

## 고기능성 소재용 마이크로 인장시험기 개발

최현석\* · 한창수\*\* · 최태훈\*\*\* · 이낙규\*\*\* · 임성주\*\*\* · 박훈재\*\*\* · 김승수\*\*\* · 니경환\*\*\*\*

### Development of Micro Tensile Tester for High Functional Materials

H. S. Choi, C. S. Han, T. H. Choi, N. K. Lee, S. J. Lim, H. J. Park, S. S. Kim and K. H. Na

#### Abstract

Micro tensile test is the most direct and convenient method to measure material properties such as Young's modulus and fracture strength. It, however, needs more accurate measurement system, more stable and repetitive alignment and more sensitive gripping than conventional tensile test. Many researchers have put their effort on overcoming these difficulties for the development of micro tensile tester, fabricating micro specimens of functional materials and measuring their properties. This paper will review the related vigorous researches over the world in the recent decade and explain how to apply them to a design of the tester which is under our own development.

**Key Words** : Micro Tensile Tester, Function Material, VCM, Laser Interferometer, Position Control, Michelson Interferometer

#### 1. 서론

1947년에 개발된 트랜지스터의 크기는 현재 서브마이크로미터로 초소형화 되었다. 정보의 홍수 속에서 휴대전화, PDA 등 전자부품의 고효율화, 고집적화가 필수적인 조건으로 대두되고 있으며, 이런 경향은 AMA(Active Mirror Array)와 같은 차세대 영상 장치, 광통신 부품, 각종 이·화학 실험분석 장치, 컴퓨터 등의 최첨단 장비

에 부품으로 이용될 수 있는 광 접속 어레이, 광 단속기, 광 감쇄기, 유체 입자 필터, 초미세 밸브, 유체 혼합기, 유량 제어기, 칩 냉각기 등의 초미세 광·열유체부품에도 예외 없이 적용되고 있다.

초미세 광·열유체부품의 수요는 향후 급속히 성장할 것이라고 예측되고 있지만, 이들이 핵심부품으로 사용되는 최첨단 장비는 고가이며 동시에 고정도성이 요구되므로, 이들 핵심부품에 대한 고정도성, 내구성 등을 포함한

\* 한양대학교 정밀기계공학과 박사과정  
\*\* 한양대학교 기계정보 경영학부 교수  
\*\*\* 한국생산기술연구원 마이크로 성형팀  
\*\*\*\* 한국생산기술연구원 선임연구본부

부품의 신뢰성 평가에 관한 요구가 거세지고 있다. 초소형 부품의 신뢰성 평가는 주로 온도·습도에 관한 부품의 수명 평가, 부품의 내충격도, 부품 제조시에 발생하는 잔류 응력의 영향 평가 등이 있으며, 이를 위하여 사용되는 소재의 물성이 반드시 필요하다. 그러나, 부품의 크기가 작아지게 됨에 따라서 소재 내부의 결정립, 표면에 존재하는 작은 흠집, 마찰력 등의 영향이 커지게 되며, 일반적으로 수행되는 시험 방법에 의한 물성 측정 결과를 적용하는 것이 불가능하게 되었다. 따라서, 마이크로 정도의 크기를 갖는 시험편의 물성 시험에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

소재의 물성을 측정하는 방법으로는 인장 시험, 굽힘 시험, 자기공명 시험, 경도 시험법 등이 있다. 이 중에서 인장 시험법은 직접적으로 탄성계수, 파괴강도 등을 측정할 수 있는 가장 효과적인 방법이며, 또한 특별한 수식을 통한 환산이나 조건 없이도 물성치를 직접적으로 구할 수 있으므로 보편적으로 많이 쓰이고 있는 방법이다. 그러나, 마이크로 인장 시험은 시험편의 소형화에 따라서, 시험 정렬이 정밀하게 이루어져야 하며, 이를 위하여 다양한 시험편과 정렬 방법이 사용되고 있다. 또한, 마이크로 시험편에 인장력을 부가하기 위한 gripping 방법에 관한 다양한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 그러나, 현재까지 대부분의 연구는 단결정 실리콘(SCS, Single Crystal-line Silicon)이나 다결정 실리콘 소재의 시험에 집중되어 있어서, 보다 연성이 있는 소재에 관한 마이크로 시험이 상대적으로 취약한 상황이다.

