

# TMSA 를 이용한 다축 밀링머신의 정적 최적설계에 관한 연구 A Study on the Static Optimization of Multi-axis Milling Machine using TMSA

장성현<sup>1</sup>, \*정우영<sup>1</sup>, 권봉철<sup>1</sup>, 홍정표<sup>2</sup>, #최영휴<sup>3</sup>

S. H. Jang<sup>1</sup>, \*W. Y. Jeong<sup>1</sup>, B. C. Kwon<sup>1</sup>, J. P. Hong<sup>2</sup>, #Y. H. Choi(yhchoi@changwon.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 창원대학교 대학원 기계설계공학과, <sup>2</sup> 메카니아(주), <sup>3</sup> 창원대학교 기계설계공학과

Key words : TMSA, S/N ratio, Evaluation Function, Optimization, Discrete Searching Space

## 1. 서론

최적설계를 통한 구조물의 유한요소 해석이 컴퓨터의 발달과 함께 공학적으로 폭넓게 사용되고 있다. 일반적으로 설계 변수가 고정되어 있는 경우가 많으므로 이산설계 변수를 많이 사용하고 있다. 다구찌 기법은 이산 탐색 공간(Discrete searching space)에서 효율적으로 최적해를 탐색하는 방법으로 널리 알려져 있다.

본 논문에서는 구조 최적화(Optimization)를 위하여 다구찌 기법 기반의 순차적 탐색방법인 TMSA (Taguchi Method based Sequential Algorithm)를 제안하였다. 제안된 TMSA 는 목적함수와 제한조건의 별점함수로 이루어진 평가함수(Evaluation function)의 S/N 비(Signal to Noise ratio)로부터 최적해를 탐색한다. 또한 전체 탐색공간에서 임의의 국소 탐색영역의 해를 찾고, 수렴조건을 만족할 때까지 이웃한 국소 탐색영역을 순차적으로 이동하면서 전역해를 탐색하는 알고리즘이다. 최종적으로 본 논문에서는 TMSA 를 이용하여 다축 밀링머신의 부재 치수를 결정하기 위한 정적 최적설계를 수행하였다.

## 2. TMSA 알고리즘

강건기법으로써 다구찌 기법은 파라미터 설계에 폭넓게 사용되고 있다. 또한, 최근에는 구조 설계 최적화에 있어서도 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 구조최적화를 위해 다구찌 기법을 기반으로 하여 전체 설계공간에서 국소탐색영역을 순차적으로 이동하면서 최적해를 탐색하는 TMSA 를 사용하였다. 국소탐색영역의 순차적 이동은 최적화 문제의 목적함수와 별점함수로 이루어진 평가함수로부터 S/N 비를 산출하여 국소해를 찾고, 이 국소해를 중심으로 주변의 새로운 탐색영역을 생성함으로써 진행된다. 즉, 전역 최적해는 TMSA 의 수렴 또는 종료 조건을 만족할 때까지 S/N 비가 증가하는 방향으로 탐색을 진행함으로써 가능하다. 예를 들어, Fig. 1 과 같은 설계공간에서 최소화 문제라고 가정하면, 우리는 최소지점(Lowest point)를 찾아야만 한다.

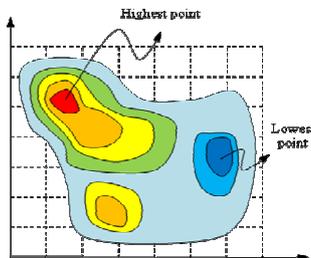


Fig. 1 Design space with global and local optima

Fig. 2 에서와 같이 두 개의 설계변수  $x_i$  와  $y_j$  로 이루어진 전체 이산 탐색 공간을  $S$  라 하고, 각 설계변수의 수준은 3 수준으로 설정하였다. 국소 탐색영역  $S_1$  은 전체 탐색공간에서 임의로 선택 된다. 최소화 문제일 경우 현재 탐색공간인  $S_1$  에서 최소점(국소해)  $\psi_1^1$  을 찾은 후, 탐색공간은 현재 최소해인  $\psi_1^1$  의 주위에서 재생성된  $S_2$  로 전환된다. 마지막으로, 전역해는 순차적인 탐색공간의 재생성을 통해서 발견된 국소해들의 비교로 결정된다.

