

MTS 기법의 소개와 적용사례 연구

지철민, 이상복
서경대학교 산업공학과

초록

본 논문은 진보된 다구찌 기법의 한 분야로 다구찌 박사가 90년대 후반에 제시한 마할라노비스-다구찌 기법(Maharanobis-Taguchi Method : MTS)에 대한 개념의 소개와 적용사례에 관한 연구로 이미 미국, 일본에서는 많은 성공사례가 발표되어 현장에 활용되고 있지만 아직 국내에서는 그다지 알려지지 않았을 뿐만 아니라 활용사례가 없는 실정이다. 본 논문은 MTS기법의 소개와 적용사례 관하여 고찰해 봄으로써, 국내에도 MTS기법이 많은 분야에 도입 및 적용되어 활성화되는 밑거름이 되고자 한다.

1. 서론

마할라노비스 다구찌 시스템(MTS)은 다구찌 박사의 새로운 철학의 한 분야이다. 일본에서 MTS는 건강관리, 제조업, 소프트웨어, 공공부문 등 각 분야의 패턴 인식 시스템의 모든 형태로 혁명을 일으키며 시작되었다.

이와 같은 일본의 각 기관들은 그들의 기업문화에 새롭고 강력한 MTS 방법을 통합하고 있다. 이 MTS를 도입한 많은 기관들은 놀랄 만한 이익을 달성하였다.

미국의 ASI(American Supplier Institute)에서는 이미 제록스와 델파이 오토모티브 시스템, 과 ITT 산업에 이 기법을 소개하였고, 그 결과 포춘지가 선정한 500대 기업이 관심을 보이고 있다.

ASI는 MTS 기법이 미국의 모든 기업에게 확산되어 미국을 더욱 강력하게 만드는 새로운 기업으로 선구자 역할을 할 수 있도록 하고 있다.

ASI는 이미 미국에 다구찌 기법과 Robust Engineering, TRIZ와 함께 QFD를 소개하였다.

이와 같은 MTS 기법이 미국의 산업에 돌파구 역할을 하는 가장 중요한 이유 중의 하나는 어느 한 분야에 국한되지 않고 다양한 산업 분야에 적용할 수 있다는 것이다.

지금까지 미국에 적용되어 성공된 사업 분야를 보면 건강관리(Health Care), 기계(Mechanical), 전자(Electrical), 화학(Chemical), 우주항공(Space), 소프트웨어(Software), 공공기관(Government) 등 다양하다.

2. 마할라노비스 거리

마할라노비스 거리는 인도의 통계학자 마할라노비스에 의해서 고안된 공간개념의 척도이다. 마할라노비스 박사는 인도에서 발견된 다양한 동물의 뼈가 어느 동물의 뼈인지를 판별하는 좋은 방법이 없을가 생각하여 '마할라노비스의 일반화 분산'의 개념을 제안하였다.

이 기법은 이미 어떤 동물의 뼈인가가 판명되어 있는 집단으로부터 다차원공간(마할라노비스 공간)을 만들고, 그 공간으로부터의 거리로 발굴된 뼈가

그 동물의 것인지 아닌지를 판정하는 것이다.

예를 들어, 인도 코끼리와 벵갈 호랑이 두개골이 나란히 있으면 다른 종류의 뼈라는 것은 아마추어도 쉽게 추정할 수 있다. 왜냐하면 사람은 코끼리와 호랑이에 대한 많은 정보를 가지고 있기 때문에 발견된 두 동물의 뼈가 눈의 폭이 다르고, 코의 위치도 다르고, 머리 위의 곡선도 크게 다르므로 다른 종류의 뼈라는 것을 쉽게 알 수 있다.

이것은 다시 말하자면 사람은 정보를 통하여 각 동물에 대한 패턴을 사전에 인식하고 있다는 것을 의미하는 것인데, 마할라노비스 박사는 이러한 개념과 같이 다차원의 단위 공간을 정의하고, 그 공간으로부터의 패턴의 차이를 보이는 것을 판별할 수 있는 척도인 마할라노비스 거리를 제안하였다.

이와 같은 마할라노비스 거리는 다변량자료 분석의 한 분야로 집단 간의 차이를 식별하는데 사용되며, 여러 개의 서로 상관된 연속변수와 미리 정의된 하나의 집단변수를 가지고 있는 다변량자료를 그 대상으로, 집단 간의 분리 정도에 관한 해석을 한다. 그리고 각 대상을 특정집단에 분류하는데 필요한 적정분류기준의 설정 및 판별변수에 관한 구조 분석, 그리고 이에 다른 분류방법과 관련된 통계적 기법을 총괄적으로 포함한다.

즉 몇 개의 변수에 관하여 집단마다 얻어져 있는 과거의 자료에 의거하여 이 변수들의 값으로부터 개체가 어느 군에 속하는가를 판별하는 방법이다. 이것에 대한 기준을 구하기 위한 정식화에는 몇 가지 방법이 있는데 마할라노비스 거리는 그 중 하나이다.

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

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

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

$$u_1, u_2: \text{표준화변량 } u_1 = \frac{x_1 - \mu_1}{\sigma_1}, u_2 = \frac{x_2 - \mu_2}{\sigma_2}$$

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

3. 다구찌 기법

다구찌 기법은 일본의 다구찌 박사가 구현한 구체적인 제품 최적화 기법으로 다구찌 기법의 기본 이론은 품질개선보다는 제조 비용의 절감이다. 일

반적으로 다구찌 기법을 품질공학이라고도 하지만 엄격히 구분하면 같은 것이 아니다. 품질공학은 다구찌 기법을 위주한 품질을 구현한 일반적인 이론이고, 다구찌 기법은 실험계획상의 직교배열법을 이용한 최적 설계기법으로 철학을 구현시킨 것으로 이해할 수 있다.

다구찌 기법의 가장 큰 특징은 고려해야 할 인자(파라미터)가 많은 경우, 직교배열표를 이용하여 적은 실험횟수를 통한 파라미터 설계를 하여 외부의 잡음에 의한 영향에 둔감한 파라미터를 선택할 수 있다는 것이다. 이 방법은 전통적인 실험계획법에 의한 해석보다 독특한 특징을 가지고 있는데, 먼저 품질을 정의하는 데 있어서 “품질은 제품이 출하된 시점으로부터 성능특성치의 변동(Variance)과 부작용(Harmful side effects)등으로 인하여 사회에 끼친 총 손실(Total loss)”라고 정의하였다.

