

굴삭기 거동에 따른 유압 실린더의 쿠션 특성 연구

Study of the Cushion Characteristics in accordance with Hydraulic excavator's Behavior

최종섭 · 김정훈 · 주봉환

J. S. Choi, J. H. Kim, B. H. Ju

Key Words: Excavator(굴삭기), Hydraulic Cylinder(유압 실린더), Cushion(쿠션), Dynamics Analysis(동역학 해석)

Abstract: Hydraulic cylinder is one of many part on the hydraulic excavator working. Cushion has the important function of protecting cylinder against the shock when the piston comes at end position. Also, the cushion of cylinder has a great effect on the operator's comfortable.

In this study, we have done a comparative analysis through computer simulation and experimental value on pressure that occurs on a cylinder moving excavator.

1. 서론

기호 설명

- M_R : 로드의 질량
- V_2 : 로드의 속도
- V_1 : 이전 단계에서의 로드 속도
- F_1 : 유압에 의한 로드의 추진력
- F_2 : 작용단면적의 유동력
- F_3 : 마찰력
- D_1 : 이전 단계에서 움직인 거리
- D_2 : 초기 거리에서 현재 로드가 움직인 거리
- t : time step
- F_a : 암 실린더에 작용하는 총 힘
- F_b : 붐 실린더에 작용하는 총 힘
- F_c : 버킷 실린더에 작용하는 총 힘
- F_{aa} : 암의 무게에 의해 실린더에 작용하는 힘
- F_{ab} : 붐의 무게에 의해 실린더에 작용하는 힘
- F_{ac} : 버킷 무게에 의해 실린더에 작용하는 힘

일반적으로 굴삭기, 휠로더, 도저 등의 건설 중장비는 암(arm), 붐(boom) 및 버킷(bucket) 등의 유압 실린더를 이용하여 작업을 수행한다. 이러한 건설 장비의 작업들은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 유압 실린더의 로드가 선형왕복운동을 함으로써 이루어진다. 현재 굴삭기용 실린더는 정격압력 35~210 kgf/cm², 실린더안지름 31.5 mm ~ 250 mm의 강관 실린더형이 표준화되어 있으나, 최근 대형 건설기계 및 산업기계용 유압기기의 고압·고속화 경향에 따라 상용압력은 350 kgf/cm² 이상, 조작속도는 70 m/min 이상이 요구되고 있다. 이러한 요구조건에 따라, 고속·고압으로 실린더가 선형왕복운동시 행정이 종료되는 양 끝단에서 발생하는 충격은 실린더 수명에 큰 영향을 미친다. 그 뿐 아니라, 이러한 충격에 의해 발생하는 압력은 유압 장치의 유압 기기, 배관, 이음등에 악영향을 미치기도 한다. 그래서 이와 같은 충격을 흡수하기 위하여 행정 종료점에서 피스톤과

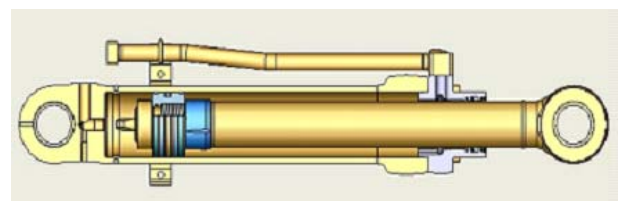


Fig 1. Hydraulic cylinder

접수일: 2010년 6월 1일
 최종섭(발표자): 동양기전(주) 연구소
 E-mail: choijs@dy.co.kr, Tel: 055-278-0949
 김정훈, 주봉환: 동양기전(주) 연구소

피스톤 로드를 포함한 운동체의 관성력을 흡수하여 가속도를 완화할 목적으로 실린더에 완충기구를 설치하게 된다.

실린더 완충 기구의 원리는 실린더 운동체가 양 끝단에 도달하기 전 유로를 축소하여 순간적으로 높은 압력을 유발시켜 운동체의 운동에너지를 유체에너지로 변환하고, 오리피스를 통하여 열에너지로 변환함으로써 가속도를 감소시켜 충격을 완화 하게 된다. 유로를 축소시키는 방법으로는 주로 쿠션링을 사용하게 되는데 이러한 쿠션링은 테이퍼의 가공, 다중 오리피스, 다단 쿠션 슬리브 등의 여러 형태로 제작되어 상용화되고 있다. ^{1)~3)}

이러한 실린더 완충 기구의 정확한 특성을 분석하기 위해서는 실제 차량에 제품을 장착 한 후 구동 시험을 통하여 데이터를 분석하는 것이 가장 좋지만 일정 및 비용, 장소 등의 한계로 사용자가 원하는 정확한 데이터를 찾아내는 것이 쉽지가 않다..

