

유압관로의 비정상유동에 따른 임피던스 전달특성

모양우*, 유영태⁺, 나기대⁺⁺, 김지환⁺⁺⁺

(논문접수일 2004. 2. 4, 심사완료일 2004. 8. 3.)

A Characteristics of Impedance Propagation by the Unsteady Flow in a Hydraulic Pipeline

Yang-Woo Mo*, Young-Tae Yoo⁺, Gee-Dae Na⁺⁺, Ji-Hwan Kim⁺⁺⁺

Abstract

Design for quite operation of fluid power system requires the understanding of noise and vibration characteristics of the system. This paper presents a dynamic response of design of hydraulic circuit. Experimental investigations on the attenuation of pressure ripple in automotive power steering hydraulic pipe line is examined. Also, a mathematical model of hydraulic pipe is proposed to support a design of the hydraulic circuit. and the impedance characteristics of pressure ripple is analyzed. It is experimentally shown that power steering hydraulic pipe attenuates pressure ripple with high frequency.

Key Words : Fluid Power Systems(유압시스템), Hydraulic Pipeline Dynamics (유압관로의 동특성), Pressure Measurement(압력계측)
Unsteady Flow(비정상유동)

1. 서론

유압 시스템은 현대의 생산 플랜트와 제조 설비외에 공작기계, 선박, 산업기계, 자동차, 비행기 등 많은 분야에서 동력을 제어하는 데 이용되고 있다. 특히 비행기 내의 유압 시스템은 다른 어떤 곳보다도 안전도가 중요하기 때문에 높은 신뢰성이 요구된다. 그러므로 유압기계의 설계나 유압기계의 정확한 운전을 위해서는 시스템 내의 동특성 해석은 물론이고, 각종 유압요소내의 유동특성을 정확히 해

석할 필요가 있다^(1,5). 이는 시스템을 구성하는 연결 관내의 유동해석 뿐만 아니라 유체 제어장치의 전체 효율 및 안정성, 경제성 산출 등을 위해, 각 요소내에 여러 형태로 유동하는 국소 유로에 대한 유동의 동적 유동 해석이 필요하다. 그러나 유압요소의 반복운동 영향 때문에 유동형태도 매우 복잡하여 이론적 접근이 쉽지 않다. 유압 관로를 이용하여 유압기계를 제어할 경우에는 이 진동수에 따른 정확한 유량과 에너지 전달현상을 연구해야만 오작동을 제거할 수 있다^(2,4). 유체기계와 유압기계에 포함되어 있는

* 조선대학교 기계공학과 (ywmo@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

+ 조선대 기전공학과

++ 조선대 정보기계공학과

+++ 국회과학기술정보통신위

관로계, 동력전달 관로에서의 맥동유동은 동력발생원의 내부 임피던스(impedance) 및 부하 임피던스와 상호 작용을 하여 복잡한 형태의 유체전파소음을 발생시킨다^(3,6,7) 그리고 유압시스템에 전파되어 구조 진파진동과, 관로내의 작동 유중에 전파되는 유체전파진동의 형태로 전달되어 소음 진동을 발생시킨다⁽³⁾. 이러한 유체전파 소음은 유압시스템의 정확한 동작과 기기 및 시스템의 신뢰성 그리고 제어성능을 저하 시킨다⁽⁸⁾. 본 연구에서는 유압시스템의 저소음화와 정확한 동력전달 메커니즘을 규명하기 위해 동력전달 관로계 내의 맥동주파수 분석을 통해 유체전파 소음의 발생 메커니즘을 규명하고, 저소음 유압시스템 설계의 기초 자료를 얻고자 한다.

2. 이론 해석

관로계의 유동영역에서 시간과 온도에 따라 변화하는 비정상유동의 동특성을 해석하기 위해 관로의 물리적 모델을 제시하고 임피던스(impedance)의 이론해석을 하였다. 관로에서 평균압력과 유량을 각각 \bar{P} , \bar{Q} 라 하고 $Z(s)$ 를 직렬임피던스(serial impedance), $Y(s)$ 를 차단 어드미턴스(shunt admittance)라 할 때 관로의 임의의 위치에서 유량과 압력은 다음과 같은 식으로 정리할 수 있다⁽⁸⁾.

$$\frac{\partial \bar{P}}{\partial x} = -Z(s) \bar{Q} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{Q}}{\partial x} = -Y(s) \bar{P} \quad (2)$$

여기에서 직렬 임피던스 $Z(s)$ 와 차단 어드미턴스 $Y(s)$ 는 다음과 같다.

