

# 공작기계기술의 현황과 전망



이 후 상 (공작기계실장)

'67.2 서울대학교 공과대학 기계공학과 졸업

'70.9-'74.5 한국기계공업(주) 계장

'74.5-'83.7 한국과학기술원 책임연구원

'83.7-현재 한국기계연구소 책임연구원

## I. 서 론

### 1. 공작기계 산업의 특성

공작기계는 기계를 만드는 機械(Mother Machine)로 공작기계 성능의 優劣은 이를 사용하여 만드는 각종 기계의 精度, 신뢰성과 아울러 생산성에 큰 영향을 미침으로써, 한 나라의 산업 전반의 활력을 좌우한다하여도 과언이 아니며, 산업의 기반으로써 매우 중요하다. '70~'80년대 일본의 전자, 자동차산업이 세계1위로 올라선 이면에는 세계 1위를 점하게 된 일본의 공작기계 산업이 이를 뒷받침하였다함은 좋은 사례가 될 것이다.

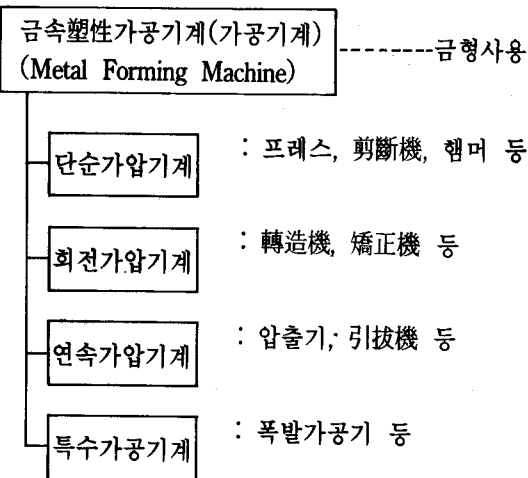
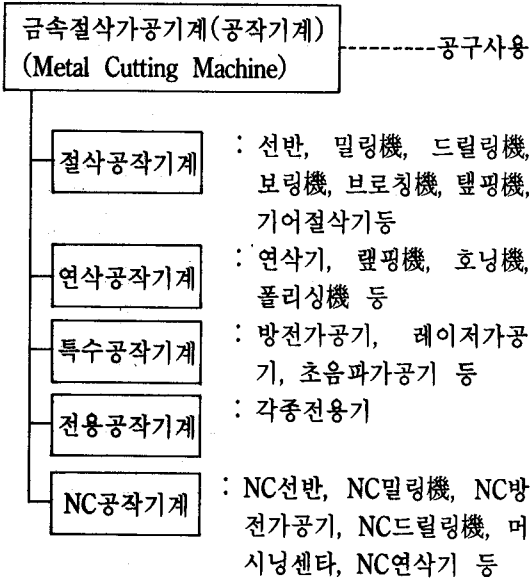
또한 최신의 컴퓨터, 반도체, 우주항공과 같은 첨단기술의 발전을 위하여서는 이를 뒷받침할 수 있는 첨단 공작기계기술의 발전이 필수적으로, 독자적인 공작기계기술의 확보없이 독자적인 첨단기술의 발전은 불가능한 일이다. 이런 의미에서 공작기계기술의 자립화 여부는 선진국에의 진입을 평가하는 하나의 척도가 되고 있는 것이다.

그외에도 공작기계기술은 국가전략산업으로 중요한 방위산업과 직결되는 기술로서 일정 수준의 자급도를 유지하여야 함은 전략적 차원에서도 중요하다.

위에서 살펴 본 바와같이 공작기계산업은 일반적으로 총기계공업 매출액에서 차지하는 비중이 1~2%정도에 불과하지만 국가 기간산업으로의 중요성은 매우 큰 산업으로, 2000년대 선진국 진입을 목표로하는 우리나라로서는 앞으로 공작기계기술의 자립화가 중요한 課題가 될 것이다.

## 2. 공작기계의 분류

공작기계는 일반적으로 크게 나누어 금속절삭가공기계(工作機械: Metal Cutting Machine)과金屬塑性加工機械(加工機械: Metal Forming Machine)로 분류하며 매출액 비중은 1대 2~3으로 금속공작기계의 비중이 높다.



## 3. 공작기계 산업의 수요 동향

1987년 세계 공작기계의 총생산액은 313억불에 달하였으며, 장기적으로 3.5~4%의 계속 성장으로

표.1) 國別 공작기계 생산·수출입 동향

(단위: 억불(%))

國 別	생 산	수 출	수 입
일 본	64.1 (20.5)	29.3 (20.0)	2.8 (2.3)
서 구(13)	128.0 (40.8)	77.4 (52.8)	51.0 (42.1)
서 독	62.4 (19.9)	33.1 (22.6)	12.7 (10.5)
동 구(8)	71.4 (22.8)	25.6 (17.5)	25.2 (20.8)
소 련	37.8 (12.1)	3.1 (2.1)	16.4 (13.6)
미 국	24.4 (7.8)	6.4 (4.4)	20.3 (16.8)
대 만	5.8	3.8	2.4
한 국	5.5 (1.8)	0.4 (0.3)	4.9 (4.0)
기 타(10)	14.2	3.6	14.4
計(35)	313.4 (100.0)	146.5 (100.0)	121.0 (100.0)

자료) American Machinist('88. 2)

2000년에는 450억불에 달할 것으로 추정되고 있다. 나라별 공작기계의 생산, 수출입동향은 표1에 보인 바와 같다.

일본은 64억불을 생산하는 세계 제1위의 공작기계 생산국이며 특히 NC공작기계의 생산이 많아 NC化率이 약 70%(미국 47%, 서독 48%)에 달하고 있어 산업설비의 자동화가 상당수준에 이르고 있음을 나타내고 있다.

서독은 총생산 62.4억불로 일본과 거의 같은 수준의 생산을 하고 있으나, 특수정밀공작기계를 중심으로한 세계 1위의 수출국(33억불)이다. 반면 NC화율은 비교적 낮은 편으로 수입액 또한 상당량에 달하며 앞으로 CNC, FMS등에 기술개발의 力點이 주어지고 있다.

미국은 제조업과 마찬가지로 공작기계 수요도 급격히 감소되어 '81년 56억불에서 '87년 38억불로

감소되었으며, 그중 20억불을 수입에 의존(53%)하고 있는 실정이며, 제조업의 경쟁력회복을 목표로 고급NC공작기계, FMS설비등의 개발에 노력하고 있으나, 앞으로도 汎用공작기계, 부품등의 수입의존은 불가피할 것으로 보인다.

또하나의 우리의 관심 대상국인 대만은 총생산에 있어서는 우리와 비슷한 수준이나 수출 비율이 66%에 달하고 있으며, 주로 低價의 범용공작기계에서 강점이 있으며, NC공작기계를 비롯한 고급공작기계의 국제경쟁력은 아직 취약한 것으로 평가되고 있다.