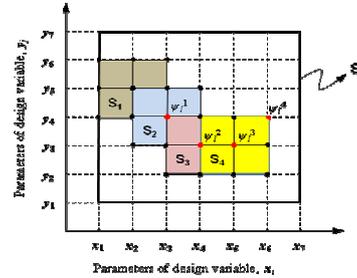


Fig. 2 Discrete searching space with two design variables

본 논문에서 제안된 알고리즘은 Fig. 3 에 나타내었다.

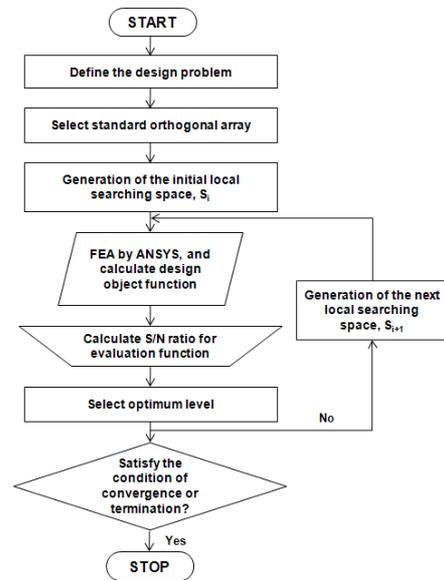


Fig. 3 Flow chart of TMSA

TMSA 알고리즘은 다음과 같이 7 단계로 구성되어있다.

Step 1: 설계 변수와 각 설계 변수의 파라미터를 정의한다. S/N 비를 계산하기 위해서 목적함수와 별점함수 및 평가함수를 정의한다.

Step 2: 각 설계변수의 수준을 설정하고, 적합한 직교좌표계를 선택한다. 직교좌표계는 설계변수의 개수와 각 설계 변수의 수준에 따라 결정된다.

Step 3: 초기의 국소 탐색 공간을 이산공간에서 선택한다.

Step 4: 평가함수를 계산하기 위해 ANSYS 로 FEA 를 수행한다.

Step 5: Step 4 에서 계산된 평가함수로부터 S/N 비를 계산한다.

Step 6: 각 설계변수의 평가함수에 대한 S/N 비를 비교하여 최적 수준을 결정한다.

Step 7: 수렴 또는 종료조건을 판단한다. (a) 만약  $S_{i-1} = S_i$  거나 수렴 기준을 만족하면 과정을 중단하고, 그렇지 않으면, (b)  $S_i$  의 국소해를 중심으로 이웃한 다음 국소 탐색공간인  $S_{i+1}$  를 재생성하여 Step 4 를 진행한다

### 3. 다축 밀링머신의 최적설계

본 장에서는 TMSA 를 이용하여 다축 밀링머신의 치수 최적화를 실행하였다.

Fig. 4 는 다축 밀링머신의 설계 변수를 나타내었다.

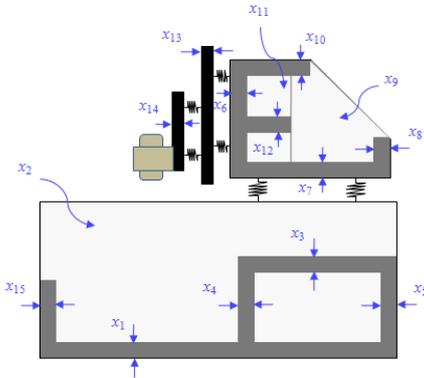


Fig. 4 Design variables of the multi-axis milling machine.

Fig. 5 는 다축 밀링머신의 FEM 모델링이다.

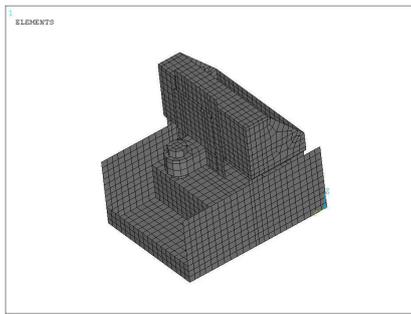


Fig. 5 FEM model of multi-axis milling machine

다음 식 (1) 은 문제를 정식화 한 것이다.

