

# 선삭가공 공정에서 정밀한 최적 가공 조건 결정을 위한 방법론

## A method to determine the accurate optimal cutting conditions in turning process

\*이현욱<sup>1</sup>, 정종혁<sup>1</sup>, 권원태<sup>2</sup>

\*H. W. Lee<sup>1</sup>, J. H. Jung<sup>1</sup>, #W. T. Kwon(kwon@uos.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 서울시립대학교 기계정보공학과 대학원, <sup>2</sup> 서울시립대학교

Key words : Design of experiments(실험계획법), Taguchi method(다구찌 방법), Response surface method(반응표면법), Box-Behken method(박스-베켄 방법), Neural Network(뉴럴 네트워크)

### 1. 서론

선삭공정에서 각종 금속소재와 선삭가공용 인서트의 조합 가지 수는 증가하고 있다. 생산효율을 향상시키고, 공구의 지출비용을 줄이기 위해서 생산자는 가공재료와 절삭공구에 따라 절삭 환경의 최적조건을 얻고자 다양한 실험을 하고 있다. 하지만 얻어진 절삭변수들은 대략적이며, 정확한 최적조건을 얻기 위해서는 더 오랜 시간 동안의 실험을 필요로 한다.<sup>1</sup> 기존 연구 대부분이 영향을 끼치는 주요 인자를 파악하기 위한 실험을 할 때 시간과 수고를 줄이고자 다구찌 방법과 반응표면법 같은 실험계획법을 사용하여 비교 분석하였다.<sup>2,3</sup> 하지만, 실험방법마다 장단점이 있기에 한 가지 방법만으로 정확한 조건에 도달하기 위해서는 어려움이 있다. 다구찌 방법은 실험 횟수의 최소화와 인자들의 실험 구간을 넓게 선정할 수 있어 인자들이 끼치는 정도를 대략적으로 파악할 수 있지만 정확한 최적조건을 선정하기에는 무리가 있다. 반응표면법은 각 인자들의 교호작용까지 고려하여 정확한 최적조건을 선정할 수 있지만, 인자들의 실험 구간 설정에 어려움이 있다.

이에, 본 연구는 선삭공정에서 가공재료에 따른 절삭공구의 최적절삭조건을 구하기 위해 다구찌 방법, 반응표면법, 뉴럴 네트워크를 같이 사용하여 서로의 단점을 보완하려 한다. 다구찌 방법을 이용하여 넓은 범위의 인자 구간에서 대략적인 최적조건을 선택하고, 뉴럴 네트워크를 이용하여 인자 수준 사이의 결과를 예측하며, 두 방법을 종합하여 초기 인자 구간보다 좁혀진 구간에서 반응표면법을 이용하여 정확한 최적절삭조건을 구한다. 선삭 공정특성을 고려하여 절삭속도, 이송량, 절입량을 요인으로 선정하였다. 이 방법론을 증명하기 위해 SM45C의 절삭재료에서 WC-Co의 상용공구의 최대 절삭률을 보이는 최적절삭조건을 구하고, 최적절삭조건에서의 실제 절삭률과 비교 분석 하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 공작기계는 CNC선반(Hyundai Hit-15)이고, 절삭공구는 SNGN 120408 규격의 P20(WC-C0 insert, TaeguTec)이며, 절삭재료는 SM45C(HB200)이다. 건식절삭으로 절삭하였고, 광학현미경(Bestec vision, Xi-Cam)을 이용하여 공구의 프랭크먼 마멸량을 측정하였으며, 마멸량 300 $\mu$ m를 공구 수명으로 판정하였다.

#### 2.2 다구찌 방법

최대 절삭률(mm<sup>3</sup>/sec)을 보이는 절삭속도, 이송량, 절입량 3가지 인자의 최적절삭조건을 구하기 위해 최초 인자 수준 구간은 Table 1에 나타내었다. Table 2에 나와 있는 다구찌 방법의 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 직교배열을 적용하여 실험을 수행하였다.

Table 1 Taguchi method condition

	A	B	C
Cutting speed(m/min)	200	300	400
Feed rate(mm/rev)	0.1	0.2	0.3
Depth of cut(mm)	0.2	0.4	0.6

Table 2 Taguchi method L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) orthogonal array

No	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)
1	A	A	A
2	A	B	B
3	A	C	C
4	B	A	B
5	B	B	C
6	B	C	A
7	C	A	C
8	C	B	A
9	C	C	B

#### 2.3 뉴럴 네트워크

다구찌 방법의 결과 데이터를 이용하여 인자 수준 사이의 결과 값을 추정한다. 은닉층 1개, 은닉 뉴런 6개, 모멘트 0.6, 학습률 0.6으로 하여 10,000회 학습시킨다. 뉴럴 네트워크와 다구찌 방법의 결과 데이터를 종합하여 초기 인자 구간보다 좁혀진 새로운 인자 구간을 선정한다.