4. 우리나라의 공작기계 需給동향

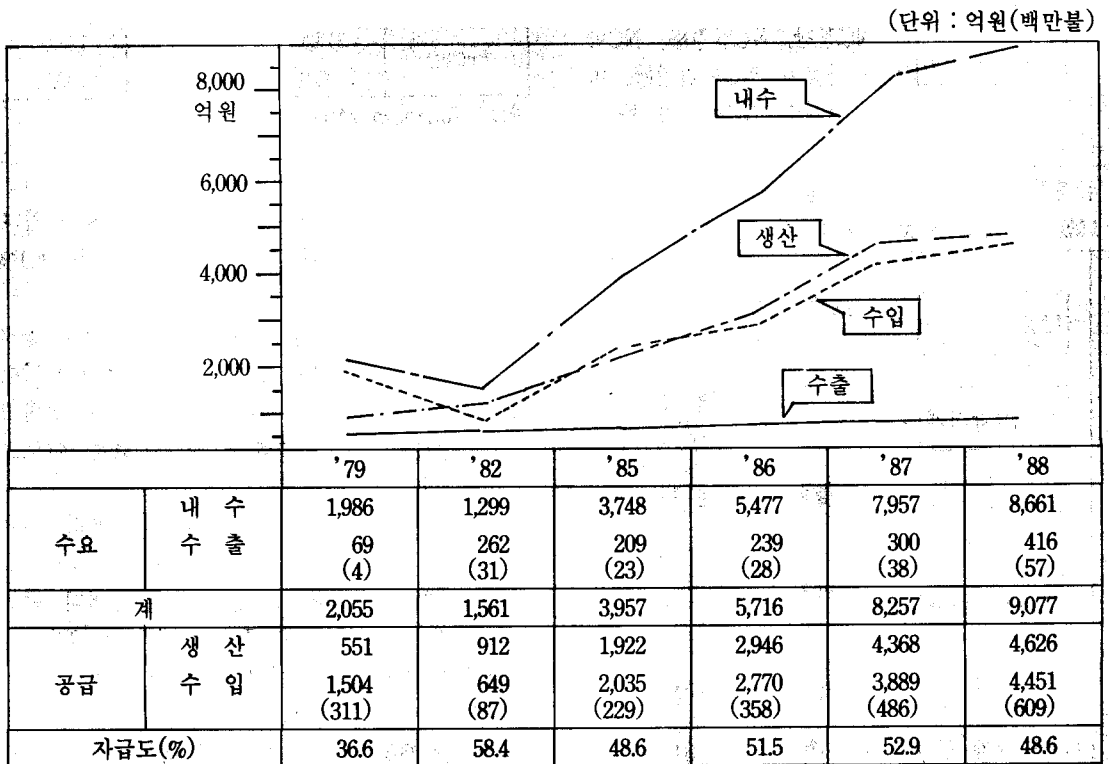
우리나라의 공작기계산업은 최근의 산업의 활황에 힘입어 '86, '87년 각각 48%라는 高率의 성장을 이룩하였으나, '88년도부터는 원高, 임금

상승에 의한 일부 산업의 경기둔화와 아울러 성장세가 둔화되고 있다. 한편 최근의 자동화 추세에 따라 NC공작기계의 생산이 크게 증가하고 있으며 '87년에는 전년대비 95.4%의 高率 성장을 이루었으며 NC化率도 40%에 육박하고 있다.

한편 국내 공작기계기술 수준은 아직도 취약점을 안고 있어, 정밀연삭기계류를 비롯한 고급공작기계류는 아직도 수입에 의존하고 있으며, 수요의 급속한 증가는 아울러 수입을 촉발시키고 있는 실정으로 '88년도의 수입액이 609백만불에 달해 自給度가 48.6%에 불과하며, 이는 日本(95%)은 물론 中共(77%)보다도 훨씬 낮은 수준으로 앞으로 시급히 개선해야 될 문제점이 되고 있다.

한편 국내의 부품 자급도는 '87년 현재 75.3%에 이르고 있으며, 스피들이나 벤투와 같은 자작품 및 기어나 스프링같은 기계부품은 자급되고 있

표2) 우리나라 공작기계의 수급동향



자료) 한국공작기계공업협회

으나, NC장치와 같은 전자제어용 부품과 볼스크류, 직선베어링과 같은 정밀 기계가공 부품은 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이와같은 요소 부품은 앞으로 NC공작기계의 생산증가 추세와 아울러 공작기계의 고급화를 추진해야 할 현시점에서 볼 때 시급히 해결해야 할 과제라 하겠다.

II. 선진국의 기술개발 동향

선진국의 공작기계기술은 공작기계 본래의 고유기술인 초정밀화를 추구함은 물론 전자·컴퓨터기술을 복합응용함으로써 고도의 시스템화·자동화를 달성하고 있으며 최근에는 신소재, 신가

표.3) 부품수급현황('87)

(단위 : 억원(%))

구분	수요	공 급			
		수 입	국 산	자 작	외 주
금 액 (점유비율)	3,403 (100.0)	840 (24.7)	2,563 (75.5)	1,613 (47.4)	950 (27.9)
주요부품		NC장치, 베어링 볼스크류, 솔레노이드 밸브, 油壓척, 直線베어링, 커빅커프링등		몸체, 스펀들, 샤프트, 베드등	기어, 다이얼 핸들, 油壓펌프 스프링, 오링 볼트너트등

자료) 한국공작기계공업협회

표.4) 주요 부품별 수급현황('87)

(단위 : 억원)

구 분	수 요	공 급		생 산 업 체
		국산	수입	
NC 장 치 (서보모터포함)	300	50	250	◦ 統一
직 선 베 아 링	40	-	40	-
볼 스 크 류	48	13	35	◦ 統一
틀 홀 다	67	38	29	◦ 니켄 常進 ◦ 三千里機械 ◦ 大韓重石
커 빅 커프 링	19	-	19	
커 피 유 니 트	16	8	8	◦ 成一機械 ◦ 時代精密
로 타 리 테 이 블	9	1	8	◦ 貨泉기어 ◦ 慶東精密
油 壓 척	10	5	5	◦ 貨泉기어 ◦ 三千里機械

자료) 한국공작기계공업협회

공기술의 발전에도 적극적으로 대응, 기술개발이 이루어지고 있다. 최근의 기술개발 동향을 요약해 보면 다음과 같다.

최근의 공작기계는 ①가공능률과 ②가공정도의 향상 ③알루미늄과 같은 비철재료가공의 증가에 대응하기 위한 고속화의 요구가 높아져 왔다. 이

표.5) 공작기계 기술의 발전 방향

발 전 방 향		내 용
自 動 化 · 시 스 템 화	FMC, FMS化	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 응용 소프트웨어 기술의 고도화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- CAD/CAM 소프트웨어</li> <li>- System 제어 소프트웨어</li> <li>- Network 기술(MAP/TOP)</li> </ul> </li> <li>◦ 시스템 적합형 공작기계</li> </ul>
	복합화기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 다양한 종류의 가공                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 머시닝센터에서의 연삭기술</li> <li>- 절삭과 열처리가능 기계 등</li> </ul> </li> <li>◦ 공구의 Flexibility(유연성)증가</li> </ul>
	지능화기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 절삭 가공의 센싱 기술</li> <li>◦ Inprocess 計測</li> <li>◦ 적응 제어</li> <li>◦ 音聲入力</li> </ul>
高 精 密 化	鏡面가공기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 靜壓 베어링</li> <li>◦ 저열변화, 고감쇠재료</li> <li>◦ 超微動 액츄에이터</li> </ul>
	極微細가공기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Friction Drive</li> <li>◦ 超恒温 환경실, 방진기술</li> </ul>
	초고속 가공기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 磁氣베어링, 세라믹 베어링</li> <li>◦ 신공구 재료</li> </ul>
新 素 材 加 工	신 금속 재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 신가공기술</li> </ul>
	파 인 세 라 믹	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 초砥粒가공, Beam 가공, 크립피드 연삭</li> </ul>
	고 분 자 재 료 복 합 재 료	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 신공구 재료                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다이아몬드砥石, CBN공구, 코팅 공구</li> </ul> </li> </ul>

위와같은 기술개발 동향을 최근의 연구결과를 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 본 원고에서는 주로 공작기계 자체와 직접관련된 기술을 중심으로 국한하며, 시스템화나 신공구재료등은 다른 자료를 참고하기 바란다.

1. 공작기계 주축의 고속화

에따라 현재, 선반에서는 축경 70mm에 10,000rpm, 머시닝센터에서는 축경 45mm에 30,000rpm, 연삭반에서는 축경 6mm로 200,000rpm정도의 주축이 생산현장에 이용되기에 이르고 있다. 이와같은 공작기계 주축의 고속화 추세는 그림1과 같다.

현재, 기술적으로는 구름베어링을 이용하여

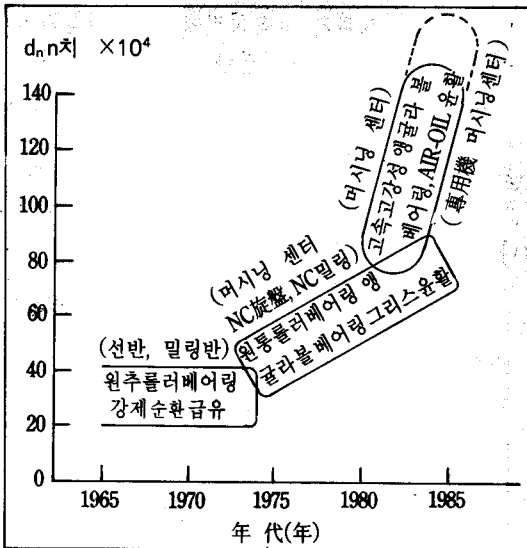


그림.1) 공작기계 주축의 고속화<sup>1)</sup>

dN值 300万정도까지의 고속화가 가능한 것으로 알려지고 있다.

