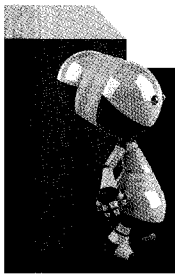

THEME 04

레이저를 이용한 복합가공기술 동향

이 제 훈 | 한국기계연구원 광응용기계연구실, 책임연구원 | e-mail : jaholee@kimm.re.kr
신 동 식 | 한국기계연구원 광응용기계연구실, 선임연구원 | e-mail : dsshin@kimm.re.kr

이 글에서는 레이저 가공기술과 기존의 기계가공기술이 융합화된 형태의 공작기계인 레이저 복합가공기에 대한 국외 연구개발 현황 및 한국기계연구원에서의 연구개발 결과에 대하여 소개하고자 한다.

최근 자동차, 반도체, 항공 산업은 고객의 요구에 의해 끊임없이 빠른 속도로 변화되고 있어 제품의 Life cycle이 매우 짧아지고 있는 실정이다. 이에 부응하여 세계 공작기계 산업은 주로 자동차, 항공, 반도체 산업의 성장과 함께 빠르게 변화하며 발전해왔다. 특히 레이저 가공기는 높은 정밀가공성, 공정의 유연성 그리고 고속가공이 가능한 장점으로 인하여 공작기계 산업의 발전에 부응하여 급속히 확대되고 있다. 이는 미국 가드너(Gardner) 사에서 발표한 세계 공작기계 업체 순위(표 1)에 나타난 바와 같이 세계 공작기계 업체 중 상당수의 매출액 상위 업체에서 레이저 가공기를 생산하고 있다는 것을 보면 알 수 있다. 이와 같은 공작기계의 세계적 추세에 힘입어 레이저 가공기를 기존의 절삭기반의 공작기계에 복합화하여 생산성을 더욱 향상시키고자 시도되고 있으며, 이 결과 레이저 복합가공기가 개발되기 시작하였다. 레이저 복합가공기술이 공작기계에 접목되기 위한 핵심기술로서는 고출력 레이저 발진기술, 광화이버 전송시스템 및 집속광학계의 설계기술 그리고 광학계의 자동교환장치와 같은 시스템기술 그리고 레이저 예열선삭, 표면처리 및 용접과 같은 신공정 기술 등이 있다. 이 글에서는 상기 핵심기술의 개발을 위한 국내외 기술 현황을 소개하고자 하며 향후 진행방향을 논의하고자 한다.

표 1 세계 공작기계 업체 순위(단위:백만불)

순위	기업명	국가	공작기계 매출	레이저 가공기 생산
1	Yamazaki Mazak	일본	2,165.0	○
2	Gildmeister	독일	2,142.2	○
3	Trumpf	독일	1,882.6	○
5	Amada	일본	1,548.9	○
13	Doosan Infracore	한국	768.8	×
15	Schuler	독일	693.6	○
17	Nippei Toyama	일본	540.9	○
21	Bystronic	스위스	504.7	○
23	Wia	한국	483.4	×
29	Rofin-Sinar	독일	420.9	○
34	Mitsubishi H.I	일본	292.8	○
40	Finn-Power	핀란드	261.3	○
54	Hwacheon	한국	189.8	○

자료출처 : 미국 Gardner 사, 「세계 공작기계 업체 순위」, 2008

레이저 복합가공기술의 해외 개발 동향

레이저 복합가공기를 개발하기 위해서는 공정기술, 시스템 통합기술 및 광제어기술 관련 연구가 필요하다. 이에 대한 대표적인 연구기관으로서 독일의 Stuttgart 대학 레이저 연구소(IFSW)가 있으며 선반기반 레이저 복합가공기를 이용하여 레이저 열처리, 클

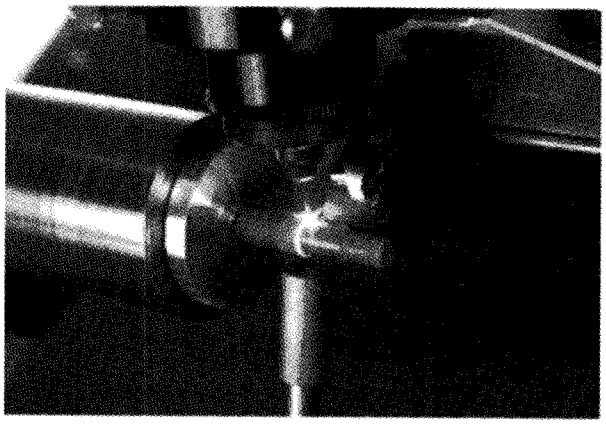

그림 1 레이저 예열을 통한 세라믹의 선삭작업(Purdue Univ.)

