

차세대 공작기계를 위한 핵심기술 연구동향 (한국기계연구원 공작기계실의 연구동향을 중심으로)

이 찬 홍*, 박 천 홍*

Trend of Core Technology Research Activities for Next Generation Machine Tools

Chan-Hong Lee*, Chun-Hong Park*



구조설계부본부위원장

1. 서론

“더 강하게, 더 정밀하게, 더 싸게”라는 구호가 공작기계 제조업체의 중요한 지침이 된 것은 오늘 어제의 일이 아니다. 이미 오래 전부터 설계자와 생산담당요원, 그리고 경영진까지도 머리를 맞대고 고민을 하고 있는 영원한 숙제이다. 더욱이 IMF를 맞이하여 공작기계의 국내수요가 수직강하한 현 상황에서 수출만이 생존과 발전을 약속할 수 있는 길이어서 국제적인 품질수준에 도달하기 위한 공작기계 관련기술의 협동연구가 산학연을 중심으로 활발히 전개되고 있다. 그동안 국내 공작기계업체의 설계자들은 기업의 많은 어려움에도 불구하고 기술 국산화의 장기 비

전을 고위 경영자에게 설득하고 전국에 흩어져 있는 관련 전문가를 끌어 모아 지속적인 노력을 하여 공작기계의 고속화, 정밀화, 자동화분야에 성과를 내게 되었고 국내 기계공업의 생산성 향상에 전반적인 파급효과가 컸다. 그러나 정작 공작기계 판매실적에 있어서는 국내외 기업간의 치열한 판매경쟁으로 눈에 띄는 변화가 생기지 않아 기술 자립을 추진했던 설계자들은 기업으로부터 불이익을 받는 등 고민해온 것이 사실이다. 그러나 IMF하에서 국내 공작기계가 가격경쟁력을 회복하면서 국내 수출을 리드하는 분야로 선정된 것은(산자부 '99자료) 지금까지 설계자들의 꾸준한 국산화 연구노력의 대가가 아니었나 한다. 현재 공작기계산업을 수출 주력분야로 추진하는데 있어서 공작기

* 한국기계연구원

계 기능설계 분야는 선진국에 근접하였으나 새로운 아이디어와 연구를 위한 전문요원 부족으로 국제기술시장에서 우위를 점하기에는 아직 역부족인 상태이고, 생산기술 부문은 가공시설이 잘 갖추어진 상황이나 작업자의 신기술 습득을 위한 전문교육 미비 및 잦은 이직율이 문제가 되고 있다.

한편 국내 공작기계 관련 연구의 주요 동향을 살펴보면 고강성화, 고속화, 복합화, 조정밀화, 지능화, 환경친화, 저가격화 등이 나름대로 하나의 축을 형성하며 시도되어 왔다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 기술개발 현황을 고려한 국내 공작기계 기술의 발전 방향과 앞에서 열거한 기술 가운데 산업계의 관심이 많고 주도적 기술이라 할 수 있는 조정밀화, 고속화, 지능화 기술 동향에 대해 한국기계연구원(KIMM) 공작기계실에서 연구되어 왔던 내용들을 중심으로 언급하고자 한다.

국내 공작기계 기술의 발전방향

공작기계 기술은 종합기술로서 장기적인 경험축적이 필수적이고 기계, 전자, 재료분야의 신기술 접목이 신속히 이루어져야 경쟁력이 유지되는 특성을 가지고 있다. 그러

므로 해당 설계자와 연구자는 장기간 동일분야에서 종사를 해야 효과가 나타나고 지속적인 신기술 교육을 받아야 복합기술이 탄생한다. 국내 공작기계 산업은 지난 50년간 외국기계의 모방으로부터 시작하여 선진 외국기업과의 기술제휴를 통해 지속적인 기술습득이 이루어져 왔으며 현재의 시점에서 판단할 때 대부분의 기반기술들이 자료의 형태로 기업에 확보되어 있는 상황이다. 다만 자료의 분석과 기술의 개선작업이 인력문제와 생산위주의 정책으로 인해 미루어 지고 있고, 국내 경쟁기업간 보유자료의 교환 등의 기술 연계에 어려움이 있을 뿐이다. 이에 따라 본 연구실에서는 90년대초에 우선 국내에 흩어져 있는 공작기계 관련 전문가들의 모임인 공작기계 연구회를 조직해서 국가차원의 기술 중심집을 만들었고 이 조직을 통해 국내외의 기술자료 수집과 확산을 유도하였다. 이와 더불어 90년대초까지 연구실에서 중소규모 단위의 국책, 산업계 연구로 수행되어 온 요소기술들을 정리 분석하여 공작기계 분야의 기초기술로서 그림 1과 같이 정립하였으며 해당기술이 필요한 기업을 위해 개선, 발전 연구를 꾸준히 지속하고 있다. 국내시장의 크기를 감안할 때 기업의 성장기반은 수출위주가 되어야하고 수출지종은 기술력과 가격을 앞세워서 추진되어야 하므로, 본 연구실에서는 한 단계

