

21세기 기계기술의 과제와 전망

Trend of Manufacturing Technology in 21st Century



金 政 斗*

Kim, Jeong Du

* 기계제작기술사, 공학박사,

KAIST 기계공학과 교수.

1. 서론

기계제작기술분야는 공작기계와 가공기술로 대별되며 상호 발전적 관계를 유지하여 보완적으로 개발되어야 할 분야이다. 지난 반세기동안 우리나라의 공작기계기술은 지속적으로 발전하여, 세계의 주요 생산국으로 성장하였다. 생산 규모면으로 볼 때 영국에 이어 세계 제 9위이며, 생산액수로는 12억불에 달하고 있다. 이 수치는 지난 10년 전의 '88년도 세계 15위, 4.7억불에 비하면 감퇴가 깊을 뿐만 아니라 관련업계의 지대한 노력이 있었음을 알 수 있다.

그러나 우리나라의 공작기계산업의 내수규모가 2조3천억원으로 세계시장의 400억불에 비하면 국내시장의 수요에 한계가 있으며, 이는 경제성 있는 제품생산을 어렵게 하는 요인이 될 수 있다. 특히 수개월 앞으로 다가온 21세기에는 세계시장을 겨냥한 보다 공격적인 수출 지향적인 판매시장의 개척이 절실히 요구된다.

본고에서는 앞서가는 세계시장의 주요 공작기계와 가공기술에 대한 동향을 소개하고, 예상되는 21세기의 전망에 대하여 의견을 개진코져 한다.

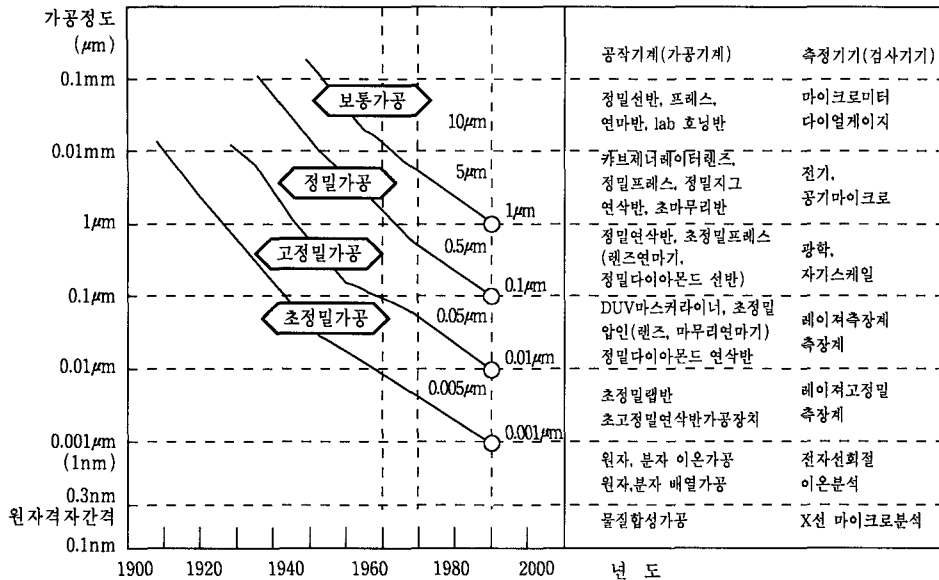
2. 기계제작기술 현황과 예측

2-1 초정밀 절삭 및 공작기계

18세기 후반 영국의 산업혁명을 지원한 증기기관은 제임스 와트(James Watt)에 의하여 발명되었으나, 이의 실현에 공헌한자는 1776년 존 윌킨슨(John Wilkinson)이 개발한 보링머신이 있었기에 가능하였다. 이 당시의 기계가공 정도는 직경 50인치에서 가공오차는 1/16"(1.58mm) 정도로 증기기관 제작에 성공하였다. 그로부터 200년이 경과한 오늘 나노테크놀로지의 정도개념이 나오고 있다. <그림 1>은 연도와 가공도달정밀도를 나타낸 것으로 보통가공 1 μ m, 정밀가공 0.1 μ m, 고정밀 가공 0.01 μ m, 초정밀가공은 0.001 μ m으로 2000년도에는 1nm에 달한다고 예측하고 있다.

