

주조품 Black Oxide 공정의 품질개선에 관한 연구

이동희

대우자동차 해외총괄

이경근 · 윤원영

부산대학교 산업공학과

Quality Improvement of Black Oxide Process in Casting

Dong Hee Lee

Overseas Division Daewoo Motors Ltd.

Kyung Keun Lee · Won Young Yun

Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University

Abstract

In this paper, we consider the quality problem of black oxide process in casting for which Taguchi method is used. We explain simply the Taguchi method and existing problems in Black Oxide process.

We analyze the problem by the quality improvement procedure proposed by Taguchi. The design factors and noises using cause-effect diagram are found, the experiment is made using orthogonal array. After ANOVA, the critical factors are determined and the optimal process condition is designed. After parameter design, we derive the tolerance levels.

As a result of changing the levels of process parameters, the variance of quality characteristic was decreased by quarter and the average value was also decreased by half. We estimated the predictable profit of the improvement.

1. 서론

가속되는 국제경쟁 시장에서 생존하기 위해서는 고 품질의 제품을 저 비용으로 생산할 수 있는 효율적인 공정으로의 개선은 지금 모든 기업의 과제이다. 공정 개선을 위해서는 다양한 노력이 가능하리라 여겨진다.

제품 및 공정의 설계 또는 개선을 위한 다구찌 방법은 제품의 품질향상을 위한 방법으로 최근 많은 관심과 논의의 대상이 되고 있다.

다구찌 방법의 기본개념은 다음과 같이 요약할 수 있다[염봉진, 1990].

1. 품질관리 활동은 제품설계, 늦어도 공정설계 단계에서 이루어지는 것이 바람직하다. 왜냐하면 그 다음 단계인 공정관리나 최종제품의 검사 등을 통해서는 제품의 고유 품질수준을 향상시키기 어렵기 때문이다.
2. 제품의 성능특성(또는 품질특성)은 잡음의 영향으로 말미암아 목표치 또는 이상치를 안정성 있게 유지하지 못하고 변동하기 마련이다. 이러한 성능변동을 손실의 개념을 도입하여 정량화 함으로써 품질문제를 객관적, 공학적 문제로 다룰 수 있다.
3. 높은 품질의 제품이란 소비자에게 끼치는 손실이 작은 제품을 의미한다. 손실은 성능변동으로 야기되기 때문에 제품이나 공정은 생산된 제품의 특성치가 잡음에 둔감하도록(즉, 잡음 하에서도 성능변동이 심하지 않도록) 설계되어야 한다.

다구찌는 위와 같은 전략을 수행함에 있어 직교배열(orthogonal array)이라 부르는 실험계획을 이용하여 데이터를 수집할 것과, 그 데이터로부터 유도된 SN비(signal-to-noise ratio)를 분석함으로써 제품이나 공정의 최적조건을 결정할 것을 제안하고 있다.

위와 같은 기본 개념하에서 현장에서 공정개선을 위한 절차로서 다구찌는 시스템 설계, 파라미터 설계, 허용차 설계등 세 단계로 나누어 공정개선을 위한 구체적인 방법을 제안하였다.

시스템 설계단계에서는 전문지식, 기술, 경험을 통하여 주어진 목적기능을 갖는 제품의 원형(原型, Prototype)을 개발하게 되며, 일반적으로 설계변수의 최적화는 시도되지 않는 것이 보통이다.

파라미터 설계는 다구찌 방법의 주요 연구대상으로서, 그 목적은 제품의 성능특성이 잡음에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구하는 것이다.

파라미터 설계에 의해 설계변수의 최적조건을 구하였으나 성능특성의 변동이 아직 만족할만한 상태가 아닐 때 허용차 설계를 수행하게 된다. 허용차 설계 역시 실험에 의존하게 되며, 그 목적은 성능특성치의 변동에 큰 영향을 미치는 설계변수를 선택하여 그 허용차를 줄여줌으로써 궁극적으로 성능특성치의 변동을 바람직한 수준 이하로 유지해 주는 데 있다. 다구찌 방법을 현장 문제에 응용하여 많은 좋은 결과를 얻을 사례들이 발표되고 있다[7, 8].

