

자동 소음 계측 및 분석 장치를 이용한 자동차 섀루프 윈드노이즈 저감 기술 개발

Sunroof Wind Noise Reduction Using Automatic Noise Measurement and Analysis System

신성룡† · 김흥기* · 정승균** · 국형석**

Seong Ryong Shin, Heung-ki Kim, Seung Gyoon Jung and Hyungseok Kook

Key Words: Wind Noise(바람소리), Sunroof(섀루프), Sunroof Buffeting or Wind Throb(섀루프 공진음), Aerodynamic Noise(풍절음), Sunroof Deflector(섀루프 디플렉터), Noise Measurement System(소음계측장치)

ABSTRACT

The best sunroof wind noise quality is mainly related to the sunroof deflector which affects both low-speed buffeting and high-speed aerodynamic noise. An automatic deflector-moving and noise-measuring apparatus is developed to obtain hundreds of measuring data which haven't been available by hand. With an additional program for fast and easy noise analysis, this device leads quickly to the better position and angle of the deflector. Now, the 'better' means the lower noise level and the robust design solution. From these kinds of better solutions, more meaningful guidelines on the deflector design and sunroof wind noise reduction can be suggested.

1. 서론

섀루프는 상품성 측면에서 대형화 및 일반화 추세에 있으므로 섀루프 윈드노이즈는 그 중요성이 증대되고 있다. 최근 5년간의 북미 IQS(Initial Quality Study)에 따르면 윈드노이즈 불만 고객 중 섀루프를 언급한 비율이 24%에 달하는데(그림 1), 이는 섀루프 장착율을 고려할 때 상당히 높은 것이다.

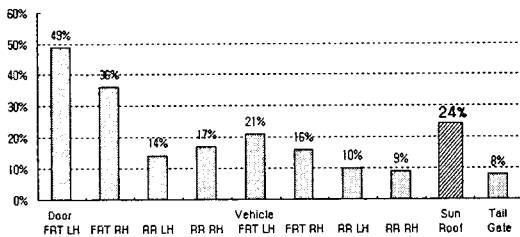


그림 1. 윈드노이즈 불만 부위 (북미 IQS, 2000년~2004년 평균)

특히, 완전 개방된 섀루프에서는 저속 주행시의 공진음(Sunroof buffeting or Wind throb)과 고속 주행시의 풍절음(Aerodynamic noise)이 늘

곧췉거리다. 공진음은 섀루프 개구부 앞전의 전단 유동과 차체의 헬름홀츠 공진 특성이 상호작용하여 발생하는 20Hz 내외에서의 피크 성분(그림 2)이다. 차체의 진동을 수반하며, 극심한 귀압박감을 유발시킬 수도 있다. 반면, 풍절음은 루프 상단의 유동이 디플렉터나 개구부 후방과 충돌하여 발생하는 1kHz 이상의 광대역 성분(그림 2)이다.

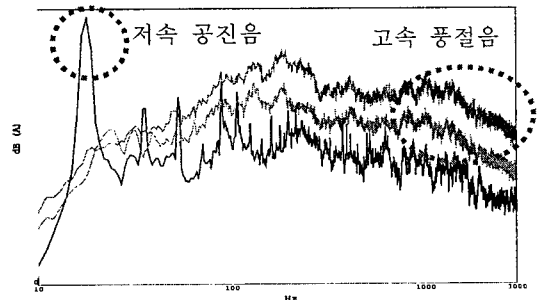


그림 2. 공진음과 풍절음의 소음 특성

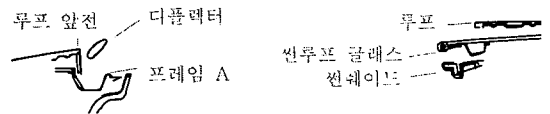


그림 3. 섀루프 개구부 단면 및 주요명칭

발생 메커니즘에는 글래스 열림량, 실내 체적, 루프 곡률 등의 영향이 모두 포함되지만, 보통 차량의 개구량이 어느 정도 이상이면 공진음이 발생

† 현대·기아 연구 개발 본부 시험 3팀
E-mail : ssdragon@hyundai-motor.com
Tel: (031) 368-6464

* 현대·기아 연구 개발 본부 시험 3팀

** 국민대학교 기계자동차공학부 부교수

하기 마련이다. 디플렉터는 개구량을 유지하면서 공진음을 없애기 위하여 고안된 기구로서, 공진음의 저감을 위해서는 높게 설치하는 것이 유리하나, 이 경우 디플렉터에서 고속 풍절음이 발생하기 쉽다. 따라서, 디플렉터의 적절한 돌출량, 갭, 각도(그림 4 참조)를 설정하는 것이 저소음 섀루프 디플렉터 개발을 위한 필수 과정이 되었다.

