

고속·고정밀 금형가공센터 개발 III

Development of High Speed & Precision Mould/Die Machining Center III

주임연구원 최원선 (Research Engineer, Won-sun Choi) / 대우종합기계
 주임연구원 이창호 (Research Engineer, Chang-Ho Lee) / 대우종합기계
 책임연구원 박보선 (Chief Research Manager, Bo-Seon Park) / 대우종합기계
 수석연구원 김태형 (Research Manager, Tae-Hyoung Kim) / 대우종합기계

ABSTRACT

In order to manufacture a precision mold/die by machining, users need high speed & precision mold/die machining center. So, for development of this machine, we intend to use linear motor that is instead of ball-screw, servo-motor and coupling, high-speed spindle of pressurized air journal bearing and composite materials. In this paper we research column moving type and table moving type. The former is mainly piling 3 axes on one moving body, the latter is consist of two independent carriages. Both types are available to high speed & precision machine, but we finally draw a conclusion column moving type due to an advantage of high-speed control of linear motor.

1. 서론

급격하게 변화하고 있는 IT산업과 전자 통신산업 그리고 자동차부품산업 등의 정밀 금형제작에서 고속가공에 의한 가공품질의 고품위화, 고정도화 요구가 증가하고 있다. 그러나 현재 대부분의 금형제작은 수작업에 의한 마무리 공정을 기술자의 숙련도에 절대적으로 의지하고 있다.

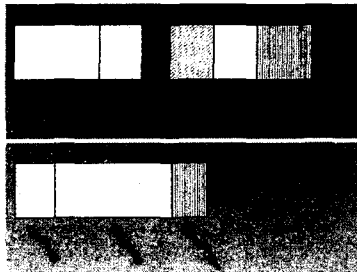


그림 1 일반가공 v.s. 고속가공

주철 및 알루미늄의 고속가공에 초점이 맞추어져 있는 이 장비를 기점으로 리니어 모터를 이용한 고속/고정밀 금형가공기가 유럽 및 일본을 중심으로 개발 및 상품화가 진행되고 있는 실정이다. 그리고 금형산업 특성상 가공기, Application 그리고 가공기술을 Package형태로 공급하는 경우가 많으므로 그 주변기술의 연구도 동시에 활발히 진행되고 있으며, 특히 최근에는 고속/고정밀을 동시에 달성하기 위한, 열변형 보정 기술 및 고속 이송체의 제어성에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

2. 고속·고정밀 금형가공기의 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 고속·고정밀 금형가공기는 공기베어링을 이용한 최고회전수 30,000rpm 주축과 최대 급속이송속도 120m/min, 최대 가속도 2g를 목표로 결정하였다.

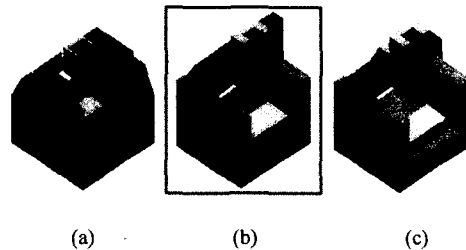


그림 2. Column Moving Type

본 연구에서는 그림 2와 같이 우선 가·감속 제어 특성에 민감한 리니어 모터의 특성을 최대한 살리기 위해 3축이 집적되는 형태(Column Moving Type)를 선택하였고, 그리고 장비의 경량화, 소형화, 접근성, 제작성 등에 상대적으로 유리한 그림 2의 중간에 표시되어 있는 (b) 형태로 확정하였다. 아래 그림 3은 개념설계 단계에서

확정한 형태에서 구체화된 레이아웃이다. 이 레이아웃은 각 이송체는 용접구조물이며 X/Z 축은 한 개, Y축은 두 개의 리니어모터로 구성되어 있으며, 이송가이드는 롤러 방식을 고려했다.

