

# 유압식 자동차 동력조향장치 실내소음에 고압호스가 미치는 영향의 주파수 분석을 통한 연구

## A Study on Influence of High Pressure Hose On Automotive Power Steering Interior Noise Using Frequency Analysis

°전승경\* ·신재윤\*\* ·황호준\*\*

S.-G. Jeon , J.-Y. Shin and H.-J. Hwang

**Key Words** : Power Steering System(동력조향시스템), Pressure Ripple(압력맥동), Vehicle Interior Noise(차량실내소음), Vibration(진동)

### ABSTRACT

High pressure hose having tuning cables, called 'Resonator hose' is frequently used to attenuate pressure ripple generated by the pump for reducing the vehicle interior noise. A number of studies have been conducted on the resonator hose and its analytical models. However, there are few studies which deal with the influence of resonator hose on vehicle interior noise because the most of studies focused on transmission loss of the resonator hose. This paper presents NVH test results of power steering system and frequency analysis results. In the frequency analysis, both the relations between vibration, pressure ripple and vehicle interior noise and also the design parameters of high pressure hose influencing on vehicle interior noise were discussed. The test was done for various high pressure hose specimens in full turn condition.

### 1. 서론

자동차용 유압식 동력조향시스템(hydraulic power steering system)은 운전자가 조향휠을 조작할 때, 조향력을 경감 시키기 위한 장치로서, 승용차 및 산업용 대형 자동차에 장착되어 주정차 및 주행 시 조향휠 조작을 용이하게 하여 운전자의 피로감을 경감시켜 주며, 고속주행 시 조정 안정성을 확보하는 역할을 한다.

하지만 유압식 동력조향시스템에서 그 동력원인 베인펌프에서 토출되는 오일의 압력 및 유량은 펌프(pump)의 회전수와 조향휠(steering wheel)의 회전 정도에 따라 과도적 또는 주기적으로 변하게 되며, 맥동의 특성을 가지게 되고 이러한 베인펌프에서 생성된 유량 및 압력 맥동은 차량 실내로 전달되어 차량실내소음의 원인이 된다.

유량 및 압력 맥동현상에 의해 야기되는 진동과 소음을 저감시키는 방법으로 현재 자동차 회사에서 사용하는 방법은 고압라인의 고압호스에 금속관제 튜브(tuning cable)를 삽입하여 맥동의 위상차를 유도하고 간섭현상을 이용하여 맥동을 감쇠시

키는 방법이다. 이 때 금속관제를 삽입한 고압호스 즉, 공진호스(resonator hose)의 spec.에 따라 그 감쇠특성은 큰 차이를 나타내게 된다. 즉, 자동차의 유압 동력조향시스템 설계시 공진호스의 spec.을 최적화하여야 한다.

이를 위하여 국내외적으로 공진호스의 맥동저감 특성을 예측할 수 있는 해석모델을 개발하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이와 관련된 국외 연구로 Hastings<sup>(1)</sup>등은 공진호스의 성능 평가를 위해 전달행렬(transfer matrix)을 사용하여 이차원 점성유동 특성 및 유체와 고압호스구조의 상호작용을 고려한 유체소음해석에 관한 연구를 수행하였으며, Washio<sup>(2)</sup>등은 공진호스를 이중관로로 모델링하여 맥동특성을 연구하였다. 또한, Yu<sup>(3)</sup>등은 전달손실(transmission loss)에 기초하여 공진호스의 성능을 평가할 수 있는 실험방법을 제안하였다. 국내 연구로는 이일영<sup>(4)</sup>등이 전달행렬을 사용하여 튜닝케이블이 없는 고압호스에 대해 점탄성(viscoelastic)을 고려한 압력 맥동 감쇠 특성 해석법을 제안하였으며, 김도태<sup>(5)</sup>등은 공진호스를 분기관형 유압필터로 고려한 수학적 모델을 제안한 바 있다.