#### 2.4 반응표면법

반응표면법 중에 박스-베켄 방법을 선택하여 Table 3의 실험을 수행하였다. MINITAB 14.12.1을 이용하여 추정식(1)을 구한다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 F + \beta_3 D + \beta_4 V^2 + \beta_5 F^2 + \beta_6 D^2 + \beta_7 VF + \beta_8 VD + \beta_9 DF \quad (1)$$

V : Cutting speed(m/min)

F : Feed rate(mm/rev)

D : Depth of cut(mm)

y : Cutting volume/time(mm<sup>3</sup>/sec)

Table 3 Box-Behnken experiment plan

No	Uncoded variable			Coded variable		
	Cutting speed (m/min) (ξ <sub>1</sub> )	Feed rate (mm/rev) (ξ <sub>2</sub> )	Depth of cut (mm) (ξ <sub>3</sub> )	x1	x2	x3
1	A'	A'	B'	-1	-1	0
2	A'	C'	B'	-1	1	0
3	C'	A'	B'	1	-1	0
4	C'	C'	B'	1	1	0
5	A'	B'	A'	-1	0	-1
6	A'	B'	C'	-1	0	1
7	C'	B'	A'	1	0	-1
8	C'	B'	C'	1	0	1
9	B'	A'	A'	0	-1	-1
10	B'	A'	C'	0	-1	1
11	B'	C'	A'	0	1	-1
12	B'	C'	C'	0	1	1
13	B'	B'	B'	0	0	0
14	B'	B'	B'	0	0	0
15	B'	B'	B'	0	0	0

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 다구찌 방법과 뉴럴 네트워크의 최적절삭조건

다구찌 방법을 이용하여 구한 P20-SM45C의 최적절삭조건은 300m/min의 절삭속도, 0.2mm/rev의 이송량, 0.4mm의 절입량이었다. 뉴럴 네트워크로 추정된 최적절삭조건은 270m/min의 절삭속도, 0.175mm/rev의 이송량, 0.35mm의 절입량이었다. 다구찌 방법과 뉴럴 네트워크의 최적절삭조건을 종합하여 인자 구간을 좁힐 수 있었다. 좁혀진 인자 구간은 Table 5에 나와 있다.

Table 5 Box-Behken method condition

	A'	B'	C'
	-1	0	1
Cutting speed(m/min)	260	300	340
Feed rate(mm/rev)	0.16	0.18	0.2
Depth of cut(mm)	0.33	0.4	0.47

#### 3.2 박스-베켄 방법의 최적절삭조건

박스-베켄 방법을 이용하여 구한 추정식(2)로부터 최적절삭조건은 309.6m/min의 절삭속도, 0.19mm/rev의 이송량, 0.4637mm의 절입량이었다. Fig. 1(a)-(c)는 각각 절삭속도, 이송량, 절입량과 절삭률의 그래프로, 다구찌 방법의 인자효과와 뉴럴 네트워크의 추정 그래프와 박스-베켄 방법의 추정값 그래프를 보여준다.

$$y = 2550.86 + 243.51V - 229.346F + 153.896D - 646.746V^2 - 492.612F^2 - 104.976D^2 - 138.742VF + 97.3627VD + 22.0962FD \quad (2)$$

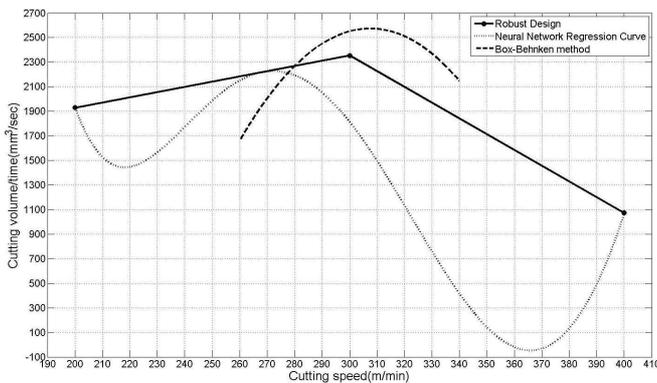


Fig. 1(a) The effects of Cutting speed by Taguchi method and Neural Network and Box-Behken method

