

가장자리의 광학적 검출방법에 의한 복사계용 개구 크기의 정밀 측정

Dimensional Measurement of Radiometric Aperture by Optical Edge Detection

강창호*, 박승남, 김석원*, 이동훈, 고득현

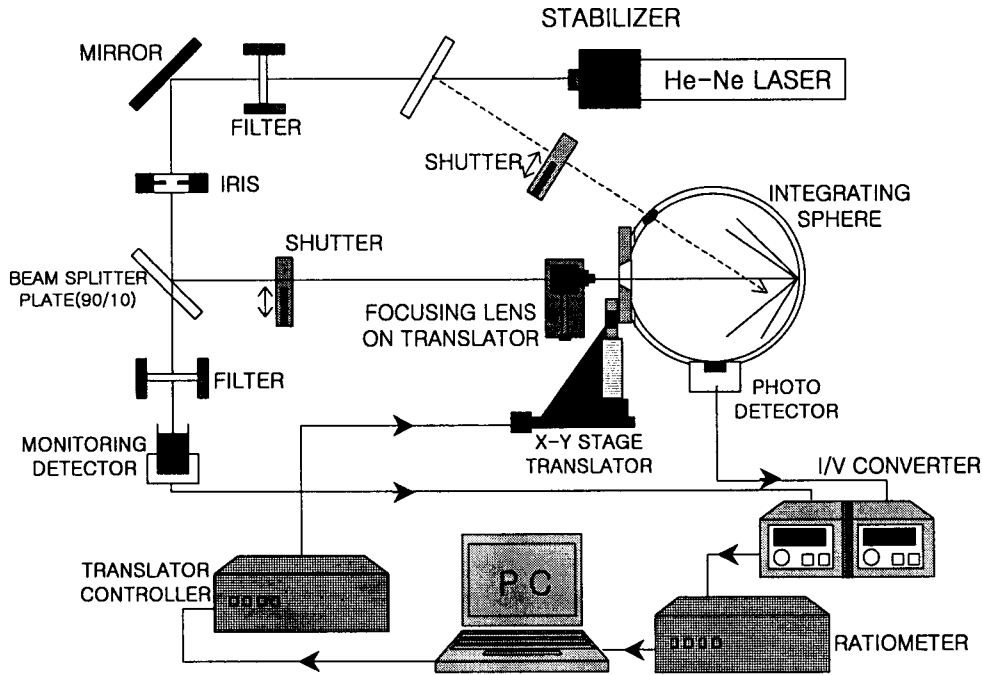
*울산대학교 물리학과, 한국표준과학연구원

hoyaone@hotmail.com

광도의 기본 단위인 칸델라(Candela) 눈금은 물론 복사조도(irradiance), 조명도(illuminance)와 같은 유도 단위를 실현하기 위해서는 검출기의 시야를 한정하는 개구면적의 정밀한 측정이 필요하다.⁽¹⁾ 여기에서는 가장자리의 광학적 검출방법에 의한 개구면적의 산출방식을 소개하고, 가우시안광에 의한 면적 측정법의 측정값과도 비교하여 그 결과를 보여준다. 기존의 개구 면적 측정방식으로 한가지 방법은 탐촉자를 물리적으로 접촉시켜서 개구의 가장자리를 결정하고, 개구의 기하학적 모양을 원으로 가정하여 면적을 산출하는 방식이 있는데, 이 방법을 사용하면 기계적인 접촉에 의하여 칼날과 같았던 개구의 가장자리가 손상을 입게 되기 때문에 측정이 잘못되는 것은 물론이고, 이렇게 측정된 개구를 사용하면 손상된 부위에 의한 면적의 변화와 이로 인한 산란이 증가하게 된다[방법1]. 두 번째로 이런 기계적인 탐촉자를 대신하여 광학적인 방법으로 가장자리를 검출하는 방법이 있지만 여전히 개구의 기하학적 모양을 원으로 가정하여 면적이 산출되기 때문에 제작한 개구가 가정한 기하학적 모양과 다를 때는 면적을 산출할 때 계통오차가 발생하게 된다[방법2].² 이런 기존의 방식을 보완한 측정방식이 가우시안 분포를 가지는 레이저의 중첩을 이용하여 개구의 면적보다 더 넓고, 공간적으로 균일한 광원을 재현시켜 개구에 수직인 방향으로 입사시킨 후 통과하는 광속을 측정하고, 이 광속을 입사하는 광원의 복사 조도로 나누어서 면적을 계산하는 원리를 사용한 방식인데, 기존의 방식들처럼 좌표를 구해서 면적을 산출하는 것이 아니고 직접적으로 면적을 측정하기 때문에 가장 정확한 면적 측정방법이라고 할 수 있다[방법3].

