

다구찌 방법을 이용한 난연ABS
사출공정의 최적조건 결정
-The Parameter Optimization Decision of Plastic
Molding Using Taguchi Method-
(사례연구 중심으로)

조용욱 *

Cho Yong-Wook

박명규 **

Park Myung-Kyu

Abstract

A study to analyze and solve problems of plastic injection molding experiment has presented in this paper. We have taken Taguchi's parameter design approach, specifically orthogonal array, and determined the optimal levels of the selected variables through analysis of the experimental results using S/N ratio.

1. 서론

다구찌 기법(Taguchi Method)은 기계, 화학, 전기·전자 등 산업 전반에 걸친 모든 실험계획에 적용시킬 수 있는 최적화 설계 기법이다. 본 연구에서는 품질 문제 해결을 위해 다구찌가 제안한 기본 전략을 사출 공정 실험에서 행하고 있는 기존의 실험에 도입하여 직교배열에 의한 실험계획과 S/N비를 바탕으로 한 파라미터 설계(Parameter Design) 방법을 통해 더욱 효율적인 실험이 될 수 있도록 연구하고자 한다.

본 연구에서는 기존의 여러 실험에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해 다구찌 기법을 적용하여 대상 실험의 수행시간과 비용을 최소화시키고, 그 분석에 있어서도 기존

* 명지대학교 산업기술연구소 전임 연구원 (명지대학교 산업공학과 박사과정 수료)

** 명지대학교 산업공학과

의 방법보다 더욱 효율적인 최적조건을 도출할 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고있다. 또한, 효율적인 실험의 수행을 위해 본 연구에서는 다음과 같이 3가지로 분류하여 최적조건을 도출에 이용하고자 한다.

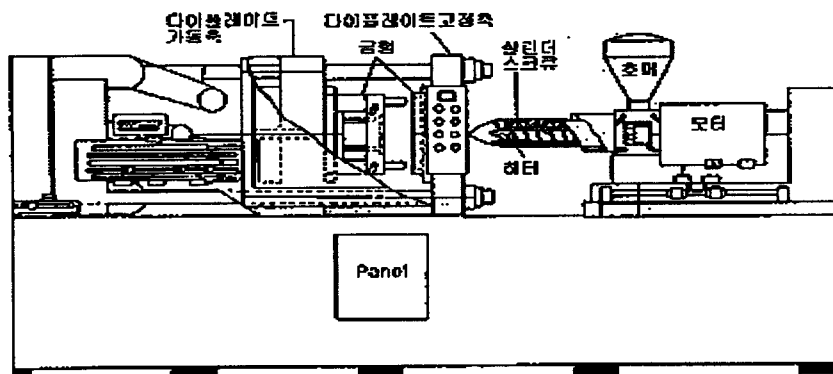
- (1) 직교배열표를 사용한 효율적인 실험계획을 통해 기존의 실험횟수보다 월등히 적은 실험횟수를 가지고도 최적조건을 도출할 수 있게 한다.
- (2) S/N비를 중심으로 한 통계적 데이터 분석을 사용하여 기존의 데이터 분석방법보다 효율적인 결과를 얻을 수 있게 한다
- (3) 잡음인자(Noise Factor)들을 실험 내에 포함시켜 기존의 실험에서 얻을 수 없었던 최적조건을 도출하여 잡음에 둔감한 인자를 발견해 넘으로써 강건설계(Robust Design)가 될수 있게 한다.

2. 실험의 적용환경 구축

2.1 사출 성형 생산 공장 현황

본 논문의 사례연구는 18대의 사출 성형기를 보유하고 10여종의 컴퓨터 모니터 케이스를 생산하고 있는 (주) E社에서 실시하였으며, 현재 생산되는 제품은 컴퓨터 모니터의 Back Cover (B/C), Front Mask (F/M)등이다.

