

민감한 토크 감지를 위한 슬릿형 허브-스포크 형상의 조인트 토크센서 개발

Hub-Spoke Type Joint Torque Sensor with Slits for Sensitive Torque Sensing

*김인문¹, 김휘수², #송재복³

*I.-M. Kim¹, H.-S. Kim², #J.-B. Song³ (jbsong@korea.ac.kr)

^{1, 2, 3} 고려대학교 기계공학과

Key words : Joint torque sensor, robot arm, strain gauge

1. 서론

최근 서비스로봇에 대한 필요성이 증가하면서, 힘제어 및 충돌 안전에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 서비스로봇의 경우, 인간과 공존하여 각종 접촉작업을 수행하므로, 외부 환경과 로봇 사이에 발생하는 힘을 측정하여 제어에 반영하는 힘제어와 충돌 감지가 필수적이다.

기존의 서비스로봇의 경우, 엔드이펙터에 6축 힘/토크 센서를 장착함으로써 외력을 측정하였다. 그러나 6축 힘/토크 센서는 높은 가격으로 인해 로봇 제조 단가를 상승시키는 원인이 되고, 로봇의 엔드이펙터가 아닌 링크 부위에 충격이 발생하였을 경우 충격력을 감지할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 서비스로봇 팔의 작업 시에 팔에 작용하는 외력을 측정할 수 있도록 각 조인트에 장착 가능한 슬릿형 허브-스포크 형상의 조인트 토크센서를 개발한다.⁽¹⁾

본 논문에서는 서비스로봇 팔에 적합한 토크센서를 개발하기 위하여 구조해석을 바탕으로 슬릿형 허브-스포크 형상의 구조물을 설계한다. 또한, 설계된 구조물에 스트레인 게이지를 적용하여, 외력 인가 시에 발생할 수 있는 토크를 산출할 수 있도록 한다. 마지막으로, 여러 실험을 통하여 제작된 토크센서의 성능을 검증한다.

2. 토크센서의 기본원리

토크센서의 기본원리는 Fig. 1(a)와 같이 외력에 의하여 선형적으로 변형되는 구조물에 센서를 부착함으로써 구조물의 변형량을 측정하

고, 이로부터 토크를 계산하는 것이다. 토크 측정을 위한 적절한 변위 발생을 위해서는 회전 방향으로 인가되는 모멘트에는 민감하고, 그 외의 방향으로 작용하는 모멘트에는 높은 강성을 보이는 구조물이 필요하게 된다. 이를 위해서 본 연구에서는 Fig. 1(b)와 같은 슬릿형 허브-스포크 형상의 구조물을 제안한다.

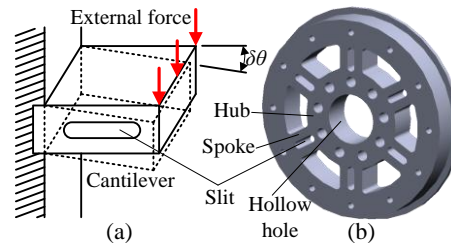


Fig. 1 Structure of torque sensor: (a) cantilever, and (b) hub-spoke type with slits.

구조물의 성능 검증을 위해 Fig. 2와 같이 동일한 크기의 슬릿형 허브-스포크 구조물과 이전 연구에서 제안한 일반 허브-스포크 구조물에 대한 구조해석을 수행하였다. 각 구조물에는 회전방향과 이와 수직방향으로 각각 200 Nm와 100Nm의 모멘트 부하를 인가하였고, 이로부터 변형률 및 변위를 계산하여 그 결과를 비교하였다. Table 1의 결과에서 볼 수 있듯이 같은 크기의 구조물일 때, 슬릿형 허브-스포크 구조가 회전방향 모멘트에 대한 민감도가 높고, 그 외 방향의 모멘트에 대한 민감도는 낮은 점을 알 수 있다. 그러므로 슬릿형 허브-스포크 형상의 구조물을 적용하여, 동일한 사양의 토크센서를 소형화할 수 있다.⁽²⁾

