

# 가상 음질 분석을 이용한 자동차 실내소음 음질 평가

## Sound Quality Evaluation of Vehicle Interior Noise Using Virtual Sound Quality Analysis

강 상 욱<sup>†</sup>  
Sang-wook Kang

(Received November 4, 2016 ; Revised December 7, 2016 ; Accepted December 19, 2016)

**Key Words** : Sound Quality(음질), Vehicle Interior Noise(자동차 실내소음), Virtual Sound Quality Analysis(가상 음질 분석), Subjective Assessment(주관적 평가)

### ABSTRACT

Sound quality engineering in automobile noise applications has become more and more important under the current quiet driving condition because various noise components masked under high noise level can be audible in quieter driving situation. Many researches have been carried out for subjective and objective assessments on automobile sounds and noises. In particular, the interior sound quality has been one of research fields that can give high-quality feature to automobile products. Although many works related to the interior sound quality have been progressed or completed in foreign countries, limited research results are presented in the country. In the study, subjective assessments are first performed with 20 subjects to select perceptual adjectives suitable to the assessment of car interior noises during acceleration. The selected perceptual adjectives are employed as the assessment scales to evaluate the acceleration noises in questionnaire procedures using 35 subjects, for which several noises are created through digital filtering of the acceleration noises measured. Mean values and standard deviations for subjective assessment scores obtained by the questionnaire procedures are calculated and their reliability are also verified. Finally, various statistical analyses such as the correlation analysis and the factor analysis are carried out to reveal the interrelationship between the assessment scales and the spectrum components of the acceleration noises.

### 1. 서 론

최근의 차량의 경량화, 고효율화, 고급화 추세에 따라 자동차와 관련된 여러 가지 타입의 소음 음질에 관한 주관적/객관적 평가 방법에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 차실 실내소음의 주관적 음질 평가 인자 추출에 관한 연구<sup>(1-4)</sup>, 주 소음원인

엔진의 소음 음질 향상을 위한 엔진 마운팅 및 차체 설계 변경에 대한 연구<sup>(5-7)</sup>, 자동차 문단이 음의 음질 및 기구학적 소음 발생 메커니즘과의 상관성 연구<sup>(8,9)</sup>, 다양한 운전 상황 하에서의 실내소음을 객관적으로 평가하기 위한 연구<sup>(10-12)</sup>, 자동차출발음<sup>(13,14)</sup>, 및 파워 윈도우 소음<sup>(15,16)</sup> 등에 관한 연구들이 그 주류를 이루고 있다.

자동차 실내소음은 구매자의 수요에 영향을 주는 중요한 변수 중의 하나이다. 세계적인 자동차 메이

<sup>†</sup> Corresponding Author; Member, Hansung University  
E-mail : swkang@hansung.ac.kr

<sup>‡</sup> Recommended by Editor Gi-Woo Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

커의 경우, 차량의 주행 시 주 운전 회전수에서 65 dB 이하의 소음 수준을 보장하는 기술력의 확보단계에 이르렀으며, 보다 조용한 운전 조건 아래에서 그동안 마스킹되었던 다른 소음 요소들이 운전자의 인식 레벨에 포함되게 되었다. 이러한 소음 요소들은 전체 소음 레벨에는 큰 영향을 주지 않으나, 운전자의 주관적 인지에는 상당한 영향을 주게 된다.