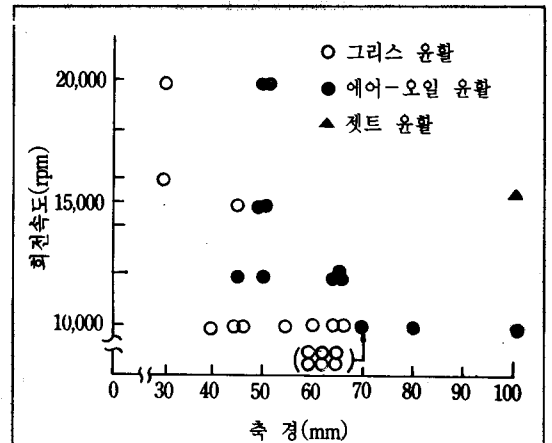
공작기계용 베어링으로 가장 많이 이용되는 구름베어링으로 고속화를 달성하기 위하여는

- 潤滑방식의 선택
- 冷却方式의 선택
- 고속회전에 따른 원심력의 영향
- 고속회전에 따른 전동체와 베어링내·외륜간의 미끄럼 발생
- 적정 予荷重의 조정에 관하여 충분한 검토가 이루어져야 한다.

일반적으로 주축에 사용되는 윤활방식으로 그리스 윤활, 오일 미스트 윤활, 에어 오일윤활, 젯트윤활방식이 있으며 그 특징은 아래와 같다.

가. Air-oil 윤활에 의한 주축의 고속화

최근 공작기계의 고속화를 위하여 Air-oil 윤활법이 비교적 많이 응용되고 있으며(그림2), 최적의



(a) 1984年 東京見本市에 출품된 10,000rpm 이상의 고속회전기종

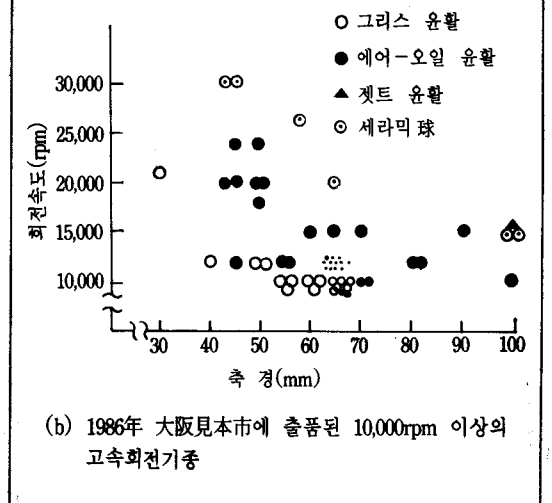


그림.2) 고속 주축의 윤활방식 사용에<sup>5)</sup>

윤활, 냉각효과를 얻기위한 吐出油量, 공기량, 吐出時間 간격 등에 관한 여러가지 실험결과가 보고되고 있으며,<sup>2),3),4)</sup>노즐의 형상에 대해서도 새로운 방안이 제시되고 있다.(그림3)

윤활 방식	사용 범위	특 징
○ 그리스 윤활	DN值 60万	가장 경제적임
○ Oil Mist 윤활	DN值 100万	구조간단, 大徑主軸, 漏出로 대기오염
○ Air-oil 윤활	DN值 120万	고속화에 유리
○ Jet 윤활	DN值 160万	냉각효과큼, 동력손실 큼

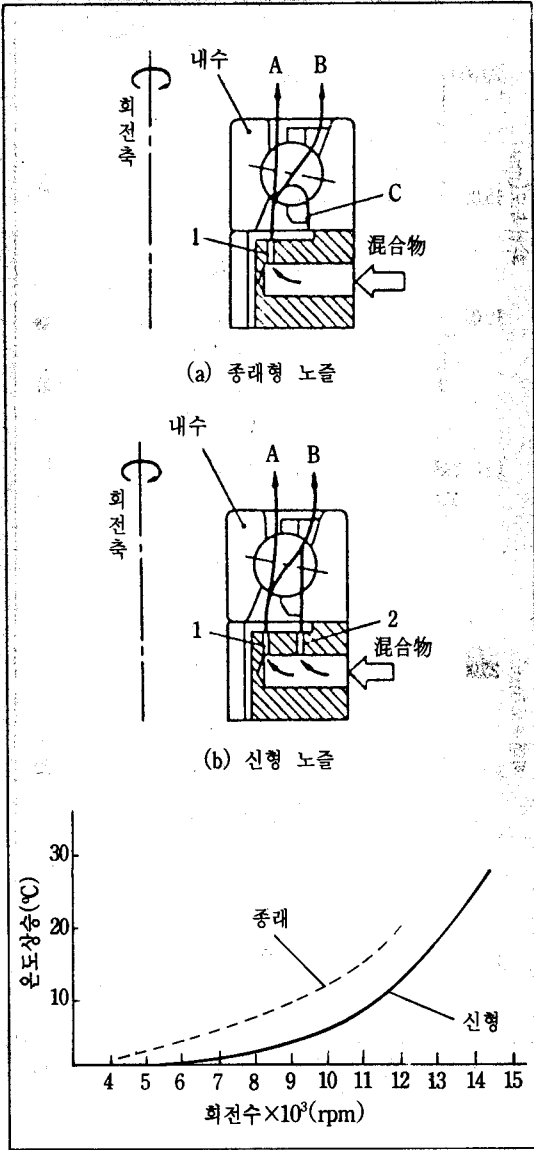


그림.3) 노즐의 변화에 의한 온도상승변화(NTN)<sup>6)</sup>

나. 세라믹 볼을 사용한 고속화

고속주축용으로 앵글라 콘택트 볼베어링이 많이 사용되고 있으나 여기에도 문제점이 있다. 즉 앵글라 볼베어링은 예압을 주어 사용하므로 볼과 내외륜의 궤도가 접촉각을 갖고 접촉하게 되어 볼의 스핀운동에 의한 미끄럼마찰과 또한 고속에서의 볼에 작용하는 자이로 모멘트에 의한 미끄럼운동을 일으켜 마찰이 커지게 된다. 이와같은

자이로 모멘트 효과와 고속회전에 따른 원심력의 감소를 목적으로한 볼의 질량을 감소하기 위한 대책으로

- ① 볼의 직경을 작게한 고속용베어링
- ② 볼의 재질에 세라믹을 이용하여경량화시킨것.
- ③ 中空의 볼을 채용하는 방법등이 연구되고 있다.(그림4)

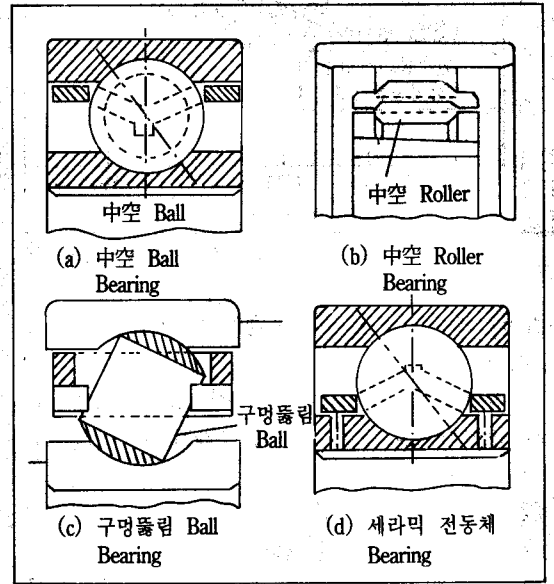


그림.4) 전동체의 경량화 대책사례<sup>7)</sup>

이중에서도 세라믹 볼을 이용하는 방법은 많이 실용화되고 있다. 최근 개발된 窒化珪素(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 燒結體 재질은 표6에 보인 바와 같이 재료특성이 아주 우수한 것으로 나타나고 있으며, 실제 응용 결과도 그림5에 보인 바와같이 外輪溫度上昇과

