

저속 회전 시 배기시스템의 배압이 정숙성에 미치는 영향

강일석*,#, 양성모*

*전북대학교 기계시스템공학과

Influence of Back Pressure of an Exhaust System on Quietness at Low-Speed Rotation

Il-Seok Kang*,# and Sung-Mo Yang*

*Department of Mechanical System Engineering, Chonbuk National University

(Received 20 May 2019; received in revised form 23 May 2019; accepted 28 May 2019)

ABSTRACT

In recent years, the driving performance and exhaust sound quality in automobiles have been recognized as important factors, as they maximize the driving fun to fulfil the demands of customers. Therefore, many automobile manufacturers are studying various exhaust pipe shapes to improve sound quality and optimize exhaust pressure. The objective of the exhaust pipe design is to maximize the engine efficiency using optimal exhaust pressure settings. In this study, an exhaust system was fabricated with different junction shapes, and the results were analyzed through various experiments. The exhaust gas pressure acting inside the exhaust pipe was measured using a pressure transducer. Meanwhile, the vibration generated in the vehicle was measured in three axial directions and analyzed. The ground noise generated in the indoor and outdoor of the vehicle was measured, and the noise generated at the maximum output was measured and analyzed.

Key Words : Back Pressure(배압), Exhaust Pipe(배기 파이프), Vibration(진동), Junction Chamber(합류 챔버), Muffler(소음기)

1. 서 론

배기시스템의 최적의 배압 설계는 엔진성능을 향상시키고 차체의 진동 감소로 정숙성을 향상시킨다. 일반적으로 자연흡기 엔진이 장착된 차량은 저속 RPM에서 배압은 매우 중요하다. 그 이유는 배기 밸브가 완전하게 닫히기 전 TDC(top dead center) 근방에서 흡기 밸브가 열리기 시작하여 밸브 오버랩(valve overlap)이 발생하기 때문이다^[1].

밸브 오버랩 구간에 역류하는 배기가스가 많을수록 연소실 내의 연소 안정성을 감소시킨다^[2-3].

따라서 불안정한 엔진 회전으로 운전자에게 불쾌감을 줄 수 있는 소음진동을 유발할 수 있다. 최근에는 배기가스 규제 범위와 유가상승으로 연비 효율을 향상시키기 위해 더 낮은 RPM 구간에서 차량이 주행되도록 하는 고성능화가 진행되고 있다^[4-5]. 이에 따라, 공회전 또는 저속주행에서 최적의 배압과 유속을 형성하여 차체 진동을 최소화시키며, 고속주행에서 엔진의 성능을 극대화할 수 있는 배기시스템이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 V6이상의 엔진에 적용되는 배기시스템의 합류

Corresponding Author : ilsouk@naver.com

Tel: +82-61-450-7260, Fax: +82-61-450-7224

챔버 형상인 Y-Pipe, X-Pipe 그리고 H-Pipe 형상의 배압과 소음진동을 측정하여 저속 회전 시 최적의 합류 챔버 형상을 제안하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 배기시스템의 합류 챔버 형상에 대한 영향을 분석하기 위해서 압력센서를 이용한 배압 측정, 정밀진동 측정기를 이용한 진동 측정 그리고 등가 소음계를 이용한 소음 측정을 실시했다.

