

# Mahalanobis Taguchi System을 이용한 자동차 브레이크 성능 만족도를 고려한 설계조건 선정에 관한 연구

홍정의 · 권홍규<sup>†</sup>

충주대학교 산업경영공학과

## Selecting Optimal Design Condition Based on Automobile Brake Feeling Using Mahalanobis Taguchi System

Jung-Eui Hong · Hong-Kyu Kwon<sup>†</sup>

Department of Industrial and Management Engineering, Chungju National University

Mahalanobis Taguchi-System (MTS) is a pattern information technology, which has been used in different diagnostic applications to make quantitative decisions by constructing a multivariate system using data analytic methods without any assumption regarding statistical distribution. MTS performs Taguchi's fractional factorial design based on the Mahalanobis distance as a performance metric. In this work, MTS used for analyzing automotive brake feeling system, which measured as a brake feel index (BFI) from 9 attributes. The automobile which has a good BFI score treated as a normal group for constructing Mahalanobis space. The results of this research show that two attributes (Pre load & Max deceleration) have a minus gain value and can be removed from further analysis. The difference of MD value between using all 9 attributes and just using significant attribute compared.

**Keywords :** MTS (Mahalanobis Taguchi System), Design Optimization

### 1. 서 론

대부분의 다 변량 시스템은 변수들의 변화에 따른 측정값의 변화를 얼마나 정확히 예측하는가를 그 분석의 기본으로 삼고 있다. 그러나 일반적으로 이러한 해석을 위해서는 많은 양의 데이터가 필요로 한다. 마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance)는 인도의 수학자 Mahalanobis 에 의해 한 집단에서 이질의 집단을 구분하는 방법으로 1930년대에 소개되어 졌다. 강건설계 방법을 고안해낸 다 구찌는 어떤 집단의 평균값을 기초로한 MS(Mahalanobis Space)를 설정하고 이를 기초로한 새로운 관측 값이 이러한 공간으로부터 얼마나 벗어나 있는가를 측정하는

마할라노비스 다구찌 시스템(Mahalanobis Taguchi System) 방법을 고안해 냈다[3, 6, 7, 9-11].

MTS에서는 다차원의 단위 공간으로서 마할라노비스 공간(Mahalanobis Space)을 정의하고 임의의 대상이 그 공간으로부터 얼마만큼 떨어져 있는가를 나타내는 방법으로 MD를 이용한다. 또한 설정된 측정공간으로부터의 진단의 정확도를 평가하기 위하여 다구찌 방법이 사용되어 진다. 이러한 MTS 방법의 장점은 다변량 함수해석에 매우 중요한 변수들 간의 상관관계를 고려한다는 것이다.

이 연구의 목표는 MTS 방법을 자동차 브레이크 시스템 설계에 적용하여 고객의 만족도에 가장 영향을 많

<sup>†</sup> 교신저자 kwon0367@dreamwiz.com

※ 본 연구는 1차년도 충주대학교 대학구조개혁 지원사업비의 지원을 받아 수행한 연구임.

이 미치는 설계요소를 분석하는데 활용하고자 한다. 이를 통하여 타사와의 품질 경쟁력을 확보 할 수 있을뿐 아니라 고객의 만족을 극대화 할 수 있는 신차의 개발을 가능하게 할 수 있을 것이다.

## 2. Mahalanobis Taguchi System

MTS 기법은 다차원의 공간으로부터 MS를 정의하고 임의의 측정대상이 그 공간으로부터 얼마만큼 떨어져 있는가를 데이터 해석학적인 방법으로 분석해 내는 해석 방법이다. MTS 방법을 이용한 정확한 예측을 위해서는 다차원의 공간을 대표하는 단위공간을 설정하는 것이다. 다차원 공간에서의 관측된 패턴은 변수들 간의 상호 상관관계에 영향을 받으며 종종 이러한 상관관계를 무시하고 독립된 변수로만 생각하여 잘못된 해석을 내리는 경우가 많이 발생하고 있다.

