

RV 차량의 액슬 소음 음질 개선에 관한 연구

Improvement of Axle Noise for Recreational Vehicle

°유동준* · 이상권** · 조윤경*** · 최병재***

Dong-Jun Yu, Sang-Kwon Lee, Yoon-Kyeong Jo, Byung-Jae Choi

Key Words : Axle Noise(액슬 소음), Gear Whine Noise(기어 와인 소음), Modal Analysis(모드 해석), Running Modal Analysis(주행 중 모드 해석)

ABSTRACT

In these days, gear whine noise of the axle and transmission is getting more important for reduction of vehicle noise, because major noise of vehicle was reduced. Therefore, in this paper, axle noise and vibration is measured, and then the modal analysis and running modal analysis is applied for reduction of axle gear whine noise.

1. 서 론

과거에 자동차를 단순히 운송수단으로서 이용하는 것에서 벗어나 삶의 질을 향상시키는 생활 필수품으로 자동차가 이용되면서 고객들의 자동차 소음 저감에 대한 요구가 점점 증가하고 있다. 자동차의 실내소음을 악화시키는 원인은 엔진 및 새시 소음, 풍절음, 타이어 소음, 기어 소음 등 차량을 구성하는 부품의 개수만큼 다양한 원인이 있다. 이러한 소음 원인의 명확한 규명은 저소음 자동차 개발에 대한 기본 요구이며 소음 및 음질 개선의 지름길이 된다. 근래에 자동차 회사의 소음 및 진동 저감 기술이 발전함에 따라 엔진 및 새시, 타이어 소음 및 풍절음 등 주요 소음은 점차 저감되고 있으나, 이와 같은 주요 소음의 저감에 의해 그 동안 마스킹(Masking) 되어 있던 기어 와인 소음(Whine noise)이 점차 문제시 되고 있으며, 자동차 고객 불만의 한 원인이 되고 있다. 따라서 변속기 및 액슬을 제작하는 업체에서의 소음 및 진동 저감은 필히 해결해야 과제이며 매우 중요한 요소가 되고 있다. 본 연구에서는 승합차량의 액슬(Axle)에서 발생하는 기어 와인 소음의 소음원을

규명하고 액슬에 대한 공진 주파수 및 모드형상(Mode shape)을 알 수 있는 진동 모드 해석(Experimental modal analysis)과 주행 시 차량에서 발생하는 각 부위의 진동 변위를 측정하여 하나의 기준점에 대한 상대 변위로서 모드형상(Mode shape)을 측정하는 주행 모드 해석(Running modal analysis)법 등의 소음 및 진동 분석 기법을 적용하였다. 대상 액슬의 피니언 기어 잇수는 13 개이다.

2. 소음 진동 측정 실험

2.1 소음 진동 측정 실험

본 연구에서는 실험 대상 차량의 실내소음 측정을 위하여 운전석과 뒷좌석에 마이크로폰을 설치하였으며, 액슬 진동과 액슬의 진동이 차체로 전달되는 진동 전달 경로에서의 진동 전달량을 파악하기 위해 액슬 및 각 전달경로의 전, 후에 가속도계를 부착하여 차량 주행 실험을 수행하였다. 주행 시험은 변속기 기어 5 단에서 수행되었으며, 60km/h 에서 120km/h 까지 가속과 감속 주행하여 소음 및 진동 데이터를 측정하였다. 이때 액슬의 입력인 프로펠러 축의 회전 속도는 60km/h 에서 약 1800rpm, 100km/h 에서 약 2800rpm, 120km/h 에서 약 3500rpm 이다.

2.2 대상 차량 실내소음 측정 결과

차량의 가속 시 뒷좌석의 실내 소음 워터폴

* 정희위, 인하대학교 대학원 기계공학과
E-mail : blueasphalt@hanmail.net
Tel : (032) 860-8776, Fax : (032) 868-1716

** 정희원, 인하대학교 기계공학과 교수

*** 다이모스 시험연구부

(Waterfall)을 Fig.1, Fig.2 에 나타내었고, 차량의 rpm 증가에 따른 실내소음(Overall noise), 액슬의 주요 오더(Order) 성분인 13 오더와 두 번째 하모닉 성분이 26 오더의 소음 수치를 Fig.3, Fig.4 에 나타내었다.

