◎ 논 문

고주파 유압시스템의 주파수 특성과 축압기 효과의 실험적 연구

박남은* · 김재수** · 김양수* · 김종록** · 노형운*** · 전승배**** · 나홍철****

Research for the Effect of Accumulator and the High Frequency-Hydraulic System of Frequency Characteristics by Experimental Method

Nam-Eun Park*, Jae-Soo Kim**, Yang-Soo Kim*, Jong-Rok Kim*, Hyung-Woon Rho***, Seung-Bae Jeon****, Hong-Chul Na****

Key Words: Accumulator(축압기), Actuator(액츄에이터), High Frequency(고주파), Hydraulic System(유압시스템), Pressure Fluctuations(압력 맥동)

ABSTRACT

Characteristics of the high frequency pulsatile flow have been investigated experimentally to understand the flow phenomena in the hydraulic system. One axis fatigue test bed, which is widely used for automobile field test, is used. Four pressure transducers, an amplifier and a A/D convertor are used to obtain the high frequency pulsatile pressure waveform in hydraulic system. The characteristics of frequency are analyzed by power spectrum method. According to the variations of pump input pressure and actuator acceleration frequency, the pressure is measured with or without an accumulator. The amplitude of pressure with accumulator is very lower than those without accumulator due to absorbing function of accumulator. As the frequency of actuator acceleration is increased, the effect of accumulator become very important to decrease the amplitude of pulsatile pressure waveform with high frequencies.

1. 서 론

최근에 들어와서 유압 시스템의 사용 범위가 여러 분야로 확대되고 있다. 종래에는 주로 산업기계 구동용으로만 사용되었으나, 근래에는 승용차, 홈 엘리베이터와 같은 인간의 편의 시설에서 활용 등으로 용도가 매우 다양화되고 있다[1]. 이러한 유압 시스템은 동력을 전달하는 복잡한 관로계에서 피스톤 왕복 운동 때문에 압력 맥동이 발생한다. 특히 유압시스템에서 동력을 전달하는 방법은 크고 작은 관로에 의해 방향, 크기, 위치 등을 조절하고 있다. 유압장치에서 동력을 전달하는 관로는 유압모터, 유압실린더 등과 같은 왕복운동 기구와 연결되어 있으므로, 비정상유동에서의 주파

* 조선대학교 항공조선공학부 대학원
** 조선대학교 항공조선공학부
*** 인천전문대 기계과
**** (주)정광기공
책임저자 E-mail : jsckim@mail.chosun.ac.kr

수 특성에 대한 해석이 중요한 문제가 되고 있다[2].

유압기계의 설계나 유압기계의 정확한 운전을 위해서는 시스템 내의 동특성 해석은 물론이고, 각종 유압요소의 유동특성을 정확히 해석되어야 한다[3,4]. 고주파 유압 시스템의 대표적인 예로 피로 시험기를 들 수 있다. 이런 유압 시스템은 여러 형태의 가진을 주어야 하므로 시스템 내에 여러 형태의 주파수 특성이 나타난다. 저 주파수 장치의 핵심부품에 대한 안정에 대한 보장은 밸브 등으로 보장받을 수 있으나, 고주파수 대의 장치들은 축압기 (Accumulator; 이후 ACC))를 사용하고 있으며, 거의 수입에 의존하고 있는 형편이다. 이 축압기는 pump system, hydraulic system 및 제지기계 등 화학기계에서 유체의 흐름이나 압력을 일정하게 하는 장치로서[5] 지금까지 가장 널리 사용되어 온 축압기는 고무 블래더 (rubber bladder)형이며, 그 밖에 다이어프램형, 피스톤형, 벨로스형이 있으며, 압력맥동감쇠의 목적으로 사용가능한 것은 고무 블래더와 다이어프램형이며, 피스톤형은 피스톤-실린더 사이의 과도한 마찰저항 때문에 고주파수 영역에서 응답성이 떨어져 맥동 저감 목적으로 사용이 불가능하다.

