

다양한 공명기를 적용한 자동차 저소음 흡기시스템 개발

⁰이 장 명*, 한 성 수**, 정 병 인***, 임 지 민***

Development of a Low Noise Intake System Using Non-Helmholtz Type Resonator

⁰Chang-Myung Lee*, Sung-Su Han**, Byung-In Jung***, Ji-Min Lim***

ABSTRACT

The intake noise of an automobile induced by firing of an engine accompanies acoustic resonances of ducts of an intake system. Conventionally, the adoption of the Helmholtz type resonator was one of possible ways to eliminate the booming noise due to acoustic resonances of air ducts. Although the Helmholtz type resonator is convenient to attenuate the intake noise of an automobile, the usage of the Helmholtz type resonator requires cost increase or big engine room space. Therefore, reduction of the number of the resonators or the volume of the resonators is essential to increase the value of an automobile. To meet these requirements, other types of resonator are suggested instead of the Helmholtz type resonator. The effectiveness of the suggested resonators is compared considering noise reduction ability, effect to the engine performance and size of each resonator.

1. 서 론

자동차의 실내소음은 타이어 소음, 노면 소음, 윈드 노이즈, 엔진 폭발 소음, 엔진이나 판넬 진동에 의한 구조소음, 배기소음, 흡기소음 등에 영향을 받는다. 자동차 회사들이 이 실내소음 저감을 위하여 부단히 노력하여 온 결과 과거에 비해 자동차의 실내 소음이 상대적으로 많이 감소하였다. 하지만, 그 동안 엔진소음 같은 큰 소음원들에 의해 감

추어져 비교적 무시되었던 소음들이 실내소음의 중요한 소음원으로 되는 경우가 발생하고 있다. 이러한 종류의 소음원들 중에 대표적인 것이 흡기소음이다.

자동차의 흡기소음은 일반적으로 엔진의 폭발로 인하여 발생한다. 특히, 폭발에 의한 압력변동의 주파수가 흡기계를 이루는 덕트의 길이에 의하여 나타나는 공진주파수와 일치할 경우에 큰 소음이 발생한다. 흡기소음이 문제시되었을 경우 흡기소음을 저감하기 위한 수단으로 흡기 덕트에 음향 공진 주파수에 해당하는 공명기를 부착하는 것이 일반화되어 왔고, 또한 공명기가 흡기소음을 저감하는데 중요한 역할을 하여 왔다. 따라서, 최근까지 주로 흡기계 외부에 어떤 크기의 공명기를 어떤

* 정회원, 울산대학교 공과대학 자동차공학과

** 울산대학교 대학원 자동차공학과

*** 현대자동차

위치에 부착하는 것이 좋은가에 대한 연구를 많이 하여왔다.⁽¹⁾⁽²⁾ 하지만, 흡기계 외부에 공명기를 부착하는 방향으로만 흡기소음을 저감시키기 위해서는 엔진룸 내에 많은 공명기를 설치하여야 한다. 이로 인하여 흡기계 외부에 공명기가 많이 설치된 경우에는 엔진룸의 여유 공간이 협소하여 엔진의 정비성을 저하시키며, 결국 자동차의 상품성을 떨어뜨린다. 또한, 여러 개의 공명기 부착은 자동차 생산 단가를 상승시킨다.

본 논문에서는 흡기계 설계시에 앞에서 언급된 문제들을 해결하기 위하여 기존에 주로 사용되고 있는 헬름홀쯔 공명기나 사이드브렌치가 아닌 독창적인 음향요소들을 제안하였다.

2. 본 론

공명기와 같은 음향요소는 크게 천공형과 비천공형으로 구분된다. 일반적으로 천공형 요소는 흡기계의 공기 흐름에 대하여 약한 구조이고, 플라스틱으로 제작하는 것이 쉽지 않기 때문에, 동심관형 공명기를 제외하고는 흡기계의 공명기로서 적합하지 않다. 천공형 공명기가 자동차의 흡기계에서 사용되더라도 음질이 나빠지는 문제를 유발시킨다. 따라서, 본 논문에서는 천공형 공명기 대신에 포러스 덕트를 제안하였다.

비천공형 공명기들 중에 흡기계에서 적용가능한 공명기에는 사이드브렌치, 겹친 사이드브렌치, 역류형 소음기, 공명기가 부착된 역류형 소음기 등이 다.