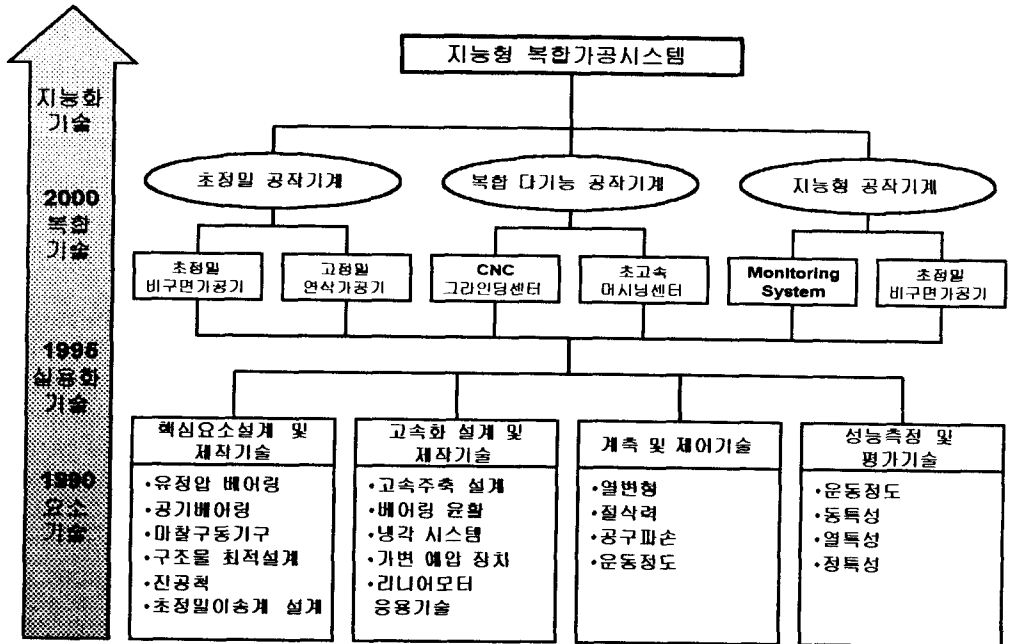


그림 1 공작기계 기술의 발전 전략

앞서 기술적, 상품성 위험요소가 내재하지만 부가가치가 매우 높고 요소기술의 개발시 파급효과가 큰 공작기계의 실용화 사업을 95년도부터 정부의 도움을 받아 기업과 공동연구로 수행하고 있다. 예를 들면 초정밀 가공기, CNC 그라인딩 센터 그리고 고속 머시닝센터등의 연구사업이 수행되었다. 다음 단계로 2000년도부터 실용화된 단위 공작기계의 기능을 복합, 개선시킨 복합 다기능 공작기계, 초정밀 공작기계, 지능형 공작기계를 개발하여 일반 공작기계의 기능을 대폭 증강시키고, 정밀도와 성능면에서도 나노기술을 적용해서 미세가공이 가능토록 하며, 작업자의 숙련도와 경험에 영향을 받지 않는 자율형 인공지능 기계를 연구할 예정이다. 또한 최종적으로는 차세대 정보화 사회에 적합한 지능형 복합가공 시스템을 구축하여 무인화와 다기능화 그리고 수요 적응형 가공시스템을 구축하는 것으로 국내 공작기계의 기술발전 계획을 수립하고 있다.

초정밀화 기술의 연구 동향

복사기, 팩시밀리용 폴리곤밀러, 캠코더용 드럼, 컴퓨터 하드디스크, CD픽업렌즈 등 각종 가전제품용 정밀부품이나 렌즈 또는 렌즈금형의 가공을 위해 일반화된 초정밀가공기의 수요는 현재 초정밀 요소기술의 발전과 더불어 방위산업용 렌즈, 우주관측용 렌즈, 핵융합로용 반사경 및 각종 에너지 집광장치에 이르기까지 다양화해가고 있으며 기술적으로는 상대적으로 대형화한 가공물을 한 단계 높은 정밀도로 가공해내는 것을 목표로 기술개발이 이루어지고 있다.

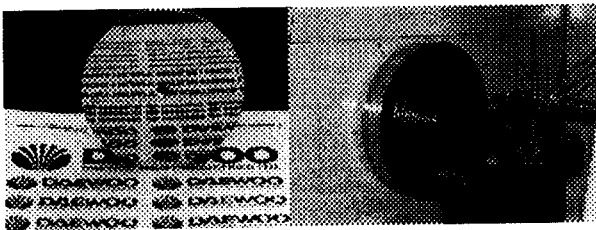


그림 2 초정밀 가공된 서브스트레이트

폴리곤밀러가공기개발이라는 국내 최초의 초정밀가공기 개발과제가 시작된 것은 1989년이었으며 이후 비구면가공기→대형 비구면가공기→초정밀가공기 요소기술 등 초정밀가공기에 대한 연구과제가 꾸준히 지속되어 오고 있다. KIMM은 연구 초기단계부터 주로 핵심요소기술 개발을 목표로 초정밀기술 개발에 참여해오고 있으며 10년전 초정밀

메카니즘의 구현을 목표로 선진기술의 모방으로 시작했던 연구의 흐름이 현재는 정밀도 향상을 위해 아이디어를 제안하는 단계로 발전되어가고 있다. 그림 2는 1992년부터 4년간 대우중공업이 주관하고 KIMM 등 3개기관이 참여한 대형 비구면가공기개발과제를 통해 개발된 초정밀가공기 시제품에서 가공된 서브스트레이트와 가공장면을 나타낸 것이며 0.003 μmRa 까지의 표면조도를 얻을 수 있었다.

이 가공기의 안내면은 유정압테이블로 되어 있으며 수직방향 강성 1,800N/ μm , 수평방향 강성 1,200N/ μm 로 고강성화를 실현하였다(그림 3참조). 테이블은 볼스크류로 구동되며, 서브테이블과 유정압커플링을 이용하여 직선운동오차 0.1 $\mu\text{m}/200\text{mm}$, 각운동오차 0.7arcsec/200mm를 실현하였다(그림 4 참조).