본 논문은 다구찌의 설계 절차를 따라서 현장의 실제 문제를 해결하고 그 유용성을 확인하는 사례연구이다. 권총을 구성하는 정밀주조 부품생산에 있어 외관에 미려함과 발청방지를 위한 Black Oxide(철강 표면에 사삼산화철(Fe_3O_4) 피막을 만들어 표면 조도를 좋게 하여 내마모성을 간하게 하여 화려한 미관 유지를 가능하게 함) 공정의 공정개선이 요구되고 있다. 공정개선을 위해 주조, 열처리 및 도금공정을 거쳐 Black Oxide 공정에서 최종 완성되는 정밀 주조품의 현장 잡음을 그대로 놓아둔 상태에서 성능특성이 잡음에 둔감하도록 제품이나 공정을 설계하므로 현재의 설비를 새로운 설비로 대체하는 직접적인 대응 방법 없이 공정 개선을 시도하고자 한다.

또한 다구찌 방법을 도입, 추진하는 과정에 있어 문제의 정의를 직접적인 불량률 감소가

아닌 품질 특성을 관리함으로 궁극적으로 불량률 감소를 가져오게 될 것이다.

즉, 제품 성능이나 규격의 변동을 줄임에 따라 자연히 불량률은 감소가 이루어지므로 어떤 Parameter를 어떻게 집중 관리하느냐가 보다 중요한 것이다.

이 밖에 주조, 열처리, 표면처리등 특수 공정에 있어 사용환경의 차이로 인한 잡음발생과 이에 따른 작업표준의 미비로 원인을 규명하기 어려운 불량이 발생하게 되고 이에 대한 조치 방법을 의뢰 받게 되지만, 일시적 미봉책으로 대처하는 경우가 많다.

이러한 관점에서 다구찌 방법은 제품이나 공정의 경제적 설계 또는 개선을 통해 일관성 있는 품질의 제품을 사용환경의 잡음에 영향받지 않고 소비자에게 제공함으로써 제품 경쟁력을 향상케 한다는 구체적 기법으로 받아들였다.

따라서 현장의 관리방법 및 수준, 그리고 근본적인 공정개선이 가능하리라 판단되어 다구찌 방법을 본 논문에 적용하게 되었다.

본 논문은 먼저 사례로 된 공정의 현황 및 문제점을 설명하고 다구찌의 구체적인 실험 설계를 위한 제반과정을 따라서 문제해결을 순서대로 진행한다. 그리고 결론에서 개선활동 후의 문제점들을 기술하였다.

2. 실험 및 분석

본 연구는 정밀 주조품인 Black Oxide 피막물성의 품질 특성치의 품질을 향상키 위해 다구찌 품질공학의 망소 특성치에 관한 파라미터 설계방법을 적용한 것이다.

양산중인 총기부품의 Black Oxide(흑염피막)의 작업시 Casting 소재에서만 발생하는 색상 불량(Reddish)을 개선하고 총기외관(미려한 Black Color)의 결정적인 영향을 미치는 Slide 부품의 가공 Process 변경(Matching → Investment Casting)에 따라 예상되는 Black Oxide 피막의 Reddish Color 문제점을 안정화시키고자 하는 것이 목적이다.

Casting 부품의 Reddish Color 불량원인은 크게 소재(Material)와 용액(Solution)의 불완전한 공정에 의한 것으로 구분될 수 있다.

소재가 Black Oxide에 영향을 미칠 수 있는 요인 즉 성분, 함량, 조직, Stress, 표면의 조도, 내부결함 등과 Black Oxide 처리시 전 처리, 용액온도, 농도, 시간, 그리고 불순물, 용액 오염등 수많은 파라미터가 각 직장(주조, 열처리, 표면처리)에 내재되어 있으므로 불량의 주 원인 예측이 불가함으로 선택되지 않은 제어파라미터를 잡음 인자로 실험 설계하는 다구찌 방법을 적용한 실험을 수행하여 공정개선을 하고자 한다.

2.1 실험 배치 설계 및 실시

품질 특성치 선정

본 실험은 주조품의 흑염피막처리(Black Oxide)후 표면 색상정도를 KS규격 Color Book의 색상을 참조하여 등급별 가중치를 설정하였으며 수치가 적을수록 좋으므로 망소 특성치이다.

