

◆특집◆ 대면적 미세형상의 초정밀 가공시스템

대면적 미세형상 가공기

박천홍*, 송창규**

Ultra Precision Machine Tools for Machining the Large Surface Micro Feature

Chun Hong Park* and Chang Kyu Song**

Key Words : Large surface(대면적), Micro feature(미세형상), Ultra precision machine tools(초정밀가공기), Micro mechanical machining(미세기계가공)

1. 서론

현재, 일반적인 미세 형상 부품들은 주로 마이크로 성형가공에 의해서 제조되고 있으며, 이러한 미세구조를 갖는 부품들은 주로 미세 방전가공^{1,2}이나 LIGA 같은 마이크로 전자 에칭 가공공정^{3,4,5}에 의해 2와 1/2 차원의 형태로 제조되게 된다. 이 가공방법은 동일 부품의 형상 자체를 대량 가공하는 경우에는 큰 장점을 갖고 있으나, 공정상 에칭 등의 부대 공정을 고려하면 제조공정 전체의 측면에서는 비경제적인 면이 많다. 또한 비교적 작은 수량의 다양한 부품을 가공하는 경우에는 고가의 마스크를 각각 사전에 제작해야 하는 어려움이 있으며, 또한 제조 구조물 형상에 있어서도 몇가지의 특수 형태만이 가능하므로 다양한 미소 구조물을 제조하기 어렵다는 제약이 있다^{6,7}.

이러한 제약을 극복하기 위한 방법으로서 미소 공구를 이용한 미세형상 가공기술로 초정밀 미세형상 금형을 가공하고 이 금형으로 사출 혹은

압축 성형하여 미소부품이나 광학용 기능성 표면을 제조하는 기술^{8,9}이 매우 경제적이면서 다용도로 활용될 수 있는 기술로서 관심의 대상이 되고 있다. 특히, 대부분의 미세형상 부품이 상용화되는 형태는 한 두개가 아닌 다량의 미세형상이 어레이화 된 대면적화 형태임을 고려할 때, 기존의 기반 기술을 충분히 갖추고 있으면서도 형상 및 재질의 다양성 및 경제성 면에서 이점을 갖고 있는 미세 기계가공기술의 적용 가능성은 매우 높다고 할 수 있다.

본 특집에서는 대면적 미세형상부품의 가공을 전제로, 미세 기계가공의 장점 및 그에 따른 해외에서의 미세형상 가공기의 개발동향을 소개하였다. 또한, 대면적 미세형상의 가공을 위해 필요한 가공기에의 요구 특성 및 그의 실용화를 위한 기술적 문제점들을 검토하였다.

2. 미세 기계가공의 특성

미세형상 절삭가공 방법은, 상대적으로, 자유곡면에서부터 복잡한 구조물 형상까지 다양한 가공 스펙트럼으로 여러 가지의 재료에 대해서 유연하게 미소부품을 빠르게 제조할 수 있다는 장점을 가지고 있다. Table 1 은 미세형상 절삭가공의 상대적인 장점을 정리한 것으로, 아직 가공 가능한 선

* 한국기계연구원 지능기계센터

Tel. 042-868-7117, Fax. 042-868-7180

Email pch657@kimm.re.kr

초정밀기계, 정밀기계, 반도체 및 디스플레이 관련 장비 등의 위치결정기술 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

** 한국기계연구원 지능기계센터

폭에서는 다소 난점을 가지고 있지만 유연성, 고속가공성, 형태의 다양성면에서 우수한 특성을 지니고 있어 향후, 커다란 시장이 예상되는 마이크로 치수의 형상가공에는 유리한 특성을 지니고 있다.

한편, Fig. 1 은 미세형상 가공에 있어 가공 가능한 가공물 크기와 표면조도를 나타낸 것으로, 절삭가공의 경우, 성형에 의한 실리콘 에칭이나 LIGA 공정 등에 비해 가공 가능한 선평은 미세하지 못하지만 표면조도면에서는 보다 우수하며, 가공 가능한 재료나 형상도 매우 다양함을 알 수 있다¹⁰. 또한, 메카니즘적으로는 기존의 밀링, 세이핑, 터닝 등의 전통적인 절삭가공 메카니즘을 거의 그대로 적용하는 것이 가능하므로 scale-down 만으로도 비교적 용이하게 새로운 공정에 적용이 가능하다는 장점이 있다.

Fig. 2 는 절삭가공에 의해 제작된 미세형상 부품의 예를 나타낸 것으로¹⁰, 미세 절삭가공기술은 나노기술의 상용화의 전단계로서 LCD 도광판과 연료전지 분리판 외에도 막대한 시장이 형성될 것으로 예측되는 각종 마이크로 렌즈/반사경 어레이, 광부품 제조용 각종 금형, 광응용 저장장치나 바이오용 센서등 미세형상 부품 시장에서의 제조공정의 핵심적인 역할을 수행할 것으로 예측된다.