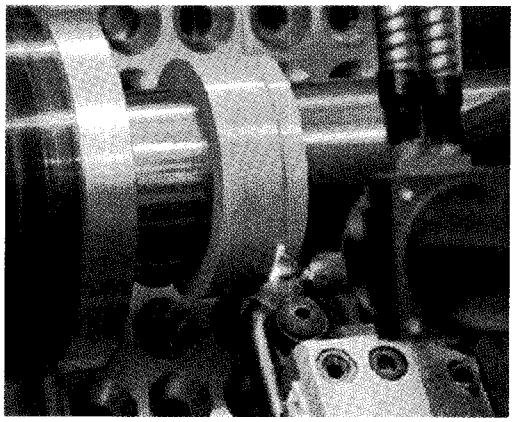

그림 2 레이저 예열을 통한 세라믹의 선삭작업(Fraunhofer IPT)

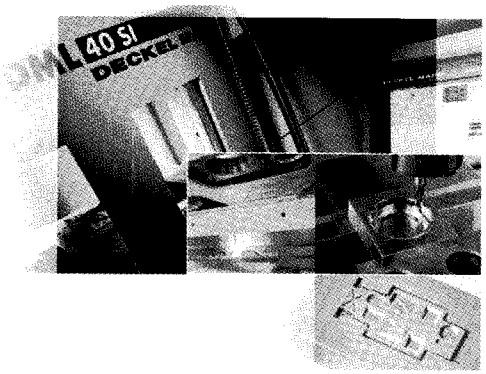

그림 3 엔드밀과 레이저 어블레이션이 결합된 레이저 복합가공기(Deckel Maho 사)

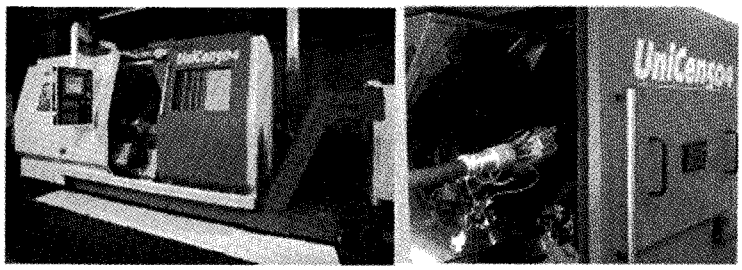

그림 4 선반과 레이저 표면처리장치가 결합된 가공기(MONFORTS 사)

래딩, 용접, 및 디버링 등과 같은 가공공정에 대한 연구를 하였으며 레이저 복합가공기 전용 가공헤드의 설계 및 제작에 앞선 기술을 보유하고 있다.

한편 레이저 복합가공공정에 대한 학술적인 연구는 Purdue 대학(미국) 기계공학과의 신영철 교수팀이 대표적이라고 할 수 있는데 CO_2레이저와 선반의 복합화에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 이를 통하여 세라믹 가공 시 레이저 예열효과를 이용하여 연삭에 버금가는 가공정밀도를 얻을 수 있었으며, 동시에 생산성도 8배 이상 향상되었다고 보고된 바 있다.(그림 1, 2 참조)

레이저 가공과 복합화 된 가공공정기술은 레이저 예열선삭 외에도 밀링공정과 레이저 어블레이션 공정의 복합화(그림 3 참조) 및 선삭공정과 레이저 클래딩의 복합화된 형태(그림 4 참조)로 출시가 시작되었다. 세계적으로 레이저 복합가공기를 제작하고 있는 회사는 독일을 중심으로 성장하고 있으며, 현재까지의 대표적인 제작회사는 개발 당시 Index 사, Deckel Maho 사 및 Traub 사 등이 있다.(표 2 참조)

