

나노스탬프 구동용 압전액추에이터 기본특성에 관한 연구

A Study on Basic Characteristics of Piezoelectric Actuator for Driving Nanoscale Stamp

**박중호¹, 이후승¹, 이재종², 최기봉², 윤소남¹

*J.-H. Park(jhpark@kimm.re.kr)¹, H.-S. Lee¹, J.-J. Lee², K.-B. Choi², S.-N. Yun¹

¹ 한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부, ² 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부

Key words : Piezoelectric Actuator, Hollow Actuator, Nanoscale Stamp, Nanoimprinting Lithography

1. 서론

최근, 극미세/미소 구조물을 제작하기 위한 공정기술 중에, 기존의 광학을 이용한 패턴전사 공정의 회절한계를 극복하기 위하여 마스터스탬프에 형성된 나노패턴을 웨이퍼 등에 복제할 수 있는 나노임프린팅 리소그래피 기술이 활발히 연구되고 있다⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾. 한국기계연구원에서는 나노메카트로닉스 기술개발사업(21세기 프린터 연구개발사업)의 지원으로 나노 구조물을 제작하기 위한 멀티헤드방식의 나노임프린팅 장비의 개발을 진행하였고⁽¹⁾⁻⁽²⁾, 50nm 이하의 패턴성형이 가능한 NIL 장비(ANT-4와 ANT-6R)를 개발할 수 있었다. 이 새로운 방식의 장비는 대면적의 임프린팅을 한 번에 할 수 있고, 플렉서 메카니즘(Flexure mechanism)을 이용한 스템프와 웨이퍼사이의 기하학적인 틀어짐에 대한 보정이 가능하며, 스템프와 웨이퍼의 변형에 따른 문제를 해결할 수 있는 균일접촉 시스템을 가지고 있는 것이 특징이다. 이러한 장비의 고기능화 및 패턴전사 성능 향상을 위해서는, 기존의 전동모터를 대체하여 한정된 설치 공간 내에서 수십 μm 의 스템프 변위를 독립적으로 제어할 수 있는 초정밀, 초소형 액추에이터가 필요하다.

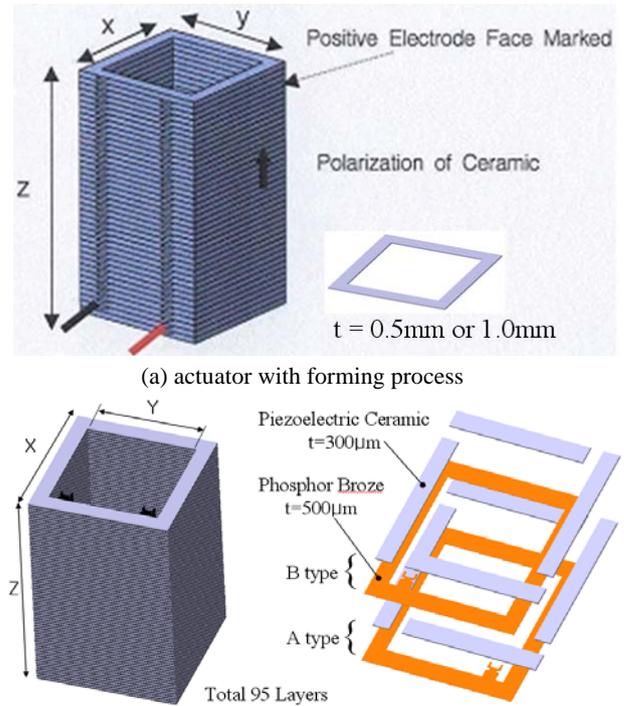
따라서 본 연구에서는 플렉서 메카니즘과 결합된 나노스탬프를 구동하기 위해 중공형 압전액추에이터를 설계, 제작하였으며, 제조공정이 다른 각각의 시제품의 변위, 발생력 및 응답특성에 관한 검토를 수행하였다.

2. 액추에이터 설계 및 제작

멀티헤드방식의 나노임프린팅 장비에 접목하여 나노스탬프를 구동시키기 위해서는 플렉서를 포함한 장치특성상 사각형상의 중공형 압전액추에이터의 개발이 필요하다. 얇은 압전세라믹을 수십층 적층하여 제작한 압전액추에이터는 비록 변위는 적을 지라도 분해능(nm급)이 우수하고 빠른 응답성, 큰 발생력, 낮은 소비전력과 같은 장점 때문에 나노스테이지 위치제어, 초소형 유체디바이스 구동 등 첨단 산업 응용분야에서 폭 넓게 응용되고 있으나, 전 세계적으로 사각형상의 중공형 압전액추에이터의 개발 사례는 찾아보기 어렵다.