MTS에서 MS(기준그룹)은 정상 또는 건강한 그룹의 표준화된 변수들을 이용하여 구할 수 있으며 이를 이용하여 건강한 그룹과 그렇지 못한 그룹을 구분하는 지표로 삼을 수 있다. MS가 구해지면 변수들 중 측정치에 영향을 미치는 정도를 판단하기 위하여 S/N비(Signal to Noise Ratio)와 OA(Orthogonal Array)를 이용한다. MTS의 일반적인 적용절차는[8, 12, 13] 다음과 같다.

첫 번째 과정은 표준이 되는 집단으로부터 판단에 적용될 변수들을 선정한다. 여기서 선정된 변수들에 의해 구성된 MS를 구성한다. 이를 위하여 정상 또는 건강한 그룹의 데이터가 사용되며 계산된 마할라노비스 거리의 평균값은 1에 근접한다.

$$z_i = \frac{X_i - m}{\sigma} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $m$ 은 변수의 평균값이고,  
 $\sigma$ 는 표준편차 그리고  $X_i$ 는 임의 측정값이다.

다차원 공간에서의 마할라노비스 거리는 변수들 간의 상관관계를 계산함으로써 구할 수 있다. 이러한 MD의 통계학적인 의미는 임의의 측정값이 선택 집단의 중간값으로부터 얼마나 근접해 있는가를 의미한다. 아래의 공식은 마할라노비스 거리를 계산하는 공식이다.

$$MD_j = D_j^2 = \frac{1}{k} Z_{ij}^T C^{-1} Z_{ij} \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $C^{-1}$ 은 변수들 간의 상관계수를 포함한 상관행렬의 역행렬이고 T는 표준 벡터의 transpose 벡터이다. 선택된 MS 공간에서 구해진 MD 값의 평균값은 대략 1

에 근접한다. 따라서 이러한 MS 공간을 단위공간이라고 부른다.

두 번째는 이렇게 구해진 MS 공간의 유효성을 판단한다. 이를 위해서 MS 공간 밖의 측정값 즉 비정상 또는 건강하지 않은 데이터를 이용한다. 이러한 집단의 MD를 구하기 위해서 정상 또는 건강한 집단으로 단위 MS를 구성하는 평균, 표준편차 그리고 상관행렬을 이용한다. 단위 공간이 유효하다면 비정상 또는 건강하지 않은 집단의 MD 값은 정상 또는 건강한 집단의 MD 값보다 훨씬 커서 구별이 뚜렷할 것이다.

세 번째 과정은 변수 중에서 측정값에 영향을 미치지 않거나 적게 미치는 변수를 찾아내서 제거 하여 시스템의 해석을 쉽게 하는 일이다. 이러한 목적을 위해서는 직교 배열표와 SN비가 유용하게 활용되어 질수 있다. 직교배열표의 열은 실험변수들을 배열 하였고 행은 실험의 조합을 나타낸다. 즉 직교 배열표의 Level 1은 변수를 사용하는 경우를 의미 하고 Level 2는 변수를 사용하지 않는 경우를 의미 한다. 따라서 직교배열표의 조건에 따라 변수들은 사용되어지거나 무시될 수 있으며 이를 바탕으로 SN비를 계산 할 수 있다. 다음의 식 (3)은 망대 특성의 SN비를 구하는 공식이다.

$$SNratio = \eta = -10 \log \left( \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \frac{1}{D_i^2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $\eta$ 는 S/N ratio이고  
 $t$ 는 비정상 그룹의 개수이며,  
 $D_i^2$ 는  $i$ 번째의 마할라노비스 거리(MD)이다.

## 3. MTS를 이용한 브레이크 설계조건 선정

자동차의 성능을 결정짓는 중요한 요소로는 핸들링, 브레이크, 실내공간의 넓이 등이 있을 수 있다. 특히 이러한 자동차의 성능은 소비자로부터 쉽게 다른 차종과 구분되어 지는 요소로써 시장을 확보하기 위한 결정적인 요소라고 할 수 있다. 대부분의 자동차 회사들은 이러한 요인들은 인식하고 설계단계에서부터 경쟁 차종의 성능을 분석하고 이러한 데이터를 신차 개발에 활용함으로써 신차의 품질 경쟁력을 확보하기 위해 노력 하고 있다. 본 연구는 미국시장에 시판되고 있는 자동차들의 Brake Feeling을 결정하는 9가지 변수들의 데이터를 분석하여 이러한 변수들이 브레이크 Feeling에 미치는 영향의 정도를 도출하고 이를 바탕으로 새로운 실험에서 불필요한 데이터 수집을 위한 노력을 사전에 제거하고자 하는데 목적이 있다.

