar Bank by Mercury-Halogen Lamps Combination Method

Jae Myung Lee, Sang Hwa Baek[†], and So Jin Park*

Agency for Defense Development, Chungnam 357-900, Korea

*Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

(Received July 19, 1999; accepted November 12, 1999)

요약: 솔라 시뮬레이터의 핵심이라 말할 수 있는 삼파장 솔라뱅크를 산업용으로 상용화된 수은등과 할로겐 램프를 조합하여 개발하였다. 이 솔라뱅크는 하절기 태양 빛의 최대 복사조도값인 1120 W/m²과 각 파장영역에서의 복사조도 및 조사면적에 대한 복사조도의 $\pm 10\%$ 의 균일도 3가지를 동시에 만족하도록 고안되어졌다. 분광 복사조도의 측정을 위한 표준을 정하는 방법은 분광 복사휘도를 이용하였고, 측정된 분광 복사조도값을 토대로 솔라뱅크의 방향성, 입사거리, 램프간의 간격, 램프조합, 램프개수 등을 고려하여 완전한 삼파장 솔라뱅크를 구현하였다. 삼파장 솔라뱅크의 성능 검증을 위하여 색도실험과 열전이실험을 수행하였으며, 실험결과 삼파장 솔라뱅크가 산업용 적외선 램프뱅크보다 색차와 열전이현상의 견지에서 더 우수함을 알 수 있었다.

Abstract: We developed three-wavelength solar bank which is a very important part of the solar simulator with the commercial mercury lamps and projected halogen lamps. This was developed to satisfy simultaneously following three points: the $\pm 10\%$ uniformity of irradiance of the target area and irradiance in the each wave region and 1120 W/m² maximum irradiance of the solar in the summer. We used spectral radiance to determine the standard of the spectral irradiance and developed the perfect three-wavelength solar bank, considering of directionality, irradiance distance, interval both lamps, lamps combination and lamp numbers based on the measured spectral irradiance. To proof the capability of the three wavelength solar bank, We carefully analyzed color differences and heat transfer. As a result, we found that three wavelength solar bank was much better than commercial infrared lamp bank in terms of the color differences, heat transfer phenomena.

Keywords: three-wavelength lamp bank, mercury lamp, halogen lamp, S.C.R. control, ON-OFF control, irradiance, radianse

1. 서 론

환경시험은 피시험체에 자연환경과 유사한 모사된 환경조건을 가함으로써 실제 자연환경 하에서의 운용능력을 예측하고 지리적 난점으로 인하여 경험하지 못하는 자연환경을 모사 함으로써 피시험체에 대한 환경적응능력을 간접적으로 평가하는데 주목적이다.

따라서 자연환경과 가장 흡사한 환경조건을 만드는 작업이 환경시험에서는 선행되어야 한다. 이번에 개발한 삼파장 솔라뱅크는 하절기 일일 최대 복사조도에서 발하는 극한 온도조건들을 매우 안정적으로 모사할 수 있도록 개발되어졌다. 기존의 산업체에서 사용하고 있는 램프뱅크는 아크제는 램프를 장착하고 있으며, 이것은 국내에서는 염료나 기타 의류의 색바래 현상에 대한 분석[1,2]과 광학장비의 교정분야[3,4]에만 적용 가능하도록 복사조도값을 극히 작은 값으로 제한해 놓았으며 전량 독일이나 미국 등으로부터 수입에 의존하고 있는 실정이다. 또한 이와 같은 극소형 태양 빛 시뮬레이터는 대형 피시험체에 모사 빛을 방사하는 시뮬레이터와는 구조적 및 기술적으로 큰 차이가 있다. 이러한 문제점을 보완하고

자 국내에서는 적외선 램프를 장착한 램프뱅크를 수입하여 건자재나 차량에 대한 복합기후 실험을 수행하고 있으나, 적외선 램프뱅크는 소량의 가시광선과 다량의 열선인 적외선을 방사하는 불완전한 태양 빛 모사장치라고 말할 수 있다.

근래에 태양 빛을 모사 할 수 있는 대형램프에 대한 국내에서의 연구성과는 선박과 특수차량에 사용되는 제논등[5-8]을 언급할 수 있으나, 태양 빛이 갖는 삼파장 영역에서 복사조도값을 완전히 만족시키지 못하고 있으므로 피시험체에 대한 내구도시험과 복합내후도 시험용으로 부적합하다고 말할 수 있다. 국외에서는 미국 국방성 소속인 Aberdeen Test Center와 태양에너지를 연구하는 몇몇 대학과 독일과 일본 등의 램프개발연구소에서만 시험평가용 및 실험용으로 보유하고 있을 뿐이며 거의 아크제는 램프뱅크를 사용하고 있다[9,10]. 그러나 이러한 아크제는 램프뱅크는 복사조도를 일정하게 방사하는 안정성은 좋으나 조사면적이 제한되어 있고 램프뱅크에 장착되어 있는 아크제는 램프의 성능에 의해 각 파장별 복사조도값에 대한 편차가 심해지는 단점들[11,12]이 있으며 제작하는 기관마다 제작기술의 차이가 커서 재현성과 가격 등에 대한 문제점을 갖고 있다[6].

이번에 개발한 삼파장 솔라뱅크는 기존 산업체에서 사용중인 적외선 램프뱅크를 대체하고 위와 같은 문제점을 갖고 있는 아크제

[†] 주 저자 (e-mail: backsan@sunam.kreonet.re.kr)

논형 램프뱅크의 단점을 보완하고자 일반 상용화된 램프를 조합하여 개발하였다. 빛의 각 파장영역에서의 복사조도량은 산술적으로 합산된다는 적분성[13]에 착안하여 상용화된 수십 종류의 램프들의 복사조도값을 측정하고, 측정된 복사조도값을 토대로 빛의 균일도 및 전체 복사조도값을 조절하는 대칭성실험과 천정각실험을 수행하였다. 본 연구 결과에 대한 성능검증을 위하여 산업체에서 사용중인 적외선 램프뱅크와의 색도 및 온도전이비교실험을 수행하였다.

2. 이론적 배경

분광복사조도 $E_{e,\lambda}(W/m^3)$ 는 광원의 파장변화에 따라 분광분포의 정도를 나타내는 측정량으로 어떤 평면에서 단위면적당, 단위 파장폭당 입사되는 파장 λ 의 복사속 ϕ_λ (에너지)로 정의된다[3]. 전체 복사조도값은 분광복사조도값을 적분한 값으로 파장을 0.5~1 nm 단위로 세분하고 이 세분된 각 파장에서의 복사조도값을 측정후 파장영역별로 적분한다. 분광복사조도의 표준을 정하는 방법에는 크게 분광복사휘도를 표준근거로 하는 방법과 표준 광검출기에 근거한 기하학적 요소를 고려하는 두 가지 방법이 있다[9].

