

# 농업용 트랙터의 프론트 로더 충격 저감을 위한 유압 회로의 설계 개선 Improved Design of Hydraulic Circuit of Front-end Loader for Bump Shock Reduction of an Agricultural Tractor

조봉진<sup>1</sup> · 안성욱<sup>1</sup> · 이창주<sup>1</sup> · 윤영환<sup>2</sup> · 이수성<sup>3</sup> · 김학진<sup>1,4\*</sup>

Bong Jin Cho, Seong Wook Ahn, Chang Joo Lee, Young Hwan Yoon,  
Soo Seong Lee and Hak Jin Kim

Received: 31 Mar. 2016, Accepted: 12 Apr. 2016

**Key Words** : Accumulator(어큐플레이터), Shock reduction(충격 저감), Flow control valve(유량제어밸브), Front-end loader(프론트 로더), Boom suspension(붐 서스펜션)

**Abstract**: A front-end loader (FEL) mounted on an agricultural tractor is one of the most commonly used implements to mechanize routine agricultural tasks. When the FEL is used with a loaded bucket, careful operation is required to maintain safety and avoid spillage when the tractor passes a bump because a change in the gravity center of the tractor due to varied loadings can affect the stability of the tractor. Use of a boom suspension system consisting of accumulators and orifice dampers can be instrumental in reducing pitching vibrations while increasing the handling performance of the FEL-mounted tractor. The objective of this research was to reduce bump shocks by adding an orifice and a flow control valve to the original hydraulic circuit composed solely of accumulators. A simulation study was performed using the SimulationX program to investigate the effects of an accumulator and an orifice-throttle damper on bump shocks. Results showed that the peak pressure on a boom cylinder and the vertical acceleration of a bucket were significantly affected by use of both an accumulator and an orifice damper. In a field test conducted with a 75-kW tractor, the peak pressure of the boom cylinder, and the root mean square (RMS) vertical acceleration of the bucket and seat were reduced by on average, 23.0, 42.2, and 44.9% respectively, as compared to those measured with the original accumulator system, showing that an improved design for the accumulator hydraulic circuit can reduce bump shocks. Further studies are needed to design a tractor suspension system that includes the effects of cabin suspension and tires as well as dynamic analysis.

## 기호 설명

RMS : Root Mean Square

SV : Solenoid Valve

ORF : Orifice

FCV : Flow Control Valve

CV : Check Valve

\* Corresponding author: kimhj69@snu.ac.kr

1 Department of Biosystems Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

2 J&F Solution Co.,Ltd. Seocho gu, Seoul, Korea

3 Taesung Co., Yangju-si, Korea

4 Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Copyright © 2016, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

농작업에 사용되는 트랙터는 불규칙한 노면조건에서 대부분 사용되며, 또한 로더, 쟁기, 파종기 등의 다양한 농작업 부속기를 장착하면서 주행과 작업이 이루어지기 때문에 운전자는 외부 충격과 진동에 쉽게 노출된다. 이를 위해 농용트랙터는 자동차와 같이 스프링, 댐퍼로 구성된 현가장치(서스펜션, suspension)

를 좌석, 캐빈(cabin), 차축에 적용하여 농작업의 안전성과 작업자의 운전 용이성을 확보하고 있다. 최근에는 외부 충격을 감지하여 댐퍼와 기구부 등의 변위를 자동으로 변경하는 반능동형, 능동 서스펜션 시스템을 적용하는 기술이 보급되고 있다. Fig. 1에서와 같이 수동형 서스펜션은 고정된 스프링, 댐퍼를 사용하는 시스템이고, 반능동형의 경우에는 피드백 제어를 통해 외부의 조건에 따라 댐퍼의 특성값에 변화를 주는 시스템이다. 능동형 서스펜션의 경우에는 피드백 제어가 가능한 액추에이터를 사용한 시스템이다.<sup>1)</sup>

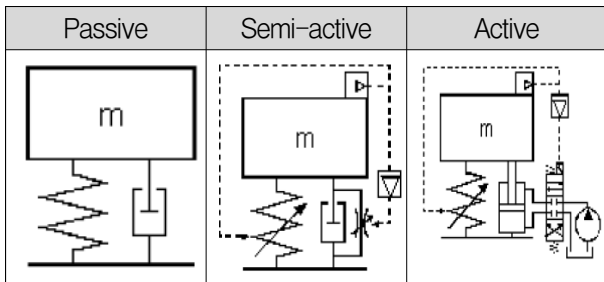


Fig. 1 Comparison between suspension systems (passive, semi-active, and active)

트랙터에서는 앞뒤에 장착되는 작업기에 의해서도 진동이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 서스펜션이 필요하다. 특히, 프론트 로더(Fig. 2)가 트랙터 전방에 장착되고 로더에 적재물이 실리게 되면, 트랙터의 무게중심이 기존보다 앞쪽으로 이동하게 되며 피치(pitch) 진동이 증가하게 된다. 또한, 프론트로더에 적재물을 담고 요철을 지나갈 때는 피치 진동에 의한 트랙터의 안정성이 문제가 되며 이를 막기 위해 붐(boom) 서스펜션(Fig. 3)의 장착이 필요하다.<sup>2)</sup> 국외 프론트 로더의 경우에는 어큐뮬레이터와 그에 연결된 붐 서스펜션의 유압 회로를 통해 충격을 감소시키고 있는 반면 국내의 경우, 프론트 로더에 다른 유압요소들 없이 단독으로 어큐뮬레이터만 장착되고 있다. 이로 인해 작업과 주행 구분 없이 어큐뮬레이터가 항상 연결 상태가 되고, 실린더의 로드부가 막힌 상태가 유지 되게 된다. 이와 관련하여 Ahn 등(2014)은 현재 국내에서 사용되고 있는 프론트 로더가 주행 시 받는 충격에 대한 실험을 실시하였다. 그 결과에 따르면, 어큐뮬레이터를 단독으로 장착 시, 압력은 줄었으나 붐 실린더와 시트의 가속도는 오히려 증가하는 것으로 나타났다.<sup>3)</sup>