지금까지의 연구들을 살펴보면 대부분의 연구들은 유압식 동력조향장치의 고압호스에서 입출구 맥동의 이론적해석<sup>(1,2,4,5)</sup>에 중점을 두고 있으며, 호스의 성능은 호스의 전달손실(transmission loss)에 기초하여 평가하고 있다. 이러한 해석방법을 통하

\* LG 전선 전선연구소 금속재료기술그룹  
E-mail : jeonsksk@dari.cable.lg.co.kr  
Tel : (031) 450-8317, Fax : (031) 450-8361

\*\* LG 전선 기계연구소 응용열유체기술그룹

여 최적의 맥동저감성능, 즉, 전달손실이 최적인 공진호스를 사용하려는 이유는 최종적으로는 차량의 실내소음을 저감하고자 하는데 있다. 하지만 지금까지의 연구들에서는 해석결과의 검증은 대부분 고압호스 단품에 대한 맥동 실험을 통하여 수행함으로써 고압호스의 맥동저감성능과 차량실내소음의 상호 관계를 살펴볼 수는 없었다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구에서 간과되었던 유압식동력조향장치용 고압호스의 맥동저감성능과 차량실내소음의 관계를 고찰하기 위하여 실제 차량에 고압호스를 장착하여 고압호스 입출구의 압력맥동과 차량 실내소음을 동시에 측정하여 비교하였다. 이와 함께, 고압호스 내 튜닝케이블의 길이, 위치와 같은 고압호스의 기하학적 조건이 고압호스의 맥동저감 성능과 차량실내소음에 미치는 영향을 실험적으로 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시험 개요

Fig. 1은 유압식 동력조향장치의 개략도를 보여 준다. Fig. 1에서 유압펌프에서 토출되는 유체는 압력 및 유량 맥동특성을 가지며, 이는 동력조향장치에 의한 차량 실내 소음의 원인이 된다. 유압펌프에 의한 차량 실내소음의 전달 경로는 크게 액중전파, 공기전파, 고체전파의 세 가지로 볼 수 있다. 이러한 전달경로는 서로 독립적으로 분리되어 있는 것은 아니며, 서로 연결되어 다른 부품의 진동을 유발하여 또 다른 고체발생소음(structure-borne noise), 기류소음(air-borne noise)의 원인이 된다.

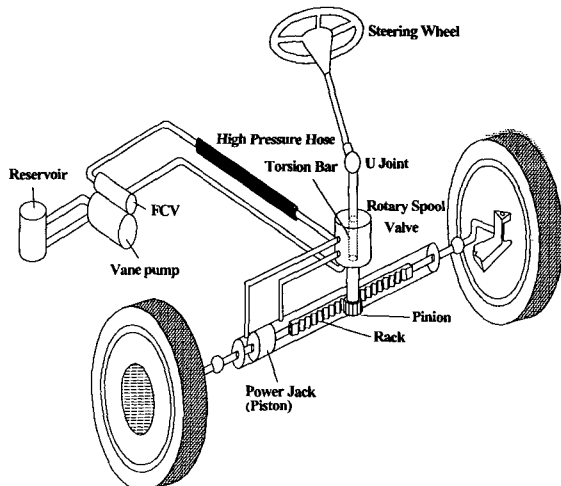


Fig. 1 A drawing of hydraulic power steering system

이러한 복잡한 동력조향장치에 의한 차량실내소음 전달 메커니즘(mechanism)에도 불구하고 동력조향장치에 의한 차량 실내소음은 주파수 분석을 통하여 차량의 다른 소음과 분리하여 생각할 수 있다. 즉, 유압펌프에서 발생하는 맥동압 주파수와 동력조향장치에 의한 차량실내 소음이 깊은 연관을 갖는 것으로 간주할 수 있다.<sup>6)</sup> 이를 기초로 본 연구에서는 부품의 진동, 유체압력맥동과 차량실내소음의 주파수 및 차수상의 관계를 가지고 동력조향장치에 의한 차량실내소음을 평가하였다.