$$Z(s) = L_h s + R_h \quad (3)$$

$$Y(s) = C_h s \quad (4)$$

이 때, s 는 라플라스(Laplace) 연산자이다. 식 (1)를 x 에 대해 미분한뒤 (2)를 대입하여 풀면 다음과 같은 파동 방정식이 된다.

$$\frac{d^2 \bar{P}}{dx^2} - \gamma^2 \bar{P} \quad (5)$$

$$\frac{d^2 \bar{Q}}{dx^2} - \gamma^2 \bar{Q} \quad (6)$$

여기에서 전파 연산자 γ 는 다음과 같다.

$$\gamma^2 = Z(s)Y(s) = C_h s(L_h s + R_h) \quad (7)$$

식 (5)와 (6)의 미분방정식의 일반해는 다음과 같다.

$$\bar{P}(x) = \bar{P}_i e^{-\gamma x} + \bar{P}_r e^{\gamma x} \quad (8)$$

$$\bar{Q}(x) = \bar{Q}_i e^{-\gamma x} + \bar{Q}_r e^{+\gamma x} \quad (9)$$

여기에서 \bar{P}_i 는 관로에서 입사파를 나타내고 \bar{P}_r 은 관로의 하단에서 되돌아오는 반사파를 나타낸다. 유압관로에서 특성임피던스 Z_c 는 다음과 같다.

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z(s)}{Y(s)}} = \sqrt{\frac{As/\beta_e}{\frac{\rho}{A} s + R_e}}$$

식 (8)과 (9)에서 유압관로의 거리 변화에 따른 임피던스는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(x) = \frac{\bar{P}(x)}{\bar{Q}(x)} = \frac{\bar{P}_i e^{-\gamma x} + \bar{P}_r e^{\gamma x}}{\bar{Q}_i e^{-\gamma x} + \bar{Q}_r e^{+\gamma x}} \quad (10)$$

여기서, $\bar{Q} = \bar{Q}_i e^{-\gamma x}$; $\bar{P} = \bar{P}_i e^{-\gamma x}$, $\bar{Q}_i = \frac{1}{Z_c} \bar{P}_i$, $\bar{Q}_r = \frac{1}{Z_c} \bar{P}_r$ 와 식(10)의 관계를 이용 정리하면 관로 거리 x 에 따른 임피던스 $Z(x)$ 와 평균압력 $\bar{P}(x)$ 과 평균유량 $\bar{Q}(x)$ 는 각각 과 같이 정리 할 수 있다.

$$Z(x) = \frac{\bar{P}(x)}{\bar{Q}(x)} = \frac{Z_c(\bar{P}_i e^{-\gamma x} + \bar{P}_r e^{\gamma x})}{\bar{P}_i e^{-\gamma x} + \bar{P}_r e^{+\gamma x}} \quad (11)$$

$$\bar{P}(x) = \bar{P}_i e^{-\gamma x} + \bar{P}_r e^{\gamma x} \quad (12)$$

$$\bar{Q}(x) = \frac{\bar{P}_i}{Z_c} e^{-\gamma x} + \frac{\bar{P}_r}{Z_c} e^{+\gamma x} \quad (13)$$

식 (11)을 식 (12), (13)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$\bar{P}(x) = \frac{\bar{P}(0)[Z_c \sinh \gamma(L-x) + Z(L) \cosh \gamma(L-x)]}{Z_c \sinh \gamma L + Z(L) \cosh \gamma L} \quad (14)$$

$$\bar{Q}(x) = \frac{\bar{P}(0)[Z_c \cosh \gamma(L-x) + Z(L) \sinh \gamma(L-x)]}{Z_c [Z_c \sinh \gamma L + Z(L) \cosh \gamma L]} \quad (15)$$

(14)과 (15)에서 관로의 임의의 위치에서 임피던스 $Z(x)$ 는 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$Z(x) = \frac{Z_c [Z_c \sinh \gamma(L-x) + Z(L) \cosh \gamma(L-x)]}{Z_c \cosh \gamma(L-x) + Z(L) \sinh \gamma(L-x)} \quad (16)$$

식 (7)에서 저항을 무시할 수 있을 때 $\gamma = j\omega\sqrt{C_h L_h}$ 이므로 $x=0$ 일때 $\overline{P(0)}$ 로 정의되고, $x=L$ 에서 밸브가 닫혀 있을 때 $\overline{Q(L)}=0$ 의 경계조건을 사용하여 정리하면 관로에서 압력비는 다음과 같다.

