

프리필용 체크밸브의 유압진동 특성에 관한 연구

A Study on the Hydraulic Vibration Characteristics of the Prefill Check Valve

박정우^{1,2} · 한성민³ · 이후승² · 윤소남^{1*}

Jeong Woo Park^{1,2}, Sung-Min Han³, Hu Seung Lee² and So-Nam Yun^{1*}

Received: 03 May 2021, Revised: 20 May 2021, Accepted: 28 Jun. 2021

Key Words : Electro-Hydrostatic Actuator(전기 유압 구동기), Hydraulic Vibration(유압 진동), Rear Axle Steering System(후륜 보조축 조향장치), Prefill Valve(프리필 밸브), Pressure/Flow Pulsation(압력/유량 맥동)

Abstract: A rear axle steering (RAS) system is attached to the rear of medium and large commercial vehicles that transport large cargo. The existing RAS systems are driven by electro-hydraulic actuator (EHA), and most commercialized EHAs consist of electric motors, hydraulic pumps, relief valves, prefill valves and cylinders. The prefill valve required for such EHAs is a type of check valve with extremely low cracking pressure that should not allow RAS to have noise or vibration, and the prefill valve prevents system negative pressure as well as unstable operation. Most papers on this topic rely on experiments to predict valve performance, and theoretically detailed modeling of valves or pipelines is performed, but it is very rare to evaluate hydraulic vibration characteristics by analysing everything from hydraulic pumps to valves comprehensively. In this study, we proposed an experimental circuit that can predict the performance of the prefill valve. The study also analysed the pressure-flow pulsation that is transmitted to the valve through the pipeline, and how the transmitted pressure-flow pulsation affects the valve vibration.

1. 서 론

대부분의 상용차는 특수목적의 작업을 수행하기 위하여 제작된 차량으로 다수의 인원이나 화물을 수송할 목적으로 사용된다. 큰 화물을 수송하는 중대형 상용차의 후미에는 보조축(Auxiliary Axle) 전동 유압식 동기형 조향 시스템이 장착되어 있다. 이 시스템은 과적에 의한 축하중 초과 및 주행 중 발생할 수

있는 과조향(Over-Steering)과 제동거리 증가를 방지하여 차량의 주행과 조향 안전성 제고, 그리고 조향 기능을 향상시키는 역할을 한다.¹⁾ 현재의 모든 후륜 보조축 조향장치(Rear Axle Steering System, 이하 RAS)는 전동 유압식 액추에이터(Electro-Hydrostatic Actuator, 이하 EHA) 구동방식이며, 상용화되어 있는 대부분의 EHA는 전동 모터, 유압펌프, 릴리프 밸브, 프리필 밸브, 그리고 실린더로 이루어져 있다.²⁾ EHA 시스템의 장점은 양방향 유압펌프에서 나오는 유량을 직접 제어함으로써 최소한의 밸브를 사용하여 고에너지 효율을 내는 것이다. RAS용 EHA에 필수적으로 사용되는 프리필 밸브는 매우 적은 크래킹 압력을 가지는 체크밸브로, RAS에 소음이나 진동을 여가시켜서는 안되며, 프리필 밸브의 임무로서 시스템에 부압이 발생되어 불안정한 동작이 일어나는 것을 방지하는 역할을 충실히 해야 한다.

J. E. Funk³⁾는 관로와 포핏 스프링 특성의 상호작용

* Corresponding author: ysn688@kimm.re.kr

1 Department of Thermal Systems, Energy Systems Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials, Daejeon, 34103, Korea

2 Department of Convergence System Engineering, Chung Nam National University, Korea

3 Technology Institute, Cewon E&C, Korea

Copyright © 2021, 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.

용으로 인하여 포켓 밸브가 불안정되는 원인을 이론적으로 정리하였다. M. A. Porter⁴⁾은 유체와 접촉되는 밸브 내부 부분인 트림은 같은 형상을 유지하되, 유체가 흐르는 관로를 다르게 하여 진동을 저감하는 방안을 실험적으로 제시하였다. B. H. Choi⁵⁾는 원자력 발전소에서 사용되는 글로브 밸브의 고주파 진동 원인에 대하여 실험 결과로부터 밸브 후단에서 발생한 와류 발산을 가진 주파수와 동기화되면서 공진현상으로 증폭된 유체 여기 진동임을 확인하였다.