### 2.2 시험 장치 및 시험 방법

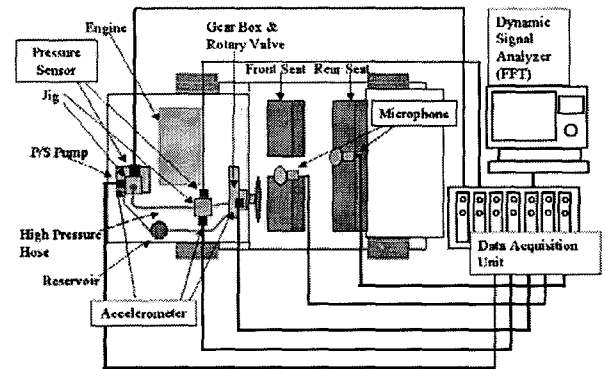


Fig. 2 Experimental set-up for NVH test

Fig. 2는 동력조향장치의 실차소음시험을 위한 시험장치의 개략도이다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 고압호스입구에서 유압펌프로부터 토출된 유체의 압력맥동과 고압호스출구에서의 압력맥동을 측정하기 위하여 호스 입/출구에 압력센서(pressure sensor)를 장착하기 위한 지그(jig)를 삽입하고 여기에 압력센서를 장착하였다. 또한, 고압호스를 따라 전달되는 진동량을 측정하기 위하여 고압호스 입구와 출구의 지그와 기어박스에 가속도센서를 부착하였다. 고압호스입구와 출구의 가속도는 지그의 유체통과 관로의 레디알(radial)방향에 대하여 측정하였다. 소음은 차량 실내 2곳에 마이크로폰(microphone)을 설치하여 측정하였다. 차량실내의 마이크로폰은 각각 운전석과 뒷자석 중앙부 탑승자의 귀의 위치를 기준으로 설치하였다.

압력센서, 가속도센서, 마이크로폰의 신호는 시험시 Multi Channel Data Acquisition Unit를 통하여 FFT 해석기로 실시간으로 입력하였으며, 이를 통하여 주파수 해석을 수행하였다. 이와 함께 압력맥동, 진동 및 소음계측 시 분위기 온도와 오일 온도 측정을 위하여 각각 고압호스 출구쪽 공간과 레저보어(reservoir)에 열전대(thermocouple)를 설치하여 온도를 측정하였다.

2.3 시험 조건

유압식동력조향시스템의 소음은 차량 주행조건에서는 노면으로타고 들어오는 각종 소음 및 엔진소음으로 인해 그 고유의 소음을 분별하기 어려우며, 소음 피크(peak)가 작아 무시할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유압식동력조향장치의 소음이 가장 분명하게 나타나는 정지(idle)상태에서 조향휠을 완전히 조타한 풀턴(full turn)조건을 기준으로 시험을 수행하였다.

2.4 시편

본 연구에서는 튜닝케이블의 길이, 위치, 호스의 길이가 다른 10종의 고압호스 시편을 제작하여 각각에 대한 차량소음 시험을 수행하였다. 각 시편의 규격은 Fig. 3 과 Table 1 에 정리한 바와 같으며, 시편은 편의상 4 가지 그룹으로 분류한다. 1 그룹은 튜닝케이블이 없는 경우, 2 그룹은 하나의 튜닝케이블을 삽입한 경우, 3 그룹은 200, 230 mm의 튜닝케이블을 삽입한 경우, 4 그룹은 130, 260 mm의 튜닝케이블을 삽입한 경우이다.

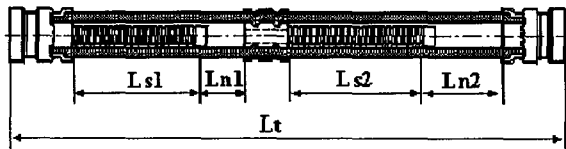


Fig. 3 High pressure hose for hydraulic power steering

Table 1 Dimensions of high pressure hose specimens

Group	Specimen Number	Ls1	Ln1	Ls2	Ln2	Lt
1	1	-	-	-	-	695
2	2	200	415	-	-	695
	3	270	345	-	-	695
	4	295	320	-	-	695
3	5	200	95	230	70	695
	6	200	75	230	100	695
	7	200	130	230	50	695
4	8	130	75	260	60	625
	9	130	75	260	135	695
	10	130	75	260	200	765

