

< 논 문 >

자동차 조향 유압 시스템의 주파수분석 및 음향인텐시티 측정을 통한 소음원 분석에 관한 연구

Automotive Power Steering System Noise Source Identification using Frequency Analysis and Sound Intensity

최 창 환* · 임 상 규*

Chang-Hwan Choi and Sang-Gyu Lim

(1999년 2월 12일 접수 ; 1999년 5월 27일 심사완료)

Key Words : Power Steering System(조향장치), Pulsation Noise(맥동소음), Frequency(주파수), Order(차수), Sound Intensity(음향인텐시티), Octave(옥타브), Relief Noise(릴리프 소음)

ABSTRACT

This paper presents an NVH test of Automotive power steering system performed at a half-car Test-rig . The test was done for neutral and full turn(or relief) conditions in steering wheel at a fixed rpm first, then followed by the same conditions for the rpm run-up. The sound intensity measurement verified the results from the frequency and order analysis, especially about the identification of major noise sources and their dominant frequencies. The results from this study can be utilized in the system noise tuning when a new steering component is installed. In particular, the noise and vibration reduction at the relief condition will be accomplished through the knowledge obtained from this study and from the on-going research on the hose tuning techniques using silencers and tuning cable inserted in the pressure hose.

1. 서 론

자동차의 발달과 더불어 자동차의 품질과 성능도 계속적으로 발전되어 왔다. 특히 승용차의 품질을 나타내는 여러 성능 중 소음, 진동 성능은 자동차를 구매하는 대다수의 비전문 운전자들에게도 점차 중요한 선택기준 중 하나가 되고 있기 때문에 자동차 제조회사에서도 많은 기술투자와 연구를 진행하고 있다. 본 논문은 자동차 부품중 조향장치에 사용되는 조향 유압 시스템의 발생소음에 대하여 기술하고 있다.

먼저 조향 유압 시스템의 진동, 소음 분석을 위해 실차상태와 가장 유사하게 제작된 1/2 car 시험장치(test rig)에 대해 소개하고, 이를 사용하여 실시된 주파수, 차수시험 분석 방법 및 소음원을 확인하기 위한 음향인텐시티(sound intensity) 분석방법등에 관해 소개한다.

본 논문에서는 특히 조향장치의 릴리프 소음에 대한 실험적 분석에 주안점을 두었다. 릴리프 상태란 조향 휠이 풀턴(full turn) 되었을때 랙(rack)의 스트로크(stroke)의 이동이 불가능하게 되는데, 이때 펌프(pump)의 토출유량에 의해 유압이 최대로 상승되어 펌프내의 제어밸브(control valve)에 내장된 스프링에 의해 밸브내의 스푼(spool)이 움직여서 생긴 바이패스(bypass) 유로로 유량이 빠르게 이동하

* 정회원, 삼성전기 연구소 NVH팀

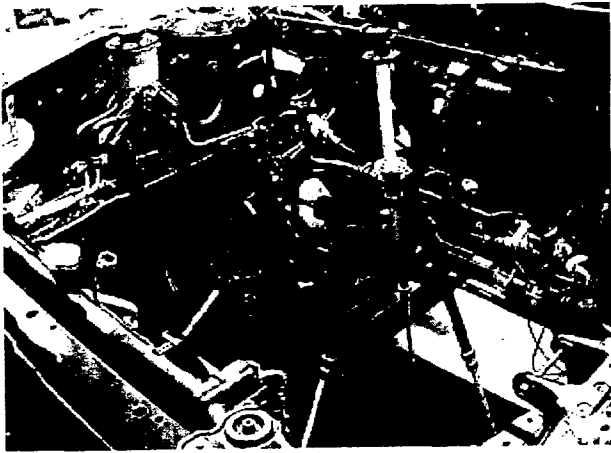


Fig. 1 Test rig for the power steering NVH test

게 되는 상태를 말하며, 이로 인해 조향 유압 시스템에서 발생하는 소음을 릴리프 소음이라 한다.

본 연구에서 다루어진 릴리프 소음에 대한 실험적 분석을 통하여 차후 조향펌프의 변경시에 고려해야 할 기본적 요소들과 조향 유압 시스템의 소음 튜닝(tuning)에 필요한 데이터를 리버스공학(reverse engineering)의 관점에서 획득, 분석, 평가하고자 한다.

2. 1/2 Car Test Rig 구성

Fig. 1은 본 연구소 NVH팀에 설치되어 있는 1/2 car 형태의 시험장치(test-rig)를 나타낸다.

이 시험장치의 기본구조는 우선 차량의 엔진을 제거하고 조향 펌프구동을 위해 AC 모터를 사용하며, 펌프의 회전수를 가변시키기 위한 인버터(inverter)를 적용시켜 놓았고 바퀴에 부가되는 하중은 실차상당의 힘이 되도록 조정할수 있으며, 펌프의 회전속도, 조향오일의 온도를 측정할수 있다.

