

MTS기법을 이용한 차량 D단 소음의 음질 평가 및 음질 등급화 구축

Sound Quality Evaluation and Grade Construction of the Level D Noise for the Vehicle Using MTS

박 상 길* · 박 원 식* · 심 현 진* · 이 정 윤** · 오 재 응†
Sang-Gil Park, Won-Sik Park, Hyoun-Jin Sim, Jung-Youn Lee
and Jae-Eung Oh

(2007년 10월 10일 접수 ; 2008년 2월 25일 심사완료)

Key Words : Vehicle(자동차), Sound Quality(음질), Mahalanobis Distance(마할라노비스 거리), Correlation Matrix(상관행렬), MTS(마할라노비스-다구찌 시스템)

ABSTRACT

The reduction of the Vehicle interior noise has been the main interest of NVH engineers. The driver's perception on the vehicle noise is affected largely by psychoacoustic characteristic of the noise as well as the SPL. 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. And, optimal characteristic values influenced on the result of the SQ evaluation were derived by signal to noise ratio(SN ratio) of the Taguchi method. Finally, the new method to evaluate SQ is constructed using Mahalanobis-Taguchi system(MTS). Furthermore, the MTS method for SQ evaluation was compared by the result of SQ grade table at the previous study and their virtues and faults introduced.

1. 서 론

차량의 성능을 평가하는 요소로는 주행, 제동, 조향성능, 충돌안정성 등이 기본적이면서 중요한 개발 과제로 인식되어져 왔다. 하지만 최근에는 NVH에 대한 소비자의 요구 수준이 향상되고, 차량의 NVH 특성이 제작회사의 종합적 기술수준을 나타내는 최종적인 평가척도로 인정되고 있는 실정이다. 더욱이 NVH가 차량의 구매성향을 결정할 만큼 차량 개발

에 있어 NVH 성능은 중요한 과제가 되고 있다. 이렇듯 최근 차량 개발에 있어 NVH에 대한 활발한 연구 진행으로 NVH 성능 향상을 위한 여러 가지 부품 개발은 물론, 승차감 개선과 저소음화를 위한 연구개발 수준은 많은 발전을 이루었다. 특히, 차량에서 발생하는 실내 소음은 소비자가 느끼는 감성품질 문제 중 하나로 운전자 및 탑승자의 감성적인 측면을 표현하기 어렵다. 기존 차량 실내 소음의 음질 평가를 위한 방법에는 통계적 기법을 이용한 주관적 음질인자의 선형회귀분석^(1,2,3), 신경회로망을 이용한 주관적 음질 예측⁽⁴⁾ 등이 대표적이다. 하지만, 이 방법들 모두 장·단점이 있겠지만, 청음평가에 대한 비중이 대단히 크게 작용한다. 청음평가는 주관적 음질평가인 만큼 평가자의 성향과 환경적 영향으로

† 교신저자: 정희원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02)2294-8294, Fax : (02)2299-3153

* 정희원, 한양대학교 대학원 기계공학과

** 정희원, 경기대학교 기계시스템디자인공학부

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.

인간의 감성적 측면인 음질을 평가하기 위해서는 음질인자 사이의 비선형 특성을 고려해야 한다. 즉, 평가하고자 하는 음질인자 항목들은 독립적 관계가 아닌, 서로 상관관계의 특성을 고려하여 음질평가를 해야 한다. 따라서, 보다 인간의 청감에 가깝고 정확한 음질 평가를 위해서는 음질인자 별 다변량 분석이 필요하다.

따라서 이 연구에서는 정차중 차량 D단의 소음을 대상으로 특성인자간 상관관계를 고려해 시스템을 분석할 수 있는 마할라노비스 거리(Mahalanobis distance, MD)를 음질 평가에 적용하고자 한다.

그리고 기존의 강건설계 기법 중 하나인 실험계획법(design of experiments)에 다구찌 박사가 마할라노비스 거리를 접목시켜 1990년대 초반에 Mahalanobis-Taguchi system(MTS) 기법을 제안하였는데⁽⁵⁾, SN비(SN ratio)를 이용해 최적특성인자를 파악하여 보다 경제적인 음질 평가를 수행하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 또한 MTS 결과값을 이용하여 선행연구를 통해 구축한 차종별 D단 소음의 음질 등급⁽⁶⁾과 비교하여 상관관계를 분석한다.

