

박 형 옥 울산과학기술원 기계 및 원자력공학부 부교수 | e-mail : hwpark@unist.ac.kr

최근 하이브리드 가공기술은 기존의 산업적 응용을 넘어서 현재 제조업의 경쟁력을 결정할 차세대 가공기술로 주목받고 있다. 이 글에서는 국내외 하이브리드 가공공작기술 현황에 대한 개략적인 소개 및 다양한 산업계에 응용 사례에 대해 소개하고자 한다.

현재 IT, ET, BT 산업이 개인 정보통신으로 접목된 다중매체 유비쿼터스 장비가 증가하고 있으며, 마이크로 의료기기 산업 및 신재생 태양전지 산업의 일반화 등, 첨단산업이 일상생활로 파급되면서 복합형 가공이 필요한 고부가가치 제품 수요가 증가하고 있다. 특히, IT, ET, BT 산업에서 필요한 초정밀/초미세 고부가가치 제품의 생산에 있어서 난삭 재료의 사용이 증가하고 이에 따른 고능력 가공의 필요성 끊임없이 요구되면서 이를 위한 복합 형상가공을 위한 하이브리드 공정용 가공기술의 필요성이 더욱 증대되고 있다.

IT/BT/ST 산업의 초소형 부품들을 효율적으로 생산하기 위한 하이브리드 가공용 공작기계관련 기술군은 시스템기술과 가공기술로 분류되며, 재료적 한계에 구애받지 않는 절/연삭 하이브리드, 하드터닝/연삭 가공, 고에너지 빔 하이브리드 절삭가공, 적층/절삭가공 등의 기술과 이를 측정, 평가할 수 있는 기술들이 해당된다. 산업적으로 다이아몬드, Glass, 세라믹, 초경합금 등의 난삭재를 다중 물리현상공정의 하이브리드화를 기반으로 초정밀, 초미세가공을 이루어내는 기술로서 국가 신성장동력 산업 경쟁력에 향상에 크게 기여할 수 있는 원천기술이다.

최근 초정밀/초미세 하이브리드화 가공시스템의 수요급증하고 있으며 초정밀 미세가공분야에 차세대 신기술이므로 향후 국가 초정밀기술의 한계극복과 함께 실용화를 위한 지속적인 연구 개발이 필요한 분야이다. 특히, 일본, 독일 같은 선진국의 경우, 하이브리드 가공기술 및 시스템관련 자국기술의 유출 방지와 자국 산업의 세계 우위 선점을 위해 경쟁 상대국에는 판매를 하지 않고 장비를 무기화하고 있는 상황이다.

세계 공작기계 산업에 있어 지속적인 고객은 역시 자동차와 항공기 산업이라 할 수 있다. 그래서 이 분야의 경쟁에서 우위를 유지하지 위해서 여러 가지 진보된 하이브리드 가공공정을 우선적으로 연구할 필요가 있다. 한 예로 자동차 구동축의 다단 가공공정을 단축시키기 위해서, 한 기계에서 선삭, 압출, 냉각성형이 가능하도록 구조설계가 이루어진 하이브리드 가공기가 연구되었다. 그리고 범용구조의 강력절삭 유니트와 Parallel 메커니즘의 고속 정밀가공 유니트 하이브리드화 관련 연구도 이루어졌다. 또한, 동시에 여러 종류의 가공을 실시하는 하이브리드 공작기계, 즉 초음파+연삭, 램핑공정+평면연삭, 드라이아이스 분위기+레이저 세척, 하드터닝+내면연삭, 기어가공+내면연삭, 레이저 응용 가공공정 및 시스템, 초음파 응용 가

공공정 및 시스템, 에너지빔(전자/이온) 응용 가공공정 및 시스템, 이공정(에너지/초음파) 하이브리드 가공이 가능한 하이브리드 가공기도 국내외 연구진에 의해서 개발되고 있는 실정이다.

