

레이저 가공기술의 개발현황과 전망



황 경 현 (가공기술실 선임연구원)

- '76 서울대학교 기계공학과 졸업
- '78 한국과학원 기계공학과 졸업(석사)
- '86 O.S.U. 기계공학과 졸업(박사)
- '78-現 한국기계연구소 선임연구원

I. 서 론

생산기술은 모든 산업 분야에서 핵심적 근간 기술로서 국제적으로 무역경쟁이 치열해짐에 따라 산업구조와 경제구조를 결정하는 주요 인자로 부각되게 되었지만 최근 선진국으로 부터 이분야의 신가공 尖端技術의 이전이 금지되고 있다.

생산기술중에서도 가장 기초적이고 필수적인 가공기술은 국내 업체들에 의해 기술 개발과 축적이 수행되어 상당한 수준에 이르렀으나 레이저 가공과 같은 첨단 가공 분야는 외국으로 부터 기술 이전 기피와 국내 관련 산업의 기술적 취약성 때문에 선진국과의 기술적 차이가 많다. 특히, 항공우주산업, 전자산업, 자동차산업등이 발달함에 따라 정밀성과 대량생산성이 요구되며 또한 신소재의 개발과 응용범위가 확대됨에 따라 기존의 가공 방법이 레이저를 이용한 가공방법으로 많이 대체되고 있으며, 또한 레이저 가공기를 생산하는 업체도 증가하고 있다. 그러나 레이저 가공에 이용되는 레이저 특성, 레이저 가공의 특징과 장단점, 레이저 가공의 응용 범위와 한계성에 대한 정확한 정보와 자료가 없어 산업체에서 이분야의 기술 도입과 시설투자에 어려움을 겪고 있다.

이 분야에 대한 기술적, 경제적 현황과 동향을 파악하여 관련업체의 해당 공정에서 이 기술의 실용화와 응용화에 대한 타당성과 앞으로의 전망과 기술개발 전략에 대해 기술하여 보려고 한다.

선진국과 국내의 기술현황을 비교검토하여 레이저 가공기술개발 및 응용범위를 확대할 수 있는 계기로 삼고, 또한 현재의 국내외 가공기 공급 실태와 전망을 검토하여 본 것이므로 기술적인

면은 가급적 언급하지 않겠다.

II. 기술의 특징과 중요성

레이저 가공기술의 특성을 알기 위해서는 레이저 광의 특성과 빔(Beam)의 발생 원리를 살펴볼 필요성이 있으나 여기서는 원리대신에 어원만 소개한다.

레이저는 “유도방사에 의한 빛의 증폭(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)”의 줄임말이고 그 특성은 단색성(Monochromacity), 일방향성(Directionality) 혹은 퍼짐성(Divergence)이 적은성질, 모드가 낮은 성질, 강한 응집성(Coherence)등이다. 이러한 성질을 이용하여 측정, 금속 및 비금속 가공, 의학, 군사, 정보, 홀로그래피(Holography)등 여러 분야에서 응용되고 있다. 레이저 가공기술은 한 마디로 열을 조절하는 기술로서 재료의 물리적, 화학적 또는 내부조직의 변화를 주는 방법이다. 따라서 레이저에 의한 가공은 熱源의 특성, 가공물의 성질, 가공 공정변수, 가공기의 광학계특성에 따라 응용범위와 성능이 크게 좌우된다.

열원의 특성으로는 출력, 에너지밀도, 파장, 照射시간, 편광(Polarization), 퍼짐, 빔모드 등이고 가공물의 특성으로는 밀도, 흡수율(혹은반사율), 열전도도, 용융점, 증발온도, 잠열 등이며 가공공정 변수로는 절단 혹은 드릴링 속도, 두께, 펄스폭, 펄스주기, 보조 가스압력, 종류 등이며 가공기의 광학계 특성으로는 노즐의 형상, 초점거리, 초점심도, 스팟지름, 노즐의 높이 등이다.