2. MTS 기법⁽⁷⁾

MTS는 Mahalanobis-Taguchi System으로 ISI (indian statistical institute)를 설립한 통계학자 마할라노비스 박사와 품질공학(Robust engineering)의 개념을 창시한 다구찌 박사에 의해서 만들어진 기법이다. MTS 기법은 새로운 개념이라기보다는 마할라노비스 박사가 만든 패턴 인식의 방법인 마할라노비스 거리의 개념에 다구찌 박사의 품질공학의 개념을 접목시킨 방법이라고 할 수 있다.

MTS기법은 다차원의 단위공간으로 마할라노비스 공간을 정의하고 임의의 대상이 그 공간으로부터 얼마나 떨어져있는가를 거리로 산정한것이다. 즉, 거리가 멀어질수록 공간으로서 선정한 모집단(정상그룹)에서 멀리 떨어진 것을 의미한다.

다구찌 박사는 마할라노비스 거리를 구하는데 선정된 많은 측정 항목(특성인자)들을 줄이기 위해 측

정항목이 결과에 미치는 영향도를 판단하는 기준의 필요성을 제안하였다. SN비를 이용하여 최종적으로 마할라노비스-다구찌 시스템(MTS)으로 이름을 붙였다.

이처럼 MTS는 상호 상관관계를 갖고 있는 여러 특성들을 동시에 고려하여 평가하고자 하는 샘플이 정상그룹에서 얼마나 벗어났는지를 수치적으로 정의하여 평가하는 방법이다. 따라서 이 논문에서는 음질 평가 인자를 특성인자로 선정하여 다변량 분석의 특성인 MTS기법을 이용한 차량 D단 소음의 음질 평가를 수행하기로 한다.

2.1 MTS 기법 적용 과정

MTS기법은 여러 특성들을 종합적으로 평가하여 패턴을 인식하는 정보 시스템의 디자인으로 다변량 시스템을 이용하고 결론을 도출하는데 유용한 결과를 얻을 수 있다. MTS를 적용하는 데에는 다음의 3 단계 방법으로 이루어져 있다.

첫째는 관심 대상에서 하나의 표준이 되는 정상그룹을 선정한다. 그리고 선별된 그룹으로부터 판단에 사용할 파라미터 즉, 특성인자를 선정하여 분석한다. 이것은 정상그룹으로 만들어진 다차원 공간의 마

