

지능형 연삭가공 시스템



최 현 중
한국생산기술연구원
수석연구원

1. 서론

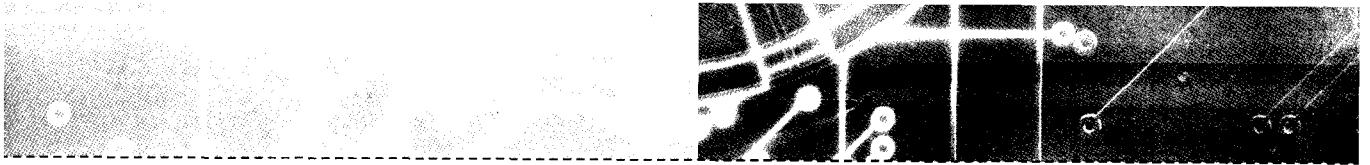
최근의 기계가공품의 고정밀화 추세에 따라 연삭가공기술도 빠르게 발전하고 있다. 절삭가공 기계들이 고속화, 고정밀화 되어가면서 과거의 연삭가공을 대체하는 경우도 많이 발생하고 있으나 한편으로는 제품의 고정밀화 요구에 따라 연삭가공의 수요가 늘어나고 있으며 높은 생산성과 고정밀, 고품위 연삭 표면을 동시에 요구하고 있다.

반도체, 가전, 정보통신 산업 등으로 대표되는 첨단 산업 분야에서도 단위 제품의 고품질화는 공작기계에 의한 초정밀 가공시스템 기술에 의존하고 있다. 특히, 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 연삭가공 시스템의 고정도화와 고속화가 무엇보다 중요하게 요구되고 있다. 연삭가공은 대직경 반도체 웨이퍼의 경면 가공, IT나 BT 산업용 정밀 부품, 광통신 부품, 광학 분야의 고정밀급 렌즈 및 사출용 금형 가공뿐만 아니라 항공기의 Turbine Blade 등 여러 산업 분야의 각종 정밀 부품의 마무리 공정에 적용되어 제품의 질을 좌우하는 필수적인 공정이라 할 수 있다. 이러한 연삭가공을 위한 가공기는 그동안 많은 부분을 수입에 의존하

여 왔는데 특히, 최근 국내 산업을 주도하고 있는 전자·통신 등에 사용되는 정밀 부품 제작용 연삭가공기의 경우에는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

국내의 공작기계 수입에서 연삭기가 수입기종(약2000억 원/년)중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있으나, 국내의 연삭기 제조업체들은 대부분 영세하고 기술력 또한 부족한 실정이라 연구개발은 매우 취약한 실정이다. 현재 국내에서는 덕흥기계, 성광정밀, 대영기계 등이 연삭기계를 전문으로 생산하고 있으나 범용 연삭기계들이 대부분이며 생산 규모도 적은 중소기업들이다.

현재 고속·정밀 연삭가공기 시장은 유럽과 일본에서 주도하고 있으며, 시장규모도 세계시장의 경우 연간 100억불 국내시장도 1500억원 정도이다. 최근에는 고속화에 대한 요구가 높아지고 있으며 선진국을 중심으로 한 공작기계 제조사들도 경쟁적으로 회전속도를 증가시키기 위하여 노력하고 있는 실정이다. 선진국에서는 고능률화와 유연성에 대응하기 위해서 활발하게 연구하고 있으며, 현재 상용화된 장비의 스피드주속도는 약 80%이며, 스피드주속도가 150%이상인 고속 연삭기는 개발 단계에 있다.



그러나 국내에서 생산되는 평면 연삭기 및 원통 연삭기는 슷돌 원주속도가 50%이하이고 반복위치 정밀도가 3 μ m 정도로서 정밀 연삭 및 고속 연삭가공이 어려운 실정이다.

최근 생산 단가를 낮추고 부가 가치를 높이기 위하여 고속, 정밀 연삭가공기술의 필요성이 급증하고 있으나, 국내에서는 슷돌 원주속도가 150% 이상인 고속 연삭기나, 고정밀 광 부품 등을 가공하기 위한 고정밀 원통 연삭기, 웨이퍼 가공을 위한 고정밀 단면 연삭기, 편심 Pin을 가공할 수 있는 연삭기, 고정밀 무심 연삭기 및 3차원 금형 형상을 가공하기 위한 성형 연삭기 등은 전문지식 및 기술력 부족으로 개발을 시작하지도 못한 상태로 전량 외국으로부터 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 고품위 가공면을 얻기 위한 고정도 연삭기를 개발하였거나, 일부 기종은 현재 연구개발 중이지만 개발하고자하는 연삭기의 사양을 선진국과 비교하여 보면 성능이 떨어지고 있다. 특히, 기존 수행과제에서 연삭기의 고속화와 3차원 형상 가공을 위한 성형 연삭기 등의 연구개발 실적이 전무한 상태이다.

고품위 가공면을 얻기 위한 방법으로 국내에서 생산중인 연삭기에 ELID 장치를 장착하여 공작물을 가공하는 경우에는 표면 거칠기가 0.01 μ m 정도까지 얻을 수 있으나 ELID를 이용하는 가공 방법은 Metal Bond 슷돌만을 사용하여야만 하며, ELID를 위한 용액이 가공기를 부식시키고, 가공물에 따른 최적의 가공 조건 선정이 힘들기 때문에 현장에 적용하여 사용하기가 어려울 뿐만 아니라 고능률 연삭은 하기 힘들다는 단점을 갖고 있다.

향후 연삭 시스템의 연구 개발은 범용기의 수준이 아니라 부가 가치가 높은 고기능성 부품 가공을 위한 전용 연삭기와 고속 연삭기 및 고정밀 연삭가공기를 중심으로 한 지능형 연삭 시스템을 개발함으로써, 고기능성 부품 생산을 위한 기본이 되는 자본재 산업 중의 하나인 국내 연삭기 제조 업체들의 연삭기 생산 기술을 선진국 수준으로 향상시켜 국제 경쟁력을 높이도록 하여야 한다.

현재 국내의 연삭기 제조업체들은 대부분 영세하고 기술력 또한 부족한 실정이라 개발이 이루어지지 못하고 있다. 그러나 국내의 연삭가공기 제조 기술을 향상시키기 위하여서는 우선 연삭가공기계의 구조해석, 고속·고정밀 스피들

설계 및 조립기술(단계별로 100%에서 150%까지), 고정밀 이송시스템 제조기술(반복위치 정밀도 $\pm 1\mu$ m 이하), 드레싱 및 슷돌 밸런싱 기술, 제어 및 측정기술 등의 핵심 기술의 구현과 응용 기술을 습득하여야만 할 것이다.

