



다구찌 技法 利用으로 品質改善

Quality Improvement Using Taguchi Method



글 | 李 基 榮

(Lee, Ki Young)

품질관리기술사,

안양과학대 겸임교수,

현대경영혁신 기술사사무소 소장.

E-mail: sirving@shinbiro.com

Taguchi developed and provided various independent methods for actual application in design of experiments.

Taguchi method is described in philosophy, method and others related to quality management.

This thesis is one of case studies for improving the bond strength of epoxy resin by Taguchi method which is applied as a optimum developing tool in six sigma management revolution in many companies.

1. 다구찌 Method의 意義

다구찌 Method(Quality Engineering)는 실험계획법의 실용 면에서 여러 가지 獨自的인 수법을 開發하여 普及한 日本의 다구찌 겐이지(田口玄一) 박사의 品質經營에 관한 일련의 哲學, 手法 등을 지칭한 것이다.

다구찌 Method는 設計·開發 단계에서 適用하는 엔지니어링 技術(Engineering technology)로서 從來의 傳統的인 品質管理方法과 比較하여 品質向上에 關한 새로운 接近方法으로 최근 들어 工程의 管理 및 品質의 改善分野에서 관심의 대상이 되고 있는 분야이다. 이 방법은 品質에 대한 새로운 觀點, 損失函數, SN비 概念의 導入으로 品質을 개선시킬 수 있는 方法論을 提示하며, 제품 및 公정의 설계에 있어서도 直交配列表와 같은 實驗計劃法의 방법 등을

사용함으로써 많은 設計案 중에서 最適의 代案을 쉽게 찾을 수 있도록 해 준다. 또한, 요즘은 여러 기업에서 추진 중인 6시그마 經營革新活動에서 最適의 개선 Tool로서 活用되고 있다.

이하, 다구찌 방법의 基本概念, 파라메타설계 및 適用事例에 대하여 설명하고자 한다.

2. 品質의 定義

다구찌는 품질이란 “제품이 출하된 시점으로부터 性能特性値의 변동과 부작용 등으로 인하여 사회에 끼친 總損失” 이라고 새롭게 정의하였다.

기존의 품질개념과 비교해 보면 다구찌의 정의는 獨特한 면이 있다. 그는 품질을 제품이 사회에 끼친 總損失로 정의하여 金額으로 평가하고 있다. 즉, 최고의 품질은 사회에 끼친 損失金額이 없으며, 나쁜 品質의 製品은 損失金額이 커지게



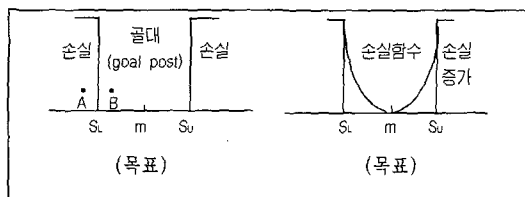
된다. 이 정의에 바탕을 두고 각 제품에 대한 損失函數(Loss Function)가 정의된다. 다구찌 방법에서 品質經營活動이란 이러한 社會的인 損失을 最小化해서 社會에 純利益을 보다 많이 가져올 수 있는 革新的인 기술을 찾아내고 適用하는 것이라고 할 수 있다.

3. 損失函數(Loss Function)

다구찌는 제품의 性能變動에 따른 社會의 손실은 性能特性値와 目標값과의 차이의 제곱에 근사해서 비례한다고 본다. 즉 전통적인 概念의 손실은 제품이 規格(Su:規格上限, Sl:規格下限) 內에 있으면 손실이 없다고 보는데 다구찌의 손실함수는 제품이 규격 내에 있더라도 목표치 m 로부터 떨어지면 떨어질수록 <그림 3-1>과 같이 손실이 2차함수로 증가한다고 본다. 제품의 實質特性値가 y 인 경우에는 손실함수가 다음과 같이 정의된다.

$$L(y) = k(y-m)^2, \text{ 여기서 } k \text{는 상수이다.}$$

좋은 품질의 제품이란 바로 이러한 손실함수의 값을 작게 해 주는 제품이다. 다구찌는 設計段階에서 이 손실함수에 근거하여 정의된 SN비(Signal-to-Noise Ratio)를 특성치로 하여 실험을 수행하고 기존의 통계적 분석을 통해 因子들의 최적조건을 찾는 방법을 제시하였다.