본 실험에서는 일반적으로 더 정확한 흑체를 근거로 하여 실현된 분광복사휘도를 표준으로 정하여 실험을 수행하였다. 분광복사조도 측정장치는 분광복사휘도에 관여하는 적분구와 분광복사조도에 관여하는 스펙트로라디오메타로 구성되어 있다. 분광복사휘도란 위치, 방향, 파장에 관계된 복사선속 분포를 기술하는 가장 기본이 되는 측정량으로 온도를 알고 있는 광원(흑체)의 표면에서 임의의 방향으로 단위 면적당 단위 입체각으로 방출되는 파장 λ 의 복사속 ϕ_λ (에너지)로 정의되며 단위는 W/m^2sr 이다. 흑체는 입사되는 복사광을 전부 흡수하는 성질을 갖고 있으며 반사와 투과를 하지 않는다. 복사이론에서 기본으로 사용되는 것이 흑체(black body)이다. 분광복사휘도를 표준으로 하는 장치는 적분구의 광원구경에서 방출하는 복사휘도와 스펙트로라디오메타의 수광구경에서 받는 복사조도의 기하학적 구조[9]를 이해함으로써 전체 복사조도값을 구할 수 있다.

2.1. 분광복사조도

분광복사휘도를 기준으로 분광복사조도를 계산하며, 적분구 구경상 어떤 점에서의 분광복사휘도 L_λ 에 의해 수광구경에서 형성되는 분광복사조도는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$E_\lambda = \int_{\omega} L_\lambda \cdot d\omega \tag{1}$$

ω 는 광원구경의 한 점과 수광구경에 의해 정의되는 입체각이며, 광원구경(aperture)에서 나와 수광구경으로 들어가는 분광복사속을 계산하기 위해서는 광원구경의 투영된 전면적에 걸쳐 적분을 해야 한다.

$$\Phi_\lambda = \int_A \int_{\omega} \cos \theta \cdot L_\lambda \cdot d\omega \cdot dA \tag{2}$$

θ 는 구경면적의 법선과 각 구경상의 한점을 연결하는 선과의 사이각이고, ϕ 는 azimuthal angle, x는 광원구경상의 수평위치이고, y는 광원구경상의 수직위치이다. 그 광원이 Lambertian이고 거의 균일하다면 $L_\lambda(\theta, \phi, x, y)$ 는 평균휘도 \bar{L}_λ 로 대체될 수 있어 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Phi_\lambda = \bar{L}_\lambda \int_A \int_{\omega} \cos \theta \cdot d\omega \cdot dx \cdot dy \tag{3}$$

$d\omega = \cos \theta / r^2 \cdot dx' \cdot dy'$ 이며 x', y' 은 수광구경의 한 점이고 r 은 점 x', y' 에서 점 x, y 까지의 거리이다. 따라서, 위 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Phi_\lambda = \bar{L}_\lambda \int_{ASA} \int_{ARA} \cos^2 \theta / r^2 \cdot dx' \cdot dy' \cdot dx \cdot dy \tag{4}$$

ASA는 광원구경의 면적이고, ARA는 수광구경의 면적이다. 광원구경과 수광구경이 모두 원형이고 동축을 갖고 있을 때의 위 식의 적분은 다음과 같다.

$$\Phi_\lambda = \bar{L}_\lambda \cdot \pi^2 / 2 \cdot [R^2 - (R^4 - 4r_1^2 \cdot r_2^2)^{1/2}] \quad (R^2 = d^2 + r_1^2 + r_2^2) \tag{5}$$

d 는 광원과 수광구경간의 수직거리이고 r_1 은 광원구경의 반지름, r_2 는 수광구경의 반지름이다. 보다 유용한 식으로 변경하면 다음과 같다.

$$\Phi_\lambda = \bar{L}_\lambda \cdot (\pi r_1^2) \cdot (\pi r_2^2) / R^2 \cdot [1 + \delta + 2 \cdot \delta^2 + 5 \cdot \delta^3] \tag{6}$$

δ 는 $(r_1^2 \cdot r_2^2) / R^4$ 이며, 최종 분광복사조도식은 다음과 같이 유도된다.

$$E_\lambda = \Phi_\lambda / ARA = \bar{L}_\lambda \cdot (\pi r_1^2) / R^2 \cdot [1 + \delta + 2 \cdot \delta^2 + 5 \cdot \delta^3] \tag{7}$$

측정된 적분구 광원과 각각의 텅스텐할로겐램프(working standard)에 의해서 생기는 분광분포 측정장치의 광신호를 비교하였고, 비교 교정된 텅스텐할로겐램프는 개발된 삼파장 솔라뱅크의 수은 등 57개, slide projector 램프 35개의 광원의 분광복사조도를 측정할 때 표준으로 사용하였다.

3. 실험 및 분석

3.1. 실험장치

Figure 1은 솔라뱅크의 분광복사조도 측정장치의 개략도로써 단색화장치, 광섬유다발 및 적분구[9]로 구성되어 있다.

Figure 1의 단색화장치는 SPECTRO 320D 이중 단색화장치로 2개의 회절격자와 2개의 광검출기가 설치되어 있어 파장영역 190~1700 nm에서 분광복사조도(spectral irradiance)를 측정할 수 있다.

파장의 정확도는 UV-VIS 영역에서 0.1, IR에서 0.2 nm이고 scan resolution은 각각 0.01과 0.02 nm이다. 4개의 ND필터(0,1,2,3)가 필터 wheel에 장착되어 빛의 세기에 따라 선택 사용가능하며, 8개의 slit도 slit wheel에 설치되어 파장폭을 VIS에서 0.07~5 nm 까지 임의로 선택할 수 있다. PMT의 인가전압수준을 4가지 중 택 일할 수 있고, 측정반복 횟수도 1~100회까지 가능하며, 광신호의 크기에 따라 적절한 반복횟수를 선택하므로 양호한 데이터를 얻을 수 있다. Scan time은 0.3~60 s/100 nm로 조정가능하며 scan

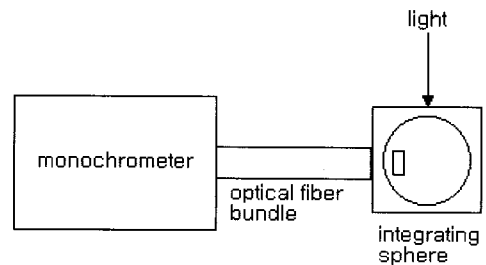


Figure 1. Schematic diagram of spectroradiometer.

