

분광 복사속 측정용 적분구 설계 및 제작

Design and fabrication of an integrating sphere for spectral radiant flux measurement

유남준, 신동주*, 조재흥, 임천석, 정기룡*, 김용원*, 박승남*

한남대학교 대학원 물리학과, *한국표준과학연구원 기반표준연구부

ynj0861@paran.com

적분구는 광원의 복사선속의 적분 기능을 가지고 있는 장치이다.⁽¹⁾ 그러나 적분구는 사용하는 목적에 최대한의 성능을 내기 위해서는 설계 시 제한 사항이 많다. 적분구의 기본적인 이론은 입사한 복사선속이 내벽에 닿을 때 내벽의 반사율을 가지고 램버시안의 형태로 반사를 일으키게 된다. 처음 입사한 복사선속은 첫 번째 반사 후 다시 두 번째 반사를 일으키고 반사 횟수가 충분히 큰 n번의 반사가 일어난 후의 선속을 급수 전개하여 구할 수 있다. 그러면 최종적인 구면의 복사휘도는 식(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$L_s = \frac{\Phi_i}{\pi A_s} \times \frac{\rho}{1 - \rho(1 - f)} \tag{1}$$

여기에서 Φ_i 는 입사한 복사 선속, A_s 는 구의 면적, ρ 는 구벽의 반사율, $f = A_{exit\ port}/A_{sphere}$ 로 구의 면적에서 포트의 면적 비이다.⁽²⁾ 이 식에서 앞부분은 확산면 위에 복사휘도 공식과 같으며 뒷부분은 구 배율을 나타내는 값으로 실제 ρ 가 증가하면 복사휘도가 커진다는 근거를 보여준다.

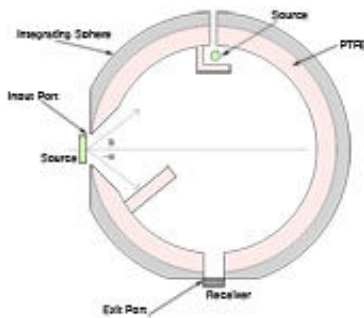


그림 1. 설계된 적분구의 구조도.

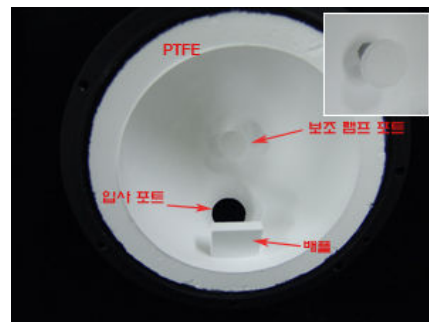


그림 2. 제작된 적분구의 형태

본 연구에서 설계된 적분구는 그림 1과 그림 2에 나타내어져 있으며 분광 복사 조도가 교정되어 있는 FEL 표준 램프를 사용하여 측정하고자 하는 램프의 분광 복사 조도를 비교하여 측정할 수 있다. 표준 램프를 적분구의 입사 포트면에 조명하여 출사 포트에서 분광 복사도계로 측정하여 분광 복사도계의 감응도를 측정후 시험 램프를 이 값과 비교하여 분광 복사 조도를 결정할 수 있다. LED같은 작은 광원의 분광 복사속을 측정을 할 경우에는 표준 램프가 적분구의 외부에서 조명되는 반면 LED는 적분구의 입사 포트 안쪽에 설치되기 때문에 이러한 기하적 구조의 차이에 의하여 생기는 차이를 보정하여 주기 위해서 적분구 내부에 보조 램프를 설치하였다.

먼저 적분구를 제작하기 이전에 Optical Research Associates사의 조명 설계 시뮬레이션 프로그램인 LightTools를 활용하여 적분구의 성능을 계산 하였다. 그림 1의 적분구 구조에 대해서 반사율에 변화에 따른 광원의 입사각, 광원의 크기에 대하여 성능을 계산하였다. 광원의 크기는 적분구의 입사포트 면과 같은 크기의 직경 20 mm이며, 램버시안 형태에 평행광원을 적용하였다. 보정시 기하적 구조의 차이점에 따른 차이를 보기 위해서 램버시안 광원을 반구 형태로 방출하여 50 cm 거리까지 떨어뜨리며 계산을 하였다. 그림 3과 그림 4는 광원이 기울어져 입사할 경우 각각 반사율과 기울기에 따른 시뮬레이션 결과이다.

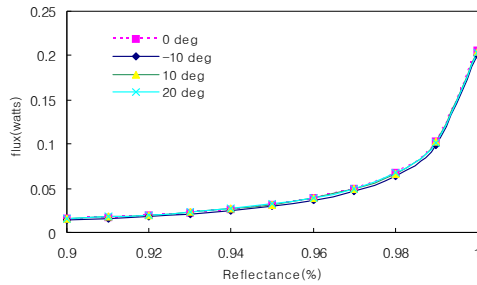


그림 3. 광원의 입사각과 반사율에 따른 출사 포트의 복사선속.

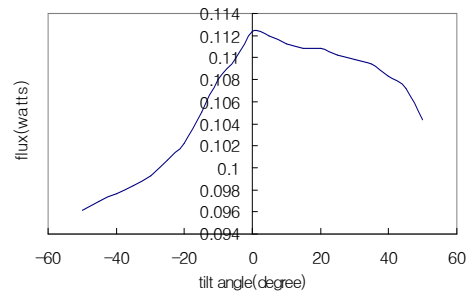


그림 4. 광원의 기울기에 따른 출사 포트의 복사선속.

설계된 적분구 내부의 반사 재질은 PTFE(polytetrafluoroethylene)를 사용했으며, 이 재질의 분광 반사율은 그림 5와 같다. 적분구의 직경은 130 mm이며 각각 입사포트와 출사포트의 직경은 20 mm, 14 mm이다. PTFE는 12 mm로 코팅이 되어 있고 적분구의 외부는 알루미늄으로 두께 5 mm로 제작되었다.

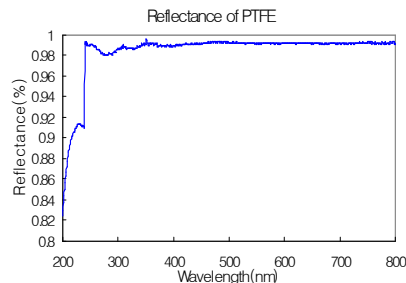


그림 5. PTFE의 분광반사율.

참고문헌

1. Labsphere, A Guide to Integrating Sphere Theory and Applications, Manual, 3-10.
2. Alfred Ducharme, Arnold Daniels, Design of an Integrating Sphere as a Uniform Illumination Source, IEEE Transaction on Education, Vol 40, 1-3 (1997).