

# Pin Turning Device의 구조 최적설계에 관한 연구 A Study on the Structural Optimization Design of a Pin Turning Device

\*심광섭<sup>1</sup>, 장성현<sup>1</sup>, 안호상<sup>2</sup>, 조용주<sup>2</sup>, 최영휴<sup>3</sup>

\*K. S. Sim<sup>1</sup>, S. H. Jang<sup>1</sup>, H. S. Ahn<sup>2</sup>, Y. J. Jo<sup>2</sup>, #Y. H. Choi(yhchoi@changwon.ac.kr)<sup>3</sup>

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

Key words : TMSA, S/N ratio, Opimization, Pin turning device(PTD)

## 1. 서론

컴퓨터와 유한요소 해석 소프트웨어가 발달함에 따라 여러 가지 최적설계기법이 공학적으로 널리 쓰이고 있다. 최적설계의 목적은 초기 설계 모델을 수학적인 문제로 정식화하여 목적함수를 최소화 또는 최대화 하고, 주어진 제한 조건들을 모두 만족하는 최적화된 설계변수를 찾는 것이며, 이를 통해 제작에 요구되는 비용과 시간을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 크랭크샤프트 핀 부를 가공하는 Pin tuning device (PTD)의 구조 최적화를 수행하였다. 이를 위해 다구찌 기법 기반의 최적설계 방법인 TMSA (Taguchi Method based Sequential Algorithm)를 사용하였으며, 이 TMSA는 목적함수와 제한조건의 별점함수로 이루어진 평가함수(Evaluation function)의 S/N 비로부터 최적해를 찾는 알고리즘이다. 본 연구에서 TMSA 최적설계기법을 이용하여 정·동적 킴플라이언스의 제한 요구치를 만족하면서 PTD의 중량을 최소화하기 위한 구조 최적설계를 수행하였다.

성을 대변한다고 할 수 있다. 해석 결과, Fig. 3과 같이 공구의 회전각도에 따른 구조물의 정·동적 킴플라이언스(강성의 역수)를 구하였으며, 공구의 위치가 15° 일 때 정·동강성이 0.0008  $\mu\text{m}/\text{N}$ , 0.029  $\mu\text{m}/\text{N}$ 로써 가장 취약한 것을 알 수 있다. 따라서, 15° 위치에서 절삭력이 작용할 때를 기준으로 최적설계를 수행하였다.

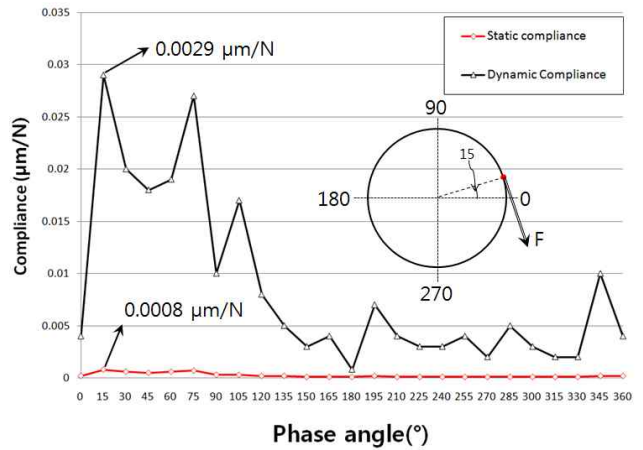


Fig. 3 Computed compliance according to the cutting location

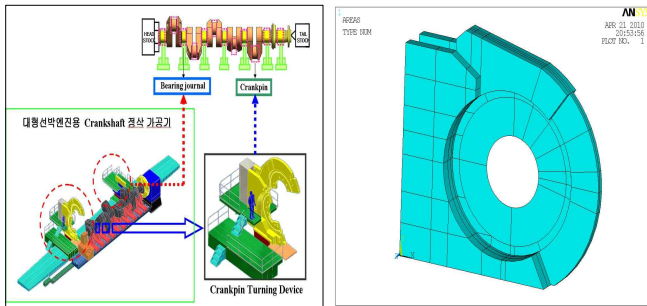


Fig. 1 Pin turning device

Fig. 2 FEM model of PTD

## 2. 초기 모델의 구조 해석

구조 최적설계 대상은 Fig. 1의 PTD이다. PTD는 크랭크샤프트의 핀 부를 가공하기 위한 장치로서 PTD의 공구가 편심된 크랭크샤프트 핀 부 주위를 회전하면서 절삭을 하는 장치이다.