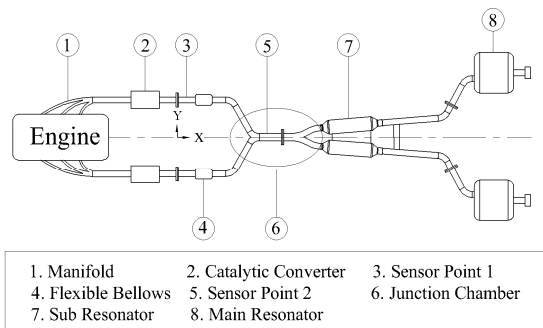


Fig. 1 Schematic diagram of the exhaust system

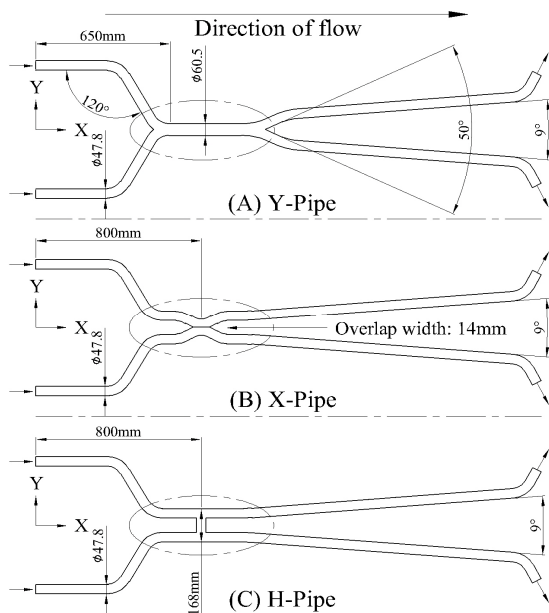


Fig. 2 Schematic diagram of the junction chamber

Table 1 Specifications of the engine

Description	Specification
Engine type	DOHC 24-valve
Engine Cylinders	V6
Bore and stroke	95.5×86.0mm
Compression ratio(:1)	11.0
Maximum Power	330hp/7,000
Maximum Torque	36.8kgf · m/5,200

Fig. 1에는 전체적인 배기시스템의 개략도를 나타냈다. Fig. 2에는 합류 챔버의 형상, 합류 위치 그리고 파이프 등의 간략한 치수를 나타냈다. 배압 및 진동 측정은 엔진 회전 RPM을 일정하게 유지하기 위해 스톨테스트 방법을 이용했으며, 약 5초 동안 측정을 실시했다. 측정 범위는 변속모드 N의 상태에서 RPM660, D의 상태에서 RPM600, 800, 1000 그리고 1200까지 측정했으며, 정확한 RPM을 확인하기 위해서 ODB II 스캐너를 이용했다. 본 연구에서 실험을 위해 사용된 차량은 A사의 스포츠 세단으로 엔진 제원은 Table 1에 나타났다.

2.1 배기시스템의 배압 측정

배압 측정은 Fig. 1에서 3번 Sensor point 1 그리고 5번 Sensor point 2에서 측정을 실시했다. 측정 위치는 좌표계 X축 방향을 기준으로 100mm 그리고 800mm 지점이다. 압력센서 장착은 배기가스의 고온 특성을 고려하여 스테인리스 부속품 등을 사용하였으며, Fig. 3과 같이 장착하였다^[6-7]. 압력센서 제원은 Table 2에 나타났다.

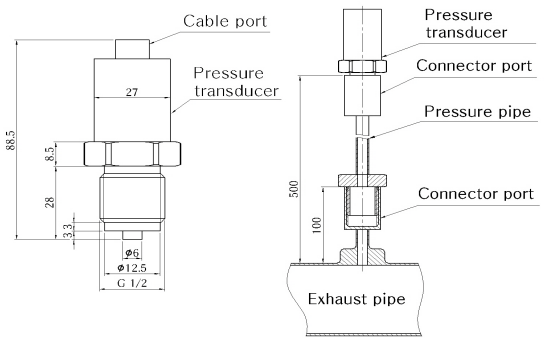


Fig. 3 Schematic diagram of the sensor adapter

Table 2 Specifications of the pressure transducer

Description	Specification
Range	0~600 mbar
Over pressure	4 bar
Accuracy	±0.2%
Measuring rate	1,000/sec
Permissible temperature	-25 ~ +100 °C

2.2 소음진동 측정

정밀진동 측정은 3축 가속도 센서를 이용하여 측정했으며, ISO 2631-1을 참고하여 측정 위치를 선정했다. Fig. 4에서 (A)는 운전석 및 조수석 시트 하단의 고정 볼트에 부착된 센서를 나타내고 있다. (B)는 측정 방향을 나타내고 있으며, Z축은 차체 프레임, X축은 엔진 그리고 Y축은 도어방향으로 측정된다^[8-9]. 진동 측정에 사용된 정밀진동 측정기의 제원은 Table 3과 같다. 소음 측정은 실내 및 실외에서 암소음 그리고 엔진의 최대 회전수가 75%인 RPM 5000에서 측정했다. 실내 소음 측정은 운전자 귀의 위치를 고려하여 측정했으며, ISO 5128을 참고했다^[10-11]. 실외에서 소음측정은 ISO 5130을 참고하여 측정했으며, Fig. 5에서 (A)는 실외 소음 측정 위치 그리고 (B)는 소음 측정 절차에 대한 개략도를 나타냈다^[12-13]. Table 4에는 측정에 사용된 등가 소음계의 제원을 나타냈다.