**Find :**  $x_i (i=1, \dots, 13)$

**Object to minimize :** Weight

**Subject to :**  $-2.2 \times 10^4 (mm) \leq \delta \leq 2.2 \times 10^4 (mm)$  (1)

$Mass \leq 57(kg)$

**Design variable :**  $\{10 \leq x_1 \leq 50\}, \{40 \leq x_2 \leq 60\}, \{10 \leq x_3, x_4, x_5, x_{11}, x_{12} \leq 30\}, \{10 \leq x_6, x_7, x_8 \leq 40\}, \{10 \leq x_9, x_{10} \leq 20\}, \{15 \leq x_{13} \leq 30\}$  ( $\because x_i$  는 정수)

여기서,  $\delta$  는 작용력이 발생하는 톨 끝에서의 변위,  $Mass$  은 구조물 전체 질량이다.

식 (2)는 평가함수를, 식 (3)은 S/N 망소특성식을 나타내었다.

$$Eval(x) = C_1 f(x) + C_2 P(x) \quad (2)$$

$$S/N = -10 \log(EVAL) \quad (3)$$

여기서,  $f(x)$ 는 목적함수를  $P(x)$ 는 벌점함수를  $C_1, C_2$ 는 각 함수의 가중치를 나타낸다.

본 연구에서 사용한 직교배열표는  $L_{27}(3^{13})$  표준 직교배열표이다.

위의 문제를 TMSA 를 통해 검증한 결과 평가함수는 Fig. 6 과 같이 나타났고, 목적함수인 질량은 Fig. 7 과 같이 줄어드는 경향을 확인 할 수 있다.

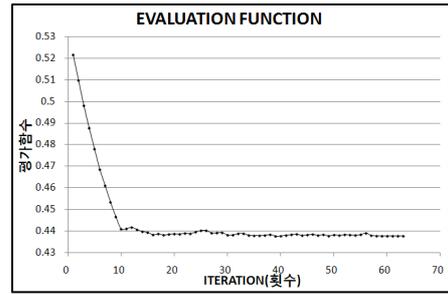


Fig. 6 History of multi-axis milling machine's evaluation function.

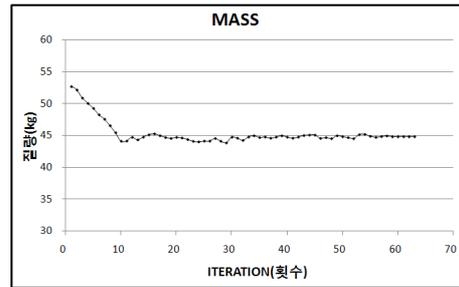


Fig. 7 History of multi-axis milling machine's mass

총 반복횟수는 63 회이고 59 회부터 수렴하였다. 평가함수는 Fig. 6 과 같이 반복횟수에 따라 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 질량도 Fig. 7 과 같이 최적화 하기 전에 비해 16% 정도 줄어들었다. 이는 57kg 이하로 제한조건을 만족한다.

Table 1 은 최적화 전후 질량 및 변위의 결과를 나타내었다.

Table 1 Comparison between before and after optimization result

	Before Optimization	After Optimization
Mass (kg)	53.45	44.83
Displacement (mm)	0.000227	0.000218

### 4. 결론

본 연구에서는 이산설계 공간상에서 제한조건이 있는 구조물의 최적설계를 위해 TMSA 알고리즘을 제안하였고, 다축 밀링머신에 적용해 봄으로서 그 타당성을 증명하였다.

### 후기

본 연구는 산업자원부의 차세대신기술개발사업인 “마이크로 부품 대응형 데스크탑 복합가공기의 구조설계 및 강성평가” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.(Grant No. 10016620)

### 참고문헌

1. 장성현, 정우영, 정용민, 권봉철, 최영휴 ”이산화된 탐색 공간에서 다구찌 방법을 이용한 구조 최적설계에 관한 연구, “ 한국공작기계학회 2008 추계학술대회 논문집.
2. Yi, J. W., "A Sequential Algorithm Using Orthogonal Array in Discrete Space," Ph.D Thesis, Hanyang University, Korea (in Korea), 2004.
3. Cho, B. S., and Yi, J. W., "Global Optimization Using a Sequential Algorithm with Orthogonal Arrays in Discrete Space," Transactions of the KSME A, Vol. 29, No. 10, pp.1369-1376, 2005.