3. 미세형상 가공기의 개발 동향

Table 1 Merits of the micro mechanical machining

유연성	<ul style="list-style-type: none"> - 모든 가공형태나 공정을 하나의 기계내에서 완료할 수 있고, 때에 따라서는 한번의 Chucking 에 의해서 공정을 완료할 수 있음. - 미소부품에 사용되는 대부분의 재료를 직접 사용할 수 있음. - CNC 를 이용하여 미세가공 공정을 무인, 자동화할 수 있음.
고속성	<ul style="list-style-type: none"> - 단위시간당 높은 절삭량 배출 - 장시간의 에칭이나 가공을 위한 고가의 마스크가 필요 없음.
형태의 다양성	<ul style="list-style-type: none"> - 사용재료의 결정면과 관계없이 가공이 가능 - 다양한 형태의 공구형태를 사용함으로써 가공공정을 단축시키고, 표면조도를 최상으로 유지가능. - CNC 프로그램으로 다양한 형태의 3 차원 구조물을 제조 가능.

미세형상 복합 가공기의 개발은 주로 일본과 독일의 연구팀에서 선도적인 연구를 수행하고 있다. 일본의 경우 이미 상품화하여 판매하는 수준이다. 미세 형상 복합가공기의 연구 경향을 특징짓자면 주로 선반 형태의 초정밀 가공기에 밀링용 주축을 장착할 수 있는 직선축을 추가하여 세개의 직선축과 두개의 회전축으로 구성된 5 축 가공기로 구성한다는 점이다. 가공영역은 200 × 200 mm 정도 수준이며 이송계의 안내면으로 정압 베어링을 사용하는 공통점이 있다. 일본, 독일의 대표적인 개발 사례 두 가지를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

독일 아헨의 프라운호퍼 연구소(IPT)는 기존에 초정밀 선반을 개발한 바 있다. 이 초정밀 선반은 공기정압 주축과 직선 안내면을 채택하여 진직도와 편심 오차를 최소화 하였다. 이 연구소의 Weck¹¹ 등은 이 초정밀 선반에 Fig.3 과 같이 또다른 직선축(Y 축)을 부착하고 Y 축에 고속 주축을 배치하여 밀링 기능을 추가한 미세형상용 복합가공기

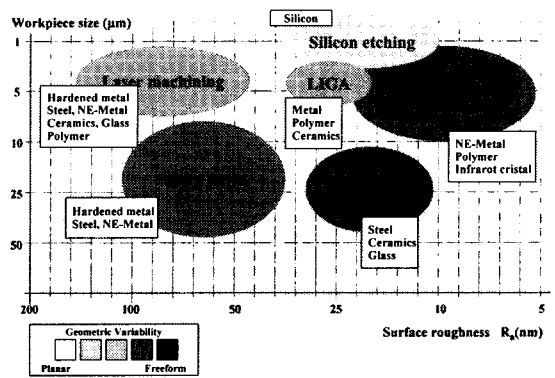
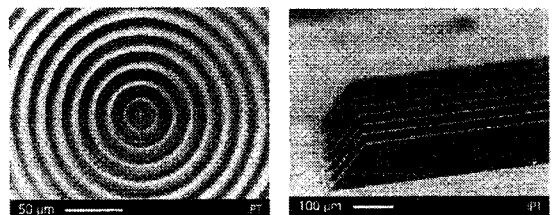


Fig. 1 Machinable size and surface roughness according to the micro machining process



(a) Diffractive optics (b) optical fiber mold

Fig. 2 Examples of micro cutting

를 제작하였다. 밀링용 주축은 공기정압 베어링과 공기동압 베어링을 같이 사용할 수 있도록 설계되어 있으며 반경방향 강성은 30 N/μm, 최대속도는 100,000 rpm 이다.

이 복합가공기에서 다이아몬드 회전공구와 최소 직경 50 μm 의 HSS 엔드밀 공구를 사용하여 가공한 직경 8 μm 의 샤프트를 Fig. 4(a)에 나타내었다. 또한 밀링 공정으로 Fig. 4(b)와 같이 높이 70 μm 의 그루브도 가공하였다. Fig. 4(a)의 샤프트의 재질은 황동으로서 burr 가 많이 발생하며 Fig. 4(b)의 그루브는 니켈 재질로서 burr 문제가 발생하지 않는다고 보고하였다. 이 복합가공기의 또다른 특기 사항은 2종의 FTS(Fast Tool Servo)를 사용하였다는 점으로, PZT 로 구동되는 FTS 는 짧은 스트로크에 빠른 동특성(3kHz 에 10 μm 스트로크)을 갖으며 리니어모터로 구동되는 다른 FTS 시스템은 느리지만 긴 스트로크.(50Hz 에 1mm 스트로

크)의 장점을 갖는다.

