

다양한 차종의 배기계 소음 음질 평가

Sound Quality Evaluation of Exhaust Acoustic Signals of various Vehicle

김대곤† · 이장명*
Dae Gon Kim, Chang Myung Lee

1. 서 론

차량의 배기계 소음 음질 평가에 대한 방법은 상용프로그램으로 개발되어 다양하게 상용되고 있지만, 기존의 상용 프로그램은 단순히 음질지수(Sound Quality Index)를 구하는 정도였다. 또, 많은 기종의 차량이 현존하는 지금, 차량 엔진에서 발생하는 배기계 소음의 음질에 대한 선호도가 연구대상이 된 예는 없었다.

따라서 본 연구는 차량 배기계소음의 음질특성에 대해서 청취자의 애매모호한 정보를 좀 더 객관화시킬 수 있는 퍼지(Fuzzy)이론을 적용시켜 정밀도를 높여보고자 하였다. 차량 배기계 소음을 몇 개의 음질그룹으로 분류하여, 이들 그룹이 갖는 특성에 따라 물리적 변수를 객관적·주관적 평가와 함께 퍼지모델링(Fuzzy Modeling)화 하였다.

2. 본 론

2.1 차량 배기계 소음의 음질 특성 분석

(1) 실험

음질평가를 위해 실제 차량 7대의 배기계 소음을 사용하였으며, 리카르도(Ricardo)사에서 측정된 7대의 차량의 종류는 Table 1과 같고, 차량의 배기계 소음 신호는 Fig. 1

Table 1 Type and model of cars

Type	Model of Car
Sound A	Honda_S2000
Sound B	AUDI_A2G
Sound C	BMW_B530
Sound D	BMW_745
Sound E	MERCEDES_V220
Sound F	MERCEDES_E240
Sound G	MERCEDES_E320

† 교신저자; 정회원, 울산대학교 기계자동차공학부
E-mail : kimk1659@korea.com
Tel : (052)259-2851 , Fax : (052)259-1680

* 울산대학교 기계자동차공학부

에 나타내었다.

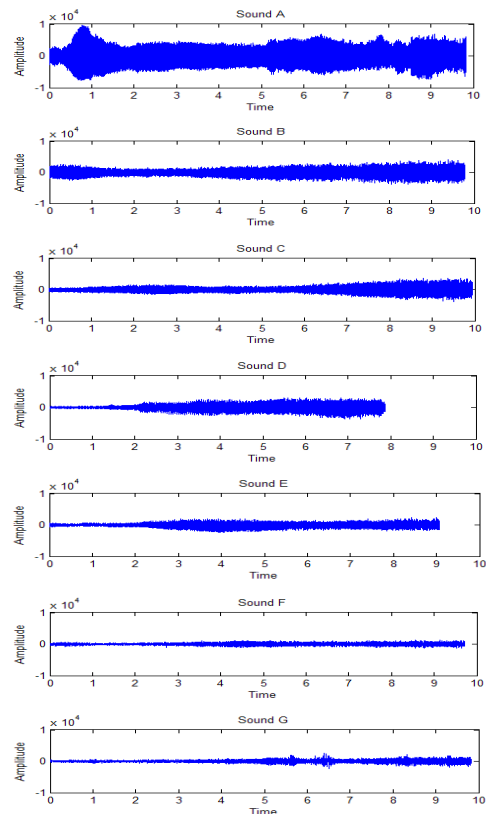


Fig. 1 Muffler sound signals of seven different cars

(2) 음질요소의 객관적인 물리량 비교

Table 2 Comparison of sound signal on cars

	Sound signal						
	Sound A	Sound B	Sound C	Sound D	Sound E	Sound F	Sound G
RMS SPL (dB)	104	92	89	87	84	79	78
Loudness (Sones)	39.56	34.44	27.84	23.77	22.35	14.328	12.306
Sharpness (Acums)	0.8476	1.2760	1.0248	1.0085	1.1594	1.4104	1.2785
Roughness (Asper)	0.4173	0.2481	0.6625	0.5199	0.6303	0.3172	0.3523

Table 2의 물리량 결과와 같이 ‘음이 크다’, ‘음이 작다’, ‘음이 날카롭다’, ‘음이 거칠다’ 등의 객관적 정도의 값 하나로 청취자가 선호하는 것이 어느 형태의 차량 소리(Sound) 인지는 구별하기가 쉽지 않다.