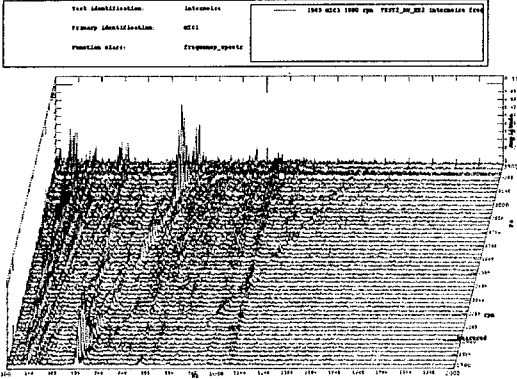


Fig. 1 Front Seat Noise Waterfall

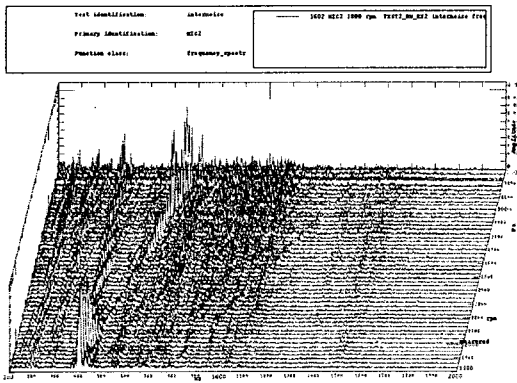


Fig. 2 Rear Seat Noise Waterfall

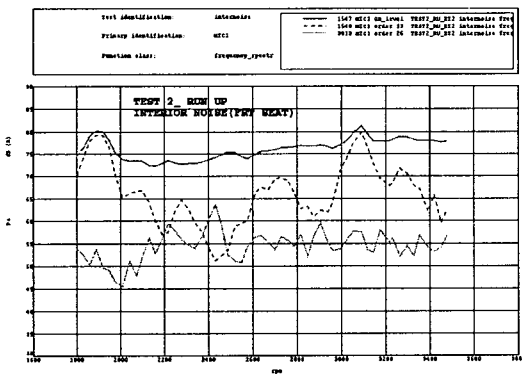


Fig. 3 Front Seat Overall Noise, 13order, 26order

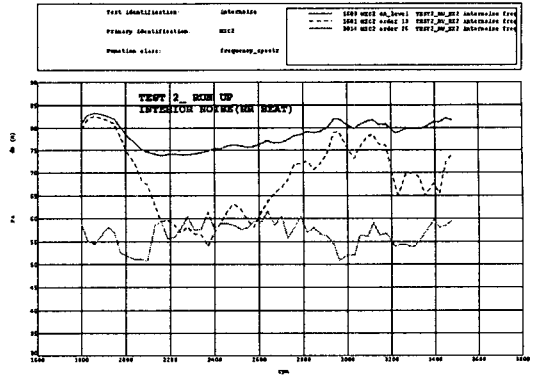


Fig. 4 Front Seat Overall Noise, 13order, 26order

Fig.1 와 Fig.2 에 나타낸 실내소음의 워터폴 보면 앞좌석과 뒷좌석의 소음이 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 13 오더 성분이 1800~2000 rpm 영역과 2600~3200 rpm 영역에서 확연히 증가함을 알 수 가 있다. 일반적인 기어 시스템의 1 차 가진원은 기어 회전체의 회전 불평형에 의한 가진과 치 접촉부의 치형 가공 오차, 즉 치합 전달 오차(Transmission error)로 인한 가진이 있으며 이는 기어의 기본 맞물림 오더 성분을 유발시킨다. 2 차 가진원은 치합 전달 오차의 주기적 특성에 의한 가진과 회전 불평형에 의한 측 대역(Sideband) 성분이 있으며 이는 기어치에 피팅(Pitting)이나 균열(Crack)과 같은 지협적인 결함이 있을 경우에 증가되는 특성이 있다. 본 실험 대상 액슬에 의해 차량에서 발생하는 기어 와인 소음은 액슬의 1 차 가진원인 기어의 맞물림에 의한 13 오더 성분이 원인임을 알 수 있으며, 액슬 기어에 의한 13 오더 성분이 기어 와인 소음에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다