연구의 대상으로 하는 체크밸브는 밸브의 기본형상인 포켓 구조이며, 수십 년 동안 연구되어왔고, 현재에도 성능개선을 위하여 논의되고 있는 주제이기도 하다. 전술한 바와 같이, 거의 모든 논문들이 실험에 의존하여 밸브의 성능을 예측하고 있으며, 이론적인 부분에서도 밸브 혹은 관로 등 부품에 대한 상세 모델링은 이루어지고 있으나, 유압원인 펌프로부터 연구대상 밸브에 이르는 전체를 동시에 해석하여 유압 진동 특성을 평가하는 논문들은 매우 드물다. 특히, 연구의 대상으로 하는 프리필 밸브와 같은 경우는 크래킹 압력이 매우 낮기 때문에 이론적으로도 밸브의 특성을 파악할 수 있는 압력/유량 조건이 매우 중요하며 실험적으로도 증명이 가능해야 한다. 또한 실험적으로는 연구의 대상으로 하는 EHA 시스템의 실제 특성을 모의할 수 있는 실험장치의 설계/제작도 매우 중요하다. 따라서 이 연구에서는 연구의 대상으로 하는 프리필 밸브의 성능을 예측할 수 있는 실험 회로를 제안하고, 제안된 실험 회로를 모델링하여 이론적으로 유압원에서 어떠한 압력/유량 맥동이 관로를 통하여 밸브에 전달되며, 전달된 압력/유량 맥동이 밸브 진동에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 관찰이 이루어진다.

2. 밸브 시스템 해석

2.1 해석대상 모델

현재 상용화되어 있는 EHA 시스템의 회로도에는 아래의 Fig. 1과 같다. EHA는 유압펌프로 직접 실린더를 제어함으로써 방향 제어 밸브와 같은 제어용 밸브를 사용하지 않고 안전을 위해 프리필 밸브와 릴리프 밸브만 사용을 한다. EHA 시스템에서 연구대상으로 사용되는 프리필 밸브(번호 ①)의 진동 특성을 알아보기 위하여 Fig. 2와 같은 실험 회로를 제안하였다.

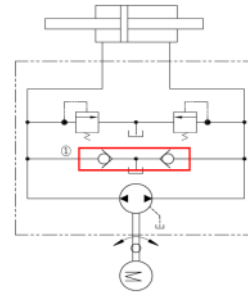


Fig. 1 Electro-hydraulic actuator(EHA) circuit

Fig. 2는 Fig. 1에 보이는 프리필 밸브의 특성을 실험하기 위한 회로로, 프리필 밸브(번호 ①)를 설치하고, 프리필 밸브에 유압유를 공급하기 위하여 실험용 유압 유닛(번호 ②)을 구성하였다.

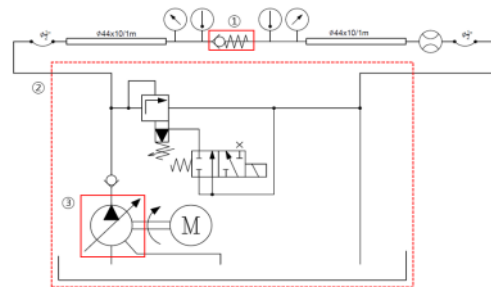
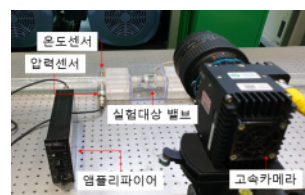


Fig. 2 Hydraulic circuit for the prediction of prefill valve behavior

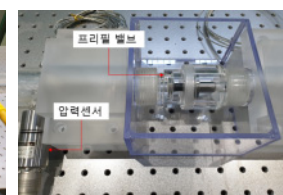
Fig. 3은 제안된 Fig. 2의 회로도를 제작하고 있는 사진은 보이는 것으로, 유압펌프로부터 유량을 가변하기 위한 방안으로 인버터 방식 전기 모터를 사용했으며, 관심 연구 대상인 프리필 밸브의 거동을 직접 관찰할 목적으로 고성능의 카메라를 설치하였다.