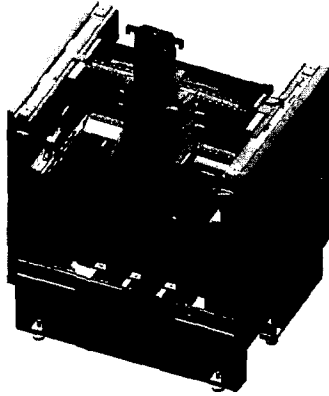


그림 3 금형가공센터의 Lay-out

3. 금형 가공센터

고속 고정밀 이송계를 아래 그림 4와 같이 구성하였다. 공작기계 조립에 있어서도 아주 많은 차이를 보인다. 볼 스크류를 이용한 공작기계의 조립은 모터(로터리 모터)와 볼 스크류 그리고 이 둘을 이어주는 커플링(혹은 벨트류)으로 구성된 시스템에 이송 구조물을 부착하게 된다. 그러나 리니어 모터를 이용한 이송계의 조립은 모터(리니어 모터)만 있는 경우에 해당된다. 즉, 볼스크류와 커플링 없이 모터에 직접 이송구조물을 부착하여 이송시스템을 구성하므로 조립 및 정도 측면에서 크게 유리하다.



그림 4 금형가공센터 이송계 조립

그림 5는 본 연구에서 개발한 1차 Proto 장비의 최종

조립 사진이다. 본 장비는 12개의 공구를 수용할 수 있는 매거진을 가지고 있으며, Armless 형식의 자동공구교환이 가능하며, 최대 이송속도 120m/s 달성하였으며, 이송시스템의 가속 성능은 최고 3g를 달성하였다.

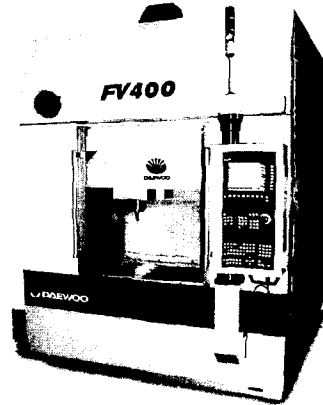


그림 5 금형가공센터

아래 표 2은 개발장비의 사양이다.

이송속도	X / Y / Z	120	m/min
이송범위	X / Y / Z	600/400/400	mm
가/감속도	X / Y / Z	1.4/ 1.4/ 2	g (=9.8m/s ²)
주축	회전수	30,000	rpm
공구형식	-	HSK-40E	공기베어링

표 2 금형가공센터 개발사양

4. 금형 가공센터 성능 평가

개발된 고속 고정밀 금형가공센터에 대해 성능평가를 시행하였다. 리니어 모터를 이용한 이송계의 가속도를 측정하였고, 각방향으로 이송시 레진콘크리트 베이스의 진동특성을 측정하여 감쇠특성을 확인하였다. 또한 테이블 상면에 Grid Encoder(제조사 : HEIDENHAIN / 제품명 : KGM 시리즈)를 각 평면으로 설치하여 이송축의 미세이송특성 및 이송축 원호보간 정밀도 등을 실험하였다. 그리고 레이저 간섭계(제조사 : HP)를 이용하여 이송축의 위치결정/반복 정밀도 측정하였다. 즉 아래 5가지 경우에 대해 실험 실시하여 금형가공 센터의 성능을 평가하였다.

- 1) 가속도 측정
- 2) 구조물 진동 측정
- 3) 미세이송특성
- 4) 이송축 정밀도
- 5) 이송축 원호보간 정밀도

4.1 가속도 측정

주축 선단에 가속도 센서를 부착한 후, G00으로 X, Y, Z축 방향으로 각각 500, 300, 300mm 이송하면서, 가속도 신호를 측정하였다. 가속도는 X, Y, Z 각각 15 m/s², 14 m/s², 29.4 m/s² 을 보이고 있다. 이 값은 모두 개발 목표치를 만족하고 있다.

