

고기능성 부품가공용 지능형 연삭시스템 연구개발 현황

최현종* (한국생산기술연구원)

Development of Intelligent Grinding System for High Performance Part

H. Z. Choi(KITECH)

ABSTRACT

A grinding technology is very essential to finish the surface of IT and BT industrial application parts such as wafer, optical connection part and lenses etc. However the grinding machine has been depended on imports. Especially, it is completely imported for machining high precision part relevant to domestic electric and communicational industries. The amount to import grinding machine is about \$110milions. It takes about 35% of total import amount of all the machine tools. A domestic grinder manufacturer is a very small-scaled businessman and research facilities is poor.

Recently, it is increasing to demand high speed and precision grinding technology because it brings cost down and value added up. Its further study will be something related to intelligent grinding system for value added and high precision part. It will make domestic grinding technology to its advanced country level.

Key Words : Grinding technology(연삭기술), present status(현황), value added part (고부가가치 부품)

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.

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 그 동안 많은 부분을 수입에 의존하여 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(약 1500억원/년)중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있으나, 국내의 연삭기 제조업체들은 대부분 영세하고 기술력 또한 부족한 실정이라 연구개발은 매우 취약한 실정이다.

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 위하여 활발하게 연구하고 있으며, 현재 상용화된 장비의 스피드원주속도는 약 80ms이며, 스피드원주속도가 150ms이상인 고속 연삭기는 개발 단계에 있다.

최근 생산 단가를 낮추고 부가 가치를 높이기 위하여 고속, 정밀 연삭가공기술의 필요성이 급증하고 있으나, 국내에서는 스피드 원주속도가 150ms 이상인 고속 연삭기나, 고정밀 광 부품 등을 가공하기 위한 고정밀 원통 연삭기, 웨이퍼 가공을 위한 고정밀 단

면 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. 국내에서도 고품위 가공면을 얻기 위한 고정밀 연삭기를 개발하였거나, 일부 기종은 현재 연구개발 중이지만 개발하고자 하는 연삭기의 사양을 선진국과 비교하여 보면 성능이 떨어지고 있다.

향후 연삭 시스템의 연구 개발은 범용기의 수준이 아니라 부가가치가 높은 고기능성 부품 가공을 위한 전용 연삭기와 고속 연삭기 및 고정밀 연삭기 공기를 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.

2 연삭시스템 산업의 시장 현황

2.1 국내 공작기계 시장동향

Fig. 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 175.0 백만불로 전년동기대비 12.6% 증가한데 힘입은 것으로 머시닝센터를 비롯한 NC밀링, NC드릴링기 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 범용기기보다는 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 수입중 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 고

기능 복합설비의 수입이 여전한 가운데 특히 통계상으로 나타나지는 않지만 중고설비의 수입이 보다 활발했던 것으로 풀이된다.

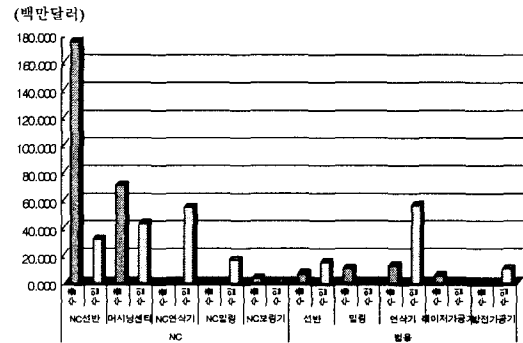


Fig. 1 Present status of import and export according to machine tools

(Reference : The office of Customs Administration)

