

레이저 복합 가공기의 구조보강의 영향 평가에 관한 해석적 연구

신재호*, 이춘만⁺, 정원지⁺⁺, 김재실⁺⁺, 이원창⁺⁺

(논문접수일 2006. 11. 28, 심사완료일 2007. 1. 25)

An Analytical Study on the Effects of Structural Reinforcement for Laser Multi-tasking Machine

J. H. Shin*, C. M. Lee⁺, W. J. Chung⁺, J. S. Kim⁺⁺, W. C. Lee⁺⁺

Abstract

Recent technological developments in machine tools have been focused on high speed, low vibration machining and high precision machining. And the concern with multi-functional machining has been increased for the last several years. Multi-tasking machines are widely used in machine tool industries. Laser multi-tasking machine has been developed for high precision and fewer vibration machining. The purpose of this study is to evaluate the effects of structural reinforcement on Laser multi-tasking machine which is comprehensively combined turning center and laser machine. Up to date, for the structural stability evaluation of a multi-tasking machine, the analysis model has been considered only the weight of the upper parts. The positions of upper parts on multi-tasking machine have not been considered in the model. So, the results of the present FE model have revealed some difference with measurement data in case of multi-tasking machine. Design of the machine and structural analysis is carried out by FEM simulation using the commercial software CATIA V5. In the result of the structural analysis, effectiveness of reinforcement of the bed was confirmed.

Key Words : Multi-tasking machine(복합가공기), Finite element analysis(유한요소해석), Static analysis(정적해석), Structural reinforcement(구조적 보강)

* 국립창원대학교 기계설계공학과 대학원 (fallinx@paran.com)
주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지 창원대학교 IMS실험실 (50108)
+ 국립창원대학교 기계설계공학과
++ 국립창원대학교 기계공학과

1. 서론

최근 자동차, 가전제품 등의 생산업체의 다양하면서도 빈번한 모델의 변경에 따른 공작기계의 기술적 대응으로, 복합 가공기라 불리는 공정집약형 가공 방법이 개발되고 있다. 일본, 유럽뿐만 아니라 국내에서도 밀링과 선반 등을 복합화한 가공기의 개발이 진행되고 있으며, 이는 공정집약이라는 수단으로 생산의 효율화를 실현하고 공작기계의 부가가치를 높인 것이다. 레이저 복합 가공기는 세계적으로 개발된 예가 극히 적으며, 베드(bed) 상부에 많은 가공기가 올려지기 때문에 가공 시 가공정밀도를 확보하기 위해서는 정적해석을 통하여 상부 중량물의 중량효과에 대한 검증이 필요하다. 본 연구에서 고려될 레이저 가공과 선반 가공을 수행할 수 있으며 레이저 가공의 가장 큰 장점은 정밀성, 유연성, 무진동 등이다. 레이저 복합가공기의 구조는 Fig. 1에서와 같이 하나의 베드 하부레일에 선반, 상부레일에 레이저 가공기가 얹어져 있는 형태이다.

본 연구의 목적은 레이저 복합가공기의 베드 보강의 효과를 검증하는 것이다.

레이저 복합가공기의 구조적 보강의 목적은 보강되기 전

보다 베드 상단의 상부 구조물로 인한 베드의 처짐을 줄여 상부 구조물의 구동 안정성을 확보하는 것으로 이는 레이저 가공의 큰 장점중의 하나인 가공정밀도와도 밀접한 관련이 있다.