일본의 FANUC 사는 Robonano¹² 라는 미세형상 가공기를 개발하여 상품화하였다. Robonano 는 5축 밀링 기능과 선삭, 5축 세이핑 등이 가능한 복합 초정밀가공기이다. 이 가공기의 기본 구조는 Fig. 5 와 같이 X, Y, Z 의 세 직선축에 B 와 C 축의 회전축으로 구성되어 있고 필요에 따라 주축과 공구 및 공작물을 B 축과 C 축에 설치하여 선반과 5축 머시닝센터까지 자유롭게 변경가능한 플랫폼 머신 구조이다. Robonano 의 모든 직선축과 회전축은 공기정압 베어링을 사용하고 있으며, 특히 마

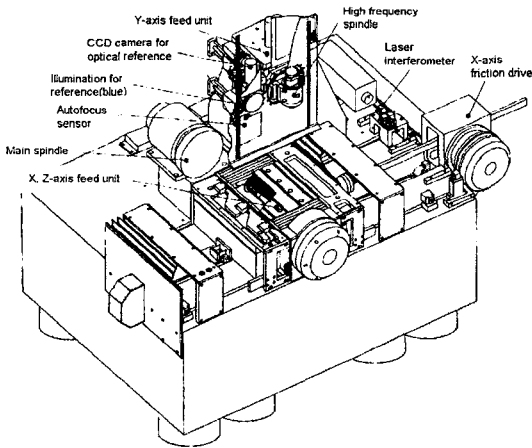
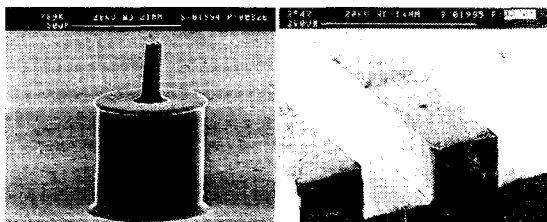


Fig. 3 An ultra precision machine tools for micro machining developed by IPT



(a) micro shaft (b) micro groove

Fig. 4 Examples of micro parts machined by IPT

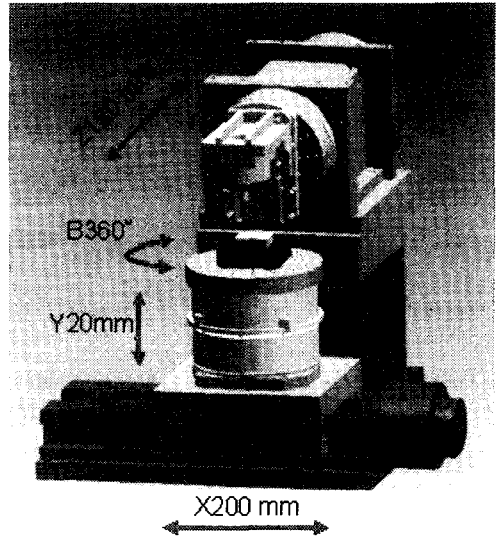


Fig. 5 Structure of the Robonano developed by FANUC

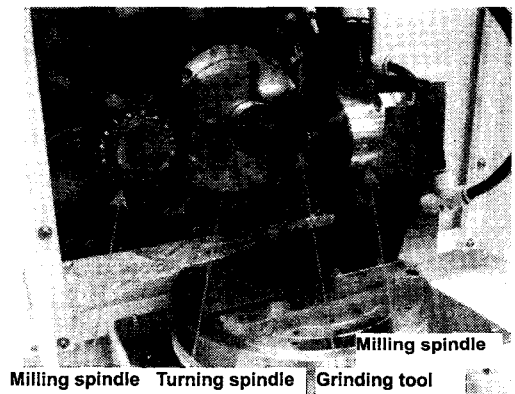


Fig. 6 Spindles in Robonano

찰을 없애기 위해 직선축 이송용 모터의 베어링까지도 공기베어링을 사용하고 있다. 또한 이송용 스크류도 공기정압 스크류를 적용하고 있다. 직선축의 성능으로는 각축에 0.6 nm 분해능의 펄스코더를 부착하여 미소 이송 분해능이 1 nm 를 달성하였으며 미소구간의 진직도를 10 nm 이하로 실현하였다. 회전축의 분해능은 0.00001°이다.

주축은 Fig. 6 에서 나타내었듯이 밀링용과 선삭용을 따로 갖고 있고 모두 공기 터빈 방식의 고속 주축이며 밀링용 주축의 최고속도는 70,000 rpm, 선삭용 주축의 최고속도는 10,000 rpm 이다. 두 주축의 회전정밀도는 모두 0.05 μm 이다.