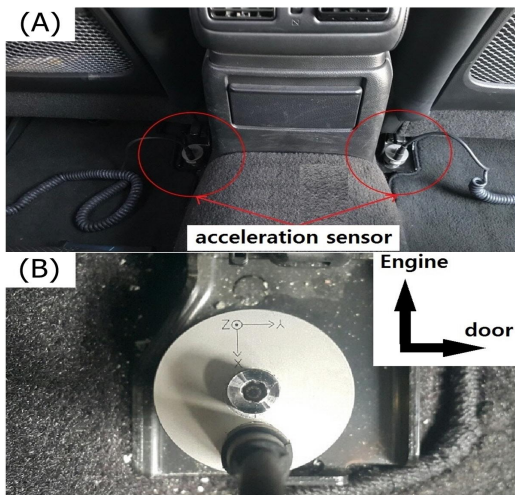


Fig. 4 Location of vibration measurement

Table 3 Specifications of the vibration data collector

Description	Specification
Measurements	acceleration, velocity displacement
Sensor type	3-axis acceleration
Band width	0.5~40kHz
Dynamic range	104dB
Sampling rate	102.4kHz

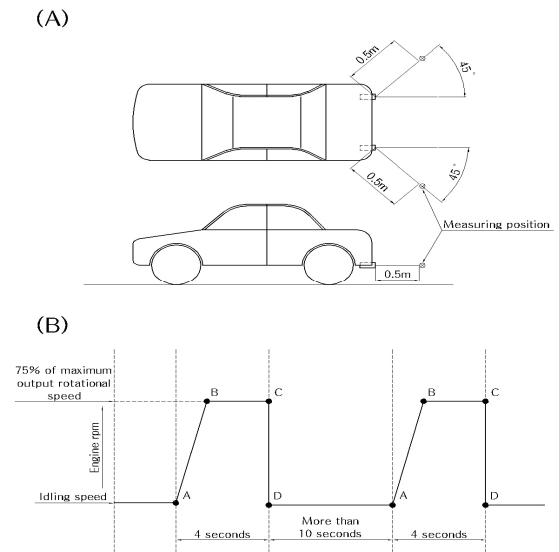


Fig. 5 Measurement of exterior noise

Table 4 Specifications of the sound level meter

Description	Specification
Applicable standards	IEC61672-1:2002 Class1
Measurement range	20dB to 140db RMS
Frequency weightings	RMS&Peak: A, C, Z
Time weightings	F, S & I
Octave band	1/3

3. 결과 및 고찰

3.1 배기시스템의 배압특성 분석

배압의 변화를 분석하기 위하여 1ms 단위로 측정하였으며, 상위, 하위를 각각 5% 절사한 절사평균값으로 나타냈다. Fig. 6은 Sensor point 1 위치

에서 측정된 배압을 나타냈다. Fig. 7은 Sensor point 2 위치에서 측정된 배압을 나타냈다. 배압은 전체적으로 Sensor point 1 위치에서 높게 측정되었으며, Sensor point 2 위치에서는 배기가스 합류로 인한 빠른 유속으로 비교적 낮게 측정되었다. Y-Pipe는 Sensor point 1 그리고 Sensor point 2 위치에서 전체적으로 가장 높은 배압의 흐름을 나타냈다. H-Pipe의 경우 Sensor point 1 위치에서 상대적으로 가장 낮은 배압의 흐름을 나타냈으며, X-Pipe의 경우 Sensor point 2 위치에서 상대적으로 가장 낮은 배압의 흐름을 나타냈다. Table 5에는 각각의 위치에서 측정된 배압 증가율을 나타냈다. H-Pipe의 경우 최저 압력대비 최고 증가율을 나타냈으며, Sensor point 1 위치에서 최저 증가율은 Y-Pipe에서 나타났으며, Sensor point 2 위치에서 최저 증가율은 X-Pipe에서 나타냈다. Fig. 8은 배압 측정을 위해 제작된 배기시스템이다.

