

3 자유도 카본섬유판 힘센서

3-Degree of Freedom Carbon Fiber Plate Force Sensor

*이동혁¹, #조남규²

*D. H. Lee¹, #N. G. Cho(ngcho@hanyang.ac.kr)²

¹한양대학교 대학원 기계설계·메카트로닉스공학과, ²한양대학교 기계공학과

Key words : Force sensor, Carbon fiber, Prepreg, Wide measurement range

1. 서론

힘센서는 중공업, 조선, 자동차, 로봇, 공작기계 산업에서 다양한 형태로 사용되고 있다. 최근에 들어서는 햅틱인터페이스(Haptic Interface)의 발달로 인해 적용분야가 더욱 넓어지고 있으며, 의료분야의 최소침습수술(MIS, Minimal Invasive Surgery)에 사용되는 다빈치 로봇에도 적용되고 있다. 정밀측정분야에서는 3 차원 측정기(CMM, Coordinate Measuring Machine)의 터치트리거를 대신할 다자유도 힘센서를 이용한 터치프로브가 개발되어, 터치프로브의 실제 접촉점을 산출하여 측정오차를 줄이기 위한 연구도 진행되고 있다.¹ 다양한 분야에서 수요가 늘어남에 따라, 고기능, 고성능화, 다자유도화 힘센서의 요구가 증대하고 있으며, 그에 따른 다양한 특성을 지닌 기술 개발이 요구되고 있다.

다양한 분야에 힘센서를 적용하기 위해 스트레인게이지(Straingauge type)와 압저항(Piezoresistor type), 압전필름(PVDF, Polyvinylidene fluoride type) 등의 변환기의 적용에 관한 연구와 탄성변형부의 구조설계와 변형률 해석에 관한 연구가 진행되었다. 그러나 탄성변형부의 재질에 관한 연구는 미비하여, 알루미늄 또는 강과 같은 금속재료를 주로 사용하고 있다. 금속재료를 탄성변형부로 활용을 하면, 인장강도에 비해 항복강도가 매우 작기 때문에 힘센서의 측정범위가 제한적이다. 그래서 적용될 힘의 크기를 고려하여 탄성변형부의 재질 및 치수를 설계하여야 하고, 매우 다양한 용량의 힘센서가 설계/제작되고 있다. 그 뿐만 아니라 정밀 힘센서의 경우 작은 충격이나 정격

용량을 초과하는 힘이 가해지는 경우 매우 취약하다.

본 연구는 기존의 힘센서에 활용되는 변환기를 최대한 활용 가능하고, 넓은 측정영역을 가져서 충격에 강한 다자유도 및 미세 힘에 대해 측정이 가능한 힘센서의 개발을 목적으로 탄소섬유판(Carbon fiber plate)을 탄성변형부로 활용하여 설계/제작하였다.

2. 힘센서 설계 및 제작

탄소섬유(Carbon fiber)는 탄소원자 결정구조를 이용한 고강도 섬유로 복합재료 생산에 가장 많이 이용되고 있는 강화 섬유이다. 탄소섬유는 탄소 및 섬유로서의 성질을 겸비한 다양한 특징을 나타내는데, 간단하게 요약하면 비탄성률, 비강도, 내열성, 내식성, 전도성, 진동 감쇠성 및 마모특성이 우수한 재료이다. 이러한 탄소섬유 원사를 직조한 탄소직물(Carbon fabric)을 에폭시 수지에 함침시켜 탄소섬유 프리프레그(Caron fiber prepreg)를 만드는데, 이는 플라스틱보다 월등히 가벼우면서 강철보다 현저히 강한 물성을 가져서 스포츠 레저용, 산업용 및 건축 보강재로 많이 사용되고 있는데, 이를 흔히 탄소섬유판(Carbon fiber plate)라 부른다.

