

고소작업차 자동수평장치를 위한 회전식 유압실린더 개발

Development of a Rolling Type Hydraulic Cylinder for Automatic Level Controller in Aerial Lift

Lift

*김민호¹, #김계영²

*M. H. Kim¹, #T. Y. Kim(kimty@jbnu.ac.kr)²

¹ 전북대학교 고온플라즈마응용연구센터구축사업단, ² 전북대학교 기계시스템공학부

Key words : Aerial Lift, Hydraulic Cylinder, Automatic Level Controller

1. 서론

고소작업차는 높은 장소에서 주로 작업이 이루어지므로, 안전하고 편리하게 작업자나 작업물품을 탑승시킬 수 있도록 크레인 본체의 신축되는 끝부분에 탑승함을 설치하는 구조로 이루어진다. 신축방식에 따라 직진(붐(boom))방식, 굴절(시저어스(scissors))방식, X방식 등으로 구분된다. 붐방식의 고소작업장치에서는 다단(多段)으로 끼워져 결합된 각각의 붐이 유압제어에 따라 작동되는 실린더의 피스톤로드의 길이변화에 따라 인출되거나 수납되면서 그 높이와 굴절각이 조절되도록 구성되고, 최종 붐의 선단부에는 작업자가 탑승하거나 또는 화물이 탑재되는 탑승함이 설치된 구조로 이루어진다.

자동수평장치는 탑승함에 작업자나 작업물품을 탑승하여 작업시 안전을 위하여 탑승함이 항상 지면과 수평을 유지할 수 있도록 하는 장치로서 직진식 방식의 경우 붐의 각도를 조절하는 실린더의 유압 유입량에 비례하게 탑승함의 각도를 조절하는 유압실린더의 유압 유입 및 유출되도록 하므로써 수평을 유지한다. 굴절식 방식에서는 유압실린더가 여러개가 있어 유압의 유입량으로 붐의 각도를 조절할 수 없으므로 탑승함에 기울기 센서를 장착하여 센서로부터 측정된 기울기에 따라 탑승함의 기울기를 조절하는 실린더 유압 유입량으로 수평을 유지한다.

하지만 위와 같은 탑승함 자동수평유지장치의 두가지 방식 모두 기계적 오차가 있다. 유압 유입량 비례제어방식은 유압호스등의 팽창과 수축으로 유입량의 오차가 발생하고 각도 센서 방식은 탑승함의 기울기를 조절하는 실린더가 직진식으로 실린더 유입량과 탑승함의 조절 기울기 각도가 비례하지 않으므로 각도를 몇 개의 구간으로 나누어 이에 대한 실험값으로 제어하므로 오차가 발생하고 있다.



Fig. 1 An aerial lift car

이러한 오차로 작업자는 기울어진 탑승함에서 불안한 자세로 작업을 해야 하고, 이는 비교적 활동량이 많은 작업자의 안전을 위협하게 된다. 따라서 작업의 효율이 떨어질 뿐만 아니라, 작업을 하다가 작업자가 추락하는 사고를 초래할 수도 있다.

보다 정밀한 자동수평유지장치를 위해서는 각도센서방식을 이용하여 각도에 따라 유압을 비례제어를 할 수 있는 방식의 실린더가 필수적이다. 이를 위해 직진식 실린더가 아닌 회전식 실린더를 이용한다면 이러한 문제점을 해결 할 수 있으며 자동수

평유지장치의 구조를 단순화 할 수 있는 이점도 얻을 수 있다.

2. 설계

자동수평유지장치를 위한 회전식 실린더를 설계하기 위한 설계 조건으로 회전각도 범위는 0 ~ 300. 이상, 안전 사용 하중 400kgf 이상, 최대 회전 토크 700kgfm 이상 이다.

본 연구에서는 유압의 직선 운동을 회전운동으로 변환 할 수 있는 메카니즘으로 Fig. 2와 같은 헬리컬 구조를 채택하였고 헬리컬 각을 크게하여 회전마찰을 줄이면서 큰 회전각을 얻기 위해 이중 헬리컬 구조를 적용하였다.

