

## 초정밀 절삭가공의 현상과 향후 동향

The Trend and Future of Ultraprecision Cutting

金 政 斗\*  
Kim, Chung Doo

### 1. 머리말

마이크로 일렉트로닉스(micro electronics)를 중심으로 하는 산업혁명이 진행되고 있는 시점에서 전자, 광학 및 신소재의 부품에 대한 형상, 치수, 표면거칠기에 대한 정밀도의 필요성이 점점 증대하고 있다. 한편 21세기로 향하는 첨단 기술 분야중 nanometer( $10^{-9}$ ), Å의 가공정도를 요구하는 대형광학부품의 수요가 예상되며, 특히 자외선, 방사광(SOR), X선을 광원으로 이용하는 분야는 긴급을 요하는 상황이라고 볼 수 있다. 우리나라에서도 최근 초정밀 가공에 대한 관심이 높아지고, 과학기술처는 이 분야의 연구 사업을 추진하기 위하여 메카트로닉스(mechatronics) 분야내에 초정밀, 초미세가공기술 개발에 대한 관계 법령을 공포한바 있다.

이것은 최근 초정밀가공이 필요로 하는 부품류가 급증하고 있으며, 예를들어 레이저용반사경, 감광드럼, VTR 실린더, 자기디스크, X선 광학부품, Laser Fusion 등의 금속재료와 적외선용 부품, Infra Red(FLIR), 플라스틱 등의 비금속재료등 가공정밀도를 향상시키기 위해서는 새로운 가공법인 초정밀가공(Ultra-Precision Machining)기술의 개발이 무엇보다도 중요한 과제로 부각되고 있다.

우리나라의 초정밀절삭 연구는 불과 2~3년 정도에 불과하며 이는 미국, 일본등에 비하여

대단히 늦었다고 볼 수 있으며, 국가적인 전지에서 산·학·관이 일체가되어 초정밀 절삭기술 체제를 시급히 확립하는 것이 필요하다. 본 고에서는 현재까지의 초정밀 절삭가공 기술의 변천과 앞으로의 동향에 대하여 살펴보기로 한다.

### 2. 초정밀 가공기술의 추이

#### 2.1 구미에서의 초정밀 가공기술

다이아몬드 바이트를 사용한 초정밀 절삭가공기가 최초로 발표된 것은 1966년이라고 전해진다. 미국 Union Carbide사가 발표한 것으로, 구면을 고정도로 가공할 목적으로 개발되어, 고정도인 공기정압베어링을 이용하고, 알루미늄 합금의  $\phi 100\text{mm}$  재료를 형상정도  $0.6\mu\text{m}$ , 표면거칠기  $25\text{nm}$ 를 얻었다고 보고되었다. 초정밀가공에서 중요한 기계요소의 하나인 주축회전부분을, 고정도인 공기정압 스피들을 이용한 획기적인 기계라고 볼 수 있다. Union Carbide사는 공군 병기 연구소와 공동으로 공기정압 스피들과 공기정압 슬라이드(Air slide)의 가공기계와 2개의 Air spindle을 사용한 R- $\theta$ 선반, 더욱이 큰 직경치수의 광학 부품가공용의 각종 초정밀 가공기계등으로 전개하고 있다. 현재는  $\phi 800\text{mm}$ 의 비구면 광학부품의 종합정도  $0.1\mu\text{m}$ 가 가능한 초정밀 가공기의 개발이 진행중이라고 전해진다. Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)에서는 Moore사의 측정기를 기초로한 고정도인 에어스핀들을 설치하고, 기계

\* 기계기술사(기계공작 및 공작기계), KAIST 생산공학과교수

전체에 온도제어가 가능토록 Machine Oil을 Oil Shower 방식으로 흐르도록 절삭환경을 균일한 온도 환경으로 제어하여 초정밀가공을 시도한 바 있다.

LLNL에서는  $\phi 800\text{mm}$  용의 가공기,  $\phi 210\text{mm}$  용의 가공기의 개발과 Laser Interferometer를 장착한 최초의 초정밀 가공기이다.

