

3자유도 조명로봇 설계 및 구현

Design and Implementation of a 3 DOF Robotic Lamp

이 윤 석¹, 서 종 태², 김 희 국³, 이 병 주⁴

Yun Seok Lee¹, Jong Tae Seo², Whee Kuk Kim³, Byung Ju Yi⁴

Abstract Most lamp units at ceilings, walls, and streets are static and no automatic motion capabilities are available at all to adjust lamp tilting angles and its zooming position. This paper proposes a new robotic lamp that creates three degrees of freedom (DOF) motion by using a spherical-type parallel mechanism with a unique forward kinematic position. In the robotic lamp, three motors are placed at the base frame to control two tilting angles and one zoom in-and-out motion for a localized light. The kinematic model of this device is derived and the proto type has been developed. The performance of this device was verified through experiment.

Keywords : Spherical mechanism, Robotic Lamp

1. 서론

우리 주위에서 흔히 볼 수 있는 조명 장치들은 대부분 어두운 곳을 밝게 밝혀주는 역할을 하거나, 빛의 화려한 색상을 이용해 사람들의 시선을 끌기 위한 도구로 사용된다. 그러나 그것들은 정적이거나 주기적인 회전 움직임을 가지거나 리모컨과 같은 수동의 조작을 필요로 한다. 예를 들어 대부분의 형광등은 천정이나 벽에 고정되어 있으며 무대 조명 또는 수술 조명은 리모컨으로 조작을 하거나 사람이 수동으로 조작을 한다. 또한 현관이나 복도에 설치된 자동 조명장치는 적외선 인체 감지 센서를 사용하여 사람의 움직임을 판단해 단순히 조명 빛의 On-Off의 동작만을 하며 가로등 또한 조도센서를 사용하여 밤과 낮을 구분하여 조명 빛을 On-Off 시킨다. 그 밖에도 나이트 클럽이나 노래방에서 사용되는 회전 조명은 사람의 움직임과는 상관없이 프로그램된 명령에 의해서만 주기적으로

움직여 현란한 빛을 발산한다. MIT Media Lab에서는 테이블에 장착된 Robotic Lamp를 개발하였다. 이 Robotic Lamp는 5 자유도의 직렬 구조를 가지며, LED 램프를 사용하여 빨강, 녹색, 파랑의 색깔과 빛의 폭을 변화시킬 수 있다^[1]. 또한 인텔프로세서 기반의 PC를 탑재하여 영상처리를 통해 사람의 움직임을 판단하여 사람 방향으로 조명이 움직인다. 그러나 이 시스템은 크고 무거우며, 복잡한 형태로 되어 있다 따라서 이 시스템을 천정이나 벽에 설치하기 어렵다.

본 논문에서는 3자유도의 구(球)형 병렬 메커니즘을 가진 새로운 Robotic Lamp를 제안한다. 이 시스템은 pitch, yaw, roll의 3축 회전 기능을 가진다. pitch와 yaw 회전은 조명의 자세를 제어하고 roll 회전은 조명의 zoom in과 out에 관하여 조명 빛의 폭을 제어한다. 본 논문에서는 제안된 메커니즘의 설계, 정 위치와 역 위치의 기구학 해석을 수행하고 설계된 메커니즘의 성능을 실험한다.

2. 구형 3자유도 병렬 메커니즘

2.1 다양한 구형 메커니즘

직렬형 구조의 경우 로봇의 링크들이 낮은 강성도를 갖는 외팔보의 형태를 가지므로 로봇의 링크에 분산된 액츄에이터의 중량으로 인하여 많은 정적 및 동적 처짐을 유

Received : Jun. 8. 2010; Reviewed : Jun. 9. 2010; Accepted : Jun. 29. 2010

※ 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업[GRRChan양 2010 B05, 유비쿼터스 네트워크를 이용한 액티브 디스플레이]과 에너지자원인력양성사업과 전라기술훈인력양성사업과 핵심연구사업의 일환으로 수행하였음.

