

## 다구찌 방법을 이용한 폴리아세탈 수지 절삭조건 결정

### -An Optimal Parameter Design of Polyacetal Resin Cutting Experiment Using Taguchi Method-

조용욱 \*

Cho Yong-Wook

박명규 \*\*

Park Myung-Kyu

김희남\*\*\*

Kim Hee-Nam

#### Abstract

Polyacetal resin is usually used to make molds, but it is difficult to achieve dimension accuracy during molding. Therefore it is usually necessary to cut the polyacetal resin after a molding process. Polyacetal resin is easily machining by standard machine tool. Acetal is also a thermal stable material which can be cutted without coolant. Another concern about the use of polyacetal resin is that it absorbs water easily, which also results in problems with dimension accuracy.

Therefore, in this study, the cutting resistance of water-absorbed polyacetal resin and its surface roughness after cutting in order to achieve the highest degree of accuracy in the cutting of polyacetal resin were investigated. Also, The Robust Design method uses a mathematical tool called orthogonal arrays to study a large number of decision variables with a small number of experiments. It also uses a new measure of quality, called signal-to-noise (S/N) ratio, to predict the quality from the customer's perspective. Thus, 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.

\* 명지대학교 산업기술연구소 책임 연구원    \*\* 명지대학교 산업공학과

\*\*\* 명지대학교 기계공학과

## 1. 서론

다구찌 방법(Taguchi Method)은 기계, 화학, 전기, 전자 등 산업 전반에 걸친 모든 실험계획에 적용시킬 수 있는 최적화 설계방법이다.[1,2,3,4] 본 연구에서는 품질문제 해결을 위해 다구찌가 제안한 기본 전략을 절삭가공 실험에 도입하여 직교배열에 의한 실험계획과 SN비를 바탕으로 한 파라미터 설계(Parameter Design) 방법을 통해 더욱 효율적인 실험이 될 수 있도록 연구하고자 한다.

본 연구에서는 기존의 실험에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해 다구찌 방법을 적용하여 대상 실험의 수행시간과 비용을 최소화시키고, 그 분석에 있어서도 기존의 방법보다 더욱 효율적인 최적조건을 도출할 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한 효율적인 실험의 수행을 통해 본 연구에서는 다음과 같이 3가지로 분류하여 최적조건을 도출에 이용하고자 한다.

- (1) 직교배열표를 사용한 효율적인 실험계획을 통해 기존의 실험횟수보다 월등히 적은 실험횟수(기존 실험의 54회의 실험을 18회의 실험으로)를 가지고도 최적조건을 도출할 수 있게 한다.
- (2) SN비를 중심으로 한 통계적 데이터 분석을 사용하여 기존의 데이터 분석방법보다 효율적인 결과를 얻을 수 있게 한다.
- (3) 잡음인자를 실험내에 포함시켜 기존의 실험에서 얻을 수 없었던 최적조건을 도출하여 잡음에 둔감한 인자를 발견해냄으로써 강건설계(Robust Design)가 될 수 있도록 한다.

## 2. 실험의 적용환경 구축

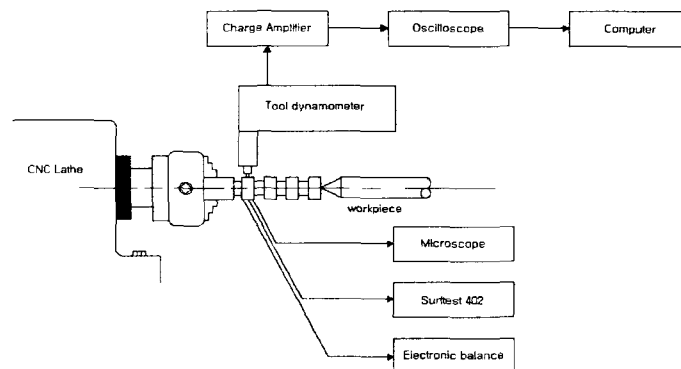
### 2.1 실험의 개요

고분자 재료에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 폴리아세탈 수지는 주로 전자, 기계 및 자동차 부품용의 플라스틱 소재로 사용된다. 일반적으로 폴리아세탈 수지는 제조공법에 따라 호모폴리머와 코폴리머로, 중합도와 첨가제에 따라 고점도, 중점도, 저점도, Audio/Video용 및 특수등급으로 구분된다. 폴리아세탈 수지는 일반적으로 성형가공법에 의해 가공되어지는 것이 보통이지만, 성형에서 얻어지지 못할 정밀도가 요구될 경우, 형상이 사출성형에 적합하지 않을 경우 등의 가공은 절삭가공이 필요하게 된다. 또한 각종 성형가공 후에 여러 가지 절삭가공을 필요로 한다. 폴리아세탈 수지는 기계가공성이 대단히 우수하며, 주철, 알루미늄, 스테인리스, 아연 등 금속의 가공에 사용하는 표준공작기계로 용이하게 가공된다. 아세탈 수지는 자신이 단단한 내열성 재료이기 때문에 공구를 주의하여 사용한다면 발열을 적게하고 기름이나 냉각수를 거의 사용하지