그림.5) 베어링의 온도상승<sup>9)</sup>

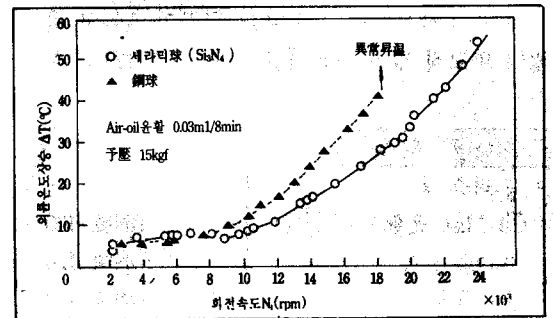


표.6) 窒化珪素와 軸受鋼의 諸特性値<sup>9)</sup>

	軸受鋼	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
밀도(g/cm <sup>3</sup> )	7.8	3.2
線膨脹係數(°C)	12.5×10 <sup>-6</sup>	3×10 <sup>-6</sup>
縱彈性係數(kgf mm <sup>2</sup> )	2.1×10 <sup>4</sup>	3.2×10 <sup>4</sup>
포아손比	0.3	0.25
열전도율(cal/cm·s·°C)	0.1	0.07

한계회전수 양면에서 우수하였다.

다. Jet 윤활법에 의한 고속화

Jet 윤활법은 가장 고속화가 가능한 윤활방법이나 동력손실이 많고 부대장비의 번거로움이 그 단점으로 지적되고 있다. 이 윤활방법은 현재 공작기계보다는 항공기용 제트엔진의 윤활방법에 많이 응용되고 있으며, 그림6에 보인 바와같은 언더 레이스(Under Race)윤활이 실용화되어 dN값 300만까지 기술적으로 가능하게 되었으며, 이러한 기술이 필요에 따라 공작기계에도 응용될 수 있을 것이다.

라. 복합베어링에 의한 고속·고강성화

베어링의 복합화란 구름베어링, 유정압베어링,

공기베어링, 자기베어링등을 복합화하여 각종 베어링의 특성을 복합적으로 가질 수 있는 베어링을 구성하고자 그림7은 이와같은 사례를 몇가지 보인 것이다.

이외에도 구름베어링과 공기정압의 복합베어링을 제작하여 극히 저속에서 10,000rpm까지 성공적으로 절삭시험을 행하였다는 보고도 있다.<sup>10)</sup>

## 2. 공작기계의 복합화

공작기계가 시스템화·자동화되어 감에 따라 지금까지 별개의 공정으로 처리되던 (1) 절삭 (2) 연삭 (3) 열처리 (4) 부품계측 (5) 조립과도 같은 다공정을 한개의 장소에서 집약하여 처리하고자 하는 욕구가 강하여지고 있으며 이에따라 이러한

그림.6) Under Race 윤활

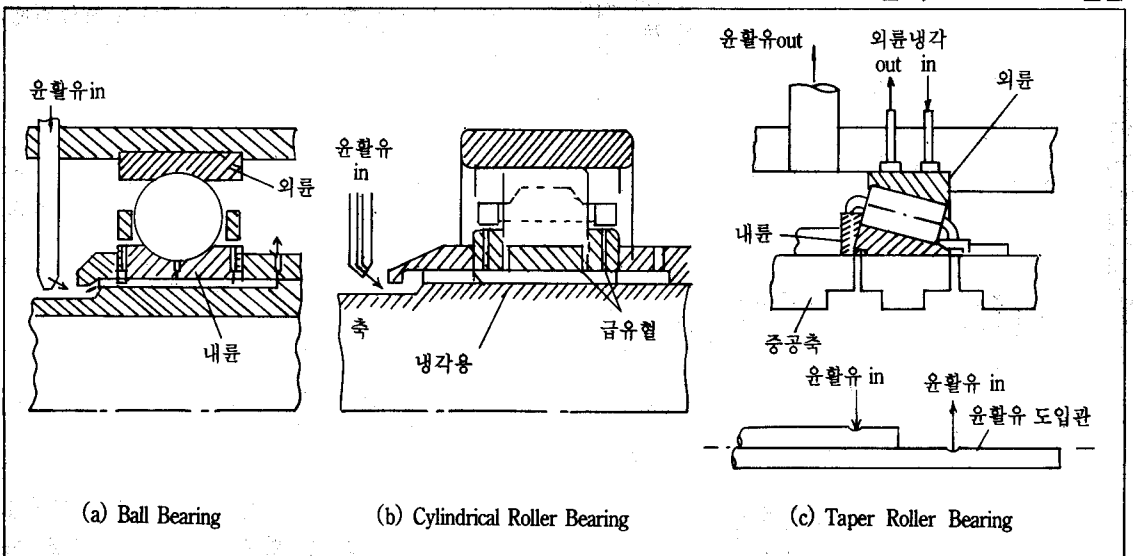
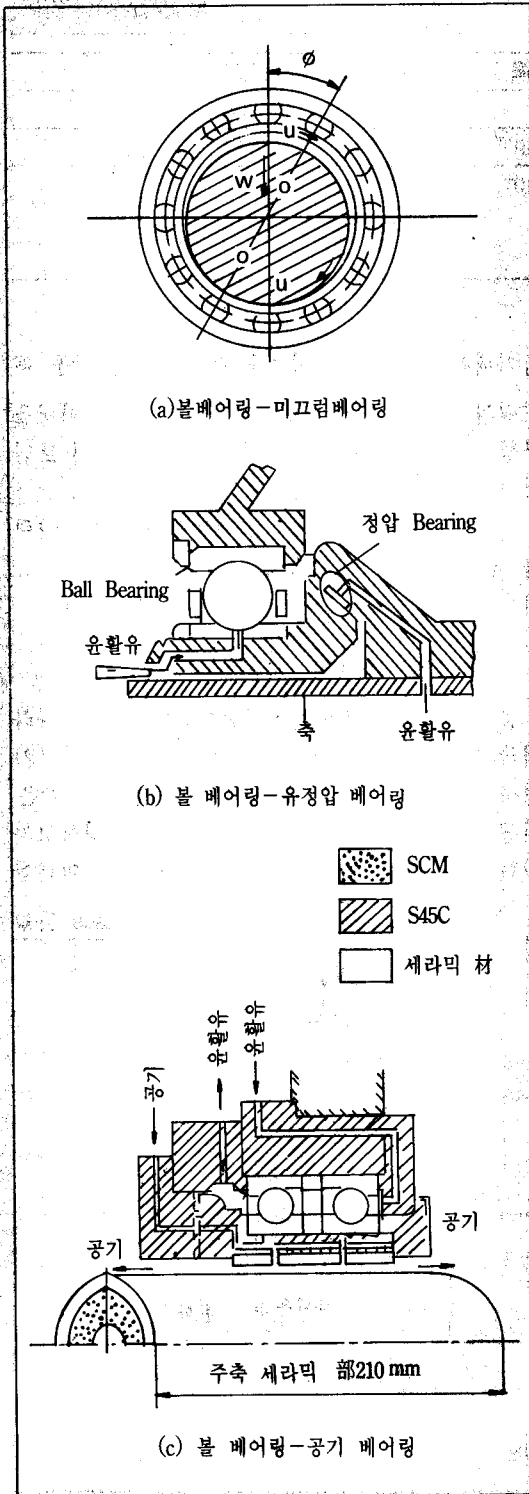




그림.7) 복합 베어링의 사례



多機能을 갖는 공작기계를 개발하고자하는 시도가 이루어지고 있다.