일종의 Energy 저장장치인 축압기의 역할은 유량의 보조원으로 펌프에서 공급되는 유량이 순간적으로 적은 경우 그 부족한 유량을 축압기에서 보충해주는 역할과 압력의 유지 그리고 서지압의 흡수로 부하가 맥동하는 경우 또는 밸브를 급히 개폐하면 배관내에의 서지압을 흡수하는 역할을 한다[6,7].

현재까지의 기술로는 위의 내용과 같이 출구단자에 축압기를 설치하여 맥동 압력과 충격파 (shock wave)를 감쇠시키고 있으나, 고주파 파형이 간단하지 않고 매우 복잡한 주파수 특성을 나타내고 그 형태 또한 일정치가 않기 때문에 축압기로는 모든 고주파 맥동 압력 및 충격파를 제어하기는 어렵다. 또한, 유압관로내 압력맥동현상을 해석하기 위해서는 펌프의 시방, 관로의 길이, 직경 등 여러 가지 인자들을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 위의 고려사항을 고려하여 제작된 자동차 시험기인 1축제어용 피로시험기를 이용하였다. 서보 모터와 기계적 방법으로 복잡한 압력 가진을 하고, 그로 인해 가진 된 파형을 실린더를 통하여 출력단자인 펌프나 유압탱크로 고주파 맥동 압력파를 발생시켜, 유압 시스템내의 고주파 맥동 압력파를 분석하고, 축압기에 따른 그 감쇠효과와 성능 분석을 함으로써, 고주파 유압시스템내의 축압기의 영향을 살펴보고자 하였다.

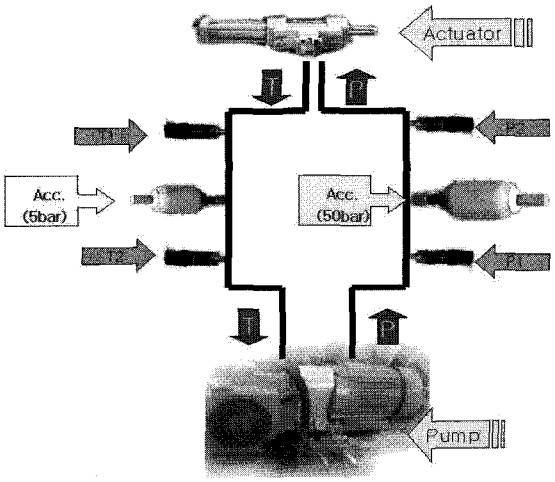


Fig. 1 Schematic diagram of 1-axis fatigue tester

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같고, 시스템의 작동순서는 펌프에서 나온 작동유가 공급라인 (이하 P라인)를 타고 P1 센서를 지나 설정압력 50 bar짜리 축압기를거쳐 P2의 센서를 지나 엑츄에이터 (Actuator; 이후 ACT)로 들어가 리턴라인 (이하 T라인)으로 나와 T1의 센서를 지나 설정압력 5 bar짜리 축압기를 거쳐 T2의 센서를 지나 다시 펌프로 들어오는 구조를 가지고 있으며, 펌프와 압력센서, 축압기, 엑츄에이터의 거리는 각각 약 30cm의 길이를 갖으며, 유압관은 25mm의 내경을 갖는 고무관을 사용하였다.

피로시험기 충격파 분석 장치의 각 구성품으로는 Hyundai OLAER의 BN 350-1A 타입, 두 개의 축압기 (50 bar, 5 bar), 4개의 압력센서 (Allsensor사 P200 series)가 P라인과 T라인 축압기 전후로 각각 두 개씩 삽입되었으며, 서보밸브로 조절되는 액츄에이터 (JKCA-1), 가진의 입력을 위한 function generator가 있으며 본 실험에서 사인파로 진폭 ±2 V로 10, 15, 20 Hz로 조정하여 실험하였다. 펌프는 사판식 피스톤 펌프 (Yuken A37 Type, 37 cm^3/rev)를 사용하였고 15 kw, 1,150 rpm 형식의 모터 (현대 중공업)를 이용하였다.

