

햅틱 마스터-슬레이브 수술용 로봇의 모델링

Modeling of Surgery Robot System with Haptic Master and Slave

오중석* · 조한준* · 신원기* · 최승복†
Jong-Suk Oh, Han-Jun Cho, Won-Ki Shin and Seung-Bok Choi

1. 서 론

현대의 수술은 첨단 수술도구와 수술용 로봇을 이용하여 집도되는 추세이며, 그 중 최소침습수술이 대표적으로 적용되고 있는 분야이다. 이 수술의 특징은 환부의 구멍에 수술도구와 카메라를 삽입하여 의사가 모니터를 보면서 수술하는 것으로, 개복수술에 비해 환자의 회복속도가 빨라 최근 널리 활용되고 있다. 하지만 환자의 내부에서 시야의 제약을 받게 되므로 이를 위해 첨단 로봇 시스템이 개발되어 왔다. 대표적인 예로는 Intuitive Surgical사의 Da Vinci 시스템이 있다. 하지만 이러한 시스템들은 매우 복잡하고 고가인데다, 집도의는 오직 시각적인 정보 이외에는 확인할 수가 없는 문제점을 여전히 안고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 최근 다양한 의료용 햅틱 장치들이 연구되고 있다.

본 연구에서는 ER 유체를 이용한 햅틱 마스터 장치를 설계하여 최소침습수술에서 사실적인 반력정보를 제공할 수 있게 하였고, 기존의 복잡한 수술로봇구조보다 훨씬 간단한 구조를 가지는 수술로봇을 제안 및 모델링을 수행하였다.

2. ER 햅틱 마스터

본 연구에서는 수술로봇을 조작하기 위하여 Fig. 1과 같은 원구형 ER 마스터장치를 제안하였다. 제안된 장치는 3축 회전운동이 가능한 원구형 조인트 구조를 가지고 있으며, 내외측구 사이에는 ER 유체가 채워져 있어 전기장 인가시 3자유도의 반력을 생성시킬 수 있다. 원구형 ER 햅틱 마스터

장치는 전기장에 따라 변화하는 ER 유체의 항복응력에 기인한 성분 (T_c)과 유체의 점성에 기인하는 점성 마찰력 (T_η)으로 구성되며 Z축에서 생기는 반력을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$${}^Z T_c = \int_{\frac{\pi}{2}}^{v_0} \int_0^{2\pi} \tau_y(E) r_e^3 \cos^2 v dudv \quad (1)$$

$${}^Z T_\eta = \int_{\frac{\pi}{2}}^{v_0} \int_0^{2\pi} \eta \frac{\omega}{h} r_e^4 \cos^3 v dudv$$

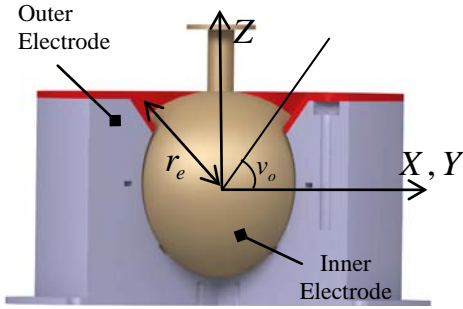
여기서 ω 는 원구형 조인트의 각속도이며, h 는 간극의 길이이며, $\tau_y(E)$ 는 항복전단응력이며, η ER 유체의 점성계수이다. 또한 r_e 는 원구형 조인트의 반지름길이이다. 이와 같이, X축과 Y축에서 생기는 반력을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} {}^{X,Y} T_c &= {}^Z T_{c,(v_0=2\pi)} \\ &- \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \tau_y(E) A r_e^3 \cos v dudv \\ {}^{X,Y} T_\eta &= {}^Z T_{\eta,(v_0=2\pi)} \\ &- \int_{\frac{\pi}{2}}^{v_0} \int_0^{2\pi} \eta \frac{\omega}{h} r_e^4 A \cos^2 v dudv \end{aligned} \quad (2)$$

