

라인 레이저를 이용한 수술기기 삽입 유도 시스템의 제어 방법

박철우*, 박일형**, 정상현***

Control Method of Surgical Instrument Guidance System Using Line Laser

Chul-Woo Park*, Il-Hyung Park**, and Sanghyun Joung***

본 연구는 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(10063309)

요 약

정형외과 수술에서 의료진은 C-arm으로 촬영된 2D 투시영상과 임상경험에 의존하여 수술기기의 삽입 위치와 방향을 결정한다. 이와 같은 수술 기법은 정확한 처치가 어려울 뿐만 아니라, 의료진의 방사선 피폭 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 두 개의 라인 레이저 투사장치를 C-arm 헤드에 부착하는 것으로 수술기기의 삽입 위치와 방향을 지시해주는 시스템과 제어방법을 제안한다. 제안하는 시스템에서는 수술기기의 삽입 위치와 방향을 지정해두면 두 라인 레이저가 환부 위에 투사되어 수술기기의 삽입 위치와 방향을 유도하게 된다. 의료진은 라인 레이저가 유도하는 위치와 방향에서 고정나사와 같은 수술기기를 삽입하는 것으로 기존의 수술 방법보다 빠르고 정확하게 처치할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 수술기기 삽입 유도 시스템은 의료진의 방사선 피폭량을 줄일 수 있고, 수술 시간 역시 줄일 수 있어 환자의 회복에도 기여할 수 있다.

Abstract

In orthopedic surgery, the medical staff determines the insertion position and direction of the surgical instrument, depending on the 2D fluoroscopic images taken with the C-arm and the clinical experience. Such a surgical technique is not only difficult to accurately treat, but also causes medical staff to experience radiation exposure problems. In this paper, we propose a system and a control method to indicate insertion position and direction of surgical instruments by attaching two line laser projection devices to C-arm head. In the proposed system, if the insertion position and direction of the surgical instrument are specified, two line lasers are projected on the lesion to guide the insertion position and direction of the surgical instrument. The medical staff can insert the surgical instrument such as the fixing screw in the position and direction guided by the line laser, so that it can be treated more quickly and accurately than the existing surgical method. The surgical instrument insertion guiding system proposed in this paper can reduce the radiation dose of the medical staff and reduce the operation time, which can contribute to the recovery of the patient.

Keywords

surgical instrument guide, line laser, minimal invasive fracture surgery, C-arm fluoroscopy

* 경북대학교 의료로봇연구소

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1989-3609>

** 경북대학교 의과대학 정형외과

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1319-6159>

*** 경북대학교 의료로봇연구소 (교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5958-3907>

• Received: Mar. 22, 2018, Revised: May 21, 2018, Accepted: May 24, 2018

• Corresponding Author: Sanghyun Joung

Global plaza 1006, 80 Daehakro, Bukgu,

Kyungpook National University, Daegu, South Korea

Tel.: +82-53-269-6802, Email: shjoung@mdrip.knu.ac.kr

I. 서 론

부러진 뼈를 수술적인 방법으로 고정하는 골절 수술에서 환부의 상태에 따라 다양한 치료 방법이 적용되고 있지만 골수강내 금속정 고정 방법을 이용하는 최소 침습 수술이 환자의 회복에 가장 효과적이다[1]. 최소 침습 골절 수술은 골절 부위의 뼈를 노출시키지 않고 최소 침습만으로 수술이 진행되므로 감염 위험성이 줄어들고 환자의 회복시간이 빠르다는 장점이 있는 반면에 수술의 난이도가 높아 의료진에게는 여러 가지 심각한 문제가 발생한다. 수술 과정에서 골절 부위의 확인은 C-arm(C-arm Fluoroscopy, 이동형 방사선 투시 영상장치)을 이용할 수밖에 없고, C-arm은 방사선 장치이므로 의료진의 방사선 피폭 문제가 심각하다. 특히 골절 수술 과정에서 골수강에 삽입된 금속정의 고정을 위해 고정나사를 삽입하는 단계에서 의료진은 C-arm으로 촬영된 2D 투시영상과 임상경험에 의존하여 고정나사의 삽입 위치, 방향을 결정한다. 고정나사 삽입에는 경력 10년 이상의 전문의도 수십 장의 C-arm 촬영이 필요하고 고정나사 1개 삽입에 10분 이상의 시술시간이 소요된다. 이와 같은 수술 기법은 정확한 처치가 어려울 뿐만 아니라, 수술시간이 길어지게 되어 감염 위험성이 높아질 수 있고, 수술 결과는 집도의의 의료영상의 해석 능력과 같은 역량에 따라 좌우되는 문제가 있다.

