

유압식 클러치 조작기구의 압력맥동저감에 대한 연구

이춘태[#]

A Study on the Pressure Pulsation Reduction for a Hydraulic Clutch Operating System

Choon Tae Lee[#]

ABSTRACT

The clutch is a subcomponent of the transmission that is designed to engage and disengage power flow between the engine and the transmission. Recently, the engine power of automobile has been continuously increased because of customer's demand for the bigger one. As the engine power is increased, the vibration transmitted to the hydraulic clutch operating system has been increased. Therefore the demand for the reduction of clutch pedal vibration during the operation of the clutch system has been increased.

This paper describes the pressure pulsation reduction characteristics of the damper cylinder which is applied to the hydraulic clutch operating system. And the purpose of this study is to confirm the availability of a simulation model and investigating the test results of hydraulic clutch operating system. The test results are compared with the simulation results. Therefore it may be concluded that the simulation model and test results will be very useful for the design of hydraulic clutch damper cylinder.

Key Words : Damper Cylinder (댐퍼실린더), Hydraulic Clutch (유압클러치), Hydraulic Line (유압관로), Pressure Pulsation (압력맥동)

1. 서론

최근, 자동차의 품질에 대한 소비자들의 인식이 높아지면서 운전의 쾌적성을 저해하는 유압부품에 의한 소음, 진동저감이 큰 문제로 대두되고 있다.

특히, 엔진에서 클러치본체에 전달된 축 방향 진동이 클러치 조작기구인 유압관로를 거쳐 클러치 페달을 진동시키는 문제점(clutch shuttle)이 지적되

고 있다. 이와 같은 문제점의 해결책으로 클러치 마스터실린더(master cylinder)와 릴리스실린더(release cylinder)사이의 유압관로에 압력맥동 저감 장치인 댐퍼실린더(damper cylinder)를 설치하여 클러치페달로 전달되는 압력맥동을 저감할 필요가 있다.

이와 관련된 종래의 연구에는, 일반적인 유압 관로내에서의 압력 및 유량전달 특성에 대한 연구¹

접수일: 2007년 10월 2일; 게재승인일: 2008년 1월 15일

[#] 교신저자: 신라대학교 자동차기계공학과

E-mail: charity@silla.ac.kr Tel. (051)999-5468

가 있었으며, 자동차를 대상으로 하는 연구에는 동력전달장치에서의 압력맥동에 대한 연구,⁸ 현가장치(suspension)의 압력맥동에 대한 연구²와 조향장치(steering)의 압력맥동에 대한 연구^{3,4,6,7}가 주를 이루고 있다. 최근, 클러치 시스템에서의 유압실린더 특성에 대한 연구⁵가 있었으나, 엔진으로부터의 진동을 저감하기 위한 감쇄장치에 대한 연구는 매우 드물다.

따라서 본 연구에서는 차량용 클러치시스템의 유압관로에서의 압력맥동 저감특성을 규명하기 위하여, 댐퍼실린더를 포함한 실험 장치를 구성하고 다양한 입력 주파수에서의 압력맥동 저감특성을 실험적으로 규명하여 주파수에 따른 압력맥동 저감특성을 해석하고자 한다. 또한, 실험결과를 해석결과와 비교하여 해석모델의 정확도를 검증하고자 한다.

2. 유압 클러치시스템 해석모델

2.1 유압 클러치 조작기구의 유체유동 해석

Fig. 1에 유압 클러치 조작기구의 각부 명칭과 구성을 나타내었다. 유압 클러치 조작기구는 마스터실린더, 릴리즈실린더, 유압배관 그리고 압력저감을 위하여 유압배관 사이에 설치된 댐퍼실린더로 구성되어 있다.