본 연구에서는 상부구조물의 중량 효과만을 고려한 것이 아니라, 베드 보강 전, 후와, 레이저 가공기와 선반의 베드상의 위치를 변화시켜가며 여러 번의 해석을 수행할 목적으로, 빠르게 결과값을 얻을 수 있는 오토메쉬(automatic mesh)를 사용함을 전제하고 유한요소해석모델을 구축하였다. 구축된 3차원 모델을 이용하여 베드하부를 구조적으로 보강을 하여 유한요소해석을 실시하고 보강이 레이저 복합가공기의 구조적 안정성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 레이저 복합가공기의 모델링

Fig. 2는 레이저 복합가공기의 2차원 도면이며 이를 3차원으로 모델링하였다. 레이저 복합가공기의 3차원 모델은 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

Fig. 3은 레이저 복합가공기 베드의 상부 구조물로 베드 상부레일의 새들(saddle) I과 컬럼(column), 하부레일의 새

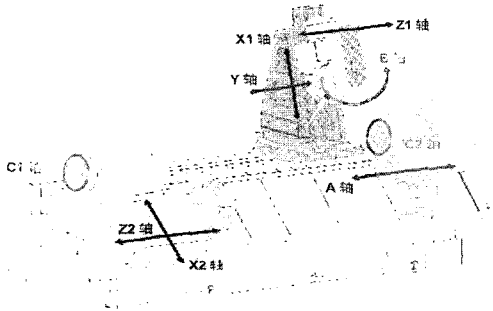


Fig. 1 Schematic of laser multi-tasking machine

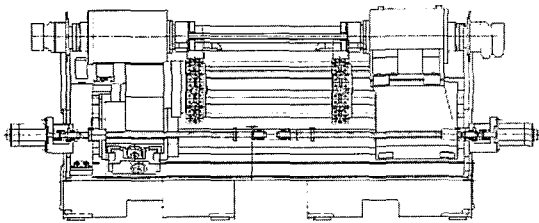


Fig. 2 Laser multi-tasking machine drawing generated according to the design rules

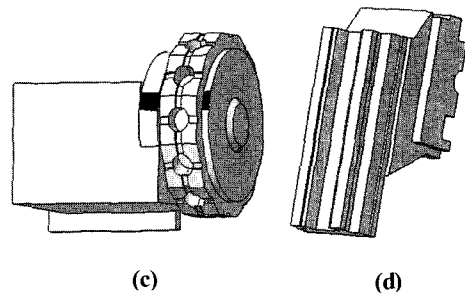
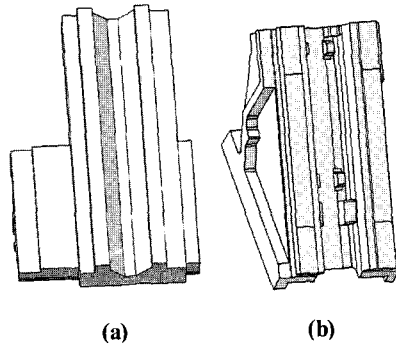


Fig. 3 Three dimensional model of (a) saddle I (b) column (c) turret (d) saddle II

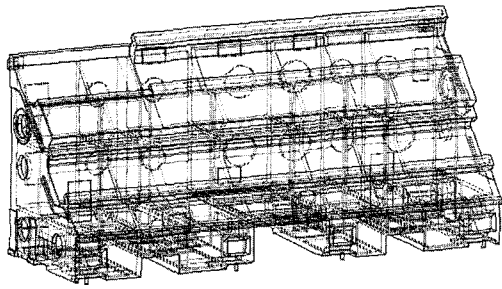


Fig. 4 Three dimensional model of bed before reinforcement

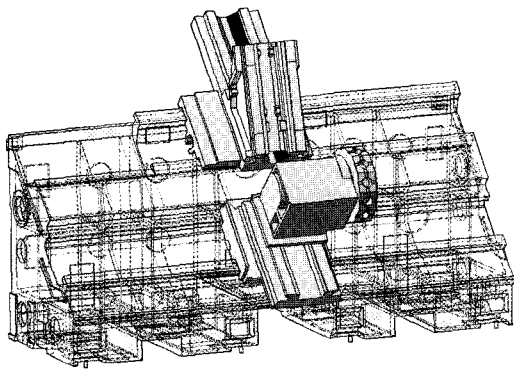


Fig. 5 Three dimensional model of laser multi-tasking machine

들 II와 터렛(turret)이다.

