

차량 D 단 소음의 음질 인덱스 및 등급화 구축

Construction of the Sound Quality Index and Grade at Automotive Level D Noise

윤태건[†] · 박상길* · 심현진* · 이정윤** · 오재응***

Taekun Yun, Sang-Gil Park, Hyun-jin Sim, Jung-Youn Lee and Jae-Eung Oh

Key Words : Sound Quality Index(음질 인덱스), Sound Quality Grade(음질 등급), Correlation Analysis(상관분석), Regression Analysis(회귀분석)

ABSTRACT

Since human listening is very sensitive to sound, a subjective index of a sound quality is required. Therefore, in the analysis for each situation, the sound evaluation is composed with sound quality factor. Many researchers spends their effort to make a more reliable and more accurate of sound in term of sound quality index for various system noise. In this study a reliable index is constructed and analyzed using correlation analysis, regression analysis and weighting factor for each sound quality factor. We have made the sound quality index that agrees with more than human subjective sensitivity which apply to various sound quality metrics. Also we applied a 'grade' metric to jury for sound evaluation, analyzed relation between sound quality index and sound quality grade. Then we will judge the sound quality level according to the sound quality grade scheme.

1. 서론

최근 자동차 소음 저감 기술의 발달로 보다 조용한 운전 환경이 마련되었다.⁽¹⁾ 과거에는 차량의 성능이 제품의 품질이나 판매를 좌우했지만 생활 수준의 향상과 환경에 대한 관심의 증대로 인해 소음·진동과 같은 품질이 제품을 나타내는 중요한 인자로 두각 되었으며 자동차는 더 이상 단순한 성능에 의존하던 기계가 아닌 생활 속의 문화 공간으로 자리 잡아가고 있다.

이 같이 최근 소음에 관심이 많은 사람들의 증대하면서 소음에 대해 단순한 크기의 개념이 아닌 소리가 얼마나 좋고 나쁜지에 대한 즉, 수치적 개념이 아닌 인간의 감성에 의존하는 음질이라는 새로운 소음의 개념이 새로이 정립되고 있다.⁽²⁾

일반적으로 차량 소음을 개선하기 위해서는 소음 레벨 측정과 주파수 분석을 수행하며 소음원과 전달 경로를 규명하고 이를 토대로 구조변경이 이루어진다. 최근에는 더 많은 소비자들의 요구를 만족시키고 보다 정숙하고 음질이 좋은 쾌적한 차를 만들기 위해 차량 제조업체 및 관련 연구자들은 차량소음을 수집하여 청음평가를 실시하여 음

질인자를 규명하는 연구를 진행 중이다.

1960 년대 시작된 청감음향학(Psychoa-coustics) 연구는 1990 년대에 이르러 자동차 소음 음질개선에 널리 응용되기 시작하였고 여러 객관인자를 고려한 다중회귀 분석을 통해 불쾌지수를 모형화 하기도 하였다.

사람이 소리를 듣는 것은 다분히 감성적이고 주관적으로 이루어진다. 특히 날카롭거나 불쾌함 등의 평가는 소음 측정의 척도로 주로 사용되는 dB(A)와 같은 객관적 수치로 표현하기 어렵기 때문에 시스템에 따라 주관적이고 사람의 감성에 맞는 주관적 척도가 요구되고 있어 많은 연구가 진행 중이다. 그러나 차량소음에 대한 인덱스들은 소음에 대한 음질 수준만을 나타낼 뿐 특정한 기준을 제시하지 못하고 있다. 또한 때와 상황에 따라 변화하는 기준에 의해 해당 소음이 좋다 나쁘다라고 단정짓기 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 차량 D 단 소음을 대상으로, 기존의 건축이나 환경분야에서 자주 사용된 dB(A)를 이용한 인덱스가 아닌 자주 사용되는 다양한 음질인자를 이용하여 객관적·주관적 분석과 통계 처리 기법인 상관분석과 회귀분석을 실시하여 자동차 D 단 소음에 대하여 주관적이고 사람의 감성에 맞는 주관적 척도인 음질 인덱스를 구축하는데 그 목표를 두고 있다.^{(3) (4)} 또한 등급을 제시함으로써 인덱스가 나타내는 값이 좋고 나쁨을 구별할 수 있는 기준을 제시하고자 한다.

† 한양대학교 대학원 자동차공학과
E-mail : lub4u0@hanmail.net
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

* 한양대학교 대학원 자동차공학과

** 경기대학교 기계시스템디자인공학과

*** 한양대학교 기계공학과

2. 실험 및 평가

2.1 소음원 습득

8 개의 차량에서 같은 조건하에 D 단 소음을 습득하였다. 습득위치는 운전자석이며 녹음장비는 Head Acoustics 사의 Noisebook HMS.II 를 사용하였고 습득된 음원은 Table 1 과 같으며 차 이름에 대해서는 익명으로 표시하였다.