$$\frac{\overline{P(x)}}{\overline{P(0)}} = \frac{\cos \omega\sqrt{C_h L_h}(L-x)}{\cos \omega\sqrt{C_h L_h}L} \quad (17)$$

임피던스가 정합되기 위해서는 다음과 같다.

$$\frac{\overline{P(x)}}{\overline{P(0)}} = \frac{\sinh \gamma(L-x) + \cosh \gamma(L-x)}{\sinh \gamma L + \cosh \gamma L} = e^{-\gamma x} \quad (18)$$

식 (17)에서 관로의 길이 L 을 선택할 때

$\sqrt{C_h L_h} \omega L = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots$ 와 같이 즉 $\lambda/4$ 되게 한다면 압력은 ∞ 가 되어 공진상태가 됨을 알 수 있다. 최대 압력은 $x=L$ 에서 발생하며 다음과 같다.

$$\frac{\overline{P(x)}}{\overline{P(0)}} = \frac{1}{\cos \omega\sqrt{C_h L_h}L} \quad (19)$$

같은방법으로 정리하면 유량과 압력 및 특성임피던스와의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{\overline{Q(x)}}{\overline{P(0)}} Z_c = \frac{\sinh \gamma(L-x)}{\cosh \gamma L} \quad (20)$$

식 (17)과 (20)은 정합되지 않은 관로의 경우를 나타낸다. 정합되지 않을 경우 반사파가 발생하며 유압관로에서 입사파와 반사파가 보간간섭시켜 정제파(standing wave)를 만들어 낸다. 정합되지 않으면 유압동력 전달 효율이 떨어질 뿐 만 아니라 진동문제가 발생할 수 있다.

임피던스가 정합되기 위해서는 다음과 같다.

$$\frac{\overline{Q(x)}}{\overline{P(0)}} Z_c = e^{-\gamma x} \quad (21)$$

식 (17)에서 관로의 길이에 따른 임피던스는 다음의 식과 같다^(8,9).

$$Z(x) = Z_c \frac{\cosh [j\omega\sqrt{C_h L_h}(L-x)]}{\sinh [j\omega\sqrt{C_h L_h}(L-x)]} \quad (22)$$

3. 실험 방법

Fig. 1은 본 논문에 이용한 실험장치의 회로도이다. 정상파 압력에 제어가 가능한 임의의 주파수 성분을 발생시켜 동력전달 관로의 특성을 파악하기 위하여 실험장치는 정상파 압력을 발생시키는 장치와, 주파수 발생장치, 그리고 자료처리장치로 구성하였다. 정상파 압력을 발생시키기 위해 $400 \text{ Kg}_f/\text{cm}^2$ 의 압력발생이 가능한 플런저펌프(HAWE Co. V30D)로부터 발생하는 주파수 성분을 유압펌프의 출구 바로 앞에 축압기(BOSCH Co.)를 설치 제거하였고, 유압관로 앞에도 직렬로 2개의 축압기를 설치하여 서지(surge)압을 크게 감소 시켰다. 또한 축압기에 의해 제거되지 않는 고주파수 성분은 정류기(Rectifier)를 시험관로에 500 mm 간격으로 2개를 삽입하여 외란을 최소화하여 정상파 압력을 발생시켰다. 임의의 주파수 대역의 진동유동을 발생시키기 위하여 스피커의 원주에 정현파형의 홈을 만들어 1000 Hz 까지 주파수 제어가 가능한 진동유동 발생기를 제작하였다.

정상유동을 실험할 때에는 이 진동유동 발생기를 구동시키지 않는 상태에서 작동유가 관로 내에 흐르도록 하였다.

본 실험에서 사용된 작동유는 유압용 작동유(ISO VG46)를 작동유체로 사용하였으며, 작동유의 온도범위는 $20 \sim 60^\circ\text{C}$ 였고, 정상상태의 공급압력 $P=4000 \text{ kPa}$ 이다. 유량은 터보유량계를 이용하여 측정된 다음 기름탱크로 재순환 할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 기름탱크에 가열코일과 냉각탑을 설치하여 작동유체가 일정한 온도를 유지하도록 하였다. 순간적으로 변화하는 압력을 측정하기 위해 압력 검출기(SENSOTEC Co. AP131)를 이용해서 상류와 하류에서 동시에 압력변동을 측정했다. 관로에서 직접 압력을 측정할 수 없으므로 매니폴드를 제작하여 압력을 측정하였다.