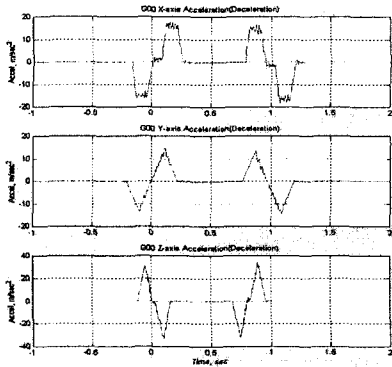


그림 6 가속도 측정

다음 그림은 앞에서 측정한 가속도 신호를 바탕으로 각 축별로 변위, 속도 구한 결과이다. X, Y, Z축은 각각 목표치인 2 m/s(120 m/min)을 달성하였다.

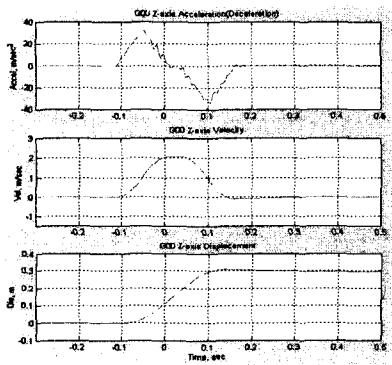
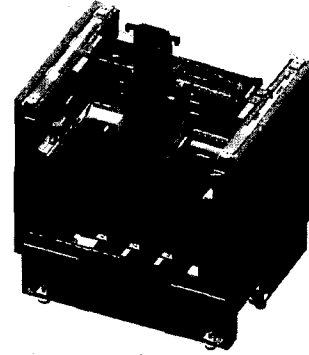


그림 7 X축 변위-속도-가속도 선도

4.2 구조물 진동 측정

다음 그림과 같이 각 축에 대해 가속도 센서를 설치하여 이송계를 X축으로 급속이송(G00) 시키면서 그때의 구조물 진동을 측정하였다.

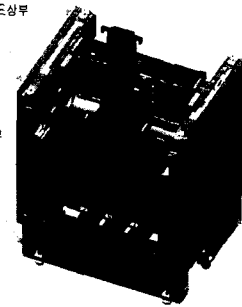
Y방향 이송계 진동 측정
Y방향 베드상부 진동 측정



Y방향 베드하부 진동 측정

그림 8 구조물 진동 측정 위치(1/2)

X방향 베드상부 진동 측정



X방향 베드하부 진동 측정

X방향 베드상부 진동 측정

X방향 베드하부 진동 측정

그림 9 구조물 진동 측정 위치(2/2)

그림 10은 X방향으로 이송할 때 베드의 상부 진동 및 하부 진동이 전후, 좌우 모두 동일한 위상으로 진동하고 있음을 알 수 있다. 이는 구조물 변형에 의한 진동이 아니라 이송축의 가속에 의해 베드가 강제 운동을 하고 있음을 의미한다. 이때의 진폭은 그림 11에서 알 수 있듯이 베드 상부 약 20 μ m 좌우진동, 베드 하부에서 약 10 μ m 좌우진동하고 있다.

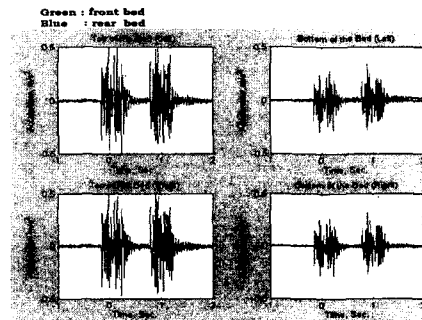


그림 10 베드의 전후, 좌우 방향 진동

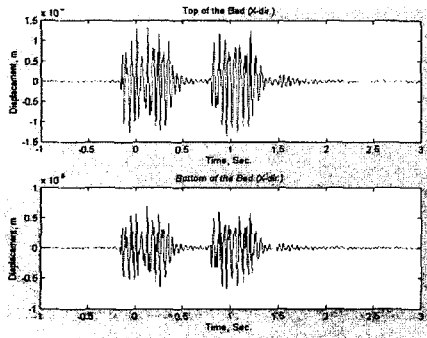


그림 11 X방향 이송 시 베드 X방향 진동(Displacement)