<그림 3-1> 전통적인 방법과 손실함수

4. SN比와 파라미터 設計

4.1 SN比(Signal-to-Noise Ratio)

강건 설계(Robust design)라고도 말하는 파라미터 설계는 목표 값에 가까우면서도 가급적 품질 변동의 요인인 잡음(Noise)의 영향이 최소가 될 수 있도록 수준들의 조합을 선택함을 말한다. 따라서 이를 달성하기 위해서는 품질특성치 分布의 평균과 散布정도를 동시에 측정할 수 있는 尺度가 필요하다. 물론, 정확히 품질특성치의 평균과 산포를 알 수 없으므로 그에 대한 추정치를 이용한 척도를 정의하여 사용하면 될 것이다. 이러한 척도를 品質特性値로 삼아 母數의 최적 수준을 결정한다면 잡음의 영향을 최소화하면서 목표 값에 가깝게 만들 수 있는 모수의 수준을 선택했다고 할 수 있다. 이를 위한 하나의 척도가 다구찌가 제안한 SN비이다.

4.2 파라미터 설계를 위한 실험절차

성능특성치에 영향을 미치는 因子에는 설계 파라미터와 雜音源(Noise)이 있을 수 있고 이때 실험의 목적은 잡음요인의 영향을 최소화하면서 품질특성치가 목표치에 근접하게 되는 인자수준의 조합을 실험을 통해 구해 내고자 하는 것이다. 일반적으로 파라미터 설계를 위한 실험은 다음과 같은 절차에 따라 수행한다.

- ① 실험의 선정 ; 실험의 동기, 배경을 상세히 알아보고 실험의 목적에 맞는 실험테마를 선정한다.
- ② 특성치와 인자의 선택 ; 실험목적에 알맞은 특성치와 특성치에 영향을 주리라 예상되는 인자를 선택한다. 즉, 파라미터 설계시 결정해 주어야 하는 설계변수를 정한다. 인자의 선택을 위해서 특성요인도(Cause-and-effect Diagram), 연관도(Relation Diagram), 공정도(Process chart) 등을 이용한다. 특히 인자를 도출할 때는 BS



(Brain storming)법에 의한 현장작업자 및 관리자의 의견을 존중해야 한다.

③ 인자의 수준과 실험반복수 선택 : 제어인자와 잠음인자를 구분하고, 또한 그 수준을 결정하며, 실험비용, 요구되는 실험결과와 정확도 등을 고려하여 반복 수를 결정한다.

④ 실험의 배치 : 적절한 실험배치법을 선택하여 인자를 배치한다.

인자수와 수준수가 적은 경우에는 요인배치법(Factorial Design)을 사용할 수 있겠으나 일반적으로는 직교배열표(Table of Orthogonal Array)를 이용한 일부실험법을 실시한다.

실험의 배치는 制御因子는 内側配列(Inner Array)에 雜音因子는 外側配列(Outer Array)에 배치하는 交叉配列(Product Array)의 형태로 배치한다.

⑤ 실험실시 : 실험계획대로 실험을 실시한다.

⑥ 데이터 분석: 실험 후 얻어진 특성 치로부터 SN비를 구하고 SN비를 이용한 分散分析, 그래프분석, 回歸分析, 추정과 검정 등을 통하여 분석을 실시한다.

⑦ 설계 파라미터의 最適水準決定 : 분석을 통하여 파라미터들의 최적수준(SN비 값을 가장 크게 하는 파라미터의 값)을 결정한다.

⑧ 再現性 실험 : 최적조합조건하에서 실제로 재현성이 있는가를 확인 실험하여 ⑥에서 실시한 예측치와 비교 검토한다.

⑨ 허용차 설계 : 최적 조합 조건하에서 확인 실험한 데이터가 재현성이 없거나 예상목표에 미달하면 허용차 설계를 실시한다.

⑩ 효과파악 및 표준화 : 손실함수에 근거한 효과파악을 실시하고 기타의 유형 및 무형효과가 얼마인가 조사한다. 또한 작업표준을 개정하거나 실험데이터를 차후 활용할 수 있도록 직교다항식이나 다단계회귀식을 이용하여 설계방정식으로

표준화한다.

