

Mahalanobis Taguchi System을 이용한 자동차 승차감 만족도를 고려한 설계조건 선정에 관한 연구 Selecting Optimal Design Condition based on Automobile Ride Satisfaction Using Mahalanobis Taguchi System

홍 정 의*

Jungeui Hong*

Abstract

Mahalanobis Taguchi-System (MTS) 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 study, MTS used for analyzing automotive ride satisfaction, which measured as a CSR(Customer Satisfaction Rating). The automobile which has a good CSR score treated as a normal group for constructing Mahalanobis space. The results of this research show that two attribute (Impact Hardness and Memory Shake) have a minus gain value and can be removed from further analysis. With the linear regression model, the difference of CSR between using all 6 attributes and just using significant 4 attributes compared.

Keywords: MTS (Mahalanobis Taguchi System), Automobile Ride Satisfaction, Optimum design

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

* 충주대학교 공과대학 산업경영공학과

많은 양의 데이터가 필요로 한다. 마할라노비스 거리 (Mahalanobis Distance)는 인도의 수학자 Mahalanobis에 의해 한 집단에서 이질의 집단을 구분하는 방법으로 1930년대에 소개되어 졌다. 강건설계 방법을 고안해낸 다구찌는 어떤집단의 평균값을 기초로한 MS를 설정하고 이를 기초로한 새로운 관측값이 이러한 공간으로부터 얼마나 벗어나 있는가를 측정하는 마할라노비스 다구찌 시스템 (Mahalanobis Taguchi System) 방법을 고안해 냈다. MTS에서는 다차원의 단위 공간으로서 마할라노비스 공간(Mahalanobis Space)을 정의 하고 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 MTS방법을 자동차 승차감 향상을 위한 변수 설정에 적용하여 고객의 만족도에 가장 영향을 많이 미치는 설계요소를 분석하는데 활용하고자 한다. 이를 통하여 타사와의 품질 경쟁력을 확보 할 수 있을 뿐 아니라 고객의 만족을 극대화 할 수 있는 신차의 개발을 가능하게 할 수 있을 것이다.

2. Mahalanobis Taguchi System

MTS 기법은 다차원의 공간으로부터 MS를 정의 하고 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

첫째 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.

$$z_i = \frac{x_i - m}{\sigma} \quad \text{<식 1>}$$

여기서 m은 변수의 평균값이고,
σ는 표준편차 그리고 Xi 는 임의 측정값이다.

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

$$MD_j = \sqrt{\frac{1}{C-1} T_j C^{-1} T_j} \quad <식 2>$$

여기서 C-1 은 변수들 간의 상관계수를 포함한 상관행렬의 역행렬이고 T는 표준 벡터의 transpose 벡터이다.

선택된 MS 공간에서 구해진 MD 값의 평균값은 대략 1에 근접한다. 따라서 이러한 MS공간을 단위공간이라고 부른다.

두 번째는 이렇게 구해진 MS공간의 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 위하여는 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. 망대 특성의 SN비를 구하는 식은

$$SN \text{ ratio} = \eta = -10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i \frac{1}{D_i^2} \right\} \quad <식 3>$$

여기서 η 는 S/N ratio 이고
 t 는 비정상 그룹의 개수이며,
 D_i 는 i 번째의 마할라노비스 거리(MD)이다.

3. MTS를 이용한 자동차의 승차감 만족도

자동차의 성능을 결정짓는 중요한 요소로는 승차감, 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 분석

하고 이러한 데이터를 신차 개발에 활용함으로써 신차의 품질 경쟁력을 확보하기 위해 노력 하고 있다. 본 연구는 미국시장에 시판되고 있는 자동차들의 승차감을 결정하는 6 가지 변수들의 데이터를 분석하여 이러한 변수들이 자동차의 승차감에 미치는 영향의 정도를 도출하고 이를 바탕으로 새로운 실험에서 불필요한 데이터 수집을 위한 노력을 사전에 제거하고자 하는데 목적이 있다.