소음 스펙트럼의 주파수 특성을 바꿈으로써 특정 차량의 소음 음질 특성을 변경하는 연구는, 저자가 선행 연구한 차체 진동특성과 차실 음향모드 특성 및 음향-구조 연성 특성 파악을 통한 소음 저감 연구와 밀접한 관련을 가지고 있다. 차체 진동 특성 또는 차실 음향 특성을 변경하는 방법에 의해 소음 스펙트럼 특성을 바꾸고 동시에 주행 실험을 통해 원하는 음질 확보의 여부를 판단하는 일련의 작업은 많은 시간과 경비가 필요하다. 이 논문에서는 이러한 난점을 극복하기 위한 방안으로 최근의 급속히 진전되고 있는 디지털 필터링 기술을 이용한 일종의 ‘가상 음질 분석법’이 수행되었다. 가상 음질 분석법은 ‘(1) 음질 개선 차량에 대한 소음 데이터 확보 (2) 필터링을 통한 다양한 소음 데이터 확보 (3) 주관적 인지 성향과 소음 인자와의 상관성 규명 (4) 변경 대상 스펙트럼 인자와 설계변경 요소와의 상관성 규명 (5) 관련 설계 요소 변경 및 실차 검증’의 5단계를 통하여 일단락된다. 주행가속소음 음질 설계를 위한 이러한 방법의 연구는 차체 설계 초기단계에서부터 전통적으로 이루어진 소음/진동 저감 설계 연구에 가상 음질 설계 기술을 추가함으로써 소음/진동 레벨과 음질이라는 두 가지 측면을 동시에 고려하는 것을 용이하게 한다. 이 논문에서는 위에서 제시된 음질분석법의 5단계 중 세 번째 단계까지만을 다루기로 한다. 향후 추가 논문에서는 네 번째와 다섯 번째 단계에 대한 연구 결과가 제시될 것이다.

## 2. 연구 대상 차량의 주행 소음 시험

### 2.1 개요

이 논문의 목표는 부밍 주파수 구간 내에서의 설계 변경에 의한 자동차 가속 주행 소음 음질 개선이다. 그래서 220 Hz 이상의 주파수 성분은 주 관심 대상에서 제외된다. 그리고 운전자의 운전 형태에



Fig. 1 Dummy Head installed at assistant driver seat

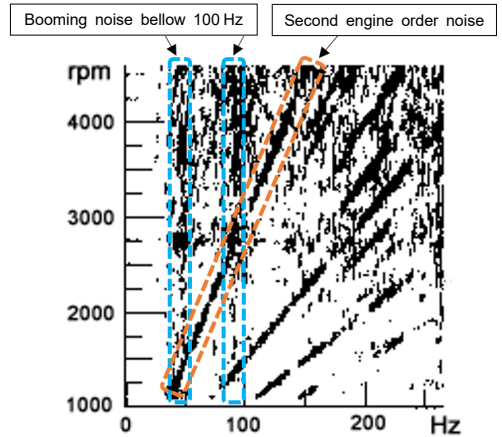


Fig. 2 Spectrum of the acceleration noise measured

따라 주행 소음은 다양하게 형성되므로, 일반적인 주행 가속 소음 평가 방법 중의 하나인 ‘WOT(wide open throttle)’ 방법에 의해 측정된 주행 소음을 평가 표준 소음으로 채택하였다. 소음 측정 장비인 dummy head(head acoustics사)를 차량에 탑재하여 조수석 위치에서의 주행 소음을 측정하였다(Fig. 1 참조).

### 2.2 주행 소음 분석

Fig. 2는 조수석(오른쪽 귀)에서 측정된 주행 소음의 분당 회전수별 스펙트럼 형상을 보여주는 3차원 스펙트럼 맵(3D spectrum map)이다.

이 주행 소음의 스펙트럼 특징은 다음과 같이 요약된다. (1) 엔진 2차 오더 성분이 매우 지배적이며, 특히 2차 오더 성분이 구조 공진 주파수와 만나는 지역에서는 큰 소음 레벨을 가진다. (2) 분당 회전수의 변화와 무관하게 특정 주파수 구간에서는 구조

공진 소음이 발생하고 있다. 중심주파수가 약 40 Hz 와 80 Hz인 구간에서 저주파수 구조기인 부밍 소음이 유발되고 있다.