레이저를 이용한 가공기술개발은 이러한 특성과 변수들을 조절하는 기술이다. 또한 레이저의 에너지밀도가 증가됨에 따라 그림1과 같이 금속표면에서 일어나는 현상이 변하게 되는데 에너지 밀도가 10^5w/cm^2 이하에서는 그림1(a)와 같이 금속내부로 열전달만이 일어나게 된다. 10^6w/cm^2 정도가 되면 용융점에 도달되어 용융계면이 그림1(b)와 같이 금속내부로 전달된다. $10^6 \sim 10^7 \text{w/cm}^2$ 정도가 되면 용융계면은 내부로 이동됨과 동시에 표면 온도가 沸騰點 이상이 되어 그림1(c)와 같이 재

료의 증발이 시작되며, 그림1(d)는 레이저 밀도가 더욱 증가되어 $2.5 \times 10^7 \text{w/cm}^2$ 이상이 되면 레이저 에너지가 이들 증발되는 물질에 흡수되어 원자를 이온화시켜 플라즈마를 발생시키는 것을 보여준다.

레이저 에너지 밀도의 증가에 따라 재료표면에서 그림1과 같이 가열, 용융, 증발이 일어나고 표1에서 보는바와 같은 가공 공정들이 있다.

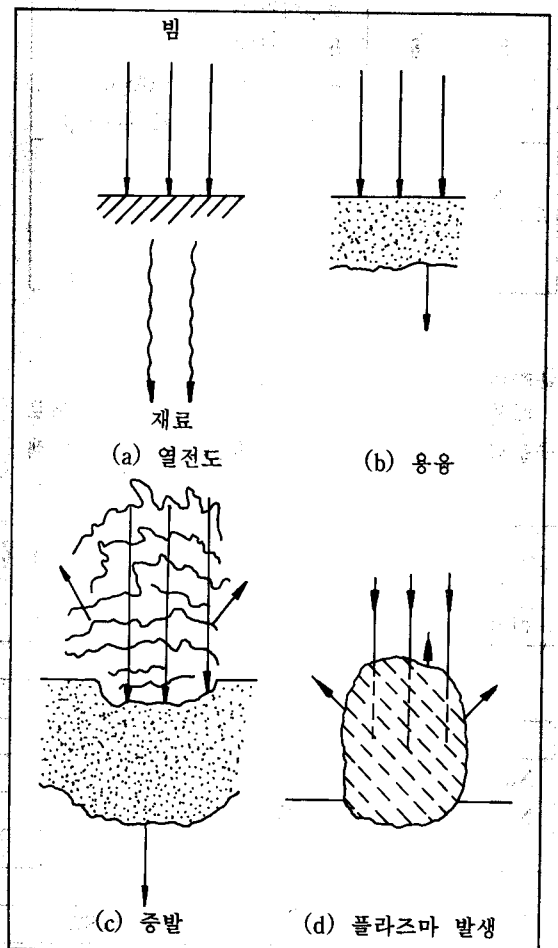


그림.1) 레이저 빔과 재료와의 상호작용

레이저 종류는 발전형식과 사용되는 매체, 냉각방법 등에 따라 분류 할 수 있으며 발전 형식에 의해서는 연속파(Continuous Wave)와 반복펄스로 구분되며 피크출력(Peak Power)을 크게 하기 위해

표.1) 레이저 가공 분류

에너지 밀도에 의한 열 효과	가 공 공 정
가 열	국부 어닐링/연화 열처리/변태 경화 레이저 이용 절삭 레이저 이용 화학반응
용 용	솔드링(Soldering) 브레이징(Brazing) 용 접(Welding) 표면합금(Surface Alloying) 용융경화(Fusion Hardening)
중 발	절단/스크라이빙(Scribing) 드릴링(Drilling) 마킹/조각(Engraving) 충격 경화(Shock Hardening)

Q-switched 반복펄스를 사용하기도 한다.