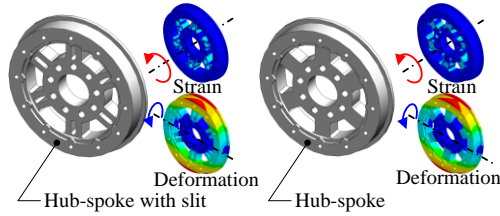


Fig. 2 FEM analysis for structure of torque sensor

Table 1 Analysis results for structure of torque sensor

Type	Strain ($\mu\text{m/m}$)	Deformation (μm)
Hub-spoke with slits	1000	66
Hub-spoke	560	52

3. 토크센서의 설계 및 제작

토크센서는 정밀한 토크 측정을 위해, 로봇 팔의 위치 정밀도를 저하시키지 않는 범위 내에서 높은 민감도를 가져야 한다. 이를 위하여 구조해석을 바탕으로 알루미늄(2024-T4)을 사용하여 Fig. 3(a)의 슬릿형 허브-스포크 구조물을 설계 및 제작하였고, (b)와 같이 휘스톤 브리지 회로를 적용하여 스트레인 게이지(SG)를 부착하였다. 개발된 토크센서의 최대 허용토크는 80Nm이며, 최대 굽힘모멘트는 145Nm이다.

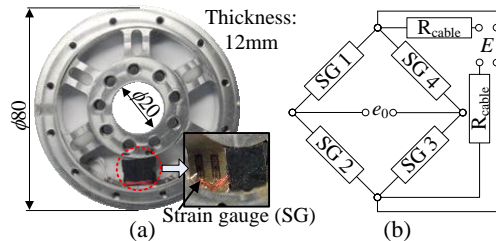


Fig. 3 (a) Joint torque sensor, and (b) Wheatstone bridge (full-bridge) circuit

4. 성능 실험

토크센서의 선형성을 평가하기 위해서 Fig. 4와 같이 구성된 실험장비에 무게추를 사용하여 제작된 토크센서에 회전방향의 모멘트를 인가하였다. Fig. 5(a)의 결과에서 토크센서는 97.1%의 선형성을 보였다. 또한, Fig. 5(b)의 결과는 교정기에 임의의 회전방향 모멘트를 인가할 때 제작된 조인트 토크센서와 상용 F/T센서의 측정값이다. 실험 결과로부터 제안한

슬릿형 허브-스포크 형상의 토크센서의 높은 선형성과 정확도를 확인할 수 있었다.

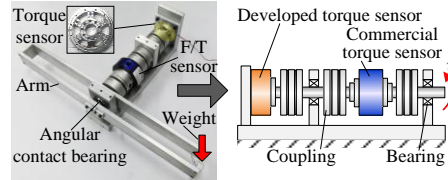


Fig. 4 Experimental setup for performance test of torque sensor.

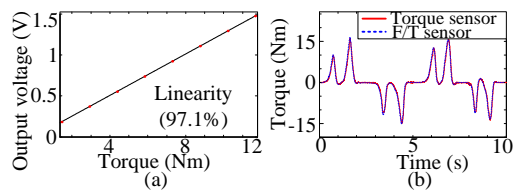


Fig. 5 Performance of torque sensor: (a) linearity, and (b) torque with random input.

5. 결론

본 논문에서는 구조해석을 통하여 민감한 토크 측정이 가능한 슬릿형 허브-스포크 구조의 토크센서를 개발하였다. 또한, 서비스로봇에 적용하기에 용이하도록 토크센서를 소형화하였다.

후기

본 연구는 지식경제부/한국로봇산업진흥원의 융복합형 로봇전문인력 양성사업의 지원으로 “자율지능형 매니플레이션 연구센터”를 통하여 수행되었음.

참고문헌

1. Tsetserukou, D., Tadakuma, R., Kajimoto, H., Kawakami, N. and Tachi, S., “Development of a Whole-Sensitive Teleoperated Robot Arm using Torque Sensing Technique,” Proc. of the IEEE Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 476-481, 2007.
2. Aghili, F., Buehler, M. and Hollerbach J., “Design of a Hollow Hexaform Torque Sensor for Robot Joint,” Int. Journal of Robotics Research, Vol. 20, No. 12, pp. 967-976, 2001.