3-1. 변수 데이터

자동차의 승차감은 <표 1>과 같은 항목의 데이터로부터 측정된 결과를 분석하여 얻을 수 있다. 본 연구는 미국에서 시판중인 25개종의 서로 다른 제조사 또는 다른 차종으로부터 얻어진 6개의 변수의 데이터 값을 이용하였다. 변수의 선정은 미국의 유명 자동차 회사의 승차감 데이터 선정기준에 의해 결정된 것이며 구체적인 내용은 기업의 보안정책에 따라 본 논문에서는 설명하지 않기로 한다. 다만 이러한 선정기준에 의해 얻어진 데이터를 MTS 기법을 적용하여 분석하고 이러한 변수중에서 자동차의 승차감에 영향을 크게 미치는 변수 그리고 미치지 않는 변수를 판단 하고자 한다.

<표 1>Customer Satisfaction Rating 변수 항목

변수	항목
A1	Rough Road Isolation
A2	Smoothness
A3	Impact Hardness
A4	Memory Shake
A5	Head Toss
A6	SUV Shake

선택된 자동차의 승차감을 결정짓는 변수와 자동차의 승차감과의 관계를 나타낸 데이터 중에서 CSR의 값에 의해 승차감이 우수한 정상집단과 승차감 만족도가 상대적으로 떨어지는 차종을 비정상집단으로 분류하였다. <표 2, 3>

<표 2> 자동차 종류에 따라 측정된변수 Normal 데이터

	RRII	Smoothness	Impact Hardness	Memory Shake	Head Toss	Suv Shake	CSR
Lexus L	80.53	74.96	37.69	60.19	68.07	87.94	3.78
Lexus L	79.85	79.00	29.10	9.28	39.81	85.58	3.65
Cadillac D	79.74	73.87	39.80	38.02	59.11	94.49	3.62
Lexus R	79.34	73.69	37.58	10.38	54.80	96.62	3.58
Lexus E	78.14	69.71	29.17	8.11	59.11	99.61	3.58
Landrover R	77.81	68.23	51.22	21.62	62.95	92.12	3.57
Cadillac E	79.62	72.95	44.53	33.79	43.54	80.21	3.57
Buick P	78.79	75.91	39.47	20.96	63.52	94.93	3.54
Cadillac S	78.00	65.53	38.87	-8.04	59.11	91.13	3.48
BMW 7	79.56	73.20	42.30	29.36	69.51	96.12	3.47
Lincoln N	76.10	72.34	41.45	27.26	42.26	73.89	3.47
Toyota A	78.16	76.50	38.22	-60.98	73.67	91.20	3.45
Hummer H	77.73	75.13	38.07	12.33	48.73	52.54	3.43
Mercedes B	78.20	62.43	31.87	35.43	67.54	99.40	3.42
Toyata L	78.93	77.73	25.21	5.02	47.71	75.53	3.41

<표 3> 자동차 종류에 따라 측정된변수 Abormal 데이터

	RRII	Smoothness	Impact Hardness	Memory Shake	Head Toss	Suv Shake	CSR
Saab 9	76.51	51.11	27.63	28.91	74.69	82.81	3.00
Chevrolet K	74.48	57.61	48.25	31.73	52.28	40.27	2.99
Ford E	74.42	65.64	29.74	17.45	22.56	4.98	2.95
Nissan X	74.20	52.02	34.27	17.23	53.49	65.56	2.84
Chevrolet S	71.40	25.44	37.15	39.45	71.87	24.55	2.81
Audi T	69.92	21.68	20.27	34.70	82.55	64.20	2.72
Porsche C	72.90	38.08	23.03	33.46	59.11	82.12	2.68
Chevrolet C	71.12	40.32	20.98	18.80	84.82	70.54	2.48
Jeep W	72.23	40.88	34.78	8.78	14.72	55.95	2.40

<표 2,3>는 현재 미국에 시판되고 사용중인 71개의 다른 차종으로부터 얻은 데이터 샘플의 일부를 보여주고 있다. 이러한 데이터를 얻기 위해서는 수많은 첨단 장비와 많은 비용이 필요하다. CSR은 6개의 변수 Roughness road isolation index, Smoothness, Impact hardness, Head toss 그리고 SUV shake를 이용하여 결정되며 그 값이 클수록 소비자가 느끼는 자동차의 승차감 성능이 우수한 것으로 판단 할 수 있다.