매체에 의해서는 기체, 고체, 액체 레이저로 구분되며 기체 레이저에는 He-Ne 레이저, CO₂ 레이저 등이 있고, 고체 레이저에는 루비레이저, Nd : YAG 레이저, Nd : 유리 레이저 등이 있으며 액체 레이저로는 GaAs 레이저 등이 있다. 가공용 레이저의 종류와 특성은 표2와 같다. 냉각방식에 따라 확산냉각(Diffusion Cooling), 대류냉각(Convector Cooling)등으로 분류할 수도 있다.

레이저에 의한 금속 및 비금속 가공의 장점 및 단점은 다음과 같다.

장 점

- ① 고속가열가공을 하기 때문에 열변형층이 좁다 (0.6mm 미만)
- ② 光으로 가공하기 때문에 가공력은 매우 적으며 또한 가공으로 인한 재료의 변형이나 오염이 없다.
- ③ 레이저는 매우 단단하거나 취성이 많은 재료도 가공할 수 있다.
- ④ 공구와 치구가 비교적 간단하고 비접촉이므로 공구의 마모가 없다.
- ⑤ 열성질이 잘못지 않은 금속들을 집합가능하고 용접시 용접봉이 필요없다.
- ⑥ 대기중에서 수행하므로 진공을 필요로 하지

표.2) 가공용 레이저 종류

레이저 명	파 장 (μm)	발전형식	표준출력 (W)	가공 예
CO ₂	10.6	CW(연속파)	-10	열처리, 용접, 절단
		반복펄스	400	절단, 드릴링, 제거가공
Ar +	0.4880/0.5145	CW	20	반도체가공
Nd : YAG Nd : YAG	1.06	CW	-10	용 접
		반복 Q-SW	-10(평균)	트리밍
		반복펄스	200(평균)	용접, 드릴링
Nd : Glass	1.06	단일펄스	300	스팟용접, 드릴링
		반복 Q-SW	50	반도체 어닐링
루 비	0.6943	단일펄스		스팟용접, 드릴링
		반복 Q-SW		반도체 어닐링
CO	4.9-6.2	CW	> 100	반도체(시도중)
액 시 머	ArF	.193	펄 스	광화학 반응, 에칭, 반도체
	KrF	.249		
	XeCl	.350		

않으며 분위기를 만드는 경우 제어하기 편리하다.

- ⑦ 복잡한 부품에 매우 복잡한 모양도 가공할 수 있으며 매우 미세한 용접도 가능하다.
- ⑧ 가공시 부품의 진동과 소음등이 없고 작업환경이 깨끗하다.

단 점

- ① 투자비용과 작동비용이 큰 고가공정이다.
- ② 비교적 새로운 기술이어서 위험성을 내포하고 있으며 훈련된 인력이 부족하다.
- ③ 에너지 효율이 떨어지고 절단되는 두께와 천공되는 깊이에 제한을 받는다.
- ④ 레이저로 천공된 구멍의 크기와 절단면의 폭이 일정하지 못하고 약간의 테이퍼가 지므로 정밀성을 요하는 부품에는 마무리공정이 필요하다.
- ⑤ 반사율이 큰 재료의 절단과 드릴링이 용이하지 않다.

위에 언급한 바와같이 레이저 가공은 여러가지 장점에도 불구하고 아직 해결해야 할 단점도 있어 기존의 가공방법이 경제적이고 제품의 질에 결함이 없으면 레이저에 의한 방법이 사용되기 힘들다. 그러나 열에 민감한 재료로서 매우 적은 열변형 구간을 필요로 하는 경우, 다이아몬드 등 매우 단단하거나 취약한 재료의 천공등 통상적인 방법으로는 힘든 경우에는 레이저를 이용함이 바람직하다.