위의 측정방식중 세 번째 [방법3]에서 간단한 장치를 삽입하여 원리나 방법이 완전히 다른 새로운 면적산출방식을 얻어 낼 수 있는데, 이 방법은 [방법1]과 [방법2]의 가장자리 검출방식처럼 좌표를 찾아내서 면적을 산출한다는 면에서는 그 원리를 같이 하나 가장자리 좌표를 찾는 원리와 개구를 원으로 가정하지 않고 계산한다는 점에서 위 두 가지 방식의 일부단점을 보완했다고 볼 수 있으며, [방법3]의 가우시안 중첩을 이용한 면적측정방식의 최적조건에 기여를 하고 비교·분석이 가능한 정보를 제공해준다. 가장자리의 좌표를 찾는 원리는 가우시안 분포를 가지는 레이저의 단면과 반치폭을 측정하는 칼날 스캔방식을 사용하여 시작점으로부터 가장자리까지의 거리를 정밀히 측정하는 것이다. 개구를 원으로 가정하지 않고 타원으로 가정하여 구해진 가장자리 좌표들로 개구의 반지름을 구하고 이 구해진 반지름으로 면적을 산출하며, 이 때 구해지는 가장자리 좌표들의 수가 많을수록 산출되는 면적의 신뢰성이 높다. 이 실험에 사용된 안정화레이저는 가우시안 분포를 가지며 focusing lens를 사용하여 약 20 μm 정

도² 반치폭을 가지게 focusing하여 가장자리를 찾는 탐촉자로 쓰였으며, 가장자리를 찾는 것과 동시에 빔² 반치폭도 측정하기 때문에 focusing된 빔과 개구면이 수직이 되어야 하는 조건도 보정할 수 있다. 이 조건은 가우시안 중첩방식에서도 중요한 불확도요인이 된다.



위의 그림은 가우시안 중첩을 이용한 개구 면적을 측정하는 장치에 개구의 앞쪽에 focusing lens를 삽입하여 가장자리를 검출하며 면적을 산출하는 방식이 구현되는 것을 보여준다. 기존의 가우시안 중첩을 이용하여 $6.999 \mu\text{m}$ 로 측정된 개구면적이 가장자리 검출방식에 의해 $6.996 \mu\text{m}$ 로 산출되었으며, 이 비교결과는 0.043 %의 오차를 보이고 있으나 단순히 세 점만으로 면적을 산출한 결과임을 가만할 때 더 많은 가장자리를 검출하면 더 낮은 오차를 가지는 결과를 얻을 수 있을 것이다. 측정에 사용된 개구는 다이아몬드 선삭가공으로 7 mm가 되도록 만들어 졌으면 뒷면도 흑염 처리가 되어 반사에 의한 영향을 최대한 줄였으며, 가우시안 중첩에 의한 결과도 이 반사영향을 보정한 값이다. 가장자리 검출과정은 focusing된 광원을 가장자리 근처로 이동시키고 전체 길이 0.1 mm를 $4 \mu\text{m}$ 의 간격으로 스캐닝하였다. 실험에 사용된 이송기의 이송 누적 오차는 x 축의 경우 $+0.086 \mu\text{m}/\text{mm}$ 이고, y 축의 경우에는 $-0.53 \mu\text{m}/\text{mm}$ 이며, 위치의 재현성은 모두 $0.2 \mu\text{m}$ 이하이다.

여기서 사용된 가장자리 검출방식은 기존의 가장자리 검출방식들[방법1,2]에 비해 칼날 가장자리를 가지는 개구의 면적산출에 적합하며 개구를 타원으로 가정하고 여러 개의 가장자리로 면적을 산출하면 더 높은 신뢰도를 가질 수 있다. 가우시안 중첩을 이용한 측정방법에서 최적의 측정조건을 얻는데 기여를 할 뿐만 아니라 측정방법들간의 계통오차에 의한 불확도를 줄일 수 있다.

참고문헌

[1] Lassila A., Toivanen P., Ikonen E., Meas. Sci. Technol., 8, 973-977 (1997).
 [2] Fischer J., Stock M., Meas. Sci. Technol., 3, 693-698 (1992)
 [3] Ikonen E., Toivanen P., Lassila A., Metrologia, 35, 369-372 (1998)
 [4] Stock M., Goebel R., Metrologia, 37, 633-636 (2000)