

마이크로 성형기에서 미세 변위 측정을 위한 레이저 간섭계 개발에 관한 연구

최재원*(부산대 대학원), 김대현(제주대 대학원), 최경현(제주대 기계공학부), 이석희(부산대 기계공학부), 김승수, 나경환(생산기술연구원 마이크로성형팀)

A Study on Laser Interferometer Development for Micro Displacement Measurement in Micro Former

J. W. Choi(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.), D. H. Kim(Graduate School, Cheju Nat'l Univ.), S. H. Lee(Mech. Eng. Dept., Pusan Nat'l Univ.), K. H. Choi(Mech. Eng. Dept., Cheju Nat'l Univ.), S. S. Kim, K. H. Na(Korea Institute of Industrial Tech.)

ABSTRACT

Micro former has been known as a useful tool for machining micro parts. It makes micro holes automatically with punches, a hole-shape die and material by rotation of crank shaft synchronously. Micro displacement in micro forming affects on the performance of machining because micro forming size is similar with its mechanical displacement. Therefore, the measurement of this micro displacement is essential to be guaranteed to obtain high forming precision in the whole machine as well as its devices.

This paper addresses the development of a laser interferometer to measure micro displacement for a micro former. The laser interferometer is able to measure micro displacement during a few micro seconds with non-contact. For the experiment, a laser probe is installed on the optical table with optical devices and a micro displacement generating device. The velocity decoding board is also added to calculate doppler shift frequency directly. Finally simple experiments are conducted to confirm its functional operation.

Key Words : Heterodyne laser Interferometer(헤테로다인 레이저 간섭계), Micro Displacement Measurement(미소 변위 측정), Micro Former(마이크로 성형기)

1. 서론

최근 소형이면서 정밀도가 높은 정밀기기, 통신기기, 의료기기 등에 사용되는 미세부품을 가공하기 위한 기술들이 활발히 연구되고 있다. 미세 가공 기술 중에 상대적으로 생산비가 적게 드는 미세소성가공 기술에 대한 관심도 높아지고 있다. 미세소성가공 기술은 크기가 수 mm에서 수 μm 에 이르는 미세하고 작은 초소형의 기계요소를 소성변형을 이용하여 만드는 성형기술이다. 이러한 미세소성가공 기술 중 미세전단가공을 이용한 마이크로 펀칭은 수 μm 크기의 구멍을 가공할 수 있다.¹

마이크로 펀칭은 전단가공에 의해서 가공물에 미

세 구멍을 성형하는데 일반적인 금형 가공에 비해서 미세 가공에서는 미세한 기계적 변위가 성형물의 성형 오차에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이는 가공물의 크기가 성형기에서 발생할 수 있는 기계적 진동에 비하여 무시할 수 있을 정도로 상대적으로 크지 않기 때문이다. 따라서 마이크로 성형기에서 발생하는 기계적인 미세 변위를 측정함으로써 성형기에 대한 정밀도를 확보할 수 있다.²

마이크로 성형기는 크랭크 축에 의해서 금형, 즉 펀치와 다이가 좌우 이동하며 재료가 크랭크 축에 연동되어 자동 공급되면서 성형이 이루어진다. 이때 성형이 이루어지지 않을 경우 발생하는 크랭크 축의 고유 진동이 있으며 성형이 이루어 질 때 발생

하는 진동이 있다. 편칭시 크랭크 축의 거동, 즉 기계적 미소 변위를 측정함으로써 비정상 변위에 대한 데이터를 확보할 수 있게 되어 궁극적으로 정밀도를 확보할 수 있다. 또한 크랭크 축 뿐만 아니라 다이 및 가공에 영향을 주는 부분에 대해서도 측정할 수 있게 함으로써 실시간으로 미소변위를 파악할 수 있게 되어 정밀도를 향상시키는데 기여할 수 있다.

