

단일모드 광섬유를 이용한 진동에 둔감한 기상측정 간섭계

Vibration insensitive on-machine interferometry using single-mode fiber optic diffraction

김학용, 김승우
한국과학기술원 기계공학과
forgood@pem.kaist.ac.kr

렌즈나 거울 등의 광학부품을 가공하는 방법이 기존의 단순 연마과정을 넘어서 이제는 다양한 곡률의 구면 또는 비구면의 자유곡면을 가공할 수 있는 자동화가 널리 보급되어 있는 추세이다. 하지만 가공기술은 자동화되어 있는 반면에 이를 위한 측정 장비는 자동화되어 있지 못하기 때문에 가공기와 측정기가 되먹임에 의한 제어관계에 있지 못하고 서로 독립적이다. 그리고 반도체 웨이퍼나 LCD, PDP 등의 디스플레이 분야에서도 점점 그 크기가 커지면서 대영역을 한번에 측정할 수 있는 측정기가 필요함에도 불구하고 적절한 대응을 할 수 없는 것이 현실이다. 이러한 문제들의 가장 큰 원인은 측정기로 사용되는 광 간섭계가 환경, 특히 진동에 상당히 취약하기 때문에 측정결과를 제대로 얻어낼 수가 없고 따라서 진동이 심한 광학부품의 생산 공정에는 적용을 할 수가 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 방법으로 진동의 영향을 덜 받는 간섭계에 대한 연구가 있었다. 진동에 의한 간섭무늬의 흔들림을 직접 센서로 측정하고 이를 기준 반사면의 구동에 되먹임으로써 간섭무늬를 안정화시키기도 한다⁽¹⁾. 하지만 이 방법은 센서와 구동기의 대역폭에 따라서 제어가 가능한 진동 주파수가 제한을 받기 때문에 그 이상의 고주파 진동에 의해 간섭무늬가 평균화되는 것은 막을 수가 없다. 한편 공간위상천이 방식은 실시간으로 간섭무늬의 해석이 가능하기 때문에 진동의 영향을 덜 받는다고 알려져 있다⁽²⁾. 하지만 이 방식도 측정 시 사용되는 카메라의 대역폭에 따라 제어가 가능한 진동 주파수가 제한을 받게 되고, 무엇보다도 반복측정 시 서로 다른 진동영향으로 연속된 측정결과 간 반복능이 상당히 떨어지기 때문에 신뢰할 수 있는 측정치를 얻을 수 없는 단점이 있다. 공통경로(common path)방식의 간섭계는 진동성분이 기준파면과 측정파면에 동일하게 존재하기 때문에 간섭무늬가 근본적으로 안정화 될 수 있다. 회절격자와 편홀을 이용한 간섭계⁽³⁾는 공통경로임과 동시에 3개의 공간 위상천이된 간섭무늬를 동시에 얻을 수 있기 때문에 전술한 모든 간섭계들의 장점을 살리고 단점을 극복할 수 있는 해결책이 될 수 있다. 하지만 실제적인 구현에 많은 어려움이 따르고, 편홀에서 생성되는 기준파면으로 왜곡된 측정파면의 일부를 사용하기 때문에 정확한 측정결과를 얻기가 어렵다. 본 논문은 기상측정 간섭계가 갖춰야 할 조건들, 즉 공통경로, 공간위상천이, 그리고 완벽한 기준파면 생성의 조건들을 만족하는 새로운 간섭계를 제안한다. 단일모드 광섬유를 이용한 진동에 둔감한 기상측정 간섭계의 원리는 그림 1과 같다. 레이저 광원(LD)에서 출발한 평행광은 편홀이나 단일모드 광섬유 등의 공간필터와 시준렌즈를 거쳐 잘 정의된 평행광이 되고 90%의 반사도를 갖는 광분할기를 거쳐 측정물체로 전파해간다. 그 사이의 $\lambda/2$ 위상지연기(HWP)는 편광방향을 조절하여 편광분할기(PBS)를 통과하는 전체광량을 조절하며 $\lambda/4$ 위상지연기(QWP)는 간섭무늬의 가시도를 조절할 수 있다. 측정물체에 의해 반사되어 왜곡된 측정파면 중 90%는 편광유지광섬유(PMF)로 입사되어 공간필터역할을 하는 광섬유에 의해 완벽에 가까운 구면파가 된다. 나머지 10%는 반사거울들(M, CC)을 거쳐 편광분할기에서 광섬유를 통과한 기준파면과 만나게 된다. 두

