

☒ 응용논문

다구찌 방법을 이용한 표면거칠기의 최적조건 결정
-The Parameter Optimization Decision of Surface
Roughness Using Taguchi Method-
(사례연구 중심으로)

조 용욱 *

Cho, Yong Wook

박 명규 **

Park, Myung Kyu

ABSTRACT

A study to analyze and solve problems of rotor metal 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 산업 전반에 걸친 모든 실험계획에 적용시킬 수 있는 최적화 설계 기법이다. 본 연구에서는 품질 문제 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 여러 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. 또한, 효율적인 실험의 수행을 위해 본 연구에서는 다음과 같이 3가지로 분류하여 최적조건의 도출에 이용하고자 한다.

- (1) 직교배열표를 사용한 효율적인 실험계획을 통해 기존의 실험횟수보다 월등히 적은 실험횟수(기존 실험의 6561회 실험을 243회의 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.

* 명지대학교 산업공학과 박사과정 (연구원)

** 명지대학교 산업공학과

(3) 잡음인자(noise factor)들을 실험 내에 포함시켜 기존의 실험에서 얻을 수 없었던 최적 조건을 도출하여 잡음에 둔감한 인자를 발견해냄으로써 강건설계(Robust Design)가 될 수 있게 한다.

2. 실험의 적용환경 구축

2.1 기존실험의 고찰

상자형 모터 회전자는 적층시킨 규소강판에 알루미늄을 다이캐스팅하여 제작함으로 절삭가공 시 공구수명이 불안정하며 난삭재로 볼 수 있다. 상자형 모터 회전자의 경우는 프레스 금형의 정밀도만 충분하다면 선반작업이 필요없지만 금형의 정밀도 문제와 상자형 모터 회전자의 적층시 재료에 소성변형이 생기므로 소성변형층을 없애기 위하여 선반에서 재가공을 하고 있는 실정이다. 본 연구는 선반가공후 표면거칠기를 측정하여 절삭깊이, 절삭속도 이송속도에 대한 실험결과를 분석하여 최적조건을 찾는 것이다.

2.2 실험에 사용된 기계 장치도



< 그림 1 > 실험에 사용된 기계 장치도

2.3 직교배열표에 대한 인자의 배치

제어인자에 대한 배치가 이루어질 때 A인자는 절삭깊이(Depth of Cut)에 따라 3개의 수준, B인자는 이송속도(Feed Rate)에 따라 3개의 수준, C인자는 절삭속도(Cutting Speed)에 따라 3개의 수준으로 나눈다. 또한 각인자들간의 교호작용인 A×B, A×C, B×C의 효과도 알아보고자 한다. 시편의 위치에 따라 표면거칠기의 값의 변화가 있는지를 알아보기 위해 시편의 위치를 잡음인자로 정한다. 이와 같은 제어인자와 잡음인자의 각각의 수준은 <표 1>과 같다.

<표 1> 제어인자와 잡음인자의 수준

인자구분	인자명	수준1	수준2	수준3
제어인자	A : Depth of Cut	0.05(mm)	0.1	0.15
	B : Feed rate	0.1(mm/rev)	0.15	0.20
	C : Cutting Speed	291(m/min)	347	409
잡음인자	S : 시편샘플	S ₁	S ₂	S ₃
	P : 샘플내의 위치	P ₁ (좌측)	P ₂ (중앙)	P ₃ (우측)

