

Mahalanobis Distance 를 이용한 주행중 차량 실내소음의 음질평가

Sound Quality evaluation of the interior noise for the driving vehicle using Mahalanobis Distance

박상길*·김호산*·배철용**·이봉현**·오재응†

Sang-Gil Park, Ho-San Kim, Chul-Yong Bae, Bong-Hyun Lee, Jae-Eung Oh

Key Words : Vehicle(자동차), Sound quality(음질), Correlation matrix(상관행렬), Mahalanobis Distance(마할라노비스 거리)

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. The previous methods to evaluation of the SQ about vehicle interior noise are linear regression analysis of subjective SQ metrics by statistics and the estimation of the subjective SQ values by neural network. But these are so depended on jury test very much that they result in many difficulties. So, to reduce jury test weight, we suggested a new method using Mahalanobis distance for SQ evaluation. Therefore, in this study Mahalanobis distance for the vehicle interior noise was derived using the objective SQ except jury test. Finally, the results of the SQ evaluation was analyzed discrimination between reference and abnormal group.

1. 서 론

최근 자동차 소음 저감 기술의 발달로 보다 조용하고 쾌적한 운전 환경이 마련되었다. 과거에는 기본적인 성능 평가 위주로 차량의 품질이나 판매를 좌우했지만 생활수준의 향상과 환경에 대한 관심의 증대로 인해 소음·진동과 같은 품질이 차량 수준을 결정하는 평가척도로 두각되고 있다.

이와 같이 최근 소음에 대한 소비자의 관심이 증대하면서 더 이상 단순한 크기와 수치적인 개념이 아닌 소리가 얼마나 좋고 만족스러운지에 대한 인간의 감성에 의존하는 음질이라는 새로운 소음의 개념이 정립되어 활발히 연구되고 있다.^(1,2)

일반적으로 차량의 실내 소음을 개선하기 위해서는 소음 레벨 측정과 주파수 분석을 통해 소음원과 전달경로를 규명하고⁽³⁾, 이를 토대로 구조변경이 이루어 진다. 하지만 음질 개선을 위해서는 소음 레벨의 저감만으로는 이루어지지 않는다. 대다수의 다양한 소비자들의 요구를 만족시키기 위해 차량 제조업체 및 관련 연구자들은 차량 소음

을 수집하여 청음평가를 수행하고, 인간의 감성에 영향을 미치는 음질 인자를 규명하는 연구를 진행 중에 있다.

1960 년대 시작된 청감음향학(Psych-acoustics) 연구는 1990 년대에 이르러 자동차 소음의 음질개선에 널리 응용되기 시작하였고, 여러 객관인자를 고려한 주관적 음질인자를 모형화하기도 하였다.⁽⁴⁾ 그 중 널리 사용되고 있는 방법에는 통계적 기법을 이용한 주관적 음질인자의 선형회귀분석^(5,6,7), 신경회로망을 이용한 주관적음질 예측⁽⁸⁾ 등이 대표적이다. 하지만, 이 방법들 모두 장·단점이 있겠지만, 청음평가에 대한 비중이 대단히 크게 작용한다. 청음평가는 주관적 음질평가인 만큼 평가자의 성향과 환경적 영향으로 편차가 크게 발생하고 있다. 또한, 많은 시간과 비용이 소비되고 있어 청음평가는 많은 연구자들에게 부담으로 다가온다. 따라서, 이러한 청음평가의 비중을 줄이기 위한 새로운 음질평가 방법이 필요하다.

본 논문에서는 특성인자간 상관관계를 고려해 시스템을 분석할 수 있는 마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance, MD)를 주행중 차량 실내 소음의 음질 평가에 적용하여 유용성을 검증하고자 한다.⁽⁹⁾

† 책임저자; 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3135

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 자동차부품연구원

2. Mahalanobis Distance (MD)

마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance)는 인도의 통계학자 마할라노비스에 의해 고안된 공간개념의 척도이다.