### 3.1 변수 데이터

Brake Feeling은 <표 1>과 같은 항목의 데이터로부터 측정된 결과를 분석하여 얻을 수 있다. 본 연구는 미국에서 시판중인 25개종의 서로 다른 제조사 또는 다른 차종으로부터 얻어진 9개의 변수의 데이터 값을 이용하였다. 변수의 선정은 미국의 A 자동차 회사의 Brake Feeling 데이터 선정기준에 의해 결정된 것이며 운전자가 브레이크를 작동시키기 위해 힘을 가하고 실제 브레이크가 작동되기 직전까지의 힘인 Pre Load, 브레이크가 작동을 시작한 후 필요한 힘과 이동거리를 나타내는 Onset force와 Onset Travel, 자동차가 감속을 시작한 후 0.5g 상태에서의 힘과 이동거리를 나타내는 0.5g Force와 0.5g Travel, 페달에 작동하는 힘과 이동거리의 선형성을 나타내는 Pedal force Linearity와 Pedal travel linearity, 그리고 브레이크를 작동시키고 실제적으로 자동차가 감속을 시작 할 때까지의 반응시간으로 구성된다. 이러한 데이터를 얻기 위하여 측정대상 차량에 Data aquisition system을 장착하고 각각의 도로주행 조건, 그리고 일정 시간의 엔진회전등의 다양한 실험규칙을 적용하여 실험이 실시된 것으로 파악 된다.보다 구체적인 내용은 전문적인 지식이 필요하므로 본 논문에서는 설명하지 않기로 한다. 물론 이러한 변수와 BFI와의 관계는 통계학적인 방법을 통해 해석되어질 수도 있을 것이다. 그러나 다 변량 다차원 시스템의 통계학적인 처리를 위해서는 일반적으로 많은 양의 데이터가 필요로 하기 때문에 현실적으로 많은 문제점을 가지고 있다. 다구찌의 품질공학은 이러한 문제점을 극복하고 충분한 데이터를 확보하기 어려운 상황에서 최소의 데이터를 가지고 최고의 해석효과를 내고자 하는 데이터 해석방법이라고 할 수 있다. MTS도 이러한 다구찌의 데이터 해석방법중의 하나로써 얻어진 최소한의 데이터를 가지고 다 변량 시스템의 해석 및 진단 등의 분야에 적용할 수 있다. 본 연구는 많은 시간과 비용을 투자하여 얻은 데이터를 MTS 기법을 적용하여 분석하고 이러한 변수 중 Brake Feeling에 영향을 크게 미치는 변수 그리고 미치지 않는 변수를 판단 하고자 한다

<표 2>는 현재 미국에 시판되고 사용 중인 74개의 다른 차종으로부터 얻은 데이터 샘플의 일부를 보여주고 있다. 이러한 데이터를 얻기 위해서는 수많은 첨단 장비와 많은 비용이 필요하다. Brake Feel Index 값은 9개의 변수(Pre Load(N) Onset force(N), Onset Travel(mm), 0.5g Froce(N), 0.5g Travel(mm), Pedal Force linearity, Pedal Travel linearity, Response Time(s))를 이용하여 결정되며 그 값이 클수록 소비자가 느끼는 자동차의 브레이크 성

능이 우수한 것으로 판단 할 수 있다.

