

# 비전기 기반의 6자유도 힘센서

## Vision based 6 Degree of Freedom Force Sensor

※이동혁<sup>1</sup>, 김민규<sup>1</sup>, 안정화<sup>1</sup>, 백소영<sup>1</sup>

※D. H. Lee(hyoeck@hanyang.ac.kr)<sup>1</sup>, M. G. Kim<sup>1</sup>, J. H. Ahn<sup>1</sup>, S. Y. Baek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 대학원 기계설계·메카트로닉스공학과

Key words : Force measurement, Vision-based, non-rigid tracking

### 1. 서론

힘센서는 중공업, 조선, 자동차, 로봇, 공작기계, 의료 산업에서 다양한 형태로 사용되고 있다. 특히, 최근에는 의료분야의 최소침습수술(MIS, Minimal Invasive Surgery), 측정분야의 3 차원 측정기(CMM, Coordinate Measuring Machine)의 측정프로브, 로봇의 관절 등 그 활용분야가 점차 늘어나고 있다.<sup>1</sup>

다양한 산업에서 수요가 늘어남에 따라 고정밀, 다자유도, 내구성 등의 고성능의 힘센서가 요구된다.<sup>1</sup> 이러한 요구에 따라 다양한 연구가 진행되었다. 스트레인게이지 뿐 만아니라, 압저항(Piezoresistor), 압전필름(PVDF, Polyvinylidene fluoride), 광섬유(Optical fiber) 등의 변환기에 대한 연구, 탄성변형부의 형상 및 재질에 대한 연구 등이 진행되었다. 그러나 기존의 힘센서의 경우 탄성변형부의 변형을 측정하기 위해서 변환기가 탄성변형부 표면에 직접 붙는 경우가 많다. 그래서 탄성변형부가 파손이 되면, 변환부도 같이 교환을 해야한다. 광섬유를 이용하는 경우에는, 광섬유의 경로와 반사광을 이용할 수 있도록 특별한 부품의 설계를 필요로 한다.<sup>2,3</sup> 그리고 6자유도의 힘을 측정하기 위해서는 많은 변환기를 필요로 하여, 제작이 까다롭고 많은 비용을 필요로 한다.

본 논문에서는 두 대의 카메라 모듈을 이용한 6자유도 힘센서를 제안한다. 탄성변형부와 카메라 모듈부가 분리 가능하고, 다양한 환경에서 사용가능한 힘센서를 개발하는 것을 목표로 한다.

### 2. 힘센서 설계 방향

그림 1과 같이, 비전기 기반의 6자유도 힘센서는 6자유도 탄성변형이 가능한 스투어트 플랫폼(Stewart platform), 카메라를 통해 추적하게 될

높이 서로 다른 세 개의 구와 두 대의 카메라로 구성된다. 또한, 영상신호의 처리를 위한 디지털신호처리부와 카메라가 세 개의 구를 정확하게 추적할 수 있도록 조명을 필요로 한다.

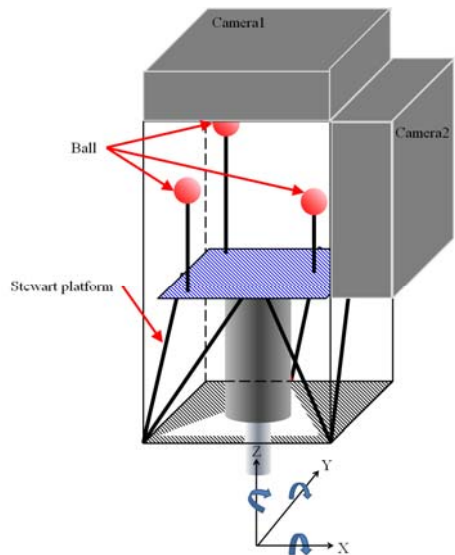


Fig. 1 Schematic of the vision-based 6 D.O.F. force sensor

높이가 다른 세 개의 구는 기울어진 삼각형의 꼭지점에 위치하도록 배치한다. 각 카메라에서는 3차원 공간상의 세 개의 구를 2차원 이미지로 획득하며, 각 이미지의 삼각형을 추적함으로써 6자유도 변위를 계산한다. 획득된 이미지에서 구의 중심의 추적을 위해서 RANSAC(RANdom SAMpling Consensus) 알고리즘을 이용하여, 빠르고 정확하게 원의 지름과 중심을 추적한다.<sup>4</sup> 볼의 추적을 통해 스투어트 플랫폼의 변위를 계산하고, 추후 보정실

힘을 통해 연을 민감도 행렬(sensitivity matrix)를 급하여 6자유도의 힘/토크를 산출한다. 그 힘들 산출하기 위한 흐름도를 그림 2에 보인다.