본 연구에서는 이러한 제약조건이 따르는 실차 시험 대신 상용 S/W인 AMESim을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실차 시험과 해석 결과를 비교 분석하였다.

2. 완충장치

본 연구에서 사용한 실린더의 완충장치는 Fig 2에서 보는 바와 같이 로드와 삽입되어 있는 쿠션링이 실린더 끝단의 로드커버에 근접하여 유압 출구를 감소시킴으로써 피스톤과 로드커버 사이의 압력을 증가시켜 피스톤의 속도를 감소시킨다.

이와 같은 완충장치는 아래의 운동방정식 (1)을 만족한다. ⁴⁾

$$M_R \times \frac{d}{dt}(V_2) = F_1 - F_2 - F_3 \tag{1}$$

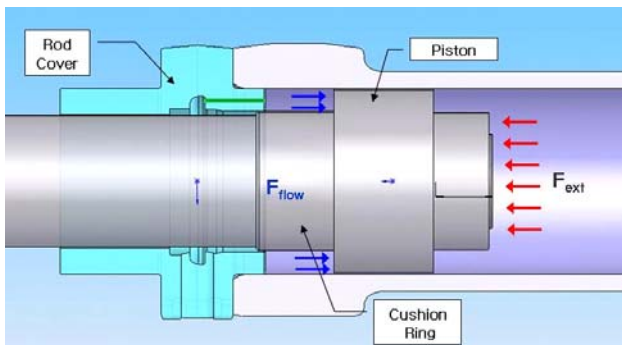


Fig 2. Cushion system

위의 식에서 알 수 있듯이 실린더의 이동 거리는 피스톤에 작용하는 유압력과 피스톤 압축에 따른 반발력 및 마찰력에 의해서 결정이 된다.

따라서, 위의 운동방정식에 의하여 로드의 이동 거리는 아래의 식(2)와 같다.

$$D_2 = D_1 + t \times V_2 + t^2 \frac{F_1 - F_2 - F_3}{M_R} \tag{2}$$

3. 실차시험

실린더 쿠션 성능에 영향을 미치는 외부인자는 여러 가지가 있지만 그 중 가장 지대한 영향을 미치는 것은 굴삭기 거동에 따른 관성력이다. 굴삭기 관성력은 굴삭기의 출력이 일정하다고 가정하면 굴삭기의 주요 부품인 암, 붐, 버킷의 무게와 위치에 의해 좌우된다.

3.1 암 쿠션

암 실린더에 작용하는 힘(f_a)은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 암과 버킷 무게에 좌우된다.

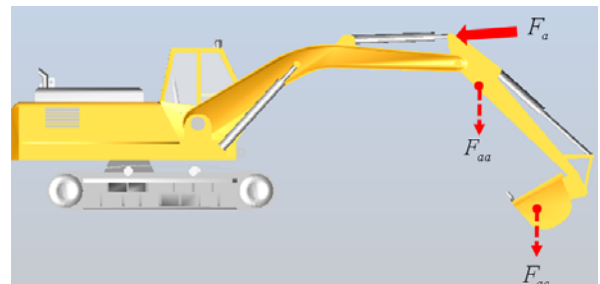


Fig 3. Force of arm cylinder

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F_a = F_{aa} + F_{ac} \tag{3}$$

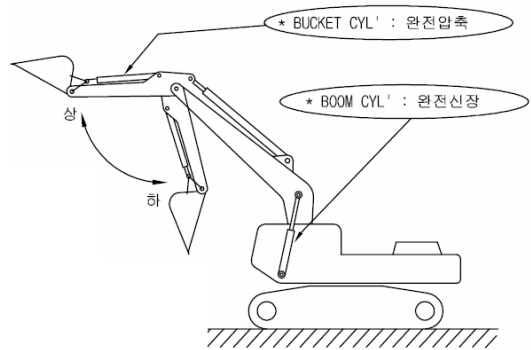


Fig 4. Cushion test condition of arm cylinder

Fig.4는 실차에서 암 쿠션 시험 조건을 나타내고 있다. 테스트 순서는 먼저, 붐 실린더를 완전신장시킨다. 그리고 난 후 버킷 실린더를 완전압축 시켜서 암 실린더를 장비의 최대유량으로 상하 작동하여 쿠션 압력을 측정한다.

