



고속·지능형 가공시스템 기술 개발사업



박 종 권

□한국기계연구원
지능형정밀기계연구부/사업총괄책임자
□jkpark@kimm.re.kr



노 승 국

□한국기계연구원
지능형정밀기계연구부/선임연구원
□cniz@kimm.re.kr

관심 분야	■고속지능형 공작기계설계 및 Micro-factory 기술분야	■마그네틱베어링 시스템
		■설계기술 분야

1. 기술개발 개요

공작기계는 “기계를 만드는 기계”, 즉 “mother machine” 으로서 한 나라가 생산하는 공산품의 품질과 정밀도는 바로 그 나라가 생산하는 공작기계의 품질과 기술력에 의해 결정된다. 우리나라의 주력산업인 자동차, 조선, 반도체 및 컴퓨터 산업 제품이 세계시장에서의 품질을 인정받기 위해서는 공작기계산업의 기술적 뒷받침이 필수적이며, 국가 안위를 좌우하는 방위산업 및 항공우주산업도 공작기계산업에 의존하기 때문에 국가 전략산업으로서의 역할은 지대하다고 할 수 있다. 그러므로 공작기계산업에서 경쟁력을 갖지 못한 나라는 선진국이 된 예(例)가 동서고금을 통해서 찾아 볼 수 없을 정도로 중요한 산업이라고 할 수 있다.

특히, CNC공작기계에서의 고속화와 고능률화 가

공은 시대를 초월해서 언제나 요구되어온 과제이며 현실적으로 머시닝센터를 위시한 공작기계의 고속화·지능화가 급속히 진전되고 있는 것이 세계적인 기술추세이다. 최근 몇 년간 일본 국제공작기계전시회 (JIMTOF)에 출품되었던 공작기계의 현황을 보면 주축회전속도 20,000rpm이상의 머시닝센터가 60%이상을 차지하고 있고, 이중에 주축회전속도 70,000rpm이상, 이송속도 100m/min이상의 공작기계도 다수 출품되어 선진국의 기술우위를 겨루는 장이 되기도 하였으며, 이를 토대로 국내의 공작기계 기술수준을 돌이켜 볼 때 국산품 국제경쟁력 강화를 위해서는 기술개발에 박차를 가하지 않을 수 없는 상황이 되어가고 있다.

고속가공은 종래에는 알루미늄이나 합금과 같은 연질금속의 고속, 고능률가공에 주안점을 두어왔는데 최근에는 주철과 철계재료의 고속, 고능률 가공과 금



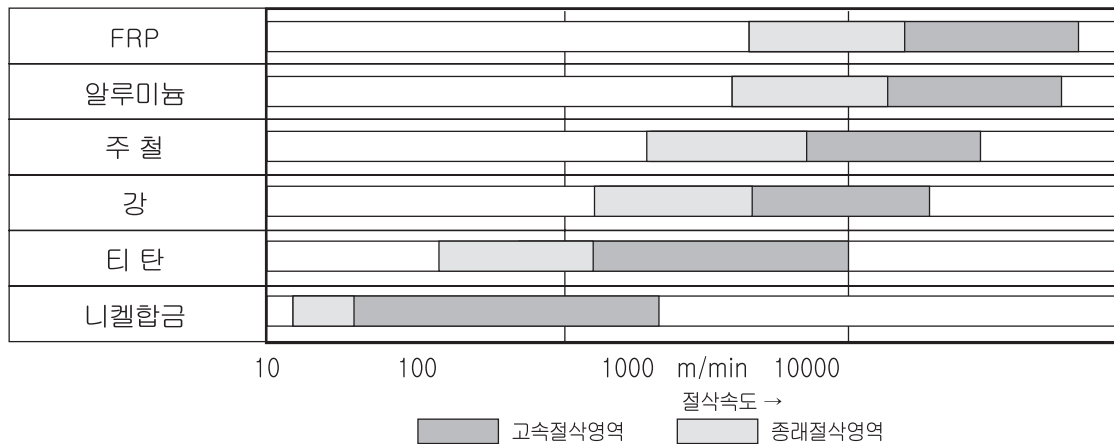


그림 1. 각종 재료에 따른 절삭영역 구역

형용 그래파이트 및 섬유강화 플라스틱(FRP), 그리고 항공기용 내열합금 등의 가공에 종래 이상의 고속, 고능률가공을 필요로 하고 있다.