이를 위해서는 비접촉이면서 비교적 고속이며 고 정도의 측정이 가능한 레이저 간섭계가 적합하다. 레이저 간섭계는 마이켈슨 간섭계(Michelson interferometer)의 원리를 이용한 방법으로 이는 하나의 동일한 레이저로부터 나온 광원을 광분할기에 의해 두 개의 별도 광속으로 분리한 후, 고정 목표물과 이동 목표물에 각각 반사된 광의 가간섭성을 이용하여 이동 목표물의 거리를 측정한다.^{3,4} 레이저 간섭계에는 단일주파수를 이용하는 호모다인 간섭계(homodyne interferometer)와, 두개의 주파수를 이용하는 헤테로다인 간섭계(heterodyne interferometer)가 있다.^{5,7}

본 논문에서는 마이크로 성형기의 정밀도를 확보하고, 정밀도 향상을 목적으로 하는 수 μm 까지의 변위를 측정할 수 있는 측정 장치의 개발에 대하여 설명하고자 한다. 주파수 안정화가 된 $633nm$ 의 파장을 가진 He-Ne 레이저를 이용하고, Zeeman 효과를 이용해서 두개의 주파수를 생성한다. 또한 맥놀이 주파수가 $2.5MHz$ 이며 최대 $200KHz$ 의 도플러 주파수를 측정할 수 있다. 그리고 간섭 광학계, 위상 측정기 등을 조립하고 광 검출기로부터 들어오는 전기 신호를 읽고 속도 디코딩(velocity decoding) 보드를 통해서 도플러 주파수를 정형화하여 전압신호로 바로 얻음으로써 변위를 구할 수 있다.

2. 레이저 간섭계(Laser Interferometer)

레이저 간섭계에 이용되는 광원은 높은 출력과 우수한 광학적인 특성을 가진 $633nm$ 파장의 주파수 안정화 He-Ne 레이저를 이용한다.

2.1 호모다인 레이저 간섭계

단일 광원이기 때문에 광원제작이 용이하고 높은 분해능을 가지며 신호처리가 간단하여 실험실 차원에서 쉽게 구현하여 이용할 수 있다. 그러나 간섭무늬의 세기 자체를 신호로 이용하기 때문에 여러 가지 노이즈에 노출되기 쉽고 광학계의 정렬상태에 따라 민감한 반응을 보인다. Fig. 1은 호모다인 레이저 간섭계의 기본 원리를 나타낸다.

2.2 헤테로다인 레이저 간섭계

두 개의 주파수를 가진 레이저 광원이 필요하며

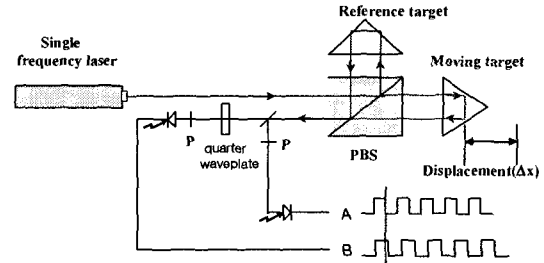


Fig. 1 Schematic diagram of Homodyne interferometer

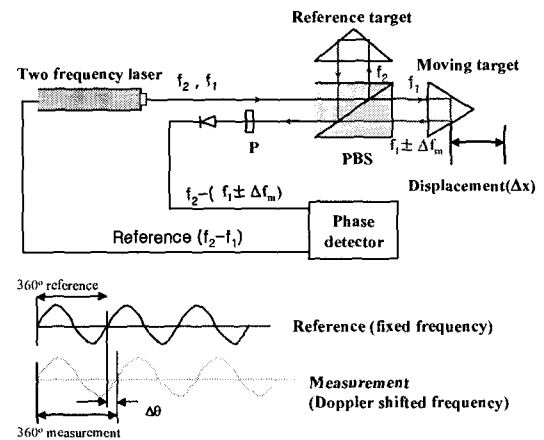


Fig. 2 Schematic diagram of heterodyne interferometer

두개의 광원의 맥놀이 주파수 사이의 위상 차이를 측정하여 이동 목표물의 거리를 측정할 수 있다. 이는 이동 목표물의 이동에 따른 도플러 편이(doppler shift)에 따른 주파수의 변화로 계산할 수 있다. 그리고 두 주파수의 차이를 측정하여 거리를 계산하므로 노이즈에 노출이 심하지 않고 광학계의 정렬이 비교적 쉽다는 장점이 있다. 그러나 신호처리 장치가 복잡하며 도플러 편이에 의한 측정 속도에 제한이 있다. 두개의 주파수를 생성하는 방법에는 Zeeman 효과를 이용하는 방법과 음향편향장치(acousto-optic modulator)를 이용하는 방법 등이 있다.⁸⁻¹⁰ Fig. 2는 헤테로다인 간섭계를 나타내고 있다.