실용화에 접근한 대표적인 기계가공은 절삭가공, 연삭가공, 폴리싱가공으로 고정도 다듬질에는 단결정다이아몬드공구를 이용한 기법으로 초정밀절삭은 공구의 형상전사정도가 양호한가에 따라 좌우된다. 또한 단결정다이아몬드공구로 가능한 공작물재질은 동, 알루미늄 등의 연질금속과 프라스틱을 중심으로 가공의 실용화가 발전되어왔다.

초정밀 다이아몬드 절삭이 강류와 경취재료의 초정밀절삭에 도전하고 있으며, 그 동안 강의 다이아몬드 절삭이 불가능하였던 이유로서, 다이아



〈그림 1〉 연도와 가공도달 정밀도

몬드가 약 600°C에 도달하면 흑연화 하여, 다이아몬드의 탄소가 철에 혼입 되어 공구의 역할이 불가능하게 된다.

이 문제의 해결방안으로 탄소분위기 중에서의 절삭이나, 냉동절삭실험 등이 이루어진바 있으나, 현재 가장 유망시 되는 방안은 초음파타원진동절삭이 있다. 이 경우 절삭에너지와 공구를 진동시켜 필요한 에너지를 합산한 값은, 통상절삭의 절삭에너지보다 크게 낮으며, 전단각의 증가에 의한 전단면적감소의 효과가 크기 때문이다.

초정밀다이아몬드 절삭의 제2의 문제는 유리나 수정 등 경취 재료의 초정밀절삭이다. 이 기법은 절삭깊이를 적게 하면 전성파괴가 주체인 전성모드 절삭으로부터 연속형 칩이 생성되는 연성모드 절삭이 수행된다.

경취 재료의 연성모드 절삭의 실현에는 절삭깊이 1μm이하의 범위일 때 가능하며, 향후 초정밀절삭에 기대되는 분야로는, 초정밀마이크로 절삭이다.

현재 단결정 다이아몬드바이트를 이용한 선삭,

플라이컷팅, 특수한 1매날의 단결정 다이아몬드 엔드밀을 이용한 마이크로부품의 밀링 가공으로 향후 초정밀절삭기술의 연구개발이 요망되는 대표적인 분야는 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 향후 연구개발이 요망되는 초정밀 절삭가공분야

초정밀가공 분야	응용사례	수요전망
극초정밀화	극초정밀 광학부품 X선 관련 기기 (SOR관련)	광학 기기의 단파장화 X선 관련의 수요증대
복잡한 형상의 초정밀가공	각종렌즈, 미러, 대형 프레스벨렌즈	비구면 광학계의 수요증대
대형화	X선 천체망원경 대형 SOR용 미러	특수대형부품의 요구
마이크로화	마이크로머신	부품의 미소화, 복잡형상화
난삭재의 초정밀고속가공	초정밀금형 특수렌즈, 미러	강계난삭재, 경취 재료의 초정밀 가공의 요구

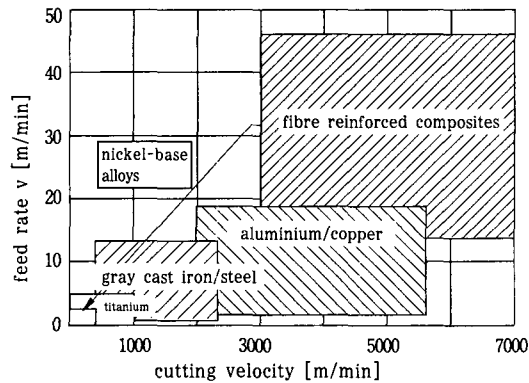
2-2 고속절삭 가공 및 공작기계

공작기계의 고속화는 생산성향상, 가공특성향상(정도, 다듬질면, 절삭력, 절삭온도, 칩처리 등), 금속제거율의 향상, 가공시간의 단축 등 많은 장점을 갖고 있다.