2.1 포러스덕트(Porous Duct)⁽⁴⁾⁽⁵⁾

포러스 덕트는 벽이 짜여진 직물에 와이어가 보강된 원형단면의 덕트이다. 엄밀히 말해, 자동차 흡기계에서 응용된 포러스 덕트는 공명기로서의 특성을 보이지는 않는다. 하지만, Fig. 1과 같이 에어클리너 이후의 플라스틱 덕트 부분에 포러스 덕트를 사용함으로써 특정 주파수에서의 흡기소음을 저감시킨다. Fig. 2는 투과손실의 모의실험을 통하여 다양한 기공도(단위 : HZ)를 가진 포러스 덕트의 소음 저감 원리를 보여준다. 즉, 덕트 벽을 통하여 음이 유출되기 때문에 포러스 덕트 벽이 일종의 흡음재 역할을 한다. Fig. 3은 실제 자동차에

의 에어클리너 이후에 플라스틱 덕트와 포러스 덕트를 각각 설치한 후 흡기소음을 측정된 결과이다.

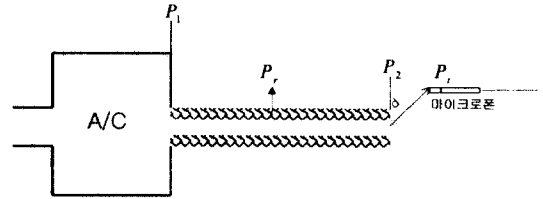


Fig. 1 Porous Duct after air-cleaner

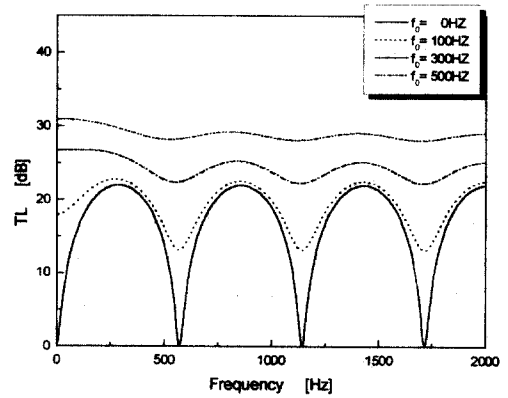


Fig. 2 TL of Porous Duct

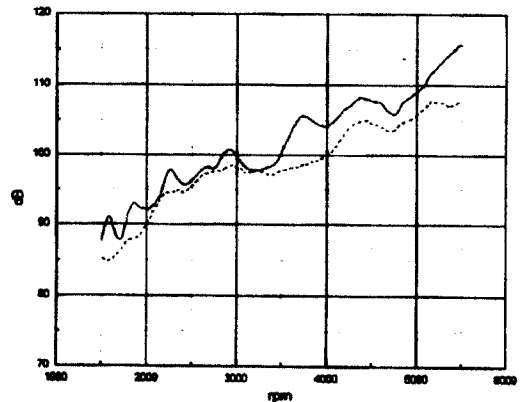


Fig. 3 Intake noise of the plastic pipe and the Porous Duct(— plastic pipe, Porous Duct)

2.2 동심관형 공명기(Concentric Hole-Cavity Resonator)⁽⁶⁾

Fig. 4에서 보듯이 동심관형 공명기는 덕트와 일체형으로 원통 모양의 공동과 공동 중심을 통과하는 덕트로 이루어져 있는데, 이 덕트에는 작은 천공들이 있다. Fig. 5는 지름 6mm의 천공이 60° 간격으로 일렬로 형성된 천공분포면이 공동의 중심에 위치한 동심관형 공명기의 투과손실을 측정된 결과이다.⁽³⁾ Fig. 4와 Fig. 5에 보듯이 천공형 공명기의 공명주파수는 천공의 위치, 천공의 갯수, 천공의 지름, 덕트의 두께 등에 의하여 결정된다. Fig. 6은 실제 자동차에 동심관형 공명기를 적용하여 흡기소음을 측정된 결과이다.