2.2 실험 방법 및 과정

축압기의 효과를 보기 위해 축압기의 사용 여부를

Table 1 Case by with or without ACC

	Accumulator(50bar)	Accumulator(5bar)
case 1	Use	Use
case 2	Use	×
case 3	×	Use
case 4	×	×

Table 1과 같이 각각의 case를 정하여 축압기 사용 여부에 따른 결과를 측정하였다. 펌프의 압력은 60 bar, 70 bar, 80 bar, 100 bar에서 수행되었으며, 가진의 주파수는 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz에서 측정되었고, 펌프의 유량은 모든 경우에 동일한 조건 (37 cm^3/rev)으로 수행되었다.

데이터 획득 및 처리 방법은 4개의 센서로 입력된 압력맥동을 amplifier를 통하여 A/D컨버터로 입력하여전기신호를 디지털화하고, PC로 입력된 신호를 CEMTOOL를 사용하여 Fig. 2(b)에서와 같이 처리모듈을 작성하여 Fig. 2(a)에서와 같이 신호를 입력받고, Fig. 2(d)와 같이 주파수 분석을 수행하였다. 또한 신호의 정확도를 알기 위해 Fig. 2(c)와 같이 오실로스코프를 통하여 실험 동안에 재확인하였다.

3. 결과 및 검토

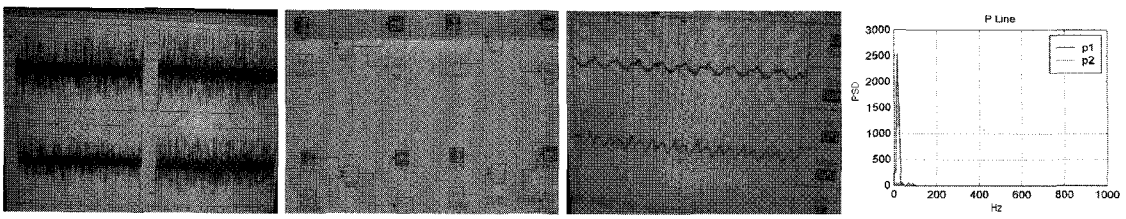
3.1 가진이 없을 때 축압기의 영향

먼저 유압시스템내 펌프 압력 70 bar일 때 가진이 없을 때 축압기의 영향을 살펴보았을 때의 결과는 Fig. 3과 같다. 결과 분석을 쉽게 하기 위하여 Table 1과 같이 ACC를 중복 사용하지 않고, P라인쪽의 50 bar ACC에 따라서 P라인의 결과 (case 2)를 분석하고, T라인 쪽의 5 bar ACC에 따라서 T라인 쪽의 결과 (case 3)를 분석하였다.

Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)과 같이 P라인에서의 50 bar ACC의 사용여부에 따른 결과를 살펴보면, ACC를 두개를 전부 사용하였을 때, 320 Hz과 190Hz의 주파수를 갖는 압력 맥동이 발생되었다는 것이다. Fig. 3(a)와 (b)에서 나타난 압력 맥동파의 190Hz의 주파수는 펌프의 1,150 rpm과 10개의 실린더를 갖는 펌프의 고유주

