

역기구학을 이용한 케이싱 오실레이터의 실시간 제어

배형섭(부산대 대학원)*, 백재호(부산대 대학원), 김병진(부산대 대학원),
이은준(부산대 대학원), 박명관(부산대 기계공학과)

The Study on the Real-Time control of Casing Oscillator Using the Inverse Kinematics

H. S. Bae, J. H. Baik, B. J. Kim, E. J. Rhee(Graduated School Pusan Nat'l Univ.), M. K. Park(Mech. Eng. Dept., Pusan Nat'l Univ.)

ABSTRACT

The casing oscillator used for the foundation work in the construction place. Construction machinery which makes the casing rotate and roll can insert the casing in the ground. It is very important to make the casing perpendicular to sea level regardless of slope of ground. So in this paper, we present the new type casing oscillator that need not to level the ground for the work of casing insertion. The inverse kinematics analysis for the real-time control of casing oscillator is presented.

Key Words : Casing Oscillator(케이싱 오실레이터), Inverse Kinematics(역기구학), Real-Time Control(실시간 제어), Parallel Manipulator(병렬형 매니퓰레이터)

1. 서론

로봇의 응용은 여러 분야에서 수요가 급증하고 있는 실정이다. 건설 분야의 경우 인건비 상승, 만성적인 노동력 부족현상, 열악한 작업환경 등의 문제를 해결하기 위해 기존의 건설장비의 자동화가 본격적으로 추진되고 있으며 이로 인해 노동조건 개선과 생산성의 향상 등의 성과를 거두고 있다.^{[1],[2]}

기존의 연구는 주로 병렬형 매니퓰레이터에 관한 자유도 해석과 작업공간 해석을 통하여 접근하고 있다. 병렬형 매니퓰레이터는 구조적으로 가반 하중이 여러 개의 액추에이터들로 분산되어 첨단부의 운동이 여러 개의 액추에이터의 구속 관계조건을 만족해야 하므로 구동 오차가 한 방향으로 누적되지 않아서 첨단부의 위치 오차가 직렬 로봇에 비해 작고 강성이 매우 크므로 고부가 하중이 요구되는 작업에 효율적이며 안정성 측면에서 유리한 구조적 특징을 가진다.^{[3],[4]} 그러므로 고 강성, 고정밀도, 고 동력학적 효율을 필요로 하는 건설 분야에 응용이 가능하다. 건설현장에서 대구경 말뚝을 타설하는 장치인 케이싱 오실레이터는 이러한 병렬형 매니퓰레이터의 장점이 요구되는 대표적인 장비이다. 실질적으

로 케이싱 오실레이터에 관해서 해석되어 있는 결과가 보고된 것은 극히 드물다. 본 연구에서는 실험을 통하여 케이싱 오실레이터의 요잉(Yawing)운동시 발생하는 기울어짐 현상을 수정하여 기존의 케이싱 오실레이터가 균일하지 않는 상태로 인하여 케이싱의 수직 압입이 어렵고 원하는 각도로의 압입이 불가능한 단점을 해결하고자 한다. 그러기 위해 4자유도의 병렬형 매니퓰레이터 구조를 가지는 새로운 형태의 케이싱 오실레이터를 제시하고 역기구학 해석을 통해 나타나는 현상을 이해하고 이러한 현상을 실시간 각도 제어를 수행함으로써 작업 효율을 높이고자 한다.

2. 구조 및 역기구학 해석

2.1 구조

기존의 케이싱 오실레이터의 기울어짐을 해결하기 위해 Fig. 1과 같이 무빙 실린더(Moving Cylinder)와 밸런싱 실린더(Balancing Cylinder)가 분리되어 있어 독립적인 운동이 가능하며 두 개의 무빙 실린더(Moving Cylinder)의 끝부분이 밸런싱 실린더(Balancing Cylinder)에 연결되어 상판의 각도를 조절할 수 있도록 설계되었다. 또 한 보다 넓은 작업영역을 확보하기 위해 리프팅 실린더(Lifting Cylinder)와