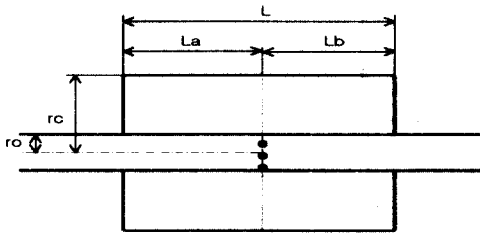


Fig. 4 Concentric Hole-Cavity Resonator

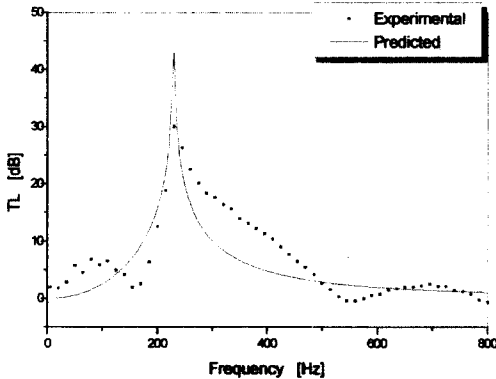


Fig. 5 TL of Concentric Hole-Cavity Resonator

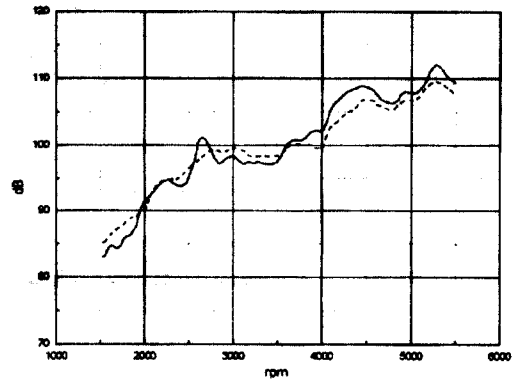


Fig. 6 Intake noise of the plastic pipe and Concentric Hole-Cavity Resonator
(— plastic pipe, - - - Concentric Hole-Cavity Resonator)

2.3 사이드브랜치와 겹친 사이드브랜치(Side branch & Folded side branch resonator)⁽⁷⁾

사이드브랜치의 공명주파수는 길이와 특정 주파수의 $\lambda/4$ 와 일치할 경우이다. 사이드브랜치는 저주파 소음을 저감시키기 위해서는 길이가 상당히 길어야 하는 반면에, 겹친 사이드브랜치는 비교적 짧은 확장관으로 길이가 긴 사이드브랜치의 역할을 대신할 수 있다. Fig. 7과 8은 겹친 사이드브랜치의 각각 다른 형태이다. 그러나, 겹친 사이드브랜치의 확장관의 단면적은 덕트 단면적에 비하여 상당히 커야 하기 때문에 설치할 공간이 충분히 확보되어야 한다. 단면의 형상은 음향성능에 거의 영향을 끼치지 않기 때문에 확보된 공간에 따라 적절하게 타원 또는 다른 형상의 단면이 사용될 수 있다. 하지만, 단면의 형상에 따라서는 표면으로부터 방사되는 소음을 증가시킬 수 있다.

Fig. 9는 겹친 사이드브랜치의 투과손실을 측정된 결과를 보여준다.

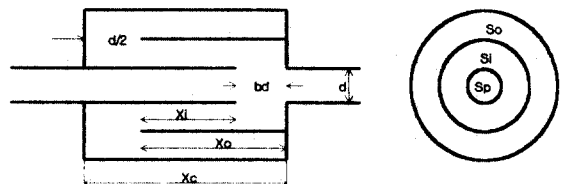


Fig. 7 Folded Side Branch I

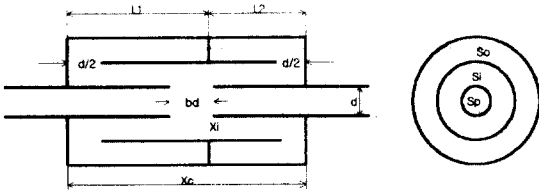


Fig. 8 Folded Side Branch II

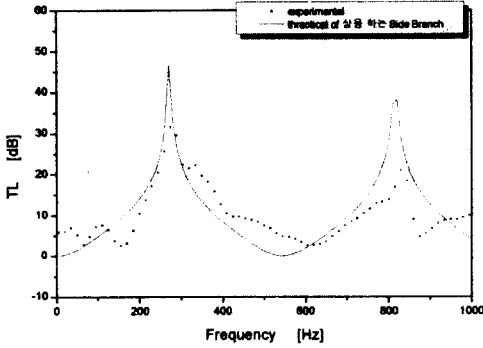


Fig. 9 TL of Folded Side Branch I

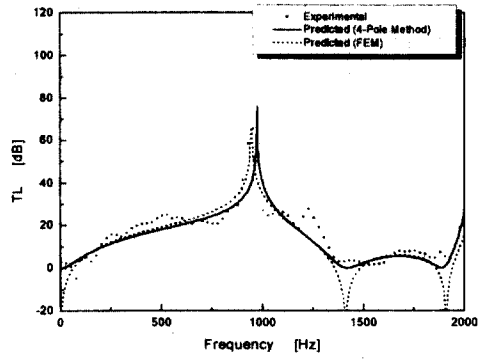
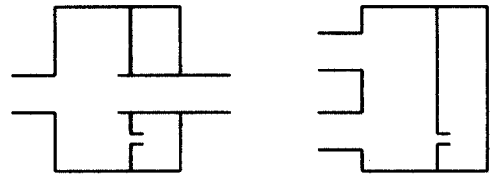


Fig. 10 TL of Reverse Chamber



a. 공명기를 가진 단순확장관 b. 공명기를 가진 역류형 소음기

Fig. 11 Reverse Chamber with a resonator

2.4 역류형소음기와 공명기가 부착된 역류형소음기(Reverse chamber & Reverse chamber with a resonator)⁽⁸⁾

역류형 소음기는 경우에 따라서 음향요소로 사용되는 경우도 있지만, 공간상의 문제로 인하여 주로 에어클리너의 한 형태로 응용된다. 유체흐름 및 음파의 진행방향을 반대로 바꾸어 주므로 단순확장형 소음기에 비해 큰 투과손실을 나타내며, 특히 저주파영역에서의 소음감쇠가 뛰어나지만, 이러한 형태는 큰 부압을 유발하게 되므로 엔진성능의 저하가 발생하는 단점이 있다. Fig. 10은 역류형 소음기의 투과 손실을 측정한 결과이다.