절삭속도의 고속화가 가공특성에 미치는 영향에 대하여서는 여러 입장에서 검토되어 왔으며, 1931년 C. Salomon이 고속절삭에 관한 특허청구를 한 내용을 보면, 특정의 공구가 피삭재 사이에서 임계절삭속도 이상의 속도에서는 절삭속도의 증가에 따라 절삭온도가 떨어진다고 예언한 바 있다. 이것에 관하여 그 이후 수많은 실험결과와 토론이 행하여졌으며 Salomon의 예언에 반대되는 실험결과도 공표 되었고, 최근에는 부정적 견해가 강하다고 사료된다.

그러나 고속절삭시 특정절삭속도 범위 내에서 절삭속도의 증가에 따라 절삭력이 떨어지며, 다듬질면 거칠기가 향상된다고 보고된 바 있으며, 고속절삭에서의 기대도 높다.

〈그림 2〉에 나타낸바와 같이 고속절삭의 속도 한계는 피삭재 재질에 따라 다르고, 최적상태의 공구재질, 공구형상, 가공조건을 선택할 필요가 있다.



〈그림 2〉 피삭재별 적용 가능한 절삭속도와 이송속도
일반적으로 알루미늄합금 등 연질금속에는 현존하는 공구로 절삭속도의 한계는 없으나, 공장기계의 속도에 따라 제약조건이 따른다. 최근에는 보통강에서부터 열처리된 금형강, 티타늄합금, 내열 내마멸합금 등의 각종 난삭재의 고속절삭에 관심이 집중되고 있으며 하드웨어와 소프트웨어 양측면으로 연구개발이 진행되고 있다. 난

삭재의 고속절삭은 공장기계보다도 공구측면에서 제약되는 경우가 많다.

〈표 2〉는 고속절삭가공사례에 대하여 나타내었다.

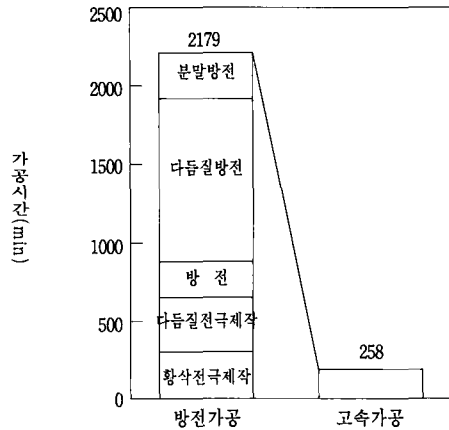
〈표 2〉 고속절삭가공사례

고속절삭가공사례	공 구	가공기술
항공기용 재료(알루미늄)의 고속 엔드밀가공	초경엔드밀	다량의 수용성 절삭유제
열처리강의 선삭	CBN	Dry 가공
주철의 밀링가공	세라믹	
강의 선삭, 밀링가공	피복공구	고압수용성 절삭유제
열처리 금형강의 엔드밀 가공	특수 피복공구	냉풍, Dry가공, MQL 절삭유제
알루미늄합금의 고속가공 (실린더 블록)	소결다이아몬드	

공장기계의 고속화에는 기계요소기술이 뒷받침되어야 하며 고속주축에 이용되는 베어링의 종류와 윤활, 냉각방법이 주요한 문제이다. 베어링으로는 에어베어링, 세라믹볼베어링, 유체베어링, 자기베어링 등이 적용 가능한 요소이며, 특히 회전용으로 사용되는 베어링은 경량으로 원심력이 적고, 내마멸성이 높은 세라믹 볼베어링과 극소량의 윤활유를 공기와 혼합하여 공급하는 오일·에어윤활법이 조합된 방식이 가장 광범위하게 이용되고 있다.

기계적인 마찰이 없는 베어링 방식으로 에어베어링이나 능동형 자기베어링도 일부 이용되고 있다. 현재 고속머시닝센터의 주축회전수는 10000min⁻¹을 넘는 경우가 대부분이며, 60000~70000min⁻¹까지 실용화되어 있다. 고능률 절삭을 위하여서는 주축의 회전수만을 증가시키는 것으로는 불충분하며, 이송속도의 증가도 함께 이루어지는 것이 중요하다.

직선이송구동은 볼스크류우의 리이드를 크게 함으로서 고속이송을 실현하는 방법과 리니어모터구동에 의한 방법이 주목되고 있으며 현재 최고이송속도는 100m/min에 이르고 있다.