〈 표 1 〉 KS규격 Color에 따른 등급별 가중치

등 급	KS Color	가 중 치	관 정	특 성
수	N 1 ⁵	1.0	합 격	망소특성
우	2 ⁵ R 2/0	2.0	합 격	
양	3 ⁵ R 2/0 ¹⁾	3.0	불 합 격	
가	2 ⁵ R 3/2	4.0	불 합 격	

주) 양은 우와 같은 KS규격 Color이나 검정색 음영기준에 따라 검사자 비교 구간을 세분화시킨 것이다.

설계 변수에 수준 결정

Black Oxide 표면상태에 영향을 미치리라 예상되는 파라미터는 여러 가지가 있으나 각 공정간의 관련성, 외부조건의 변경가능여부등을 고려하여 품질특성치에 가장 영향을 미친다고 예상되는 파라미터를 현장의 공정관리자, 각 직장의 담당 Engineer, 품질보증 담당자의 최종 상의를 거친 후에 다음의 6가지를 제어파라미터로 선정하였다.

이때는 수준의 폭을 넓혀 다수준으로 설계하는 것보다 가능한 2 수준이라도 좋으니 제어파라미터수는 가능한 많이 선정하였다. 일단 유의 파라미터를 찾는 것이 1단계이고 그 다음에 해당 유의 파라미터의 허용차 설계를 하고자 한다.

〈 표 2 〉 설계변수의 항목별 수준 현황

항 목		수 준		비 고
		0	1	
설 계 변 수	Carbon Potential (%)	0.8	1.2	
	도금 용해 온도(℃)	140	143	
	도금 작업 시간(min)	30	60	
	주조 용해 온도(℃)	1,650	1,750	
	Casting 성분함량	Si(%)	0.5	0.8
	Mn(%)	0.7	1.0	Spec. 0.7~1.07

실험 계획표

본 실험은 실험파라미터마다 여러 수준의 실험이 요구되나 현장의 사정을 감안하여 현재의 표준작업 조건과 개선이 예상되는 조건으로 하는 2수준 계의 직교 배열인 L₈(2)⁷의 직교배열표를 이용하였다. 실험파라미터는 6가지를 택하여 직교표 L₈(2)⁷을 본 실험에 적용할 경우의 실험계획표는 〈표 3〉과 같다.

그러므로 각 파라미터의 교호작용을 존재하지 않는 것으로 가정하였다.

이는 실험회수 증가에 따른 시간 및 비용을 고려하여 일단 교호작용이 없다는 가정 하에 실험 실시를 하고 유의파라미터를 찾지 못할 경우 교호작용을 고려하기로 했기 때문이다.

〈 표 3 〉 각 파라미터에 대한 수준 및 실험계획표

인자 이름		주 조 시 Si 함량 (%)	주 조 시 Mn 함량 (%)	주 조 시 용해온도 (℃)	Carbon Potential (%)	도 금 용액온도 (℃)	도 금 작업시간 (min)
수준	0	0.5	0.7	1650	0.8	140	30
	1	0.8	1.0	1750	1.2	143	60
실험번호\열 번호		A	B	C	D	E	F
1		0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	1	1	1
3		0	1	1	0	0	1
4		0	1	1	1	1	0
5		1	0	1	0	1	0
6		1	0	1	1	0	1
7		1	1	0	0	1	1
8		1	1	0	1	0	0

실험 실시

실험에 사용된 재질은 침탄재질인 IC 8620으로 하였으며 주조시 실험에 따라 8가지 조건(Mold)을 만들어 실시하였다. 여기서 y_i 는 각 조건의 시편의 색상 가중치이며, 망소특성의 SN비 = $-10 \log \sigma^2$ 이다. σ^2 은 분산이며, 각 조건에 대한 $\sigma_i^2 = 1/n (y_i^2)$ 이다. 여기서, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ 이고, 데이터가 각 조건당 1개이므로 $n = 1$ 이 된다.

8가지 실험조건에서 실험결과로 구해진 SN비는 〈표 4〉에 나타나 있다.