레이저 복합가공기 베드의 3차원 모델은 Fig. 4와 같다.

3. 유한요소해석

3차원 모델 구축에는 2차원 CAD 도면으로부터 CATIA V5를 사용하였으며 해석 시에도 동일한 프로그램을 사용하여 수행하였다.

바다면의 경계조건으로는 볼트와 블록으로 지지되는 8개의 지지면을 회전과 이동이 없도록 구속하였고, 자중만을 고려하여 유한요소해석을 수행하였다. 요소분할(Meshing)에는 오토메쉬를 사용하였으며 요소의 타입(Element type)은 사면체 메쉬(Tetrahedron mesh)의 파라블릭 타입이다. 개발 중인 레이저 복합가공기의 재료와 해석에 적용된 재료는 GC300이며 기계적 물성치는 Table 1과 같다.

레이저 가공기와 선반의 베드상의 위치에 따라 베드의 처짐이 달라지므로 베드의 최대 처짐이 나타나는 각 가공기의

Table 1 Mechanical properties of material

Material	Young's Modulus [GPa]	Poisson's Ratio	Density [Kg/m ³]	Yield Strength [MPa]
GC300	110	0.28	7200	240

Table 2 Case of analysis according to the position of column and turret

Case	[1]	[2]	[3]	[4]
Position of each part	Column	Column	Column	Column
	highest point	highest point	lowest point	lowest point
	Turret	Turret	Turret	Turret
	highest point	lowest point	highest point	lowest point

Table 3 The mass of each part

Part	Mass [kg]
saddle I	814
Column	334
saddle II	501
Turret	350
Bed	4537
Total	6536

위치를 찾기 위하여 보강 전의 베드 위에 각 가공기를 올린 후에 가공기의 위치를 운전 스트로크 이내에서 조정해 가며 구조해석을 수행하였다. 얻어진 최대 처짐이 발생하는 각 가공기의 위치에서 보강된 베드를 적용하여 해석을 수행하고 이를 검토하였다.

상부가공기의 위치에 따른 해석의 CASE는 Table 2에 나타나 있다.

레이저 복합가공기의 해석은 다음의 절차를 따른다.

1. 레이저 복합가공기 베드의 유한요소해석
2. 보강전의 베드를 적용한 레이저 복합가공기의 유한요소해석 및 측정데이터 비교

3. 베드의 구조적 보강
4. 구조적 보강된 베드를 적용한 레이저 복합 가공기의 유한요소해석

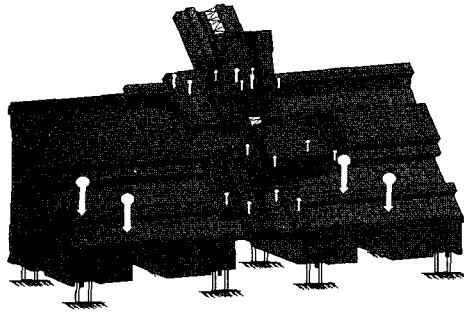


Fig. 6 FE model of laser multi-tasking machine

Table 4 Result of analysis of bed

Node	150716
Element	79876
Maximum Von Mises stress [MPa]	1.9
Maximum Displacement [μm] (Average - iso)	4
X - axis [μm]	0.62
Y - axis [μm]	-0.6
Z - axis [μm]	-3.98

레이저 복합가공기의 각 부의 중량은 Table 4와 같다. Fig. 6은 레이저 복합가공기의 FE 모델을 나타낸 것이다.

3.1 레이저 복합가공기 베드의 유한요소해석

베드의 구조해석은, 이후 상부구조물을 포함한 구조해석을 실시할 때 베드의 최대 변위가 나타나는 지점에 상부구조물을 위치시키기 위하여 상부구조물을 제외한 베드의 자중만을 고려한 유한요소해석을 수행하였다.