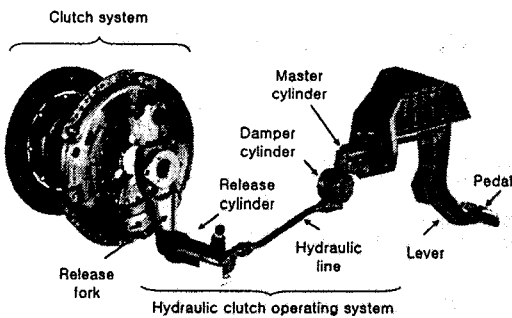
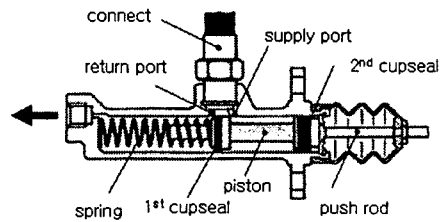


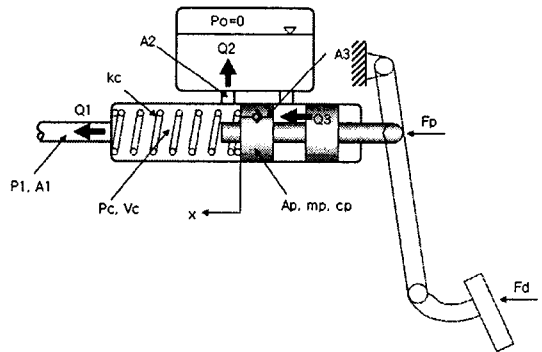
Fig. 1 Hydraulic clutch operating system

Fig. 1에서, 마스터실린더는 운전자의 페달달력(pedal force)을 푸시로드를 통하여 피스톤으로 전달하여 클러치 유압관로 내에 압력이 형성되도록 하는 역할을 한다. Fig. 2에 마스터실린더의 형상과 유체유동 특성을 나타내었다. Fig. 2에서와 같이 운전자가 클러치페달에 힘을 가하면 피스톤은 스프링

힘을 이기며 이동하여 리턴포트를 막게 되고, 점차 이동하게 되면 챔버 압력이 증가하여 반대편 릴리즈실린더로 압력이 전달된다. 또한 운전자가 페달을 놓으면 피스톤은 챔버 압력과 스프링 힘에 의해 뒤로 움직이게 된다. 이때 피스톤이 리턴포트를 막고 있는 동안은 챔버에 부압(negative pressure)이 걸리게 된다. 이러한 부압에 의해 피스톤의 1차 컵셀을 통하여 유로가 형성된다. 또한 마스터실린더의 오일탱크는 클러치 조작에 필요한 작동유를 공급하고 대기에 개방되어 있으므로 대기압이 작용하고 있다.



(a) Configuration of the master cylinder



(b) Fluid flow model

Fig. 2 Configuration and fluid flow model of the clutch master cylinder

릴리즈실린더는 마스터실린더로부터 전달된 압력에 의해 피스톤을 움직여 클러치 시스템의 릴리즈포크(release fork)를 움직이도록 하여 클러치 동작이 일어나도록 한다. Fig. 3에 릴리즈실린더의 형상과 유체유동 특성을 나타내었다.

댐퍼실린더는 엔진진동에 의해 클러치 조작기구의 유압관로에 가해진 압력맥동을 저감하기 위한 장치이다. 댐퍼실린더는 유압관로의 압력맥동을 저감시키기 위하여 금속 다이어프램(metal diaphragm)

을 사용하고 있다. 댐퍼실린더의 구조는 Fig. 4에 나타내었다. 댐퍼실린더 금속판의 변형량은 가해진 압력에 비례하며 변형된 형상은 Fig. 5와 같이 코사인함수의 형태로 변형된다고 가정하였다.