Fig. 1(a)에 나타낸 바와 같이 기존 압전액추에이터의 제조공정을 이용하여 중공형 압전액추에이터를 제작하였다. 전처리를 통해서 얻어진 압전과우더를 일축프레스로 가압하는 성형공정, 1200 $^{\circ}\text{C}$ 의 열처리, 스크린프린팅법에 의한 전극처리, 그리고 분극공정 등을 거쳐서 얻어지는 두께 0.5mm 나 1.0mm의 세라믹층을 적층하는 공법이 사용되었다. 구동전압을 줄이고 액추에이터 변위를 설계 사양(최대 20 μm)에 만족시키기 위해서는 세라믹층을 얇게 제작할 필요가 있으나 상기 공정에서는 국내기술력의 한계로 세라믹 한 층의 두께를 0.5mm 이하로 제작하는 것은 어렵다. 또한, 소결과 적층공정에 있어서 변형되기 쉬워서 정확한 형상을 유지하기 어려운 문제점도 발생하였다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1(b)와 같은 형태의 제작방법을 선택하여 이 문제를 해결하였으며, 이는 기존 제작방법에서 가압 성형대신 필름형상의 압전박막을 적층함으로써 0.3mm 두께의 세라믹 층을 제작하고 다이싱을 통해서 장방형으로 형성된 4조각의 압전체를 동판위에 접착시키는 방식이다. 다음으로, 그림에 나타낸 바와 같이 압전체의 면과 정렬방향 등이 반대가 되도록 A-type과 B-type을 겹쳐서 적층함으로써 원하는 액추에이터 형상을 얻을 수 있었다.



(b) actuator with segments of piezoelectric thin film
Fig. 1 Fabricated hollow piezoelectric actuator

Table 1 Dimension and General characteristics of the fabricated hollow piezoelectric actuator

Item NO	Dimension	C	Fr	Ceramic
	z (mm)	(nf)	(KHz)	Layer t(mm)
PZT #1	39.12	386	57.2	0.5
PZT #2	39.35	107	29.7	1.0
PZT #3	34.5 \pm 0.5	1,294	53.3	0.3

Table 1에는 앞에서 언급한 제작방법에 따른 압전액추에이터의 제반 특성에 대해 설명하였다. PZT #1과 #2는 가압프레스를 이용해 제작한 액추에이터이고 PZT #3는 이번에 개발한 신 공정을 이용한 액추에이터이다. 각 액추에이터의 X는 23mm, Y는 18mm로 서로 동일하다. 길이 Z에 있어서는 PZT #3이 다른 두 타입에 비해 5mm정도 짧게 제작되었다.

3. 실험 및 결과

개발된 압전액추에이터의 성능확인 위해 구동전압에 대한 변위와 발생력 및 기본특성을 시험하였다. Fig. 2에는 고정도 레이저 변위센서(KEYENCE LC2430, 분해능 0.02 μm , 샘플링주파수 50kHz)를 이용하여 PZT #1, #2 와 #3 타입에 대한 전압대비 변위특성을 나타내었다. PZT #1과 #2에서의 변위가 각각 25 μm @800V와 28 μm @1800V로 설계사양에는 만족하지만 너무 높은 구동전압으로 인한 실제 장비에 적용 시 제약이 따랐다. PZT #3의 경우 23.6 μm @390V의 변위가 얻어져 장비에의 적용이 적합하다고 판단할 수 있었다.