표 2 레이저 복합가공기 개발 사례

업체(국적)	생산품목	복합화 형태
MAZAK(일본)	HYPER TURBO X-510	Cutting+Tapping +Champering
Trumpf(독일)	TRUMATIC 6000L	Punching+Laser cutting
Index사(독일)	Index GS30, Index V200, GS200 등 전용기 타입(Fa. Herion)	Turning+Laser hardening
Deckel Maho사(독일)	DML40, DML 60, DML 40SI, DMU 60-P, MH600C	Milling+Laser ablation Turning+Laser hardening
Traub사(독일)	Traub TNS 65D, Traub TNC30 DGY	Turning+Laser hardening
MONFORTS(독일)	UniCen 504 LaserTurn	Turning+Laser hardening, cladding
FADAL(독일)	개발 중	Milling+Laser cladding

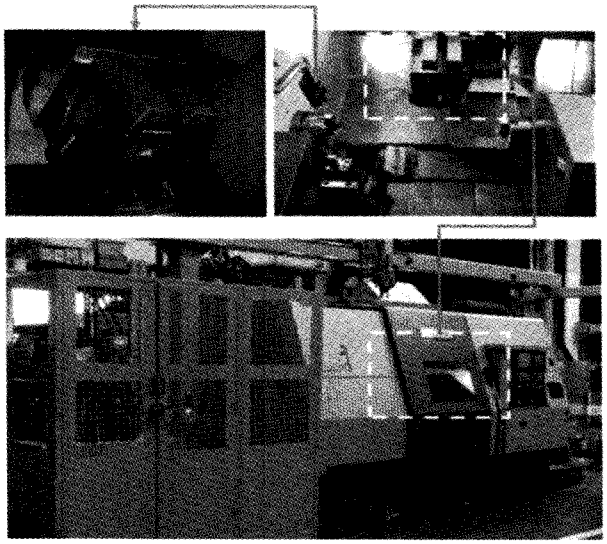

그림 5 레이저 복합가공기 및 핵심광학 모듈(한국기계연구원, 아메코(주) 개발)

국내의 레이저 복합가공기 개발 현황

국내의 레이저 복합가공시스템 및 공정에 관한 연구는 국가출연연구기관인 한국기계연구원과 공작기계 개발 업체인 아메코(주)에서 공동으로 수행하였으며 세라믹 예열선삭 및 강재의 열처리 작업을 수행할 수 있는 레이저 복합가공기의 시제품을 개발하였다. 핵심 기술로서 레이저 복합가공기용 빔 이송 장치, 레이저 가공 핵심 모듈 등의 시스템기술과 세라믹 예열선삭 및 레이저 열처리 등의 이종 복합 공정 기술이 있다.

그림 5는 개발 완료된 시제모델이며, 레이저 광학모듈의 구성방식은 내장형 리볼버식으로서 광학계의 착탈이 필요없기 때문에 기존의 IFSW에서 개발된 빔이송헤드에서 발생 가능한 문제점인 레이저 빔 이송용 광화이버의 혼선 및 착탈 시 충격력에 의한 광학계 손상 등의 문제에서 벗어날 수 있는 장점이 있다. 한편 본 장치에 적용된 레이저는 HPDL(High Power Diode Laser: Laserline)로서 광화이버를 이용하여 레이저 빔의 전송이 가능하고 전력대비 레이저 출력이 뛰어난 장점이 있어 CNC 가공시스템에 적용이 용이한 특징이 있다. 또한 본 레이저 복합가공 시스템에 적용된 광학모듈은 한국기계연구원에서 특허출원 및 등록을 마쳤으며 향후 기술 선점을 통해서 시장을 보호할 수 있을 것으로 판단된다.