HG(200W,220V,CHOIL)

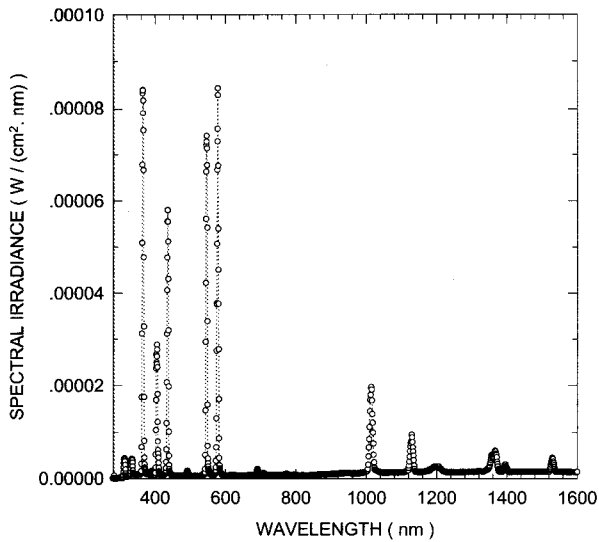


Figure 2. Spectral irradiance of Mercury Lamp (200 W, 220 V).

method fast 또는 standard mode중 택일하며 측정은 완전자동으로 이루어진다. 광섬유다발은 적분구에서 평균화된 빛을 단색화장치로 보내주는 역할을 하며, 이 다발이 유연성이 있어 잘 구부러지는 반면에 투과도는 거의 일정하므로 측정에 편리성을 제공한다. 이 다발은 파장영역에 따라 190~930 nm용과 800~1700 nm 용 두 가지가 있고, 길이는 각각 1.8 m와 2 m이다. 적분구는 가로 1.8, 세로 2.4 m의 면적에 걸쳐 고루게 분포되어 있는 약 100개의 수은등(200 W, 220 V) 및 slide projector용 램프에서 상당히 넓은 각도로 입사하는 빛을 완전히 받아들이고 평균화시켜 광섬유다발로 보내주는 역할을 하는 것으로서 지름이 5 cm이고 적분구 내벽은 BaSO₄ 페인트가 코팅되어 있다. 입사구(entrance aperture)의 지름은 7 mm이고 광섬유다발이 설치되어 있는 출사구(exit aperture)와 이루는 각도는 100도이다. 이 spectroradiometer의 교정을 위해 분광복사조도의 표준전구(F135)를 사용하였다. 표준전구의 단위는 W/(cm²·nm)이고 가시광 영역의 교정시 parameter 설정조건은 파장간격은 "0.5 nm", PMT전압은 "3", scan method는 "standard", scan speed는 "5s/100nm", 측정 반복횟수는 "5"로 하였다.

3.2. 수은등 분광복사조도값

수은등(200 W, 220 V)은 주로 일반 가로등으로 사용하는 램프로써 일반적으로 조도가 높지 않으므로 가시광선과 적외선의 영역의 복사조도값이 타 램프에 비교하여 높지 않다. 따라서 몇 가지 종류의 수은등을 주문 제작하였고, 그 중 자외선영역의 복사조도값이 1.5 m 거리에서 약 1.5 W/m²인 수은등을 선택하였다. 가시광선과 적외선의 복사조도값은 상대적으로 극히 작은 값을 나타내었으며, 수은등의 평균수명은 간접적인 방법으로 측정하였을 때 약 9000시간[8]정도이다.

Figure 2에는 파장영역별 분광복사조도값을 나타내었다. 그림에서 보듯이 파장영역 280~400 nm에서 일정한 분량의 복사조도를 나타내고 있다. 자외선영역에서의 분광복사조도의 적분값은 약 1.5 W/m²이며 요구치 68 W/m²를 만족하기 위해서는 약 45개의 수은등이 필요하나 실제 램프뱅크에 설치시 빛의 간섭현상과 손실율을 감안하였을 때 약 60개의 수은등이 필요할 것으로 판단하였고, 실제 램프뱅크 제작시에는 57개의 수은등을 사용하였다.

SLIDE PROJECTOR LAMP(OSRAM300W,110V)

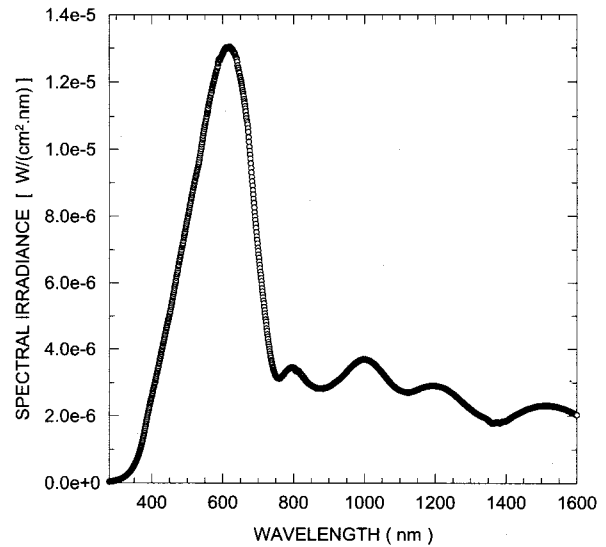


Figure 3. Project Halogen Lamp of OSRAM Co. (300 W, 110 V).

3.3. 할로겐 램프 분광복사조도값

오스람사의 할로겐 램프(300 W, 110 V, OSRAM)는 적외선의 양이 너무 많아 프로젝트를 램프 앞쪽 약 10 cm 간격을 두고 장착을 하고 분광복사조도를 측정하였다. 분광복사조도값은 가시광선대 적외선의 비가 약 5.5 대 4.5로 아주 만족스러운 값을 나타내었다.

S.C.R. 제어방식으로 제어되기 때문에 램프의 개수가 중요하며 가시광선 요구치 560 W/m²와 적외선 복사조도값 요구치 492 W/m²을 동시에 만족하기 위하여 수치적으로 약 30개 정도가 필요하며, 실제 램프와 램프간의 간섭과 약간의 손실율을 감안하고 가시광과 적외선의 비율을 맞추기 위하여 램프뱅크에는 35개의 램프가 설치되었다. 오스람사의 분광복사조도값에 대한 그래프는 Figure 3과 같다.

