대면적 미세 그루빙 가공기 개발

Development of Large-Surface Micro-Grooving Machine

* # 조순주[1], EBIHARA[1], 윤종식[1], 조창래[1], 최병열[1]

*#S. J. CHO[1](cesco@korea.com), EBIHARA[1], J.S. YOON[1], C.R. CHO[1], B. Y. CHOI[1] (CESCO Co., Ltd.)

[1] (주) 세스코

Key words : Large-surfaces, Micro-grooving, Ultra-precision machine, V-groove

1. 서론

차세대 성장동력산업 중 차세대 반도체, 디스플레이, 전지 분야는 앞으로 경쟁력을 확보하고 시장 주도권을 유지, 강화를 위해서는 제조기술의 혁신에 의한 공급능력이 필수적인 사항이라 할 수 있다. 성장동력산업의 LCD, 유기EL 디스플레이, 연료전지 등은 부품표면에 다양한 형태의 마이크로단위로 미세 패턴이 설계되어 있다. 이러한 패턴제작방법은 일반적으로 반도체공정의 식각 증착공정 이외 LIGA 공정을 이용한 2차원 형상가공, 전자빔, 이온빔 등을 이용한 패턴가공 방법이 있다.[2] 이러한 공정은 수um 수십nm 수준의 가공방법에 응용되고 있으며, 대량생산에 있어 많은 경제적인 부담을 가져오고 있다.[1), 2)] 특히 LCD, PDP 부품의 패턴은 수십um 로 이루어져 있고 대량적인 생산가공은 생산성을 포함한 경제적인 측면에서는 좋지 못한 가공이라 판단되었다.[2]

또한 최근 들어 다양한 패턴의 응용 요구되고 있으며 이에 대하여 제작방법 또한 복잡화되고 이로 인한 인건비, 생산성 등 많은 부분에서 어려움을 가지고 있다. 최근 반도체 공정으로 패턴의 제작은 생산적인 측면에서 한계를 가지게 되므로 이에 대한 대안으로 반도체공정으로 만든 금형을 찍어내는 형태의 패턴을 제작하고 있는 실정이다. 그러나 반도체공정을 통한 금형제작 또한 공정의 복잡화 때문에 많은 어려움이 있다.[2]

이러한 단점을 보완하기 위하여 종래에 들어 수십um의 기계적인 방법을 활용한 가공방법이 연구되고 있으며, 국내외적으로 초정밀장비개발에 박차를 가하고 있는 실정이다.

초정밀 가공기는 기존 반도체공정의 비교하여 복잡한 공정방법을 한 장비 내에서 공정이 이루어지는 강점을 가지고 있다. 그러나 초정밀가공의 단점이라면 수um에서 수nm 수준의 가공은 한계를 가진다는 것이다.

본 논문에서는 초정밀 가공기의 마이크로 그루빙 장비 개발에 대한 내용이며 해외에서는 TOSHIBA (UMP-160160D), NACHI(ANG-92P), NAGASE9NIC-1508)이미 개발되어있다. 국내에서는 한국기계연구원이 최대400 x 400mm가공이 가능 장비를 보유하고 있다. 하지만 해외장비에 비교하여 국내 그루빙장비는 가공면적이 작아 연구용으로 이용되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문의 개발연구는 1000 x 800mm의 42인치 대응이 가능한 대면적 그루빙 장비 개발내용이며, 주 내용은 장비의 구조설계 및 조립시의 성능평가 위주의 내용을 나타내었다.