〈 표 4 〉 실험결과 분석

인자 이름	주조시 Si함량	주조시 Mn함량	주 조 시 용해온도	Carbon Potential	도 금 용액온도	도 금 작업시간	y_i	σ^2	SN_i^2
1	A ₀	B ₀	C ₀	D ₀	E ₀	F ₀	3	9	0.46
2	A ₀	B ₀	C ₀	D ₁	E ₁	F ₁	1	1	10.0
3	A ₀	B ₁	C ₁	D ₀	E ₀	F ₁	1	1	10.0
4	A ₀	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₀	3	9	0.46
5	A ₁	B ₀	C ₁	D ₁	E ₁	F ₀	2	4	3.98
6	A ₁	B ₀	C ₁	D ₁	E ₀	F ₁	4	16	-2.04
7	A ₁	B ₁	C ₀	D ₀	E ₁	F ₁	2	4	3.98
8	A ₁	B ₁	C ₀	D ₁	E ₀	F ₀	4	16	-2.04
평균							2.5		3.1

주) 계산의 편의성을 위하여 $SN_i =$ 실측시 $SN_i + 10$ 으로 수치변환 하였다.

2.2 파라미터 최적수준 결정

파라미터들 중에서 1 수준과 0 수준의 차이가 많이 나는 F, A, D, E 파라미터가 유의하게 나타났고, 그 파라미터들의 각 수준은 SN비 합계가 많이 나온 수준을 최적조건으로 하였다.

〈 표 5 〉 파라미터들 최적 수준 조합

요 인 배 치		A	B	C	D	E	F	합 계
인 자 이 름		주조성분 (Si)	주조성분 (Mn)	주 조 용해온도	Carbon potential	도 금 용액온도	도 금 작업시간	
수준의	0 수준	20.92	12.40	12.40	18.42	6.38	2.06	
합 계	1 수준	3.88	12.40	12.40	6.38	18.42	21.94	
수 준 차 이		17.04	0	0	12.04	12.04	19.88	60.20
기 여 율 (%)		28.3	0	0	20.0	20.0	31.7	100
기 여 율 파레토도	40							
	30							
	20							
	10							
요 인		F	A	D	E			
누적 기여율(%)		31.7	60.0	80.0	100.0			
최적 수준 조합		인자수준	A ₀	D ₀	E ₁	F ₁		
		수준내용	주조 Si 성분 0.5%	C.P. 0.8%	도금용액온도 143℃	도금작업시간 1 HR		
비 고		유의한 인자의 최적 조건은 A ₀ , D ₀ , E ₁ , F ₁ 이고 기타 인자 B, C는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단.						

분산분석법에 의한 결과를 요약하면, 각 파라미터의 변동은

$$S_A = 1/8 (A_1 \text{ 합계} - A_0 \text{ 합계})^2 = 1/8 (3.88 - 20.92)^2 = 36.3$$

$$S_B = 1/8 (B_1 \text{ 합계} - B_0 \text{ 합계})^2 = 1/8 (12.40 - 12.40)^2 = 0$$

$$S_C = 1/8 (C_1 \text{ 합계} - C_0 \text{ 합계})^2 = 1/8 (12.40 - 12.40)^2 = 0$$

$$S_D = 1/8 (D_1 \text{ 합계} - D_0 \text{ 합계})^2 = 1/8 (6.38 - 18.42)^2 = 18.1$$

$$S_E = 1/8 (E_1 \text{ 합계} - E_0 \text{ 합계})^2 = 1/8 (18.42 - 6.38)^2 = 18.1$$

$$S_F = 1/8 (F_1 \text{ 합계} - F_0 \text{ 합계})^2 = 1/8 (21.94 - 2.86)^2 = 45.5$$

$$S_T = S_A + S_B + \dots + S_F = 118.0$$

분산분석표를 만들면 다음과 같다.

〈 표 6 〉 분산 분석표

요 인	S(제공합)	Φ (자유도)	V(분산)	$\rho(\%)$
A	36.3	1	36.3	20.8
B	0	1	0	0
C	0	1	0	0
D	18.1	1	18.1	15.3
E	18.1	1	18.1	15.3
F	45.5	1	45.5	38.6
Total	118.0	6	118.8(1.18)	100.0

따라서 F, A, D, E 순으로 유리한 요인으로 볼 수 있으며 앞에서 실시한 간이분석법의 결과와 일치한다.