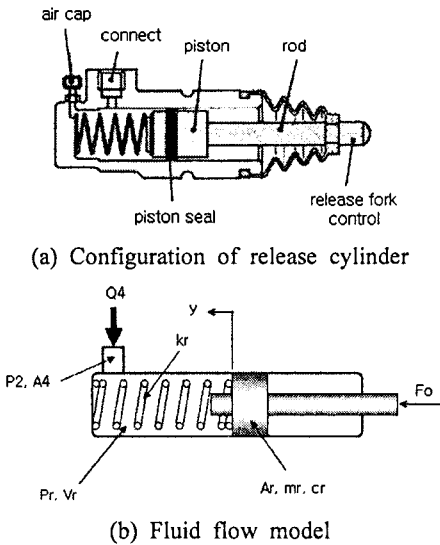


Fig. 3 Configuration and Fluid flow model of clutch release cylinder

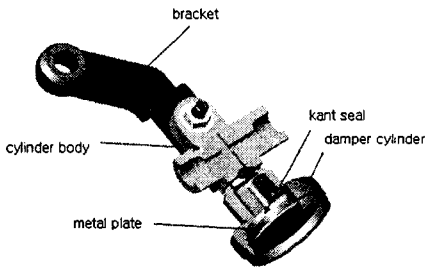


Fig. 4 Configuration of damper cylinder

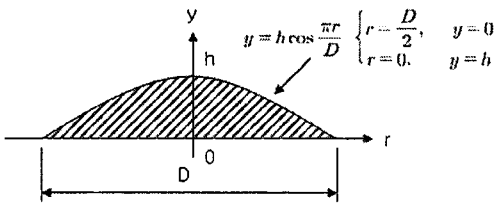


Fig. 5 Deformation shape of metal plate

2.2 유압 클러치 조작기구의 모델링

본 연구에서 사용한 유압 클러치 조작기구의 해

석모델을 Fig. 6에 나타내었다. 본 해석모델은 앞 절에서의 유체유동 특성을 기본으로 하여 구성하였으며 유공압 시스템 해석도구인 AMESim을 사용하여 구성하였다.

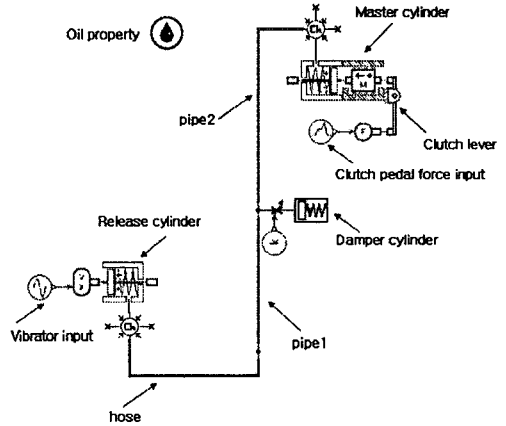


Fig. 6 Schematic diagram of simulation model

Fig. 6에서 해석모델은 마스터실린더, 릴리즈실린더, 가진기, 클러치페달, 댐퍼실린더, 유압관로 등으로 모델링 되었다. 입력부는 엔진으로부터의 진동을 묘사하기 위하여 정현파 입력모듈을 사용하였으며, 클러치 페달에서의 페달압력을 묘사하기 위하여 선형기계레버(linear mechanical lever)모듈을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 주요부품의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Simulation parameters

Equipments	Specifications	
Master cylinder	φ16mm	
Release cylinder	φ20.5mm	
Damper cylinder	Diameter	φ35.5mm
	Spring rate	7,278N/mm
Hydraulic hose	Diameter	φ3mm
	Length	230mm
	Thickness	3.5mm
Hydraulic pipel & 2	Young's modulus	20,600bar
	Diameter	φ3mm
	Length	372mm
Hydraulic pipel & 2	Thickness	1mm
	Young's modulus	2.06e+6bar
Absolute viscosity of air/gas	0.02cP	
Hydraulic oil density	850kg/m3	
Hydraulic oil bulk modulus	17,000bar	
Hydraulic oil absolute viscosity	50cSt	

Table 1에서와 같이 마스터실린더의 직경은 16mm이며 릴리즈실린더의 직경은 20.5mm로 직경비는 약 1:1.28이다. 댐퍼실린더의 직경은 35.5mm이며 댐퍼실린더의 강성은 7,278N/mm으로 선정하였다. 이것은 Fig. 5에서와 같이 댐퍼실린더의 금속판에 정적인 압력을 가한 후 금속판의 변형을 측정 한 결과를 나타낸다. 특히, 외부에서 가해진 압력에 대한 금속판의 변형은 선형적인 특징을 나타내므로 상수로서 표시할 수 있다. 해석에 사용한 배관은 호스와 파이프로 구성되어 있으며 각각의 재원은 표에 나타낸 바와 같다.

3. 실험장치의 구성 및 방법

3.1 실험장치의 구성

Fig. 7은 본 논문에 사용된 실험장치의 개략도이다. 그림에서와 같이 가진장치로는 동전형(moving coil type) 가진기를 사용하였고 운전자가 밟는 클러치 페달압력을 묘사하기 위해 공압장치와 공압실린더를 장치하였다. 계측기로는 마스터실린더와 릴리즈실린더에 압력계를 장치하였고, 전위차계(potentiometer) 일체형 공압실린더를 사용하여 마스터실린더 변위를 계측하였다. 계측한 값을 처리하기 위해 데이터처리장치와 PC를 연결하였다.