이러한 고속·고정밀에 관한 기술은 그 동안 절삭용 공작기계인 머시닝 센터 등을 선도기술과제를 통하여 개발함으로써 그 기술 수준이 상당한 수준에 이르고 있고, 이를 기반으로 지능화 된 연삭시스템을 개발한다면 성공 가능성이 높다고 할 것이다. 특히 지금까지 국내 중소기업들이 세계 최고 수준의 연삭시스템 관련 기술들을 접할 기회가 적었으나 국제 IMS project 등의 공동 수행 등을 통하여 선진국의 우수 연구 집단과 연구 교류가 활발해 짐으로서 앞으로는 국내에서 지능형 연삭시스템을 추진하는데 필요한 요소기술들의 도입이 가능하게 되었다.

그러므로 국가에서 추진 중인 IT, BT, NT 관련 부품 및 기기의 제조에 없어서는 안될 중요한 지능형 연삭가공 시스템을 개발함으로써 미래 산업을 주도할 지식 집약 산업의 창출에 일익을 담당하게 될 것이다.

2. 연삭시스템 산업의 시장 현황

2.1 국내 공작기계 시장동향

그림 1은 절삭기종별 수출입동향을 나타낸 그림이다. 2001년 국내공작기계산업의 수출은 기종별로는 주력기종인 NC절삭기계가 총 253.2백만불로 전년동기 대비 4.4% 증가한 반면 범용절삭기계(55.2백만불)와 성형기계(58.5백만불)는 각각 19.2%, 36.5% 감소하였다. NC절삭기계가 소폭이나마 증가를 보인 것은 주력품목인 NC선반이 175.0백만불로 전년동기대비 12.6% 증가한데 힘입은 것으로 머시닝센터를 비롯한 NC밀링, NC드릴링 등은 감소하였다. 범용절삭기계와 성형기계가 감소를 보인 것은 범용절삭기계는 레이저가공기, 성형기계는 프레스(37.4백만불/성형기계 총수출의 64%점유)가 전년동기대비 각각 76.9%, 30.7% 감소를 보였기 때문이다. 연삭기의 경우 다른 절삭 성형가공기에 비해 수출량은 극히 저조하며, 수출품목 또한 범용연삭기가 12.3백만 달러로 다른 범용기기보

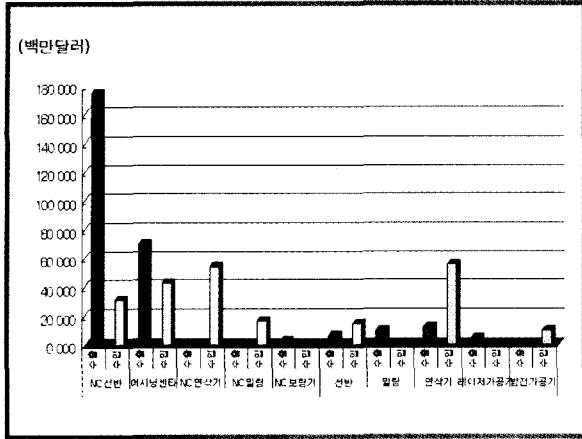


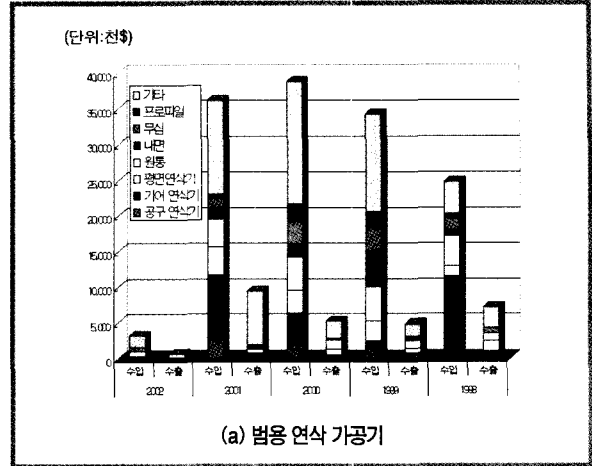
그림 1. 공작기계별 수출입 현황 (참조 : 무역협회 수출입통계자료)

다는 많지만 NC연삭기의 경우 매우 저조한 실정이다. 기종별 수입에서는 전기종이 전년대비 감소를 보였는데 특히 반도체 설비를 비롯 범용절삭기계와 성형기계의 수입이 보다 큰 감소를 보인것으로 나타났다. NC절삭기계는 전년대비 소폭(-0.6%)감소에 그쳤는데 NC절삭기계 수입 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 NC연삭기(54.3백만불 / NC절삭 총수입의 30.8% 점유)는 전년대비 29.6% 증가하였다. 한편 작년 한해 수입동향에 나타난 특징은 NC연삭기등 고기능 복합설비의 수입이 여전한 가운데 특히 통제상으로 나타나지는 않지만 중고설비의 수입이 보다 활발했던 것으로 풀이된다.

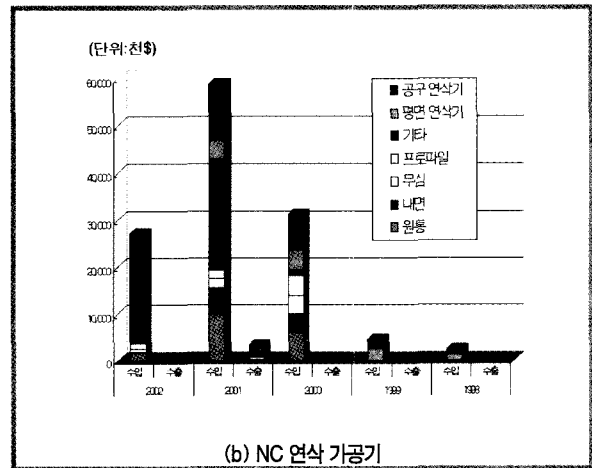
2.2 국내 연삭기산업 시장동향

그림 2는 각종 연삭기별 수출입량을 나타낸다. 그림에서 보면 대부분의 연삭기가 수입에 의존하고 있음을 볼 수 있다. 특히 수치제어식 연삭기의 경우 점차 그 수입량이 일반 범용 연삭기에 비해 늘어나고 있는 추세를 볼 수 있다.