2.2 국내 연삭기산업 시장동향

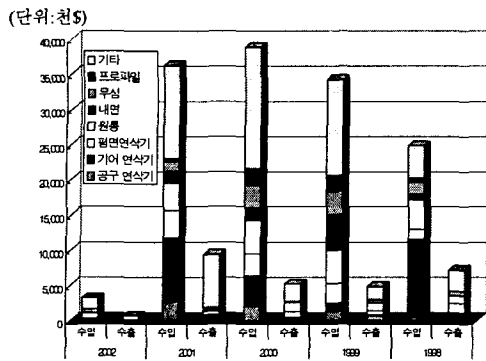
1) 국내 시장규모

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

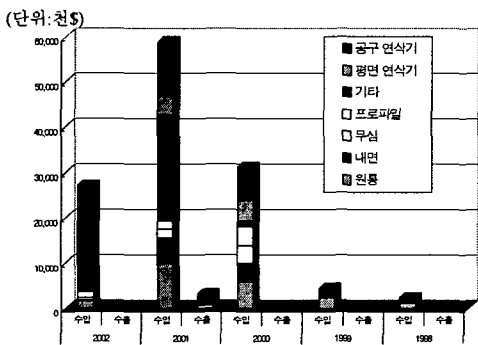
대표적인 연삭기종의 수입은 2001년 대략 1억불로 전년대비 5%의 증가세를 보였다. 특히 NC연삭기의 수입은 작년대비 12%의 증가를 보인 반면 범용연삭기의 수입은 3.4%의 감소를 보였다. 기종별로 보면 NC연삭기중 원통연삭기의 수입이 10백만불로 전년대비 70%로 가장 많은 수입을 나타냈다. 내면연삭기의 수입은 5.6백만불로 작년대비 27.6%증가하였으며, 무심연삭기의 수입은 1.9백만불로 52%감소하였다. 또한 프로파일 연삭기의 수입의 경우 1.8백만불로 전년대비 57%정도의 감소를 나타냈다.

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-하우를 갖고 있는 조립 기술자에 의존하는 부분이 많으므로 부가가치가 높음에도 불구하고 대기업보다는 중소기업 규모에 적합한 기술이다. 따라서 무역역조의 주된 이유로는 일반적인 관련국내기술의 취약성이외에도 외형 매출을 중시한 경제구조상 지속적인 투자가 어려웠던 원인을 들 수 있다.



(a) Common grinding machines



(b) NC grinding machines

Fig. 2 Present status of import and export according to grinding machines
(Reference : The office of Customs Administration)

3 연삭시스템 산업의 기술개발 동향

Table 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 개발기종에 대한 구조적인 최적 설계 및 취약부 해석기술 등이 대표적으로 선진국에 비해 뒤떨어지는 분야라고 할 수 있다.

제품화기술에 있어서는 무엇보다도 부품의 가공 기술 및 조립기술이 뒤떨어지며 이 부분은 지금까지 국내기업들이 대량생산을 전제로 생산기술을 진행해 왔던 결과라고 할 수 있다. 이밖에 공정제어기술이나 오차측정/보정기술도 취약한 부분이나 선진국에

서도 아직 개발단계이므로 지금부터 개발이 이루어질 경우 충분히 경쟁력이 있다고 판단된다.

Table 1 Comparison of technologies related to grinding machine

분 야	세부기술분야	선진국 수준	국내 수준	선진국 대비
주축/숫돌축	정, 동적 성능설계	◎	◎	95
	부품가공 및 조립기술	◎	○	80
	구동계 설계 및 운동정도	◎	○	80
	발열특성 해석, 보완기술	○	△	70
	성능평가 및 해석	◎	△	70
안내면/이송계	정, 동적 성능설계	◎	◎	95
	부품가공 및 조립기술	◎	△	70
	운동정도 및 미소이송정도	◎	○	80
	위치결정정도/반복정도	○	○	85
	성능평가 및 해석	◎	△	70
구조설계/해석	정, 동특성 해석	◎	◎	90
	열특성 해석	○	○	80
	최적구조설계	○	△	60
	가공메카니즘 해석	◎	○	80
가공	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 고정밀과지법	○	○	85
오차측정 및 보정	가공오차 기상측정/보정	×	×	-
	숫돌마모량 inprocess측정/보정	○	○	80
	오차보정의 지능화기술	×	×	-

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 유지하기 위해 열변형, 숫돌마모 및 드래서의 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 가공변질층과 Crack, Scratch 등에 대한 요구도 엄격해지며 이를 실현하기 위해 가공조건, 공구, 연삭액, 기계정도의 영향인자를 어떻게 처리할 것인가도 중요한 과제이다.