### 3. 주행 가속 소음의 주관적 평가

#### 3.1 감성 형용사의 선택

이 논문에서는 의미 미분법(semantic differential method)<sup>(17)</sup>에 기초하여 가속 주행 소음이 가지고 있는 감성적인 측면을 측정하기 위하여, 먼저 자동차 주행 가속 소음을 표현하는데 적당한 감성 형용사들을 추출하는 설문 조사를 두 단계로 수행하였다. 먼저, 녹음한 실제 주행 소음을 들려주면서, “듣고 있는 소음을 표현(평가)하는데 적절한 감성 형용사들을 나열하시오”라는 질문을 가진 주관적 설문조사가 시행되었다. 이러한 주관적 설문 조사에서 상위 랭크된 30개 감성 형용사들 중에 5개를 선택하게 하는 객관식 설문조사가 수행되었다(Fig. 3의 설문지 참조).

20세에서 35세 사이의 건강한 청력을 가지고 있는 남성 35명을 대상으로 Fig. 3의 객관식 설문조사를 행하였다. 설문 결과에서 상위 랭크된 감성 형용사들을 대상으로 하여 비슷한 성격의 감성 척도들은 하나의 대표 형용사로 압축하여(예를 들면, 힘찬, 강력한, 강한 등의 척도들은 강력함으로 압축), 강력함, 중후함, 경쾌함, 안정감, 고급감 등의 5가지가 선별되었다. 그리고, 선정된 감성 척도와는 별개로 평가음에 대한 선호 경향을 알아보기 위해, 이미 선별된 5개의 형용사보다 한 단계 높은 수준의 감성 표현 척도로 ‘선호도’라는 복합적인 감성척도를 추가하였다.

#### 3.2 필터링을 통한 평가 대상 소음 수집

이 음질 평가에서는 2개의 평가 대상음을 기준음과 비교하는 상대적인 평가 방식이 적용되었다. 먼저 주행시험에서 측정된 원소음(original sound)을 디지털 필터링하여 두개의 소음을 생성시켰다. 첫 번째 생성 소음은 원소음에서 100 Hz 이하의 부밍 소음과 엔진 2차 오더를 제거한 것이고, 두 번째 생성 소음은 단지 100 Hz 이하의 부밍 소음만을 제거한 것이다. 원소음과 필터링에 의해 생성된 소음 중에서 기준음은 첫 번째 생성 소음(엔진 2차 오더 성

질문	지금 듣고 있는 주행 가속 소음들에 대해 당신이 느끼는 감정을 표현하는데 적합한 형용사들을 선택하세요.				
선택 대상 감성 형용사					
밝은	조잡스러운	고급스러운	깊이있는	명쾌한	
우렁찬	박력있는	중후한	강력한	금속성의	
단조로운	시원한	부드러운	웅장한	경쾌한	
매끄러운	맑은	온화한	조화로운	깊이있는	
조용한	덜덜거리는	여린	힘찬	투박한	
빈약한	속도감있는	스무스한	거슬리는	잡스러운	
안정된	가벼운	날렵한	강한	...	

Fig. 3 Objective questionnaire for selecting sense adjectives

Table 1 Spectrum feature of the base noise and the two noises to be compared with it

Noise type	Spectrum feature
Reference noise	Removing the booming and the second engine order noises
Comparison noise 1	Adding the second engine order noise to the reference noise
Comparison noise 2	Adding the booming and the second engine order noises to the reference noise

분과 부밍 소음이 제거)으로 정한다. 그리고, 기준음에 엔진 2차 오더 성분을 추가한 것을 평가음(1)으로, 엔진 2차 오더와 100 Hz 이하의 부밍 소음이 존재하는 원소음을 평가음(2)로 정하였다(Table 1참조).

이 논문에서는 생략되었지만, 해당 차량에 대한 음향 구조 연성 해석 결과에 의해, 40 Hz 부근의 부밍 소음은 뒤 창문(rear window)과 차실 1차 음향 모드와의 연성에 의해, 80 Hz 부근의 부밍 소음은 루프(roof metal sheet)와 차실 1차 음향 모드와의 연성에 의해 발생한 차체-차실 연성 소음인 것으로 밝혀졌다. 이 연구 결과는 향후 추가 논문에서 5단계 음질 분석법의 네 번째와 다섯 번째 단계를 수행하는 데에 활용될 것이다.

