

3차원 좌표측정용 부피간섭계

Volumetric interferometry for three-dimensional coordinate metrology

김승우, 이혁교*, 주지영
한국과학기술원
nicelhk@kaist.ac.kr

정밀한 3차원 좌표측정을 위한 CMM(Coordinate measuring machine)은 헤테로다인 레이저와 평면 거울 등을 이용해서 x, y, z 축의 길이를 측정함으로써 이루어진다. 이 경우 측정 정밀도에 가장 큰 영향을 주는 오차요인으로 아베오차를 꼽을 수 있다[1]. 인공위성용 광학계를 비롯해서 첨단 산업부품에 이르기까지 현재 3차원 좌표측정은, 높은 정밀도와 대영역 측정을 동시에 요구하는 경우가 많다. 하지만 대영역으로 갈수록 아베오차의 영향은 더 커지므로 보다 근본적인 해결책이 필요하다. O. Nakamura 등은 이런 한계를 극복하기 위해 고정된 직교 측정축을 사용하지 않고 좌표를 측정할 수 있는 부피간섭계(Volumetric interferometer)를 제안했다[2,3]. 이들이 제안한 부피간섭계는 우선 측정하고자 하는 프로브에 반사경(retro-reflector)을 장착한다. 그리고 3개 이상의 헤테로다인 레이저 간섭계를 사용해서 반사경까지 거리들을 얻고, 이로부터 공간상에서 반사경의 위치 좌표를 계산한다. 이와 같은 부피간섭계를 적용한 삼차원 측정기는 거울의 평단도나 거울거리의 직각도 문제의 문제를 근원적으로 제거할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 반사경을 측정 프로브에 가까이 장착함으로써 아베 오차를 줄일 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 레이저 헤드부가 반사경의 움직임을 쫓아 회전해야 하며, 이런 운동은 원하지 않는 측정 오차를 유발하기 쉽다. 또한 레이저 간섭계를 4대 이상 사용해야 하는 단점이 있다.

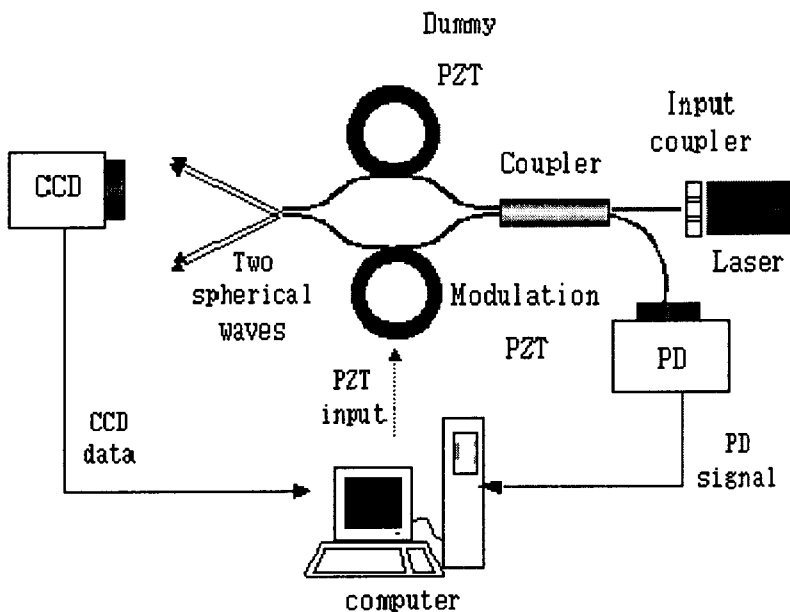


그림 1 부피간섭계의 구성도

본 연구에서는 제안하는 부피간섭계는 두개의 이웃한 단일모드 광섬유를 측정 프로브에 장착하고, 광섬유로부터 발생되어지는 두 구면파 간섭으로부터 구면파 중심의 좌표를 측정한다. 이와같은 방법은 기존의 부피간섭계에 비해 오차 요인이 적고 시스템이 간단해지는 장점을 갖는다. 간섭무늬로부터 좌표를 산출하기 위해 위상천이 방법과 비선형 최적화가 도입되었으며, 제안한 시스템의 성능을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증했다. 측정 시스템은 그림 1과 같이 구성되었다. 레이저에서 나온 632.8 nm의 가간섭광은 단일모드 광섬유를