5. 適用 事例

5.1 배경

이 사례는 H사 통계적공정관리(SPC)활동 지도사례로써 자세한 고유 기술적인 사항은 대외비이므로 생략하고 주로 데이터 중심으로 약간의 수정을 가해 소개하기로 한다.

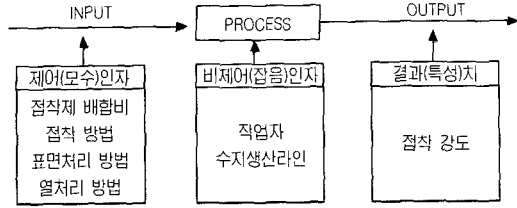
H사에서 생산하는 에폭시수지 접착강도의 규격 하한은 4.0 ton/cm²이며 이를 만족하지 않으면 53,000원/ ton의 손실이 발생한다. 이에 따라 강건설계를 이용하여 접착강도를 향상시키기 위해 “에폭시 수지 접착강도 향상”이라는 테마를 선정하고 타스크포스팀(TFT)을 조직하여 품질개선 활동을 추진하였다.

5.2 파라미터 설계

에폭시 수지 접착제의 접착력에 영향을 주는 인자로서는

- ① 에폭시 수지의 종류
- ② 경화제 종류와 양
- ③ 가요성 부여제의 종류와 양
- ④ 경화조건
- ⑤ 충전재의 종류와 양
- ⑥ 희석제의 종류와 양
- ⑦ 표면처리법
- ⑧ 시공 방법

등을 고려할 수 있는데 크게 영향을 주는 주요 인자도출과 이들 인자에 대한 파라미터 설계를 위하여 추진팀이 모여 집단발상법(BRAIN STORMING)으로 토의한 결과 <그림 5-1>과 같은 인자·특성관계와 <표 5-1>과 같은 인자의 수준이 결정되었다.



〈그림 5-1〉 점착강도의 인자·특성관계

〈표 5-1〉 인자 및 인자 수준 결정

인자의 구분	인자의 이름	인자의 수준		
제어인자	A(점착제배합비)	A ₁	A ₂	A ₃
	B(점착방법)	B ₁	B ₂	B ₃
	C(표면처리법)	C ₁	C ₂	C ₃
	D(열처리법)	D ₁	D ₂	D ₃
비제어인자	X(작업자)	X ₁ (숙련자)	X ₂ (비숙련자)	
	Y(수지 생산라인)	Y ₁	Y ₂	

실험의 배치는 〈표 5-2〉와 같이 제어 인자는 L₉(3⁴) 직교 표에 배치하고 비제어인자는 2원 배치 법을 사용하여 실험하도록 하였다.

〈표 5-2〉 점착강도 파라미터 설계데이터와 SN비

구분	내측배열(L ₉ (3 ⁴))				외측배열(2수준2원배치)				SN비
요인배치	A	B	C	D	X ₁		X ₂		
열번호	1	2	3	4	Y ₁	Y ₂	Y ₁	Y ₂	SN _i = -10log(1/n ∑ 1/Y _{ij})
실험번호	1	1	1	1	7.90	6.62	3.37	4.85	
	2	1	2	2	4.53	3.68	3.59	3.21	11.25
	3	1	3	3	3.27	3.60	2.67	3.08	9.83
	4	2	1	2	2.89	3.91	2.43	2.86	9.25
	5	2	2	3	3.08	3.48	3.67	3.10	10.36
	6	2	3	1	2	4.03	3.88	3.71	11.31
	7	3	1	3	2	3.53	3.28	2.80	9.55
	8	3	2	1	3	5.35	5.00	3.01	10.97
	9	3	3	2	1	5.15	4.38	2.60	10.76
TOTAL									96.95

5.3 SN비의 계산

점착강도는 망대 특성이므로 SN비의 계산은 i

번째 행에 대하여

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{Y_{ij}^2} \right]$$

〈표 5-2〉 첫 번째 행의 SN비는 $SN = -10 \log [1/4(1/7.90^2 + 1/6.62^2 + 1/3.37^2 + 1/4.85^2)]$

= 13.67(db) 이 된다.

