Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 4, pp.24-31 (2009)

Copyright Ⓒ 2009 KSAE
1225-6382/2009/100-04

고성능 일체형 자동차 소음기를 장착한 배기계 설계

정 수 진[*1)] · 강 우[1)] · 이 점 주[2)] · 김 태 훈[3)]

자동차부품연구원[1)] · 우신공업(주)[2)] · 마산대학[3)]

Exhaust System Design for the Integrated Automotive Muffler

Soo-Jin Jeong[*1)] • Woo Kang[1)] • Jeom-Joo Lee[2)] • Tae-Hun Kim[3)]

[1)]*Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjeong-ri, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea*
[2)]*Wooshin Industrial Co., Ltd., 1381-16 Jeongwang-dong, Siheung-si, Gyeonggi 429-854, Korea*
[3)]*Masan College., 100 Yongdam-ri, Naeseo-eup, Masan-si, Gyeongnam 630-729, Korea*
(Received 28 May 2008 / Accepted 30 November 2008)

Abstract : This paper has been focused on the development of integrated automotive muffler system to meet getting more stringent sound quality target. Typically, muffler system consists of resonator and main muffler. The many varieties in exhaust pipe routing and the flexibility in muffler design make it possible to design an exhaust system to deliver tailpipe sound for specific sound quality requirement. In recent, it is strongly recommended that the function of resonator be merged into that of main muffler due to severe space limitation of underbody. The main objective of the paper is to study the effects of various geometrical parameters on the muffler performance. This work has succeeded in eliminating resonator without loss of muffler performance. This work has also investigated the effect of diameter of hole, geometries of pipes and location of muffler on the sound quality.

Key words : Integrated muffler(일체형 소음기), Tail pipe noise(배기가스 토출소음), Pulsation noise(맥동소음), Exhaust system(배기계), Resonator(공명기)

1. 서 론

기존의 소음기는 주소음기와 보조소음기를 적용하여 법적인 규제만족과 더불어 소음감소를 추진하였으나 최근에는 감성품질의 강조, 중량저감, 원가절감, 부품수의 감소 등을 자동차 제작사에서 요구하고 있으며 따라서 일본등과 같은 선진국에서는 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이며[1-3)] 일부 유럽에서도 경쟁 확보를 위하여 개발 및 양산에 적용하고 있다. 따라서 초저소음형 소음기 개발을 위한 기초, 응용연구가 국내에서는 상당히 미흡한 실정이기 때문에 연비향상 측면(경량화 추진)과 감성품질 확보를 위해서는 반드시 보조소음기가 필요없는 주소음기 만으로 대응할 수 있는 배기계의 기능부품 개발(일체형소음기)이 반드시 필요하다. 일체형 소음기는 일본의 기술수준이 가장 높은 것으로 알려져 있으며 유럽의 피아트 차량의 일부 소형(1,000cc급) 저가 차종에 보조 소음기가 없는 주소음기 만의 차량이 개발되어 있으나 그 성능은 보조소음기가 있는 배기장치의 성능에 미치지 못하고 있는 실정이다. 국내의 경우도 ZEV의 개발을 위하여 배기매니홀드를 비롯한 배기계의 부품의 경량화와 내열성 강화를 위하여 주물에서 SUS 재질로 변경하여 개발을 추진하고 있으며 소음기 역시 경량화를 위하여 보조소음기를 폐지한 배기계를 개발 연구중에 있

*Corresponding author, E-mail: sjjeong@katech.re.kr

다. 이러한 일체형 소음기 개발을 위해서는 공명실, 격판 및 유입홀 등의 주요설계인자들이 최적화 되어야 한다.[4-6,8] 따라서 본 연구에서는 in-line 4기통 2,000cc 가솔린엔진에 장착한 일체형 소음기 개발을 위하여 격판 및 파이프의 형상, 다공율 그리고 소음기 위치가 소음기 성능에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였으며 개발된 일체형 소음기의 성능을 확인하기 위하여 배기소음 및 배압 시험을 수행하였다.

