

다구찌 방법을 이용한 폴리아세탈
수지 절삭조건 결정
-A Optimal Parameter Design of Polyacetal Resin
Cutting Experiment Using Taguchi Method-

이재원 1)
Lee, Jae Won
이경록 2)
Lee, Kyong Rok
박명규 3)
Park, Myong Kyu

ABSTRACT

A study to analyze and solve problems of polyacetal resin cutting 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 산업전반에 걸친 모든 실험계획에 적용시킬 수 있는 최적화 설계기법이다. 본 연구에서는 품질문제 해결을 위해 다구찌가 제안한 기본 전략을 절삭가공 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 실험에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해 다구찌 기법을 적용하여 대상 실험의 수행시간과 비용을 최소화시키고, 그 분석에 있어서도 기존의 방법보다 더욱 효율적인 최적조건을 도출할 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고 있다.

1) 명지대학교 산업공학과
2) 명지대학교 산업공학과
3) 명지대학교 산업공학과

또한 효율적인 실험의 수행을 통해 본 연구에서는 다음과 같이 3가지로 분류하여 최적 조건의 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) S/N비를 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 발견해 넘으로써 강건설계(Robust Design)가 될 수 있도록 한다.

2. 실험의 적용환경 구축

2.1 기존 실험의 고찰

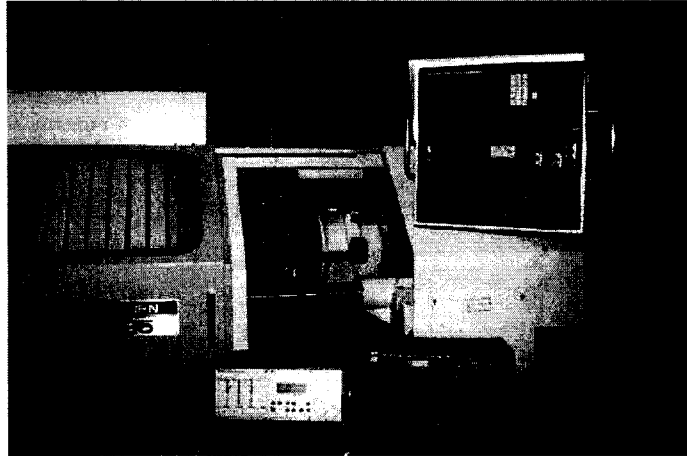
폴리아세탈 수지는 일반적으로 성형가공법에 의해 가공되어지는 것이 보통이지만, 성형에서 얻어지지 못할 정밀도가 요구될 경우, 형상이 사출성형에 적합하지 않을 경우 등의 가공은 절삭가공이 필요하게 된다. 또한 각종 성형가공 후에 여러 가지 절삭가공을 필요로 한다. 본 연구에서는 선반가공 후 표면거칠기를 측정하여 절삭속도, 이송속도, 절입깊이에 대한 실험결과를 분석하여 최적조건을 찾는 것이다.

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 고품위의 제품을 생산하는데 필요한 효율적인 절삭조건을 제시하였다.

2.2 실험에 사용된 기계 장치도



<그림 1> 실험에 사용된 기계 장치도

2.3. 직교배열표에 대한 인자의 배치

제어인자에 대한 배치가 이루어질 때 A인자는 절삭속도(cutting speed)에 따라 3개의 수준, B인자는 이송속도(feed rate)에 따라 3개의 수준, C인자는 절삭깊이(depth of cut)에 따라 3개의 수준으로 나눈다. 수분의 흡수율에 따라 표면거칠기의 값의 변화가 있는지를 알아보기 위해 수분의 흡수율을 잡음인자로 정한다. 이와 같은 제어인자와 잡음인자의 각각의 수준은 <표 1>과 같다.

<표 1> 제어인자와 잡음인자의 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 : 절입깊이(depth of cut)(mm)	0.1	0.2	0.3

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

3. 실험결과의 분석

3.1 실험의 설계

SN비를 이용한 실험결과를 얻기 위하여 $L_9(3^4)$ 에 제어인자를 정하고 잡음인자로는 수분 흡수율에 따른 2개의 측정치를 얻었다. 본 실험은 망소특성에 대한 실험이므로 표면거칠기의 값이 최소가 되는 제어인자들의 수준을 찾는 것이 목적이다.