Robonano 는 1 mm 직경내에 사람의 얼굴을 가공하여 발표함으로써 미세형상 가공의 효시로 이미 정평이 나 있는 제품이며, V 형 그루브, 마이크로 렌즈 어레이, 피라미드형 프리즘 코어 등을 가공하여 발표한 바도 있다. Fig. 7 에 Robonano 에 의해 가공된 미세형상과 자유곡면 형상을 나타내었다.

4. 미세형상 가공기 개발을 위한 요소기술

4.1 가공기의 대면적화에 따른 요구기술

앞 절에서의 선진국을 중심으로한 개발동향을 살펴보면 미세형상 가공기의 골격은 기존의 초정밀 가공기와 크게 다르지 않음을 알 수 있으며, 따라서 이 분야에서 세계기술을 선도하던, 독일, 일본 그리고 미국의 몇몇 기업이 여전히 미세가공기 분야에서도 선도적인 입지를 구축하고 있다.

그러나, 구체적인 가공기의 역할을 기술적으로 분석해보면, 가공해야할 대상이 반사경/렌즈 등으로부터 미세형상 어레이로 변화하면서 기존의 초정밀 가공기에서는 고려되지(또는 강조되지) 않았던 기술들이 요구된다. 먼저, 하나하나의 미세형상

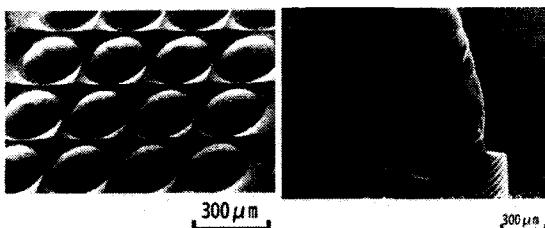
에 대한 위치오차가 가공오차로 전사되므로 보다 엄격한 위치결정 정밀도를 요구하게 된다. 따라서 각 운동요소에 있어서의 미소한 마찰에 의한 비선형 특성까지도 제거할 필요가 있다. 또한 항온실의 온도변화만으로도 쉽게 서브미크론대의 정밀도 변화가 예상되므로 환경에 의한 오차까지도 보정할 수 있는 기술이 필요하다. 이러한 오차들의 배제 또는 보정을 위해서는 제조단계에서부터 체계적으로 이를 고려한 공정이 설계되어야 할 필요가 있다.

한편, 대면적에 대해 미세형상을 가공하기 위해서는 가공시간의 장시간화가 불가피하며 이러한 가공조건은 환경적(주위온도, 압력, 진동 등)요인에 따른 일차적인 정밀도 악화 및 구조 각부의 열적 안정성 한계에 따른 이차적인 정밀도 악화 등의 요인으로 작용하게 된다. 또한, 공구 마멸에 따른 공구교환조건이 발생할 경우 원점의 변화에 따른 대처기술, 미세형상 어레이의 가공을 위한 절입량의 반복적 변화에 대처할 수 있는 제어계의 안정화 기술도 필수적이다.

구조면에서는, 기계가공의 경제성 및 미세형상의 다양성 등을 고려할 때 한 대의 기계에서 turning, milling, grooving 등의 가공작업은 물론, 최소한 마크로 기상 검사까지도 이루어 질 수 있는 다축 구조의 복합화가 필요하게 되며, 이러한 복

Table 2 Required technology on the ultra precision machine tools for large surface machining

항목	요구기술
초정밀화	- 3 차원 공간 반복정밀도 확보를 위한 운동 정밀도 및 위치정밀도의 초정밀 보정 - H/W 요소 제조공정상의 오차 최소화를 위한 가공기 제조, 조립공정의 체계화 - 마찰 및 비선형성 최소화를 위한 저마찰 베어링 및 이송계
장시간 가공	- 열 및 환경적 안정성 확보 및 보정 - 공작물셋업 및 공구 교환 정밀도 - 미세가공을 위한 절입량의 반복변화에 따른 구동 안정성
기능의 복합화	- 가공대상인 미세형상의 다양화에 따른 터닝, 밀링 및 세이핑 기능 등의 복합화 - 자세오차, 공구 및 공작물감시용 기상측정 - 복합 구조에 따른 루프강성 저하의 최소화



(a) 4x4 convex lens array (b) Buddha head

Fig. 7 Examples of micro parts in Robonano

합화는 최종적으로 공구와 공작물 사이의 루프강성을 약화시키므로 컴팩트한 구조설계를 저해하는 요인으로 작용하게 된다. 또한, 절입량이 미소하므로 주축, 이송계 등에서의 미소한 자세오차도 절입량에 큰 변화를 주게 되며, 이를 측정하고 보정할 수 있는 지능화된 구조나 장치를 부가적으로 필요로 한다.

