

헤테로다인 기법을 이용한 부피 간섭계

Volumetric interferometry using heterodyne technique

김영진*, 주지영, 김승우
한국과학기술원 기계공학과
lovemonk@pem.kaist.ac.kr

정밀한 3차원 좌표측정을 위한 CMM(Coordinate Measuring Machine)은 광학 스케일이나 헤테로다인 레이저 간섭계를 이용해서 x , y , z 축의 좌표를 측정한다. 이 경우 측정 정밀도에 가장 큰 영향을 주는 요인은 아베 오차(Abbe's error)이다. 인공위성용 광학계를 비롯해서 첨단 산업부품에 이르기까지 현재의 3차원 좌표측정은, 높은 정밀도와 대영역 측정을 동시에 요구하는 추세이다. 대영역으로 갈수록 아베 오차의 영향은 더 커지므로 보다 근본적인 해결책이 필요하다. 이러한 단점을 극복하기 위해 KAIST에서는 두 개의 이웃한 단일모드 광섬유를 이용하여 프로브의 위치를 직접 측정하는 부피 간섭계(Volumetric interferometer)를 제안했다.^{(1),(2)} 부피 간섭계는 두 개의 이웃한 단일모드 광섬유를 측정 프로브에 장착하고, 광섬유로부터 발생하는 두 구면파의 간섭으로부터 구면파 중심, 즉 프로브의 3차원 좌표를 얻는다. 이와 같은 부피간섭계는 아베 오차를 최소화하는 장점이 있지만 위상천이와 CCD를 이용하기 때문에 생기는 속도의 한계, 온도와 압력으로 광섬유에서 발생하는 오차, 압전소자와 CCD의 비선형성에 의한 오차를 가진다.

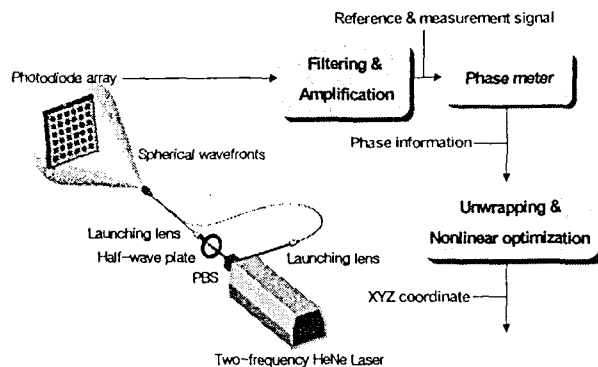


그림 1 헤테로다인 부피 간섭계의 구성도

본 연구에서는 기존의 부피간섭계의 위상검출법을 위상천이법에서 헤테로다인 방법으로 대체해 근본적인 속도의 한계를 극복하고, 주파수 영역에 정보를 실어 외부광이나 진동 등의 오차 및 수광소자의 비선형성에 강인하게 하였다. 측정 시스템은 그림 1과 같이 구성되었다.

안정화된 두 파장 HeNe 레이저에서 나온, 편광이 서로 다른 두 주파수의 광은 편광광분할기를 거쳐 주파수 별로 분

리된다. 분리된 광은 각각 단일모드 광섬유로 집광되어 광섬유를 따라 서로 이웃하게 구면파를 내보낸다. 전파하는 구면파의 편광방향을 일치시키기 위해, 편광광분할기를 거친 후 한 주파수의 광은 반파장판을 통과하게 된다. 이와 같은 과정을 거쳐서 광섬유로부터 나온 구면파는 수광소자 배열로 입사한다. 수광소자로는 신호대잡음비 특성이 우수한 전자사태광다이오드(Avalanche photodiode)를 2축 스테이지로 이송하여, 가상의 2차원 수광소자 배열을 구현하였다. 그림 2와 같이 수광소자 배열의 중심픽셀에서 얻은 신호를 헤테로다인 간섭계의 기준신호로 사용하고 나머지 픽셀들에서 얻은 신호를 측정신호로 사용한다. 기준신호와

측정신호를 위상측정기의 입력으로 넣어 중심픽셀에 대한 나머지 픽셀들의 상대위상값을 얻는다. 이렇게 얻은 위상정보는 언래핑(Unwrapping)과 비선형 최적화 과정을 거쳐 좌표정보로 변환된다. 위상측정기로는 미소신호동기증폭기(Lock in amplifier)를 사용하였다. 그림 3은 실제 구성된 시스템이다.