¹ 한양대학교 지능형로봇학과 석사과정

² 한양대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

³ 고려대학교 제어계측공학과 교수

⁴ 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 교수

발하여 시스템의 적재 하중용량의 축소를 야기시키는 반면 병렬형 구조는 구조적으로 보다 높은 강성도를 나타낼 뿐만 아니라 액추에이터를 지반에 가깝게 위치할 수 있으므로 적재하중 용량을 높일 수 있는 장점을 가진다. 그러나 병렬형 구조는 증가된 링크와 관절의 수, 기구학/동역학 모델링의 복잡성, 그리고 축소된 작업구간 등으로 인해 그 활용이 제한 되었으나 병렬형 3자유도 구형 시스템은 충분한 작업구간을 가지고 있으므로 햅틱 장치로 많이 활용되며 그밖에 다른 분야에서도 응용 되고 있다.

그림 1 (a)는 3자유도 액추에이터로 가이드 구조를 가지며, 전자적으로 구동하는 구형 메커니즘이다^[2]. 그림 1 (b)는 구형 3자유도 병렬형 메커니즘과 가이드 형태를 지닌 햅틱 장치이다^[3]. 3개의 모터가 모두 기저부에 장착되어 있으며, roll 회전 시 기구적인 제약을 받지 않는다. 그림 1 (c)는 캐나다의 LAVAL 대학교에서 만든 ShaDe라 불리는 햅틱 장치 이다^[4]. 이 햅틱 장치는 RRR타입의 2개의 구형 링크체인과 하나의 RRRR 체인으로 이루어진다. 그림 1 (d) 4자유도 구형 메커니즘으로 기저판(lower or base ternary), 네 개의 직렬 부속 체인, 그리고 상판(upper or

top ternary)으로 구성되며 각각의 직렬 부속 체인은 네 개의 회전 관절들과 두 개의 링크들로 이루어져 있다^[5]. 그림 1 (e)는 3자유도 구형 메커니즘으로 가이드 형태를 가진 바늘 삽입형 의료장치이다^[6]. 바늘 삽입을 위해 독립적으로 모터 하나가 사용된다. 그림 1 (f)는 2자유도 구형 메커니즘으로 수술용 장치로 사용 된다^[7].

그림 1 (c), (d)의 직렬 부속 체인 형태는 roll 회전시 기구적으로 제한되어 있는 반면에 그림 1 (b)는 roll 회전시 기구적인 제약을 받지 않아 본 연구에서 제안하는 메커니즘의 움직임에 적합한 구조이다.

2.2 구형 메커니즘의 구조

Kong과 Gosselin^[8]은 세 개의 다리로 구성된 과도하게 구속되지 않은 메커니즘의 구조에 대한 합성(synthesis)에 관한 연구를 수행하였으며 Rosheim^[9]은 내포된(embedded) 선형 액추에이터들에 의해 구동되는 Omni-wrist를 제안하였다. Gregorio^[10,11]는 RUU와 URC부속체인을 가지는 3 자유도 구형 메커니즘을 제안하였으며 Kurtz와 Hayward^[12] 그리고 Yi^[13] 등은 이들의 힘 전달 비를 향상시킬 수 있도록 여유구동 구형 메커니즘을 제안하



그림 1. 구형 병렬 메커니즘

였다. 일반적으로, 대부분의 이전 구형 병렬 메커니즘은 링크들 사이의 구속으로 인하여 상대적으로 적은 작업공간을 가지고 있으며 따라서 최적설계는 구형 메커니즘의 주어진 사양을 만족하도록 수행되어야 한다. 그림 2는 제안된 메커니즘을 보여준다. 유일한 정기구학 해와 3자유도 회전 움직임이 충분히 이용되고 2방향과 줌 In 과 Out 으로 빛이 집중 될 수 있는 구형의 특징의 메커니즘이다.