본 시험벤치(test bench)는 실차상당의 조향유압(power steering) 시스템을 유지하면서 부품교환이 가능토록 되어있다.

본 논문에 사용된 시험 데이터는 Fig. 1의 시험장치 상에서 실시된 계측시험으로부터 얻어진 것이다.

3. 조향 유압시스템 소음, 진동 시험

3.1 서론

유압펌프에 의해 생성되는 맥동현상은 조향유압 시스템에 유체발생(fluid-borne)소음문제를 일으킨다. 이 유체발생 소음에 의해 진동 또는 고체발생

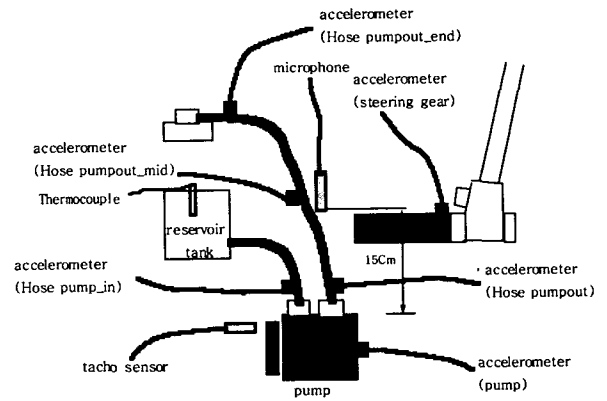


Fig. 2 Test set-up for the nvh measurement

(structure-borne)소음이 발생되고 이어서 직접 기류소음(air-borne noise)나 진동을 통해 다른 부품으로 전달되어 또다른 기류소음이 생성될수 있다. 따라서 각 조향 유압 부품에서의 진동에 대한 주파수 분석은 동일한 주파수에서의 발생된 소음과 깊은 연관을 갖게 된다고 간주된다. 이를 기초로 본시험에서는 조향 유압 부품의 소음과 진동의 주파수, 차수상의 관계를 조사해 보기로 한다.

3.2 시험의 개요

Fig. 2는 펌프를 포함한 조향 유압시스템의 소음, 진동 특성을 분석하기 위해 사용된 계측기와 센서들을 나타내고 있다. 먼저 펌프 rpm 측정용 타코센서(tacho)가 설치되어 있고, 리저보어(reservoir tank)로 부터 펌프로 들어가는 호스에서의 진동과 펌프의 진동, 펌프로 부터 고압호스를 통해 토출되어 나가는 유량의 진동, 고압호스의 중간위치에서의 진동, 그리고 고압호스의 끝 부분에서의 진동, 그리고 스티어링 기어의 진동을 보기위해 가속도 센서가 부착되었다.

또한 소음을 측정키 위해 펌프로 부터 수직으로 15 cm높이에 1/2 인치 콘덴서 마이크로폰이 설치되어 있다.

또한 펌프와 기어부로 입력, 출력되는 압력을 측정하기 위한 압력 트랜스듀서도 설치되었으나 그림에서는 나타내지 않았다.

계측은 운전대(steering wheel)를 회전시키지 않은 상태인 중립(neutral)시와 완전 회전 상태인 릴리프(relief)시에 대하여 고정 rpm에서 먼저 계측하고 이어 rpm을 증가시키며 계측하는 차수분석(order tracking analysis)의 두가지를 실시하였다. 시험시의 유온은 55~65°C정도로 나타났다.

3.3 시험결과

Fig. 3은 조향펌프 회전수 720 rpm에서 중립 (neutral) 및 릴리프의 소음 주파수 분석 결과를 비교한 것으로 펌프에 의한 맥동 기본 주파수에 대한 각 차수의 기여도를 알수 있다.

여기서 맥동 주파수를 계산하는 방법은 다음과 같다.

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

여기서 F 는 맥동 주파수, rpm은 펌프 회전수, N 은 펌프 베인(vane) 수를, k 는 차수를 나타낸다.

식 (1)로 부터 베인이 10 개인 펌프에 의해 맥동이 발생되었을 때의 주파수를 구할수가 있으며 실험을 통한 주파수 분석 결과와의 비교를 통해 기여도가 큰 차수를 알수가 있다. 따라서 Fig. 3으로 부터 실선으로 나타나는 중립 시에는 600 Hz, 240 Hz에서 각각 5차와 2차 성분이 주요 소음 피크로 나타나며, 파선인 릴리프시에는 5차성분의 피크가 소음을 주도

하는 것으로 나타났다.

다음은 본 연구의 주 관심사인 릴리프 시의 소음과 조향 유압 시스템을 이루는 유관 부품의 진동 측정 결과를 비교함으로써 좀더 상세한 분석을 해 보기로 한다.

