

환경인식센서의 위치 및 기울기 제어를 위한 유압시스템 개발

Electro-hydraulic System to control position and tilt of 3D Scanner

*양현대¹, 백승호², 원대희², 박재한², #백문홍²

*H. Y. Yang¹, S. H. Baeg², D. H. Won², J. H. Park², #M. H. Baeg(shbaeg@kitech1.re.kr)²

¹과학기술연합대학원대학교 지능형로봇공학과, ²한국생산기술연구원 로봇기술연구부

Key words : electro-hydraulic control, position and tilt control, manipulator

1. 서론

건설 현장이나 해체현장에서, 굴삭기는 다기능성과 경제성 등의 장점으로 인하여 많이 이용되고 있으나 열악한 작업환경과 숙련된 조종의 부족으로 인한 안전성 및 효율성 문제가 발생하고 있다. 최근에 이를 해결하기 위해 유압굴삭기의 원격 조종 및 자동화에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 하지만 원격 조정자의 외부환경인식 부족으로 인해 굴삭기의 전복사고 및 정밀작업이 힘든 문제가 발생 되어, 원격 조종자가 작업환경을 모니터링 하여 환경을 인식할 수 있도록 도와주는 환경인식센서의 개발 및 제어에 관한 연구도 함께 이루어지고 있다.

본 연구에서는 환경인식센서의 위치 및 기울기 제어를 위한 유압 매니플레이터(RemoEye Manipulator)를 개발하였다. 또한 기구학 및 동역학 해석을 바탕으로 시뮬레이션을 해보았다.

2. 유압 시스템 및 매니플레이터 설계

본 연구에서 개발된 시스템은, Laser Range Finder(LRF)를 이용한 3D 환경인식센서(3D-Scanner)를 대상으로, 굴삭작업 시에 생기는 진동과 같은 외부외란에도 3D-Scanner가 작업자의 눈높이에 맞는 높이와 기울기를 제공하기 위해 위치(X, Y축)와 기울기(θ)제어를 할 수 있는 3자유도의 유압 매니플레이터이다. 그리고 구축한 시스템의 다이어그램은 fig.1과 같다.

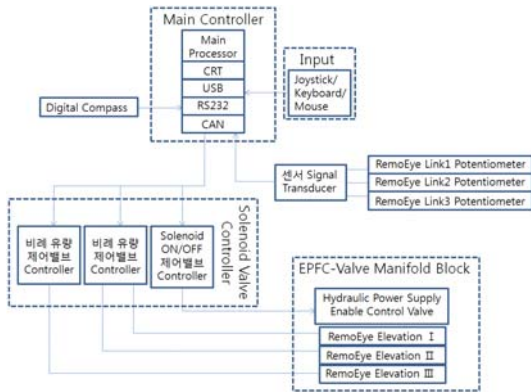


Fig.1 Diagram of Electro-hydraulic control system

3D-Scanner의 총 무게가 7.3kg으로 위치 및 기울기 제어를 하기 위해서는 큰 힘이 필요하고, 배터리를 사용하는 시스템 환경으로 인해 파워소모가 큰 전기모터를 사용할 수 없고, 굴삭기에서 사용되는 유압시스템을 사용할 수 있는, 부피는 작으면서 큰 힘을 내는 소형 유압모터(OMM-08)를 액추에이터로 사용하였다. 이 유압모터를 구동시키기 위해 유압시스템을 Solenoid Valve를 이용하여 전기적인 입력에 의해 작동되는 전자유압시스템으로 구성 하였다. 그리고 유압모터의 속도를 조절하기 위해 유량을 조절할 수 있는 EPFC(Electro Proportional Flux Control) Block 회로를 Fig.2와 같이 설계하였다.

각 축에 모터가 들어가는 일반적인 3링크 매니플레이터 형태에서는 2kg의 소형유압모터로 인해 불필요한 토크가 발생하여 더 큰 유압모터가 필요하게 되고, 따라서 시스템이 커지게 된다. 이 문제점을 해결하기 위해 첫 번째 링크에 2개의 유압모터를 위치시켜 풀리와 타이밍 벨트를 이용하여 2, 3번째 관절을 구동시킬 수 있는 매니플레이터로 구성하였다.

