

PWM을 이용한 토네이도의 수평제어

김진호*, 배형섭 (부산대 대학원), 박명관(부산대 기계공학과)

A study for horizontal control of the Tornado using PWM method

J. H. Kim, H. S. Bae (Intelligent. Eng. Dept., PNU), M. K. Park (Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

Casing Oscillator is a construction machine that used to insert casings which is based on construction of a building or bridge into the ground. The purpose of using casing supports a pile or in case when heavy loads and moments happens. It is very important that the casings are retaining perpendicular to sea level regardless of the slope of the ground. So it requires that Casing Oscillator keep horizontality. But, it was useless a horizontal control without another heavy equipment. Tornado is a type of Casing Oscillator to advance. It controls horizontality with 4 cylinders. Those cylinders controlled by high-speed solenoid valves. This paper represents horizontal control of the Tornado using Kinematics. First, the horizontal control simulated by AMESim, which is simulation tool, then it compared with experimental results.

Key Words : Casing Oscillator (케이싱 오실레이터), Construction Machine (건설장비), Horizontal Control (수평 제어), PWM Control (펄스 폭 변조제어), High-Speed Solenoid Valves(고속 온오프 밸브), AMESim

1. 서론

건설현장에서 건축물을 위한 기초작업은 주로 H-Beam 등에 큰 힘을 이용하여 두들겨 땅 속에 삽입하거나 중장비를 동원하여 땅을 파낸 후 거푸집을 땅속에 설치하며 건축물의 기초를 마련하였다. 하지만, 이런 기초작업은 소음발생과 진동으로 인하여 주위의 건물에 충격이나 균열을 주기 때문에 문제가 된다. 이를 방지하고 더욱 견고한 기초를 구축하기 위하여 원하는 깊이까지 케이싱(Casing)을 삽입하고 그 내부의 흙을 제거한 후 케이싱 내부에 응력제(철근, H-Beam 등)를 삽입하고 콘크리트를 타설 후 케이싱을 다시 인발하는 방법이 제시되었다. 이러한 작업중에서 케이싱의 삽입과 인발시에 좌, 우로 회전,요동할 때 사용되는 것이 케이싱 오실레이터(Casing Oscillator)이다. Fig.1은 일반적인 케이싱 오실레이터의 모습이다. 케이싱은 건물기초, 도로건설, 철교, 철탑등의 기초작업과 큰 하중이나 모멘트가 많이 발생하는 경우 또는 파일(Pile)선단에의 지지를 목적으로 할 때 주로 사용된다. 케이싱은 지면에 압입할 때 지면의 기울기와는 관계없이 항상 해수면과 수직이 되게 하는 것이 중요하다. 그러나,

기존의 케이싱 오실레이터는 해수면에 수직인 방향으로 케이싱을 압입할 수 있는 장치가 부착되어 있지 않으므로 작업시 반드시 지면의 평탄화 작업이 선행되어야 하며, 또 작업도중 케이싱에 기울어짐이 발생하는 경우 기중기나 크레인 등의 다른 중장비의 도움을 받아야 하므로 수직보정이 어렵다는 단점을 가지고 있었다. 이런 단점을 보완하고자 케이싱 오실레이터와 그 구조가 유사한 매니플레이터를 응용하여 진보된 형태의 토네이도를 설계하고 그에 따른 기구학 해석을 한 후 시뮬레이션과 실험을 통해 수평제어에 대한 연구를해보려고 한다.