본 논문에서는 지금까지 수행된 마이크로 인장 시험기에 관한 연구들을 검토하여 분석하고 향후 독자적으로 개발하고자 하는 마이크로 인장 시험기를 위한 레이저를 이용한 광학식 위치 측정 장치와 초정밀 구동기, 제어 알고리즘에 대한 연구 개발 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 마이크로 인장 시험기에 관한 연구

### 2.1 마이크로 인장 시험

Greek 등<sup>(1)</sup>은 SEM 챔버 내에서 관찰할 수 있도록 시험기를 구축하였는데, 이때 구동기는 piezoelectric actuator를 사용하였다.

시험편의 형상은 한쪽 끝부분은 사각형이고 다른 끝은 링 모양으로 되어 있어서 링 부분에 시험기의 프로브를 넣고 인장하는 방식을 사용하였다. 이러한 시험편의 구조는 굽힘 하중이나 비틀림 하중과 같은 인장 하중 이외의 하중을 배제하기 위한 시도이다.

하중의 측정은 스트레인 게이지를 부착한 하중 센서를

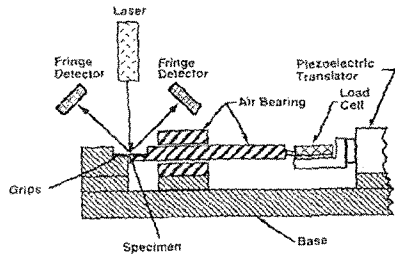
사용하였다. 이 시험기를 이용하여 각각 다른 길이를 갖는 시험편의 탄성계수(E)를 측정하고 강체의 탄성 변형 영향을 고려하였다. 구축된 시험기의 변위 정밀도는 0.5  $\mu\text{m}$ 이고 변위 해상도는 0.01  $\mu\text{m}$ 이다. 또한 최대 시험하중과 최대 행정거리는 각각 1N과 150  $\mu\text{m}$ 이며 하중 해상도는 10  $\mu\text{N}$ 이다.

또한, Tsuchiya 등<sup>(2)</sup>은 이전의 마이크로 인장 시험에서 시험편을 시험기에 부착시키는 방법으로 접착제를 사용하던 것을 정전기력으로 대체하고자 하는 연구를 시도하였다. 접착제를 사용하는 방법은 매번 시험을 할 때마다 측정 및 시험의 정밀도를 높이기 위하여 이전 시험에서 시험편에 고착된 접착제를 깨끗이 씻어내야 하는 번거로움이 있었으나, 정전기력을 사용함으로써 이러한 문제점을 해결할 수 있었다. 그러나, 정전기력은 마이크로 인장 시험에서 비교적 작은 시험편의 시험에만 적용해 오고 있는데, 이것은 정전기력이 감당해 낼 수 있는 파지력의 한계 때문이다.

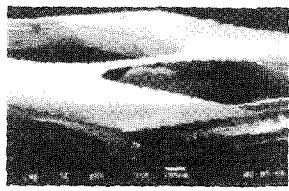
마이크로 인장 시험에서 구동기는 보통 PZT actuator나 VCM 혹은 DC servo motor가 사용되는데, 어느 쪽을 선택하느냐는 시험하는 소재의 연신율과 관계가 있다. Silicon thin film은 취성이 있는 재료로서 거의 소성변형을 하지 않으므로 PZT actuator와 같이 행정거리가 짧은 구동기를 사용해서 인장시험을 수행할 수 있으나, 금속이나 폴리머 소재의 경우에는 연신율이 크고 소성변형이 진행되므로 행정거리가 큰 DC servo motor를 사용하는 것이 일반적이다. Ogawa 등<sup>(3)</sup>은 0.5  $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 타이타늄 시험편을 스퍼터링을 이용하여 제작하고 DC servo motor를 이용한 시험기로 시험하였다. 마이크로 스코프와 2 대의 CCD 카메라를 이용하여 관측된 점들로부터 변형률을 측정하였다.

마이크로 인장 시험에서 시험편의 크기가 매우 작기 때문에 변형 측정 오차가 크게 되면 변형률에 관한 신뢰도가 떨어지게 된다. 일반적인 인장 시험에서 사용되는 스트레인 게이지는 마이크로 인장 시험에서는 부착의 문제 때문에 적용할 수 없고 대부분 비접촉식으로 측정하는 것이 보통이다. Chasiotis 등<sup>(4)</sup>은 시험편에 두 개의 gold marking을 하고 AFM(Atomic Force Microscope)이나 STM(Scanning Tunneling Microscope)을 이용하여 시험편의 형상 정보(topology)를 분석함으로써 변형률을 계산하는 방법을 이용하였다.

