

Master/Slave 복합형 고관절 전치환 수술 로봇의 설계와 제어

Design and Control of a Master/Slave Combined Surgical Robot for Total Hip Replacement Surgery

권 동수*, 허 관 회*, 정 종 하*, 박 영 배*, 이 정 주*, 원 중 회**, 윤 용 산*

* 한국과학기술원 기계공학과 (Tel : 81-042-869-3042; Fax : 81-042-869-3210 ; E-mail:kwonds@me.kaist.ac.kr)

** 충북대학교 의과대학 정형외과 (Tel : 81-043-269-6366; Fax : 81-043-274-8719; E-mail: chwon@med.chungbuk.ac.kr)

Abstract : This paper explores design and control methods of a surgical robot for total hip replacement surgery which can be easily maneuvered by a surgeon like an advanced surgical tool. The 3-DOF in-parallel surgical robot is fixed directly onto patient's femur by the bone clamp during surgery. With the master/slave combined surgical robot, the surgeon can directly control the motion of the surgical robot with surgeon's experience and judgment during operation. For the easiness of operation, the master/slave combined robot is controlled using admittance control paradigm. And for the precise operation, the robot motion is restricted at the surgical boundary using virtual hard wall display.

Keywords : master/slave combined surgical robot, total hip replacement surgery, 3DOF in-parallel manipulator, admittance control, virtual hard wall display

1. 서론

고관절 전치환술 (Total Hip Replacement surgery, THR) 은 외상, 질병, 감염등에 의해 고관절이 손상되었을 때, 환자의 통증을 제거하고 고관절의 기능을 회복하게 하기 위해, 손상된 고관절을 제거하고 인공 관절로 대체하는 성형술이다 [9]. 인공관절을 인체에 고정시키는 방법에 따라 시멘트를 사용하는 치환술과 시멘트를 사용하지 않는 치환술로 구분되며, 시멘트를 사용하지 않는 치환술에서는 대퇴 삽입물 (femoral stem)의 무수한 공극 사이로 뼈가 성장해 들어감으로써 고정되게 된다. 그러나 기존의 시멘트를 사용하지 않는 치환술에서는 대퇴 삽입물이 대퇴골에 위치할 공간을 수작업에 의해 가공하므로, 대퇴 삽입물과 대퇴골 사이에 틈이 생길 수 있어 수술 후 회복기간이 길어지고, 인공 관절의 수명을 단축시키는 문제점이 있다 [5].

이러한 수작업에 의한 수술의 문제점을 보완하기 위해 정밀한 로봇을 이용하여 수술을 정확하게 하기 위한 연구가 최근 진행되고 있으며, ROBODOC [6]은 CT데이터와 5축 스카라 밀링로봇을 이용하여 미리 계획된 경로에 따라 대퇴골에 대퇴 삽입물이 위치할 공간을 정확하게 가공하는 시스템으로 상용화된 단계에 이르고 있다. 그러나 이와 같은 로봇 시스템은 실시간 정합, CT촬영 및 영상 처리와 같은 복잡한 과정이 필요하며, 고가이고 크기가 커서 실제 수술에서는 거의 사용되지 못하고 있다. 또한 미리 계획된 수술 작업이 로봇에 의해 자동으로 진행되고, 수술 도중에는 로봇의 동작을 의사가 직접 조종할 수 없어, 작업의 안정성에 대한 신뢰도가 낮고 수술 시 발생할 수 있는 여러 상황에 대처할 수 있는 유연성이 떨어지는 단점이 있다.

따라서 수술실 내에서 의사에 의해 쉽게 사용되도록 간단하고 저가의 수술 로봇 시스템의 개발이 필요하며, 수술 로봇을 의사가 직접 조종하며 로봇은 의사의 수술 작업을 보조해주는 기능을 하도록 구현하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 bone clamp를 통해 환자의 대퇴골에 직접 장착되고, 블록 게이지를 이용하여 수술 방법을 간단하게 하며, 의사가 수술 로봇을 직접 조종하여 의사의 경험과 판단에 의해 수술을 진행 할 수 있게 하는 master/slave 복합형 고관절 수술 로봇의 설계와 제어에 대해 다룬다. 수술에 필요한 작업공간, 힘 들을 고려하여 수술 로봇은 3DOF in-parallel manipulator로 설계한다. 의사가 로봇을 직접 조종할 수 있도록 로봇에 master를 부착시킨 master/slave 복합형 구조를 사용하며, 의사가 가하는 힘 정보를 이용하여 로봇의 동작을 조종하는 admittance display 방법에 대해 살펴본다.

2. 수술 로봇 시스템과 로봇 유형 선정

고관절에 직접 부착하는 소형 수술 로봇 시스템은 그림 1과 같이 gauge part를 포함한 starter, bone clamp and frame, surgical robot으로 구성된다. 기존의 수술 로봇의 경우 로봇의 좌표계와 환부의 위치 사이의 관계를 알기 위해 핀 기준 정합법이나 영상 기준 정합법 [10]을 사용하며, 수술 중 뼈가 움직이지 않게 하거나 이를 보완하기 위해 실시간으로 정합해야 하는 문제점이 있다. 그러나 본 연구에서 제안하는 시스템은 수술 로봇이 bone clamp와 frame을 통해 대퇴골에 단단히 고정되므로, 로봇을 설치하기 이전에 starter를 이용하여 수술 위치를 결정하면 복잡한 정합 과정이 필요 없이 간단히 수술 위치와 로봇의 좌표사이의 관계를 지정할 수 있게 된다. 그로 인해 수술 과정이 간단해 지고 로봇의 설치와 제거가 용이하며, 저가의 시스템을 구축할 수 있게 된다.