이와 같은 문제를 개선하기 위해 다양한 연구가 진행되어 왔다. 수술의 정확도를 높이기 위해 수술 계획 기법[2]과 수술기기의 추적 장치[3]에 대한 연구가 진행되었지만, 수술과정에서 실시간으로 수술기기를 유도하지 못하고 있다. 다축 로봇을 이용하여 바늘 삽입을 보조하는 다축 로봇[4]에 대한 연구가 진행되었지만, 다축 로봇을 실제 수술실에 설치하기 어려운 문제가 있다. 레이저를 이용한 수술기기 삽입 유도 시스템[5-8]에 대한 연구도 진행되었지만 위치 계산을 위해 광학식 위치 추적 장치를 사용해야 하고 CT나 MRI와 같은 수술 전 의료영상이 필요하고 독립형으로 제작되어 설치가 어렵다는 단점이 있다. 이와 같이 기존의 수술기기 삽입 유도 시스템은 구입비용이 높고 설치가 어렵고 복잡한

사용절차가 필요하므로 임상환경에 보급되지 못하고 있다.

따라서 본 논문에서는 두 개의 라인 레이저 투사 장치를 C-arm 헤드에 부착하는 것으로 수술기기의 삽입 위치와 방향을 지시해주는 시스템과 제어방법을 제안한다. 제안하는 시스템에서는 수술기기의 삽입 위치와 방향을 지정해주면 두 라인 레이저가 환부 위에 투사되어 수술기기의 삽입 위치와 방향을 유도하게 된다. 의료진은 라인 레이저가 유도하는 위치와 방향에서 고정나사와 같은 수술기기를 삽입하는 것으로 기존의 수술방법보다 빠르고 정확하게 처치할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 수술기기 삽입 유도 시스템을 의료현장에 사용한다면 C-arm 촬영 횟수를 단축시킬 수 있어 의료진의 방사선 피폭량을 줄일 수 있고, 수술 시간 역시 줄일 수 있어 환자의 회복에도 기여할 수 있다. 제안한 시스템의 타당성은 모의실험과 실험을 통해 확인한다.

II. 수술기기 삽입 유도 시스템

2.1 라인 레이저를 이용한 수술기기 삽입 유도

라인 레이저 두 개를 이용한 수술기기 삽입 유도 시스템의 개념도를 그림 1에 나타내었다.

라인 레이저를 투사하는 장치가 C-arm 헤드에 부착되어 있고, 레이저 투사장치에서 발생하는 라인 레이저는 환부 위에서 교차된다.

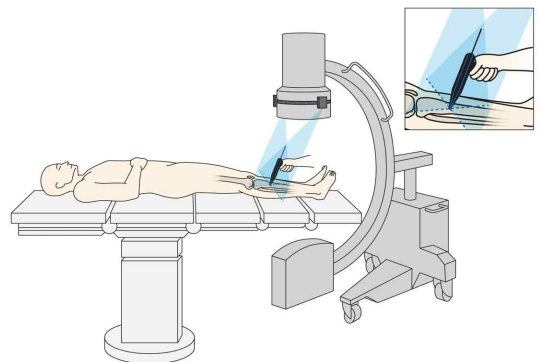


그림 1. 수술기기 삽입 유도 시스템

Fig. 1. Surgical instrument guidance system

두 개의 라인 레이저가 환부 위에서 생성하는 교점이 수술기기의 삽입 위치를 표시하고, 두 레이저 평면이 공간에서 교차하는 교선이 수술기기의 삽입 방향을 나타낸다.

라인 레이저를 투사하는 장치는 그림 2와 같이 라인 레이저 광원, 모터, 반사경 등으로 구성되어 있다. 라인 레이저 광원은 모터 A와 연결되어 있고 모터 A를 제어함에 따라 라인 레이저를 회전시킬 수 있다. 회전한 라인 레이저는 반사경에 의해 반사되어 환부로 투사되고, 반사경은 모터 B와 연결되어 회전하게 된다. 즉, 모터 A와 B를 적절히 제어하면 원하는 방향과 위치로 라인 레이저를 투사할 수 있다. 그림 2에서 모터 A에 의해서 회전하는 라인 레이저의 법선 벡터를 P_r , 라인 레이저의 회전 각을 α , 초기상태에서 반사경의 법선벡터가 z축과 이루는 각을 ϕ , 회전하는 반사경 평면의 법선벡터를 M_r , 반사경에 의해 반사된 라인 레이저의 법선 벡터를 P_q 라 한다.