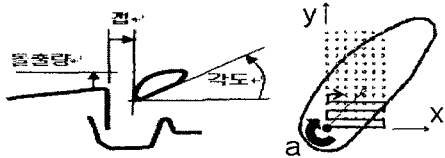


그림 4. 디플렉터 위치 변수

본 연구의 목적은 이러한 디플렉터 최적화 과정을 손쉽게 할 수 있도록 도와주는 자동 섀루프 소음 시험 장치를 개발하고 실차를 이용한 시험에서 그 효과를 확인하고자 하는 것이다.

이에 먼저, 시험 장치를 구성하고 있는 튜브형 디플렉터의 자동 이송 및 동시 소음 계측 장비와 후처리 데이터 분석 프로그램에 대하여 살펴보고자 한다. 또한, 개발된 장치를 이용하여 실차의 섀루프 소음 저감을 달성한 사례를 소개하고자 한다.

2. 자동 소음 계측 및 분석 장치 개발

2.1 장치 개발의 취지 및 효과

디플렉터의 장착 위치를 바꿔가며 소음을 측정하고 이후 결과 분석을 통하여 가장 좋은 위치를 선정한다는 개념은 동일하다. 그러나, 기존의 시험 방식은 수작업에 의하여 플라스틱 혹은 종이 지그를 이용하여 디플렉터의 위치를 변경하여야 하였으므로, 시험의 정확도 확보가 어렵고 시험 시간과 인력이 많이 소요되었다. 따라서 시험 데이터를 충분히 얻기 어려우므로 개발 기간과 인력의 압박을 많이 받게 된다.

본 연구에서 개발한 시험 장치는 서보 모터 제어와 데이터 수집을 동기화하는 기술을 이용하여, 디플렉터 장착 위치를 미리 입력된 범위 내에서 자동으로 스캐닝하며 동시에 실내 소음을 측정함으로써 정확도가 확보된 다수의 데이터를 얻을 수 있으며, 대용량 데이터를 재빨리 처리할 수 있는 후처리 프로그램을 병용하여 최적의 디플렉터 위치를 찾아내기까지의 소요 시간, 인력을 크게 줄일 수 있었다.

2.2 시험 장치의 구성

디플렉터를 세밀히 이동시킬 수 있는 하드웨어 장비, 이를 구동시키고 실시간 음향 신호 측정을 가능하게 하는 모션 컨트롤러 및 데이터 수집 장비, 최적 위치를 판별할 수 있는 후처리 프로그램으로 구성되어 있다. 이하 각각에 대하여 기술하도록 하겠다.

하드웨어 장비는 미쯔비시 3 축 서보 모터, 미쯔비시 서보 드라이버, THK 리니어 모션가이드를 이용한 정밀 기구로 제작되었으며, 모듈화와 케이블 연결 단순화로 보관, 이동, 조립을 최대한 간편화하였다.

디플렉터 이동 및 계측 프로그램으로는 시험 장치 작동과 데이터 획득, 파일 저장을 담당하는 독립된 각각의 프로그램을 만든 후, 병렬 처리 기법을 활용하여 종래의 순차적 방식에 비해서 시험 시간을 대략 50% 정도 단축하였다. 측정 범위 설계, 측정점 변경 루트 설계, 회전 중심점 선택, 시뮬레이션 등의 기능을 채용하여 디플렉터가 정확히 구간을 이동하며 소음 측정이 가능하다.