<표 1> Brake Feeling 변수 항목

변 수	항 목
A1	Pre load
A2	Onset Force
A3	Onset Travel
A4	0.5g Travel
A5]	0.5g Force
A6	Maximum Deceleration
A7	Pedal Force Linearity
A8	Pedal Travel Linearity
A9	Response Time

### 3.2 MTS기법의 전개

기준집단의 크기에 따른 MTS 기법의 유효성을 판단하기 위해 두개의 그룹을 선정하여 비교하고자 하였다. 즉 <표 2>의 데이터에서 높은 BFI 즉 BFI 값이 80 이상 되는 32개 차종을 1그룹 그리고 BFI 값이 90 이상인 17개 차종을 2그룹의 건강한 또는 정상적인 집단으로 분류 하였다. 이러한 분류의 기준은 없으며 전문가의 견해를 바탕으로 기준을 선정하는 것이 일반적이다. 이 집단을 식 (1)을 이용하여 표준화과정을 통해 상관행렬을 계산해 냈으며 1그룹의 상관행렬은 <표 3>과 같다.

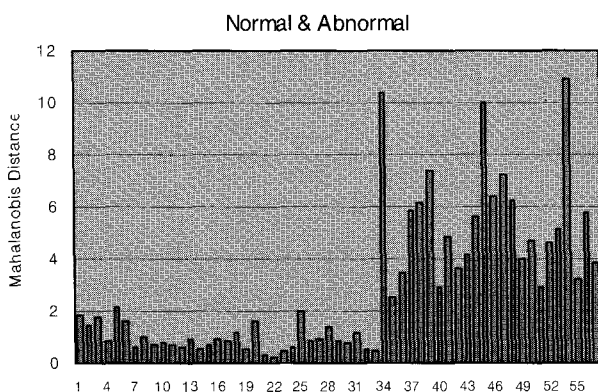
일반적인 MTS 절차에 따라 Brake Feeling이 우수한 정상집단으로부터 상관행렬과 역행렬 함수를 얻을 수 있고 이를 바탕으로 1그룹의 MD의 값의 평균값을 계산한 결과 평균 MD = 0.9696, 2그룹의 평균 MD값은 0.9418을 얻었다. 이는 정상 집단의 MD값은 1에 근접함으로 적절한 기준집단 선정이 이루어 졌다고 판단 할 수 있다. 또한 Brake Feeling 우수하지 못한 집단 즉 1그룹은 BFI 지수의 값이 70 미만인 25개 차종 그리고 BFI 값이 50 미만인 10개의 차종을 2그룹으로 선정하였으며 각각의 그룹의 MD 값을 계산 한 결과 1그룹은 MD = 5.49, 2그룹의 MD = 26.0776이었다. 따라서 설정된 기준집단은 유효한 것으로 판정된다. <그림 1>, <그림 2>는 Brake Feeling이 우수한 집단과 우수하지 못한 집단의 기 설정된 MS내에서 측정된 MD값을 도식화 한 것이다. 이러한 모든 계산과정은 Matlab과 Excel 소프트웨어를 이용하여 순간적으로 계산 할 수 있었다.