2. 실험 및 평가방법

본 연구에서 일체형 소음기의 성능 평가를 위하여 소음기의 배압, 배기소음 그리고 아이들 부밍 노이즈를 측정하였으며 측정위치 및 조건을 Table 1에 나타내었다.

배압은 바닥밑촉매변환기 후방 100mm 위치에서 통기저항 시험기(측정범위: 70.8 liter/s)로 측정하였다. 자세한 시험방법을 Table 2에 나타내었다.

배기소음 평가는 배기 끝단에서 500mm 떨어진 후방에 45도 각도로 소음측정기를 장착하여 아이들 부밍을 측정하였으며 이때 기어의 위치는 “D”에 위치시켰으며 A/C은 끈상태로 측정하였다. 가감속 주행 시의 배기소음은 1,000-6,000rpm의 범위에서 측정하였다. 상세한 시험방법을 Table 3에 나타내었다.

3. 시험결과 및 분석

점차 강화되는 배기규제 및 경량화 추세에 맞추어 차체하부의 공간제약이 증가함에 따라 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 보조소음기를 저거하고 보조소음기의 역할을 주소음기에 일체화시키기 위하여 주소음기의 주요 설계인자를 최적화 시키는 것이 본 연구의 목적이다.

3.1 실험대상 소음기

본 연구에서는 고성능 일체형소음기의 설계를 위하여 격판의 홀 직경, 위치, 공명실의 유무, 공명실 홀

Table 1 Experimental evaluation

배압		배기소음	아이들 부밍	비고
측정위치	UCC 후방 100mm	Tail Pipe 후방 500mm, 45도		
측정 RPM	6000rpm	1000-6000rpm	전부하 650rpm	
촉매 사양	ULEV 2.0			

Table 2 Backpressure measurement

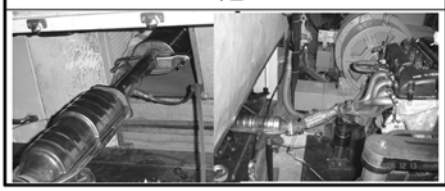
사진	측정 Point/Spec	목적
	1. UCC 후단 100mm 2. 엔진벤치 -@Max 6000rpm 3.배압 -CTR+Main Muffler	차량 동력성능 향상

Table 3 Tailpipe noise measurement

사진	측정 Point/Spec	목적
	1. 실내 소음 및 배기소음 2. 엔진벤치(샤시다이나모)/실차 주행 - Idle~ 6000rpm 3. Target - OA, 차수성분(C2, C4, C6)	배기계 소음 저감 승차감 개선

Fig. 1 Exhaust system layout

의 유무, 유입 홀의 위치변경 및 캡의 유무 등이 배압 및 배기소음 성능에 미치는 영향에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 아래 Table 4, 5와 같이 9개의 경우에 대한 실험을 수행하였다.

Table 4에서 볼 수 있듯이, case 1을 기본 사양으로 하고 case 2은 기본 모델의 공명실 홀들을 삭제하였으며 case 3는 공명실 홀과 캡을 삭제하였다. case 4의 경우는 2번째 격판에 20mm 직경의 홀을 설치하였으며 case 5는 첫 번째 격판의 홀의 직경을 50mm에서 40mm로 감소시켰다. case 6은 두 번째 격판의 홀의 직경을 36mm로 증가시켜 배기소음 성능에 미치는 영향을 연구하였다.

Table 5에 나타낸 case 7의 경우는 2번째 격판에 직경 36mm, 길이 120mm의 관을 삽입하였으며, case 8은 유입 홀의 위치를 변경하였고 case 9는 2번째 격판에 직경 20mm와 13mm의 홀을 설치하였다.