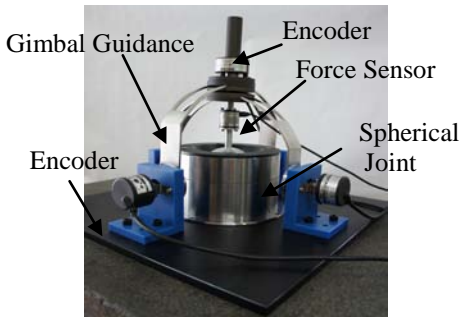
여기서 A 는 $\sqrt{(\sin v)^2 + (\cos v \sin u)^2}$ 이다. 이러한 ER 햅틱 마스터의 반력식을 이용하여, 마스터의 설계 및 제작과정에 적용할 수 있다. 또한, 제안된 햅틱 마스터 장치는 피봇점을 기준으로 3 자유도 회전을 하고 있다. 따라서 마스터 장치의 손잡이 부분이 피봇점을 기준으로 임의의 점, P , 로 회전하였을 경우 절대좌표에 대한 손잡이의 위치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= r_e \sin(\theta_2) \\ y &= r_e \sin(\theta_1) \\ z &= r_e \sqrt{1 - (\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2)} \end{aligned} \quad (3)$$

† 교신저자; 정회원, 교신저자 소속
 E-mail : seungbok@inha.ac.kr
 Tel : (032) 860-7319, Fax : (032) 868-1716
 * 인하대학교 대학원 기계공학과



(a) ER spherical joint



(b) manufactured haptic master

Fig. 1 Proposed haptic master

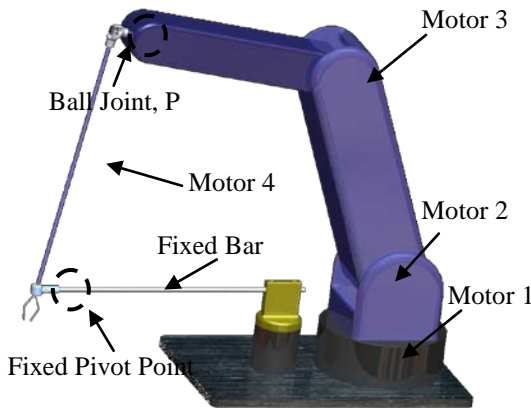


Fig. 2 Configuration of the slave surgery robot

여기서 θ_1 와 θ_2 는 X축과 Y축에 대한 회전각도로서, 엔코더를 통해 측정된다. 이렇게 계산되어진 임의의 점, P,의 정보는 슬레이브 로봇으로 전달되어, 로봇의 구동을 위한 명령신호로 사용된다.

3. 최소침습수술용 슬레이브 로봇

최소침습수술에서 필요한 수술도구의 3자유도 피벗 회전운동을 구현하기 위하여, 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 로봇구조를 제안하였다. 이 로봇의 특징은 3개의 피벗회전운동을 구현하기 위하여 고정바를 이용하여 피벗점을 고정시키고 P점에 볼조인트를 설치하였다. 이러한 구조를 통하여 4개의 능동 조인트만으로도 로봇이 3 자유도 피벗회전운동을 구현할 수 있었다. 슬레이브 로봇이 움직일 점, P,는 마스터의 기구학 정보로부터 얻어지게 된다. 따라서 슬레이브 로봇을 동작시키기 위해서는 각 링크가 움직여질 역기구학을 행해야만 한다. 따라서 이러한 역기구학해석을 하게 되면 다음과 같다.

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left[\frac{x^2 + y^2 + z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \right]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{l_3 \sin \theta_3}{l_2 + l_3 \cos \theta_3} \right) \quad (4)$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$$

여기서 l_1 와 l_2 는 로봇의 첫 번째 링크의 두 번째 링크의 길이이며, θ_1 는 절대좌표 Z축에 대한 회전을 나타내며, θ_2 와 θ_3 는 첫 번째 링크와 두 번째 링크의 회전을 나타낸다. 따라서 본 연구에서 사용된 슬레이브 로봇은 식 (3)과 같이 마스터로부터 얻은 정보와 식 (4)의 슬레이브 로봇의 역기구학 정보를 사용하여 동작하게 되는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 최소침습수술을 위한 마스터-슬레이브로봇시스템을 제안하였다. 햅틱 마스터는 ER 유체를 이용하여 반력을 제공할 수 있었으며, 마스터의 명령에 따라 작동하는 수술로봇을 제안하였다. 이렇게 제안된 마스터와 수술 로봇을 이용하여 기존 최소침습수술에서 문제가 되던 반력 정보의 부재와 복잡한 로봇구조 등을 해결할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0015090)