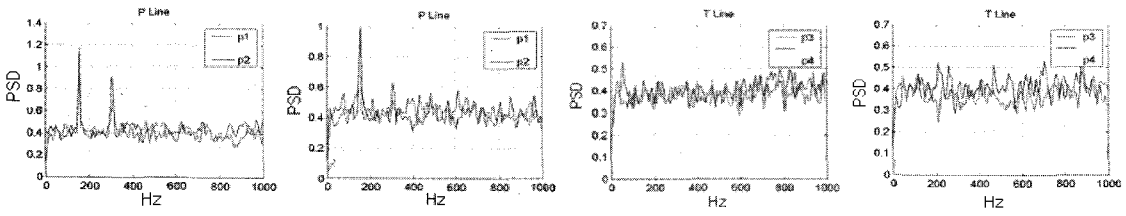
파이고, 320Hz는 축압기의 특성으로 190Hz의 주파수이다. 결국 압력이 많이 걸리는 P라인에 맥동특성을 보면 축압기를 사용한 경우가 축압기를 사용하지 않은 경우보다도 비교적 고주파수영역 (500~1,000Hz)에서 깨끗한 파형을 얻을 수 있었고, 축압기의 덕택으로 190Hz의 펌프 고유주파수를 320Hz로 분산시키는 것을 판단되어진다. 또한, T라인의 축압기설치여부는 (a)와 (b)를 비교하여 본 결과 미미한 것으로 판단되어진다. 그리고 Fig. 3(c)와 (d)에서 볼 수 있듯이 T라인의 맥동특성은 축압기를 사용하지 않은 경우나 사용한 경우는 별로 맥동주파수를 줄일 수 없음을 알 수 있었다.

ACC의 사용 여부에 따른 영향을 가진이 없는 경우에 살펴보기 위하여 Fig. 4와 같이 P라인에서의 case별 주파수 진폭을 비교 분석하였다. Y축은 네경우의



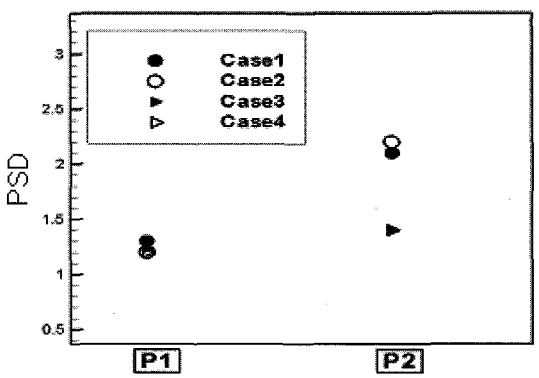
(a) Data acquisition (b) DSP Input module (c) Oscilloscope (d) Frequency analysis

Fig. 2 Data acquisition and post processing

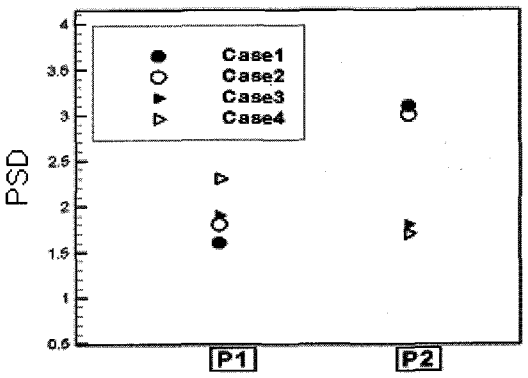


(a) P line frequency (case 2) (b) P line frequency (case 3) (c) T line frequency (case 2) (d) T line frequency (case 3)

Fig. 3 Frequency characteristics with and without Acc

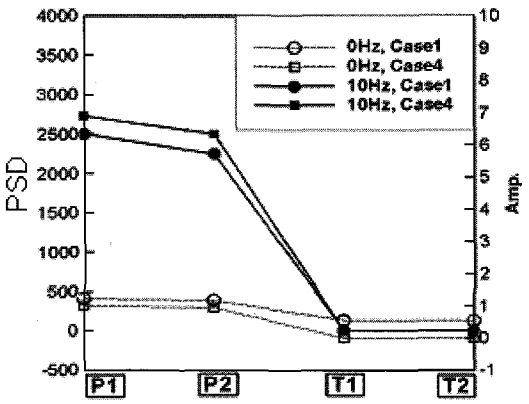


(a) 80 bar, No ACT.