망대 특성에서는 SN비를 최대화 하는 것이 산포도 작게 하면서 평균치를 크게 하여주는 최적수준이 된다.

5.4 간이 분석법

간이 분석표를 작성하면 중요한 요인을 식별하기도 편리하고 최적수준을 선택할 수도 있으며 분산 분석표 작성에도 도움을 주므로 〈표 5-2〉 SN비 값을 이용하여 〈표 5-3〉과 같이 점착강도 실험의 간이 분석표를 작성하여 최적 수준조합을 선택한다.

〈표 5-3〉 점착강도 실험 간이 분석표

요인배치	A	B	C	D	합계
인자	배합비	점착방법	표면처리방법	열처리방법	
각 수준의 SN비	1수준 34.75	32.47	35.95	34.79	T=96.95
	2수준 30.92	32.58	31.26	32.11	
합계	3수준 31.28	31.90	29.74	30.05	
수준간 범위	3.83	0.68	6.21	4.74	15.46
기여율(%)	24.8	4.4	40.2	30.7	100
기여율 파레토도 (%)	50				
	40				
	30				
	20				
	10				
요인	C	D	A	B	
누적기여율	40.2	70.9	95.7	100	
최적수준 조합 선정	전체 요인 중에서 누적 기여율이 80~90% 정도를 점유하는 요인을 유의한 요인으로 선정한다. (파레토도에서 빗금 친 요인) 최적수준조합의 결정은 유의한 인자는 인자수준의 SN비 합계에서 수준을 택하고 유의하지 않는 인자는 경제성, 작업성 등을 고려하여 선택한다. 따라서 유의한 A, C, D 인자는 A, C, D 이고 유의하지 않는 B인자는 B로 한다.				
최적수준조합	A, B, C, D				

5.5 분산 분석

〈표 5-3〉의 간이 분석법에 의해 대체로 중요한



인자가 판별되고 최적수준을 선정할 수 있으나 각 요인이 통계적으로 어느 정도 유의한지는 분산 분석을 실시하여 보아야 한다.

3 수준의 경우 각인자의 열변동 계산식은

$$S = 3 / \text{실험횟수} [T_1^2 + T_2^2 + T_3^2] - T^2 / \text{실험횟수}$$

단, T_i = 열의 i 수준 SN비의 합, T = 총 SN비의 합이므로,

$$S_A = [(34.75)^2 + (30.92)^2 + (31.28)^2] / 3$$

$$- (96.95)^2 / 9 = 2.982 \text{로 계산되며 변}$$

동이 제일 적은 B 변동을 오차로 하여 ANOVA를 작성하면 <표 5-4>와 같다.

<표 5-4> 접착강도 실험의 분산 분석표

요인	S	ψ	V	F ₀	F(0.05)
A	2.982	2	1.491	33.133*	19.0
C	6.986	2	3.493	77.622*	19.0
D	3.766	2	1.883	41.844*	19.0
e	0.089	2	0.045		
T	13.823	8			

<표 5-4>를 보면 통계적으로 A, C, D 인자가 유의수준 95%로 유의성이 인정된다. 이 결과는 간이 분석의 결과와 일치한다.

5.6 모평균의 추정

유의한 A, C, D 인자에 대하여 각인자의 수준에서 접착강도를 추정하기 위하여 95% 신뢰구간의 폭을 구하여 보면 다음과 같다.

$$t(2; 0.025) \sqrt{V_e / 3} \\ = (4.303) \sqrt{0.045 / 3} = 0.527$$

따라서, <표 5-3>의 각 수준의 SN비 값을 이용하여 신뢰 구간을 작성하여 보면 <표 5-5>와 같다.

<표 5-5> SN비의 95% 신뢰구간

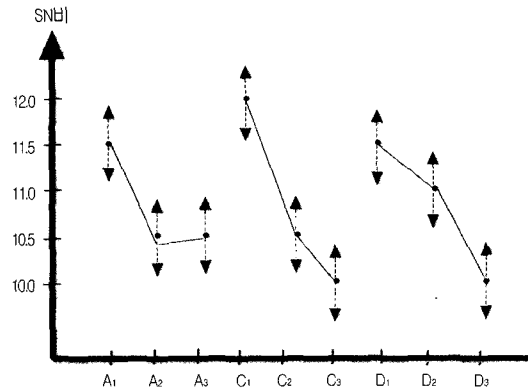
수준	신뢰구간	신뢰구간	신뢰구간
A ₁	11,583±0,527	C ₃	9,913±0,527
A ₂	10,307±0,527	D ₁	11,597±0,527
A ₃	10,427±0,527	D ₂	10,703±0,527
C ₁	11,983±0,527	D ₃	10,017±0,527
C ₂	10,420±0,527		

<그림 5-2>에서 보면 최적조건은 A₁ C₁ D₁으로 간이 분석법의 결과와 동일하다.