본 논문에서 개발된 헤테로다인 간섭계의 광원은 Zeeman 효과를 이용하여 선형 편광이 서로 수직하며 편광분리기(Polarized Beam Splitter : PBS)를 통해서 하나의 광(f_1)은 고정된 반사경으로 다른 하나의 광(f_2)은 이동 반사경으로 분리되어 다시 45° 기울어진 편광판을 통하여 두 개의 광이 간섭을 일으켜 맥놀이 현상이 발생한다. 이 맥놀이 주파수(beat frequency) 신호를 이용하여 변위를 계산하게 된다.

f_1 의 광경로가 d_1 , f_2 의 광경로가 d_2 라고 할 때,

기준 신호(V_R)와 광 검출기로부터 얻어진 측정 신호(V_M)는 다음과 같다.^{6,7}

$$V_R = A \cos[2\pi(f_1 - f_2)t] \quad (1)$$

$$V_M = B \cos[2\pi(f_1 - f_2)t + 2nd_1/\lambda_1 - 2nd_2/\lambda_2] \quad (2)$$

여기서 A , B 는 진폭, n 은 공기굴절률이며 λ_1 , λ_2 는 광의 파장이다. 이렇게 측정된 신호의 위상값은 중요하지 않으며 두 신호의 상대적인 위상차가 필요하다. 다음 식은 두 신호의 위상차를 나타낸다.

$$\phi(t) = 4\pi n(d_1 - d_2)/\Lambda \quad (3)$$

여기에서 Λ 는 두 파장의 평균 파장을 나타낸다.

이동 반사경이 속도 v 로 움직일 때 측정 신호는 도플러 효과에 의해서 주파수 편이가 생기며 이는 위상차를 미분함으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = 2nv(t)/\lambda_1 \quad (4)$$

식 (4)를 시간에 대한 적분을 취하면 변위를 구할 수 있다.

3. 미세 변위 측정

마이크로 성형기의 성형 가공시 발생하는 미세 진동 및 변위를 전체 시스템과 각 모듈별로 측정하여 가공의 정확도를 높이는 목적으로 측정을 사용한다. Fig. 3에 구성하고자 하는 미세측정 시스템이 보여지는데, 구성요소로는 He-Ne 안정화 레이저, 간섭계, 고속 데이터 획득 시스템, 데이터 분석 소프트웨어 등이다.

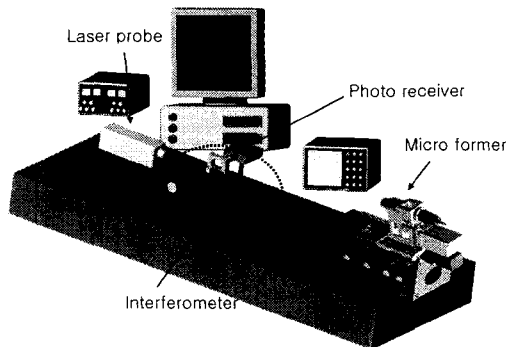


Fig. 3 Designed laser interferometer

3.1 실험 장치 구성

개발된 미세 변위 측정 장치의 실험을 위해 Fig. 4와 같이 구성을 하였다. 레이저 광원과 광학계를 광학 테이블 위에 올려놓고 수동으로 정렬 작업을 수행하였다. 측정 대상에 아무런 입력이 없을 때의 전기 신호를 오실로스코프로부터 측정하면서 편광판 및 반사경을 정렬 하였다.

또한 얻어진 신호는 속도 디코딩 보드를 통하여 주파수를 전압으로 곧바로 변환하여 도플러 신호를 관찰할 수 있게 하였다.

