

차량 고급감 향상을 위한 흡배기계 음질지수 개발

A Development of Sound Quality Index of an Intake and Exhaust System for High Quality Improvement of Luxury Vehicles

이 종 규*·조 덕 형*·서 대 원*·임 윤 수*·원 광 민*

Jong Kyu Lee, Teock Hyeong Cho, Dae Won Seo, Yun Soo Lim and Kwang Min Won

(2011년 12월 8일 접수 ; 2012년 2월 21일 심사완료)

Key Words : Sound Quality Index(음질지수), Paired Comparison(쌍대비교법), Semantic Differential(의미분별 척도법), Correlation Analysis(상관분석), Acoustic Transfer Function(음향전달함수)

ABSTRACT

In this paper, a sound quality indices for the evaluation of vehicle intake and exhaust noise were developed through a correlation analysis of objective measurement data and subjective evaluation data. At first, intake and exhaust orifice noise were measured at the wide-open throttle sweep condition. And then, acoustic transfer function between intake orifice noise and interior noise at the steady state condition was measured. Also, acoustic transfer function for exhaust system was measured as the same method. Simultaneously, subjective evaluation was carried out by the paired comparison and semantic differential method by 27 engineers. Next, the correlation analysis between the psycho-acoustic parameters derived from the measured data and the subjective evaluation was performed. The most critical factor was determined and the corresponding sound quality index for the intake and exhaust noise was obtained from the multiple factor regression method. At last, the effectiveness of the proposed index was investigated.

1. 서 론

주행중 차량 실내로 유입되는 소음원 중에 엔진 소음 다음으로 실내 기여도가 큰 소음원이 흡배기계 소음들이다. 이들 흡배기계 소음원들은 맥동음, 방사음, 기류음의 여러 형태로 다양한 전달경로를 통해 차량 실내로 전달되고 있는데, 이것이 부밍소음 및 토출소음의 원인이 될 뿐만아니라 차량내의

음질을 저해하는 주요인으로 작용하고 있다. 특히 운전자의 안락성에 대한 기대심이 높은 대형 세단 차량들의 경우 고급감에 대한 음질이 차량 선택에 있어 매우 중요한 인자로 대두되고 있는 실정이므로 이에 대한 정확한 음질 평가 및 음질 개선 노력이 매우 필요한 상황이라 할 수 있다^{(1-2)}}.

이 연구에서는 고급 세단차량들의 급가속 주행 조건에서의 흡배기계 소음에 대한 음질을 소음진동 전문가들의 관점에서 정량화하기 위하여, 주관평가치를 대체할 수 있는 흡배기 음질지수를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 무항실에서 흡기 및 배기계 출구 끝단에서의 오리피스소음을 측정하고, 각각의 흡배기 입구 끝단부분과 운전자 귀 위치에 서의 음향전달함수(acoustic transfer function)를 측정 한 후^{(3)}} 이로부터 결정된 인자들과 흡배기계 개발

† 교신저자; 정회원, 현대자동차 남양연구소
E-mail : jongkyu@hyundai.com
Tel : (031)368-8392, Fax : (031)368-6095

* 현대자동차 남양연구소

이 논문의 일부는 2011년 추계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

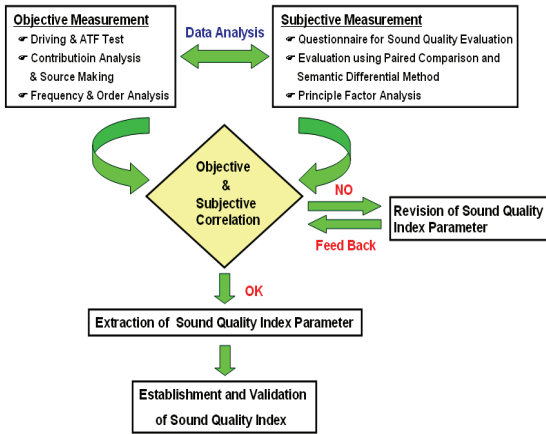


Fig. 1 Flow chart for development of sound quality index

업무를 진행하고 있는 다수의 평가자들에 의한 주관평가를 쌍대비교법(paired comparison method) 및 의미분별척도법(semantic differential method)을 통해 수행하였다^(4,5).

그런다음 객관평가로부터 결정된 인자들과 주관평가로부터 얻은 결과들에 대해 상관분석(correlation analysis)과 다중회귀분석(multiple factor regression analysis)을 각각 수행하였으며^(6,7), 이를 통하여 고급감 차량들의 급가속 주행조건에 대해 흡배기계 소음에 대한 음질지수를 도출하였다. Fig. 1은 흡배기계 음질지수 개발을 위한 flow chart를 나타낸 것이다.

2. 흡배기계 소음에 대한 객관평가 및 주관평가

2.1 흡배기계 소음의 객관평가

(1) 오리피스 소음의 측정

이 연구에서는 흡배기계에 대한 소음을 얻기 위하여 샤시 다이내모가 구동되는 반무향실에서 입출구단의 오리피스 소음을 동시에 측정하였는데, 이때 측정위치는 흡기계의 경우 입구 끝단의 중앙으로부터 10 mm 떨어진 곳에서 측정하였고, 배기계의 경우는 출구 끝단의 중앙으로부터 45°/50 cm 떨어진 위치에서 측정하였다. 또한 분석은 Artemis 시스템을 이용하여 분석하였고, 측정조건은 3단에 기어를 고정시킨 후 가속페달을 전 가속(wide open full throttle) 상태로 1000에서 6000 RPM까지 급격히