최근 이슈화되고 있는 하이브리드 가공은 기존의 단일 가공공정에 다른 종류의 물리량을 적용해 가공하기 어려운 재료(난삭재)의 가공 정밀도와 가공생산성 등을 향상하는 기술을 말하는 것으로 초정밀 부품과 제품이 사용되는 IT, BT, NT 등의 첨단산업 육성을 위해서는 기존 단일공정의 한계를 뛰어넘는 하이브리드 가공 공정을 실현하기 위해서 관련 초정밀급 장비관련 연구개발도 동시에 이루어져야 한다.

최근에 두각을 나타내고 있는 마이크로, 생명, 의료, 환경, 통신 분야도 새로운 소재와 형상가공, 그리고 마이크로 하이브리드 가공이 필요함으로 해서 국내 공작기계 산업계의 새로운 활력소가 될 것이다. 현재 소재 가공의 특징은 비철금속과 난삭재 가공이 주를 이루고 있고, 치수정밀도는 표면조도를

산업계에서 주안점을 두고 있다. 이에 따라서, 국내 연구진에 의해서 고정밀 선삭으로 필요한 표면조도를 달성할 수 있는 그림 2에서와 같이 하이브리드 하드터닝 기술이 개발되었다. 또한 환경 친화적인 소재의 선택과 에너지 절약을 위한 가공공정 개선이 관심을 끌고 있다.