Moore Special Tool 사는 정밀측정기를 기초로 고정도인 에어스핀들을 채용하고, 테이블의 진직도는 이동거리 460mm로 0.5 $\mu\text{m}$ 의 정도 범위라고 전해지고 있다.

현재는 3축제어의 NC가공기로서, 비구면 창성 다이아몬드 선반을 표준기로서 생산하고 있다. Moore M-18 AG는 에어스핀들과 고정도

표 1. 구미의 초정밀가공 기술개발

			1960	1965	1970	1975	1980		
미 국	연 구 관	Union Carbide Y-12	○ du Pont No.1	○ du Pont No.2	○ Moore (R- $\theta$ Lathe)	○ du Pont No.3	○ Multi- faceted Mirror	○ Ex-Cell-O POMA	
		Lawrence Livermore (National) Laboratory				○ Moore No.1 (Oil shower)	○ Moore No.2 Oil shower (Laser Interferometer)	○ No.3	
		Battelle Pacific North- west Laboratory					○ Omega-X Nanometer		
		Polaroid					○ Bonnie		
	Naval Weapons Center Nichelson Laboratory					○			
	Rockwell International					○ $\alpha$ - $\theta$ machine			
	기 계 메 이 커	Moore Special Tool			△ Union Carbide	△ LLL	△ Bell & Howell	△ LLL	△ LLL
		Penumo Precision							Micro Surface Generator
		Ex-Cell-O					△ LASL	△ Union Carbide	
		Intop							○
유 구 관	Culham Laboratory					○			
	Cranfield Unit for Precision Engineering						○		
	Rank Taylor Hobson								
Philips Research Laboratory			○				○ COLATEH		

○ 제작, △ 납입

인 v-v 슬라이드, 레이저 간섭 측정기를 갖춘 피이드 백(Feed back) 기능을 가진 위치결정 정도를 높이고, Allen Bradley의 제어장치가 사용되었다. Pneumo Precision사는 설립당시의 1962년부터 에어스핀들의 연구를 행하였다. 이 회사는 최초부터 초정밀가공기술 및 초정밀측정 기술을 목적으로 한 기업이다.

1호기는 MSG-325형 CNC 다이아몬드 선반으로 Fly Cutter 방식이며, 1974년에 완성 개발되었다. 또한 1976년에는 슬라이드에 처음으로 에어슬라이드를 사용 에어스핀들(Air Spindle)-에어 슬라이드(Air Slide) 구조의 초정밀 가공기를 실현하였다. 레이저측장기를 갖춘 위치결정 정도를 높인 2축 CNC 제어 비구면 가공기를 실용화로 개발되었다.

유럽에서는 네덜란드의 Phillip사가 1969년에 유정압베어링을 채용하여 개발하였으며, 주축스핀들 및 테이블 슬라이드 부분에 유정압베어링을 채용하고 유압작동유를  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 의 온도제어를 행하였다. 알루미늄재의 외경 절삭으로 200mm의 길이로 진원도 25nm, 원통도 1 $\mu\text{m}$ , 표면거칠기 25nm를 얻을 수 있다고 보고되고 있다.

표 1은 구미지역의 초정밀 절삭가공기의 개발 역사를 나타낸 것이다.

## 2.2 일본의 초정밀 가공기술

일본에 있어서의 공작기계 메이커는, 미국과 같은 군과 정부의 원조가 아닌, 기업 독자의 힘으로 개발된 것이 다른점이고, 미국의 첨단기술을 조사하고, 흡수할 목적으로 1970년경부터 각종 조사단을 구성하여 미국 또는 유럽에 파견되었다. 특히 초정밀 가공기술에 관해서는 1980년 이후 박차를 가하였고 다수의 조사단이 편성되어 시찰과 견문을 넓혔다. 이 조사단은 관·학·연구소의 사람보다도 민간 기업측이 많이 참가하고 있고, 그 성과가 각 기업에서의 초정밀 가공기술의 상호경쟁적 현상으로 나타났다. 구미의 예에서 이해할 수 있드시 초정밀가공기의 중요한 부분에 정밀한 기계요소가 사용되고 있고, 특히 회전부분, 직선이송부분, 이송구동부분에 어떠한