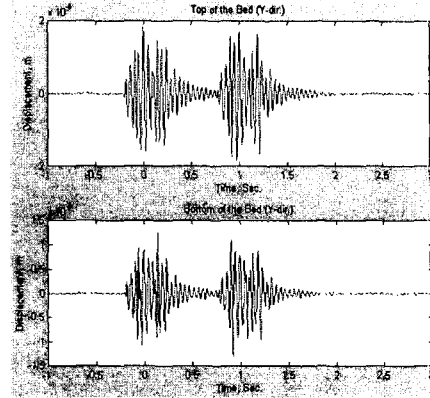


그림 14 Y방향 이송 시 베드 Y방향 진동(진폭)

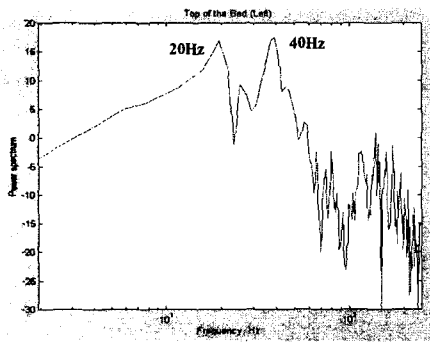


그림 12 X방향 이송 시 베드 X방향 진동(주파수역)

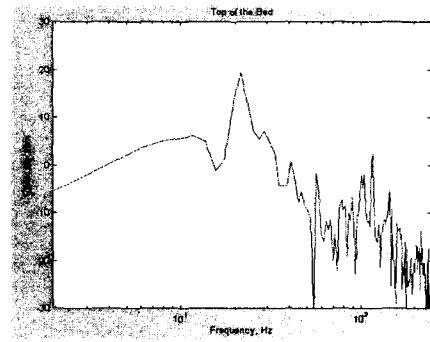


그림 15 Y방향 이송 시 베드 Y방향 진동(주파수역)

다음은 Y방향으로 이송할 때 Y방향 베드 진동 측정 결과이다. 베드의 좌우 방향으로는 약간의 위상 차로 진동하고 있으며, 전후 방향으로는 동일 위상으로 진동하고 있다.

결론적으로 이송계가 급속 이송 할 경우 가공기 전체의 강제진동이 주로 나타난다. 따라서 구조물 자체의 강성은 충분하다고 볼 수 있다. 그리고 X축 이송보다 Y축 이송 시 진동 변위가 더 크게 나타나며 이는 이송체의 질량이 X축 보다는 Y축이 크기 때문으로 추정된다.

X,Y축 이송의 경우 20, 40Hz에서 나타난 강제 진동을 줄이기 위해서 가공기와 바닥을 완전히 고정시키면 효과가 있을 것이나, 실용성 측면에서 꼭 필요한 사항은 아닌 것으로 보인다.

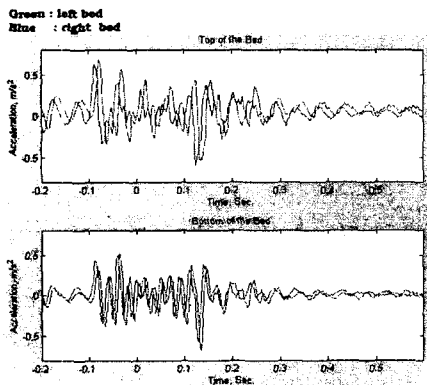


그림 13 Y방향 이송 시 베드 Y방향 진동

Y방향 진폭은 베드 상부에서 좌우 35 μm , 하부에서 좌우 20 μm 이다.

4.3 미세 이송 특성

각 축에 대한 미세이송지령(1 μm)에 대한 응답을 다음 그림에 나타내었다. 미세 이송 지령에 대해 충실하게 동작하고 있으나, 위치결정순간의 진동이 상대적으로 크게 나타나고 있다.