대표적인 연삭기종의 수입은 2001년 대략 1억불로 전년 대비 5%의 증가세를 보였다. 특히 NC연삭기의 수입은 작년 대비 12%의 증가를 보인 반면 범용연삭기의 수입은 3.4%의 감소를 보였다. 기종별로 보면 NC연삭기중 원통연삭기의 수입이 10백만불로 전년 대비 70%로 가장 많은 수입을 나타냈다. 내면연삭기의 수입은 5.6백만불로 작년



(a) 범용 연삭기



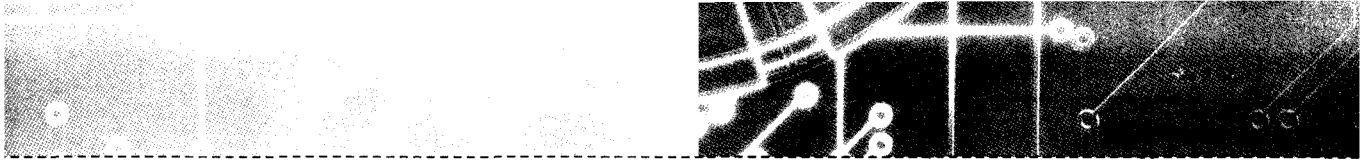
(b) NC 연삭기

그림 2. 연삭 기종별 수출입 동향 (참조 : 무역협회 수출입 통계자료)

대비 27.6%증가하였으며, 무심연삭기의 수입은 1.9백만불로 52%감소하였다. 또한 프루파일 연삭기의 수입의 경우 1.8백만불로 전년 대비 57%정도의 감소를 나타냈다.

이에 반해 연삭기의 수출은 12%로 극히 미미하여 무역역조의 대부분을 차지하고 있다. 특히 수출의 대부분은 NC연삭기 보다는 범용 연삭기가 대부분을 차지하고 있다.

연삭기 산업은 기술의 특성상 대량생산보다는 기술적 노-하루를 갖고 있는 조립 기술자에 의존하는 부분이 많으므로 부가가치가 높음에도 불구하고 대기업보다는 중소기업 규모에 적합한 기술이다. 따라서 무역역조의 주된 이유는 일반적인 관련국내기술의 취약성이외에도 외형 매출



을 중시한 경제구조상 지속적인 투자가 어려웠던 원인을 들 수 있다.

3. 연삭시스템 산업의 기술개발 동향

표 1은 선진국 연삭메카니즘 설계, 제작기술과의 세부 기술분야별 국내기술수준을 비교한 것으로서 요소 설계기술에 있어서는 국내에서도 부분적으로 연구기관들의 연구가 진행되어 왔으므로 큰 격차를 갖고 있지 않으나 고정밀도의 구현을 위한 열 특성을 고려한 설계, 해석 및 개발기술 등에 대한 구조적인 최적 설계 및 취약부 해석기술 등이 대표적으로 선진국에 비해 뒤떨어지는 분야라고 할 수 있다.

제품화기술에 있어서는 무엇보다도 부품의 가공기술 및 조립기술이 뒤떨어지며 이 부분은 지금까지 국내기업들이 대량생산을 전제로 생산기술을 진행해왔던 결과라고 할 수 있다. 이밖에 공정제어기술이나 오차측정/보정기술도 취약한 부분이나 선진국에서도 아직 개발단계이므로 지금부터 개발이 이루어질 경우 충분히 경쟁력이 있다고 판단된다.

연삭기 핵심요소의 연구개발추세는 크게 나누어 고정도/고강성화, 고 능률화 및 지능화기술로 집약될 수 있다. 고능률화를 위해서는 먼저 운동요소의 고속화가 요구되며 이에 따른 진동과 원심력을 포함한 관성력의 처리, 열발생, motor power의 부족, 안정성 등의 문제점을 해결할 필요가 있다. 고정도화에 있어서는 특히 장시간에 걸쳐 고정도를 유

표 1. 연삭 가공기 제작 관련 기술 비교

분야	세부기술분야	선진국수준	국내수준	선진국대비
주축/숫돌축	정, 동적 성능설계	◎	◎	95
	부품가공 및 조립기술	◎	○	80
	구동계 설계 및 운동정도	◎	○	80
	발열특성 해석, 보완기술	○	△	70
안내면/이송계	성능평가 및 해석	◎	△	70
	정, 동적 성능설계	◎	◎	95
	부품가공 및 조립기술	◎	△	70
	운동정도 및 미소이송정도	◎	○	80
구조설계/해석	위치결정정도/반복정도	○	○	85
	성능평가 및 해석	◎	△	70
	정, 동특성 해석	◎	◎	90
	열특성 해석	○	○	80
	최적구조설계	○	△	60
가공	가공메카니즘 해석	◎	○	80
	가공정도 예측	×	×	-
	고능률화(고속/고생산성)	△	△	70
	가공database 및 학습	○	△	70
	dressing/truing장치 및 가공기술	◎	○	80
	가공변질층/잔류응력 제거기술	○	△	70
공정제어	가공면에 의한 기계오차 요인분석	×	×	-
	대화형프로그래밍개발	◎	○	90
	가공현상의 측정 및 monitoring	△	×	60
	다축화 설계/제어	◎	○	80
	공작물 자동교환 및 고정밀파지법	○	○	85
오차측정 및 보정	가공오차 기상측정/보정	△	×	50
	숫돌마모량 inprocess측정/보정	○	○	80
	오차보정의 지능화기술	×	×	-

지하기 위해 열변형, 슛돌마모 및 드레서의 마모등이 문제가 되며 각 운동요소의 운동정도, 스케일의 정도, 센서의 감도 및 CNC의 제어정도 등도 중요한 영향인자로 작용한다.

한편 연삭가공에 요구되는 가공정도가 점점 엄격해짐에 따라 기하학적인 정도 이외에도 표면 잔류응력 등의 가공 변질층과 Crack, Scratch 등에 대한 요구도 엄격해지며 이를 실현하기 위해 가공조건, 공구, 연삭액, 기계정도의 영향인자를 어떻게 처리할 것인가도 중요한 과제이다.

고능률화와 고생산성을 동시에 만족하기 위해서는 무인 화기술을 발전시킬 필요가 있다. 아직 FMS에 연삭기를 배치하기에는 많은 문제가 남아있는데 특히, 가공에 관한 많은 경험과 지식을 구비한 CNC장치의 개발 및 고정도의 센싱기능의 조합 및 연삭기 자체의 지능화등이 해결되어야 할 과제이다.

이러한 연삭기 고기능화 기술의 현상을 핵심기술별로 분류하여 분석해보면 다음과 같다.