수술기기 삽입 유도 위해서는 그림 2와 같은 레이저 투사장치 두 개가 이용되고, 레이저 투사장치의 모터를 제어하기 위해서 수술기기의 위치와 방향으로 부터 모터 각도 명령 값을 계산해야 한다.

2.2 라인 레이저 투사장치의 제어

그림 3에는 수술기기 삽입 유도 시스템의 좌표계를 나타내었다. V_1 과 V_2 는 반사경의 중심, K 는 삽입 방향, W 는 삽입 위치, D_1 과 D_2 는 삽입 위치와 반사경 중심점을 통과하는 직선, d 는 C-arm 헤드의 중심과 레이저 장치 반사경 중심 사이의 거리, l 은 삽입 위치와 반사경 중심점 사이의 z축 거리를 나타낸다. 레이저 투사장치 1과 2의 반사경의 중심을 각각 y축과 x축 위에 위치시키는 것으로 레이저 장치 1과 2가 90° 간격을 가지도록 하였다. 그림 3의 적색 선은 두 평면이 공간에서 만나는 교선이고 수술기기의 삽입 방향을 나타낸다.

수술기기의 삽입 방향은 그림 4와 같이 구좌표계로 표현할 수 있다. 그림 4의 삽입 방향 벡터 K 와 삽입 위치 W 를 직교좌표계에서 표현하면 식 (1), (2)와 같다.

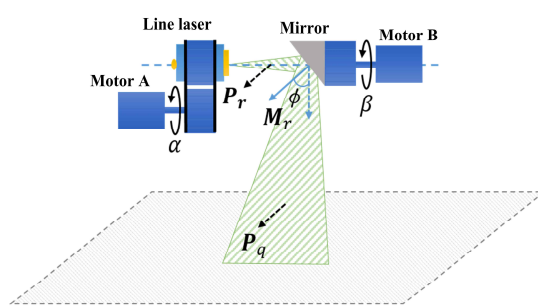


그림 2. 라인 레이저 투사장치의 구조
Fig. 2. Structure of the line laser projector

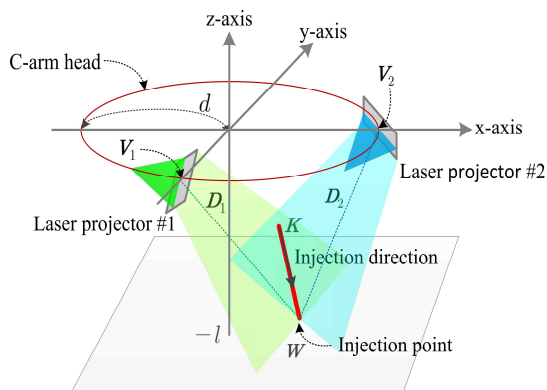


그림 3. 수술기기 삽입 유도 시스템의 좌표계
Fig. 3. Coordinate system of the surgical instrument insertion guidance system

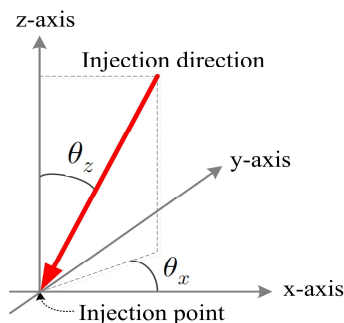


그림 4. 구좌표계에서 수술기기의 삽입 방향
Fig. 4. Insertion angle in the spherical coordinate system

$$W = [W_x \ W_y \ -l] \quad (1)$$

$$K = [\sin \theta_z \cos \theta_x \ \sin \theta_z \sin \theta_x \ \cos \theta_z] \quad (2)$$

여기서, W_x 와 W_y 는 삽입 위치의 x축 좌표값과 y축 좌표값, θ_x 와 θ_z 는 삽입 방향 벡터가 각각 x축,

z축과 이루는 각을 나타낸다.

그림 3에서 레이저 투사장치 1과 2의 반사경의 중심 V_1 과 V_2 는 각각 y축과 x축 위에 위치하고 있으므로 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} V_1^T &= [0 \quad -d \quad 0] \\ V_2^T &= [d \quad 0 \quad 0] \end{aligned} \quad (3)$$

초기상태에서 레이저 투사장치 1, 2의 레이저 광원에서 출력되는 라인 레이저의 법선벡터 P_{i1} , P_{i2} 은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} P_{i1}^T &= [0 \quad 1 \quad 0] \\ P_{i2}^T &= [1 \quad 0 \quad 0] \end{aligned} \quad (4)$$