3.2 붐 쿠션

붐 실린더에 작용하는 힘(f_b)는 Fig 5에서 보는 것과 같이 암, 붐 그리고 버킷의 무게에 좌우된다.

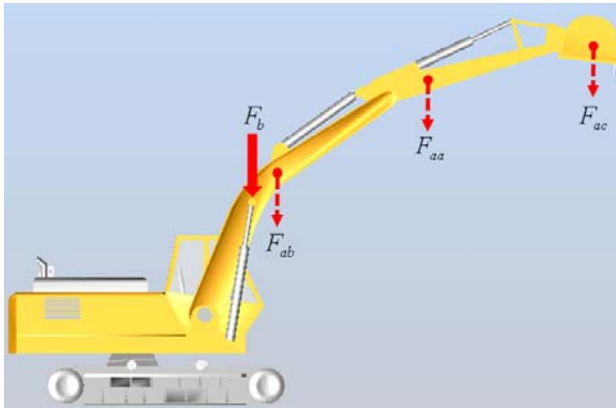


Fig 5. Force of boom cylinder

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F_a = F_{aa} + F_{ab} + F_{ac} \tag{4}$$

Fig. 6은 실차에서 붐 쿠션 시험 조건을 나타내고 있다. 테스트 순서는 먼저 암 실린더를 완전압축 시킨 후 버킷 실린더를 또한 완전압축 시킨다. 그리고 난 후 붐 실린더를 장비의 최대유량으로 신장하여 쿠션 압력을 측정한다.

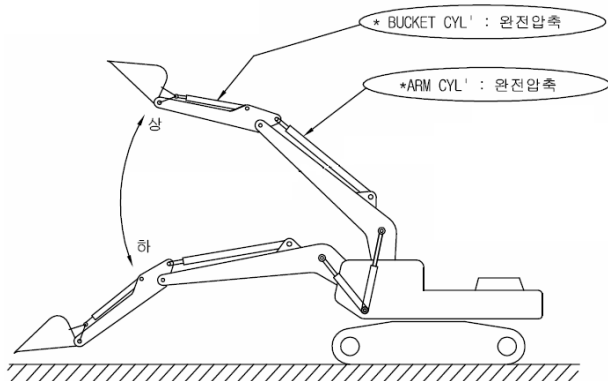


Fig 6. Cushion test condition of boom cylinder

3.3 버킷 쿠션

버킷 실린더에 작용하는 힘(f_c)은 Fig. 7에서 보는 것과 같이 버킷 무게에 좌우된다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F_c = F_{ac} \tag{5}$$

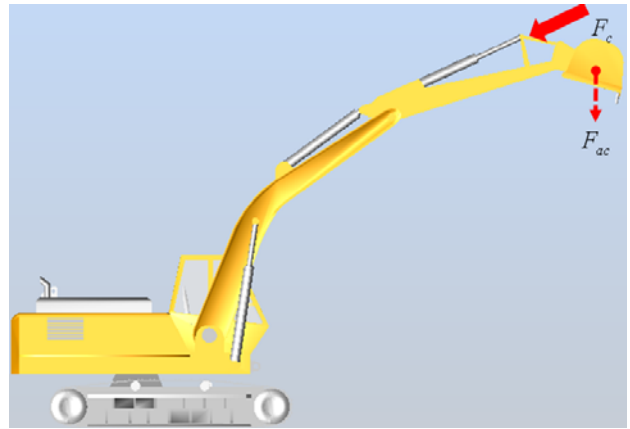


Fig 7. Force of bucket cylinder

Fig. 8은 실차에서 버킷 쿠션 시험 조건을 나타내고 있다. 테스트 순서는 먼저 암 실린더를 완전압축 시킨 후 붐 실린더를 완전신장 시킨다. 그리고 난 후 버킷 실린더를 장비의 최대유량으로 신장하여 쿠션 압력을 측정한다.

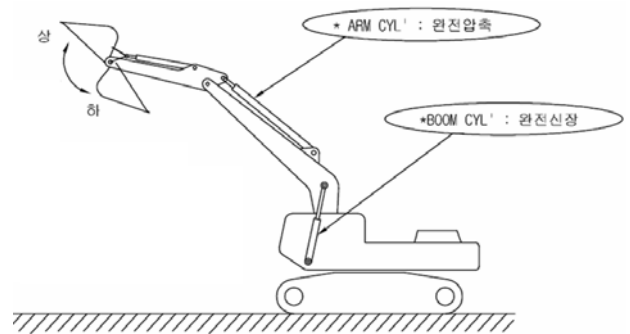


Fig 8. Cushion test condition of bucket cylinder

4. 컴퓨터 시뮬레이션

유압 굴삭기는 상부체, 하부체 및 작업장치로 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 붐, 암, 버킷으로 이루어지는 상부체 작업장치만 고려하였다. 그리고 본 연구에서는 굴삭기의 거동에 따라 쿠션 성능을 분석하는 것이 주목적이기 때문에 굴삭기 거동에 크게 영향을 미치지 않는 밸브나 펌프, 모터 등은 간략화 하여 해석을 수행하였다.