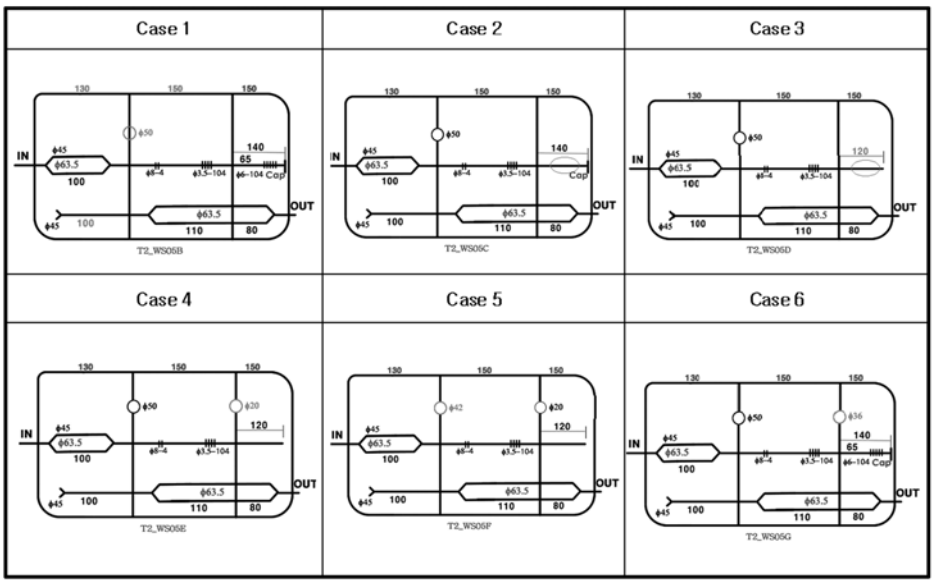


Table 4 Measured integrated muffler models

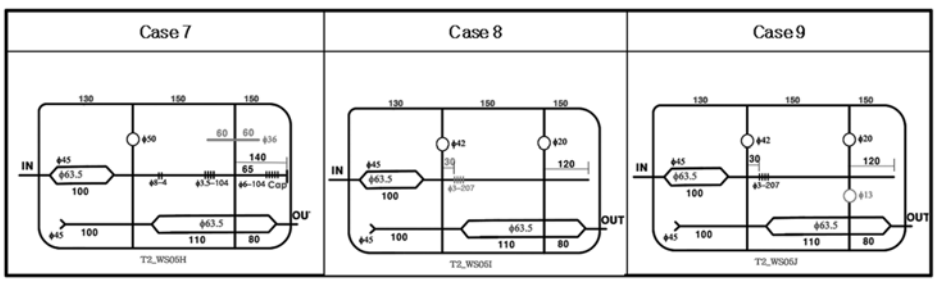


Table 5 Measured integrated muffler models

3.2 실험결과

3.2.1 일체형 소음기의 형상설계

Fig. 2에 case1~4의 배기소음 측정결과를 나타내었다. 결과로부터 알 수 있듯이, 전체평균(O.A) 소음은 4경우 비슷하게 나타났으나 4실린더 엔진의 주요 소음성분인 2차 소음성분의 경우는 case 2의 경우가 2,500-4,500rpm 영역에서 높게 나타났으며 4차 성분의 경우는 1,000-3,500 rpm의 영역에서 다른 경우들보다 매우 높은 음압을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 3번째 룸이 공명실 홀을 삭제하여 공명실 역할을 할 수 없기 때문이다.[3,7] 공명실 홀과 캡 모두 제거한 case 3은 3번째 룸의 공명실 역할이 가능하기 때문에 소음특성에 큰 영향을 나타내지 않고 있으며 2번째 격판에 20mm 직경의 홀을 만든 경우는 공명실이 팽창실의 역할을 하기 때문에 C2, C4 성분이 악화되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3에 case 1-3의 아이들 부밍노이즈를 나타내었다. 83-250Hz 영역에서 case 2의 부밍노이즈가 타 경우에 비해 매우 높게 형성되어져 있음을 알 수 있는데 이는 공명실의 역할이 저속, 저부하 영역에서 매우 중요하게 작용하고 있음을 나타내어 주는 것이다.