않고도 절삭할 수가 있다. 그러나 고분자 재료는 수분과의 친수성이 좋기 때문에 재료에 따라 차이는 있으나 대부분이 수분을 흡수하며, 이에 따라 치수정밀도 상에 문제가 발생한다. 하지만 수분 흡수된 고분자 재료를 가공함에 있어서 가공상에 발생하는 표면거칠기의 변화에 대한 연구가 미흡하여 고분자재료를 건조를 시켜야 하는 불편함이 따른다. 아세탈 수지가 뛰어난 치수정밀도와 다른 고분자 재료에 비하여 수분 흡수성이 낮지만 아세탈 수지 또한 수분 흡수성이 존재하기 때문에 수분흡수에 따라서 치수의 변화가 예상된다. 따라서 본 논문에서는 폴리아세탈을 끓는 물에 담구어 강제적으로 수분을 침투시켜 습도가 높은 장소나 하절기와 같이 습도가 높은 시기와 같은 조건을 주었으며, 이의 시편을 가공하여, 절삭조건을 변화시켜 가공후 표면거칠기를 측정하여 보다 고품질의 제품을 생산하는데 필요한 효율적인 절삭조건을 제시하였다. 그러나 기존의 실험에서의 문제점은 제어인자와 잡음인자의 수준에 대해서 실험에 필요한 수준조합을 모두 행할 경우에 실험의 횟수가 54회나 되기 때문에 값비싼 시편등 비용이나 시간면에서 상당한 비효율성이 나타난다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 다구찌 방법을 이용하여 실험의 횟수의 감소로 인한 비용과 시간을 절약하고 또한 수분흡수율을 잡음인자로 설정하여 잡음에 둔감하게 작용하는 절삭조건을 최적수준조합을 찾고자 하는 것이 목적이다.

## 2.2 실험장치

<그림 1>은 본 실험에 사용한 절삭실험장치를 나타낸 것으로 선반은 통일중공업의 TNL35 CNC선반을 사용하여 시편을 가공하였다. 측정계는 기본적으로 공구동력계 (Tool dynamometer), 오실로스코프, 증폭기(Charge amplifier), 컴퓨터로 이루어져 있으며, 시편의 수분 흡수율 측정을 위하여 전자저울을 사용하였고, 최종 가공 후 가공물의 표면거칠기를 측정할 수 있는 표면거칠기 측정기, 그리고 가공 후 시편의 표면을 관찰하여 촬영할 수 있는 현미경으로 구성되어 있다.



<그림 1> 절삭시간에 따른 절삭력의 측정시스템

## 2.3 실험방법

폴리아세탈은 다른 고분자에 비하여 수분 흡수성이 작기 때문에 끓는 물에 담구어 강제적으로 수분을 침투시켜 흡수율을 조절하였다.

만들어진 시편을 CNC 선반에 공구동력계와 함께 설치한 후 절삭조건을 변화시킨다. 이에 따른 절삭력의 변화는 공구동력계를 통해 입수되고, 입수된 신호는 증폭기를 통해 증폭된다. 증폭기를 통해 증폭된 신호를 오실로스코프로 절삭력의 변화를 측정 및 분석한다. 가공중에 절삭력의 변화를 살펴봄으로써 표면거칠기와의 관계를 알아볼 수 있다. 가공후 표면거칠기의 측정은 표면거칠기 측정기로써 측정하였다.