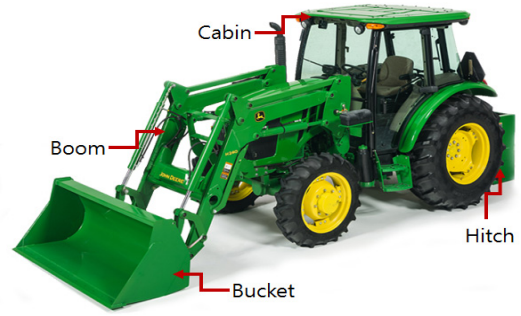


Fig. 2 An agricultural tractor equipped with a front-end loader

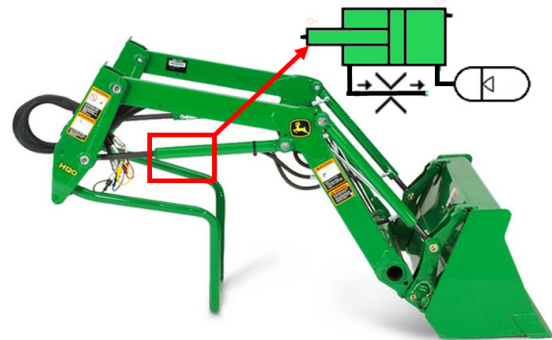


Fig. 3 Example of a boom suspension system

농용트랙터에 적용되는 유공압 서스펜션 시스템은 수동시스템이 일반적이며 최근에는 효율성을 고려한 반능동 시스템과 능동시스템으로 그 기술의 변화가 이루어지고 있다. 예를 들면, Giliomee (1998)는 반능동 공유압 스프링 댐퍼의 개발에 관한 연구를 하였고 솔레노이드 밸브를 통해 어큐뮬레이터를 연결 또는 차단하면서 스프링 계수를 변경하는 기술을 연구하였다. 그 결과 노외(off-road)에서는 스프링 계수를 줄여 승차감을 향상시키고, 도로(on-road)에서는 스프링 계수를 높여 조향감을 향상시키면서 승차감과 조향감을 조절하는 연구를 수행하였다.<sup>4)</sup> Sarami(2009)는 완전 서스펜션 기반 트랙터용 반 능동 서스펜션 시스템을 개발하였다. 시뮬레이션 및 실차 실험을 통해 능동 시스템에서의 수직방향, 피치, 롤 가속도와 비교하여 성능이 개선되었음을 보고하였다.<sup>5)</sup> Janis 등(2012)은 트랙터의 타이어압과 어큐뮬레이터의 용량을 다르게 하면서 유압 히치(Hitch) 제어 시스템의 감쇠 특성을 분석하였다. 그 결과 어큐뮬레이터의 개수가 많을수록 피크 압력이 줄어드는 것으로 나타났다.<sup>6)</sup> Shen 등(2011)은 유공압 서스펜션의 성능을 파악하기 위해 실린더, 어큐뮬레이터, 사인파 진동 발생기로 구성된 시험장치와 시뮬레이션을 통하여 50 톤급 트럭의 감쇠 특성을 구명하였다.<sup>7)</sup>

본 연구는 농업트랙터에 프론트 로더를 이용하여 적재물을 운반할 때 요철충격에 의해 발생하는 프론트 로더 시스템의 피치 진동을 저감하기 위한 개선 설계연구의 일환으로 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 유압시뮬레이션을 통하여 설계한 붐 서스펜션의 충격 감쇠 효과를 이론적으로 분석하였으며, 시뮬레이션 결과를 기반으로 기존 프론트 로더의 유압 회로 시스템을 설계·변경하여 붐 서스펜션 시작기를 구성한 후, 실차 실험을 통하여 충격 저감 효과를 검증하였다.

## 2. 붐 서스펜션 유압회로 설계 및 시뮬레이션

Fig. 4에 나타난 바와 같이 국내에서 적용되는 프론트 로더의 유압회로는 어큐뮬레이터 단독으로 서스펜션의 기능을 수행하는 구조로 되어있다. 본 연구에서는 산업용 기계인 휠로더의 서스펜션 구조를 참고하여, Fig. 5와 같이 밸브가 추가된 수동형 서스펜션 시스템으로 유압회로를 변경하였다. 설계회로에 표시된 바와 같이, 어큐뮬레이터는 붐 실린더의 피스톤 헤드부에 연결하였으며 첫 번째 솔레노이드 밸브(SV1)는 어큐뮬레이터와 실린더 사이를 열고 닫을 수 있도록 구성하였다. 오리피스(ORF1)는 댐퍼 기능과 더불어 회로를 우회 시키는 기능을 가지도록 하여 주행 중에 어큐뮬레이터가 정상적으로 작동하도록 하였다. 두 번째 솔레노이드(SV2)는 탱크와의 연결을 열고 닫을 수 있도록 구성하였다. 첫번째 유량 제어밸브(FCV1)는 유량 조절을 통해 충격을 감쇠시켜주는 역할을 하도록 하였으며, 두 개의 체크밸브

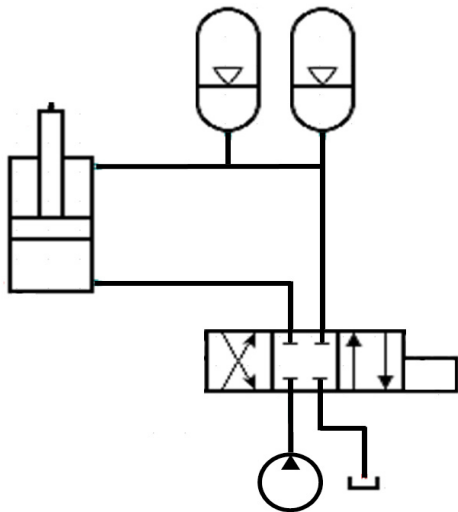


Fig. 4 Schematic drawing of a conventional boom suspension circuit

(CV1와 CV2)는 배압과 캐비테이션 현상을 막기 위해 설치하였다.