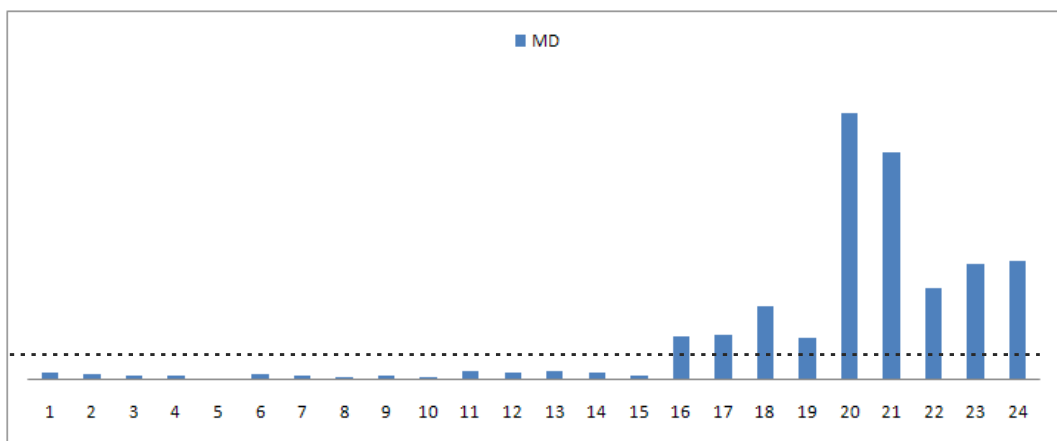
3-2. MTS기법의 전개

<표 2>에서와 같이 CSR의 값이 3.0보다 작은 13개 차종을 비정상적인 집단으로 분류 하였다. MTS를 전개하기 위한 이러한 분류의 특별한 기준은 없으며 전문가의 견해를 바탕으로 기준을 선정하는 것이 일반적이다. 이 집단을 <식1>을 이용하여 표준화과정을 통해 상관행렬을 계산해 냈으며 이 상관행렬은 <표4>과 같다.

<표 4> 상관행렬

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	0.6052	0.2066	-0.3103	-0.6277	-0.1345
A2	0.6052	1	0.1881	-0.3821	-0.3899	-0.3643
A3	0.2066	0.1881	1	0.1873	-0.2279	-0.4382
A4	-0.3103	-0.3821	0.1873	1	0.2187	-0.0132
A5	-0.6377	-0.3899	-0.2279	0.2187	1	0.2385
A6	-0.1345	-0.3643	-0.3643	-0.0132	0.2385	1

일반적인 MTS 절차에 따라 자동차의 승차감이 우수한 정상집단으로부터 상관행렬과 역행렬 함수를 얻을 수 있고 이를 바탕으로 MD의 값의 평균값을 계산한 결과 평균 MD = 0.95의 값을 얻었다. 이는 정상 집단의 MD값은 1에 근접하므로 적절한 기준집단 선정이 이루어 졌다고 판단 할 수 있다. 또한 승차감 만족도가 떨어지는 집단 즉 CSR 지수의 값이 3 이하인 9개 차종의 MD값을 계산 한 결과 상대적으로 큰 MD 값을 나타냈으며 그 평균값은 19.12였다. 따라서 설정된 기준집단은 유효한 것으로 판정된다. <그림 1>은 CSR이 우수한 집단과 그렇지 못한 집단의 기 설정된 MS내에서 측정된 MD값을 도식화 한 것이다. 이러한 모든 계산과정은 미리 프로그램된 Matlab 소프트웨어와 Excel을 이용하여 할 수 있다.



<그림 1> 정상집단과 비정상집단의 MD값의 비교

3-3. 유효 변수의 선정

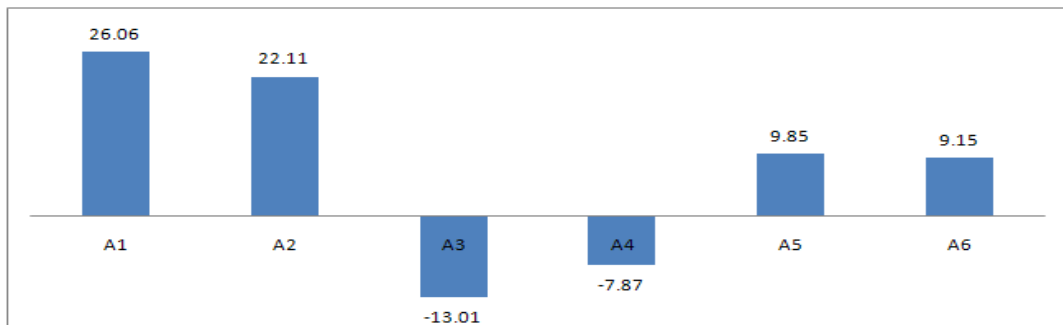
마지막으로 직교 L8 직교 배열표와 망대특성의 SN비를 이용하여 각각의 변수의 중요도를 분석하였다. 아홉 개의 변수를 적절하게 배치하기 위해서는 L8직교 배열표(OA)를 사용하였으며 CSR의 값이 크면 클수록 성능이 우수한 승차감을 보이는 것으로 판단되므로 망대특성의 SN비를 사용하였다<식3>. 직교배열표에서 Level 1은 실험에서 선택된 변수를 사용한 경우이고 Level 2는 변수를 사용하지 않은 경우를 의미 한다. <표5> 직교배열표의 조합에 따라 CSR 값이 큰 경우 즉 9개의 비정상 집단의 데이터를 이용하여 MD 값을 계산하였으며 이를 근거로 각각의 SN비를 계산 하였다.