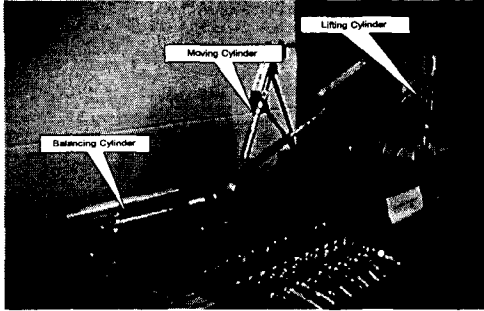


Fig. 1 New Type of Casing Oscillator

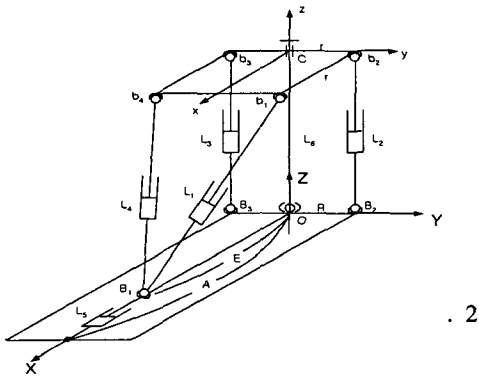


Fig. 2 Kinematic Model of Casing Oscillator

하판은 볼 조인트로 구속되어 있다. Fig. 2는 케이싱 오실레이터의 기하학적 형태이고 이것으로부터 자유도를 해석 할 수 있다.

$$F = \lambda(n - j - 1) + \sum_i f_i - f_p$$

$$= 6(12 - 5 - 1) + 30 - 2$$

$$= 4 \quad (1)$$

F는 기구의 자유도, λ 는 공간의 자유도, N은 하판을 포함한 링크들의 수, j는 관절들의 수, f_i 는 i번째 관절의 자유도, f_p 는 여유 자유도의 수이다. 그리고 상, 하판의 좌표계는 각각 {C}와 {O}, b_i 는 상판의 볼 조인트, B_i 는 하판의 볼 조인트, L_i 는 링크의 길이, r, R, A, E는 원점 좌표계에서 각각의 조인트까지의 거리와 하판의 길이 이다. 회전운동을 설명하기 위해 Fig. 3과 같이 롤(Roll), 피치(Pitch) 및 요(Yaw)각을 도입하였다. 이것을 통해 회전행렬(Rotation Matrix)를 구하면 다음과 같다.

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

$$= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ S\phi C\theta & S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi & S\phi S\theta C\psi - C\phi S\psi \\ -S\theta & C\theta S\psi & C\theta C\psi \end{bmatrix} \quad (2)$$

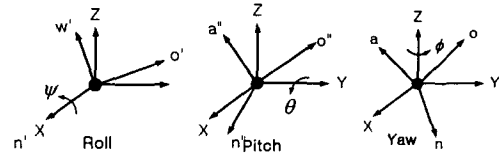


Fig. 3 Angle of Roll, Pitch, and Yaw

2.2 역기구학 해석

역기구학은 상판의 각을 알고 링크의 길이를 구하는 것이다. 본 연구에서의 역기구학은 좌표계{O}에 대한 좌표계{C}의 병진과 회전이 주어졌을 때 이것으로부터 각 링크의 길이를 구하는 것이다. 링크의 길이를 벡터 형식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L_1 = \overline{B_1 b_1} = \overline{OC} + \overline{Cb_1} - \overline{OB_1} \quad (3)$$

$$L_2 = \overline{B_2 b_2} = \overline{OC} + \overline{Cb_2} - \overline{OB_2} \quad (4)$$

$$L_3 = \overline{B_3 b_3} = \overline{OC} + \overline{Cb_3} - \overline{OB_3} \quad (5)$$

$$L_4 = \overline{B_4 b_4} = \overline{OC} + \overline{Cb_4} - \overline{OB_4} \quad (6)$$

$$L_5 = \overline{B_1 A} = \overline{OA} - \overline{B_1} \quad (7)$$

$$L_6 = \overline{OC} \quad (8)$$

(2)식에 (3)~(8)을 대입하여 양변에 놈(Norm)을 취하면 다음과 같다.

$$L_1^2 = [x_c + rC\phi C\theta + r(C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi) - E]^2 + [y_c + rS\phi C\theta + r(S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi)]^2 + [z_c - rS\theta + rC\theta S\psi]^2 \quad (9)$$