참고로 그림 1에 각종 재료에 대하여 사용되어온 종래의 가공속도 영역과 고속가공영역을 나타내며, 이들은 알루미늄 등의 경금속 부품의 증가, 정밀부품의 소경가공 및 박육Rib 가공의 증가, 금형의 고효율 성력화를 위한 고속가공기술의 증가 등 절삭효율을

향상시킨다는 측면에서 필요성에 대한 요구가 확대되어 가고 있다.

이와 같이 공작기계의 분야에 있어 고속가공은 중요한 가공기술로서 국내·외적으로 많은 관심을 갖고 있으며, 총체적으로 고속가공이 주는 장점을 요약 정리해보면 그림 2와 같다. 일반적으로 공작기계의 고속화는 주축, 이송계, ATC와 APC가 중요한 대상이 되며, 이는 세라믹베어링과 직선베어링 안내방식의

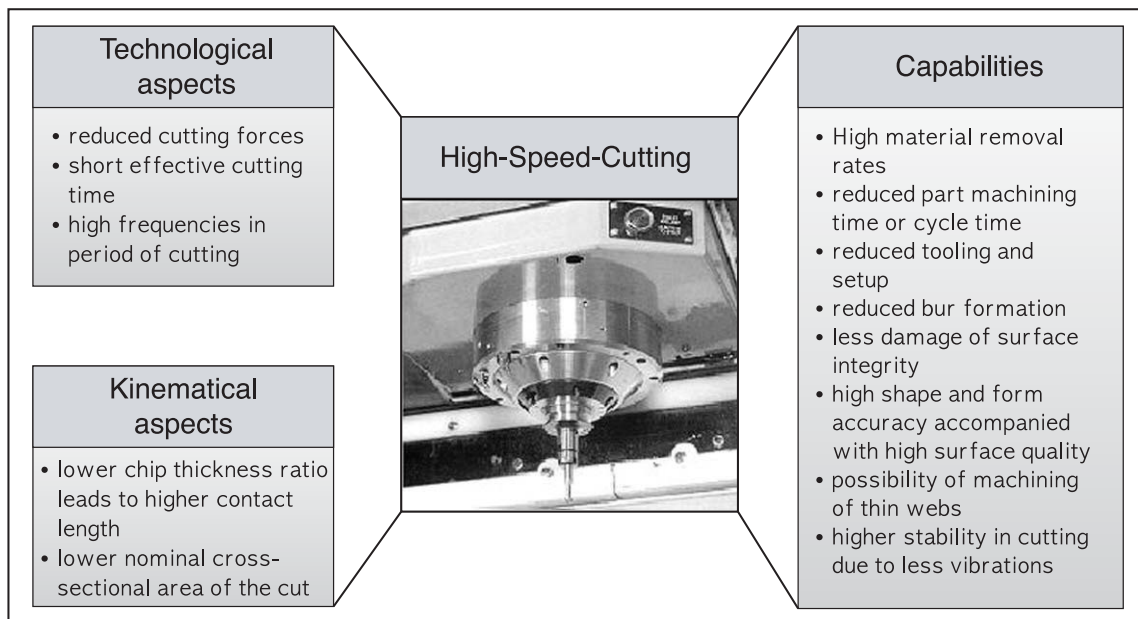


그림 2. 고속가공기술의 장점

개발, 오일어어 윤활이나 오일젯트 윤활의 채용, 모터와 제어기술의 발전 등에 힘입어 최근 수년간 크게 진전되어 왔다. 즉 대부분의 경우 회전축계에 사용되는 베어링은 Steel Ball Bearing으로서 윤활조건을 고려하여 저속에서 고속영역까지 사용되고 있고 근래에 Ceramic Ball Bearing이 보급되면서 고속영역에서도 사용될 수 있도록 하고 있다. 그러나 Ball Bearing은 회전속도를 고속으로 높일수록 상대적인 원심력이 증가되어 베어링수명 단축을 가져오기 때문에 고속회전에는 한계(최대DmN値160만)가 있다. 그러나 이에대한 대체 방안으로서 최근들어 磁氣浮上力을 이용한 베어링방식이 각광을 받고 있으며, 즉 마그네틱베어링을 이용하면 능동제어뿐만 아니라 초고속 영역까지도 높일 수 있는(최대DmN値400만) 장점을 갖게 되므로 세계 각국에서는 이를 이용한 고속·지능형 가공시스템 개발에 활기를 띄고 있는 상황이다.

따라서, 공작기계에서의 고속화 및 지능화는 계속적인 능률향상에의 요구, 신소재의 활용 영역 증가, 절삭기술의 연삭영역에의 적용 등 새로운 니즈의 확대와 더불어 앞으로 더욱 진전될 것으로 예상되며, 특히 국외적으로는 세계적인 관심사이자 국제시장에서의 경쟁력 있는 고부가가치 기술임과 아울러 국내