Fig. 4에 case 1,3,4,5의 경우에 대한 배기소음 측정결과를 나타내어 주고 있다. 결과로부터 알 수 있듯

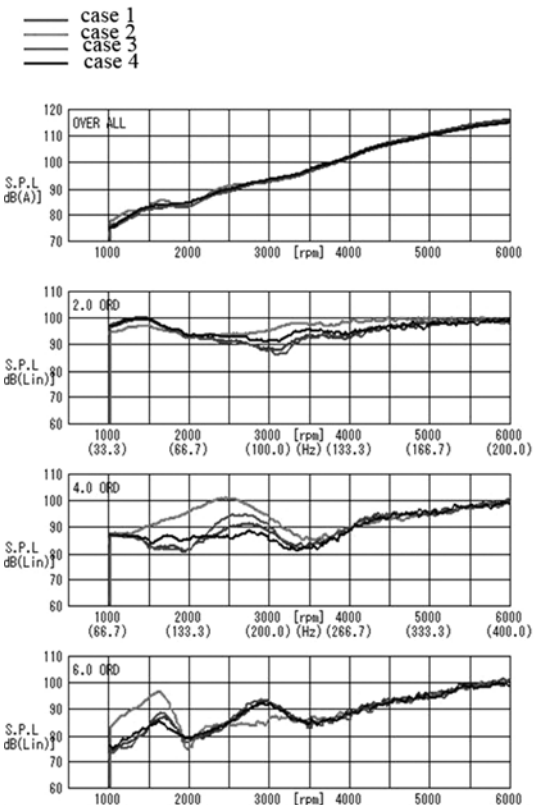


Fig. 2 Measured tailpipe sound in run-up mode

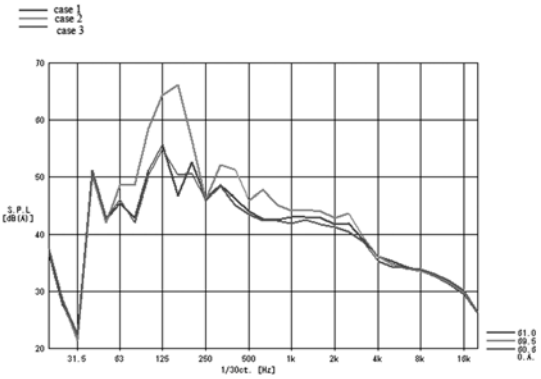


Fig. 3 One-third octave band of idle booming noise

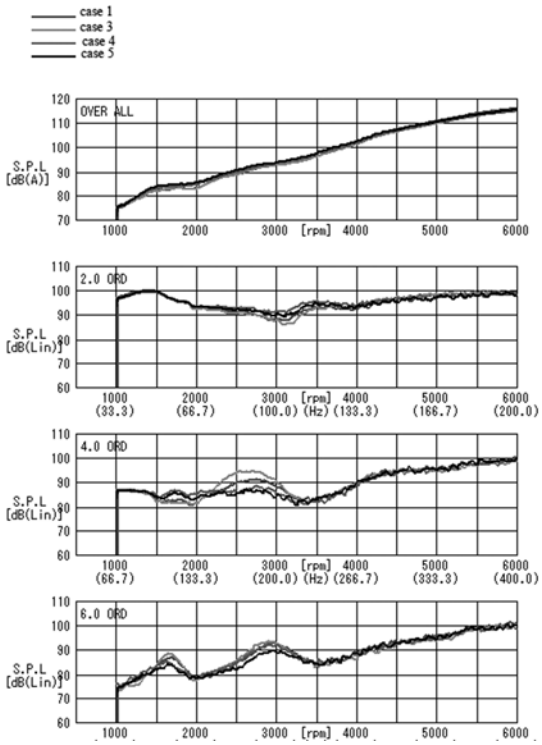


Fig. 4 Measured tailpipe sound in run-up mode

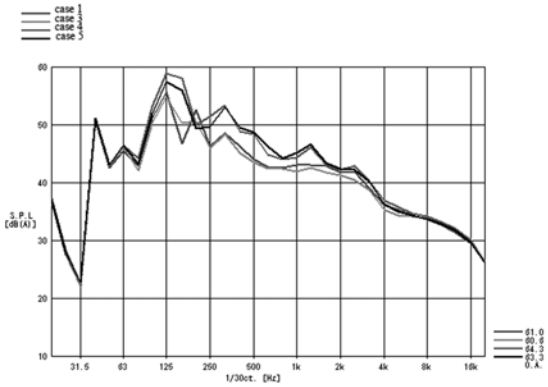


Fig. 5 One-third octave band of idle booming noise

이, 두 번째 격판에 20mm의 홀을 뚫은 경우와 첫 번째 박판의 홀의 직경을 40mm로 줄인 경우는 모든 소음차수에서 좋은 결과를 내어주고 있지 못하고 있음을 알 수 있다.

위의 Fig. 5에 case 1,3,4,5에 대한 아이들 부밍 노이즈를 나타내었다. 결과로부터 알 수 있듯이, 아이들 부밍 노이즈의 최대치는 125Hz 근방에 나타나고 있으며 case4과 case5의 경우가 부밍 노이즈의 최대치가 다른 경우에 비하여 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 공명실의 과도한 천공으로 인한 팽창실화는 아이들 시의 부밍 노이즈의 증가를 가져올 수 있음을 나타내는 것이다.

위의 Fig. 6에 case 1,5,6,7의 경우에 대한 가속주행 시의 배기소음을 나타내었다. 위의 결과 중 주목할 사항은 case 6,7의 경우는 C4의 소음성분이 크게 악화되고 있다는 것이다. 이는 2번째 박판의 홀의 크기를 증가시키고 파이프를 설치하여 공명실의 성능을 악화시켜서 3번째 방이 팽창실 역할을 하기 때문으로 사료된다.

