

# 초대형 플로어 타입 보링머신의 구조해석

## Structural Analysis of the Super Size Floor Type Boring Machine

\*오지한<sup>1</sup>, 장성현<sup>1</sup>, 이현복<sup>1</sup>, 오창환<sup>2</sup>, #최영휴<sup>3</sup>

\*J. H. Oh<sup>1</sup>, S. H. Jang<sup>1</sup>, H. B. Lee<sup>1</sup>, C. H. Oh<sup>2</sup>, #Y. H. Choi(yhchoi@changwon.ac.kr)<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>창원대학교 대학원 기계설계공학과, <sup>2</sup>한국정밀기계주, <sup>3</sup>창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Floor type boring machine tool, Finite element method, Static deflection

### 1. 서론

플로어 타입 보링머신(floor type boring machine, FTBM)은 주로 발전기나 선박엔진 등의 대형부품을 가공하는 가공기로써 그 구조는 Fig. 1에서처럼 칼럼(column), 램헤드(ram head), 램, 스피들, 회전테이블(rotary table) 그리고 베드(bed)로 구성된다. 본 연구의 초대형 FTBM은 길이 25,000 mm, 높이 8,000 mm, 폭(또는 보어 깊이) 3,400 mm 이상의 초대형 공작물을 가공할 수 있으며 가공기의 정밀도를 결정하는 핵심 유닛인 램헤드는 램과 보링스피들이 Z-축 방향으로 각각 최대 1,800 mm와 1,600 mm까지 가변적으로 돌출되는 구조이다. 스피들의 직경은 250 mm이며, 램과 스피들의 중량은 3,000 kg이고 이를 포함한 램헤드의 중량은 24,000 kg이다.

특히, 자중에 의한 FTBM 스피들 끝단의 정적 처짐은 칼럼 상에서 수직 이송위치와 램과 스피들의 돌출길이에 따라 변화하며, 이는 가공기의 정밀도에 심대한 영향을 미치게 된다. 흔히, 공작기계의 자중에 의한 처짐량 보상을 위해서는 NC 보상을 채택하는 경우가 많지만 대형 공작기계의 경우는 이 처짐량이 매우 크므로 NC 보상 뿐만아니라 설계 단계에서부터 처짐량을 최소화하는 것이 매우 중요하다. 따라서 가공기의 설계과정에서 구조해석 또는 구조 수리계산을 통해 구조변형을 예측하고 분석하여 설계에 반영할 필요가 있다.

그리고 처짐의 형태는 선형 처짐(translational displacement)과 회전 또는 굽힘 변형(rotational or bending deflection)으로 구분할 수 있으며, Fig. 2(a)에서와 같이 램헤드 유닛의 무게중심(center of mass)과 이송축이 일치할 경우는 자중에 의한 선형 처짐( $\delta_y$ )만 발생하고 처짐보상도 용이하다. 반면, Fig. 2(b)와 같이 무게중심과 이송축이 일치하지

않으면 선형처짐과 더불어 굽힘변형( $\theta_x$ )이 함께 발생하여 처짐보상도 쉽지 않다.

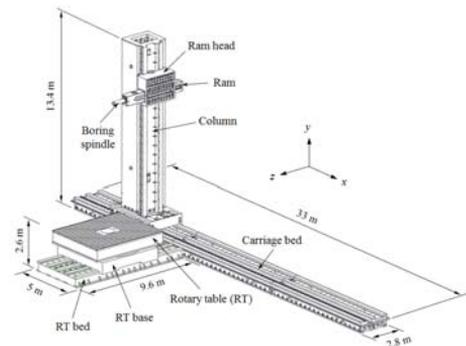
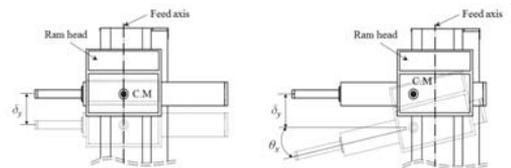


Fig. 1 Super size floor type boring machine



(a) Linear deformation (b) Bending deformation  
 Fig. 2 Two different types of deformations in the ram head unit of FTBM

본 연구에서는 초대형 FTBM의 가공정밀도에 영향을 줄 수 있는 자중에 의한 처짐을 유한요소해석을 통해 분석하고자 하며, FTBM의 핵심 유닛인 램헤드의 가변 행정에 따른 선형 처짐 및 회전 변형을 구하였다.