Table 1 Specification of test vehicle

Vehicle	Displacement	T/M	Class
A	V6 3.3L GDI	A/T	Reference group
B	V6 3.8L MPI	A/T	
C	V6 3.8L GDI	A/T	
D	I6 3.0L Turbo	A/T	Comparison group
E	V6 3.5L CGI	A/T	
F	V6 3.6L MPI	A/T	
G	V6 3.6L VVT	A/T	

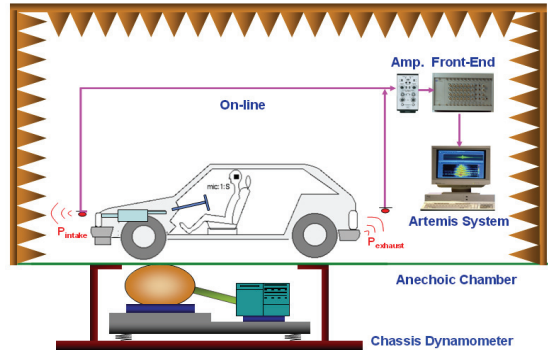


Fig. 2 Test setup for the measurement of an intake and exhaust orifice noise at chassis dynamometer

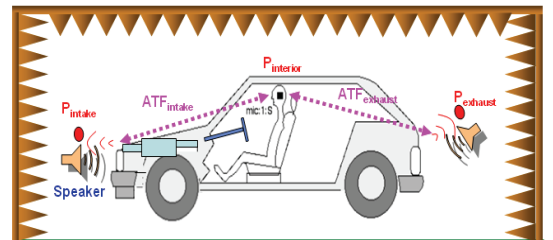


Fig. 3 Test setup for the measurement of acoustic transfer function at semi-anechoic chamber

올리는 급가속 조건이었다. 시험차량은 기준차량 3대(A, B, C)와 비교차량 4대(D, E, F, G)를 선정하였다.

Table 1은 시험차량의 상세사항을 나타낸 것이고, Fig. 2는 무향실내 샤시다이내모 차량 상태에서 흡배기계의 오리피스 소음에 대한 객관적 데이터 측정 과정에 대해 나타낸 것이다.

(2) 음향전달함수의 측정

Fig. 3은 흡배기계 소음중 공기기인소음이 차량

실내소음에 대해 미치는 음향특성을 파악하기 위하여 오리피스 소음과 운전자 귀 위치에서의 실내소음과의 음향전달함수를 각각 측정하였다. 시험조건은 우선 스피커로 흡기계 입구 부위를 가진 후 차량 실내소음을 측정하였는데, 이때 배기계는 스피커를 꺼 놓은 상태로 흡기계 공기기인소음의 측정에 영향을 미치지 않도록 하였다. 그리고 이렇게 측정된 데이터를 가지고 흡기계 음향전달 함수를 구하였다. 배기계의 경우도 마찬가지로 흡기쪽 스피커는 꺼 놓은 상태를 유지한 채 배기계 출구 부위를 스피커로 가진 후 차량 실내소음을 측정하여 배기계 음향전달함수를 구하였다. 다음 식은 앞서 구한 흡기소음과 실내소음과의 관계를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= P_{ci} + P_{other} \\
 P_{ci} &= P_{intake} \times ATF_{intake} \\
 ATF_{intake} &= \frac{P_{interior}}{P_{orifice}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Table 2 Index based on the sound pressure level

No	Metric	Unit	Remark
1	dB	dB	Linear SPL ¹⁾
2	dBA	dBA	A-weighted SPL ¹⁾
3	dB(C)	dB(C)	C-weighted SPL ¹⁾
4	MV	dB	Mean value SPL(linear) ¹⁾
5	MVA	dBA	Mean value SPL(A-weighted) ¹⁾
6	RV	dB	RMS value SPL(linear) ¹⁾
7	RVA	dBA	RMS value SPL(A-weighted) ¹⁾
8	VA	dB	Variance SPL(linear) ¹⁾
9	VAA	dBA	Variance SPL(A-weighted) ¹⁾
10	SD	dB	Standard deviation SPL(linear) ¹⁾
11	SDA	dBA	Standard deviation SPL(A-weighted) ¹⁾
12	WEI	dB	Weighted SPL(linear) ²⁾
13	WEIA	dBA	Weighted SPL(A-weighted) ²⁾
14	1/1OCT	dB	1/1 octave(linear)
15	1/3OCT	dB	1/3 octave(linear)
16	1/1OCTA	dBA	1/1 octave(A-weighted)
17	1/3OCTA	dBA	1/3 octave(A-weighted)
18	SIL	dB	Speech interference level
19	PSIL	dB	Preference SIL(SIL+4 kHz)
20	HF	dB	High frequency factor(dBA-SIL)
21	LF	dB	Low frequency factor
22	SB	dB	Spectral balance(linear)
23	OBL	dB	Order balance(linear) ³⁾
24	OBA	dBA	Order balance(A-weighted) ³⁾
25	OBR	dB/dBA	Order balance ratio (linear & A-weighted) ³⁾

여기서 P_{total} 은 차량내의 운전자 귀위치에서의 전체 실내소음을 나타내고, P_{ci} 는 전체 실내소음중에서 흡기소음만의 기여도를 나타낸 것이며, P_{other} 는 흡기소음을 제외한 다른 소음원들의 기여도를 나타낸 것이다. 또한 P_{intake} 는 급가속시 흡기계의 오리피스 소음을 나타낸것이며, ATF_{intake} 는 흡기계 오리피스 소음($P_{orifice}$)과 실내소음($P_{interior}$)과의 음향전달함수를 나타낸 것이다. 앞의 식(1)에서 알 수 있듯이 전체 실내소음에서 흡기소음만의 기여도는 급가속시 흡기계의 오리피스소음에 흡기계 오리피스소음과 실내소음과의 음향전달함수를 곱하면 구할 수 있다. 배기계의 경우도 흡기계의 경우와 유사한 방법으로 배기소음에 대한 기여도를 구하였다.