베드의 최대변위는 $4\mu\text{m}$ 로 도출되었으며 베드레일의 스트로크 방향의 중앙에서 나타났다. 따라서 이후의 레이저 복합가공기 전체부의 유한요소해석에서 상부레일의 새들 I과 하부레일의 새들 II를 베드의 중앙에 위치시키고 컬럼과 터렛을 각 새들 상하로 이동시키며 앞서 열거한 네 가지 CASE를 선정하여 베드에 상부구조물을 올려 중량효과를 부여한 레이저 복합가공기 전체부 유한요소해석을 수행하였다.

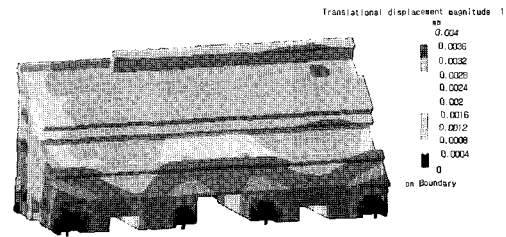


Fig. 7 Displacement results of bed by Finite Element Analysis

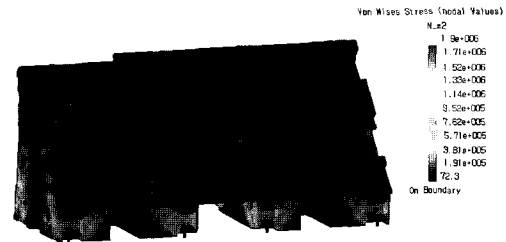


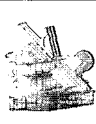



Fig. 8 Stress results of bed by Finite Element Analysis

3.2 보강전의 베드를 적용한 레이저 복합가공기의 유한요소 해석

베드에 상부 구조물을 올려 수행한 해석의 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 Maximum displacement and stress of bed before reinforcement

CASE				
	[1]	[2]	[3]	[4]
Node	197635	197635	197635	197635
Element	107983	107986	107987	107990
Maximum displacement [μm]	6.74	7.01	6.86	7.18
Maximum stress [MPa]	3.18	3.35	3.82	3.49

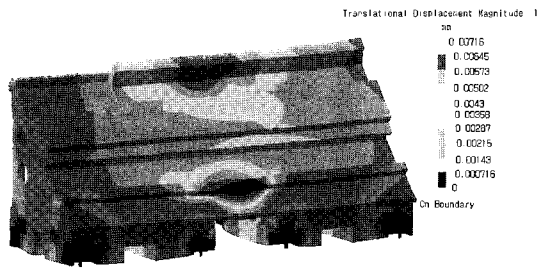


Fig. 9 Displacement results of bed before reinforcement by FE Analysis

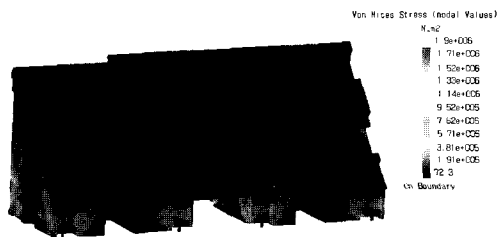


Fig. 10 Stress results of bed before reinforcement by FE Analysis

최대변위가 나타난 지점은 하부 레일이었으며 값은 case [2], [4]에서 약 $7.1\mu m$ 로 나타났다. Table 5에서 보듯이 상부칼럼과 하부의 터렛이 새들 위에서 각각의 위치를 가지고 있을 때를 4가지 case로 나누어 해석을 수행하였다. 그 결과 변위는 case [2], [4]번에서 가장 크게 나타났다.

3.2 베드 보강전 레이저 복합가공기의 측정 결과

해석프로그램에서 도출되는 변위량이 나타나는 구간에서의 변위측정은 상부구조물과 베드의 체결부위이기 때문에 측정이 불가능 하여, 상부구조물을 베드에 올려놓은 상태에서 측정이 가능하면서, 측정 환경에서 올 수 있는 오차를 최소화 할 수 있는 베드 하부 칩컨베이어부의 변위를 다이얼 게이지측정과 칩컨베이어부의 구조해석으로 비교를 하였다.