이와같은 사례로는 日本의 국가 대형과제 「초고성능 레이저 응용복합생산시스템」에서 나타난 복합절삭기구에서 그 예를 볼 수 있다. 이때의 방법은 선삭, 밀링, 연삭등을 행할 수 있는 헤드 유닛(Head Unit)을 자동으로 交換하여 복합적 가공을 한 장소에서 행하는 것이었다.(그림8)

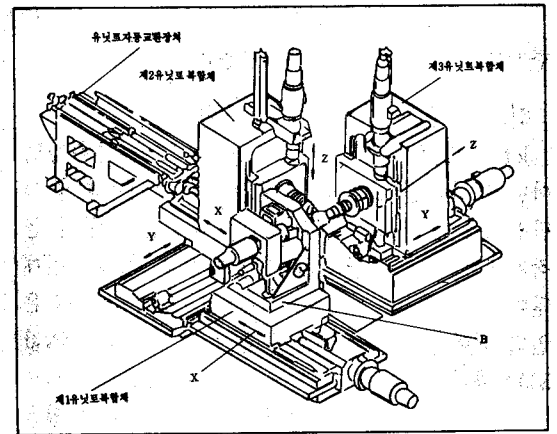


그림.8) 복합가공기의 예(日本, 大形Project)

그러나 최근에는 한개의 가공 유닛에서 절삭과 연삭이 동시에 가능한, 즉 기능을 공유하고 있는 기종이 개발되고 있다.

이와같은 대표적기계로 牧野후라이스 製作所에서 개발된 MC86-A60機種을 들수 있다.<sup>11)</sup>

이 기계는

- ① 축경 100mm
- ② 최고회전수 15,000rpm(dN值 150万)로 고강성을 실현하여 절삭가공에 대응함과 아울러
  - ㉠ Jet 윤활과 주축윤활유의 정밀온도제어에 의한 열변형의 극소화
  - ㉡ 고속에서의 벨트구동, 저속에서의 기어구동 전환방식에 의한 고속회전시의 진동 억제와 저속회전시의 高토크 확보
  - ㉢ Metal Bond 砥石과 EDM트루잉法 등 연삭가공을 위한 연구가 이루어져 절삭과 연삭을 한 기계에서 행할 수 있게 되었으며 앞으로 이

분야에의 발전을 위한 중요한 계기가 되고 있다.

### 3. 초정밀 공작기계

고정도화, 초정밀화는 기계가공의 원점으로 공작기계가 개발된 이래 끊임없이 추구되어 왔으며, 최근에 이르러서도 컴퓨터나 반도체는 레이저를 비롯한 각종 광학장치등의 첨단 산업의 발전을 뒷받침하는 기술로 그 필요성이 날로 높아져가고 있으며 '90년대에는 초정밀가공의 보편화 시대가 올 것으로도 예측되고 있다. 그림9는 공작기계의 정밀도의 변천경과를 보인 것이다.

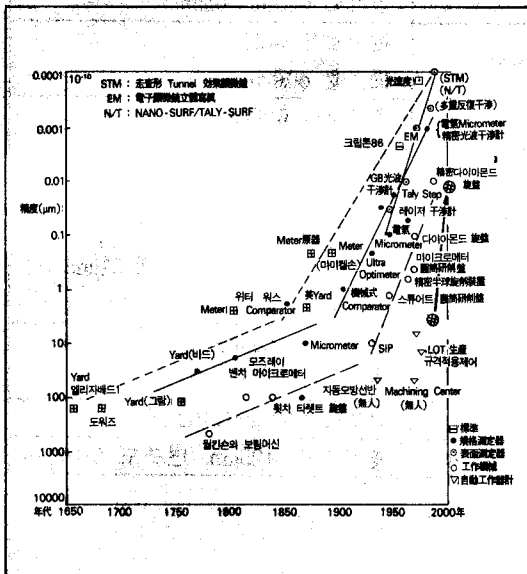


그림.9) 공작기계 정밀도의 변천<sup>12)</sup>

그림에서 본 바와같이 초정밀의 기술수준은 시대에 따라 변천되어 왔으나, 오늘날에 있어서는 칫수, 형상정도 0.1 $\mu$ m의 단위, 표면조도에 있어서는 0.01 $\mu$ m단위에 이르고 있다. 초정밀가공기술의 방법에는 여러가지가 있으나 최근 특히 발전되고 있는 것이 다이아몬드 바이트를 이용한 절삭가공 방법이다. 이와같은 가공법은 그 역사가 1940년대까지 올라가며 광학부품의 가공에 이용되었다. 그후 1958년경 필립스사가 직경 200mm의 가공물을 칫수정도 1 $\mu$ m, 진원도 오차 0.1 $\mu$ m를 실현시키는 고정도의 선반을 개발하였으며, 이후 각

국에서 본격적 초정밀 가공기의 개발이 이루어져 왔다.

선진국에서의 기술개발동향을 살펴보면

- 1960~70年代에는 칫수 및 형상정밀도  $10^{-5}$ ~ $10^{-6}$ m의 가공정밀도를 量産가공라인에서 실현하였으며(마이크로 가공기술 시대)
- 1980年代에는 칫수 및 형상정밀도  $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ m의 磁氣 디스크 및 레이저反射鏡의 가공을 실현, 다듬질 面粗度는  $10^{-7}$ ~ $10^{-8}$ m의 鏡面 가공을 실현(서브미크론 가공기술 시대)
- 1990年代에는 固體電력트론스素子, 般空宇宙機器, 레이저응용광학부품, 핵융합장치등의 부품에 응용될 수 있는  $10^{-9}$ m의 가공정밀도를 실현할 수 있을 것으로 예측되고 있다.(NANO 가공기술 시대)

極微細 加工技術 분야에 있어서도 최근의 반도체, 광학기기, 전자부품에 있어서 초미세형상·패턴의 가공기술에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

그 주요 응용분야로 반도체의 패턴가공, 센서의 深溝가공, 光콘넥터의 導波路가공, 초정밀측정기의 觸針등을 예로 들수 있다.

최첨단기술의 경우 광·화학적방법으로는 200 A°의 線을 새길 수 있으며, 機械的微加工의 경우에도 높이, 폭 10~50 $\mu$ m 전후의 短形斷面의 가공이 이루어지고 있다.

앞으로도 보다 미세한, 보다 생산성있는 가공방법에 대한 연구가 이루어질 것이다.

표7은 각국에서 개발된 초정밀가공용 공작기계의 사례를 보인 것이다.

### 4. 공작기계의 Intelligent화

정도, 능률의 향상은 기계 가공공정에 있어서는 끊임없이 추구되는 목표이다. 최근 기계가공의 초정밀화, FA化(Factory Automation, 공장자동화)가 추구됨에 따라, 이 양쪽 모두에 있어 센서의 응용과 계측이 중요시되고 있다. 이와같은 센서의 응용 기술은

- 가공상태의 감시
- 가공정도의 측정

표.7) 초정밀 공작기계 개발 현황

년 도	제 작 사	기계명 및 용도	성 능
1958	Philips	고정밀선반	진원도 0.025 $\mu$ m, 원통도 1 $\mu$ m/200mm
1962	Pneumo-Precision 社	Air Bearing	
1962	듀퐁社	Hemisphere Turning Machine	가공물 $\phi$ 101.6 $\mu$ m 치수정도 $\pm$ 0.6 $\mu$ m
1965	豊田工機	Toyoda Stat Bearing	동압효과 가미
1970	東芝機械	공기 Bearing	진구도 0.2 $\mu$ m 면조도 0.17 $\mu$ m
1972	豊田工機	초정밀선반 AHP 30	$\phi$ 155*400mm Al 합금원통 면조도 0.02 $\mu$ m, 진원도 0.3 $\mu$ m, 진직도 0.5 $\mu$ m/400mm
1972	Moore社	Diamand 경면가공기	拋物面徑 $\phi$ 152 面粗度 $\phi$ 0.025-0.05 $\mu$ m
1974	Pneumo-Precision 社	Micro-surface Generator	주축정도 0.25 $\mu$ m 진직도 0.05 $\mu$ m/25.4mm
1978	바텔연구소	Omega-X Nanometer	형상정도 0.075 $\mu$ m/05mm, 면조도 12.3A RMS
1978	크랜필드大(英)	Diamond 가공기 (X선 천체망원경)	$\phi$ 1400mm*600mm, 형상정도 1 $\mu$ m, 면조도 0.05 $\mu$ m
1981	東芝機械	다면경가공기	면조도 0.02 $\mu$ m(Rmax) 평면도 0.06 $\mu$ m
1982	L. L. L.	LODTM	면조도 0.028 $\mu$ m(01524mm)
1984	Pneumo-Precision 社	비구면 Diamond 절삭가공기	형상정도 0.25 $\mu$ m, 면조도 0.025 $\mu$ m