3. 실험결과의 분석

3.1 실험의 설계

S/N비를 이용한 실험결과를 얻기 위하여 $L_{27}(3^9)$ 에 제어인자를 정하고 잡음인자로는 각 실험 번호당 3개의 시편을 가공하여 각시편당 위치에 따른 3개의 측정치를 얻었다. 본 실험은 망소 특성에 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 열# 실험#	A	B	A×B	A×B	C	A×C	A×C	B×C	B×C	데이터 : 표면거칠기(R_{max})									평균 (\bar{y})	SN비
										S ₁			S ₂			S ₃				
										P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3.8	3.2	2.8	4.2	3.8	4.0	5.2	5.4	4.8	4.83	-12.49
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	5.0	6.8	4.0	4.6	3.8	4.6	3.8	3.8	4.0	4.49	-13.22
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4.4	4.4	14	5.0	6.8	3.6	4.2	4.0	4.6	4.60	-16.18
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	6.0	5.4	6.6	5.4	6.0	5.6	6.6	6.4	7.0	6.11	-15.76
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	8.2	8.4	7.8	5.2	5.4	5.6	6.6	6.0	6.0	6.58	-16.50
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	5.6	10	11	6.4	6.0	6.8	6.2	6.4	5.8	6.38	-17.35
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	7.8	6.6	7.4	8.2	7.8	4.8	7.8	7.4	8.0	7.31	-17.36
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	9.8	9.8	9.8	8.2	8.0	8.4	7.8	8.6	9.0	8.00	-18.94
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	8.2	8.0	8.6	9.0	8.4	8.8	7.6	8.4	8.2	8.36	-18.47
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	3.2	4.4	4.4	4.8	4.2	4.4	3.0	2.6	3.2	3.80	-11.76
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	4.2	3.4	4.2	2.8	4.0	3.6	4.4	4.2	4.4	3.91	-11.92
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	4.2	4.2	4.0	2.6	2.6	7.4	4.4	7.8	4.4	3.96	-13.86
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	5.4	5.2	6.2	4.0	4.4	5.2	5.0	5.4	5.6	5.15	-14.31
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	6.2	6.6	5.0	3.6	3.6	6.2	5.8	5.0	5.4	5.27	-14.59
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	5.6	4.8	6.0	3.8	5.0	6.0	4.6	5.4	4.6	5.09	-14.21
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	6.8	11.8	6.0	6.8	10.4	6.6	7.2	7.0	7.6	6.85	-18.08
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	7.2	7.8	7.2	6.8	6.0	6.4	8.0	6.2	6.0	6.84	-16.75
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	7.4	7.4	8.6	6.4	7.2	7.2	7.6	7.2	7.2	7.36	-17.36
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	4.2	5.2	4.4	3.0	4.0	3.8	3.2	4.0	3.8	3.96	-12.05
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	3.2	4.2	3.4	2.2	6.4	3.4	4.2	4.6	4.8	4.04	-12.46
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	4.1	4.2	4.0	4.2	3.0	3.6	4.8	4.0	4.8	4.07	-12.28
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	4.4	5.0	5.0	5.2	4.4	4.4	4.8	5.6	4.6	4.82	-13.69
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	4.2	4.2	5.2	4.2	4.8	5.4	5.0	5.8	5.2	4.88	-13.84
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	4.7	4.6	5.0	5.0	4.0	4.6	6.2	6.0	5.4	5.05	-14.15
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	6.6	7.2	6.2	7.4	7.0	7.2	5.8	8.8	8.6	7.20	-17.22
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	8.0	9.2	7.6	7.8	8.6	8.0	7.2	6.8	7.0	7.63	-17.88
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3.8	5.2	5.4	7.6	7.4	7.4	7.2	6.8	7.4	6.80	-16.38

<표 2>의 SN비의 값을 이용하여 분산 분석을 실시하기 위해서 A,B,C인자의 각 수준에서 9개의 SN비의 합과 A,B와 A,C와 B,C의 수준조합에서 3개의 SN비의 합을 구해보면 <표 3 >과 같다.

<표3> 각 인자의 1원표와 교호작용 인자들의 2원표

인자 수준	인자		
	A	B	C
1	-146.27	-116.22	-132.72
2	-132.84	-134.40	-136.10
3	-129.95	-158.44	-140.24

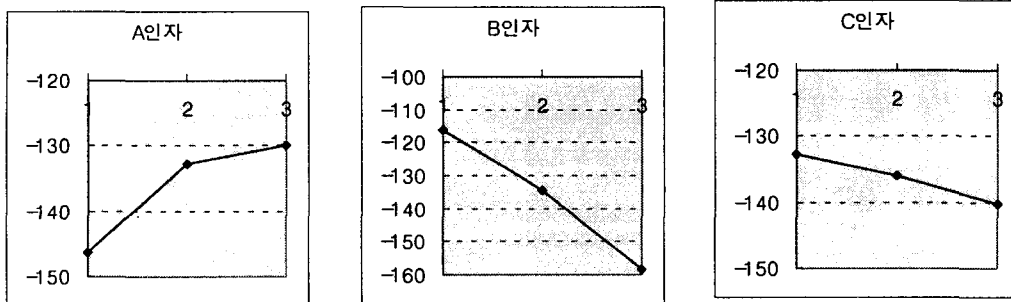
A	B	합	A	C	합	B	C	합
1	1	-41.89	1	1	-45.61	1	1	-36.30
1	2	-52.19	1	2	-48.66	1	2	-37.60
1	3	-41.68	1	3	-52.00	1	3	-42.32
2	1	-51.48	2	1	-44.15	2	1	-43.76
2	2	-49.61	2	2	-43.26	2	2	-44.93
2	3	-37.54	2	3	-45.43	2	3	-45.71
3	1	-43.11	3	1	-42.96	3	1	-52.66
3	2	-36.79	3	2	-44.18	3	2	-53.57
3	3	-54.77	3	3	-42.81	3	3	-52.21

<표 3>으로 부터 S/N비 분산분석의 결과는 <표 4>와 같다.