이중 실험 대상이 된 제품은 850톤 사출 성형기 <그림 1>에서 생산하는 17인치 모니터 Back Cover(B/C)이며, 생산 원료는 난연 ABS수지로써 다른 수지에 비하여 열에 민감하고, 수분 함유량과 금형 온도 변화에 의하여 사출 제품 상태가 큰 영향을 받고 있다. 난연 ABS 플라스틱 수지를 이용한 사출성형에서는 평균 6.5% 불량률을 보이므로 본 연구에서는 공정의 조건을 개선하여 불량률을 줄임으로써 생산성을 높이고자 한다. 이에 다구찌 방법을 이용하여 적은 실험 횟수로 불량률을 감소시키는 최적공정 조건을 결정하고, 또한 난연 ABS수지가 비싼 이유로 또 다른 특성치인 중량도 고려하여 최적 조건을 찾고자 한다.



<그림 1> 실험에 사용된 사출성형기

2.2 사출 작업 공정

사출공정의 운전은 기계의 패널에서 확인 제어하기 때문에 간단한 공정이며, 작업순서는 다음과 같다.

- ① 사용되는 금형을 사출 기계에 설치한다.
- ② 사출 기계의 실린더와 호퍼 내부의 이물질을 청소하고 호퍼에 원재료를 투입한다.
- ③ 작업조건을 패널을 통하여 설정 한 후 기계를 가동시켜 완성 제품 생산을 위한 시험가동을 한다.
- ④ 사출 성형후 완성된 제품은 작업자의 불량 검사 후 다음 공정으로 넘어간다.

2.3 직교배열표에 의한 인자의 배치

각각의 불량에 영향을 주는 인자를 결정하기위해 전문가의 의견을 종합하여 기술적으로 제어할 수 있는 10개 인자와 2개의 교호 작용을 선택하고, 실험의 횟수와 비용을 고려하여 각각 2인자로만 실험을 하였다. 또한 금형 온도는 외부온도에 의하여 정확하게 제어되지 않고 온도변화에 의한 불량률의 변화를 고려하기 위하여 일교차를 잡음인자로 선택하였으며 제어인자와 잡음인자의 수준표는 <표 1>과 같다.

<표 1>인자들의 수준표

| 제어인자 | 1수준 | 2수준 |
|----------|------------|------------|
| A (보압거리) | 5cm | 7cm |
| B (보압속도) | 30% | 35% |
| C (사출2압) | 75% | 70% |
| D (사출1속) | 40% | 42% |
| E (사출타임) | 11초 | 12초 |
| F (사출3속) | 63% | 70% |
| G (냉각타임) | 28초 | 30초 |
| H(실린더온도) | 185° C | 200° C |
| I (배압) | 8% | 10% |
| J (보압2차) | 52% | 48% |
| 잡음인자 | 수준 | |
| 일교차 | E_1 (주간) | E_2 (야간) |

3. 실험결과의 분석

3.1 실험의 설계

10개 인자와 2개의 교호 작용을 선택하여 S/N비를 이용한 실험결과를 얻기 위하여 $L_{16}(2^{12})$ 에 인자들을 배치하고, 불량률 실험은 잡음인자에 대하여 제품 40개씩 4회 조사하였고, 중량실험은 각 실험의 제품 중 랜덤하게 2개씩 조사하였다.

3.2 실험결과의 분석

3.2.1 불량률 고려한 분석

불량률 데이터는 망소특성이고 계수치 데이터이므로 그에 따른 S/N비로 계산하였으며 실험결과와 S/N비는 <표 2>와 같다. 이때 <표 2>에서의 e는 오차항을 의미한다.

단위 : 불량갯수

< 표 2 > 불량에 대한 실험결과와 SN비

| 열 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | E_1 | | E_2 | | S/N비 |
|----|---|---|-----|---|---|---|-----|---|---|----|----|----|----|-------|---|-------|---|-------|
| | A | B | A*B | C | D | E | A*E | F | G | H | e | I | J | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7.57 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 10 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 9.03 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 9.03 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 9.03 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8.24 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 11.25 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8.24 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 8.24 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 11.25 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 8.24 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 11.25 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 7.57 |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 15 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 11.25 |
| 16 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8.24 |

<표 2>의 S/N비의 분산분석을 실시하기 위한 인자들의 1원표와 교호작용 인자들의 2원표는 <표 3>과 같다.