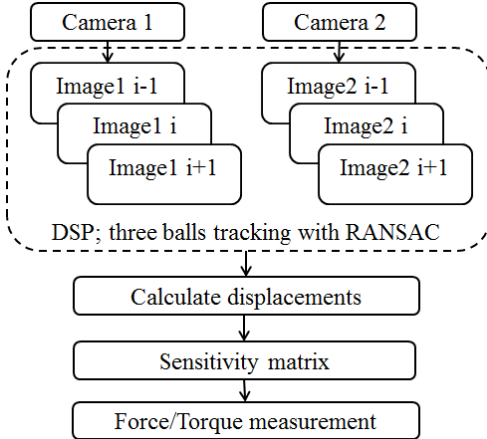


Fig. 2 Flow chart of the Force/Torque measurement

탄성변형부와 카메라 모듈부가 분리 가능하도록 하여, 수리 및 유지관리가 용이하도록 하였다.

### 3. 힘센서의 성능

본 논문에서 제안된 비전기반의 6자유도 힘센서는 카메라를 이용하기 때문에, 이미지를 획득하기 위해 사용된 카메라의 해상도에 힘센서의 성능이 의존한다. 그림 3에 일반적인 스마트폰에 사용되는 500만 화소 카메라모듈을 고려할 경우의 횡방향 분해능을 나타내었다. 세 개의 구를 스튜어트 플랫폼에 어떻게 배치하느냐에 따라 그 성능이 달라지지만, 소형의 힘센서를 제작할 경우, 세 개의 구가 배치된 공간의 부피는 CCD의 크기의 두 배 정도의 면적에 대한 부피로 생각할 수 있다. 이때의 볼의 변위에 대한 분해능은 약  $55 \mu\text{m}$ 가 된다. 최근에는 고해상도 카메라가 많이 개발되고 있기 때문에, 카메라의 발전에 따라 손쉽게 힘센서의 성능도 개선될 수 있다.

또한, 탄성변형부의 재질과 형상설계에 따른 강성설계를 통해 다양한 환경에 적합한 6자유도 힘센서를 설계가능하다.

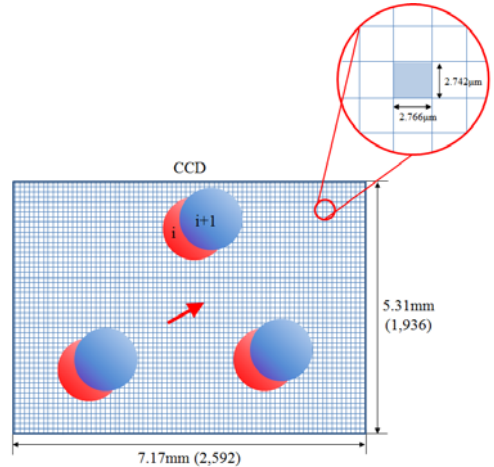


Fig. 3 Lateral resolution of the image sensor

### 4. 결론

두 대의 카메라 모듈을 이용한 6자유도 힘센서를 제한하였다. 그리고 힘센서의 구성과 성능을 검토하여 제안된 6자유도 힘센서의 가능성을 확인하였다.

### 참고문헌

1. 이동혁, 김민규, 조남규, "다자유도 탄소섬유판 힘/토크 센서 개발," 한국 정밀공학회지, **29**, 170-177, 2012.
2. Greminger, M. A. and Nelson, B. J., "Vision-Based Force Measurement," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **26**, 290-297, 2004.
3. Shams, S., Kim, D. S., Choi, Y. S. and Han, C. S. "A Novel 3-DOF Optical Force Sensor for Wearable Robotic Arm," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, **12**, 623-628, 2011.
4. Fischler, M. A. and Bolles, R. C. "Random sample consensus: A paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography", Communications of the ACM, **24**, 381-395, 1981.