다음의 Fig. 7에 case 6-9의 경우에 대한 가속주행

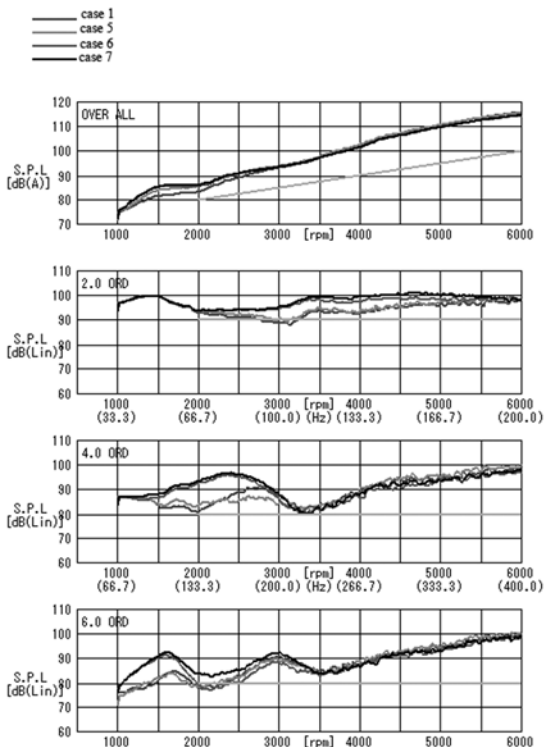


Fig. 6 Measured tailpipe sound in run-up mode

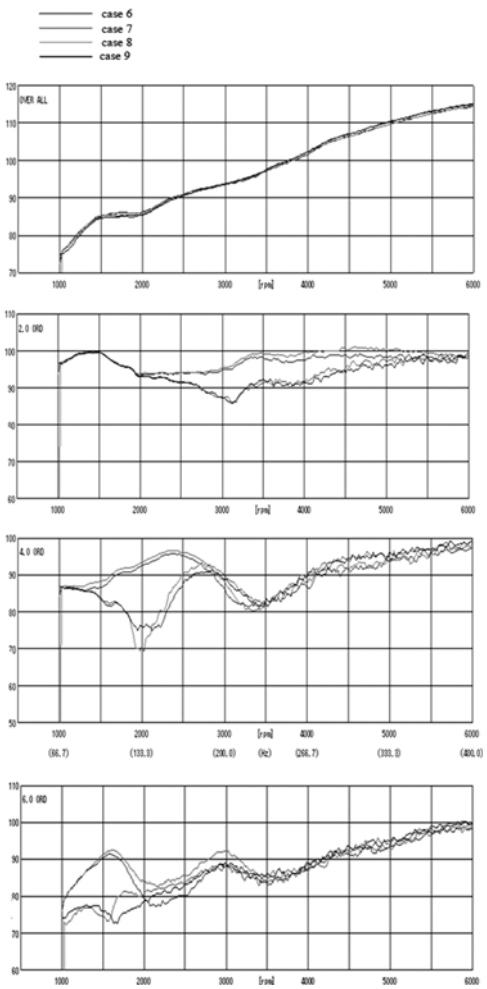


Fig. 7 Measured tailpipe sound in run-up mode

시의 배기소음을 나타내었다. 주목할 점은 유입관 홀의 위치를 상류로 위치이동 시킨 case 8과 2번째 박판에 13mm 직경의 홀을 추가로 천공한 case 9이 C2 소음성분의 경우는 2,000-5,000 rpm의 범위에서, C4소음성분의 경우는 1,000-2,500 rpm의 범위에서 case 6,7에 비하여 매우 낮은 음압을 형성하고 있다는 것이다. C6성분의 경우에도 1,000-2,000rpm의 범위에서 case 8,9의 경우가 낮은 음압을 형성하고 있다는 것이다.

위의 Table 4,5의 9가지의 경우에 대한 2,000 rpm에서의 배기소음과 평균 아이들 부밍소음 그리고 배압을 나타내었다. 이로부터 공명홀과 연결된 격판의 홀의 크기는 배압에 민감한 설계인자임을 알 수 있었으며 홀의 크기가 클수록 낮은 배압을 형성함을 알 수 있다. 그러나 홀의 추가 및 연결관의 설치로 인하여 공명실이 확장실로 변경되어 C2, C4, C6 차수성분이 악화됨을 알 수 있었으며 유입관의 타공 면적증대 및 전단으로의 위치변경으로 2,000rpm에서의 C4의 공명주파수가 저감되었다. 또한 2번째 격판의 홀을 추가함으로써 C4의 공명주파수가 저감되고 직선화됨을 확인 할 수 있었다.

