

대면적 미세형상 가공을 위한 초정밀 복합가공기 개발 Development of a Multi-functional Ultra Precision Machine to Generate Micro Features on Large Surfaces

*#송창규, 김경호¹, 김병섭¹, 송영찬¹, 박천홍¹

**C. K. Song(song@kimm.re.kr)¹, G. Khim¹, B. S. Kim¹, Y. C. Song¹, C. H. Park¹

¹ 한국기계연구원 지능기계연구센터

Key words : Large surface, Ultra precision, Micro features, Multi-functional machine

1. 서론

LCD 디스플레이의 BLU(Back Light Unit) 부품중 하나인 도광판은 디스플레이 크기와 동일한 전체 면적에 수십 마이크로미터 단위의 미세형상들이 채워져 있다. 이러한 상대적 대면적에 미세구조를 갖는 부품들은 주로 미세 방진 가공^{1,2}이나 LIGA 같은 마이크로 전자 에칭 가공공정^{3,5}에 의해 제조되었는데 최근에는 금형을 기계가공하고 그 금형으로 제품을 사출 혹은 압출 성형하는 방식^{6,7}이 선호되고 있다. 이러한 기계적 가공 방식을 사용하기 위해서는 대면적에 미세형상을 초정밀하게 가공할 수 있는 가공기가 필요하게 된다. 본 논문에서는 대면적에 걸쳐 미세 형상을 가공할 수 있는 초정밀 복합가공기의 설계 및 제작에 대해 설명하고 개발된 가공기의 성능평가 결과를 보이고 있다.

2. 복합 가공기 구조의 설계

마이크로 가공에 있어서 가공방식은 shaping(또는 grooving)과 fly cutting 그리고 milling의 세가지 방식으로 나눌 수 있는데 복합가공기는 이 세가지 가공방식이 하나의 기계에서 모두 가능하여야 한다. 이렇게 다양한 패턴의 가공을 고려하면 회전 2축에 직선 3축을 갖는 5축 가공기의 설계가 필요하다. 본 연구에서 채택한 가공기의 기본적인 구조는 shaping, turning, milling이 가능하도록 X, Y, Z, C축의 4축 구조로 설계하였으며 공구 자세 조정이 필요할 경우를 고려하여 B축을 Z축상에 설치하는 5축 구조로의 확장 가능성도 고려하였다. 그림 1에 설계된 복합가공기의 전체 구조를 나타내었다.

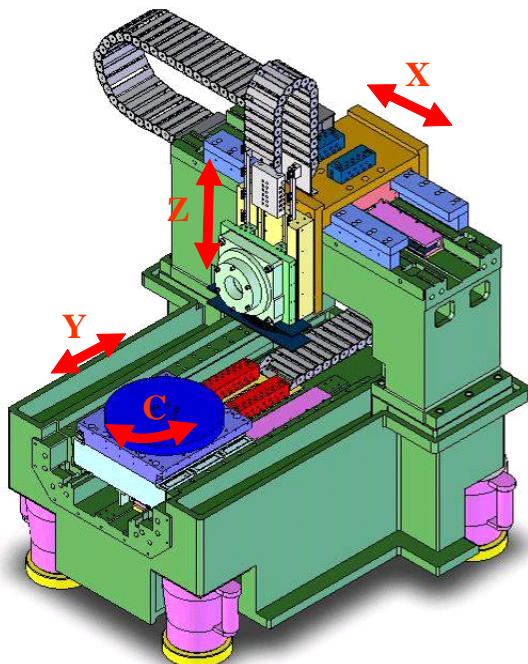


Fig. 1 Schematic diagram of the ultra precision machine

가공기의 정밀도 및 구조의 콤팩트화, 고강성화 등을 고려하여 각 축용 베어링은 모두 유정압베어링으로 결정하였으며, 직선 이송용 모터로는 coreless linear motor를 사용하였다. 가공기의 면적은 1,300x1,800 mm이며, X축 및 Y축의 유효 stroke는 각각 550 mm이다. 베드는 C축 및 Y축의 구조의 높이가 높아 주물 구조로 선정하였으며 공기 스프링을 이용하여 4점지지방식의 방진구조로 설계하였다. X축상에 설치되는 Z축의 무게는 약 70~80 kg 정도의 무게가 예상되며 리니어모터의 축방향 추력이 상대적으로 충분히 높지 않으므로 counter balance를 설치하는 구조로 설계하였다.