### 2. FTBM의 구조해석

#### 2.1 FTBM의 유한요소모델

FTBM의 정적해석을 위하여 Fig. 3에서처럼 회

전테이블을 제외한 구조물과 스피ndl을 각각 판요소(shell element)와 빔요소를 이용하여 전체 960,000개의 요소와 1,289,875개의 절점으로 구성된 유한요소 모델을 생성하였다. 베드와 칼럼, 칼럼과 램헤드 사이의 이송 결합부는 용접구조로 가정하였고, 램헤드 내부의 램 안내면은 유정압에 의해 지지되는데 이는 등가 탄성계수를 가지는 판요소로 나타내었다. 또한 램헤드의 자중을 보상하는 카운터 발란스 중량(count balance weight)은 장력방향으로 작용력을 환산하여 작용시켰다. 구조물의 구속조건은 앵커볼트로 지면에 고정되는 베드 바닥면을 완전 구속하였고, 구조물과 스피ndl의 재질은 각각 GC300, SACM645이다.



Fig. 3 Finite element model of FTBM

FTBM의 해석은 램헤드의 Y축 이송(y-stroke) 및 램의 돌출행정(z-stroke)과 스피ndl의 돌출행정(w-stroke)에 따라 Table 1과 같이 총 12가지 경우에 대하여 선형 처짐과 회전변형을 해석하였다.

Table 1 Analysis case of FTBM upon ram head stroke

Case	Stroke of ram head (mm)	Stroke of ram and spindle (mm)		
	Y-stroke	Z-stroke	W-stroke	Total stroke
1-1	8,000 (high)	1,800	1,600	3,400
1-2		1,800	0	1,800
1-3		0	1,600	1,600
1-4		0	0	0
2-1	4,000 (middle)	1,800	1,600	3,400
2-2		1,800	0	1,800
2-3		0	1,600	1,600
2-4		0	0	0
3-1	0 (low)	1,800	1,600	3,400
3-2		1,800	0	1,800
3-3		0	1,600	1,600
3-4		0	0	0

## 2.2 해석 결과

Table 2와 같이 램헤드 유닛의 행정에 따라 Y축 방향으로 처짐( $\delta_y$ )이 110.9  $\mu m$ 에서 393.04  $\mu m$ 까

지 발생하였고, 각 Y축 이송에서 돌출행정이 3,400 mm일 때 최대처짐이 발생하였다. 이는 램헤드의 선형 처짐뿐만 아니라 회전변형이 크게 발생하였기 때문이다.

Table 2 Calculated displacement of FTBM

Case	Calculated displacement				
	$\delta_x$ ( $\mu m$ )	$\delta_y$ ( $\mu m$ )	$\delta_z$ ( $\mu m$ )	$\delta_{iso}$ ( $\mu m$ )	$\theta_x$ (arcsec)
1-1	27.22	-393.04	98.66	406.15	11.41
1-2	21.98	-152.07	86.30	176.23	3.68
1-3	40.70	-167.75	-30.07	175.21	1.50
1-4	26.78	-140.15	-60.70	155.06	-2.90
2-1	28.31	-364.19	45.60	368.12	10.49
2-2	23.33	-133.72	45.09	143.03	5.23
2-3	29.37	-164.10	-12.51	167.18	1.82
2-4	23.43	-131.74	-25.84	136.28	-2.72
3-1	21.74	-325.02	9.13	325.87	9.50
3-2	15.05	-110.90	7.93	112.97	2.65
3-3	16.08	-152.71	-4.76	153.63	2.07
3-4	12.3	-111.6	-9.00	112.64	-2.43

## 3. 결론

본 연구에서는 FTBM의 수직이송 및 돌출행정에 따른 정적해석을 수행하여 선형 처짐과 회전변형을 구하였다. 램헤드의 수직 이송이 커질수록 자중에 의한 처짐은 증가하였고, 램과 스피ndl의 돌출행정이 클수록 회전변형으로 인한 처짐이 크게 발생하였다. 이는 가공기의 가공정밀도를 저하시키는 요인이기 때문에 NC 보상과 같은 처짐보상과 더불어 구조 최적설계 또는 구조개선을 통해 처짐을 최소화하기 위한 방안이 필요한 것으로 판단된다.

## 후기

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

## 참고 문헌

1. Jang, S. H., Choi, Y. H., Kim, S. T., An, H. S., Choi, H. B. and Hong, J. S., "Development of Core Technologies of Multi-tasking Machine Tools for Machining Highly Precision Large Parts," Journal of KSPE, 29(2), 129-138, 2012.