레이저에 의한 새로운 가공법을 도입함에는 기술적인 타당성 검토위에 경제적인 타당성, 장비 및 운전의 신뢰성등 여러가지 문제를 검토해야 한다. 특히, 비교 및 경쟁되는 기술이 있을때는 더욱 그러하다. 레이저의 공업적인 응용은 다음 세가지 범주의 하나에 속해야만 실용화가 가능하다. 첫째 기존의 가공방법에 비해 제품의 질과 가격면에서 경쟁력이 있어야하고 둘째 특정가공에서 레이저만이 가공이 가능한 경우이며, 마지막으로 레이저가 생산공정을 혁신함으로써 전체적인 생산비가 저렴해지는 경우에 가능하다. 그러나, 설계 제작에 있어서 유연성을 증가시키고 시제품을 만드는데 빠른 왕복시간을 보장하여

주고 다이의 필요성을 감소시켜 多品種 少量生産을 하는 경우에 적용할 수 있다.

현재 실용화 되고 있는 공정과 부품에 대한 도입 이유등을 소개한다.

절 단

- 엘레베이터부품 및 전기차단기 부품
 - 다품종 소량 생산에 따른 금형비 절감
- 오디오 및 비디오 부품, OA기기 부품
 - 신제품 개발시 개발시간(Lead Time) 단축 및 모델 변경의 융통성 부여
- 자동차 파넬 트리밍
 - 시제품 파넬의 트리밍용 금형제작시 동일 프로그램 사용
 - 특수차량 및 한정대수 차량의 파넬 트리밍
- 다이보드 제작 - 불량품 감소 및 정밀가공
- 복잡한 형상의 가스킷절단-금형비절감, 생산량증대 및 불순물 부착방지가능

구멍뚫기

- 다이아몬드 및 루비등의 구멍-직경 10 μ m, 깊이 5-10mm 가능
 - 생산량 증가
- 항공기용 터어빈블레이드 구멍-생산량 증대
- 관개용 폴리에틸렌 튜브의 구멍가공, 수유용 젖꼭지 구멍 -직경 0.2-0.5mm 구멍가공 및 균일한 구멍
- 담배 필터의 구멍가공-생산량이 증가되고 구멍크기의 균일화

용 접

- 석탄절단용 톱날용접 ; SK5와 인조다이아몬드 용접
 - 강도향상에 의한 수명 증대 및 절단시 냉각 불필요
- WD-40용 알루미늄 캔 용접
 - 표면의 내용 인쇄후 용접가능, 후처리 공정 불필요
- 자동차 트랜스미션의 싱크로기어 용접, 라디에터용 폴리 용접

- 생산성 향상 및 자동화 기능
- 모터의 라미네이트 용접
 - 리벳 방식에 비해 원가 절감 및 용접후 밸런싱 불필요
- 배기파이프 용접, 딥드로잉용 대형판재 용접
 - 불량을 감소 및 원가절감

열 처리

- 기어의 잇빨, 캠의 가이드부 열처리
 - 연마시간의 대폭 단축 및 防炭비용의 절감
- 파워 스티어링용 기어하우징의 내면 홈 경화
 - 마모 저항 향상, 단가 저하 및 후공정 생략가능
- 트럭 액슬의 베어링표면경화
 - 마모 저항 향상 및 연마시간 단축
- 기어변속용 포크(Fork)의 측면 경화 처리
- 디젤엔진 밸브시트 및 밸브가이드 면 경화

마 킹

- 자동차 부품 및 전자 부품에의 刻印
 - 부품에 손상을 주지 않고 생산관리 및 A/S 관리가 효율적이고 자동화가 용이하다
- 공구 및 절삭용 텅에의 각인
 - 깨끗하며 지워지지 않는 각인 가능하고 부품 고급화
- 베어링 레이스에의 각인
 - 변형이 없고 지워지지 않는다

이상과 같이 레이저 가공의 문제점에도 불구하고 실용화와 응용범위가 매년 증가되고 있는 추세이다.

