

## 자외선 조사용 PTFE 적분구 광원

### PTFE Integrating Sphere Source for UV Exposure

신동주, 정기룡, 김용완, 이인원

한국표준과학연구원 광기술표준부

djshin@kriss.re.kr

균일한 자외선 조사용 광원으로 사용하기 위하여 PTFE(polytetrafluoro-ethylene)를 밀도 1.2 g/cm<sup>3</sup>로 압축하여 1.2 cm 두께로 균일하게 코팅한 적분구를 제작하였다. PTFE를 코팅한 후의 적분구는 내경이 37.6 cm이며, 자외선 입사용 및 출사용으로 사용할 수 있는 구멍(직경 = 1.2 cm) 5 개를 설치하였다. 제작된 적분구에 자외선 LED 2 개와 자외선 검출기를 설치하여 자외선 검출기의 직선성을 측정하였다. 적분구 광원은 적분구표면에서 균일한 복사조도 분포를 가지고 반복성이 우수한 광원으로서 자외선 조사량에 따른 물질의 특성 변화를 측정하거나 자외선 검출기의 분광 감응도를 측정하는 경우에도 이용된다. 적분구 광원에 사용되는 적분구는 구형의 내부 표면에 이상적인 확산반사(람베르트 반사, Lambertian reflectance) 물질을 코팅하여 제작하며, 290 nm ~ 400 nm 영역에서 이상적인 확산반사 물질로는 황산바륨 분말(barium sulfate powder) 또는 PTFE가 사용된다. 그러나 그림 1에서와 같이 황산바륨은 자외선 영역에서 반사율이 PTFE보다 낮다. PTFE는 분말을 압축하여 사용하는데 밀도가 너무 크면 투과율이 증가하고, 밀도가 너무 낮으면 반사율이 감소할 뿐만 아니라 구형의 표면에 코팅하기가 어렵다. 상용으로는 PTFE를 압축 및 가열하여 성형한 Spectralon<sup>TM</sup>(Labsphere Inc., USA)이 이용된다. 본 연구에서는 균일한 밀도의 PTFE를 일정한 두께로 코팅할 수 있는 기술을 개발하여 적분구를 제작하고 이 적분구를 이용하여 자외선 검출기의 직선성을 측정하였다. 적분구의 외부는 합성수지로 제작된 반구 두 개로 제작하였다. 두 개 중에서 하나의 반구에는 빛이 입사 또는 출사할 수 있는 구멍 5개를 설치하였다.

밀도가 동일한 PTFE를 일정한 두께로 코팅하기 위하여 PTFE 압축용 지그를 제작하였다. 외경이 40.0 cm, 내경이 37.6 cm인(두께가 1.2 cm) 공 모양으로 PTFE를 코팅하기 위하여 축구공의 표면에 있는 오각형과 육각형과 같은 오각형 형태와 육각형 형태의 지그를 각각 1 개씩 제작하였다. 지그는 PTFE를 압축했을 때 그 두께가 1.2 cm가 되도록 하였다. 축구공에 있는 오각형과 육각형 모양은 정삼각형 20개로 구성된 정이십면체의 12개 꼭지 점에서 각 변의 길이의 1/3이 되는 지점을 서로 연결하여 꼭지 점을 잘라낸 형태로서, 정오각형 12개와 정육각형 20개의 면으로 구성된다. 정오각형과 정육각형의 모서리의 길이는 서로 같으며 모서리의 길이( $l$ )와 꼭지 점에서 축구공의 중심까지의 거리( $R$ )의 관계는 식(1)과 같다.

$$l = \left( \frac{8}{29 + 9\sqrt{5}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot R \quad (1)$$

여기서 32 개의 면으로 구성된 다면체를 구의 형태로 만들어야 하는데, 본 연구에서는 중심에서 각 꼭

지점까지의 거리,  $R$ 을 고정하고, 각각의 변을 중심에서부터의 거리가  $R$ 이 되도록 늘여서 구의 형태가 되도록 설정하였다. 이와 같이 계산한 결과 구의 내면( $R = 18.8 \text{ cm}$ )에서 오각형과 육각형 단면의 한 변의 길이는 7.6 cm, 구의 외면에서는 8.1 cm이었으며, 한 개의 오각형과 육각형이 차지하는 입체각은 각각 0.3 sr, 0.45 sr이었다. 각각의 지그는 적분구의 내면을 형성하기 위한 볼록 면, 각각의 입체각에 맞도록 제작된 경사진 벽 및 뒷면을 형성하기 위한 오목 면으로 구성되어 있으며 모두 스테인레스 스틸로 제작하였다. 적분구 내면을 형성하는 지그의 볼록 면은 확산반사 효율을 극대화하기 위하여 표면 거칠기가 약  $1.5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 가 되도록 방전 가공하였다. 지그를 조립하였을 때 내면과 외면의 거리는 1.2 cm가 되도록 하였으며 이 때 오각형 형태와 육각형 형태의 PTFE의 부피는 각각 134.2  $\text{cm}^3$ , 203.3  $\text{cm}^3$ 이었다.