적으로는 정밀가공산업의 기술력향상을 가져올 수 있는 기술적 파급효과가 지대한 기술이므로 이에 대한 연구는 매우 중요하다 하겠다. 이에 따라 본 사업이 지향하는 주된 목적은 첫째, 세계적 추세인 고정밀/고생산성에 부합된 고속·지능형 가공시스템을 개발하고 관련기술을 파급시켜 국내 공작기계 산업의 선진화를 유도하며, 둘째, 서브미크론 정밀도를 갖는 고속 가공기술을 개발하고 이를 통한 국내 정밀산업을 미래 지향적인 산업으로 육성하는데 있다.

2. 기술개발의 목표 및 추진체계

2.1 기술개발의 단계별 최종목표

본 연구는 21세기 기술 선진국 진입을 위해 고부가가치로 국제경쟁력이 높으면서 전 산업으로의 기술적, 경제적 파급효과가 크고 5년 내외에 실용화 및 상품화가 가능하여 시장성과 직결될 수 있는 과제를 개발하는 것으로 하여 그림 3에서와 같이 A그룹 성격을 가진 사항을 개발과제로 선정하였다. 그리고 국내 공작기계산업의 발전과 활성화를 위하여, 고부가가치를 창출할 수 있으면서 첨단 지식기반 기술로 이루어진 고정밀의 고속·지능형 가공시스템을 개발하

표 1. 기술개발의 단계별 최종목표

구분	현재 수준(국내)	단계별 주요 목표		비 고
		1단계(1999-2002)	2단계(2003-2004)	
주축속도 (rpm)	15,000-25,000	30,000-60,000	60,000-70,000	능동제어 자기베어링
주축 회전 정밀도(μm)	3.0	2.0이내	1.0이내	
이송계 급이송 속도(m/min)	30-40	100-120	120-150	리니어모터 구동시스템
이송계 운동정밀도(μm)	±2.0	±1.5	±1.0	반복정밀도
가공정밀도(μm)	5.0	4.0이내	3.0이내	진원도
난삭재 및 고속가공기술	연구단계	확보단계	실용화단계	
개방형 고속 제어(CNC)기술	연구단계	확보단계	실용화단계	
기상계측/보정 및 지능화 기술	연구단계	확보단계	실용화단계	

는 것을 연구개발의 최종목표로 하였으며, 향후, 본 연구개발에서 지향하고자 하는 주요 핵심기술에 대한 단계별 수행목표는 표 1과 같다.