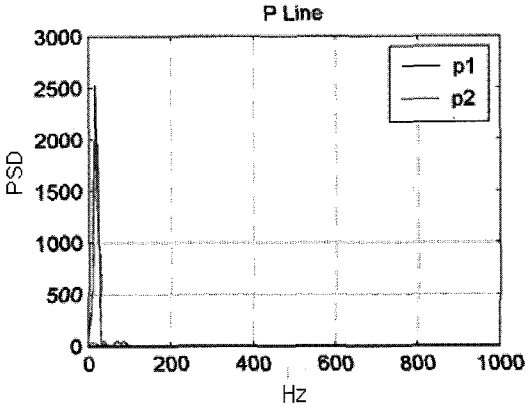


(b) 100 bar, No ACT.

Fig. 4 P line frequency by case



(a) 0 Hz or 10 Hz act.



(b) Frequency by Act (10 Hz, 60 bar, case 4)

Fig. 5 Frequency charateristics when pulsation by Act

맥동주파수에서 펌프의 고유주파수인 190Hz일 때의 피크 값을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 펌프의 압력이 80 bar일 때나 100 bar일 때 그 경향은 큰 차이가 없이 P2에서 190 Hz를 갖는 압력 맥동을 크게 잡을 수 있다. 이는 압력 맥동이 펌프를 나와서 P1을 지나고 50 bar의 ACC를 지나서 P2에 이르는 시스템의 구조를 생각해 볼 때, P2의 압력 맥동이 감쇠되는 것으로 추측할 수 있으나 결과적으로는 오히려 P2의 압력 맥동이 더 크게 나옴을 볼 수 있었다. 그러나 Fig. 3의 (a), (b)에서 나타난 전체 주파수의 특징을 보면 여러 주파수의 peak 성분을 볼 수 있고 다른 주파수영역에서 보다 190 Hz와 320 Hz대의 주파수가 조금 더 크게 나타났지만 그 크기의 차는 작음을 알 수 있다. 즉 50 bar의 ACC을 선정하였을 때 펌프의 압력이 적은 경우에는 시스템에서 발생되는 압력 맥동에는 별 영향이 없고, 약간의 주파수 분산 효과가 있음을 볼 수 있었다. 따라서 가진이 없을 경우 ACC의 사용여부에 따른 결과를 정확히 파악하기 어렵다. 따라서 유압시스템에서 발생되는 맥동주파수 성분을 정확히 파악하기 위해서는 실제 상황처럼 가진이 있는 경우로 판단하여야만 한다.

3.2 액츄에이터 가진의 영향

3.2.1 액츄에이터의 가진 유무에 따른 결과

가진이 없는 경우는 축압기의 성능을 제대로 평가하기 어려움을 알았다. 따라서 Fig. 5와 같이 ACT의 가진 유무에 따른 결과를 분석하였다. 이를 위하여 Fig. 5의 (a)는 펌프의 압력이 60 bar일 경우 Fig. 5와 같이 ACT의 가진이 없는 경우와 10 Hz의 가진이 있

는 경우를 먼저 나타내었다.