통해 2x2 커플러(coupler)로 입사된다. 이때 입력쪽 광섬유 끝단은 8도 가량 경사지도록 연마되어 있어서 끝단에서 반사한 광이 다시 레이저로 직접 돌아가는 것을 막는다. 커플러의 출력 단에서는 50:50의 광강도로 나뉘어서 출력 단의 광섬유로 전파된다. 출력단의 광섬유는 약 10 m 길이로 튜브형 압전소자(PZT)에 감겨 있는데 이 가운데 한쪽은 위상천이를 위한 것이고 다른 한쪽은 광섬유 길이를 맞추기 위한 더미(dummy) 역할을 한다. 더미가 없을 경우 광섬유 양쪽의 길이 차이가 크므로 약간만 온도가 변해도 온도로 인한 광섬유 길이의 변화가 커지게 되고 결국 위상 변화로 이어진다. 이는 측정 결과에 오차로 작용하므로 반드시 양쪽 광섬유 길이를 거의 동일하도록 맞춰 줄 필요가 있다. 압전소자는 컴퓨터에서 D/A 보드를 거쳐 나온 입력에 따라 튜브 반경 방향으로 팽창과 수축을 하며 이에 비례해서 압전소자에 감긴 광섬유의 길이도 팽창과 수축을 한다. 이때 전압에 따라 광섬유의 길이 증가가 선형적이려면 우선 광섬유의 길이가 일정 분량 이상 길어야 하며, 광섬유를 압전소자 주위에 감을 때 미리 적당한 인장력을 주어야 한다. 이와 같은 과정을 거쳐서 광섬유로부터 나온 구면광은 CCD로 입사하게 된다. 실험에서 사용한 CCD는 제품명 PULNIX TM-7CN으로 각 화소는 x방향으로는 평균적으로 8.44 mm, y방향으로는 9.78 mm의 크기를 갖는다. 안정된 좌표 측정을 위해 전체 시스템에서 광섬유 부분을 외부 열원과 진동으로부터 차단시켰으며 더미 광섬유를 고려함으로써 열과 압력에 의한 영향을 보상하도록 했다. 구면파가 전파하는 공간도 공기 유동이 없도록 외부와 차단했다. 또한 광원으로 사용하는 레이저의 경우 파장 변화가 적은 주파수 안정화 레이저를 사용하였으며, 열원이 될 수 있는 레이저를 광섬유와 단열재를 통해 측정 시스템에서 격리 시켰다. 이상과 같이 여러 가지 환경오차의 영향을 줄일 수 있도록 구성했다. 주어진 시스템에 영향을 주는 오차요인으로 다음과 같은 것을 예상할 수 있다.

- 온도, 압력 변화로 인한 광섬유의 길이 및 굴절률 변화
- 압전소자의 비선형성
- 광원의 광량 및 주파수 불안정성
- 공기 굴절률 변화
- 구면파의 구면 정도 (sphericity)
- CCD의 비선형성 및 CCD 픽셀의 불균일성
- 측정 보드의 전기적인 외란

이상과 같은 오차로 인한 측정 불확도(uncertainty) 역시 계산되었다.

다양한 좌표에 프로브를 위치하고 측정한 결과, 위상 반복능은 PV 값으로 0.000163 wave 가 얻어졌으며, 좌표 반복능은 다양한 위치에서 모두 300 nm PV 정도를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] J. B. Bryan, "The Abbe principle revisited," An updated interpretation, Precision Eng., vol. 1, no. 3, pp. 129, 1979.
- [2] O. Nakamura, M. Goto, K. Toyoda, Y. Tanimura, and T. Kurosawa, "Development of a coordinate measuring system with tracking laser interferometer," Ann. CIRP, vol. 40, pp. 523, 1991.
- [3] O. Nakamura and M. Goto, "Four-beam laser interferometry for three-dimensional microscopic coordinate measurement," Appl. Opt., vol. 33, no. 1, pp. 31, 1994.