

초대형 플로어타입 보링 머신용 회전테이블의 최적설계 The Sizing Optimization of a Rotary Table for the Super Size Floor Type Boring Machine

*장성현¹, 이현복¹, 오지한¹, 오창환², #최영휴³

* S. H. Jang¹, H. B. Lee¹, J. H. Oh¹, C. H. Oh², #Y. H. Choi(yhchoi@changwon.ac.kr)³
¹창원대학교 대학원 기계설계공학과, ²한국정밀기계주, ³창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Rotary table, Sizing optimization, Genetic algorithm, Static compliance

1. 서론

플로어 타입 보링머신(floor type boring machine, FTBM)은 주로 풍력발전기나 선박엔진 등의 대형 부품을 가공하는 가공기로써 Fig. 1과 같이 이송베드(carriage bed), 칼럼(column), 램헤드(ram head), 램, 스피들로 이루어진 본체 구조물과 회전테이블(rotary table, RT), 베이스(RT base), 베드(RT bed)로 이루어진 회전테이블 유닛으로 구성이 된다. FTBM은 길이 25,000 mm, 높이 8,000 mm, 폭(또는 보어 깊이) 3,400 mm 이상의 초대형 공작물을 가공할 수 있으며, 회전테이블에는 최대 200톤의 공작물을 적재할 수 있다.

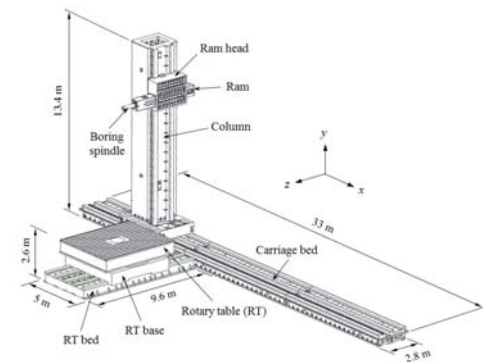


Fig. 1 Super size floor type boring machine

회전테이블 유닛은 Fig. 2와 같이 베이스와 회전테이블 사이의 유정압 베어링(hydrostatic bearing)에 의해 공작물의 하중과 회전테이블의 자중을 지지하게 되며, 작용하중과 자중에 의해 유정압 베어링의 탄성변형과 회전테이블의 구조변형이 구조물의 정적 처짐과 정강성으로 나타나게 된다.

이에 본 연구에서는 회전테이블의 목표정강성

과 설계된 최소 유정압 베어링 강성(k_{hb})을 토대로 하여 유전알고리즘(genetic algorithm)을 이용해 목표정강성을 만족하면서 회전테이블의 처짐과 중량을 최소화하는 최적설계를 수행하고자 한다.

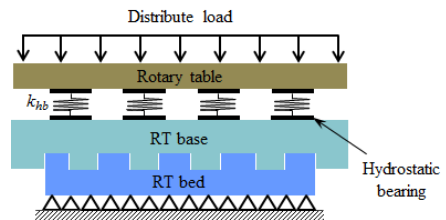


Fig. 2 The schematic of a rotary table unit

2. 회전테이블의 최적설계

2.1 회전테이블의 유한요소모델

작용하중과 자중에 대하여 베드와 베이스의 구조변형은 거의 없기 때문에 회전테이블과 유정압 베어링 구조물만 최적설계 대상으로 하였다. 회전테이블과 유정압 베어링은 각각 판요소(shell element)와 스프링요소를 이용하여 1/4 대칭 유한요소 모델을 생성하였다.

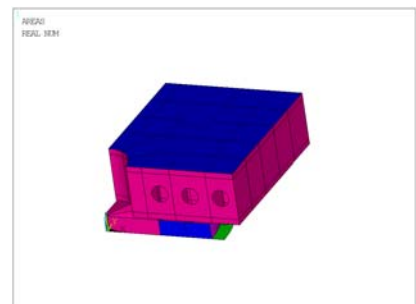


Fig. 3 A quarter FE model of rotary table

또한, 1/4 대칭모델은 바닥면에 9개(전체 36개)의 유정압 베어링으로 지지되며, 각각의 강성(k_{hb})은 200 MN/m로 두었다.