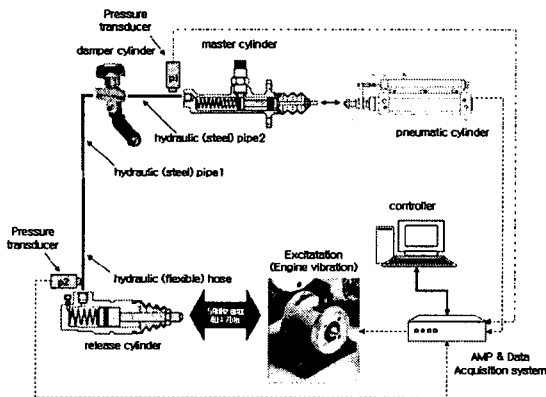
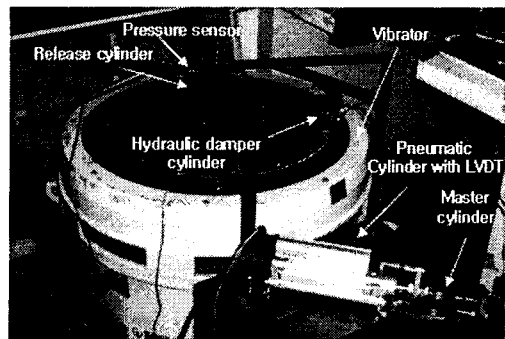


Fig. 7 Schematic diagram of hydraulic clutch system test rig for the pressure pulsation measurement

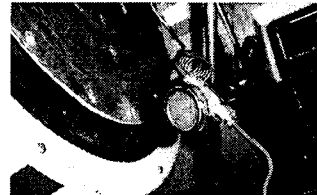
본 논문에 사용한 실험 장치를 Fig. 8에 나타내었다. 또한, 실험에 사용한 각종 실험장치의 사양을 Table 2에 나타내었다.

3.2 실험 방법

Fig. 8과 같이 실험 장치를 구성한 후, 공압실린더를 사용하여 배관에 설정압력인 40bar의 압력이 생기도록 마스터실린더를 가압하였다. 공압실린더는 별도의 공압장치를 이용하여 출력을 미세하게 조정하였다. 이 상태에서 가진기를 이용하여 릴리즈실린더를 가진하여 각각 100, 150, 200, 250, 300, 400Hz에서 ± 2 bar의 압력변동이 발생하도록 진폭을 조정하였다. 가진기의 진폭 및 주파수는 가진기의 제어장치를 이용하여 제어하였다.



(a) Overview of experimental apparatus



(b) Prototype damper cylinder

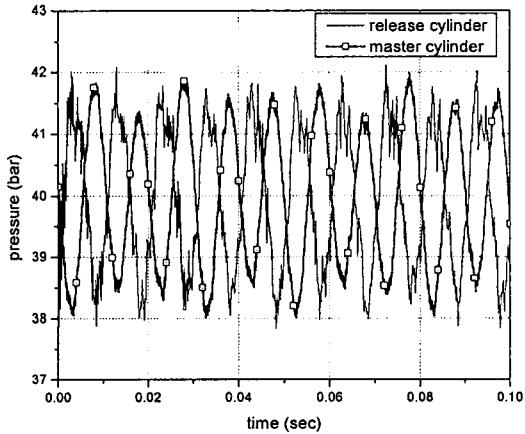
Fig. 8 Photographs of experimental apparatus