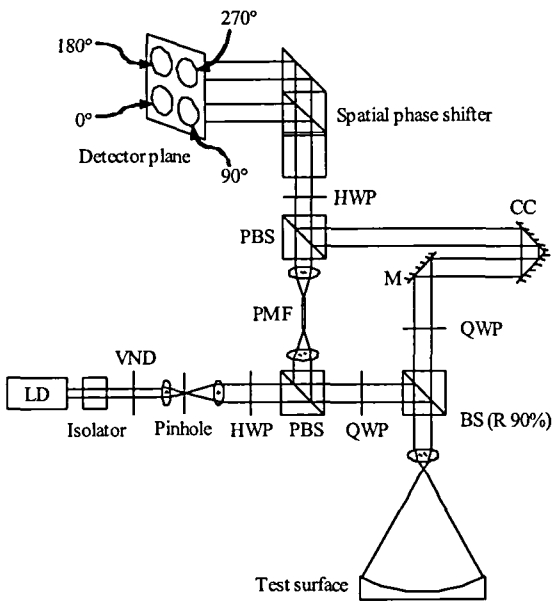


그림 1 단일모드 광섬유를 이용한 진동에 둔감한 기상측정 간섭계의 원리

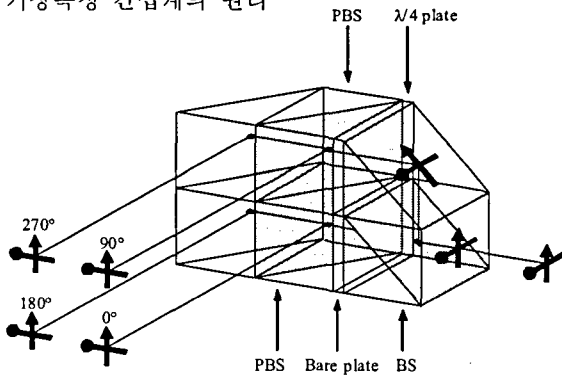


그림 2 4분할 공간위상천이 장치의 원리

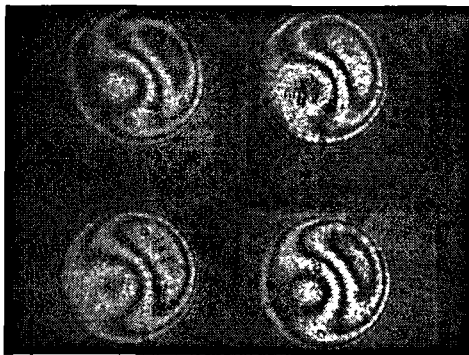


그림 3 ϕ 1인치, R100mm 구면경 간섭무늬

파면 간에는 측정물체의 진동성분이 동일하게 존재하게 되어 측정물체의 진동에 의해 간섭무늬가 영향을 받지 않게 되고 반사거울들에 의해 광경로차를 일치시키면 가간섭거리가 짧은 광원을 사용할 수 있게 된다. 따라서 다중 간섭에 의한 잡음을 효과적으로 막을 수 있다. 측정파면과 기준파면 간의 간섭무늬는 공간위상천이 장치에 입사되어 4개의 90도 씩 위상천이된 간섭무늬를 동시에 얻을 수 있는데 그 원리는 그림 2와 같다. 기본원리는 Smythe의 방식⁽²⁾과 동일하지만 하나의 카메라를 이용해서 측정할 수 있도록 각 부품의 배치를 새롭게 구현했다. 서로 편광상태가 수직인 측정파면과 기준파면은 공간위상천이 장치의 직전에 설치된 $\lambda/2$ 위상지연기(HWP)에 의해 각각의 편광상태가 45도씩 돌아가게 되어 편광분할기를 투과 또는 반사된 광에 기준광과 측정광이 모두 존재하도록 한다. 광분할기에 의해 위, 아래로 분기된 측정광과 기준광은 각각 설치된 편광분할기에 의해 투과와 반사된 것들이 서로 180도 위상천이되어 간섭을 하게 된다. 위에 설치된 $\lambda/4$ 위상지연기(QWP)는 아래 간섭무늬에 비해 90도 위상지연을 시키게 되어 결과적으로 90도씩 위상천이된 4개의 간섭무늬를 얻을 수 있게 된다. 그림 3은 이렇게 해서 얻어진 간섭무늬 결과를 보여주고 있다. 측정 대상물은 직경 1인치, 곡률반경 100mm의 구면경이다. 진동특성을 알아보기 위해 측정거울을 압전소자를 이용해 광축방향으로 10 μm 이상 진폭의 가진을 주기적으로 해보았지만 간섭무늬는 거의 변하지 않았다. 일반적인 간섭계 정렬시 광축방향에 대한 진동이 거의 대부분이라고 알려져 있기 때문에 광축방향 이외에 다른 성분들은 무시할 수 있다. 한편 광섬유는 센서로 사용될 수 있을 만큼 환경에 민감하지만 본 간섭계에 사용한 광섬유의 길이는 단일모드가 생성될 수 있을 만큼의 짧은 길이이기 때문에 온도나 음압 등의 환경 변화에서도 상당히 둔감하다. 또한 초기 정렬의 어려움을 극복하기 위해서 광섬유 입사단을 TEC(Thermally expanded core) 처리했다.

참고문헌

1. T. Yoshino *et al.*, *Opt. Lett.*, 23, 1576 (1998).
2. R.A. Smythe *et al.*, *Opt. Eng.*, 23, 361 (1984).
3. Osuk Y. Kwon *et al.*, *Opt. Lett.*, 12, 855 (1987).