2.2 소음의 음질 분석

녹음된 8 개 소음에 대하여 프로그램과 청음평가 등을 실시하여 소음 및 음질 분석을 실시하였다. 분석 인자는 Table 2 와 같다.

Table 1 Recording of the automotive noise

Experiment No.	Transmission	Engine stroke Volume	Recording level
A	auto	1600	D
B	auto	1500	D
C	auto	1500	D
D	auto	1500	D
E	auto	2000	D
F	auto	1500	D
G	auto	2000	D
H	auto	2000	D

Table 2 Analysis metrics of the automotive noise

Analysis	Metric	Unit	Simplify
Objective	Loudness	sone	L1
	Sharpness	acum	S1
	Roughness	asper	R1
	Fluctuation	vacil	F1
dB, dB(A)			
Subjective (Jury test)	Loud	100 point	L2
	Sharp	100 point	S2
	Rough	100 point	R2
	Fluctuate	100 point	F2
	Grade	100 point	G

Table 3 Objective analysis of automotive noise

No.	L1	S1	R1	F1	dB	dB(A)
A	5.73	1.23	0.78	0.026	83.7	46.5
B	5.73	1.14	0.80	0.032	76.8	47.4
C	7.95	1.04	0.99	0.030	85.2	52.2
D	7.15	0.98	0.85	0.029	84.2	50.8
E	9.01	1.12	1.12	0.034	85.0	54.4
F	7.08	1.11	0.93	0.035	82.8	50.3
G	6.46	1.02	0.78	0.038	82.2	49.8
H	8.32	0.91	0.73	0.036	84.0	54.5

Table 4 Subjective analysis of automotive noise

No.	L2	S2	R2	F2	G
A	37.92	24.50	33.01	41.08	65.82
B	39.83	34.42	41.68	48.92	57.83
C	71.25	47.17	67.57	42.02	29.00
D	56.58	41.25	56.15	43.01	39.20
E	68.34	43.08	73.02	51.23	34.17
F	57.17	36.33	49.25	55.09	39.75
G	55.43	38.25	58.31	52.05	45.33
H	78.67	56.00	40.25	62.01	17.25

Table 5 Correlation of the objective and subjective value

	L1	S1	R1	F1	dB	dB(A)	L2	S2	R2
S1	-0.476								
R1	0.620	0.230							
F1	0.313	-0.48	-0.04						
dB	0.670	-0.278	0.415	-0.120					
dB(A)	0.974	-0.643	0.460	0.453	0.601				
L2	0.915	-0.719	0.344	0.447	0.627	0.963			
S2	0.792	-0.848	0.126	0.467	0.376	0.891	0.934		
R2	0.647	-0.209	0.808	0.220	0.438	0.582	0.520	0.380	
F2	0.373	-0.457	-0.173	0.847	-0.098	0.506	0.487	0.537	-0.124

(1) 객관적 분석

매 실험이나 소음마다 주관적 평가를 실시하기 어렵기 때문에 객관적 분석 값을 이용하여 주관적 값을 유추하기 위해 전주파수 대역에 대하여 객관적인 분석을 실시하였으며 그 결과값은 Table 3 에 나타내었다.

(2) 주관적 음질 분석

청음평가는 청력에 이상이 없는 30 명의 남성이 참여하였으며 노이즈북을 사용하여 실시하였다. 평가 인자는 '시끄러움', '날카로움', '거칠음' 그리고 '변동스러움'을, 평가방법으로는 100 점 점수부여법을 사용하여 점수가 높아질수록 인자에 대해서 '그렇다', '매우 그렇다' 로 점수가 낮아질수록 그 반대로 평가하도록 하였다.⁽⁵⁾ 또한 청음평가자가 직접 등급을 표시하게 하였으며 40~60 점, 평균 50 점일 때 허용할 수 있는 보통 3 등급으로 가정하였고 평가 결과는 Table 4 에 나타내었다.

2.3 객관적 분석과 주관적 분석의 상관관계

객관적 인자를 주관화하기 위한 인자 선택을 위해서 객관적 분석과 주관적 음질 분석 사이의 상관관계를 분석하였고 상관계수 결과는 Table 5 에 나타내었다.

3. 인덱스 및 등급 구축

음질평가로 실시된 ‘시끄러움’, ‘날카로움’, ‘거칠음’ 그리고 ‘변동스러움’ 네 인자를 이용하여 차량 D 단 소음의 객관적 분석 값들과 상관분석, 회귀 분석을 통하여 객관적 수치를 주관화 시키고 각 인자들에 가중치를 부여하여 인덱스를 구축하고 등급을 설정한다.