〈그림 3〉 고속가공과 방전가공의 가공시간 비교

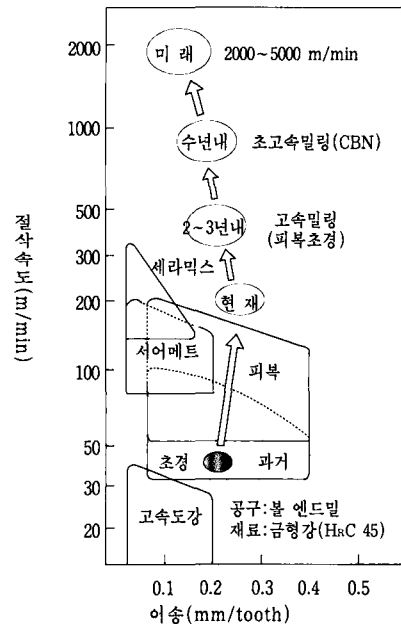
최고속도와 병행하여 중요한 요인은 가속, 감속에 의한 가속도의 크기로서 통상 이송장치에는 가속도는 0.5G이하이나 최근에는 1~2G의 가속도를 갖는 이송장치도 개발되었다.

〈그림 3〉은 고속밀링가공에 의한 금형가공사례로 주축회전수 N 은 $24000 \sim 26000 \text{min}^{-1}$, 이송속도 f 는 $5000 \sim 6000 \text{mm/min}$, 축방향절삭깊이 A_d 는 $0.2 \sim 0.5 \text{mm}$, 냉각방식은 건식(Air Coolant 방식), 절삭방식 하향절삭조건이다. 피삭재는 열간 단조형 금형(SKD61, 43HRC)으로 절삭시간은 4시간 18분이 소요되었으며 가공표면거칠기는 $R_{max} 8\mu\text{m}$ 정도이다.

이와 동일한 품질을 얻을 수 있는 방전가공의 경우는 황삭 및 다듬질가공용 전극제작시간 및 방전시간 등을 고려하면 고속절삭가공에 비하여 약 9배의 가공시간이 소요되는 것으로 분석되었다.

이상에서와 같이 최근 볼엔드밀가공이 고속가공에 적합한 가공으로 인식되고, 〈그림 4〉에 나타내고있는 초고속밀링의 가능성에 대하여 고경도재료에 대한 절삭속도가 1000m/min 로 초고속가공도 가능할 것이 예측되고 있다.

〈표 3〉은 자동차용 금형에 대한 금형용 고속절삭가공에 대한 과거, 현재, 미래에 대하여 설명한 것이다.



〈그림 4〉 초고속밀링의 가능성

내년에 도래되는 21세기의 최대관심사는 인간이 살 수 있는 지구를 잘 보존하는 일일 것이다. 지구온난화나 오존층의 파괴로 지구환경문제의 관심이 높아지고 있으며 이에 따라 ISO 14000 환경 Management system 등이 제정된 바 있다. 최근 몇몇 공작기계 제조회사에서는 소량의 식물유를 사용하는 세미드라이(Semi-dry)가공, 소량의 절삭유제를 사용하는 미스트 쿨란트(mist-coolant) 등이 개발된 바 있다.

현재 연삭가공에서는 대량의 절삭유제가 사용되고 있으며, 냉각작용, 윤활작용, 세정작용을 목적으로 하고 있다. 그러나 이러한 절삭유제를 가공 중에 미스트상과 배출된 절삭유제가 작업환경을 악화시키고, 절삭유제내에는 인체나 환경에 유해한 물질이 함유되어 작업자 자신이 알게 모르게 피해를 입게 되는 것이 사실이다. 더욱이