사람은 다양한 정보를 통하여 대상에 대한 패턴을 인식하고 있는 것으로 정의하였으며, 마찬가지로 개념으로 다차원의 단위공간으로서 마할라노비스 공간을 정의하고 임의의 대상이 그 공간으로부터 얼마나 떨어져있는가를 거리로 나타낸 것이다.

마할라노비스 거리는 변수가 2 개 이상의 수많은 특성인자에 대한 집단 사이에 분류를 측정하는 것으로 각 변수 사이에 각 집단의 평균, 분산, 공분산을 함께 고려하여 거리를 구하게 된다. 그 공식은 다음과 같다.

$$D^2 = \frac{Z_1^2}{V(Z_1)} + \frac{Z_2^2}{V(Z_2)} = \frac{u_1^2 + u_2^2 - 2\rho u_1 u_2}{1 - \rho^2} \quad (1)$$

$$(Z_1, Z_2 : \text{변수 } Z_1 = \frac{u_2 + u_1}{\sqrt{2}}, Z_2 = \frac{u_2 - u_1}{\sqrt{2}})$$

$$u_1, u_2 : \text{표준화변량 } u_1 = \frac{x_1 - \mu_1}{\rho_1}, u_2 = \frac{x_2 - \mu_2}{\rho_2}$$

$$x_1, x_2 : \text{변수, } V : \text{분산, } \rho : \text{상관계수}$$

일반적으로 모집단(정상그룹)내에 속하면 마할라노비스 거리는 보통 0~2 정도의 범위 안에 존재하며, 모집단의 여러 항목을 선택하는 것은 해당분야 전문가의 역할이다. 마할라노비스 공간에 속하지 않은 시험집단(임의그룹)의 정도는 마할라노비스 거리 크기에 비례하여 그 정도를 나타낸다.⁽¹⁰⁾

3. 실험 및 평가

3.1 정상그룹 및 특성인자 선정

(1) 정상그룹 정의 및 데이터 수집

주행중 차량의 실내 소음의 음질평가를 위한 판단 기준이 되는 표준 집단을 만들기 위하여 실차 주행시험을 통해 소음을 녹음하였다. 시험차량은 국내에서 생산된 3300cc 급의 신 모델 차량이고, 녹음장비는 Head Acoustics 사의 Noisebook HMS. II 를 사용하였다. 측정위치는 KS A ISO

5128 시험규격에 의거한 운전석 및 ±0.15m 의 위치에서 녹음을 진행하였다. 또한, 주행속도는 60km/h, 80km/h, 100km/h 의 등속주행 모드로 자동차부품연구원의 직선로에서 10 초간 측정하였다.

이를 통해 정상그룹의 데이터는 주행속도와 측정위치의 조합에 따라서 총 12 개로 구성되었다.

(2) 특성인자 선정

음질 평가를 위해 고려한 특성인자는 A 가중 음압레벨 이외에 대표적인 객관적 음질인자인 라우드니스(Loudness), 샤프니스(Sharpness), 러프니스(Roughness), 변동강도(Fluctuation)를 선정하였고, Table 1 에서 보는 바와 같이 특성인자별 인덱스를 부여하였다. 그리고 정상그룹의 주행 모드에 따른 12 개의 데이터에 대하여 특성인자의 항목에 맞게 분석한 결과를 Table 2 에 나타내었다.

3.2 데이터의 표준화

정상그룹 12 개의 데이터에서 분석한 5 개의 특성인자는 각각 다른 결과값과 경향을 가지고 있으므로 이를 동일한 기준에서 비교하기 위해 Table 3 과 같이 표준화하여 정리하였다.