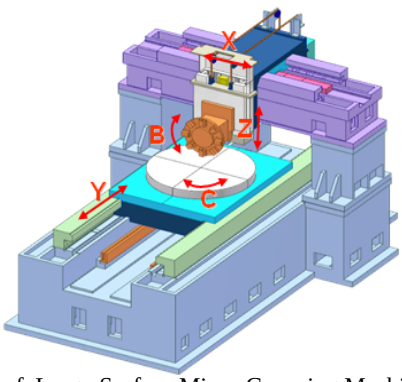


Fig. 1 Design of Large-Surface Micro-Grooving Machine

2. 대면적 미세 그루빙 가공기 구조 설계

Fig.1은 대면적 그루빙 머신 개발장비의 3차원모델링 이미지이다. 전체구조는 베드, 컬럼, 3축의 Y, X, Z축과 인덱스기능의 B, C축으로 구성되어 있다. 또한 Table 1은 5축에 대한 주요사양을 나타내었다. 대면적 미세그루빙의 구조 특성에 대하여 구조해석을 항공대학교에서 구조설계 타당성을 검토하여 설계에 반영하였다.[1)] 5축에 대한 베어링 슬라이드 구조는 가공정밀도를 고려하여 고강성, 공정밀도를 갖는 유정압 베어링방식을 채용하였다. 유정압 베어링은 강성, 온도상승 및 소비 유량을 면밀하게 검토하고 각축에 대한 윤활유 점도, 베어링 간극, 윤활유의 공급압력 등에 따른 모세관계수를 결정하여 계산되어진다. 이에 대한 조립 간극으로 직선이송축의 X, Y축 수직과 수평방향의 20um로 설정 계산하였고 Z축은 수직 수평에 대하여 15um하였다. 회전축의 B, C축의 간극을 15um 설계하여 계산하였다. 5축에 대한 공급압력은 10kgf/cm^2 로 설계되었다. 또한 점도는 5cSt이며 쿨링 온도는 20도이다.

그루빙 가공기의 구조설계단계에서 베드는 Air Spring 적용구조로 설계되었으나 고속이송 시 베드의 강성이 부족하여 용접구조의 주물로 설계하였다.

Y축의 직선이송테이블은 대면적 이송이 가능하도록 설계된 것으로 최대이송거리는 1300mm로 가공공정 시 가장 많이 움직이는 축이며, 또한 Y축의 이송 테이블 무게가 1,697kg로 무게를 고려하여 더블구조방식의 모터를 선정하였다. 모터는 온도상승을 고려하여 무철심형 모터(Coreless linear motor)로 설계되어졌다. Y축의 모터해석이론상 발열이 16도시 상승하는 단점을 가지고 있어 발열현상을 방지하기 위하여 모터 쿨링 및 단열시트를 적용하여 설계하였다. 최대속도는 18m/min이며, 진직도는 3um/1000mm로 설계되었다.

X축은 두개의 칼럼위에 안착되어 미소이송을 담당하며, 분해능이 매우 중요한 부분이므로 스케일(sale) 10nm 수준으로 설계되었다. 모터는 무철심형 모터 방식이며, 전체 Stroke 900mm하였다. 특히 칼럼부분의 안정적인 강성을 위하여 리브 부분을 삭제하였으며, X축의 자체높이를 낮추었다.

Z축은 수직방향으로 가공깊이이송을 담당하는 축이다. 최대이송거리는 116mm이며, 무철심형 모터를 사용하였고, 분해능이 10nm 수준으로 설계하였다.

B축은 공구회전축으로 다이아몬드 바이트가 장착되며, 터릿(Turret)형태의 45도 각도(Indexing) 분할하여 8개의 공구장착이 가능하다.

C축은 실제 가공할 공작물의 축으로 Indexing 기능이 있어 다양한 패턴가공이 가능할 수 있도록 설계되어졌다. B, C축의 엔코더(encoder)분해능은 0.0001° ,0.001° 수준으로 채용하였다.