Table 2 Specifications of experimental apparatus

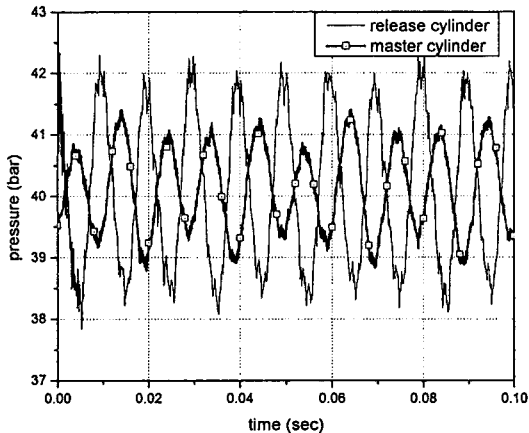
Equipments		Specifications	Manufacture
Sensor	Pressure sensor	Max 150bar	VALCOM
	Potentiometer	Max 10V	FESTO
Cylinder	Master cylinder	$\phi 16$ mm	HYUNDAI MOBIS
	Release cylinder	$\phi 20.5$ mm	HYUNDAI MOBIS
	Damper cylinder	Mean dia $\phi 35.5$ mm	Proto sample
	Pneumatic cylinder	$\phi 38$ mm Max 10bar Stroke 100mm	FESTO
Exciter		5-2400Hz Max 600kg	Ling dynamic system
DAQ board		16Inputs/2Outputs, 200ks/s, 16 bit multi function I/O	National Instrumental

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 9는 100Hz의 릴리즈실린더 압력변동에 대하여 댐퍼실린더를 장착한 경우와 장착하지 않은 경우의 마스터실린더 압력맥동 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 댐퍼실린더를 장착하지 않은 경우는 릴리즈실린더의 압력변동 3.921bar에서 마스터실린더의 압력변동 3.727bar로 약 5%의 압력맥동저감 효과가 있으나 댐퍼실린더를 장착한 경우는 릴리즈실린더의 압력변동 3.945bar에서 마스터실린더의 압력변동 2.09bar로 약 47%의 압력맥동저감 효과를 보였다.



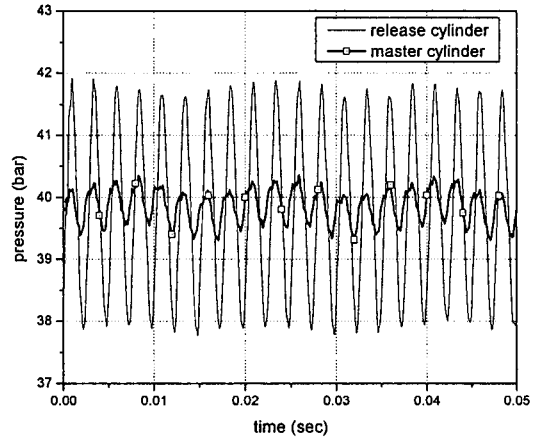
(a) The result without damper cylinder



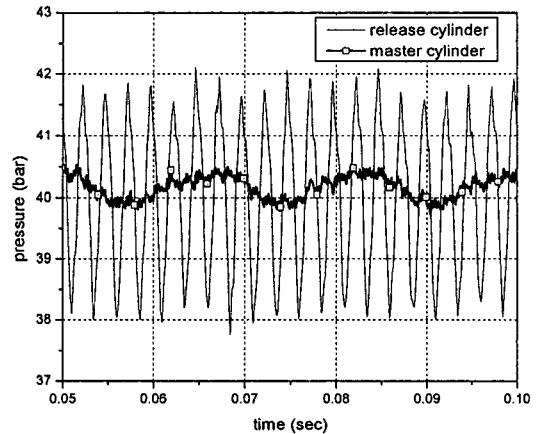
(b) The result with damper cylinder

Fig. 9 Experimental results of hydraulic clutch system pressure pulsation for the 100Hz input

Fig. 10은 400Hz의 입력을 가했을 때의 마스터실린더에서의 압력맥동 실험결과를 나타내었다. 400Hz 입력에서는 댐퍼실린더를 장착한 경우 80%, 장착하지 않은 경우 72.5%로 모두 압력맥동이 큰 폭으로 감소되었다. 그리고 실험의 압력측정은 0.0001sec의 샘플링타임(sampling time)을 사용하여 측정하였다.



(a) The result without damper cylinder



(b) The result with damper cylinder

Fig. 10 Experimental results of hydraulic clutch system pressure pulsation for the 400Hz input

Fig. 11은 해석모델을 이용한 100Hz 입력에서의 댐퍼실린더 장착 유무에 따른 마스터실린더 압력맥동 해석결과를 나타내었다. 그림으로부터 Fig. 9의