Table 6에 각 경우의 2000rpm에서의 배기소음 및 아이들 부밍노이즈와 배압을 정리하였다. 결과에서 볼 수 있듯이 모든 경우에서 전체평균(O.A)소음이 기존의 보조소음기가 장착된 경우(91dB(A))보다 낮게 측정되었음을 알 수 있다. 따라서 일체형 소음기 개발에 있어서 격판의 홀 직경, 위치, 공명실의 유무, 공명실 홀의 유무, 유입 홀의 위치변경 및 캡의 유무 등이 주요 설계인자임을 확인할 수 있으며 이들의 설계인자들을 최적화하여 기존의 보조소음기를 장착한 경우보다 향상된 배기소음 성능을 보유한 일체형 소음기를 개발할 수 있음을 확인하였다.

Table 6 Summary of experimental results for various cases

Case	배기소음(2000rpm)				Idle Booming (dBA)	배압(kPa) 6000rpm
	OA (dBA)	C2 (dBC)	C4 (dBC)	C6 (dBC) 2500rpm		
1	84	94	82	85	61	70.4
2	85	94	96	84	69.5	80
3	84	94	82	85	60.6	70.7
4	85	95	86	85	64.3	64
5	85	95	84	84	63.3	72.7
6	85	95	94	81	65.5	57
7	86	95	95	86	64.8	58.1
8	86	94	70	85	65.9	67.7
9	86	94	76	84	66	66.4

3.2.2 일체형 소음기의 위치

일체형 소음기의 위치변화가 배기소음 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Photo. 1에 나타낸 것과 같이 소음기의 위치를 1,600mm 후방으로 이동시켜 장착하였다.