메커니즘은 yaw운동과 pitch운동을 가지는 회전 2자유도를 가지는 병렬 모듈과 메커니즘의 중앙에 위치한 RRR 형태, 즉 세 개의 회전관절(Revolute joint)을 가지는 직렬형 부속체인으로 구성된다. 특히, 직렬형 부속체인의 두 회전관절은 하나의 Hook 관절(또는 Universal Joint)과 동일한 운동을 가진다. 그러므로 작업공간의 중앙(즉, 출력 손잡이가 중앙에 서 있는 형상) 으로부터 원주방향으로 서 있는 출력 손잡이의 위치가 멀어짐에 따라 roll에 대한 입출력 속도 전달 비는 나빠짐을 쉽게 추측할 수 있다³⁾. 그림 3은 앞에서 언급한 3자유도 구형 손목 메커니즘의 구조의 문제점을 해결 하였다. 두 메커니즘의 차이점은 RRR 부속체인에서 사용된 액츄에이터 입력의 위치와 동력전달 메커니즘에 있다. 이들 두 메커니즘의 모빌리티는 Grubler's 모빌리티 공식으로부터 아래와 같이 모두 3 자유도를 가짐을 확인 할 수 있다. :

$$M = d(l-1) - \sum_i^n c_i = 3(8-1) - 2 \times 9 = 3, \quad (1)$$

여기서 d 는 시스템의 링크들의 최대 출력공간의 수 (admissible motion space), l 은 기저판을 포함하는 링크들의 수, n 은 관절의 수, c_i 는 해당 관절 i 의 구속조건의 수를 나타낸다. 그림 2와 그림 3은 $[\hat{x}_0 \ \hat{y}_0 \ \hat{z}_0]$ 와 $[\hat{x}_i \ \hat{y}_i \ \hat{z}_i]$ 를 각각 기저판의 중앙에 위치한 기저좌표계 그리고 상판의 중앙에 위치한 상판 좌표계라 하자. 그림 3의 형상은 기저좌표계와 상판 좌표계가 일치하는 형상을 보여주고 있다. $J^i R$ 는 좌표계 $\{i\}$ 에 대한 좌표계 $\{j\}$ 의 방향코사인 행렬 (direction cosine matrix)을 나타낸다. 그리고 메커니즘의 출력 방위를 나타내기 위해 아래와 같이 정의 되는 xyz Euler's 각 셋을 이용한다.

$${}^0_i R = [\hat{x}_i \ \hat{y}_i \ \hat{z}_i] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_\beta c_\gamma & -c_\beta s_\gamma & s_\beta \\ s_\alpha s_\beta c_\gamma + c_\alpha s_\gamma & -s_\alpha s_\beta s_\gamma + c_\alpha c_\gamma & -s_\alpha c_\beta \\ -c_\alpha s_\beta c_\gamma + s_\alpha s_\gamma & c_\alpha s_\beta s_\gamma + s_\alpha c_\gamma & c_\alpha c_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

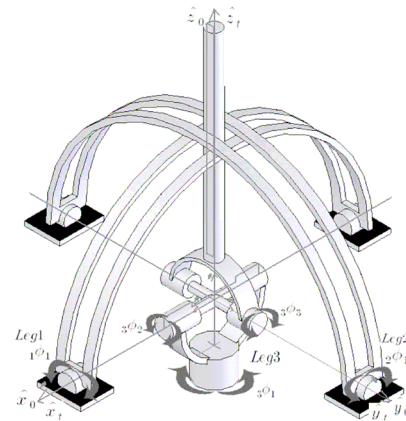


그림 2. The 3-DOF spherical parallel mechanism

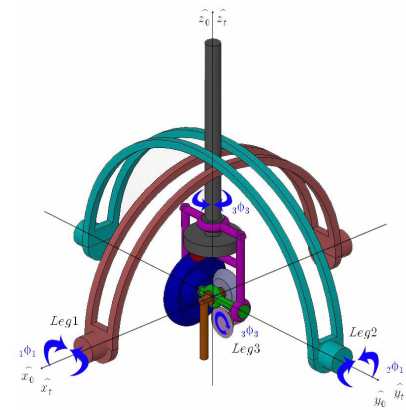


그림 3. The modified 3-DOF parallel mechanism

3. 위치 해석

3.1 정위치 해석

메커니즘의 입력각도가 주어지면 xyz Euler's 각 셋을 이용하여 정위치 해석을 계산한다. 첫 번째 다리와 두 번째 다리의 두 번째 지역 좌표계는 각각 다음과 같이 표현된다. :