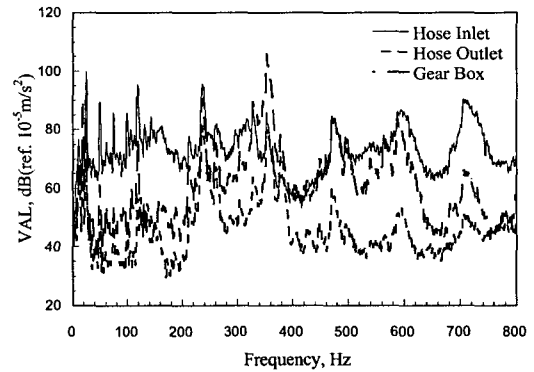
3. 실험결과 및 고찰

시험(정지/풀턴상태)시 모든 시편의 평균유압은 60~75 bar 사이에서 측정되었다. 분위기 온도는 50±10 ℃, 오일온도는 60±10 ℃ 그리고 펌프 회전수는 696~756 rpm 사이였다. 펌프 토출 유체의 맥동주파수는 펌프 회전수를 가지고 계산되며 그 식

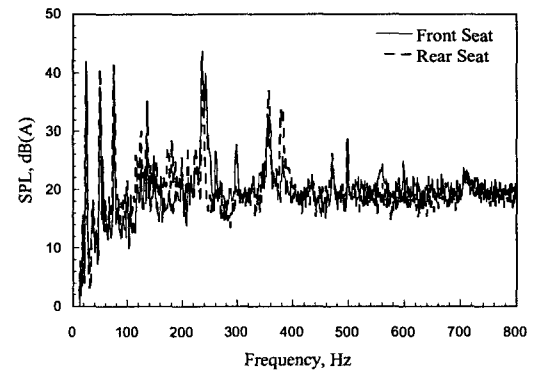
은 다음과 같다.<sup>(6)</sup>

$$F = \text{rpm} / (60 \times N \times k) \quad (1)$$

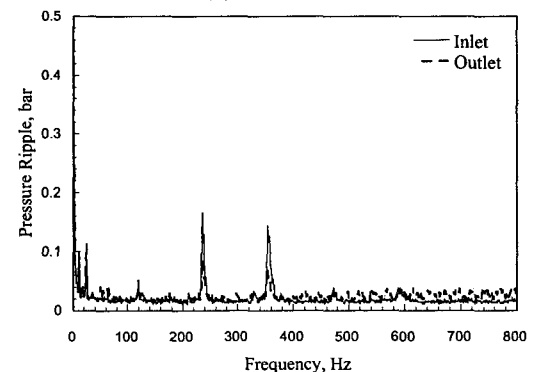
여기서  $F$  는 맥동주파수, rpm 은 유압펌프회전수,  $N$  은 펌프 베인(vane) 수,  $k$  는 차수이다. 식(1)로부터 동력조향장치에서 발생하는 유압맥동, 진동의 주파수 그리고 동력조향장치에 의한 소음의 주파수를 알 수 있다.



(a) Vibration



(b) Interior Noise

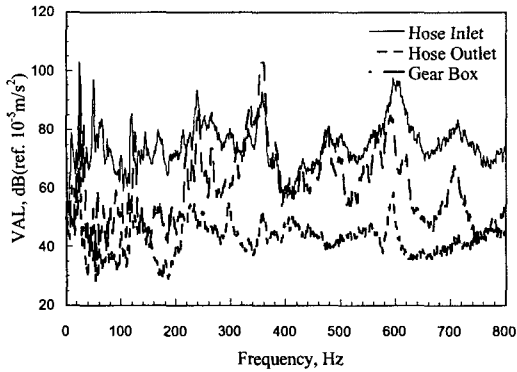


(c) Pressure ripple

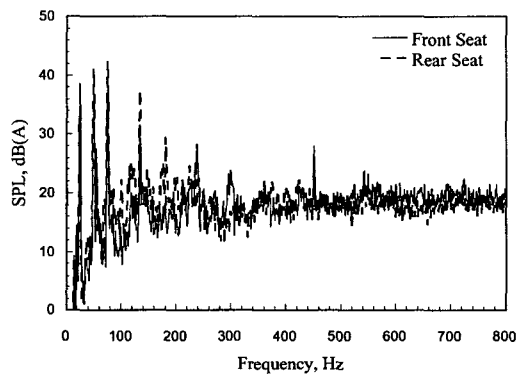
Fig. 4 Vibration, interior noise and pressure ripple frequency spectra of hose 1 without tuning cable