Fig. 2는 실험에 사용한 파워스티어링용 유압파이프의 개

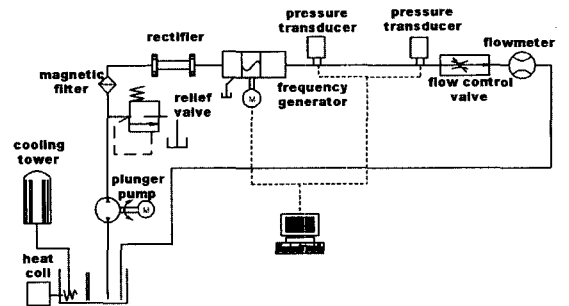


Fig. 1 Schematic diagram of dynamic response experiment

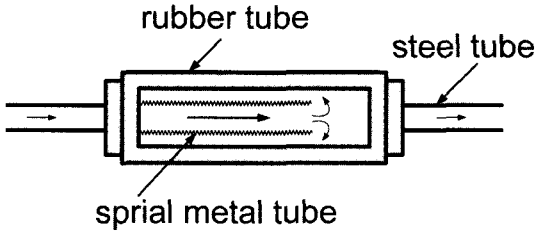


Fig. 2 Schematic diagram of hydraulic pipe in power steering system

략도이며 실제 승용차에 사용하는 것이다. 작동유의 온도 범위는 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 유지하였고, 맥동감쇠용 유압 호스의 압력맥동은 호스 입구와 출구의 매니폴드에 설치된 압력변환기로 측정하였고, 실험은 맥동감쇠용 유압호스의 입구에서 임의의 주파수를 만들기 위해 주파수 발생장치의 주파수를 10~1000Hz까지 변화시키면서 실험을 수행하였다.

4. 실험결과 및 고찰

점성을 지닌 유체가 관로내를 유동하면 점성에 의한 마찰 또는 유체의 관성력에 대한 저항등에 기인하는 임피던스가 발생한다. 이러한 임피던스 증가는 압력 손실을 포함한 많은 손실을 의미하고 이 손실을 극복하기 위해 열이 발생하게 된다. 유압관로에서 주파수가 증가함에 따라 관로벽면에서 마찰저항인 리지스텐스와 같은 임피던스가 증가하고 맥동유동의 작동유체가 가속하거나 감속하면서 유도성 임피던스가 증가한다. 이런 각종 임피던스는 유체의 동력을 전달하는 특성을 방해하는 요소로 작용한다.

유압관로에서 주파수 성분은 유압관로를 따라 점성, 마찰, 기하학적 특성에 따라 다른 속도로 전파하기 때문에 이 신호의 분산 현상이 발생하고, 손실을 겪은 작동 유체는 유압관로내에서 분산성 작동유체가 된다. 유압관로에서 신호를 가진 작동유체의 입사파가 하나의 매질에서 진행하다가 다른 특성 임피던스를 갖고 있는 다른 매질로 들어갈 때는 반사파가 발생한다. 유압관로내에 흐르는 유체가 맥동유동일 경우 맥동압력 때문에 발생하는 밀도의 변화는 맥동압력이 선단부와 후반부에 차이가 발생하기 때문이다. 두 번째 매질로 완전하게 반사파로 전달되지 않으면 입사된 유압동력의 일부는 두 번째 매질로 전달된다. 이 때 주파수에 대한 위상속도 변화가 발생하고 이것 때문에 신호의 왜곡현상인

분산(dispersion)이 발생한다. 유압회로에서는 가능한 한 임피던스의 증가를 억제해야 하고, 임피던스를 최적상태로 조절하는 것을 임피던스 정합(impedance match)이라고 한다. 임피던스가 정합되면 유압관로에서 흐르는 신호를 가진 입사파가 분산에 의해 반사파가 발생하지 않는다. 임피던스가 정합되지 않았을 때 반사파가 발생하고, 유압관로의 형상과 점성에 의한 손실이 있을 경우 파의 진폭은 감소한다. 다른 주파수 성분들이 같은 속도로 진행하더라도 감쇄되는 정도가 주파수에 따라 다르고, 왜곡현상이 생기므로 분산성 전달매질로 된다.