## 3. 인자의 선정과 실험의 배치

폴리아세탈 수지의 표면거칠기를 최소화하기 위한 최적절삭 조건을 찾기 위해 3개의 제어인자를 선정하였고 잡음인자로 한 개의 인자를 선택하였다. 제어인자간의 교호작용은 이 실험에서 제외시켰다. 그 이유로는 각 인자들간의 교호작용 효과를 모두 알아내기 위해서는 모든 조합에 대해 실험을 수행해야 하므로 비용이 많이 들 수밖에 없다. 또한 교호작용을 포함하는 모델을 사용하는 것은 현장에서 문제를 야기할 수가 있으므로 교호작용의 존재는 매우 바람직하지 못한 것으로 간주하여 이를 제거하려고 노력해야한다.[4] 그렇지만 각 제어인자들의 교호작용효과를 무시하고 실험을 행하였는데 만일에 교호작용의 효과가 존재할 위험도 있기 때문에 본 연구에서는 가법모델의 적합성을 판정하기 위해서 확인 실험을 행하였다. 제어인자로는 절삭속도(cutting speed), 이송속도(feed rate) 및 절삭깊이(depth of cut) 각각 3개의 인자를 선정하고 각 인자의 수준을 3수준으로 나누었다. 또한 수분의 흡수율에 따라 표면거칠기의 값의 변화가 있는지를 알아보기 위해 수분의 흡수율을 잡음인자로 정하였다. 이와 같은 제어인자와 잡음인자의 각각의 수준은 <표 1>과 <표 2>에 제시하였다.

<표 1> 제어인자의 수준

제어인자	수준		
	1	2	3
A : 절삭속도(cutting speed)(m/min)	30	50	100
B : 이송속도(feed rate)(mm/rev)	0.1	0.2	0.3
C : 절삭깊이(depth of cut)(mm)	0.1	0.2	0.3

<표 2> 잡음인자의 수준

잡음인자	수준	
	1	2
N : 수분흡수율 (water absorption)(%)	0%	0.24%

#### 4. 실험결과의 분석

##### 4.1 실험의 설계

SN비를 이용한 실험결과를 얻기 위하여  $L_9(3^4)$ 에 제어인자를 정하고 각 제어인자의 실험조건에서, 수분 흡수율에 따라 표면거칠기의 값의 변화가 있는지를 알아보기 위해 수분의 흡수율을 잡음인자로 선정하여 2개의 측정치를 얻었다. 그 실험결과와 SN비의 값을 <표 3>에 제시하였다. 본 실험은 망소특성에 대한 실험이므로 표면거칠기의 값이 최소가 되는 제어인자들의 수준을 찾는 것이 목적이다.

측정 단위( $\mu\text{m}$ )

<표 3> 실험결과와 SN비의 값

요인배치	A	B	C	e	잡음인자 (수분 흡수율)		평균	SN비
인자	절삭속도	이송속도	절입깊이	오차	N1 (0%)	N2 (0.24%)		
수준	1	30	0.1	0.1			$\bar{y}_i$	$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 y_i^2 \right]$
	2	50	0.2	0.2				
	3	100	0.3	0.3				
열# 실험#	1	2	3	4	N1 (0%)	N2 (0.24%)		
1	1	1	1	1	7.8	7.05	7.42	-17.43
2	1	2	2	2	22.15	22.65	22.40	-27.01
3	1	3	3	3	31	30.15	30.57	-29.71
4	2	1	2	3	9	20.3	14.65	-23.92
5	2	2	3	1	23	19.65	21.32	-26.61
6	2	3	1	2	51.5	51	51.25	-34.19
7	3	1	3	2	10.5	14	12.25	-21.85
8	3	2	1	3	23.65	8.55	16.10	-25.00
9	3	3	2	1	58	57.5	57.75	-35.23

## 4.2 실험결과의 분석

### 4.2.1 SN비 분석

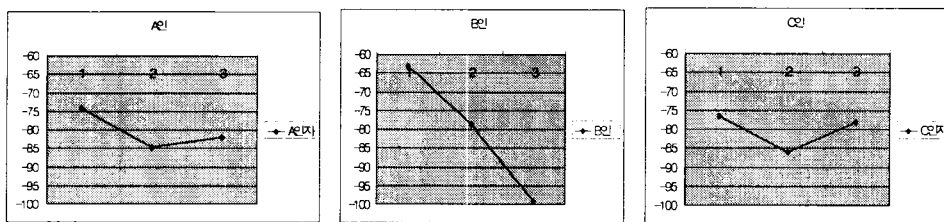
<표 3>로부터 SN비 분산분석의 결과는 <표 4>과 같다.