(3) 의미분별측도법(SDM)에 의한 청음실험

음의 크기 및 라우드니스와 관련성 있는 표현 “조용한 느낌”과 “시끄러운 느낌”, 샤프니스와 관련성이 있는 표현 “무딘 느낌”과 “날카로운 느낌”, 러프니스와 관련성이 있는 표현 “부드러운 느낌”과 “딱딱한 느낌”에 대해서 7개 언어, 즉 ‘매우낮다’, ‘다소낮다’, ‘낮다’, ‘보통이다’, ‘높다’, ‘다소높다’, ‘매우높다’로 구별하고, 7점 측도에 의거하여 점수를 부여하고 이 점수를 바탕으로 배기소음에 대한 청음평가(Jury test)를 실시하였다. Fig. 2는 의미분별측도법에 의한 청음실험 결과이다.

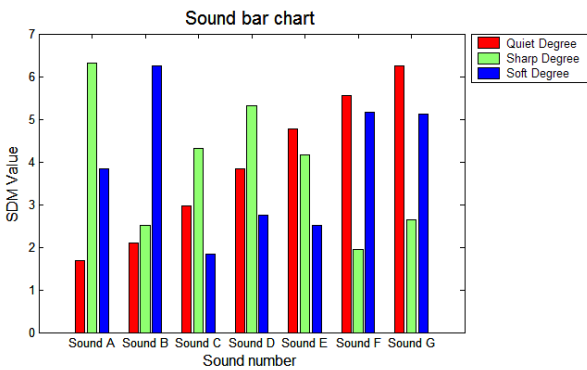


Fig. 2 Bar chart by Jury test result of SDM

(4) 선형회귀분석(Linear Regerssion Analysis)

조용함의 지수(Quiet Index), 날카로움의 지수(Sharp Index), 부드러움의 지수(Soft Index)를 각각 1개씩 종속변수(dependent variable)로 설정하고, 음압레벨, 라우드니스, 샤프니스, 러프니스를 독립변수로 설정하여 각각의 지수별로 회귀분석을 실시하였다. Fig. 3은 선형회귀분석(LRA)에 의한 청음실험 결과이다.

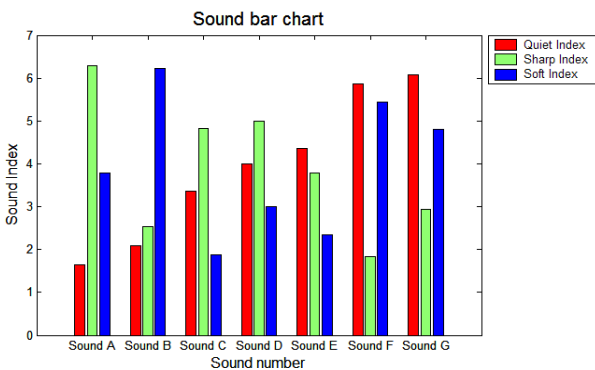


Fig. 3 Muffler Sound Bar Chart by LRA

2.2 퍼지(Fuzzy)집합에 의한 음질 특성 분석

(1) 퍼지집합을 이용한 음질평가 모델링

청취자의 주관적인 판단에 의한 음질 정보의 애매모호함에 대해서 신뢰도를 높이고 객관화 시킬 수 있는 음질평가방법이 필요하다. 따라서 본 연구는 애매모호함을 없애기 위해 퍼지이론을 적용시켜 정형화가 가능한 형태로 추론해 보고자 한다. 차량배기소음평가의 체계적인 구축을 유도함과 동시에, 주관적인 정보사용의 객관화를 이끌어 낼 수 있는 퍼지(Fuzzy)평가모델을 수립하고자 한다.