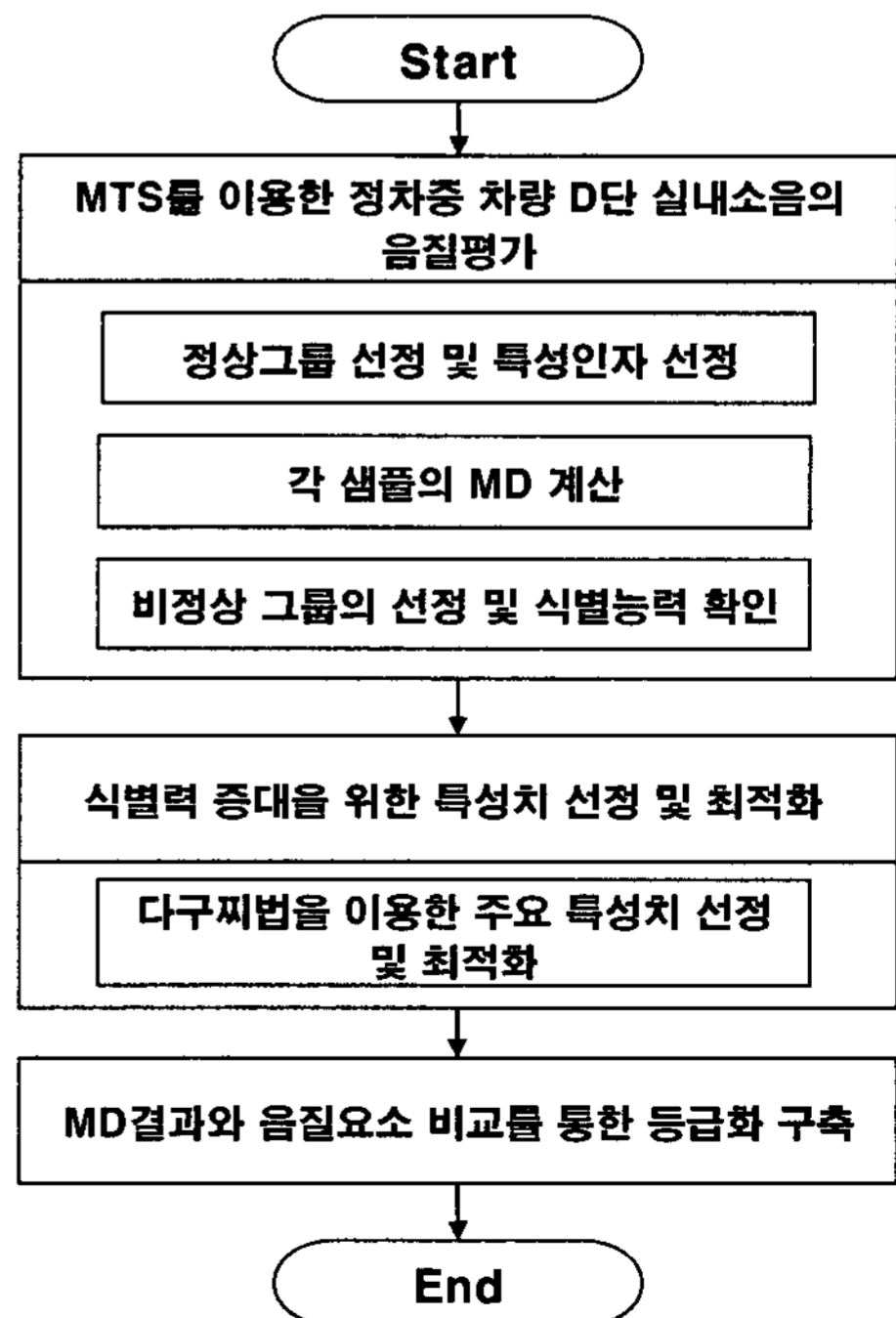


Fig. 1 Methodology of the MTS

할라노비스 공간이 된다. 둘째는 마할라노비스 공간으로부터 정상그룹 및 비정상 그룹의 데이터에 대한 마할라노비스 거리를 계산하여 식별능력을 확인한다. 셋째는 정상 및 비정상 그룹에 대한 식별력 증진을 위하여 SN비를 이용하여 마할라노비스 거리를 구하는데, 영향력이 적은 항목들을 제거하여 모든 특성인자를 최적화한다. 이 논문에서 적용한 MTS 과정을 Fig. 1과 같이 나타내었다.

3. 실험 및 평가

3.1 정상그룹 및 특성인자 선정

(1) 정상그룹 정의 및 데이터 수집

정차중 차량 D단 소음의 음질평가를 위해 판단 기준이 되는 표준 집단을 만들기 위하여 8대의 차량에서 같은 조건하에 D단 소음을 녹음하였다. 총 8대에 대한 소음원을 녹음하였지만, 전문가의 판단에 따라 정상그룹은 3대를 선정하고, 나머지 5대는 비정상 그룹으로 분류하였다.

측정위치는 운전자석이며 녹음장비는 Head Acoustics사의 Noisebook HMS.Ⅱ를 사용하였다. 정상그룹의 소음 음원은 Table 1에 정리하였으며 차량 이름에 대해서는 익명으로 표시하였다.

(2) 특성인자 선정

음질 평가를 위해 고려한 특성인자는 음압레벨과 A가중 음압레벨 이외에 대표적인 객관적 음질인자인 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness), 변동강도(fluctuation)를 선정하여 6개의 객관인자를 구성하였다. 또한, 차량 실내 소음을 표현할 수 있는 형용사들 중 사전조사를 통해 시끄러움(loud), 날카로움(sharp), 거친(rough), 변동스러움(fluctuate), 쾌적함(pleasant)과 같은 상위 5개의 형용사를 선정하여 주관적 음질인자로 구성하였다.

이를 통해 총 특성인자는 11개로 구성되었고, Table 2에서 보는 바와 같이 특성인자 별 인덱스를 부여하였다.