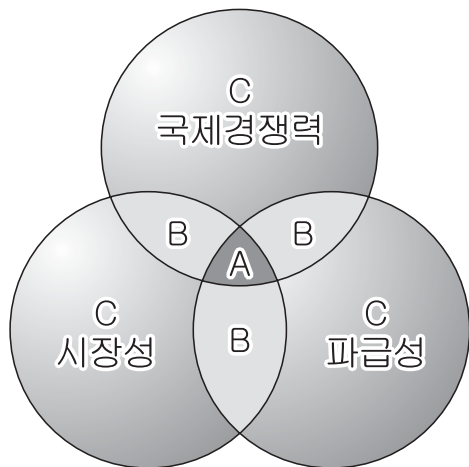


그림 3 개발과제의 선정조건

2.2 단계별 연구개발 내용 및 범위

본 사업은 5년간 1,2단계로 나누어 수행되며, 제1 단계에서는 주로 고속 지능형 가공시스템에서 필요로 하는 핵심요소 및 설계기술과 제작기술에 대한 연구를 수행하고 제2단계에서는 고속 지능형 가공시스템의 활용을 위한 실용성을 구축 시키는 단계로 수행된다. 표 2는 단계별 연구개발 내용 및 범위를 나타내며 그림 4는 연구수행 5년 후 구축되는 고속 지능형가공시스템에 대한 개략도를 보여준다.

2.3 개발방법 및 추진전략

본 연구는 고속·지능형 가공시스템의 구축에서 필수적인 ㉠자율대응 고속주축계, ㉢고속 이송계, ㉢고속 원격 지능제어계, ㉣고속가공 및 환경친화 공정기술, ㉤신뢰성 평가기술 등의 핵심적 세부기술 개발을 바탕으로 5~6년 후에 국내 산업계에서 필요하게 되는 선진국형 공작기계인 “①원격운용 초고속 HMC 개발, ②고속 고정밀 금형 가공센터 개발, ③고속·지

표 2. 단계별 연구개발 내용 및 범위

년 도	주요 개발내용/범위	단계별 성능/규격
1단계	<ul style="list-style-type: none"> 서브미크론 정밀도를 갖는 고속·지능형 가공시스템의 핵심요소 설계 및 제작기술의 확보단계 	<ul style="list-style-type: none"> 서브미크론 정밀도를 갖는 고속지능형 핵심요소 설계 및 가공기 기본 구조설계 기술 고속 개방형 지능제어 및 시스템 원격운용기술 고속용 절삭공구 및 환경친화 공정기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> 주축속도(rpm) : 30,000-60,000 이송속도(m/min) : 100-120 가공정밀도(μm) : 4.0이내(진원도)
2단계	<ul style="list-style-type: none"> 서브미크론 정밀도를 갖는 고속·지능형 가공 시스템의 활용을 위한 실용성 구축단계 (종합시스템 SI기술) 	<ul style="list-style-type: none"> 원격운용 초고속 HMC실용화 기술 고속 고정밀 금형 가공센터 실용화기술 고속지능형 Line Center 실용화기술 기타, 핵심 요소기술의 실용화 및 고속·지능 시스템의 신뢰성 평가기술 구축 <ul style="list-style-type: none"> 주축속도(rpm) : 60,000-70,000 이송속도(m/min) : 100-150 가공정밀도(μm) : 3.0이내(진원도)