Fig. 4와 Table 3, Table 4는 언어(어휘)에 대한 멤버십(Membership)값을 퍼지집합화한 것이다.

Table 3 Symbols and grades of vocabulary

어휘	영문	기호	점수
매우낮다	VERY LOW	VL	1점
다소낮다	SOMEWHAT LOW	SL	2점
낮 다	LOW	L	3점
보통이다	MIDDLE	M	4점
높 다	HIGH	H	5점
다소높다	SOMEWHAT HIGH	SH	6점
매우높다	VERY HIGH	VH	7점

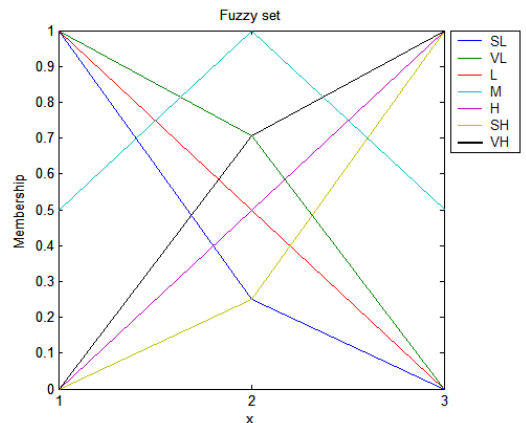


Fig. 4 Membership function of S_type

Table 4 Fuzzy set of vocabulary

기호	퍼 지 집 합		
VL (매우낮다)	1.00/1	0.70/2	0.00/3
SL (다소낮다)	1.00/1	0.50/2	0.00/3
L (낮 다)	1.00/1	0.25/2	0.00/3
M (보통이다)	0.50/1	1.00/2	0.50/3
H (높 다)	0.00/1	0.25/2	1.00/3
SH (다소높다)	0.00/1	0.50/2	1.00/3
VH (매우높다)	0.00/1	0.70/2	1.00/3

(2) 의미분별측도법에 의한 평가값의 퍼지화

전체집합에 대한 퍼지집합 A의 집합(느낌의정도)의 개수

를 {1, 2, 3}로 정하고, 측정값은 7개의 언어 값(매우높다, 다소높다, 높다, 보통이다, 낮다, 다소낮다, 매우낮다)으로 측정치 기준을 설정하였다. L. A. Zadeh에 의한 방법으로 퍼지집합으로의 의미 변환은 주 술어에 대해서는 S_함수를 사용하였다. 여기서 S_함수는 다음식과 같다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq \alpha \\ 2\left[\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha}\right]^2 & \alpha \leq x \leq \beta \\ 1 - 2\left[\frac{x-\gamma}{\gamma-\alpha}\right]^2 & \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & \gamma \leq x \end{cases}$$

언어 변수에 대한 제한(hedges)은 "매우 $A = A^2$ ", "다소 $A = A^{1/2}$ "로 하였다. 퍼지집합 A가 S형 멤버쉽 함수 $[\alpha \beta \gamma]$ 를 갖는다고 할 때, 인자 $\alpha \beta \gamma$ 는 각각 $\mu_A(\alpha) = 0$, $\mu_A(\beta) = 0.5$, $\mu_A(\gamma) = 1$ 을 만족하는 점이다.

Table 5는 의미분별측도법(SDM)의 평가값에 언어변수인 조용함, 날카로움, 부드러움의 정도를 퍼지집합인 S형 멤버쉽 함수를 사용하여 퍼지값(Fuzzy value)으로 나타낸 표이다.