#### 3.3 기초 통계 분석

위에서 선정된 여섯 가지 감성 척도를 가지고 두 가지 평가음에 대해 주관적 음질 평가를 실시하였다. 평가 점수 구간은 (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)을 사

용하였으며, 평가원은 운전 경력자 9명과 무 경력자 11명으로 총 20명으로 구성되었다. 운전 경력의 유무가 점수 분포에 특별한 영향을 미치는지를 조사하기 위하여, ‘공분산분석(ANOVA)’을 수행하였으며, 기초통계 분석 자료로써 각각의 감성 척도에 대하여 평가원이 부가한 점수에 대한 평균과 표준편차도 계산되었다. 그리고, 평가원들이 특정 감성척도에 대하여 일률적으로 점수를 매기고 있는지를 알아보고 동시에 평균값의 신뢰성을 조사하기 위하여 ‘Wilcoxon test’를 수행하였다.

(1) 공분산 분석 (운전 경력 유무 관련)

Table 2에서 계산된 각각의 평가음 및 평가척도에 대한 공분산 분석 결과  $F$ 를 보면, 어떠한 결과도 신뢰도 95 %에 대한 평가 기준치인  $F_r = 4.45$  보다 높지 않다. 그래서 운전 경력의 유무는 주관적 인지 성향에 별다른 영향을 주지 않는다는 결론을 내릴 수 있다.

(2) 평균, 표준편차 및 Wilcoxon test

Table 2에서 각각의 감성척도에 대한 평균을 살펴 보면, 평가음(1)은 중후함, 안정감, 고급감 및 선호도에 있어서는 양(+) 점수를 얻었으며, 강력함과 경쾌함에 있어서는 음(-)의 점수를 얻었다. 평가음(2)는 중후함을 제외한 모든 척도에서 음(-)의 점수를 얻었다. 이러한 사실로 미루어 보아 주행 소음 중 엔진 2차 오더 추가는 강력함과 경쾌함을 줄인다고 생각할 수 있으며, 엔진 2차 오더와 부밍 소음의 동시 추가는 중후함을 제외한 모든 감성척도를 좋지 않게 평가하도록 한다고 판단할 수 있다. 그러나, 이러한 잠정 결론은 각각의 평균값 자체의 신뢰성을 고려치 않은 결론이므로 평균의 신뢰성을 검증하기 위한 추가적인 통계 분석이 요구된다. 그래서 각 평균에 대한 Wilcoxon test가 수행되었다. Wilcoxon test는 평가원들이 특정 감성척도에 대해서 얼마나 같은 방향(긍정 또는 부정적으로)으로 평가했는지를 보여주는 통계 분석 기법이다. 평균값이 신뢰도 95 % 이상을 가지기 위해서는  $Z > Z_{ref}^{95\%}$  ( $Z_{ref}^{95\%} = 1.96$ )을 만족해야 한다. 이러한 관점에서 Table 2를 보면, 평가음(1)의 경우는 강력함을 제외한 나머지 감성 척도들의 평균값들은 95 %의 신뢰도를 가진다고 생각할 수 있다. 그래서 강력함에 대한 위에서 내린 결론은

Table 2 Mean, standard deviation, Wilcoxon test, ANOVA results

Comparison noise	평균/표준편차/Wilcoxon test/ANOVA						
	강력함	중후함	경쾌함	안정감	고급감	선호도	
(1)	$m$	-0.08	1.50	-0.55	0.76	1.08	1.15
	$\sigma$	0.99	0.75	0.81	0.90	0.99	1.62
	$Z$	0.31	3.72	2.51	2.82	3.20	2.48
	$F$	0.08	2.65	1.22	0.09	0.08	3.89
(2)	$m$	-0.89	0.39	-1.92	-0.22	-0.25	-1.65
	$\sigma$	1.73	1.54	0.91	1.64	1.57	1.44
	$Z$	1.98	0.97	3.72	0.72	1.09	3.34
	$F$	1.88	1.26	0.01	1.10	0.04	2.47