또한, 최적조건인 A_0, D_0, E_1, F_1 을 채택하여 실험할 경우 예상되는 SN의 추정 값을 예측한 결과는 아래와 같다.

$$A_0/4 + D_0/4 + E_1/4 + F_1/4 - 3T/8 =$$

$$20.92/4 + 18.42/4 + 18.42/4 + 21.94/4 - 3 \times 24.8/8 = 10.625$$

여기서 T는 각 파라미터의 0수준과 1수준의 SN비 합계인데,

즉, A파라미터의 경우 SN비 합계(24.8) = 0수준(20.92) + 1수준(3.88)이다.

위 결과 최적 조건을 선택할 경우 가장 양호한 값을 얻을 수 있다.

2.3 유의 파라미터 분석

1차 실험에서의 유의파라미터 4개에 대한 실험 데이터를 기초로 하여 각 재질별 Silicon 함량 변화, 도금작업시간 및 온도변화에 따른 물질 변화실험을 통하여 각 유의 파라미터의 최적 조건을 선정코자 하였다.

실험 파라미터 및 조건

〈 표 7 〉 유의파라미터별 실험조건

유 의 인 자	실 험 조 건	비 고
재 질	8020, 8640, 4140	
실 리 콘 함 량	0.3%, 0.5%, 0.7%	
도 금 용 액 온 도	136℃, 140℃, 143℃	
도 금 작 업 시 간	60분, 90분, 120분, 180분	

〈 표 8 〉의 성분 분석치는 조건당 7개의 평균 수치이다.

〈 표 8 〉 재질별 성분 분석

재질 Si함량 특성치	원소	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	MO
	8620	0.3	0.21	0.78	0.011	0.013	0.33	0.44	0.59
	0.5	0.20	0.95	0.012	0.013	0.57	0.47	0.53	0.20
	0.7	0.21	0.91	0.013	0.012	0.78	0.48	0.56	0.22
8640	0.3	0.38	0.85	0.011	0.013	0.30	0.48	0.52	0.20
	0.5	0.40	0.96	0.015	0.012	0.59	0.50	0.52	0.15
	0.7	0.37	0.98	0.015	0.013	0.75	0.45	0.59	0.18
4140	0.3	0.39	0.80	0.013	0.012	0.33	--	0.99	0.18
	0.5	0.42	0.77	0.012	0.013	0.54	--	1.01	0.17
	0.7	0.41	0.77	0.012	0.012	0.74	--	1.04	0.19

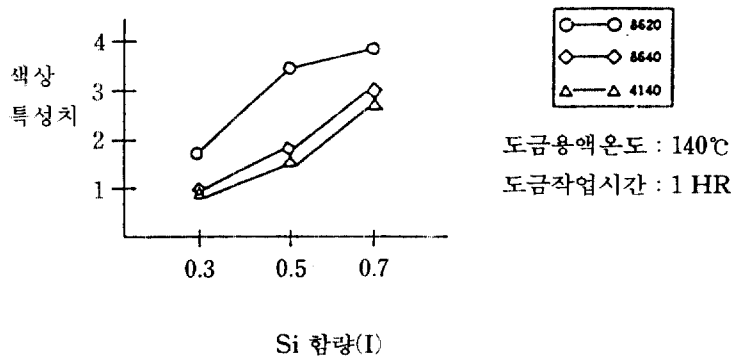
Si 함량 변화, 도금용액 온도 및 도금 작업시간의 차이와 Carbon Potential(탄소함유량)변화에 따라 표면색상에 미치는 영향을 분석하기 위해 〈 표 9 〉와 같이 실험 데이터를 구하였다.

데이터는 KS 규격에 따른 색상별 가중치(품질 특성치)를 나타내고 있다.

각 파라미터 수준에 대한 표면색상에 대한 영향을 그림으로 나타내어보면 〈 그림 1 〉과 같이 Si 함량이 낮을수록 표면 색상이 양호하며, 8680, 4140 재질이 Si 함량에 가장 민감하게 반응하고 있다. Si 함량이 0.5% 이상이면 재질, 도금조건에 관계없이 악영향을 미치므로 0.5% 이하로 규제하는 것이 색상특성치를 좋게 함을 알 수 있다.