< 표 3 > 불량에 대한 각 인자의 1원표와 교호작용 인자들의 2원표

| 인자 | 1수준 | | 2수준 | | 합계 |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| A | 72.39 | | 76.04 | | 148.43 |
| B | 74.61 | | 73.82 | | 148.43 |
| C | 71.90 | | 76.53 | | 148.43 |
| D | 73.82 | | 74.61 | | 148.43 |
| E | 76.04 | | 72.39 | | 148.43 |
| F | 72.18 | | 76.25 | | 148.43 |
| G | 77.62 | | 70.81 | | 148.43 |
| H | 67.8 | | 80.63 | | 148.43 |
| I | 69.17 | | 79.26 | | 148.43 |
| J | 76.83 | | 71.6 | | 148.43 |
| 인자 | (1,1) | (1,2) | (2,1) | (2,2) | 합계 |
| A×B | 35.63 | 36.76 | 38.98 | 37.06 | 148.43 |
| A×E | 37.06 | 35.33 | 38.98 | 37.06 | 148.43 |

S/N비의 분산분석을 실시한 결과 < 표 4 >와 같다. 보통 F_0 값이 2 이상이면 약간의 유의성이 있다고 볼 수 있기 때문에 F_0 값이 2보다 작은 인자들은 풀링시켜 분산 분석한 결과는 < 표 5 > 와 같다.

< 표 4 > 불량에 대한 분산분석표

| | SS | ϕ | V | F_0 |
|-----|-------|--------|-------|-------|
| A | 0.83 | 1 | 0.83 | 1.5 |
| B | 0.4 | 1 | 0.4 | 0.71 |
| A×B | 0.58 | 1 | 0.58 | 1.04 |
| C | 1.34 | 1 | 1.34 | 2.40 |
| D | 0.04 | 1 | 0.04 | 0.07 |
| E | 0.83 | 1 | 0.83 | 1.48 |
| A×E | 0.002 | 1 | 0.002 | 0.003 |
| F | 1.04 | 1 | 1.04 | 1.86 |
| G | 2.90 | 1 | 2.90 | 5.18 |
| H | 10.29 | 1 | 10.29 | 18.38 |
| I | 6.36 | 1 | 6.36 | 11.36 |
| J | 1.71 | 1 | 1.71 | 3.05 |
| e | 1.678 | 3 | 0.56 | |
| T | 28 | 15 | | |

< 표 5 > 불량에 대한 분산분석표

| | SS | ϕ | V | F_0 |
|---|-------|--------|-------|----------|
| C | 1.34 | 1 | 1.34 | 2.48 |
| G | 2.90 | 1 | 2.90 | 5.37* |
| H | 10.29 | 1 | 10.29 | 19.06 ** |
| I | 6.36 | 1 | 6.36 | 11.78 ** |
| J | 1.71 | 1 | 1.71 | 3.17 |
| e | 5.4 | 10 | 5.4 | |
| T | 28 | 15 | | |

분산분석결과 H인자(실린더 온도)와 I인자(배압) 차이에 따라 제품의 불량률이 매우 큰 영향을 받음을 알 수 있고 G인자(냉각 타임)도 H, I인자보다는 작지만 유의한 인자임을 알 수 있다. 또한 C인자(사출 2압), J인자(보압 2차)도 F_0 값이 2 이상이므로 약간의 유의성이 있다고 볼 수 있다.

3.2.2 중량을 고려한 분석

중량은 망소특성이기 실험결과와 S/N비는 <표 6>과 같다. 제어인자의 배열은 <표 2>의 인자배열과 동일하므로 생략하였다.