2.2 주요 진동 전달 경로 측정 실험

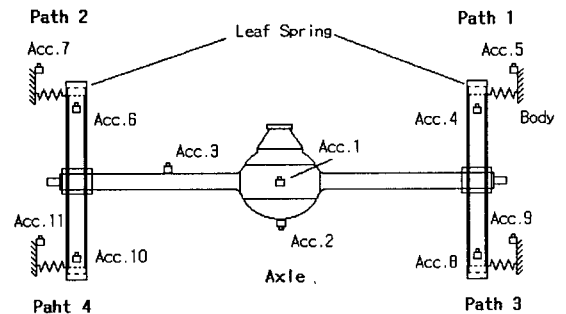


Fig. 4 Axle Vibration Transfer Path

본 실험 대상 액슬의 전달 경로는 액슬 진동이

판 스프링을 거쳐 판 스프링 양 끝단 4 곳의 마운팅을 통해 차체(Body)로 전달되는 구조를 갖고 있으며, Fig.3 은 액슬 및 액슬 진동 전달 경로와 각 경로에 부착된 가속도계의 위치를 나타낸다. ACC1, ACC2 의 액슬 진동 위터폴을 나타낸 Fig. 5 와 Fig.6 을 보면 주요 오더 성분인 13 오더 성분이 1800~2000 rpm 에서 나타나며 2500 rpm 에서부터 증가하기 시작하여 약 3500 rpm 에서 최고가 되며 하모닉 성분인 26 오더 성분도 크게 증가하는 현상을 확인할 수 있다. Fig.7 은 ACC1 과 ACC3 진동의 13 오더와 26 오더 진동량을 보여주고 있는데 Overall level 과 주요 오더 성분을 비교해 보면 13 오더성분은 그대로 전달되고 있으며 26 오더 성분은 조금 감소함을 알 수 있다. 따라서 액슬 13 order 성분의 증가가 차량 실내에 나타나는 기어 와인 소음의 주요 소음원의 역할을 함을 알 수 있다. Fig.8 과 Fig.9 는 전달 경로 1 과 3 의 마운트 전, 후 진동 주요 오더 성분을 rpm 에 따라 비교한 그림으로, 1800 ~ 2000 rpm 과 2500 ~ 2800 rpm 과 3000 ~ 3200 rpm 에서 진동량이 증가하며 문제가 있음을 알 수 있다. 이러한 영역들이 기어 와인 소음에 직접적으로 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

