

# 대형 복합수직선반 크로스레일의 치수최적화 Size Optimization of Multi-tasking Vertical Lathe's Crossrail

\*이명규<sup>1</sup>, #이동윤<sup>1</sup>, 송기형<sup>1</sup>, 최학봉<sup>2</sup>

\*M. G. Lee<sup>1</sup>, #D. Y. Lee(dylee@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, K. H. Song<sup>1</sup>, H. B. Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원, <sup>2</sup>(주)기흥기계

Key words : Size Optimization, FEM, Crossrail, Vertical Lathe

## 1. 서론

풍력 발전기의 날개(Blade) 및 너셀(Nucell)의 연결부에 사용되는 요 베어링(Yaw bearing)과 피치 베어링(Pitch bearing)은 회전과 각도를 조절하는 부품으로 베어링의 정밀도와 수명 유지를 위해 고경도의 표면 경화 열처리(약 Hrc60정도)가 되어 있기 때문에 하드 터닝과 밀링, 드릴링 등의 복합 가공이 가능하면서 베어링 직경 5m 이상을 가공할 수 있는 대형 복합수직선반이 요구되고 있다. 이와 같이 고경도의 베어링을 가공하기 위한 장비는 고강성화가 요구됨에 따라 구조물의 중량이 증가하게 되므로 장비 자체의 변형이 발생하여 위치정밀도의 왜곡을 초래하게 된다. 이러한 왜곡현상과 구조적 변화를 방지하기 위해 구조물의 루프강성을 고려하여 구조적으로 취약한 부위를 개선하는 설계 연구가 이루어진바 있다<sup>(1)</sup>.

본 논문에서 다루고 있는 복합수직선반에서는 돌출된 새들과 램의 자중(4.4ton)에 의해 크로스레일에 뒤틀림이 발생하게 되는데, 치수최적화(Size Optimization) 방법을 적용하여 크로스레일의 외형은 유지하면서 강성을 높일 수 있는 최적의 리브 두께를 찾고자 한다.

## 2. 구조해석

복합수직선반은 두 개의 칼럼 위에 크로스레일이 고정되고, 새들과 램이 크로스레일의 전면부에 장착되어 좌우로 이동하게 된다. 램은 상하로 움직이며, 하부에 유니버설헤드(Universal Head), 톨링 헤드 및 터렛이 부착되어 테이블 위에 고정된 공작물을 가공하도록 설계되어 있다. 전면부에 장착된 구성품들이 크로스레일에 미치는 영향을 파악하기

위하여 컬럼을 제거한 모델을 구성하고, 램의 끝단으로부터 650mm 떨어진 위치에 공구중심점(Tool Center Point)을 선정하였다. 그리고 가공위치에 따른 공구 위치의 변화 및 크로스레일의 뒤틀림을 분석하기 위하여 크로스레일의 중심으로부터 1000mm, 1750mm, 2200mm, 2500mm, 3050mm 에 새들과 램이 위치하는 5 개의 모델을 구성하였다.(Fig. 1)

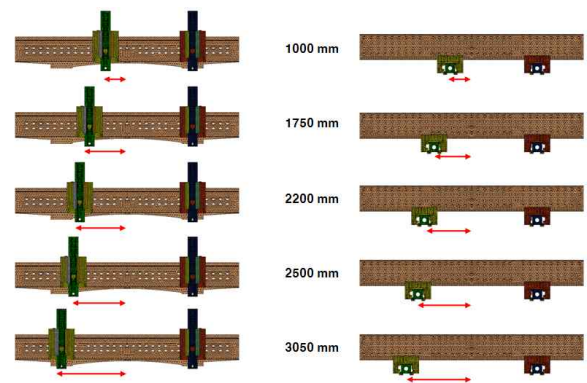


Fig. 1 Machining position

구조해석에 사용된 경계조건은 크로스레일과 컬럼의 연결부를 회전과 이동이 없도록 구속하였고, 하중조건은 구조물 전체에 대하여 중력가속도를 적용하였다. 구조물의 재료는 회주철(GC300)로 물성치는 탄성계수 90GPa, 포와송 비 0.25, 밀도 7,250Kg/m<sup>3</sup>이다.