(3) 데이터 분석

정상그룹으로 선정된 3대의 차종에 대하여 11개의 특성인자 항목에 맞게 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 객관적 음질평가는 Head Acoustics사의 상용 음질 분석 프로그램인 ArtemiS 8.0을 사용

하였고, 주관적 음질평가는 청음평가 방법으로 100점 만점을 기준으로 점수가 높을수록 인자에 대해서 ‘그렇다’, ‘매우 그렇다’로 평가하도록 하였다. 청

Table 1 The vehicle list of reference group

No.	Year of manufacture	Operation (km)	Engine stroke Volume(cc)
A	2005	5	1600
B	2001	28000	1500
C	2002	27000	2000

Table 2 Characteristic values

Characteristics values		Index
Objective	Loudness (sone)	Z ₁
	Sharpness (acum)	Z ₂
	Roughness (asper)	Z ₃
	Fluctuation (vacil)	Z ₄
	SPL (dB)	Z ₅
	SPL (dBA)	Z ₆
Subjective (jury test)	시끄러움 (100 point)	Z ₇
	날카로움 (100 point)	Z ₈
	거친 (100 point)	Z ₉
	변동스러움 (100 point)	Z ₁₀
	쾌적함 (100 point)	Z ₁₁

Table 3 The character data of reference group

	A	B	C
Z ₁	5.7	5.7	6.5
Z ₂	1.23	1.14	1.02
Z ₃	0.78	0.8	0.78
Z ₄	0.026	0.032	0.038
Z ₅	83.7	76.8	82.2
Z ₆	46.5	47.4	49.8
Z ₇	37.9	39.8	55.4
Z ₈	24.5	34.4	38.3
Z ₉	33	41.7	58.3
Z ₁₀	41.1	48.9	52.1
Z ₁₁	65.8	57.8	45.3

Table 4 The correlation matrix

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁
Z ₁	1	-0.904	-0.5	0.866	0.31	0.965	0.995	0.715	0.941	0.72	-0.922
Z ₂	-0.904	1	0.082	-0.997	0.126	-0.985	-0.942	-0.945	-0.995	-0.948	0.999
Z ₃	-0.5	0.082	1	0	-0.978	-0.254	-0.411	0.248	-0.179	0.241	0.126
Z ₄	0.866	0.997	0	1	-0.207	0.967	0.911	0.969	0.984	0.971	-0.992
Z ₅	0.31	0.126	-0.978	-0.207	1	0.048	0.214	-0.443	-0.028	-0.436	0.082
Z ₆	0.965	0.985	-0.254	0.967	0.048	1	0.986	0.874	0.997	0.878	-0.992
Z ₇	0.995	0.942	-0.411	0.911	0.214	0.986	1	0.781	0.97	0.786	-0.956
Z ₈	0.715	0.945	0.248	0.969	-0.443	0.874	0.781	1	0.909	1	-0.93
Z ₉	0.941	0.995	-0.179	0.984	-0.028	0.997	0.97	0.909	1	0.912	-0.999
Z ₁₀	0.72	-0.948	0.241	0.971	-0.436	0.878	0.786	1	0.912	1	-0.933
Z ₁₁	-0.922	0.999	0.126	-0.992	0.082	-0.992	-0.956	-0.93	-0.999	-0.933	1

Table 5 The Mahalanobis distance of reference group

	A	B	C
MD	0.3481	0.3480	0.3481

음평가는 청력에 이상이 없는 30명의 남성이 참여하였으며, 실제에 가까운 음원을 들려주기 위해 noisebook을 사용하여 수행하였다.

(4) 마할라노비스 거리(MD) 계산

정상그룹의 데이터에서 분석한 11개의 특성인자는 각각 다른 결과값과 경향을 가지고 있으므로 이를 동일한 기준에서 비교하기 위해 표준화 시킨다⁽¹³⁾. 각각 특성인자들 간의 상관관계를 파악하기 위해 표준화된 데이터를 바탕으로 각 특성인자들 간의 상관계수를 계산하여 Table 4에 정리하였다. 상관행렬은 정상그룹을 나타내는 기초 항목으로 추후 비정상 그룹의 식별능력을 확인하는 단계에서 다시한번 적용된다.

앞에서 기술한 방법과 절차를 바탕으로 정상그룹에 대한 마할라노비스 거리(MD)를 계산하여 Table 5에 정리하였다. 이때 정상그룹 MD의 분포는 0~2 범위 안에 존재하는데, 대구찌 박사가 제안한 정상 그룹의 MD값 범위이므로 정상그룹 선정이 합당하다고 판단할 수 있다⁽⁸⁾.