〈표 2〉 자동차 종류에 따라 측정된 변수 데이터〉

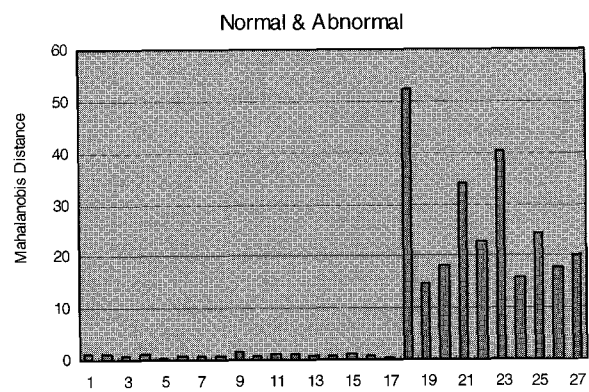
	Pre load(N)	Onset F(N)	Onset T(mm)	0.5g F(N)	0.5g T(mm)	max gww dcel	PF lin	PT lin	Resp Time(S)	BFI
00 Corvette	16.00	24.00	21.00	68.00	27.00	0.97	0.80	1.20	0.14	94.00
00 Focus	13.34	32.47	20.32	71.17	30.48	0.97	0.96	1.35	0.16	91.20
00 Maxima	17.00	26.00	24.00	73.00	39.00	0.97	0.74	1.20	0.22	80.00
00 Mercedes S-500	29.00	39.00	28.00	59.00	32.00	0.97	0.85	1.23	0.18	79.00
00 Monte Carlo	17.79	29.36	18.03	93.41	33.02	0.97	0.80	1.21	0.13	83.20
00 Neon	17.79	31.14	11.43	84.51	27.94	0.97	0.80	1.28	0.13	93.60
00 Passat	26.69	35.58	22.86	93.41	43.18	0.97	0.77	1.30	0.17	78.50
00 Porsche 911 Carrera	23.90	36.00	24.50	123.20	29.70	0.97	0.88	1.16	0.14	79.00
00 Saturn LS	20.02	38.25	22.86	106.75	27.94	0.97	0.84	1.23	0.17	89.00
02 Civic Hybrid	24.50	37.90	25.40	70.80	32.60	0.9	0.86	1.22	0.14	87.00
02 Mazda Miata	16.00	22.00	23.00	55.00	16.00	0.97	0.96	1.49	0.13	92.00
03 350Z Track	23.80	35.80	18.50	53.90	15.40	1.1	0.90	1.23	0.11	90.00
03 911 Turbo	16.50	29.30	21.10	123.40	28.80	1.16	0.83	1.23	0.13	83.00
03 Acura RSX	20.00	33.00	19.00	61.00	23.00	0.98	0.93	1.32	0.14	91.00
03 Honda S2000	21.00	34.30	15.80	99.60	22.10	1.15	0.82	1.23	0.11	89.00
03 Toyota Camry XLE	13.40	31.50	21.80	91.00	38.00	0.94	0.93	1.27	0.16	86.00
03 Toyota MR2	24.00	34.50	24.50	85.40	25.90	1.12	0.88	1.23	0.13	87.00
03 VW Golf GTI	28.00	40.00	18.00	136.00	36.00	1.05	0.74	1.09	0.14	69.00
04 BMW 330i	20.50	26.35	20.04	64.01	23.22	0.97	0.81	1.23	0.12	88.00
04 Cadillac XLR	19.50	35.29	21.43	74.29	22.53	0.97	0.85	1.23	0.13	91.00
04 Grand Prix Comp G	25.00	34.50	25.80	90.10	28.50	0.97	0.86	1.25	0.11	91.00
04 Grand Prix GTP	23.90	30.10	25.20	72.10	26.10	0.97	0.93	1.21	0.11	94.00
04 Ion Redline	18.00	30.00	20.00	59.00	25.00	1.14	0.92	1.22	0.14	92.00
04 Nissan Maxima	19.50	30.20	26.70	62.50	25.00	0.97	0.86	1.16	0.11	93.00
04 Porsche Cayanne	22.20	33.20	27.60	83.30	28.90	0.865	0.69	1.09	0.17	73.00
05 Cobalt, GMX 001	21.80	36.00	24.70	84.40	33.50	1	0.92	1.39	0.12	92.00
05 GMX245, corvette	18.00	40.20	25.20	78.00	25.00	1.17	1.02	1.26	0.11	90.00
05 Pontiac GTO	18.70	40.40	22.60	67.10	32.40	1.047	1.06	1.12	0.12	92.00
06 Impala V6	21.00	31.70	26.90	75.90	27.60	0.97	0.99	1.25	0.17	87.00
06 Solstice	20.00	30.00	15.00	62.00	22.00	1.1	0.89	1.41	0.12	92.00
99 Jaguar XK8	26.50	42.00	27.00	81.00	30.00	0.97	0.88	1.25	0.15	84.00
00 Excursion	15.57	50.26	30.48	115.65	35.56	0.97	0.95	1.21	0.25	54.30
00 F-150	17.79	35.58	27.94	75.62	38.10	0.97	1.14	1.52	0.22	70.80
00 Ram 2500	18.00	48.00	29.00	59.00	27.00	0.97	1.00	1.42	0.24	61.00
02 Tundra	20.50	36.80	25.20	101.10	43.00	0.89	0.65	1.49	0.23	55.00
03 GMT368, SSR	13.40	40.60	30.60	66.30	40.80	0.97	0.84	1.23	0.19	77.30
03 H2	5.80	48.70	41.20	95.10	34.80	0.85	0.64	1.16	0.19	61.00
03 H2 (JH6 Brake sys)	6.50	51.90	38.40	138.30	38.50	0.879	0.65	1.12	0.25	44.00
04 Cadillac SRX	25.70	40.60	28.70	73.60	38.30	0.9	0.92	1.14	0.21	74.00
04 Dodge Ram	22.5	41.8	32.2	65.4	28.3	0.97	0.85	1.23	0.28	62.00
04 Durango	27.90	38.70	23.70	75.00	31.90	0.896	1.11	1.22	0.13	90.00
04 Ford F-150	18.2	41.9	27.8	79.1	35.6	0.97	0.85	1.23	0.20	76.00
04 GMT355 Canyon	23.00	61.00	21.60	90.44	30.50	0.89	0.69	na	0.21	68.00
04 GMT355 Chevy PU	34.08	73.27	28.02	74.87	29.45	0.97	0.84	1.23	0.16	76.00