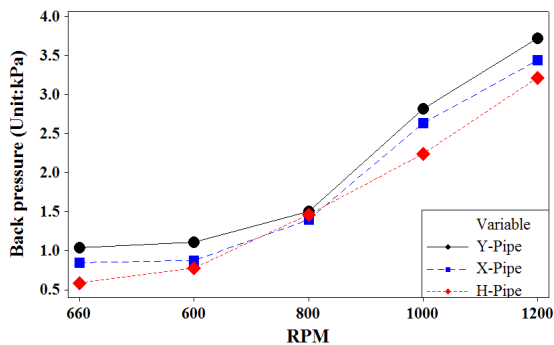


Fig. 6 Back pressures at the sensor point 1

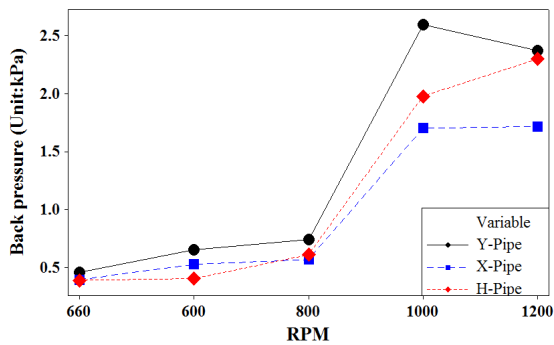


Fig. 7 Back pressures at the sensor point 2

Table 5 Rate of increase of back pressures

		Minimum (KPa)	Maximum (KPa)	Rate of increase (%)
Y	SP1	1.04	3.72	257.7
	SP2	0.46	2.59	463.0
X	SP1	0.85	3.44	304.7
	SP2	0.40	1.72	330.0
H	SP1	0.59	3.22	445.8
	SP2	0.39	2.30	489.7

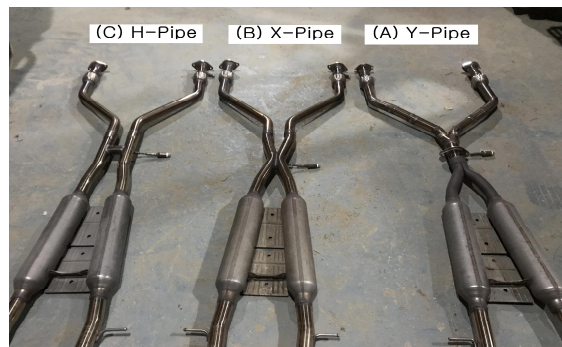


Fig. 8 Prototypes of the exhaust system

3.2 소음진동 특성 분석

정밀진동 측정은 0~200Hz를 Low range 구간으로 설정하였으며, 각각의 축 방향에 대한 총 진동량 값을 RPM 구간별로 측정하였다. Fig. 9는 Z축 방향으로 측정된 진동 값을 나타냈으며, 특징은 RPM이 증가하면서 진동도 함께 증가하는 흐름을 나타냈다. Fig. 10은 X축 방향으로 측정된 진동 값을 나타냈으며, 특징은 RPM660 이후 진동이 감소하는 흐름을 나타냈지만 RPM800 이후 RPM 증가와 함께 진동도 증가하는 흐름을 나타냈다. X축은 Z축 또는 Y축에 비해 상대적으로 낮은 진동 측정값을 나타냈으며, 전반적으로 X-Pipe에서 가장 낮은 진동 특징을 나타냈다. Fig. 11은 Y축 방향으로 측정된 값을 나타냈으며, 특징은 RPM이 증가하면서 진동은 감소하는 흐름을 나타냈다. 특히 RPM660인 상태에서 가장 큰 진동 값을 나타냈으며, 가장 낮은 배압이 측정된 H-Pipe에서 가장 큰 진동 값을 나타냈다. 각각의 축에서 확인된 공통적인 특징은 공회전 상태인 RPM660 구간에

서 상대적으로 큰 진동이 측정된 것이며, 배압이 가장 높게 측정된 Y-Pipe에서 전체적으로 가장 큰 진동이 측정된 것이다. 또한, 엔진 배치 방향의 영향으로 공회전시 Y축 방향에서 가장 큰 진동이 측정되었으며, RPM이 증가하면서 Z축 방향으로 진동이 크게 증가하였다.