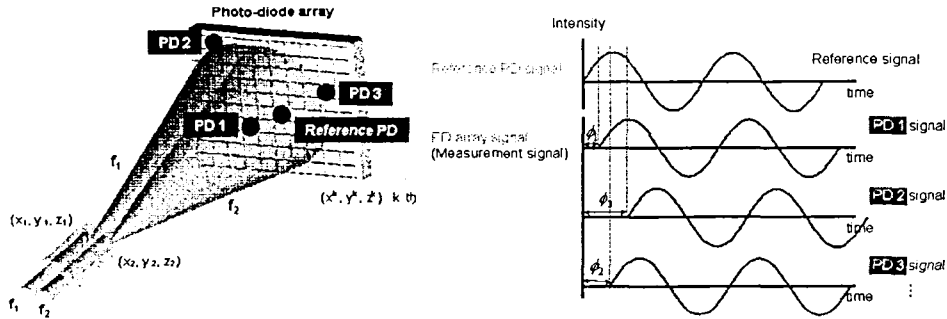


그림 2 헤테로다인 부피 간섭계의 위상검출법

본 연구에서는 현재 스테이지의 위치를 25회 이동시켜 5×5의 수광소자 배열로부터 한 위치의 좌표정보를 얻는다. 실험에서 얻은 고정된 위치에 대한 좌표정보의 반복능은 표 1과 같다. 광섬유의 위치를 변화시킨 경우에도 비슷한 반복능을 보임을 확인하였다. 이러한 좌표정보의 반복능은 수광소자 배열을 구현하는데 사용한 스테이지의 성능에 큰 영향을 받는다. 스테이지의 위치 반복능이 좌표정보의 반복능에 미치는 영향은 시뮬레이션 결과 ± 0.6 μm 정도이다.

현재 구성된 시스템은 삼차원 공간상의 절대좌표를 아베 오차의 영향 없이 한 번에 측정하는 기존의 부피 간섭계의 장점을 유지하면서 외부광과 다른 주파수의 노이즈, 수광소자의 비선형성 등에 강인하다는 장점을 가진다. 시스템의 수광소자로 한 웨이퍼 상에서 가공된 수광소자 배열을 사용함으로써 반복능을 크게 향상시킬 수 있고, 측정신호의 수에 해당하는 위상측정기의 구성을 통해 위상측정속도를 수 kHz 정도까지 개선 가능하다.

Coordinate	Fiber 1			Fiber 2		
	x (μm)	y (μm)	z (μm)	x (μm)	y (μm)	z (μm)
σ	0.528	0.337	0.273	0.528	0.337	0.252
PV	1.728	1.086	1.106	1.728	1.086	0.906
± 2σ	± 1.056	± 0.674	± 0.546	± 1.056	± 0.674	± 0.504

표 3 헤테로다인 부피 간섭계의 좌표측정 반복능

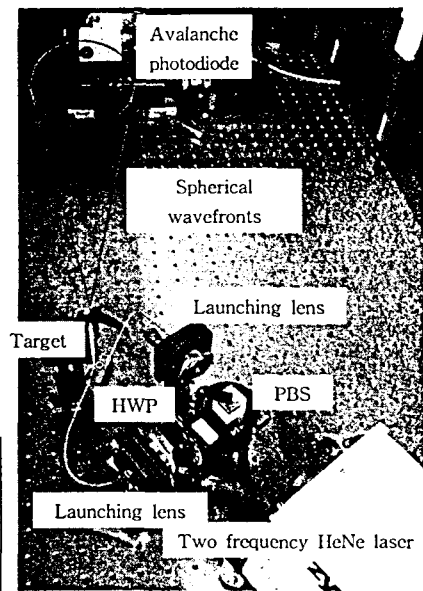


그림 3 실제 시스템 구성

[참고문헌]

1. Rhee, Hyug-Gyo, Kim, Seung-Woo, "Absolute distance measurement by two-point diffraction interferometry", Applied Optics, Vol. 41, No. 28, pp. 5921-5928, 2002.
2. Kim, Seung-Woo 外, "Volumetric Phase-Measuring Interferometer for Three-Dimensional Coordinate Metrology", Prec. Eng., Vol. 27, No. 2, pp. 205-215, 2003.