단위 : g

<표 6> 중량에 대한 실험결과와 SN비

| 인자배열표 | E_1 | | | | E_2 | | | | 평균 | S/N비 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | | | | | | | | | | |
| 1 | 2148.0 | 2148.3 | 2148.3 | 2148.1 | 2148.1 | 2149.0 | 2148.3 | 2148.2 | 2148.29 | -66.64 |
| 2 | 2148.2 | 2148.3 | 2148.3 | 2148.3 | 2148.9 | 2148.2 | 2148.4 | 2148.4 | 2148.38 | -66.64 |
| 3 | 2149.3 | 2149.4 | 2149.2 | 2149.5 | 2149.2 | 2149.2 | 2149.3 | 2148.9 | 2149.25 | -66.65 |
| 4 | 2147.0 | 2147.8 | 2147.0 | 2147.0 | 2147.5 | 2147.8 | 2148.3 | 2147.9 | 2147.54 | -66.64 |
| 5 | 2148.9 | 2149.2 | 2149.0 | 2149.0 | 2148.9 | 2149.0 | 2149.1 | 2149.0 | 2149.01 | -66.65 |
| 6 | 2148.8 | 2148.3 | 2148.5 | 2148.8 | 2148.8 | 2148.6 | 2148.5 | 2148.6 | 2148.61 | -66.64 |
| 7 | 2147.3 | 2147.4 | 2147.5 | 2147.3 | 2147.4 | 2147.5 | 2147.3 | 2147.3 | 2147.38 | -66.64 |
| 8 | 2147.5 | 2147.2 | 2146.6 | 2146.8 | 2146.9 | 2148.7 | 2148.7 | 2147.9 | 2147.54 | -66.64 |
| 9 | 2139.4 | 2139.9 | 2140.1 | 2139.8 | 2141.0 | 2140.2 | 2140.0 | 2140.0 | 2140.05 | -66.61 |
| 10 | 2141.3 | 2139.0 | 2140.8 | 2140.7 | 2139.8 | 2140.3 | 2140.1 | 2140.3 | 2140.29 | -66.61 |
| 11 | 2147.5 | 2148.0 | 2147.3 | 2147.3 | 2147.6 | 2148.0 | 2147.9 | 2147.8 | 2147.68 | -66.64 |
| 12 | 2145.1 | 2145.3 | 2145.4 | 2144.2 | 2145.3 | 2144.9 | 2145.7 | 2145.6 | 2145.19 | -66.63 |
| 13 | 2147.8 | 2148.3 | 2148.4 | 2148.4 | 2147.6 | 2148.1 | 2148.2 | 2148.9 | 2148.21 | -66.64 |
| 14 | 2147.1 | 2147.3 | 2147.7 | 2147.0 | 2147.6 | 2147.7 | 2148.0 | 2147.8 | 2147.53 | -66.64 |
| 15 | 2145.3 | 2144.3 | 2145.5 | 2144.4 | 2145.3 | 2144.9 | 2145.3 | 2144.5 | 2144.94 | -66.63 |
| 16 | 2146.3 | 2146.3 | 2146.0 | 2146.4 | 2146.0 | 2146.0 | 2145.9 | 2146.1 | 2146.13 | -66.63 |

<표 6>의 SN비의 분산분석을 실시하기 위한 인자들의 1원표와 교호작용 인자들의 2원표는 <표 7>과 같다.

< 표 7 >중량에 대한 각 인자의 1원표와 교호작용 인자들의 2원표

| | 1수준 | | 2수준 | | 합계 |
|-----|---------|---------|---------|---------|----------|
| A | -533.14 | | -533.03 | | -1066.17 |
| B | -533.06 | | -533.11 | | -1066.17 |
| C | -533.07 | | -533.1 | | -1066.17 |
| D | -533.1 | | -533.07 | | -1066.17 |
| E | -533.04 | | -533.12 | | -1066.17 |
| F | -533.1 | | -533.07 | | -1066.17 |
| G | -533.09 | | -533.08 | | -1066.17 |
| H | -533.09 | | -533.08 | | -1066.17 |
| I | -533.08 | | -533.09 | | -1066.17 |
| J | -533.07 | | -533.1 | | -1066.17 |
| | (1,1) | (1,2) | (2,1) | (2,2) | 합계 |
| A×B | -266.57 | -266.57 | -266.49 | -266.54 | -1066.17 |
| A×E | -266.56 | -266.58 | -266.48 | -266.55 | -1066.17 |

보통 F_0 값이 2 이상이면 약간의 유의성이 있다고 볼수 있기 때문에 F_0 값이 2보다 작은 인자들은 풀링시켜 분산분석한 결과는 <표 8> 와 같다.