<표 3> 상관 행렬

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
A1	1.000	0.247	0.129	0.029	-0.038	-0.060	0.222	0.024	-0.429
A2	0.247	1.000	0.153	0.102	0.077	-0.029	0.484	-0.270	-0.144
A3	0.129	0.153	1.000	0.077	0.240	-0.284	0.139	-0.335	0.164
A4	0.029	0.102	0.077	1.000	0.481	0.130	-0.246	-0.069	-0.058
A5	-0.038	0.077	0.240	0.481	1.000	-0.328	-0.032	-0.043	0.429
A6	-0.060	-0.029	-0.284	0.130	-0.328	1.000	-0.029	0.063	-0.287
A7	0.222	0.484	0.139	-0.246	-0.032	-0.029	1.000	0.175	-0.206
A8	0.024	-0.270	-0.335	-0.069	-0.043	0.063	0.175	1.000	-0.065
A9	-0.429	-0.144	0.164	-0.058	0.429	-0.287	-0.206	-0.065	1.000



<그림 1> 정상집단(33개 차종)과 비정상집단(25개 차종)의 MD값의 비교(1그룹)



<그림 2> 정상집단(17개 차종)과 비정상집단(10개 차종)의 MD값의 비교(2그룹)

### 3.3 유효 변수의 선정

마지막으로 직교 L16 직교 배열표와 망대특성의 SN비를 이용하여 각각의 변수의 중요도를 분석하였다. 아홉 개의 변수를 적절하게 배치하기 위해서는 L16 직교 배열표(OA)를 사용하였으며 BFI 값이 크면 클수록 성능이 우수한 것으로 판단되므로 망대특성의 SN비를 사용하였다(식 (3)). 직교 배열표에서 Level 1은 변수를 사용한 경우이고 Level 2는 변수를 사용하지 않은 경우를 의미 한다. <표 4> 직교배열표의 조합에 따라 내측 배열은 L16 직교 배열표 외측 배열은 BFI 값이 낮은 즉 25개의 비정상 집단의 데이터가 이용하여 MD 값을 계산하였으며 이를 근거로 조건에 따른 SN비를 계산 하였다. <표 4>는 L16직교배열표와 각각의 조건에서의 SN비 그리고 Gain 값을 나타내고 있다.

$$\text{Gain} = \text{SN비해당변수를사용한 경우} - \text{SN비해당 변수를 사용하지 않은 경우} \dots\dots (4)$$