Table 1 에 이상의 초정밀화, 장시간화, 복합화에 따라 요구되는 기술들을 정리하였으며, 이러한 요구 특성이 미세형상 가공기가 기존의 초정밀 가공기와 구별되는 특성이라고 할 수 있다.

이하에 있어서는 이러한 특성을 고려한 기술 현황 및 문제점을 가공기 구조 설계, 운동요소의 초정밀화, 측정 및 평가기술 등의 요소기술 면에서 정리하였다.

4.2 가공기 구조

가공기 구조를 결정하기 위해서는 먼저 가공 방식을 고려해야 할 필요가 있다. 미세가공은 대부분 다이아몬드 공구를 사용하게 되며 기본적으로 회전공구와 비회전공구를 고려할 수 있다. 회전공구의 경우에는 절삭속도를 빨리할 수 있어 가공성과 조도면에서 유리하다. 또한 미세 패턴의 형상에 따라 Fig. 8 과 같이 Fly cutting 방식과 밀링 방식을 혼합하여 사용한다. 그러나, 공구 자체의 직경과 회전에 따른 정밀도 악화 등의 문제로 가공가능한 선포에 한계를 갖게 된다. 역으로, 비회전공구의 경우 정밀도면에서는 유리할 수 있으나

가공속도에 한계가 있어 생산성이 문제가 된다.

Fig. 8 에서와 같이 다양한 패턴의 가공을 고려하면 회전 2 축에 직선 3 축을 갖는 5 축 가공기의 설계가 필요하며, 이 경우, 구성가능한 구조로는 Fig. 9 의 6 개 구조를 들 수 있다.

절입축인 Z 축상에 주축의 각도 분할을 위한 B 축을 배열할 경우 루프강성에 부담으로 작용하게 되며 이를 방지하기 위한 구조로는 Fig. 9(e) 및 (f)를 들 수 있다. 그러나, 이 경우에는 Z 축이 구동시에 지지해야 할 하중이 커져 마이크로 절입의 안정성 확보가 관건이 된다.

주축 및 B 축에 의한 루프강성 약화를 보완하기 위한 방법으로는 Fig. 9(a), (d) 및 (e)의 크로스빔을 설치하는 방법이 효과적이 될 수 있다. 이 가운데 Fig. 9(d) 및 (e)와 같이 Y 축을 빔상에 배치하는 경우에는 Y 축에 의해 가공물 길이가 결정되므로 Y 축의 이송속도가 생산성을 결정하게 되나 상대적으로 크로스빔의 무게가 이송속도의 한계가 될 수 있으므로 2 개의 모터를 이용한 동기제어 등이 부가적으로 사용되는 경우가 많다. Fig. 9(a)의 경우에는 이송속도면에서는 유리하나 크로스빔에 3 축이 배치되므로 루프강성을 높이기 위해서는 구조강성을 충분히 높인 설계가 필요하다.

한편, Fig. 9(b)의 경우에는 루프강성은 높일 수 있으나 X, Y, C 축의 3 축이 중첩됨에 따른 정밀도 구현 기술과 함께 구조의 비대칭성에 따른 열장성의 약점을 보완해야 할 필요가 있다. 또한 Fig. 9(c) 및 (f)의 경우에는 Y 축 이송테이블상에 Z 축

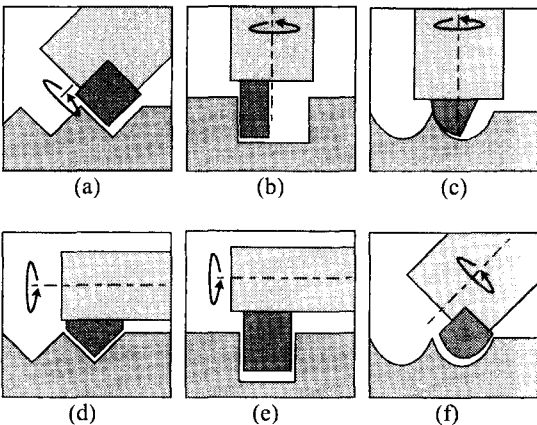


Fig. 8 Machining method of micro feature using the rotating type tools.

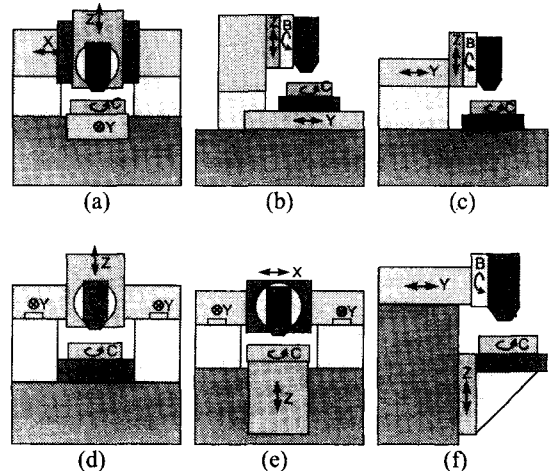


Fig. 9 Structures for five axis machining

및 B 축이 외팔보 형태로 배치되므로 Y 축 테이블의 위치에 따른 루프강성 변화가 가공물에 영향을 미치지 않도록 Y 테이블의 강성을 충분히 높여야 하는 어려움이 있다.