고정도인 기계요소를 사용하는가가 큰 문제가 되었다. 일본에서의 공기정압베어링을 이용한 에어스핀들이 처음으로 개발된 것은 1972년이다. 정압베어링 스피들을 각사의 설계기술, 생산기술, 측정기술을 구사하고, 각각 특징을 나타내고 있지만, 특히 에어스핀들은 베어링등으로서 수  $\mu\text{m}$  부터 십수  $\mu\text{m}$ 을 유지하고, 회전정도, 강성, 내열성을 어떻게 향상시킬 수 있느냐가 문제시 되고있다.

일본에서의 초정밀 가공기계는, 1975년경 부터이고, 다이아몬드 바이트에 의하여 초정밀 가공 기계의 용도는 컴퓨터의 자기디스크 기판, 레이저 프린터기의 다면경, CO<sub>2</sub> 레이저 가공기의 미러 및 집광렌즈, 비디오 테이프레코더의 실린더등이며, 그의 종류가 점점 증가하고 있다. 초정밀 절삭기술의 용도가운데 자기디스크 기판의 생산량이 가장 많고, 년산 1000만매(1986년 기준)를 넘고 있는 것으로 추정된다. 이것은 자기디스크 장치의 용도가 대형컴퓨터(super computer)에서, 최근 미니컴퓨터(mini computer), 퍼스널컴퓨터(personal computer)로 확대하고, 수요가 현저히 증대하기 때문으로 생각된다. 이것에 따라, 기판의 외경은 14"에서 10", 8", 5.5", 3.25"로 변화하고 최근에는 2.5" 및 1"의 개발도 현재 진행중이다.

표 2는 일본의 대표적인 초정밀가공기를 나타낸 것이다.

## 2.3 중국의 초정밀 가공기술

중국은 초정밀 가공기술에 관한한 우리나라보다 먼저 연구가 시작되었다고 볼 수 있다. 1977년에 컴퓨터 자기디스크 가공용으로 초정밀 다이아몬드 선반을 沈阳第一工作機械에 의하여 처음으로 개발하고 그후 5종류의 공작기계가 해마다 40대 정도 생산되고 있다. SI-222형은 1978년에 발표된 것으로 외경 360mm의 자기디스크 절삭용기계로 평면도 2 $\mu\text{m}$  /  $\phi$  60mm, 표면조도 0.01~0.04 $\mu\text{m}$  Ra라고 알려져있다. SI-235형은 일렉트로닉스(Electronics) 정밀기계, 의료기계나 계측기기용 부품의 가공에 이용되고

표 2. 일본의 초정밀가공기

a) 전산기 메모리 디스크용 초정밀가공기

제 작 사 명		Toyota	Hitachi	
형 식		AHP 500	DPL-400	
기 계 용 량	가공물 최대경(mm)	500	400	
	최소 절삭깊이( $\mu\text{m}$ )	1	0.5	
	주축 회전수 (rpm)	320~3200	500~6000	
알루미늄 합금 외경 356mm 내경 168mm 두께 1.9mm 절삭시험 결과	절삭조건	절삭속도(m/min)	685~1428	1056~2237
		절삭깊이( $\mu\text{m}$ )	5	15
		이 송( $\mu\text{m}/\text{rev}$ )	34	30
	가공정도	가공면 거칠기( $\mu\text{m}$ )	0.02 Rmax	0.003 Ra
		평면도 ( $\mu\text{m}$ )	0.5	0.2

a) 다면경용 초정밀가공기

		Toyota	Sharp	Canon	Toshiba
다면체경 제원	면 수	24	12	8	3~90
	외경(mm)	100	78	60	200
	폭(mm)	20	12	10	max 70
절삭조건	절삭속도(m/min)	-	600	1000	565
	절삭깊이( $\mu\text{m}$ )	-	6	10	3
	이 송( $\mu\text{m}/\text{rev}$ )	-	10	10	20
가공정도	가공면조도( $\mu\text{m}$ Rmax)	0.01	0.08	0.01	0.01
	평면도( $\mu\text{m}$ )	0.06	0.1	0.03	0.06
	반사율(%)	-	85	90	90

있다.