4. 램프뱅크의 설계

램프뱅크의 면적은 MIL-STD-810E 지침 요구사항에 피시험체 면적의 2배 이상이 되도록 하여야하고, 분광복사조도값이 조사면적에 ±10% 이내의 균일성을 갖도록 조사면적은 제한되어 있다.

램프뱅크의 크기는 가로가 3000 mm이고 세로가 2250 mm이다. 램프간의 간격은 125 mm이며 가장자리에는 실험용 목적과 조사면적을 향후 넓히기 위하여 삼성 메탈 할라이드 램프 37개를 설치해 놓았다. 램프들에 대한 배치는 램프의 지름, 길이, 전체 복사조도에서 차지하는 비중 등을 고려하여 수은등은 뱅크 외곽에 배치하고 할로겐은 뱅크 중심부에 배치하는 것을 원칙으로 하였다. 따라서 이러한 전체적인 배열기준을 정하고 각 램프들에 대한 복사조도값과 균일도 실험을 수행하였다. 램프뱅크 배열은 램프들에 대한 대칭성 실험 결과이다. 전체 복사조도값과 균일도를 만족시키기 위하여 수은등과 할로겐 램프에 대한 램프뱅크 배열 대칭성 실험을 실시하였다. 실제 실험결과 수은등은 전체 복사조도값에 차지하는 비중이 약 6%이고, 또한 자외선이 갖는 고유 특성상 균일도에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 실험을 통해 알았다. 즉 외곽에 배치되어 있는 수은등의 위치를 뱅크의 중심부로 혼합배열하지 않는 이상 균일도 편차에 큰 영향을 미치지 않음을 알았으며, 그러나 할로겐 램프들은 대칭성에 매우 민감하게 반응함을 실험을 통해 알았다.

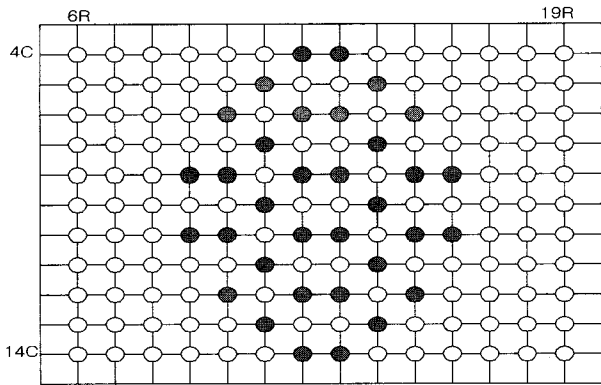


Figure 4. ◀▶ type Lamp Bank array from symmetrical experiment.

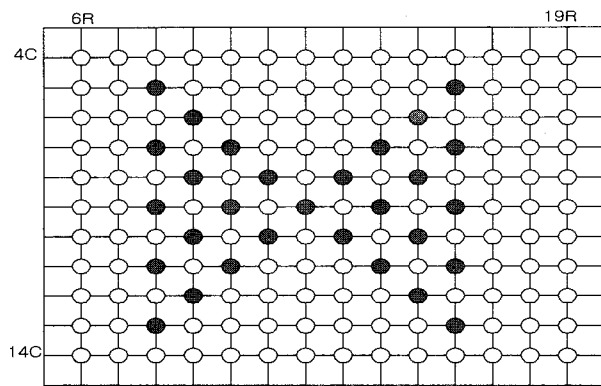


Figure 5. ▶▶ type Lamp Bank array from symmetrical experiment.

다. 대칭성 실험을 위한 램프뱅크에서의 할로겐 램프들의 배열은 Figure 4와 Figure 5와 같다.

위 Figure 4와 같이 할로겐 램프를 ◀▶인 마름모형으로 배치하였을 때 실험결과는 전체 복사조도값이 1040 W/m², 입사면적을 1000 × 1000(mm)를 기준으로 하였을 때 균일도는 ±15%였다. 이러한 배열은 원형에 가깝게 한 배열이지만 램프뱅크가 직사각형이기 때문에 후에 램프뱅크의 천정각을 변화시켰을 때 할로겐 램프간에 빛의 간섭이 문제가 예상되고, 장기간 시험시 중앙집중으로 인한 램프자체의 과열로 말미암아 열분산이 되지 않는 문제점을 안고 있다. 따라서 ▶▶형의 반대 모양인, 즉 Figure 5의 나비모양인 ▶▶형의 대칭성 실험을 하였다. 이 나비모양형은 천정각의 변화를 주었을 때 할로겐 램프간의 빛의 간섭을 줄일 수 있고 장기간 시험시 발생하는 열의 분산에 용이하다는 장점을 갖고 있다. 그리고 램프뱅크가 반구형이 아니고 직사각형일 경우 적합하다. 그러나, 가시광선과 적외선이 차지하는 복사조도값이 전체 복사조도값의 허용요구치에서 크게 미달하거나 균일도값이 너무 클 경우에는 적용하기가 힘들다. 그러나 실험결과, 복사조도값이 1010 W/m², 균일도가 16%가 나왔다. 마름모와 비교하였을 때 큰 차이가 없고 천정각의 변화를 통해 복사조도값과 균일도를 조절할 수 있으므로 나비모양의 배열을 선택하였다.

Figure 5의 램프뱅크는 9행 12열을 중심으로 배열한 것이다. 할로겐 램프들의 배열에 수은등을 조합한 최종 램프뱅크의 배열은 Figure 6과 같다. 수은등은 분광복사조도 측정 때의 개수 60개를 램프홀더에 장착하고 실험을 하였고, 최종 57개를 천정각 실험 후

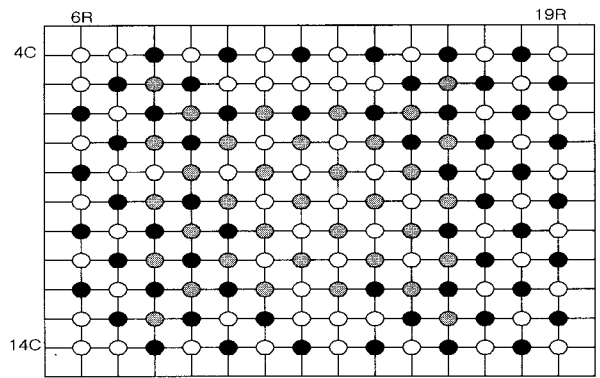


Figure 6. Completed Lamp Bank array (● mercury, ○ halogen).