3.2 비정상 그룹 선정 및 식별능력 확인

(1) 비정상 그룹 정의 및 데이터 수집

비정상 그룹의 시험차량은 총 8대 중 정상그룹으

Table 6 The vehicle list of abnormal group

No.	Year of manufacture	Operation (km)	Engine stroke Volume(cc)
D	2003	51000	1500
E	2001	36000	1500
F	2001	100000	2000
G	2002	68000	1500
H	2004	33000	2000

Table 7 The character data and Mahalanobis distance of abnormal group

	D	E	F	G	H
Z ₁	8.0	7.2	9.0	7.1	8.3
Z ₂	1.04	0.98	1.12	1.11	0.91
Z ₃	0.99	0.85	1.12	0.93	0.73
Z ₄	0.03	0.029	0.034	0.035	0.036
Z ₅	85.2	84.2	85.0	82.8	84.0
Z ₆	52.2	50.8	54.4	50.3	54.5
Z ₇	71.3	56.6	68.3	57.2	78.7
Z ₈	47.2	41.3	43.1	36.3	56
Z ₉	67.6	56.2	73	49.3	40.3
Z ₁₀	42	43	51.2	55.1	62
Z ₁₁	29	39.2	34.2	39.8	17.3
MD	31	19	68	14	70

Table 8 Simulation layout using Orthogonal array L₁₂

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	A	B	C
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3481	0.348	0.3481
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0.8341	0.8256	0.8315
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	0.9105	0.9022	0.8958
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	0.8372	0.8559	0.3801

로 선정된 3대의 차량을 제외한 5대를 선정하였다. 비정상 그룹으로 선정된 5대의 차량 제원은 Table 6에 정리하였으며 역시 익명으로 표시하였다.

D단 소음 측정을 위한 장비와 측정위치는 기존 정상그룹의 경우와 일치한다. 그리고 선정된 특성인자도 동일하고, 객관적 음질평가와 청음평가 역시 같은 방법으로 수행하였다.

(2) 특성인자의 식별능력 확인

비정상 그룹의 데이터에 대하여 정상그룹의 MD를 계산하는 방법과 마찬가지로 데이터를 표준화시키고, Table 4의 상관행렬을 이용하여 비정상 그룹의 MD를 계산하였다. Table 7은 비정상 그룹의 특성인자별 계측값과 MD를 나타내고 있다. 비정상 그룹의 MD는 정상 그룹의 MD와 비교하여 큰 차이를 보여줌으로써 확실한 분별력이 확인되었다. 하지만, 다수의 특성인자 선정으로 음질 분석 및 평가 결과를 도출하는데 비효율적인 부분이 발생되었다. 따라서, 선정된 특성인자 모두가 음질 평가 결과에 중요한 영향을 미치고 있는지 SN비를 이용하여 영향도를 판단하고, 다수의 특성인자 중 적절한 특성인자를 선정하여 최종 평가지표로 활용할 필요가 있다.

3.3 주요 특성인자 선정 및 최적화

다구찌 박사는 마할라노비스 거리를 계산하는데 선정된 많은 특성인자를 효율적으로 줄여야 한다고 제안하였다. 즉, 다수의 특성인자 중 영향도가 높은 특성인자를 선정하여 평가지표로 활용해야 한다. 이를 위해 SN비를 이용한 영향도 분석을 수행하였다. 이 논문에서 선정한 11개의 특성인자 중 영향력 있는 항목을 선정하기 위해 Table 8과 같이 실험계획법을 이용해 특성인자 최적화를 수행하였다. 실험