임피던스 정합조건을 고찰하기 위해 개방형 유압회로, 하류부에서 임피던스 $Z_L \rightarrow \infty$ 이면 유압관로의 입력임피던스가 순수하게 리액턴스(reactance) 성분이 되는 조건을 이용한다. 단락 유압회로에서 $Z_L = 0$ 는 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 의 범위가기 때문에 손실이 없는 단락 유압회로의 입력 임피던스는 γL 의 값에 따라 순수한 유도성 또는 순수한 용량성 일 수 있다. $\gamma L = \pi/2$ 또는 $L = \lambda/4$ 이면 무한 유압선로가 되고, 단락 유압회로 $\lambda/4$ 파장 전달 유압선로는 매우 좋은 개방 유압회로가 되는 조건이 되어 주파수를 분석한 다음 적절한 파장을 발생시켜 신호를 전달시키는 것이 바람직하다.

개방형 유압회로와 단락형 유압회로 조건 하에서 선로 구간의 입력 임피던스를 측정하면 유압전달회로의 특성임피던스와 전파상수를 결정할 수 있다. 유압관로의 특성임피던스에 종단된 유압선로의 입력임피던스는 유압관로의 길이에 관계없이 특성 임피던스와 같다. 무한전달 유압선로의 경우처럼 특성 임피던스로 종단된 유압회로에는 진행파만이 존재한다. 입력단에서 무한 유압관로와 정합된 유압관로에 대한 유압회로 조건은 같다. 유압전달 관로가 정합(matched)된다면 즉, $Z_L = Z_0$ 이면 $\gamma = 0$ 이고 부하에서 반사가 일어나지 않는다.

전달하는 파는 관로 벽면에서의 마찰, 점성 입자간의 충돌 등 때문에 축방향 x 와 시간에 따라 급속히 감소한다. 주어진 모드에 대해서 차단 주파수 보다 큰 주파수를 갖는 파만이 유압관로 내로 전달된다. Z_L 과 Z_0 가 같지 않을 때 정재(standing) 압력과 유량에는 최대값과 최소값이 나타난다. 많은 동력이 유압원으로부터 부하까지 전달되고 가능한 한 적은 동력이 유압관로 자체에서 손실되는 것이 바람직하기 때문에 임피던스 특성을 이론과 실험적으로 고찰한다.

Fig. 3~Fig. 5는 식 (22)를 이용하여 임피던스 특성을 나타낸 그래프 이다. 관로입구의 입력파를 기준으로 하여

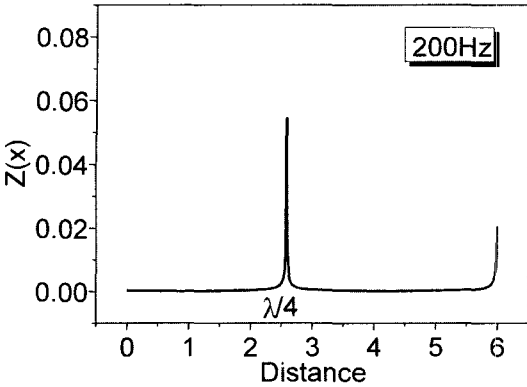


Fig. 3 Impedance Characteristics (200Hz)

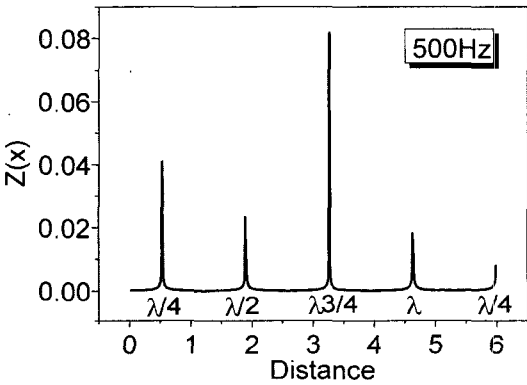


Fig. 4 Impedance Characteristics (500Hz)

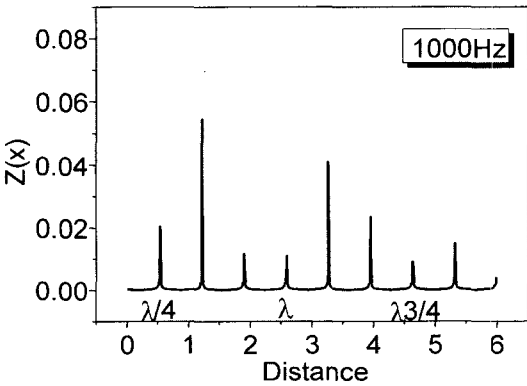


Fig. 5 Impedance Characteristics (1000Hz)