위에서 언급된 하이브리드 가공기술은 그림 3에 나타나 있듯이 하나의 가공시스템에서 두 가지 이상의

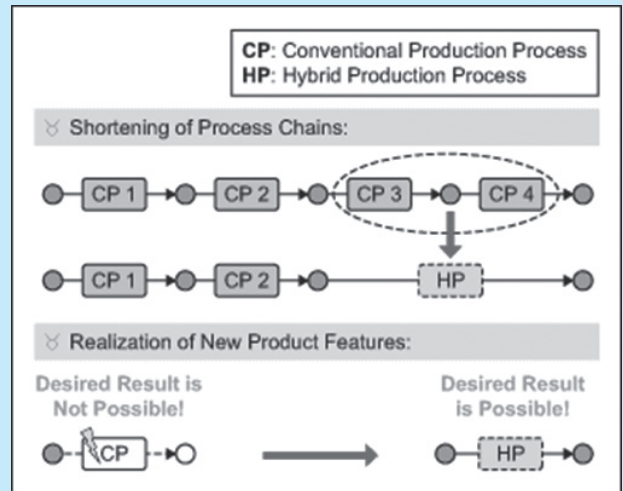


그림 1 기존의 생산공정과 하이브리드 생산공정의 차이점

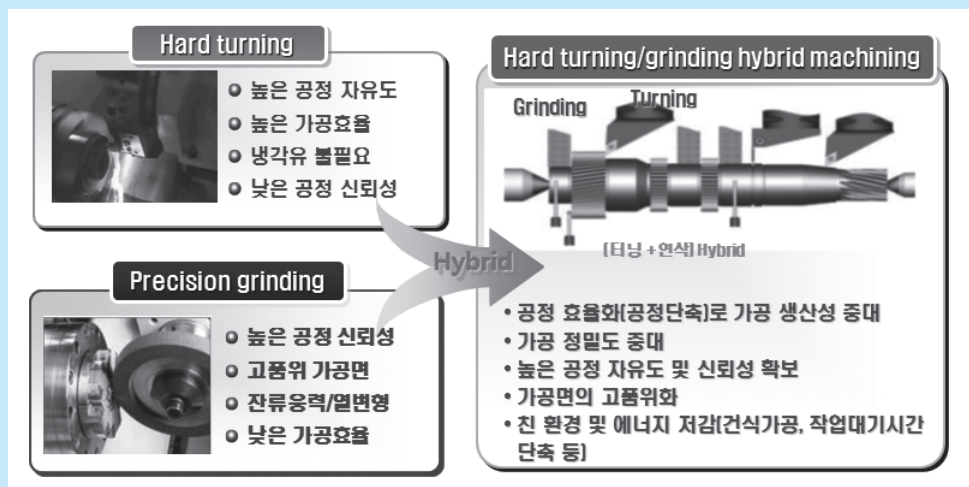


그림 2 연삭공정 및 하드터닝공정 간의 하이브리드화 개요 및 장점

상이한 기계가공기술을 동시 또는 일련의 작업으로 수행할 수 있는 방법으로서, 다양한 장점을 가지고 있다. 특히, 경제적으로 각 가공방식에 특화된 생산시스템을 별도로 구매하는 것보다는 하나의 공작기계에서 이종의 가공기술을 구현할 수 있는 하이브리드 생산시스템이 더 효과적이다. 일반적으로 하이브리드 가공시스템은 두 종류로 분류할 수 있다. 먼저 각 공정이 소재 가공에 직접 참여하는 동시적 하이브리드 가공과 소재 가공에 직접 참여하지는 않지만 상대 공정을

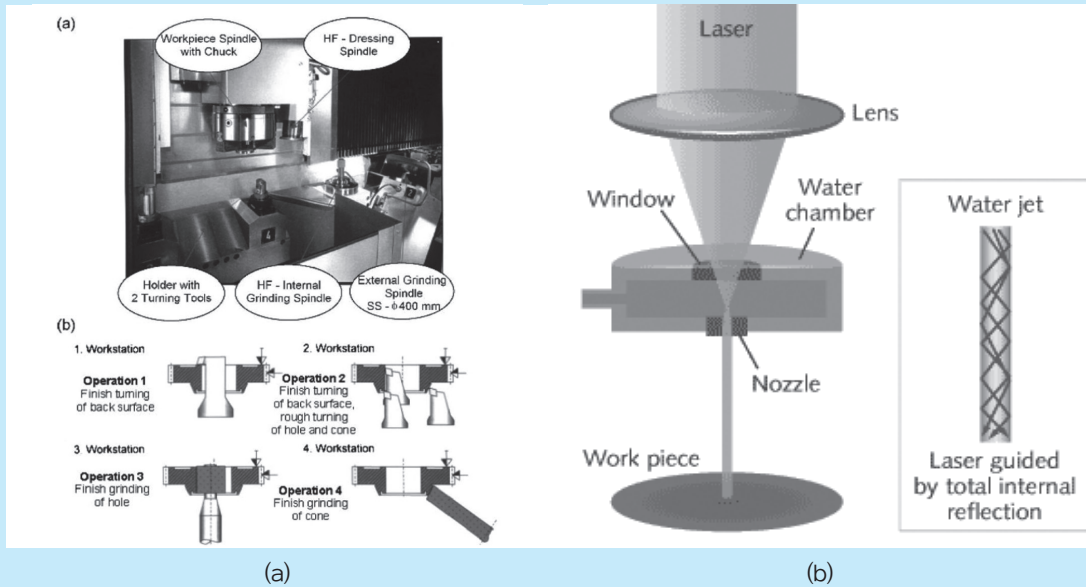


그림 3 (a) 연삭/하드터닝 하이브리드 가공장비 및 (b) 워터젯 가이드 레이저 가공장비

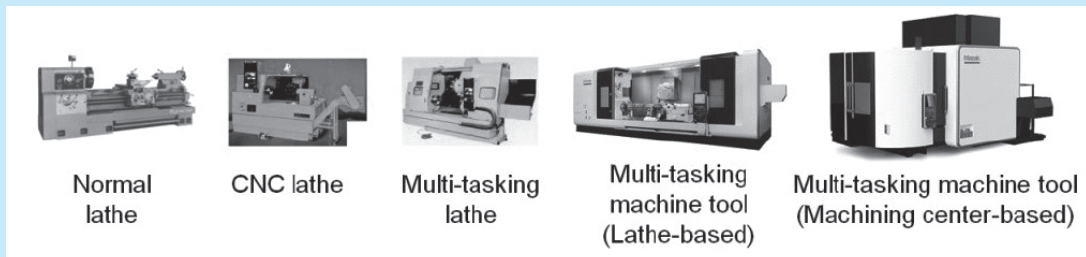


그림 4 Multi-tasking 공작기계의 발전 역사

도와주는 방식으로 분류할 수 있다.