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

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

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

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

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

3. 수평제어 및 시뮬레이션

케이싱 오실레이터는 극도의 정밀성보다는 정밀도는 조금 낮더라도 실시간으로 자세를 제어하는 것이 더욱 중요하다. 본 연구에서는 세 개의 각 롤, 피치 및 요각을 측정하기 위해 자이로 센서를 사용하였고 밸브는 정밀도는 다소 떨어지나 작동유의 오염에 강한 온-오프(On-Off) 밸브를 사용하였다. 상판의

자세를 수평으로 유지하기 위해 역기구학을 이용하여 제어를 하였다. 케이싱 오실레이터는 지반 굴착 시 요잉운동을 통해 작업이 이루어진다. 즉, 말해서 롤이나 피치각은 0° 인 상태에서 작업을 해야지만 수직 압입이 가능한 것이다. 이러한 전체 제어 작업을 위해 작업 영역을 해석하면 Fig. 4와 같이 된다. Fig. 4에서 보듯이 하판 클램프 중심에서 상판 클램프까지의 거리가 480(mm)인 부분이 작업 공간이 가장 크게 나타남을 알 수 가 있다. 이것을 이용하여 식9~식14를 피치와 롤각은 0° 이고 요각만이 존재하는 오실레이팅(Oscillating)현상으로 해석 할 수 있다. ZC, E가 480(mm), 730(mm)일 때 요각을 $-25^\circ \sim +25^\circ$ 까지 변화시키면 그 결과는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8과 같다. Fig. 5, Fig. 6에서 알 수 있듯이 요잉 운동만을 하므로 실린더 1, 4가 170(mm)정도의 길이 변화를 보이고 서로 상반되는 움직임을 한다는 것을 쉽게 알 수 있다. 또한 Fig. 7과 Fig. 8에서 알 수 있듯이 실린더 2, 3은 약 7(mm)정도의 작은 길이 변화가 있고, 같은 움직임을 나타내는 것을 관찰 할 수 있다. 이것은 실린더 1, 4만이 일정한 각도의 범위 안에서 반복되는 요잉 동작을 할 것이라는 실험 전의 추정에 거의 부합하는 결과를 보여 주었다. 이러한 결과를 바탕으로 개루프 상태의 케이싱 오실레이터와 폐루프 상태의 케이싱 오실레이터의 실시간 제어에 관한 그림이 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에 나타나 있다. Fig. 9와 Fig. 10 에서보면 개루프 상태에서는 롤 각은 -1° 에서 $+1^\circ$, 피치 각은 -7.5° 에서 -5° 까지의 각 변화가 나타났다. 그러나 Fig. 11, Fig. 12에서 알 수 있듯이 폐루프 상태에서는 롤 각은 -0.4° 에서 $+0.4^\circ$ 까지의 움직임을 나타내고 피치 각의 경우에는 0° 근처의 미소 각으로 수렴하는 안정된 움직임을 보여 주면서 요구 성능에 충족하는 움직임을 보여준다.