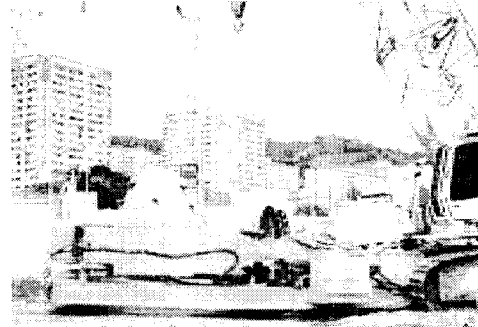


Fig.1 Shape of Casing Oscillator

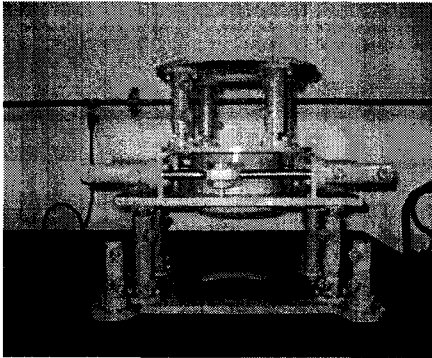


Fig. 2 Shape of Tornado

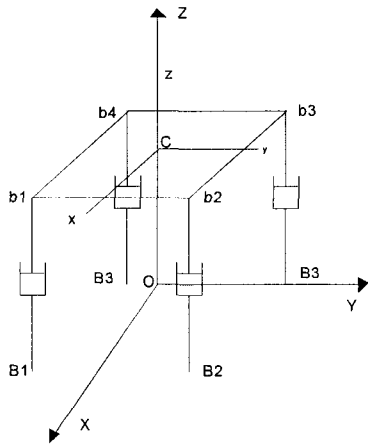


Fig. 3 Kinematic Model of the lifting part of Tornado

2. 구조 및 기구학적 해석

2.1 토네이도의 구조

토네이도는 기존의 케이싱 오실레이터를 모체로 하고 있기 때문에 기본적인 구조는 비슷하다. 크게 2 부분으로 나뉘서 상부를 케이싱을 압입하기 위한 회전을 담당하는 요잉부라고 할 수 있고, 하부를 수평 제어를 하기 위한 리프팅부라고 할 수 있다. Fig.2 는 토네이도의 형상을 나타낸 것이다. 연구의 목적인 수평 제어를 위해서는 상부인 요잉부는 고려하지 않고, 하부인 리프팅부만 고려할 것이다. Fig.3 은 토네이도 하부의 기하학적인 형상을 나타낸 것이다. 토네이도는 그 구조적인 형상 때문에 2 개의 실린더가 동시에 움직이지 않으면 시스템의 해석이 불가능하게 되므로 2 개의 실린더가 동시에 움직이는 구속조건이 더해진다. 이로 인해 토네이도는 운동범위가 순차적인 평면운동으로 구속이 된다. 이에 대한 자유도를 해석해보면

$$\begin{aligned}
 F &= \lambda(n-j-1) + \sum_i f_i \\
 &= \{3(5-5-1) + 5\} + \{3(4-4-1) + 4\} \\
 &= 3
 \end{aligned} \tag{1}$$

F 는 기구의 자유도, λ 는 평면의 자유도, n 은 하판을 포함한 링크들의 수, j 는 조인트들의 수, f_i 는 i 번째 관절의 자유도이다.

2.2 토네이도의 역기구학 해석

토네이도의 역기구학은 중심에 있는 케이싱의 길이를 알고, 각도를 알고 있을 때 각 실린더의 길이를 구하는 것이다. 다시 말하면, 고정 좌표계 {O}에 대한 이동 좌표계 {C}의 회전과 변위를 알고 있을 때 이것으로부터 각 링크의 길이를 구해 내는 것이다. 상, 하판 중심의 좌표계를 {C}, {O}, b_i 를 상판의 끝점, B_i 는 하판의 조인트라고 하고, r, R을 원점 좌표계에서 각각의 조인트까지의 거리라고 한다. 회전운동을 설명하기 위해서 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)각을 도입한다. 하지만, 토네이도는 구속조건에 의해 롤과 피치만 존재하는 형상이 된다. 이것을 통해 회전행렬을 구하면 다음과 같다. L_5 는 하판에서 상판까지의 케이싱 길이이다.

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

$$= \begin{bmatrix} C\theta & S\theta S\psi & S\theta C\psi & 0 \\ 0 & C\psi & -S\psi & 0 \\ -S\theta & C\theta C\psi & C\theta S\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

링크의 길이를 벡터 형식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L_1 = \overline{OC} + \overline{Cb_1} - \overline{OB_1} \tag{3}$$