각 이송축의 분해능은 기본 5 nm에 1 nm까지 확장 가능한 레이저스케일(Sony사)을 사용하였다.

3. 각 축 구조의 설계

그림 1의 구조로 콤팩트한 설계를 위해서는 Y축과 C축을 하나의 몸체, 즉 Y축 테이블 내에 C축이 삽입된 구조로 설계할 필요가 있으며, 그림 2에 설계된 구조의 레이아웃을 나타내었다. 공간의 절약을 위해 C축용 베어링이 Y축 내부에 일체로 삽입되는 구조로 설계하였으며, C축의 사용 여부에 따라 회전테이블과 사각테이블을 교체할 수 있는 구조로 설계하였다. 유정압베어링을 사용하는 경우, 내부 설계의 가장 큰 어려움 가운데 하나는 seal 문제이므로 효율적인 seal을 위해 윤활유에 민감한 로터리엔코더를 상단부에 설치하였으며 이 경우 C축용 유정압베어링의 원활한 조립, 분해를 위해서 Y축 테이블의 상, 하 절단은 불가피하다. 본 설계에서는 C축의 상부 스트러스트패드를 기준으로 Y축 테이블을 상, 하 절단하는 구조로 설계하였다. C축 구동용 모터로는 빌트인모터를 사용하였으며, 오일과의 분리력을 위해 상부에는 커버를 설치하였다.

Y축 유정압베어링은 양면지지형으로 베드상에 가공하여 설치하도록 하였으며 따라서, 베어링간극은 베드내의 레일의 가공공차와 테이블의 가공공차에 의해 결정되게 된다.

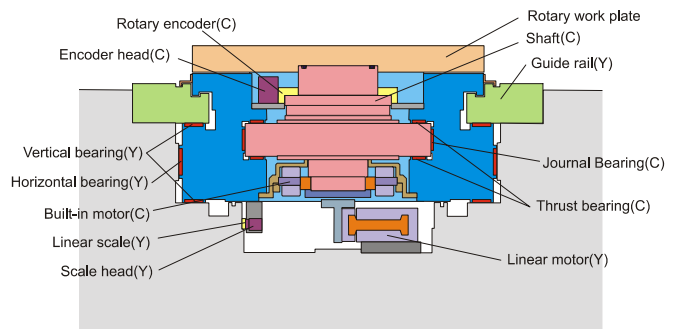


Fig. 2 Structure of the C-axis and Y-axis

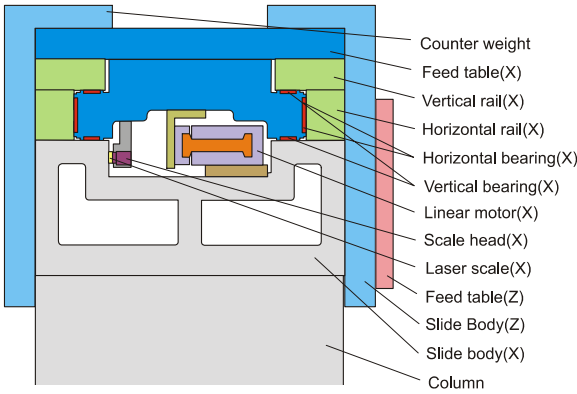


Fig. 3 Structure of the X-axis

X 축의 상세구조를 그림 3에 나타내었다. X 축의 경우에는 Z 축을 탑재하고 이송해야 하므로 하중의 unbalance에 의한 각운동 오차가 발생하기 쉬우며, Z 축의 마이크로 절입 정밀도를 악화시킬 우려가 있으므로 Z 축의 반대편에 카운터 웨이트를 설치하는 구조로 설계하였다.

유정압베어링은 수직, 수평 모두 양면지지형으로 하였으며 길이방향으로 3개의 유정압 패드가 배열되어 있다. 리니어모터는 coreless type이며 가능한 한 구동중심에 가깝게 설치하였다. 리니어스케일의 경우에도 가능한 한 구동점에 근접시키기 위해 유정압 테이블의 밑면에 설치하였다.

