

수정된 병렬형매니플레이터의 성능해석에 관한연구

김 주 영*(부산대 대학원), 배 재 만(Rexroth Korea), 박 명 관(부산대 기계공학부)

A Study on Performance analysis of a modified parallel manipulator

J. Y. Kim(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.), J. M. Bae(Rexroth Korea), M. K. Park(Pusan Nat'l Univ.)

ABSTRACT

The Purpose of this study is analysis of kinematic for a modified manipulator and experimental test to certify auto-balancing operation. The test is carried out as follows. First, we solve the inverse kinematics and then do a closed loop control. Second we confirm translation displacement and rotation angle of a manipulator.

Key Words : Hydraulic casing oscillator (유압식 케이싱 오실레이터) , Parallel manipulator (병렬형기구), Inverse Kinematics (역기구학) , PWM (펄스폭 변조법)

1. 서론

최근들어 산업의 고도발달로 인하여 병렬형 매니플레이터를 이용한 로봇이나 공작기계의 연구가 활발히 진행되고 있다. 병렬형 매니플레이터는 직렬형에 비해 구조적으로 높은 강성도와 작업정밀도 그리고 안정성을 지닌다. 본 연구에서는 건설현장의 기초공사에쓰이는 유압식-케이싱-오실레이터(Hydraulic Casing Oscillator)에 오토-밸런싱(Auto Balancing)기능을 부여하기 위하여 기존의 구조를 변경하여 새로운 병렬형 매니플레이터의 구조를 제시한다. 기존의 케이싱-오실레이터의 문제점은 작업시 케이싱의 수직보정이 오실레이터 자체에서는 어렵우며 번거롭다는 것이다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 기존의 구조에 자유도를 추가함으로써 이 기능을 수행할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 대상으로 하는 케이싱 오실레이터의 구성은 실제와 비교하여 성능개선과 기능면에서 구조를 변경하였다.먼저, 성능개선면에서 보면, 밸런싱 실린더의 위치를 기존의 방식과는 달리하였다. 기존의 방식에서 밸런싱 실린더는 무빙실린더의 움직임에 저항요소로 작용하게 된다.

2. 매니플레이터 구조

Fig.1 은 케이싱-오실레이터의 실제사진이며 Fig. 2는 변경된 구조의 외관이다.

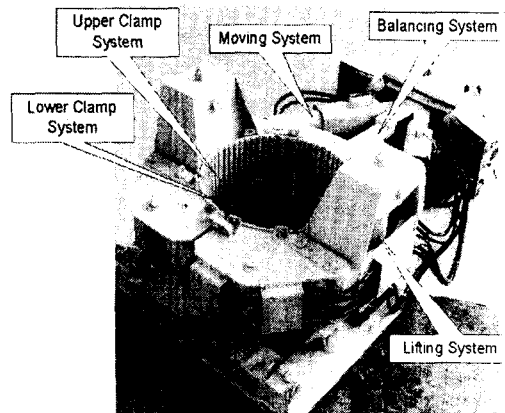


Fig. 1 photo of real casing-oscillator

두개의 무빙실린더의 한 끝을 밸런싱 실린더에 연결하여 연결부를 수평으로 움직여 상판의 기울기를 조절하도록 하였으며, 무빙 실린더의 동작에 간섭을 받지 않도록 하였다.

기능면에서 살펴보면, 상판과 하판에 부착되어있는 상부,하부 클램프는 실제와 같이 클램프를 장착하지는 않았으며 상부 클램프대신 고정 너트를 장착하여 클램프 시스템이 작동하는 것과 동일한 역할을 하도록 하였다. 하부 클램프측은 구면베어링을 사용하여 케이싱이 지면에 맞닿아 있는 효과가 나도록 구성하였으며, 실제와 같이 케이싱을 장착하는 대신 케이싱의 중심 역할을 할 수 있는 중심축을 설치하였다.

실린더의 개수는 실제와 동일한 5개로 이루어져 있으며 실제 케이싱 오실레이터에서는 무빙시 하나의 방향전환 밸브로 실린더간의 동조를 구현하기 위하여 양로드를 사용하였다. 그러나 실험장치에서는 무빙 시스템용 실린더로서 편로드 실린더를 사용하였으며 각각의 실린더에 대하여 별도의 방향전환 밸브를 부착함으로써 독립적으로 제어가 가능하도록 하였다. 이렇게 함으로써 실린더의 동조뿐만 아니라 실린더의 구동이 개별적으로 이루어짐으로 기존의 기구에서는 구현할 수 없었던 방향의 구동이 가능하게 된다.