$${}^0_2 R_{leg1} = [{}^1\hat{x}_2 \ {}^1\hat{y}_2 \ {}^1\hat{z}_2] = \begin{bmatrix} \sin_1 \phi_2 & \cos_1 \phi_2 & 0 \\ -\sin_1 \phi_2 \cos_1 \phi_2 & \sin_1 \phi_2 \sin_1 \phi_2 & \cos_1 \phi_1 \\ \cos_1 \phi_1 \cos_1 \phi_2 & -\cos_1 \phi_2 \sin_1 \phi_2 & \sin_1 \phi_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$${}^0_2 R_{leg2} = [{}^2\hat{x}_2 \ {}^2\hat{y}_2 \ {}^2\hat{z}_2] = \begin{bmatrix} \sin_2 \phi_1 \cos_2 \phi_2 & \sin_2 \phi_1 \sin_2 \phi_2 & \cos_2 \phi_1 \\ \sin_2 \phi_2 & \cos_2 \phi_2 & 0 \\ -\cos_2 \phi_1 \cos_2 \phi_2 & \cos_2 \phi_1 \sin_2 \phi_2 & -\sin_2 \phi_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 ${}_i\phi_j$ 는 I 번째 체인의 j 번째 관절 각을 나타낸다. 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 ${}_1\hat{z}_2, {}_2\hat{z}_2$ 그리고 \hat{z}_i 은 서로 일치한다. 두 축 ${}_1\hat{z}_2 = \hat{z}_i$ 이 일치한다는 사실로부터 다음 식이 얻어진다.

$$r_{23} = -s_\alpha c_\beta = \cos_1 \phi_1, \quad r_{33} = c_\alpha c_\beta = \sin_1 \phi_1, \quad (5)$$

마찬가지로, ${}_2\hat{z}_2 = \hat{z}_i$ 과 같이 두 축이 일치한다는 사실로부터 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$r_{13} = s_\beta = \cos_2 \phi_1, \quad r_{33} = c_\alpha c_\beta = -\sin_2 \phi_1. \quad (6)$$

이들 두 식들로부터 두 회전각 α 와 β 에 대한 해는 이들 각각의 범위가 $\alpha(-90^\circ < \alpha < 90^\circ)$ 와 $\beta(-90^\circ < \beta < 90^\circ)$ 같이 제한된다고 할 때 다음과 같이 얻어진다.

$$\alpha = \arctan 2(-\cos_1 \phi_1, \sin_1 \phi_1), \quad (7)$$

$$\beta = \arctan 2(\cos_2 \phi_1, -\frac{\sin_2 \phi_1}{c_\alpha}). \quad (8)$$

끝으로, 메커니즘의 세 번째 다리의 출력 회전 행렬은 xyz Euler 각 셋으로 표현된 회전 행렬과 동일하다는 조건으로부터 다음과 같이 등식을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} R \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} R = Rot(\hat{x}, \alpha) Rot(\hat{y}, \beta) Rot(\hat{z}, \gamma). \quad (9)$$

식 (9)은 아직까지 구해지지 않는 Euler 각 γ 에 대하여

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} R \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} R^{-1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} R^{-1} Rot(\hat{x}, \alpha) Rot(\hat{y}, \beta). \quad (10)$$

로 표현되고, 식 (10)으로부터 $\gamma(-90^\circ < \gamma < 90^\circ)$ 에 대한 해는 다음과 같이 구해진다.

$$\gamma = \arctan 2(\sin_3 \phi_1 c_\alpha, \cos_3 \phi_1 c_\beta + \sin_3 \phi_1 s_\alpha s_\beta). \quad (11)$$

