

# 실시간 광 간섭계를 위한 공간 위상천이 장치

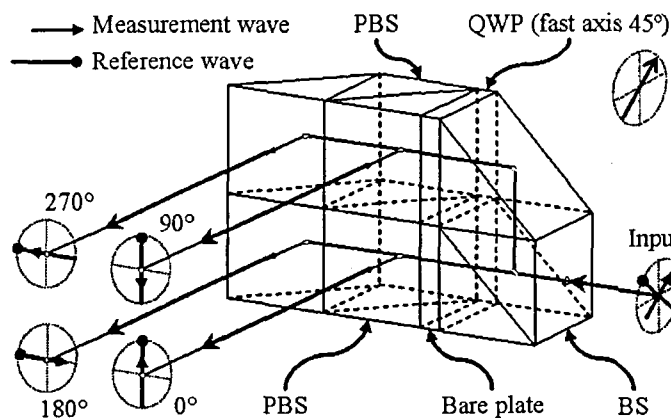
## Spatial phase shifter for real-time optical interferometry

김학용, 김승우

한국과학기술원 기계공학과

forgood@kaist.ac.kr

위상천이 간섭계는 높은 측정 정밀도와 컴퓨터 자동화에 따른 사용의 편리함으로 현재 대부분의 광 간섭을 이용한 측정에 사용되고 있다. 위상천이 방법은 크게 시간위상천이 방식과 공간위상천이 방식으로 나눌 수 있는데 구현의 용이성 및 신뢰성 때문에 대부분의 간섭계는 시간위상천이 방식을 채택하고 있다. 가장 잘 알려진 방법으로는 기준거울을 압전소자를 이용해 움직이는 것으로서 피조 간섭계 및 트와이만-그린 간섭계 등 상용화된 간섭계에서 주로 사용한다. 3개 이상의 간섭무늬를 획득해야 하기 때문에 수 백 ms정도의 시간을 필요로 하고 그동안 측정 대상물과 간섭계는 진동이나 공기유동 등의 외란에 영향을 받지 않도록 방진 및 방풍설비를 갖춰야 한다. 반면 공간위상천이 방식은 시간적인 지체 없이 한꺼번에 3개 이상의 간섭무늬를 획득하거나 또는 하나의 공간 변조된 간섭무늬를 통해 훨씬 빠르게 측정을 수행할 수 있고 따라서 진동 등의 환경변화에 덜 민감한 측정이 가능하다. 방법에 따라 구현이 어렵거나 간섭무늬 해석 시 별도의 주의를 요하기도 하지만 진동제어가 어려운 광학계 측정 시 매우 유리하다. 공간위상천이 방식에는 여러 가지가 있는데 광 분할기(beam splitter)와 위상 지연판(wave plate)을 이용한 방법<sup>(1)</sup>, 회절격자(grating)를 이용한 방법<sup>(2)</sup>, 홀로그래픽 소자와 위상 지연판을 이용한 방법<sup>(3)</sup>, 그리고 기울기 간섭무늬를 통한 공간변조 방법<sup>(4)</sup> 등이 있다. 본 연구팀이 이미 발표한 공간 위상천이 방식<sup>(5),(6)</sup>의 경우 광 분할기와 위상 지연판을 이용한 것으로서 4개의 카메라가 필요했던 기존의 방식<sup>(1)</sup>을 1개의 카메라를 이용할 수 있도록 개선시킨 것이다. 그림 1은 그 원리를 나타내고 있다. 화살표는 각각 측정광과 기준광의 편광상태를 나타내며 위상천이 장치로 입사하는 두 광의 편광은 45도로 기울어진 채 서로 직교하고 있다. 편광분할기(PBS)를 지난 두 광은 각각 수직, 수평 성분으로 나뉘어



간섭을 하게 되고 이 때 간섭무늬들은 서로 180도 위상천이된 효과를 보게 된다. 위쪽의 QWP (quarter wave plate)는 빠른 축이 측정광의 편광과 일치되도록 조립되어 측정광을 90도 위상천이시킨다. 결국 90도씩 위상천이된 4개의 간섭무늬를 하나의 카메라로 획득할 수 있는 원리이다. 하지만 이 공간위상천이 장치는 4개의 간섭무늬가 서로 다른 광경로를 겪고 있으며 각 간섭무늬의 광경로는 그림 2와 같이 큰 차이가 있기 때문에 간섭무늬의 결상위치가 서로 다르며 왜곡이 심한 측정광의 경우 간섭무늬의 크기뿐만 아니라 형태도 달라질 수 있는 문제가 있다. 따라서 간섭무늬 해석시 픽셀을 서로 일치시키기도 어렵고 정확한 측정을 수행할 수