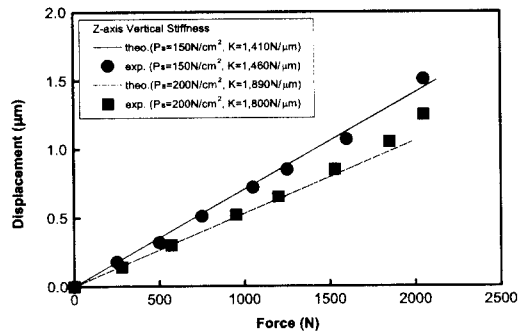


그림 3 유정압안내면의 수직방향 강성

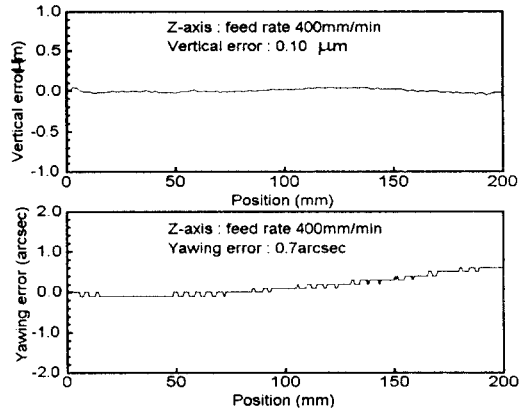


그림 4 대형비구면가공기 안내면의 운동정도

한편 그림 5는 대형 초정밀 비구면가공기와는 별도로 KIMM에서 자체 제작한 초정밀 비구면가공기 시제품의

전경이며 운동요소에는 주로 공기베어링을 이용하였고 안 내면의 구동에는 마찰구동기구를 사용하여 대우중공업의 대형 비구면가공기와는 다른 특성을 지니고 있다. 이상의 초정밀가공기 제작 경험을 통하여 개발에 필요한 노-하우 및 연구테마를 적립할 수 있었으며 그로부터 파생되어 연구되고 있는 관련 기술 내용을 주축 및 이송계로 분류하여 아래에 정리하였다.



그림 5 KIMM의 초정밀가공기 사작품

1) 초정밀 주축기술

초정밀가공기 주축용 베어링으로는 공기베어링이 대부분 사용되어지고 있다. 국내에서도 1990년초부터 실험용 제작을 시작하여 현재는 고속 공기주축의 경우 유니트화 되어 시판되고 있다. 그러나 국내에서 개발된 공기주축의 경우 대부분 설계 및 제작이 용이한 자성보상형(inherently compensated type)공기베어링을 채택하고 있어 메카니즘상으로 극복하기 어려운 고강성화, 저배기진동 등이 요구되는 경우 성능적으로 대처하기 어려운 실정이다.

다공질 공기베어링의 경우 상대적으로 높은 강성과 저배기진동의 특성을 지니고 있으나 재질에 따라 기계가공성(특히 연삭), 자력진동(pneumatic hammer)을 고려한 최적성능을 위한 유량제어특성 등 제작상의 많은 노-하우가 필요하다는 단점이 있다.

그림 6은 카본그라파이트 다공질재료의 유량제어특성 실험 결과를 나타낸 것으로 연삭깊이(재료의 두께)에 비례하는 유량특성을 보이고 있어 기계가공이 용이함을 알 수 있다. 또한 자력진동의 방지를 위해 재료 표면의 유량을 제어하는 경우 인공적인 눈막힘을 가한 후 세척을 하는 방법으로 유량의 제어가 가능하여 실용화가 가능함을 확인하

였다. 그림 7은 카본그라파이트 다공질재료를 이용하여 설계된 공기주축의 조립도로 시작품을 제작 중에 있다.

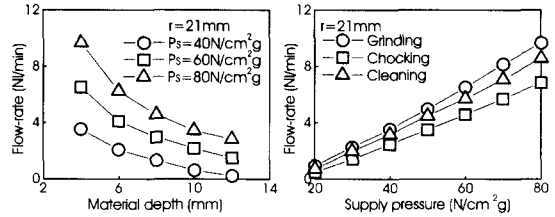


그림 6 카본그라파이트 다공질재료의 가공특성

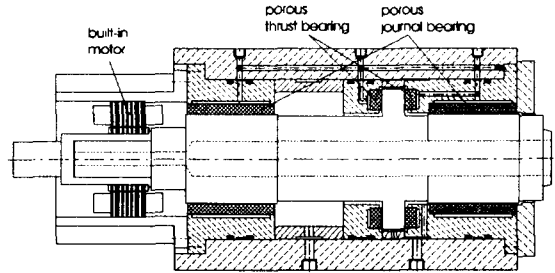


그림 7 카본그라파이트 다공질 공기베어링주축

한편 유정압베어링주축의 경우 기름에 의한 발열등의 단점이 있어 초정밀가공기에의 적용에는 제한이 있으나 절삭력이 상대적으로 큰 고정밀 선반이나 연삭기용 주축에 많이 적용되고 있다. 그림 8은 경면가공을 위해 개발된 고정밀선반용 유정압주축을 나타낸 것으로 비재현오차를 기준으로 0.1 μ m의 회전정도를 나타내고 있으며 이 주축을 이용하여 99.95%순도의 동을 다이아몬드공구로 가공한 결과 0.1 μ mRmax내외의 표면조도까지를 얻을 수 있었다.