공명기가 부착된 역류형 소음기는 에어클리너에 적용이 가능한 요소로 엔진룸의 공간이 한정되어 있는 경우에 적합하고, 공명기가 외부로 유출되지 않는 장점이 있다. 투과손실을 측정한 결과, 단순확장관이나 역류형 소음기의 특성에 더해 공명기에 의하여 특정주파수에서 피크치가 나타난다. Fig. 11과 Fig. 12는 공명기가 부착된 역류형 소음기의 형상과 투과손실의 측정 결과이다.

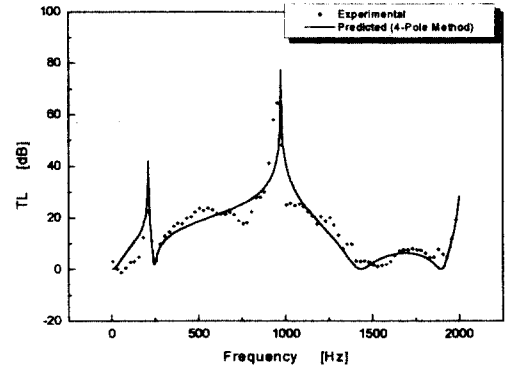


Fig. 12 TL of Reverse Chamber with a resonator

3. 결 론

본 논문에서는 흡기계에 사용될 수 있는 공명기

로서 가장 일반적인 헬름홀츠 공명기를 제외한 독창적인 음향요소들을 제안하였다. 각각의 음향요소에 대하여 장·단점을 요약하면 다음과 같다.

포러스 덕트 : 일반 플라스틱 덕트에 비하여 가격은 다소 비싸나, 흡기계 공명기의 갯수를 줄일 수 있는 장점이 있다.

동심관형 공명기 : 엔진룸의 많은 공간을 차지하지는 않으나, 제조상의 어려움이 있다.

사이드브렌치 : 공명주파수의 수학적 계산은 쉬우나, 저주파 음을 제어하기 위해서는 길이가 상당히 길어야 한다.

접힌 사이드브렌치 : 비교적 짧은 확장관으로 길이가 긴 사이드브렌치의 역할을 대신할 수 있다. 그러나, 설치할 공간이 충분히 확보되어야 한다.

역류형소음기와 공명기가 부착된 역류형소음기 : 에어클리너에 적용이 가능한 요소로, 흡기계의 구조가 다소 복잡할 경우 적용하기 어려운 단점이 있다. 공명기가 부착된 역류형 소음기는 엔진룸의 공간이 한정되어 있는 경우에 적합하고, 공명기가 외부로 유출되지 않는 장점이 있다.

using a two-microphone random-excitation technique", J. Acoust. Soc. Am. 61(5), pp.1362-1370

[4] A. Cummings, R Kirby, 1998, "Low Frequency Sound Transmission in Ducts with Porous Walls", INTERNOISE98

[5] 이장명, 한성수, 1999, "포러스 덕트의 4단 자정수", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp.649-653

[6] 전영두, 김양한, 1998, "동심관형 공명기의 음향학적 특성 연구", 한국자동차공학회 논문집 제8권 제1호, pp.210-216

[7] P.O,A,L. Davies, 1996, "Piston Engine Intake and Exhaust System Design", Journal of Sound and Vibration, (4), pp.677-712

[8] J. G. Ih, B. H. Lee, 1987, "Theoretical Prediction of The Transmission Loss of Circular Reversing Chamber Mufflers", Journal of Sound and Vibration, 112(2), pp.261-271

참 고 문 헌

- [1] Kostun, J. D., Lin, J. S., 1994, "Effect of Resonator Location on Resonator Effectiveness using NASTRAN Mode Shape Prediction Analysis and LAMPS Acoustic Model", SAE 940614, pp.1368-1400
- [2] 이장명, 임학중, 1997, "자동차 흡기계 공명기 위치 결정을 위한 이론적 접근", 한국소음진동공학회, 제 7권 제 4호, pp.701-708
- [3] A. F. Seybert, 1977, "Experimental determination of acoustic properties