3.2 역위치 해석

모든 관절 변수들 ${}_i\phi_j (i, j = 1, 2, 3)$ 의 범위가

$-90^\circ < {}_i\phi_j < 90^\circ$ 로 제한된다고 가정하자. Euler 각으로 표현된 메커니즘의 출력 방위각이 주어졌을 때 각 부속체인의 관절 변수들은 각각 다음과 같이 얻어진다. 첫 번째 다리에 대한 변수 값은

$${}_1\phi_1 = \arctan 2(-r_{23}, r_{33}), \quad (12)$$

$${}_1\phi_2 = \arctan 2(r_{13}, \sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}), \quad (13)$$

$${}_1\phi_3 = \arctan 2(-r_{12}, r_{11}), \quad (14)$$

와 같이 얻어지며, 두 번째 다리에 변수 값은

$${}_2\phi_1 = \arctan 2(r_{13}, r_{33}), \quad (15)$$

$${}_2\phi_2 = \arctan 2(-r_{23}, \sqrt{r_{21}^2 + r_{22}^2}), \quad (16)$$

$${}_2\phi_3 = \arctan 2(r_{21}, r_{22}). \quad (17)$$

와 같이 얻어지며, 중앙의 다리에 대한 변수 값은

$${}_3\phi_1 = \arctan 2(-r_{23}, r_{33}), \quad (18)$$

$${}_3\phi_2 = \arctan 2(r_{13}, \sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}), \quad (19)$$

$${}_3\phi_3 = \arctan 2(-r_{12}, r_{11}). \quad (20)$$

와 같이 얻어진다.

4. 조명로봇의 구조

4.1 Linkage의 구조

그림 4은 포커싱을 위한 줌 In과 Out 메커니즘을 가진 3자유도의 구형 병렬 메커니즘의 조명로봇 시스템을 보여 준다. 제안하는 조명로봇은 그림 5에서 보는 바와 같이 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 그림 5 (a)는 빛의 퍼지는 폭을 조절하기 위해 스크류를 사용한 줌 메커니즘을 가진 램프 모듈이고, (b)는 램프 모듈의 자세를 만들어 주는 병렬 링크 구조를 보여주며, (c)는 구동 모터가 베이스 프레

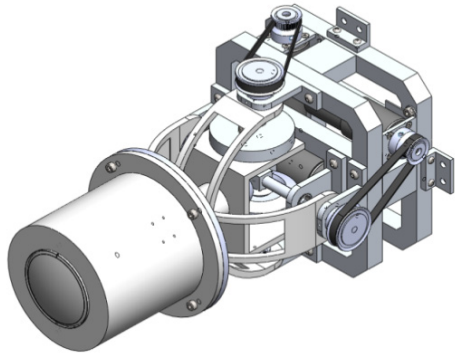
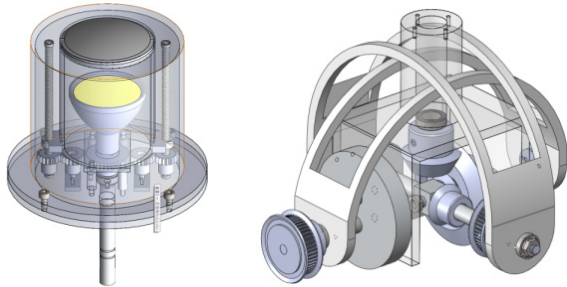
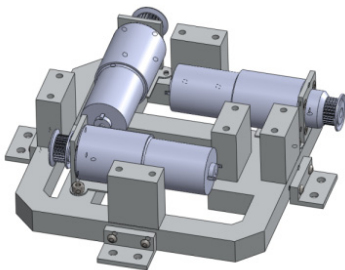


그림 4. 3 자유도 조명로봇



(a) Lamp 모듈

(b) 가이드 구조를 가진 병렬 링크



(c) 기저부에 위치한 액츄에이터

그림 5. 3 자유도 조명로봇의 구조

임에 부착된 구조를 보여준다. 표 1은 시스템에 사용된 모터의 제원을 보여준다. 모터가 회전을 하면 팬 벨트로 연

표 1. 모터의 제원

Model	IG-32PGM	
Reduction ratio	1/516	1/71
Rated torque (kgf-cm)	12	3.1
Rated speed (RPM)	11.2	74
No load speed (RPM)	12.5	91
Counts poles of per turn (PPR)	26	26
Use	Rotational motion	Zoom mechanism

결된 링크가 회전을 하게 되어 램프 모듈의 자세를 제어한다.