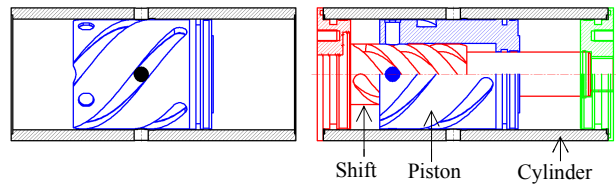


Fig. 2 Rolling type hydraulic cylinder

회전식 실린더의 피스톤은 실린더통의 가이드핀에 피스톤의 외주측 나선홈이 끼워지고 피스톤의 내측 가이드 핀에 회전축의 외주측 나선홈이 끼워지고 회전축의 왼쪽 끝단에 있는 나선산에 의해 실린더통 덮개와 조여져 조립된다. 실린더통은 고정되어 있으며 유압은 피스톤의 좌우로 유입 및 유출되며 이에 따라 피스톤이 실린더통의 가이드 핀을 따라 좌우로 이동하게 된다. 피스톤이 유압에 의해 좌우로 움직일 때 피스톤의 나선홈이 실린더통의 가이드핀에 끼워져 있으므로 피스톤은 회전하면서 움직이게 되고 다시 피스톤의 가이드핀은 회전축의 나선홈을 따라 움직이면서 회전축을 회전시킨다. 이때 전체 회전량은 실린더통에 대한 피스톤의 회전량에 피스톤에 대한 회전축의 회전량이 더해진 양이 된다.

유입되는 유압에 대해 실린더의 토크를 알아 보기 위해 실린더의 메카니즘을 Fig. 3과 같이 도식화 하였다.

Fig. 3에서 삼각형ABC는 실린더이고, 삼각형DEF는 회전축이다. 실린더에 유입된 유압에 의해 발생하는 힘 F_1 으로 피스톤이 움직인다.

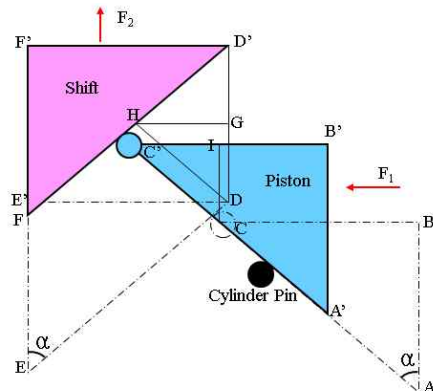


Fig. 3 Mechanism of piston and shift

힘 F_1 에 의해 발생하는 힘 F_2 를 구하기 위해 일량 공식을 사용한다. 삼각형ABC가 CI 만큼 이동하면 삼각형DEF는 DD' 만큼 이동하게 된다. 따라서

$$F_1 \times \overline{CI} = F_2 \times \overline{DD} \quad (1)$$

여기서 삼각형 DGH는 삼각형CCI와 합동이므로
 $\overline{DD} = 2\overline{CI}$ (2)

식(1)에 식(2)를 대입하면

$$F_1 \overline{CI} = 2F_2 \overline{CI} \quad (3)$$

따라서

$$F_2 = \frac{1}{2} \frac{\overline{CI}}{\overline{CI}} F_1 = \frac{1}{2} \tan\alpha F_1 \quad (3)$$

유압에 의해서 발생하는 힘 F_1 은

$$F_1 = p(A_1 - A_2) = p \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) \quad (4)$$

식(4)를 식(3)에 대입하면

$$F_2 = \frac{1}{2} \tan\alpha F_1 = \frac{\pi}{8} p (d_1^2 - d_2^2) \tan\alpha \quad (5)$$

따라서 전달 토크는 식(6)과 같다.

$$T = F_2 \frac{d_3'}{2} \quad (6)$$

(여기서 d_3' : d_3 에서 토크를 전달하는 가이드 핀이 접촉되는 유효지름)

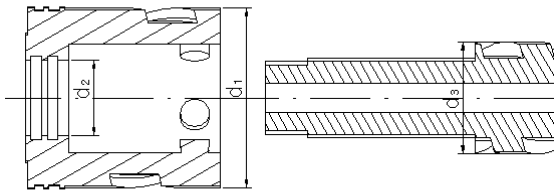


Fig. 4 Diameter of piston and shaft

본 연구의 자동수평장치 개발에서 회전식 실린더의 토크 용량은 탐승함과 탐승함 바디 및 실제 탐승자의 중량을 고려하여 최대 400kgf의 용량이 요구되나 안전을 등을 고려하여 최대 900kgfm의 토크가 출력되도록 설계기준을 세웠다.