레이저 투사장치 1과 2의 라인 레이저는 각각 x축과 y축을 중심으로 회전하므로 회전한 라인 레이저의 법선벡터 P_{r1} , P_{r2} 는 식 (5)와 같다. 여기서, α_1 과 α_2 는 모터 A에 의해서 회전하는 라인 레이저의 회전각이다.

$$\begin{aligned} P_{r1} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \end{bmatrix} P_{i1} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cos\alpha_1 \\ \sin\alpha_1 \end{bmatrix} \\ P_{r2} &= \begin{bmatrix} \cos\alpha_2 & 0 & \sin\alpha_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\alpha_2 & 0 & \cos\alpha_2 \end{bmatrix} P_{i2} = \begin{bmatrix} \cos\alpha_2 \\ 0 \\ -\sin\alpha_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

초기상태에서 레이저 투사장치 1, 2의 반사경 평면의 법선벡터 M_{i1} , M_{i2} 는 식 (6)과 같다. 여기서, ϕ_1 과 ϕ_2 는 초기상태에서 반사경 평면 법선벡터가 z축과 이루는 각이다.

$$\begin{aligned} M_{i1}^T &= [-\sin\phi_1 \quad 0 \quad -\cos\phi_1] \\ M_{i2}^T &= [0 \quad -\sin\phi_2 \quad -\cos\phi_2] \end{aligned} \quad (6)$$

레이저 장치 1과 2의 반사경은 각각 x축과 y축을 중심으로 회전하므로, 회전한 반사경의 법선벡터 M_{r1} , M_{r2} 는 식 (7)과 같이 표현된다. 여기서, β_1 과 β_2 는 모터 B에 의해서 회전하는 반사경 법선벡터의 회전각이다.

$$\begin{aligned} M_{r1} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta_1 & -\sin\beta_1 \\ 0 & \sin\beta_1 & \cos\beta_1 \end{bmatrix} M_{i1} = \begin{bmatrix} -\sin\phi_1 \\ \sin\beta_1 \cos\phi_1 \\ -\cos\beta_1 \cos\phi_1 \end{bmatrix} \\ M_{r2} &= \begin{bmatrix} \cos\beta_2 & 0 & \sin\beta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_2 & 0 & \cos\beta_2 \end{bmatrix} M_{i2} = \begin{bmatrix} -\sin\beta_2 \cos\phi_2 \\ -\sin\phi_2 \\ -\cos\beta_2 \cos\phi_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

삽입 위치와 레이저 장치 1, 2의 반사경 중심점을 통과하는 직선의 방향벡터 D_1 과 D_2 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} D_1 &= V_1 - W \\ D_2 &= V_2 - W \end{aligned} \quad (8)$$

레이저 투사장치에서 환부로 투사되는 라인 레이저의 법선벡터는 식 (9)와 같이 식 (2)와 (8)의 외적으로 표현된다.

$$\begin{aligned} P_{q1} &= K \times D_1 \\ P_{q2} &= K \times D_2 \end{aligned} \quad (9)$$

반사경에 입사되는 레이저 평면과 반사되는 평면의 관계는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{r1} &= P_{q1} - 2(P_{q1} \cdot M_{r1})M_{r1} \\ P_{r2} &= P_{q2} - 2(P_{q2} \cdot M_{r2})M_{r2} \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)과 식 (5)를 비교하면 P_{r1} 의 x성분과 P_{r2} 의 y성분은 0이 되는 것을 알 수 있고, 이는 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{q1,x} - 2(P_{q1} \cdot M_{r1})M_{r1,x} &= 0 \\ P_{q2,y} - 2(P_{q2} \cdot M_{r2})M_{r2,y} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에 식 (7)을 대입하여 정리하면 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} A_1 \sin\beta_1 + B_1 \cos\beta_1 &= C_1 \\ A_2 \sin\beta_2 + B_2 \cos\beta_2 &= C_2 \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, $A_1 = 2P_{q1,y} \sin\phi_1 \cos\phi_1$, $B_1 = 2P_{q1,z} \sin\phi_1 \cos\phi_1$, $C_1 = P_{q1,x}(1 - 2\sin^2\phi_1)$, $A_2 = 2P_{q2,x} \sin\phi_2 \cos\phi_2$, $A_2 = 2P_{q2,x} \sin\phi_2 \cos\phi_2$, $B_2 = 2P_{q2,z} \sin\phi_2 \cos\phi_2$, $C_2 = P_{q2,y}(1 - 2\sin^2\phi_2)$ 이다.