a) Hydraulic Power unit



b) Test equipment



c) Test valve

Fig. 3 Experimental setup for behaviour prediction of prefill valve

3. 맥동 시뮬레이션 및 고찰

3.1 맥동 시뮬레이션 모델링

Fig. 4와 Fig. 5는 실험대상 유압 펌프로부터 발생되는 압력/유량 맥동이 밸브에 어떻게 전달되는지를 확인하기 위한 시뮬레이션 회로를 보이는 것이다. Fig. 4는 연구대상 프리필 밸브가 열려있을 때를 가정하여 오리피스 모델로 등가한 것이고, Fig. 5는 연구 대상 프리필 밸브를 모델링하여 실험 회로에 연결한 것이다. 이 회로에서는 뉴턴의 운동방정식을 모두 구현하도록 구성하였으며, 특히 유체력의 영향도 반영될 수 있도록 시뮬레이션 엑스(X) 툴의 라이브러리를 사용하였다. Fig. 4와 Fig. 5를 이용하여, 프리필 밸브의 운동에 따른 압력/유량 맥동의 차이점을 확실하게 구별할 수 있고, 프리필 밸브가 동작할 때 밸브에서 어떠한 진동 특성들이 발생하는지를 쉽게 판별해 낼 수 있다. 특히 Fig. 5에서는 실험장치의 특성을 고려하여, 프리필 밸브가 언제나 인위적인 부하 없이 구동되는 경우와 배압에 따라서 어떠한 거동을 하는지에 대한 계측을 위하여 부하밸브를 추가한 경우의 2가지에 대해서 해석이 이루어졌다. Table 1은 Fig. 4와 Fig. 5에서 사용된 변수를 정리한 것으로, 해석을 진행할 때 고려되어야 하는 펌프의 기본 정보, 모터의 설정 회전수, 릴리프 밸브의 설정압력 및 유량 그리고 호스의 길이를 정리하였다. 실제 펌프에서 나타나는 맥동을 확인하기 위하여 펌프를 분해 후 정확한 치수를 얻었으며, 이를 기반으로 모델링된 펌프에 사용하였다. 회전수의 변화에 따라 변화하는 맥동과 밸브의 진동을 분석하기 위하여 유압펌프의 회전수를 15rpm과 100rpm으로 다르게 설정하였고, 실제 실험 시 높은 압력에서 사용하지 못하는 아크릴 관로를 고려하여 최대압력을 50bar로 설정하였다.

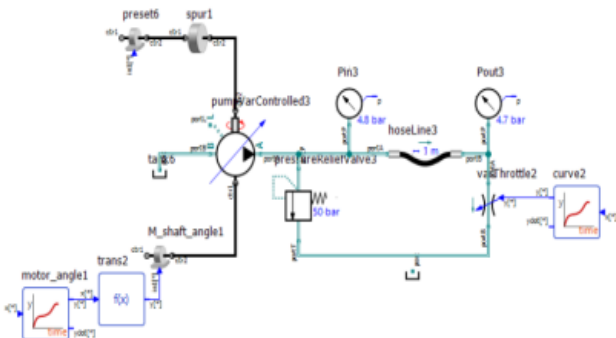


Fig. 4 Simulation circuit with an orifice model

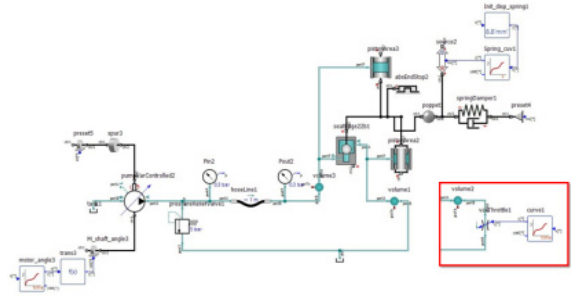


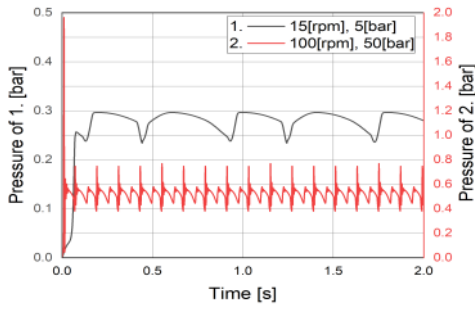
Fig. 5 Simulation circuit with a study object prefill valve

Table 1 Specifications of the base modeling

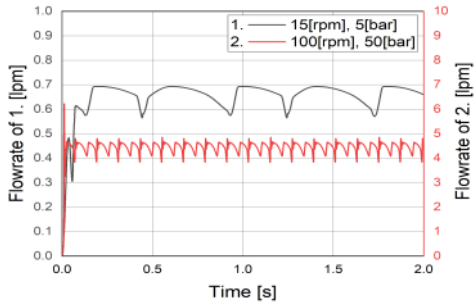
Variable	Value
number of pistons [-]	5
piston mass [g]	82.29
piston diameter [mm]	21.9
Maximum piston stroke [mm]	28.9
rotational speed [rpm]	15, 100
Relief valve set pressure [bar]	5, 50
Relief valve pressure by flowrate gradient [bar/(l/min)]	0.1, 0.02
Relief valve flow [l/min]	1, 100
hose line [m]	1
hose inner diameter [mm]	18
Poppet mass [g]	21
Poppet inlet area [mm ²]	16.4
Poppet Spring Constant [N/mm]	0.784
Poppet Creaking Pressure [bar]	0.3
Pre-compressed length [mm]	8.8
Orifice area [mm ²]	0, 8
End stop distance [mm]	5