이때 손실함수(loss function)를 사용하여 특성치의 성능을 평가하였으며, 손실함수는 제품특성의 목표치가 m 이고, 제품의 실적 특성치가 y 인 경우

$$L(y) = k(y - m)^2$$

으로 정의되고, 이 손실함수의 값을 작게 하여줄 때 좋은 품질이 된다. 이러한 손실함수를 도입하여 파라미터 설계를 하는 것이 독특한 특징이라고 할 수 있다.

또한 성능치의 변동에 영향을 주는 인자로서, 제어가 가능한 설계인자와 원인을 찾기 어렵고 제어가 용이하지 않은 모든 인자를 잡음(noise)인자로 나누어서 잡음이라는 개념을 도입한 것이 특징이다.

따라서 다구찌 방법은 SN비라는 개념을 도입하여 잡음에 둔감한 설계를 하도록 하는 것이다.

3.1 인자(파라미터)

다구찌 방법에서 인자(파라미터)는 크게 제어인자와 잡음인자로 분류할 수 있다. 제어인자(설계인자)는 설계자가 그 수준을 결정하고자 하는 인자이며, 잡음인자는 제어하기 어려운 인자로서 오차, 신호, 표시인자 등으로 나누어지며, 그 중 오차인자는 내란, 오란, 불완전 제조와 관계된다.

제어인자는 특성치에 영향을 주리라고 예상되는 인자들을 선택하여 준다. 일단 인자가 선택이 되면 인자의 수준을 결정하게 되는데, 수준은 너무 광범위하게 선택하지 말고, 실험이 보편적으로 수행될 수 있는 수준을 선택하는 것이 관건이다.

3.2 특성치의 분류와 손실함수

다구찌 방법에서 특성치(characteristic value)는 사용자가 실험을 통하여 얻고자 하는 데이터로서 세 가지로 분류하여 사용한다.

- (1) 망목특성 (The nominal the better)
길이 무게 등과 같이 지정된 특정한 목표치가 주어져 있는 경우의 특성치이다.
- (2) 망소특성 (The lower-the-better)
마모, 진동, 불량률 등과 같이 작을수록 좋은 경우의 특성치이다.
- (3) 망대특성 (The higher the better)
강도, 수명, 연료효율 등과 같이 클수록 좋은 경우로의 특성치이다.

이와 같이 원하는 특정치를 적당하게 선택하고 분류하는 것은 파라미터 설계에서 SN비의 오차를 줄일 수 있으므로 방식을 따르는 것이 중요하다. 일반적으로 특성치의 분류에 따라서 손실함수의 정의가 달라지는데, 그림(1)은 특성치에 따른 손실함수를 나타낸 것이다.

특성치의 분류	손실함수[L(y)]
망목특성 (The nominal the better)	$k_1(y - m)^2$
망소특성 (The lower the better)	$k_1 y^2$
망대특성 (The higher the better)	$k_1(y - m)^2$

[표.1] 특성치에 따른 손실함수

3.3 파라미터 설계

다구찌 방법은 본래 품질설계 이론에서 출발하여 품질향상을 목적으로 발전해 왔으며, 시스템 설계, 파라미터 설계와 허용차 설계를 통하여 전체 공정 설계를 하고 있다. 이 가운데 가장 중용한 절차인 파라미터 설계를 통하여 파라미터의 최적화를 이룰 수 있다. 파라미터 설계의 목적은 내부 또는 외부 잡음이 영향하에서도 성능특성치의 분산이 작고, 평균이 목표치에 근접하도록 하는 파라미터 조건을 찾는 것이다. 이때 제어인자의 최적조건에서도 특성치의 성능 변동이 아직 만족할 만한 상태가 아닐 때에는 허용차를 설계를 통하여 성능변동에 큰 영향을 주는 부품 등을 교환시키거나 기타 적절한 조치를 위하여 허용차를 줄여 주게 된다. 파라미터 설계(Parameter design)는 다음의 4가지 사항으로 정리할 수 있다.

- (1) 특성치의 산포를 줄인다.
- (2) 평균치 이동이 목표치에 접근하도록 한다.
- (3) 비용을 최소화시켜야 한다.
- (4) 재현성이 있는 결과가 얻어 졌는지를 확인한다.

3.4 SN비 (Signal to Noise ratio)

SN비는 잡음을 사용하는 다구찌 방법에서 임의의 특성치가 잡음에 둔감한 설계를 하기 위하여 도입한 개념이다. 본래 통신공학에서 사용하는 SN비를 응용하였는데, 여기서 SN비는 신호 대 잡음의 비율(signal to noise ratio)을 의미하는 것으로 신호입력의 힘과 잡음이 주는 영향의 힘의 비율로서 정의된다. 즉 입력과 잡음이 시스템의 결과에 어느 정도의 영향을 주는가를 조사하여 특성치를 분석할 수 있는데 시스템에 가해지는 잡음이 특성치의 변동을 조래하게 되어 결과의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다. 이처럼 다구찌 방법에서는 SN비를 분석하여 파라미터 설계를 하는데, 특성치의 분류에 따라서 SN비의 정의와 전개과정이 다르다. 그러나 가장 큰 SN비를 선택할 때 가장 좋은 파라미터 조건이 된다. [표.2]는 특성치에 따른 SN비를 나타낸 것이다.

특성치의 분류	손실함수[L(y)]

<p>망목특성 (The nominal the better)</p>	$10 \log \left[\frac{\frac{1}{n}(S_m - V)}{V} \right]$
<p>망소특성 (The lower the better)</p>	$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$
<p>망대특성 (The higher the better)</p>	$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$

[표.2] 특성치에 따른 SN비

4. MTS기법

4.1. 도입배경

우리가 잘 아는 바와 같이 개는 죽음을 통해 들리는 주인의 목소리를 알아듣는다. 여기서 확인할 수 있는 분명한 사실은 개는 그 주인의 목소리를 인식하고 있다는 것이다. 우리는 이와 같은 유사한 현상을 주변에서도 흔히 발견할 수 있는데, 예를 들어 그림 애호가들은 많은 화가들이 그린 그림 중에서 빈센트 반 고흐의 그림을 쉽게 알며, 또한 클래식 음악 애호가들도 다른 많은 음악가들로부터 요한 세바스찬 바흐의 음악을 구별할 수 있다.