4.2 줌 In 과 Out 메커니즘의 구조

그림 6은 roll 회전의 구조를 보여 준다. 모터가 회전하면 타이밍 벨트로 연결된 작은 베벨기어 축이 회전하고 작은 베벨기어와 맞물려 있는 베벨기어의 회전에 의하여 큰 베벨기어가 회전 한다. 큰 베벨기어와 맞물린 베벨기어의 회전에 의해 roll 회전이 이루어진다.

그림 7은 Robotic Lamp의 yaw와 pitch 모션의 최대 회전반경을 나타낸다. 그림 7 (a)는 최대 줌 In 상태에서의 회전 반경을 나타내며 그림 7 (b)는 최대 줌 Out 상태에서의 회전 반경을 나타낸다. Yaw와 pitch 모션의 회전 범위는 -85° 에서 85° 이며, 가이드 링크의 파여진 홈의 길이에 의해 최대 회전 범위가 결정 된다. 또한 큰 베벨기어 축과 첫 번째 회전 축을 중심으로 렌즈까지의 거리는 줌 In인 경우 최소 0.2m, 줌 Out인 경우 최대 0.27m의 길이를 가진다.

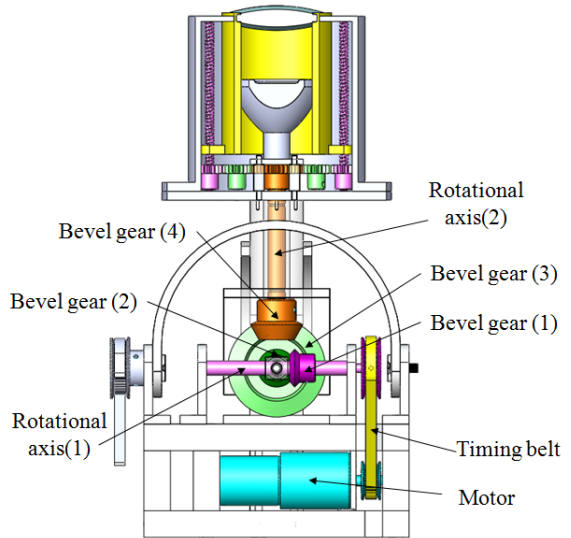
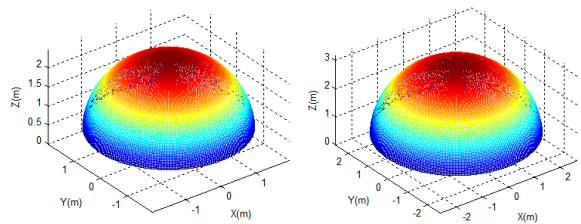


그림 6. roll 회전 구조



(a) 줌 In 일 때의 회전반경

(b) 줌 Out 일 때의 회전반경

그림 7. 줌 In과 Out의 회전반경

그림 8은 포커싱을 위한 줌 In 과 Out을 가진 램프 모듈을 보여 준다. 이 램프 모듈은 볼록렌즈, 저전력 LED 램프, 두 개의 스크류와 평 기어로 구성 되어 있다.

줌 In과 Out의 모션은 그림 9에서 보는 바와 같이 베이스에 부착된 모터로부터 발생하는 roll 회전이 베벨기어 세트를 통해 회전축에 전달되며 이에 맞물려 있는 평 기어가 회전을 통해 두 개의 스크류를 동시에 회전시킴으로써, 볼록렌즈를 상하로 움직이게 한다. 볼록렌즈의 초점 거리에 의해 LED 램프에서 나온 빛의 폭이 조절된다. 이 빛의 폭은 줌 In인 경우 최대 60°이며, 줌 Out인 경우 최소 30°도 이다.