3.2 맥동 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig. 6은 Fig. 4의 모델을 해석한 것으로, 펌프와 릴리프 밸브로 인하여 나타나는 압력/유량 맥동 현상의 결과를 나타낸 것이다. 전기 모터의 회전 속도가 15rpm일 때 릴리프 밸브의 설정이 5bar인 경우와 회전수가 100rpm일 때 릴리프 밸브의 설정이 50bar인 두 가지의 경우로 나누어 압력과 유량을 각각의 그래프로 나타내었다. Fig. 6의 a)는 회전수가 15rpm과 100rpm일 때의 압력을 나타낸 것으로, 15rpm일 때는 1s동안 1.25개의 피스톤, 100rpm일 때는 1s동안 8.3개의 피스톤이 회전하면서 맥동을 발생시키는 것을 알 수 있고, 부하가 없이 오리피스로 모든 유량이 흘러



a) Pressure characteristics



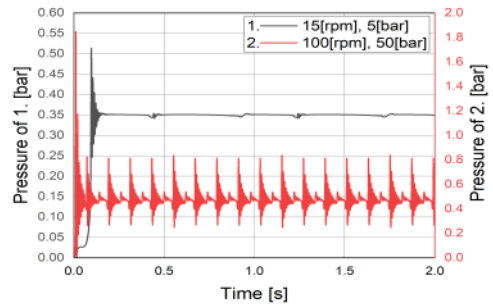
b) Flow characteristics

Fig. 6 Pressure/flow fluctuations at the hose inlet with orifice

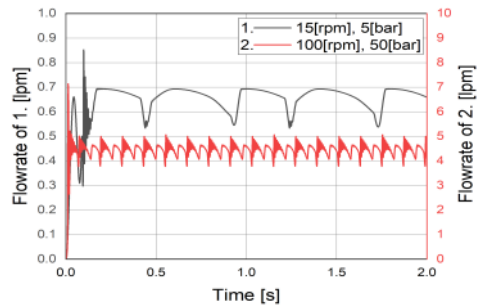
나가고 있기 때문에 압력 맥동이 15rpm일 때 0.1bar, 100rpm일 때 1.7bar 수준이다. b)의 그래프에서 유량 또한 15rpm일 때 0.69lpm, 100rpm일 때 4.5lpm이 흐르는 것으로 확인되었다.

Fig. 7은 Fig. 5의 모델을 해석한 것으로, Fig. 4의 모델과 같이 펌프에서 압력/유량 맥동이 가해졌을 때, 밸브에서는 어떠한 현상이 발생하고, 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 해석을 진행한 것이다. Fig. 7의 a)는 유압펌프에서 나타나는 압력 맥동, b)는 유압펌프에서 발생하는 유량 맥동, c)는 밸브에 인가되는 압력 맥동, d)는 밸브에 인가되는 유량 맥동 그리고 e)는 밸브의 변위를 나타낸 그래프이다. Fig. 7의 a)에서 15rpm으로 회전을 할 때 1s동안 1.2개 그리고 100rpm 회전할 때 또한 8.3개의 맥동이 흔들리는 것을 확인하였다. 이는 유량이 많고, 압력이 클수록 맥동이 크고 자주 나타나며, 밸브의 진동에 영향을 끼칠 수 있다. 또한 이때 나타나는 맥동은 Fig. 6의 a)에서 나타난 압력 맥동 그래프 맥동과 비슷한 위치에서 보이지만, 압력의 크기는 0.05bar 정도 높게 나타난다. 이는 체크밸브 등가 오리피스를 달았을 때에는 오리피스의 저항 이외에는 부가적인 저항이 발생하지 않지만, 체크밸브를 달았을 때는 스프링으로 인하여 밸브를 닫으려는 힘이 발생함으로 압력이 올라가는 것이다. 100rpm 으로 회전할 때 Fig. 6의

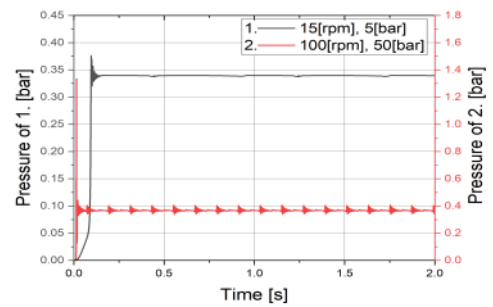
a)보다 압력이 더 많이 떨리는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상이 생기는 이유는 회전수가 빨라짐에 따라 밸브에 가해지는 압력 상승이 더 커지게 된다. 프리필용 체크 밸브는 낮은 압력에 사용되는 밸브로, 큰 압력이 가해지게 되면 밸브가 갑작스럽게 열림으로써 이로 인한 진동이 발생하게 된다. 이때 발생하는 진동이 펌프 압력에 피드백 영향을 미쳐 더 많이 떨리는 것을 알 수 있다. 또한 15rpm으로 회전할 때의 유량과 100rpm으로 회전을 할 때 발생하는 유량 맥동 또한 압력 맥동과 같은 위치에서 발생하는 것을 확인할 수 있고, 호스를 지나 밸브에 인가되는 맥동은 펌프에서 발생하는 맥동의 크기보다 저감되었지만, 비슷한 형상의 압력/유량 맥동이 발생하는 것을 Fig. 7의 c)와 d)의 그래프로 확인할 수 있다. 또한 압력/유량 맥동에 따라 밸브의 변위가 변동되는 것을 그림 e)에서 확인할 수 있다.