하지만 오늘날 가장 발달된 컴퓨터를 사용하는 현실에서도 이와 같은 그림, 목소리, 얼굴, 필체, 또는 지문 등을 인식하기 위하여 기계를 사용하는 것은 쉽지 않다.

이처럼 발달된 기계도 쉽게 인식하지 못하는 것을 사람이 인식할 수 있는 이유 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 이 중 첫 번째 이유는 사람의 눈에는 약 9천만 개의 광학 센서가 있기 때문이다. 일반적으로 사람이 한 번 눈을 깜빡일 때 인식할 수 있는 이미지의 수가 400개 정도라고 할 때, 1초에 무려 2억2천 5백만 개의 이미지를 인식할 수 있다. 두 번째 이유는 사람은 많은 양의 정보를 컴퓨터와 같이 기억할 수는 없는 반면 효율적으로 필요한 부분만을 기억하며, 필요 없는 정보의 일부분은 버리기 때문이다.

만일 현재 우리가 사용하고 있는 개인 컴퓨터가 이와 같이 사람이 가지고 있는 패턴을 인식할 수 있는 충분한 능력을 가지고 있는 시스템으로 진화할 수 있다면, 다양한 범위에 이와 같은 능력을 적용할 수 있을 것이다.

4.2. MTS기법의 이해

MTS는 Mahalanobis-Taguchi System으로 ISI(Indian Statistical Institute)를 설립한 유명한 통계학자 마할라노비스 박사와 품질공학(Robust engineering)의 개념을 창시한 다구찌 박사에 의해 만들어진 기법이다. MTS는 새로운 개념이라기 보다는 마할라노비스 박사가 만든 패턴 인식의 하나의 방법인 마할라노비스 거리의 개념에 다구찌 박사의 품질공학의 개념을 접목시킨 개념이라고 할 수 있다.

1930년에 마할라노비스 박사는 의사가 병원을 찾은 환자를 진찰하면서 많은 질병 중에서 환자가 가

지고 있는 질병을 구별해 내는 절차와 같은 서로 다른 그룹에서 하나의 확실한 그룹의 패턴을 인식할 수 있는 구별 방법인 마할라노비스 거리를 만들었다.

초기의 마할라노비스 거리는 고고학에서 많이 사용되었는데, 발굴된 뼈가 어느 동물의 뼈인지를 판별할 수 있도록 다차원 공간(마할라노비스 거리)을 만들어 그 공간으로부터 새로이 발굴된 뼈가 어느 동물의 것인지 판별함으로써, 발굴된 뼈가 인도 코끼리 뼈인지 뱀갈 호랑이의 뼈인지 판별할 수 있었다.

다구찌 박사는 유사한 집단을 정의하고 개별 집단을 측정하는 방법으로 마할라노비스 거리를 소개하였는데, 예를 들어 모든 가용할 수 있는 다차원 공간상에서 마할라노비스 거리를 이용하여 건강한 사람으로부터 건강하지 못한 사람에 이르기까지 개인의 건강상태를 빠른 시간에 측정할 수 있었다.

먼저 인구 중 건강한 사람의 그룹을 만들어 건강한 사람에 대한 데이터를 수집한 후 각 항목별로 측정을 한 후 건강한 사람에 대한 마할라노비스 거리를 구하여 평균값을 계산 하였다. 다음으로 다른 일반적인 그룹에서 선정하여 기준이 되는 마할라노비스 거리를 Zero 포인트로 하여 점진적으로 변화하는 거리를 측정하여 환자의 건강상태를 측정할 수 있었다.

만일 의사가 여러 환자의 질병에 대한 판단 기준에 대하여 마할라노비스 거리의 측정 결과에 동의한다면 이 값은 개인의 건강정도를 측정하는 방법으로 사용할 수 있게 된다.

다구찌 박사는 MTS기법을 통하여 의사의 판단 기준에 대한 마할라노비스 거리의 정확한 측정에서 가장 중요한 측정의 방법으로 SN비(Signal-to-Noise)방법을 제시하였다. 또한 마할라노비스 거리를 측정하기 위하여 참조 그룹을 선별하는데 파라메타 설계는 시스템적인 과정을 제공한다고 하였으며, 많은 파라미터를 선별하는데 직교배열과 SN비를 사용할 경우 효과적으로 선별할 수 있다고 제안하였다.

마할라노비스 거리는 여러 가지 패턴 인식 방법 중에 한 가지이지만, SN비를 사용함으로써 정확한 마할라노비스 거리를 측정할 수 있으므로 보다 많은 분야에 활용될 수 있을 것이다.

4.3. MTS 기법의 추진 방법론

MTS는 정보 시스템의 디자인으로 3가지 전략적인 방법으로 이루어져 있다.

첫째, 마할라노비스 거리를 사용하여 다차원 공간상에서 우리의 관심이 대상이 되는 하나의 부분 그룹을 선별하여 선별된 그룹으로부터 다른 여러 그룹의 거리를 계산할 수 있는 방법을 제시한다.

둘째, 많은 파라미터 즉, 관심이 대상이 되는 그룹의 데이터에 대한 마할라노비스 거리 측정에 있어서 효율적이고 정확한 측정방법으로 SN비를 사용한다.

셋째, 직교성을 갖는 SN비를 향상시키기 위한 정보의 모든 요소를 최적화 시킨다.

MTS는 마할라노비스 거리에 다구찌 박사의 SN비의 개념이 도입된 새로운 접근 방법으로 다양한 분야에 적용할 수 있다. 기본적으로 MTS는 다차원 공간으로부터 우리가 알고자 하는 특정 패턴을 인식하기 위하여 사용하는 측정방법인 동시에 평가도구이다. MTS에서 가장 중요한 개념은 측정에 있어

서 SN비 측정 방법이 사용되어 측정에 있어서의 품질의 향상을 가져올 수 있다는 것이다.