실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

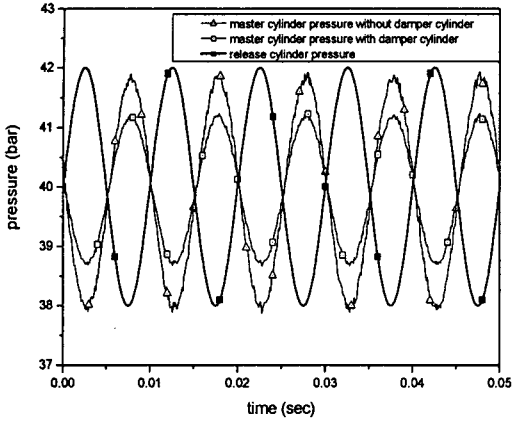


Fig. 11 Simulation results of the hydraulic clutch system pressure pulsation for the 100Hz input

이와 같은 각 입력주파수에서의 압력맥동 저감율을 그림 Fig. 12에 나타내었다. y축은 릴리즈실린더의 압력변동량에 대한 마스터실린더의 압력변동량의 비율을 나타낸다. 그림에서와 같이 댐퍼실린더 유무에 상관없이 고주파수 입력일수록 압력맥동 저감효과는 커짐을 알 수 있다. 그러나 압력맥동의 크기(진폭)의 측면에서 보면 고주파수 영역보다 저주파수 영역의 압력맥동의 크기가 컸기 때문에 저주파수 영역의 압력맥동 저감이 중요하다.

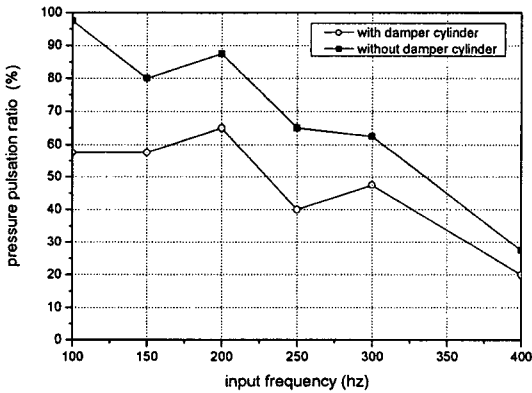
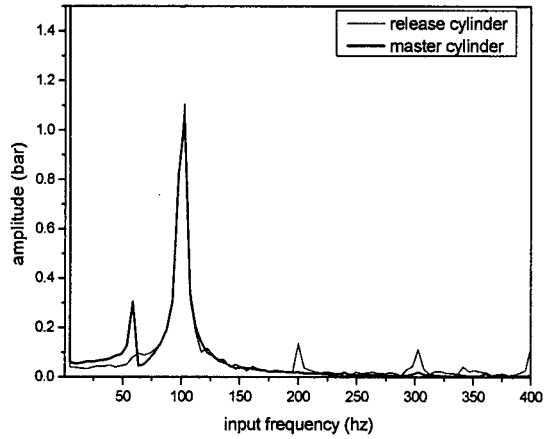


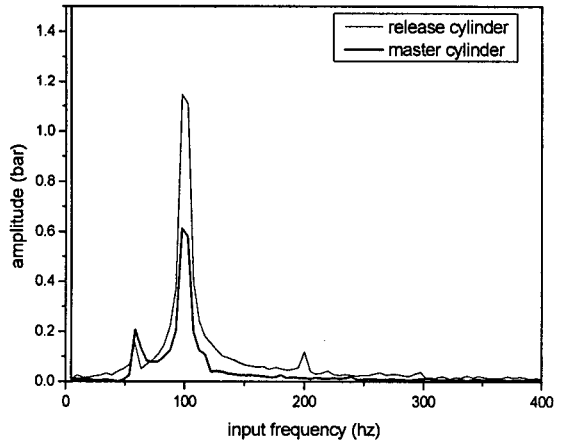
Fig. 12 Pressure pulsation ratio for the various input frequency

Fig. 13은 100Hz 입력을 가했을 경우의 압력맥

동파형에 대한 주파수특성 분석 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 댐퍼실린더를 장착한 경우가 댐퍼실린더를 장착하지 않은 경우에 비해 입력주파수(100Hz) 성분에 대한 감쇄효과가 높음을 확인할 수 있다.