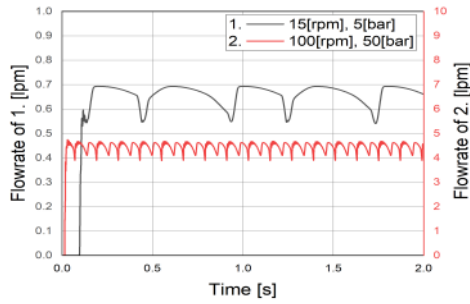
a) Pressure pulsation from hydraulic pump



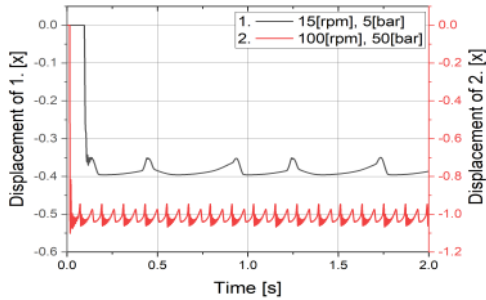
b) Flow pulsation from hydraulic pump



c) Pressure pulsation applied to valve



d) Flow pulsation applied to valve



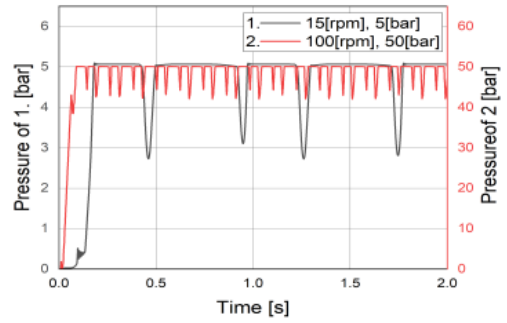
e) Valve displacement

Fig. 7 Simulation results of Fig. 5 with no back pressure (15rpm, relief valve set pressure 5bar and 100rpm, relief set pressure 50bar)

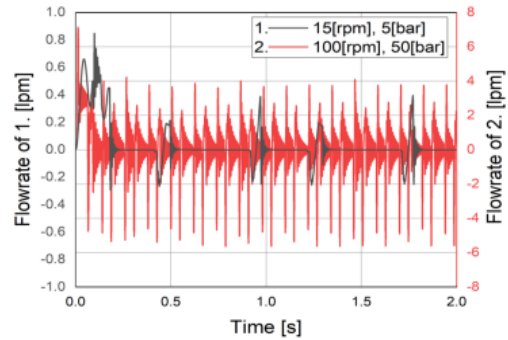
Fig. 8, Fig. 9 그리고 Fig. 10은 부하밸브(오리피스 모델)를 추가한 경우를 해석한 결과이다. Fig. 8은 부하를 0-2s동안 오리피스의 면적이 0mm²일 경우, Fig. 9는 0-1s동안 오리피스 면적이 0mm² 1-2s동안 최대 8mm²까지 서서히 열리는 경우, Fig. 10은 0-1s동안 최대 8mm²로 열려 있다가 1-2s동안 0mm²로 닫히는 경우를 정리하였다. Fig. 8, Fig. 9 그리고 Fig. 10의 그래프에서 a)는 유압펌프에서 나타나는 압력 맥동, b)는 유압펌프에서 발생하는 유량 맥동, c)는 밸브에 인가되는 압력 맥동, d)는 밸브에 인가되는 유량 맥동 그리고 e)는 밸브의 변위를 나타내는 것이다.

Fig. 8의 a)에서 체크 밸브 뒤에 있는 부하밸브의 면적 변화가 없기 때문에 펌프에서 발생하는 압력이 릴리프 밸브의 설정압력인 15rpm 일 때는 5bar 그리고 100rpm 일 때는 50bar로 나타난다. Fig. 8의 b)에서 유량은 펌프에서 맥동이 크게 발생하는데, 이의 원인은 릴리프 밸브와 체크밸브이다. 먼저 릴리프 밸브로 유량이 빠져나갈 때 맥동이 -로 떨어지게 되고, 체크밸브는 뒤에 있는 부하밸브의 면적이 0mm²로, 체크밸브가 열리지 않지만, 압력 맥동이 밸브에 인가되어 밸브를 흔들게 되면서 밸브에 인가되는 압력이 흔들리게 된다. 때문에 유량 맥동이 크게 흔들리