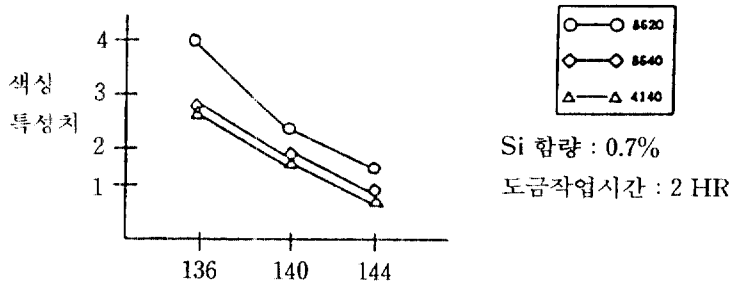
〈 표 9 〉 각 유의파라미터 조건변화시 실험데이터

		재 질								
		8620			8640			4140		
도 금 용액농도	Si 함량	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
	도 금 작업시간	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
136℃	1시간	1.8	2.3	3.3	1.0	2.0	3.8	1.0	1.0	1.5
	1.5	1.7	2.0	3.3	1.0	1.9	3.8	0.7	1.0	2.5
	2	1.5	4.0	4.0	1.0	1.8	2.8	0.7	1.0	2.8
	3	0.8	2.8	3.8	0.8	1.5	1.8	0.7	0.7	1.3
140℃	1	1.8	3.3	3.7	1.0	1.8	2.8	1.0	1.4	2.7
	1.5	1.0	2.7	2.8	0.8	1.3	1.8	0.7	1.0	1.9
	2	1.0	2.2	2.3	0.8	0.8	1.8	0.7	1.0	1.5
	3	0.7	2.2	2.2	0.7	0.8	1.7	0.7	0.8	1.7
144℃	1	1.3	2.5	2.5	0.7	1.3	1.3	0.8	0.8	1.0
	1.5	1.0	2.3	2.3	0.8	1.0	1.2	0.8	0.8	0.8
	2	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7	0.8
	3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.5	0.7	0.7



〈 그림 1 〉 Si함량에 따른 영향

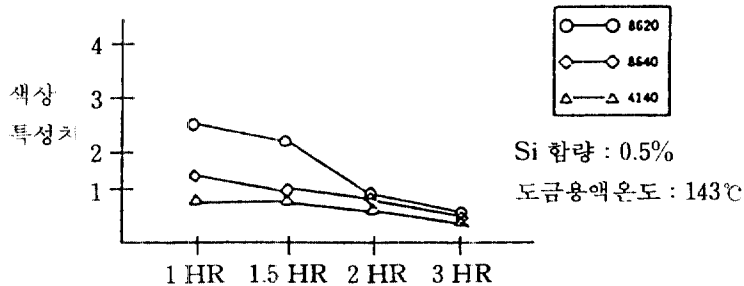
도금용액 온도가 높을수록 표면 색상 특성치는 양호함을 <그림 2>에서 알 수 있고 최적 용액 온도는 144℃로 판단된다.



< 그림 2 > 도금 용액 온도의 영향

도금 작업시간을 증가하면 표면 색상 특성치가 양호하게 나옴을 <그림 3>에서 알 수 있고 143℃의 도금 용액 온도에서 작업시간은 최소한 2시간이 필요하다.

그리고 Carbon Potential 변화에 따른 영향을 보면 침탄시 표준 Carbon Potential는 8%일 경우, 경화재질인 8640, 4140보다 표면색상이 좋지 못하다는 결과와 일치하며 Si과의 복합 작용으로 표면활성화 정도를 저하시키는 것으로 판단된다.



< 그림 3 > 도금 작업시간의 영향

2.4 허용차 확인 실험

설계 파라미터의 수준 결정

유의파라미터 분석을 통한 최적 조건에서 <표 10>과 같이 3수준을 설정하여 수준차이에 따른 설계 파라미터의 확인 실험을 실시하였다.

〈 표 10 〉 설계 파라미터별 수준 내용

설계 인자	수 준		
	0	1	2
A' : 주조시 Si 함량	0.5-0.1%	0.5%	0.5+0.1%
B' : Carbon Potential	0.8-0.1%	0.8%	0.8+0.1%
C' : 도금용액온도	143-1℃	143℃	143+1℃
D' : 도금작업시간	120-20분	120분	120+20분

확인 실험 데이터

L₉(3⁴) 직교배열표를 통한 확인실험 데이터는 〈표 11〉과 같이 나왔다.
 데이터는 색상별 가중치(품질 특성치)를 의미한다.