식 (12)에서 β_1 , β_2 는 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$\beta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{B_1}{A_1}\right) \quad (13)$$

$$\beta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{C_2}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{B_2}{A_2}\right)$$

식 (13)을 이용하면 식 (10)에서 P_{r1} 과 P_{r2} 를 구할 수 있고, 이 값과 식 (5)의 z성분을 비교하면 식 (14)와 같다.

$$\sin\alpha_1 = P_{r1,z} \quad (14)$$

$$\sin\alpha_2 = -P_{r2,z}$$

식 (14)에서 α_1 , α_2 는 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_1 = \sin^{-1}(P_{r1,z}) \quad (15)$$

$$\alpha_2 = -\sin^{-1}(P_{r2,z})$$

식 (13), (15)는 식 (1), (2)에서 주어진 삽입 방향, 위치로부터 레이저 투사장치의 제어를 위해 계산한 각도 명령 값을 나타낸다. 즉, 식 (13), (15)로 계산되는 각도로 레이저 투사장치의 모터를 제어한다면 수술기구의 삽입 위치와 방향을 유도하는 라인 레이저를 생성할 수 있다.

III. 모의실험

본 논문에서 제안하는 방법의 타당성을 확인하기 위해 MATLAB을 이용하여 모의실험을 진행하였다.

그림 5에는 모의실험 순서도를 나타내었다. 주어진 수술기기 삽입 위치, 방향 명령으로 부터 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 레이저 투사장치 1

과 2의 모터 각도 제어 명령 값 α , β 를 구한 후 이 값으로 라인 레이저 투사장치를 제어하였고, 투사되는 라인 레이저를 수술기기 삽입유도 시스템의 모델에 인가하여 그 결과를 삽입 위치, 방향 명령 값과 비교하였다. 표 1에는 모의실험 조건을 나타내었다.

표 1의 조건에서 모의실험한 결과를 표 2와 그림 6에 나타내었다. 표 1에서 삽입 위치와 방향 명령 값은 임의의 값으로 선정하였다. 표 2에는 제안한 방법을 이용하여 계산한 레이저 투사장치의 모터 각도 명령 값을 나타내었다. 표 2의 각도 명령 값으로 레이저 투사장치를 제어하였고, 그림 6에는 수술기기 삽입 유도 시스템의 모델을 이용한 모의실험 결과 파형을 나타내었다.

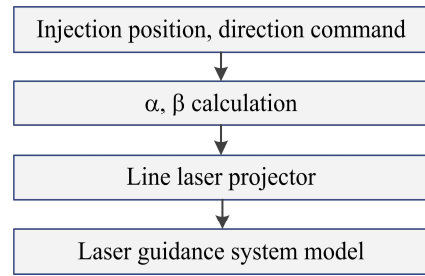


그림 5. 모의실험 순서도

Fig. 5. Flowchart of simulation

표 1. 모의실험 조건

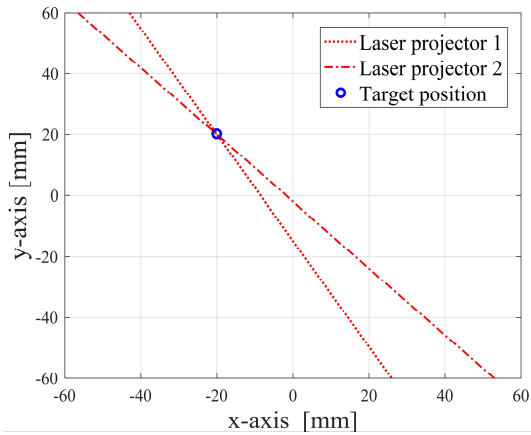
Table 1. Conditions of simulation

Parameter	Value	Command	Value
d	150mm	W_x	-20mm
l	1,000mm	W_y	20mm
ϕ_1	45°	θ_x	120°
ϕ_2	45°	θ_z	30°