시스템의 안전을 위하여 3개의 축에 마이크로스위치를 장착하

여 각 축의 회전 제한 범위를 설정하였고 관절의 각도를 측정하기 위해 Single Turn Potentiometer를 각 관절에 장착하였다. 그리고 굴삭기의 자세를 측정하기 위해 디지털 컴퍼스를 베이스에 부착하였다. 설계한 RemoEye Manipulator는 Fig.3과 같다.

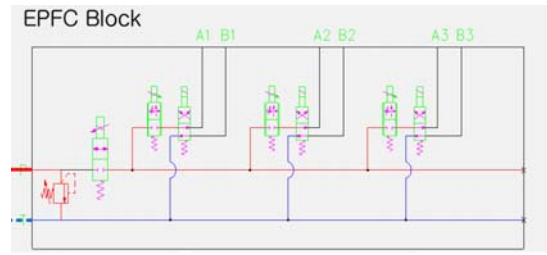


Fig.2 Schematic diagram of EPFC valve Block circuit

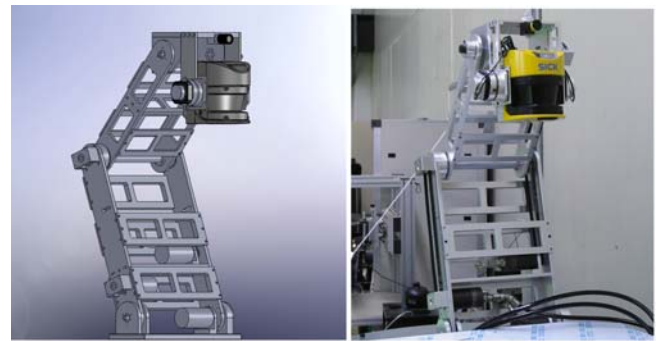


Fig.3 RemoEye Manipulator

3. 제어 시스템

RemoEye Manipulator는 조종자가 직접 각 관절의 유압모터를 조종할 수 있는 Manual mode와 조종자가 위치만 입력하면 궤적이 생성되어 자동으로 움직이는 Auto mode로 구성하였다. Auto mode 일 때의 제어시스템 블록 다이어그램은 Fig.4와 같다.

Auto mode는 3D-Scanner의 위치 값을 입력 받으면, 먼저 원하는 위치로 가기 위한 궤적을 생성시키고 1,2축 Potentiometer값을 이용하여 3D-Scanner의 위치를 제어한다. 그리고 3D-Scanner의 정면이 베이스의 X축 방향과 평행하기 위한 조건과, 디지털 컴퍼스 값과 Potentiometer값을 비교한 것을 이용하여 3번째 축 모터를 구동시켜 기울기 제어를 한다. 제어 시에 사용된 역기구학 식은 아래와 같으며, 이때 사용한 좌표계는 Fig.5와 같다.[1]

$$\cos\theta_2 = \frac{(x - a_{3x})^2 + (y + a_{3y})^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2} \quad (1)$$

$$\sin\theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2\theta_2} \quad (2)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}(\sin\theta_2, \cos\theta_2) \quad (3)$$

$$\cos\theta_1 = \frac{\det \begin{bmatrix} (x - a_{3x}) & -a_2 \sin\theta_2 \\ (y + a_{3y}) & a_1 + a_2 \cos\theta_2 \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} a_1 + a_2 \cos\theta_2 & -a_2 \sin\theta_2 \\ a_2 \sin\theta_2 & a_1 + a_2 \cos\theta_2 \end{bmatrix}} \quad (4)$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\det \begin{bmatrix} a_1 + a_2 \cos\theta_2 & (x - a_{3x}) \\ a_2 \sin\theta_2 & (y + a_{3y}) \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} a_1 + a_2 \cos\theta_2 & -a_2 \sin\theta_2 \\ a_2 \sin\theta_2 & a_1 + a_2 \cos\theta_2 \end{bmatrix}} \quad (5)$$