관로의 축방향으로 유체입자가 진행하면서 발생하는 임피던스의 변화를 나타내었다. 관로의 기하학적 형상을 나타내

는 관로의 체적에 대한 유효 압축계수의 비인 유체용량과 관로내에서 유동하고 있는 유체 관성력에 해당하는 유체인 덕턴스의 곱을 이용해서 나타낸 그림이다. 관로의 길이를 6m로 하고 주파수를 200Hz, 500Hz, 1000Hz 일 때 축방향으로 유체가 주기적으로 변화할 때 임피던스 값을 나타내었다. 입력주파수가 200Hz일때는 관로의 길이가 2.6m 일 때 λ/4의 파장을 나타내고 이부분에서 임피던스가 정합된다. 입력주파수가 500Hz일때는 0.54m, 1.8m, 3.2m, 4.6m 위치에서 정합이 일어나 공진현상이 발생했다 500Hz에서는 3.3m 부근에서 임피던스 값이 가장 크며, 관로계 파장(λ)의 길이가 약 4.6m 임을 예측할 수 있었다. 입력주파수 1000Hz인 경우는 0.54m, 1.3m, 1.8m, 2.6m에서 임피던스 정합이 발생했고 공진에 의한 운동량흡수는 1.3m 일 때 가장 크고 파장의 길이는 약 2.6m로 예측 되었다. 그리고 계속적으로 거리가 증가하면서 맥동압력의 밀도파에 의한 굴절률 차이에서 오는 반사파의 영향으로 흡수되는 운동량 값은 작게 나타났다.

위의 결과와 이론해석의 결과로부터 관로의 길이 L 을 선택할 때 $\sqrt{C_h L_h} \omega L = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots$ 와 같이 즉 λ/4 되게 한다면 압력은 ∞ 가 되어 공진상태가 됨을 알 수 있다. 또한 최대압력은 x=L 에서 발생하며 식 (18) 으로부터 관의 길이 L 은 $\frac{\pi}{\omega \sqrt{C_h L_h}}$ 의 정수배가 되도록 설계 하는 것이 최적의 조건이 된다.

Fig. 6 ~ Fig. 11는 파워스티어링용 유압호스를 이용하여 주파수 영역 f=10~1000Hz을 실험하여 유압호스의 입구압력과 출구압력 그리고 각각의 맥동압력에 대한 주파수 분석결과를 나타낸다. 2중관에 의한 감쇠 현상을 분석하기 위해 상류와 하류에서 압력을 측정한 결과를 살펴보면 임피던스 특성해석에서 주파수 200Hz 영역에서는 λ/4 가 나타나는 길이는 2.6m 정도 였고 λ/4 위치가 2.6m라는 의미는 본 실험조건에서 2.6m 까지는 손실이 거의 없다는 의미이다. 따라서 주파수가 200Hz 부근에서는 실험에 사용한 유압관로의 길이 0.859m 정도에서는 압력손실이 크지 않음을 알 수 있다. Fig. 6에 나타낸 계측된파형을 주파수 성분 분석을 위해 FFT를 실시한 그래프를 Fig. 7에 나타내었다. 상류와 하류 부분에서 공통으로 200Hz 부근에서 공통으로 측정값이 기록되어 고유 유동성분은 하류로 진행했다 할지라도 변화하지 않았다. 상류와 하류의 경우 압력값을 측정해 보면 이중관에서의 압력전파가 운동량 흡수 때문에 하류에서 급격하게 압력진폭이 작아졌다. 이는 이중관의 외경 부분으로 운동량이 급격하게 흡수되기 때문이다. 그러

나 운동량이 하류에서 급격하게 감소했다 할지라도 에너지 강도만 줄어들 뿐 고유 주파수는 줄어들지 않고 있음을 Fig. 7에서 확인 할수 있었다. 본 연구에서 실험한 연구 범위인 1000Hz 까지는 상류부의 압력에 비해 하류부의 압력이 크게 감소 하지만 상류부와 하류는 고유 진동 함수에 따라 유동하고 있음을 FFT 분석결과 확인 할 수 있었다. 그리고 500Hz, 1000Hz로 주파수를 증가시키면서 상류와 하류의 압력파형을 측정 한 결과를 Fig. 8~Fig. 11에 나타내었다. 실험결과에 의하면 상류부의 압력파형은 주파수가 증가하여 파장이 짧아졌다 할지라도 FFT 결과를 분석하면 주파수 성분이 나타난다. 하지만 파장이 짧아져 주파수가 증가하면, 압력파의 운동량이 관로내의 유동장에 대부분 전달되어 흡수된다. 그결과 맥동유동의 형태 보다는 난류 정상유동의 형태로 나타나며 FFT분석결과 특정 주파수가 나타나지 않고 있다. 이것은 이중관에 의한 진동흡수에 커다란 영향이 있음을 의미하며 자동차의 파워스티어링이 저속에서