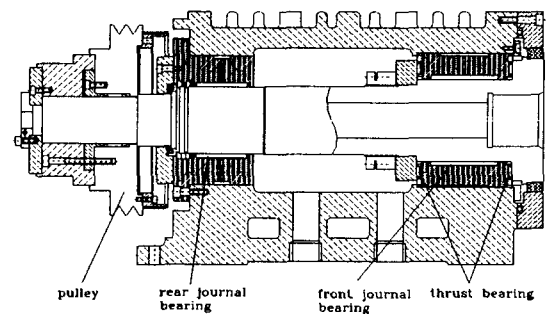


그림 8 고정밀선반용 유정압주축

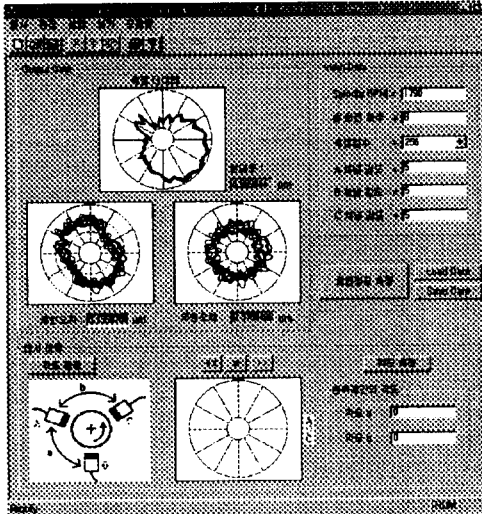


그림 9 회전정도 측정 소프트웨어

초정밀주축을 개발하는 경우 회전정도 측정 및 평가기술은 반드시 동반되어야 하는 핵심기술이다. 그림 9는 3점법과 반전법을 겸용하여 회전정도를 측정할 수 있도록 개발된 소프트웨어를 나타낸 것이며 0.05 μm 진구도의 마스터볼과 용량형센서(Micro sense 3401)를 이용하여 개발한 반전법 측정장치를 사용할 경우 3 σ 를 기준으로 약 0.06 μm 까지의 신뢰성을 갖고 회전정도 측정이 가능함을 확인하였다.

2) 초정밀 안내면 및 이송기술

초정밀가공기용 안내면에 있어서도 공기나 기름을 사용하는 정압베어링의 채용은 일반적이며 특히 강성을 크게 확보할 수 있는 유정압베어링이 많이 채용되는 추세이다.

안내면의 초정밀화를 위해서는 무엇보다도 운동의 기준면이 되는 가이드레일의 가공정도를 높일 필요가 있다. 안내면의 경우에는 주축과는 달리 레일 가공면의 평면도, 평행도, 직각도등이 누적된 오차가 안내면의 운동정도에 영향을 미치게 되므로 0.1~0.2 $\mu\text{m}/200\text{mm}$ 정도인 요구정도를 얻기 위해 숙련자의 반복적인 래핑작업에 의존할 수밖에 없는 실정이다.

또한 래핑에 의해 요구정도를 만족시킬 수 있는 가공정도가 얻어지더라도 볼스크류, 마찰구동기구 등의 구동부

에 의해 자체적으로 발생하는 오차요인이나 이들 구동부를 통해 외부로부터 전달되는 외란의 영향을 차단하지 않으면 목표로 하는 운동정도를 얻어내기가 용이하지 않다.

그림 10은 볼스크류 구동시에 구동부에 의한 오차를 제거하기 위해 제안한 복합형 커플링을 나타낸 것이다. 원통형 유정압베어링과 탄성힌지를 결합하여 축방향과 회전방향의 2자유도에 대한 강성은 가능한 크게 유지하면서 그 외의 4자유도에 대해서는 자유롭도록 메카니즘을 구성하였으며 그림 11과 같이 유정압안내면을 볼스크류에 직결했을 때에 나타나는 리드동기오차 및 조립오차의 영향이 완전히 제거됨을 확인하였다.

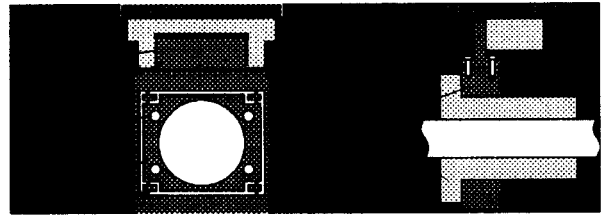


그림 10 실험용 커플링의 구조

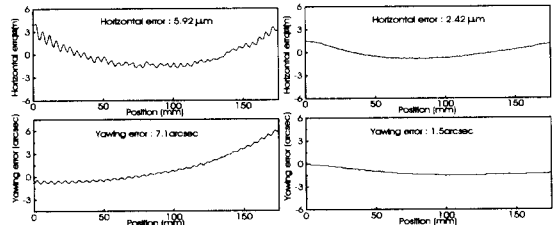


그림 11 복합형 커플링에 의한 운동정도 개선

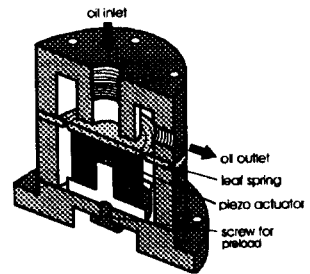


그림 12 능동제어모세관

한편 초정밀안내면의 운동정도를 숙련자의 래핑작업에 의존하지 않고 달성하기 위한 방법으로 그림 12와 같이

압전소자의 변위를 이용하여 유정압테이블의 포켓압력을 제어할 수 있는 능동제어모세관을 제안하고 2개의 능동제어모세관과 반복제어법을 이용하여 그림 11의 운동정도를 갖고 있는 유정압안내면을 대상으로 직선 및 각운동오차를 동시에 보정한 결과 그림 13과 같이 직선운동오차 0.1 $\mu\text{m}/250\text{mm}$, 각운동오차 0.2arcsec/250 mm까지 보정이 가능함을 확인하였다.

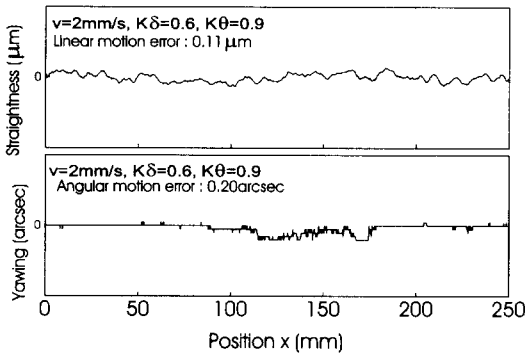


그림 13 능동제어모세관에 의한 운동오차 보정결과

보다 용이하게 구동계의 오차요인을 피하기 위한 한 가지 방법으로 마찰구동기구의 적용을 검토하였다. 그림 14는 제작된 트위스트롤러방식 마찰구동기구의 전경이다. 한편 그림 15는 미소분해능의 실험결과로, 3개로 이루어진 롤러와 구동바 간의 슬립에 의한 영향에 의해 본 시제품의 분해능은 0.02 μm 가 한계임이 확인되었으며 롤러간의 경사각과 예압량간의 관계를 최적화하고 경사각을 좀 더 정밀하게 제작할 경우 0.01 μm 이하의 분해능까지도 가능할 것으로 전망된다.