실제의 측정의 데이터에서는 칩컨베이어부의 처짐량이 약 $7\mu m$ 로 해석의 결과와 오차가 거의 없어 구축된 모델의 신뢰성을 확인하고 베드 변위를 최소로 하는 최적조건을 찾기 위하여 베드를 보강한, 수정된 설계를 기반으로 해석을 다시 수행하였다.

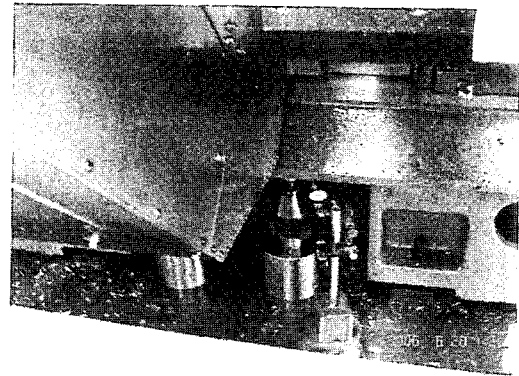


Fig. 11 Displacement measurement of chip conveyor

Table 6 Maximum displacement of chip conveyor part

Case		[2]	[4]
Maximum displacement of chip conveyor	Average-iso [μm]	6.86	7.11
	x [μm]	0.16	0.03
	y [μm]	-0.20	-1.67
	z [μm]	-6.78	-6.92

3.3 베드의 구조적 보강

베드의 구조적 보강은 상부구조물이 베드상에 올려져 베드가 중량을 받아 처짐이 발생할 때 그 처짐량을 줄여 가공정밀도와 새들의 구동안정성을 높이기 위해 해석을 통해 베드의 처짐이 가장 큰 베드 중앙의 처짐량을 줄이기 위함이다.

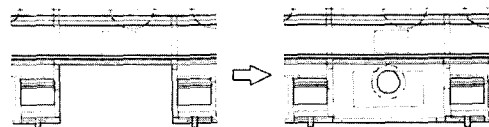


Fig. 12 Reinforcement of chip conveyor

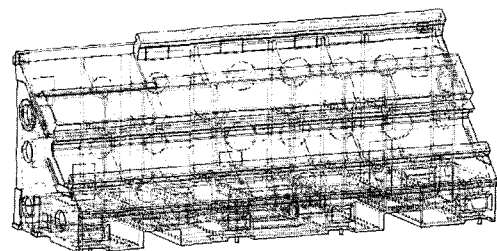


Fig. 13 Three dimensional model of reinforced bed

베드 중앙의 구조적 보강을 위해 베드 중앙 하부의 칩컨베이어부를 보강을 하였으며 이는 Fig. 12에 나타나 있으며 Fig. 13은 구조보강을 한 베드의 3차원 모델이다.

Table 7 Maximum displacement and stress of reinforced bed

CASE	[1]	[2]	[3]	[4]	
Nodes	201712	201712	201712	201712	
Elements	110063	110063	110063	110066	
Maximum stress [MPa] (Von-mises)	4.17	4.11	4.15	4.1	
Maximum Displacement of upper-bed	Average-iso [μm]	6.18	5.9	5.08	5.22
	x [μm]	0.35	0.34	0.08	0.31
	y [μm]	0.95	0.6	-0.44	-0.79
	z [μm]	-6.11	-5.85	-5.06	-5.16
Maximum Displacement of lower-bed	Average-iso [μm]	5.59	6.2	5.78	6.32
	x [μm]	-0.06	-0.06	0.31	0.31
	y [μm]	1.53	1.91	-0.46	-0.8
	z [μm]	-5.36	-5.85	-5.25	-5.2