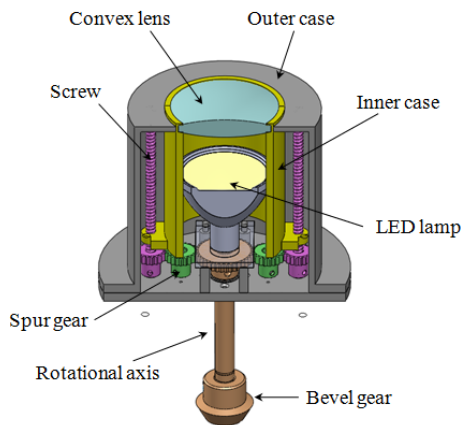
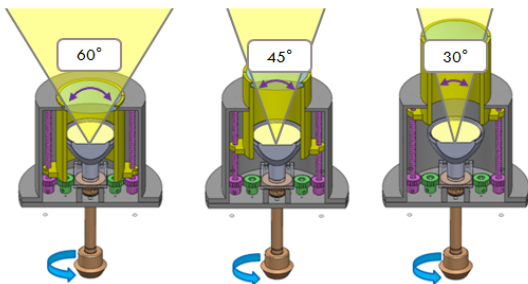


그림 8. 줌 기능을 위한 Screw transmission 메커니즘

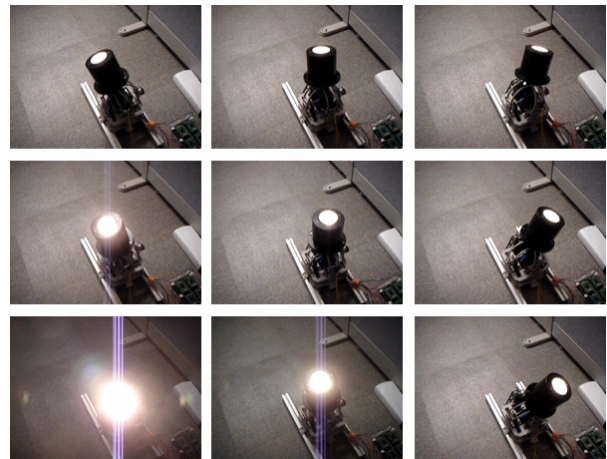


← In - Zoom - Out →

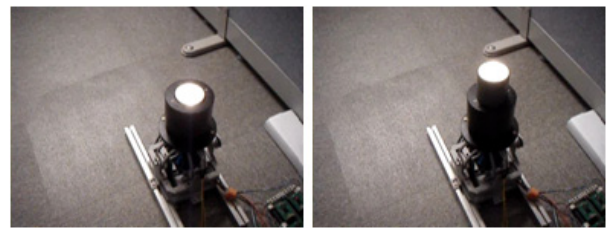
그림 9. 줌 In과 out 움직임

5. 실험

그림 10은 실험에 대한 결과를 보여준다. 조명로봇을 바닥에 놓고 pitch와 yaw 각도를 조정하여 원 형태의 궤적을 그리면서 움직이게 하고, 또한 램프의 볼록 렌즈를



(a) 조명로봇의 다양한 모션



(b) 줌 In 과 Out 모션

그림 10. 실험 결과

줌 In 과 줌 Out 시키면서 빛이 퍼지는 것을 확인 하였다. 여기서 pitch, yaw, roll의 자세는 PID제어를 통해 각각의 모터에 자세에 대한 정보를 주어 제어 하였다.

6. 결론

본 연구에서는 pitch, yaw, roll의 3 자유도의 구형 메커니즘을 가진 새로운 조명로봇을 제시하고 이에 대한 기구학 해석과 설계를 수행 하였다. 전체적으로 빛을 비추어 주는 램프모듈, 자세를 만들어 주는 병렬링크 구조, 구동부의 세 부분으로 구성되며, yaw와 pitch의 회전 범위는 -85°에서 85°로 가이드의 과여진 홈의 길이에 따라 결정되는 것을 알 수 있다. 또한, 빛의 퍼짐 폭은 30°에서 60°로 줌 In-Out 메커니즘에 의해 조절될 수 있다는 것을 알 수 있다. 실험을 통하여 구형 병렬 메커니즘의 다양한 움직임과 스크류를 사용한 줌 메커니즘의 동작에 의한 조명 빛의 폭 조절이 성공적으로 동작되는 것을 볼 수 있었다.