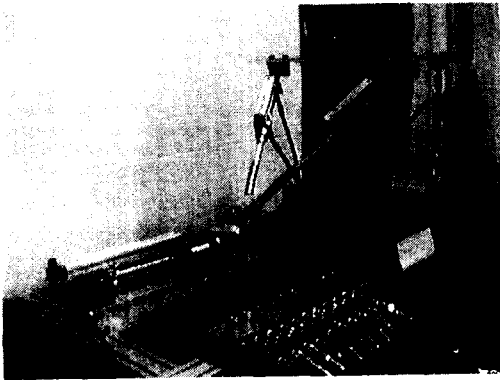


Fig. 2 appearance of a modified manipulator

방향전환 밸브는 기존의 시스템과 같이 온-오프(On-Off)밸브를 사용하였다. 건설장비인 케이싱-오실레이터는 작업환경의 특성과 작업의 고정밀도를 요구하지 않으며, 고속작업시 실린더의 주파수가 약 3[Hz]에 불과하므로 온-오프밸브만으로도 충분히 제어가 가능하다.

3. 매니플레이터의 운동해석

3.1 좌표와 좌표계

Fig. 3은 기구학 해석을 위한 단순화된 모델을 나타낸다. 먼저 하판에 고정되어 있는 좌표계를 {O}로 표시한다. 이 좌표계 {O}는 항상 고정되어진 좌표계로서 기준 좌표계가 된다. 그리고 상판에 또 하나의 좌표계를 부착하고 이를 {C}로 나타낸다.

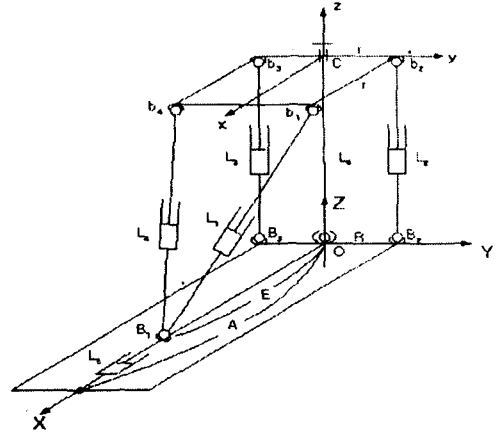


Fig. 3 A kinematic model of manipulator

이 좌표계는 상판이 움직일 때 같이 움직이는 좌표계가 되며 케이싱-오실레이터의 기구학은 케이싱-오실레이터의 현재 상태에서 기준 좌표계에 대해서 움직이는 좌표계를 완전히 기술하는 문제가 된다. 기준 좌표계에서 기술되어지는 벡터와 움직이는 좌표계에서 기술되는 벡터를 구분하기 위해서 기준좌표계에서 기술하는 벡터는 대문자로 표기하며, 움직이는 좌표계에서 기술되는 벡터는 소문자로 표기한다.

하판에 대한 상판의 운동을 완전히 기술하기 위해서는 6개의 독립된 좌표가 필요하다. 좌표계 {O}에 대한 좌표계 {C}의 운동을 기술하기 위해서는 병진운동3개 성분과 회전운동 3개 성분이 필요하게 된다. 병진 변위를 나타내기 위해서 두 좌표계간의 원점을 연결한 벡터 3개 성분을 찾아내면 된다. 회전운동을 기술하기 위해서 오일러 각을 도입하기로 한다.

X축을 중심으로 각도 ϕ 만큼 회전한다. 물각 ψ 가 된다. 다음에는 Y축을 중심으로 각도 θ 만큼 회전한다. 피치각 θ 가 된다. 마지막으로 Z축을 중심으로 ϕ 만큼 회전을 해서 요각 ϕ 가 된다. 회전행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽¹⁾

$$R(\phi, \theta, \psi) = R(z, \phi)R(y, \theta)R(x, \psi)$$

$$= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ S\phi C\theta & S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi & S\phi S\theta C\psi - C\phi S\psi \\ -S\theta & C\theta S\psi & C\theta C\psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2 역기구학 해석

역기구학 문제는 주어진 상판의 위치와 방향으로 부터 구동기의 길이를 구하는 문제이다. 즉, 좌표계 {O}에 대해서 {P}의 병진변위와 회전변위가 주어졌을 때 그 때의 각 구동기의 길이를 구하는 문제이다.