3.1 슛돌축 및 주축

연삭기의 특성상 가장 필요로 하는 고정밀 가공을 실현 하기 위해서는 가공물의 형상정도와 표면조도를 지배하는 주축 회전계의 고정밀 특성이 요구된다.

표 2는 주축에 사용 가능한 베어링의 형식 및 요구성능에 따른 장, 단점을 나타낸 것으로 유정압 베어링의 경우 공기베어링과 같은 유막의 평균화 효과를 기대할 수 있어 구성부품의 형상오차보다 우수한 회전정도를 기대할 수 있으며 상대적으로 높은 강성, 부하용량 및 우수한 감쇠특성을 보유하고 있으면서도 비접촉에 의한 무보수, 반영구적인 수명 등의 장점이 있어 고정밀 연삭기용 주축베어링으로써 많이 사용되고 있다.

유동압 베어링의 경우에는 특히 유럽을 중심으로 종래부터 많이 이용되고 있으나 제작상의 노-하수가 많아 단기간에 개발하여 기술을 안정화시키기 어렵고 발열량이 크다는 단점이 있다.

공기 베어링을 사용할 경우 정밀도나 고속화 그리고 보수, 유지면에서는 오히려 유정압 베어링보다 많은 장점을 가지고 있으나 강성이 작아 적용이 어려운 실정이다. 이를

표 2. 각종 베어링형식의 성능비교

요구성능	로울링	유정압	유동압	공기정압	공기동압	자기
회전정도	△	◎	○	◎	○	○
고속회전	○	×	△	◎	◎	◎
강 성	◎	◎	○	△	×	×
부하용량	◎	◎	△	△	×	×
감 쇠 성	×	◎	◎	△	△	△
발 열	○	△	×	◎	◎	○
보수관리	◎	△	○	△	△	○
수 명	△	◎	○	◎	◎	◎
제 작 비	◎	○	○	×	×	×

◎ : 특히 양호, ○ : 양호, △ : 보통, × : 불량

표 3. 베어링형식별 도달가능 정도

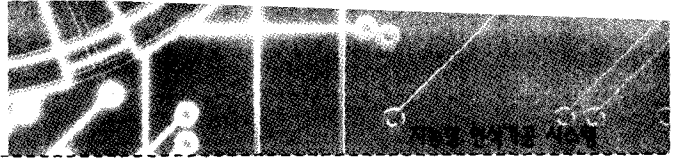
형 식	로울링	유정압	유동압	공기정압
일반적인 회전정도	1 μ m	0.2 ~ 0.5 μ m	0.5 ~ 1.0 μ m	0.05 ~ 0.1 μ m
현재최고 회전정도	① 0.3 μ m	② 0.05 μ m	③ 0.15 μ m	④ 0.02 μ m

- ① 일본 예구로사 NC선반 NUCPAL-10
- ② 일본 토요다공기 TOYODA STAT BEARING
- ③ 독일 Boley사 선반
- ④ 미국 Professional Instrument사 주축유니트

극복하기 위한 방안으로 베어링 간극을 1 μ m 정도로 줄이는 방법과 능동가변형 보상요소를 이용하여 무한 강성화 하는 연구 등이 시도되고 있으나 아직 제품에 적용하기에는 많은 문제를 안고 있다.

볼 베어링은 유정압, 공기정압 등의 미끄럼 베어링에 비해 정도를 높일 수 없고 수명이 상대적으로 짧다는 단점이 있으나 규격화되어 있어 설계, 제작이 용이하고 최근 들어 정밀도도 상당히 높아져 있어 고정밀도가 요구되지 않을 경우 가장 일반적으로 사용되고 있다. 자기베어링은 특정 회전수범위에서 고강성을 얻을 수 있고, Auto balancing 이 가능하며 높은 제진 효과를 줄 수 있다는 장점이 있으나 고비용 및 기술의 안정성 면에서 아직 실용화가 어렵다.

표 3은 베어링형식별 현재 도달 가능한 회전정도를 해외 시장을 통해 발표된 카탈로그 및 기술논문 등을 수집, 정리한 것이다.



3.2 안내면

고정도화, 고강성화와 더불어 안내면의 제어정도 향상을 위해서는 저마찰화가 커다란 과제이며 이러한 점에서 유정압 베어링을 이용한 안내면은 가장 유리한 메카니즘이므로 가장 많이 채용되고 있다. 그러나 주축에서와 마찬가지로 유정압 베어링은 발열특성이 나쁘므로 고정도화를 위해서는 온도상승을 고려한 설계가 필요하게 된다.

롤러베어링을 이용한 안내면의 경우 미국, 유럽을 중심으로 몇몇 메이커에 의해 지속적으로 사용되고 있는데 일반적으로는 유정압 베어링에 비해 열세이나 롤러의 가공정도를 조절할 수 있는 경우에는 비접촉베어링과 거의 같은 정밀도를 얻을 수 있으면서도 조립, 제작면에서 유리하게 된다.

리니어 볼베어링의 경우에는 감쇠성 면에서 문제가 있어 연삭기 안내면용으로는 거의 채택되지 않고 있으나 최근 들어 고정도의 베어링 생산이 가능해짐에 따라 연삭기에의 적용이 시도되고 있으며 설계, 조립의 용이성으로 기술이 안정화될 경우 적용은 늘어날 것으로 전망된다. 또한 리니어 볼베어링의 감쇠특성을 보완하기 위한 방편으로 미끄럼베어링과 복합된 하이브리드볼베어링도 제안, 연구되고 있다.

3.3 구조형태

구조형태에 있어서는 CBN숫들의 사용에 의한 기계의 소형화 이외에는 종래의 구조와 큰 변화가 없으나 시스템 적합화를 목표로 공작물 축을 고정하고 숫돌대 축을 이동하는 방식이 많이 채용되고 있다. 이러한 구조로 할 경우 테이블을 이송시키기 위한 공간이 불필요하여 가동스페이스를 절약할 수 있으며 공작물의 대소에 관계없이 정도를 안정화시킬 수 있고 공작물 고정을 위한 Loading & Unloading이 용이하여 작업준비 시간을 단축, 자동화에 유리하다는 장점이 있다.

3.4 열변형 대책

연삭기에 있어 열변형은 요구되는 가공물의 가공정도와 비교할 때 매우 큰 오차요인으로 작용할 수 있으므로 각종

발열 원에 대해 주의 깊은 설계와 해석에 의한 검증이 필요하다.