<표 5> L8직교 배열표와 SN비 그리고 Gain

Run	A1	A2	A3	A4	A5	A6	SN비
1	1	1	1	1	1	1	15.7409
2	1	1	1	2	2	2	13.2174
3	1	2	2	1	1	2	6.0921
4	1	2	2	2	2	1	4.6535
5	2	1	2	1	2	2	1.4495
6	2	1	2	2	1	1	1.4021
7	2	2	1	1	2	1	-51.4437
8	2	2	1	2	1	2	-15.963
Gain	26.0647	22.1178	-13.011	-7.8678	9.8488	9.1532	

$$\text{Gain} = \text{SN비해당변수를사용한 경우} - \text{SN비해당 변수를 사용하지 않은 경우} \quad \text{<식 4>}$$

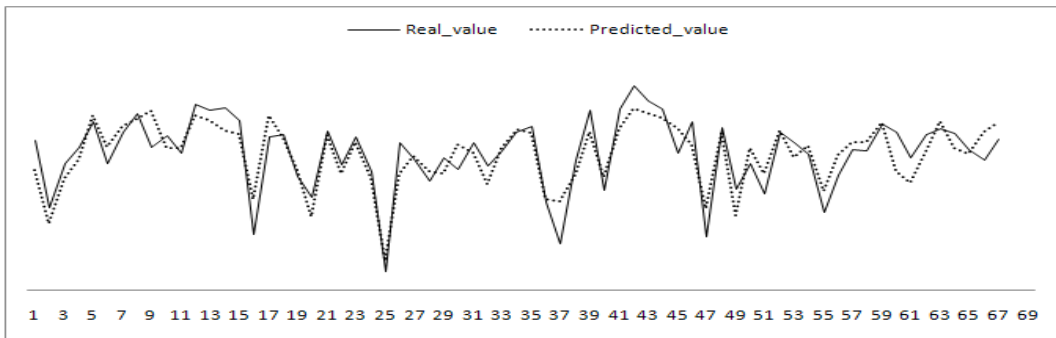
<식4>에서 양의 Gain 값이 클수록 변수(A1,A2,A5,A6)는 마할라노비스 거리(MD)에 긍정적인 효과를 미치는 것으로 판단되므로 CSR에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 볼 수 있으며 음의 Gain 값을 가지는 A3변수(Impact hardness)와 A4변수(Memory Shake)는 마할라노비스 거리에 부정적인 영향을 미치는 것으로 데이터를 확보하기 위한 시간적 경제적 측면에서 무시될 수 있을 것이다. <그림2>는 변수에 따른 Gain값을 나타내고 있다.



<그림 2> 변수들의 Gain값

다음은 변수 Impact Hardness(A3)와 Memory Shake(A4) 을 제거한 후 CSR의 값의 크기를 선형회귀분석을 이용하여 비교하였다.

<그림3>은 Mahalanobis Taguchi System의 최적화 과정을 통하여 유효변수를 선정하여 예측된 CSR의 값의 크기와 실제 값을 비교한 것이다. 실제 설문조사에 의한 CSR의 값과 6개의 설계인자와의 선형회귀분석을 이용한 R값의 크기는 0.877 이고 최적화 과정을 통해 자동차의 승차감에 미치는 영향이 적다고 판단된 설계인자 Impact Hardness(A3)와 Memory Shake(A4)를 제거한후의 R값의 크기는 0.867으로 실제값과의 차이가 크지 않음을 나타내고 있다.