Table 1. Irradiance and Uniformity Values from Zenith Angle

Zenith angle	Irradiance (W/m ²)	Uniformity (%)	Target area (mm)
15°	1110	±15	620 × 550
17.5°	1130	±12	480 × 520
20°	1170	±10	400 × 500
22.5°	1210	±14	380 × 470

균일도와 복사조도를 고려하여 장착하였다. 할로겐 램프는 복사조도량을 요구치에 만족시키기 위하여 (6,11), (6,13), (7,12), (11,12) (12,11), (12,13) 위치에 6개를 추가 장착하였다. 램프뱅크 중심부에는 오스람사 프로젝트 할로겐 램프 35개 채워져 있다. 램프뱅크는 Figure 6에서 보듯이 열방향으로 6열, 7열, 17열, 18열, 19열은 수은등으로, 나머지 8열에서 16열까지는 할로겐 램프와 수은등을 교대로 장착하였다. 그중 13열은 할로겐 램프만 장착하였다.

또한 램프들의 입사면적과의 거리를 일정하게 하고 균일도를 요구치에 만족시키고 복사조도량을 조절하기 위하여 시험조 천정의 수평방향에서 입사면적 안쪽으로 램프뱅크 전체를 약 20도 가량 타원형화 해 놓았다. 램프뱅크의 천정각에 따른 복사조도값, 균일도 및 조사면적은 다음 Table 1과 같다.

Table 1에서 천정각의 크기가 20°를 기준으로 하였을 때 작아질수록 균일도가 커지는 현상을 보이고 있다. 또한 22.5°로 커질 때 균일도가 커짐을 알 수 있다. 따라서 천정각이 20°일 때가 균일도와 복사조도값 1120 W/m²을 동시에 만족시키는 최적의 천정각임을 알 수 있다. 이론적으로 천정각이 커지면 균일도가 좋아지라는 생각은 각 램프의 필라멘트의 방향성, 램프간의 조사 간섭 등을 고려하였을 때 항상 옳은 것이 아니라는 것을 측정을 통해 알 수 있다.

전체 램프개수의 조절은 할로겐 램프를 전부 끈 상태에서 수은등의 총 복사조도값을 측정하였고, 측정하고 난 후에 요구치와 비교함으로써 수은등의 개수를 가감하였다. 그 다음으로 수은등을 전부 끄고 할로겐을 중심부와 수은등 사이사이에 달고 난 후 할로겐의 총 복사조도값을 측정하였고, 측정값과 요구치를 비교하고 개수를 가감하였다.

Figure 7은 최종 솔라뱅크의 TURN-OFF상태의 조합배열을 보여준다. Figure 8은 램프뱅크에서 복사조도값의 최대치인 1120 W/m²이 복사 방사되었을 때의 실물이다. 사람의 눈으로 시감할 수 있는 영역은 할로겐램프의 가시광선이며 엷은 보라색의 자외선을 방사하는 수은등은 선명히 보이지 않는다.

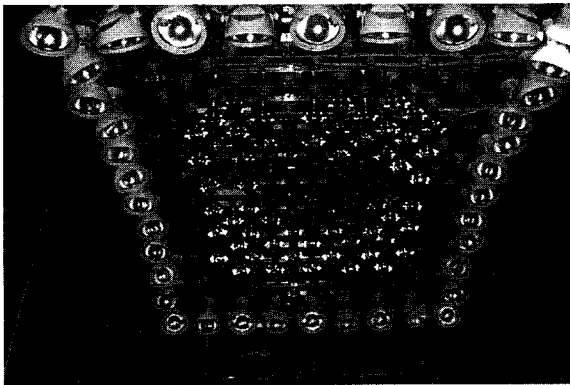


Figure 7. Lamp Bank (TURN OFF).

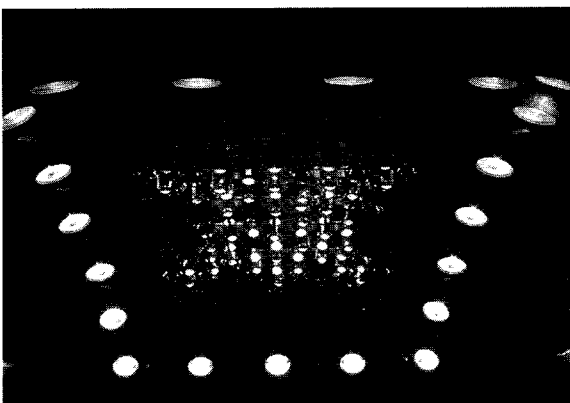


Figure 8. Lamp Bank (TURN ON).

Table 2. Completed Irradiance Values

Characteristics	Spectral region			
	Ultraviolet	Visible	Infrared	
Bandwidth (μm)	0.28~0.32	0.32~0.40	0.40~0.78	0.78~3.00
Irradiance (W/m ²)	3.93	69.6	539	561

5. 결과 및 고찰

삼파장 솔라뱅크의 최종 복사조도값은 다음 Table 2와 같다.

모든 파장 영역에서 오차 허용범위를 만족하였다. Table 2에서의 전체 복사조도값은 1174 W/m²이며, 이 값도 허용오차범위 ± 10% 범위(1008~1232 W/m²)를 만족하였다. 그리고 입사면적(target area)에 위 최대조사량이 10% 이내로 일정함을 확인하였다. 광원중앙으로부터 조사면적까지의 거리는 1640 mm이며, 조사면적은 500×400 mm이고, 전체 조명도(illuminance)는 162625 lux이다. 조사면적을 더 넓히는 데는 램프의 입사각, 방향, 거리, 기타 여러 가지 조건들을 동시에 만족시켜야 하는 어려운 작업이다. Figure 9에서는 삼파장 솔라뱅크의 분광복사조도 그래프를 나타내었다.