각 링크의 길이를 벡터형식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L_1 = \overline{B_1 b_1} = \overline{OC} + \overline{Cb_1} - \overline{OB_1} \quad (2)$$

$$L_2 = \overline{B_2 b_2} = \overline{OC} + \overline{Cb_2} - \overline{OB_2} \quad (3)$$

$$L_3 = \overline{B_3 b_3} = \overline{OC} + \overline{Cb_3} - \overline{OB_3} \quad (4)$$

$$L_4 = \overline{B_1 b_4} = \overline{OC} + \overline{Cb_4} - \overline{OB_1} \quad (5)$$

$$L_5 = \overline{B_1 A} = \overline{OA} - \overline{OB_1} \quad (6)$$

$$L_6 = \overline{OC} \quad (7)$$

식(1)을 사용하여 나타내면 다음과 같다.

$$L_1 = \overline{OC} + \overline{Cb_1} - \overline{OB_1} \\ = [x_c, y_c, z_c]^T + Rb_1 - [E, 0, 0]^T \\ = \begin{bmatrix} x_c + rC\phi C\theta + r(C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi) - E \\ y_c + rS\phi C\theta + r(S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi) \\ z_c - rS\theta + rC\theta S\psi \end{bmatrix} \quad (8)$$

(8)식의 양변에 norm을 취하면,

$$\|L_1\|^2 = \|\overline{OC} + \overline{Cb_1} - \overline{OB_1}\|^2 \\ L_1^2 = [x_c + rC\phi C\theta + r(C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi) - E]^2 \\ + [y_c + rS\phi C\theta + r(S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi)]^2 \\ + [z_c - rS\theta + rC\theta S\psi]^2 \quad (9)$$

같은 방법으로 각각의 링크길이를 구하면 다음과 같다.

$$L_2^2 = [x_c + r(C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi)]^2 \\ + [y_c + r(S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi) - R]^2 \\ + [z_c + rC\theta S\psi]^2 \quad (10)$$

$$L_3^2 = [x_c - r(C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi)]^2 \\ + [y_c - r(S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi) + R]^2 \\ + [z_c - rC\theta S\psi]^2 \quad (11)$$

$$L_4^2 = [x_c + rC\phi C\theta - r(C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi) - E]^2 \\ + [y_c + rS\phi C\theta - r(S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi)]^2 \\ + [z_c - rS\theta - rC\theta S\psi]^2 \quad (12)$$

$$L_5^2 = (A - E)^2 \quad (13)$$

$$L_6^2 = x_c^2 + y_c^2 + z_c^2 \quad (14)$$

4. 매니플레이터의 제어

본 연구에서는 병렬형매니플레이터의 제어방식 중 원하는 6자유도 운동을 역기구학 식으로 링크길이를 계산하여 각각의 링크 길이를 제어하는 링크영역에서의 단일 입출력 제어방식을 선택하였다. Fig. 4는 전체적인 제어 블록 선도이다.

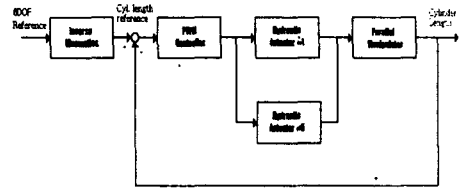


Fig. 4 Block diagram of control manipulator

4.1 유압위치 제어시스템의 제어기 설계

온-오프(on-off)형 밸브는 최단시간 제어가 가능하다는 장점을 갖는 반면, 단순히 온-오프 동작밖에 하지 않으므로 정밀한 제어가 힘들다. 밸브를 제어하는 방식으로 밸브가 열려있는 시간의 폭을 조절하여 유량을 조절하는 펄스 폭 변조법(PWM)을 사용한다.⁽²⁾ Fig. 5는 펄스폭을 조절하는 내용에 대해 설명한 그림이다.