표 3은 沈阳工場에서 제작되고 있는 기계의 제원이다. 그의 6500명 종업원을 가지고, 원통, 평면, 나사, 치차, 자동차부품등의 연삭반을 연산

2000대 생산하고 있는 上海工作機械工場에서도 초정밀 다이아몬드 선반을 제작하고 있으며, 복사기용 드럼과 전산기용 메모리 디스크용 가공기가 1981년부터 제작되고 있다.

표 3. 沈阳第一工作機械의 초정밀 선반

형 식	가공물 치수(mm)	평 면 도	진원도( $\mu\text{m}$ )	표면조도( $\mu\text{m Ra}$ )	기계중량(ton)
SI-222	$\phi$ 360	$2\mu\text{m} / \phi$ 60mm	-	0.01~0.04	4.0
SI-235	$\phi$ 370 $\times$ 500	$1\mu\text{m} / \phi$ 100mm	0.3	0.02~0.04	2.7
SI-246	$\phi$ 370 $\times$ 500	-	1.0	0.08~0.16	2.43
SI-254	$\phi$ 250 $\times$ 500	-	1.0	0.08~0.16	1.25
SI-255	$\phi$ 250 $\times$ 500	-	0.3	0.02~0.04	1.3

이 동작기계는 정압베어링을 주축, 안내면, 심압대에 사용되고 있다. 최대직경 240mm, 길이 350mm의 드럼을 가공할 수 있고, 진원도 및 원통도  $2\mu\text{m}$  이내로 9분에 가공을 완성할 수 있는 능력을 갖고 있다. 이 이송속도  $25\mu\text{m} / \text{rev}$ , 황삭가공에서 절삭깊이  $5\mu\text{m}$ , 다듬질가공에서  $2\mu\text{m}$ 의 절삭깊이로 할 경우 도달 표면거칠기는  $0.05\mu\text{m rms}$ 이다.

더우기 자기디스크 전용기계도 1985년도에 개발되었으며 정압베어링과 가공물을 진공척으로 장착하여, 직류모터에 의하여 0~1200rpm의 범위, 무단제로 가변한다. 주축스핀들의 회전정도는 축방향  $0.1\mu\text{m}$ , 반경방향 356mm 경에 대하여  $0.15\mu\text{m}$ 이다. 메모리 디스크의 가공 cycle time은 1~3분이고 가공정도로서 평면도 50mm 경에 대하여  $0.03\mu\text{m}$ , 표면거칠기  $0.005\mu\text{m Ra}$ 의 능력을 갖고 있다.

### 3. 초정밀가공의 고능률화

현재, 초정밀절삭가공 부품에 요구되고 있는 가공정도는 표면거칠기  $0.01\mu\text{m Rmax}$ , 형상정도  $0.1\mu\text{m}$ , 치수정도  $1\mu\text{m}$ 이다.

최근 주축의 회전수, 절삭공구의 이송이 빨라지고 절삭시간이 단축되었다. 초기에는 주축구동 모터의 진동전달을 피하기 위하여 모터를 기계본체에서 별도로 설치하고, 종동축을 설계, 벨트로 구동시키며, 주축과는 자기 커플링(Magnetic Coupling)이나 플렉시블 커플링(Flexible Coupling)을 채용하여 연결하는 세심한 주의가 기울였다. 그러나, 수초에서 주축을 고속회전하고, 수초에서 정지시키지 않으면 안되게 되어, 현재

에는 빌트인(built-in) 모터에 의하여 직접주축을 회전시키는 방식이 많이 채용되고 있다. 스핀들 운동의 불균형(unbalance)수정, 주축의 정밀한 조립, 고성능 인버터의 채용에 의해, 주축의 진동을 가능한 억제하고 있다.

