

고속 3차원 패턴가공기의 설계 및 제작에 관한 연구

김의중*, 최진경, 한성중(고등기술연구원), 주상율, 최성원(대우자동차)

Design and Manufacturing of a 3D Pattern Mill

E. J. Kim, J. K. Choi, S. J. Han(Manufacturing Technology LAB, IAE)

ABSTRACT

In this study for the development of a 3D pattern mill, we designed its layout which has high stiffness and low-weight structure. We calculated the load of each axis component when 3D pattern mill is under the worst cutting conditions. On base of the calculations, we determined the size of its structure and selected main components of the machine. Also, using FEM we analyzed the layout design of 3D pattern mill to reduce the weight of structure and increase stiffness of it. According to the load position and direction, shapes and values of the deformation and the stress distributions are calculated, also we calculated the natural frequencies and mode shapes in order to modify and redesign the weak parts

Key Words : 3D Pattern mill (3차원패턴가공기), Stiffness (강성), Static and dynamic analysis (정, 동적 해석), Natural Frequency(고유진동수), Mode shape (모드형상)

1. 서론

현대 산업사회의 발달과 더불어 인적, 물적자원의 효과적인 이송을 위한 운송수단의 수요가 증대되고 있으며, 생활환경의 개선과 절대적 이동거리의 증대에 따라 차량의 수명주기가 점차 짧아지고 있다. 이와 같은 수요의 능동적인 대처와 신차 개발을 통한 타사와의 경쟁력 우위를 점하기 위해 개발기간의 단축이 요구되고 있는 실정이다. 이를 위해 생산성 향상에 대한 사용자들의 지속적인 요구에 부응하여 최근 공작기계의 고속화 추세가 급속히 진행되고 있다. 이러한 고속가공은 평균적인 피삭제의 제거율을 전체적으로 높임으로써 원하는 형상에 보다 가깝고 정밀하고 매끄러운 가공면을 얻을 수 있으며, 피삭제의 형상가공시 후가공이 현저하게 줄임으로서 저가의 고품질의 제품을 생산할 수 있다.

현재 자동차업계에서는 자동차 모델의 수명주기가 짧아짐에 따라 금형공정의 소요시간 단축을 위한 3차원 CAD 시스템을 구축하고 있다. 그러나, 금형설계의 차후 단계인 스티로폼 pattern의 가공은 2차원 설계도에 의존하고 있으며, 3차원의 pattern 가공을 위해서 현존설비 즉, 고가의 금형가공기를 이용하여 장기간 가공을 해야하기 때문에 비용이 과다해지는 문제점이 있다. 따라서 기존의 2차원

금형설계를 3차원화하여 공정의 효율성을 제고함으로써 저가이면서 고생산성인 3차원 pattern 가공을 위한 전용기가 요구된다. 이러한 고속가공에는 고속 주축과 고속 이송계를 갖춘 가공기와 이를 제어할 수 있는 제어시스템 및 고속가공을 할 수 있는 공구홀더와 공구등이 요구되며, 이에 개발목표인 주축속도 4,000 rpm 이상, 급속이송속도 20m/min, 최대가속도 0.2G의 가공기 개발을 위해 필요한 고성능 경량화 구조 설계기술에 대하여 논한다.

2. 시스템 사양

2.1 설계 중점사항

본 연구에서 개발하고자 하는 패턴 가공기는 장대한 스트로크(5000×2600×1000 mm)의 구조물위를 이송계가 높은 속도와 가속도로 움직이면서도 요구되는 가공정밀도를 달성해야 하기 때문에 기계의 구조를 충분한 강성을 유지하면서도 최대한 가볍게 설계해야 한다.

2.1.1 개발목표사양

본 연구에서 개발하고자 하는 패턴 가공기의 개발목표사항은 Table 1과 같다. 이 목표사항은 난삭성을 갖는 스티로폼 패턴의 경우 제작기간을 30% 이

상 줄일 수 있다.

Table 1. Target

항 목		SPEC.
동작범위 및 최대속도	주행축 (X)	5,000mm 20m/min
	횡행축 (Y)	2,600mm 20m/min
	상하축 (Z)	1,000mm 20m/min
각축위치 반복정밀도	주행축 (X)	± 0.2mm ± 0.03 mm
	횡행축 (Y)	± 0.2mm ± 0.03 mm
	상하축 (Z)	± 0.2mm ± 0.03 mm
주축속도		4000 rpm

3. 기계의 구성

3차원 pattern 고속가공기의 구조를 결정함에 있어 문형머시닝센터의 구조(컬럼이송)와 젠트리구조(Girder 이송)를 가지는 가공기의 장단점 및 작업대상물의 특성과 기계의 목표가격을 고려한 결과 젠트리 구조를 가지는 가공기를 개발하는 것이 더 양호한 것으로 나타났다.