Sharpe 등<sup>(5,6)</sup>은 광선이 작은 슬릿(slot)을 통과하거나 혹은 작은 거울에 반사될 때 발생하는 회절과 두 개의 회절 무늬가 중복될 때 발생하는 간섭 이론을 이용하여 변형률을 측정하는 방법을 제안하였으며, 이를 ISDG(Int



(a)



(b)

Fig. 1 A schematic view of the measurement system and a tensile testing specimen of SCS thin film developed by Sharpe et al

erferometric Strain/Displacement Gage)라고 명명하였다.

이때, 시험에 사용된 소재는 다결정 실리콘(polysilicon)과 니켈이었으며, 광선을 반사시키기 위하여 시험편 위에 gold line marking을 증착하였다. 반사된 광선은 선형 다이오드 배열 시스템(linear diode array system)에서 감지되어 간섭무늬의 이동을 측정하며, 측정값에서 시험편의 강체 운동(rigid body motion)에 의한 변위를 배제하기 위해 시험편의 양쪽에 센서를 설치하였다. ISDG에 관한 이론적인 부분은 뒤에서 설명하도록 하겠다. Fig. 1는 Sharpe 등이 제안한 마이크로 인장 시험기의 개략도와 시험편의 사진이다. 또한, Yi 등<sup>(9)</sup>은 Sharpe 등이 제안한 ISDG 시스템을 독자적으로 개발하고, 이를 이용하

여 SCS의 탄성계수를 측정하였다. 다결정 실리콘과는 달리 SCS는 단결정이므로 소재의 크기 효과(size effect)의 영향이 거의 없으므로 소재 크기와 관계없이 물성 측정 결과가 나타나게 된다. 따라서 SCS의 경우 일반적인 규격의 시험편을 이용한 실험결과와 마이크로 인장 시험 결과가 같아야 한다. 이러한 SCS의 특성을 이용하여 Yi 등은 개발한 마이크로 인장 시험기의 신뢰도를 입증하였다.

그 외에도 많은 연구자들이 측정 방법, 구동 방법, 시험편의 구조 및 소재 등을 달리하면서 마이크로 인장 시험에 관한 연구를 수행해 왔다. 현재까지의 연구 결과들을 비교해 보면 Table 1과 같다.

기존의 연구 결과를 볼 때, Sharpe 등이 제안하여 Yi 등이 검증한 마이크로 인장 시험기가 가장 신뢰할 만하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 하중 측정은 load cell을 사용하고, 변위 측정은 광학적 간섭 시스템(interferometry system)을 사용하고자 한다.

## 2.2 광학 간섭계를 이용한 변위 측정

Fig. 2은 Young의 간섭 현상을 나타내는 그림이다. 이 때, b는 슬릿의 폭이고, d는 두 개의 슬릿간의 거리이다. 또한  $\theta$ 는 입사 광선과 평행한 선과 스크린 위의 점과의 각도이다.

이러한 간섭 현상을 설명하려면, 먼저 빛의 회절에 관한 이론이 필요하다. 빛의 회절 현상은 광선이 작은 슬릿을 통과할 때 발생한다. 이 때, d보다 훨씬 큰 거리에 떨어져 있는 스크린 위에서 빛의 강도 I는 다음 식과 같이 주어진다.

$$I = I_0 \sin^2 \beta / \beta^2 \quad (1)$$

Table 1 Micro tensile tests with various schematic and their results

Author	Measurement		Result		Speciment		
	Load	Displacement	E(GPa)	$\sigma$ (GPa)	Size w×t( $\mu$ m)	Material	Gripping
Greek et al.	Strain gauge	Optical encoder	167	1.25	10×10	Polysilicon	Insertion
Tsuchiya et al.]	strain gauge	Strain gauge		2.5	2-5×2	Polysilicon	Electrostatic
Ogawa et al.	Load cell	Microscope	96	0.95	300×0.5	Titanium	Screw
Chasiotis et al.	Load cell	AFM	132		50×1.9	Polysilicon	Electrostatic
Sharpe et al.	Load cell	Interferometer	176	0.56	200×200	Nickel	Insertion
Sharpe et al.	Load cell	Interferometer	168	1.21	600×3.5	Polysilicon	Glue
Suwito et al.	Sensing beam	Displacement sensor		1.2	28×15	SCS	Glue
Yi et al.	Load cell	Interferometer	169	1.2	100×5	SCS	Glue