정압베어링의 마찰손실, 빌트-인 모터의 발열은 열변위의 원인이 되지만, 냉각된 기름 또는 물에 의하여 흡수시킴에 따라 제거시키고 있다. 액체의 온도조절은 비교적 용이하고, PID 제어에서 설정온도  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  달성할 수 있다. 더우기 고능률화를 피하는 것은 동작물의 자동 반입출 장치의 도입도 유효하다. 초정밀 가공부품을 자동화로 취급하는 것은 대단히 까다로운 일이지만 자기디스크 기판의 가공기에는 많이 채용되고 있다. 이러한 장치로는 전용방식과 로봇에 의한 방식이 있다. 자동반입출 장치를 채용하는 중, 동작물의 착탈에 일말의 오차가 없는 확실한 동작을 할 수 있는것도, 칩의 완전한 제거에 의하여 가공면을 손상시키지 않는것 등, 신뢰성이 높은 운전을 할 수 있는 것을 비롯 반입출장치에 의한 자동운전의 의의가 있다.

자동운전을 가능하게 하기 위해서는, 바이트의 자동 절삭깊이 장치도 필요해졌다.

가공면의 위치를 비접촉 변위계로 측정하고, 마이크로 프로세서(micro processor)에 절삭대를 연산시켜 DC 모터를 회전시키고, 그것에 직결된 이송나사를 통하여 바이트를 절입시키는 방식이 많이 채용되고 있다. 이것에 의하여, 정량 절삭깊이, 정치수 절입을 시킬수가 있다. 최근에는 피에조 일렉트릭(piezo electric)을 이용한 nm급의 절삭깊이가 가능하여졌다.

자동화가 진행되면 바이트의 수명에 의하여

불량품을 만들지 않도록 감시할 수 있는 시스템이 요망되며, 이를위한 현미경과 CCD를 조립한 모니터 장치가 개발되었다. 이 장치에 의하여 바이트의 설정상황, 절삭중의 칩 상황을 관찰하고 판단할 수 있다. 절삭시간의 단축을 위하여, 1회의 이송으로 황삭가공, 다듬질가공을 완료하는 방식도 개발되고 있으며, 다면경 가공에서는 1회에 수개의 소재를 겹쳐 장착하고, 동시에 절삭하는 것이 행하여지고 있다. 원래, 초정밀가공은 그 시대의 극한 정도를 추구하는 것을 목적으로 하고있지만, 근래에는 경제성도 중시하게 되고, 고도의 생산기술을 추구할 필요가 높아지고있다. 특히 초정밀가공 기술과 양산기술의 융합에 노력이 집중되고 있다.

#### 4. 초정밀 절삭기술의 응용

##### 4.1 자기디스크가공

자기디스크 기억장치는 전산기의 랜덤액세스 (random access) 외부 기억장치로서 사용됨과 동시에 단말장치의 보조기억 장치로서 사용되고 있고 그 수요가 증대하고 있다.

성능도 급격히 향상하고 있다. 그림 1에 자기디스크 기억장치의 성능변천을 나타내었다. 단위면적당 기억 밀도는 2년사이에 2.5배가 증가하였다. 이와같이 고밀도화 경향에 대하여 자기디스크와 자기헤드의 부상높이는 기억용량의 증가에 따라서 대단히 적은 gap을 유지하여야 한다. 예를들면 현 시장에서 최신의 IBM 3370 상당의 자기디스크의 경우, 부상높이는  $0.33\mu\text{m}$ 가 되고 있다. 이와같이 미소한 부상높이를 보증하기 위해서는 자성막 두께의 변동, 부상높이의 변동을 최소화 할 필요가 있다. 이것의 요구를 만족시키기 위하여 자기디스크의 표면정도(표면거칠기, 반경방향 직진성, 회전방향정도)를 더욱 높일 필요가 있다. 이상의 조건을 보증하기 위하여 부상높이의 5% 정도 이하의 정도가 필요시 되고 있다. 즉 부상높이가  $0.33\mu\text{m}$ 로 하면, 자기디스크의 표면조도는  $0.015\mu\text{m}$  이하의 정도가 요구된다. 자기디스크의 가공법에는 종래부터 유리