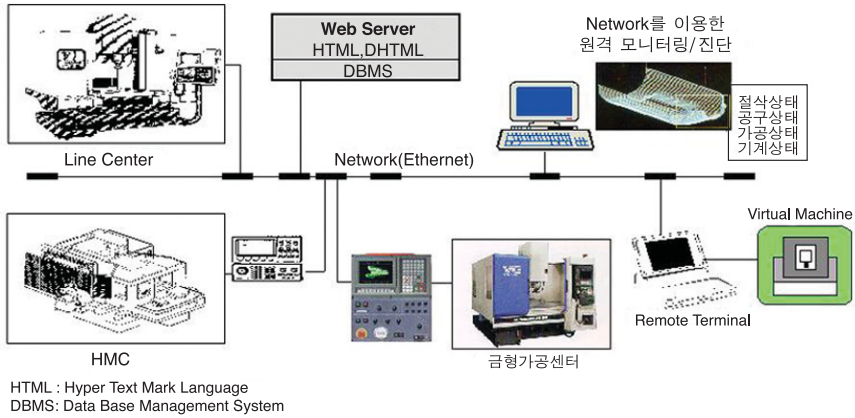


그림 4. 2단계 연구수행 후 구축예정인 고속·지능형 가공시스템의 개략도

능형 Line Center 개발”의 3가지분야 연구를 수행하여 이를 통합함(System Integration)으로써 최종적으로 “서브미크론 정밀도를 갖는 고속·지능형 가공시스템의 실용화 연구”를 달성하는 것을 중기거점 연구의 최종목표로 하였다. 이와 같이 3가지 연구모델을 결정한 것은 첫째, 컴퓨터의 원격통신으로 운용되는 고속 지능형의 머시닝센터, 둘째, 고경도 소재를 고속으로 정밀하게 가공할 수 있는 금형가공기, 셋째, 생산라인에서 생산성을 배가시키면서 전체시스템에 지능적으로 유연하게 연결·대처하여 생산의 합리화를 도모할 수 있는 Line Center를 개발하기 위한 것이며, 이들 3가지 분야에 대한 기술이 확립되면 고기능, 고정밀, 고생산성을 이룩할 수 있는 기술이 구축되므로 21세기 첨단 생산시스템분야에의 활성화와 기술적 경쟁력 향상이 기대될 수 있다.

특히, 본 연구과제는 산·학·연으로 구성된 전문가적 연구 집단에서 연구를 수행하며, 여기서 핵심요소기술(5과제)은 3개의 단위공작기계(HMC/금형가공센터/Line Center)의 개발 일정과 연구내용에 맞추어 각 단계별 연구기간 동안 연구를 하면서 정보제공 및 시험모델 제공 등으로 협조한 후 제2단계 연구중료 시점에서 통합시스템 구축(SI, System Integration)이 원활히 이루어질 수 있도록 실용화 제품을 제공함과 아울러 상품화를 구축하여 국내 산업계에도 보급함으로써 기술적/경제적 파급효과가

극대화 되도록 하였다. 특히, 연구 수행의 1단계가 완료되는 시점에서는 3가지 분야의 가공시스템이 가시적으로 구현되는 시기이므로 이들 가공시스템에 부합되는 고속가공 및 환경친화적인 기술 연구도 본격 수행될 필요가 있고, 그러므로 이를 위해 2단계 연구수행 과정에는 신규과제로 포함하여 테크맥(주)를 통해 연구를 수행하는 것으로 하였다.