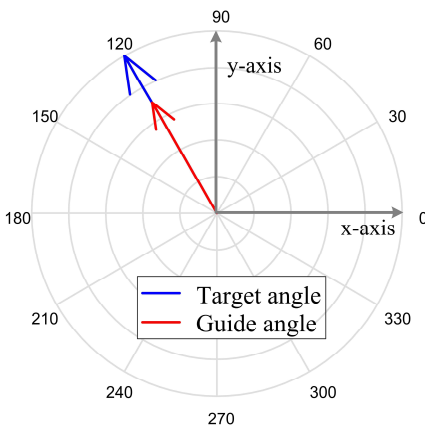
표 2. 제안한 방법을 이용하여 계산한 레이저 투사장치의 각도 명령값

Table 2. Angle command of laser projector using the proposed method

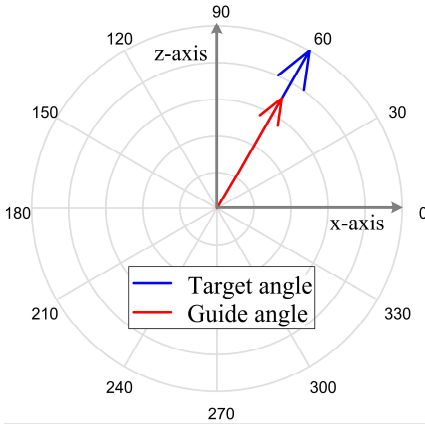
Laser projector 1	Value	Laser projector 2	Value
α_1	-59.98°	α_2	51.49°
β_1	0.12°	β_2	9.51°



(a) xy평면에서 삽입 위치
(a) Injection position in xy-plane



(b) xy평면에서 삽입각도
(b) Injection angle in xy-plane



(c) xz평면에서 삽입각도
(c) Injection angle in xz-plane

그림 6. 제안한 방법을 이용한 모의실험 결과

Fig. 6. Result of simulation using the proposed method

그림 6(a)에는 xy평면에서 삽입 위치와 레이저 투사장치의 파형을 나타내었다. 적색선은 레이저 투사장치에서 생성된 라인 레이저가 환부 위에 형성하는 선을 의미하고, 두 선이 교차하는 점이 수술기기가 삽입되는 위치를 나타낸다. 청색선은 위치 명령으로 주어진 좌표를 표시하였다. 라인 레이저에 의해 생성된 교점과 위치 명령 값 좌표가 일치하는 것으로 삽입 위치를 정확히 나타낼 수 있는 것을 알 수 있다.

그림 6(b)에는 xy평면에서 θ_x 를 나타내었고, 그림 6(c)에는 xz평면에서 θ_z 를 나타내었다. 청색선은 명령으로 주어진 각도를 표시하고, 적색선은 모의실험 결과이다. 그림 6(b)에서 θ_x 는 120° 이고 그림 6(c)에서 θ_z 가 30° 인 것과 두 선이 일치하는 것으로 삽입 방향을 정확히 유도할 수 있는 것을 알 수 있다.

IV. 실험

제안한 방법의 타당성을 확인하기 위해 수술기기 삽입 유도 시스템을 제작하여 실험하였다. 그림 7에는 레이저 투사장치의 제어 블록도를 나타내었다. 수술기기의 삽입 위치, 방향 명령 값으로부터 제안한 방법을 이용하여 모터의 각도 제어 명령 값을 계산하고 모터를 제어하여 라인 레이저의 투사 방향과 위치를 조정한다.

그림 8에는 제안한 방법을 구현한 레이저 투사장치를 나타내었다. 라인 레이저 광원, 반사경, 모터, 엔코더 등으로 구성되어 있고, 제어기는 microchip 사의 PIC16F1788을 이용하여 제작하였다.

그림 9에는 수술기기 삽입 유도를 위한 제어 화면을 나타내었다. C-arm의 출력 영상을 제시하여 의료진이 수술기기의 삽입 위치와 방향을 쉽게 결정할 수 있도록 하였다.

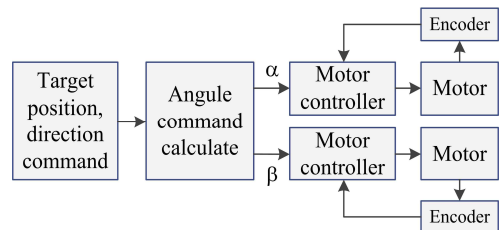


그림 7. 레이저 투사장치 제어기의 블록도

Fig. 7. Block diagram of laser projector controller



그림 8. 제안한 방법을 구현한 레이저 투사장치
Fig. 8. Laser projector implementing the proposed method