Fig. 4은 리저보어(reservoir)로 부터 유체가 조향 펌프로 들어가는 썩션호스(suction hose), 펌프 그리고, 펌프로부터 토출되어 나가는 고압호스(high pressure hose)의 앞부분에서의 진동과 마이크로폰으로 부터 얻어진 소음을 주파수 상에 나타낸 것이다. 스티어링 기어의 진동은 결과적으로 낮은 진동을 나타내어 릴리프의 주된 소음원에서 제외되어 Fig. 4에서는 나타내지 않았다.

Fig. 4를 보면 진동레벨이 가장 큰 고압호스 앞부분의 진동은 3차 성분인 357 Hz에서 최대치를 나타내는 데 비해 아래쪽에 나타난 소음은 약 595 Hz에서 최대치가 나타난다.

이것은 진동량이 큰 고압호스의 고체소음이 720

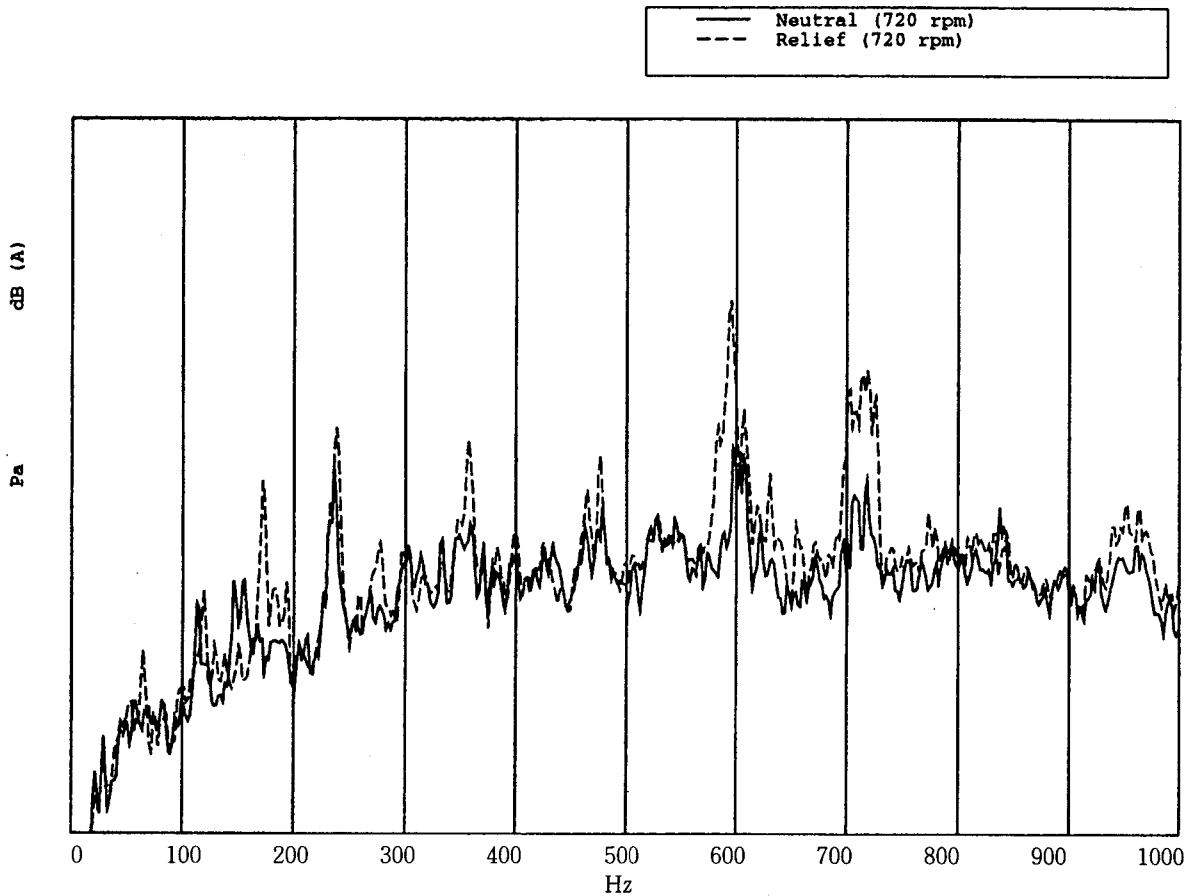