는 진동을 느끼지만 고속에서는 진동의 크기를 감지를 못하는 것과 관계있는 것으로 판단된다. 따라서 실험에 사용한

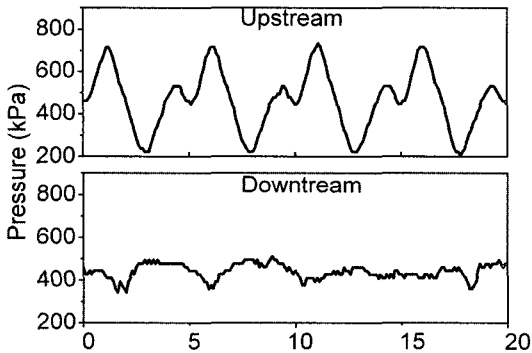


Fig. 6 Measured pressure waveforms (200Hz)

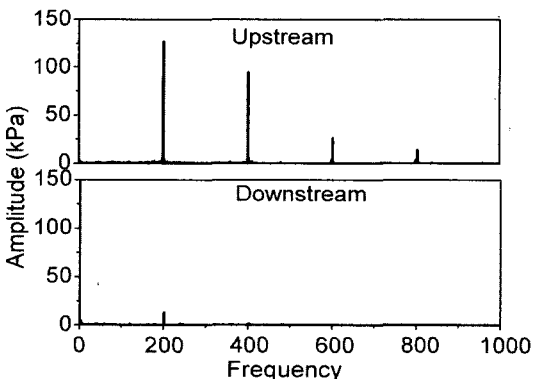


Fig. 7 Amplitude spectra of pressure ripple (200Hz)

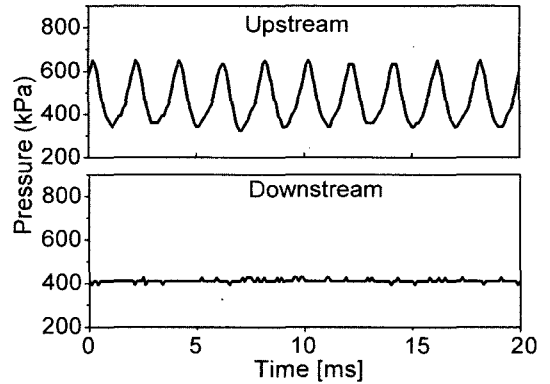


Fig. 8 Measured pressure waveforms (500Hz)

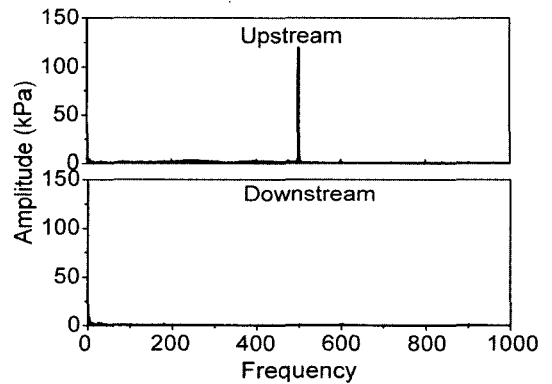


Fig. 9 Amplitude spectra of pressure ripple (500Hz)

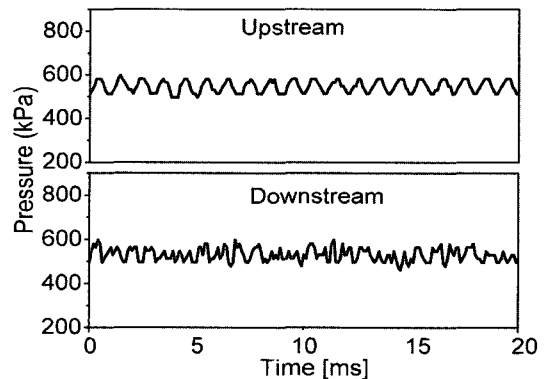


Fig. 10 Measured pressure waveforms (1000Hz)