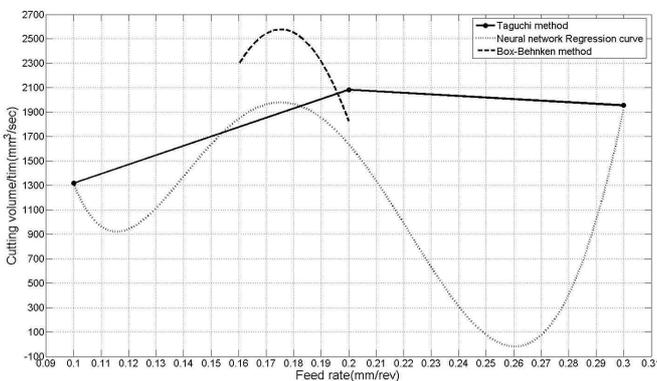


Fig. 1(b) The effects of Feed rate by Taguchi method and Neural Network and Box-Behken method

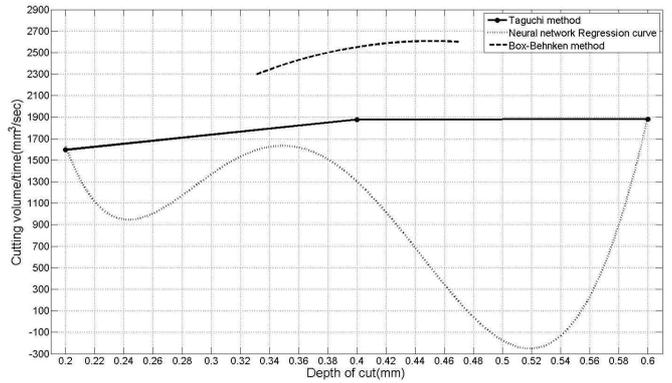


Fig. 1(c) The effects of Depth of cut by Taguchi method and Neural Network and Box-Behken method

#### 3.3 최적절삭조건에서의 실제 절삭률과 비교 분석

박스-베켄 방법의 최적절삭조건에서 이론적인 최대 절삭률은 2677.7687mm³/sec이고, 3회 실험을 통한 최대 절삭률의 평균은 2607.2041mm³/sec이었다. 이론값과 실험값은 약 2.64%의 오차를 보였다.

### 4. 결론

본 연구에서 선삭공정에서 다구찌 방법, 뉴럴 네트워크, 박스-베켄 방법을 사용하여 SM45C에서 P20 절삭공구의 최적절삭조건을 구하고, 실제 실험값과 비교해 보았다.

(1) 넓은 범위의 수준에서 다구찌 방법을 이용하여 300m/min의 절삭속도, 0.2mm/rev의 이송량, 0.4mm의 절입량인 최적절삭조건을 구하였다.

(2) 뉴럴 네트워크를 이용하여 결과 값을 추정하여 270m/min의 절삭속도, 0.175mm/rev의 이송량, 0.35mm의 절입량인 최적절삭조건을 구하였다.

(3) 다구찌 방법과 뉴럴 네트워크의 최적절삭조건을 종합하여 260~340m/min의 절삭속도, 0.16~0.2mm/rev의 이송량, 0.33~0.47mm의 절입량으로 수준의 범위를 축소하였다.

(4) 박스-베켄 방법을 이용하여 309.6m/min의 절삭속도, 0.19mm/rev의 이송량, 0.4637mm의 절입량인 최적절삭조건을 구하고, 최적절삭조건에서 최대 절삭률의 이론값은 실제 실험값과 2.64%의 오차를 보였다.

### 후기

이 논문은 2009년도 한국과학재단 특장기초 연구비로 지원된 연구결과입니다. (R01-2008000-209050)

### 참고문헌

1. 최용철, 김동우, 장윤상, 조명우, 허영무, "절삭률-공구수명 특성 곡선을 이용한 고속가공 공정의 최적화에 관한 연구," 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, 100~105, 2003
2. J. S. Kwak, "Appliation of Taguchi and response surace methodologies for geometric error in surface gridgri process," International journal of machine tools & manufacture 45, 327-334, 2005
3. T. H. Hou, C. H. Su, W. L. Liu, "Parameters optimization of a nano-particle wet milling process using the Taguchi method, response surface method and genetic algorithm," Powder Technology 173, 153-162, 2007
4. C.C. Tsao, H. hocheng, "Evaluation of thrust focce and surface roughness in drilling cmposite material using Taguchi analysis and neural networks," Journal of materials processing technology 203, 342-348, 2008