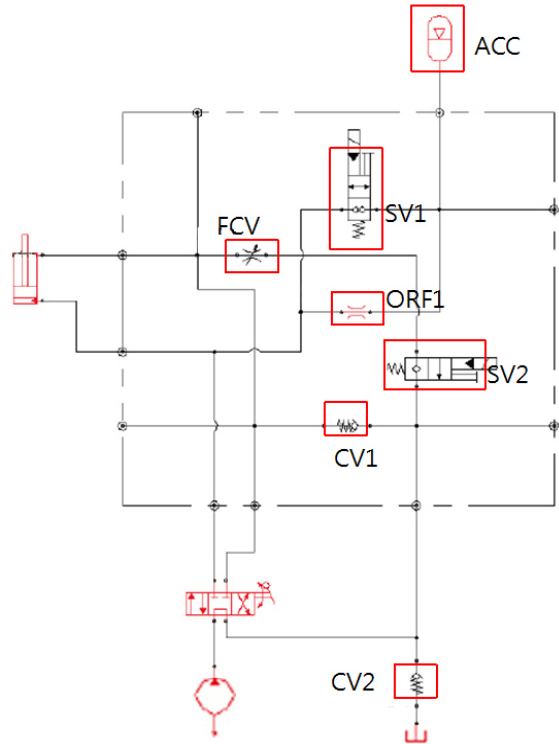


Fig. 5 Schematic design of a boom suspension circuit for absorbing FEL bump shocks

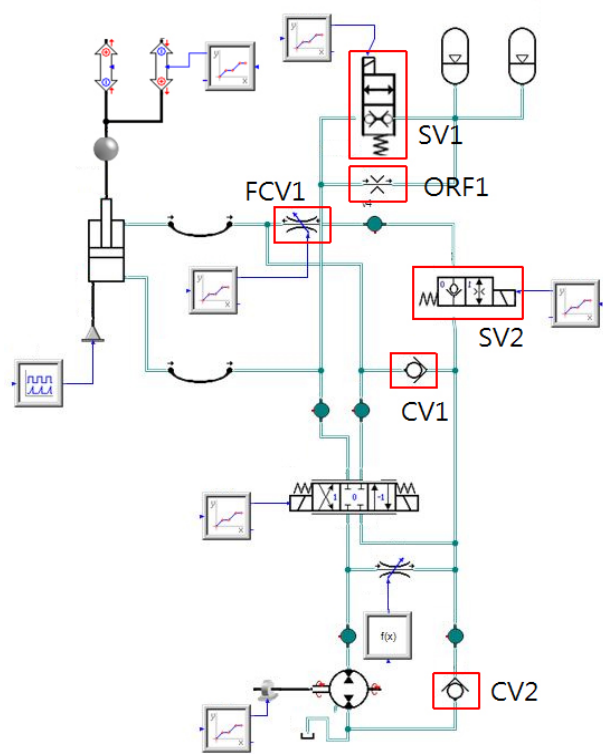


Fig. 6 Design of a boom suspension circuit for absorbing FEL bump shocks using SimulationX

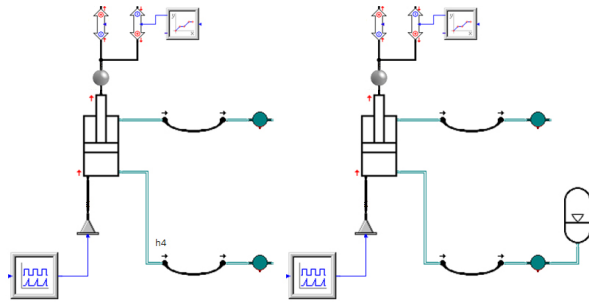


Fig. 7 Simple hydraulic circuits of the FEL cylinder with/without an accumulator

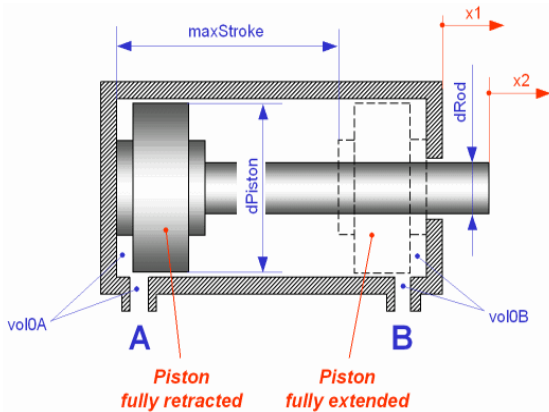


Fig. 8 Details of cylinder parameters used in SimulationX

개선된 회로의 감쇠 특성은 SimulationX 프로그램을 이용하여 얻어진 감쇠력과 스트로크를 나타내는 F-S 선도와 감쇠력과 속도를 나타내는 F-V 선도를 통해 분석하였다. Fig. 6은 SimulationX를 통해 구성한 봄 서스펜션의 시뮬레이션 회로도이다. 또한, 개선된 서스펜션 회로의 감쇠 효과 비교를 위해 Fig. 7과 같이, 어큐뮬레이터가 설치되지 않은 회로와 어큐뮬레이터 단독으로 구성된 회로의 F-S 선도를 각각 구하였다. 시뮬레이션에 사용된 실린더는 복동형 편 로드 실린더이며 자세한 구조는 Fig. 8과 같다. 그 외 유압 요소들의 특성은 Table 1과 같다.