4.4. MTS의 핵심

MTS는 기본적으로 측정대상의 척도와 관계가 있다. 측정이라는 것은 원래의 집단과 그것을 나타내는 척도의 2가지 요구사항이 필요하다. MTS에서는 이러한 측정의 척도로 마할라노비스 거리를 사용한다.

측정에 있어서 가장 이상적인 것은 측정값이 참값에 근접하는 것인데, MTS에서는 정확한 측정을 위해서 동적인 SN비를 사용한다. 여기서 MTS에 동적 SN비를 적용하였을 때, SN비의 상호작용은 잘못판단 할 오차분산으로 이해할 수 있다. MTS에서는 제1종 과오(α), 제2종 과오(β) 또는 카이스퀘어 분포 분포의 적용 보다는 동적 SN비를 한다. 또한 이산형 데이터보다는 연속형 데이터의 마할라노비스 거리를 사용한다.

일반적으로 MTS에서 SN비를 사용하는 이유는 2가지로 정리할 수 있는데, 첫째, 사용의 편리성에 있다. 이것은 MTS를 보다 쉽게 계산을 할 수 있으며, 이해하기가 쉽기 때문이다.

둘째, 참값을 계산하기 위해서 필요하다. 많은 경우에서 SN비의 적용은 알려지지 않았지만 참값을 계산하기 위해서는 동적 SN비의 계산을 하는 것이 효율적이라는 것이 입증되었다..

5. MTS 기법의 적용분야

MTS는 일반적으로 크게 두 분야에 적용할 수 있다. 첫 번째 분야는 관심이 대상이 되는 사항에 대한 판별 및 진단 분야이고, 두 번째 분야는 판별 및 진단을 토대로 한 예측 분야이다. 다음은 MTS 기법이 적용될 수 있는 분야이다.

5.1. 환자 진단

MTS는 일반적인 의학의 진단 분야에서 활용할 수 있는데, 여기서 의사의 진단은 여러 번의 검사를 실시한 의사의 경험에서 비롯된다. 일반적으로 진단을 하기 위해서는 많은 진단항목이 존재하게 되는데, 종합적인 진단 결과는 여러 가지 진단 항목의 결과로 나타난다.

여기서 진단 결과로 나타난 여러 가지 항목들은 독립적으로 나타나는 것이 아니라 많은 진단 항목들이 서로 상관관계를 가지고 있게 된다. 따라서 MTS를 적용할 경우 마할라노비스 거리를 구하기 위한 건강한 사람들의 그룹에 대한 검사 결과들을 상관관계를 고려하여 선별한다. 이와 같은 접근방법은 다른 모든 진단항목에도 사용할 수 있으며, 환자를 회복시키기 위하여 필요한 시간을 예측할 수도 있다.

아마도 MTS를 가장 보편적으로 적용할 수 있는 분야가 의학 연구 분야와 의학 진단 분야일 것이다. 예를 들어 신약을 개발의 경우 신약 효과를 입증하기 위해 실험의 대상되는 것을 모르는 대조 실험의 대상이 되는 두 그룹의 비교실험을 통하여 효과를 입증한다. 여기서 하나의 그룹에는 신약을 주입하고, 다른 그룹에게는 신약과 상관없는 인체에 무해한 약을 주입한다.

이와 같은 실험 방법은 많은 수의 사람들이 필요하게 되며, 실험 대상으로 사람이 아닌 동물을 사용하는 것이 일반적으로 실제 사람을 대상으로 하

는 실험에 동일한 결과가 나타나리라는 확신이 부족하다. MTS는 신약 개발과정에서 신약의 효과를 예측할 수 있으며, 단지 짧은 시간에 쉽게 새로운 방법을 개발하는 과정에 변화를 가져올 것이다.

5.2. 제조

패턴 인식은 제조업에도 폭넓게 사용되고 있다. 예를 들어 많은 검사업무에 종사하는 작업자들은 제품의 상태나 시험의 결과를 육안으로 판단한다. 하지만 현실적으로 대량생산의 경우에는 샘플링 검사를 실시하고 있지만 검사업무에 어려움이 있으며, 정확한 검사에 따르는 많은 비용이 발생하고 있는 것이 현실이다. 또한 라인에서 생산된 제품의 결함이 소량인 경우는 별로 없다. 여기에 MTS의 적용으로 작업자는 검사 빈도를 낮출 수 있으며, 보통 시간당 300개의 정도의 검사를 실시하므로 불량제품을 쉽게 판별할 수 있으며, 또한 정확한 검사를 실시할 수 있다. 현재 기계, 전기 분야에서 많은 성공사례가 연구 중에 있으며, 최근 화학분야에서 그 적용사례가 보고되고 있다.

5.3. 화재 경보

최근 국제적으로 호텔이나 공공건물에 화재 경보 시스템을 설치가 의무화 되었다. 아마 대다수의 사람들이 화재가 발생하지 않았지만 화재 경보기가 발생하여 혼란을 경험한 적이 있을 것이다. 그 이유는 화재시 발생하는 연기 외에도 담배연기나 음식물 조리에 발생하는 연기도 화재 경보기가 민감하게 작동하기 때문이다.

하지만 현재의 발달된 화재 경보시스템은 화재와 상관없는 온도나 일상적으로 발생하는 연기의 모든 상황에 대한 참조 그룹을 기준으로 마할라노비스의 거리에 근거한 데이터를 포함하고 있어 정확한 화재 경보시스템의 역할을 하고 있다.

5.4. 지진 예측

일반적으로 지진이 발생할 경우 어떠한 데이터를 어떻게 수집해야 하는지 아는 것은 어렵다. 하지만 앞으로 지진이 발생할 경우를 예측하기 위해서는 적절한 데이터 수집 방법의 개발은 반드시 필요하다.