$$= \overline{OC} + Rb_1 - \overline{OB_1} \tag{4}$$

$$L_2 = \overline{OC} + \overline{Cb_2} - \overline{OB_2} \tag{5}$$

$$= \overline{OC} + Rb_2 - \overline{OB_2} \tag{6}$$

$$L_3 = \overline{OC} + \overline{Cb_3} - \overline{OB_3} \tag{7}$$

$$= \overline{OC} + Rb_3 - \overline{OB_3} \tag{8}$$

$$L_4 = \overline{OC} + \overline{Cb_4} - \overline{OB_4} \tag{9}$$

$$= \overline{OC} + Rb_4 - \overline{OB_4} \tag{10}$$

$$L_5 = \overline{OC} \tag{7}$$

(3)~(7)까지의 식에 (2)의 식을 대입시킨후 놈(Norm)을 제곱하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 L_1^2 &= (x_c + RC\theta - rS\theta S\psi - R/\tan\theta)^2 \\
 &\quad + (y_c - rC\theta + r/\tan\psi)^2 \\
 &\quad + (z_c - RS\theta - rC\theta C\psi)^2
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 L_2^2 &= (x_c + RC\theta + rS\theta S\psi - R/\tan\theta)^2 \\
 &\quad + (y_c + rC\theta - r/\tan\psi)^2 \\
 &\quad + (z_c - RS\theta + rC\theta C\psi)^2
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 L_3^2 &= (x_c - RC\theta + rS\theta S\psi + R/\tan\theta)^2 \\
 &\quad + (y_c + rC\theta - r/\tan\psi)^2 \\
 &\quad + (z_c + RS\theta + rC\theta C\psi)^2
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$L_1^2 = (x_c - RC\theta - rS\theta S\psi + R/\tan\theta)^2 + (y_c - rC\theta + r/\tan\psi)^2 + (z_c + RS\theta - rC\theta C\psi)^2 \quad (11)$$

$$L_3^2 = x_c^2 + y_c^2 + z_c^2 \quad (12)$$

3 작업공간 해석

제어를 하기 위해서는 먼저 토네이도의 작업 공간에 대해서 알아야 한다. 그렇게 해야 적절한 작업공간 안에서 수평제어를 할 수 있기 때문이다. 그러므로 롤과 피치각을 이용하여 작업영역을 해석해야 한다. 그에 따른 결과가 Fig.4 이다. Fig.4 에서 보면 케이싱의 길이가 7.5 [cm] 일 때가 가장 넓은 작업반경을 나타내는 것을 볼 수 있다. 둘중 하나를 0°로 두고 작업반경을 살펴 보면 Fig.5, Fig.6 에 나타내었다. 이 결과를 보면 롤은 ±22°, 피치는 ±16°까지 가능한 것으로 보이나, 일반적인 운동은 이 두 가지 각을 연결하는 것이므로 두각을 합쳐 최대 25° 안에 있어야 한다. 그러므로 토네이도는 롤과 피치를 합쳐 25°라는 기울기를 가진 작업 영역 내에서 작업을 수행해야 한다. 그리고, Fig.7, Fig.8, Fig.9, Fig.10 은 L₅ 가 7.5(cm) 일때 0~20°까지의 롤과 피치를 동시에 변화시키며 각 실린더의 변화를 나타낸 것이다. 이때의 실린더의 길이는 롤 작업시에는 L₁, L₄ 이 한쌍을 이루어, 다른 쌍인 L₂, L₃ 과 서로 상반되는 움직임을 하는 것을 볼 수 있다. 그리고, 피치 작업시에는 L₁, L₂ 이 한쌍을 이루어 L₃, L₄ 과 반대되는 운동을 보여주는 것을 알 수 있다. 그리고, 이 두가지 운동이 동시에 행하여 질 때는 한가지 운동이 행하여진 후 다시 다른 운동이 수행되어야 한다. 그렇지 않고, 두 운동이 동시에 수행되면 구속조건이 2 개의

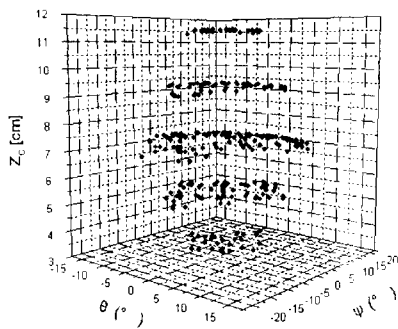


Fig.4 Workspace of the Tornado for change of Rolling and pitching motions

실린더가 동시에 움직여야 한다는 것에 위배되어 그 시스템의 해석이 불가능하게 된다

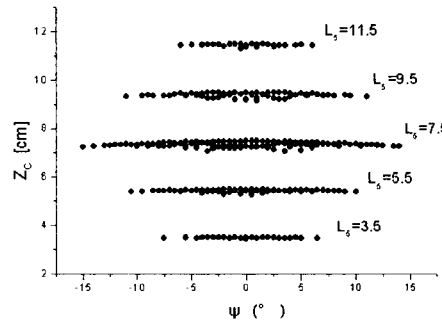


Fig.5 Rolling motion for change of Casing(Ls)

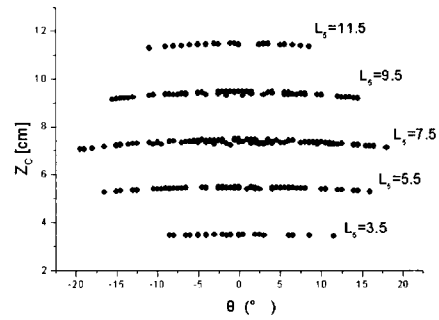


Fig.6 Pitching motion for change of Casing(Ls)