○ 기계상태의 故障診斷

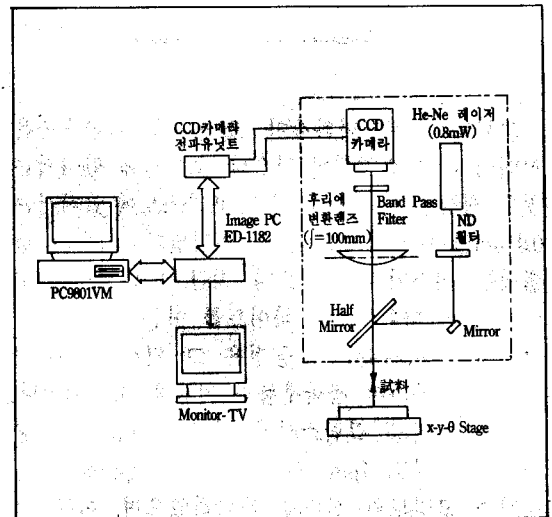
등의 분야에서 자동화와 아울러 신뢰성의 확보를 목적으로 다양한 종류의 센서와 측정법이 연구 개발되어 왔고 또 실용화되어져 왔다. 그중 몇가지 를 살펴 보면 다음과 같다.

가. 광응용 인프로세스(Inprocess) 계측<sup>13)</sup>

그림10은 Fraunhofer 回折現像을 이용하여 초 정밀절삭면의 면조도를 Nano-meter의 단위로 측정할 수 있는 시스템이다. 이 시스템의 특징은 피측정면의 위치나 기울기, 진동 측정계의 영향을 받지 않는 특징을 갖고 있어 Inprocess측정에 적합한 것으로 평가되고 있다.

그림11은 ITV를 이용 공구의 마모면을 측정하는

그림.10) 비접촉 미소면조도 측정시스템



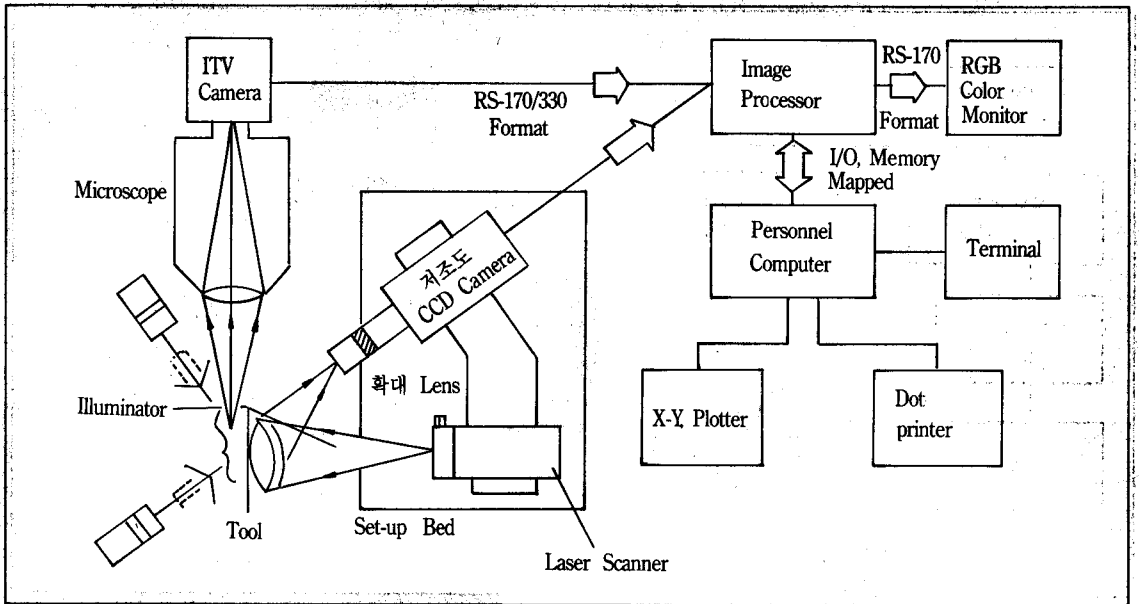


그림.11) ITV를 이용한 공구마모의 측정 시스템 구성

시스템이다.<sup>14)</sup> 이 시스템의 마모량검출의 분해능은 광학계의 배율과 ITV카메라의 분해능에 따라 결정될 것이며, 최근기술로 측정정도가  $\pm 5\mu\text{m}$ 에 이른 것으로 보고되고 있다.

이외에도 공구마모의 측정은 가공에 있어서의 자동화와 신뢰성확보에 직접적으로 큰 효과를 거둘 수 있다는 점에서

- 광전자증배관
- Photo Transistor
- Photo Diode
- Fiber Optics 와 Photo Cell등을 이용한 각종의 측정법이 연구되고 있다.

나. 豫測補正에 의한 가공정도 향상

가공정도의 향상을 위하여는 지금까지 주로 피이드 백 제어방식에 대한 연구가 이루어져 왔으나, 최근에 와서는 오차를 미리 예측하고 이 예측모델에 의거 보정을 행하는 Feed Forward 방식에 대한 연구가 이루어지고 있다.(그림12)

이러한 피이드 포워드 제어방식은 가공오차에 영향을 미치는 인자를 정확히 분석, 적절한 예측 모델을 구축하여야 하지만, 계측장치가 불필요한 것이 큰 이점이며 특히 칩의 간섭이나 절삭유등의

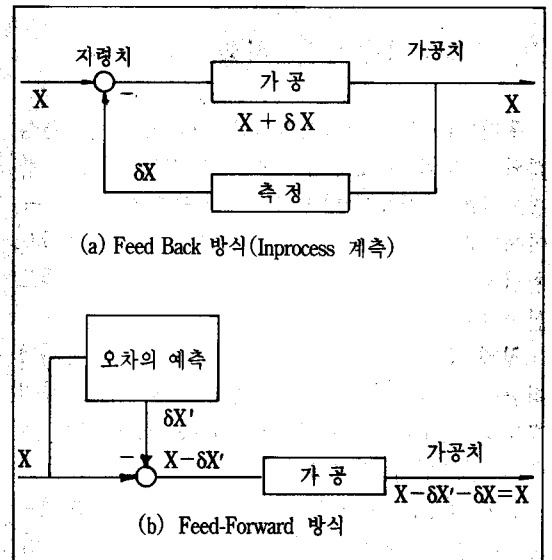


그림.12) 가공오차 補正의 2가지 방식비교

이유로 계측이 곤란한 경우 유효한 수단이 될 것으로 평가된다.

그림13은 예측보정기능을 갖는 종합선삭가공 시스템의 구성도와 이를 이용한 가공오차의 보정사례를 보인 것이다.<sup>15)</sup>

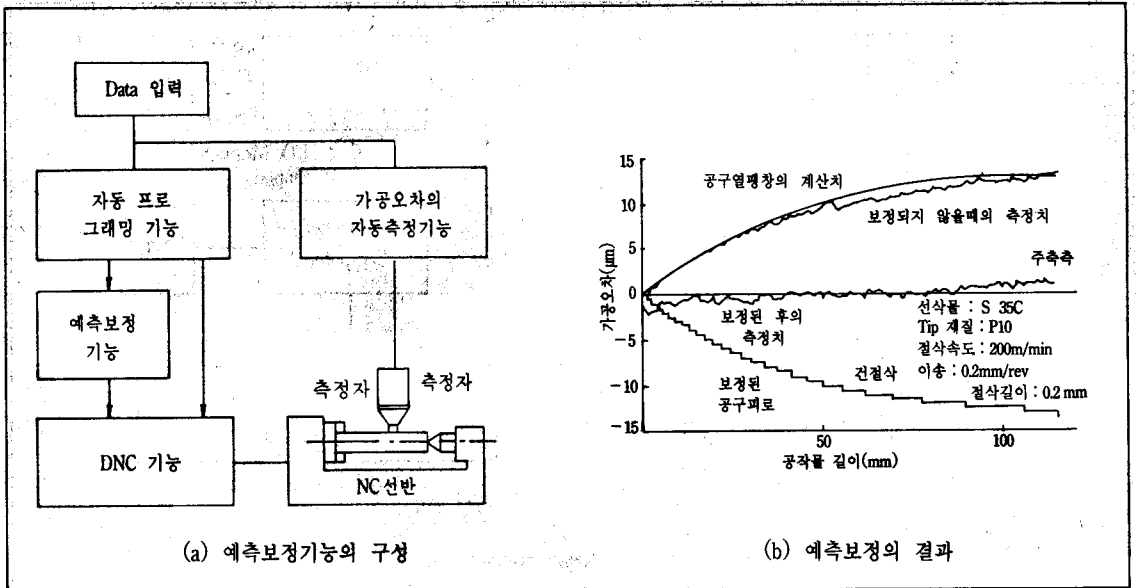


그림.13) 가공오차의 예측보정

### III. 국내 기술개발 현황

우리나라의 공작기계산업은 최근의 산업 활성화와 더불어 수요가 급속히 증가함과 아울러 품질고급화와 기종의 다양화요구가 높아지고 있으며, 이에따라 신규업체의 참여와 아울러 기술개발도 활발히 전개되고 있는 추세이다. 이를 유형별로 살펴보면