예를 들어 지진이 발생하면 지진 발생 시점부터 지진이 발생 후의 시간 상황을 예측을 하지만 책상 밑에 숨는 다진가 가스밸브를 잠그는 등 몇 가지 단편적인 예방차원의 지침이 전부일 뿐 실용적인 방법이 전혀 없는 것이 현실이다.

일단 지진이 발생하면 발생 시점부터 24시간에서 48시간까지 지진 상황을 예측해야 되며, 이 때, 우리는 수집한 데이터들이 정규분포의 특성을 갖는 MTS를 알아야만 한다.

예를 들어 의학에서 진단에서 사용되는 데이터는 건강한 사람들의 집단에서 수집한다. 그리고 화재 경보 시스템에 사용되는 데이터 역시 화재가 발생하지 않은 일상 상황에서 데이터를 수집한다.

이와 마찬가지로 지진 발생의 경우도 지진이 발생하지 않은 일상적인 상황을 참조 그룹으로 하여 데이터를 수집해야만 한다. 이를 위해서 기상 관측소는 매년 동안 지진계로부터 측정된 기록을 보관해야 해야 하며, 마할라노비스 공간을 구하기 위하여 지진이 발생하지 않은 48시간 동안의 데이터를 수집한다. 그리고 나서 지진이 발생한 48시간 동안

의 데이터를 수집하고, 마할라노비스 거리 비교를 통하여 미래의 지진 상황을 예측해야 한다.

5.5 기상예측

MTS는 기상예측에도 사용이 되는데, MTS는 기존의 기상 예측 방법의 정확도를 높이는데 기여하며, 기상예측에서 정확하지 않은 정보를 줄이고, 기상예측에 관련된 모든 정보를 간단히 정리할 수 있는 접근 방법을 제공한다.

5.6. 차량 충돌 예방 시스템

최근 자동차 제조업자들은 운전 중에 위험요소를 발견할 수 있는 센서를 개발하고 있다. 대표적인 것이 충돌 시 충격을 최소화하고 운전자를 안전하게 할 수 있는 에어백 시스템이다. 일반적으로 에어백은 차량 충돌 시 작동하게 되는데, 충돌 시에 작동하지 않는 경우와 반대로 간단한 충돌 시에도 작동하는 경우가 빈번히 발생한다. 이 때 MTS를 적용한 에어백 시스템은 이러한 경우 마할라노비스 공간을 구성하기 위하여 1초에 수천 번 간격으로 자동차의 엑셀을 통하여 시간 마다 기록된다.

이와 같은 데이터들은 극한 도로 상황에서 운전과 급 가속, 급 정차 등 다양한 운전조건과 운전자의 운전 습관을 기록한 것으로 마할라노비스 공간을 구성하는 정보가 된다.

컴퓨터를 사용하는 MTS 에어백 시스템은 끊임 없이 마할라노비스 거리를 계산하며, 예상한 계산값 보다 수치가 높게 나타나게 될 경우 이 시스템은 차량이 충돌하기 전에 신호를 보냄으로써 에어백을 작동하게 한다. 이에 대한 연구는 이미 보고된 바 있다.

5.7. 비즈니스 영역

미래에 대한 예측은 패턴 인식의 중요한 영역의 하나이다. 예를 들어 은행이나 신용 카드 회사와 같은 비즈니스 분야의 경우는 대출현황과 신청서에 근거한 신용 카드 승인 또는 다른 신용카드 회사부터의 공유한 정보 등을 토대로 고객에 관련된 사항을 예측한다. 여기서 마할라노비스 공간을 구성함으로써 우량고객에 대한 성향을 예측할 수 있으며, 신용상태가 좋은 신청자들과 신용상태가 좋지 못한 고객을 예측할 수도 있다.

5.8. 기타 영역

MTS는 위에서 기술한 분야 이외에도 지문인식, 필적 분석, 음성 인식 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 이미 마켓 시장에서는 이와 같은 제품들이 출시되었고, 점차 그 오류도 줄고 있다. 여기에 마할라노비스 공간의 사용은 정확도를 높일 수 있는 방법을 제시함과 동시에 시간을 절감할 수 있는 중요한 역할을 제공한다.

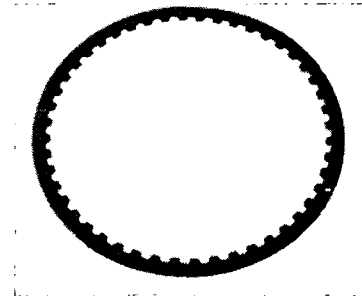
6. MTS 기법의 적용 사례

6.1 자동차 클러치 디스크 결함 사례

자동차에 사용된 클러치 디스크는 다양한 토크의 변형된 요구사항에 따라 다른 형상과 지름을 가지고 있다. [그림.1]은 하나의 예이다.

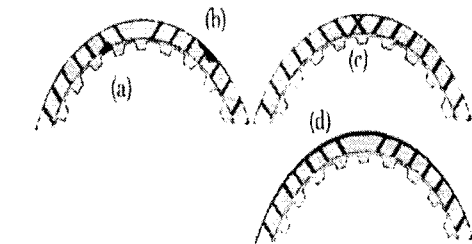
일반적으로 클러치 디스크는 자동차의 주행과 운전자의 안전에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 엄격한 품질을 요구된다. 그러므로 클러치 디스크에 있

어서 완제품에 대한 검사가 차지하는 비중은 매우 크다고 할 수 있다.



[그림.1] 자동차 클러치 디스크의 예

[그림.2]는 불량 클러치 디스크의 일반적인 유형으로 (a) 이물질 삽입, (b) 표면 마모, (c) 형태 이상, (d) 재질 이상을 나타낸다.

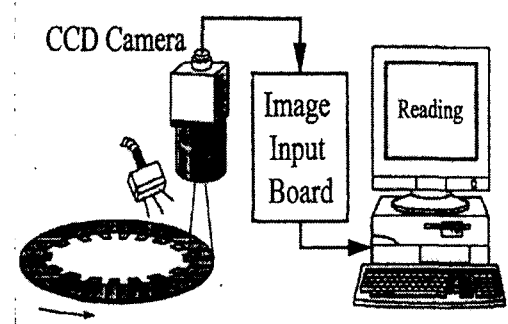


[그림.3] 불량 클러치 디스크 유형

자동차 클러치의 디스크의 외관검사는 자동화가 필수적인데 이와 같은 자동화 설비를 이용한 검사는 다양한 정보를 요약할 수 있는 시스템이어야 한다.