Table 1 Characteristic values

| Characteristics Values | Index |
|------------------------|-------|
| SPL (dBA) | Z_1 |
| Loudness (sone) | Z_2 |
| Sharpness (acum) | Z_3 |
| Roughness (asper) | Z_4 |
| Fluctuation (vacil) | Z_5 |

Table 2 The character data of reference group

| | Z_1 | Z_2 | Z_3 | Z_4 | Z_5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|
| x_1 | 55.2 | 9.67 | 1.09 | 0.457 | 0.0308 |
| x_2 | 52.7 | 8.44 | 1.17 | 0.295 | 0.0362 |
| . | . | . | . | . | . |
| x_{11} | 61.4 | 15.6 | 1.56 | 1.14 | 0.0336 |
| x_{12} | 59.9 | 13.3 | 1.09 | 1.02 | 0.0355 |

Table 3 The standardization data of reference group

| | Z_1 | Z_2 | Z_3 | Z_4 | Z_5 |
|----------|--------|---------|--------|---------|--------|
| u_1 | -0.809 | -0.825 | -0.454 | -0.987 | -0.976 |
| u_2 | -1.750 | -1.4060 | 0.0249 | -1.5351 | 0.8005 |
| • | • | • | • | • | • |
| u_{11} | 1.6063 | 1.97 | 2.359 | 1.3215 | -0.054 |
| u_{12} | 0.9956 | 0.8883 | -0.454 | 0.915 | 0.5702 |

3.3 상관행렬 구성

각각 특성인자들 간의 상관관계를 파악하기 위해 표준화된 데이터 Table 3 을 바탕으로 각 특성인자들 간의 상관계수를 계산하여 Table 4 에 정리하였다. 상관행렬은 정상그룹을 나타내는 기초항목으로 추후 비정상 그룹의 식별능력을 확인하는 단계에서 다시 한번 적용된다.

3.4 마할라노비스 거리(MD) 계산

앞에서 기술한 방법과 절차를 바탕으로 정상그룹 12 개 데이터에 대한 마할라노비스 거리(MD)를 계산하였다. 식(1)에서 나타낸 것과 같이 정상그룹의 특성과 표준화된 데이터, 특성인자의 상관행렬을 이용하여 MD 를 계산한다.

Table 5 는 정상그룹 각 데이터의 MD 를 나타낸다. 이때 정상그룹 MD 의 평균은 0.9225 로 앞의 2 절에서 설명한 바와 같이 0~2 범위 안에 존재하여 정상그룹 선정이 합당하다고 판단할 수 있다.

Table 4 The correlation matrix

| | Z_1 | Z_2 | Z_3 | Z_4 | Z_5 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Z_1 | 1 | 0.984 | 0.399 | 0.981 | -0.172 |
| Z_2 | 0.984 | 1 | 0.524 | 0.958 | -0.149 |
| Z_3 | 0.399 | 0.524 | 1 | 0.328 | -0.095 |
| Z_4 | 0.981 | 0.958 | 0.328 | 1 | -0.132 |
| Z_5 | -0.172 | -0.149 | -0.095 | -0.132 | 1 |

Table 5 The Mahalanobis distance of reference group

| | x_1 | x_2 | • | x_{11} | x_{12} |
|----|--------|--------|---|----------|----------|
| MD | 0.8839 | 1.0756 | • | 1.2839 | 0.7994 |

3.5 비정상 그룹의 선정 및 식별능력 확인

(1) 비정상 그룹 정의 및 데이터 수집

정상그룹의 데이터는 신 모델 차량의 소음 데이터였다. 비정상 그룹의 시험차량은 2 종류의 차량을 선정하였다. A 차량은 국내에서 생산된 1500cc 급의 준중형 차량으로 주행거리가 10 만 km 가 넘는 승용차이고, B 차량은 수입차량으로 정상그룹 시험차량과 배기량이 동일한 3300cc 급의 차량이다.

실내 소음 측정을 위한 장비와 측정위치는 기존 정상그룹의 경우와 일치한다. 그리고 선정된 특성인자도 동일하다. 다만, 주행속도는 80km/h 등속주행 모드만 비정상 그룹의 데이터로 적용하였다.

(2) 특성인자의 식별능력 확인

비정상 데이터에 대하여 정상그룹의 MD 를 계산하는 방법과 마찬가지로 데이터를 표준화시키고, Table 3 의 상관행렬을 이용하여 비정상 그룹의 MD 를 계산하였다. Table 6 은 비정상 그룹의 특성인자 별 계측값과 MD 를 보여주며, 정상그룹의 MD 평균인 0.9225 와 비교하여 비정상 그룹의 식별능력이 얼마나 있는지를 나타내고 있다. 즉, B 차량의 MD 는 정상그룹에 대단히 근접함을 알 수 있고, 이것은 정상그룹과 비교하여 음질 수준이 비슷하다는 것을 의미한다. 반대로 A 차량의 경우는 정상그룹의 MD 와 큰 차이를 보여 확실한 분별력이 확인되었다.

