

## 저손실 반사경의 TIS 산란분포 측정

### TIS distribution of low loss mirrors

임경아, 조현주, 문용권, 신명진, 정권상, 윤성진, 문건, 이재철  
고등기술연구원, 광전자팀  
kalim@iae.re.kr

다양한 분야의 요구에 따라 반사율이 99.995% 이상인 고반사 저손실 반사경의 제작이 가능해지면서 반사경의 산란, 투과, 흡수 및 손실 등을 측정하는 여러 측정 방법들도 더불어 연구되어 왔다. 적용 분야에 따라 사용될 반사경의 특성이 결정되는데 그 중 중력과 측정 장치<sup>(1)</sup>, 광자 감쇠 분광기<sup>(2)</sup> 등의 분야에서는 투과, 산란 및 흡수가 모두 작은 저손실 반사경을 요구한다. 한편 링 레이저 자이로스코프의 경우 반사경의 산란이 곧 lock-in을 결정하여 성능을 제한하는 중요한 변수가 된다. 따라서 이 응용의 경우 반사경의 산란을 정확히 측정하는 일은 중요하며 위치에 따른 산란분포 정보를 알면 링 레이저 자이로스코프의 성능 예측과 개선이 더욱 쉬워진다. 산란을 측정하는 직접적인 방법에는 ARS(angle resolved scattering)과 TIS(total integrated scattering)이 있는데, 본 연구에서는 TIS 측정 장비를 반사경의 위치에 따른 산란분포까지 측정할 수 있도록 mapping 기능을 첨가하고 이온빔 스퍼터링에 의해 제작된 저산란 반사경을 측정하기 위해 높은 분해능을 갖도록 구성하였다. 반사경의 응용분야의 필요에 의해 45° 산란을 측정하였다.

TIS 산란은 초기에 광학면의 표면 거칠기를 정확히 측정하기 위하여 개발되었다. 측정은 이미 알고 있는 표준산란기의 산란을 기준으로 반사경의 산란을 환산하며 그 수식은 다음과 같다.

$$TIS = \frac{P_s R}{P_o} \quad (1)$$

여기서  $P_o$ 는 표준산란기를 장착했을 때의 출력이고  $R$ 은 표준산란기의 반사율,  $P_s$ 는 반사경을 장착했을 때의 출력이며  $\sigma$ 는 광학면의 RMS 표면 거칠기이고  $\lambda$ 는 측정에 사용한 광원의 파장이다.

분해능이 높은 장비 구성을 위해 전자적 잡음과 광학적 잡음을 줄여야 하는데 전자를 위해 S/N 비가 높은 PMT(photomultiplier tube)를 광 검출기로 사용하였고 후자를 위해 레이저빔을 0.7mm 정도 크기의 평행광을 만들었으며 45° 산란을 측정하기 위해 반구를 제작하였다. 또한 Rayleigh 산란으로 인한 분해능 제한을 줄이기 위해 class 1000인 청정실에 장비를 구성하였다. 측정장비의 구성도는 그림 1과 같다. 광원에서 반사경까지의 거리는 2m 정도이고 광원으로는 출력  $\pm 1\%$  이내에서 안정화된 He-Ne를 사용했다. 광원 앞에 조리개를 놓아 반사된 빛이 광원으로 되돌아오는 것을 막았다. 레이저빔은 조리개를 지나 chopper를 통과하면서 기준주파수로 나누어져 곡률반경 1m인 반사경을 지나면서 평행광으로 반구에 입사한다. 반구는 Labsphere사에서 제작했고 크기는 8인치이며 내부 벽은 표면 산란율이 632.8nm에서 97.7%이 되도록 표면처리 되어 있다. 반구 앞단에 조리개를 놓아 광학계를 거치면서 발생한 불필요한 빛을 제거하였다.