Fig. 5(a)와 같이 P1과 P2에서 가진에 따른 결과를 보면 ACT가 0 Hz (가진이 없는 경우)인 경우 축압기를 사용하지 않아도 맥동주파수는 작게 나타나고 있으나 10 Hz의 가진이 있는 경우는 맥동충격파로 불릴 만큼 큰 주파수 진폭을 나타냄을 볼 수 있다. Fig. 5(a)에서 10 Hz의 가진이 주어졌을 때 case 1과 case 4를 비교해 보면 ACT를 사용한 case 1이 약간의 압력 맥동 감쇠를 보여주고 있음으로 축압기의 영향이 고려되었음을 볼 수 있었다. 이를 정확하게 판단하기 위하여 Fig. 5(b)와 같이 주파수 해석을 하였다. Fig. 5(b)는 10 Hz의 가진이 있을 때 ACC가 없는 case 4 경우의 압력 맥동 주파수 분포이다. 그림에서 보듯이 기존 펌프의 고유 주파수인 190Hz때의 주파수는 거의 사라졌고, 가진 주파수인 10 Hz가 크게 나타났다. 또한 ACC가 없음으로 인하여서 P1과 P2의 특성 값이 같음을 볼 수 있다. 피로 시험기에 일정 주파수를 갖는 부하가 걸린 경우에 그 부하의 주파수영역이 시스템 전체를 좌우하는 것을 알 수 있다.

3.2.2 공급 압력과 축압기 효과

모든 유압시스템은 일정 압력 범위와 고유 가진 주파수를 갖는다. 따라서 펌프의 압력이 시스템에 어떤 영향을 미치는 가를 알아보기 위하여 Fig. 6에서 압력과 가진 주파수에 따른 각 센서별 최대 PSD (power sperctrum density)값을 비교하였다.

먼저, Fig. 6(a)와 (b)에서의 결과를 보면, Fig. 6(b)의 경우, 펌프의 압력이 100 bar일 때는 50 bar ACC의 사용 여부가 압력 맥동 진폭에 수 백배의 영향을 줌을 확인할 수 있었으나, 60 bar인 경우(Fig. 6(a))에는 그 영향은 약간의 차이만이 발생됨을 볼 수 있다. 이것은 가진 주파수가 15 Hz일 때도 같은 결과를 나타내며, 펌프 압력이 60 bar일 경우에 50 bar ACC의 사용이 큰 실효를 거두지 못했기 때문이다. 즉, Fig. 6(b)에서 보듯이 펌프압력이 축압기의 설정압력보다 높을 때 축압기를 사용한다면 case 1과 case2에서 맥동저감효과를 볼 수 있다. 이는 ACC의 설정 압력보다 펌프의 공급 압력 즉 작동압력이 큰 경우에는 축압기의 큰 효과를 볼 수 있음을 나타낸다.

Fig. 6(b), (d)와 (f)와 같이 펌프압력이 100bar일 때 가진 주파수를 10Hz에서 20Hz로 증가시켜보았다. 가진 주파수를 증가시킴으로 전체적으로 축압기의 효과를 확연히 볼 수 있다. 이는 ACT에 +2~-2 V, 20 Hz 가진시 주파수에 상관없이 동일하게 ACT에 가진 전압의 진폭 값을 줌으로서 실제 ACT의 진폭이 가진 속도가 빨라짐으로써 그 변위가 감소되고, 그로 인하여서, 압력 맥동의 주파수는 가진과 같이 높아지나 그 진폭이 줄어든 결과를 보였다.

또한, 가진주파수를 부가시 ACC를 사용했을 경우에는 P1의 압력 맥동이 P2 보다 작음을 볼 수 있는데, 이는 ACT의 가진 맥동파가 P2를 지나 50 bar ACC를 통과하여 P2를 지나기 때문에, P1에서 ACC를 통과한 압력 맥동만 감소되기 때문이다. 그러나 가진 주파수가 낮은 Fig. 6(b)에서는 P1과 P2에서 동일하게 압력 맥동을 감소시킴을 알 수 있었다.

즉, 낮은 주파수 영역 즉 10 Hz이상일 때와 펌프의 압력이 ACC의 설정 압력보다 높은 경우에는 시스템 전반에 걸쳐 ACC가 효과를 발휘함을 볼 수 있고, 펌프의 공급 압력이 낮은 경우, 즉 시스템의 작동 압력이 낮은 경우에는 그 효과가 작음을 볼 수 있었다.