후처리 데이터 분석 프로그램은 측정된 모든 데이터를 한번에 읽어 공진음 및 풍절음의 소음 레벨을 분석하는 것이 주요 목적이다. 공진음의 판별은 저주파 피크 소음 레벨, 풍절음은 고주파 광대역 소음 레벨을 기준으로 정하였다. 많은 데이터의 분석이 한 눈에 용이하도록 3 변수(돌출량, 갭, 각도) 시험데이터를 2 차원 부채꼴 형상으로 나타낼 수 있게 하였다. 또한, 여러 조건을 동시에 만족하는 시험 위치를 표시할 수 있는 기능을 통해 최적의 디플렉터 위치 판별이 쉽도록 하였다.

3. 실차 시험 결과

3.1 시험 조건

시험 장치에 디플렉터를 장착하고 조수석에 설치한 모습이 그림 5에 나타나 있다.

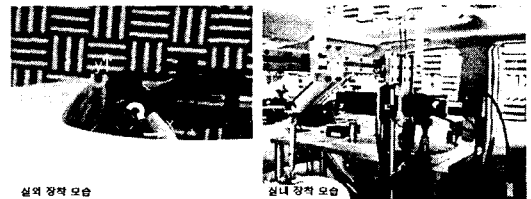


그림 5. 디플렉터부와 시험 장치가 장착된 실내

디플렉터는 초기 위치 대비 x (x , y , a 의 의미는

그림 4 참조) 방향은 +0~+12mm(3mm 간격), y 방향은 +0~+21mm(3mm 간격), 각도(a)는 수평면 기준 +15~+50 도(5 도 간격)의 범위를 가지면서 이동하도록 하여 총 320 개 위치 조건에서 측정하였다. 속도는 시속 40, 50, 80 km 에서 시험하였다.

3.2 시험 결과

그림 6 에는 시속 40km 조건에서의 공진음 측정 결과를, 그림 7 에는 시속 80km 조건에서의 풍절음 측정 결과를 도시하였다. 각각의 부채꼴은 디플렉터의 x, y 방향 이동에 따른 소음 레벨의 변화를, 한 부채꼴 내의 조각들은 각도 변화에 따른 소음 레벨 변화를 색깔로 보여주고 있다.

시험 결과, 40km/h 와 50km/h 의 공진음은 비슷한 속도대임에도 불구하고 그 특성이 서로 달랐다. 40km/h 에서는 디플렉터의 x 방향 이동에 대해 공진음 변화가 둔감한 반면에, 50km/h 에서는 공진음이 낮은 조건이 40km/h 에서보다 적고 각도에 민감하여 시험 차종에서는 50km/h 를 위주로 공진음을 저감하여야 함을 알 수 있었다.

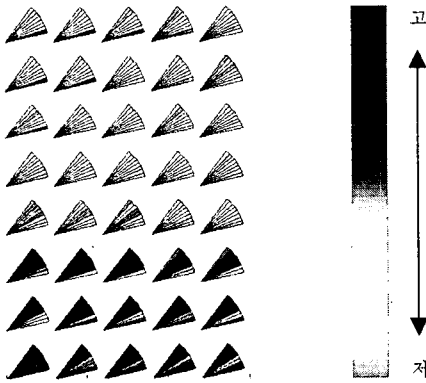


그림 6. 공진음 평가 결과(40km/h)

위치상으로는 디플렉터의 하단이 루프면까지 올라와야 디플렉터 하단을 통과한 유동의 작용에 의해 공진음 발생이 최대한 억제하는 것으로 나타났다. 하지만, 풍절음은 그림 7 에서 보듯이 디플렉터 각도가 낮을수록 유리하고, 공진음과 반대로 디플렉터의 하단이 루프면 부근에 있을 때 가장 불리한 것으로 나타나 공진음과의 최적화 과정이 필요함을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

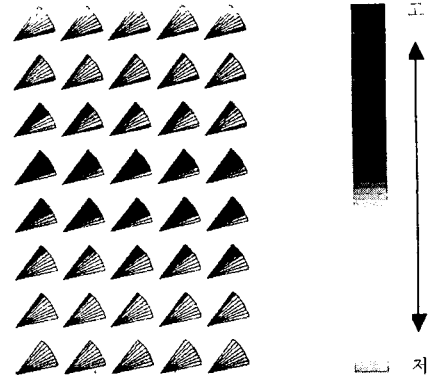


그림 7. 풍절음 평가 결과(80km/h)

우선, 공진음과 풍절음에 대하여 과거의 시험 결과를 토대로 각기 적절한 합격 기준을 선정하여 두 소음 기준 중 하나라도 만족시키지 못하는 영역을 제외하였다. 그림 8 에서 검은 부분은 어느 한 가지 소음 기준이라도 만족시키지 못하는 위치이다.