Table 1 TCP displacement( $\mu$ m) at Machining position

Machining position	X	Y	Z	ISO
1000mm	-18.3	11.4	-81.7	84.5
1750mm	-19.9	7.9	-47.3	51.9
2200mm	-15.4	6.0	-28.2	32.7
2500mm	-10.8	5.9	-19.9	23.4
3050mm	-0.9	7.6	-14.7	16.5

공구중심점 변위 결과를 Table 1에 정리하였으며, 공구가 크로스레일 중심부터 컬럼 구간에서 가공을 위해 왕복하게 되면 Y축 방향에 대해서 약 5.5 $\mu\text{m}$ 의 최대 변위차가 발생함을 알 수 있었다. 가공정밀도를 높이기 위해 각축에 대한 위치정밀도를 맞추는 보정작업이 필수적이거나 본 논문에서 다루는 복합수직선반은 Y축 이동이 불가능한 고정구조로 되어 있어 보정이 어려운 상황이므로 위치정밀도 개선을 위해 크로스레일 자체의 구조적인 개선이 필요하다.

### 3. 치수최적화

치수최적화 해석을 수행하기 위해 크로스레일의 외관은 변경하지 않고 내부의 리브를 설계변수(Design Variable)로 설정하고, 길이 방향에 대하여 상(Tu), 하(Tb), 전(Tf), 후(Tr), 중앙(Tc)의 5개의 독립변수로 구성하였다. 그리고 Y축의 공구중심점 변위가 11.4 $\mu\text{m}$ 로 나타난 초기 크로스레일에 대하여 5.0 $\mu\text{m}$ (50% 감소) 이내를 만족하는 리브 두께 T를 결정하는 문제로 정의하였다. 설계변수인 5개의 리브 두께 T의 초기값은 30mm이며, 하한 값과 상한 값은 초기 두께의 2배수를 기준으로 15mm ~ 60mm로 정하였다. 치수최적화는 상용화 프로그램인 Altair사의 Optistruct 10.0을 사용하였으며, 치수최적화 수행 결과는 Table 2에 정리하였다. 이 결과로 Tu, Tr과 Tc가 공구중심점의 위치정밀도에 영향을 미치는 중요한 변수임을 알 수 있었다.

Table 2 Opti-result(mm) at Machining position

	Tu	Tb	Tf	Tr	Tc
1000mm	60	15	15	25	42
1750mm	45	15	15	47	35
2200mm	37	15	15	47	29
2500mm	39	15	15	60	26
3050mm	60	15	15	60	36

### 4. 치수최적화 검증 해석

공구중심점의 위치정밀도의 개선 여부를 분석하기 위해 가공위치별 최적해의 최대 두께값을 조합하여 모델을 구성하고 검증해석을 수행하였으며, 공구중심점 변위 결과를 Table 3에 정리하였다.

Fig. 2는 초기 및 최적화 모델의 Y축 공구중심점

을 비교한 결과 그래프이며, 가공 구간 내에서 초기 모델의 최대 변위차는 5.5 $\mu\text{m}$ , 최적화 모델의 최대 변위차는 2.7 $\mu\text{m}$ 로 초기 모델과 비교하여 약 51%가 개선되었음을 확인할 수 있었다.

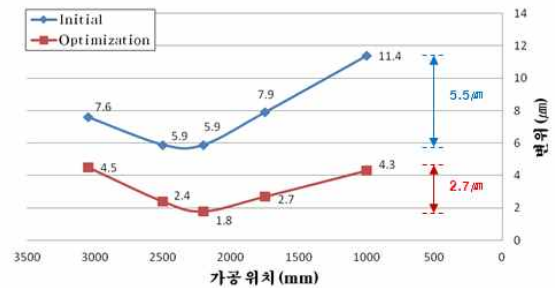


Fig. 2 Y axis displacement of TCP at Machining position – Initial & Opti-Crossrail

Table 3 TCP displacement( $\mu\text{m}$ ) of Opti-Crossrail

	X	Y	Z	ISO
1000mm	-19.0	4.3	-81.3	83.6
1750mm	-21.1	2.7	-46.4	51.0
2200mm	-16.5	1.8	-27.0	31.6
2500mm	-11.5	2.4	-18.4	21.9
3050mm	-1.2	4.5	-13.0	13.8

### 5. 결론

공구중심점 변위 분석을 통해 위치정밀도 개선을 위해 크로스레일의 구조개선 필요성을 확인하였고, 치수최적화 해석으로 구한 리브 두께를 적용한 결과, Y축의 공구중심점 변위를 5.0 $\mu\text{m}$  이내로 감소시키고자 했던 목적함수를 만족함과 동시에 가공 구간내의 변위차를 비교해본 결과 약 51%의 변위 개선 효과가 있음을 확인하였다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업인 "풍력 발전기 부품가공용 복합수직선반 개발" 과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Brecher. C., Manoharan. D., and Stephan Witt. E. W. E., 2008, "Structure integrated adaptronical systems for machine tools," Production Engineering., Vol. 2, No. 2, pp. 219~223.