연삭기에 있어서 주요 발열 원으로는 모터, 유압장치, 주축/안내면용 베어링 및 이송용 볼 스크류, 그리고 연삭시의 절삭저항에 의한 발열 등을 들 수 있으며 열변형을 감소시키기 위한 대책으로는 발열 원에 대한 냉각이나 기계 전체에 대한 오일샤워방식 등의 냉각방식, 저열팽창재료의 사용 및 열적 대칭구조의 설계 등에 의한 열변형량의 억제, 그리고 소프트웨어에 의한 열변형의 보정이나 능동 제어에 의한 보정 등의 오차보정 방식이 있다.

3.5 가공기술

연삭가공에 있어서는 기계정도의 전사에 의한 정도이외에 가공기술에 의한 정도오차요인이 많이 존재한다. 따라서 가공물의 소재 및 가공능력 그리고 숫돌재질, 입도, 결합도, 조직, 결합계 등 숫돌의 특성을 결정하는 영향인자를 고려한 적절한 숫돌의 선정, 기계강성과 요구표면조도, 소재 등을 고려한 가공조건의 선정 및 주변장치, 기술의 적절한 배치가 필요하다.

일반적인 조건에 의한 Database화 및 학습에 의한 지능화 가공기술도 시도되고 있으나 범용적인 Database화는 현 상태에서 매우 어려우며 각각의 고유기종에 적합한 Database 및 지능화가 상품화에 효율적이라고 판단되고 있다.

평면/원통연삭의 고능률화를 위해서는 소재에 따라 숫돌의 성형에 의한 성형 연삭기능이나 Creep Feed 연삭기능 혹은 이 둘을 결합한 기능이 첨가된 기종이 주류이나 CBN 휠을 이용한 고속 성형연삭도 점차로 보급되고 있다.

최근의 연삭가공에 관한 연구로는 초지립 숫돌의 이용 기술 및 트루잉, 드레싱기술, CBN숫돌의 성능을 높이기 위한 고속 연삭법 및 연삭액 공급법, 새로운 숫돌의 개발 등이 주요 테마로 등장하고 있다. CBN숫돌의 장점은 내마모성에 의해 숫돌 경을 작게 유지할 수 있으므로 기계의 소형화가 가능하고 숫돌교환이 쉽다는 것이다. 또한 숫돌 폭을 작게 함으로써 각종 공작물형상에 쉽게 대응할 수 있으며 숫돌축의 직경을 크게 할 수 있어 고강성화에 유리

하다는 장점도 있다.

3.6 제어기술

CNC장치의 32bit화와 함께 0.1 μ m의 스케일 피드백에 의한 Closed 제어방식을 채용하는 연삭기가 점차 증가하고 있으며 이에 따라 가공정도 및 안정성도 한층 향상되고 있다.

서보계의 추종시간 지연을 저감시키기 위한 피드포워드 제어, 원호가공시 상한의 변화에 따른 가공정도의 악화를 방지하기 위한 비선형 보상제어 등의 서보기술과 고분해능 위치 검출기 등의 구성요소의 설계기술도 매우 중요하다. 최근에는 0.01 μ m의 리니어 스케일도 시판되고 있으며 기계기술의 고도화와 함께 제어정도는 향후 훨씬 향상될 것으로 기대된다. 또한 절입축 이외에 드레싱장치에도 동일한 제어방식이 채용되어 슷돌의 성형 정밀도도 향상되고 있으며 이에 따라 가공정도가 한층 향상되고 있다. 또한 고속 연삭이 가능한 CPU의 등장과 함께 고정도, 고속이송의 실현 및 복잡한 윤곽형상의 가공도 대응 가능할 수 있게 되었다.

3.7 드레싱 및 슷돌 마모량 측정/보정 기술

스�돌은 절삭공구에 비해 마모가 빠르고 직경이나 길이가 변화하기 쉬우므로 가공 후나 트루잉/드레싱 후의 슷돌 경을 정확히 측정해서 보정할 필요가 있다. 또한 가공면이나 슷돌의 수명을 안정화시키려면 트루잉량의 안정화가 중요하므로 트루잉 전에 슷돌 경을 측정하여 연삭량을 일정하게 할 필요가 있다. 또한 슷돌만이 아니고 다이아몬드 드레서도 마모되므로 이에 대한 보정도 필요하다.

트루잉 장치와 슷돌경이나 길이를 자동 측정하는 장치들은 보통 본체의 테이블 위에 설치된다. 그러나 이 경우 공작물에 대한 작업면적이 감소되고 테이블을 효율적으로 사용할 수 없으므로 칼럼 등에 설치하고 트루잉/드레싱 시에만 신뢰시켜 테이블 상에 오게 하고 끝나면 다시 원래의 장소로 되돌리는 방법 등이 최근에 많이 사용되고 있다.

3.8 앞으로의 전망

자본재 산업의 근간이 되는 공작기계 산업은 전략적으로 육성되어야 할 것이고 관련 정부부처에서는 2004년 이후 세계 제4위의 공작기계 수출국가로 부상할 계획을 가지고 있어, 국제 경쟁력 확보를 위해서는 설계능력 자립을 위한 연구개발이 선행되어야 한다. 현재 공작기계의 기술개발 추세는 크게 나누어 고정도화, 고속화, 지능화 등의 분야로 기술발전이 이루어지고 있으며 연삭기 분야에 있어서도 이러한 추세는 마찬가지이다.

그러나 연삭기의 경우 고정도화에 대한 개발은 기타 공작기계에 비해 선행되었던 반면, 고속화와 지능화는 진전이 다소 늦어지고 있다. 따라서 현 단계에서 고정도화를 단기집중개발 목표로 하고 고속화, 지능화를 중장기 개발 및 보완 목표로 하여 기술개발을 추진할 경우 선진국 제품기술에 대해 효율적으로 대응하면서 기술적 효과를 높일 수 있다고 판단됨.