<표 4> SN비를 이용한 분산분석표

요인	SS	$\phi$	V	$F_0$
A	20.17	2	10.09	5.31
B	216.60	2	108.3	57**
C	17.47	2	8.74	4.6
e	3.80	2	1.9	
T	258.05	8		

<표 4>에 제시된 SN비에 대한 분산분석 결과  $\alpha=0.05$ 에서 B(이송속도)가 유의한 인자임을 알 수 있다. A인자와 C인자는 F검정 상으로는 유의하지 않다고 판단되었으나  $F_0$ 값이 3이상인 것으로 보아 표면거칠기에 약간의 영향을 미친다고 볼 수 있다.

각 인자의 수준에 대한 평균 SN비의 값은 <그림 2>와 같다.

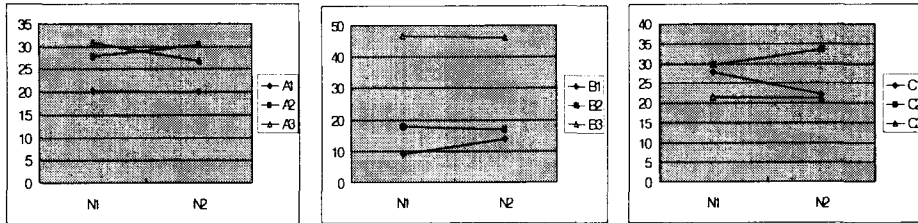


<그림 2> 각 인자수준에 대한 평균 SN비의 값

위의 결과로 보아 A인자의 수준이  $A_1$ 일때, B인자의 수준이  $B_1$ 일때 최적수준임을 알 수 있다. C인자는 명확하게 차이는 나지 않지만  $C_1$ 일 때 최적수준임을 알 수 있다.

### 4.2.2 제어인자와 잡음인자간의 민감도 분석결과

본 연구에서는 잡음인자 수준의 변화(수분 흡수율에 따른 표면거칠기값의 변화)에 민감하지 않은 제어인자의 수준을 찾기 위한 민감도 분석을 실시하였다. <그림 3>은 잡음인자의 수준변화에 대한 제어인자의 효과에 대해 도시화한 것이다.



<그림 3> 잡음인자에 대한 제어인자의 민감도 분석

위의 민감도 분석결과에서 볼 수 있듯이 그래프의 기울기가 큰 인자수준은 잡음인자(수분흡수율)의 수준변화에 따라 특성치가 민감하게 영향을 받는다는 것을 나타낸다. A인자는 A<sub>1</sub>일 때 기울기가 가장 완만하므로 잡음인자에 가장 둔감함을 알 수 있다. B인자는 각 인자의 수준 모두 기울기가 거의 비슷함을 알 수 있다. C인자는 SN비의 분석 결과 C<sub>1</sub>과 C<sub>3</sub>의 값이 거의 비슷하였으나 민감도 분석결과 C<sub>3</sub>가 기울기가 완만하여 잡음인자의 수준변화에 훨씬 둔감하게 작용하는 것으로 나타났다.

### 4.3 최적조건의 결정과 확인실험

S/N비의 분산분석 결과, 그리고 잡음인자에 대한 제어인자의 민감도 분석결과, 표면 거칠기를 최소화하면서 수분의 흡수율 변화에 가장 둔감하게 작용하는 최적수준조합은 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>로 결정되었다. 최적수준에 대한 SN비의 점추정치는 다음과 같다.

이때  $\bar{A}_1$ 은 A<sub>1</sub>수준에서의 SN비 값의 평균을 의미하고,  $\bar{B}_1$ 은 B<sub>1</sub>수준에서의 SN비 값의 평균을 의미하고,  $\bar{C}_3$ 은 C<sub>3</sub>수준에서의 SN비 값의 평균을 의미한다. 또한  $\bar{T}$ 는 전체 SN값의 평균을 의미한다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}(A_1B_1C_3) &= \bar{A}_1 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 - 2\bar{T} \\ &= (-24.72) + (-21.07) + (-26.06) - 2(-26.77) \\ &= -18.31 \text{ db} \end{aligned}$$

위의 실험결과를 기초로 제어인자의 수준이 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>이고 잡음인자의 수준이 N<sub>1</sub>인 상태에서 3번의 측정을 반복한 확인실험의 결과는 <표 5>와 같다.

확인실험 결과, 최적수준 일때의 SN비의 값인 18.31 db과 비교할 때 거의 비슷한 크기의 SN비 값을 얻을 수 있었고 폴리아세탈 수지의 표면거칠기값이 연속적으로 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 실험결과를 분석을 통해 추정된 최적조건은 표면거칠기를 최소화하면서 잡음에 둔감한 최적조건임을 확인할 수 있다.