<표 8> 중량에 대한 분산분석표

| | SS | ϕ | V | F_0 |
|-----|----------|--------|-----------|----------|
| A | 0.00076 | 1 | 0.00076 | 21.46 ** |
| B | 0.00016 | 1 | 0.00016 | 4.52 * |
| A×B | 0.00016 | 1 | 0.00016 | 4.52 * |
| E | 0.0004 | 1 | 0.0004 | 11.30 ** |
| A×E | 0.00016 | 1 | 0.00016 | 4.52 * |
| e | 0.000354 | 10 | 0.0000354 | |
| T | 0.001994 | 15 | | |

분산분석결과 A인자(보압 거리)와 E인자(사출 타임) 차이에 따라 제품의 중량에 매우 큰 영향을 주는 인자임을 알 수 있고 B인자(보압 속도), A×B, A×E 교호작용도 A, E인자보다는 작지만 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.3 최적조건 결정

분산분석 결과 두 개의 특성치인 제품의 불량과 중량에 상충인자가 없음을 알 수 있다. 즉 제품의 불량과 중량을 최소로 하는 최적조건은 $A_2B_1C_2E_1G_1H_2I_2J_1$ 이다. 이

최적조건에서 불량률의 점추정치를 계산해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\hat{\mu}(A_2B_1C_2E_1G_1H_2I_2J_1) &= \overline{A_2B_1} + \overline{A_2E_1} + \overline{C_2} + \overline{G_1} + \overline{H_2} + \overline{I_2} + \overline{J_1} - \overline{A_2} - \overline{B_1} - 4\overline{T} \\ &= 1.61\%\end{aligned}$$

또한 이 최적조건에서 불량률의 S/N비에 대한 점추정치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\hat{\mu}(A_2B_1C_2E_1G_1H_2I_2J_1) &= \overline{A_2B_1} + \overline{A_2E_1} + \overline{C_2} + \overline{G_1} + \overline{H_2} + \overline{I_2} + \overline{J_1} - \overline{A_2} - \overline{B_1} - 4\overline{T} \\ &= 24.81\end{aligned}$$

다음으로 이 최적조건에서 중량의 점추정치를 계산해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\hat{\mu}(A_2B_1C_2E_1G_1H_2I_2J_1) &= \overline{A_2B_1} + \overline{A_2E_1} + \overline{C_2} + \overline{G_1} + \overline{H_2} + \overline{I_2} + \overline{J_1} - \overline{A_2} - \overline{B_1} - 4\overline{T} \\ &= 2146.01g\end{aligned}$$

또한 중량의 최적수준에 대한 S/N비의 점추정치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\hat{\mu}(A_2B_1C_2E_1G_1H_2I_2J_1) &= \overline{A_2B_1} + \overline{A_2E_1} + \overline{C_2} + \overline{G_1} + \overline{H_2} + \overline{I_2} + \overline{J_1} - \overline{A_2} - \overline{B_1} - 4\overline{T} \\ &= -66.62\end{aligned}$$

위의 결과에서 불량과 중량을 고려한 최적수준에서 불량률의 추정치가 1.61%임을 알 수 있다. 즉 위 실험에서 얻어진 인자의 조건에서의 불량률이 기존의 평균 불량률 6.5%보다 훨씬 줄어들 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 난연 ABS 사출 공정에서의 제품의 불량률과 중량이 최소가 되는 최적 조건을 구하기 위해 다구찌 기법의 적용을 제안하였다. 본 실험은 10개의 제어인자

와 각인자의 수준이 2수준인 실험으로 각 인자의 효과와 각 인자들의 교호작용의 효과를 알기 위해서는 2^{10} 즉, 1024회를 실험해야하나 직교배열표를 사용하여 실험횟수를

16회로 줄이고, 기존의 실험에서 고려치 못했던 일교차를 잡음인자로 사용함으로써 효과적인 실험결과를 도출해 내기 위한 방법을 연구하였다.