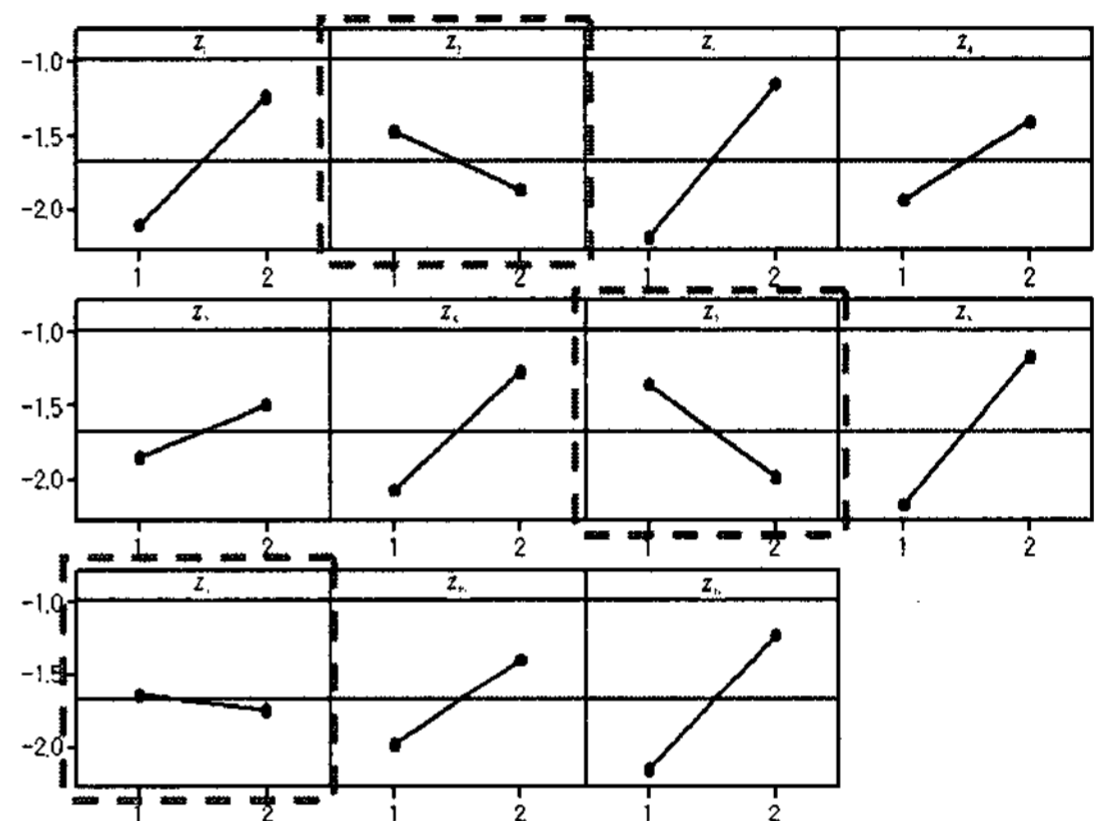


Fig. 2 The comparison analysis of the S/N ratio's main effects

계획법과 SN비 계산은 상용 통계분석 프로그램인 Minitab(v14.2)을 사용하였다.

실험 방법으로는 11개의 특성인자를 모두 실험할 수 있는 L₁₂ 직교배열표를 사용하였고, Level 1은 특성인자를 사용한 경우, Level 2는 특성인자를 사용하지 않은 경우를 의미한다. 최적화 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 기존 11개의 특성인자에서 Z₂, Z₇, Z₉가 평가 결과에 긍정적인 효과를 미치는 것으로 나타났다. 그러므로 이 3가지 변수가 음질 평가를 수행 할 때에 분별력 증진을 위한 주요 변수임을 알 수 있다.

이를 통해 11개의 모든 특성인자를 사용하였을 경우와 영향도가 높은 3개의 주요 특성인자만 사용하였을 경우의 MD를 계산하여 Table 9에 비교하였다. 두 경우의 MD 결과는 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. 이것은 모든 특성인자를 사용하지 않고 주요 특성인자만 사용하여 MD를 계산하더라도 동일한 판단을 할 수 있는 결과를 설명하고 있다.

Table 9 The comparison of MD before and after removal ineffective character values

Analysis Cases		Mahalanobis distance	
		With all values	With effective values
Reference group	A	0.3481	0.4667
	B	0.3480	0.3998
	C	0.3481	0.4131
Abnormal group	D	31	35
	E	19	18
	F	68	71
	G	14	17
	H	70	65

Table 10 The grade of sound quality at the vehicle level D noise

Grade	MD range	Vehicle No.	Comparison	
			Jury test	Equation
1	0 ~ 2	A, B, C		
2	2 ~ 10		A	A
3	10 ~ 30	G, E	B, C	B, C
4	30 ~ 50	D	E, D, F, G	E, D, F, G, H
5	50 ~ 80	F, H	H	

4. 음질 등급화

앞의 절에서 제시한 차량 D단 소음의 음질 평가 결과에 대한 MD를 바탕으로 차종에 따른 음질 등급을 구축하였다. 이 논문에서 사용한 소음원은 서론에서 언급한대로 선행연구의 소음원을 바탕으로 연구가 진행된 것이다. 따라서 선행연구를 통해 제시한 음질 등급과 이 연구를 통해 구축한 음질 등급을 Table 10에 정리하여 상관관계를 살펴 보았다.