&lt;표 5&gt; 확인실험의 데이터와 S/N비의 값

실험반복	확인실험의 결과	S/N비
1	7.98	$-10 \log \left[ \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 y_i^2 \right]$ $= -18.27$
2	8.26	
3	8.33	

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 절삭가공 실험에서 수행하고 있는 폴리아세탈 수지의 선반 가공 후 표면거칠기를 측정하여 그 값이 최소가 되는 최적 조건을 구하기 위해 다구찌 방법의 적용을 제안하였다. 직교배열표를 사용하여 실험횟수를 줄이고, 기존의 실험에서 적용시키지 못했던 수분 흡수율의 차이에 따른 표면거칠기값의 변화를 잠음인자로 사용함으로써 효과적인 실험결과를 도출해 내기 위한 방법을 연구하였다.

다구찌 방법을 적용한 결과 적은 실험횟수로 최적조건을 도출해 낼 수 있었고, 기존의 실험에서 고려되지 않았던 잠음인자의 변화에 둔감한 제어인자의 수준을 찾을 수 있었다. 다구찌 방법의 도입으로 기존의 기계가공 실험에 대한 실험계획과 실험결과 분석의 측면에 있어서 매우 큰 효과와 부수적으로 실험횟수의 절감으로 인한 경제적 인 효과도 얻을 수가 있었다.

실험결과를 요약하면 다음과 같다

- ① 제어인자에 대한 SN비의 분석결과 이송속도의 변화가 특성치인 표면거칠기 값에 미치는 영향이 상당히 크다는 것을 알 수 있었고 절삭속도와 절삭깊이도 작기는 하지만 어느 정도 실험에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.
- ② 제어인자가 잠음인자에 의해 받는 영향을 분석한 결과, 절삭속도가 30m/min일 때, 잠음에 가장 둔감함을 알 수 있었다. 절삭깊이는 SN비의 분석 결과, 0.1mm일때와 0.3mm일때의 표면거칠기 값이 거의 비슷하였으나 민감도 분석결과, 0.3mm일때 기울기가 완만하여 잠음인자의 수준변화에 훨씬 둔감하게 작용하는 것으로 나타났다.
- ③ 표면거칠기를 최소로 하기 위한 최적조건을 추정하여 확인실험을 해본 결과 절삭속도 30m/min, 이송속도 0.1mm/rev, 절삭깊이 0.3mm인 조건에서 표면거칠기가 최소가 됨을 알 수 있었다.

## 6. 참고문헌

- [1] 조용욱, 박명규, "다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정", 공업경영학회지 제21권, 제46집, pp. 221-227, 1998.



- [2] 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한 난연 ABS 사출공정의 최적조건 결정”, 안전경영과학회지, 제2권 제2호, pp. 167-176, 2000.
- [3] 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한  $\beta$ -carotene의 대량생산을 위한 최적환경 조건의 설계”, 안전경영과학회지, 제2권 제3호, pp. 27-36, 2000.
- [4] Phadke, Madhav. S., Quality Engineering Using Robust Design, New Jersey : Prentice-Hall, pp. 67-113, 1989.
- [5] Kapur, K. C. and Chen, G. “Signal-to-Noise Development for Quality Engineering”, Quality and Reliability Engineering International, Vol.4, pp. 133-141, 1988.
- [6] Taguchi, G and Wu, Y., “Introduction to Off-Line Quality Control”, Central Japan Quality Control Association, pp. 1-48, 1985.
- [7] Moghsoodloo, S. “The Exact Relation of Taguchi Signal-to-Noise Ratio to His Quality Loss Function”, Journal of Quality Technology, Vol.22, pp. 55-67, 1990.
- [8] Fowlkes, W. Y. and Creveling, C. M., Engineering Methods for Robust Product Design, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 33-88, 1995.

## 저 자 소 개

**조용욱** : 명지대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원 산업공학과 석사 및 박사를 취득하였고, 또한 cpim(美 공인 생산재고관리사)자격증을 취득하였으며, 현재 명지대학교 산업기술연구소 책임연구원으로 재직중이다. 산업경영시스템 학회 주체 제 5회 한백 학술상을 수상하였으며, 한국과학기술단체총연합회 주체 제11회 과학기술우수논문상을 수상하였다. 주요 관심분야는 실험계획법, 품질공학, TQM,  $6\sigma$ , ERP, JIT, TOC이론, SCM, CRM등이다.

**박명규** : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교대학원 산업공학과에서 박사학위를 취득하였으며 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고 물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템분석등이다.

**김희남** : 명지대학교 기계공학과 교수