Fig. 4~5 는 각각 튜닝케이블이 없는 고압호스 (시편 1), 튜닝케이블이 2 개인 고압호스(시편 8)의 진

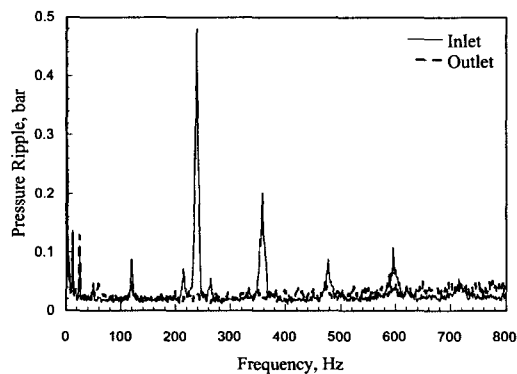
동레벨(a), 소음레벨(b), 입/출구 유압맥동(c)의 주파수 분석결과를 보여준다. Fig. 4~5에서 1차 맥동 성분은 모두 120 Hz를 전후하여 나타나며, 2~6차 성분은 1차성분의 정수배 주파수에서 나타난다.



(a) Vibration



(b) Interior noise



(c) Pressure ripple

Fig. 5 Vibration, interior noise and pressure ripple frequency spectra of hose 8 with two tuning cables

Fig. 4 ~5(a)를 보면 세 시편에서 모두 진동레벨은 고압호스출구부보다 고압호스입구부에서 매우 크게 나타난다. 이는 고압호스의 진동을 유발할 수 있는 맥동압과 진동이 고압호스를 지나면서 적절히 저감되고 있음을 나타낸다. 반면에 기어박스

부의 진동량은 시편 1, 8에서 대체로 고압호스입구부 진동레벨보다는 작고, 출구부 진동레벨보다는 크게 나타난다. 이는 유압펌프의 진동이 고압호스 이외의 구조물을 통하여 기어박스까지 전달됨을 의미한다.

Fig. 4~5(b)의 소음레벨은 튜닝케이블이 없는 시편 1의 2, 3차 맥동주파수에서 튜닝케이블이 있는 시편 8에 비해서 매우 크게 나타난다. 이는 튜닝케이블을 이용한 맥동압 저감이 차량의 실내소음 저감에 상당히 효과적임을 의미한다.

Fig. 4~5(c)에서 출구맥동압은 시편 1의 튜닝케이블이 없는 경우 맥동주파수 2, 3차 성분이 상대적으로 크게 나타난다. 반면에 입구맥동압은 튜닝케이블이 없는 경우에 작게 나타난다.

### 3.1 진동 및 맥동압과 차량실내소음의 관계

Fig. 6은 10개의 고압호스 시편의 운전석 1차 맥동소음 성분 피크값에 대한 고압호스입/출구 및 기어박스부의 1차 진동성분 피크값의 변화를 보여준다. 그림에서 나타나듯이 운전석 맥동소음에 대해 고압호스입구, 고압호스출구와 기어박스부의 진동레벨은 무질서하게 산포하여 있다. 이로부터 고압호스입/출구 및 기어박스부의 진동이 차량실내 소음에 지배적인 영향을 주는 인자가 아님을 알 수 있다. Fig. 7은 10개의 고압호스 시편의 1차 맥동소음 성분 피크값에 대한 고압호스 입/출구의 압력맥동 1차 성분 피크값과 이를 가지고 계산한 투과손실의 변화를 보여준다. 압력맥동 및 투과손실값도 진동과 마찬가지로 무질서하게 산포하며, 이는 압력맥동이 차량실내소음에 지배적인 영향을 주는 인자가 아님을 의미한다. Fig. 6, 7에서의 현상은 맥동의 1차 성분뿐만 아니라 2, 3차 및 고차성분에서도 동일하게 나타난다.