(3) 평가 파라미터에 대한 검토

앞서의 결과를 보면 흡배기계의 오리피스 소음에 흡배기계의 음향특성이 포함된 음향 전달함수를 곱

Table 3 Index based on the psycho-acoustic parameters

No	Metric	Unit	Remark
1	SLS/SLP	Sone/Phon	Steven's loudness
2	ZLS/ZLP	Sone/Phon	Zwicker loudness ¹⁾
3	OZLS/OZLP	Sone/Phon	Order Zwicker loudness ¹⁾³⁾
4	N10	Sone	N10 Zwicker loudness ¹⁾
5	AI	%	Articulation index
6	FAI	%	Filtered articulation index
7	SHARP	Acum	Sharpness(OA & 600 Hz HP)
8	ROUG	Asper	Roughness(OA & 600 Hz HP)
9	TON	Tu	Tonality(OA & 600 Hz HP)
10	HMI	Lu	Hearing model impulsiveness
11	FS	Vacil	Fluctuation strength (OA & 600 Hz HP)
12	KUR	Kur	Kurtosis(OA & 600Hz HP)
13	UBA/UBA3	Au	Unbiased Annoyance
14	SNP1	-	Sensory pleasantness(OA)
15	SNP2	-	Sensory pleasantness(w/o loudness)
16	SNP3	-	Sensory pleasantness (w/o loud/tonal)

¹⁾ Frequency range : overall, 300 Hz lowpass, 300~600 Hz bandpass, 600 Hz highpass

²⁾ Procedure of data analysis

- Weighted slop and constant value of each sound pressure level
- Trend line of each vehicle
- Transfer function of standard slop and constant about Trend Line

³⁾ Total order, main order(3,6,9)

Other order(except 3,6,9), ratio(main order/other order)

하면 실내소음에 대한 흡배기 소음의 기여도를 나타낼 수 있는데, 이렇게 계산된 흡배기계 소음을 가지고 다양한 평가 파라미터들에 대한 분석작업을 수행하였다^(8,9).

분석작업은 음압레벨을 기초로 한 파라미터들과 청감음향 인자들을 기초한 파라미터들로 나누어 주파수별 요소, 가중치별 요소 그리고 통계적인 요소들을 포함한 총 180여개의 인자들에 대해서 수행하였다. 위의 Table 2와 Table 3은 흡배기계 음질의 분석 작업에 사용된 청감음향 인자들을 나타낸 것이다. 이 논문에서는 우선 흡배기소음의 평가시 주파수 구간을 전체적인 음원, 300 Hz 이하의 주파수 대역, 300~600 Hz의 주파수 대역, 600 Hz 이상의 주파수 대역으로 나누어 계산하였다. 여기서 주파수를 3가지로 나누어 평가한 이유는 각각의 주파수가 부밍영역(300 Hz이하), 럽블영역(300~600 Hz) 등을 대변하고 있고, 마지막 600 Hz 이상은 일반적인 음질에 민감한 고주파수를 대변 하고 있기 때문에 각각 나누어 계산하였다.

2.2 흡배기계 소음의 주관평가

(1) 쌍대비교법에 의한 음질분석

쌍대비교법은 평가대상인 소음을 두 가지씩 한 쌍으로 조합을 만들어 평가음의 모든 조합에 대하여 평가함으로써 각 소음의 상대적인 특성의 정도를 추정하는 방법이다. 이 방법은 두 가지의 평가음에 대한 상대적인 비교 판단을 하게되므로 평가가 쉬우며 평가자들의 판단에 대한 차이도 적은 것이 특징이다. 그런데 여기서 평가의 신뢰도를 높이기 위해서는 평가음의 평가순서를 무작위화 하거나 라틴방격법과 같은 검증된 방법을 사용하여 평가순서를 정하는 것이 필요하다.

Table 4는 쌍대비교법에 의한 흡배기계 음질평가 설문지를 나타낸 것이고, Table 5와 Table 6은 7차량의 실차주행시 흡배기계 소음에 대한 평가자 28명의 선호도 평가 결과를 나타낸 것이다. Table 5에서 행렬의 한 요소인 x_{ij} 는 i -번째 행의 차량과 j -번째 열의 차량 소음의 조합에 대한 비교평가 결과를 나타내는데, 이때 i -번째 행의 차량이 j -번째 열의 차량의 소음의 비해 선호한다면 1의 수를 대입하고 선호하지 않는다면 0의 수를 대입한다. 평가행렬에서 각 행의 합은 다른 차량에 대해 해당 행의 차량

소음의 선호 개수를 나타낸다. 여기서 각 차량마다 얻은 총 선호 개수를 한 차량 당 최대도 선택할 수 있는 개수로 나누고 여기에 100을 곱하면 선호도 백분율을 얻을 수 있다. 평가결과 흡배기계의 백분율에 의한 선호도 순서는 F>C>A>E>B>D>G의 순서로 나타났고, 배기계의 백분율에 의한 선호도 순서는 E>C>F>A>D>B>G의 순서로 나타났다.