Table 1 Specifications of the micro-grooving maching

	X-Axis	Y-Axis	Z-Axis	C-Axis	B-Axis
Strike (Max.)	900 mm	1300 mm	116 mm	± 360°	± 360°
Feed rate (Max.)	9 m/min	18 m/min	3 m/min	300rpm	300rpm
Feedback (resolution)	10nm	10nm	10nm	0.0001°	0.00001°
Guideway/ bearing	Hydrostatic Guideway	Hydrostatic Guideway	Hydrostatic guideway	Hydrostatic Bearing	Hydrostatic Bearing
Motor	Coreless linear	Coreless linear	Coreless linear	Brushless DC servo	Brushless DC servo
Straightness	3um/ 800mm	3um/ 1000mm	0.5 um/ 150mm	-	-

3. 이송계의 조립성능평가

미세패턴의 가공 시 가공정밀도 오차에 영향을 줄 수 있는 부분은 크게 장비자체의 구조, 장비 조립오차, 제어보상, 가공공정, 그리고 가공환경 등에서 영향을 줄 수 있다. 본 절에서는 가공에 직접적인 영향을 줄 수 있는 조립 시 이송계 슬라이드면에 대하여 조립 진직도를 평가하였다. 또한 장비의 특성에 맞게 정밀 래핑 및 스크래핑으로 수정하므로 장비의 조립을 완료하여 나타내었다.

조립성능평가 측정기는 레이저 인터페로미터로 Renishaw사의 ML10 장비를 사용하였다.

특히 대면적 미세그루빙머신의 가공면의 대변위를 담당하는 Y, X축 슬라이드면에 대하여 전체 이송구간에 대한 이송진직도를 측정하였다.

그림 Fig. 2는 Y축의 측정구간에 따른 수직방향과 수평방향에 이송진직도를 측정하여 나타내었다. 측정구간은 0~1300mm 범위이며, 초기 조립 연삭면의 진직도오차범위가 수십um 오차가 있었으나 정밀 스크래핑의 반복적인 수정과 측정을 통하여 전체이송구간에 대한 측정결과를 수직 수평방향으로 2.6um, 2.9um 수준의 오차를 확인하였다. 하지만 C축 무게에 대하여 테이블 이송됨에 따라 Y축 베드의 최대 6um 변형을 고려해볼 때 수직방향으로 조립 시 약6um 정도의 볼록한 특성을 유할 필요가 있다. 따라서 Fig. 2 같이 수직방향 (b)6.6um, 수평방향(a) 1.3um으로 정밀스크래핑작업을 통하여 나타내었다.

Fig. 3은 X축의 가이드조립 시 진직도를 평가 후 수정하여 나타내었다. 측정구간은 0~1150mm으로 슬라이드가이드의 기준면과 종동면으로 구분하여 측정하였다. 수평방향의 X축 가이드면 초기측정결과 기준면(a) 7um, 종동면(b) 97um 이였으나 정밀스크래핑작업으로 통하여 1.6um, 1.5um 수정하였다.

또한 수직방향의 초기결과는 기준가이드면(c)이 7.3um이며, 종동면가이드면(d)은 4.3um로 측정되었다. 수직방향의 경우 Z축과 B축의 무게를 고려하므로 볼록한 특성을 유도하였다. 약 8um 수준으로 처짐을 고려하여 기준면의 수정결과는 9um, 종동면의 수정결과7.5um 으로 변경하였다.

향후 Y, X축의 이송계 슬라이드면에 대하여 수직 수평방향의 진직도 평가를 실시할 필요가 있으며, 특히 수직방향 진직도의 볼록한 특성 유도결과에 대하여 면밀한 검증이 필요하다.

Fig. 4는 대면적 미세그루빙 가공기의 각축 조립결과에 대하여 나타내었다.

4. 결론

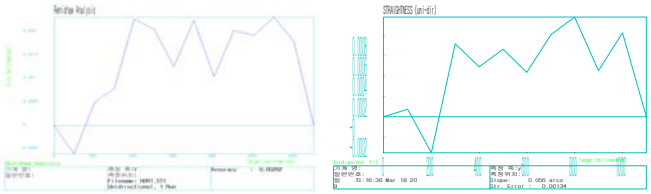
본 논문의 개발연구는 1000x800mm의 42인치 대응이 가능한 대면적 그루빙 장비 개발내용이며, 주 내용은 장비의 설계 및 조립시의 대면적을 담당하는 Y, X축의 조립진직도 성능평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 5축에 대한 해석을 바탕으로 하여 구조설계를 실시하였으며, 또한 각축의 슬라이드면을 고강성, 공정밀의 유정압 베어링을 적용하였고, 또한 각축에 사용되는 모터 및 주요스펙을 선정하였다.