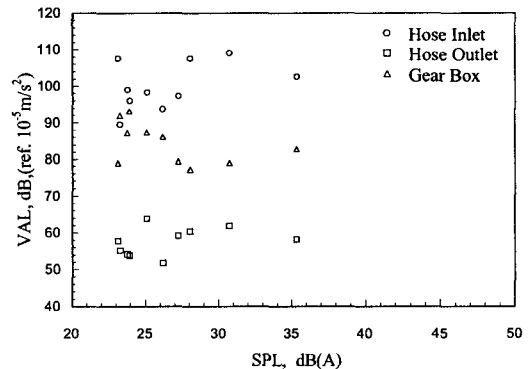


Fig. 6 The variations of the 1<sup>st</sup> order vibration acceleration level with the 1<sup>st</sup> order sound pressure level of interior noise

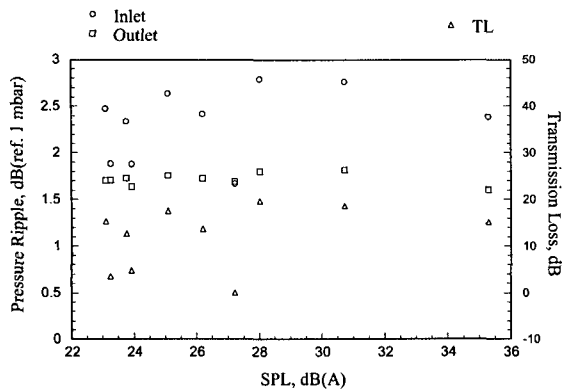


Fig. 7 The variations of the 1<sup>st</sup> order pressure ripple peak levels and transmission loss with the 1<sup>st</sup> order sound pressure level of interior noise

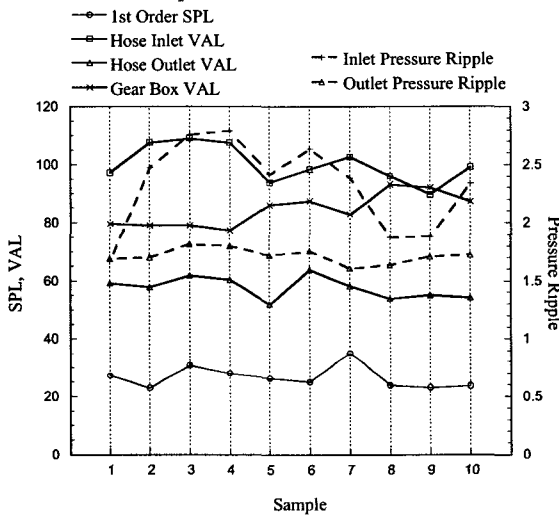


Fig. 8 The comparisons of 1<sup>st</sup> order noise, vibration and pressure ripple between specimens

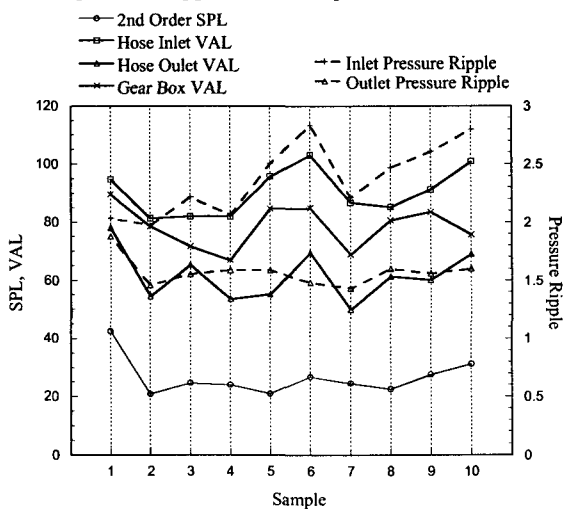


Fig. 9 The comparisons of 2<sup>nd</sup> order noise, vibration and pressure ripple between specimens

