

PVDF 를 이용한 3 자유도 정밀 힘센서 개발 3-DOF Precision Force Sensor Using PVDF Film

*이민호¹, #조남규², 박병현¹, 권진하¹

*M. H. Lee¹, #N. G. Cho(ngcho@hanyang.ac.kr)², B. H. Park¹, J. H. Kwon¹

¹한양대학교 기계설계·메카트로닉스공학과, ²한양대학교 기계공학과

Key words : Multi-axis Force Sensor, PVDF, Sensor Calibration, Cell injection, Cell engineering

1. 서론

힘센서는 MN 단위의 측정이 요구되는 중공업, 선박, 플랜트 분야 등으로부터 작게는 pN ~ nN 의 힘 분해능이 요구되는 AFM(Atomic Force Microscope)에 이르기까지 다양하게 사용되어 왔다. 최근에 들어서는 의료분야의 최소침습수술(Minimal Invasive Surgery, MIS)에 사용되는 다빈치로봇이나 DNA 를 대상으로 하는 연구 분야에 이르기까지, 그 적용분야 및 활용도가 지속적으로 늘어나고 있다. 이렇듯 다양한 분야에서의 수요가 늘어남에 따라, 고기능, 고성능화, 다자유도화 힘센서의 요구가 증대하고 있으며, 그에 따른 다양한 특성을 지닌 힘센서 기술 개발이 요구된다.

힘센서의 적용을 위해 널리 연구되고 있는 센서로는 스트레인 게이지(Strain gauge type), 압저항¹ (Piezoresistor type), 압전필름(Polyvinylidene fluoride type, PVDF) 등이 있다. 하지만 스트레인 게이지의 경우 정밀한 측정을 위해 온도보정 등의 문제가 있어 변형부에 4 개의 스트레인 게이지를 부착한 풀 브리지 구성 등이 필요하다. 또한, 압저항의 경우는 소형화나 미세 크기의 센서의 적용에 유리하지만, MEMS 공정이 필요하기 때문에 제작의 용이성과 경제적인 면에서 단점을 가지고 있다. 반면 압전필름의 경우는 정밀성과 미세력에서 압저항과 비슷한 성능을 보이고, 다양한 형상으로 가공이 가능하여 센서부 제작에 용이하기 때문에 본 연구에서는 정밀한 다축 힘센서를 개발하기 위해 압전필름을 선택하였다.

본 연구는 다자유도/미세 힘 측정이 가능한 힘센서의 개발을 목적으로, mN 이하의 미세력

측정이 가능하고, 다양한 센서형상의 적용이 유리한 PVDF 를 적용한 3 자유도 정밀 힘센서 개발을 목표로 수행되었다. 또한 개발된 센서의 신뢰성 및 적용 가능성을 검토하기 위하여 날치알과 연어알을 이용한 세포 주입(Cell injection) 실험을 계획하였다.

2. 힘센서 설계

본 연구에 의해 설계/제작된 3 축 힘센서의 구조를 Fig. 1 에 보인다. 힘 감지부는 3 자유도 힘을 측정하기 위하여 삼각다리 구조를 채택하였으며, 두께 0.1 mm 스테인레스강 304H(E = 195 Gpa)을 이용하여 변형부 스프링을 설계하였다. 역학적 해석에 의하여 변형부 표면의 누적 응력 분포가 최대가 되는 지점까지 두께 52 μ m 의 PVDF 필름을 부착하였다.