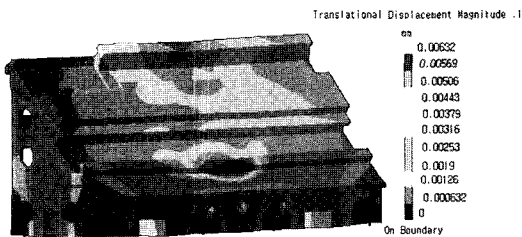


Fig. 14 Displacement results of reinforced bed by FE Analysis

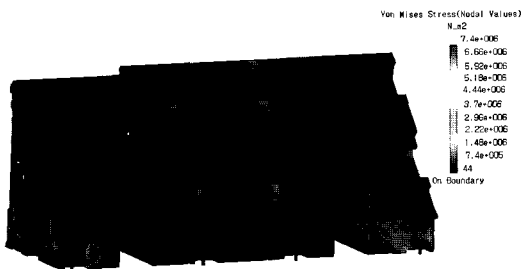


Fig. 15 Stress results of reinforced bed by FE Analysis

3.4 구조적 보강된 베드를 적용한 레이저 복합가공기의 유한요소해석

최대변위는 상부 구조물이 베드의 중앙에 정렬된 위치에서 $6.32\mu\text{m}$ 로 나타났으며 보강의 효과는 12%정도 인 것으로 나타났다.

최대응력은 Table 7과 Fig. 15에서 나타나듯이 전체 무게를 지탱하는 베드 바닥의 8개의 지지면에서 나타났으며 그 크기는 4.1MPa 정도이다.

4. 결론

현재까지 진행되던 복합가공기의 정적해석은 상부구조물의 더미 매스(dummy mass)의 형태로 중량효과만을 고려한 것이 많았다. 본 논문에서는 상부구조물의 중량과 더불어 위치를 고려하여 여러 가지 해석 조건을 선정하고 후 해석을 수행하였다. 보강전의 베드를 적용한 해석과 측정데이터를 비교하여 구축된 모델의 신뢰성을 확인하고 베드의 칩 컨베이어부를 구조적으로 보강하여 새로운 모델을 구축하였다. 보강전의 베드와 보강된 베드의 처짐량을 비교해 볼 때 보강전의 베드에 $7.18\mu\text{m}$, 보강된 베드가 $6.32\mu\text{m}$ 로 보강의 효과는 약 12% 정도로 나타났다. 보강은 양단지지보 중앙의 노치를 제거 한 것과 같은 효과이며, 보강 전보다 보강 후에 베드의 변위는 줄어들었지만, 응력은 증가하였다. 이는 중앙 베드의 보강과 각 가공기의 중앙정렬로 인해 베드 중앙에 응력 집중이 나타났기 때문이라 보여 진다.

보강으로 인해 응력의 집중과 재료비의 상승이 예상되나 개발 단계에 있는 레이저 복합가공기 베드의 처짐량 감소를 위하여 베드를 구조적으로 보강하여 처짐량이 감소시켰다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업[RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, S. S., Kim, M. J., Kim, S. K., Seo, S. H. and Jeon, E. C., 2004, "The Study on Table Deflection by Stationary State and Feedrate at Loaded," *Transactions of KSMTE*, Vol. 13, No. 6, pp. 41~47.
- (2) Daryl, L. L., 2001, "A First Course in the Finite

- Element Method - Third Edition,” Brooks/Cole.
- (3) Hibbeler. R. C., 2004, “Structures Analysis,” *Pearson Education Korea*, pp. 375~382.
- (4) Son, J. Y. and Park, H. H., 2002, “Performance Improvement of M/C(BC-500) via Structure Analysis,” *Spring Conference of KSPE*.
- (5) Park, T. H. and Bu, J. S., 2001, “Flexural Strength of Dual Concrete Beams Composed of Fiber Reinforced Concrete and Normal Concrete,” *Autumn Conference of KSPE*.
- (6) Shin, S. W. and Lee, C. M., 2006, “An Analytical Study on the Structure Stabilities of Multi-Tasking Machine,” *Spring Conference of KSPE*.