$$\theta_1 = \text{atan2}(\sin\theta_1, \cos\theta_1) \quad (6)$$

$$\theta_3 = -(\theta_2 + \theta_1) \quad (7)$$

$$q(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5 \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} 1 t_0 & t_0^2 & t_0^3 & t_0^4 & t_0^5 \\ 0 1 & 2t_0 & 3t_0^2 & 4t_0^3 & 5t_0^4 \\ 0 0 & 2 & 6t_0 & 12t_0^2 & 20t_0^3 \\ 1 t_f^1 & t_f^2 & t_f^3 & t_f^4 & t_f^5 \\ 0 1 & 2t_f & 3t_f^2 & 4t_f^3 & 5t_f^4 \\ 0 0 & 2 & 6t_f & 12t_f^2 & 20t_f^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_0 \\ 0 \\ 0 \\ q_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

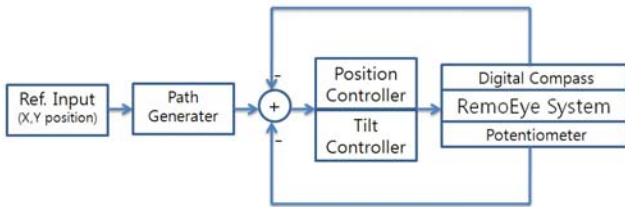


Fig. 4 Block diagram of Control system (Auto mode)

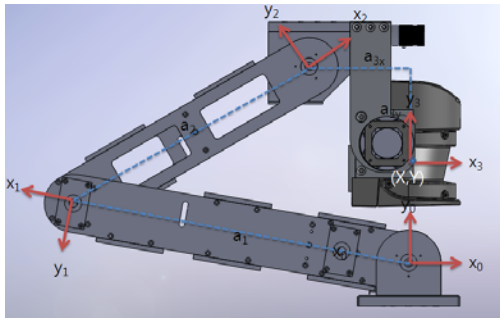


Fig.5 Coordinate of RemoEye Manipulator

4. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해서 RemoEye Manipulator의 1, 2번째 링크를 동일한 밀도를 가지는 slender bar로, 3번째 링크를 끝단에 점 질량을 가지는 것으로, 3자유도 매니퓰레이터를 Fig.6과 같이 모델화하였다. 초기 조건과 Euler-Lagrange equation을 이용하여 구한 동역학 식은 아래와 같다.[1][2]

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) \quad (10)$$

$$M(\theta) = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix}, C(\theta, \dot{\theta}) = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}, G(\theta) = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix}$$

$$d_{11} = \left(\frac{1}{3}m_1 + m_2 + m_3\right)a_1^2 + \left(\frac{1}{3}m_2 + m_3\right)a_2^2 + (m_2 + 2m_3)a_1a_2C_2 + 2m_3(a_2a_3C_3 + a_1a_3C_{23}) \quad (11)$$

$$d_{12} = d_{21} = \left(\frac{1}{3}m_2 + m_3\right)a_2^2 + m_3a_3^2 + \left(\frac{1}{2}m_2 + m_3\right)a_1a_2C_2 + m_3(2a_2a_3C_3 + a_1a_3C_{23})$$

$$d_{13} = d_{31} = m_3a_3^2 + m_3a_2a_3C_3 + m_3a_1a_3C_{23}$$

$$d_{22} = \left(\frac{1}{3}m_2 + m_3\right)a_2^2 + m_3a_3^2 + 2m_3a_2a_3C_3$$

$$d_{23} = d_{32} = m_3a_3^2 + m_3a_2a_3C_3, \quad d_{33} = m_3a_3^2$$

$$c_{11} = h_1\dot{\theta}_2 + h_2\dot{\theta}_3, \quad c_{12} = h_1\dot{\theta}_1 + h_1\dot{\theta}_2 + h_2\dot{\theta}_3, \quad c_{13} = h_2\dot{\theta}_1 + h_2\dot{\theta}_2 + h_2\dot{\theta}_3 \quad (12)$$

$$c_{21} = -h_1\dot{\theta}_1 + h_3\dot{\theta}_3, \quad c_{22} = h_3\dot{\theta}_3, \quad c_{23} = h_3\dot{\theta}_1 + h_3\dot{\theta}_2 + h_3\dot{\theta}_3$$