반사경의 위치에 따른 산란분포를 측정하기 위해 auto translator를 장착하고 컴퓨터와 연계하여 위치를 조절하였다. 먼저 반사경 코팅부위의 중심 위치를 찾고 그 값을 기준으로 일정한 구간을 일정한 간격으로 위치를 이동시키면서 그 때의 산란을 측정하여 분포도를 얻었다. 구성된 측정장비의 전자적 background는 0.1ppm(part per million, 1ppm=10<sup>-6</sup>) 이하이고 광학적 background는 0.5ppm으로 장비의

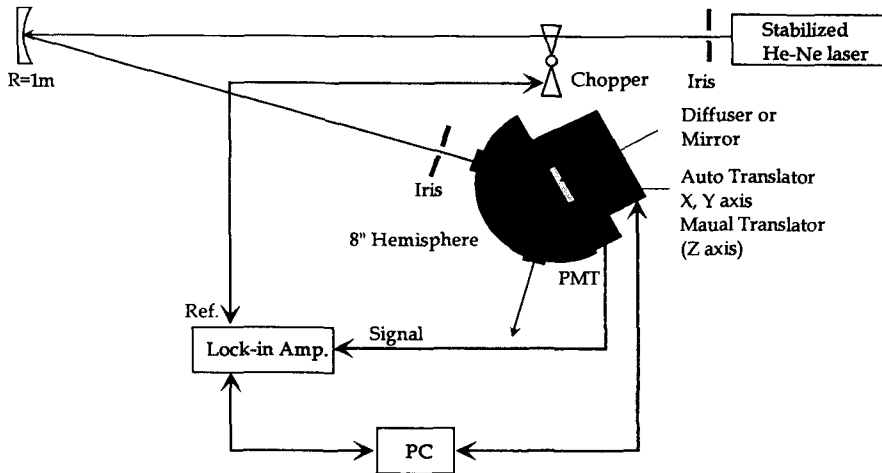


그림 1 45° TIS mapping system 구성도

분해능은 0.5ppm 이다.

그림 2와 3은 mapping system을 이용해 본 연구팀에서 제작한 반사경의 산란 분포를 두 번 측정 한 것이다. 그림 2는 0.25 mm, 그림 3은 0.5 mm 간격으로 측정하였다. 반사경의 중심에서 산란은 3.9ppm이고 Z-각의 측정 위치에서의 값을 비교해 보면 최소 0ppm에서 최대 4.4ppm의 측정의 반복성을 갖는다. 대체적으로 0.3ppm 이내의 반복성이 있고 산란값이 큰 위치에서 차이가 있는 것으로 나타났다.

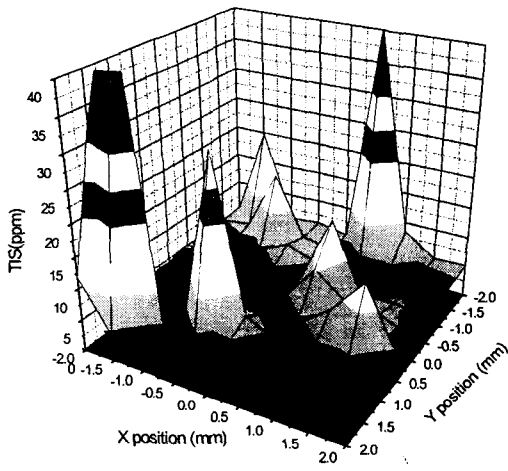


그림 2 반사경 산란분포 측정 (0.25mm 간격)

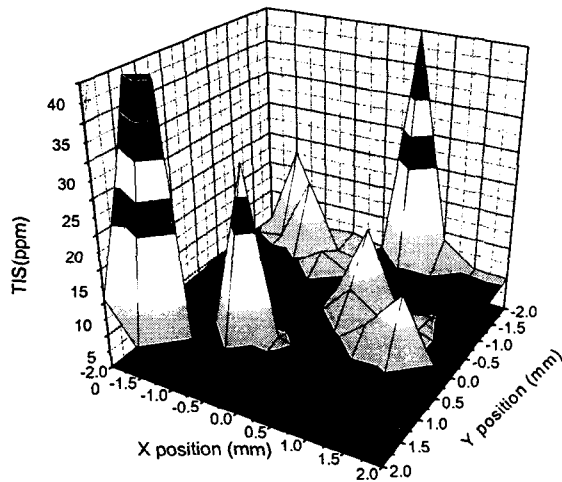


그림 3 반사경 산란분포 측정 (0.5mm 간격)

### 참고문헌

1. P. Fritschel, N. Mavalvala, D. Shoemaker, D. Sigg, M. Zucker, and G. Gonzalez, "Alignment of an interferometric gravitational wave detector", Appl. Opt. **37**, 6734 (1998).
2. 신명진, 조현주, 임경아, 문용권, 문건, 이재철, "공동 광자 감쇠 방법을 이용한 반사경을 손실 측정", 한국광학회지 **11**, 123 (2000).