또는 고정지립에 의한 가공법, 다이아몬드 공구에 의한 절삭가공법으로 구분되고 있으나, 최근에 와서 다이아몬드 공구에 의한 가공법이 주종을 이루고 있다. 다이아몬드 절삭가공은 첫째, 다이아몬드 공구는 마멸이 적고 물질 최고의 경도를 갖고 있다. 둘째, 다이아몬드 공구는 최고의 표면조도, 예리한 인선을 얻을 수 있다. 셋째, 다이아몬드 공구는 미소 절삭깊이가 가능하고 다이아몬드 공구의 정도를 충분히 발휘한다. 넷째, 절삭조건에 의하여 절삭마아크(cutting mark)가 없는 면을 얻을 수 있다는 등의 특징을 갖고 있으며, 연질금속류도 고정도인 경면을 얻는 가공법으로서 가장 중요한 가공법으로 일컬어진다.

그림 2는 저자의 연구실에서 최근에 개발중인 초정밀가공기로 원통 및 단면을 가공할 수 있다. 마크네틱 커플링을 채용하고 있으며, 정압압축공기는 가동시  $6\text{kg/cm}^2$  G로 제어되고 미세필터를 3단계로 구분 사용하여  $0.01\mu\text{m}$  이상의 고형입자가 혼입되지 않도록 하였다. 공기 건조제는 Hankinson Air Dryer 8010을 채용하였으며, 공기중의 증기와 결합하여 액체가 되어 실외로 배출된다. 초정밀 선반의 베드는 화강암의 석경반(Granite surface plate)으로 경도는 85

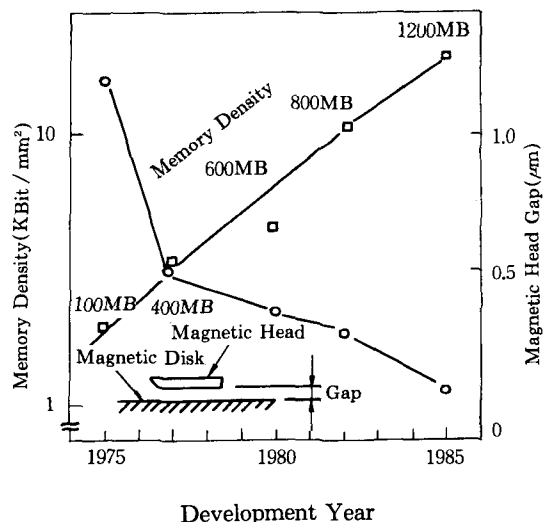


그림 1 자기디스크 기억장치 성능의 변천

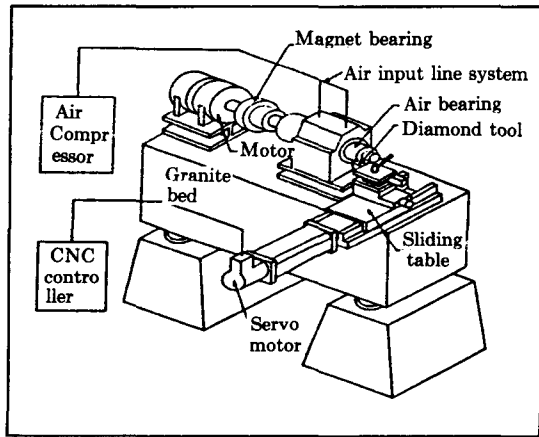


그림 2 초정밀가공기(과기원 개발)

HS, 열전도율은 1.36Kcal m.h.℃이다. 본기로 절삭할 경우 최저 13.8nm Ra 정도까지 표면처리를 얻을 수 있다.

#### 4.2 비구면의 초정밀 절삭

최근 화질의 향상, 광학계의 콤팩트화, 중량의 경감 및 제조가격의 절감등에 따라 비구면 광학 부품의 수요가 급속히 증가하고 있다. 현재까지의 비구면 가공법은 구면에 사적하는 것이 없었기 때문에, 비구면 광학부품의 적용예가 매우 적었다고 할 수 있다.