Table 1 Mechanical properties for materials

Material	Aluminum (2024)	Stainless steel (304)	Caron fiber prepreg (3K, woven)
Young's modulus	71 GPa	189.6 GPa	240 GPa
Yield strength	76 MPa	241 MPa	-
Tensile strength	0.179 GPa	0.586 GPa	4.4 GPa

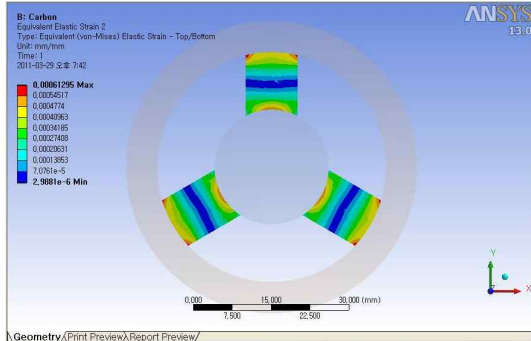


Fig. 1 Results of FEM analysis for the sensing element under force in Z-direction

Table 1 에 나타난 각 재료에 따른 물성 비교표에서 보이는 바와 같이 알루미늄, 스테인레스 스틸 과 같은 금속재료와 달리 탄소섬유 프리프레그의 경우 항복강도가 없어서 탄성변형 구간이 인장강도까지인 것을 알 수 있다. 탄소섬유판을 힘센서의 탄성변형부로 사용하기 위해 Fig. 1 과 같이 두께 0.3mm 탄소섬유판(3k, woven)을 이용하여 설계 및 유한요소 해석을 하였다. 작용되는 힘의 방향에 따라 발생하는 측정력의 편심현상을 줄이기 위해 삼각다리 구조(Tripod structure)를 채택하였으며, 최대 변형부에 각각 스트레인게이지를 휘트스톤브릿지(Wheatstone bridge)를 형성하여 부착하였다.

3. 보정실험 및 성능

Fig. 2 에 제작된 3 자유도(M_x , M_y , F_z) 힘을 측정할 수 있는 힘센서와 보정실험을 위한 보정기구를 나타내었다.

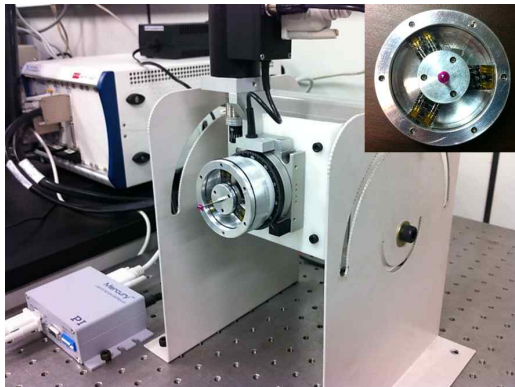


Fig. 2 The schematic of the force calibration system and the fabricated 3D carbon fiber plate force sensor

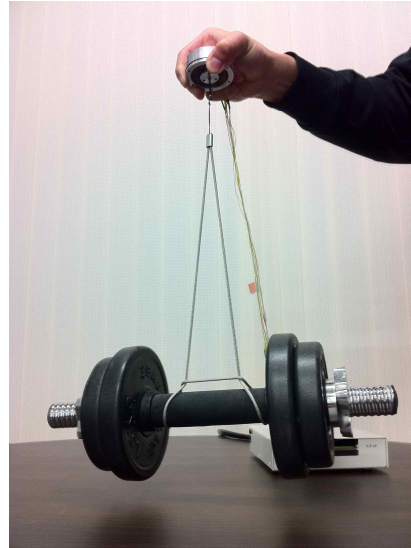


Fig. 3 A test for wide measurement range of the 3D carbon fiber plate force sensor

보정실험을 통해 산출한 보정행렬을 이용하여 각각의 분해능이 $\rho_x = \pm 8 \mu\text{N}$, $\rho_y = \pm 17 \mu\text{N}$ 와 $\rho_z = \pm 268 \mu\text{N}$ 로 추정되었다. 그리고 제안된 다자유도 힘센서의 힘 측정범위는 z 축을 기준으로 약 0.01 N ~ 120 N 정도로 나타났다. Fig. 3 에는 제안된 힘센서의 넓은 측정범위를 확인하기 위해 약 5.7 kg (55.9 N)의 하중을 측정하는 사진을 보였다. 그 결과 힘센서의 파손 없이 측정되는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 카본섬유판을 적용하여, μN 단위의 분해능을 가지면서 약 0.01 N ~ 120 N 의 넓은 측정범위를 가지는 다자유도 힘센서를 개발하였다. 탄성변형부인 카본섬유판의 두께 및 형상 변형에 따라 대용량의 힘센서까지도 널리 적용될 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

1. Park, J.-J., Kwon, K., Cho, N., "Development of a coordinate measuring machine(CMM) touch probe using a multi-axis force sensor," Measurement Science and Technology, **17**, 2380-2386, 2006.