Table 4 Evaluation sheet by the paired comparison

	Preference vehicle			Preference vehicle	
	A	B		A	B
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		
8			18		
9			19		
10			20		
			21		

Table 5 Preference matrix of intake noise

	A	B	C	D	E	F	G	Total	Preference	Rank
1		24	11	27	25	5	27	119	70.8%	3
2	4		2	17	8	2	20	53	31.5%	5
3	16	26		25	23	12	28	130	77.4%	2
4	2	11	3		5	0	19	40	23.8%	6
5	3	20	5	23		0	26	77	45.8%	4
6	23	26	17	27	28		28	149	88.7%	1
7	1	8	0	9	2	0		20	11.9%	7

Table 6 Preference matrix of exhaust noise

	A	B	C	D	E	F	G	Total	Preference	Rank
1		17	6	15	4	6	21	69	41.1%	4
2	11		1	11	1	4	21	49	29.2%	6
3	22	27		22	9	17	24	121	72.0%	2
4	13	17	6		4	5	13	58	34.5%	5
5	24	26	19	24		22	26	141	83.9%	1
6	22	25	11	23	7		20	108	64.3%	3
7	7	7	4	14	2	8		42	25.0%	7

(2) 의미분별척도법에 의한 음질분석

의미분별척도법은 형용사를 여러 가지 감성어휘로 하여 어떠한 소음에 대한 주관적인 느낌을 평가자 자신이 척도를 가지고 절대 평가하는 방법으로, 비교적 쉽게 많은 데이터를 얻을 수 있기 때문에 평가음의 특성을 전부 나타내기에 매우 적합한 방법이다. 이 연구에서는 우선 고급 세단차량들의 흡배기계 소음을 들려주고 서로 대치되는 의미의 어휘를 보면서 일정한 평가척도를 기준으로 평가하게 하였다. Table 7은 의미분별척도법에 의한 흡배기계 음질평가 설문지를 나타낸 것이다.

이 연구에서는 확정된 18개 형용사쌍의 평가 어휘에 대해 총 28명의 소음진동 전문엔지니어가 5단계의 scale로 각각 7차량에 대해 급가속 주행시의 흡배기계 소음을 평가하였다. 이때 평가어휘의 이해를 돕고자 평가어휘를 충분히 숙지할 수 있는 시간을 주었고, 차량의 선입견을 없애고자 7개 차량을 무작위로 재생하였으며, 1개 차량에 대해서는 5번씩 순차적으로 들려주었다.

Fig. 4와 Fig. 5는 총 18개의 형용사쌍에 대한 전체적인 평가를 통해 얻은 극성 윤곽도(polarity profile)를 나타내고 있다. 윤곽도상에 표시된 점수는 전체

Table 7 Evaluation sheet by the semantic differential

Adjective	Scales					Adjective
	-2	-1	0	1	2	
Noise						Quiet
Undesirable						Desirable
Muddy						Clear
Rough						Smooth
Unstable						Stable
Cheap						Expensive
Annoyance						Exciting
Weak						Powerful
Light						Heavy
Mild						Strong
Dark						Bright
Booming						Linearly
Unpleasant						Pleasant
Static						Dynamic
Hard						Soft
Shrill						Calm
Strange						Friendly
Dead						Racy

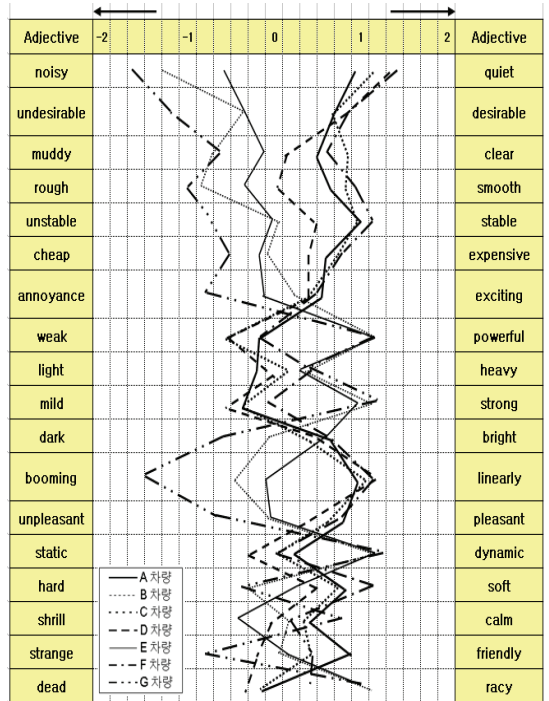


Fig. 4 Polarity profile of the 18 adjectives pairs for intake noise

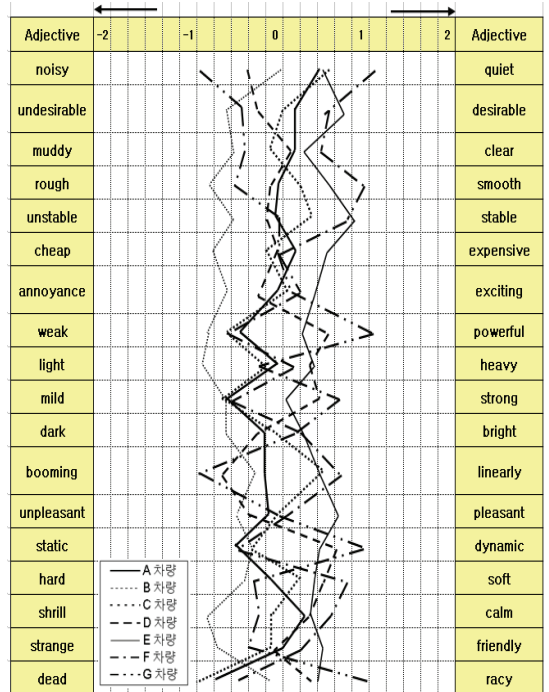


Fig. 5 Polarity profile of the 18 adjectives pairs for exhaust noise

평가자들의 특점을 평균하여 얻은 값을 표시한 것이다. 그림을 보면 흡기계 소음의 경우 대체로 F차량이 조용한, 안정된, 선형적인 형용사에 가장 가까운 경향을 보이고 있으며, G차량은 F차량과는 대조로 시끄러운, 피로운, 울리는 형용사에 가장 가까운 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 배기계 소음의 경우는 E차량이 바람직한, 안정된, 유쾌한 형용사에 가장 가까운 경향을 보이고 있으며, G차량은 흡기계에서 처럼 시끄러운, 거친, 울리는 형용사에 가장 가까운 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

(3) 요인분석법에 의한 음질분석

의미분별척도법을 통한 음질평가에 사용된 어휘들 사이에 공통적으로 존재하는 요인을 찾기 위하여 일반적으로 통계적 방법인 요인분석법을 사용하는데, 요인분석법은 현재의 음질과 비교하여 향후 바람직한 음질의 방향을 제시하려고 할 경우 매우 유용한 평가방법이라 할 수 있다.