다구찌 기법을 적용한 결과 적은 실험횟수로 최적조건을 도출해 낼 수 있었고, 기존의 실험에서 고려되지 않았던 잡음인자의 변화에 둔감한 제어인자의 수준을 찾을 수 있었다. 다구찌 기법의 도입으로 난연 ABS 사출 공정 실험에 대한 실험계획과 실험결과 분석의 측면에 있어서 매우 큰 효과와 부수적으로 실험비용의 절감으로 인한 경제적인 효과도 얻을 수가 있었다.

실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 제품의 불량에 있어서 제어인자에 대한 SN비 분석결과 실린더 온도와 배압 차이에 따라 제품의 불량이 매우 큰 영향을 받음을 알 수 있었고 냉각 타임도 실린더 온도와 배압의 영향보다는 작지만 유의한 인자임을 알 수 있었다. 또한 사출 2압과 보압 2차도 약간의 유의한 영향을 주는 것을 알 수 있었다.
- (2) 제품의 중량에 있어서 제어인자에 대한 SN비 분석결과 보압 거리와 사출 타임이 제품의 중량에 매우 큰 영향을 주는 인자임을 알 수 있었고 보압 속도와 보압 거리와 보압 속도간의 교호작용 및 보압 거리와 사출 타임간의 교호작용도 보압 거리와 사출 타임보다는 작지만 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- (3) 주어진 조건하에서 분산분석 결과, 제품의 불량과 중량을 동시에 고려했을 때 최적조건을 살펴보면, 보압 거리는 7cm, 보압 속도는 30%, 사출 2압 70%, 사출 타임 11초, 냉각타임 28초, 실린더 온도 200°C , 배압 10%, 보압2차 52%일 때 최적조건임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 영지문화사, pp. 177.
- [2] 한국공업표준협회(역), "품질평가를 위한 SN비", 한국공업표준협회, pp. 10-20, 1991.
- [3] 조용욱, 박명규, "다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정," 공업경영학회지, 제21권 제46집 pp. 221-227, 1998.
- [4] 조용욱, 박명규, "다특성치 파라미터 설계에 관한 방법론 연구 (사례연구 중심으로)," 공업경영학회지 제22권 제50집 pp. 171-181, 1999.
- [5] 조용욱, 박명규, "전문가 의견을 고려한 다특성치 파라미터 설계에 관한 연구," 품질경영학회지 제27권 제2호 pp. 218-236, 1999.
- [6] Phadke Madhav S., Quality Engineering Using Robust Design, pp. 23-24, 1989.
- [7] Phadke, M. S., Quality Engineering Using Robust Design, New Jersey :

- Prentice-Hall, pp. 67-113, 1989.
- [8] K. C. Kapur, and G. chen, "Signal-to-Noise Development for Quality Engineering", Quality and Reliability Engineering International, Vol.4, pp. 133-141, 1988.
- [9] Taguchi, G and Wu, Y., "Introduction to Off-Line Quality Control", Central Japan Quality Control Association, pp. 1-48, 1985.
- [10] S. Moghsoodloo, "The Exact Relation of Taguchi Signal-to-Noise Ratio to His Quality Loss Function", Journal of Quality Technology, Vol.22, pp. 55-67, 1990.
- [11] B. J. Yum, and S. W. Ko, "On Parameter Design Optimization Procedures", Quality and Reliability Engineering International, Vol.7, pp. 39-46, 1991.
- [12] Fowlkes, W. Y. and Creveling, C. M., Engineering Methods for Robust Product Design, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 33-88, 1995.

저자소개

조용욱 : 명지대학교 산업공학과 학·석사 졸업하고, 2000년 8월 동 대학원 박사 학위 취득예정임. 명지대학교 산업기술연구소 전임연구원으로 재직중이며 주요 관심분야는 실험계획법, 품질공학, TQM, 생산관리등이다.

박명규 : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위를 취득하였으며 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 주요관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템분석등이다.