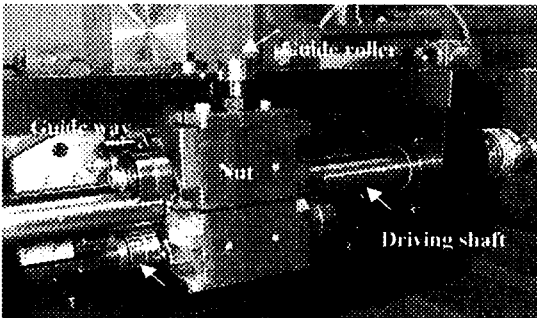


그림 14 트위스트롤러방식 마찰구동기구

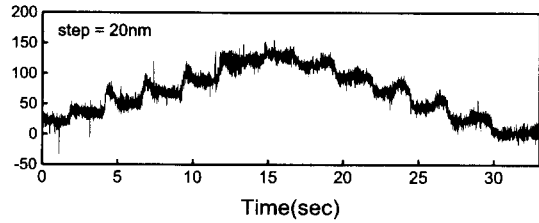


그림 15 마찰구동기구의 스텝응답특성

고속화 기술의 연구동향

NC공작기계 주변의 자동화가 진전되어 작업준비 시간이 단축됨에 따라 실제 가공시간이 생산능률에 큰 영향을 미치게 되며 항공기 부품이나 각종 금형과 같이 고속, 고능률가공을 필요로 하는 분야가 급속하게 성장함에 따라 이들 제품을 가공해야 하는 공작기계에 대한 고속화 요구가 한층 높아지고 있다.

고속화에 의한 고능률가공을 달성하기 위해서는 주축, 이송계 등의 운동기구뿐 아니라 공구, ATC, APC 등도 주요 대상이 되며 상품성의 견지에서는 이 이외에도 열변형 대책, 진동/소음의 저감, 안전장치의 개발 등도 뒤따라야 할 필요가 있다. 이 가운데 고속화를 선도하는 것은 역시 주축기술이라고 할 수 있어 대부분의 고속화 연구의 중심테마가 되고 있다. 표1은 현 시점에서 공작기계 주축의 요구성능을 정리한 것이며 그림 16은 이러한 고속주축의 설계시 고려해야 할 사항들을 정리한 것이다.

표 7 공작기계주축의 요구성능

	일반 밀링머신	머시닝센터 고속밀링	평면연삭기 외경연삭기	내경연삭기
주축직경(mm)	50~250	40~120	40~100	8~40
회전오차(μm)	2~4	1~3	1~3	0.5~1
최대속도(rpm)	<10,000	5,000~40,000	500~3000	20,000~200,000
강 성(N/ μm)	100~600	100~500	50~80	5~40
온도상승($^{\circ}\text{C}$)	<20	<20	<15	<20

주축용 베어링은 윤활방식과 결부되어 고속화의 가장 기본적이 고려사항이 되며 그림 17은 일반적인 윤활방식과 베어링 재질의 조합에 의해 현 시점에서 도달할 수 있는 최고속도를 나타낸 것이다.

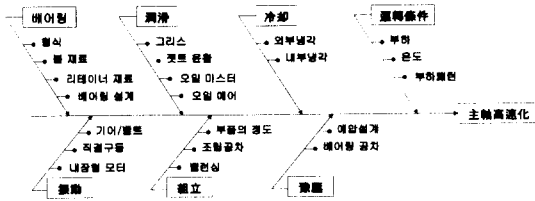


그림 16 고속주축 설계시의 고려사항

주축이 고속회전하는 경우 회전에 따른 원심력, 예압, 온도상승 및 하우징의 열변형 등에 의해 베어링은 더 이상 원래의 형상치수를 유지할 수 없으며 이에 따른 팽창이나 찌그러짐이 조립공차에 충분히 반영되지 않는 경우 주요 소음원이 되거나 심할 경우 베어링파손의 원인이 되기도 한다.

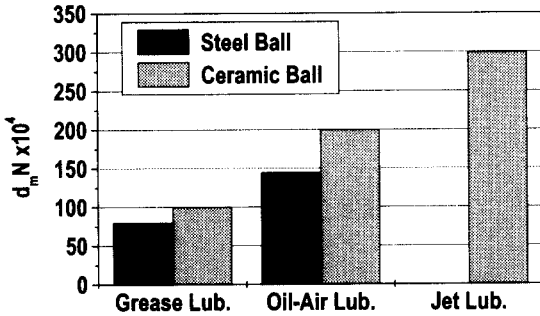


그림 17 베어링과 윤활방식에 따른 가능회전수

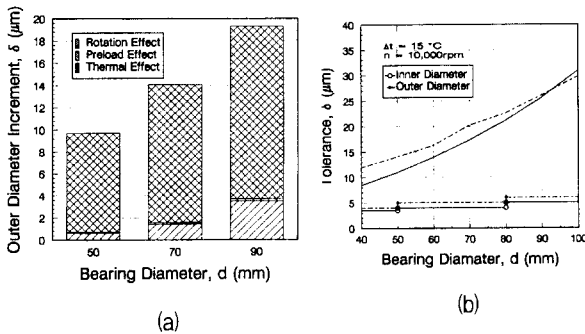


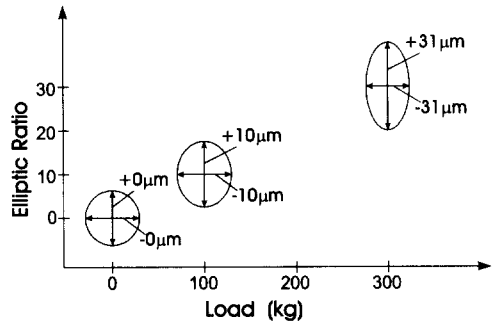
그림 18 베어링 팽창량과 추천공차의 관계

그림 18(a)는 베어링 외륜의 치수변화에 영향을 주는 인자를 조사한 결과로서 베어링 크기에 관계없이 열팽창이 가장 크게 영향을 미치게 되며 예압에 의한 영향이 가장 미소함을 나타내고 있다. 그림18(b)는 이를 토대로 회