〈표 3〉 금형의 고속절삭가공의 과거, 현재, 미래 비교

구 분	과 거	현 재	미 래
가공형태	고속가공: 형상부의 고속 다듬질가공	황삭가공을 포함한 고능률화	금형 전체(구조부, 형상부)의 고능률가공
대상금형	자동차보디의 프레스금형(주철금형)	프라스틱금형, 단조금형, 주조금형, 다이캐스트금형(탄소강, 합금공구강 등)	
전제조건	1mm단위, 공차10µm이내의 NC데이터로 평균이송3m/min이상	단위시간 절삭량이 방전가공과 동등 이상	구조부, 형상부의 황삭, 다듬질 가공
가공기	머시닝센터, 고속회전(6~8000rpm), 고속이송(6~10m/min), 고속연삭, 주축의 고정도화, 열변위대책	고속주축의 고토오르화 주축의 고강성화 고압 Coolant장치	엔드밀 고속절삭 (50HrC 이상의 고경도재절삭으로 고효율 절삭을 실현한다)
공 구	초경, 피복초경, CBN, 서어메트, Throw-away형의CBN	고경도재 공구	특수재질의 고속주공구
NC 데이터	· 대량데이터의 고속 연산화 · 고속모드전용의 NC 데이터출력 · 공구선택, 공구교환 지령 기능추가	등고선 가공	고속대응 공구경로 생성 XZ, YZ ⇒ XY (등고선 가공)

대량의 절삭유제가 사용되어 산업폐기물로 처리되는 양이 점점 증가하는 추세이다.

가공 중에 극압첨가제 등의 유해물질을 함유한 미스트상의 절삭유제를 흡입한 경우 인체에 유해함은 물론, 폐액소각시 발생하는 열이 지구온난화 원인이 된다. 또한 저온으로 소각 처리할 경우 역시 유해한 다이옥신(Dioxin)을 배출한다. 따라서 환경으로 인공적인 배출물을 감소시키고, 인체나 환경에 무해한 절삭유제를 사용하는 한 수단으로 냉풍연삭가공을 개발하고 있다.

최근 개최된 제19회 JIMTOF에 출품된 정밀 평면연삭기 PSG-63EX에는 냉풍연삭가공시스템(Eco-Coolant)이 탑재되었으며, 여기에는 냉풍 발생장치, 오일미스트 발생장치 및 집진 장치로 구성되어있다. 〈표 4〉 및 〈표 5〉는 냉풍발생장치 및 오일미스트장치 사양을 나타내고 있다.

냉풍발생장치는 에어공급시 공장컴프레셔의 에어드라이아에 충분히 건조시킨 후 냉풍발생장치의 냉동기와 오일미스트 발생장치에 운반된다. 냉동기에는 에어를 -30℃로 냉각시키고, 오일미스트 발생장치에는 식물유를 입경 1µm이하의 오일미스트로 한다. 냉풍과 오일미스트가 혼합되어 가공점에 공급된다. 오일미스트유제는 생분해성이 있는 식물유

를 사용하여 인체나 환경에는 무해하다.

냉풍연삭의 최대 특징은 냉각수의 사용량이 극히 적다는 것이며, 연삭에 사용된 양은 종래의 1/100정도이고, 베드, 테이블 세정용 냉각수를 포함한다 하여도 냉각수 총유량은 종래의 1/3 정도이다. 또한 냉각수 탱크용량은 종래에 비하여 1/3 정도로 소형화되었으며, 연삭에 필요한 소비동력도 냉각, 유회용은 냉각수연삭방식에 비하여 70% 정도가 절약되었다.

〈표 4〉 냉풍발생장치의 사양

항 목	단 위	사 양
사용입구압력범위	MPa	0.05 ~ 0.9
처리공기량	m ³ /min(ANR)	0.4
입구공기온도	℃	38
출구공기온도	℃	-30
정상(定常)전류	A	3.6 / 3.9
정상(定常)전력	W	977 / 1142
치수(W×L×H)	mm	750×750×1000

〈표 5〉 오일미스트장치의 사양

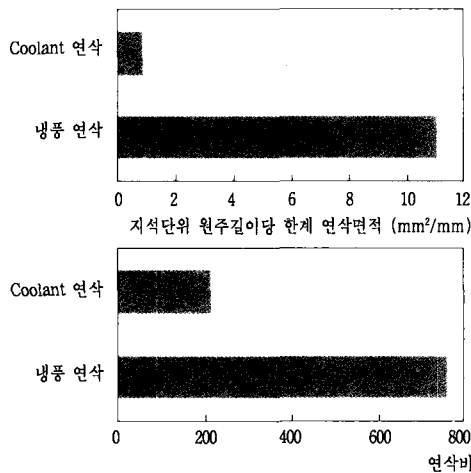
항 목	단 위	사 양
최대 입구압력	MPa	0.78
최대 미스트압력	MPa	0.68
최대 공기유량	m ³ /min(ANR)	0.6
탱크유량	l	1.6
치수(W×L×H)	mm	220×250×520