F-S 선도를 구하기 위해, Figs. 6~7의 실린더 로드부에 설치한 질량체를 고정시킨 상태에서, 실린더 헤드부에 신호생성기를 통하여 진동을 인가하였다. 또한, 개선된 회로(Fig. 6)의 시뮬레이션 조건으로 SV1과 SV2를 모두 on으로 하였고 FCV1의 개도량은 66.7%로 설정하였다. 감쇠특성을 비교하기 위하여 다양한 진폭과 가진 주파수의 사인파 신호를 사용하였다. 신호는 임의의 가진 주파수 2 Hz로 고정된 상태에서 진폭을 변화시켰다. 가진 주파수의 진폭은 실제 트랙터가 요철을 지날 때  $\pm 5$  mm 정도로 진동하기 때문에  $\pm 5$  mm와 그 보다 큰  $\pm 10$ ,  $\pm 15$  mm의 진폭을

Table 1 Features of the hydraulic elements used in SimulationX

	Features
Accumulator	Pre-fill pressure : 30 bar Pre-fill temperature : 20 °C
Cylinder	Maximum stroke : 525 mm Piston diameter : 80 mm Rod diameter : 40 mm
Orifice	Diameter : 1.5 mm Length : 3 mm
Flow control valve	Pressure drop : 6.9 bar Density : 0.89 g/cm <sup>3</sup> Kinematic viscosity : 41 mm <sup>2</sup> /s
Check Valve	2.1 bar / 30 psi spring(CV1) 0.34 bar / 5 psi spring(CV2)
Solenoid valve	Operation Pressure : 240 bar(SV1, SV2) Up to Flow : 75.7 lpm(SV1), 56.8 lpm Reponse Time : 40 ms(SV1, SV2)
Hose	Pipe length : 1 m Inner diameter : 17.5 mm Equivalent bulk modulus 4028.78 bar
Hydraulic Fluid	Type : HLP ISO 46 Density : 0.880 g/cm <sup>3</sup> Viscosity : 40°C, 46mm <sup>2</sup> /s Flash point : 226°C, Pour point : -25°C
Pump	Displacement Volume : 22 cm <sup>3</sup> Dead Volume : 50 cm <sup>3</sup> Friction, Leakage : are not considered

입력 신호로 하였다. F-V 선도의 입력 신호는 임의의 진폭인  $\pm 10$  mm으로 고정하고 가진 주파수를 0.5, 1, 1.5, 2 Hz로 변경하면서 해당 감쇠특성을 비교분석하였다.

봄 서스펜션 회로를 실차에 적용하기 전, 그 실효성을 알아보기 위해 트랙터와 같은 질량체에 충격이 가해지는 시뮬레이션 실험을 실시하였다. Fig. 6의 회로(개선된 회로)와 Fig. 7의 회로(어큐뮬레이터가 없는 회로 - 좌, 기존 회로 - 우)에서 실제 트랙터와 프론트 로더의 무게의 합인 4,100kg의 하중을 실린더 로드부에 추가하였다. 또한 Fig. 6의 개선된 회로에서 유량제어밸브의 개도량을 66.7%, 어큐뮬레이터의 용량을 1.5 L(0.75 L 용량 2개)로 설정하였다. 또한 실제 트랙터가 하중이 적재된 상태에서 주행을 하게 되면, 압력이 실린더에 계속 가해진 상태를 유지하므로 유사한 조건을 만들어 주기 위하여 시뮬레이션 상에서도 실린더와 어큐뮬레이터 사이의 초기 압력

을 50 bar로 설정하였다. 요철을 지날 때 붐 실린더에 가해지는 충격값은 선행연구(Ahn 등, 2014)인 프론트 로더의 요철 충격 실험을 통하여 얻은 붐 실린더의 압력 값을 힘으로 변환한 값(Fig. 9)을 이용하였다. 충격 저감의 효과 분석은 실린더 피스톤 부의 압력 변화, 가속도 변화를 비교하여 감쇠특성을 구명하였다. 실험 후 데이터 처리는 압력의 경우 피크 값을 이용하였고 가속도의 경우 RMS(Root Mean Square) 값으로 표시하였다.