다음 장에서는 국내외의 가공기와 가공의 현황 그리고 이 분야의 연구개발 현황을 살펴보도록 한다.

III. 선진국의 기술 동향

레이저 가공기와 가공기술의 R&D 현황, 가공기 생산 현황, 실용화 현황등을 살펴 본다.

1. 레이저 가공기의 생산 현황

레이저 가공기의 보급은 1985년 현재 전세계적으로 8,000-10,000대 정도(50w 이상)사용되고 있는 것으로 추산되며 일년에 20-30억불 정도의 가공기가 판매되는 것으로 보여진다. 표3에는 1986년 현재의 미국에서 사용되고 있는 레이저 종류와 대수를 보여준다.

1. 전체 레이저 가공기 숫자	9253 대
2. 고체 레이저	4562 대
3. 기체 레이저	4691 대
4. 산업체 설치 현황	
자동차 산업	3238 대
전기 전자 산업	1665 대
항공 산업	3516 대
기 타	834 대
5. 레이저 발전기 제조 회사	38 사
6. 시스템 제조 회사	87 사

전세계적으로는 약 400여개의 회사가 레이저 가공기 및 레이저 發振장치를 생산하고 있으며 CO₂ 레이저의 경우 일본에서는 380대 정도가 이용되고 있으며 86년에 140-150대 정도가 보급되었으며 판매고는 '86년에 137-143백만불 정도이고, '87년에는 327 백만불 정도였다고 추산된다. 현재 까지 일본에서는 레이저 발전기는 외국에서 수입하여 사용하고 있다. 표4에는 미국에서 판매된 레이저 열원(발전기)의 판매량을 사용되는 영역 별로 보여준다.

표5에는 미국에서 판매된 레이저 종류와 응용을 보여준다. 1987년 미국의 금속 및 비금속 가공용으로 생산된 가공용 레이저 발전기의 판매고는 121.2백만불 정도이고 '88년에는 134.7백만불 정도로 증가 되었다. 유럽에서도 독일, 영국, 프랑스 등에서 레이저 가공기를 제작, 판매하고 있으며

표.4) 미국의 레이저 발전기 판매 현황

(단위 : 백만불)

응용영역	1984	1985	1985 (성장율)	1986	1986 (성장율)	1987	1987 (성장율)	1988	1988 (성장예측)
재료가공	69	87	13.6	113	29.9	121	7.7	135	11.2
계 측	13	16	23.0	17	6.2	18	5.9	20	11.1
연구개발	92	102	10.9	117	14.7	130	11.3	146	12.1
광 통신	45	68	51.1	88	29.4	77	-12.3	65	-16.1
광기록체	10	25	250	36	44	65	81.2	89	37.1
의 료	61	67	9.8	79	17.9	92	16.4	104	13.0
기 타	102	118	-	59	-	61	-	61	-
계	392	483	23.2	509	5.4	563	10.6	620	10.1

표.5) 미국에서의 레이저 발전기 판매 실적

종 류 응 용	CO ₂		Diode		Excimer		HeNe	
	'87	'88	'87	'88	'87	'88	'87	'88
재 료 가 공	1,475	1,600	0	0	40	55	0	0
농 업	0	0	13,500	15,000	0	0	14,800	15,800
측 정	0	0	7,500	8,000	0	0	30,400	31,300
R & D	400	400	14,000	16,000	415	480	12,400	12,800
스 캐 닝	0	0	10,000	20,000	0	0	124,000	148,000
광 기 의 장 치	0	0	5,500,000	10,300,000	0	0	0	0
광 정 보	0	0	80,000	85,000	0	0	370	380
의 학	1,400	1,500	20,000	12,000	12	18	12,750	12,100
기 타	0	0	75,000	1,000,000	0	0	67,200	40,290
전 체	3,315	3,545	6,395,000	11,456,000	467	553	235,800	260,670
변 화		6.9		79.1		18.1		10.5