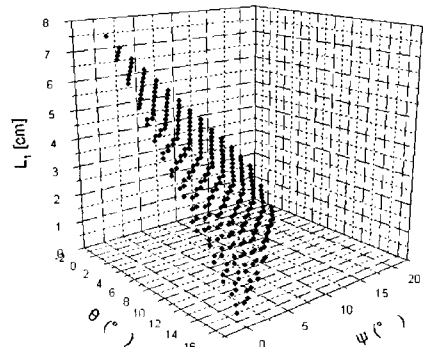


Fig.7 Displacement of L1

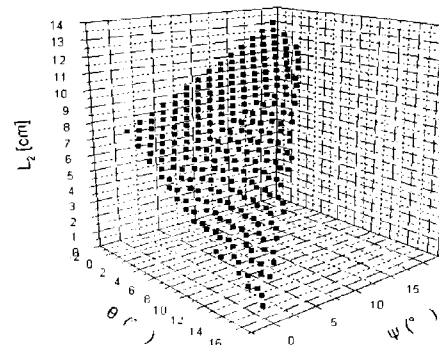


Fig.8 Displacement of L2

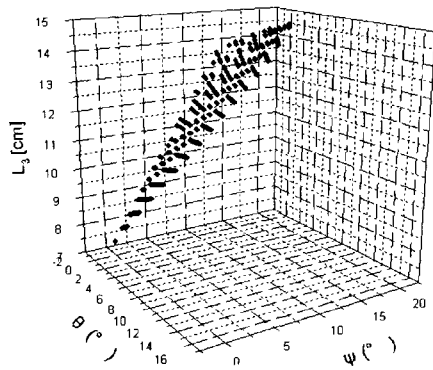


Fig.9 Displacement of L3

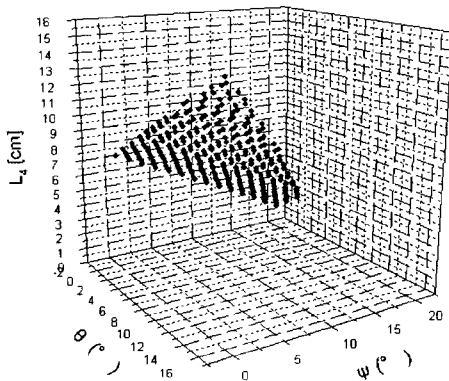


Fig.10 Displacement of L4

4. 결론

본 연구는 토네이도에 대한 자유도를 구하고, 역기구학적인 해석을 하여 작업공간에 대한 결론을 도출해 내었다. 또한 이를 통해 토네이도의 작업영역에 대한 시뮬레이션을 해 보았다. 건설용 기구인 토네이도는 작업 장소의 특성상 작동유의 오염이 강한 온-오프(On-Off)밸브를 사용하는 것이 최선의 선택이 될 것이다. 그러므로 토네이도의 수평제어를 위해서는 이런 온-오프밸브에 대한 제어를 해야 할 것이다. 온-오프밸브에 대한 제어중 가장 많이 연구되는 것이 PWM 제어이다. 만약 이 제어가 마무리가 된다면 케이싱 오실레이터의 단점이었던 지면 평탄화 작업의 생략과 수직보정을 가능하게 할 것이다.

참고문헌

1. 이은준, 배재만, 박명관, “케이싱 오실레이터의 기구학적 해석”, 한국정밀공학회지,

- 제 17 권, 제 12 호, pp 47-53, 2000
2. 배형섭, 백재호, 김병진, 이은준, 박명관, “역기구학을 이용한 케이싱 오실레이터의 실시간 제어” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp 442-445, 2002
3. 백재호, 박명관, “기구학적 전이를 이용한 케이싱오실레이터의 순기구학 해석” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp 580-583, 2002
4. 박성환, 이진걸, “고속전자밸브를 이용한 유압실린더의 PWM 제어에 대한 연구”, 한국정밀공학회 논문집, 제 12 권, 제 7 호, pp138-147, 7, 1995
5. 김정하, 엄영일, “로봇공학”, pp33-100, 사이텍미디어
6. Lung-wen Tsai, “Robot Analysis : the mechanics of serial and parallel manipulators”, Wiley
7. K.S.Fu, R.C.Gonzalez, C.S.G .Lee, “Robotics : control,sensing,vision,and intelligence”, McGraw-Hill
8. J.Watton, “Fluid power system”, Prentic Hall