첫째, NC 기종의 다양화로 자동화 수요의 증가와 더불어 신기종의 개발과 기존 모델의 시리즈화가 활발히 이루어져 '86년 11종, 87년 13사 29종의 신모델이 선보였다.

둘째 정밀, 고속화의 경향으로 스피んの 회전수 6,000~10,000rpm의 고속화가 이루어지고 있으며, 안내면에도 직선운동베어링을 사용, 1 $\mu$ m단위의 정밀이송과 15m/min이상의 고속이송이 가능한 기계가 개발되고 있다.

셋째, 성능의 다양화, 복합화로 4축NC 선반과 밀링기능을 갖는 터닝센터의 등장 등이 그 사례가 될 것이다.

넷째, 공작기계의 시스템화 경향이다. 이는 머시닝센터에 다면플랫트체인저를 장치하거나 NC

선반에 자동 착탈장비를 장착하여 하나의 Cell로 시스템 머신화한 사례가 증가하고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 근년에 와서 NC공작기계를 중심으로 활발한 연구개발이 이루어지고 있으나, 선진국의 공작기계 수준에 비하여서는 고속화나 고정밀화, 시스템화등 여러면에서 아직 상당한 차이가 있다고 평가된다. 특히 정밀연삭가공기를 비롯한 정밀급 공작기계의 생산이 이루어지지 못하고 있는 것은 NC제어장치, 서보모터, 볼 스크류등 NC공작기계의 핵심부품이 국산화되고 있지 못한 것과 아울러 국내 공작기계산업의 가장 큰 문제점이라 사료된다.

국내공작기계의 전반적 기술수준을 선진국과 비교하면 표 8과 같다.

한편 科技處의 특정연구를 중심으로한 공작기계 기술에 대한 연구도 점차 활성화 되고 있다. '88년도부터는 국가 중점추진연구과제로 초정밀공작기계의 범주에 속하는 「Polygon Mirror 가공기」의 개발연구가 KAIST를 비롯한 출연연구기관과 대학의 공동연구로 시작되었다. 이 연구의 주요내용으로는

- 공기베어링, 공기안내면에 관한 연구

표.8) 공작기계 기술수준비교

항 목	한 국	선진국(미국·일본)
○ 가공정밀도		
- 최고 정밀도	진원도 1 $\mu$ m/100m	진원도 0.05 $\mu$ m/100mm
- 범용 NC기종 정밀도	5~10 $\mu$ m	3 $\mu$ m
○ 고속화		
- 주축 회전수	80 $\times$ 10 <sup>4</sup> dN (6,000~10,000rpm)	300 $\times$ 10 <sup>4</sup> dN (2万~6万rpm)
- 프레스 최대 SPM	600 SPM	1,500 SPM
○ 공작기계 NC화율	40%	70%(일본)
○ NC화 대상기종	선반·밀링·머시닝센터등 소수 기종	연삭기·보링기등 공작기계 전기종 및 펀치프레스등 타기종에 확산
○ NC기종 부품국산화율	50%~60%	100%자급화
○ 설계기술	모방 설계	고유모델 설계

- 다이아몬드 공구의 설계 및 연마기술
- 미동 액츄에이터 기술
- 구조재료 기술
- 가공물 고정구 설계
- 초정밀가공기 시스템 설계
- 초정밀 가공기술
- 초정밀 측정기술등 초정밀 기초기술에 대한 광범한 내용이 포함되어 있어 앞으로 공작기계 기술의 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

그외에도

- 유정압베어링의 개발/한국기계연구소
- 초고속가공주축 연구/한국과학기술원
- 적응제어CNC 연삭기개발/한국과학기술원
- 절삭가공의 센싱기술연구/한국기계연구소
- 세라믹 가공기술연구/한국기계연구소
- Nd-YAG Laser 가공기개발/  
기계연·조흥전기
- 채터를 줄일 수 있는 보링바의 개발/科技大 등 기초·응용·개발 분야에 걸쳐 활발한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 아직도 이러한 기초분야의 연구는 공작기계 선진국인 일본이나 서독에는 물론 북경과 상해등에 대규모 공작기계 연

구소를 보유하고 있는 중공과도 비교해 볼 때 연구인력, 연구의 결과 양, 여러가지 면에서 보다 더 많은 노력이 기울여져야 할 것이다.

앞으로 공작기계기술의 선진화 달성을 위하여 해결해야 할 국내 기술개발과제를 정리해 보면 다음과 같다.

#### IV. 기술개발 전략

##### 1. 국내동향

공작기계공업은 기계공업의 기반을 이루는 산업으로 그림14의 업종별 수요동향에서도 알 수 있는 바와같이 자동차, 전기, 전자, 조립금속 및

그림.14) 국내 NC 공작기계의 업종별 수요구성('88.1-5월 수주기준)  
(단위: 백만원)

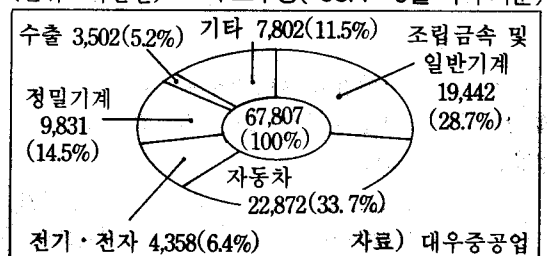


표.9) 국내기술 개발 과제.

목표	개발 과제		기술 연구 과제
자 급 화	부품개발	전자제어용부품	CNC 제어장치, Servo-motor Linear Scale, Spindle Motor
		정밀요소부품	Ball Screw, Linear Bearing Spindle Bearing, Curvic Coupling
	기종 다양화	NC기종확대	NC Punch Press, NC Turning Center NC공구 연삭반, NC조각기, NC Gear가공기
특수공작기계		레이저가공기, 초음파가공기, 전자빔가공기	
전용공작기계			
국 제 화	고속·고정도화	주 축	정압베어링, Air-oil윤활, Jet윤활, 냉각
		이송 기구	정압안내면, 정압스크류, 윤활유제 및 윤활법 攪動부재, 마찰특성
		공작기계구조	동특성, 열특성, 신구조재료
	시스템화 자동화	기계의 다기능화	복합가공기, 가공정도 Inprocess계측 AHC, ATC
		기계의 Intelligent화	자기진단, 자기보수, 예측보정 음성입력, 적용제어, 이상예지
		DNC, CAD/CAM	자동프로그래밍, Network(S/W & H/W) 가공 Data Bank, FMS Software
고정도·대형 공작기계	고정밀 연삭기	정압베어링, 정압안내면, 연삭가공법(Creep Feed등)	
	5축 가공기	자유곡면금형가공, 다축 NC프로그래밍,	
미 래 수 요 대 비	초 정 밀 화	경면가공기	초정밀베어링(공기베어링, 자기베어링)
		극미세가공기	초정밀 Servo(Friction Drive)
		반도체가공기	신재료 구조재
초 고 속 화	非철금속가공기	고속용 Chuck.	
	초고속 프레스	미소변위 센서	
신소재 가공	New Ceramic가공	가공법 연구,	
	복 합 재 가 공 난 삭 재 가 공	공구마모 공작물 온도변화 자동측정	

일반기계, 정밀기계 분야의 수요가 80% 이상을 점하고 있다.