Fig. 3 Noise frequency spectra of neutral and relief condition at 720 rpm

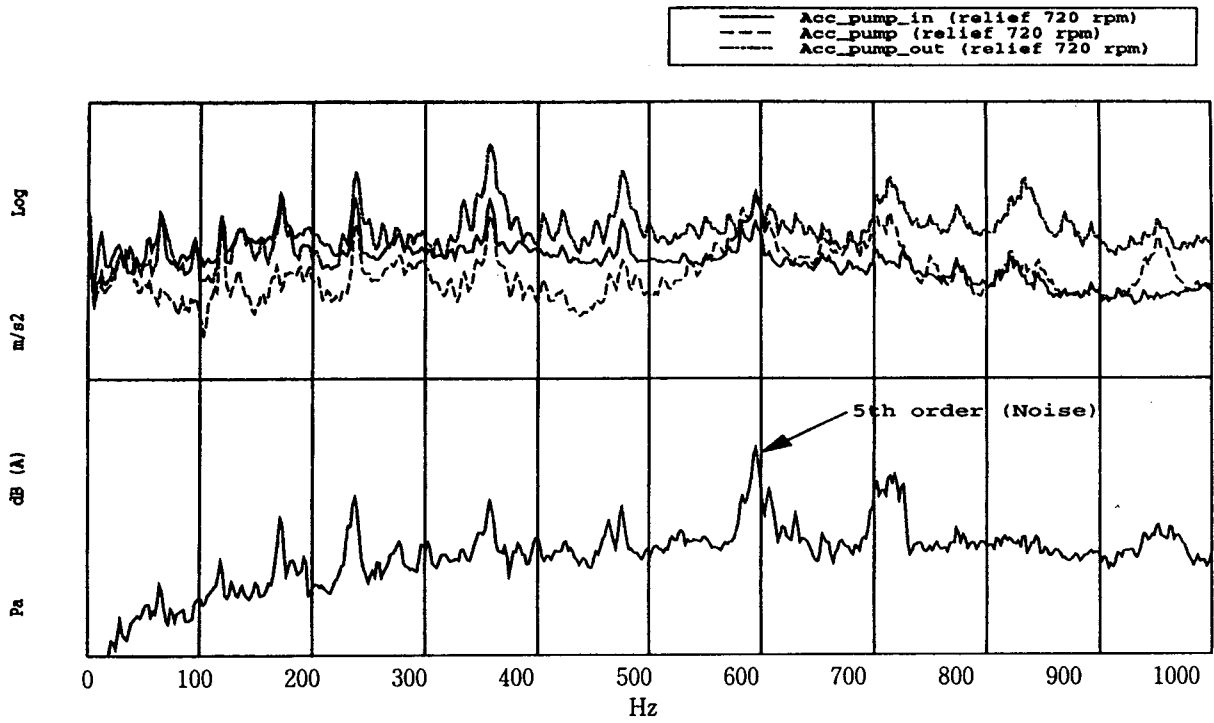


Fig. 4 Noise and vibration frequency spectra of relief condition at 720 rpm

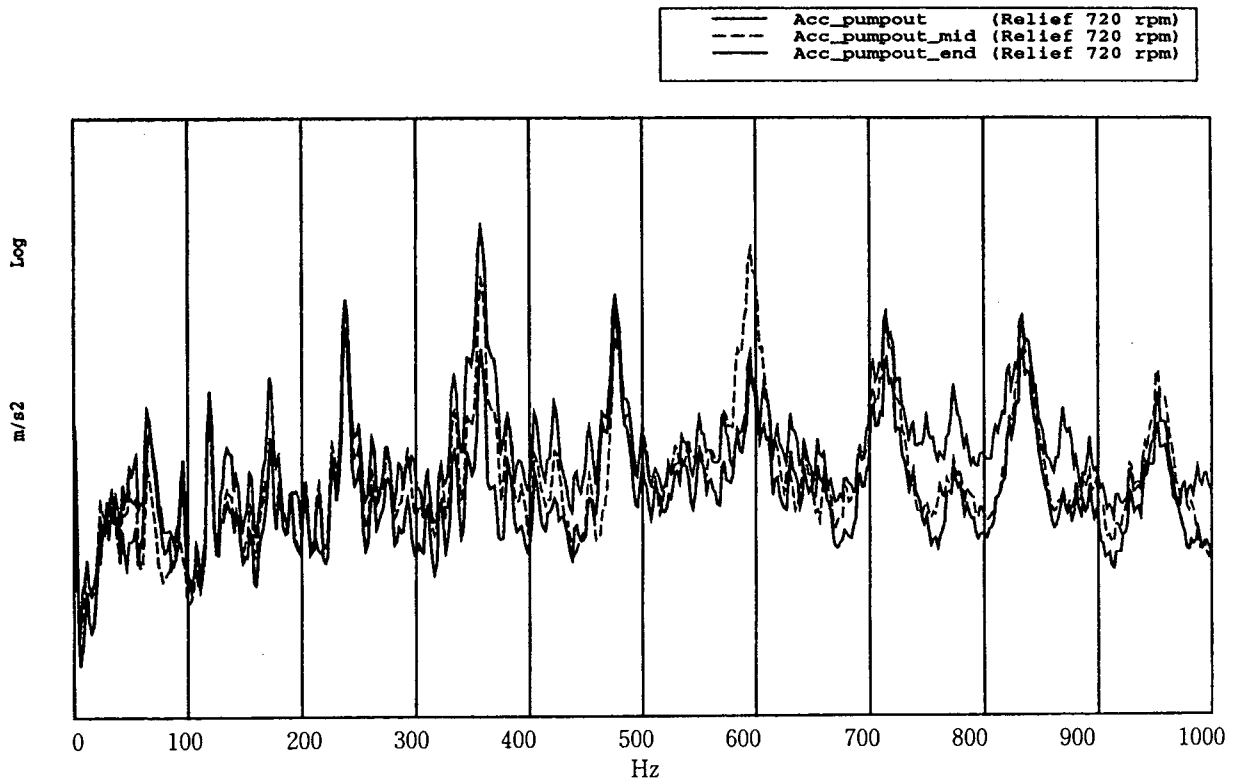


Fig. 5 Vibration frequency spectra to three locations of pump_out hose

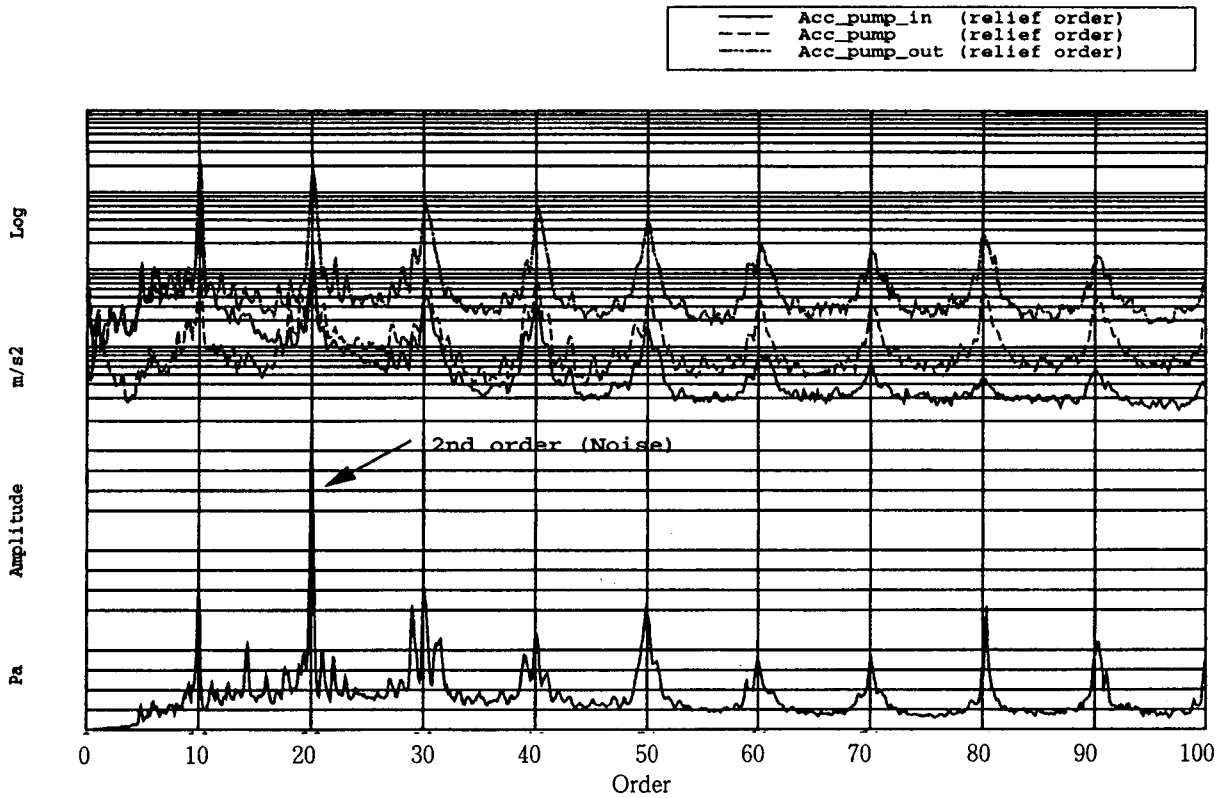


Fig. 6 Vibration averaged summed order of relief condition

rpm에서는 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 나타낸다.

사실상 펌프에서의 진동량이 타 부품의 진동보다는 작지만 나타난 주파수 중 595 Hz에서 최대치가 되고, 또 이때 소음이 가장 큰 피크가 되었다는 의미는 펌프로부터 발생된 소음이 주로 공기발생 (air-borne)으로 나타났기 때문으로 판단된다. 물론 고압호스에서의 유체발생에 의한 진동으로 발생된 소음도 무시할수는 없다. 그러나 이 진동은 고압호스에 내재되어 있는 스파이럴 튜브 (spiral tube)와 튜닝소켓에 의해 맥동이 적절히 저감 되어진다. 이는 Fig. 5에 잘 나타나 있는데 3차 성분이 고압호스의 앞 부분과 중간 부분 그리고 끝 부분에서 어떻게 저감되는지를 보여준다. 특이한 것은 고압호스 중간 부분에서의 진동이 595 Hz에서 갑자기 증가되는 현상이다.