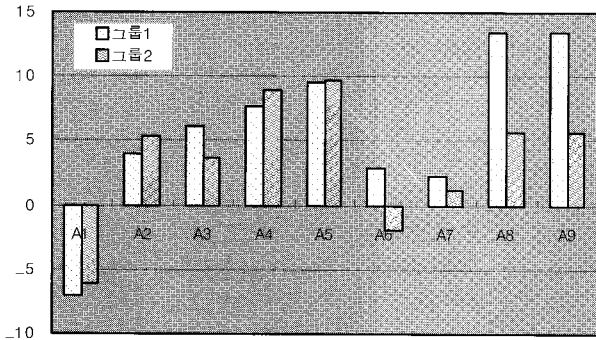
<표 4>에서 그룹 1의 경우 양의 Gain 값이 클수록

변수(A2~A9)는 마할라노비스 거리(MD)에 긍정적인 효과를 미치는 것으로 판단되므로 BFI에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 볼 수 있으며 음의 Gain 값을 가지는 변수(A1)는 마할라노비스 거리에 부정적인 영향을 미치는 것으로 데이터를 확보하기 위한 시간적 경제적 측면에서 무시될 수 있을 것이다. 그룹 2에서는 A1과 A6이 음의 Gain 값을 나타내고 있다. 따라서 마할라노비스 공간의 설정에 따라 유효한 변수의 선택 값이 달라짐을 볼 수 있다. <그림 2>는 변수에 따른 Gain값을 나타내고 있으며 대체적으로 그룹 1과 그룹 2의 경우 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

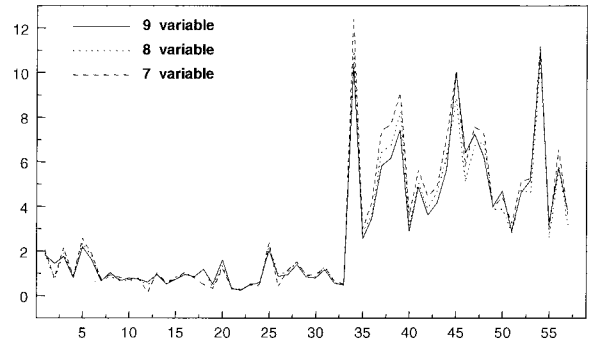
다음은 변수 A1(Pre load)을 제거한 후 그리고 그룹 2에서 음의 Gain 값을 가진 A1과 A6(Max deceleration)을 동시에 제거한 후 MD 값의 크기를 정상집단과 비정상 집단으로 나누어 비교하였다. <그림 4>은 유효변수를 선정하기 전과 후의 MD값의 크기를 비교한 것이다. 9개의 변수들을 모두 사용하여 MD값을 계산 한 결과와 유효치 않다고 판정된 A1 변수를 제거 한 후 또는 A1과 A6을 모두 제거 한 후 MD값의 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

<표 4> L16직교 배열표와 SN비 그리고 Gain

Run	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	SN비	SN비
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.8724	17.4256
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	6.1164	10.2698
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	4.4838	6.9037
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	-16.4489	-15.0590
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	-3.3675	7.4228
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	-9.2428	3.4272
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	-10.9564	-7.7082
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	-21.4299	-20.1253
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	-1.6573	5.2924
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	-1.6573	5.2924
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1.996	9.2235
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1.996	9.2235
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	-1.3813	6.7781
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	-1.3813	6.7781
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	-0.6057	4.2901
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	-0.6067	4.2901
Gain	-4.5844	6.8431	5.6707	4.9844	7.1983	0.4277	1.867	5.2548	5.2548	그룹 1	
Gain	-6.0764	5.4274	3.7035	8.956	9.6776	-1.9589	1.2507	5.6914	5.6914		그룹 2



<그림 3> 변수들의 Gain값



<그림 4> Before & After Optimization

### 4. 결론

MTS 기법은 마할라노비스 공간(MS)을 설정하는 기준이 되는 적절한 Normal 또는 건강한 집단을 선정하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이러한 집단선정의 뚜렷한 기준이 없으며 단지 전문가의 의견 수준의 판단 근거에 의해 표준집단을 선정 할 수밖에 없는 한계를 가지고 있다[5, 12]. 이러한 제약조건에도 불구하고 MTS 기법은 새로운 데이터 해석방법(Data Analytic Method)으로 암과 같은 질병의 진단, 문자 인식, 음성인식, 최적화 등의 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있고 성공적인 적용사례도 여러 논문을 통해 발표되고 있다 [1, 2, 4].

특히 자동차의 브레이크 시스템은 자동차의 품질을

나타내는 척도로서 소비자에게 가장 큰 영향을 미치는 품질 지수중의 하나이다. 많은 자동차 메이커들은 신차 개발시 동급의 경쟁사의 차종을 분석하기 위해 많은 연구를 진행하고 있다. 본 연구는 데이터의 수집을 위해 많은 비용이 발생하는 자동차 산업에서 시스템에 영향을 적게 미치거나 미치지 않는 불필요한 변수를 제거함으로써 Brake 시스템의 설계시 불필요한 비용절감 및 시간 단축효과를 얻을 수 있는 방법을 제시 하였다.