A 차량의 각 특성인자 값은 정상그룹의 특성인자와 비교할 때 상대적으로 큰 값을 나타내었다. 하지만, 마할라노비스 거리를 계산하면서 수행한 절차는 특성인자의 상관관계를 통해 각 특성인자별 가중치가 적용된 방법으로 다변량 시스템의 하나로 정량화 시킨 음질지수로 표현할 수 있다.

Table 6 The character data and Mahalanobis distance of abnormal group

| | Z_1 | Z_2 | Z_3 | Z_4 | Z_5 | MD |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| A | 69.5 | 27.4 | 1.62 | 2.09 | 0.0574 | 12.16 |
| B | 58.0 | 11.7 | 1.13 | 0.895 | 0.0365 | 0.856 |

4. 결 론

본 논문에서는 마할라노비스 거리를 주행 중 차량 실내 소음의 음질 평가에 적용하여 유용성을 검증하였다. 정상그룹을 선정하여 특성인자의 상관 특성을 이용해 MD 를 계산하였고, 비정상 그룹의 MD 와 비교 분석으로 새로운 음질 평가 방법을 제안하였다.

청음평가를 제외한 객관적 음질인자만 이용하여 음질 평가를 수행함으로써 기존 음질 평가 방법에 못지않은 타당한 결론을 얻었다고 사료된다.

본 논문에서도 제시했듯이, 국내차량과 수입차량의 음질 평가 결과를 MD 의 비교를 통해 상호 차량의 음질에 대한 수준을 파악할 수 있고, 앞으로 신차 개발 시에 유용한 음질평가 방법으로 대두되리라 예상된다.

참고문헌

다음의 양식을 참고하셔서 작성해 주시기 바랍니다.

(1) Park, S. G., 2007, "Construction and Comparison of Sound Quality Index for the Vehicle HVAC System Using Regression Model and Neural Network Model", M.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea.

(2) Park, D. C. and Chung, S. G., 2002, "A Study of Sound Quality Development of the Vehicles", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 342~349.

(3) Lee, Y. Y., Park, S. G. and Oh, J. E., 2007, "A Study on Vibration Transfer Path Identification of Vehicle Driver's Position by Multi-dimensional Spectral Analysis", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 8, pp. 741~746.

(4) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, "Psycho-acoustics : Facts and Models", Springer 2nd Edition.

(5) Hwang, D. K., 2005, "The Coherent Analysis and Improvement of Sound Quality for an automotive HVAC using Multiple Dimensional Spectral Analysis", M.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea, pp. 29~44.

(6) Hashimoto, T., 2001, "Sound Quality Study and its Application to Car Interior and Exterior Noise", Proceedings of the KSNVE Spring Annual Conference, pp. 19~26.

(7) Hur, D. J., Cho, Y., Kim, H. S., Lee, K. S. and Park, T. W., 2000, "Model Development and Analysis of the Car Interior Sound Quality", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 254~260.

(8) Gu, J. H., Lee, S. K., Kim, J. R. and Lee, E. Y., 2004, "A Study on Development of Sound Quality Index of a Refrigerator Based on Human Sensibility Engineering", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 1195~1202.

(9) Taguchi, G. and Chowdhury, S., 2000, "The Mahalanobis-Taguchi System", John Wiley & Sons, Inc., New York.

(10) Taguchi, G. and Jugulum, R., 2002, "The Mahalanobis-Taguchi Strategy : A Pattern, Technology System", John Wiley & Sons, Inc., New York, Chap. 1~3.

(11) KS A ISO 5128, 2004, "Acoustics-Measurement of noise inside motor vehicles".

(12) Douglas C. Montgomery, 2001, "Introduction to Linear Regression Analysis", John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 13~162.