3.2 실험결과의 분석

3.2.1 S/N비 분석

<표 2> 실험결과와 SN비의 값

요인배치	A	B	C	e	잡음인자 (수분 흡수율)		평균	SN비
인자	절삭속도	이송속도	절입깊이	오차	N1 (0%)	N2 (0.24%)	\bar{y}_i	$SN = -10 \log \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 y_i^2 \right]$
수준	1 30	2 50	3 100					
열# 실험#	1	2	3	4				
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

<표 2>의 SN비의 값을 이용하여 분산분석을 실시하기 위해서 A,B,C인자의 각 수준에서 3개의 SN비의 합을 구해보면 <표 3>과 같다.

<표 3> 각 인자들의 일원표

인자 수준	A	B	C
1	-74.15	-63.2	-76.62
2	-84.72	-78.62	-86.16
3	-82.08	-99.13	-78.17

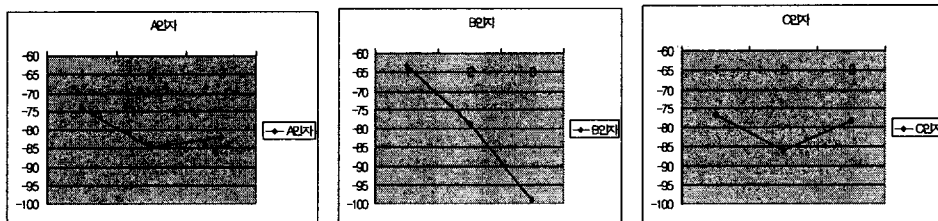
<표 3>으로부터 S/N비 분산분석의 결과는 <표 4>과 같다.

<표 4> S/N비를 이용한 분산분석표

요인	SS	ϕ	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		

S/N비에 대한 분산분석 결과 $\alpha=0.05$ 에서 B(이송속도)가 유의한 인자임을 알았다. A인자와 C인자는 F-검정 상으로는 유의하지 않다고 판단되었으나 F_0 값이 3이상인 것으로 보아 표면거칠기에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

각 인자의 수준에 대한 평균 SN비의 값은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 각 인자수준에 대한 평균 S/N비의 값

위의 결과로 보아 A인자와 B인자는 최적수준이 명확하게 판명되지만 C인자는 각각 1수준과 3수준간의 S/N비의 크기가 확실한 차이를 나타내지 않는다. 따라서 C인자에 대해서는 평균분석을 통해 최적수준을 결정해 줄 필요가 있다.

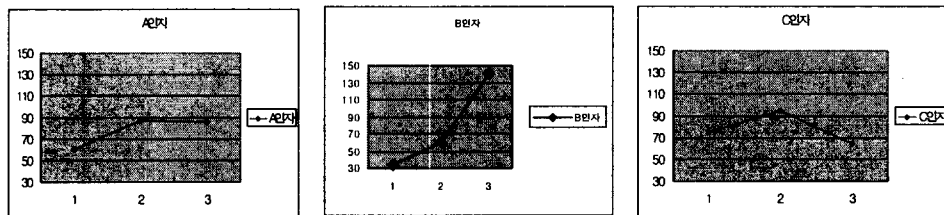
3.2.2 평균분석

각 데이터의 평균을 이용한 분산분석표는 <표 5>와 같다.

<표 5> 평균에 대한 분산분석표

요인	SS	ϕ	V	F_0
A	153.57	2	76.79	1.12
B	2009.76	2	1004.88	14.61*
C	161.58	2	80.79	1.18
e	137.56	2	68.78	
T	2462.47	8		

평균에 대한 분산분석 결과 역시 S/N비에 대한 분산분석 결과와 마찬가지로 B인자가 유의한 것으로 나타났다. 각 인자수준에 대한 평균값은 <그림 3>과 같다.

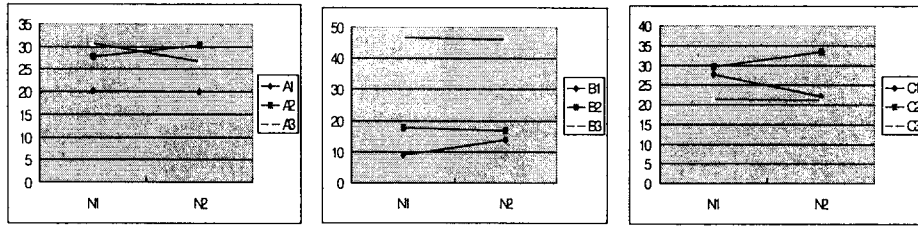


<그림 3> 각 인자수준에 대한 평균값

위의 결과로 보아 역시 S/N비의 분석결과와 마찬가지로 A인자와 B인자의 최적조건은 판명되었으나 C인자의 최적조건은 S/N비의 분석결과와 다르게 나타났다.