Fig. 9에서는 쿠션 특성 분석을 위한 AMESim 모델을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 해석 모델은 동역학 모델과 유압회로 모델 두 가지로 분류가 되어 있다. 우측 유압회로 모델에서 펌프에 의

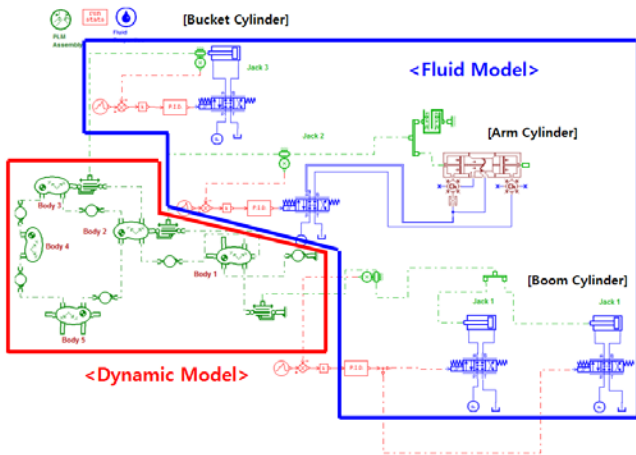


Fig. 9 AMESim model of attachment

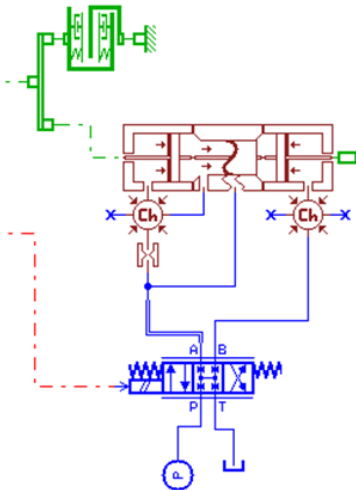


Fig. 10 AMESim model of cushion cylinder

해 작동유가 밸브를 통하여 실린더에 공급이 되게 되면 좌측 하단의 동역학 모델의 액추에이터 컴포넌트에 유압회로의 실린더에서 출력되는 힘이 전달되어 굴삭기의 주요 구동부를 움직이게 된다.

Fig. 10 은 실린더에 쿠션 기능을 삽입하기 위하여 AMESim의 Hydraulic Component Design 요소를 사용하여 모델링을 수행하였다. 해석 시간 및 외적 요소의 간섭을 최소화하기 위하여 Fig 9에서 보는 것과 같이 붐과 버킷 실린더의 경우 쿠션이 없는 단순 복동실린더로 구성하여 해석을 수행하였다. 붐과 버킷의 경우도 압의 경우와 동일하게 해당 실린더에만 쿠션 실린더를 모델링하고 나머지 실린더는 단순 실린더로 해석을 수행하였다.

각 해석 조건은 실차 시험과 동일하게 구성하여 해석을 수행하였다.

아래의 Fig. 11 ~ Fig. 13 은 각 실린더에서의 쿠션압력을 해석값과 시험값을 비교한 그래프이다.