그러나, 최근에 X, Z 동시 2축제어, 또는 X, Z, B 동시 3축제어의 CNC 초정밀 선반이 개발되고, 그 상황이 현저히 변혁되었다. 이 선반과 다이아몬드 바이트(R 바이트)를 이용하여 연질 금속이나 플라스틱을 비구면으로 초정밀 절삭가공할 수 있게되었다.

이 절삭가공 기술은 비디오 프로젝터(video projector)의 투명렌즈, 콤팩트 디스크나 비디오 디스크의 픽업렌즈(pick-up lens), 비구면 렌즈의 금형가공에 조속 채용되어 실용화가 시작되고 있다. 초정밀 비구면 금형은 그림 3의 공정으로 가공된다. 금형용스텐레스강을 NC 선반으로 비구면 형상으로 황삭 가공한후, 열처리에 의하여 경도를 높여 가공표면에 무전해 니켈 도금을 입힌다. 무전해 니켈 도금은 비정질 방향성이

없고, 핀홀(pin hole)이 없게 할 수 있으므로, 경면을 얻기 쉽게 할 수 있다는 특징을 갖는다. 이 도금층은 CNC 초정밀 선반을 이용하여 다이아몬드 표면조도 0.02~0.03 $\mu$ m Rmax, 형상정도 0.1 $\mu$ m 정도로 다듬질 완성한다.

이 금형을 이용하여 비구면 렌즈를 초정밀 사출성형하고, 저렴한 가격으로 대량생산하는 것에 성공하고 있다. 이 성형법은 플라스틱과 유리 제품에도 적용할 수 있다. 이 렌즈 제조법은 획기적인 것이고, 종래의 구면광학계가 비구면 광학계로 상당히 변천된다는 것을 생각할때, 금후 주목할 가치가 있다.

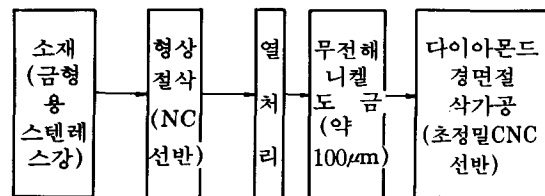


그림 3 비구면 렌즈 성형금형과 제작공정

### 5. 초정밀 가공기술의 향후 동향

우리나라의 초정밀 가공기술은 현재 초보단계이고, 외국으로부터 수입기계에 의존하고 있으나, 전자 및 광학업계를 중심으로, 소형부품의 양산에 적용되고 있다. 그러나 대형 초정밀 광학 부품의 국산화는 대부분 처리할 수 없는 것이 현실태이다. 레이저 핵융합, 방사광(SOR)과학, 반도체의 초미세가공, 대천체 망원경의 연구개발에서는, 특히 대형 미러(mirror)가공이 불가능한 상태에 있다. 광학소자의 예로서 일본의 핵융합 실험설비에 사용되고 있는 대표적인 사양을 표 4에 나타내었다. 장래의 장치에는 1~2m 크기의 것도 필요하게 될 것이다. 이 광학소자의 특징은 거대하고, 초정밀하다는 것이다. 그것은 취급하는 광의 파장이 대단히 짧고 강도가 크다. 즉 자외선에서 X선에 미치는 영역의 광이 대상이므로 파장은 0.5 $\mu$ m에서 수 Å으로 되고, 가공정도는 형상정도로 0.01 $\mu$ m 이하, 또는 nm를 요구하게 되는것도 있을 수 있다.

표 4 레이저 핵융합의 광학소자

	형상	재 질	치수(mm)	파면 변형	표면조도(rms)	반사율(%)
집광렌즈	비구면	석 영	φ 400	$\lambda / 3(\lambda:0.53\mu\text{m})$	4 nm	99.8
KDP Cell	평 면	KDP	φ 400	$\lambda / 2(\lambda:0.63\mu\text{m})$	5 nm	
포물선면경	포물선	C <sub>u</sub> +A <sub>u</sub> (피복)	φ 300	30 $\mu\text{m}$ 이하	4 nm	99.0

이와같은 가공정도는 현재의 초정밀 절삭기술에서는 달성이 곤란하다고 생각할 수 있다.