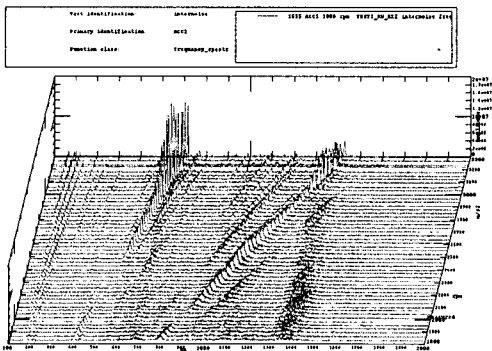


Fig. 5 Axle Vibration Waterfall - Acc1

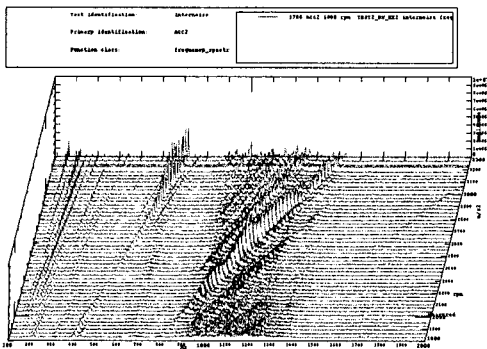


Fig. 6 Axle Vibration Waterfall - Acc2

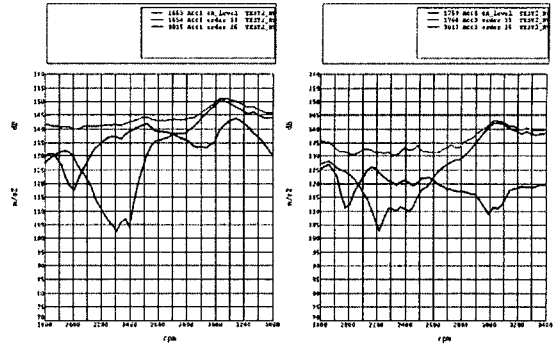


Fig. 7 Overall level, 13order, 26order-Acc1, Acc3

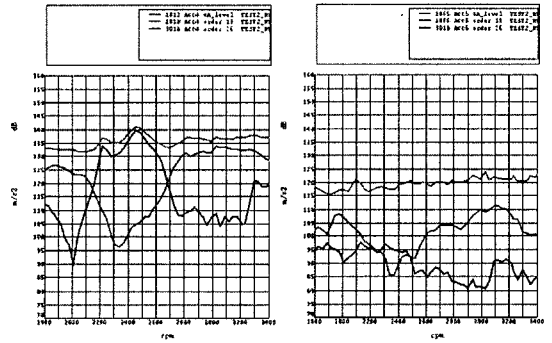


Fig. 8 Overall level, 13order, 26order - Path1

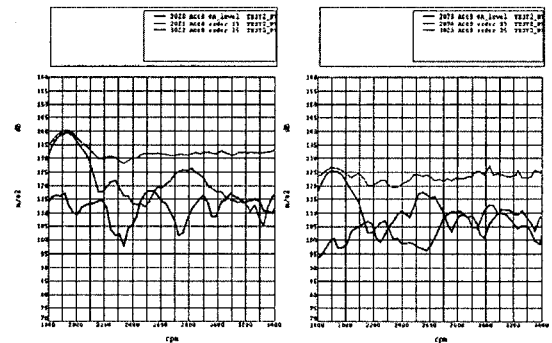


Fig.9 Overall level, 13order, 26order - Path3

3. 진동 모드 해석 실험

실험 대상 액슬에 대한 공진 주파수 및 모드 형상을 분석하기 위하여 액슬을 89 개의 자유도를 갖는 81 개의 노드로 구성하여 모델링하였고, 실험 대상의 구속 조건을 완전 자유조건으로 한 후 모드 해석 실험을 수행하였다. Fig.10 은 액슬의 모든 자유도에 대한 FRF Sum 을 보여주고 있다. 액슬의 1 차 모드(108Hz)는 굽힘 모드와 함께 범의 1 차 모드가 나타나고 있으며, 2 차 모드(332Hz)는 x 축을 중심으로 하는 비틀림과 함께

빔의 2 차 모드가 나타나고 있다. 조립품의 3 차 공진 주파수(897Hz)는 액슬 하우징에서 나타나는 빔의 3 차 모드와 함께 액슬 캐리어의 비틀림 모드가 나타나고 있다.