이 연구에서는 통계분석 전용 소프트웨어인 MINITAB을 이용하여 요인분석을 수행하였으며, 이러한 요인분석을 통해 음질의 특성을 나타내는 서로 독립된 요인의 축을 결정한 후에는 음질 공간상에 음질 요인을 표현하여 음질을 시각적으로 표현함으로써 흡배기계 음질특성을 규명하고자 하였다. Table 8은 흡배기계 소음의 음질평가 어휘에 대한 요인구분을 나타낸 것이다. 요인분석 결과를 보면 흡배기계 소음의 음질평가 요인들을 크게 정숙감(quietness), 박력감(powerfulness), 안락함(comfort)의 3개 음질요인들로 나눌 수 있음을 알 수 있다.

Table 8 Classification of sound quality factor for evaluation vocabularies of adjective pairs

Factor	Adjective pairs	Factor name
Factor1	Noisy-quiet	Quietness
	Booming-linearly	
	Cheap-expensive	
	Hard-soft	
	Muddy-clear	
	Unstable-stable	
	Annoyance-exciting	
	Undesirable-desirable	
Factor2	Static-dynamic	Powerfulness
	Mild-strong	
	Dead-racy	
	Weak-powerful	
Factor3	Light-heavy	Comfort
	Hard-soft	

또한 요인구분을 통해 얻은 3개 음질요인들에 대한 요인점수를 각 시험차량에 적용시켜보면 Fig. 6과 Fig. 7의 결과를 얻을 수 있다. 그림을 통해 흡기계의 경우 정숙감 및 안락함을 주로 키우는 방향으로 진행해 나가야 함을 알 수 있고, 배기계의 경우는 정숙감, 박력감 및 안락함을 모두 키우는 방향으로 진행해 나가야 함을 알 수 있다.

그리고 각 요인공간상에 차량들의 위치를 표시하기 위하여 각 차량들의 흡기계 요인점수를 구하였다. 이는 한 차량에 대해 얻은 전체의 데이터로부터 각각의 평가자에 대한 요인점수를 평균하여 차량의 흡기계 요인점수로 하여 나타낸 것이다. 이때 각 변수에 주어지는 가중치는 단순가중치를 사용하여 Fig. 8과 같이 좌표상에 도식화 한 것으로, 이는 요인축상에 차량의 위치를 표시하여 측정 차량의 음질 특성을 타차량과 비교 혹은 그 차량의 음질을 시각적으로 표현한 것이다.

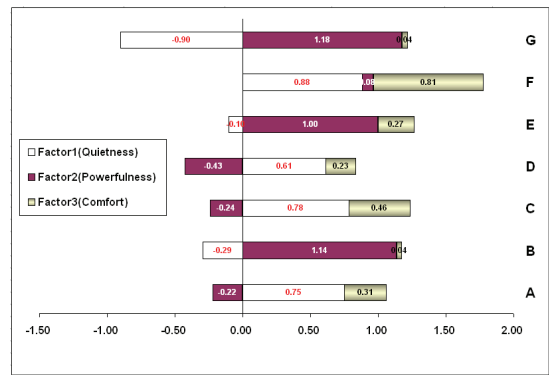


Fig. 6 Comparison of the factor score for intake noise

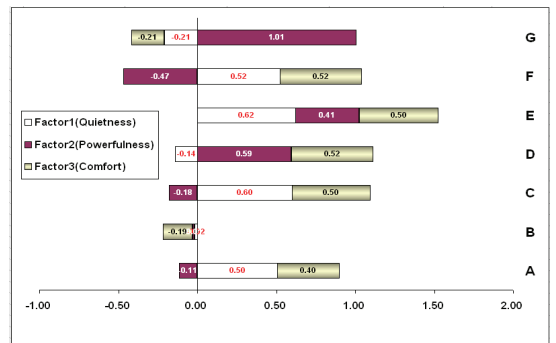
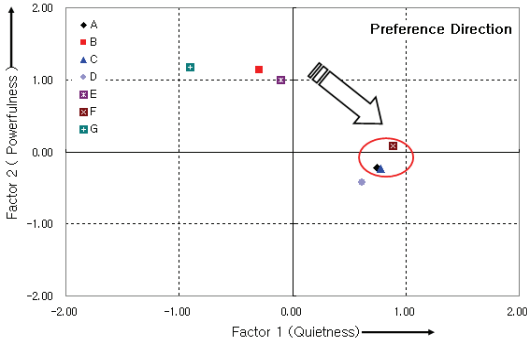