입력유압 최대 200bar에서 900kgfm 토크 출력과 최대 330° 회전 가능한 실린더 설계를 위해 피스톤 외경 및 내경, 회전축의 외경을 다음과 같이 정하여 토크와 최대 회전각도를 구해 보았다.

$d_1 = 200\text{mm}$, $d_2 = 80\text{mm}$, $d_3 = 110\text{mm}$ 일 경우 식(5)에 의해

$$F_2 \approx 21,013\text{kgf}$$

또한 식(6)에 의해 접촉 유효지름이 100mm일 때 전달 토크는

$$T = F_2 \frac{d_3'}{2} \approx 1,050\text{kgf} \cdot \text{m}$$

이때 나선각을 38°, 피스톤의 이송거리를 160mm로 하여 최대회전각도를 구하면 331°이다.

3. 제작 및 성능평가

설계에 따라 제작된 시제품은 Fig. 5와 같으며 유압에 대해 출력 토크를 실험한 결과는 Fig. 6과 같다.



Fig. 5 Prototype of rolling type hydraulic cylinder

토크 시험 결과를 보면 유압에 대해 토크는 비례함을 알 수 있고 최대 압력 200bar에서 1,031kgfm이 출력 되어 설계 계산값 거의 일치함을 알 수 있다.

Fig. 6은 실린더에 주입된 유량에 대해 회전각도를 측정하는 시험 결과이다. 유량 체적에 대해 회전각도가 비례함을 볼 수 있어 회전각도의 비례제어가 가능함을 알 수 있다. 또한 설계

계산값과 거의 일치하나 측정값이 설계값보다 작게 나오는 것은 핀과 같은 접촉 부품들 사이의 유격에 의한 것으로 보인다.

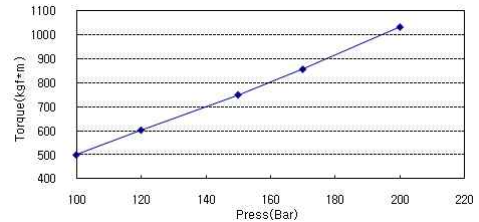


Fig. 6 Torque according to press

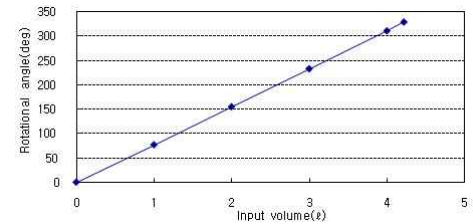


Fig. 7 Rotational angle according to input volume

Fig. 8은 개발된 회전식유압실린더 시제품을 고소작업차에 적용한 모습이다.



Fig. 8 Application of rolling type hydraulic cylinder

4. 결론

본 연구를 통하여 331°회전 능력과 1,000kgfm 토크를 출력할 수 있는 회전식 실린더를 설계 및 제작하였으며 이를 이용한 고소작업차의 자동수평유지장치를 개발 완료하였다. 개발된 회전식실린더를 고소작업차의 자동수평유지장치에 적용할 결과 부품의 기울어진 각도에 대해 탐승함의 수평을 유지하기 위해 유량을 통한 비례제어가 가능하였다. 따라서 기존 방식에 비해 더 정확한 수평제어가 가능하고 고소작업차의 제품별로 수평제어를 위한 유량 데이터를 얻기 위한 실험이 필요 없어 제품 개발 기간을 단축할 수 있는 이점이 있다.

참고문헌

1. 최부희, 최상훈, "동회전 2축 스크류 압출기의 스크류 설계 파라미터에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 20, 217-226, 2003.
2. 서현석, 김동수, 유찬수, "셀리스 실린더 특성 해석에 관한 연구", 한국정밀공학회 2003년도 춘계학술대회논문집, 824-827, 2003.
3. 이용범, 고재명, 김태석, "유압 굴삭기용 위치제어 실린더개발", 대한기계학회 2007년도 춘계학술대회논문집, 67- 72, 2007.
4. 윤준영, 황용근, 박주삼, 고태조, 박정환, "압출 스크류 설계를 위한 CAD 시스템 개발", 한국정밀공학회지, 19, 100-107, 1002.