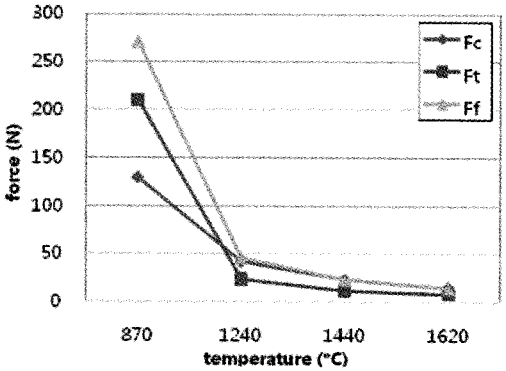

그림 6 레이저 예열온도에 따른 절삭력(질화규소 가공 시)

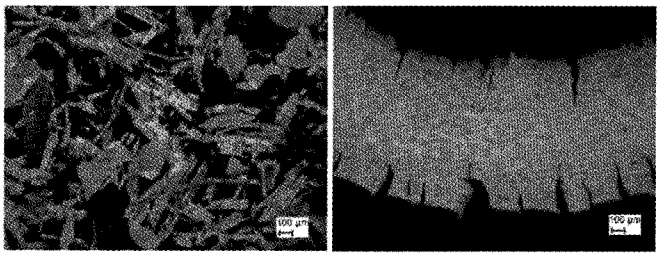

그림 7 질화규소의 예열온도에 따른 절삭칩의 형태: (좌) 880℃, (우) 1,260℃

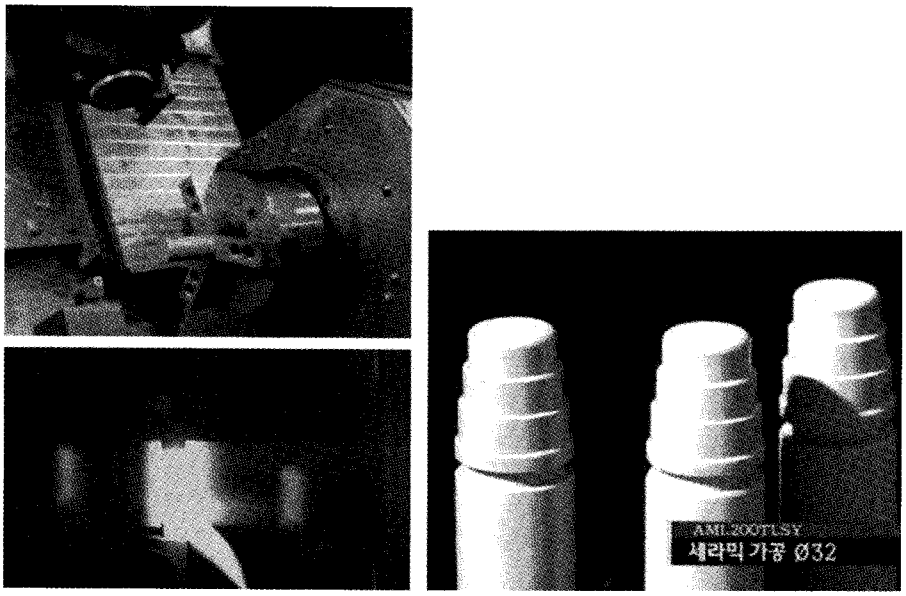

그림 8 레이저 예열선삭을 이용한 세라믹의 가공 사례

국내의 레이저 복합가공 공정개발

한국기계연구원 및 아메코(주)에서 공동개발된 복합가공기는 현재 시제품 단계에 있으며, 다양한 공정실험을 통하여 문제점을 개선하고 보완하여 상품화를 진행하고자 하였다. 대표적인 공정실험으로서는 레이저 예열선삭가공이 있으며 실험결과 질화규소의 경우 1,240℃ 이상의 온도에서 절삭력이 급격히 낮아지며 유동형칩이 생산된다는 것이 밝혀졌다. 이는 적정온도 이상에서 결합제가 연화되어 생기는 현상으로서 난삭재인 세라믹임에도 불구하고 파괴거동이 아닌 소성변형에 의한 원활한 절삭가공이 가능한 이유로 밝혀졌다. 그림 6은 1,240℃ 이상에서 절삭력이 급격히 낮아지는 현상을 보여주고 있으며, 그림 7은 온도에 따른 칩 형태의 변화로서 전단형 및 균열형칩에서 유동형칩으로의 변화를 나타내고 있다.