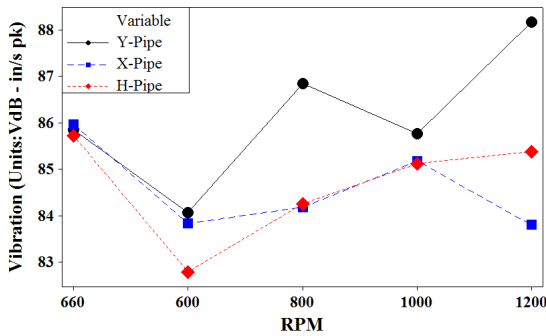


Fig. 9 Overall vibrations in the Z axis

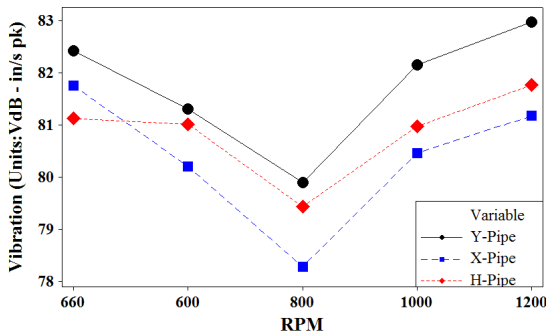


Fig. 10 Overall vibrations in the X axis

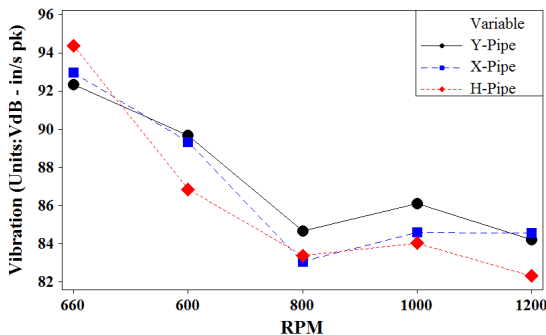


Fig. 11 Overall vibrations in the Y axis

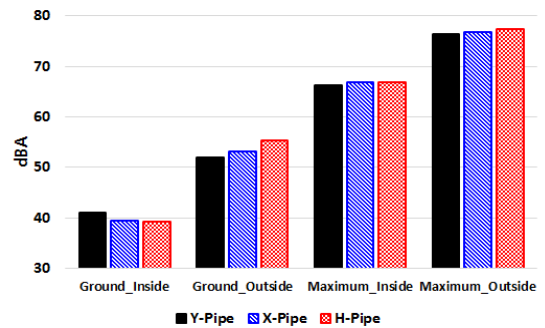


Fig. 12 Sound levels of equivalent noise

Table 6 Frequency of ground noise

	Outside	Inside
Y-PIPE	40Hz	31.5Hz
X- PIPE	31.5Hz	31.5Hz
H- PIPE	31.5Hz	31.5Hz

Table 7 Frequency of maximum output

	Outside	Inside
Y-PIPE	2kHz	160Hz
X- PIPE	2kHz	160Hz
H- PIPE	630Hz	160Hz

Fig. 12은 실내 및 실외에서 측정된 등가소음 값을 나타냈다. 실내에서 측정된 암소음의 경우 가장 작은 값은 H-Pipe에서 39.2dBA를 나타냈다. 가장 큰 값은 Y-Pipe에서 41.0dBA를 나타냈으며, 4.6% 차이를 나타냈다. 실외에서 측정된 암소음의 경우 가장 작은 값은 Y-Pipe에서 52.0dBA를 나타냈다. 가장 큰 값은 H-Pipe에서 55.3dBA를 나타냈으며, 6.3% 차이를 나타냈다. 최대출력의 상태에서 측정된 실내 소음의 경우 가장 작은 값은 Y-Pipe에서 66.2dBA를 나타냈다. 가장 큰 값은 H-Pipe에서 66.9dBA를 나타냈으며, 1.0% 차이를 나타냈다. 실외에서 측정된 소음의 경우 가장 작은 값은 Y-Pipe에서 76.4dBA를 나타냈다. 가장 큰 값은 H-Pipe에서 77.4dBA를 나타냈으며, 1.3% 차이를 나타냈다. Table 6은 공회전 상태에서 실외 및 실내 소음을 측정 후 1/3 옥타브 밴드 분석을 통해 확인된 중심 주파수를 나타냈다. 실외에

서 소음 측정 시 Y-Pipe는 40Hz에서 가장 큰 소음을 나타냈으며, X-Pipe 및 H-Pipe는 31.5Hz에서 가장 큰 소음을 나타냈다. 실내에서 소음 측정 시 모두 동일하게 31.5Hz에서 가장 큰 소음을 나타냈다. Table 7은 최대출력의 상태에서 실외 및 실내 소음을 측정 한 후 1/3 옥타브 밴드 분석을 통해 확인된 중심 주파수를 나타냈다. 실외에서 소음 측정 시 Y-Pipe 및 X-Pipe는 2kHz에서 가장 큰 소음을 나타냈다. H-Pipe는 상대적으로 낮은 630Hz에서 가장 큰 소음을 나타냈다. 실내에서 소음 측정 시 모두 동일하게 160Hz에서 가장 큰 소음을 나타냈다.