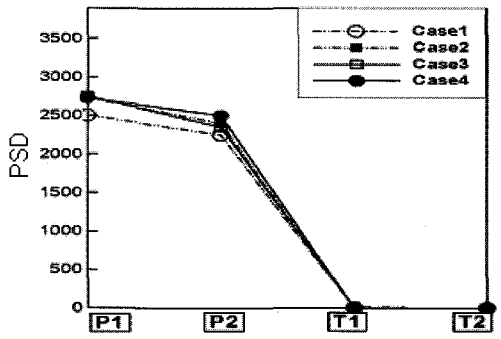
3.2.3 가진 주파수에 따른 축압기의 효과

Fig. 7에서는 펌프의 압력이 100 bar일 때, 가진 주파수에 따른 축압기 사용 유무에 따른 결과를 좀 더 자세히 비교 분석하였다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 50 bar ACC를 사용한 case 1는 축압기의 작동으로, 축압기를 사용하지 않은 경우인 case 4에 비해 압력 맥동파가 매우 작음을 볼 수 있었다. 축압기를 사용함으로써 시스템내에 나타난 고주파수 성분을 10배 이상 감쇠 시켜 줌을 알 수 있다.

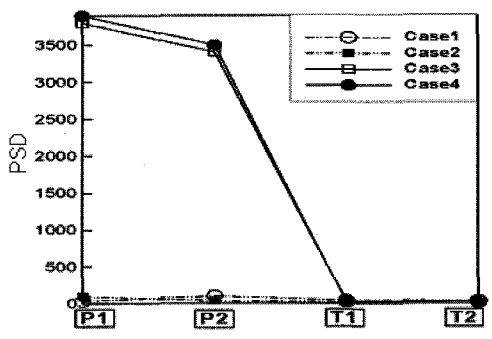
4. 결 론

축압기 변화에 따른 고주파 유압시스템의 특성변화를 실험적으로 고찰한 결과는 다음과 같다. 액츄에이터에서의 가진이 없는 경우 축압기를 사용하지 않아도 시스템에 별 영향이 없었다. 그러나 축압기를 사용함으로써 주파수특성을 분산시킴을 확인하였다.

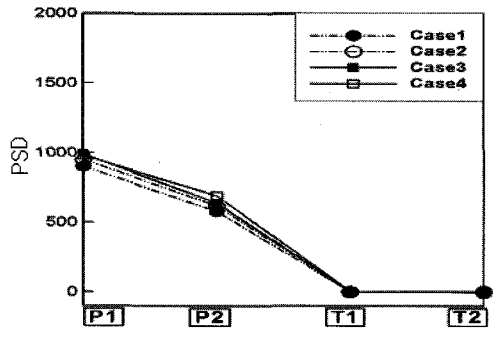
축압기의 설정압력과 펌프의 입구 압력이 유사한 경우에는 축압기의 효과를 거의 볼 수 없음을 확인하였다. 그리고 가진이 있는 경우 축압기를 사용한 경우에는 공급라인에서 나타나는 고주파성분을 크게 잡아 줄 수 있었으며, 축압기 설정압력과 시스템 작동 압력이 압력 맥동 감쇠에 큰 영향을 줌을 알 수 있었다.