Table 3 Effect on subjective perception of spectrum components

Spectrum component	Effect on subjective perception
Second engine order noise	1. Unrelated to Powerfulness 2. Increasing Preference, Dignity, Sureness and Luxuriousness 3. Decreasing Nimbleness
Second engine order noise + booming noise	1. Decreasing Preference, Powerfulness and Nimbleness 2. Unrelated to Dignity, Sureness and Luxuriousness

95 % 이상의 신뢰도를 가진다고 말할 수 있을 것이다. 평가음(2)의 경우는 ‘선호도’, ‘강력함’, ‘경쾌함’에 대한 평균값들만이 통계적 의미를 가진다고 말할 수 있다. 평균과 Wilcoxon test를 동시에 고려하여 이 주관적 평가에 대한 결론을 내리면 Table 3으로 정리된다.

Table 3에서 엔진 2차 오더 성분은 강력함이라는 인간의 감성에 영향을 주지 않거나 오히려 강력함을 감소시키는 결론이 나왔다. 이는 기존의 외국 논문(5)에서 엔진 2차 오더 성분이 강력함의 상승에 영향을 준다는 내용과는 상당히 상반되는 내용으로서, 한국인과 외국인의 강력함에 대한 인지 성향의 차이로 인해 발생했을 것으로 예상된다.

3.4 평가음에 대한 상관관계수분석 및 요인분석

이 절에서는 주관적 평가에서 사용된 6개의 감성 척도들이 어느 정도의 독립성 또는 종속성을 가지는지에 대한 확인을 위해 상관관계수 분석과 요인분석

**Table 4** Correlation analysis of comparison noise 1

	강력함	중후함	경쾌함	안정감	고급감	선호도
강력함						
중후함	0.34					
경쾌함	0.22	-0.44				
안정감	0.08	0.47	-0.24			
고급감	-0.12	0.24	0.07	0.66		
선호도	0.12	0.30	-0.12	0.65	0.31	

(factor analysis)이 수행된다. 일반적으로 상관계수 분석에서 상관계수  $R$  값이  $|R| > 0.7$  을 만족하면 감성 척도들 간의 높은 상관관계가 존재하는 것이며,  $0.3 < |R| < 0.7$  이면 보통의 상관관계가 존재하는 것이다. 그리고 인자 분석 결과가 통계적 의미를 갖기 위해서는  $KMO > KMO_{ref}$  ( $KMO_{ref} = 0.5$ )을 만족해야 한다.

(1) 평가음(1) (comparison noise 1)

평가음(1)은 기준음에 엔진2차 오더를 추가한 소음이다. 평가음(1)에 대한 상관관계 분석 결과는 Table 4에서 보여진다. 모든 상관 계수들의 절댓값이 0.7 이하에 있으므로 감성척도들 간에 높은 상관관계가 존재한다고 말할 수 없다. 그러나, 상관계수들 간의 상대적인 크기를 고려해보면 선호도와 가장 큰 상관관계( $R = 0.65$ )를 갖는 감성척도는 안정감이며, 중후함과 고급감은 선호도와는 별로 큰 상관관계를 갖지 않는다.

이제 Table 5의 인자분석 결과를 살펴보면, 이 평가에 사용된 5개의 1차 감성척도는 3개의 인자들로 압축될 수 있음을 확인할 수 있다( $KMO$ 값이 상당히 낮기 때문에 분석의 신뢰성은 떨어짐). 제1인자에는 안정감과 고급감이 속하며, 제2인자에는 경쾌함이, 제3인자에는 강력함이 속한다. 그리고 중후함은 어느 인자에 속하는지에 대해서는 특별히 말할 수 없다. 그래서, 서로 종속성을 가지고 있는 5개의 감성척도를 3개의 독립적인 감성 척도로 압축하여 평가음(1)에 대해 재평가하는 것이 보다 신뢰 있는 통계 분석을 가능 하게 할 것이라는 결론을 내릴 수 있다. 참고로, 인자분석에서 인자(제1, 제2, 제3 인자)는 관련이 있는 감성 척도들의 묶음을 뜻한다.