유럽의 공작기계 메이커는 이러한 하이브리드화가 여러 종류의 가공 프로세스 통합과 더불어 다기능의 집약이 가공시간의 향상과 고정밀도 유지에 대응하는 지름길이라고 하는 인식이 증가하고 있어, 나노기반 초정밀기술을 기반으로 공정집약을 통하여 가공시간을 단축하고, 공정집약을 토대로 프로세스 체인의 단축을 위한 하이브리드화 혹은 복합화가 그림 4와 같이 진행되고 있다.

세계 공작기계산업은 위에서 언급했듯이 자동차, 항공, 반도체산업의 성장과 더불어 발전해왔다. 즉 이와 산업군들은 고객의 요구에 의해서 끊임없이 빠른

속도로 변화를 추구하므로 계속적으로 제품의 개발주기가 짧아져가고 있는 실정이다. 이에 부응하여, 가공공정의 생산성 향상이 주된 연구 방향이며 그림 5에서와 같이 공정 집약형 가공기인 하이브리드 공작기계에 대한 연구가 활발하다. 또한, IT기술의 적용으로 하이브리드화, 고속화 등 고능률화를 통해 수요자의 요구에 민첩하게 대응함으로써 주력산업용 양산 장비의 부가가치 향상 추구하고 있다.

이러한 초정밀/초미세 하이브리드 가공시스템의 핵심 공통요소인 나노정밀도를 갖는 운동요소의 개발은 필수적인 요소로 하이브리드 가공시스템의 성능지표를 결정한다 할 수 있다. 따라서, 초정밀 가공시스템의