이제 두 합격 기준을 모두 만족시키는 위치들 중에서 두 가지 소음 레벨이 가장 작은 위치를 선택하면 될 것 같으나, 실제 적용을 위해서는 공진음과 풍절음의 소음 레벨뿐만 아니라, 디플렉터의 장착 구조 변경 범위, 섀시 부분 개방 조건에서의 이상 소음 발생 여부, 장착 불량 산포에 따른 소음 민감도 등을 추가로 고려하여야 한다.

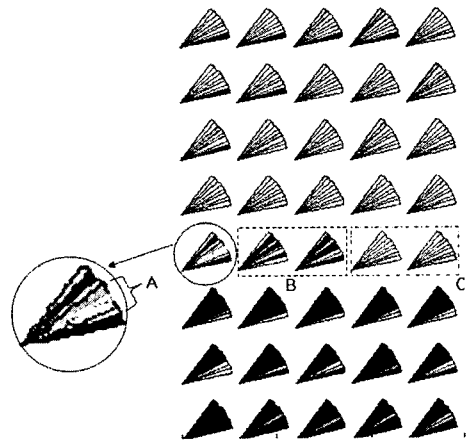


그림 8. 속도별 소음레벨, 장착성, 산포 민감도를 모두 고려한 최적 디플렉터 위치 선정

그림 8 에서 보듯이 섀시부의 과도한 돌출을 피하면서 공진음과 풍절음 소음 레벨이 모두 적정

수준에 해당되는 위치는 A, B, C 영역뿐이다. 하지만, B 위치는 각도 변화에 대하여 민감한 부분이라 산포에 의한 영향을 받기 쉬운 곳이며, C 위치는 디플렉터 주위의 구조 변경이 불가피한 곳이다. 따라서, 최종적으로 A 위치가 모든 조건을 만족하는 곳이며, 그림 9에 나타나 있다.

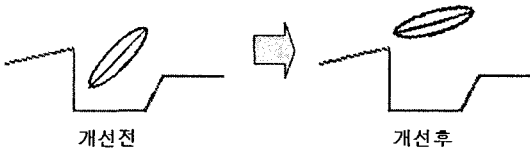


그림 9. 개선 전후의 디플렉터 위치

4. 결론

본 연구에서는 섀루프 디플렉터가 위치할 수 있는 모든 영역을 자동으로 스캔하며 소음을 측정할 수 있는 시험 장치와 후처리 프로그램을 개발하였다. 기존의 수작업을 통한 섀루프 시험의 한계를 극복할 수 있으므로, 방대한 데이터를 이용하여 보다 더 최적의 디플렉터 위치를 찾아낼 수 있는 효과가 있다.

이러한 개발 장비를 이용하여 실차 시험을 실시하여 튜브형 디플렉터의 위치와 각도가 섀루프 저속 공진음 및 고속 풍절음에 미치는 영향을 파악하였으며, 현 섀루프 열림량보다 더 큰 열림량 조건에서 섀루프 소음을 저감할 수 있는 디플렉터 최적화를 달성할 수 있었다.

본 시험 장비를 적절히 활용함으로써 다수의 차량 개발 단계에서의 개선 경험을 축적하는 동시에, 개선 원리의 일반화를 추구함으로써 향후 섀루프 저소음 설계를 위한 실질적인 설계 가이드를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) Hyungseok Kook, 1997, "Prediction and Control of the Interior Pressure Fluctuations in a Flow-excited Helmholtz Resonator", Ph. D Thesis, Purdue University
- (2) William K. Blake, 1986, Mechanics of Flow-Induced Sound and Vibration, Volume I, Academic Press, Inc.
- (3) Jongman Kim, 2003, "Vehicle Cavity Wind Noise Experiments on a Scale Model in a Wind Tunnel", MSc thesis, Cranfield University