3.1 인자 가중치

청음평가를 실시하며 주관적 인자인 ‘등급(Grade)’을 새로이 도입하여 등급과의 관계를 확인하려 하였다. 청음 평가자들로 하여금 등급 점수를 표기하는 과정에서 4 개의 주관적 음질인자를 얼마만큼의 가중치를 부여하였는지에 대하여 조사하였다. 조사된 값은 평가자들의 평균값을 구하여 Table 6 에 나타내었다.

3.2 객관적 수치의 주관화

Table 2 에 나타났듯이 객관적 인자들의 값들은 크기 단위도 다를 뿐더러 사람들이 느끼는 감정의 크기 또한 다르다. 따라서 하나의 기준으로 통일화 시켜야 하는데 Table 5 를 바탕으로 주관적 인자와 객관적 인자 사이의 상관관계 값이 가장 높은 인자 연결을 찾아 단위가 다른 각각의 객관적 인자를 100 점으로 정규화 했다.

예를 들어 ‘시끄러움(Loud)’의 경우 상관계수가 ‘dB(A)’와 조합일 때 가장 높음으로 객관적 수치인 dB(A)레벨을 습득한다면 회귀분석을 통하여 주관적 인자인 ‘시끄러움’에 대한 값을 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 연결 조합은 ‘시끄러움’-‘dB(A)’, ‘날카로움(Sharp)’-‘샤프니스(Sharpness)’, ‘거칠기(Rough)’-‘러프니스(Roughness)’, ‘변동스러움(Fluctuate)’-‘변동강도(Fluctuation)’이며 정규화 된 값은 Table 6 에 나타내었다.

3.3 음질 인덱스의 구축

앞의 두절에서 구해진 인자 가중치와 주관화된 각 인자들의 값을 이용하여 식 (1)과 같은 음질 인덱스가 구축되었다. 식 (1)을 이용하여 구해진 차량 D 단 소음의 음질 인덱스 수치는 Table 6 에 함께 표기하였다.

$$\begin{aligned} \text{Index value} = & 0.348429(-182 + 4.73 \times \text{dB}(A)) \\ & + 0.123188(124 - 78.2 \times \text{Sharpness}) \\ & + 0.270264(-22.7 + 85.9 \times \text{Roughness}) \\ & + 0.258119(1.7 + 1471 \times \text{Fluctuation}) \end{aligned} \quad (1)$$

Table 6 The Weighting factor, equation and index value of the metrics

No.	dB(A) → L2	S1 → S2	R1 → R2	F1 → F2	Index value
Correlation	0.963	-0.848	0.808	0.847	
Weighting	0.3484	0.1232	0.2703	0.2581	
A	37.80	28.20	44.38	39.57	38.8
B	42.03	34.85	46.06	48.33	43.8
C	64.97	42.67	62.04	45.24	56.1
D	58.33	47.71	50.70	44.28	51.2
E	75.09	36.41	73.50	51.34	63.5
F	56.13	37.19	57.44	53.33	53.3
G	53.41	44.62	44.43	57.89	51.2
H	75.78	52.79	40.22	54.87	58.1

3.4 음질 등급 설정

구해진 차량 D 단의 음질 인덱스는 단순히 음질 값을 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 ‘등급’이라는 주관적 청음평가를 추가하여 인덱스만이 아닌 인덱스를 통해서 나타난 소음의 값이 나타내는 좋고 나쁨에 대해서 구분하였으며 인덱스와 등급의 상관분석과 회귀분석을 통하여 식 (2)와 같은 차량 D 단의 등급식을 구축하였다.

$$\text{Grade} = 131 - 1.725 \left[\begin{aligned} & 0.348429(-182 + 4.73 \times \text{dB}(A)) \\ & + 0.123188(124 - 78.2 \times \text{Sharpness}) \\ & + 0.270264(-22.7 + 85.9 \times \text{Roughness}) \\ & + 0.258119(1.7 + 1471 \times \text{Fluctuation}) \end{aligned} \right] \quad (2)$$

식 (2)로 얻어진 등급 값과 음질 인덱스 사이의 상관계수는 -0.873 으로 높은 상관계수를 가졌으며 그래프는 Fig. 1 에 나타내었다. 등급은 총 5 단계로 점수가 0~20 점인 경우 ‘매우 나쁘다’, 20~40 점은 ‘나쁘다’, 40~60 점은 ‘보통이다’, 60~80 점은 ‘좋다’, 80 점 이상은 ‘음질이 매우 좋다’로 나타낼 수 있다.