4. 성능 평가

구조 및 각 축 상세설계에 의해 제작된 초정밀 복합가공기를 그림 4와 같이 제작하였다. 제작된 초정밀 가공기의 성능을 평가하기 위하여 정밀도 실험과 열변형 실험을 수행하였다.



Fig. 4 Photograph of the manufactured ultra precision machine

그림 5은 Y 축의 위치 정밀도를 레이저 간섭계로 측정 한 결과이다. 피치 오차 보정을 통하여 1 μm 이하의 양호한 위치결정 오차를 얻을 수 있었다.

그림 6은 가공기의 열적 안정성을 평가하기 위한 열변형 실험 결과이다. 변위센서를 Z 축에 부착하고 측정 기준면을 부착한 Y 축을 설계 최대속도인 12m/min로 24시간 왕복운동시키면서 일정 시간마다 Z 축과 측정기준면의 변위를 측정하였다. 그림 6은 측정된 변위값이다. 그림에서 보면 24시간동안 1 μm 이내의 열변형이 발생한 것을 알 수 있다.

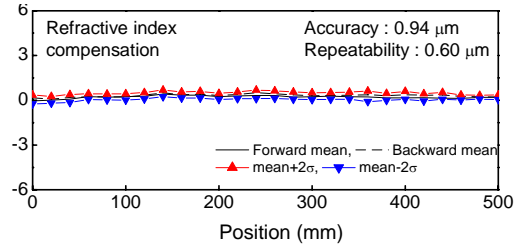


Fig. 5 Position accuracy of the Y-axis

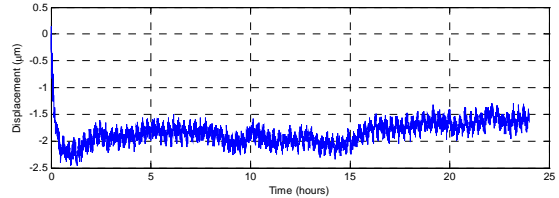


Fig. 6 Experimental result for thermal stability test

5. 결론

400x400mm의 대면적에 미세형상을 가공할 수 있는 초정밀 복합가공기를 개발하였다. 개발된 초정밀 복합가공기는 X,Y,Z,C 축의 4축으로 구성되어 있으며 모든 축이 유정압 베어링과 리니어모터로 구성되어 있다. 복합가공기의 설계 개념에 대해 설명하고 제작된 복합가공기를 대상으로 정밀도 실험과 열변형 실험을 수행하여 미세형상을 가공할 수 있는 성능을 보유하고 있음을 보였다. 향후 400x400mm의 대면적 가공 실험을 수행하여 대면적에 대한 적응력 실험을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Heeren, P., Reynaerts, D., Brussel, H. Van, Beuret, C., Larsson, O. and Bertholds, A., "Microstructuring of silicon by electro-discharge machining (EDM) – part II: applications," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 61, pp. 379-386, 1997."
2. Li, Y., Guo, M., Zhou Z. and Hu, M., "Micro electro discharge machine with an inchworm type of micro feed mechanism," Precision Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 7-14, 2002.
3. Malek, C. K. and Saile, V., "Applications of LIGA technology to precision manufacturing of high-aspect-ratio micro-components and –systems: a review," Microelectronics Journal, Vol. 35, No. 2, pp.131-143, 2004.
4. Yang, H. and Kang, S., "Improvement of thickness uniformity in nickel electroforming for the LIGA process," Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, No. 7, pp. 1065-1072, 2000.
5. Bertsch, A., Lorenz, H. and Renaud, P., "3D microfabrication by combining microstereo- lithography and thick resist UV lithography," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 73, pp. 14-23, 1999.
6. Lee, I. H., Kim, D. S., Cho, D. S. and Kwon, T. H., "Micro-injection molding and micro-stereolithography", Proc. of Korea-Japan Joint Symposium on Nanoengineering 2003, pp. 100-106, 2003.
7. Lee, B. K., Kim, D. S. and Kwon, T. H., "Replication of microlens arrays by injection molding," Proceedings of HARMST(High Aspect Ratio Micro-Structure Technology) 2003, pp. 115-116, 2003.