분산분석 결과 B인자(이송속도)의 차이에 따라 표면거칠기 값이 매우 큰 영향을 받음을 알 수 있고 A인자(절삭깊이)도 B인자보다는 작지만 유의한 인자임을 알 수 있다. 그러나 C인자(절삭속도) 및, 각 인자들의 교호작용은 실험에 미치는 영향이 거의 없는 유의하지 않은 인자임을 알 수 있다. 각 인자의 수준에 대한 평균 SN비 값은 <그림 2>와 같다.

<표 4> S/N비를 이용한 분산분석표

요인	SS	ϕ	V	F_0
A	16.85	2	8.425	3.478*
B	99.67	2	49.835	20.572**
C	3.152	2	1.576	0.651
A×B	2.110	4	0.528	0.218
A×C	4.838	4	1.21	0.499
B×C	4.498	4	1.12	0.462
e	19.38	8	2.423	
T	150.50			



<그림 2> 각 인자수준에 대한 평균 SN비의 값

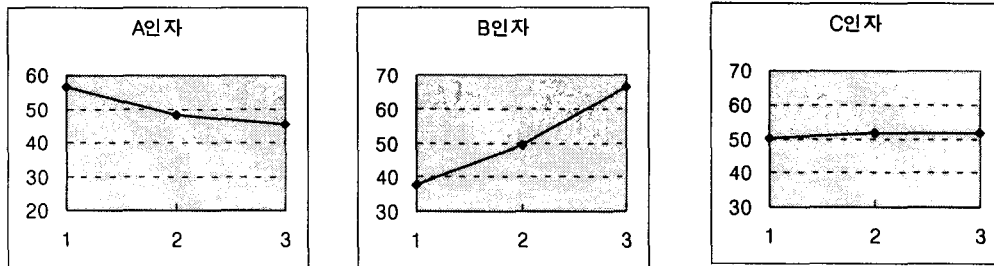
3.2.2 평균 분석

각 데이터의 평균을 이용한 분석결과는 <표 5>과 같다.

<표 5> 평균에 대한 분산분석표

요인	SS	ϕ	V	F_0
A	5.13	2	2.565	25.91**
B	46.29	2	23.130	233.64**
C	0.19	2	0.095	0.69
A×B	0.64	4	0.16	1.616
A×C	0.17	4	0.043	0.434
B×C	0.17	4	0.043	0.434
e	0.79	8	0.099	
T	53.35			

평균을 이용한 분석결과도 SN비를 이용한 결과와 마찬가지로 인자 A,B가 유의한 결과를 나타냈고 인자C와 각 인자들의 교호작용은 유의한 영향이 없음을 알수 있다. 각 인자수준에 대한 평균값은 <그림 3>과 같다.

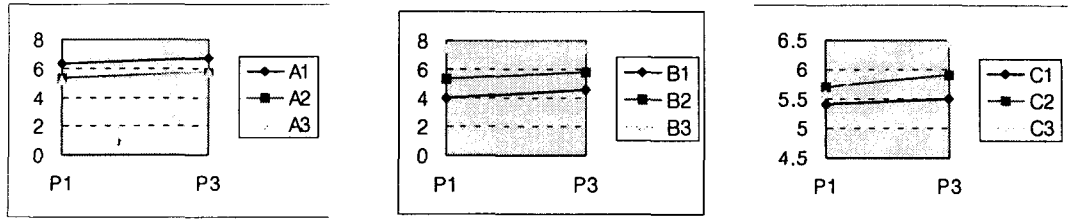


< 그림 3> 각 인자수준에 대한 평균

<그림 3>의 A와B인자에 대한 평균 분석값은 <그림 2>의 SN비의 값과 동일하게 A_3 와 B_1 가 가장 낮은 값을 알 수 있다. 하지만 C인자는 SN비의 값과 동일하게 표면거칠기에 영향을 주지않음을 알 수 있다.

3.2.3 제어인자와 잠음인자간의 민감도 분석 결과

본 연구에서는 잠음인자 수준의 변화(시편 위치의 차이에 따른 표면거칠기값의 변화)에 민감하지 않은 제어인자의 수준을 찾기 위한 민감도 분석을 실시 하였다. <그림 4>는 잠음인자의 수준변화에 대한 제어인자의 효과에 대해 도시한것이다.