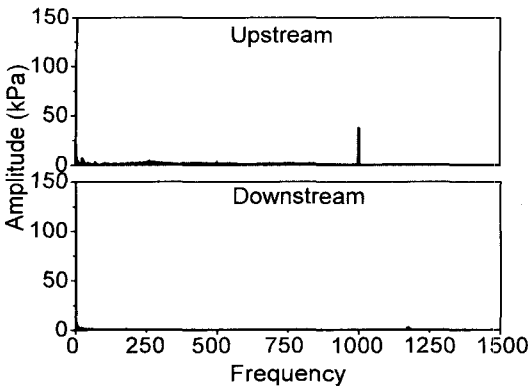


Fig. 11 Amplitude spectra of pressure ripple (1000Hz)

내경 5.6mm, 외경 21.3mm, 길이 859mm인 이중관의 경우 맥동파형이 효과적으로 감쇠되기 시작하는 주파수는 500Hz 부근임을 확인 할 수 있었으며 또한 파워스티어링의 호스내에 삽입된 금속재 스파이럴 튜브는 외측의 고무호스와 2중 관로를 형성하여, 맥동제거용 유압필터로 작용함을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

유압관로에서 주파수 변화에 따른 관로내의 임피던스를 이론과 실험을 통해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 관로의 길이 L 을 선택할 때 $\lambda/4$ 되게 한다면 압력은 ∞ 가 되어 공진상태가 되며, 관로 설계시 제시된 식 (17)을 이용하여 L 은 $\pi/\omega\sqrt{C_h L_h}L$ 의 정수배가 되도록 설계하는 것이 최적의 조건이 된다.
- (2) 파워스티어링용 파이프의 경우 고주파 영역에서는 압력 파의 운동량이 관로내의 유동장에 대부분 전달되어 흡수된다. 그결과 맥동유동의 형태 보다는 난류 정상유동의 형태로 나타나고 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 실험에 사용한 이중관이 맥동파를 제거하였음을 의미하며, 500Hz이상 고주파 영역에서 이중관은 매우 효과적인 맥동제거용 유압필터로 작용함을 확인 하였다.

기호설명

C_h : 유체용량 $C_h = A/l/\beta_e$

L_h : 유체인덕턴스 $L_h = \rho l/A$

R_h : 유체저항 $R_h = 128\mu l/\pi d^4$

s : 라플라스 연산자

γ : 전파연산자 $\gamma^2 = Z(s)Y(s) = C_h s(L_h s + R_h)$

β_e : 유효압축률

Re : 단위길이당 저항 $Re = R_h/L$

후기

- 1) 본 논문은 2002년도 조선대학교 교내연구비 지원을 받아 수행하였습니다.
- 2) 본 연구에 사용된 시험장비는 산업자원부지정 (사)부품산업테크노센터에서 제공한것임.

참고 문헌

- (1) Yokota, S., and Kim, D. T., 1995, "An Approach Extending the Potential of the Remote Measurement Method for Unsteady Flow Rate Using Hydraulic Pipeline Dynamics," *JSME International Journal Series C*, Vol. 38, No. 3, pp. 22~28.
- (2) Yum, M. O., 1998, "Characteristic Experiment of Tilting Check Valve for Nuclear Power Plant(II)," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 22, No. 6, pp. 803~812.
- (3) Kim, D. T., 1998, "Attenuation Characteristics of Fluid-Borne Pressure Ripple in Automotive Power Steering Hydraulic Hoses," *Transactions of Korean Society of Machine Tool Eng.*, Vol. 7, No. 2, pp. 22~28.
- (4) Na, G. D., You, Y. T., and Kim, J. H., 1999, "Dynamic Responce of Hydraulic Pipe Lines with a Relative Small Diameter," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 8, No. 4, pp. 38~44.
- (5) Lee, Y. T., Kim, J.H., and Kim, S. T., 2000, "A Study on the Design of Flow Control Valve Attached to Vane Pump for Power Steering," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 5, pp. 87~95.

- (6) Na, G. D., You, Y. T., and Kim, J. H., 2002, "A Characteristics of pressure Propagation According to Frequency Changes in a Hydraulic Pipeline," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 11, No. 2, pp. 71~79.
- (7) Na, G. D., You, Y. T., and Kim, J. H., 2002, "Propagation Characteristics of Pressure Pulse of Unsteady Flow in a Hydraulic Pipeline," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 26, No. 1, pp. 1~11.
- (8) Kim, J. H., Shin, Y. H., Kim, K. H., and You, Y. T., 2003, "A Study Response in a Pipeline for Design of Hydraulic Circuit," *Proceedings of the KSME 2003 spring Annual Meeting*, pp. 2024~2030.
- (9) McCloy, D., and Martin, H. R., 2000, *Control of fluid power : Analysis and Design*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New-York.