〈 표 11 〉 실험배치 및 데이터

구 분		수 준				데이터
요인배치		A'	B'	C'	D'	
인자이름		Si 함량	Carbon Potential	도금용액온도 (작업 온도)	도금작업시간	
수준	0	0.4	0.7	142	100분	
	1	0.5	0.8	143	120분	
	2	0.6	0.9	144	140분	
실험번호\열번호		1	2	3	4	
1		0	0	0	0	1
2		1	1	1	1	1.25
3		0	2	2	2	1
4		1	0	1	2	1
5		0	1	2	0	1
6		1	2	0	1	1.75
7		2	0	2	1	1
8		2	1	0	2	1.5
9		2	2	1	0	2.25

파라미터 수준별통계

〈표 12〉에서 파라미터 설계시 평균값 2.5보다 작은 1.3을 허용차 확인 실험에서 바람직한 결과를 얻어내게 되었다.

이러한 수치는 〈표 10〉과 같이 허용차 구간을 설정하여 관리하게 되면 더욱 바람직한, 즉 더욱 짙은 검정색을 띤 제품을 생산할 수 있음을 의미한다.

〈 표 12 〉 파라미터수준별 합계 및 평균

인 자		A'	B'	C'	D'	비 고
수준합계	0	3.0	3.0	4.25	4.25	합계 : 11.75
	1	4.0	3.75	4.5	4.0	
	2	4.75	5.0	3.0	3.5	
수준평균	0	1.0	1.0	1.42	1.42	전체평균 : 1.30
	1	1.33	1.25	1.5	1.33	
	2	1.58	1.67	1.0	1.67	

잡음인자의 분산 분석

〈 표 13 〉 분산 분석 결과

요 인	S	Φ	V	ρ(%)
A'	0.514	2	0.257	29.7
B'	0.681	2	0.340	39.4
C'	0.431	2	0.216	25.0
D'	0.098	2	0.05	5.9
T	1.724	8	0.863	100.0

분산분석 방법은 앞에서 설명한 간이분석법에 의한 최저수준 조합 결정에서의 산출 방식과 같다.

확인 실험에서 얻은 색상 특성치의 평균 $\hat{y} = 1.3$ 은 만족스러우나, 분산 $V_T = 0.863$ 으로 아직 크다고 판단되었다. 〈표 15〉의 기여율로부터 기여율이 큰 A', B', C'의 허용차를 현재의 F로 줄여주기로 하였다.

이 결과로 기대되는 분산은

$$\begin{aligned}
 V_T' &= V_T \times [\rho_A^2 \times (1/2)^2 + \rho_B^2 \times (1/2)^2 + \rho_C^2 \times (1/2)^2 + \rho_D^2] / 100 \\
 &= 0.863 (0.297 \times (1/4) + 0.394 \times (1/4) + 0.25 \times (1/4) + 0.059 \times (1/4)) \\
 &= 0.254 \text{ 가 된다. (참조 대구찌[4])}
 \end{aligned}$$

즉, 새로운 허용차하에서 기대되는 색상특성치의 분산은 대략 1/4 정도이다.

2.5 표준화(관리방안) 및 효과파악

다구찌 방법을 이용한 정밀주조 색상 실험결과 Casting시 소재(Silicon), 열처리시 탄소 함유량, 그리고 도금 작업온도 및 시간이 유의 파라미터로 선정되었다.

유의파라미터 조건 변화에 따른 실험 결과 실리콘 함유량과 탄소 함유량은 낮을 수록, 도금 작업시간과 온도는 높을 수록 양호한 결과를 얻었으나 작업의 용이성 및 경제성을 고려하여 아래와 같은 최적조건을 얻었다.