**Table 5** Factor analysis of comparison noise 1( $KMO: 0.29$ )

	강력함	중후함	경쾌함	안정감	고급감
제1인자	-0.06	0.45	-0.02	<u>0.83</u>	<u>0.73</u>
제2인자	-0.11	0.52	<u>-0.95</u>	0.33	0.03
제3인자	<u>0.97</u>	0.53	0.11	0.13	-0.17

**Table 6** Correlation analysis of comparison noise 2

	강력함	중후함	경쾌함	안정감	고급감	선호도
강력함						
중후함	0.57					
경쾌함	0.45	0.23				
안정감	0.16	0.39	0.44			
고급감	0.45	0.72	0.46	0.74		
선호도	0.65	0.42	0.20	0.05	0.26	

**Table 7** Factor analysis of comparison noise 2( $KMO: 0.66$ )

	강력함	중후함	경쾌함	안정감	고급감
제1인자	<u>0.91</u>	0.55	0.27	-0.05	0.28
제2인자	0.24	0.56	<u>0.60</u>	<u>0.92</u>	<u>0.88</u>

(2) 평가음(2) (comparison noise 2)

Table 6은 평가음(2)에 대한 상관계수 분석 결과를 보여준다. 선호도와 높은 상관관계를 가지는 감성척도는 강력함이다. 즉, 평가음(2)가 기준음에 비해 낮은 선호도( $m = -1.65$ )를 가지게 된 일차적인 원인은 강력함의 감소( $m = -0.89, Z = 1.98$ )에서 발생했다고 볼 수 있다(Table 2 참조). 비록 경쾌함이 강력함에 비해 더 큰 감소( $m = -1.92, Z = 3.72$ )를 보이지만, 경쾌함은 선호도와는 낮은 상관관계( $R = 0.20$ )를 가지므로 선호도에는 큰 영향을 주지 못하는 감성척도로 생각할 수 있다.

Table 7은 평가음(2)에 대한 인자분석 결과를 보여준다. 여기서 5개의 감성 척도들은 서로 종속성을 가지고 있으며, 독립적인 2개의 인자로 압축될 수 있음을 보여준다. 제1인자에는 강력함이 속하며, 제2인자에는 경쾌함, 안정감, 고급감이 속한다. 평가음(1)의 경우와 마찬가지로 중후함은 제1인자 또는 제2인자에도 속할 수 있는 모호성을 가

지고 있다. 평가음(1)의 결과와 비교해볼 때 특이한 내용은 경쾌함이 안정감과 고급감과 같은 인자에 속해 졌다는 사실이다. 이는 평가음(2)가 100 Hz 이하의 부밍 소음을 가지고 있음으로 인해 경쾌함은 물론 안정감과 고급감을 동시에 저하시켰기 때문이다.

#### 4. 결 론

이 논문에서는 자동차 주행 소음 평가를 위한 감성 형용사 추출 작업이 성공적으로 이루어졌으며, 스펙트럼 필터링을 통해 생성한 두 가지 주행 소음에 대한 주관적 평가 및 통계 분석이 수행되었다. 통계 분석 결과에 의하면, 엔진 2차 오더 성분은 강력함에는 거의 영향을 주지 않으며, 오히려 중후함의 상승에 가장 큰 영향을 주며 안정감과 고급감의 상승에도 정(+)의 영향을 줌을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 기존의 연구 결과<sup>(5)</sup>와는 상반되는 것으로, 중요한 의미를 가지는 것으로 판단된다.