4. 지능형 연삭가공 시스템 개발 현황

4.1 목표 및 진행계획

“고기능성 부품가공용 지능형연삭시스템 개발”과제는 국내 공작기계산업을 발전시켜 활성화시키고, 고부가가치를 창출할 수 있는 고기능성 부품 생산 분야에서 기술적 선도화를 위한 지능형 연삭시스템의 핵심 부품과 기술의 개발 및 시스템의 실용화 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 표 4는 단계별 개발내용 및 추진 목표를 나타내었다. 그림 3은 전체 과제 내용에 대한 일정을 도시화 한 그림이다. 단계별 내용은 우선 1단계에서는 지능형 연삭 시스템의 요소 부품, 주변장치의 설계·제작 기술 및 가공성 평가 기술 개발을 수행한후 2단계에서는 1단계에서 개발된 단위부품과 요소기술들을 통합하여 지능형 연삭 시스템의 개발 및 신뢰성 평가를 통한 상품화를 수행한다. 즉, 고기능성 부품가공용 주축과 고정밀 이송/제어 시스템, 연삭 시스템 주변장치, Dressing Unit 및 가공DB등을 구축하여 성능 평가를 통한 신뢰성을 확보하여 2단계에서 개발하고자 하는 지

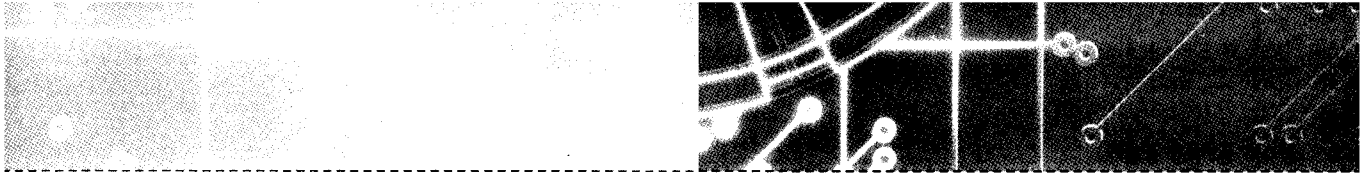


표 4. 단계별 개발내용 및 추진 목표

년도	주요개발내용/범위	추진 목표
1 단계	수직 고강성 모터 내장형 공기 정압 주축 개발	- 주축 강성 300N/μm, 주축 회전 정밀도 0.5μm 이하, 주축 회전수 7,000rpm,
	광학부품 및 광통신 부품 가공용 고정밀 주축 개발	- 회전수 10,000rpm, 회전정밀도 0.2μm
	고기능성 부품 가공용 연삭시스템 주변장치 개발	- 자동 Loading/unloading 장치 개발 - 웨이퍼 세정장치 개발
	고정밀 이송/제어 시스템 개발	- 이송분해능 0.05μm 이내 - 반복정밀도 ±0.2μm 이내
	가공 DB 구축 및 신뢰성 평가 기술 개발	- 가공 DB 구축 - 고품위 드레싱 장치 개발
2 단계	동축 가공용 원통 연삭시스템 개발	- 페룰의 가공하기 위한 동축 가공기 개발 - 제품 동심도 : 2σ 기준 0.3μm 이내
	미세 곡면 형상 연삭시스템 개발	- 비구면 렌즈의 초정밀 가공기 개발 - 가공물 형상 정밀도 : 50nm/ ∅50mm 이하
	지능형 무심 연삭시스템 개발	- 안내면 강성 : 500N/μm - 반복 정밀도 : 0.2μm 이내
	대직경 단면 연삭시스템 개발	- 평탄도(TTV) : 0.8μm 이내 - 웨이퍼 Throughput : 50pcs/hr 이상
	가공 DB 구축 및 신뢰성 평가 기술 개발	- 연삭시스템의 운동정밀도 측정 및 분석을 통한 신뢰성 평가

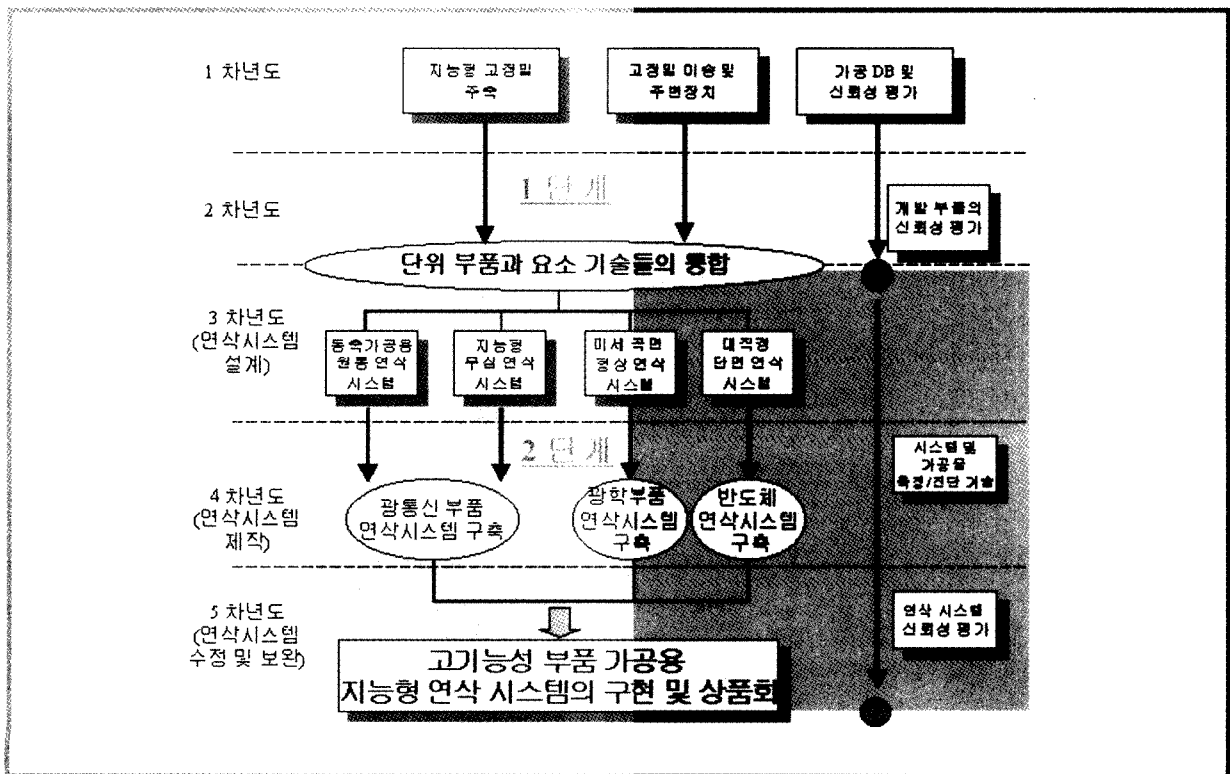


그림 3. 계략적인 과제 진행 추진 일정

능형 연삭 시스템에 적용하고자 한다. 또한 구축된 가공 DB는 생산 기술과 접목하여 고 품질의 제품을 생산할 수 있도록 할 것이며, 비구면 설계 S/W의 개발로 향후 새로운 제품을 개발할 수 있는 기술을 보유하게 될 것이다.