이때 사용된 소음기의 기하학적 특징을 아래 Fig. 8에 도식화하여 나타내었다.

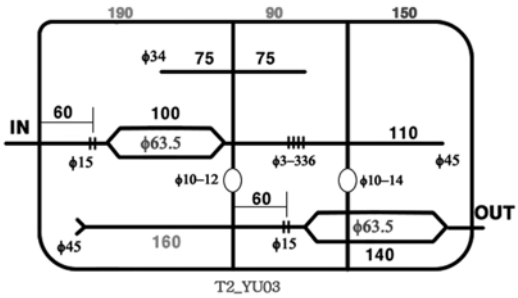


Fig. 8 Schematic diagram of muffler

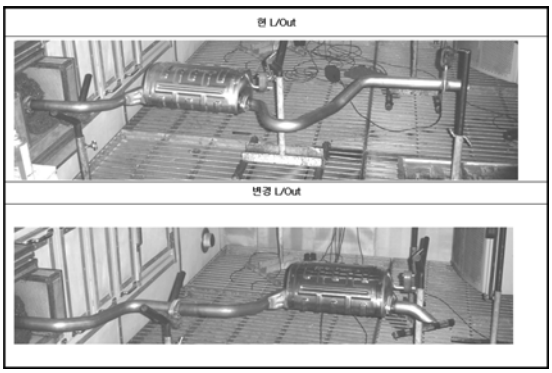


Photo. 1 Location change of muffler

Fig. 9에 소음기를 후방으로 위치시켰을 경우의 배기소음을 나타내었다. 이로부터 소음기를 후방으로 위치시켰을 경우, 전반적인 O.A 음압은 높게 형성되어 소음이 악화되고 있음 알 수 있었으며 C2차수의 경우 1,000 - 3,500rpm 영역에서 소음이 악화되고 있음을 알 수 있었다. C4차수의 경우는 1,000-2,300rpm의 영역에서 소음이 악화되었으며 2,300-3,300rpm영역에서 개선이 되었다.