3.1 하드웨어의 구성

기구의 선정과정에 의하면 선정과정에 앞서 시스템의 기계적 구성의 형식을 결정해야 한다. 즉 직선운동이나 회전운동이나 하는 것과 특히 직선운동을 선택하더라도 볼스크루에 의한 구동과 랙, 피니언 구동 등으로 크게 나눌 수 있다. 또한 더 세부적으로 보면 볼스크루에 의한 구동도 벨트연결이나 기어연결이나 커플링 직결이나에 따라 구분되며 각각의 방식에 따라 장단점을 지닌다. 긴 이동량이 필요한 경우에는 랙, 피니언 구동이 유리하며 비교적 짧은 이동량과 정밀한 위치결정이 요구되는 경우에는 커플링 직결방식이 사용된다.

본 연구에서는 젠트리형 구조의 X, Y, Z축에 대하여 각각 700, 300, 200 kg의 가반하중과 100 N의 절삭력이 작용한다고 가정하고 패턴가공기의 전체 구조상 가장 큰 부하가 작용하는 가공조건(절삭이 최하단부에서 일어날 경우)을 부여하여 각축의 하드웨어를 구성, 선정하였다. 또한 각축의 구동동력원은 구동부의 방식에 맞춰 모터의 용량계산이 이루어졌으며 제어성능이 타 모터에 비해 월등하며 기동시 토크가 커서 특히 자동화 용도로 위치제어가 필요한 경우 탁월한 능력을 가지는 영구자석형 정현파 구동모터(AC서보모터)로 선정하였다. 젠트리 구조를 기준으로하여 기계의 각축 하드웨어의 설계결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Hardware

항 목		SPEC.		
구동 기구	주행축 (X) 횡행축 (Y) 상하축 (Z)	랙 & 피니언,		
		볼스크루		
		볼스크루		
	가이드	주행축 (X) 횡행축 (Y) 상하축 (Z)	Ball형 LM Guide	
		동력 전달	주행축 (X)	감속기어, Key
			횡행축 (Y)	Flexible coupling
	상하축 (Z)		Flexible coupling	
	위치 검출	주행축 (X) 횡행축 (Y) 상하축 (Z)	모터 엔코더 사용	
		Girder 형태	□ 형, 300 x 300 (W x H)	
스핀들		중공형,		
공구	400 mm, 중공형			
집진기	220V, 5.5 kW, φ50,			
에어 밸런스	300kg 자중 보상형			

3.2 제어기의 구성

각축 위치의 반복정밀도 확보 및 시스템사양을 만족시키기 위한 제어기의 구성은 Table 3.2와 같다.

Table 3. Controller

항 목	SPEC.
제어 축수	최대 32축 (최대 동시제어 5축) 채널 최대 4채널
입력지령 최소 단위	0.0001mm (0.1μm)
입력 기능	인치/ Metric 입력
	절대/중분 지령
	직경/반경 지령
	회전/분당 이송 지령
Servo Drive의 통신 프로토콜	SERCOS 통신방식
I/O signal	CAN Interface
DATA 입출력	DNC기능(RS232C/RS422), 3.5" FDD, Ethernet
정도 보정 기능	형상오차보정
	Backlash 보정
	Pitch 보정
	마찰력 보정
Simulation 기능	3차원 그래픽 Simulation
	실시간 공구 경로 검사
Option 기능	고속가공기능
OP 박스 및 강전반	외장형
Inverter	220V, 5.5kW (9.5kVA)

4. 정, 동특성 해석

본 연구에서 개발하고자 하는 패턴 가공기는 장대한 스트로크(5000×2600×1000 mm)의 구조물 위를 이송계가 높은 속도와 가속도로 움직이면서도 요구되는 가공정밀도를 달성해야 하기 때문에 기계의 구조를 충분한 강성을 유지하면서도 최대한 가볍게 설계해야 한다. 이를 위해서는 구조물 전체에 대한 동적 안정성 해석뿐만 아니라 정적 변형해석을 수행하여 이송계에 대한 경량화 최적설계를 수행하였다. 본 해석에서는 공작기계 개별 부품에 대한 해석뿐만 아니라 전체 조립부에 대한 방대한 해석이 요구되기 때문에 해석을 효율성을 고려하여 요소생성이 간편한 사면체 요소(Tetrahedral element)를 기본 요소로 사용하였으며 구조해석 분야에 널리 사용되고 있는 전후처리 프로세서인 MSC社의 PATRAN과 NASTRAN을 사용하였다. Fig. 1은 가공기의 전체구조를 도시하고 있다.