가공기 구조의 선택에 있어서는 이상의 구조상의 특성을 충분히 분석하고 개발하는 기업의 가공기술상의 장점과 보유 설비 등을 함께 고려하여 결정할 필요가 있다.

4.3 운동요소의 초정밀화

주축, 안내면, 회전테이블 등의 운동정밀도는 그대로 가공정밀도에 연결되므로 설계 단계에서 각각의 특성을 충분히 고려한 오차배분 및 그에 따른 오차저감 또는 보정방법론이 결정되어야 한다.

미세가공용 밀링주축의 경우에는 가공에 필요한 최대 회전속도가 50,000 ~ 10,000 rpm 정도이고 상대적으로 가공부하는 미소하므로 공기터빈이나 고주파모터 구동방식의 공기베어링 스피들이 대부분 이용되고 있다. 이미 세계적으로 7~8 개 메이커에서 개발이 되어 있고 가격도 합리적이므로 기존 제품을 이용하는 데에 어려움은 없다. 주축 자체의 회전오차보다는 공구의 장착에 따른 편심오차 및 주축 자체의 설치오차가 정밀도를 악화시키는 요인이며 공구를 장착한 상태에서 보증되는 회전정밀도는 최소 1~2 μm 이상이다. 따라서, 이 이상의 미세한 선폭의 가공은 현실적으로 어려우며, 이 정도의 정밀도를 얻기 위해서도 편심오차 및

설치오차를 제거하기 위한 지능화가 필요하다.

안내면의 경우에도 상대적으로 작용하는 부하가 작고 열적인 안정성을 필요로 하므로 성능면에서는 정압공기안내면이 유리하다. 그러나, 상용화면에서는 공기안내면의 엄격한 조립오차 및 저감최특성 등에 의한 불안정성이 생산성을 제한하는 경우가 많으며, 이에 따라 열적 대책이 보완될 경우, 강성 및 감쇠면에서 안정적인 유정압안내면이 상대적으로 유리하다.

이송기구로는 일반적인 볼스크류 이외에도, 리니어모터가 적용되기 시작하고 있으며¹³, 공기정압스크류 및 유정압스크류 등도 제작기술을 갖고 있는 일부 기업에 의해 상용화가 시도되고 있다.

공기정압안내면이나 유정압안내면을 적용하는 경우 어느 이송기구를 사용해도 나노미터대의 이송분해능은 어렵지 않게 얻을 수 있다. 그러나, 항온실내에서 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 온도제어가 이루어진다고 해도 그에 의한 열변형은 서브미크론대 이상이므로 위치결정에 있어 같은 오더의 반복오차는 피할 수 없다. Fig. 10 은 리니어모터로 구동되는 공기정압안내면에 있어 위치결정오차와 반복오차를 측정 한 예를 나타낸 것이다¹⁴. 측정용 레이저간섭계의 온도에 따른 굴절율을 보정하더라도 반복오차는 0.10 μm 가 뒀을 보이고 있다.

한편, Fig. 11 은 리니어모터로 구동되는 유정압안내면의 온도에 따른 오차요인을 분석한 결과를 나타낸 것이다¹⁵. 공급유온을 대기온과 일치하도록 제어하더라도 보상요소로 사용되는 모세관에서의 발열효과에 의해 테이블이 움직이는 열원으로

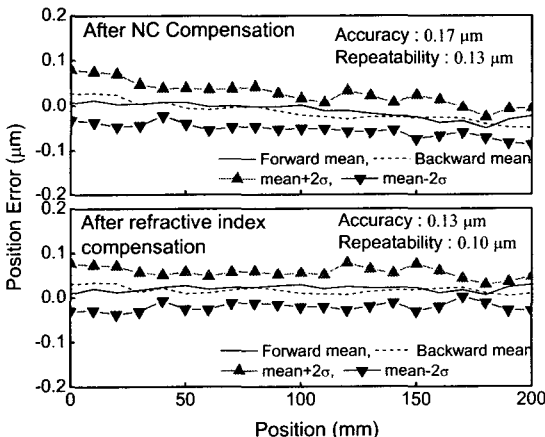


Fig. 10 Positioning error of aerostatic stage before and after the refractive index compensation

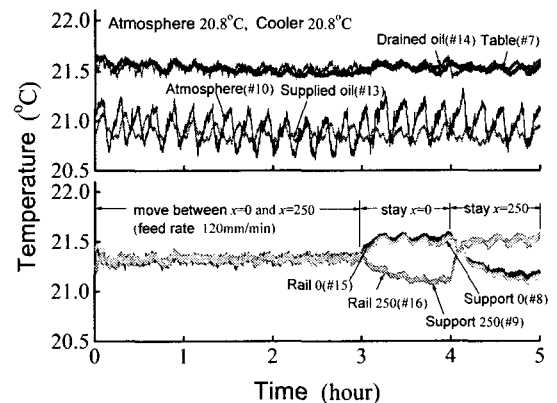


Fig. 11 Temperature variations of hydrostatic guideway according to the movement of table.