$$c_{31} = -h_2\dot{\theta}_1 - h_3\dot{\theta}_2, \quad c_{32} = -h_3\dot{\theta}_1 - h_3\dot{\theta}_2, \quad c_{33} = 0$$

$$h_1 = -\left(\frac{1}{2}m_2 + m_3\right)a_1a_2S_2 - m_3a_1a_3S_{23}$$

$$h_2 = -m_3a_2a_3S_3 - m_3a_1a_3S_{23}, \quad h_3 = -m_3a_2a_3S_3$$

$$g_1 = \left(\frac{1}{2}m_1 + m_2 + m_3\right)a_1C_1g + \left(\frac{1}{2}m_2 + m_3\right)a_2C_{12}g + m_3a_3C_{123}g \quad (13)$$

$$g_2 = \left(\frac{1}{2}m_2 + m_3\right)a_2C_{12}g + m_3a_3C_{123}g$$

$$g_3 = m_3a_3C_{123}g$$

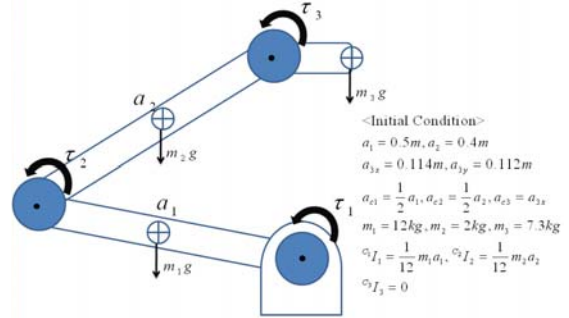


Fig. 6 Three link model and initial condition

동역학과 정/역 기구학을 이용하여 끝단의 궤적 제어를 시뮬레이션 하였다. 대기모드 일 때의 끝단은 (0, 0.2)이고 작동모드 일 때는 작업자의 눈높이와 같은 (a3x, 0.75)로 하였다. 이때 생성된 궤적은 Fig.6(a)의 빨간 점선과 같다. 식(10)과 같이 모델링한 시스템에서 피드백신호 없이 작동 시키면 시스템은 발산하였다. 발산을 막고 오차를 줄이기 위해 PD제어기법을 사용하여 Fig.6(a)의 파란실선과 같이 오차가 줄어든 시뮬레이션 결과를 얻었다. 그때의 각 관절의 오차는 Fig.6(b)과 같다. 이렇게 수행한 시뮬레이션은 유압시스템 동역학까지 적용한 것은 아니었지만, 각 관절에 걸리는 최대토크를 계산할 수 있어 이를 토대로 유압모터를 선택 할 수 있었다.

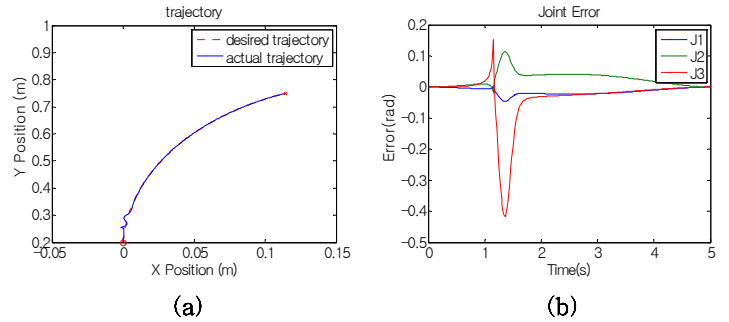


Fig. 6 Simulation result

5. 결과

본 논문은 환경인식센서의 위치 및 기울기 제어를 위한 유압시스템 개발에 관한 것으로, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 3자유도 매니퓰레이터의 설계 및 제작을 수행하였다.
- (2) 3자유도 매니퓰레이터의 기구학 및 동역학을 해석하여 시뮬레이션을 수행 하였다.

참고문헌

1. Mark W.Spong, Seth Hutchinson, and M. Vidyasagar, "Robot Modeling and Control" WILEY
2. Xie Jian and Li Zushu, "Dynamic Model and Motion Control Analysis of Three-link Gymnastic Robot on Horizontal Bar" International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, 83-87, 2003.