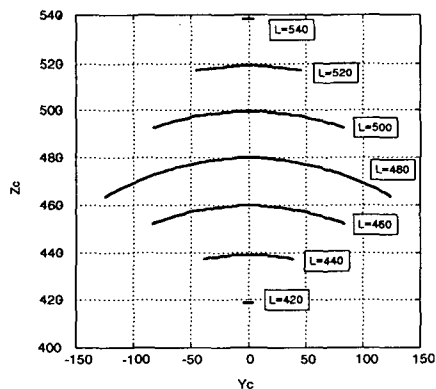


Fig. 4 Roll Motion for Change of Casing Oscillator's (L_6) Length

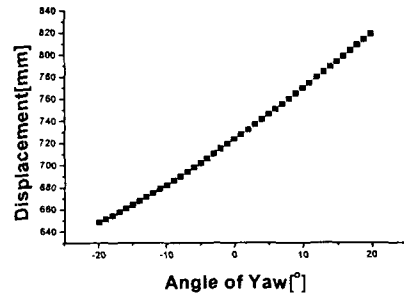


Fig. 5 Displacement of L1

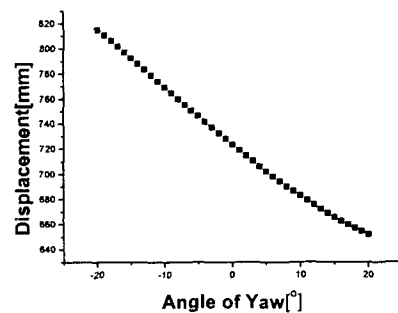


Fig. 6 Displacement of L4

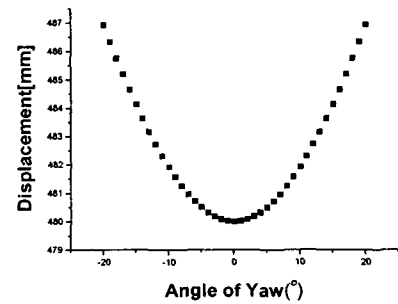


Fig. 7 Displacement of L2

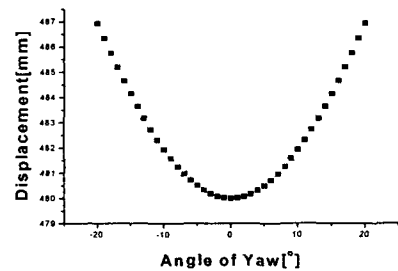


Fig. 8 Displacement of L3

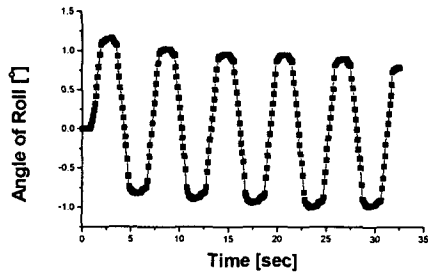


Fig. 9 Roll Angle of Open-Loop System

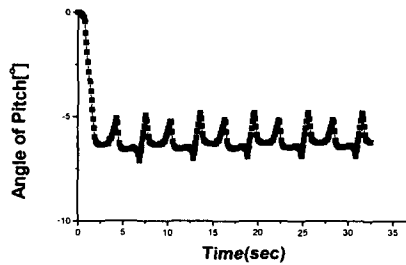


Fig. 10 Pitch Angle of Open-Loop System

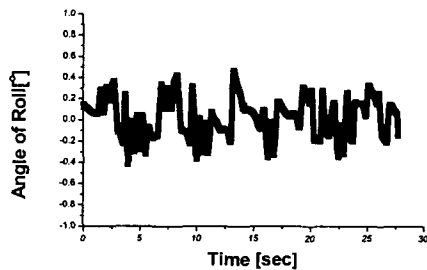


Fig. 11 Roll Angle of Closed-Loop System

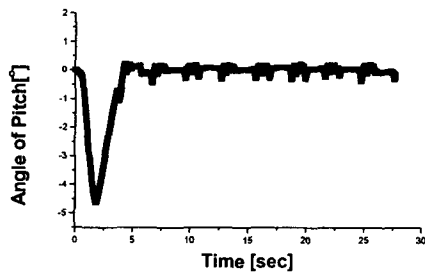


Fig. 12 Pitch Angle of Closed-Loop System

4. 결론

본 연구에서는 새로운 구조의 케이싱 오실레이터를 제시하였으며 역기구학 해석을 수행하였다. 역기구학 해석에 의한 케이싱 오실레이터의 자세를 측정하고 요(Yaw)각만을 가지는 제어 및 시뮬레이션을 통해 케이싱 오실레이터의 수직 굴착작업시 다른 장비나 방법을 통한 수직여부를 판단했던 번거로움을 해소할 수 있다. 또 한 지면 평탄화 작업이 생략될 수 있으며, 기존에는 어려운 작업이었던 경사삽입도 가능하게 되었다.

참고문헌

1. 이호길, "건설용서비스로봇-수직철공용접 로봇 개발." 한국정밀공학회지, 제 17권, 제 9호, pp. 32-37, 2000
2. 한석재, 박성환, 이진걸, "건설기계용 유압실린더 위치제어시스템의 성능개선에 관한 연구," Proc. of the 11 KACC, pp 1450-1459, 1996
3. 김경찬, 우춘규, 김수현, 박윤근, "페루프구조를 가지는 6자유도 머니플레이터의 개발 및 기구학적 해석", 한국정밀공학회지 제 15권 제 1호, 1998
4. 변용규, 조형석, "새로운 6자유도 병렬 매니플레이터의 기구학 해석", 대한기계학회 논문집 A, 제 20권, 제 2호, pp. 414-439, 1996
5. 송세경, 권동수, "정밀작업용 6자유도 병렬 머니플레이터의 기구학 해석", 대한기계학회논문집 A, 제 23권, 제 4호, pp. 630-641, 1999.