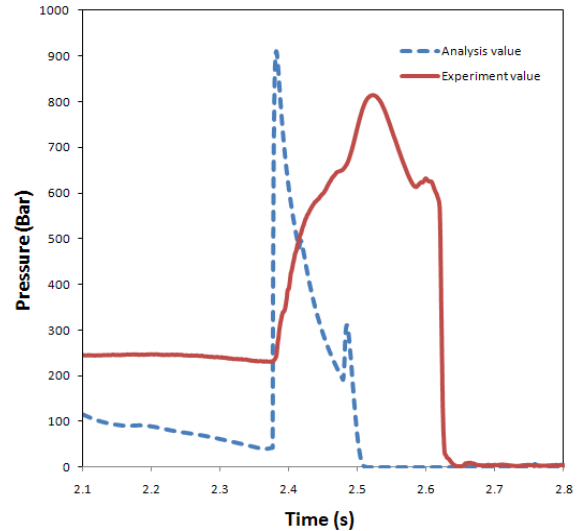


Fig. 11 Analysis result vs. experiment value of arm cylinder

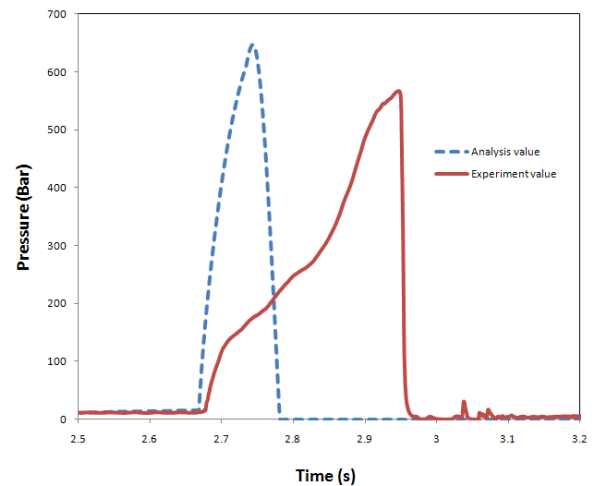


Fig. 12 Analysis result vs. experiment value of boom cylinder

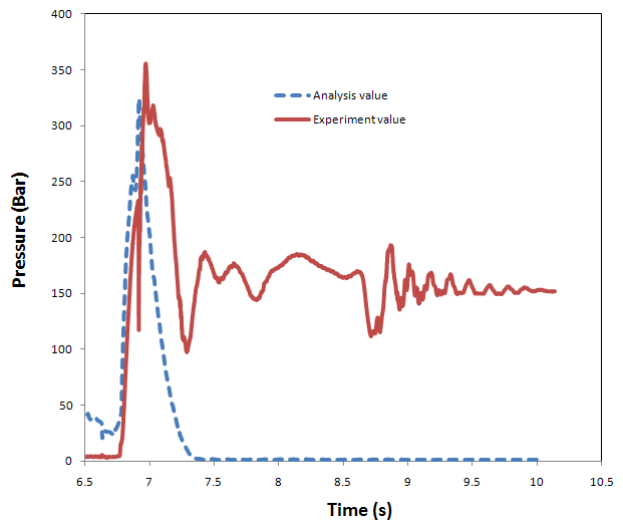


Fig. 13 Analysis result vs. experiment value of bucket cylinder

해석 결과 전반적으로 시험결과에 비해 쿠션 유지 시간이 짧게 나타난다. 그리고 시험값의 경우 쿠션 압력 상승시 곡선의 형태를 띄면서 증가하지만 해석값의 경우 거의 수직으로 압력이 상승한다. 그 원인은 해석값의 경우 오리피스 변화에 따라 압력값이 바로 출력이 되지만 시험값의 경우 압력 상승시 압력 센스에서 읽어들이는 오차가 발생하기 때문에 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 굴삭기 승차감 및 실린더 수명에 중요한 영향을 미치는 쿠션 특성을 미리 예측하여 개발시간 및 비용을 단축시키기 위하여 실제 차량의 시험데이터와 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 비교 분석 결과 시험 결과는 쿠션 압력이 부드러운 곡선의 형태를 띄면서 후반부에 피크 압력이 발생하지만 컴퓨터 시뮬레이션에서는 피크 값이 초기 쿠션링 진입시 발생한다. 그리고 쿠션 유지 시간도 시험값에 비하여 시뮬레이션 결과가 더 짧게 나타난다.

후기

이 연구는 2003년도 한국대학교 학술진흥재단의 연구비(과제번호 : EM-031012) 일부지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참고 문헌

- 1) H. A. Martin and D. McCloy, "Pressure Transients Generated during the Rapid Braking of Asymmetric Actuators", JSME. Vol. 21, No.2, pp. 93~103, 1979
- 2) K. Takahashi nad Y. Takahashi, "Dynamic Characteristics of a Spool valve-controlled servomotor with a Non-symmetrical Cylinder", Bulletin of JSME, Vol. 23, No, 181, pp. 1155~1162, 1980
- 3) D.S. Kim, J. B. Park and W. H. Lee, "The Characteristic Analysis of Cushioning Pneumatic Cylinder", KSME. Spring Annual Conference, pp. 1950~1956, 2002
- 4) "ANSYS CFX User's Manual", ANSYS Inc, 2008