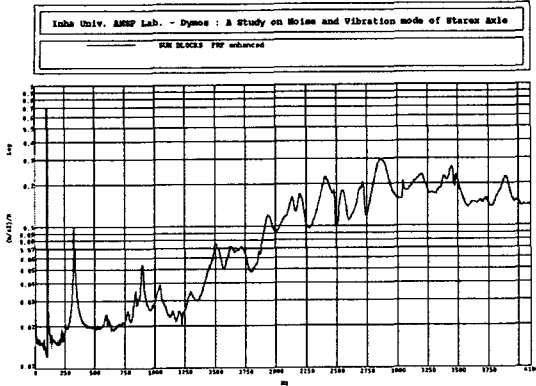


Fig.10 Frequency Response Function SUM

4. 주행 모드 해석 실험

일반적으로 행해지는 모드 해석은 시스템의 동특성만을 나타낼 뿐이므로 실제 주행 조건에서의 진동 양상은 나타내 주지는 못하는 단점이 있다. 즉, 모달 시험에서의 모드 형상은 실제 주행 시 동적 거동 현상이 다르게 나타나므로 이러한 문제점을 해결하기 위해 주행 모드 해석(Running Mode Analysis)을 수행하였다. Fig.11은 Overall level에 대한 FRF Sumr과 13 오더 성분, 26 오더 성분에 대한 FRF Sum을 비교한 것이며 세 개의 Frequency spectra 모두 1300rpm 부근과 2200~2600rpm에서 액슬의 진동이 크게 증가하고 있음을 보여주고 있다. 주행 모드 해석을 통해 확인된 두 공진 구간은 실내 소음 측정을 통해 확인한 기어 와인 소음 발생 구간인 1800 ~1900rpm, 2800~3100rpm이 -600rpm씩 이동된 것으로, 이는 주행 모드 실험시의 조건이 구름 저항 등의 실제 주행 조건과 똑 같지 않기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 주행 모드 해석으로부터 구해진 액슬의 회전 구간에서 공진이 일어나고 있으며 액슬 공진이 기어 와인 소음의 원인임을 확인할 수 있다. 문제되고 있는 기어 와인 소음의 주요 발생 구간에서 13 오더 성분의 영향이 크게 미치고 있음을 확인할 수 있다. 이는 앞에서 수행한 실내소음 측정 및 분석 실험에서도 확인한 결과로, 주행 모드 해석을 수행함으로써 기어 와인 소음이 액슬의 공진에 의해 발생함을 확인하였다.

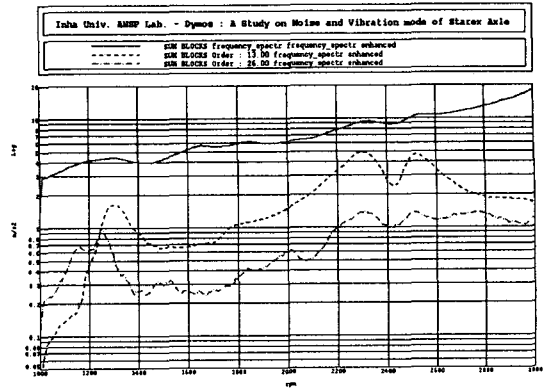


Fig.11 Comparison of FRF SUM

5. 결론

- (1) 승합차량용 액슬에서 발생하는 기어 와인 소음(Gear whine noise)의 원인을 규명하기 위해 진동 전달 경로 측정 및 모드 해석, 주행 모드 해석을 수행하였으며, 기어 와인 소음은 액슬의 1 차 가진원인 기어의 맞물림에 의한 13 오더 성분이 원인임을 확인하였다.
- (2) 26 오더는 액슬 공진으로 존재하지만 절연 고무에서 충분한 절연효과가 있어 실내 소음에 직접적인 영향을 미치지 않았다. 그러나 모드 해석 결과 850Hz, 1250 Hz 부근의 공진에 26 order 성분이 증폭되므로, 절연고무가 이 영역을 제대로 절연하지 못한다면 향후 기어 와인 소음 유발에 상당한 영향 줄 수 있음을 확인할 수 있다.
- (3) 주행 모드 해석 (Running modal analysis)은 실제 주행 시 동적 거동 현상을 확인하였다.

후기

본 연구는 ㈜다이모스의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Muquarram Colabawal, 2003, "An experimental procedure for characterization of gear whine noise in a variety of vehicle applications", 2003 SAE
- (2) R.Karishnaswami, 2001, "Gear Whine Reduction for a new automatic transmission", 2001 SAE
- (3) 이상권, 2000, "소음 전달 경로 해석 및 주행 모드 해석을 이용한 차량의 실내소음 저감을 통한 음색향상", 한국소음진동공학회지, 제 10 권, 제 5 호
- (4) F.Neyrinck, "Operational analysis and problem identification of a high performance racing engine"