이 조건에서 SN비의 점 추정 값은,

$$\bar{T} = 10.772 \text{ 이므로}$$

$$\hat{\mu} (A_1 C_1 D_1) = \bar{A}_1 + \bar{C}_1 + \bar{D}_1 - 2\bar{T} \\ = 11,583 + 11,983 + 11,597 - 2(10,772) \\ = 13,619 \text{ (db) 이 되며}$$



<그림 5-2> 접착강도 SN비 신뢰구간

이 실험이 행해지기 전의 조건 A₂ C₂ D₂에서의 SN비 추정 값은

$$\hat{\mu} (A_2 C_2 D_2) = \bar{A}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 - 2\bar{T} \\ = 10,307 + 10,420 + 10,703 - 2(10,772) \\ = 9,886 \text{ (db)}$$

으로 종전의 SN비 보다 13,619 - 9,886 = 3,733db 만큼 증가하였다.



5.7 효과파악 및 표준화

망대특성에서는 $MSDi = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{Y_{ij}^2} \right]$

이고, 손실함수와 SN비는 각각

$$Li = A_o \Delta^2_o \cdot MSDi, \quad SNi = -10\log(MSDi)$$

으로 쓸 수 있다. 종전의 MSD를 (MSD)_c라 하고 최적수준 조합에서의 MSD를 (MSD)_o로 본다면 SN비의 증가가 3.733 이므로

$$\begin{aligned} 3.733 &= -10\log(MSD)_o + 10\log(MSD)_c \\ &= 10\log[(MSD)_c / (MSD)_o] \end{aligned}$$

이다. 따라서 $(MSD)_c / (MSD)_o = 10^{0.3733} = 2.36$ 으로 실험이 행해지기 전의 조건에 비하여 최적 수준 조합에서 생산된 제품은 MSD 즉 산포(분산)가 2.36배 감소한다. 또한 위 손실 함수 식에 의하여 손실 비용도 2.36배 감소하게 된다. 종전조건에서 생산된 에폭시 수지의 톤당 평균손실 비용은 $L = A_o \Delta_o^2 \cdot MSD = (53,000)(4^2)(0.103) = 87,344$ 원이 되고, 최적설계에 의한 제품의 MSD는 2.36배 적으므로 이것의 손실비용은 $L = 87,344 / 2.36 = 37,010$ 원이 된다. 이것은 에폭

시 수지 톤당 $87,344 - 37,010 = 50,334$ 원의 품질개선 효과가 발생한 것이며, 연간 600톤의 에폭시 수지를 생산할 경우 3억원의 품질개선 효과가 예상된다. 끝으로 개선된 최적 작업조건 (A₁ B₂ C₁ D₁)대로 작업을 진행시키기 위하여 제조 작업 표준(HSI-0125)을 개정하고 관련 교육을 실시하였다.

(원고 접수일 1999. 10. 25)

참고문헌

1. 김박윤역(1994), <에폭시 수지>, 3판, 대광서림.
2. 이태호역(1979), <접착기술의 실제>, 2판, 대광서림.
3. 이창훈외(1994), <품질관리>, 박영사.
4. 박성현(1994), <현대실험계획법>, 5판, 대영사.
5. 박성현(1997), <품질공학>, 2판, 민영사.
6. 박성현(1998), <응용실험계획법>, 3판, 영지문화사.
7. 박성현(1997), <통계적 공정관리>, 민영사.
8. 황의철(1997), <품질경영>, 9판, 박영사.
9. 田口玄一(1980), <최신실험계획법>, 3판, 한국표준협회.
10. 田口玄一(1988), <품질공학강좌>, 일본규격협회.
11. PHADKE, M.S.(1989), *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice-Hall.