참고문헌

- [1] Hoffman, G. and Breazeal, C. "Achieving Fluency

Through Perceptual-Symbol Practice in Human-Robot Collaboration,” *3rd ACM/IEEE international Conference on Human Robot Interaction*, 2008.

[2] 양창일, “3자유도 액츄에이터” 특2001-0016683, 1999.

[3] Lee, S. H., Kim, W. K., Oh, S-M., and Yi, B-J., “Kinematic Analysis and Implementaion of a Spherical 3-Degree of Freedom Parallel Machanism,” *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2005, pp.809-814.

[4] Lionel Birglen, Clément M. Gosselin, Nicolas Pouliot, Bruno Monsarrat and Thierry Laliberté, “SHaDe, a new 3-dof haptic device,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol.18, No.2, pp.166-175, 2002.

[5] Park, B-J, Yi, B-J, Kim, W-K, “Design and Analysis of a New Parallel Grasper Having Spherical Motion,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, 2004.

[6] Steven R.H. Barrett, Nevan C. Hanumara, Conor j. Walsh, Alexander H. Slocum, Rajiv Gupta, Jo-Anne O. Shepard “A Remote Needle Guidance System For Percutaneous Biopsies” *ASME International Design Engineering Technical Conferences* ,USA, 2005.

[7] Mitchell, Jay and Hiroshi, Lum, “Kinematic Optimization of a 2-DOF Spherical Mechanism for a Minimally Invasive Surgical Robot,” *MSEE Thesis, University of Washington, Department of Electrical Engineering*, December 2004.

[8] Kong, X. and Gosselin, C.M., “Type synthesis of 3-DOF Spherical Parallel Manipulators,” *International Journal of Robotics Research*, Vol.23, No.3, pp.237-245, 2004.

[9] Rosheim, M.E., “Robot Evolution: The Development of Anthrobotics,” *John Wiley & Sons, Canada, Ltd.*, 1994.

[10] Di Gregorio, R., “A New Parallel Wrist Using Only Revolute Pairs:The 3- RUU Wrist,” *Robotica*, Vol.19, No.3, pp.183-304, 2001.

[11] Di Gregorio, R., “Kinematics of a New Spherical Parallel Manipulator with Three Equal Legs: the URC wrist,” *Journal of Robotic Systems*, Vol.18, No.5, pp.213-219, 2001.

[12] Kurz, R. and Hayward, W., “Multiple-Goal Kine-

matic Optimization of a Parallel Spherical Mechanism with Actuator Redundancy,” *IEEE Trans. on J. of Robotics and Automation*, Vol.8, No.5, pp.644-651, 1992.

[13] Yi, B-J., Tesar, D., and Freeman, R.A., “Analysis of a Redundantly Actuated Fault-Tolerant Spherical Shoulder Module,” *ASME 22st Biennial Mechanism Conference*, 1992.



이 윤 석

2008 평생교육원 정보통신공
학과 학사
2010~현재 한양대학교 지능
형로봇학과 석사과정
관심분야 : 센서 네트워크, 유비
쿼터스



서 종 태

2006 영동대학교 전자공학과
학사
2008 한양대학교 메카트로닉
스공학과 석사
2010~현재 한양대학교 메카
트로닉스공학과 박사과정

관심분야 : 유비쿼터스 센서 네트워크



김 희 국

- 1982 고려대학교 기계공학과 학사
- 1985 미 텍사스 주립대 기계공학과 석사
- 1990 미 텍사스 주립대 기계공학과 박사

1991~현재 고려대학교 제어계측공학과 교수
관심분야: 로봇 메커니즘 설계 및 해석, 제어



이 병 주

- 1984 한양대학교 기계공학과 학사
- 1986 미 텍사스 주립대 기계공학과 석사
- 1991 미 텍사스 주립대 기계공학과 박사

1991~1995 한국기술교육대학교 제어기계과 교수
1995~현재 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 교수
관심분야: 생체모방 로봇 시스템 설계 및 제어 의료 로봇