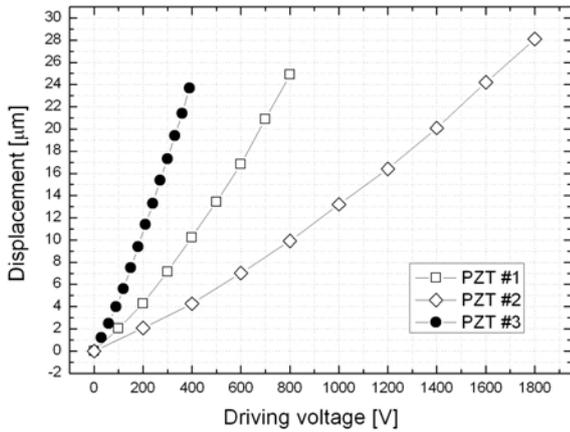


Fig. 2 Displacement characteristics of the actuator

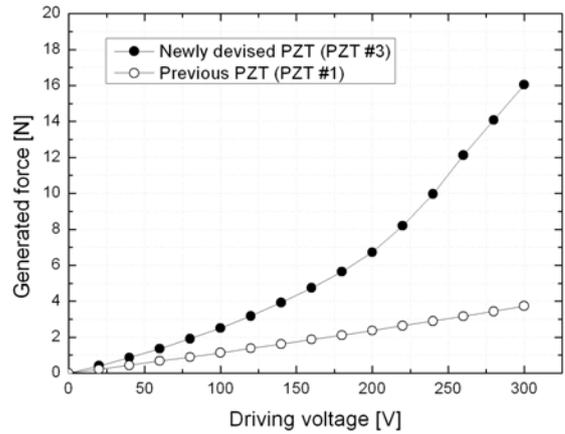


Fig. 5 Generated force characteristics

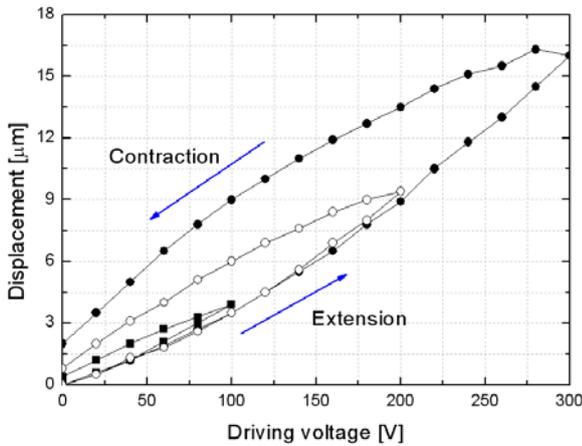


Fig. 3 Hysteresis characteristics of the actuator

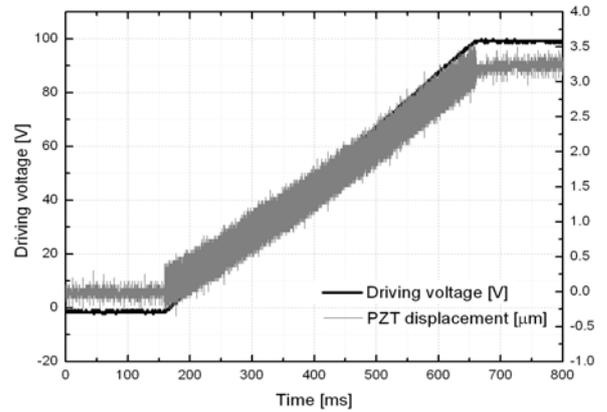
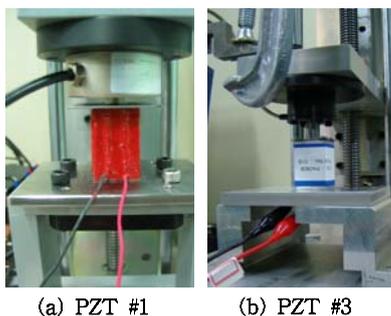


Fig. 6 Dynamic characteristic with ramp input

Fig. 3에는 액추에이터의 입력전압 대비 출력 변위 히스테리시스 특성을 나타내었다. 실험결과, 약 25%의 히스테리시스 특성이 얻어졌으며 이는 차후 PI제어나 역 히스테리시스 제어 등의 방법을 통하여 개선이 필요한 사항이라 할 수 있다.

액추에이터의 발생력은, Fig. 4와 같이 장치를 구성하고 변위를 구속한 상태에서 전압이 인가되었을 때 신장하려고 하는 액추에이터의 발생력을 측정하였고, 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 새로운 공정을 통하여 제작된 PZT #3에서 기존 액추에이터 대비 우수한 성능을 확인하였고, 멀티헤드방식의 나노임프린팅 장비에서의 사용 시 필요한 발생력(약 10N)에도 만족할 것으로 사료되고 있으며, 추후 이에 대한 추가적인 실험을 진행할 예정이다.

Fig. 6에는 램프입력에 대한 액추에이터의 변위를 측정하였다. 기존 스탬입력의 인가 시 반응속도가 약 15 μs로 우수하였으나, 오버슈트가 약 400%가 발생하여 이를 임시적으로 제어하기 위해 램프입력을 적용하였다. 그 결과 일정변위 내에서의 만족스런 구동은 할 수 있었으나 정확한 목표변위로의 구동을 위해서는 향후 추가적인 제어수법에 관한 검토가 필요하다.



(a) PZT #1

(b) PZT #3

Fig. 4 Experimental apparatus for voltage-force characteristics

4. 결론

본 연구에서는 멀티헤드방식 나노임프린팅장비의 나노스탬프를 구동하기 위한 사각형상의 중공형 액추에이터를 개발하였고, 그에 대한 변위, 발생력 및 기본특성을 실험하였다. 그 결과, 300V의 구동전압 입력 시에 17 μm의 변위, 16.4N의 발생력 및 약 25%의 히스테리시스 특성을 확인하였다. 향후, 동적특성을 개선하기 위한 제어수법의 검토와 더불어서 실제 장비 장착실험을 예정하고 있다.

후기

본 연구는 교육과학기술부 21세기프론티어연구개발사업(나노메카트로닉스기술개발사업)인 “다층 나노임프린팅 장비 핵심원천기술개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이재중, 최기봉, 김기홍, 박수연, “다층 나노임프린트 리소그래피 공정장비 기술”, 한국정밀공학회지, 26-6, 21-25, 2009.
2. 이재중, 최기봉, 김기홍, 이승우, 조현택, “Sub-50nm급 나노임프린팅 장비기술 및 응용”, 한국공작기계학회 2006 춘계학술대회논문집, 69-72, 2006.
3. 박중호, 이재중, 최기봉, 윤소남, “나노스탬프 위치제어용 중공형 압전액추에이터에 관한 연구”, 한국동력기계공학회 2009 춘계학술대회논문집, 115-118, 2009.
4. C.-H. Hsueh and et al, "Analyses of mechanical failure in nano-imprint processes", Materials Science and Engineering A 433, 316-322. 2006.