확산반사 물질로서 PTFE는 밀도가 약 1.0  $\text{g/cm}^3$ 이 되도록 사용되는데 본 연구에서는 잘 부스러지지 않도록 하기 위하여 밀도를 조금 크게 하여 1.2  $\text{g/cm}^3$ 으로 제작하였다. 즉, 지그에 PTFE분말을 오각형 형태의 경우에는 161.0 g, 육각형 형태의 경우에는 244.0 g을 넣고 압축하여 성형하였다. 합성수지로 제작된 적분구 외벽에 진공그리스를 바르고 성형된 PTFE를 그림2와 같이 한 개씩 서로 밀착하도록 부착하였다. 모두 부착한 후에 약간의 틈과 부스러진 부분은 압축된 PTFE를 부수어 그 분말로 채워서 완성하여 밀도가 일정하게 유지되도록 하였다. 그림3과 같이 두 개의 반구에 PTFE를 모두 부착한 후 PTFE에 빛의 입사 및 출사에 필요한 구멍을 뚫고 두 개의 반구를 포개어 적분구를 완성하였다.

이와 같은 방법으로 PTFE의 밀도와 두께가 균일한 적분구를 제작할 수 있었다. 제작된 적분구의 구멍 4 개에 자외선 LED 4 개를 설치하고 다른 하나에 자외선 검출기를 설치하여 자외선 검출기의 직선성을 측정하였다. 그림 4는 자외선 검출기의 직선성 측정결과를 나타낸다.

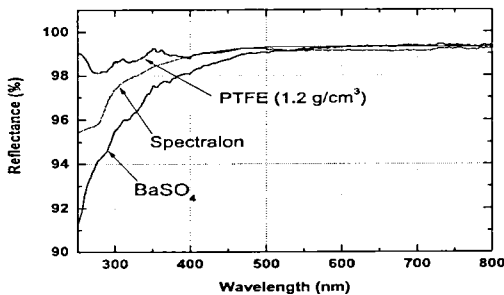


그림 1. 확산반사 물질의 분광반사율

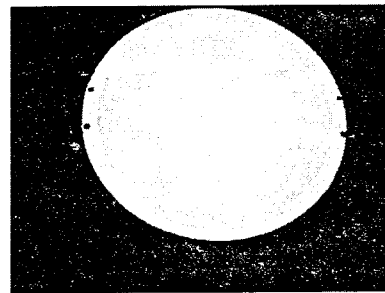


그림 2. 적분구 제작 과정

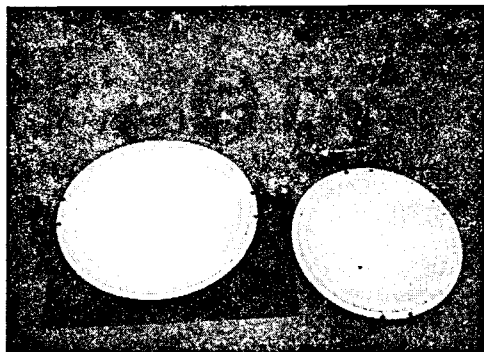


그림 3. 지그와 완성된 두 반구의 모습

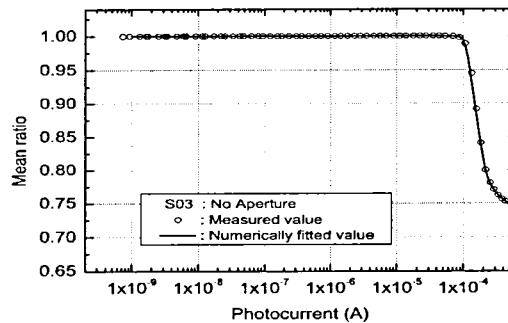


그림 4. 자외선 검출기의 직선성 측정