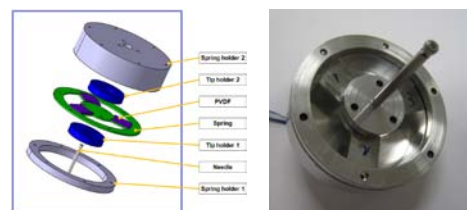


Fig. 1 PVDF-based force sensor

힘센서의 측정 신호 흐름도를 Fig. 2 에 보인다. 힘센서에 인가된 외력은 변형부 스프링에 부착되어 있는 PVDF 소자의 변형을 유발하여 출력 전하를 발생시킨다. 이 출력 전하는 Charge amplifier 를 거쳐 데이터 처리 과정에 의하여 3 축 힘성분으로 산출된다

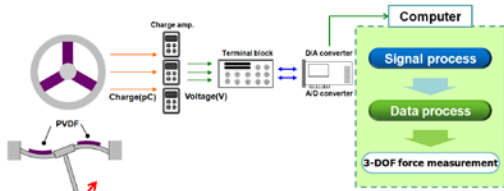
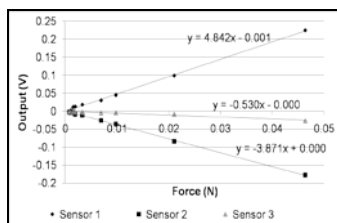


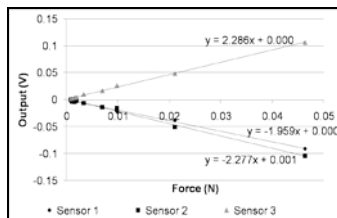
Fig. 2 Schematic of the 3-DOF force components detecting system

3. 보정실험

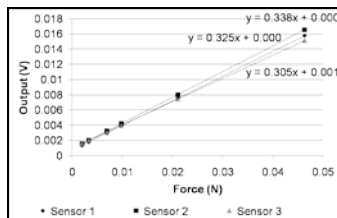
힘센서 보정은 서로 다른 9 개의 표준 질량을 사용하여 Least squares method 에 의해 수행되었다.² 각 축에 대한 보정실험 결과를 Fig. 3 에 보인다. 개발된 힘센서의 힘 분해능은 각각 $\rho_x = 0.01 \text{ mN}$, $\rho_y = 0.02 \text{ mN}$, $\rho_z = 0.1 \text{ mN}$ 이다.



(a) X-direction load input



(b) Y-direction load input



(c) Z-direction load input

Fig. 8 Experimental results

3. 적용실험

개발된 힘센서의 성능 평가 및 다양한

분야의 적용 가능성 검토를 위해, 날치알과 연어알을 대상으로, 세포 주입술 실험을 수행하였다. 5 회의 실험을 실시한 결과, 각각 평균 2.23 mN, 3.11 mN 의 관통력을 보였다. Table 1 에 보이는 바와 같이 각 축에 대한 미세 힘성분이 산출되었으며, 이로부터 정확한 바늘의 작용방향의 추정이 가능함을 확인하였다.

Table 1 Cell injection force components (unit : mN)

		N	F _x	F _y	F _z
Type	Fly fish egg cell	1	0	0.20	2.0
		2	0.09	0.36	2.2
		3	-0.61	0.14	2.4
		4	0.27	-0.30	2.2
		5	-0.13	0.36	2.2
Type	Salmon fish egg cell	1	0.11	0.10	3.2
		2	0.06	0.26	3.1
		3	0.07	0.18	3.2
		4	0.21	0	3.0
		5	0.14	0.06	3.0

3. 결론

본 연구에서는 PVDF 를 적용하여, mN 이하의 미세한 힘의 측정이 가능한 다자유도 힘센서를 개발하였다. 또한 개발된 3 자유도 미세힘 센서를 날치알과 연어알을 대상으로 한 세포 주입 실험에 적용한 결과를 바탕으로, 이와 유사한 미세 힘 성분의 관찰 및 제어가 필요한 분야에 적용될 수 있음을 확인 하였다.

참고문헌

1. Dargahi, J., Parameswaran, M., Payandeh, S., "Micromachined piezoelectric tactile sensor for an endoscopic grasper - theory, fabrication and experiments," Journal of Microelectromechanical Systems, 2000.
2. Park Jae-jun, Kwon Kihwan, Cho Nahmgyoo, "Development of a coordinate measuring machine(CMM) touch probe using a multi-axis force sensor", MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2006