5.1. 색의 바렘현상 결과를 통한 삼파장 솔라뱅크 특성

색의 바렘현상을 실험하기 위하여 시편 재질을 알루미늄으로 한 것은 전도에 의한 시상수를 작게 하고 열용량이 적은 재질을 사용하기 위해서였고, 또한 태양에 노출될 수 있는 장비 중에는 통신장

ADD SOLAR SIMULATOR (ANS-9)

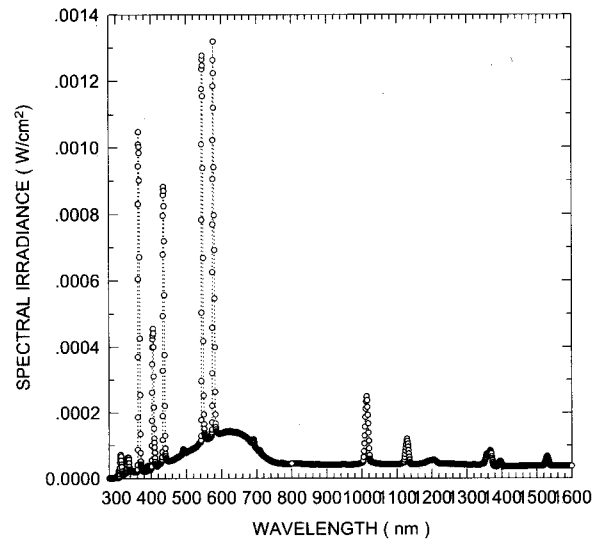


Figure 9. Irradiance values of three-wavelength lamp bank.

Table 3. Aluminum Panel XYZ Tristimulus Values Coated with Green Paint (three-wavelength)

Test item name	C. I. E. XYZ			C. I. E. Chromaticity		Characters
	X	Y	Z	x	y	
Test item not tested	6.3	6.7	6.5	0.324	0.343	mean of n ₁ , n ₂ , n ₃
Test item tested	5.2	5.5	4.9	0.330	0.353	mean of n ₁ , n ₂ , n ₃
	±0.06	0	±0.06	±0.006	±0.006	deviation of n ₁ , n ₂ , n ₃

비들이 많고, 이러한 통신장비들은 무게를 줄이기 위하여 거의 알루미늄 합금계열을 사용하고 있기 때문이다.

도색 페인트는 근래 첨단 무기체계에서 외부 도색용으로 주로 사용하고 있는 폴리우레탄 피복제, 화학작용제 저항용을 사용하였다. 폴리우레탄 피복제에 대하여 국방규격[15]은 표준광원 C에서 측정하고 광의 방향은 수직, 관측자의 방향은 모든 방향 즉, 확산 방향을 규정하고 있다. 따라서 위 규정에 따라 측정을 하고, 모사 태양빛에 조사하지 않은 표준패널 3개와 시험-축진내후성-한 패널 3개를 위 국방규격 3.3항에 따른 색상을 비교하였다.

시편의 삼색계수(0.324, 0.343)와 규격에 정한 삼색계수(0.328, 0.365)가 약간의 차이는 있으나, 시편에 대한 열처리여부, 도색한 페인트량과 방법, 기타 복합적인 이유에 따라 생긴 것으로 단지 시편끼리의 전후 비교평가를 하고자 함이 목적이므로 무시 할만하고 중요한 것은 시험하지 않은 것과 시험한 시편끼리의 색차이다. 색차의 단위는 NBS이며, 색차가 0.3 NBS UNIT 정도는 되어야 사람이 색차를 구별[14]할 수 있다. NBS값이 클수록 색상차가 큼을 나타내며 시험하지 않은 시편과 시험한 시편의 색차 계산값은 다음과 같다.

Table 3은 색차표 측정결과로써, 이 값만으로는 색차를 알 수 없으며 아래와 같은 식으로 계산을 한다.

$$U_a = 221Y^{1/4} \tag{8}$$

$$U_b = 221Y^{1/4} \tag{9}$$

Table 4. Aluminum Panel Color Difference Results Values Coated with Green Paint (three-wavelength)

Green aluminum panel not tested		Green aluminum panel tested	
U_{a1}	355.8	U_{a2}	338.1
$U_{\beta 1}$	355.8	$U_{\beta 2}$	338.1
U_{Y1}	31.06	U_{Y2}	28.14
α_1	-0.001235	α_2	-0.000804
β_1	0.018650	β_2	0.025515
$\Delta Y^{1/2}$	0.2432		
f_g	0.7093		
ΔE	2.68		

Table 5. Aluminum Panel XYZ Tristimulus Values Coated with Green Paint (Infrared)

Test item name	C. I. E. XYZ			C. I. E. Chromaticity		Characters
	X	Y	Z	x	y	
Test item not tested	6.3	6.7	6.5	0.324	0.343	mean of n_1, n_2, n_3
Test item tested	5.2	5.6	5.0	0.329	0.352	mean of n_1, n_2, n_3
	± 0.25	± 0.25	± 0.35	± 0.002	± 0.003	deviation of n_1, n_2, n_3

$$U_Y = KY^{1/2} \tag{10}$$

$$\alpha = (2.4266x - 1.3631y - 0.3214) / (1.0000x + 2.2633y + 1.1054) \tag{11}$$

$$\beta = (0.5710x + 1.2447y - 0.5708) / (1.0000x + 2.2633y + 1.1054) \tag{12}$$

$$Y_m = (Y_1 + Y_2) / 2 \tag{13}$$

$$\Delta Y^{1/2} = Y_1^{1/2} - Y_2^{1/2} \tag{14}$$

$$\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha_2 \tag{15}$$

$$\Delta \beta = \beta_1 - \beta_2 \tag{16}$$

$$f_g = Y_m / (Y_m + 2.5) \tag{17}$$

여기서 K값은 U_a, U_β, U_Y 의 상대적 크기를 나타내는 상수로 대부분 경우 12이다. Modified Judd System[14]에 의한 최종 색차 공식은 다음과 같다.

$$\Delta E = f_g \{ [221Y_m^{1/4} ((\Delta \alpha)^2 + (\Delta \beta)^2)^{1/2}]^2 + [K\Delta Y^{1/2}]^2 \}^{1/2} \tag{18}$$

위 식에 의하여 다음과 같은 결과 값을 내었다.

Table 4에서 보듯이 ΔE 값이 2.5 NBS를 초과함을 볼 수 있다. 규격치에는 2.5 NBS를 초과하지 않도록 규정하고 있으나, 본 시험 결과에서는 표면재질, 표면의 열처리, 도색방법, 건조시간, 건조도막두께 등에 따라 시편에 대한 조건들이 약간씩 다르므로 결과값에 대한 차이는 있을 수 있다. 결론적으로 시험하지 않은 시료와 시험한 시료간에 색차차가 큼을 알 수 있다. 그리고 각 시편에 대한 조사량의 균일도를 부수적으로 입증하기 위하여 시편을 조사면적에 균등하게 배치하여 실험하였고, 실험결과 시편끼리의 편차가 Table 3에서 보듯이 거의 없음을 알 수 있다.