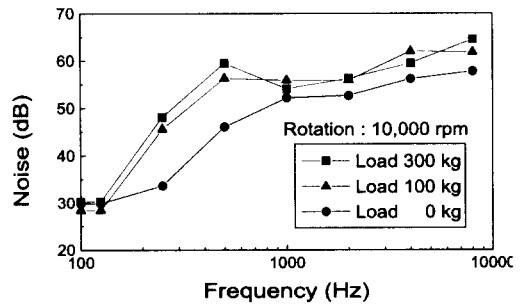
전속도 10,000 rpm, 온도상승 15°C에서의 베어링 직경에 따른 내, 외륜의 팽창량을 계산하여 베어링메이커가 추천하는 조립공차와 비교한 것으로 지름이 클수록 역지끼워맞춤 공차가 추천치에 비해 커져야 함을 알 수 있다.

그림 19는 외부 하중에 따른 베어링 외륜의 찌그러짐 및 그에 따른 소음의 변화를 측정된 결과로 찌그러짐이 클수록 500Hz이하의 소음레벨은 큰 폭으로 증가함을 보이고 있다.

주축의 냉각은 고속주축의 열변형을 억제하여 가공오차를 감소시킬 수 있는 가장 강력한 수단이다. 그림 20은 FEM을 이용하여 고속주축 및 하우징의 온도분포를 계산한 예를 나타낸 것이며 그림 21은 이러한 해석을 통해 얻어진 결과를 토대로 이중 냉각자켓을 고려하여 설계, 제작한 고속주축을 나타낸 것으로 예압방식은 스프링에 의한 정압예압방식을 이용하였다. 이중 자켓의 적용에 의해 싱글 자켓에 비해 베어링부의 온도상승은 10°C, 하우징부는 7°C정도 감소하는 결과를 보였으며 18,000rpm에서의 선단의 열변위는 약 60μm로 기저속도인 1350rpm에서의 열변위의 1/2정도로 감소하였다.



(a)



(b)

그림 19 외륜의 찌그러짐 및 그 때의 소음레벨

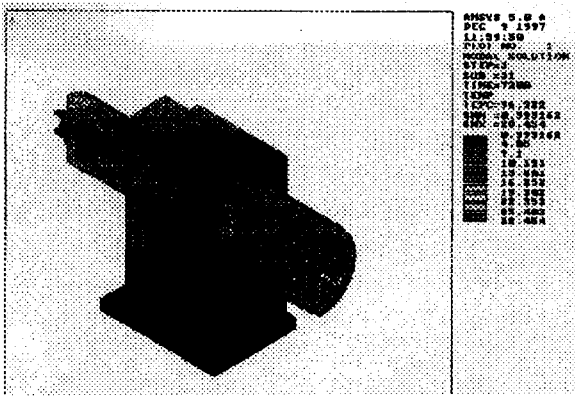


그림 20 FEM에 의한 주축 온도분포해석

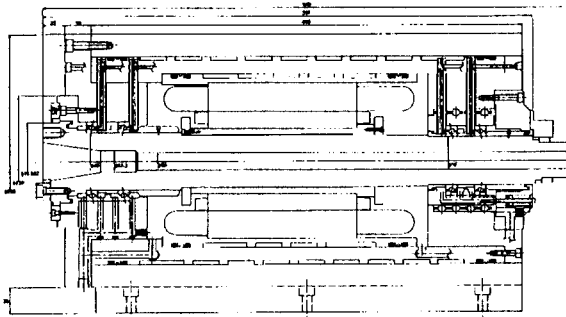


그림 21 이중 냉각자켓을 갖는 고속주축 시작품

한편 주축의 필드밸런싱은 고속주축의 진동 및 소음의 저감을 위해 필수 불가결한 공정이다. 그림 22는 고속주축 스피들을 5,000rpm에서만 양면 밸런싱했을 때와 10,000rpm에서 재차 양면 밸런싱 한 경우 10,000rpm으로 회전시켰을 때의 진동 신호를 비교한 것으로 진동레벨이 1/8정도로 감소됨을 보이고 있다.

이상에 고속화 특성은 고속주축의 설계자 입장에서 설계 및 조립시 필요한 데이터를 얻기 위해 실험한 결과들을 정리한 것이며 고속주축의 숙련된 설계를 위해서는 이 외에도 많은 영향인자가 고려되어야 하나 메이커의 정보에 의한 아웃소싱이나 일반적인 기술동향 자료로 부터 얻을 수 있는 결과들에 대한 소개는 지면 관계상 생략하였다. 또한 자기베어링을 이용한 고속주축, 가이드형식에 따른 고속이송특성, 리니어모터에 따른 고속이송 등도 중점적으로 연구되고 있으나 별도의 기회를 통해 소개할 예

정이다.

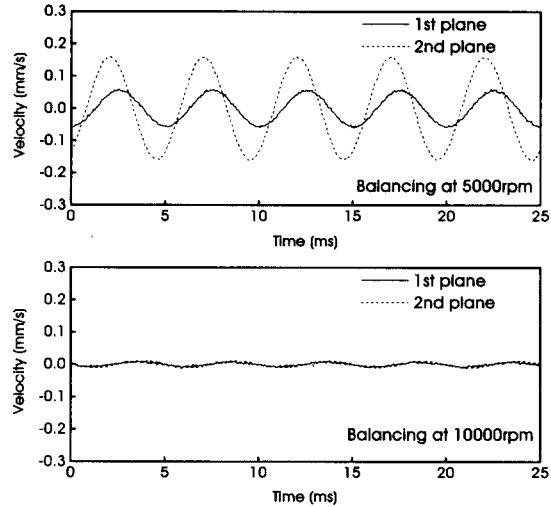


그림 22 밸런싱 회전수에 따른 진동레벨

지능화 기술의 연구동향

기존의 공작기계는 미리 결정된 정보대로의 가공을 수행하는 것에 반해 지능화 공작기계란 애매한 입력정보에 대해서도 경험적 지식을 활용하고 학습에 의해 스스로가 의사를 결정하면서 가공하는 기계라고 할 수 있다.