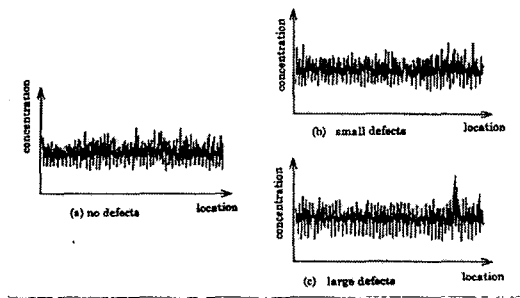
자동화설비를 이용한 검사는 사람에 의한 검사의 경우와 같이 매번 다른 품질 특성값을 측정되지 않고, 매번 같은 특성값을 측정할 수 있다.

이와 같은 측정값(패턴)은 클러치가 지속적으로 회전하는 동안 측정되며, [그림.3]과 같이 CCD(Charge Coupled Device)카메라가 계속하여 사진을 찍는다. 다음으로 각각의 측정값(패턴)은 이미지화하여 개인 컴퓨터에 보관되며, 임의대로 측정된 이미지를 선택할 수 있다.



[그림.3] 자동 검사 시스템

여기서 검사자는 선택된 이미지를 통하여 세밀한 정보를 얻을 수 있게 되는데, [그림.4]는 이와 같은 검사를 통하여 얻어진 제품의 패턴이다.



[그림.4] 검사결과 패턴의 예

여기서 가로좌표는 회전 위치, 세로좌표는 세밀한 특정한 현상을 나타내며, (a)는 결함이 없는 안정된 제품의 패턴 (b)는 이물질이 포함된 경미한 불량량의 패턴 (c)는 마모가 된 중대한 불량량의 패턴을 나타낸다. 비록 제품에 불량이 없는 안정된 패턴으로부터 중대한 불량량이 있는 패턴까지 편차가 존재하지만 사람의 눈으로는 그 미세한 차이를 인식할 수 없다. 검사의 중요한 목적은 외관으로 확실하게 구분할 수 있는 명확한 편차와 구분할 수 없는 내재된 편차 모두 인식할 수 있어야 한다.

이와 같은 미세한 차이를 인식하기 위해서 다루어 박사는 잡음인자의 개념으로 이상이 있는 특성치와 전체적인 특성치의 개념도입을 제안하였고, 기존의 4가지 불량 클러치 유형에 2가지 특성치를 추가적으로 사용하여 분석을 실시하였다.

이 연구에서는 일반적인 클러치 디스크에서 이미지를 보기 위하여 결함이 없는 1000개의 클러치 디스크에서 데이터를 수집하였고, 이 데이터를 통하여 36가지의 웨이브 패턴을 도출하였다. 다음으로 도출한 36가지의 웨이브 패턴을 40개의 평행선(구분단위)으로 나타내었으며, 기존의 4가지 불량 클러치 유형과 이상치와 전체 특성치의 2가지 유형을 통하여 총 240(40×6)개의 특성치로 나타내었다.

여기서 예비실험을 통하여 얻은 결과를 가지고 240개의 특성치에서 160개의 특성치를 선정하였다.

6.1.2. MTS 기법 적용 절차

여기서 구체적인 데이터는 업체 특성상 제시하지 못하였고, MTS 기법을 이해하기 위한 일반적인 절차를 기술하였다.

① 데이터 수집

정상적인 제품 1,000개에서 160개 특성치에 대한 데이터를 수집한다.

[표.3]은 수집한 특성치의 데이터를 나타낸 것으로 이 테이블에서 행의 수 정상적인 제품 수, 열의 수는 특성치를 나타낸다.

특성	Y_1	Y_2	...	Y_{160}
1	$Y_{1,1}$	$Y_{2,1}$	...	$Y_{160,1}$
...
1000	$Y_{1,1000}$	$Y_{2,1000}$	...	$Y_{160,1000}$
합계	Y_1	Y_2	...	Y_{160}
평균	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	...	\bar{Y}_{160}
표준편차	σ_1	σ_2	...	σ_{160}

[표.3] 특성치 데이터

② 데이터의 표준화

[표.1]에서의 160개의 특성치는 다른 척도를 가지고 있으므로 동일한 척도에서 비교를 하기 위해서는 표준화를 해야 한다. [표.4]는 표준화한 데이터를 나타낸다.

$$y_{ij} = \frac{(Y_{ij} - \bar{Y}_i)}{\sigma_i}$$

특성	y_1	y_2	...	y_{160}
1	$y_{1,1}$	$y_{2,1}$	...	$y_{160,1}$
2	$y_{1,2}$	$y_{2,2}$	...	$y_{160,2}$
...
1000	$y_{1,1000}$	...	...	$y_{160,1000}$

[표.4] 표준화된 데이터

③ 상관 매트릭스의 구성

표준화된 데이터인 [표.2]로부터 다음 수식에 의거하여 각 특성치에 대한 상관계수(r_{ij})를 구한 후 상관 매트릭스로 나타낸다.

$$r_{ij} = \frac{(\sum y_{il} \times y_{jl})}{n} \quad (l=1, \dots, n)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \dots & r_{ik} \\ r_{21} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

여기서, k는 특성치의 수로 160개이다.

④ R에 대한 역함수 매트릭스 계산

상관 매트릭스로 R부터 역함수 매트릭스를 구하고, A 또는 R^{-1} 로 표시한다.

$$A = R^{-1} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & \dots & a_{kk} \end{bmatrix}$$

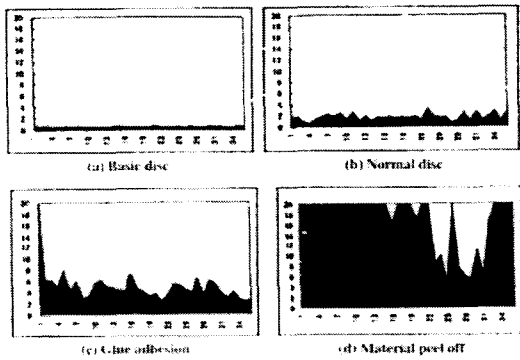
⑤ 마할라노비스 거리

마할라노비스 거리는 다음의 수식에 의하여 계산하고, D^2 로 표시하며, 이렇게 계산된 D^2 값으로 마할라노비스 공간을 구하게 된다.