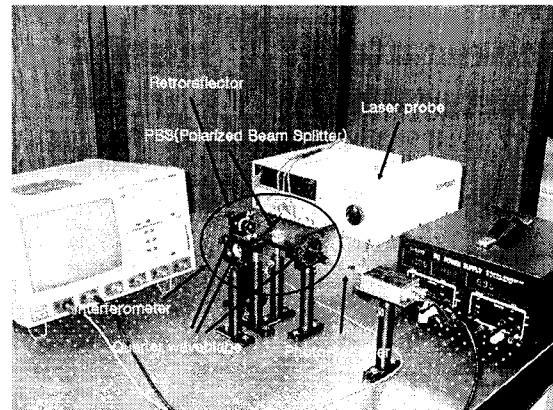


Fig. 4 Developed laser interferometer

3.2 실험 결과

정렬이 완료된 측정 장치에서 레이저 간섭계의 정상 작동 여부를 검증하기 위하여 이동 목표물에 대하여 임의의 입력을 가하여 적절한 신호가 오실로스코프로부터 검출이 되는지 여부로써 판별하였다. 이동 목표물에 임의의 입력을 가했을 때 기준 광 신호와 광 검출기로부터 검출된 광 신호는 식 (1)과 식 (2)에서와 같이 코사인 형태를 가진다. 이는 각 신호가 가지는 절대적인 값으로써 변위를 구하기 위해서는 단지 식 (3)의 두 신호의 위상차만이 필요하다. Fig. 5는 기준 광 신호와 측정 광 신호에 대한 위상차, 즉 도플러 편이 주파수를 전압값으로 속도 디코딩 보드를 이용하여 정형화시켜서 나타낸 것이다. 세로축은 도플러 주파수에 의한 전압을 나타내고 가로축은 시간을 나타낸다. 임의의 입력이 가해졌을 때만 주파수의 편이를 일으키고 입력이 없을 경우에는 변화가 없음을 관찰할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 마이크로 성형기에서 발생하는 미세 진동 및 변위를 측정하기 위한 이동식 측정기를 개발하기 위해 레이저 간섭계를 개발하고 측정 실험

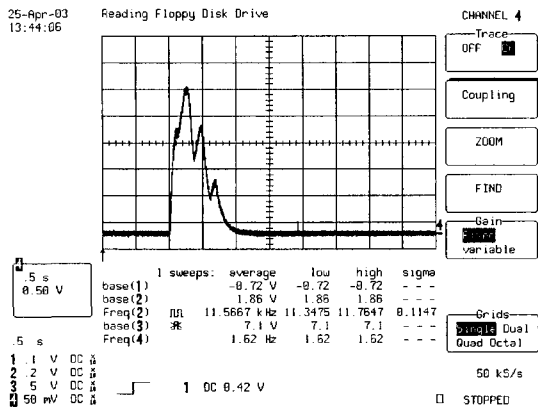


Fig. 5 Detected optical signal(converted doppler frequency to voltage)

을 수행하였으며 향후 위상 측정기 및 신호처리를 수행할 수 있도록 하기 위한 기본적인 실험 장비를 개발하였다.

향후 연구해야 할 내용은 마이크로 성형기의 임의의 위치를 측정하기 위해서 이동 가능한 레이저 간섭계를 개발하는 것이며, 레이저 간섭계는 공기 굴절률 및 미세한 진동에도 영향을 받으므로 이러한 노이즈가 측정하고자 하는 원신호에 커플링되지 않도록 해야 하며 A/D 변환기 및 얻어진 신호에 대해서 신호처리가 가능한 프로그램을 개발하여야 한다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산기술개발 사업의 위탁과제로서 수행중임을 밝힙니다.

참고문헌

1. 나경환, 박훈재, 조남선, "소성가공에 의한 미세부품 성형기술," 한국정밀공학회지, 제17권, 제7호, pp. 14-19, 2000.
2. 신용승, 김병희, 김현영, 오수익, "박판 전단시의 버 형성에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제19권, 제9호, pp. 166-171, 2002.
3. 김승우, "광계측의 기술동향," 한국정밀공학회지, 제17권, 제6호, pp. 7-16, 2000.
4. 김승우, "광계측 기반기술 발전현황," 한국전기학회지, 제50권 제1호, pp. 17-26, 2001.
5. Nanometrology를 위한 기반기술확보 및 나노측정기개발, 한국표준과학연구원.
6. 김민석, 김승우, "2-종모드 레이저를 이용한 고분해능 헤테로다인 간섭계," 한국정밀공학회지, 제

19권, 제4호, pp. 195-201, 2002.

7. 김민석, 김승우, "헤테로다인 변위 측정 간섭계의 고속, 고분해능 위상 측정," 한국정밀공학회지, 제19권, 제9호, 172-178, 2002.
8. D. Royer, E. Dieulesaint, X. Jia, and Y. Shui, "Optical generation and detection of surface acoustic waves on a sphere," Applied Physics Letters, Vol. 52, No. 9, 706-708, 1988.
9. Christophe Barriere and Daniel Royer, "Optical measurement of large transient mechanical displacements," Applied Physics Letters, Vol. 79, No. 6, 878-880, 2001.
10. Christophe Barriere and Daniel Royer, "Measurement of large ultrasonic displacements with an optical probe," IEEE Ultrasonics Symposium in Atlanta, pp. 1-4, 2001.