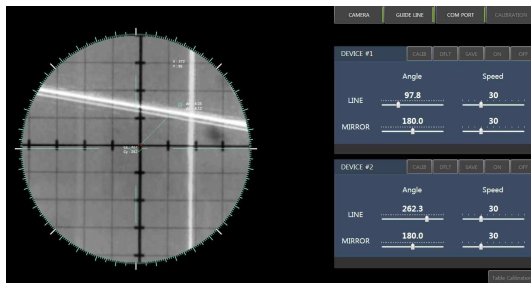


그림 9. 수술기기 삽입 유도를 위한 제어 화면
Fig. 9. Control panel for surgical instrument guide

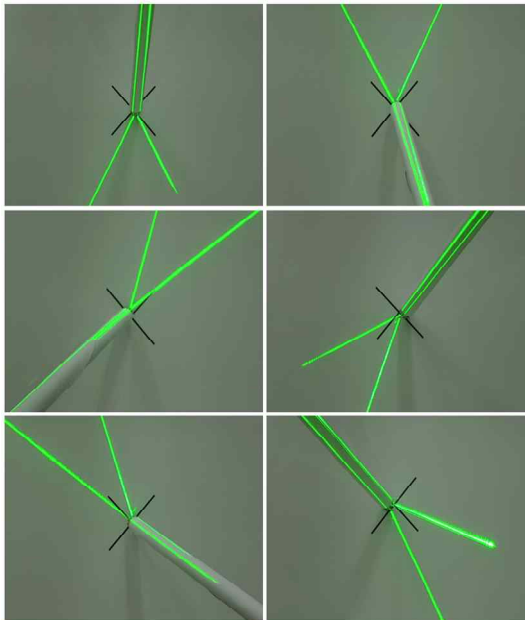


그림 10. 라인 레이저를 이용한 수술기기의 삽입 유도
Fig. 10. Surgical instrument guide using line laser

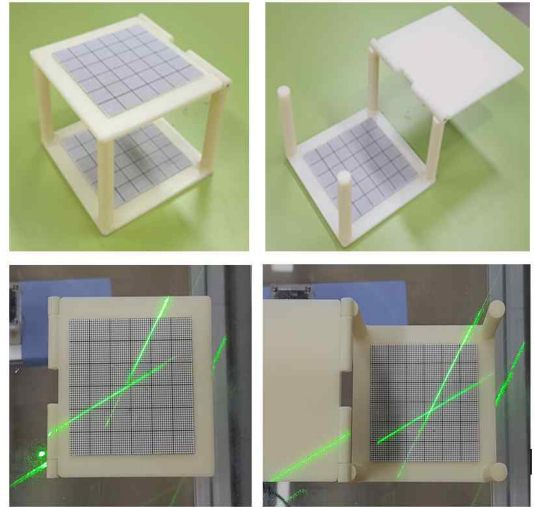


그림 11. 라인 레이저의 위치와 방향을 측정하기 위한 실험장치
Fig. 11. Experimental apparatus for measuring the position and direction of a line laser

그림 10에는 라인 레이저 두 개를 이용하는 수술기기 삽입 유도 장면을 나타내었다. 두 라인 레이저는 환부 위에 교점을 형성하고 공간상에서 발생하는 교선은 수술기기의 표면에 나타난다. 수술기기의 삽입 유도를 위해서 먼저 환부 위의 교점에 수술기기의 삽입 부분을 위치시키고, 이후 수술기기의 방향을 조정한다. 수술기기에 나타나는 두 라인 레이저가 평행하게 되는 방향이 라인 레이저가 유도하는 삽입 방향이 된다. 이와 같이 두 라인 레이저가 유도하는 위치와 방향에 따라 수술기기를 삽입하면 환부에 정확히 수술기기를 삽입할 수 있다.

그림 11에는 라인 레이저에 의해 생성된 삽입 위치와 방향을 측정하기 위한 실험 장치를 나타내었다. 상부와 하부의 측정 면이 z축으로 50mm 간격을 가지도록 배치되어 있다. 삽입 위치는 하부의 측정 면에서 관측할 수 있고, 삽입 방향은 상부와 하부에 생성되는 교차점의 차이로 부터 계산할 수 있다.

표 3에는 제안한 방법을 이용하여 실험한 결과를 나타내었다. 임의로 선정한 20개의 위치와 방향에서 위치 오차는 평균 2.4mm, 표준편차 0.67mm, 각도 오차는 평균 2.1°, 표준편차 1.5°로 측정되었다. 기구의 정밀도와 캘리브레이션 정확도 때문에 약간의 오차를 가지지만 의료진 자문을 통해 확인한 정형

외과 수술에서 임상적으로 요구되는 오차인 위치오차 2.5mm, 각도오차 2.5° 범위 이내에서 수술기기 삽입 위치와 각도를 지정할 수 있음을 확인하였다.

표 3. 제안한 방법을 이용하여 실험한 결과

Table 3. Result of experiment using the proposed method

Item	Position error	Angle error
Average	2.4mm	2.1°
Standard Deviation	0.67mm	1.5°

V. 결 론

본 논문에서는 수술기기 삽입 유도를 위한 레이저 투사장치의 제어방법을 제안하였다.