Table 6. Aluminum Panel Color Difference Results Values Coated with Green Paint (Infrared)

Green aluminum panel not tested		Green aluminum panel tested	
U_{a1}	355.8	U_{a2}	340.0
$U_{\beta 1}$	355.8	$U_{\beta 2}$	340.0
U_{Y1}	31.06	U_{Y2}	28.39
α_1	-0.001235	α_2	-0.001282
β_1	0.018650	β_2	0.024738
$\Delta Y^{1/2}$	0.2220		
f_g	0.7110		
ΔE	2.42		

Three Wavelength Effect

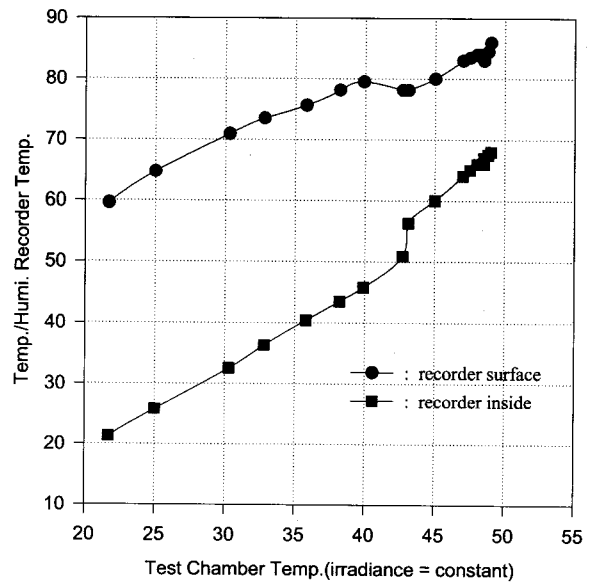


Figure 10. Temperature change of temperature recorder (three-wavelength).

5.2. 색의 바램현상 결과를 통한 적외선 램프뱅크의 특성

적외선에 의한 실험도 삼파장과 동일한 시편으로 실험을 하였으며, 실험 결과 값은 위 Table 5와 같다. Modified Judd System (8) ~ (18)식을 이용하여 적외선에 의한 최종 색차 결과를 Table 6에 나타내었다. Table에서 보듯이 ΔE 값이 2.5 NBS를 초과하지 않았음을 알 수 있다. 삼파장에 영향을 받은 시료와 적외선에 영향을 받은 시료간에는 색차가 약 2.56의 차가 남을 알 수 있으며, 이러한 차이는 자외선의 영향을 고려하지 않았기 때문에 발생한 것이다. 따라서, 적외선에 의한 시험은 단지 고온 대체용 내구도 시험으로서만 의미가 있을 뿐 태양열효과에 의한 시험은 되지 않는다. 이 실험에서도 삼파장과 마찬가지로 시편 3개를 측정된 평균값을 사용하였으며 시편끼리의 색도 편차는 삼파장보다 다소 큼을 알 수 있다.

5.3. 열전이현상 결과를 통한 삼파장 솔라뱅크 특성

휴대용 온도기록계나 통신기기 등과 같은 중간크기 형태가 시험에 가능하다. Figure 10은 복사조도값이 일정 할 때의 시험조 온도

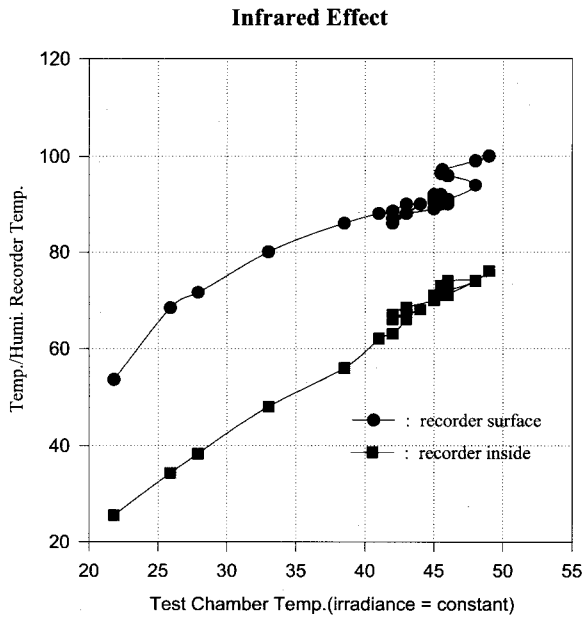


Figure 11. Temperature change of temperature recorder (infrared).

가 상승함에 따른 온도기록계의 표면과 중심부의 온도의 상승의 비례관계를 보여준다. 표면의 온도와 중심부의 온도는 T타입 열전대를 이용하여 각각 중심부 3곳과 표면 3곳을 측정하여 평균한 값들이다.

1120 W/m² 일정한 복사조도값에서 온도기록계의 온도상승은 표면과 중심에서 초기에는 약 40 °C의 차이와 후기에는 15~20 °C의 차이를 보이고 있다. 이러한 현상은 시험조의 온도가 49 °C로 상승함에 따른 안정화에 기인한 것으로 49 °C에서 온도분포가 매우 조밀함을 알 수 있다. 시험조 온도가 최대일 때의 온도기록계의 표면은 85~88 °C에 근접하고 중심부는 68 °C에 근접함을 알 수 있다. 시험조와의 온도차는 삼파장 복사에 기인한 것이다. 표면의 온도가 시험조 온도 35 °C 부근에서 기울기가 작아지는 현상은 시험조내의 강제대류 현상[16,17]에 기인한 것이고, 중심부 온도는 풍속(1.5 m/s)의 영향을 받지 않으므로 기울기가 일정함을 볼 수 있다.

5.4. 열전이현상 결과를 통한 적외선 램프뱅크 특성

적외선에 의한 온도기록계의 열전이현상은 다음 Figure 11과 같다. 삼파장과 마찬가지로 시험조의 온도상승에 따른 표면과 중심부의 온도상승의 상관관계를 나타낸 것이다.

1120 W/m² 일정한 복사조도값에서 온도기록계의 온도상승은 표면과 중심에서 초기에는 약 30 °C의 차이와 후기에는 약 25 °C의 차이를 보이고 있다. 이러한 현상은 시험조의 온도가 49 °C로 상승함에 따른 안정화에 기인한 것으로 49 °C에서 온도분포가 매우 조밀함을 알 수 있다. 시험조 온도가 최대일 때의 온도기록계의 표면은 100 °C에 근접하고 중심부는 78 °C에 근접함을 알 수 있다. 시험조와의 온도차는 적외선 복사에 기인한 것이다. 삼파장과 적외선 램프간에는 시험에 영향을 주는 정도가 상당히 차이가 있음을 알 수 있다.