본 자동차 Brake feeling 사례에서는 MS를 선정하기 위한 기준집단을 80 이상의 BFI 지수를 가지는 집단과 90 이상의 BFI 지수를 가지는 집단으로 나누어 선정 하였다. 이는 집단의 크기를 다르게 하였을 경우의 MD의 크기 또는 유효 변수에 미치는 영향을 분석하기

위함이다. 그룹 2의 경우가 그룹 1의 경우보다 정상그룹과 비정상 그룹간의 MD의 평균값의 차가 크게 나타남을 알 수 있다. Optimization 과정후의 유효변수 선정 결과는 두 그룹 공통으로 A1의 변수가 음의 Gain값을 나타내었고 그룹 2의 경우는 A1과 A6 두 변수가 음의 Gain을 나타내고 있다. 이는 이 두개의 변수 즉 Pre Load와 Max Deceleration이 시스템의 측정값에 가장 영향을 적게 미치는 변수로 판단 할 수 있음을 의미한다. <그림 4>에 나타난 것과 같이 하나 또는 두개의 변수를 제거 한 후 계산한 MD값은 일정한 trend를 보여주고 있다. 따라서 설계의 목적을 달성하기 위한 변수 선정과정에서 A1(Pre load)과 A6(Max Deceleration)은 데이터의 해석에 큰 손실이 없이 제거 할 수 있으며 이를 통한 Brake 시스템 해석의 최적화를 달성 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Asada, M.; "Wafer Yield Prediction by the Mahalanobis-Taguchi System," *IIE Transactions* : 25-28, 2001.
- [2] Hayashi, S., Tanaka, Y., and Kodama, E.; "A New Manufacturing Control System using Mahalanobis Distance for Maximizing Productivity," *IEEE Transactions* : 59-62, 2001.
- [3] Jain, Anil K., Duin, Robert, P. W., Mao, Jianchang; "Statistical Pattern Recognition : A Review," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(1), Jan. 2000.
- [4] Jugulum, R. and Monplaisir, L.; "Comparison between Mahalanobis-Taguchi-System and Artificial Neural Networks," *Journal of Quality Engineering Society*, 10(1) : 60-73, 2002.
- [5] Jugulum, R., Taguchi, G., Taguchi, S., and Wilkins, J.; "Discussion of A review and analysis of Mahalanobis-Taguchi System," *Technometrics*, 45(1), February 2003.
- [6] Jungeui Hong, E. A. Cudney, Taguchi, G., Jugulum R., Paryani K., Ragsdell K. M.; "A Comparison Study of Mahalanobis Taguchi system and Neural Network for Multivariate Pattern Recognition," *Proceedings of ASME IMECE*, Nov. 5-11, Orlando, Florida, 2005.
- [7] Lande, U.; "Mahalanobis Distance: A Theoretical and Practical Approach," <http://biologi.uio.no/fellesavdelinger/finse/spatialstats/Mahalanobis%20distance.ppt>, 2003.
- [8] Taguchi G., Chowdury, S., and Wu, Y., *The Mahalanobis Taguchi System*, McGraw Hill Press New York, 2001.
- [9] Taguchi, G. and Jugulum, R.; "New Trends in Multivariate Diagnosis," *Indian Journal of Statistics*, 62 (Series B, 2) : 233-248, 2000.
- [10] Taguchi, G. and Jugulum, R.; *The Mahalanobis-Taguchi Strategy : A Pattern Technology System*, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [11] Taguchi, S.; "Mahalanobis Taguchi System," *ASI Taguchi Symposium*, 2000.
- [12] Woodall, W. H., Koulelik, R., Tsui, K. L., Kim, S. B., Stoumbos, Z. G., and Carvounis, C. P.; "A review and analysis of the Mahalanobis Taguchi," *Technometrics*, 45(1) : 1-30, February 2003.
- [13] Wu, Y.; "Pattern Recognition using Mahalanobis Distance," *TPD Symposium* : 1-14, 1996.