그림 5. 고속 지능형 가공시스템의 세부과제 구성도

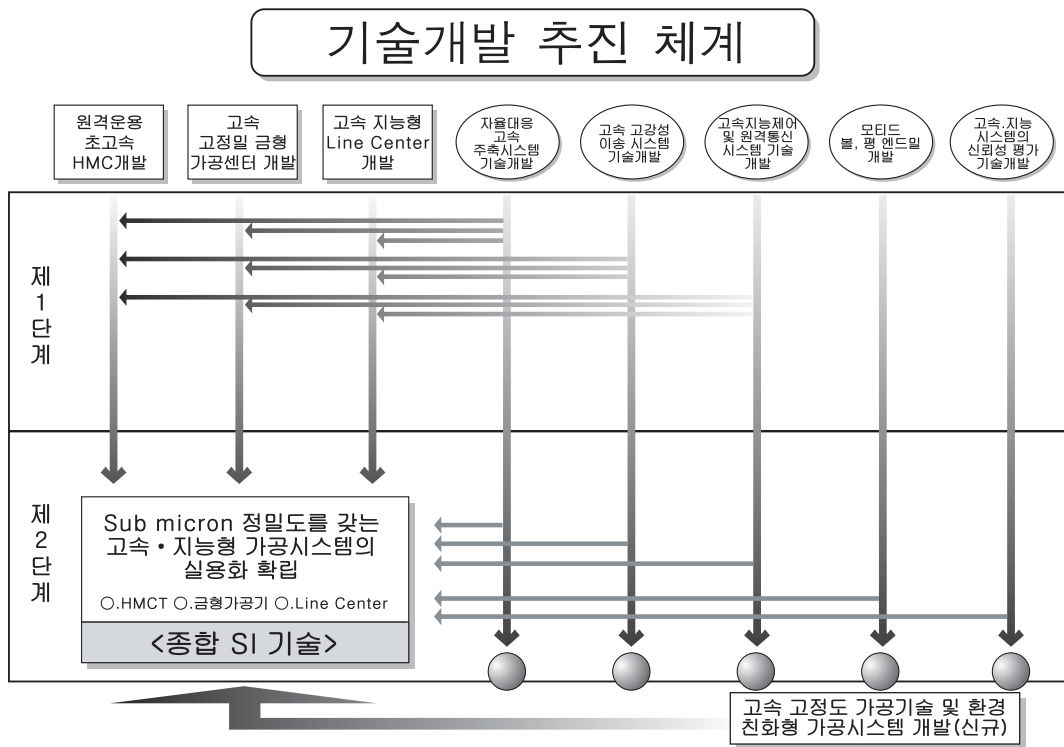


그림 6. 기술개발 추진체계도

따라서, 각 세부과제들이 1, 2단계별 연구기간 동안 상호 긴밀한 협조로 통합시스템 구축(SI)을 효율적으로 하여 최종의 연구목표인 “서브미크론 정밀도를 갖는 고속·지능형 가공시스템의 실용화 연구”가 달성되도록 하였으며, 이를 위한 기술개발 추진 체계도는 그림 6과 같고, 세부과제별 최종년도의 개발내용은 표 3과 같다.

3. 활용 방안

- 1) 국내 공작기계산업의 선진화를 위한 중장기적 전략품목으로 활용
 - 서브미크론급의 정밀도를 갖는 고속·지능형 공작기계 생산체제 구축
 - 난삭재, 박육 공작물 등에 대한 고품위, 고능률 가공기술 정착으로 관련산업발전의 가속화에 활용
- 2) 항공우주산업, 신소재산업 등 첨단산업

육성·발전을 위한 정책적 기반기술로 활용

- 3) 본 연구과제는 첨단산업에 대한 정부의 장기계획 프로젝트와 연계하여 사용할 경우 공작기계산업의 발전 및 활성화에 상당한 시너지 효과를 가져올 것으로 기대된다.

4. 맺음말

본 연구는 39개 기관이 참여하여 정부출연금 140억원, 민간부담금 130억원이 5년간 투입되어 연구가 수행되는 중기거점기술개발사업으로서 사업이 완료되는 2004년도 하반기부터는 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 1) 기술적 측면
 - 서브미크론 정밀도를 갖는 고속·지능형 가공시스템의 국산화 개발실현