<그림 4> 잡음인자에 대한 제어인자의 민감도 분석

특성치인 표면거칠기 값에 유의한 제어인자 A,B는 잡음인자인 시편 위치의 차이에 따른 표면 거칠기값의 변화가 거의 없는 즉, 기울기가 거의 일정함을 알 수 있다. 하지만 유의하지 않은 C인자는 잡음인자의 변화에 따라 기울기가 차이가 있다. 시편의 위치를 P₁에서 P₃로 변화시킬 때 C₁과 C₂ 수준은 직선의 기울기가 거의 일정하지만 C₃수준은 기울기가 매우 큼을 알 수 있다. 그러므로 민감도 분석결과 잡음인자의 변화에 둔감하고 표면거칠기의 값이 작은 C₁ 수준이 최적임을 알수있다.

3.3 최적조건의 결정

분산분석 및 민감도분석 결과 표면거칠기 값을 최소로 하는 최적조건은 절삭깊이가 0.15(mm) 이고 이송속도는 0.1(mm/rev), 절삭속도는 291(m/min)일 때, 즉 A₃B₁C₁이다. 따라서 최적수준에 대한 점추정치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}(A_3B_1C_1) &= \overline{A_3} + \overline{B_1} + \overline{C_1} - 2\overline{T} \\ &= -14.44 - 12.91 - 14.75 - 2(-15.15) \\ &= -11.8\text{db} \end{aligned}$$

4. 결론

본 연구에서는 기존의 절삭가공 실험에서 수행하고 있는, 선반 가공 후 표면거칠기를 측정하여 그 값이 최소가되는 최적 조건을 구하기 위해 다구찌 기법의 적용을 제안 하였다. 직교배열표를 사용하여 실험횟수를 줄이고, 기존의 실험에서 적용시키지 못했던 시편 위치의 차이에 따른 표면거칠기값의 변화를 잡음인자로 사용함으로써 효과적인 실험결과를 도출해 내기위한 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/N비 분석결과 이송속도의 차이에 따라 표면거칠기 값이 매우 큰 영향을 받음을 알 수 있고 절삭깊이의 차이도 이송속도보다는 작지만 유의한 인자임을 알 수 있다. 그러나 절삭속도의 차이 및, 각 인자들의 교호작용은 실험에 미치는 영향이 거의 없는 유의하지 않은 인자임을 알 수 있다..

(2) 제어인자에 대한 평균 분산분석결과 역시 S/N비 분석결과와 같다.

(3) 제어인자가 잡음인자에 의해 받는 영향을 분석한 결과 특성치인 표면거칠기 값에 유의한 제어인자 즉 절삭깊이 및 이송속도는 잡음인자인 시편 위치의 차이에 따른 표면거칠기값의 변화가 거의 없는 즉, 기울기가 거의 일정함을 알 수 있다. 그러나 분산분석시 유의하지 않은 절삭속도는 잡음인자의 변화에 따라 기울기가 차이가 있음을 알 수 있다..

(4) 주어진 조건하에서 분산분석 및 민감도분석 결과, 절삭깊이가 0.15(mm)이고 이송속도는 0.1(mm/rev), 절삭속도는 291(m/min)일 때, 표면거칠기 값을 최소로 하는 최적조건이다.

위의 (1)~(4)의 실험결과에 의해 주어진 실험여건 하에서 표면거칠기의 값이 최소가 되는 최적조건을 실험결과와 분석을 통해 구할 수 있었고, 절삭가공 실험을 통해 예측하지 못했던 잡음의 효과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 영지문화사, pp, 177, 1997.
- [2] 한국공업표준협회(역), "품질평가를 위한 SN비", 한국공업표준협회, pp. 10-20, 1991.
- [3] 권해익, "오프라인 품질관리 파라미터설계에 관한 연구", 계명 대학교, 박사학위논문, pp. 14-17, 1995.
- [4] 조용욱, 박명규, 김진욱, "다구찌 방법을 이용한 세포배양의 최적조건 결정" 공업경영학회지 제 20권 제 37호 pp25-31, 1997.
- [5] Phadke Madhav S., Quality Engineering Using Robust Design, pp. 23-24, 1989.
- [6] Phadke, M. S., Quality Engineering Using Robust Design, New Jersey : Prentice-Hall, pp. 67-113, 1989.
- [7] K. C. Kapur, and G. Chen, "Signal-to-Noise Development for Quality Engineering", Quality and Reliability Engineering International, Vol.4, pp. 133-141, 1988.
- [8] Taguchi, G and Y. Wu, "Introduction to Off-Line Quality Control", Central Japan Quality Control Association, pp. 1-48, 1985.
- [9] 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.
- [10] Yum, B. J, and Ko, S. W, "On Parameter Design Optimization Procedures", Quality and Reliability Engineering International, Vol.7, pp. 39-46, 1991.
- [11] Fowlkes, W. Y. and C. M., Creveling, Engineering Methods for Robust Product Design, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 33-88, 1995.