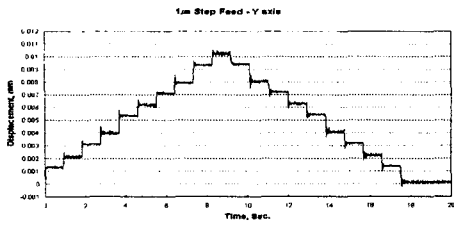


그림 16 X축 1 μm 미세 이송

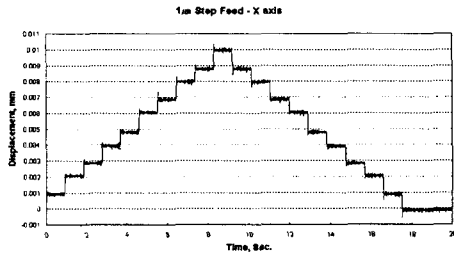


그림 17 Y축 1 μm 미세 이송

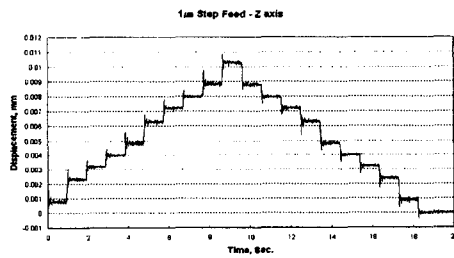


그림 18 Z축 1 μm 미세 이송

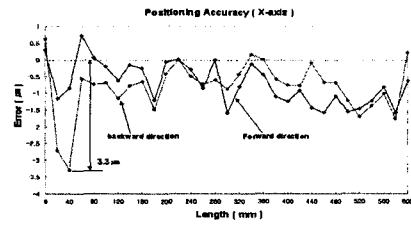


그림 19 X축 이송정밀도(KS)

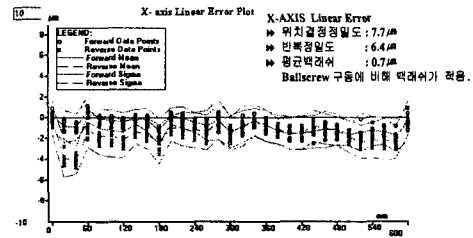


그림 20 X축 이송 정밀도(ISO230-2)

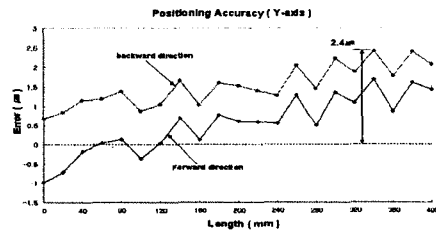


그림 21 Y축 이송 정밀도(KS)

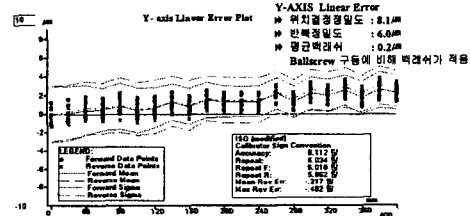


그림 22 Y축 이송 정밀도(ISO230-2)

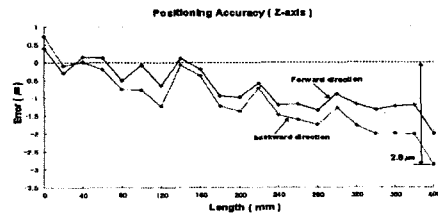


그림 23 Z축 이송정밀도(KS)

4.4 이송축의 정밀도

이송축의 정밀도를 나타내는 방법에는 위치결정정밀도와 반복정밀도가 있다. 각 축의 최대 스트로크를 등간격으로 나누어 임의의 위치에서 각 목표위치 방향으로 한 번씩 이송시킨 다음 양방향 측정을 한 후 목표 위치와 실제 위치와의 차이 중에서 최대값을 위치결정정밀도라 정의한다. ISO나 VDI 규격에서는 여러 번 이송시켜 통계적인 방법으로 계산한다. 반복정밀도는 7회 양방향으로 이송시켜 이 때 최대 편차가 생기는 목표 위치에서 정의된다. 이 때 최대 편차를 2로 나누어 ±값으로 표시한다.

각 축에 대한 이송 정밀도를 레이저 간섭계를 사용하여 측정하였으며, 다음 그림은 그 결과를 나타낸다.