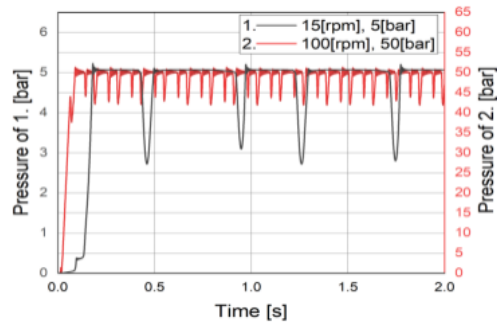
는 것이고, 밸브의 변위가 흔들리는 것은 Fig. 8의 e)에서 확인할 수 있다. Fig. 8의 d)에 따르면, 유량 맥동은 밸브까지 유량이 채워지는 초반에만 유량이 확인이 되고, 부하로 인하여 밸브가 열리지 않아 유량 맥동이 발생하지 않는다.



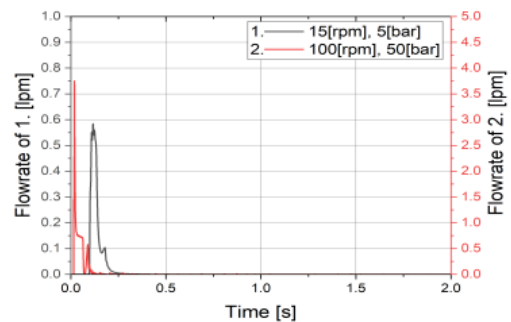
a) Pressure pulsation from hydraulic pump



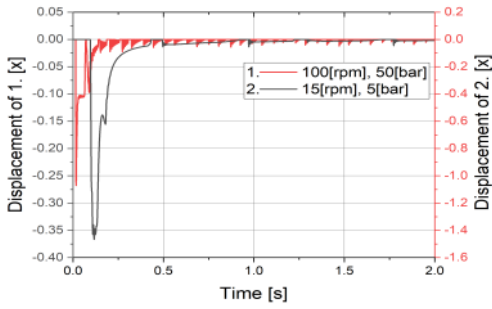
b) Flow pulsation from hydraulic pump



c) Pressure pulsation applied to valve



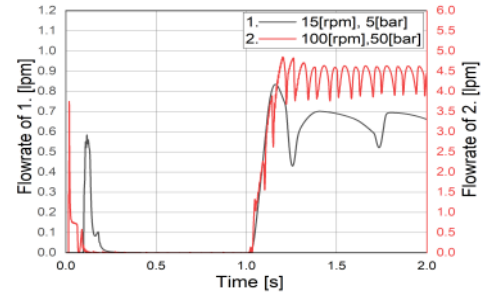
d) Flow pulsation applied to valve



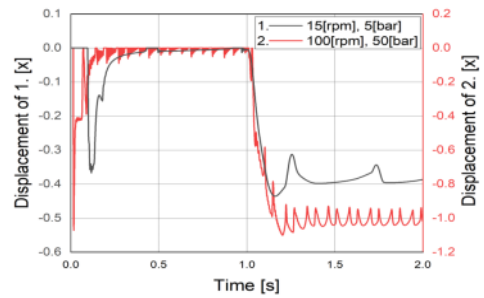
e) Valve displacement

Fig. 8 Simulation results of Fig. 5 with 100% back pressure (15rpm, relief valve set pressure 5bar and 100rpm, relief set pressure 50bar)

Fig. 9는 0-1s동안은 부하밸브가 닫혀 있다가 서서히 열리는 것을 해석한 것으로, 부하밸브가 열리면서 유량이 흐르게 되면, 체크밸브에 어떤 현상이 일어나는지를 모의하는 것이다. Fig. 9의 a)에서 체크밸브 뒤에 있는 부하밸브의 면적변화가 1-2s에서 발생한



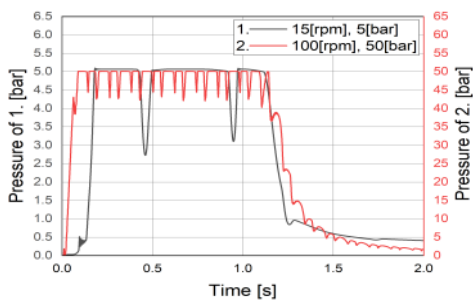
d) Flow pulsation applied to valve



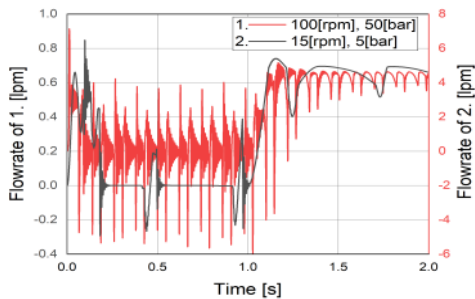
e) Valve displacement

Fig. 9 Simulation results of Fig. 5 with back pressure variation (0-1s no back pressure, 1-2s 100% back pressure, 15rpm, relief valve set pressure 5bar and 100rpm, relief set pressure 50bar)