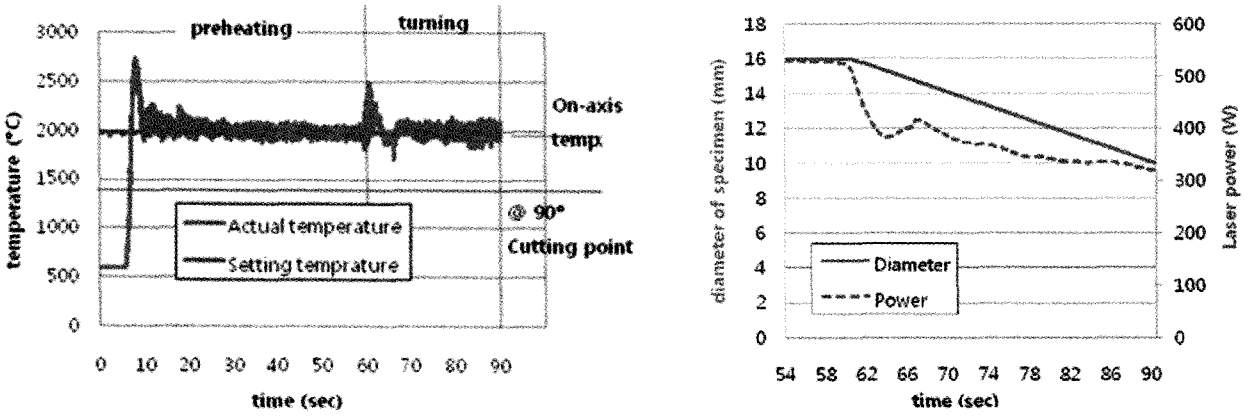

그림 9 직경의 변화에 따른 실시간 온도 제어 그래프(좌) 및 레이저 출력의 실시간 보정결과(우)

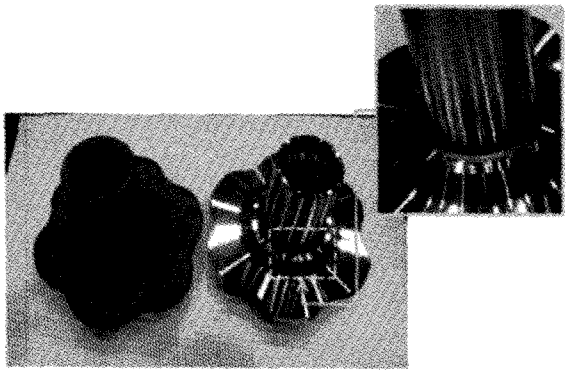

그림 10 레이저 복합가공기를 이용한 선삭 후 열처리공정

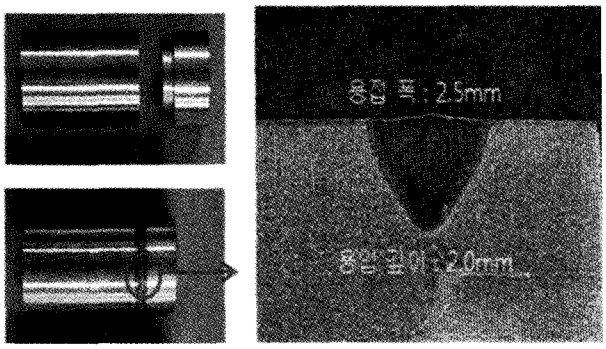

그림 11 레이저 복합가공기를 이용한 선삭 후 용접공정

절삭가공 시 가공직경에 따른 절삭온도의 제어가 필수적인데 이는 가공직경이 작아질수록 단위부피당 흡수되는 레이저 빔의 에너지가 증가하기 때문에 나타나는 현상이다. 이를 방지하기 위해 고온계(pyrometer)를 이용한 실시간 온도제어 기법을 이용하였다. 그림 8은 홈가공을 통하여 직경을 줄이는 가공을 실시한 사례이며 그림 9는 직경의 감소와 함께 온도제어를 통한 레이저 출력의 실시간 보정결과를 나타내고 있다.

레이저 복합가공기는 레이저 세라믹의 예열절삭 외에도 난삭재인 주철의 예열선삭에도 적합할 것으로 판단되며 나아가 그림 10 및 그림 11과 같이 절삭 후 열처리 및 용접공정에도 접목이 용이하였다. 또한 이와 같은 공정결과는 한 번의 척물림으로 가공이 가능하여 레이저 복합가공의 장점을 대변할 수 있었다.