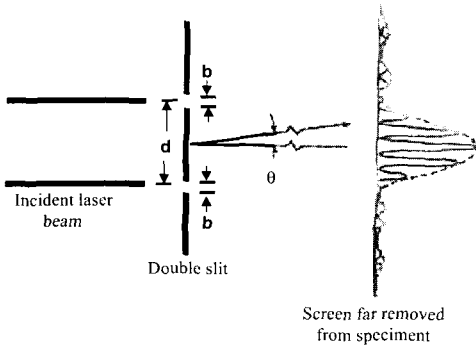


Fig. 2 Schematic view of the double-slit interference phenomenon

이때,  $I_0$  는 광선의 초기 강도를 의미하며,

$$\beta = \pi b \sin \theta / \lambda \quad (2)$$

와 같이 정의된다. 여기서,  $\lambda$ 는 광선의 파장이다. 이 식은 빛의 회절에 의하여 스크린 위의 위치를 뜻하는  $\theta$ 가 변함에 따라서 그 위치의 빛의 강도가 변한다는 것을 의미한다. 식 (1)로부터,  $\beta = \pm \pi$ 일 때, 첫 번째로 가장 빛이 약해지게 됨을 알 수 있으며, 이때에 회절 패턴의 폭은 식 (2)로부터 다음 식과 같이 주어진다.

$$\sin \theta = \lambda / b \quad (3)$$

Sharpe 등<sup>10)</sup>은 슬릿을 통과하는 빛 대신에 작은 금속 표면으로부터 반사되는 빛의 회절을 이용하여 ISDG를 구축하였다. 각각 반사된 두 개의 회절 무늬의 간섭으로부터 최종적으로 스크린 위에 발생하는 빛의 강도는 다음 식으로 정의된다.

$$I = I_0 \sin^2 \beta / \beta^2 \times \cos^2 \gamma \quad (4)$$

여기서  $\gamma = \pi d \sin \theta$ 이다. 즉, 회절 패턴의 주 최대값의 각도 폭은  $\lambda/b$ 에 의해서 결정되며, 간섭무늬 간의 각도 간격은  $\lambda/d$ 에 의해서 결정된다. 간섭무늬에서 무늬 간의 간격을 측정함으로써  $d$ , 즉 시험편 위에 있는 gold marking의 거리를 측정할 수 있고 이로부터 변위를 다음 식과 같이 계산할 수 있게 된다.

$$\delta d = \delta m \lambda / \sin \theta \quad (5)$$

여기서  $\delta m$ 은 측정시점에서 무늬 간격에 대하여 무늬가 움직인 양이며, 특정 무늬가 다음 무늬로 움직였을 때 1이 된다. 식 (5)는 광학 간섭계를 이용한 측정 시스템의 기본이 된다. 이상과 같은 이론적 배경으로부터 Sharpe 등이 얻은 회절 및 간섭무늬의 강도는 Fig. 3과 같다.

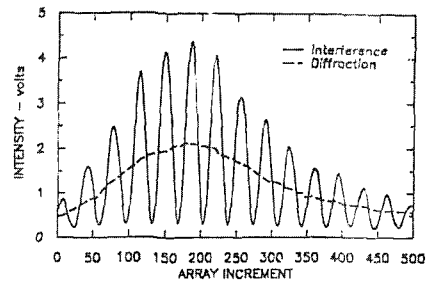


Fig. 3 Intensity of the diffraction and interference patterns

### 3. 마이크로 시험기 설계

#### 3.1 시험기용 정밀 구동기 설계

조정밀 위치 제어장치를 위한 구동 액츄에이터로서 VCM을 선정하였다. VCM은 응답속도가 빠르고 구조가 간단하며 비교적 쉽게 제작 할 수 있다. 시스템 요구사항에 적합한 VCM을 설계하기 위하여 VCM에 대한 모델링을 하고 설계 변수에 대한 위치 제어 시뮬레이션을 하였다. Fig. 4에 CAD 모델을 나타내었다.

VCM의 구성은 영구자석과 요크(yoke), 코일, 보빈(bobbin) 그리고 short turn으로 구성되어 있다. 그림 Fig.4는 설계된 VCM의 CAD 모델이다. Yoke의 재질은 S15C이며 코일은 직경 0.2mm의 에나멜 선을 사용하였다. Short turn은 알루미늄으로 만들었으며 emf를 방지한다. 영구자석은 NdFeB 계열의 자석을 사용되었다.