EUREKA (The European Research Coordination Agency's) 프로그램에 의해 25kw CO₂ 레이저를 4년에 걸쳐 영국, 스페인, 덴마크 등이 합작으로 개발하여 추후에 이를 합하여 200kw 레이저를 완성시킬려고 한다. 일본은 미쓰비시, 도시바, 히타치, NEC 등 10개 회사에서 레이저 발전기를 개발하여 사용하고 있으며 40개정도 회사가 레이저 가공기를 생산하고 있다. 또한 MITI와 미쓰비시 등에서는 각각 20 kw의 레이저를 개발하고 있다.

앞으로의 레이저가공기 개발전망은 소형이고 치밀한 구조를 갖고 6축제어를 할 수 있도록 하고 있으며 이미 GM에서는 6축 제어의 3차원 레이저가공기를 도입하였다. 이는 이탈리아의 프리마프로getti 회사에서 개발하여 전세계에 28대를 이미 판매 한것의 일부이다. 쾌속축류 (Fast Axial Flow) CO₂레이저도 2-5kw 정도가 될정도로 연구가 진행되어 1-2년 내에 실용화 될 전망이다. 슬랩 (Slab) YAG 기구가 도입되어 절단과 드릴링을

하는 경우 CO₂에서 할 수 없는 정밀 부품을 가공할 수 있도록 연구중이다. 또한 엑사이머 레이저의 출력을 높여 반도체, 금속 및 비금속 절단과 드릴링과 군사목적에 이용되도록 Lambda Physik社에서 연구하고 있다. 레이저 빔의 질을 향상시키기 위해 해석, 조절장치를 부착하여 시험을 하고있다. RF(Radio Frequency) CO₂ 레이저의 실용화가 이루어져 500~1500w 급 레이저가 보급될 것이다. 이상과 같이 선진국의 연구개발 방향은 장치를 소형화 할 수 있는 고체 레이저 발전 소자의 대출력화, 파장이 짧고 光量子 에너지가 크기 때문에 사용되는 엑사이머 레이저, 우란의 동위원소 분리에 사용되는 銅蒸氣 레이저나 대출력화의 가능성이 높고 발전과장을 마음대로 할 수 있는 자유전자 레이저의 개발등 새로운 레이저 발전기 개발과 더불어 기실용화된 레이저의 대출력화, 로봇트등을 이용한 자동화 시스템과 연결하여 FA를 이루는 사업등이다.

2. 레이저 가공 현황

현재 사용되고 있는 레이저 가공기술은 기존의 가공기술을 대체화하는 방향과 새로운 가공방법을 개발하는 방향으로 크게 나눌 수 있다. 먼저 제거작업(Removing, 절단과 드릴링 포함)으로는 금속의 경우 반응가스 방법(Reactive Gas Flow Type)을 이용하여 두꺼운 금속판을 절단하고 경사면이나 형상을 절단하는 방법 구리판을 절단하는 방법이 연구개발 중이다. 또한 이에대한 질을 향상시키기 위한 연구와 적응조절(Adaptive Control)에 대한 개발, 비금속의 경우 폴리머, 반복레이저에 의한 GFRP의 절단면 제어, 세라믹스 절단 등이 연구과제로 각광을 받고있다.

표면 開質분야에서는 변태경화(Transformation Hardening)에 대한 컴퓨터 시뮬레이션, FDM에 의한 표면경화층 예측, EBAT(Exploiting Brewster Absorption Tech)을 이용한 변태경화, PM 강의 경화등에 대한 연구를 하고 있으며 클래딩(Cladding) 분야에서는 잔류응력 문제, 여러가지 복합재에 의한 금속합금 스캐닝, 구리합금의 클래딩, 코발트 합금으로 크롬강을 클래딩하는 연구가

진행중이다. 합금분야로서는 420 스테인레스강의 표면 합금, 공구강의 표면처리, CO₂와 CO 레이저에 의한 공구강에 W-합금층의 형성등의 연구를 수행하고 있다.