이것은 음향인텐시티 측정시에 펌프와 함께 동일 주파수에서의 소음의 주요원으로 나타나게 된다.

하지만 이 호스의 끝부근에서는 주요 피크 (peak) 주파수에서 작아지는 저감효과를 나타내고 있다.

Fig. 6은 펌프의 회전수를 측정하는 타코 (tacho)

센서를 이용하여 700 rpm으로부터 2100 rpm까지를 런업 (run-up) 시켰을때의 차수분석을 한 결과를 나타낸다. 전체 rpm의 평균합상에서 소음에 가장 큰 기여를 한 차수는 2차 성분으로 나타났으며 진동에서 2차성분의 기여도가 큰 곳은 고압호스로 나타났다. 여기서 우리는 높은 rpm이 될수록 전체소음에 대한 2차성분의 맥동 소음, 진동 영향이 커짐을 알수 있다.

하지만 릴리프는 보통 주차시와 같이 저속, 완전 회전시에 주로 작동되는 현상이므로 조향 유압 시스템은 낮은 rpm에 대한 릴리프 소음에 우선적으로 시스템 튜닝이 맞춰져야 한다. 따라서 앞서 Fig. 4에서 본 것과 같이 현 시스템을 720 rpm에서 주파수 분석을 했을 때 소음의 2차, 3차 성분의 기여도가 낮게 나왔던 것이다. Fig. 7은 소음의 워터폴 플롯 (waterfall plot)으로서 회전수에 따른 피크 주파수 그리고 소음레벨의 관계를 잘 나타내고 있다. 여기서 대각선으로 나타난 선이 차수선인데 10, 20은 각각 1차, 2차수를 나타낸다.

2차수의 높은 rpm에서 소음이 상당히 크게 나타나는 특성이 잘 나타나 있고, 5차 성분은 낮은 rpm에서만 소음이 큰 특성을 나타내고 있다.

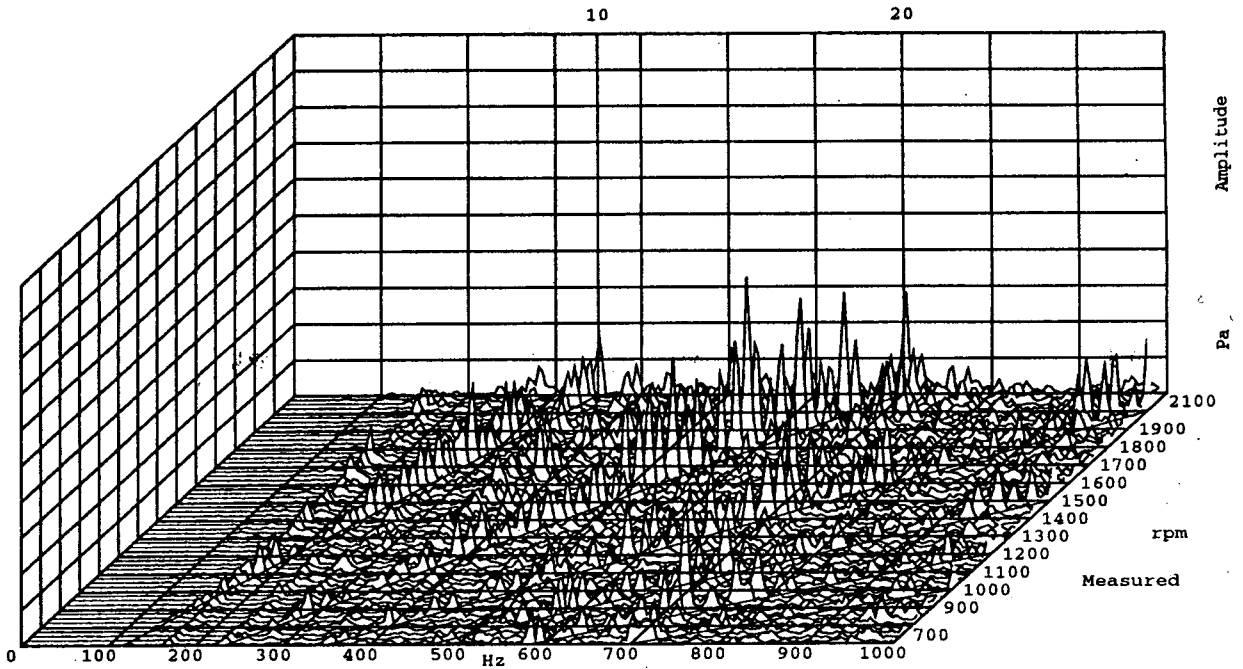


Fig. 7 Noise waterfall plot of relief at rpm run-up

4. 음향 인텐시티 시험

4.1 시험개요

음향 인텐시티 측정법은 두개의 근접한 마이크로폰을 가지고 소음원으로 부터 방사되는 소리의 에너지 흐름을 측정하는 것으로 진동소음 분야에서 일반적으로 소음원을 찾아내는데 많이 사용되는 기술이다.