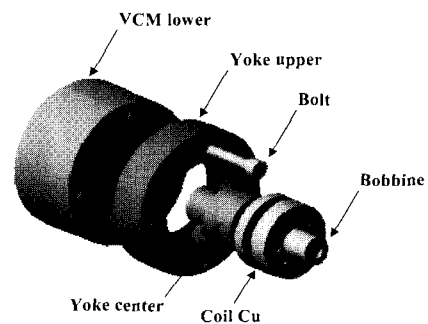


Fig. 4 CAD model of VCM

보빈은 절연성능이 우수하고 가벼우며 강성이 높은 포베이크라이트가 이용되었다. 포베이크라이트는 베이클라이트 재질에 섬유층을 넣은 것으로써 높은 강도와 절연성능을 가지고 있다.

영구자석은 요크(yoke)에 부착되어 있으며 권선은 보빈에 감겨져 있다. 보빈의 직선운동을 위하여 모션가이드가 필요하다. 실험에서는 보빈에 축을 연결하고 축의 직선운동 가이드를 위하여 4개의 leaf spring을 사용하였다.

### 3.2 VCM의 모델링 및 해석

VCM은 자기장과 코일로 구성된 부분과 leaf spring로 구성된 기구부로 구성된다. Fig. 5와 6은 VCM구동기의 구조와 본드 그래프 모델이다.

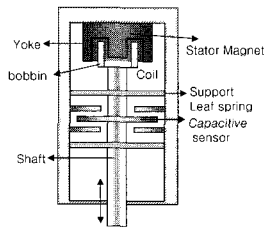


Fig. 5 VCM model structure

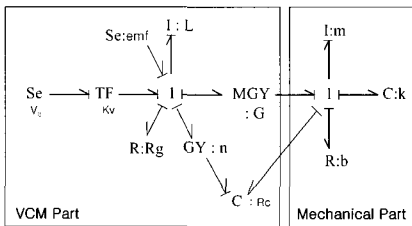


Fig. 6 VCM model bond graph model

VCM의 특성에 영향을 주는 주요 설계 요소들은 권선수, 공극에서의 자속 밀도, 권선 저항 등이 있다. 공극에서의 자속 손실을 막기 위해 공극을 최소화하여 설계하였다. 다음 식(6)과 같이 본드 그래프에 대한 모델식을 유도하였으며 Matlab에서 해석하였다.

$$\begin{aligned}
 L\ddot{x}_1 + R_g\dot{x}_1 + G\dot{x}_2 &= K_v V_0 + emf \\
 M\ddot{x}_2 + kx_2 + b\dot{x}_2 &= G\dot{x}_1 + Mg
 \end{aligned} \quad (6)$$

where,  $\dot{x}_1 = \text{current}$   
 $\dot{x}_2 = \text{velocity} \quad G = nBl$

L: inductance      Kv: amp gain  
 V<sub>0</sub>: input voltage      M: mass  
 k: spring constant      b: damping constant

정현파 입력에 대한 VCM의 위치변화에 대해 시뮬레이션을 하였다. 결과는 다음 Fig. 7, 8 과 같다.

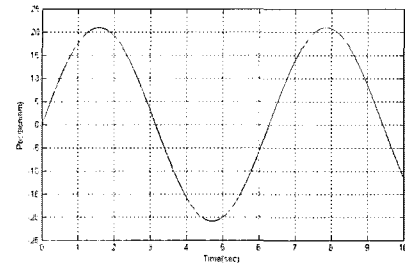


Fig. 7 Simulation result of VCM position control

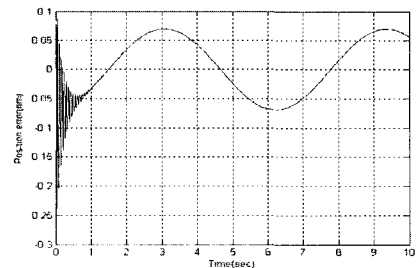


Fig. 8 Simulation result of VCM position error

### 3.3 VCM 기구부 설계

기구부는 VCM의 운동을 안내하는 부분으로써 VCM에 직접적으로 연결된 축과 베이스를 연결하고 축을 지지하는 leaf spring으로 구성된다.

Leaf spring은 VCM 전체 시스템의 강성에 관련되는 중요한 설계 요소이다. 필요한 스프링 상수를 가지기 위해 형상과 재료에 대한 해석이 필요하다.

실험에서는 0.1mm 베릴륨동 판재를 이용하였으며 FEM 해석을 하였다. Fig. 9에 FE 모델을 나타내었다. FEM 해석을 통해 설계된 스프링의 강성을 예측하였고, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

축의 재료는 알루미늄으로 제작되어 스프링과 나사 체결로 조립되었다. 스프링은 약 5000N/mm의 강성을 가지도록 설계하였다.