금속 퀴칭과 고화(Solidification) 분야로서 지르코늄 합금의 표면 퀴칭, 산화된 곳에서 레이저 처리된 강합금의 표면 변태, 주물 스텔라이트 합금의 미세조직과 성질에 레이저 재용융과 급속 급형 영향, 반복 펄스레이저에 의한 비결정물질 합금층의 형성등에 관한 연구를 하고 있다. 세라믹스 코팅분야로서 금속의 마모성질을 증가시키기 위한 표면 개질, 펄스레이저 플래즈모트론, 레이저照射에 의한 Ti 코팅된 강의 표면경화, 금속의 레이저에 의한 연소, 레이저를 이용한 세라믹 코팅기술, CO₂ 레이저를 이용하여 AI 합금에 세라믹스 증기증착 기술등에 관한 연구가 진행되고 있으며 신가공 기술로는 엑사이머 레이저를 이용하여 유기물질을 에칭하고 세라막스를 신터링하는 기술, 고출력 레이저를 이용하여 새로운 세라믹스의 신터링과 성장, 금속과 합금을 레이저에 의해 성형하는 방법, 레이저 빔 어닐링에 의해 Nb₃Al과 Nb₃(Al, Ge) 반도체 테이프 제조방법개발 등이다. 현재 이용되고 있거나 개발된 선진국의 레이저 가공 현황을 알아 보도록 한다. 먼저 산업계에 사용되는 공정에 대해 비율분포를 살펴보면 표6과 같이 절단/드릴링이 많다.

표7에는 일본 자동차 업계에서의 레이저 가공 예를 부품별로 보여주고 그림2에는 부품위치와

표.6) 산업체에 사용되는 레이저 공정 백분율

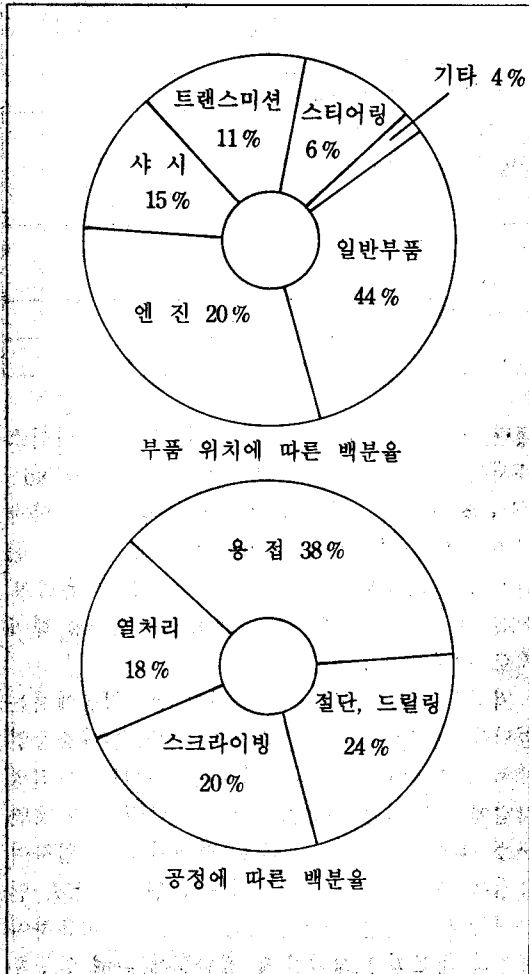
(기준 1986년)

공정	미 국	일 본	유 럽
절 단/드릴링	31	36	40
용 접/솔드링	22	15	20
표 면 처 리	1	1	2
스크라이빙/트립	22	24	15
마 킹	20	18	15
기 타	4	6	8
합 계	100	100	100

표7) 자동차 부품산업에서 레이저 가공응용 예
(기준 1986년)

부품	공정형태	열처리	용접	절단, 드릴링	스크라이빙	전체
샤시			4	6		10
엔진	9		1	2	1	13
트랜스미션			6	1		7
스티어링	2		2			4
일반부품			12	7	10	29
기타	1				2	3
전체	12		25	16	13	66

그림.2) 자동차 산업에서 부품 위치별, 공정별 백분율



공정에 따른 공정 백분율을 보여준다.