Fig. 10에 소음기의 위치에 따른 아이들 부밍 노

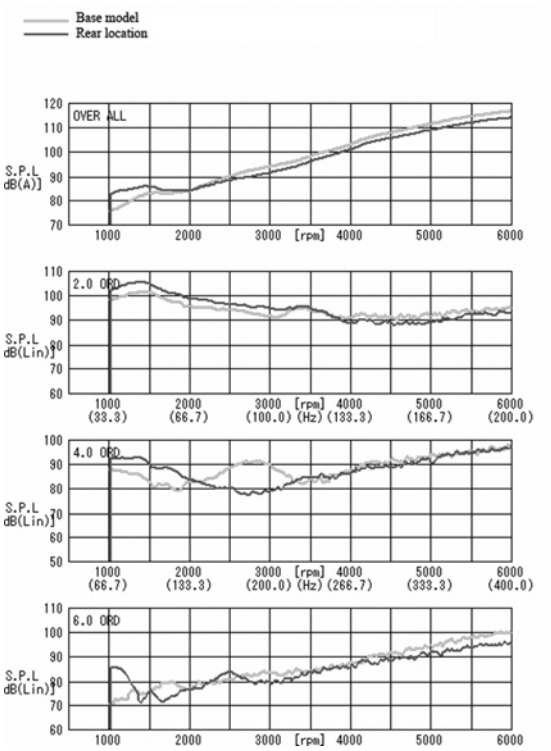


Fig. 9 Exhaust tailpipe sound

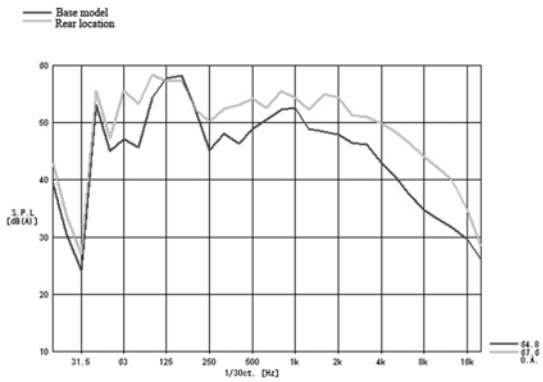


Fig. 10 One-third octave band of idle booming noise

이즈를 나타내었다. 결과로부터 알 수 있듯이, 소음기를 후방으로 위치할 경우 전반적인 아이들 부밍 노이즈는 악화되고 있음을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 보조소음기의 역할을 포함할 수 있는 일체형 소음기 개발을 위하여 소음기 내의 공명실 의 홀의 크기, 개수, 유입관의 홀의 위치, 격벽의 홀의 크기, 파이프 캡의 유무 등이 소음기의 성능에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며 일체형 소음기의 위치가 소음기의 특성에 미치는 영향도 실험적으로 분석하였다. 그 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 공명홀의 삭제는 높은 배압과 아이들 부밍노이즈의 급격한 증가를 가져왔다. 따라서 공명홀의 최적설계는 일체형 소음기 설계의 가장 중요한 인자임을 확인할 수 있었으며 이들 설계인자의 최적화를 통하여 기존의 보조소음기를 장착한 경우보다 배기소음성능이 향상된 일체형 소음기를 개발할 수 있었다.
2) 공명홀의 전면 격벽의 천공 및 파이프 설치는 큰 배압효과를 얻을 수 있었으나 공명실이 확장실로 변경되어 C2, C4, C6 차수의 성분이 악화됨을 확인하였다. 따라서 격벽의 천공 및 연결 파이프 설치와 같은 방법으로는 일체형 소음기의 성능 향상을 기대하기 어려울 것으로 판단된다.
3) 유입파이프의 타공 면적증대와 전단으로의 위치변경은 2,000rpm에서의 C4 차수성분의 공명 주파수를 저감시킬 수 있었다.
4) 일체형 소음기의 후방으로의 위치이동은 발진 부밍 및 아이들 부밍 노이즈의 악화를 초래하였다.이 결과로부터 배기계 전체를 고려한 위치 최적화에 대한 연구가 추가로 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국부품소재진흥원의 “부품소재기술지원사업” 과제의 일부로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

1) J. Pang, R. Rebandt, G. Knapp, M. Qatu and D. Demmith, “Flow Excited Noise Analysis of Exhaust,” SAE 2005-01-2352, 2005.
2) D. Siano, F. E. Corcione, F. Bozza, A. Gimelli and S. Manelli, “Characterization of the Noise Emitted by a Single Cylinder Engine: Experi-

mental Activities and 1D Simulation," SAE 2005-01-2483, 2005.
3) T. Morel, J. Silvestri, K.-A. Goerg and R. Jebasinski, "Modeling of Engine Exhaust Acoustics," SAE 1999-01-1665, 1999.
4) I. Arbuckle, S. Naylor and M. Worthington, "Optimization Strategies Applied to Exhaust System Design," SAE 2002-01-0812, 2002.
5) M.-R. Lee, M. McCarthy, M. Romzek, T. Frei and Y.-J. Bemman, "Exhaust System Design for Sound Quality," SAE 2003-01-1645, 2003.
6) P. Dube and P. R. Sajanpawar, "Study of Perforated Mufflers of Circular and Elliptical Cross Sections Using Parametric Technique and Finite Element Methodology," SAE 2007-01-0895, 2007.
7) M. L. Munjal, Acoustics of Ducts and Mufflers, John Wiley & Sons, New Jersey, pp.201-302, 1987.
8) M. Kim, W. Chung and I. Chyun, "A Study on the Flow Characteristics and Pressure Loss of a Muffler for the Variation of Volumetric Rate and Offset," Transactions of KSAE, Vol.8, No.5, pp.93-99, 2000.