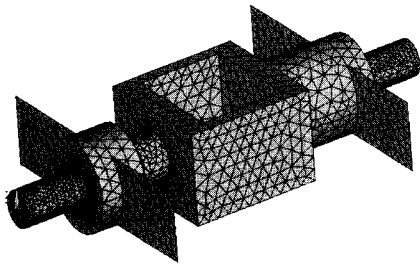


Fig. 9 FE model (mashed axis and spring)

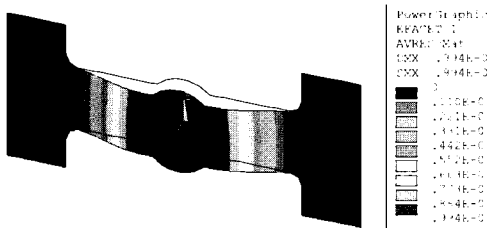


Fig. 10 Result of leaf spring FEM analysis

### 3.4 VCM 위치 제어 실험

실험을 위한 VCM제어 시스템을 구성하였다. 제어 알고리즘은 PID제어기를 사용하였으며 제어기는 DSP(dSP ACE 1104) 를 사용하여 알고리즘을 구현하였다. 제어에서 필요한 feedback신호는 위치 측정용 캐패시티브 센서 (capacitive sensor)를 사용하였다. Fig. 11에 측정 실험 시스템을 나타내었다.

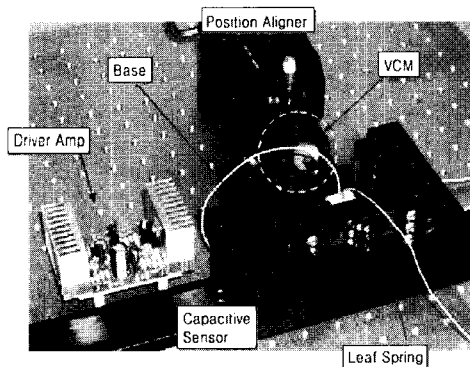


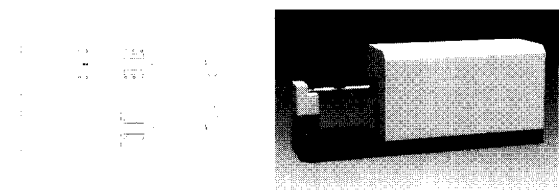
Fig. 11 VCM test system

위치 제어 정밀도 측정 실험은  $\pm 20\text{nm}$  sine운동을 하도록 입력하였으며 위치 측정은 캐패시티브 센서로 하였다. 베이스는 방진테이블에 고정하여 외부 진동에 의한 오차를 줄였다.

실험 결과 평균 오차는 약  $5\text{nm}$ 를 가지고 있었다 이러한 오차의 원인으로는 스프링의 비선형성과 VCM driver에 의한 오차로 예측된다. 향후 이러한 오차요인에 대한 대책과 제어기의 제어 변수에 대한 보다 효과적인 설정에 의해서 좀더 향상된 위치 결정 정밀도를 구현할 수 있을 것이다.

### 3.5 마이크로 인장시험기 설계

지금까지 개발되어 온 마이크로 인장 시험기에 관한 연구들을 종합하여 수평형 마이크로 인장 시험기에 관한 설계를 수행하였다. Fig. 12(a)와 (b)에 설계 도면과 설계된 마이크로 인장 시험기의 3D CAD 모델을 각각 나타내었다.



(a) 2D draft (b) 3D CAD model  
Fig. 12 Micro tensile tester with horizontal type

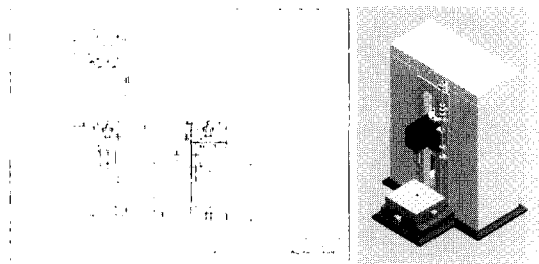
설계된 마이크로 인장 시험기의 규격은  $710 \times 200 \times 270\text{mm}$ 로서 데스크탑 형태이다.