여기서 D^2 값의 평균은 1이며, 만일 참조 데이터로부터 클러치 디스크의 평균이 다르다면, 마할라노비스 거리는 매우 커지게 된다.

$$D^2 = \sum a_{ij} y_i y_j / k$$

[그림.5]는 (a), (b), (c), (d)의 4가지 결과의 예를 나타낸 것으로 각 각의 그림은 36개의 웨이브로부터 36개의 마할라노비스 거리를 나타낸 것이다. 여기서 가로좌표는 위치이며, 세로좌표는 마할라노비스 거리를 의미한다.



[그림.5] 인식결과에 예

먼저 (a)의 경우를 살펴보면 (a)는 기본적인 경우로 마할라노비스 거리가 극히 작다는 것을 알 수 있는데, 이것은 정상적인 기본 클러치 디스크라는 것을 의미한다. (b)는 마할라노비스 거리가 2보다 작은 경우로 결함이 적은 클러치 디스크임을 의미하며. (c)는 마할라노비스 거리가 4보다 크며 표면에 이물질이 삽입된 불량 클러치 디스크임을 의미한다. (d)는 치명적인 중대한 결함을 가진 불량 클러치 디스크로 이때의 마할라노비스 거리는 매우 크다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 마할라노비스 거리 값은 정상적인 경우에는 그 값이 작게 나타나고, 비정상적인 경우에는 매우 크게 나타나기 때문에 마할라노비스 거리 값이 정상적인 경우를 따르는 경우인지 그렇지 않은 경우인지 판단할 수 있는 기준 값을 선택해야 한다. 만일 기준 값을 너무 크게 선택하면 비정상적인 즉 불량품을 정상적인 양품으로 판단할 오류가 커지게 되며, 반대로 너무 기준 값은 작게 선택하면 정상적인 양품을 비정상적인 불량품으로 판단하는 오류가 커지게 된다.

일반적인 경우 판단 기준점은 마할라노비스 거리

가 2이하이면 정상 범위 안에 있는 것으로 판정하고, 10보다 크면 이상이 있는 집단으로 분류한다.

⑥ 특성치의 최적화

결과에 영향을 미치지 않는 측정 항목 수를 줄이기 위하여 SN비를 사용하여 특성치를 줄인 후 선별된 특성치를 최적화 시킨다.

이 연구에서는 정상적인 클러치 디스크를 측정하기 위하여 사전 실험을 통하여 240개의 특성치 중에서 160개의 특성치를 선별 한 후, 선별된 160개의 특성치 중 40개의 중요 특성치를 선정하였다.

다음으로 이렇게 선정된 40개의 특성치를 L_{64} 직교배열표를 이용한 실험을 통하여 결과에 영향을 미치지 않는 특성치를 제거하였다.

[실험 1]

첫 번째 그룹에서 40개의 특성치를 L_{64} 직교배열표로 구성한 후 다음으로 각 특성치를 사용하는 경우(실험하는 경우)와 사용 하지 않는 경우(실험하지 않는 경우)로 나누어 사용하는 경우를 Level 1, 사용하지 않는 경우를 Level 2로 정의하여 실험을 실시하였다. 여기서 나머지 80개 특성치는 40개의 특성치들과 함께 반복 실험하였다.

여기서 [그림.6]은 L_{64} 각 각의 SN비를 계산한 직교배열표를 나타내며, [그림.7]은 각 각의 특성치 중 주효과를 나타낸 것이다.

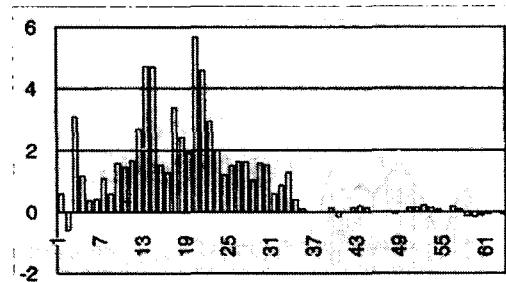
이 결과로부터 영향을 미치는 특성치를 선별하였으며, 나머지 영향을 미치지 않는 20개의 특성치를 제거하였다.

[실험 2]와 [실험 3]

동일한 방법으로 두 번째 그룹과 3번째 그룹에서 결과에 영향을 미치지 않는 특성치를 각각 20개를 선별하여 제거하였다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	SN
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.54
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.63
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.98
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.04
5	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	...	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.2
6	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.3
...
54	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2.11
55	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2.12
56	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2.68
57	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2.21
58	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2.15
59	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2.22
60	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2.16
61	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	3	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2.15
62	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2.11
63	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2.17
64	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	...	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2.14

[그림.6] L_{64} 직교배열표와 SN비

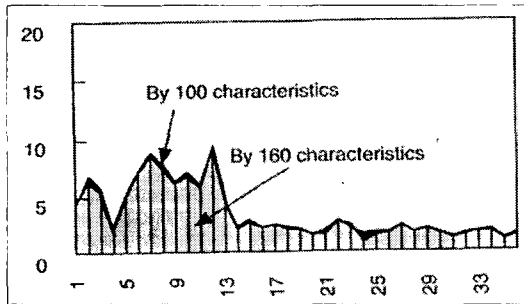


[그림.7] 주 효과

6.1.3. 실험결과

다구찌 박사는 L_{64} 직교배열표를 통하여 160개 특성치를 100개 특성치로 총 특성치의 수를 줄일 수 있었다. 먼저, 중요한 특성치 40개를 선정하였으며, 실험 첫 번째 실험으로 통하여 20개의 특성치, 두 번째와 세 번째 실험에서 각각 20개의 특성치를 제거하였다.