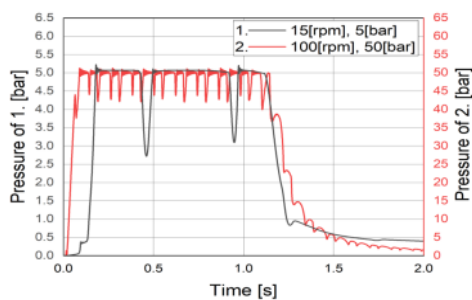
다. 0-1s 동안에 15rpm일 때 5bar 그리고 100rpm일 때는 50bar로 나타나지만, 1-2s 동안에는 부하밸브의 면적이 커지면서 압력이 0bar로 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이때 압력이 일정하게 떨어지는 것이 아니라 펌프에서 발생하는 맥동의 크기와 같은 간격으로 압력이 변동되면서 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 펌프에서 발생하는 맥동이 밸브에 영향을 주는 결과로 볼 수 있으며, Fig. 9의 e)를 통해서도 그 특성을 확인할 수 있다. Fig. 9의 b)에서 0-1s 동안은 유량은 계속 증가되지만 밸브 뒤에 가해진 부하로 인하여, 유체가 릴리프 밸브로 빠져나가게 되면서 유량이 흔들리게 되는데, 압력으로 인하여 체크밸브에서 발생하는 떨림이 유체의 흔들림에 가중된 것을 알 수 있다. 1-2s 동안에는 부하밸브가 열리면서 유량이 15rpm일 때는 0.6lpm, 100rpm일 때는 4lpm으로 커지고 있음이 확인되었다. Fig. 9의 c)는 밸브에 인가되는 압력 맥동으로, 체크밸브의 흔들림으로 인하여 0-1s 동안에는 압력이 5bar에서 5.2bar로 작게 떨리지만, 부하밸브가 열리면서 펌프 맥동의 영향을 덜 받아 0bar 가까이 떨어지게 된다. Fig. 9의 d)에서는 펌프 응답 특성의 결과로 과도구간에서 큰 맥동이 나



a) Pressure pulsation from hydraulic pump



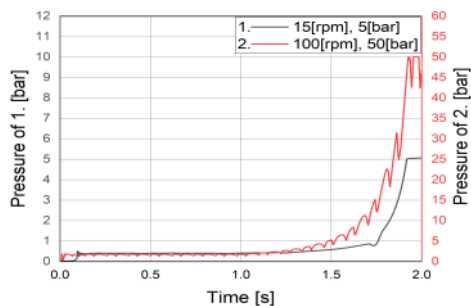
b) Flow pulsation from hydraulic pump



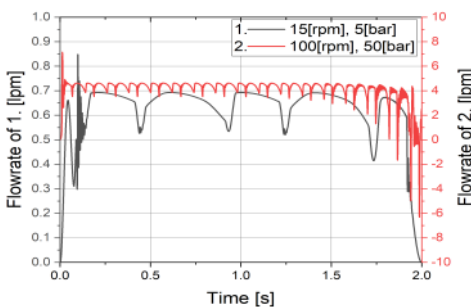
c) Pressure pulsation applied to valve

타났다, 15rpm일 때 0.7lpm 그리고 100rpm일 때 4.5lpm으로 유량이 안정화되는 것을 확인하였다. 이는 밸브 앞에 가득 차있던 유량이 밸브가 열리면서 한꺼번에 흐르게 되어 생긴 현상으로, 회전수가 작을 수록 빠르게 안정이 된다.

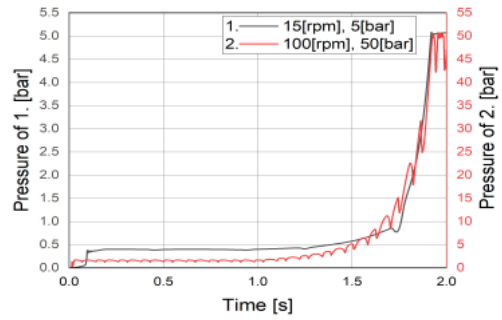
Fig. 10은 0-1s 동안은 부하밸브가 열려 있다가 서서히 닫히는 상황을 해석한 것으로, Fig. 10의 a)에서 0-1s 동안에 15rpm, 100rpm일 때 거의 0bar에 가까운 압력이 나타나지만, 1-2s 동안에는 부하밸브의 면적이 작아지면서 압력이 15rpm일 때 5bar 그리고 100rpm일 때 50bar로 커지는 것을 확인할 수 있다. 이때 Fig. 9와 비교하였을 때 밸브가 열리는 시간이 밸브가 닫히는 시간보다 더 빠르다는 것을 알 수 있다. 이는 밸브 뒤에 있는 부하밸브가 잠기면서 흐르던 유량이 빠져나가지 못하여 압력을 발생시키게 되고, 이는 밸브를 닫는 작용을 한다. 하지만, 펌프에서 가해지는 압력과 충동이 생기면서 밸브의 계폐를 반복하게 된다. 시간이 지나면서 밸브가 안정화되고 미세한 유압진동이 밸브에 영향을 미치게 된다. Fig. 10의 b)에서 0-1s 동안은 유량이 계속 흐르지만, 1-2s 동안에 부하밸브가 닫히면서 유량이 계속 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 100rpm으로 회전할 때 유량이 -10lpm까지 떨어지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 연구대상 밸브 후단의 배압이 커지는 과정에서 밸브가 매우 불안정하게 동작하고 있음을 예측할 수 있