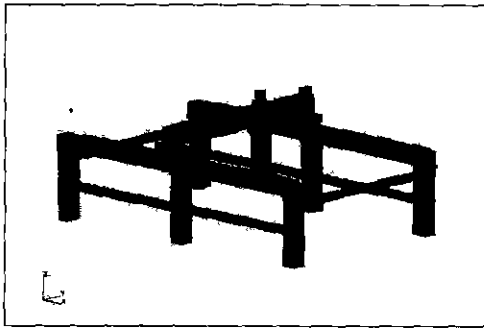


Fig. 1 Entire structure

4.1 정적해석

일반 구조물의 유한요소 모델은 해석의 요구되는 정밀도에 따라 요소의 종류 및 절점의 수를 결정해 줌으로써 모델링을 일단락 지을 수 있으며 본 해석에서는 각축을 3차원 솔리드 요소와 1차원 스프링요소로 모델링하여 해석결과를 검증하였다. 본 해석에서는 전체 구조물을 3차원 솔리드 요소와 1차원 스프링 요소로 모델링하여 해석결과를 비교하였다.

4.1.1 Y,Z 슬라이드부의 정적 특성 해석

3차원 pattern고속 가공기 전체 구조물에 대한 해석을 수행하기에 앞서 상대적으로 큰 강성이 요구되는 Y,Z 슬라이드부에 대한 정적 특성을 파악하여 해석작업의 효율성을 제고하였다.

경계 및 하중조건으로 각축 및 모든 부품의 결합부에 대하여 같은 절점을 공유하고 X축 LM 블록의 하단면을 완전구속한 상태에서 Z축 스프링들 모터의 최하단에 100 N의 외력을 인가하였다. Fig. 2에서는 x축 방향으로 100 N의 외력이 인가되었을때의 스프링들 끝단에서의 변형분포를 도시하고 있으며

X,Y,Z방향으로 외력이 인가되었을경우의 변형량 및 강성은 Table 2와 같다.

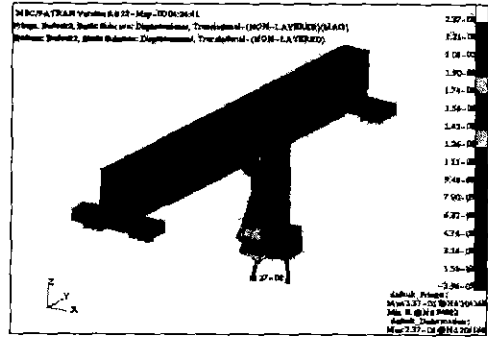


Fig. 2 Displacement distribution of X-direction force

Table 4. Displacement values with respect to the load

외력 방향	변형량 변형량 (μm)	강성(N/ μm)
X축	23.7	4.2
Y축	3.7	27.3
Z축	7.4	13.6

4.1.2 전체구조의 정적 특성 해석

Fig. 3(a), (b)에는 X축방향으로 외력작용에 의한 솔리드모델링과 스프링모델링의 변형 분포를 나타내었다. 이 경우 경계조건으로는 모든 부품의 결합부에 대하여 절점을 공유하고 포스트의 하단면을 완전구속 시켰으며 Z축 스프링들 모터의 최하단의 위치에 각각 X,Y,Z축 방향으로 외력(질삭력)을 인가하였다. 각각 X,Y,Z방향으로의 외력작용시 공구끝단에서의 변형량과 강성은 Table 5와 같다.