<그림 3>최적화를 통한 4개변수를 이용한 CSR 값의 예측

4. 결 론

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 판단근거에 의해 표준집단을 선정 할 수 밖에 없는 한계를 가지고 있다. 자동차 승차감 만족도 사례에서는 표준집단을 3.4 이상의 CSR 값을 가지는 집단으로 선정 하였지만 집단의 크기를 다르게 하였을 경우의 MD의 크기 또는 유효 변수에 미치는 영향 등은 다르게 나타날 수도 있을 것이다. 하지만 이러한 제약 조건에도 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.

본 연구는 데이터의 수집을 위해 많은 비용과 시간을 필요로 하는 자동차 산업에서 승차감에 영향을 적게 미치거나 미치지 않는 불필요한 변수를 제거함으로써 비용절감 및 시간 단축효과를 얻고자 하는 목적으로 하였다. 특히 자동차의 승차감은 자동차의 품질을 나타내는 척도로서 소비자에게 가장 큰 영향을 미치는 품질 지수중의 하나이다. 본 연구를 통해 자동차의 승차감 만족도 (CSR)에 영향을 미치는 6개의 변수 중 2개는 변수가 승차감에 미치는 영향이 미미하여 고려하지 않아도 될 것으로 판단 된다.

5. 참고 문헌

- [1] 홍정의, 권홍규, "Mahalanobis Taguchi System을 이용한 다변량 시스템의 해석에 관한 연구", 한국 산업 경영시스템학회지, Vol 32, No 1, PP 20-25, Mar. 2009
- [2] 홍정의, 권홍규, "Mahalanobis Taguchi System을 이용한 자동차 브레이크 성능 만족도를 고려한 설계조건 선정에 관한 연구", 한국 산업경영시스템 학회지, Vol 30, No 1, PP 41-47, Mar, 2007
- [3] Hong, Jung-Eui, Cudney E. A, Taguchi G, Jugulum R., Paryani K., Ragsdell K., " A Comparison study of Mahalanobis Taguchi System and nueral network for multivariate pattern recognition", 2005 ASME IMECE Proceedings, Orlando FL.
- [4] E. A. Cudney, Jung-Eui Hong, Rajesh Jugulum, Kioumars Paryani, Kenneth M. Ragsdell, Genishi Taguchi, "An Evaluation of Mahalanobis Taguchi System and Neural Network for Multivariate Pattern Recognition", Journal of Industrial and System Engineering, Vol 1 No.2 PP 139-150, 2007
- [5] Taguchi, G and R. Jugulum, "New Trends in Multivariate Diagnosis", Indian Journal of Statistics, 62, Series B, 2 233-248 (2000).
- [6] Taguchi, G and R. Jugulum, The Mahalanobis-Taguchi Strategy: A Pattern Technology System, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [7] Lande, U., "Mahalanobis Distance: A Theoretical and Practical Approach", <http://biologi.uio.no/fellesavdelinger/finse/spatialstats/Mahalanobis%20distance.ppt>, 2003.
- [8] Hayashi, S., Y. Tanaka, and E. Kodama, "A New Manufacturing Control System using Mahalanobis Distance for Maximizing Productivity", IEEE Transactions, 59-62, 2001.
- [9] Asada, M., "Wafer Yield Prediction by the Mahalanobis-Taguchi System", IIE Transactions, 25-28, 2001.
- [10] Wu, Y., "Pattern Recognition using Mahalanobis Distance", TPD Symposium, 1-14, 1996.
- [11] Taguchi G., S. Chowdury, and Wu Y., The Mahalanobis Taguchi System, McGraw Hill Press New York, 2001.
- [12] Woodall, W. H. , R. Koulelik,, K. L. Tsui, S. B. Kim, Z. G. Stoumbos, and C. P. Carvounis, "A review and analysis of the Mahalanobis Taguchi", Technometrics, Vol. 45, No. 1, February 2003, 1-30..
- [13] R. Jugulum, G. Taguchi, S. Taguchi and J. Wilkins "Discussion of A review and analysis of Mahalanobis-Taguchi System" Technometrics, Vol. 45, No. 1, February 2003.
- [14] R. Jugulum and L. Monplaisir "Comparison between Mahalanobis-Taguchi- System and Artificial Neural Networks", journal of Quality Engineering Society, Vol. 10, No.1, pp.60-73, 2002.