다음 [그림.8] 특성치를 160개 사용하였을 경우와 100개의 사용하였을 경우의 비교표인데, 이 경우를 살펴보면 100개의 특성치를 사용하였을 경우도 160개의 특성치를 사용하였을 경우와 마찬가지로 동일한 선별능력을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.



[그림.8] 특성치 제거 전·후 비교

이와 같이 MTS 기법을 사용함으로써 패턴을 인식하는데 정규집단 뿐만 아니라 비정규집단의 검사에서도 보다 효과적으로 적용할 수 있다는 것(SN비의 활용)을 확인하였으며, 또한 직교배열실험을 실시함으로써 특성치를 줄일 수 있었다.

현실적인 검사 프로세스에서는 사람이 직접 검사하는 것이 오류를 최대한 줄일 수 있는 방법이다. 하지만 사람이 직접 검사할 수 없는 경우 MTS 방법은 검사 시간을 최대한 줄임과 동시에 정확한 검사방법을 제공한다.

6.2 건강 진단 사례

1980년대 초반에 동경 테이신 병원의 내과부장이 된 가네다카 박사와 공동으로 행한 응용연구가 있다. 가네다카 박사는 도쿄 테이신 병원에서 매년 행하고 있는 건강진단에서 3년간 연속해서 건강하다고 판단된 2백 명을 뽑아서 건강인 집단으로서의 마할라노비스 공간의 데이터베이스를 얻었다. 항목은 TG, TCh 등 16개의 생화학 검사항목에 연령과 성별을 덧붙인 18항목이었다. 후에 겹치는 항목 제외하여 17항목으로 단위공간을 만들어서, 실수가 적은 계측법으로 개량 했다. 다음에는 건강 진단하기 위해 방문한 95명의 데이터에서 현행 진단법과 마할라노비스의 거리에 의한 방법으로 진단을 수행했다. 그리고 정밀검사를 행하고 나서 그 실수를 비교한 것이었다.

이 진단결과로 실수가 두 종류 있다. 정상적인 사람을 정상적이지 않다고 판단해 버리는 실수와 정상이 아닌 사람을 정상이라고 판단해버리는 실수이다. 결과는 [표.5]에 제시된 것처럼 정상임에도 불구하고 이상이라고 판단되어 그 후의 정밀검사에서 정상이라고 판단된 사람이 현행 진단법의 51인에 비해서, MTS법을 사용한 진단에서는 16인이었다. 반대로 정상이라고 판단했지만 이상이 있었던 사람은 어느 쪽이나 한 사람 있었다. 이상한 것을

못보고 빠뜨려 버린 한 사람은 꽤 경미한 간 질환이었다. 17항목으로 단위공간을 다시 만들었을 때, 실제 이상 있는 환자를 정상으로 판단할 실수도 없어졌다.

MTS법에 의한 진단에서는 마할라노비스의 거리로 경증인지 중증인지 등의 정도는 한 사람 한 사람에 대해서 구할 수 있다. 실은, 그것이 MTS법의 진정한 목적이다. 가네다카 박사에 의하면, 간 경화 환자는 가벼운 증상의 사람은 10이상의 거리가 되고, 무거운 증상의 사람은 10 이상의 거리가 된다. 이 거리를 치료에 이용한다. 거리가 50인 사람이 다음 달의 검사결과 45가 되면 한 달에 10%의 비율로 정상에 가까워지고 있는 것이 된다. 현재의 치료를 계속하면 10개월 있으면 완치된다고 예측할 수 있다. 반대로 거리 50인 사람이 다음 달에 55가 된다면 악화를 방지하는 더 농후한 치료로 치료법을 바꿔야 한다.

	현행 진단법			MTS 법			
	진단결과		계	진단결과		계	
	정상	이상		정상	이상		
실제 정상	28	51	79	실제 정상	63	16	79
실제 이상	1	15	16	실제 이상	1	15	16
계	29	66	95	계	64	31	95

[표.5] 현행진단법과 MTS법의 판단력의 비교

7. 결론

MTS 법의 응용 범위는 넓다. 경제예측이나 기업진단에도 MTS법이 응용될 수 있다. 예를 들면, 세계의 금융기관 중에서 건전한 금융기관을 모아서 마할라노비스 공간을 만들고, 각 금융기관의 마할라노비스 거리를 계산하여 건전도를 평가하는 것이 가능하다. 현재 일본에선 품질공학회를 중심으로 개인별 사인 위조, 음성 패턴의 인식, 위조지폐의 판별 등 선구적인 연구가 최근에 활발하게 진행되고 있다. 어느 경우에도 전문가가 계측항목들의 선택과 단위공간을 정의하는 것이다. MTS 기법을 수행하는 컴퓨터 소프트가 이미 개발되어 다구찌 박사가 사장으로 있는 오켄사에서 판매되고 있다.

MTS법은 기술자의 연구 방법을 지금까지 불량품에서 문제점을 찾는 인과관계, 회귀관계로 연구해왔으나, 생각을 바꿔 양품을 먼저 계산하는 방법이다. 즉 화재연구를 하고 싶으면 화재가 아닌 때의 항목들의 분포를 연구하는 것이다. 화재가 아닌 때의 데이터로부터 마할라노비스 공간을 만든다.

MTS법은 불량품 집단은 대체적으로 남아있지 않으나 양품들은 상당히 남아있기 때문에, 이 남은 집단에서 마할라노비스 공간을 만들고 거기에 개개의 불량품 거리를 측정하는 아이디어이다.

다차원공간의 종합 계측법으로 MTS법은 많은 가능성을 내포하고 있으며, MTS법은 우리나라에서도 적용할 분야가 많다. 앞으로 많은 활용이 기대된다.

[참고문헌]

- [1] 이상복(2003), 알기 쉬운 다구치 기법 3판, 상조사
- [2] 이상복(2002), 미니탭을 이용한 다구치 기법 활용, 이레테크
- [3] Genichi Taguchi & Subir Chowdhury & Yuin Wu(2000), The Mahalanobis-Taguchi System, John Wiley & Sons
- [4] Genichi Taguchi & Rajesh Jugulum(2002), The Mahalanobis-Taguchi Strategy: A Pattern Technology System, John Wiley & Sons