그림 23은 기계가공시스템의 지능화를 위해 KIMM의 자동화연구부에서 2대의 머시닝센터, 3차원측정, 자동반송장치 등을 구성요소로 하여 추진중인 고기능 자율가공시스템의 체계도를 나타낸 것이며 표2에 자율가공시스템의 실현을 위한 기술 구성 및 세부기술내용을 정리하였다. 이 가운데 공작기계 자체의 성능과 가장 관련이 있는 공작기계의 열변형 예측/보정 및 이상상태 진단기술에 대해 자세히 소개하고자 한다.

그림 24는 열변형오차의 기상 측정을 위한 측정시스템이다. 접촉식프루브가 가공물의 표면에 접촉되는 순간에 프루브에서 발생되는 적외선트리거 신호를 OMM(optical module machine)에서 검출하고 인터페이스 유니트(MI7)를 통하여 접촉점의 위치좌표가 공작기계 제어기로 전송된다. 즉, 프루브가 가공물의 표면에 접촉하는 순간에 프루브 접촉점의 X, Y, Z축의 기계좌표값을 측정할 수 있으며, 접촉식프루브의 반복정도는 1 μ m이하(2 σ)이다.

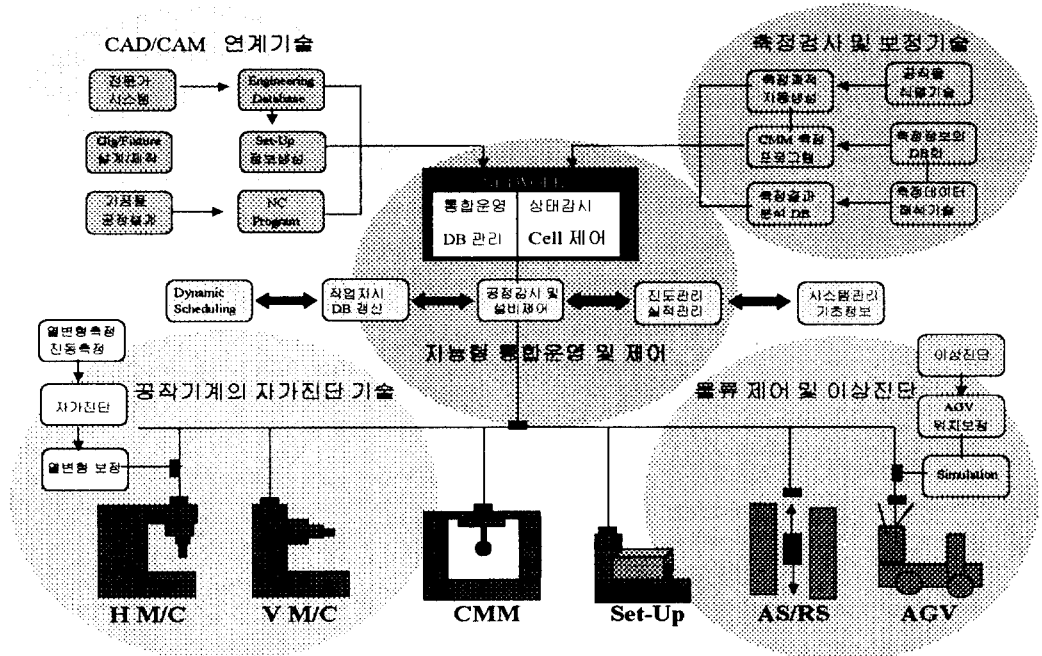


그림 23 KIMM 자율가공시스템의 체계도

표 2 자율가공시스템의 실현을 위한 기술 구성

<ul style="list-style-type: none"> ■ 지능형 통합운영 및 제어기술 <ul style="list-style-type: none"> - 자율가공시스템의 지능형 운영SW - 단위 cell의 감시 및 자가진단기술 - 자율분산형 시스템 통제기술 ■ 공작기계의 자가진단 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 공작기계의 이상상태 진단기술 - 공작기계 열변형 예측/보정기술 - 측정데이터의 신호분석 및 예측기술 ■ 측정검사 및 보정 자동화기술 <ul style="list-style-type: none"> - 측정기운용 프로그램 - 측정정보의 DB화 및 통신모듈 - 보정프로그램 및 검사 Cell 운영 SW ■ 물류시스템의 통합제어 및 이상진단기술 <ul style="list-style-type: none"> - 물류기기(AS/RS, AGV)의 개방형 통합제어시스템 - 실시간 Monitoring & Diagnosis시스템 - 자율가공시스템과의 통합운용 ■ 생산시스템의 CAD/CAM 연계기술 <ul style="list-style-type: none"> - 지능형 준비작업 시스템 및 그래픽 D/B 설계 - 준비작업 HW 구축 및 제어기술 - 지능형 준비작업 통합 SW 및 적용

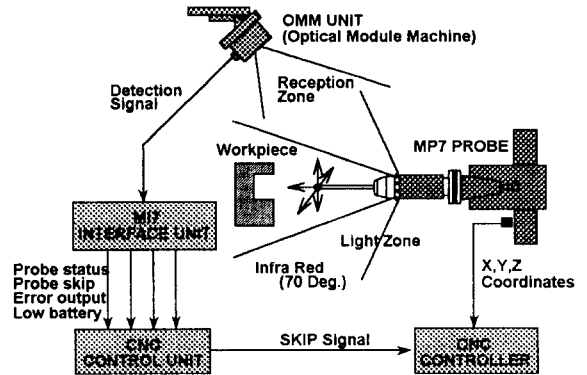


그림 24 열변형오차의 기상 측정시스템

측정이 공작기계에서 이루어지기 때문에 공작기계의 오차 측정 및 해석은 커스텀매크로를 이용하였다. 오차측정에 필요한 측정구의 기초정보 및 3차원 측정결과는 측정프로그램의 변수로 이용되도록 측정시스템을 구성함으로써 신

속한 오차측정이 가능하고, 측정결과에 기초하여 실시간적인 오차보정을 할 수 있도록 하였다.