또한, 엔진 2차 오더 및 100 Hz 이하의 부밍 소음이 동시에 존재 할 때에는, 과도한 저주파수 성분의 존재와 엔진 2차 오더가 부밍 소음 주파수 구간(40 Hz 및 80 Hz 부근)과 만나는 영역에서의 갑작스러운 소음 레벨의 상승때문에, 대부분의 평가원들이 오히려 강력함과 경쾌함이 감소한다고 인지했다.

마지막으로 인자 분석 결과를 보면, 평가 대상 소음의 종류에 따라 추출되는 독립적인 인자들이 다른 양상을 보임을 확인할 수 있었다. 그러나 평가음에 상관없이 안정감과 고급감은 하나의 인자로 압축될 수 있음이 확인되었다.

#### 후 기

이 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

#### References

(1) Paulraj, M. P. et al., 2010, Sound Quality Evaluation for Vehicle Interior Noise Based on Psychoacoustic Model, Challenges and Innovation in

Information Technology, pp. 553~559.

(2) Lee, J., K., Chai, J. B. and Jang, H. K., 2005, Study on the Evaluation of Sound Quality of a Vehicle Interior Noise, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration, Vol. 10, No. 2, pp. 254~260.

(3) Genuit, K., 2004, The Sound Quality of Vehicle Interior: A Challenge for the NVH-engineers, International Journal of Vehicle Noise and Vibration, Vol. 1, No. 1, pp. 158~168.

(4) Bodden, R. et al., 1998 Sound Quality Evaluation of Interior Vehicle Noise Using an Efficient Psychoacoustic Method, Euronoise 98, pp. 609~614.

(5) Sasaki, Y. et al., 1981, Research Into the Reduction of Engine Noise during Acceleration, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 18, No. 1, pp. 69~75.

(6) Chapnik, B. and Howe, B., 1997, Engine Sound Quality in Sub-compact Economy Vehicles: A Comparative Case Study, SAE Paper 971977.

(7) Schiffbanker, H. et al., 1991, Development and Application of an Evaluation Technique to Access the Subjective Character of Engine Noise, SAE Paper 911081.

(8) Malen, D. E. and Scott, R. A., 1993, Improving Automobile Door-closing Sound for Customer Preference, Journal of Noise Control Engineering, Vol. 41, No. 1, pp. 261~271.

(9) Genuit, K. and Sottek, R., 1995, Objective and Subjective Analysis of the Sound of Door Slamming, Inter-noise 95, pp. 921~926.

(10) Hirano, I. et al., 1994, Subjective Evaluation of Cae Interior Noise in a Consecutive Series of Driving Situations, Inter-noise 94, pp. 897~900.

(11) Bisping, R. et al., 1997, A Standardized Scale for the Assessment of Car Interior Sound Quality, SAE Paper 971976.

(12) Hashimoto, T. and Hatano, S., 1995, Quantification of Booming Nature of Sound, Part 1: Objective Measure for Estimating Booming Sound, Inter-noise, pp. 947~950.

(13) Hartman, R. A. et al., 1988, Starter Motor Cranking Sound-correlation of Objective Noise Measurements to Subjective Jury Ratings, SAE Paper 88080.

(14) Penfold, J. N., 1997, Power Window Sound Quality-A Case Study, SAE Paper 972017.

(15) Otto, N. C. and Wakefield, G. H., 1994, A Subjective Evaluation and Analysis of Automotive Starter Sounds, Journal of Noise Control Engineering, Vol. 41, No. 3, pp. 377~382.

(16) Genuit, K., 1994, Sound Engineering of Vehicle Noise, Inter-noise 94, pp. 875~880.

(17) Park, K. S., 2000, Human Sensibility Rgonomics and Sensation Physiology, Youngji Publishing.



**Sang-Wook Kang** received a B.S., M.S. and Ph.D. degree in Dept. of Mechanical Design Engineering from Seoul National University in 1992, 1994 and 1999, respectively. He is currently working in Hansung University as a professor of the mechanical system engineering. His research interests include the development of NDIF method for free vibration analysis of membrane, acoustic cavities, and plates with general shapes.