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

4 중기거점 사업추진 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. Table 2는 단계별 개발내용 및 추진 목표를 나타내었다. Fig. 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 부품 가공용 주축과 고정밀 이송/제어 시스템, 연삭 시스템 주변 장치, Dressing Unit 및 가공DB등을 구축하여 성능 평가를 통한 신뢰성을 확보하여 2단계에서 개발하고자 하는 지능형 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 가공 기용 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.

◎ 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 제작기

술 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 가공 기술 및 DB구축
- 동심도(2 σ 기준) 0.8 μ m 이내의 초정밀 페룰 가공 기술 개발 및 DB 구축

Table 2 the project target and development contents

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

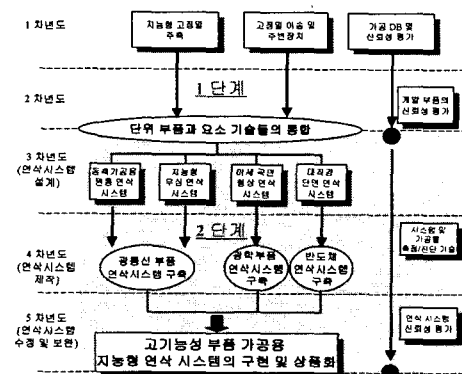


Fig. 3 Diagram of project progress

- 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

◎ 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
- 냉공공급 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.

◎ 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 인해 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

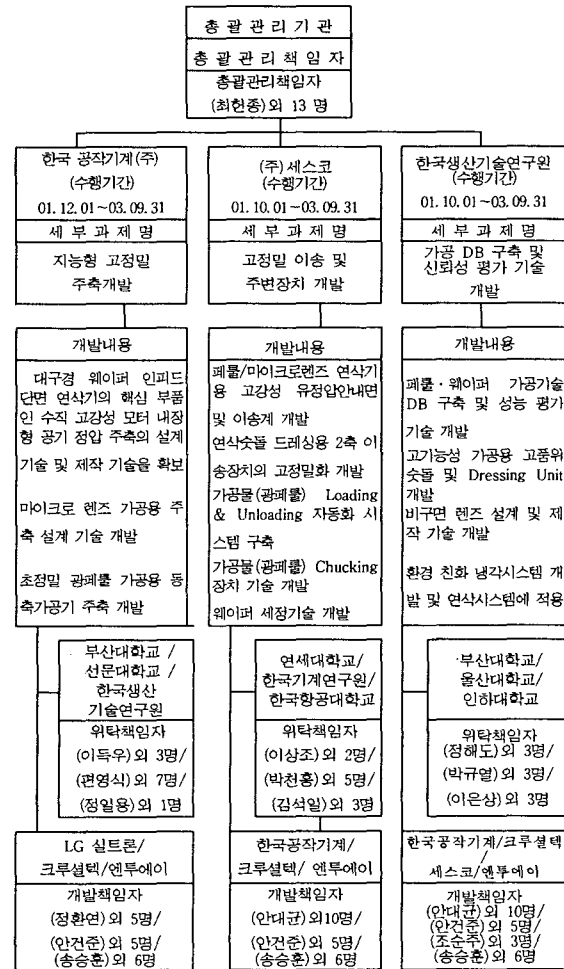
활용

- 정보통신 및 반도체, 생명공학, 의료기기 등 관련 분야의 핵심부품 국산화.
- 관련 공작기계의 초정밀가공기술에 응용.
- 초정밀 CNC 원통연삭기/평면연삭기 등의 국산화 개발에 활용

4.3 연구개발 체계도

Table 3은 중기거점 과제를 수행하기위한 연구개발 체계도를 나타낸것으로서 한국생산기술연구원에서 총괄 주관을 하고 산·학·연 공동 연구를 통하여 연구 개발을 진행하고자 한다. 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 각기 다른 세부과제에서 개발된 부품과 기술들을 공유 할 수 있도록 하였다.

Table 3 Organization of this project



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 설비투자액의 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 같은 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·비구면즈 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 부가가치가 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.

후기

본 연구는 중기거점 사업의 일환인 “고기능성 부품가공용 지능형 연삭시스템개발” 과제의 연구비 지원으로 수행되어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

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