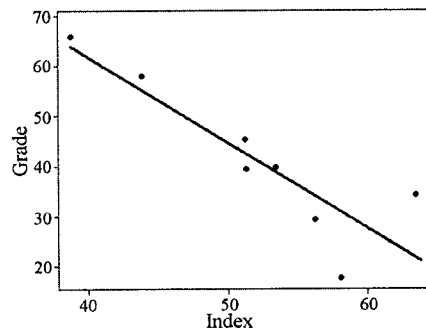


Fig. 1 The regression plot of grade

Table 7 The grade of sound quality at the automotive level D noise

Grade	Point	Automotive No.	
		Jury test	Grade equation
1	80 ~ 100		
2	60 ~ 80	A	A
3	40 ~ 60	B, G	B, G
4	20 ~ 40	C, D, E, F,	C, D, D, E, F, H
5	0 ~ 20	H	

4. 평가

구축된 등급식을 바탕으로 습득하여 실험에 사용된 8 개의 소음을 등급으로 재구성하여 Table 7 에 나타내었다.

청음평가를 실시하여 나타났던 등급에서 약간의 자리이동은 있지만 전체적인 경향은 일치한다 할 수 있겠다. 또한 표를 통하여 차량 D 단 소음의 음질의 좋고 나쁨을 한눈에 볼 수 있는 것을 확인할 수 있다. Table 7 을 바탕으로 A, B, G 차량 D 단 소음은 만족, 그 외의 차는 음질이 나쁜 것으로 확인되었다.

5. 결론

차주 사용되는 4 개의 음질인자를 동시에 사용하여 차량 D 단의 음질 인덱스와 음질 등급을 구축하였다. 상관분석과 회귀분석을 이용하여 등급의 신뢰도를 높여 결론적으로 -0.873 의 높은 상관계수를 갖는 식(2)와 같은 음질 등급 인덱스를 구축하였다. 이와 같은 방법은 기존 건축이나 환경에서 dB(A)를 이용하여 소음 등급을 구축하는 것과 달리 다양한 인자를 동시에 적용해 좀더 사람의 감성에 가까운 음질 등급을 구축할 수 있으며 해당 시스템에 대하여 좀더 다양한 음질 인자를 선택하여 본 연구와 같이 음질(또는 소음) 인덱스나 등급표를 제작한다면 보다 정확한 등급표를 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

또한 이제는 일반화된 연비등급표나 소비전력 등급표와 같이 소음에도 등급표를 제시해 생산되는 제품이나 알고자 하는 차량의 음질 수준을 확인할 수 있어 제품 제작시 불량 또는 통과 여부, 차량의 노후화에 의한 음질 등급 수준의 변경 등을 제시해 소비자에게는 보다 믿을 수 있는 품질의 선택권을 부여하고, 제작자나 판매자 에게는 정확한 기준에 합당한 제품이 생산이나 판매를 유도하게 하여 보다 나은 소음 수준의 연구가 진행될 것으로 보인다.

참고문헌

- (1) 박동철 등, 2002, “승용차의 음질 개발에 관한 연구”, 한국소음진동공학회지, 제 12 권, 제 5 호, pp. 342~349.
- (2) E. Zwicker, H. Fastl, 1999, “Psychoacoustics : Facts and Models”, Springer 2nd Edition.
- (3) 이주엽 등, 2005, “청감실험을 통한 도로교통소음에 대한 공동주택 내부 소음 기준 설정 연구”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 83~86.
- (4) 류종관 등, 2005, “공동주택 생활소음의 통합 평가등급 설정”, 한국 소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 367~371.
- (5) Takeo Hashimoto, 2001, “Sound Quality Study and its Application to Car Interior and Exterior Noise”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 19~26.
- (6) 이상권 등, 1993, “공 회전시 자동차 차량의 실내 소음 음질 개선에 관한 연구”, 한국자동차공학회논문집 제 1 권 제 1 호, pp. 110~119.
- (7) 이종규 등, 2004, “차량의 흡기부밍소음 평가지수 개발”, 한국소음진동공학회 논문집, 제 14 권, 제 9 호, pp. 884~890.
- (8) 김명업 등, 1999, “다구찌 직교배열표를 이용한 승용차의 실내소음 분석 및 개선”, 한국소음진동공학회지, 제 9 권, 제 5 호, pp. 998~1004.
- (9) 황동건 등, 2004, “다차원 스펙트럼 해석법을 이용한 자동차 공조시스템의 기여도 분석”, 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 999~1004.
- (10) 박성현, 2003, “현대 실험계획법”, 민영사, 13 장.
- (11) 허덕재 등, 2000, “차량 실내소음의 음질 분석 모델화”, 한국소음진동공학회지, 제 10 권, 제 2 호, pp. 254 ~260.
- (12) J. S. Bendat and G. Piersol, 1993, “Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis”, John Wiley & Sons, Inc. 2nd Edition, Elsevier Science Ltd.