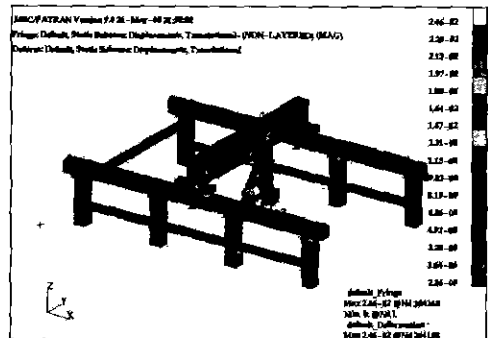


Fig. 3(a) Displacement distribution of solid modeling

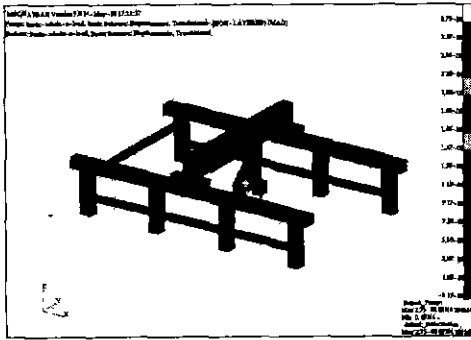


Fig. 3(b) Displacement distribution of solid modeling

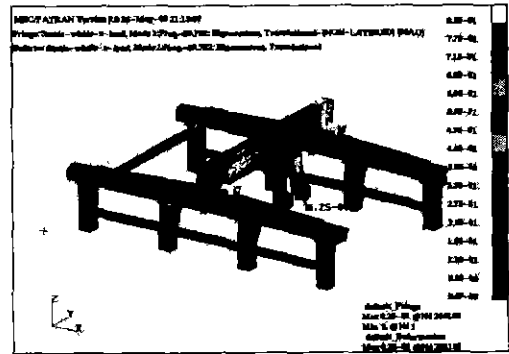


Fig. 4 1th Mode shape (19.8 Hz)

Table 5. Deformation value with respect to the load

외력 방향	변형량 (μm)		강성 (N/μm)	
	솔리드 모델링	스프링 모델링	솔리드 모델링	스프링 모델링
X축	24.6	27.5	4.1	3.6
Y축	-	14.0	-	7.1
Z축	-	9.6	-	10.4

해석결과 X축으로 외력이 인가할 경우의 공구끝단에서의 변형량이 가장 큰 것을 알 수 있으며 이에 따라 X축 방향으로 리브구조를 Z축 슬라이드의 상판에 부착하여 6.9%의 전체 강성의 증가율을 확보하였다.

4.2 동적해석

공작기계구조를 구성하는 모든 요소, 부품, 부재, 결합부 등이 진동특성과 관계되는 경우가 많다. 또한 기계구조내에서는 그 기능상의 필요 때문에 안내결합부, 볼트체결부등과 같이 많은 결합부(접합부)들이 존재하여 그 특성이 기계전체의 특성이나 성능에 큰 영향을 준다. 따라서 하나의 요소만을 대상으로 하는 wjdwr특성해석과 평가보다도 기계 전체를 시스템적으로 해석하는 것이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 3차원 pattern 고속가공기 전체 구조에 대하여 진동모드를 계산하였다. 진동모드 계산을 위한 결합부(접합부)의 경계조건은 모든 접합부에 대하여 자유도를 실제 결합부의 사양을 모델링하여 사용하였다. 이때 발생한 진동모드는 Fig. 4와 같다.

본 가공기의 최고 공구회전수가 4,000 rpm (66 Hz)으로 고유진동수 대역 이상이므로 이보다 작은 각 고유진동수에서 심한 떨림 현상이 발생할 가능성이 높다. 이에 대한 대책으로 고유진동수를 사용 불가 영역으로 설정하여 이 영역을 피하며, 보다 근원적인 해결방안으로는 감쇄체를 적소에 부착하여 감쇠성능을 향상시키는 방법이 있다.

Table 6. Natural Frequency

진동모드	주파수	
	1차	주파수
고유진동수	1차	19.8 Hz
	2차	23.2 Hz
	3차	27.3 Hz
	4차	40.0 Hz
	5차	41.4 Hz

결론

본 연구에서 개발하고자 하는 패턴가공기의 고강성 저중량설계를 확보하기 위해 패턴가공기의 구조 및 부품을 결정하고 선정된 구조물을 대상으로 구조물 전체에 대한 동적 안정성 해석뿐만 아니라 정적 변형해석을 통한 이송계의 대한 경량화 최적설계를 수행하였다. 해석결과 본 가공기는 금속을 가공하는 일반 공작기계와 비교하여볼 때 상대적으로 작은 강성을 가지고 있으나 상대적으로 작은 외력(절삭력)이 인가되는 스테로폼 전공가공기이므로 선정된 레이아웃은 적절한 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. 김석일, 최대봉, 강종표, 김남경, "최신 공작기 계설계기술," 반도출판사, 1995.
2. E. J. Kim, J. K. Choi and S. J. Han, "Development of a 3D pattern mill," Technical Report of IAE, 1999, 2036-MR-00.01.
3. J. K. Choi and S. J. Han, "Optimal design of the 3D pattern mill by the static and dynamic analysis," Technical Report of IAE, 1999, 2036-MR-00.02.
4. Deutsche Star., "정밀 볼 스크류 조립품 엔드 베어링 및 하우징," 1996.
5. Deutsche Star., "Ball Rail System," 1997.
6. LG 산전, "Full Digital LG AC 서보 시스템, LG PACK Series," 1998.