Fig. 7 Comparison of the factor score for exhaust noise

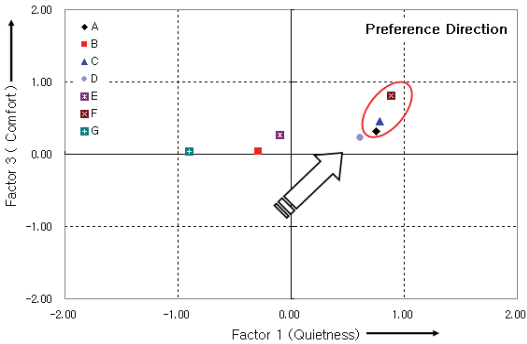
Fig. 8에서 흡기계의 선호도 방향은 쌍대비교법에
서 비교적 높은 선호도를 보인 차량들을(A, C, F
차량) 주개발 목표로 정하되 각각 독립된 두 요인
축들(정숙감 & 박력감, 정숙감 & 안락함, 박력감 &
안락함)을 모두 만족시켜주기 위해 대각선 방향으로
설정하였다. 즉 Fig 8(a)의 정숙감 및 박력감의 경우
정숙감은 키우데 박력감은 줄이는 방향으로 가는 것
이 의미분별적도법을 통해 얻은 결과들과 일치하는

것을 알 수 있으며, Fig. 8(b)의 정숙감 및 안락함의
경우는 정숙감 및 안락함을 모두 키우는 방향으로
가는 것이 선호품질 측면에서 바람직한 방향임을
알 수 있다.

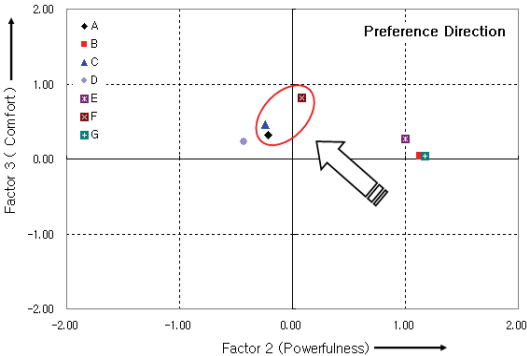
앞서 흡기계의 경우는 3개의 음질요인들 중에 박
력감은 배제한 채 정숙감과 안락함 위주로 음질개
발을 하는 것이 필요한 반면, 배기계의 경우는 선호
음질을 위해 흡기계의 경우와는 달리 정숙감, 안락



(a) Factor1 & factor2

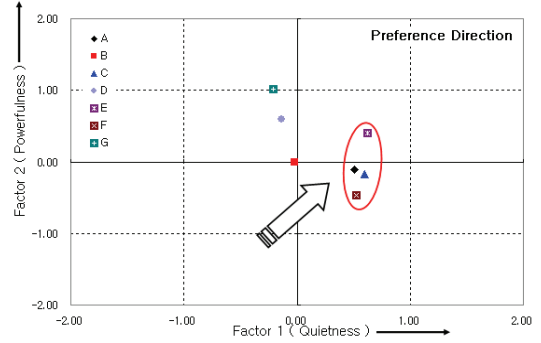


(b) Factor1 & factor3

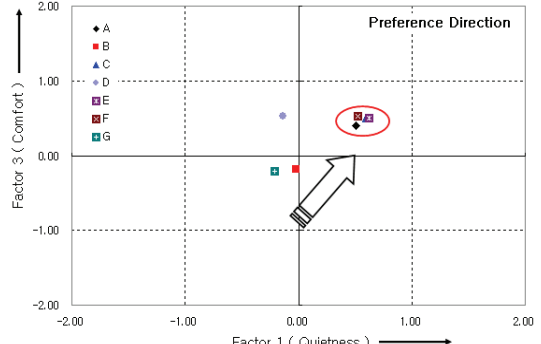


(c) Factor2 & factor3

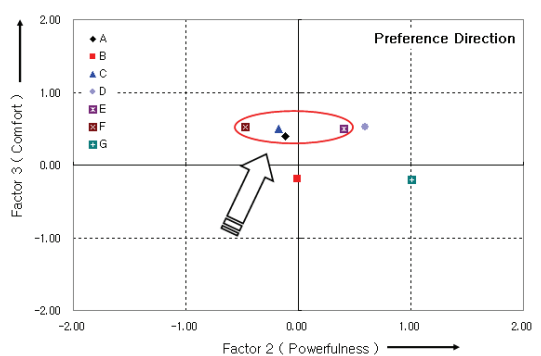
Fig. 8 Factor pattern of intake noise



(a) Factor1 & factor2



(b) Factor1 & factor3



(c) Factor2 & factor3

Fig. 9 Factor pattern of exhaust noise

함이 존재하는 상태에서 박력감까지 동시에 만족시켜주는 것이 필요하며 이를 가장 잘 대변해주는 E 차량의 음질특성을 먼저 고려해야 할 것임을 알 수 있다.

2.3 흡배기계 음질지수의 개발

(1) 요인분석에 대한 신뢰성 검증

다음은 Cronbach- α ⁽⁶⁾의 신뢰계수를 사용하여 앞서 선정된 18쌍 평가어휘들에 대한 내부 신뢰성을 검증하고자 하였다. Table 9는 흡배기계 형용사쌍의 평가어휘들에 대한 보면 Cronbach- α 신뢰계수를 나타내고 있는데, 신뢰계수가 모두 0.7이상의 높은 값을 보이고 있으므로 요인분석에 선택된 어휘들이 내부 신뢰성을 가진 변수들로 선택되어 있음을 알 수 있다.