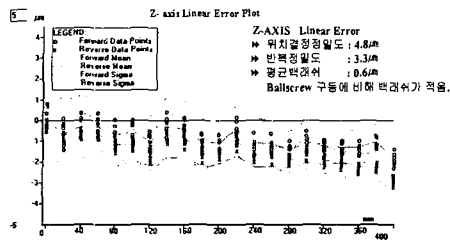


그림 24 Z축 이송 정밀도(ISO230-2)

4.5 이송축의 원호보간 정밀도

XY 평면에서 R10 대해 원호 보간 정밀도를 측정하였다.

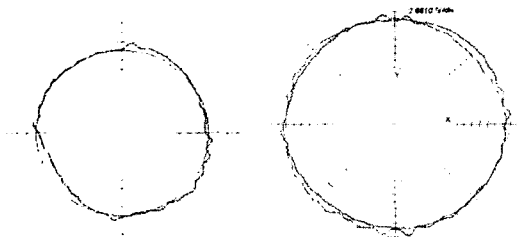


그림 25 원호 보간 정밀도
-XY, R10, LINEAR SCALE
-CIRCULAR DEV. : 3.6µm
-이송속도 : 5000 mm/min

그림 26 원호 보간 정밀도
-XY, R10, GRID
ENCODER
-CIRCULAR DEV. 5.1µm
-이송속도 : 5000 mm/min

5. 결론

리니어 모터를 이용한 고속 고정밀 금형가공 센터에 대한 기본 개념의 정립과 관련 요소기술을 개발하고, 상세설계를 완료하였으며, 개발된 가공기의 성능평가를 수행하였다.

1. 장비의 기본 축구성은 3축 구동체를 집적하여, 고속제어에 유리하고, 공작물과 구동체가 완벽하게 분리되는 구조로 하였으며, 가동체의 지지부에 레진 콘크리트를 적용함으로써 장비의 감쇠특성을 개선하였다.
2. 이송 시스템으로는 고효율 리니어모터를 적용하고, 안내면은 고강성 시방을 채택하여 이송축의 강성저하를 방지함과 동시에 안정적인 절삭이 가능토록 하였으며, 동시에 안내면상에 브레이크를 설치하여, 리니어 모터 구동의 단점을 보완하였다. 위치제어 및 속도제어를 위한 피드백 장치로는 리니어 스케일을 사용한다.
3. 이송 구조물은 유전자 알고리즘을 이용한 다단계 최적화를 통하여, 질량대비 정적, 동적강성을 최

적화하여, 고속 가공에 적합한 강성을 유지토록 하였다.

4. 주축으로는 공기베어링을 이용한 모터내장형 주축을 사용하였다.
5. 최적의 기계 운전을 위한 파라미터 튜닝을 수행하였고, 금형가공기의 열변형 해석을 통하여 Water 냉각방식을 채택하였다.
6. 금형가공기의 성능평가를 통해 개발 목표치 가속도 및 속도를 달성하였음을 확인하였고, 각 축방향의 진동/감쇠 특성과 이송 정밀도등을 측정하였다.

참고문헌

1. 이재윤, 김태형, 이득우, 최영휴 외 "고속· 고정도 금형가공센터 개발", 산업자원부, 1차년도 연구보고서, 2000년
2. 이재윤, 김태형, 이득우, 최영휴, 이대길 외 "고속· 고정도 금형가공센터 개발", 산업자원부, 2차년도 연구보고서, 2001년
3. Z. Pandilov, H. Schulz, B. Bork, H. Gao, "Dynamic Stiffness of a HSC Linear Motor Machine", Proceedings of the 2000 Japan.USA Flexible Automation Conference, 2000
4. M. Weck, P. Kruger, C. Brecher, "Limits for Controller Settings with Electric Linear Direct Drives", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2001, Vol 41, PP65-88
5. J. Jedrzejewski, W. Modrzycki, "Supervision of Thermal Displacements in Machine Tools Based on Predictive Model", VII Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining System, 1996, pp 104-110
6. H. S. Kim, K. Y. Park, D. G. Lee. A study on the epoxy resin concrete for the ultra-precision machine tool bed. J. Materials Processing Technology 1995; 48:649-655.