표 3. 세부과제별 주요 개발내용

년 도	과 제 명	주요 개발목표, 내용 및 범위
2004년	원격운용 초고속 HMC개발	<ul style="list-style-type: none"> • 실용화용 70,000rpm급 주축제작 개발(120m/min) • 리니어모터 이송시스템의 열분석/규명/대책수립 • 구조계와 이송계의 정/동적 분석시스템 구축 • 원격진단 시스템 개발 및 고속 주변장치 개발 • 초고속 지능형 HMC 시제작(2단계목표 완성)
	고속 고정밀 금형가공센터개발	<ul style="list-style-type: none"> • 50,000rpm급 초고속 금형센터 개발완료 - 주축회전정도 : 0.5μm 이내 - 이송속도 : 150m/min - 반복/위치결정정도 : 1.0/2.0μm • 1단계 개발한 원천기술에 대한 안정화기술 구축
	고속지능형 Line center개발	<ul style="list-style-type: none"> • 고속 라인센터 실용화 제작 - 주축속도 : 60,000rpm(HSK40E) - 급이송속도 : 150m/min - 절삭속도 60m/min - 이송거리 : 500/500/400 mm • 라인센터 상품화기술 확립
	자율대응 고속주축시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • 고속주축 시스템의 저가형 핵심부품 개발 • 고속 주축 시스템의 자율대응 제어기술 정립 • 고속주축 시스템의 내구성 및 신뢰성 평가 • 고속주축 시스템의 설계 및 제작기술 확립 - 60,000rpm/70,000rpm, 회전정도 1.0μm
	고속 고강성 이송시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • 정격추력 1,000~6,000N급 상품화모델 5종 설계 제작 • 상품화모델의 설계도면 및 성능평가 방법 표준화 • 내 전압능, 반복 운전능 등을 통한 내구성 및 신뢰성 실험 • 모터에 따른 드라이버 사양 및 Interface결정:(주)메트로닉스 • 상품화모델의 공작기계업체 적용, 성능평가
	고속 지능제어 및 원격 통신시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • CNC 시스템 신뢰성 및 안정성 평가/검증 • 최종 H/W 및 S/W 기술개발 완료 • 4,5과제에서 개발한 핵심부품과의 완전한 통합 • 1,2,3과제 기관의 고속가공기에 탑재 • 개발품 양산체제 확립
	코티드 볼,평 엔드밀 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 경도(Hv0.05-3200)및 내 산화성(1000$^{\circ}$C)이 개선된 박막개발 - 박막 품질 안정화를 위한 양산기술 확립 - 박막 두께 및 조성편차 최소화기술 확립 • 주변기술 확립 • 고속 가공용 볼,평 엔드밀의 국산화 기술 확립 및 양산체제 구축
	고속지능시스템의 신뢰성 평가 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • 고속 지능형 시스템의 신뢰성 확보/신뢰성 데이터의 국제표준 인증작업 • 컨틴트형 신뢰성 평가지원 시스템 개발 • 고속 지능형 시스템의 종합 신뢰성 평가 네트워크 구축
	고속 고정도 가공기술 및 환경친화형 가공시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 친화형 고속가공시스템 제작기술 개발 - 환경 친화형 압축 냉각 공기 및 가열시스템 제작 • 환경친화형 고속가공 시스템을 이용한 고속가공기술 개발 - 환경친화형 가공환경에 따른 가공특성 평가 • 고속가공 기술 및 환경친화형 가공기술의 D/B구축 • 고속가공 전용 CAD/CAM S/W개발

- 선진국 수준의 미래지향적인 고속화/고정밀화/고기능화 공작기계 시스템의 실용화 실현
- 고속·고정밀, 지능화 공작기계의 설계 및 가공기술에 대한 전문기술 선진화기술 보유
 - 국내 공작기계산업의 선진화로 정밀 첨단산업의 발전 및 관련 기술의 자립화 구축
- 가공시스템의 정보화, 무인화 및 환경친화적 기술로 발전촉진
- 첨단 항공우주산업을 비롯한 신소재 응용산업의 가공기술 발전과 관련 부품산업의 부가가치 창출에 기여

2) 경제적 측면

- 고속가공에 의한 가공품질 안정화/능력 향상으로 생산성 증대
- 고품위 가공으로 표면조도 및 공구수명 향상과 에너지절약
- 난삭재, 신소재 및 박육 공작물 가공가능으로 항공우주산업을 비롯한 첨단산업의 발전
 - 국산 공작기계류의 선진화로 침체된 공작기계산업의 활성화와 고용창출
- 공작기계산업의 신기술 자립화로 국내산업의 경쟁력 강화 및 고용증대 기여
- 신기술 보유로 국제경쟁력 향상과 수입대체 기여(대일 무역의존도 개선)

3) 기타(국민경제 기여도)

- 본 사업이 완료되면 기존과 같이 범용기종수출 및 고부가가치 기종 수입에 의존하는 현재의 수출입 관행패턴이 바뀌게 되면서, 아울러 수입대체를 획기적으로 개선시킬 수 있게 되고,
- 또한, 첨단기술 개발에 따른 선진기술 습득 자립도를 높여 전문 인력양성 제도가 효과적으로 제고될 수 있는 이른바 시너지효과 를 가져오게 된다.
- 그리고, 선진기술 정착화에 따른 기술과급 효과 증대로 신규 고용창출 제도에도 기여를 할 수 있게 된다.

참 고 문 헌

[1] 박종권, “고속 지능형 가공시스템의 개발” 산업기술개발사업계획서, 산업자원부, 1999.
 [2] 박종권, “서브미크론 정밀도를 갖는 고속 지능형 가공시스템의 실용화 연구” 연구기획 보고서, 산업자원부, 1999.