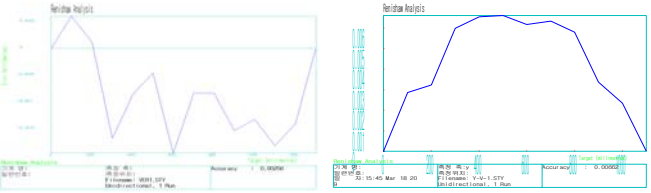
2. Y, X축의 슬라이드면의 조립 진직도를 평가하여 정밀스크래핑을 통하여 장비의 특성에 맞게 수정하였다.

3. 향후 대면적 미세그루빙 가공기에 대한 운동정밀도 오차분석, 이송시 진동평가, 가공평가 등을 통하여 장비보완이 필요하다.

Fig. 4 Assembly of Large-Surface Micro-Grooving Machine

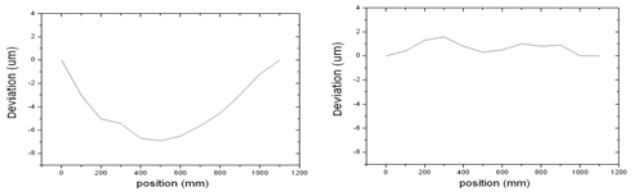


(a) Horizontal Straightness 2.9um ⇒ Horizontal Straightness 1.3um

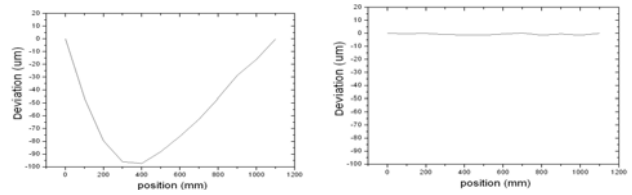


(b) Vertical Straightness 2.6um ⇒ Vertical Straightness 6.6um

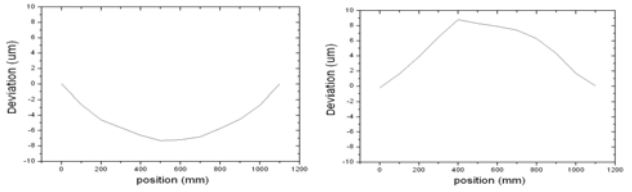
Fig. 2 **Straightness of** Y axis



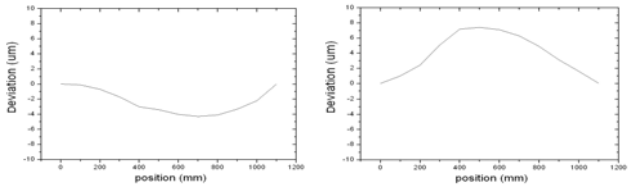
(a) Horizontal Straightness 7um ⇒ Horizontal Straightness 1.6um



(b)Horizontal Straightness 97um ⇒ Horizontal Straightness1.5um



(c) Vertical Straightness 7.3um ⇒ Vertical Straightness 9um



(d) Vertical Straightness 4.3um ⇒ Vertical Straightness 7.5um

Fig.3 **Straightness of X** axis

후기

본 개발연구는 전략기술개발사업의 “대면적 미세 Grooving 머신개발” 과제의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이원재, 이희범, 이형대, 김석일, “대면적 미세 그루빙 머신의 구조 특성 해석 및 오차 예측” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2009.
2. 재태진, 이응숙, 최두선, 이선우, “기계적 미세 가공 시스템 구성 및 응용 연구,” 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 934~934, 2001.