구동기로서 piezoelectric actuator나 VCM을 사용할 예정이며, 에어 베어링과 leaf spring을 이용하여 인장축 구동시의 마찰을 줄이고 stick slip에 의한 실험 오류를 최소화하도록 한다. 수평형의 경우, 에어 베어링과 같이 마찰이 최소화된 부품의 사용은 필수적인 것으로 알려져 있다.<sup>(10)</sup> 또한, load cell의 위치는 구동기에 붙도록 한다. 수평형의 경우에 시험편의 위치 조절이 용이하여 불필요한 비틀림이나 굽힘이 작용하는 것을 방지할 수 있으나, 축의 자중에 의한 처짐 등의 문제가 있을 것으로 예상된다.

이상과 같은 문제점을 고려하여 재설계하여 Fig. 13에 수직형 마이크로 인장 시험기의 설계도면과 3D CAD model을 나타내었다. 수직형 마이크로 인장 시험기는 servo motor와 ball screw를 사용하여 구동하며, load cell을 슬라이딩 헤드에 붙여서 직접 시험편과 접촉하게 하고 자중에 의한 처짐이 문제가 되지 않으므로 에어 베어링이 불필요할 것으로 예상된다. 인장 시험기의 크기는  $458 \times 405 \times 440\text{mm}$ 으로서 역시 데스크탑 형태이다.

마이크로 인장 시험기의 하중 최대용량은 1N, 하중 해상도는  $0.1\text{mN}$ 을 목표로 하며, 변위 측정은 광학적 간

접 시스템을 사용하여 변위 해상도는  $0.02\mu\text{m}$ 를 목표로 설계하였다. 향후 수직형과 수평형에 관한 두 가지 설계에 관한 보다 심도 있는 분석을 통하여 개발 시에 유형을 결정하고자 한다.



(a) 2D draft (b) 3D CAD model  
Fig. 13 Micro tensile tester with vertical type

#### 4. 변위 측정용 레이저 광간섭 센서

##### 4.1 센서의 광학시스템

간섭신호를 얻기 위해 광 간섭계를 Fig. 14 와 같이 구성하였다. 주파수 안정화 레이저 헤드(laser head), 편광기(polarizer), 굴광기(beam splitter; BS), 반사거울(retro-reflector), 편광 굴광기(PBS), 광다이오드(photo diode; PD) 등으로 구성되어 있다. 광학계에서의 오차 요인은 주로 레이저의 불안정한 주파수와 광학렌즈에서 발생하는 지연효과 그리고 온도와 습도, 기압에 의한 것으로 알려져 있다. 주파수 안정화 장치와 환경변수 보상알고리즘을 적용할 경우 보다 정밀한 센서 시스템의 구현이 가능하다.

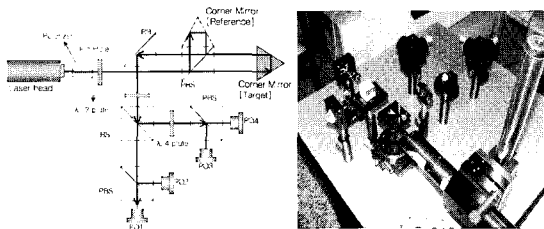


Fig. 14 Optical system of interferometer

##### 4.2 간섭광 신호 처리

광학계를 거쳐 만들어진 광 간섭신호는 PD 센서를 통해 아날로그 신호로 변환된다. PD 센서에서 측정된 신호는 low pass filter와 amp를 통하여 잡음신호를 제거한다. Fig. 15 와 같이 PD1-PD2, PD3-PD4의 신호를 각각 diff. amplifier를 통과 시켜 두개의 정현파(A-B상)

를 만들어 낸다. 두개의 A-B파형은 서로  $\pi/2$ 의 위상차를 가지고 있다.

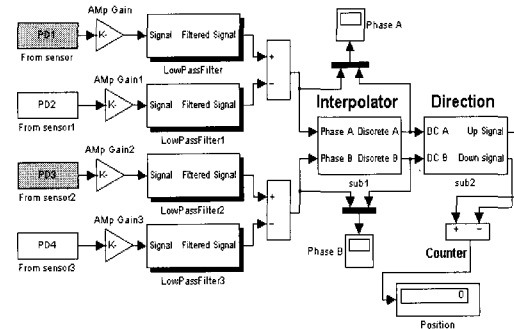


Fig. 15 Signal processing of interferometer

위상차를 가진 두 정현파는 interpolator를 거치면서 신호변조가 이루어지며 edge trigger회로를 통해 20배로 주파수 체배된 신호로 변환된다. 방향 검출회로와 체배기(interpolator)를 거치면서 He-Ne 레이저 파장( $\lambda$ )의  $1/40$ 의 분해능을 가진 up/down 신호로 변환된다. 이 신호를 컴퓨터에서 입력 받아 변위를 산출하게 된다. 이론적으로는 He-Ne 레이저의 파장이  $633\text{nm}$ 로 측정 분해능은  $633/40\text{nm}(15.82\text{nm})$ 가 된다.