시험을 위해 필요한 계측장비는 우선 음향 인텐시티 프로브, 크기보정기(magnitude calibrator), 위상보정기(phase calibrator), 마이크로폰, 마이크용 전원공급장치(2 채널용), 측정용 메쉬 격자 등이다.

본 음향인텐시티의 목적은 주파수 분석을 통해 나타난 바와 같이 릴리프시 소음의 최대 피크가 일어나는 주파수에서 (여기서는 720 rpm에서 595 Hz) 주 소음원을 찾아보고 펌프와 고압호스가 소음원으로 어떻게 역할을 하는지 알아 보려고 한다.

여기서 사용된 메쉬 격자는 가로가 40 cm, 세로가 60 cm이며 한 메쉬의 크기는 가로, 세로가 같이 5 cm로 만들어 졌다. 이는 1000 Hz까지를 관심 주파수로 잡았을때 1/4 파장보다 작은 사이즈이므로 적절한 것으로 판단된다. 격자로 부터 펌프까지의 거리는 약 15 cm 정도로 하였으며, 이는 여러번의 예비 시험결과로 결정 하였다. Fig. 8은 음향인텐시티 시험에서 사용된 격자와 조향유압시스템의

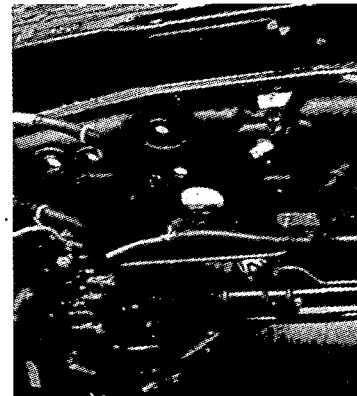


Fig. 8 Sound intensity measurement lay-out

lay-out을 나타낸다.

4.2 시험결과

릴리프시, 720 rpm에서의 음향 인텐시티 시험의 결과 우선 Fig. 9과 같이 A-웨이팅(A-weighting)의 1/12 옥타브 상에서 오토파워 스펙트럼 레벨이 가장 큰 주파수 밴드(band)가 594 Hz로 나타났다. 이는 이때에 가장 인텐시티 레벨이 높다는 것을 나타낸다. 또한 Fig. 10에는 594 Hz에서의 인텐시티 칼라맵(insensity color map)을 나타내고 있는데, 그림에서 가장 인텐시티 레벨이 높은 부분은 중심에서 약간 아래의 흰 부분인데이는 펌프로 부터 릴리프시 발생된 기류음(air-borne noise)의 방사에 의해 나타

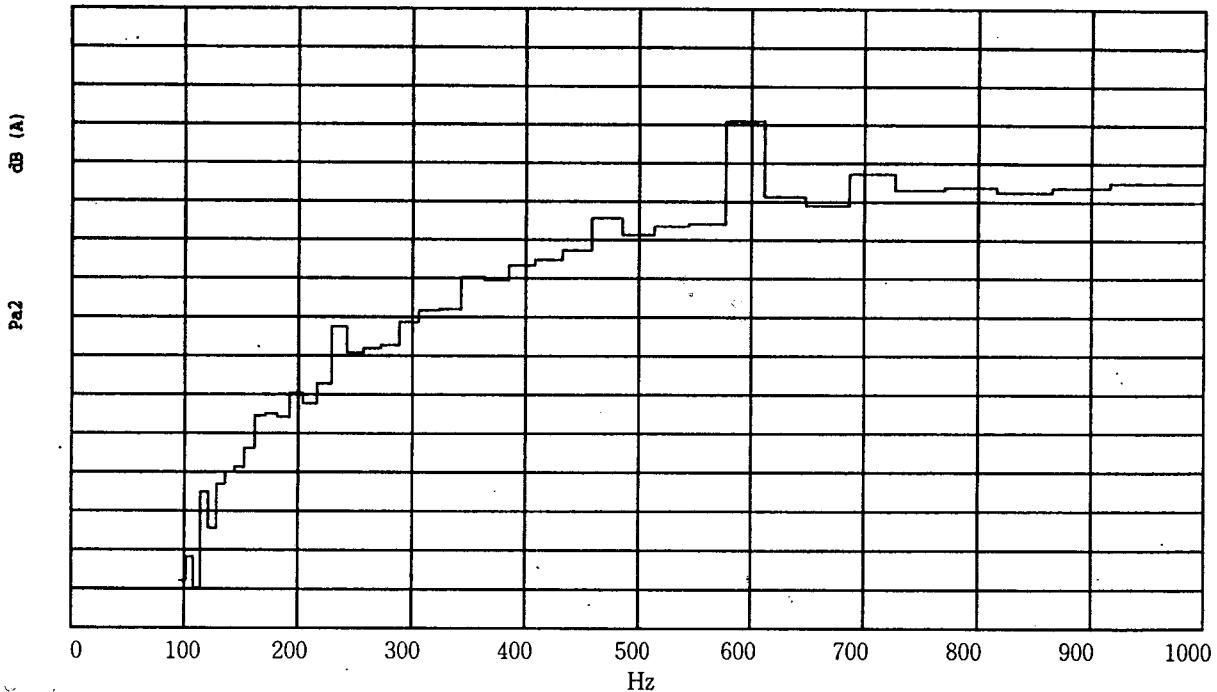


Fig. 9 Noise autopower spectrum level of relief at 720 rpm by sound intensity measurement