Fig. 2는 해석하고자 하는 PTD의 유한요소 모델로써 평판요소 (SHELL 63)로 모델링 되었으며, 10,439개의 절점과 11,031개의 요소로 구성이 된다. 구조물 본체의 재질은 GCD500이고, 회전링 (Revolving ring)의 재질은 SCM440이다. 그리고 회전링과 구조물 사이는 유정압 베어링에 의해 매우 큰 유정압으로 지지되고 있는데 결합강성이 아주 클 것으로 간주하여 용접구조로 모델링 하였다.

그리고 PTD는 공구가 고정된 공작물의 원주 방향을 따라 돌면서 가공이 이루어지기 때문에 절삭 시, 주분력은 핀 부의 접선 방향으로 작용하게 되며, 공구가 위치한 회전각도에 따라 지속적으로 절삭방향이 변하게 된다. 또한 PTD 구조물의 형상이 대칭적이지 않으므로 절삭력의 위치에 따라 변형과 구조강성은 바뀌게 된다. 따라서 공구의 회전각도에 따른 PTD 구조물의 구조강성을 분석할 필요가 있으며, 공구의 각도를 15° 간격으로 분할하여 하중을 작용하고 정·동강성을 구해 보았다. 여기서, PTD 구조물의 구조강성은 가공정밀도에 직접적인 영향을 주는 공구단에서의 강성으로 볼 수 있으며, 공구가 위치한 회전각도에 따른 정·동강성 중에서 가장 취약한 강성이 PTD 구조물의 구조강

## 3. TMSA 알고리즘

TMSA는 다구찌 기법을 기반으로 하여 전체 설계공간에서 국소해를 찾고, 이 국소해로부터 새로운 탐색공간을 설정하여 순차적으로 이동하면서 수렴조건을 만족할 때까지 전역해를 탐색하는 알고리즘이다.

최소화 문제에 있어서 Fig. 4에서와 같이 전체 이산설계 공간 S에서 정의된 설계 변수  $x_i$ 와  $y_i$ 에 대하여 국부 이산설계공간  $S_k$ 를 탐색하고, 국부 이산설계공간에서 목적함수가 최소가 되는 국부해  $w_i^k$ 를 찾는다. 이 국부해를 바탕으로 새로운 국부 이산설계공간을 설정하고 반복적으로 탐색하여 전 영역에서 최소가 되는 해를 탐색하는 것이다.

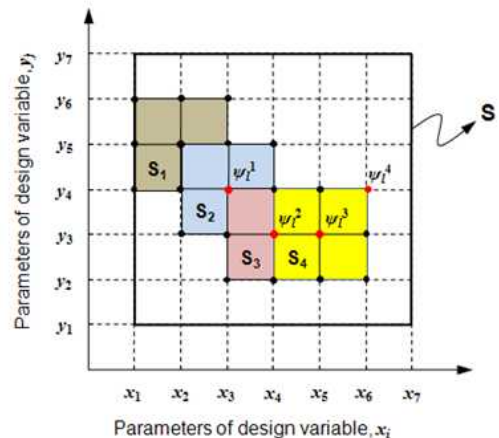


Fig. 4 Exploration method of TMSA

### 4. PTD의 최적설계

본 장에서는 TMSA를 이용하여 PTD의 치수 최적화를 실행하였다. Fig. 5는 PTD의 설계 변수를 나타내며 전체 13개의 설계변수를 설정하였다.

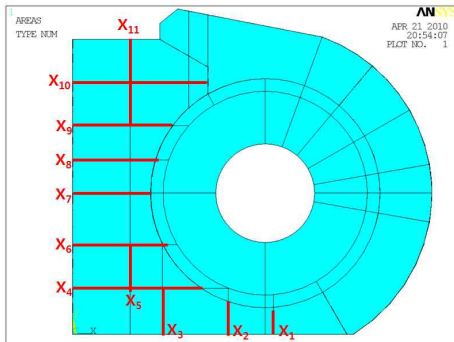


Fig. 5 Design variables of PTD

$x_1 \sim x_{11}$ 은 PTD 내부의 리브에 대한 설계변수를 설정하였고,  $x_{12}$ 는 PTD의 길면 벽 두께,  $x_{13}$ 은 안쪽면 벽 두께이다. 본 연구의 최적설계 문제를 정식화하면 다음과 같다.