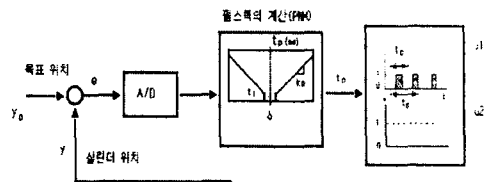


Fig. 5 Block diagram of PWM control

4.2 시스템 구성 및 실험 방법

위치제어를 하기위한 PWM제어기 구성은 소프트웨어적으로 구현하였으며, A/D변환과 D/O를 하기위한 인터페이스카드로는 DR1010보드를 사용하였다. 컴퓨터로부터 출력되는 신호는 5[V]이므로 24[V]에서 작동하는 솔레노이드 밸브를 구동하기 위해 증폭회로를 각각 구성하였으며, LVDT로 읽은 신호는 노이즈(Noise)를 제거하기 위해 저역필터를 구성하였다. 제어수행절차는 다음과 같다. 먼저 원하는 6자유도 운동을 생성하고, 이를 역기구학식을 통해 각 링크의 길이를 구한다. 0~10[V]에서 작동하는 LVDT로부터 A/D변환된 값과 구하여진 기준입력값을 비교

하여 그 오차에 따른 펄스폭 제어를 거쳐 D/O으로 출력하여 제어를 수행하게 된다.

5. 실험결과 및 고찰

Fig. 6은 단순히 히브(Heave)동작을 할 경우, 역기구학 해석을 통한 각 실린더의 기준궤적에 대한 추정치 실험결과이다. L_2, L_3, L_5 의 기준궤적은 12.5cm이며, L_1, L_4 는 6.78cm이다. 각 실린더는 약 2%에서 5%의 만족할 만한 정상상태 오차를 가지며 위치제어를 수행하였다. 이 오차의 원인은 PWM제어시, 설정한 불감대에 기인한다고 볼 수 있겠다. 그리고 각 실린더는 0.5s에서 0.7s 정도의 시간지연이 나타나는데 이는 솔레노이드 밸브의 온-오프 지연시간에 기인한다. 상판의 위치와 기울어짐은 A/D변환된 각 실린더 값을 순기구학 해석식인 수치적인 방법에 대입하여 수행한 결과 허용한도내에서 만족함을 확인하였다.

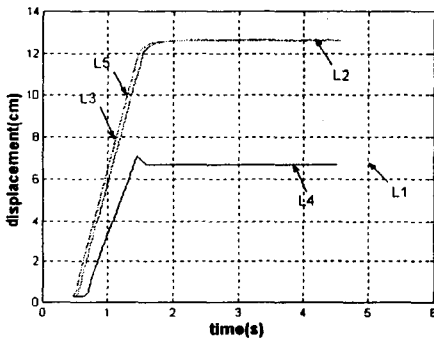


Fig. 6 Experimental result for Heave motion

6. 결론

기존의 케이싱 오실레이터의 문제점인 수직보정을 기구학적인 수정과 해석으로서 가능하게 하였으며, 온-오프형 밸브로서 그 기능을 충분히 수행하였고, 실린더도 편로드 실린더를 사용함으로써 매니플레이터의 장비 저렴화면과 시뮬레이터의 기능으로서도 충분한 효과를 가짐을 확인 하였다.

7. 향후 계획 및 과제

각 실린더에 걸리는 부하는 고정된 것이 아니라 변화하는 부하로서 단순히 PWM제어로서는 한계가 있다. 그래서 변화하는 부하에 능동적으로 대처할 수 있는 새로운 제어 알고리즘 제안이 요구된다.

참고문헌

1. K. S. Fu, R. C. Gonzalez, C. S. G. Lee, "Robotics," McGRAW-HILL, pp. 14-25, 1987.
2. 田中裕久, "유공압의 디지털제어와 응용," 기전 연구사, pp. 23-43, 1989.
3. 배재만, "케이싱 오실레이터의 기구학 해석에 관한 연구," 부산대학교 공학석사 학위논문, 2000. 2.
4. 박성환, "고속전자밸브를 이용한 전기.유압 서보 시스템의 제어에 관한 연구," 부산대학교 공학박사 학위논문, 1996. 2.