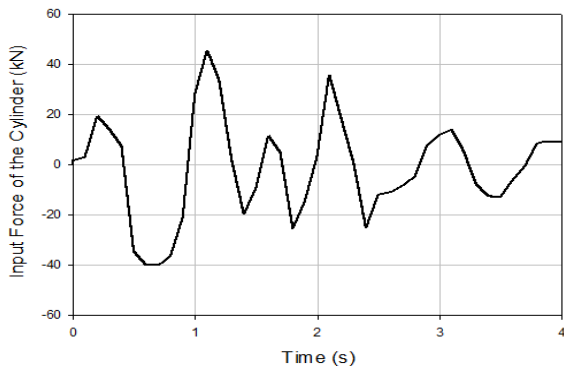


Fig. 9 Cylinder force as the input signal imposed to the hydraulic system

### 3. 붐 서스펜션 시스템 장착 주행 실차 실험

개선 설계한 붐 서스펜션 회로의 진동저감 효율성을 알아보기 위해 트랙터에 회로를 장착하여 요철 충격 실험을 실시하였다. 사용한 트랙터와 프론트 로더는 75kW급을 사용하였으며 주행 시 충격을 주기 위해 Fig. 10과 같은 형상을 가진 요철을 지나가게 하였다. 사용한 어큐뮬레이터(HPC, HSN 0.75)는 다이어프램형으로 초기압력 30 bar, 용량 0.75 L이다. 압력은 붐 실린더에 압력센서(VALCOM, VPRQ-A4)를 장착하여 측정하였다. 가속도는 3축이 측정 가능한 가속도센서(DYTRAN, 3273A1)를 버킷과 시트에 장착하여 측정하였다. 센서 신호의 수집은 LabVIEW 프로그램을 이용하여 표본 추출 비율(sampling rate)은 100 Hz 조건으로 컴퓨터에 저장하였다. Table 2는 실차 실험에서 사용된 센서와 부품들의 구체 사양을 나타냈다. Fig. 11은 트랙터에 장착한 센서 구성의 모습이며, Fig. 12는 실제로 어큐뮬레이터와 회로가 장착된 프론트 로더의 모습이다. 요철을 지나갈 때의 속도는 6 km/h로 설정하였으며 버킷에 하중을 인가하기 위하여 트랙터용 발란스 웨이트를 이용하여 상용하중인 780 kg로 설정하였다.

Table 2 Features of the tractor and main parts used in a field test

	Features
Tractor	Power : 75 kW
Accumulator	Nominal pressure : 30 bar Nominal volume : 0.75 L
Flow control valve	Operating Pressure : 240 bar Flow : 45 lpm nominal at 7 bar
Accelerometer	Sensitivity : 1.02 mV/m/s <sup>2</sup> Acceleration range : ±4905 m/s <sup>2</sup> Frequency range : 3-10,000 Hz
Pressure sensor	Pressure range : 0-350 bar Response frequency : 500 Hz

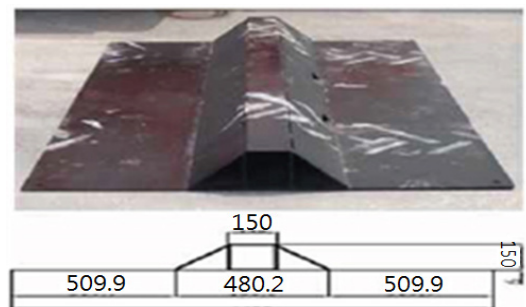


Fig. 10 Schematic design of the bump

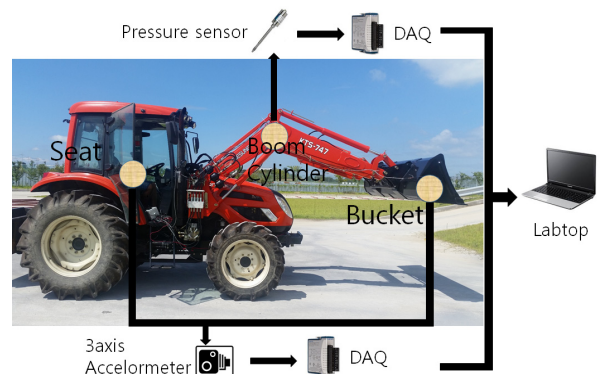


Fig. 11 View of sensors and a data acquisition board installed on the test tractor



Fig. 12 View of components of the boom suspension mounted on the FEL

실차 실험 조건으로, 어큐뮬레이터는 트랙터 좌우 양쪽에 하나씩(0.75 L) 작동시켜 1.5 L로 하였고 개발된 밸브 블록을 On/Off하면서 수정된 회로의 영향성을 구명하고자 하였다. 또한 유량제어밸브의 개도량의 최적값을 찾기 위해서 개도량을 91.7%, 83.3%, 66.7%로 조절하면서 충격 저감 특성을 분석하였다. 각 실험은 3회 반복으로 진행하였으며 수집된 데이터의 분석은 SAS 통계 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석과 다중 비교법을 이용하여 처리의 유의성 분석을 수행하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 봄 서스펜션 회로 시뮬레이션

Figs. 13~15는 Figs. 6~7의 회로에 2 Hz의 가진 주파수와 ±5, ±10, ±15 mm의 진폭의 신호를 인가하였을 때 발생하는 회로별 감쇠 특성을 나타낸 F-S 선도이다. F-S 선도에서 한 주기의 진행 과정은 다음과 같다. 신호가 들어오게 되면 (0, 0)에서 스트로크는 (+) 방향으로 압축하고 감쇠력은 (-) 방향으로 진행하게 된다. 스트로크가 압축(+방향)과 리바운드(rebound, -방향)를 거치면서, 반시계 방향으로 한 바퀴가 진행하면 한 주기의 F-S 선도가 나타나게 된다. Fig. 13의 경우는 어큐뮬레이터가 없는 경우(Fig. 7의 왼쪽)의 F-S 선도이며, Fig. 14는 어큐뮬레이터만 있을 때(Fig. 7의 오른쪽) 나타나는 감쇠특성을 의미하며, Fig. 15는 개발한 봄 서스펜션을 적용(Fig. 6)할 때 얻어지는 F-S 선도이다. Fig. 13은 서스펜션 시스템이 없기 때문에, 감쇠 특성이 나타나지 않고 그래프의 모양은 직선에 가깝게 나타났다. 반면에, Fig. 14의 경우와 같이 어큐뮬레이터를 적용하였을 때는 실린더가 압축(+방향)될 때 실린더 헤드부에 설치한 어큐뮬레이터의 스프링 힘이 작용하여 감쇠력이 일정 이하로 내려가지 않는 것을 확인할 수 있었다.