〈 표 14 〉 최적 조건 관리 표준

구분 \ 재질	재 질		
	IC 8620	IC 8640	IC 4140
실리콘 함유량(%)	0.5 ± 0.05	0.5 ± 0.05	0.5 ± 0.05
탄소 함유량(%)	0.8 ± 0.05	0.8 ± 0.05	0.8 ± 0.05
작업 온도(℃)	143~145	143~145	143~145
작업 시간(Min)	120 ± 10	60 ± 3	60 ± 3

허용차 확인 실험에서 분산이 1/4 정도 작아지게 되고, 평균값이 1/2 정도 작게 결과가 나오에 따라 불량률은 1/4 이하로 나오게 되고 있음을 기대손실함수[$=k \times (\sigma^2 + \mu^2)$]에서 예측되어졌으나 실제 개선 전 후의 불량률 차이는 더욱 큰 것으로 나타났다.

〈 표 15 〉 불량률 개선 전, 후 차이

불량률	구분 재질	개 선 전			개 선 후			비 고
		IC 8620	IC 8640	IC 4140	IC 8620	IC 8640	IC 4140	
불량률(%)		9.0	5.0	4.0	0.5	0.1	0.1	

공정안정 및 품질향상 Casting부품(20 Item)의 Black Oxide 불량으로 인한 조립지연(Lead Time증가) 개선 및 해체조립 Loss를 개선하였고 Black Oxide의 Trouble 원인분석 및 개선방법을 통한 사내 기술력 향상 및 제품물성이 개선되었다.

3. 결론

본 논문은 품질 문제 해결을 위해서 접근하는 방식중 공정 설계 개선을 통한 다구찌 방법의 실제 적용절차를 정밀 주조품의 Black Oxide 공정을 대상으로 논의하였다.

특성 요인도에서 나타난 것과 같이 현장의 품질문제는 수많은 파라미터들이 복합적으로 연계되어 있어 특정 제어파라미터의 최적 조건을 찾아도 해결할 수 없는 경우가 많이

존재한다. 그러한 경우 실험계획법을 적용 유의 파라미터를 찾는 방법을 많이 적용하나 파라미터들 중 최적 조합의 조건을 찾더라도 실험실내에서 결과와 현장에서 작업결과는 상이한 경우가 많이 발생한다.

이는 현장의 잡음을 간과한 상태에서 적용한 결과이기 때문이다.

정밀주조품 품질문제 해결 과정에서는 이와 같은 잡음을 고려한 상태에서 최적조건 관리표준을 얻었기에 허용차 확인 실험결과 분산이 1.18에서 0.254로 $\frac{1}{4}$ 이하로 줄고 평균값 역시 최초 파라미터 설계시의 2.5에서 1.3으로 줄어짐에 따라 $\frac{1}{4}$ 이하로 줄다는 다구찌 방법이 실제 적용 상에 있어 개선 전 후의 차이결과에 따라 입증하였다.

이러한 품질 손실의 평가방법은 기업체에 있어 구체적인 품질 향상의 투자분석 용도로 활용할 수 있다는 것을 증명하게 되었으며, 품질향상에 있어 실험을 통한 체계적인 방법이 매우 유효함을 알게 되었다. 또한 다특성치의 경우는 최적조건의 선정이 현장 엔지니어의 판단에 의해 절충이 가능함도 알게 되었다.

참고문헌

- [1] Box, G. E. P. (1988), "Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria, and Transformations," (with discussion), *Technometrics*, Vol. 30, pp. 1-40.
- [2] Dehnad, K. (1989), *Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method* Wadworth & Brooks/Cole, Pacific Grove.
- [3] Kacker, R. N. (1985), "Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method." (with discussion), *Journal of quality Technology*, Vol. 17, pp. 176-209.
- [4] 다구찌(1988), 품질공학강좌 1, 개발 설계단계의 품질공학, 일본규격협회.
- [5] 다구찌(1988), 품질공학강좌 3, 품질평가를 위한 SN비, 일본규격협회.
- [6] 다구찌(1988), 품질공학강좌 4, 품질설계를 위한 실험계획법, 일본규격협회, 도쿄.
- [7] 다구찌(1988), 품질공학강좌 5, 품질공학사례집 일본편 일반, 일본규격협회, 도쿄.
- [8] 다구찌(1989), 품질공학강좌 6, 품질공학사례집 구미편 일반, 일본규격협회, 도쿄.
- [9] 박성현(1990), 다구찌 방법을 중심으로 한 응용 실험계획법, 영지문화사.
- [10] 염봉진(1990), 제품 및 공정설계를 위한 다구찌 방법, 경영과학, 7권, pp. 3-21.