4. 결 론

본 연구에서는 배기시스템의 합류 챔버 파이프 형상 변화에 따른 배압이 차량 정숙성에 미치는 영향을 분석하기 위해 배압 측정, 진동 측정, 소음 측정 등의 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Y-Pipe는 가장 높은 배압으로 공회전 시 안정적인 배압을 형성하여 Y축 방향에서 가장 작은 진동 특성을 나타냈으며, RPM이 증가하면서 높은 배압 형성으로 가장 큰 진동 특성을 나타냈다. 소음의 경우 공회전 시 실내에서 가장 큰 소음 특성을 나타냈지만 실외 또는 최대출력 시 가장 작은 소음 특성을 나타냈다.
2. X-Pipe는 공회전 시 상대적으로 높은 배압을 형성하여 Y축 방향에서 보다 작은 진동 특성을 나타냈으며, RPM이 증가하면서 상대적으로 낮은 배압 형성으로 작은 진동 특성을 나타냈다. 소음의 경우 H-Pipe 보다 상대적으로 작은 소음 특성을 나타냈다.
3. H-Pipe는 공회전 시 가장 낮은 배압을 형성하였으며, Y축 방향에서 가장 큰 진동 특성을 나타냈다. RPM 증가와 함께 배압이 큰 폭으로 증가하면서 진동도 크게 증가하였으며, 소음은 전체적으로 가장 큰 소음을 나타냈다.
4. 따라서 공회전 상태에서 높은 압력을 형성하며, RPM 증가와 함께 상대적으로 작은 폭으로 압력

상승을 나타낸 X-Pipe가 소음진동 측면에서 최적의 형상임을 확인하였다.

REFERENCES

1. Pulkrabek, W. W., Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, 2nd ed, Prentice Hall, New Jersey, pp. 262-268, 1997.
2. Lee, J. H., Kim, D. S., Baik, D. S., Cho, Y. S., "Numerical Analysis of Flow Characteristic of Residual Gas due to Changes in Valve Timings during an Idle Operation in an SI Engine," Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 6, pp. 50-51, 2006.
3. Jang, J. Y., Park, Y. G., Bae, C. S., Kim, W. T., "Effect of Operating Condition on the Residual Gas Fraction in an SI Engine," Transactions of KSAE, Vol. 10, No. 6, pp. 11-12, 2002.
4. Sun, J. S., Kim, Y. H., Kim, I. D., "Experimental Verification for the Cause of Lockup Booming Noise," Proceedings of KSAE, Autumn Conference, No. 2, pp. 840-841, 2007.
5. Jung, I. S., Han, D. H., "Study on the Booming Noise of Front-wheel-drive Vehicle," Trans. of KSNVE, Vol. 28, No. 4, pp. 397-398, 2018.
6. Son, S. M., Park, K. S., Park, S. J., Byun, Y. H., Choi, S. R., "The effect of exhaust pipe shape on the back pressure characteristics and engine performance," Proceedings of KSAE, Spring Conference, No. 1, pp. 77-82, 2005.
7. Noh, H. C., Park, K. S., Son, S. M., "The Effects of the Combustion Characteristics on the Exhaust System Volume of the SI Engine in Idling," Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 4, pp. 186-188, 2007.
8. ISO 2631-1:1997, Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration, 1997.
9. Shanguan, W. B., Liu, X. A., Lv, Z. P., Rakheja, S., "Design method of automotive powertrain mounting system based on vibration

- and noise limitations of vehicle level,”
Mechanical Systems and Signal Processing, Vol.
76-77, No. 8, pp. 692-694, 2016.
10. ISO 5128:1980, Acoustics - Measurement of
noise inside motor vehicles, 1980.
 11. Putra, A., Munir, F. A., Juis, C. D., “On a
simple technique to measure the airborne noise in
a car interior using substitution source,” Int. J.
Vehicle Noise and Vibration, Vol. 8, No. 3, pp.
279-280, 2012.
 12. ISO 5130:2007, Acoustics - Measurements of
sound pressure level emitted by stationary road
vehicles, 2007.
 13. Jung, I. S., Kim, H. K., Shin, D. H., Lim, H.
G., “A Study on Sound Quality of Exhaust
Tail-pipe Noise of Vehicle,” Trans. of KSNVE,
Vol. 25, No. 2, pp. 90~92, 2015.