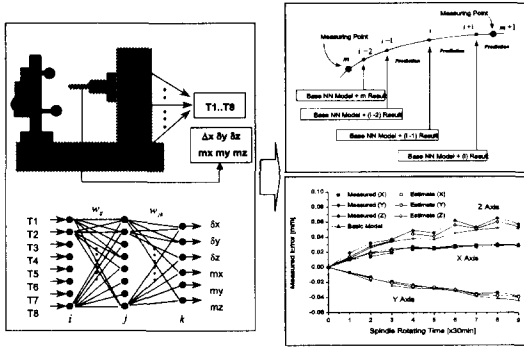


그림 25 열변형 예측/보정시스템

그림 25는 기상측정 결과를 이용한 열변형 예측/보정 시스템을 나타낸 것이다. 오차보정 방법으로는 CL데이터의 좌표를 수정하여 가공 프로그램을 생성하는 방법과 오차지도(error map)와 읍셋값을 이용한 방법이 연구되고 있다. CL데이터를 수정하는 방법은 자유곡면을 가공하는 경우에 비교적 보정이 용이하다. 읍셋값을 이용한 방법은 실시간적인 오차보정이 가능하나 오차보정에 필요한 많은 수의 읍셋변수 영역이 필요하고, 읍셋값을 포함한 가공 프로그램의 수정이 필요하다. 이러한 연구와 더불어 오차측정으로 인한 소요시간을 줄이기 위해서 신경회로망을 이용하여 오차예측을 하였으며 구성된 신경회로망 모델은 공작기계 각 부분에서 측정된 온도값과 온도조건에서 측정된 공간상의 열변형오차를 이용하여 모델링하였다. 시스템은 랜덤한 실험조건에서 측정된 온도와 기상계측 시스템의 측정결과를 이용하여 실시간 오차 예측이 가능하며 기상계측 시스템과 신경회로망 모델을 유기적으로 연계함으로써 열변형 오차 예측시스템의 신뢰성을 90%로 높일 수 있었다.

그림 26은 공작기계 상태감시 시스템을 나타낸 것으로 절삭공정의 진동감시와 기계구조물의 열변형감시 그리고 가공물의 파손 및 마모 감시로 구성되어 있다.

절삭공정 감시모듈에서는 이상상태의 특징을 물리적, 통계적 수치로 정량화하였고 측정 시간경과에 따른 변화 추이를 보이면서 현재의 신호가 사전에 설정한 정상, 경고, 위험의 레벨중 어느 상태인지를 나타내고 있다. 주제여기가 후속조처로 기계를 정지할 것인가 아니면 지속 운

전을 할 것인가를 공작기계에 지령을 주게된다. 열변형 감시 모듈에서는 주요 8개 부위의 온도를 시간경과 Chart와 수치로 나타내어 경향관리를 작업자가 손쉽게 할 수 있도록 구성하였고, 신경회로망(Neural Network)에 의한 구조물의 열변형 예측으로 현재까지의 기계의 X-Y평면에서 열변위를 쉽게 알 수 있게 하였다. 이 모듈에서도 상태감시된 열변형을 주제여기에 보정지령을 함으로써 가공상에 열변형의 오차가 남지 않도록 한다. 열변위의 보정지령주기는 자유로이 셋팅할 수 있다. 절삭공정 감시와 구조물의 열변형 감시 모듈은 측정분석, 판정과정을 거친다. 시스템은 각 요소별 상태감시 및 판정과 조치를 취할 수 있으며 전체적인 상태평가를 통하여 상위 레벨의 컴퓨터 등으로 정보를 제공하도록 되어 있다.

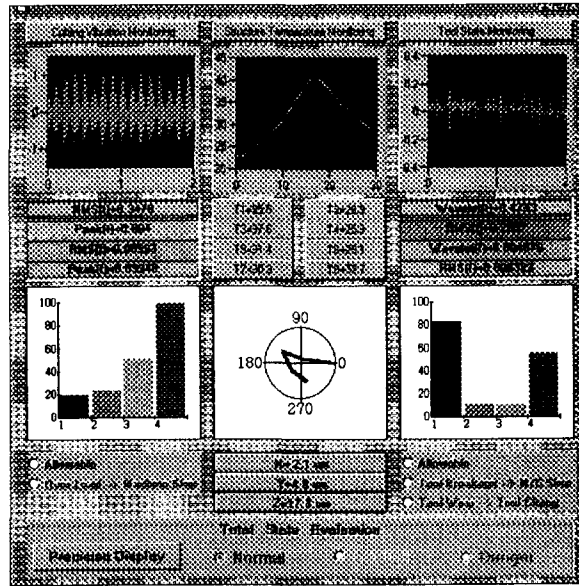


그림 26 공작기계 상태감시 시스템

이러한 연구결과들은 표2에 제시된 다른 연구내용들과 결합되어 KIMM의 자율가공시스템 모델플랜트내에서 운용되고 있으며 이 외에도 센서신호의 다차원 분석에 의한 절삭상태 감시나 가공오차의 기상측정 및 보정과 같은 다양한 지능화 연구가 실용화를 목표로 수행되고 있다.