Table 5 Fuzzy value changed of SDM value

구분 Sound	SDM평가치의 퍼지화					
	조용함의 정도		날카로움의 정도		부드러움의 정도	
	평가치	퍼지값	평가치	퍼지값	평가치	퍼지값
Sound A	1.68	0.240	6.32	0.843	3.84	0.549
Sound B	2.10	0.300	2.52	0.360	6.26	0.824
Sound C	2.97	0.424	4.32	0.617	1.84	0.263
Sound D	3.84	0.549	5.32	0.860	2.74	0.391
Sound E	4.77	0.681	4.16	0.594	2.52	0.360
Sound F	5.55	0.894	1.94	0.277	5.16	0.737
Sound G	6.26	0.904	2.65	0.379	5.13	0.733

(3) 퍼지평가값의 추론

Table 6 Comparison of fuzzy evaluation value

	퍼지 평가값	평가순위
Sound A	0.9443	④
Sound B	0.9629	⑤
Sound C	0.9586	⑦
Sound D	0.9500	③
Sound E	0.9400	⑥
Sound F	0.5214	②
Sound G	0.6643	①

Table 6은 각 Sound 별 퍼지값과 평가 순위를 나타낸 것이다. 퍼지집합을 이용한 퍼지값의 평가치는 Sound G가 가장

최적의 배기계 소음으로 평가 되었다.

(4) 예측된 평가결과의 상호비교

Fig. 5는 음질지수(Sound Quality Index)에 대한 결과를 나타내는 그림이다.

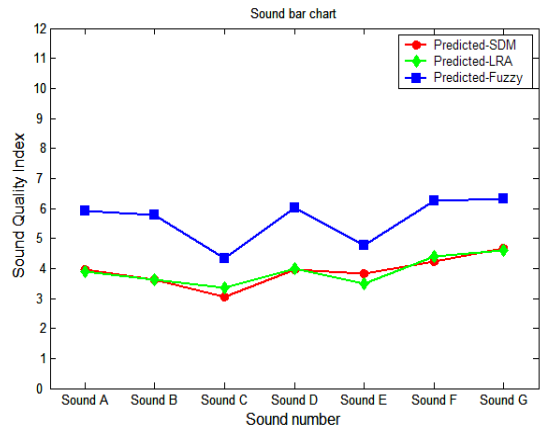


Fig. 5 Sound Quality Index of Predicted SDM, LAR and Fuzzy

의미분별측도법(SDM), 선형회귀분석(LAR) 및 퍼지(Fuzzy)로 예측된 값 중 음질지수가 가장 높은 차량은 Sound G(MERCEDES_E320)이며, 선호도가 가장 좋은 차량이다. SDM 및 LAR방법의 음질지수보다 퍼지를 이용한 음질지수가 높거나 신뢰성을 높여 주고 있음을 보여주고 있다. 그리고, SDM 및 LAR방법의 음질지수는 선호도의 구별이 뚜렷하지 않지만 퍼지(Fuzzy)로 예측된 음질지수는 선호도의 구별이 뚜렷하게 나타났다. 즉, Sound A, Sound B, Sound D, Sound F, Sound G의 선호도는 높게 나왔으며 Sound C, Sound E는 선호도가 낮게 나온 것을 보여주고 있다.

3. 결 론

승용차의 배기소음을 객관적 분석방법으로 고려해 보았을 때, 라우드니스, 샤프니스, 러프니스 값으로는 어떤 승용차의 배기소음이 더 크고, 날카롭고, 거친지에 대해서 정도의 값으로 알 수는 있지만, 실제로 승용차에 대한 배기소음에 대해 느끼는 정도가 어떠할지는 애매함이 남아 있을 수가 있다. 본 연구에서는 자동차 머플러 음질평가에 대하여 주관적 분석방법인 청음실험(Jury test)을 실시하고, 통계학적으로 선호도를 알아보았으며, 청취자의 선호도의 애매함을 밝히기 위해 퍼지(Fuzzy)를 도입하여 선호도의 객관화를 꾀하여 봄으로서 자동차 배기소음의 음질을 밝혀 보았다.

또한 퍼지방법을 이용함으로써 청취자의 주관적 음질 판단에 대한 애매함을 줄여 음질(Sound Quality)평가에 대한 정밀도(Accuracy)를 높일 수 있었고 7대의 실제 차량으로 이를 검증하였다.