맺음말

공작기계의 차세대 시장은 복합 가공화로 예측되고 있으며 일부에서는 이미 진행되고 있다. 이러한 복합화 추세는 최근의 시장 환경 변화에 따라 더욱 더 다양하게 진행될 전망이다. 기존의 기계 가공작업에서 생

산성이 한계에 도달함에 따라 조립 부품수를 줄이기 위한 노력이 진행되었다. 역으로 일반 소비자의 기호가 다양해짐에 따라 단위 부품의 형상은 더욱 복잡해지고 이를 위한 소량 생산시스템이 개발되기 시작하였다. 그러나 시스템의 상용화는 아직 시작단계에 불과하므로 집중적인 연구개발을 통하여 레이저 복합가공기를 국산화한다면 세계시장에서의 국제 경쟁력을 충분히 확보할 수 있다고 판단된다. 이에 대비하여 한국기계연구원은 복합가공시스템의 제작에 관한 연구를 진행하고 있으며 레이저와 머시닝센터가 결합된 레이저복합가공기의 설계 및 제작기술을 개발하였다. 또한 이를 기반으로 레이저 복합가공기술을 밀링공정 및 연삭공정 등에도 확장을 해나아갈 예정이며 레이저 표면처리기법의 접목을 통하여 더욱 더 다양한 모델의 레이저 복합가공기를 개발할 계획이다.

이와 같은 레이저와 기계가공을 이용한 복합가공기술은 자동차, 반도체, 조선 및 정밀기계 등 주요 산업분야의 기술 발전을 가져 올 수 있을 것이며, 제품의 품질 및 신뢰성을 높이는 핵심기술로 자리잡을 것이다. 또한 복합가공 기술은 레이저 시장뿐만 아니라 공작기계 시장을 활성화시킬 수 있을 것이고, 기존의 가공방법으로 불가능하였던 다양한 소재의 가공을 가능하게 함으로써 재료 선정의 폭을 크게 확대시킬 것으로 기대된다.

기계용어해설

대전방지제(Antistatic Agent)
성형물 표면에 정전기 발생을 막아 먼지의 부착을 막기 위하여, 성형 재료나 성형물 표면에 도포하는 약품.

그라우팅(Grouting)
베드나 공통 베드 등과 기초와의 사이에 수평잡기가 완료된 후 모르타르를 흘려 넣어 기초와 베드를 밀착시켜 기계의 가로 방향 스태거를 방지하거나, 베드의 내부에도 모르타르를 넣어 중량을 늘려 진동, 소음을 감소시키는 작업.

수분유출방지관(Antipriming Pipe)
물방울과 증기의 밀도차를 이용해 증기만 밸브로 송출함으로써, 수분유출을 막는 보일러에 장치된 관.

가동 코일형 계기(Moving Coil Type)
영구자석으로 형성된 자기장 속에 코일을 매달고 전류를 흘려보내 지침의 지시에 따라 직류 전류를 측정하는 계기.

비교습도(Percentage Humidity)
건조한 기체 1kg 속에 함유된 수증기의 양을 동일한 온도에서 포화한 경우에 건조한 기체 1kg 속에 함유된 수증기의 양으로 나눈 값.

양극처리(Anodizing)
금속의 표면을 연마, 산화 처리할 때에, 전해액의 양극에는 해당 금속을, 음극에는 불활성 금속을 각각 놓아 전류를 통하여 처리하는 방법.

정기정비(定期整備; Periodic Maintenance)
기기보전이나 성능유지를 위하여 일정 기간의 운전을 한 후 정기적으로 주요 부분을 개방하여 실시하는 점검 및 수리.

진자 펌프(Pendulum Pump)
미끄럼 전자기구를 응용하 것으로, 회전자가 실린더 내벽에 접하여 회전운동을 하여 액체를 한쪽에서 다른 쪽으로 송출하는 회전 펌프의 일종.

유리섬유로 강화한 플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastic)
GFRP로 약기. 가볍고 강하지만 값이 비싸지만 설계가 공기술의 진보가 그 수요를 확대시키고 있는 물질.