4.2 기술개발의 파급효과 및 활용방안

본 과제에서 개발하고자 하는 웨이퍼 단면 가공용 주축, 비구면 형상 가공용 주축, 동축 가공용 주축, 고정밀 이송/제어 시스템, 연삭기 주변장치, 페룰·웨이퍼·비구면 렌즈 등의 연삭 특성 실험 및 가공 DB 구축, 고기능성 부품 가공용 Dressing Unit 제작기술, 비구면 렌즈 설계 전용 Software 개발 및 환경 친화 냉각시스템의 설계·제작 및 냉각성능 평가 기술이 개발이 되면 다음과 같은 기술적, 경제·산업적 효과를 얻을 수 있다.

(1) 기술적 측면

- 수직 고정성 모터 내장형 공기 주축 설계 및 제작 기술 확보
- 실리콘 웨이퍼 가공용 주축 부품 개발 기술 확보
- 초정밀 주축 부품 개발로 인해 일반 공작기계의 주축 설계 기술의 향상
- 고품질 렌즈 설계 및 가공기술의 기반구축 및 차세대 고부가가치 사업육성
- 고부가가치 고기능 부품의 설계/제조 기술 확보
- 초정밀 자동 Loading/Unloading 장치 개발
- 단면 연삭기용 스피드라이 내장형 세정기 제작기술 개발
- 고정밀 이송/제어기술의 파급으로 고부가가치형 가공기의 국산화
- 웨이퍼 두께편차 TTV 0.5 μ m이하, STIR 0.3 μ m이하
- 표면조도 Ra 10nm 표면하부 결함깊이 1 μ m이하의 초정밀 연삭기술 확보로 각종 웨이퍼, 광학부품, 박막, 미세 정보통신기기 등에 대한 초정밀 가공기술 및 DB 구축
- 동심도(2 σ 기준) 0.8 μ m 이내의 초정밀 페룰 가공기술 개발 및 DB 구축

- 초정밀 마이크로 렌즈의 제조기술 확보
- 비대칭 비구면 렌즈의 설계 및 제조기술 확보
- 고기능성 부품을 초정밀 가공하기 위한 숫들의 형상과 표면 상태를 최적화하기 위한 Dressing Unit와 Dresser의 개발
- 고정밀도를 구현하는 가공시스템 및 상용장비에 대한 요소기술의 확보 및 시스템 Integration 기술 확보로, 국내 반도체 기초 기반기술의 극대화

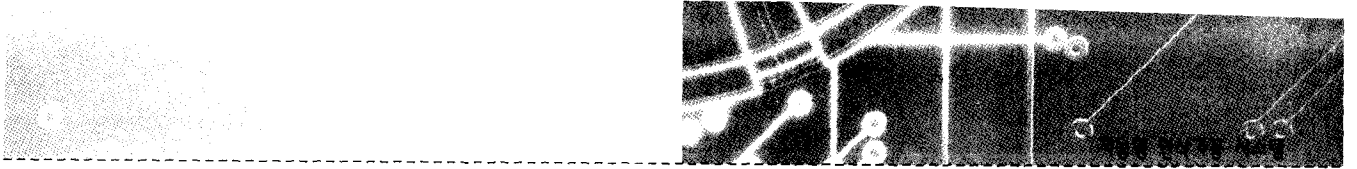
(2) 경제·산업적 측면

- 연삭 시스템용 주요 부품의 개발로 수입 대체 효과 및 수출 증대 효과
- 고기능성 Loading & unloading 시스템기술은 여러 가공물들의 최종 외관가공공정에 도입될 수 있으므로 무심연삭기, 곡면 연삭기, 원통연삭기, 머시닝센터, 특수선반 등의 기계장치에도 도입이 가능
- 고기능성 부품 가공용 공작기계를 포함하여 초정밀 기계장치산업에서 국내 업체의 국제적 위상정립을 통한 시장진출, 장악 능력 증대
- 첨단 세정기술과 초정밀 측정 기술은 반도체 제작공정, LCD제작공정, 특수사양의 초미세 전자부품생산 분야에도 널리 도입이 가능
- 가공 DB의 구축에 따른 생산성 향상으로 생산비용 절감
- 냉풍공급 시스템의 저가격화를 통하여 중소기업들도 이 기술을 잘 활용될 수 있도록 함으로서 절삭유에 의한 환경오염을 방지하고 국제적인 경쟁력을 가질 수 있다.
- 초정밀 가공기술 확보를 통한 국내 광학부품, 반도체, 비구면 렌즈 등을 생산하는 업체의 국제경쟁력 향상
- 고품질 렌즈가공기술의 기반구축 및 차세대 고부가가치 사업육성.

(3) 연삭기 개발의 파급효과

연삭기는 대부분의 제품 생산공정에 있어 핵심 부품의 최종 성능을 구현하는 데에 필요한 정밀도를 얻기 위해 적용되므로 연삭기 제작기술은 고부가가치 산업의 중요한 기반기술이며 기술개발에 의한 파급효과가 다음과 같이 매우 큰 기술이다.

- 실리콘 웨이퍼 단면 연삭 장치의 핵심 부품 개발로 인



- 해 단면 연삭 장치 개발 가능
- 반도체 제조 후공정의 하나인 웨이퍼 백그라인딩 (Backing Grinding)용 연삭 장치 주축 및 장비 개발
 - 세라믹 등의 고기능성 부품의 연삭 가공용 주축으로 활용 및 장비 개발
 - LCD 유리 기판 연삭 주축으로 활용 및 장비 개발
 - 고속 머시닝 센터, 고속 터닝 머신등의 주축으로 활용
 - 정보통신 및 반도체, 생명공학, 의료기기 등 관련분야