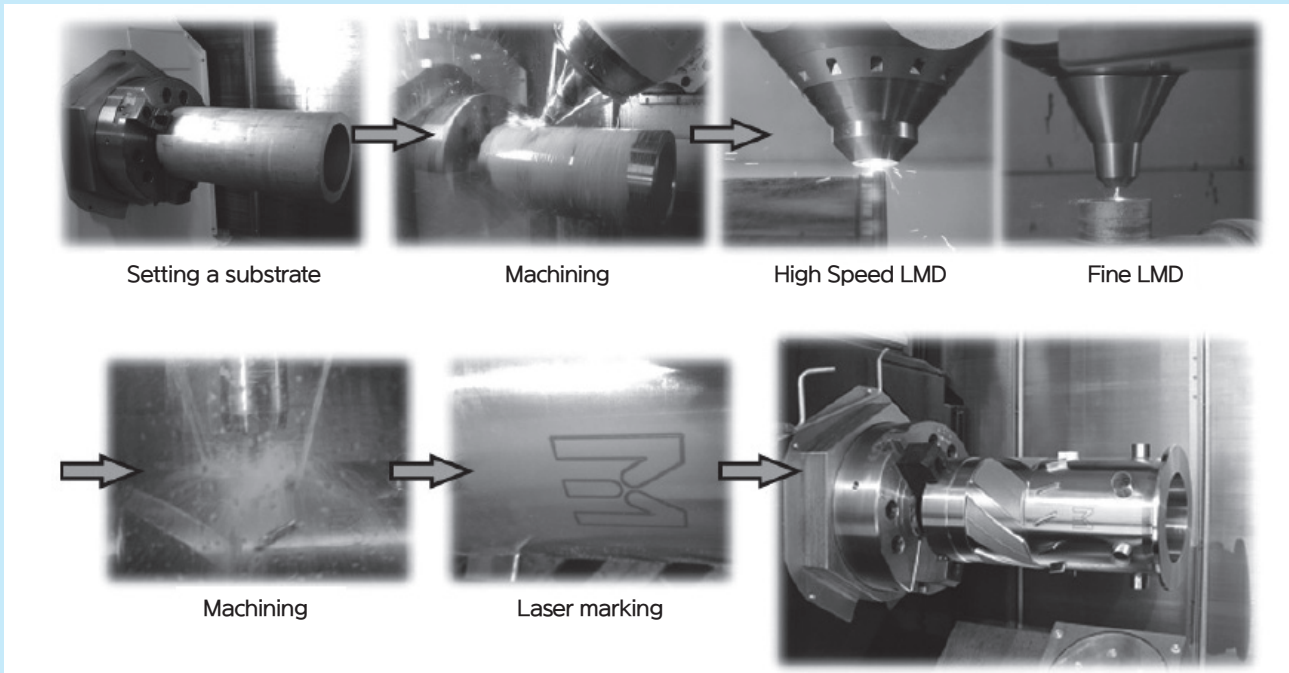


그림 5 Mazak INTEGREX I-400 장비 기반 하이브리드 공정 예시

개발이 먼저 시작된 일본과 미국, 독일 등의 유럽에서는 관련 요소의 개발이 이루어졌으며, 이를 실제 하이브리드 가공시스템에 적용하고 있다.

공작기계 관련 기술 선진국인 일본의 경우 FANUC의 터닝기반 5축 가공기인 Robo Nano에 적용된 공기베어링 스피들과 이송계는 회전정밀도 50nm와 나노미터의 이송분해능을 갖는 요소들을 적용하였으며, 회전과 직선이송이 동시에 가능한 공기테이블, 공기베어링을 이용한 스크류 동력전달 등의 기술을 가지고, 일본의 초정밀 가공기술을 한단계 발전시킨 모델로 평가받고 있으며, 한편으로는 일본 외에는 판매하지 않고 있다. 또한 Toshiba 기계는 V-V 롤러를 이용하는 독자기술을 개발하여 이를 초정밀 가공기에 적용하였으며, 이를 통하여 진직도 300nm를 달성했다. Sodick은 초정밀 머시닝센터인 Nano 100을 통하여 최대 5축의 초정밀 가공기를 개발하였으며, 이 외에 워터젯과 와이어 방전의 Hybrid 가공시스템 및 모듈

등을 개발하였다. 기타 Toyoda 공업(현 JTEKT), Nagase 등의 전통적 공작기계업체들이 상대적으로 이후에 초정밀 가공기를 개발하였으나 대부분의 다축 초정밀 가공기의 일본의 수주는 쉽지 않은 편이다.

미국의 초정밀 가공기용 운동요소는 로렌스 리버모어 국립연구소의 초정밀 가공기 연구개발을 시작으로 시작되었으며, 실제 공기베어링 및 이를 이용한 운동요소에 있어서는 가장 성공적으로 상용화 시키고 다수의 모듈기업이 활동하고 있다. 이러한 기업으로는 Danaher motion, Aerotech, Professional Instruments, Precitech, Moore, Nelson air, New way 등의 전문기업들이 있으며, 이러한 저변은 미국의 초정밀기술의 근간이라고 할 수 있다. 스피들의 경우 Professional Instruments의 공기스핀들은 최대속도 10만 rpm 모델이 존재하며, 회전정밀도는 최대 50nm의 제품을 보유하여 Precitech의 초정밀 가공기 등에 적용되고 있다.