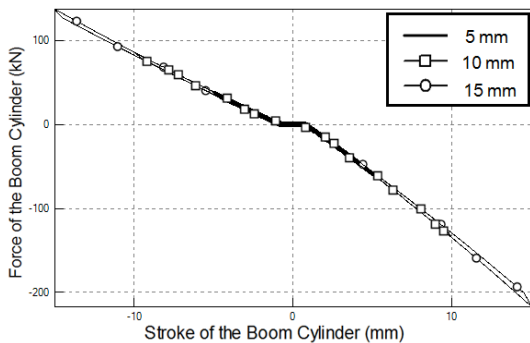


Fig. 13 Force-stroke curve obtained at 2 Hz when no accumulator is used

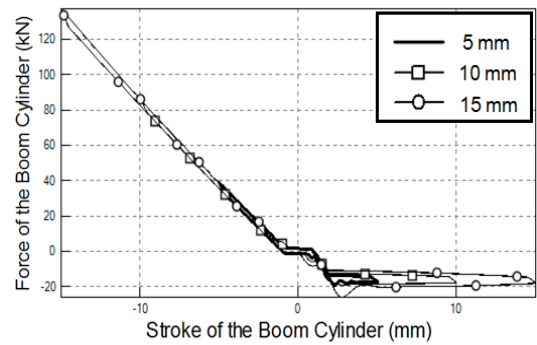


Fig. 14 Force-stroke curve obtained at 2 Hz when the conventional suspension circuit is used

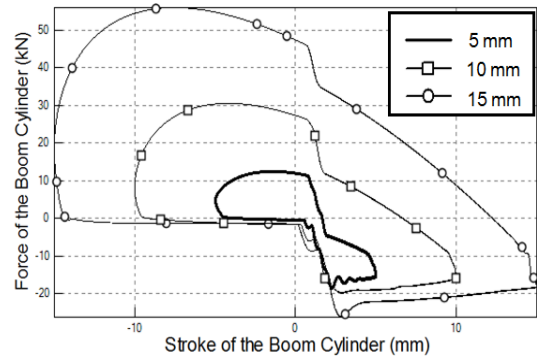


Fig. 15 Force-stroke curve obtained at 2 Hz when the improved boom suspension circuit is used

Fig. 15는 어큐뮬레이터의 스프링 힘과 실린더 로드부에 설치한 유량제어밸브의 감쇠효과에 의하여 리바운드 할 때의 감쇠력이 Fig. 14보다 작아지는 것을 나타내었다. 하지만, Fig. 15의 결과는 Fig. 13과 14와 달리 리바운드 시에 히스테리시스(hysteresis)가 발생하는 것을 나타내었는데 이는 유량제어밸브의 감쇠 현상이 영향을 주기 때문인 것으로 판단하였다.

Figs. 16과 17은 Fig. 6의 F-S 진폭을 10 mm로 고정한 상태에 가진 주파수를 0.5 Hz에서 1, 1.5, 2 Hz로 증가시켰을 때 나타나는 F-S와 F-V 선도이다. F-S 선도를 통해 가진 주파수가 증가할수록 감쇠력이 크게 나오는 것을 알 수 있는데, 이는 속도가 빨라짐에 따라 압력 강하가 증가하기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 1.5 Hz와 2 Hz의 가진 신호의 경우, 압축 감쇠력이 리바운드 감쇠력 보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 압축 때 스프링 힘이 증가했다가 리바운드 하면서 점점 감소하게 되므로 감가속(deceleration)이 발생하여 감쇠력이 증가하기 때문이며, Fig. 17의 F-V 선도에서 발행하는 히스테리시스도 Fig. 15에서 얻은 결과와 같이 유량제어밸브의 영향으로 나타나는 것으로 판단하였다.

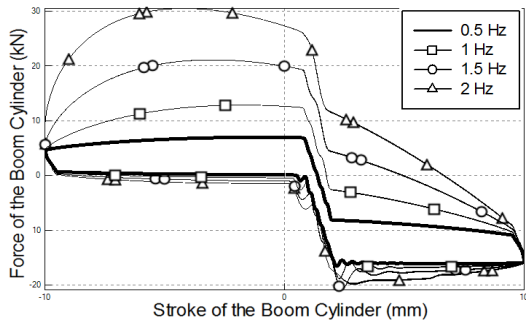


Fig. 16 Force-stroke curve of the boom suspension obtained at a stroke of 10 mm

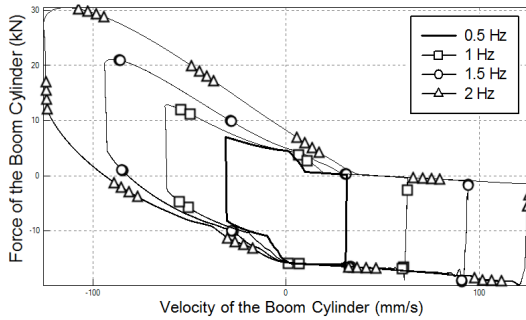


Fig. 17 Force-velocity curve of the boom suspension obtained at a stroke of 10 mm