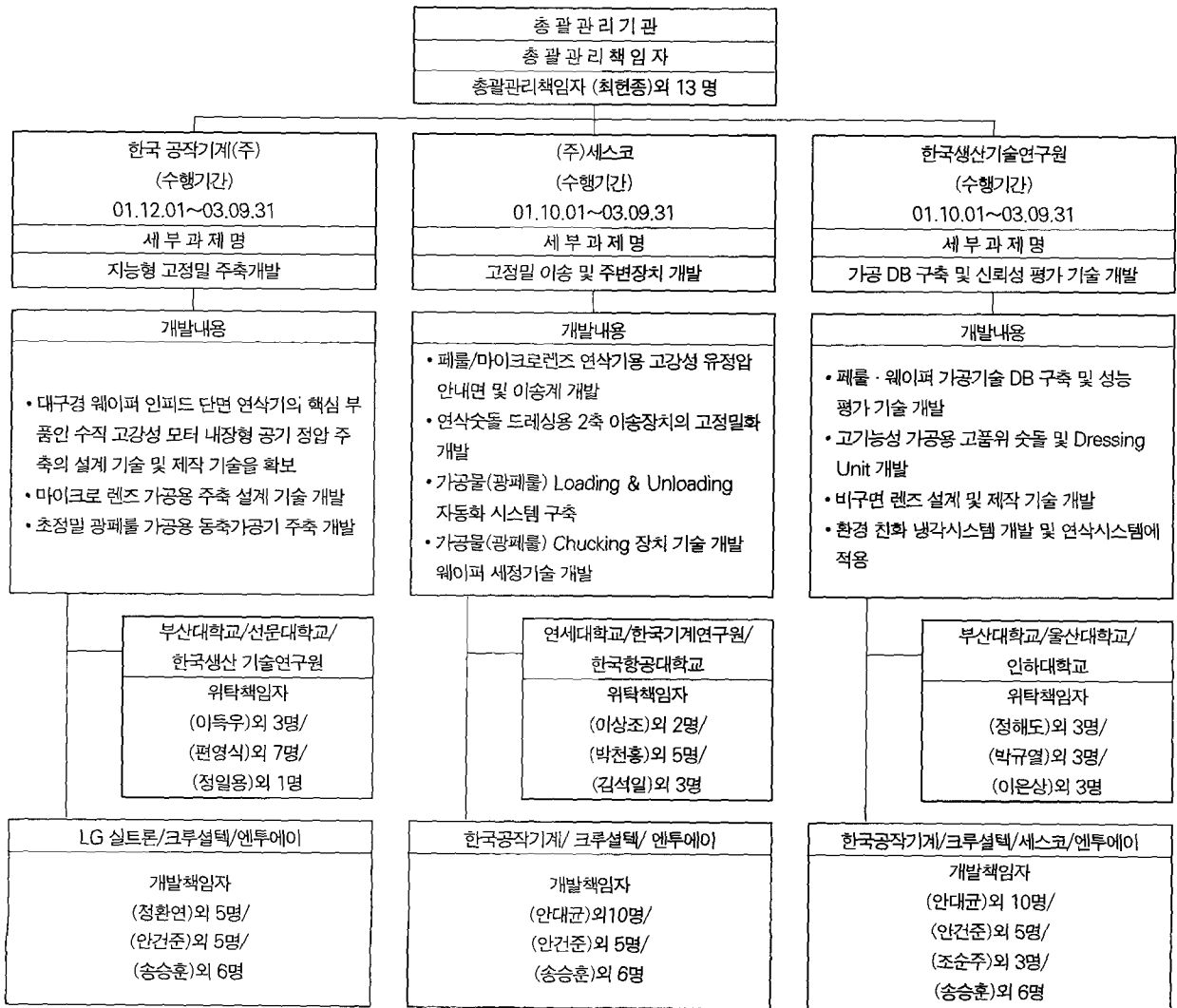
의 핵심부품 국산화.

- 관련 공작기계의 초정밀가공기술에 응용.
- 초정밀 CNC 원통연삭기/평면연삭기 등의 국산화 개발에 활용

4.3 연구개발 체계도

표 5는 중기거점 과제를 수행하기위한 연구개발 체계도

표 5. 과제 추진 체계도



를 나타낸것으로서 한국생산기술연구원에서 총괄 주관을 하고 산·학·연 공동 연구를 통하여 연구 개발을 진행하고 있다. 제1,2세부과제의 주관은 기업이 하며 제3과제에는 다른 세부 과제의 주관기관이 참여기업으로 참여하여 각 세부과제에서 개발된 부품들의 가공성과 신뢰성을 평가 받도록 하였다. 이러한 신뢰성 평가 데이터를 이용하여 각 기 다른 세부과제에서 개발된 부품과 기술들을 공유 할 수 있도록 하였다.

5. 결론

현재 절삭공작기계 가운데 연삭기는 수입금액 약 110,000,000\$로 가장 수입 의존도가 높아 전체 수입의 35%정도를 점유하고 있다(관세청 무역통계년보 참조). 연삭기는 대부분의 제품 생산공정에 있어 핵심 부품의 최종 성능을 구현하는 데에 필요한 정밀도를 얻기 위해 적용되므로 연삭기 제작기술은 고부가가치 산업의 중요한 기반기술이며 기술개발에 의한 파급효과가 매우 큰 기술이다.

정밀 연삭기 시장을 계속 해외제품에 의존할 경우 설비 투자액의 가중에 따른 생산성 및 제품의 부가가치 하락은 불가피하며 국내 기반기술의 부족에 의한 설비개발의 유연성 부족으로 기술응용분야로의 진출에도 주요 장애요인으로 작용할 것이다. 따라서 현 상황에서 대부분의 기업에 있어 불황에 대한 주요 타개책인 고부가가치 기술개발의 확보를 위해서는 이를 뒷받침해줄 수 있는 정밀 연삭기와 같

은 핵심기반 기술의 국산화개발이 필수적이다.

“고기능성 부품가공용 지능화 연삭 시스템 개발”과제를 통하여 웨이퍼 단면 가공기용 주축, 비구면 형상 가공용 주축, 동축 가공용 주축, 고정밀 이송/제어 시스템, 연삭기 주변장치, 페룰·웨이퍼·비구면 렌즈 등의 연삭 특성 실험 및 가공 DB 구축, 고기능성 부품 가공용 Dressing Unit 제작기술, 비구면 렌즈 설계 전용 Software 개발 및 환경 친화 냉각시스템의 설계·제작 및 냉각성능 평가 기술의 개발이 완료되면, 향후 부가 가치가 높은 고기능성 부품 가공을 위한 전용 연삭기와 고속 연삭기 및 고정밀 연삭가공기를 중심으로 한 국내 연삭기 제조 업체들의 연삭기 생산 기술을 선진국 수준으로 향상시켜 국제 경쟁력을 높일 수 있을 것이다.

참고 문헌

- (1) 강철희, “공작기계의 첨단기술,” 주식회사 기술정보, 2000.
- (2) 한국기계연구원, “고속·지능형 가공시스템의 개발연구,” 1차년도 중간보고서, 2000.
- (3) 한국생산기술연구원, “고기능성 부품가공용 지능형 연삭 가공 시스템 기술개발에 관한 산업분석”, 산업자원부, 2001.