MD가 0~2범위를 1등급으로 정상그룹의 정의에 따른 것이며, 2등급부터 5등급까지의 각 등급별 MD 범위는 특성인자의 분석결과를 바탕으로 선정한 것이다. 1등급일수록 음질수준이 긍정적인 의미를 나타낸다.

선행연구의 청음평가와 등급식을 이용한 음질 등급과 MTS기법을 이용한 음질 등급은 약간의 차이 이동은 있지만 전체적인 경향은 일치한다 할 수 있

다. 음질 등급표를 통하여 차량 D단 소음의 음질이 좋고 나쁨을 한눈에 볼 수 있는 것을 확인할 수 있고, MTS기법을 이용함으로써 기존보다 차종별 음질 등급 구분이 더욱 명확해진 것으로 사료된다.

8대의 차량 소음원으로 등급을 구성하여 전체차량에 대한 적용범위에 한계가 있겠지만, 추후 다수의 소음원을 이용한 음질 평가가 이루어진다면 더욱 정확한 결과가 나타날 것으로 예상된다.

5. 결 론

이 논문에서는 MTS기법을 이용하여 차량 D단 소음의 음질 평가 과정을 살펴보았다. MTS기법은 각 특성인자 별 가중치가 적용된 다변량 시스템으로 음질 지수의 정량화를 통해 음질 평가에 대한 유용성을 검증하였다. 또한, 주요 특성인자만을 평가에 반영하여 청음평가를 최소화하면서 효율적인 음질 평가를 위한 새로운 방법을 제안하였다. 이를 통해 기업에서 추진하는 brand sound의 방향을 고려하여 모든 특성인자가 아닌, 영향도에 따라 특성인자의 우선순위를 결정하여 음질 평가 지표로 활용한다면 기업 특성에 맞는 효율적인 음질 평가 과정이 구축될 것이다.

MTS기법을 정확히 적용하기 위한 조건은 정상그룹으로 판단의 기준이 되는 표준집단을 정확하게 구성해야 한다. 정상그룹으로 선정된 데이터가 해당 그룹의 특성과 기준을 대표할 수 있는지를 제시하는 문제가 MTS기법을 적용하는데 가장 중요한 문제라고 할 수 있다.

이러한 한계점을 보완해 나가면서 MTS기법을 음질 평가분야에 적용한다면, 인간의 감성에 더욱 가까운 음질 평가 모형이 완성될 것이고, 보다 정확하고 신뢰성 있는 음질 등급이 구축되어 소비자에게 보다 믿을 수 있는 품질의 선택권을 부여할 수 있게 된다. 그리고 기업이나 판매자에게는 정확한 기준에 합당한 제품의 제공으로 생산이나 판매를 유도하게 되어 품질 경쟁력이 향상될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

(1) 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.

(2) 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.

(3) 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.

(4) 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.

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

(6) Yun, T. K., Park, S. G., Sim, H. J., Lee, J. Y. and Oh, J. E., 2005, “Construction of the Sound Quality Index and Grade at Automotive Level D Noise”, Proceedings of the KSNVE Autumn Annual

Conference, pp. 186~189.

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

(8) Nahao, M., Yamamoto, K., Suzuki, A. and Ohuchi., 2001, “A Face Identification System Based on the Mahalanobis-Taguchi System”, International Transaction in Operational Research, Vol. 8, No. 1.

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

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

(11) 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.

(12) Park, S. G., Kim, H. S., Bae, C. Y., Lee, B. H. and Oh, J. E., 2007, “Sound Quality Evaluation of the Interior Noise for the Driving Vehicle Using Mahalanobis Distance”, Proceedings of the KSNVE Autumn Annual Conference.

(13) <http://www.minitab.co.kr>