5.5. 삼파장과 적외선간의 열전이현상 결과 비교

비교결과는 Figure 12와 같다. 개발한 삼파장 솔라뱅크에 조사했을 때의 온도기록계의 온도상승현상과 적외선 램프에 의한 온도상승현상이 현저하게 차이가 있음을 알 수 있다.

따라서 산업체에서 사용하는 적외선 램프에 의한 내구도 시험은

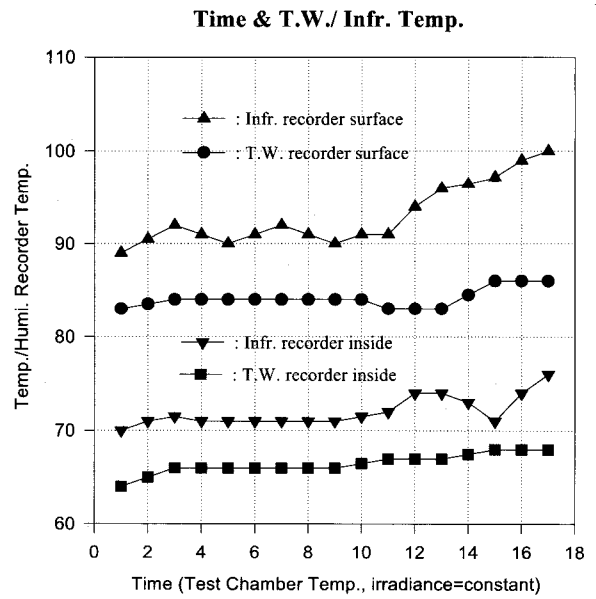


Figure 12. Temperature comparison between three-wavelength and infrared.

보완이 필요한 시험이며 고온시험으로 대체 할 수 있는 시험들이다. 아니면 삼파장으로 구성을 하고 조사면적을 차량이나 건자재를 시험할 수 있도록 넓혀야 한다. 본 그래프에서 보듯이 삼파장에서 표면과 내부 온도차가 크게는 각각 30와 15 °C의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 적외선 램프 시험은 모두 열전시험이기 때문이며 삼파장 시험은 자외선 영역(파장 10¹~10² μm)만큼이 열전으로 작용을 하고 있지 않기 때문에 일어나는 것이다[16,17]. 또한 적외선에 의한 온도기록계의 온도분포가 삼파장에 의한 온도기록계의 온도분포보다 더 불안정함을 볼 수 있다.

위 사항들을 종합하여보면, 피시험체에 적외선램프로 시험을 할 경우 삼파장에서 시험했을 때의 온도차만큼 더 열적인 효과를 주기 때문에 기능에 대한 작동이나 기타 운용에 심한 손상인자를 주게 되며, 그리고 균일한 온도를 주는 데도 삼파장보다 못하므로 정확한 시험이 아님을 알 수 있다.

특히, 통신키기들은 중심부에 포집해 있기도 하지만 표면 기판에 많이 부착해 있기 때문에 심한 표면온도효과에 의하여 기능상 문제가 발생 할 수도 있다.

6. 결 론

적외선 램프뱅크 및 개발된 삼파장 솔라뱅크 각각에 대해서 녹색 폴리우레탄 피복 알루미늄에 대한 색도실험 및 알루미늄 재질 온도기록계의 온도전이 실험을 수행하였다. 실험결과 적외선 램프뱅크에 노출된 녹색 폴리우레탄의 색도는 삼파장 솔라뱅크에 노출된 폴리우레탄의 색도보다 0.26 NBS가 더 낮았다. 이러한 색도차이는 자외선 파장영역에서의 복사조도의 유무에 기인한 것이다.

온도전이 실험결과에서는 적외선 램프뱅크에 노출된 온도기록계의 표면과 내부의 온도가 삼파장 솔라뱅크에 노출된 온도기록계의 표면과 내부온도보다 최대 15 °C 이상 높았다. 그러므로 이러한 결과로 볼 때 적외선 램프뱅크는 피시험체 표면에서의 자외선에 대한 화학적 효과를 나타내지 못하며, 내부와 표면온도반응에 있어서는 자연현상에서 측정되는 온도보다 더 높은 온도를 피시험체에 유발시킴을 알았다.

따라서 저가의 상용화된 수은등과 프로젝트 할로겐 램프의 조합 방식으로 개발된 삼파장 솔라뱅크는 적외선 램프뱅크의 단점들을 보완하고 기존 선진국에서 사용중인 고가의 아크제논 램프뱅크와는 동일한 삼파장 효과를 나타내면서 조사면적의 제한과 기술의 재현성 및 가격 등에 대한 문제점들을 극복하였다.

참 고 문 헌

1. 신정숙, "피복재료학", 경춘사, 서울 (1993).
2. 안영무, "섬유학", 학문사, 서울, 346 (1997).
3. 이희운 외 3명, "광원", KSRI-90-80-ET, 한국표준과학연구원, 대전 (1990).
4. W. Budde, "Optical Radiation Measurements," Vol. 4, Academic Press, New York (1983).
5. 손평석 외 2명, "휴대용 제논 탐조등 개발", 국방품질관리소, 서울 (1997).
6. 이영욱, "제논탐조등 차량용 발전시스템 개발", 국방과학연구소, 대전 (1997).
7. 최장균 외 2명, "자동차 전기", 골든벨, 서울, 24 (1995).
8. 이홍균 외 1명, "전기공학개론", 광문각, 서울, 277 (1997).
9. MIL-STD-810E, Method 505.3, "Solar Radiation", Department of Defense, (1989).
10. 이인원 외 7명, "광측정 및 복사측정", 공업진흥청, 서울, 19 (1991).
11. F. Grum and R. J. Becherer, "Optical Radiation," Measurements Vol.1, Academic Press, New York (1979).
12. R. Daniel Overheim and David L. Wager, "Light and Color", John Wiley & Sons, New York (1982).
13. Hecht, "Optics", Addison-Wesley, New York, 53 (1987).
14. 김용완 외 3명, "색의 측정 및 표시방법", KSRI-MO-21, 한국표준과학연구원, 대전, 10 (1985).
15. "폴리우레탄 피복제, 화학작용제 저항용", 국방-8010-1047-1, 서울 (1995).
16. James R. Welty 외 2명, "Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer", John Wiley & Sons, New York, 428 (1983).
17. 이택식 외 2명, "열전달", 희중당, 서울, 535 (1989).