### 3.2 고압호스에 따른 진동, 맥동압, 소음의 변화

Fig. 8~9는 각각 1, 2차 맥동성분 진동, 맥동압, 차량실내소음의 피크값을 시편별로 보여 준다. 1, 2차 성분 모두 고압호스입구와 출구에서의 진동과 맥동압의 경향이 유사하게 나타난다. 이는 고압호스 입구쪽의 진동과 맥동압이 강하게 연관되어 있으며, 마찬가지로 출구쪽의 진동과 맥동압이 강하게 연관되어 있음을 의미한다. 그러나 기어박스부의 진동은 다른 진동 및 맥동압과 상이한 경향을 보이는 경우가 많다. 이는 기어박스부에서의 맥동 주파수 진동이 고압호스뿐만 아니라 다른 부품 및 차체를 통해 전달되기 때문으로 볼 수 있다. 실내 소음, 또한, 다른 값들과는 상이한 경향을 보이는 경우가 많으며, 이는 유압펌프의 맥동에 의한 실내 소음이 고압호스를 통한 유체전달(맥동압) 및 고체전달(진동) 경로 외에 다른 경로의 영향을 크게 받음을 의미한다. 즉, 유압펌프의 맥동은 고압호스 이외에 차체 또는 저압라인 등을 통해서도 차실내로 유입되어 소음을 유발한다고 판단할 수 있다. 그러나 고압호스 Spec. 변경에 따라 차량 실내 소음은 피크값에서 크게는 20 dB 까지 큰 차이를 나타내며 이는 유압식 동력조향시스템의 소음특성에 고압호스의 영향이 매우 큼을 의미한다.

### 3.3 호스의 설계 변수가 차량 실내 소음에 미치는 영향

그림 2는 호스의 길이는 동일하게 하고 튜닝케이블의 길이를 달리한 그룹이다. 일반적으로 튜닝케이블의 길이는 1/4 분지관 원리에 따라 결정하게 된다.<sup>(1~5)</sup> 따라서 튜닝케이블의 길이는 일정 범위 안에서 선택된다. 본 연구에서는 그룹 2의 200(시편 2), 270(시편 3), 295(시편 4) mm의 튜닝케이블을 사용한 호스를 가지고 튜닝케이블의 길이가 차량실내소음에 미치는 영향을 평가하였다. Table 2에서 그룹 2의 각 소음차수성분 변화를 보면 시편 2는 1, 2, 5차에서 다른 시편에 비해 소음레벨이 낮은 반면에 3, 6차에서는 높게 나타난다. 그리고 튜닝케이블의 길이의 차이가 25 mm로 작은 시편 3과 4는 매우 유사한 특성을 갖는다. 즉, 튜닝케이블의 길이에 따라 특정 차수의 소음레벨에서 증감이 나타난다. 이로 미루어 볼 때 튜닝케이블의 길이가 차량실내소음에 미치는 영향은 특정 차수의 소음과 관계된다고 볼 수 있다. 그룹 3은 호스길이가 튜닝케이블은 동일하게 하고 2번째 튜닝케이블의 위치를 달리한 그룹이다. 튜닝케이블의 위치 또한 사용하는 튜닝케이블의 길이와 호스의 길이에 따라 일정범위 안에서 선택된다. 본 연구에서는 2차 튜닝케이블의 시작점의 위치

**Table 2 Measured A- weighted sound pressure levels** unit : dB(A)

Group	Specimen Number	1st order	2nd order	3rd order	4th order	5th order	6th order	O,A
2	2	23.11	20.89	25.94	20.44	21.43	23.10	50.08
	3	30.72	24.71	24.54	20.12	27.47	21.10	51.39
	4	28.03	24.01	24.57	20.23	28.58	22.98	51.63
	max-min	7.61	3.82	1.40	0.32	7.14	2.00	1.54
3	5	26.20	21.03	20.70	20.28	20.58	21.28	49.70
	6	25.10	26.77	23.33	20.90	22.63	21.97	51.13
	7	35.30	24.53	23.80	19.57	23.23	21.93	50.22
	max-min	10.20	5.74	3.10	1.33	2.66	0.69	1.43
4	8	23.93	22.60	22.10	22.57	23.03	21.73	50.36
	9	23.27	27.57	21.63	19.70	19.20	20.07	49.42
	10	23.77	31.27	23.50	20.60	20.93	22.10	50.07
	max-min	0.67	8.67	1.87	2.87	3.83	2.03	0.95