우선 절삭에 의하여 형상정도를 내고, 표면조도는 다른 가공법의 도움을 받아 향상시키게 될 것이다. 형상정도를 향상시키기 위해서는 초정밀가공기의 기계요소중 주축과 안내면의 운동오차를 억제함과 동시에 강성도 한층 높이는 것이 중요하다. 또한 테이블의 위치결정 정도를 nm 급으로 할 필요가 있다. 여기에서 dual servo system이 유망하다. 테이블을 servo motor와 이송나사에 의하여 위치결정하고, 미세한 오차를 탄성지지 안내와 압전소자 actuator에 의하여 보상하는 것으로 nm의 위치결정도를 달성 할 수 있다고 생각한다. nm급의 가공정도의 실현에는 열변위의 방지를 신중히 고려하여야 하고, 예로서 100mm의 금속에 0.01℃의 온도변화를 주어도 10nm 정도의 길이가 변화한다. 따라서 기계의 설치환경도 중요하고 복사열을 피하기 위하여 2중구조로하고, 설정온도에 대하여 ± 0.01℃가 유지되도록 항온실이 설치되어야 한다. 주축, 안내면, 액츄에이터 등은 실내에 설치할 수 밖에 없겠으나 가능한한 열원은 외부에 설치하고, 초정밀 절삭가공에 의한 열원요소의 운동에 의한 마찰열은 반드시 냉각시켜야 한다.

표면거칠기의 향상을 위해서는 주축의 회전정도를 한층 개량함과 동시에, 기계상에 나타나는 진동을 최소화 하여야 한다. 또한 초정밀가공을 위해서는 음향도 무시할 수 없게 되고, 방음대책도 필요하다. 또한 대형광학부품의 가공에서는 장시간 환경조건을 일정하게 유지하는 것이 중요하고, 원격조작으로 기계를 운전하는 경우도 있다. nm의 가공정도를 실현하기 위해서는 기초적, 종합적인 대책의 필요성을 통감한다.

## 6. 맺음말

우리나라의 초정밀 가공기술은 앞서서도 언급한 바와같이 초보연구 단계이며 소형초정밀 개발 연구에 해당되고 있다. 전자, 광학관련제품의 생산 maker 역시 소형 부품가공이 전부이며, 가공기는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이에대한 초정밀 가공기의 국산화와 가공법의 개발이 시급히 요구된다고 보겠다. 우리보다 GNP가 낮은 중국도 이 분야에 관한한 우리보다 앞서 있다고 볼 수 있으며, 상품의 고 부가가치와, 고급화를 위하여 조속히 만회 할 수 있는 학·연·산이 혼연일체로 총력전을 기울여, 연구 개발이 추진될 수 있을것을 기대한다.

## 참 고 문 헌

1. N.N 1990 연구개발사업 관련법령, 과학기술처, pp.72.
2. 유현수 외, 1989, 초정밀가공기 시스템, 초정밀가공 기술 심포지움,
3. 김정두 외, 1990, 초정밀 가공 공작기계의 개발에 관한 연구 ( I ), 과거처 특정연구 보고서,
4. 김정두, 1990, 다이아몬드 공구와 초정밀 절삭기술 ( I ), 공구계, Vol. 4, pp.62-67.
5. 김정두, 1990, 다이아몬드 공구와 초정밀 절삭기술 ( II ), 공구계, Vol. 6, pp.46-51.
6. 김정두, 1990, A1 합금의 경면절삭에 관한 연구, 대한기계학회 춘계학술대회 초록집 ( I ) pp. 213-217.
7. 鈴木弘, 1986, 超精密切削技術 現状と今後の期待, JSPE, Vol.52, No.12, pp.2008-2011.
8. E. Ray MCCLURE, 1985, American Trend Status of Ultraprecision Machining, JSPE, Vol. 51, No.08, pp.1482-1485.