Table 3 Required accuracy on the assembly and estimation process for the ultra precision machine tools for large surface machining

대상(기준길이)	측정항목	기존 방식	현재 정밀도	요구 정밀도	개발(보완) 방식
가공레일부 (1000mm)	베어링간극 레일 진직도 레일 직각도 레일 평행도	EM + block gage AC, LI CMM, Angle gage CMM, EM + block gage	2~3 μm 0.3~0.5 μm 2 $\mu\text{m}/100\text{mm}$ 2~3 μm	1 μm 0.1 μm 이내 0.5 $\mu\text{m}/100\text{mm}$ 0.5 μm 이내	\Rightarrow (jig 보완) Multi-probe 방식 ? Multi-probe 방식
1 축 이송 (500mm)	5D 운동오차 위치오차 분해능	LI, AC LI 용량형 센서	0.1 μm 0.1 μm 2~5 nm	0.02~0.03 μm 0.02 μm 1 nm	Probe+LI 혼합 \Rightarrow (환경제어+굴절율보정) \Rightarrow (환경제어)
2 축 조립 (500mm)	조립 직각도 평면 오차	LI LI, GE	1 μm 2 μm	0.2~0.3 μm 0.1~0.2 μm	\Rightarrow (환경제어, jig 보완) \Rightarrow (환경제어, 방법개발)

LI : 레이저간섭계, AC : Autocollimator, EM : Electric micrometer, GE : Grid encoder, CMM : 3 차원측정기
 \Rightarrow : 측정수단은 현행과 동일

작용하고 있음을 보이고 있으며 이에 따른 피드백 센서 자체의 변동으로 0.2 μm 이내의 반복정밀도를 얻기는 용이하지 않음이 보고되고 있다.

보다 높은 반복정밀도를 구현하기 위해서는 오차요인분석을 통해 이송계 자체의 비선형성을 제거(또는 보정)하고 정밀도에 크게 영향을 미치는 피드백센서의 환경에 대한 정밀도 안정성을 향상시켜야 하며, 측정장치 자체의 환경적 특성도 병행하여 향상시킬 필요가 있다.

4.4 측정 및 평가기술

300 ~ 400 mm 정도의 대면적을 대상으로 초정밀 미세형상 가공기를 가공, 조립, 평가하고자 하는 경우에 필요한 측정정밀도를 현재 측정가능한 정밀도와 비교하여 Table 3 에 나타내었다.

1 축당 0.1 μm 내외의 오차배분을 고려하면, 핵심 부품의 가공 단계에서부터 철저한 검사가 이루어져야 할 필요가 있다. 특히 가공부품의 측정기술은 기능인에 많이 의존하는 경향이 있어 그 중요성에 비해 매우 취약한 편이며, 측정방식 자체도 숙련도에 많이 의존하고 있다. 공기, 유정압베어링 등의 적용을 전제로 하더라도 진직도, 직각도, 평행도 및 다축간 직각도, 평면도 등에서 최소한 0.1 ~ 0.5 $\mu\text{m} / 500 \text{ mm}$ 이상의 정밀도를 갖추어야 할 필요가 있다.

가공면 진직도의 경우, 측정용 치구 및 환경상의 문제로 0.5 μm 이내의 정밀도는 기대할 수 없으며 축차 2 점법, 3 점법 등이 꾸준히 연구되고 있으나 프루브간의 영점조정이나 각운동오차의 영향 등에 의해 아직 만족할 만한 정밀도를 얻지 못하

고 있다^{16, 17}. 직각도의 경우에는 측정 환경이 더욱 열악하여 서브미크론대의 측정도 어려운 상황이며, 측정기술 자체도 기능인의 숙련도에 크게 의존하고 있어 가장 많은 진전을 필요로 하고 있다. 다축간의 정밀도는 앞으로는 당분간 레이저간섭계에 의존할 수 밖에 없으므로 환경이나 측정용 치구의 개선을 통한 정밀도 향상이 불가피하다.