환경친화형 가공에 대한 최초의 관심은 1993년 독일의 자동차메이커 다임러벤츠사가 생산가공비의 17%가 유제에 관한 경비(유제구입, 순환설비, 처리 등에 관한 경비)임을 확인하고, 이의 역제가 환경과 생산가공에 대하여 최대의 관심사항임을 한 강연회에서 발표함으로써 세간의 관심사항으로 부각되었다. 그후 다임러벤츠사와 아헨공과대학이 1993년부터 Dry 가공, 최소량 유제공급(MQL: Minimum Quantity Lubrication)절삭 가공 등의 공동연구를 시작하여, 1994년에 EC공동프로젝트화 하였고, 현재 연구가 진행중이다.

<그림 5>는 솔류블 타입의 연삭유제와 냉풍연삭의 연삭성능을 나타내었다.

이 결과에서 냉풍연삭은 연삭유제연삭의 10배 이상 연삭속도 수명과 약 4배의 연삭비를 나타내



연삭 조건 : 지석 : SN80J7V75S
 공작물 : SCM435H(H C 50)
 지석주속도 : 1800 m/min
 공작물주속도 : 225m/min
 스파크아웃 : 20rev
 냉풍연삭 : 냉풍온도 -40°C
 냉풍유량 0.6 Nm³/min
 Coolant 연삭 : Soluble Type
 드레싱조건 : 드레서 : □0.2mm 각주 다이아몬드 단석 드레서
 리드 : 0.1 mm/rev
 절입량 : $\phi 20\text{mm} \times 3, \phi 10\text{mm} \times 3$
 냉풍연삭 : 냉풍온도 -40°C
 냉풍유량 0.6Nm³/min
 Coolant 연삭 : Soluble Type

<그림 5> 냉풍연삭과 연삭유제연삭의 연삭성능

어 냉풍연삭의 큰 장점이 있음을 증명하였다. 또한 일례로 머시닝센터의 쿨런트(Coolant)에 대한 전력소비는 주축 20%, 유압유닛 20%인데 반하여 쿨런트 50%, 고압쿨런트 13%로 소비점유율이 무려 60%~70%에 달하며, 이에 대한 절약대응이 곧 환경친화적인 공작기계가 실현되는 것이다.

4. 결론

21세기의 공작기계는 고능률화, 정밀화 및 환경친화형의 형태로 발전될 것으로 전망된다. 고속화기술은 극초고속화 단계로 정밀화기술은 극초정밀화 단계로 발전될 것이며, 특히 공작기계의 설계단계에서부터 제작에 이르기까지 환경을 고려한 DFE(Design For Environment)법과 리사이클링을 고려한 DFD(Design For Disassembly)법 차원의 생산시스템 구축을 제안하는 바이며, 본 시스템은 우리 나라 공작기계기술을 세계적인 수준으로 끌어올리는 견인차 역할과 세계시장의 점유율증가와 수출증대에 기여할 것으로 기대된다.

(원고 접수일 1999. 3. 15)

참고문헌

1. F. Klocke and G. Eisenblatter, Dry Cutting, Ann. CIRP, 46, 2, 1997, 519.
2. T. Moriwaki, Advance in Metal Cutting Technology, JSPE, 65, 1, 1999, 25~30.
3. H. Iwata, Present and Future 5 High-Speed Milling, JSPE, 64, 6, 1998, 808~812.
4. Y. Saito, Machine Tool Engineering for Environment Awareness, JSGE, 43, 1, 1999, 5~9.
5. T. Kondo, Environmentally Friendly Machine shop to people and the Earth, JSGE, 43, 1, 1999, 18~21.
6. R. Mukai, Ecology Grinding Technology in Favor of Environment, JSGE, 43, 2, 1999, 15~16.