2.2 설계문제 정의

본 연구에서 회전테이블의 중량(W)과 수직방향 최대변위(δ_y^{max}), 중심부와 꼭짓점의 상대변위(δ_{yr})를 목적함수로 두었으며, 설계변수는 Fig. 4에서와 같이 13개의 회전테이블 부재 두께(t_i)로 설정하였다. 또한 제한조건으로 구조물의 중량은 초기 설계 모델의 중량 이하가 되도록 하고 회전테이블의 정적 킴플라이언스(C_{sc})가 $2.083 \times 10^{-4} \mu\text{m/N}$ 이하가 되도록 두었다. 설계문제를 정의하면 다음과 같다.

Find: $t = \{t_1, t_2, \dots, t_{13}\}$ (1)

minimize: $f(t) = w_1 \frac{W}{W^*} + w_2 \frac{\delta_{yr}}{\delta_{yr}^*} + w_3 \frac{\delta_y^{max}}{\delta_y^{*max}}$ (2)

subject to: $W \leq 90,796 \text{ kg}$ (3)

$C_{sc} \leq 2.083 \times 10^{-4} \mu\text{m/N}$ (4)

여기서, 가중치인 w_1, w_2, w_3 는 각각 0.2, 0.4, 0.4이고 $W^*, \delta_{yr}^*, \delta_y^{*max}$ 는 조절계수(scaling factor)이다. 본 연구의 최적설계 문제에서 유전알고리즘의 세대수는 300, 인구수는 60, 교배율은 0.8, 돌연변이율은 0.03으로 설정하였다.

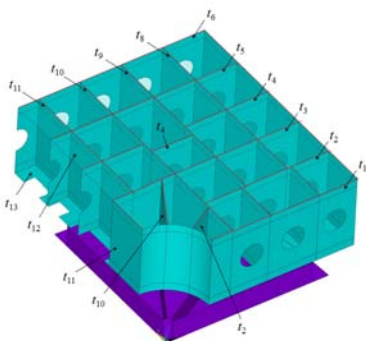


Fig. 4 Design variables of rotary table for sizing optimization

3. 최적설계 결과

회전테이블의 최적설계 결과, 전체 300세대 중에서 119세대 이후에 수렴하였으며, 최적설계 전

후의 설계변수의 두께와 각 목적함수의 값을 Table 1과 Table 2에 비교하여 나타내었다. 회전테이블의 최적설계를 통해 상대변위와 최대변위는 약간 증가하였지만 구조물의 중량은 22.1% 감소하였고 회전테이블 중심의 정적킴플라이언스도 최적화 후에 $1.92 \times 10^{-4} \mu\text{m/N}$ 로 줄어들었으며 모든 제한조건은 만족하였다.

Table 1 Comparison of design variables

t_i	Thickness (mm)		t_i	Thickness (mm)	
	Before	After		Before	After
t_1	25	11	t_8	50	34
t_2	50	20	t_9	50	54
t_3	50	58	t_{10}	50	20
t_4	50	46	t_{11}	50	38
t_5	50	24	t_{12}	100	72
t_6	50	26	t_{13}	100	78
t_7	50	32	-	-	-

Table 2 Comparison of objectives

	Before	After
Weight, W	90,796 kg	70,685 kg
Relative displacement, δ_{yr}	127.61 μm	154.41 μm
Max. displacement, δ_y^{max}	535.89 μm	539.46 μm

4. 결론

본 연구에서 유정압 베어링으로 지지되는 회전테이블의 치수 최적설계를 수행하였다. 초기설계 모델에 비해 상대변형과 최대변형은 약간 증가하였지만 중량은 22.1% 감소되었으며, 회전테이블 중심의 정강성도 약 408 N/ μm 정도 향상 되었다.

후기

본 논문은 지식경제부 신성장동력장비경쟁력 강화사업의 “초대형 플로워 타입 보링 머신 개발” 과제의 일환으로 연구되었습니다.

참고문헌

1. Jang, S. H., Kwon, B. C., Choi, Y. H. and Park, J. K., "Structural Design Optimization of a Micro Milling Machine for Minimum Weight and Vibrations," Journal of KSMTE, **18**(1), 103-109, 2009.