이와같은 관련산업의 국내동향을 살펴보면 표10에 보이는 바와같이 2000년도까지 모두 고도의 성장을 할 것으로 예측되고 있다.

공작기계 관련산업의 발전동향에 따라 공작기계의 잠재수요를 예측해 보면 표11과 같다.

## 2. 발전의 목표

### 가. 기본목표

	'87년	2000년
- 공작기계의 자급화	50% →	80%
- 생산능력의 확충	세계1.8% →	12%
- 부품공업육성	자급도75% →	95%
- 설계기술자립화	복사모델 →	고유 모델

나. 단계별 목표

	1988	1991	1996	2000
공작기계 자급화	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수입기종 국산화</li> <li>○ 핵심 부품 개발</li> <li>○ 자체 설계 능력 확보</li> </ul>			
기술의 국제화	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 성능 고급화</li> <li>○ 전략수출기종 개발</li> </ul>			
미래수요대비	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초정밀 공작기계 자체</li> <li>○ System화 공작기계 공급능력확보</li> <li>○ 신소재 가공기술분야 공작기계</li> </ul>			

표.10) 공작기계 관련산업의 동향 예측

항 목	현황과 전망
자동차 생산대수	60만대('86년)→765만대(2000년)
기계공업 총생산	16조원('86년)→91조원(2000년)
전자부문 생산	13.7조원('90년)→30.6조원(2000년)

- 자료) ① 교통년감 '88  
 ② 국가장기발전구상, 산업연구원  
 ③ 공작기계공업의 장기발전전략, 상공부

3. 기술의 발전 전략

위와같은 목표를 달성하기 위하여서는 적극적인

기술개발 촉진책이 요구되며 다음과 같은 추진 방안이 요청된다.

첫째, 연구개발투자의 증대

현재 매출액 대비 1%미만인 R&D투자를 선진국 수준인 3%까지 끌어올려 '94년에는 600억원 수준까지 높일 필요가 있다. 또한 공작기계의 규모가 대부분 중소기업 형태이며, 자본의 懷妊기간이 긴 산업적 특성을 고려하여 정부의 연구투자를 총소요액의 50%이상으로 늘릴 필요가 있다.

둘째, 연구개발 체제의 정비

'88년 현재 5개업체에 불과한 기업부설연구소를 확대시키며, 대다수의 중소기업의 기술개발 촉진을 위하여는 공작기계공업협회를 중심으로하여 각종 연구개발과제별 연구조합의 설립을 확대하여 나가는 것도 좋은 방법이 될것이다.

표.11) 공작기계 수요예측

(단위 億원)

	'87년	'94년	2000년	비고
총 수요	7,957	25,000	40,000	
생산(NC공작기계)	4,368(1,318)	21,000(10,000)	42,000(24,000)	세계12%
수입	3,889	7,000	8,000	자급율 80%
수출	300	3,000	10,000	



한편 단편적으로 이루어지고 있는 정부의 각종 연구개발지원도 보다 체계화, 또는 상호 보완적으로 운영할 필요가 있을 것이다. 이를 위하여는 연구개발 협의 기구를 설치, 체계적이고도 종합적인 연구를 産·學·研 협동으로 추진할 수 있도록 함이 바람직하다.

또 다른 방안으로는 독일의 아헨공대의 공작기계연구소, 프랑스의 국립공작기계연구소, 중공의 북경공작기계연구소와 같이 기초연구에서 제품화 연구까지의 연구를 수행할 수 있는 공작기계 전문연구소를 설립, 이를 중심으로 전문인력의 양성과 기술개발을 추진해 감도 매우 효과적인 방법이 될 것이다.

셋째, 국제협력의 효과적 추진

연구개발과 아울러 기술도입도 국내기술향상에 매우 유익할 것이다. 특히 이 경우 현재 일본에 치중되고 있는 기술도입선을 전통적으로 정밀공작기계기술이 강한 서구나 대형공작기계나 시스템화의 소프트웨어기술이 강한 미국쪽으로도 다변화할 필요가 있다고 사료된다.

아울러 국제협력은 이러한 상품화기술만이 아니라 기초기술에 있어서도 외국의 대학, 연구소와의 공동연구를 수행토록함이 기본기술의 축적이나 인력양성의 차원에서 유익할 것으로 사료된다.

넷째, 인력양성과 기술의 확산

최근의 공작기계는 NC화 및 시스템화가 추진되면서 전자·컴퓨터기술이 적극 도입되고 있다. 그러므로 연구개발은 물론 효과적인 기계의 사용을 위하여서도 NC Programmer를 비롯한 운전요원의 양성도 중요한 과제가 되고 있다. 이를 위하여서는 工高, 대학과정에서의 인력양성대책뿐

아니라 기존의 기술인력에 대한 재교육의 기회 제공이 절실히 요구되고 있다. 따라서 이러한 기술의 확산과 인력양성을 담당할 전담기구의 설치가 효과적 방안이 되리라 사료된다.

V. 결 론

공작기계 기술은 모기계기술로서 국가 기간산업으로서의 중요성이 매우 크며, 2000년대 선진국진입을 목표로 하는 우리나라로서는 공작기계 기술의 확립이 중요한 관건이 되고 있다.

한편 우리나라의 공작기계 기술은 선진국에 비하여 정밀도, 자동화 수준등에서 아직도 한단계 뒤쳐지고 있으며, 핵심부품의 자급도 이룩하지 못한 것이 큰 문제점으로 지적되고 있다.

따라서 국내 공작기계기술의 선진화를 위하여 해결해야 될 과제로는 다음과 같은 것들이 지적되고 있다.

- CNC 제어장치를 비롯한 전자제어용 부품, 볼 스크류를 비롯한 정밀 요소부품의 국산화 개발
- 고정밀 연삭기를 비롯한 수입의존 공작기계류의 국산화와 기종의 다양화
- 공작기계의 시스템화, 자동화
- 미래의 기술 수요에 대처하기 위한 초정밀 공작기계기술의 확보

위와같은 기술개발을 효과적으로 달성하기 위하여서는 민간기업의 기술개발 능력의 확충과 아울러 정부의 연구투자의 확대가 필요하며, 또한 연구투자의 효율 극대화를 위한 産·學·研의 협동체제를 구축함이 매우 바람직하다.

[참고문헌]

- 1) 正田義雄：潤滑, 32-3(1987) 175
- 2) 李厚祥 外：高速・高精度 工作機械設計技術(I) 機械研 研究報告書(1986.5)
- 3) 中川 淨：工作機械 主軸用 高速轉がり 軸受のオイルエア潤滑 慶應大學 修士學位 論文(1985)
- 4) 澤木毅 外：工作機械 主軸用 ころがり 軸受の 高速化, 應用機械工學(1986)
- 5) 角田和雄：轉がり 軸受の高速化の問題點, 工作機械の最先端技術 機械學會編, 工業調査會(1988.4)
- 6) 宮原忠干：軸受のオイルエア潤滑, ベアリングエンジニア 53(1987)
- 7) 當摩尅也：ころがり軸受高速化の工夫 潤滑 32-5 (1987) 356
- 8) 米屋勝年, 小谷博：自動車技術 39-8(1985)897.
- 9) 角田和雄：(5)와 同一文獻, 47.
- 10) Furukawa Y.: Development of Hybrid Bearing for Wide Speed Range, Quill Type Spindle Unit, Ann. CIRP. 36/1(1987) 263-266.
- 11) 大平研五：MCによる研削加工, 工作機械の最先端技術 機械學會編, 工業調査會(1988.4)
- 12) 澤迅雅二：測定値はどニまで信頼できるか, 高精密測定(工作機械86), 大河出版
- 13) 三好, 宮腰 外：Fraunhofer 回折による 超精密 ダイヤモンド旋削面の粗さ測定, 精密工學會誌, 53-5(1987) 736
- 14) 朴和永 外：切削加工의 센싱기술 機械研 研究報告書(1988)
- 15) Y. Takeuchi, M. Sakamoto and K. Imura : Development of Integrated Turning System with Predictive Compensatory Function for Machining Errors, Ann. of CIRP. Vol. 34/1(1985) 519