그림 1. 기존의 공간위상천이 장치의 원리<sup>(5),(6)</sup>는 문제가 있다. 따라서 간섭무늬 해석시 픽셀을 서로

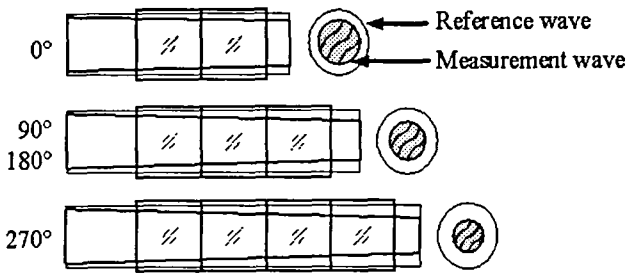


그림 2. 기존의 공간위상천이 장치<sup>(5),(6)</sup>를 통과한 각 간섭무늬의 광경로

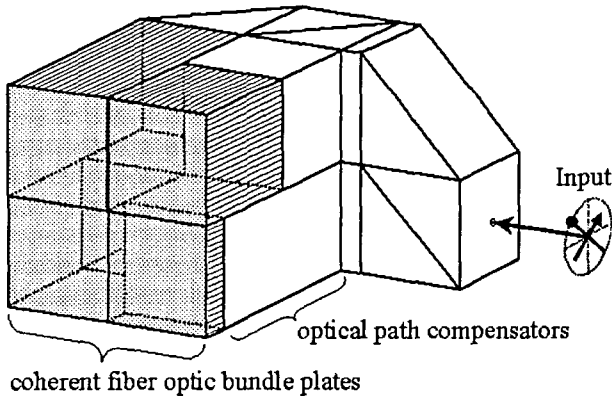


그림 3. 광경로 오차를 보상하는 새로운 공간위상천이 장치

He-Ne레이저를 사용했기 때문에 광섬유판의 각 광섬유에서 발산되는 광속끼리 간섭을 일으켜 약한 광반점(speckle) 현상이 관찰된다. 하지만 광원 앞단에서 확산판을 사용해 공간 가간섭성을 떨어뜨리거나 가간섭성이 낮은 광원을 이용하면 문제가 없을 것이다. 또는 본 공간위상천이 장치를 광섬유 테이퍼(fiber optic taper)등을 이용해 바로 CCD 촬상면에 부착함으로써 광반점 현상을 해결할 수도 있다. 본 논문에서 새롭게 제안하는 광섬유판을 이용한 공간위상천이 장치는 향후 실시간 간섭계 측정을 가능하게 함으로써 기상(on-machine) 측정 및 파면보상 광학계(adaptive optics) 등 다양한 분야에서 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

경로를 일치시키기 위한 광경로 보상 블록(optical path compensators)과 결맞은 광섬유판(coherent fiber optic bundle plate)을 사용하였으며 그 구성은 그림 3과 같다. 간섭무늬 간 광경로를 보정하기 위해서 0도 위치에는 2개의 유리블록을, 90도와 180도 위치에는 1개씩 유리블록을 추가했다. 결맞은 광섬유판은 한쪽의 영상을 왜곡 없이 반대편으로 전송시켜주는 역할을 하므로 그림과 같이 끝단이 일치하도록 조립하면 광경로가 일치된 4개의 위상천이 간섭무늬를 얻을 수 있다. 사용한 광섬유판은 직경이 6 $\mu$ m, 개구수가 1인 광섬유 다발로 이루어져 있으며 신호간섭을 막기 위한 흡수층을 사이에 두고 있다. 본 공간위상천이 장치는 측정광과 기준광이 서로 직교하는 간섭계에서 사용이 가능하며 대표적으로 트와이만-그린 간섭계에 응용이 가능하다. 본 논문에서는 이미 구현된 진동에 둔감한 간섭계<sup>(5),(6)</sup>를 이용해 원리를 실험적으로 검증했다. 그림 4는 공간위상천이 장치의 끝단을 일반 카메라 렌즈를 이용해 결상한 것으로서 4개의 위상천이된 간섭무늬를 확인할 수 있다. 가간섭성이 높은

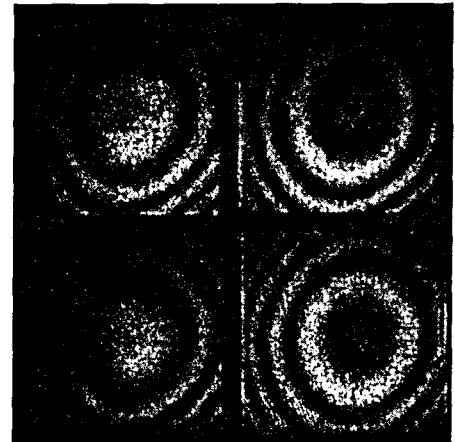


그림 4. 그림 3의 공간위상천이 장치로부터 얻은 간섭무늬

참고문헌

1. R. Smythe and R. Moore, Opt. Eng. 23, 361 (1984).
2. O.Y. Kwon, D.M. Shough, R.A. Williams, Opt. Lett. 12, 855 (1987).
3. J.E. Millerd, N.J. Brock, J.B. Hayes, M.B. North-Morris, M. Novak, and J.C. Wyant, Proc. SPIE 5531, 304 (2004).
4. M. Melozzi, L. Pezzati, and A. Mazzone, Appl. Opt. 34, 5595 (1995).
5. 김학용, 김승우, 한국광학회 2004년 하계 학술 발표회 논문집, 78 (2004).
6. H. Kihm, S.-W. Kim, Opt. Lett., in print (2005).

F  
A