(2) 흡배기계 음질지수의 도출

이 연구에서는 쌍대비교법을 통해 얻은 흡배기계 선호도 점수를 의미분별척도법에 의한 흡배기계 음질요인들과 비교하기 위하여 의미 분별척도법을 통해 얻은 각 평가자들의 점수를 평균하여 각 차량별 요인점수로 표현하였다. 그런데 두 변수들(선호도와

Table 9 Cronbach- α values of the adjective pairs for confidence evaluation

Adjective pairs	Cronbach- α	
	Intake	Exhaust
Noisy : quiet	0.89	0.88
Undesirable : desirable	0.89	0.94
Muddy : clear	0.90	0.92
Rough : smooth	0.91	0.93
Unstable : stable	0.91	0.94
Cheap : expensive	0.91	0.94
Annoyance : exciting	0.89	0.94
Weak : powerful	0.91	0.72
Light : heavy	0.77	0.93
Mild : strong	0.91	0.85
Dark : bright	0.88	0.92
Booming : pleasant	0.89	0.88
Unpleasant : pleasant	0.91	0.93
Static : dynamic	0.91	0.83
Hard : soft	0.91	0.89
Shrill : calm	0.71	0.92
Strange : friendly	0.90	0.95
Dead : racy	0.89	0.89

Table 10 Sound quality index of an intake system

Index	Equation	Coefficient
Preference	$Y = \alpha 1 \cdot \text{dBC}(300\text{LP})^{11} + \beta 1 \times \text{ZLS}^2 + \gamma 1$	0.87
	Intake preference = $\alpha 2 \times \text{Factor}1 + \beta 2 \times \text{Factor}2 + \gamma 2$	0.90
Main factor	$Y = \alpha 3 \times \text{UBA}^3 + \beta 3 \times \text{dBA}(300\text{--}600\text{BP})^4 - \gamma 3$	0.97
Factors	Quietness (factor1) $Y = \alpha 4 \times \text{UBA}^5 + \beta 4$	0.97
	Powerfulness (factor2) $Y = \alpha 5 \times \text{OZLS}(369)^6 - \beta 5 \times \text{OBA}(\text{CEO})^7 + \gamma 5$	0.96
	Comfort (factor3) $Y = \alpha 6 \times \text{ZLP}^8 + \beta 6 \times \text{UBA}(3000)^9 + \gamma 6$	0.94

Table 11 Sound quality index of an exhaust system

Index	Equation	Coefficient
Preference	$Y = \theta 1 \times 1 / \text{OCT}^{10} + \gamma 1 \times \text{dBC}(600\text{HP})^{11} + \delta 1$	0.90
	Intake preference = $\theta 2 \times \text{Factor}1 + \gamma 2 \times \text{Factor}2 - \delta 2$	0.91
Main factor	$Y = \theta 3 \times \text{UBA}^{12} + \gamma 3 \times \text{AI}^{13} - \delta 3$	0.91
Factors	Quietness (factor1) $Y = \theta 4 \times 1 / \text{OCT}^{14} + \gamma 4 \times \text{OBL}(\text{CEO})^{15} + \delta 4$	0.86
	Powerfulness (factor2) $Y = \theta 5 \times \text{OZLP}(369)^{16} + \gamma 5 \times \text{dBC}(300\text{LP})^{17} - \delta 5$	0.89
	Comfort (factor3) $Y = \theta 6 \times \text{OBA}(\text{CEO})^{18} - \gamma 6 \times \text{SHARP}^{19} + \delta 6$	0.87

- 1) dBC(300LP) : C-weighted overall level using 300 Hz lowpass filter
- 2) ZLS : Overall Zwicker loudness level(sones)
- 3) UBA : Overall unbiased annoyance level
- 4) dBA(300~600BP) : A-weighted overall level using 300~600 Hz bandpass filter
- 5) UBA : Overall unbiased annoyance level
- 6) OZLS(369) : 3,6,9 order Zwicker loudness level(sones)
- 7) OBA(CEO) : A-weighted order balance(combination of relevant Eng.Orders)
- 8) ZLP : Overall Zwicker loudness level(phon)
- 9) UBA(3000) : Unbiased annoyance level below 3000 rpm
- 10) 1/OCT : Linear 1/1 octave band level
- 11) dBC(600HP) : C-weighted overall level using 600 Hz highpass filter
- 12) SNP2 : Sensory pleasantness level(Comb. of roughness, sharpness, tonality)
- 13) AI : Articulation index level
- 14) UBA : Overall unbiased annoyance level
- 15) OBL(CEO) : Linear order balance(combination of relevant engine orders)
- 16) OZLP(369) : 3,6,9 order Zwicker loudness level(phon)
- 17) dBC(300LP) : C-Weighted overall level using 300 Hz lowpass filter
- 18) OBA(CEO) : A-weighted order balance(comb. of relevant engine orders)
- 19) SHARP : Overall sharpness level

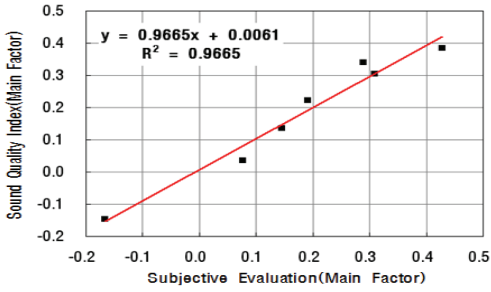


Fig. 10 Correlation of the subjective evaluations and sound quality index of intake system

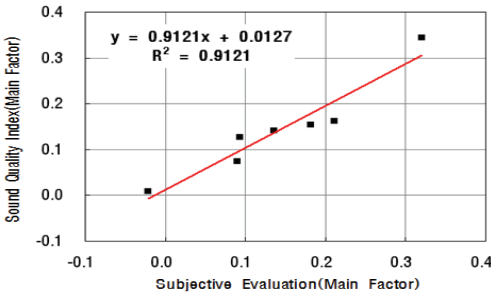


Fig. 11 Correlation of the subjective evaluations and sound quality index of exhaust system