◦ Find :  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{13}\}$

◦ Minimize :  $f(x) = \sum_{i=1}^m \rho_i A_i t_i$

◦ Subject to :  $g_1 \leq 0.0008 \mu\text{m}/N$   
 $g_2 \leq 0.029 \mu\text{m}/N$

Where.  $g_1(x) = \left. \frac{\delta}{F} \right|_{\omega=0}$  : static compliance

$g_2(x) = \left. \frac{\delta}{F} \right|_{\max}$  : dynamic compliance

여기서,  $f(x)$ 는 구조물 전체 질량,  $g_1$ 은 정적 컴플라이언스,  $g_2$ 는 동적 컴플라이언스이다. PTD에 대한 구조 최적설계 결과, Fig. 6으로부터 구역탐색의 총 84회 반복 후 종료되었다. 그 결과 Table 1과 Fig. 7과 같이 최적화된 설계변수와 중량을 얻을 수 있었다.

Table 1 Comparison of design variables

Design variable	Value [mm]	
	Before optimization	After optimization
$x_1$	60	88
$x_2$	60	90
$x_3$	60	60
$x_4$	40	54
$x_5$	40	66
$x_6$	70	12
$x_7$	40	82
$x_8$	40	84
$x_9$	40	14
$x_{10}$	50	78
$x_{11}$	40	10
$x_{12}$	50	48
$x_{13}$	40	12

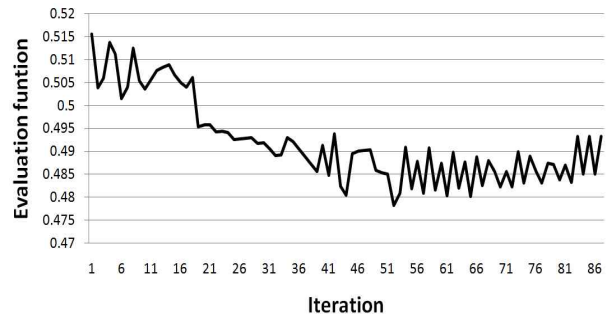


Fig. 6 History of evaluation function vs iteration

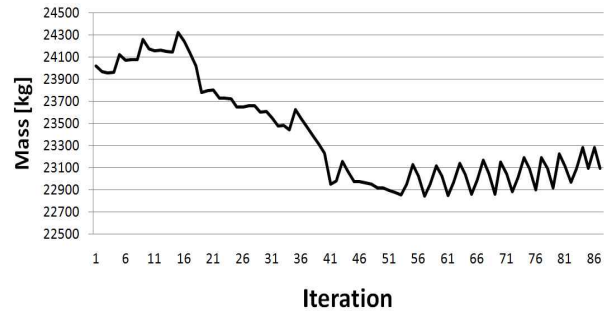


Fig. 7 History of weight vs iteration

Table 2에 구조물의 전체 질량과 정·동적 컴플라이언스를 최적 설계 전후로 비교하여 나타내었다. 최적설계를 통하여 구조물의 정적 컴플라이언스와 동적 컴플라이언스는 각각  $0.00078 \mu\text{m}/N$ ,  $0.028 \mu\text{m}/N$ 로 제한조건을 만족하였으며, 목적함수인 구조물 전체 중량은 23,281 kg으로 최소화하였다.

Table 2 Comparison between before and after optimization

	Before Optimization	After Optimization
Mass [kg]	24,199	23,281
Static compliance [ $\mu\text{m}/N$ ]	0.0008	0.00077
Dynamic compliance [ $\mu\text{m}/N$ ]	0.029	0.028

### 5. 결론

본 연구에서는 PTD의 최적설계를 위해 TMSA를 이용한 최적 설계 방법을 제안하였다. TMSA 최적설계방법을 PTD 구조물의 최적설계에 적용한 결과 구조물의 질량을 줄였고, 강성특성이 향상되었다. 초기 설계와 비교하여 보면 정·동적 컴플라이언스의 제한 조건을 만족하면서 중량은 3.8% (918 kg)만큼 감소하였다.

### 6. 후기

본 논문은 지식경제부의 산업원천기술개발사업의 “고정밀 대형 부품가공용 복합가공기 개발” 일환으로 연구되었습니다.

### 참고문헌

1. 장성현, 정우영, 정용민, 권봉철, 최영휴 “이산화탄소 탐색 공간에서 다구찌 방법을 이용한 구조 최적설계에 관한 연구.” 한국공작기계학회 2008 춘계 학술대회 논문집.
2. 장성현, 정우영, 권봉철, 홍정표, 최영휴 “TMSA를 이용한 다축 밀링머신의 정적 최적설계에 관한 연구.” 한국정밀공학회 2009춘계 학술대회논문집