가 1 차 튜닝케이블 끝단에서 105(시편 6), 130(시편 5), 170(시편 7)mm 인 호스를 가지고 튜닝케이블의 위치가 차량실내소음에 미치는 영향을 평가하였다. Table 2 에서 그룹 3 의 각 소음 차수성분의 변화를 보면 1, 2, 3 차 성분에서 변화가 크고 4, 5, 6 차 성분에서는 상대적으로 변화가 작음을 알 수 있다. 특히, 소음의 변화량은 1 차 성분이 가장 크며 2 차 성분, 3 차 성분의 순서로 작아진다. 즉, 튜닝케이블의 위치는 3 차 이하의 저차수 소음성분에 큰 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다.

그룹 4 는 튜닝케이블의 길이와 위치는 동일하게 하고 호스의 길이를 달리한 그룹이다. 호스의 길이는 차량의 layout 에 따라 일정 범위 내에서 선택된다. 본 연구에서는 호스의 길이가 695(시편 9) mm 를 기준으로 625(시편 8), 765(시편 10) mm 인 호스를 가지고 호스의 길이가 차량의 실내소음에 미치는 영향을 평가하였다. Table 2 에서 그룹 4 의 각 소음 차수 성분의 변화를 보면 1 차 성분 소음은 거의 변화가 없고 2, 3, 4, 5, 6 차 성분에서 변화가 나타남을 알 수 있다. 즉, 호스의 길이는 튜닝케이블의 위치와 반대로 2 차 이상의 고차성분의 소음에 주로 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기존 연구에서 간과되었던 유압식동력조향장치용 고압호스의 맥동저감성능과 차량실내소음의 관계를 고찰하기 위하여 실제 차량에 고압호스를 장착하여 고압호스 입출구의 압력맥동, 진동과 차량 실내소음을 동시에 측정하여

비교하였다. 그 결과 기존 연구에서 중시되던 고압호스 입/출구의 압력맥동과 그 전달손실이 차량실내소음에 영향을 미치는 지배적인 인자가 아님을 알 수 있었다. 즉, 유압식 동력조향장치에 의한 차량실내소음에 고압호스를 따라 전달되는 액중전파 이외에 공기전파 및 고체전파에 의한 소음도 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 이와 함께, 고압호스 내 튜닝케이블의 길이, 위치와 호스의 길이가 차량실내소음에 미치는 영향을 실험적으로 평가하였다.

#### 참고문헌

- (1) Hastings, M. C. and Kimura, Y., 1993, "Analysis of Tuning Cable for Reduction of Fluidborne Noise in Automotive Power Steering Hydraulic Lines", SAE Paper, No 931295, pp. 277~295.
- (2) Washio, S. and Konishi, T., 1985, "Research on Wave Phenomena in Hydraulic Lines(11<sup>th</sup> Report, Harmonic Wave in Coaxial Double Pipes)", Bulletin of JSME, Vol. 22, April, pp. 1049~1475.
- (3) Yu, J. H., Johnson, F., Iwami, F., Verrecchia, N. and Kojima, E., 1999, "Experimental Evaluation for Fluidborne Noise Attenuation in Tuning Cables and Hoses of Automotive Power Steering Hydraulic Systems", SAE Technica Paper series, 1999-01-1777, pp. 1~6.
- (4) 이일영, 송상훈, 정용길, 양경욱, 1998, "유압 관로망에서 고압호스의 압력 맥동 감쇠 특성 해석법 개발", 한국동력기계공학회지, 제 2 권, 제 1 호, pp. 45~52.
- (5) 김도태, 이종만, 1998, "자동차 동력조향용 유압호스의 압력맥동 감쇠특성", 한국공작기계학회지, 제 7 권, 제 3 호, pp. 22~28.
- (6) 최창환, 임상규, 1999, "자동차 조향 유압 시스템의 주파수분석 및 음향인텐시티 측정을 통한 소음원 분석에 관한 연구", 한국소음진동공학회지, 제 9 권, 제 4 호, pp. 761~768.