음질요인들)간의 척도가 다를뿐더러 평균이나 표준편차가 워낙 차이가 나서 상관분석과 회귀분석을 수행하는데 있어 값들을 표준화하여 계산하였다. 여기서 표준화는 각 차량별 요인점수에서 요인점수들의 평균값을 뺀 후 이를 요인점수들의 표준편차로 나눈 값을 의미한다. 이렇게 표준화된 선호도 점수와 표준화된 음질요인들간의 상관관계를 분석한 결과 상대적으로 순위 상관계수가 높은 값을 보이는 정속감과 박력감의 두 요인에 대하여 분산분석과 회귀 분석을 수행하였다. 분석결과 결정계수는 흡기계가 90.4%이고, 배기계가 91.2%로 비교적 높은 신뢰도를 보였다. 한편, 의미분별척도법에 의해 도출된 음질요인들을 이용하여 각각의 요인에 고유치의 비를 가중치로 주어 계산하면 차량별로 3개의 음질요인들이 하나의 주인자로 나타낼 수 있다. 이를 가지고 선호도와 주인자 그리고 음질요인들간의 상관분석 및 다중회귀분석을 수행하면 Table 10와 같은 흡배기계 음질지수들을 얻을 수 있다. Table 11은 각각의 음질지수 파라미터들에 대한 설명을 나타낸 것이다.

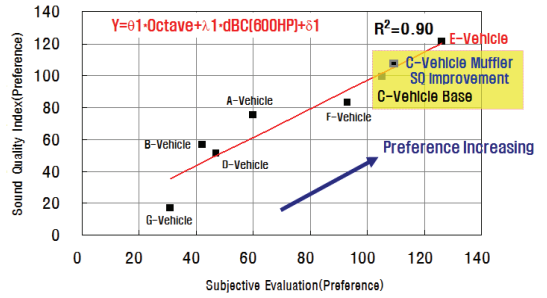


Fig. 12 Validation study of the sound quality index for exhaust system preference

Fig. 10과 Fig. 11은 주관평가지와 앞서 도출된 흡배기계 음질지수를 이용하여 상관분석 및 다중회귀 분석을 수행한 결과이다. 급가속 시험의 주행조건에서 주관평가지와 흡배기계 음질지수가 매우 잘 일치하고 있으며, 두 인자간의 상관계수가 모두 0.91 이상의 매우 높은 상관도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

(3) 음질지수의 타당성 검증

이 연구에서 도출된 흡배기계 음질지수의 타당성을 검증하기 위해 우선 C-차량의 배기 머플러 음질 개선사양에 대한 객관 시험데이터를 선호도 음질지수 관계식에 대입한 후 추가 주관평가를 수행한 결과 Fig. 12와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 보다 정확한 타당성 검증을 위해 가로축의 선호도 점수는 앞서 28명의 평가자중에서 다소 부정확한 평가를 한 4명을 제외한 24명만의 선호도 점수만을 표시하여 나타내었다.

이 검증 평가결과를 보면 음질개선 사양이 선호도를 향상시키는 방향으로 회귀추세를 잘 따라가고 있음은 물론 선호도에 대한 음질지수가 주관평가를 잘 대변해 주는 타당성 있는 음질지수라 할 수 있겠다.

4. 결 론

이 연구에서는 대형 세단차량들에 대한 흡배기계 주/객관평가 및 통계적 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 흡배기계에 대한 음질을 평가하기 위하여 기존의 음질 파라미터들을 사용하여 각각 기울기, 절

편, 데이터와 추세선의 표준편차를 구한 후, 이를 주관평가에 대한 상관분석을 통해 상관도가 높은 주요 인자들을 추출하였다. 또한 다중회귀분석을 통해 각각의 흡배기계에 대한 신뢰도 높은 선호도 음질지수를 도출하였다.

(2) 소음에 대한 평가자의 감성을 적절히 표현할 수 있는 형용사쌍의 평가어휘를 선정된 후 통계적 방법인 요인분석 등을 통하여 요인들의 특성을 분석하였다. 그 결과 차량의 음질특성은 정숙감, 박력감, 안락함이라는 3개의 주요 음질요인으로 구분할 수 있었으며, 이중에서 정숙감은 선호도와 가장 강한 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있었다. 또한 선호도와 3개의 음질요인(주요인)과의 상관분석과 다중회귀분석을 통하여 인간의 청감을 잘 대변할 수 있는 흡배기계 주인자 음질지수들을 도출하였다.

참 고 문 헌

(1) Lee, J. K., Chai, J. B. and Jang, H. K., 2005, Study on the Evaluation of Sound Quality of a Vehicle Interior Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 8, pp. 945~953.
 (2) Lee, S. K., Chae, H. C., Park, D. C. and Chung, S. K., 2003, Booming Index Development of Interior Sound Quality on a Passenger Car Using

Artificial Neural Network, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 445~451.

(3) Lee, J. K., Park, Y. W. and Chai, J. B., 2006, Study on the Optimal Design of a Vehicle Intake System using the Booming Noise and the Sound Quality Evaluation Index, International Journal of Automotive Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 43~49.

(4) Otto, N., Eaton, C. and Lake, S., 1999, Guidelines for Jury Evaluations of Automotives Sounds, SAE Paper 1999-01-1822.

(5) Shkeli, V. and Vandenbrink, K. A., 2003, The Use of Subjective Jury Evaluation for Interior Acoustic Packaging, SAE Paper 2003-01-1506.

(6) Weisberg, S., 1985, Applied Linear Regression, Wiley, NewYork.

(7) Minitab Inc, 2000, Minitab User's Guide #2 : Data Analysis and Quality Tools.

(8) Zwicker, E. and Fastle, H., 1990, Psychoacoustics-facts and Models, Springer-Verlag, Berlin.

(9) Lee, J. K., Cho, T. H., Seo, D. W., Lim, Y. S. and Kang, K. T., 2011, A Development of Sound Quality Index of an Intake and Exhaust System for Luxury Vehicles, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 819~820.