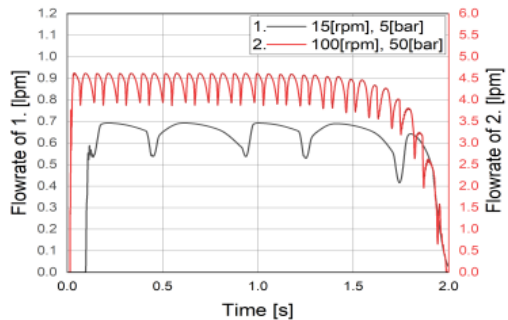
a) Pressure pulsation from hydraulic pump



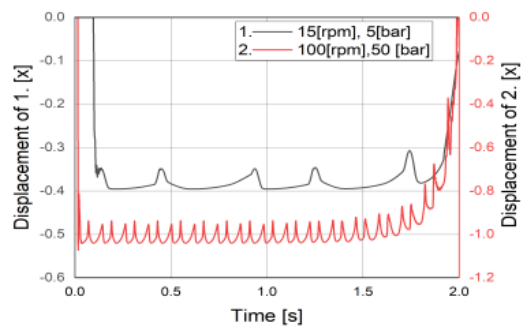
b) Flow pulsation from hydraulic pump



c) Pressure pulsation applied to valve



d) Flow pulsation applied to valve



e) Valve displacement

Fig. 10 Simulation results of Fig. 5 with back pressure variation (0-1s 100% back pressure, 1-2s no back pressure, 15rpm, relief valve set pressure 5bar and 100rpm, relief set pressure 50bar)

다. Fig. 10의 c)는 a)와 거의 동일한 맥동이 발생하였고, Fig. 10의 d)에서는 부하밸브가 닫히면서 유량이 15rpm일 때와 100rpm일 때 모두 0lpm으로 떨어지는 것을 알 수 있다. 압력 맥동에 따라 밸브의 변위가 계속 흔들려 밸브 진동에 영향을 끼치는 것을 Fig. 10의 e)에서도 확인할 수 있다.

4. 결 론

이 논문은 펌프에서의 압력/유량의 맥동이 발생하

면, 밸브에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위한 연구로, 실제 실험 모델과 동일하게 회로를 모델링하여 해석을 진행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

오리피스 등가 모델과 프리필 밸브 모델을 통하여 압력/유량 맥동특성이 해석되었으며, 펌프로부터 유량이 많을수록, 릴리프 밸브 설정 압력이 클수록 회로에 진동이 커진다는 것이 확인되었다.

연구대상 프리필 밸브 회로에서 밸브 후단에 압력에 따라서 운동 특성이 현저히 달라지며, 배압이 작아지는 모델보다 커지는 모델에서 심한 진동이 일어날 수 있기 때문에 EHA에 사용되는 프리필 밸브는 최적설계가 필요하다.

향후, 실험장치 및 실험결과를 통하여 밸브 진동특성 관찰이 필요하고, 진동 저감에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

후 기

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0013851, 2020년 상용차 산업 혁신 성장 및 미래형 산업생태계 구축사업).

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) H. A. Khan et al., "A Review of Rear Axle Steering System Technology for Commercial Vehicles," Journal of Drive and Control, Vol.17, No. 4, pp. 146-153, 2020.
- 2) S. H. Park, "Characteristics of an Electro Hydrostatic Actuator and an Application Fields," Journal of Drive and Control, Vol.6, No. 1, pp. 2-10, 2009.
- 3) J. E. Funk, "Poppet Valve Stability," Journal of basic Engineering ASME, pp.207-212, 1964.
- 4) M. A. Porter et al., "Valve-Induced Piping Vibration," ASME, PVP2011-57391, 2011.
- 5) B. H. Choi, S. I. Park and C. B. Cheon, "A Case Study of Root Cause Analyses and Remedies for High Frequency Vibration of Globe Valve in Nuclear Power Plant Piping System," The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp.394-399, 2005.