Fig. 18은 개선 회로와 기존의 회로와 어큐뮬레이터가 없는 회로에 질량체를 이용하여 충격을 가해졌을 때 실린더 로드부의 압력 변화를 나타내는 그래프이다. 그래프에 나타난 바와 같이 개선 붐 서스펜션 회로를 적용하였을 때 압력의 변동 범위는 기존 어큐뮬레이터만 단독으로 설치하는 것에 비해 감소하는 효과를 나타내었다. 특히, 개선 설계한 붐 서스펜션 회로는 최대 압력이 188.9 bar를 나타내어 기존 어큐뮬레이터 단독으로 설치하는 경우에 비해 9.4% 줄어드는 것으로 나타났다. Fig. 19는 기존 시스템에 붐 서스펜션 회로를 구성하였을 때 얻어지는 가속도의 변화 정도를 나타낸 그래프이다. 그래프에 나타난 바와 같이 개선된 회로를 적용하였을 때 시간에 따른 가속도의 변동이 크게 줄어드는 효과를 나타냈으며 RMS 가속도 값도 개선된 회로는 2.38 m/s<sup>2</sup>로 기존 어큐뮬레이터 단독설치의 경우와 비교하여 39.4% 감소하는 것으로 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 기존 어큐뮬레이터 단독 설치 시스템에서 문제가 되는 버킷 가속도 증가문제를 해결할 수 있는 가능성을 제시하는 것으로 판단하였다. 결론적으로, 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 개선 설계한 붐 서스펜션 회로는 요철충격 시 실린더 압력과 버킷 가속도 모두를 감소시켜 충격 저감에 효과가 있는 것으로 나타났다.

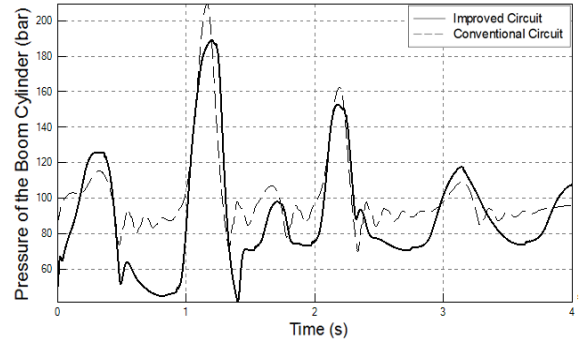


Fig. 18 Comparison between the pressures of the improved boom cylinder and conventional one

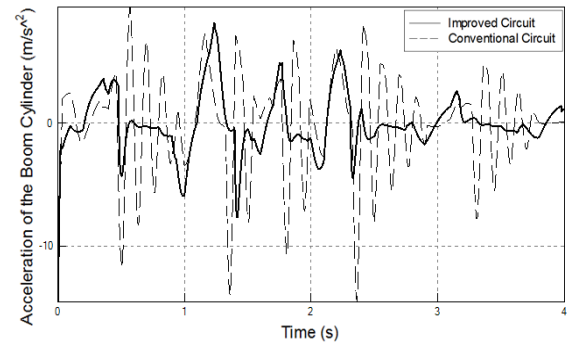


Fig. 19 Comparison between the accelerations of the improved boom cylinder and conventional one

Table 3 Results of the shock input simulation

	Peak Pressure	RMS Acceleration
Improved Circuit	188.9 bar	2.38 m/s <sup>2</sup>
Conventional Circuit	209.4 bar	3.93 m/s <sup>2</sup>
No accumulator	193.4 bar	1.80 m/s <sup>2</sup>

#### 4.2 붐 서스펜션 시스템 트랙터 실차 실험

Figs. 20~22는 기존의 붐 서스펜션과 개선된 회로에서 유량제어밸브의 개도량을 변화시켰을 때, 실차 실험에서 얻은 붐 실린더의 피크 압력과 버킷과 시트의 가속도에 대한 영향을 비교한 결과이며 그래프에 나타난 a, b는 통계적으로 유의적 차이를 보여주는 기호이다. 또한 Table 4는 개선한 회로의 데이터들(91.7%, 83.3%, 66.7%)의 평균과 기존 회로의 데이터를 비교한 자료이다. 실린더의 피크 압력의 경우 (Fig. 20), 유량제어 밸브를 설치한 붐 서스펜션 시스템은 기존 어큐뮬레이터만 단독 설치했을 때인 151.1 bar에서 116.3 bar로 감소하였다. 이는 시뮬레이션 결과 9.8% 감소하던 것에 비해 23.0% 감소하여 더 나은 결과라 할 수 있다. 버킷의 수직 가속도의 RMS

값은 Fig. 21에 나타난 바와 같이 기존의  $0.114 \text{ m/s}^2$ 에서  $0.066 \text{ m/s}^2$ 로 감소하는 것으로 나타났다. 시트의 수직 방향 RMS 가속도 변화는 (Fig. 22) 기존  $0.038 \text{ m/s}^2$ 에서  $0.021 \text{ m/s}^2$  이하로 감소하는 것으로 나타났다. RMS 가속도 데이터의 경우에도, 버킷과 시트에서 각각 42.2%, 44.9% 감소하는 것으로 나타났다. 반면에, 유량제어밸브의 개도량의 영향은 실험한 66.7 ~ 91.7% 조건에서는 유의한 차이를 나타내지 않아, 사용한 개도량 조건은 설계한 붐 서스펜션의 충격 저감에는 영향을 주지 않는 것으로 판단하였다.

종합적으로, 붐 서스펜션 회로를 실차에 구성하여 측정된 압력과 가속도 값은 시뮬레이션 분석결과와 같이 서스펜션의 효과가 명확하게 나타나는 것을 확인하였으며, 기존 어큐뮬레이터 단독으로 설치된 시스템에 비해서도 유의하게 개선되는 것을 확인하였다.