(a) The result without damper cylinder

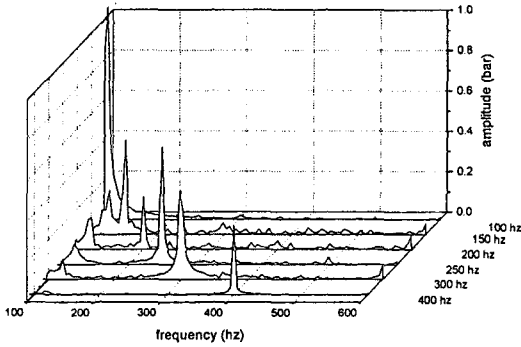


(b) The result with damper cylinder

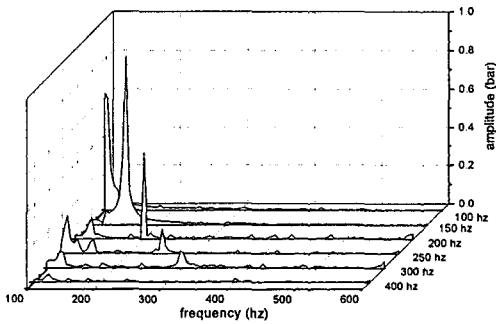
Fig. 13 Frequency analysis results of clutch system pressure pulsation for the 100Hz input

Fig. 14는 각 입력주파수에 대하여, 댐퍼실린더를 장착한 경우와 장착하지 않은 경우에 대한 마스터실린더 압력변동의 주파수응답특성을 전체적으로 나타내고 있다. 그림에서와 같이 댐퍼실린더를 장착한 경우는 저주파수 입력을 포함한 전반적인 입력에 대하여 감쇄효과가 큼을 알 수 있다. 특히

진폭이 큰 100Hz 근방의 저주파수영역에서의 압력 맥동저감 특성이 우수함을 확인할 수 있다.



(a) The result without damper cylinder



(b) The result with damper cylinder

Fig. 14 Frequency analysis results of the master cylinder pressure pulsation with the variation of input frequency

5. 결론

본 논문에서는 엔진의 진동에 의한 클러치 조작 기구의 압력맥동 저감을 위하여 사용되는 댐퍼실린더에 의한 압력맥동 저감효과를 분석하기 위하여 실험 장치를 구성하고 다양한 입력주파수에 대한 유압 클러치 시스템의 성능을 연구하였다.

실험결과, 댐퍼실린더는 전체 주파수영역에서 대체로 감쇄효과를 발휘하지만 특히 저주파수 입력에 대한 압력감쇄 효과가 우수하였다. 저주파수영역은 압력맥동의 진폭이 큰 부분으로서 특히 운전자의 페달 감각에 많은 영향을 미치는 부분이다. 따라서 유압 클러치시스템의 설계 시 중요한 지침

이 된다고 하겠다. 따라서 본 연구를 통하여 유압 클러치시스템 설계에 대한 보다 체계적인 이론을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Lee, I. Y., "High Speed Computing Method of Unsteady Laminar Pipe Flow by Characteristics Method," KSMME, Vol. 14, No. 1, pp. 20-27, 1990.
2. Lee, J. C., "An Investigation into the State-Space Model for a Hydraulic Attenuator," Journal of the KSPE, Vol. 19, No. 5, pp. 168-175, 2002.
3. Kim, D. T. and Lee, J. M., "Attenuation Characteristics of Fluid-Borne Pressure Ripple in Automotive Power Steering Hydraulic Hoses," Journal of the KSMTE, Vol. 7, No. 3, pp. 22-28, 1998.
4. Lee, J. C., Jeong, Y. S. and Kim, J. H., "Development of performance Analysis Program for a Hydraulic Shimmy Damper of Steering System," Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 174-183, 2004.
5. Lee, B. S., "Friction Characteristics of an Hydraulic Cylinder for an Automotive Manual Clutch," Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 4, pp. 32-38, 2006.
6. Hastings, M. C. and Chen, C., "Analysis of Tuning Cables for Reduction of Fluidborne Noise in Automotive Power Steering Hydraulic Lines," SAE paper No. 931295, pp. 277-282, 1993.
7. Nagata, S., "Simulation of Resonator Hose," Proceedings of 2nd JHPS International Symposium on Fluid Power, pp. 219-132, 1993.
8. Per, L., "Flow Ripple Reduction in Hydrostatic Transmission by means of Fluid Power Attenuators," Proceedings of 2nd JHPS International Symposium on Fluid Power, pp. 341-348, 1993.