대면적 미세형상 가공에 있어 특별히 고려해야 할 기술의 하나로는 절입량의 제어를 위한 평면오차 측정 및 보정기술을 들 수 있다. 가공패턴에 따라서는, 일반적으로 2 ~ 3 μm 정도인 원소재의 평탄도가 가공형상의 깊이 변화에 큰 영향을 주게 되며, 이를 보정하기 위해서는 가공되는 국부 면을 중심으로 평면오차를 연속적으로 측정하고 보정해야 할 필요가 있다. 이미 반도체 노광장비 등의 경우에는 다수의 AF 센서를 이용한 측정방식이 채택되고 있으며 3 개의 VCM 을 이용한 평면오차 보정 메커니즘도 적용하고 있다¹⁸.

이상으로 대면적 가공기를 위한 요소기술의 현황과 문제점을 대략적으로 검토하여 보았다. 이외에도 미세공구 및 관련 모니터링 기술, 가공관련 지능화기술 및 그를 실현하기 위한 가공기상의 메커니즘, 가공기용 제어기 등 아직 다양한 문제점들이 많이 있으나, 지면과 소개할 만한 연구 결과 들의 부족 등을 이유로 생략하고자 한다.

5. 결론

최근들어 국내에서도 전자통신 산업등을 중심으로 미세가공기술 관련 제품들의 개발에 대한 기

업의 관심이 매우 높아지고 있으며, 정부의 정책적인 지원도 매우 활발한 편이다. 디스플레이 시장에 있어서는 LCD 또는 OLED 가 시장을 주도하고 있으며, 높은 현장감을 위한 대면적화와 3 차원 디스플레이기술의 급속한 진전도 전망된다. 광, 정보, 가전산업 등에 있어서도 대용량 정보의 전달과 기록을 위한 광통신 핵심부품의 개발이 급속히 가속되고 있다. 이러한 분야에 있어서 핵심 부품의 초정밀 형상 및 표면가공을 위한 양산설비기술 확보는 시장 경쟁력의 관건이 되고 있다. 초정밀가공기 관련기술 시장은 이제껏 보지 경험하지 못한 큰 시장을 목전에 두고 있으며, 국내에서 상용화되면 바로 세계시장을 선도할 수 있는 입지도 갖추게 될 것으로 예측된다. 현 시점에서의 초정밀 대면적 미세가공기 기술은 단순한 하나의 장비 기술 차원을 넘어, 전통적인 기계가공산업을 첨단 산업분야로 접목시킬 수 있는 중요한 계기가 될 수 있을 것으로 판단된다.

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 microstereolithography and thick resist UV lithography," *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 73, pp. 14-23, 1999.
6. Rahman, M. A., Rahman, M., Kumar, A. S. and Lim, H. S., "CNC microturning: an application to miniaturization," *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol.45, No. 6, pp. 631-639, 2005.
7. Lim, H. S., Kumar, A. S. and Rahman, M., "Improvement of form accuracy in hybrid machining of microstructures," *J. of Electronic Materials*, Vol. 31, No. 10, pp. 1032-1038, 2002.
8. 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.
9. 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.
10. Fischer, S., "Manufacturing system for production of micro structure," *WZL(Aachen)*, 2000.
11. Weck, M., Fischer, S. and Vos, M., "Fabrication of microcomponents using ultraprecision machine tools," *Nanotechnology*, Vol. 8, pp. 145-148, 1997.
12. Takeuchi, Y., Sakaida, H., Sawada, T. and Sata, T., "Development of 5-axis control ultraprecision milling machine for micromachining based on non-friction servomechanism," *Annals of CIRP*, Vol. 49, No. 1, pp. 295-298, 2000.
13. Takeuchi, K. and Hirano, M., "Development of high precision free-form surface machine driven by linear motor," *Proc. of JSPE Ultra Precision Positioning Committee*, No. 2003-3, pp. 19-22, 2003.
14. Hwang, J. H., Park, C. H., Lee, C. H. and Kim, S. W., "Analysis on the Positioning Error of an Aerostatic Stage," *the 1st Korea-Japan Conf. on Positioning Technology*, pp27-31, Oct., 2002.
15. Park, C. H., Oh, Y. J., Hwang, J. H. and Lee, D. W., "Experimental Analysis on Thermal Characteristics of Hydrostatic Guideway for Precision Positioning," *the 1st Korea-Japan Conf. on Positioning Technology*, pp52-57, Oct., 2002.
16. Kiyono, S., "Profile Measurement Using Software Datums," *J. of JSPE*, Vol. 61, No. 8, pp. 1059-1063, 1995.
17. Fung, E. H. K. and Yang, S. M., "An approach to on-machine motion error measurement of a linear slide," *Measurement*, Vol. 29, pp. 51-62, 2001.

18. Makinouchi, S. and Tanimoto, A., "Ultra precision stage technology in current and next generation lithography," Proc. of Korea-Japan Joint Symposium on Nanoengineering 2003, pp. 178-182, 2003.