표 1 국외 하이브리드 가공장비 개발 연도

Date	Process name	Institute or Company	Machine tool type	Processing head mounting position
1996	Combined Metal Build Up (CMB)	Fraunhofer Institute of Production Technology & Fraunhofer Institute of Laser Technology	3-axis vertical	Fixed to side of spindle
1990's	Laser Aided Manufacturing Process (LAMP)	University of Missouri	5-axis vertical	Fixed to side of spindle
2000	Selective Laser Cladding (SLC) and milling	National Taiwan University of Science and Technology	3-axis vertical	Fixed optics (separate station)
2004	Hybrid Manufacturing	Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Austria	5-axis vertical	Fixed to side of spindle
2006	System and method for fabricating and repairing part	Southern Methodist University	Multi-axis	Attached to a robot
2008	Hybrid Manufacturing	De Montfort University & The Manufacturing Technology Centre	3-axis vertical	In spindle stored in tool magazine
September 2013	Hybrid Manufacturing	Hamuel & Hybrid Manufacturing Technologies	Retrofit to any machining platform	In spindle stored in tool magazine
December, 2013	Hybrid Manufacturing	DMG Mori	5-axis vertical	In spindle stored in own compartment
November, 2014	Hybrid Multi-Tasking	Mazak & Hybrid Manufacturing Technology	5-axis horizontal	In spindle stored in tool magazine
April, 2015	Additive Manufacturing	WFL Millturn Technologies	5-axis slantbed lath	Unknown
May, 2015	LENS®	Optomec	Retrofit to any machine platform	Fixed to side of spindle
June, 2015	Hybrid Manufacturing	ELB & Hybrid Manufacturing Technologies	millGrind Creep Feed 5 axis	Fixed to side of spindle

유럽에서는 독일이 전통적인 초정밀기술을 가지고 있는 나라이며, 독일의 Kugler Precision 사는 3축에서 5축의 다양한 구성이 가능한 초정밀 가공기를 개발하고, 이송계 모듈 및 회전 테이블 등의 요소들을 상공

화했다. 아시아 권역에서는 일본 이외에 한국과 싱가포르, 대만 등이 관심을 가지고 개발을 하고 있으며, 특히 싱가포르의 관련기술 개발을 주목할 필요가 있다. 싱가포르의 Mikrotool는 하이브리드 가공이 가능한 마이

크로 가공시스템을 최근 상용화하였고, 대만에서는 관련 연구기관 및 대학에서 하이브리드 가공 및 초정밀 마이크로 가공장비의 개발을 수행하고 있다.

초미세 하이브리드 공정에 대한 모델과 평가에 있어서는 대학과 연구소를 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 연삭과 절삭, 전기화학, 에너지 등의 하이브리드 공정 최적화를 위한 연구가 미국의 Nebraska 대학에서 연구되고 있으며, 일본의 고베 대학, 독일의 공작기계연구소 및 영국의 Cranfield 대학 등지에서 진행되고 있다. Kummer 사의 경우 하드터닝 시 필요한 높은 강성을 구현하기 위해서 톨러 방식의 Preload 가이드를 채택했으며, 또한 Backlash 효과를 줄이기 위해서 linear motor를 사용하였으며, 그와 동시에 부가적인 가공을 위해서 100,000rpm 그라인드 스피들을 장착하여 하이브리드 하드터닝시스템을 개발하였다. 유럽의 경우 마이크로 생산, 가공에 대한 연구개발을 대학 연구기관과 기업들을 통합하여 수행하며, 특히 범유럽 연구개발 프로그램인 Framework Program에

포함하여 연구개발을 수행하여 관련 산업계에 전파시키고 있다. 그 예로, FP6의 EUPASS, MASMICRO, 4M-Project 등을 들 수 있다.

또한, 하이브리드 가공시스템의 성능평가기술에 있어서는 다양한 측정시스템을 가지고 있는 선진국에서 보유하고 있으나, 다축의 동시 평가와 하이브리드 가공시스템의 평가기술에 대한 표준화는 아직 진행되고 있지 않으며, 기술개발의 진행상황으로 볼 때, 곧 관련 움직임이 있을 것으로 예측된다.

전반적으로 초정밀 초미세 하이브리드 가공기술은 관련 하이브리드 가공시스템을 개발한 선진국들을 중심으로 세계 시장을 선도하고 있다. 이러한 가공장비를 가지고 국내의 연구기관 및 대학들에서는 최상의 정밀도를 끌어낼 수 있는 보정 및 제어기술을 이용하여 최상의 가공정밀도를 구현하였으므로 관련 하이브리드 가공 공작기계에 대한 국가적인 연구개발 투자가 지속적으로 이루어져야 한다.