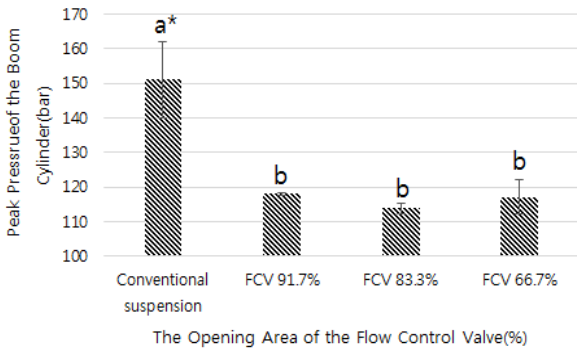


Fig. 20 Multiple comparison of mean peak pressures of the boom cylinder obtained at different opening areas of the flow control valve (\*Values with the same letter are significantly different at the 5% level, based on the SAS F-test)

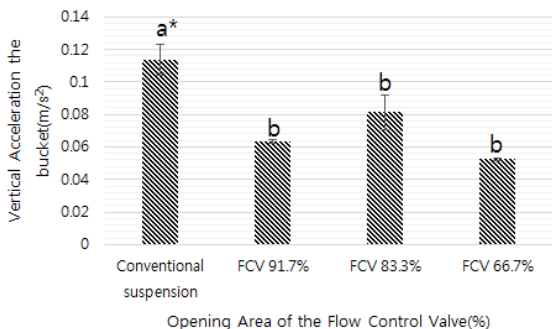


Fig. 21 Multiple comparison of vertical RMS accelerations of the bucket obtained at different opening areas of the flow control valve (\* Values with the same letter are significantly different at the 5% level, based on the SAS F-test)

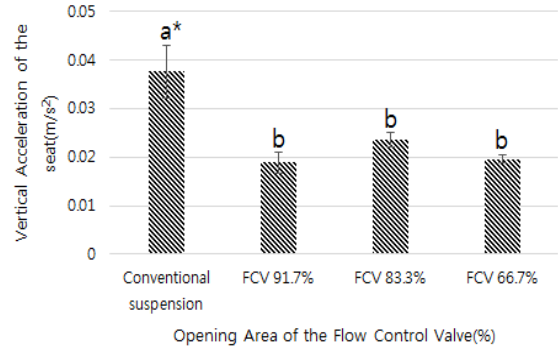


Fig. 22 Multiple comparison of vertical RMS accelerations of the seat obtained at different opening areas of the flow control valve (\* Values with the same letter are significantly different at the 5% level, based on the SAS F-test)

Table 4 Results of the field test

	Improved Circuit (average value)	Conventional Circuit
Peak Pressure	116.3 bar	151.1 bar
RMS Acceleration (bucket)	$0.066 \text{ m/s}^2$	$0.114 \text{ m/s}^2$
RMS Acceleration (seat)	$0.021 \text{ m/s}^2$	$0.038 \text{ m/s}^2$

### 5. 결론

본 연구에서는 농용트랙터에 장착되는 프론트 로더의 요철충격을 저감하고자 어큐뮬레이터 유압 회로를 설계 변경하였으며 그 효과를 시뮬레이션과 실험적 방법을 이용 검증하였다. 이를 위해 기존 휠로더 시스템 분석을 근거로 SimulationX 프로그램을 이용 기존 유압회로에 우회 회로를 포함하여 주행 중에도 어큐뮬레이터가 정상적으로 작동할 수 있게 만들었으며 체크 밸브, 오리피스 등의 유압 요소를 추가하여서 회로의 감쇠 기능을 향상 시켰다. 시뮬레이션을 통해 어큐뮬레이터의 용량이 클수록 충격이 감소하였고 유량제어밸브의 설치가 감쇠효과를 나타내는 것을 확인하였다. 시뮬레이션으로 검증된 회로를 바탕으로 밸브 블록을 만들어서 실차에 적용하여 이를 실험해본 결과, 기존의 어큐뮬레이터만 단독으로 장착했을 때보다 붐 실린더의 피크 압력이 23.0% 감소하였고 버킷과 시트의 RMS 수직 가속도는 각각 42.2%, 44.9% 감소함을 확인하였다. 추후 로더의 링크의 동역학적인 특성을 보완하고 캐빈 서스펜션과



타이어 등의 특성들을 포함하여 봄 서스펜션 회로의 설계변수를 최적화할 예정이다.

## 후 기

이 연구는 2015년도 산업통상자원부 산업핵심기술 개발사업의(과제번호: 10043886) 지원에 의하여 수행 되었음을 밝힙니다.

## 감사의 글

기술자문에 도움을 주신 한국 HPC의 지영수 부장님께 감사의 말씀을 전합니다.

## References

- 1) P. A. Hansson, "Working Space Requirement for an Agricultural Tractor Axle Suspension", *Biosystems Engineering*, Vol. 81, No. 1, pp. 57-71, 2002.
- 2) W. Bauer, "Hydropneumatic Suspension Systems", Springer Science and Business Media, pp. 19-66, 2010.
- 3) S. W. Ahn, H. J. Kim, S. S. Lee, D. S. Choi, "Study on Driving Shock Reduction of a Front End Loader by Accumulator", *Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol. 19, No. 1, pp. 91-92, 2014.
- 4) C. L. Giliomee, and P. S. Els, "Semi-active Hydropneumatic Spring and Damper System", *Jouranal of Terramechanics*, Vol. 35, No. 2, pp. 109-117, 1998.
- 5) S. Sarami, "Development and Evaluation of a Semi-active Suspension System for Full Suspension Tractors", Diss, Technical University of Berlin, 2009.
- 6) L. B. Janis, P. Vilnis, K. Eriks, M. R. Aivars, and M. Maris. "Hydropneumatic Suspension for Tractor Implement", *Proceeding of International Scientific Conference, Engineering for Rural Development*, pp. 372-376, 2012.
- 7) S. Yanhua, Z. Junfeng, Y. Jue, H. Xiaxu 2011, "Research on Test and Simulation of Hydro-pneumatic Suspension", *IEEE Int. Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks(CECNet)*, pp. 678-681, 2011.