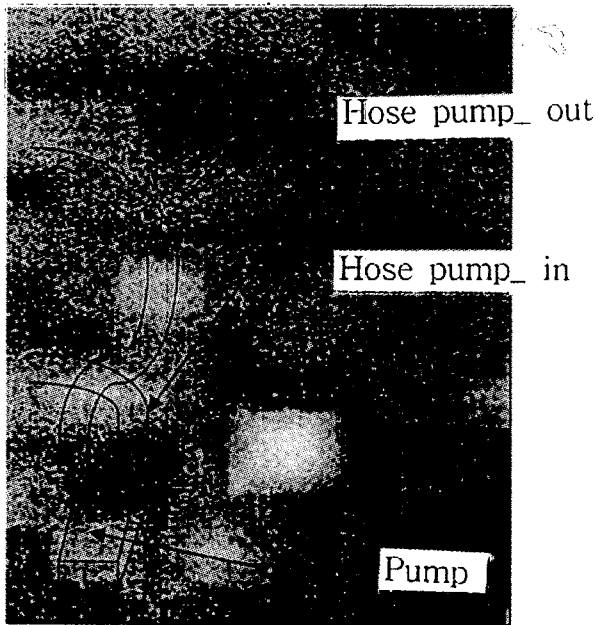


Fig. 10 Sound intensity color map at 594 Hz in 1/12 octave from relief condition at 720 rpm

난 것이고 중간에서 왼쪽 윗부분에 나타난 밝은 부분은 토출 고압호스의 중간부분에서의 인텐시티를 나타낸다. 이는 앞서 주파수 분석상의 나타난 결과와 잘 일치되고 있으며 진동의 주파수 분석 결과와 인텐시티 상의 소음과 일치했음을 보여준다.

릴리프시에는 펌프의 대부분의 유량이 릴리프 밸브의 좁은 오리피스를 통과하기 때문에 생기는 소음이 펌프 소음원이 되며, 이를 저감하기 위하여 유로의 직경과 각도를 변경시키는 방법들이 연구된다.

고압호스의 소음은 주파수 분석시 나타난 바와 같이 호스 중간 부분에서 증가되었다가 호스 끝 부분에서 감소되는 현상을 나타낸 것이 음향 인텐시티에 반영된 것인데 이는 현 호스 튜닝 케이블의 위치, 길이, 직경 등의 조건에 의한 것으로 판단된다. 호스의 튜닝에 관하여 호스의 길이와 주요 맥동 주파수 그리고 튜닝 케이블의 위치 및 길이 등에 대한 좀더 상세한 이론 및 시험 연구가 계속 진행될 예정이다.

5. 결 론

본 논문은 당 NVH팀의 1/2 car 실험장치 상에서 실차 상태와 유사하게 실시된 조향 유압 시스템의 NVH 시험에 관해 기술하고 있다.

먼저 조향핸들(steering wheel)이 중립일 때와 릴리프일 때에 대해 고정 rpm 및 런업에 대하여 시험을 실시하였으며, 결과로 나타난 진동, 소음 특성을 음향 인텐시티 측정을 통해 소음원과 주파수 및 기여도에 대해 확인할수 있었다. 시험에서 사용된 조

향 유압 시스템은 소음 레벨을 충분히 만족하는 시스템이었으며 향후 조향시스템의 새로운 부품개발이 진행될때 유지되어야할 기준이 된다. 따라서 본 시험에서 나타난 결과들이 시스템 튜닝시에 사용될 것이며, 릴리프시에서의 펌프 소음 저감과 스파이럴 튜브와 같은 튜닝 케이블을 사용한 고압호스 소음 저감에 관한 좀더 상세한 연구가 계속 진행될 예정이다.

참고 문헌

- (1) S. Takeuchi and E. Adachi, 1995, Analysis and Reduction of Power Steering Noise During Static Steering Operation, SAE 950581.
- (2) J.E. Drew et al., 1995, The Systematic Design of Low Noise Power Steering Systems, University of Bath, UK.
- (3) D. Bleitz and C. Fernholz, 1997, Automated Production Noise Testing of Power Steering Pumps, SAE 971911.
- (4) Allan L. Dickinson et al., 1993, Measurement and Prediction of Power Steering Vane Pump Fluid-borne Noise, SAE 931294.