라인 레이저 투사장치의 구조에 따라 라인 레이저가 유도하는 위치와 각도를 수식적으로 해석하였고, 수술기기의 삽입 위치와 방향 명령 값으로부터 라인 레이저 투사장치의 모터를 제어하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법을 이용하여 수술기기의 삽입 위치와 각도를 정확하게 표시할 수 있는 것을 모의실험과 실험을 통하여 확인하였다.

기존의 C-arm을 이용한 정형외과 수술에서는 수술 부위를 육안으로 확인할 수 없기 때문에 수차례의 C-arm 촬영으로 수술도구의 삽입 위치와 각도를 결정하게 되는데, 이러한 과정에서 많은 시간이 소요되며 정확한 수술 부위를 찾기 어렵다. 제안한 시스템을 최소 침습적 골절 수술에 적용할 경우 정확한 삽입 위치와 각도 표시를 통해 C-arm 촬영 횟수를 줄일 수 있어 수술시간을 단축시킬 수 있다. 앞으로 라인 레이저 투사장치의 C-arm 헤드 최적 설치 위치에 대해 분석할 예정이다.

References

[1] C. W. Oh, J. J. Kim, Y. S. Byun, J. K. Oh, J. W. Kim, S. Y. Kim, B. C. Park, and H. J. Lee, "Minimally invasive plate osteosynthesis of subtrochanteric femur fractures with a locking plate: a prospective series of 20 fractures", Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, Vol.

129, No. 12, pp. 1659-1665, Dec. 2009.

- [2] Jongwon Lee, Sungmin Kim, Young Soo Kim, and Wan Kyun Chung, "Automated Surgical Planning System for Spinal Fusion Surgery with Three-Dimensional Pedicle Model", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 17, No. 8, pp. 807-813, Aug. 2011.
- [3] Young Jin Joe, HyunMin Oh, and Min Young Kim, "3D Orientation and Position Tracking System of Surgical Instrument with Optical Tracker and Internal Vision Sensor", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 22, No. 8, pp. 579-584, Aug. 2016.
- [4] Hyon Min Yoon, Hyunchul Cho, Kyusic Park, Sangkyun Shin, and Deukhee Lee, "Method for C-arm Based Guide Needle Insertion Assistant System for Endoscopic Disc Surgery", Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 20, Nov. 3, pp. 263-268, Sep. 2015.
- [5] Liao H, Ishihara H, Tran H. H, Masamune K, Sakuma I, Dohi T, "Precision-guided surgical navigation system using laser guidance and 3D autostereoscopic image overlay", Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 34, No. 1, pp. 46-54, Jan. 2010.
- [6] Doke T, Liang J. T, Onogi S, and Nakajima Y., "Fluoroscopy-based laser guidance system for linear surgical tool insertion depth control", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 10, No. 3, pp. 275-283, Mar. 2015.
- [7] Neil Glossop, Chris Wedlake, John Moore, Terry Peters, and Zhanhe Wang, "Laser projection augmented reality system for computer assisted surgery", Computer Assisted Intervention Conf., pp. 239-246, Nov. 2003.
- [8] Marmurek J, Wedlake C, Pardasani U, Eagleson R, and Peters T, "Image-guided laser projection for port placement in minimally invasive surgery", Studies in Health Technology and Informatics, Vol. 119, pp. 367-372, Feb. 2006.

저자소개

박 철 우 (Chul-Woo Park)



1997년 : 경북대학교 전자공학과
(공학사)
1999년 : 동대학원 졸업(공학석사)
2004년 : 동대학원 졸업(공학박사)
2004년 ~ 2008년 : 삼성SDI
모바일디스플레이사업부
2008년 ~ 2012년 : 영진전문대학

컴퓨터응용기계계열 교수

2012년 ~ 현재 : 경북대학교 의료로봇연구소 연구교수
관심분야 : 전력전자, 자동제어, 임베디드시스템,
의료로봇

박 일 형 (Il-Hyung Park)



1980년 : 경북대학교 의학과 졸업
1983년 : 동 대학원 졸업
(의학석사)
1989년 : 동 대학원 졸업
(의학박사)
2018년 5월 현재 : 경북대학교
의과대학 정형외과 교수,

의료로봇연구소 소장.

관심분야 : 의료로봇, 규제과학, 빅데이터, 인공지능

정 상 현 (Sanghyun Joung)



2001년 : 연세대학교
의용전자공학과(공학사)
2005년 : 도쿄대학교
신영역창성과학연구과(공학석사)
2009년 : 동대학원 졸업(공학박사)
2009년 ~ 2012년 : 도쿄대학교
의용정밀공학연구실 연구원

2012년 ~ 현재 : 경북대학교 의료로봇연구소 연구교수
관심분야 : 자동제어, 영상처리, 규제과학, 의료로봇