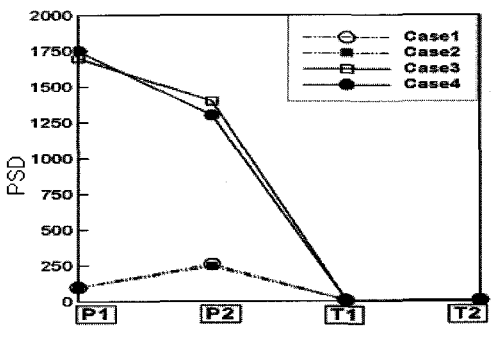
(a) 60 bar, 10 Hz ACT



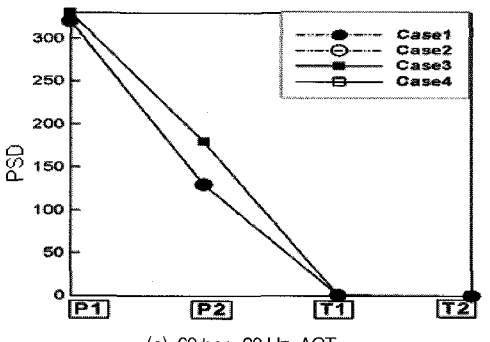
(b) 100 bar, 10 Hz ACT



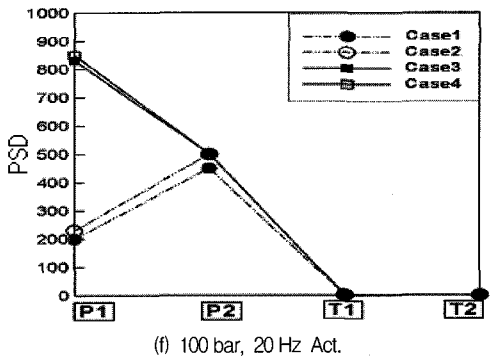
(c) 60 bar, 15 Hz ACT



(d) 100 bar, 15 Hz ACT

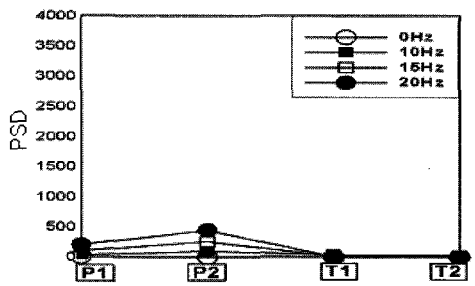


(e) 60 bar, 20 Hz ACT

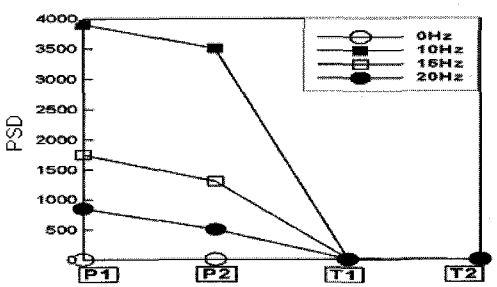


(f) 100 bar, 20 Hz Act.

Fig. 6 Frequency by pump pressure and ACC



(a) case 1



(b) case 4

Fig. 7 Frequency by actuation

참고문헌

(1) Lee, I. Y., Song, S. H., Jung, Y. G. and Yang, K. W., 1998, "Development of Analyzing Method for Pressure Fluctuations in Oil Hydraulic Pipe Network Including Flexible Hose Element," Journal of the Korean Society for Power System Engineering. Vol. 2, No. 1, pp. 45~51.

(2) Na, G. D., Mo, Y. Y., Yoo, Y. T., Joung, J. C., Kim, J. H., 1998, "A Study on the Frequency Response Characteristics of a Laminar Pulsating Flow in a Pipe" Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 26, No. 8.

(3) Young, T. Y., Na, G. D., Kim, J. H., 2002, "A Characteristics of Pressure Propagation According to Frequency Changes in a Hydraulic Pipeline," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers. Vol. 11, No. 2, pp. 71~79.

(4) Yum, M. O., 1982, "Characteristic Experiment of Tilting Check Valve for Nuclear Power Plant(Ⅱ)," The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 22, No. 6, pp. 803~812.

(5) Miller, J. E., 1987, *The Reciprocating Pump,* Wiley-interscience.

(6) Young, H. Y., 1996, "Study on Polytropic Processes for Pulsations of an Accumulator," Journal of Institute of Industrial Technology of Chang-Won Univ. Vol 10, pp. 239-249.

(7) Wylie, E. B., 1993, *Fluid Transients in System,* Prentice-hall.