Interpolator는 Heidenhain사의 주파수 체배기를 사용하였으며 체배기에서 출력된 신호를 방향검출회로와 마이크로 컨트롤러에 연결해 변위를 산출하였다.

##### 4.3 Interferometer 실험 결과

PZT를 이용하여 측정 대상체의 반사 거울을 이동시키면서 센서의 측정값과 실제 변위량을 비교하였다. 센서의 환경요인에 의한 오차 보상은 적용하지 않은 상태에서 실험하였다.

각각의 렌즈들은 모듈화를 하여 조립과 광축의 정렬이 쉽도록 설계하였다. 레이저는 He-Ne 레이저를 사용하였으며 파장은  $633\text{nm}$ 이다. 실험에서는 상용화된 interferometer를 이용하여 검증하였다. 실험 결과는 다음

Table 2 Interferometer test result

Moving Displacement ( $\mu\text{m}$ )	Measurement Displacement ( $\mu\text{m}$ )	Error ( $\mu\text{m}$ )
17.854	18.033	-0.179
35.813	35.677	0.136
53.745	53.612	0.133
71.802	71.641	0.161

Table 2와 같다. 실험결과 약 200nm의 분해능을 가지고 있었다. 오차 발생의 원인은 환경적인 요인과 레이저의 주파수의 불안정한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

마이크로 인장 시험과 관련하여 최근 수년간 수행되어온 왕성한 연구에 관하여 검토해 보았다. 현재까지 주로 실리콘 소재의 물성 측정에 주력해 왔지만, 향후 급속히 수요가 확대될 것으로 예상되는 초미세 광·열유체 부품에 쓰일 폴리머, 플라스틱 등의 소재에 관한 마이크로 인장 시험에 관한 연구도 필수적일 것이라고 판단된다. 이와 같이 측정된 물성치들은 최종 제품의 온도 및 습도에 관한 내구성 및 수명을 예측하는 데 크게 기여하는 근간 자료로 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광·열유체 마이크로부품 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행중이며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) S. Greek and S. Johansson, 1997, "Tensile Testing of Thin Film Microstructures", Proc. SPIE, Vol. 3224, pp. 344~351.
- (2) T. Tsuchiya, O. Tobato, J. Sakata and Y. Taga, 1998, "Specimen Size Effect on Tensile Strength of Surface-micromachined Polycrystalline Silicon Thin Films", J. Microelectromech. Syst., Vol. 7, pp. 106~113.
- (3) H. Ogawa, K. Susuki, S. Kaneko, Y. Nakano, Y. Ishikawa and T. Kitahara, Nagoya, January, 1997, "Measurement of Mechanical Properties of Microfabricated Thin Film", Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, pp. 430~435.
- (4) I. Chasiotis and W. Knauss, 1998, "Mechanical Properties of Thin Polysilicon Films by Means of Probe Microscopy", Proc. SPIE, Vol. 3512, pp. 66~75.
- (5) W.N. Sharpe Jr., August, 1989, "An Interferometric Strain/Displacement Measurement System", NASA Technical Memorandum 101638.
- (6) W.N. Sharpe Jr., B. Yuan and R.L. Edwards, 1997, "A New Technique for Measuring the Mechanical Properties of Thin Films", J. Microelectromech. Syst., Vol. 6, pp. 193~199.
- (7) W.N. Sharpe Jr., D.A. LaVan and R.L. Edwards, June, 1997, "Mechanical Properties of LIGA-Deposited Nickel for MEMS Transducers", Proc. Int. Conf. Solid-State sensors and Actuators, pp. 607~610, Chicago, IL.
- (8) W. Suwito, M.L. Dunn and S.J. Cunningham, June, 1997, "Mechanical Behavior of Structures for Microelectromechanical Systems", Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators, pp. 611~614, Chicago, IL.
- (9) T. Yi and C.J. Kim, June, 1999, "Microscale Material Testing: Etchant Effect on the Tensile Strength", Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators, pp. 518~521, Sendai.
- (10) T. Yi, 2000, "Microscale Material Testing of Single Crystalline Silicon", A dissertation for the degree of doctor of philosophy, University of California, LA.