3.2.3 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. C 인자는 S/N비의 분석과 평균의 분석에서 C₁과 C₃의 값이 비슷하였으나 민감도 분석 결과 C₃가 기울기가 완만하여 잡음인자의 수준변화에 훨씬 둔감하게 작용하는 것으로 나타났다.

3.3 최적조건의 결정과 확인실험

S/N비의 분산분석 결과와 평균의 분산분석 결과, 그리고 잡음인자에 대한 제어인자의 민감도 분석결과 표면거칠기를 최소화하면서 수분의 흡수율 변화에 가장 둔감하게 작용하는 수준조합은 A₁B₁C₃로 판명되었다.

최적수준에 대한 S/N비의 점추정치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}(A_1B_1C_3) &= \overline{A_1} + \overline{B_1} + \overline{C_3} - 2\overline{T} \\ &= (-24.72) + (-21.07) + (-26.06) - 2(-26.77) \\ &= -18.31 \text{ db} \end{aligned}$$

위의 실험결과를 기초로 제어인자의 수준이 A₁B₁C₃이고 잡음인자의 수준이 N₁인 상태에서 3번의 측정을 반복한 확인실험의 결과는 <표 4-7>와 같다.

확인실험 결과 최적조건일때의 S/N비의 값인 18.31 db과 비교할 때 거의 비슷한 크기의 S/N비 값을 얻을 수 있었고 폴리야세탈 수지의 표면거칠기값이 최적인 상태에서 연속적으로 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 실험결과와 분석을 통해 추정된 최적조건은 표면거칠기를 최소화하면서 잡음에 둔감한 최적조건임을 확인할 수 있다.

<표 4-7> 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	

4. 결론

본 연구에서는 기존의 절삭가공 실험에서 수행하고 있는 폴리아세탈 수지의 선반 가공 후 표면거칠기를 측정하여 그 값이 최소가 되는 최적 조건을 구하기 위해 다구찌 기법의 적용을 제안하였다. 직교배열표를 사용하여 실험횟수를 줄이고, 기존의 실험에서 적용시키지 못했던 수분 흡수율의 차이에 따른 표면거칠기값의 변화를 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 기존의 기계가공 실험에 대한 실험계획과 실험결과 분석의 측면에 있어서 매우 큰 효과와 부수적으로 경제적인 효과도 얻을 수가 있었다.

실험결과를 요약하면 다음과 같다

- ① 제어인자에 대한 S/N비의 분석결과 이송속도의 변화가 실험에 미치는 영향이 상당히 크다는 것을 알 수 있었고 절삭속도와 절입깊이도 작기는 하지만 어느 정도 실험에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.
- ② 제어인자에 대한 평균분석 결과 역시 S/N비의 분석결과와 비슷한 결과를 얻었다.
- ③ 잡음인자에 대한 분산분석 결과 의외로 수분흡수율의 변화가 실험결과에 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있었다.
- ④ 제어인자가 잡음인자에 의해 받는 영향을 분석한 결과 S/N비와 평균의 분산분석에서 명확히 판단되지 않았던 절입깊이의 최적조건을 잡음에 매우 둔감한 0.3mm로 조정하는 것이 최적조건임을 알 수 있었다.
- ⑤ 표면거칠기를 최소로 하기 위한 최적조건을 추정하여 확인실험을 해본 결과 절삭속도 30m/min, 이송속도 0.1mm/rev, 절입깊이 0.3mm인 조건에서 표면거칠기가 최소가 됨을 알 수 있었다.

위의 ①에서 ⑤의 실험결과를 통해 기존의 기계실험에 다구찌 기법을 적용시킨 효과가 상당히 크다는 결론을 얻을 수가 있었다.

주어진 실험여건 하에서 절삭가공의 최적조건을 실험결과의 분석을 통해 구할 수 있었고, 절삭가공 실험을 통해 예측하지 못했던 잡음(수분흡수율)의 효과를 분석할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 김진욱, “다구찌 방법을 이용한 세포배양의 최적조건 결정”, 명지대학교, 석사학위논문, pp. 15-18, 1996.
- [2] 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 영지문화사, pp. 177.
- [3] 권해익, “오프라인 품질관리 파라미터설계에 관한 연구”, 계명대학교, 박사학위논문, pp. 14-17, 1995.
- [4] 박상수, “다구찌 방법을 이용한 난연ABS 사출공정의 최적조건에 관한 연구”, 명지대학교, 석사학위논문, pp. 15-35.
- [5] 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정”, 공업경영학회지 제21권, 제46집, pp. 221-227, 1998.