표7 과 그림2에서 보는바와 같이 자동차 산업에서는 용접의 비중이 크다. 그러나 항공산업에서는 절단 및 드릴링의 비중이 전체의 65~75% 정도이며 전자부품 산업에서는 드릴링의 비중이 크다. 최근에 개발되어 실용화 단계에 이른 제품을 소개하면 Nippon Steel Co.에서는 반복펄스 레이저와 CAD 시스템을 이용하여 7가지 다른 색깔을 나타내는 스테인레스강을 개발 하였고, Laser Machining Inc.에서는 비교적 빠른속도(5m/min)로 움직이는 플라스틱을 정확한 원호로 절단하는 소프트웨어를 만들었다.

일본 NEC에서는 LSI의 선을 접합하는데 UV Nd:YAG 레이저를 이용하여 실용화 단계에 이르렀다. 앞으로는 자동화 된 레이저의 복잡성 때문에 조절 및 관리 기법이 중요한 기술개발 분야가 될 것이며, 엑사이머 레이저나 CO 레이저와 같은 파장이 짧은 레이저로 재료를 가공할 수 있는 기법과 신소재, 취성재료의 가공기법에 대한 연구가 수행될 전망이다.

IV. 국내 기술개발 현황

국내의 레이저 가공기 제조업체와 가공기술개발 현황을 살펴보기로 한다.

1. 국내 레이저가공기 생산현황

국내의 레이저 발전기 연구개발 실적은 표8에서 보는바와 같다.

현재는 금성전선에서 120w CO₂ 레이저를 개발 하였는데 발전기는 자체개발을 하였고 기타부품은 Fanuc 제품을 사용하였으며 '89년에 계속 축류 형태의 1000w CO₂ 레이저를 개발중이다. 표준연구소에서는 '89년 3월 560w CO₂ 레이저를 개발 하였고 현대중공업에서는 마킹 및 조각용 10w Nd:YAG 레이저를 개발하였다.

이 경우에는 외국에서 발전기를 도입하였고 1kw CO₂ 레이저 발전기를 수입하여 자체 제어 시스템과 베드에 연결시켜 생산하고 있으며 30w Nd:YAG 레이저를 생산할 예정이다.

표.8) 국내의 레이저 발전기 연구개발 실적

종 류	개발년도	연구기관	연구 내용
CO ₂	1974	서울대	-CW, 58 W 3 m Cavity
	1979	과기원+핵연료	-TEA, 0.6 MW
	1980	과기원	-TEA, 0.6 KW
	1981	과기원	-TEA, 1 MW
	1986	금성전선	-CW, 100 W
He-Ne	1975	연세대	-Pulse 발전, 65 cm
	1977	과기원+삼성	-1 mw, 30 cm Cavity
N ₂	1978	에너지연	-Pulse 발전
	1980	과기원	-Dye Pumping Source
Iodine	1978	과기원	-CF I, 10 W, 2.5 is
	1980	〃	-CF I, 2.3 kw
	1983	〃	-CF I, 43.8 MW
	1986	〃	-CH I, +Ar, 1 GW
Ar 이온	1984	에너지연+연세대	-CW, 0.1 W, Graphite Dua
Dye (Rodamin6G)	1980	과기원	-Pulse 17 A Line Width 파장범위 580-610 nm
	1984	표준연	-CW
Nd-YAG	1982	서울대	-Pulse Q/S, 10.4 J
	1986	국과연	-CW 100 W
Ruby	1985	경남대	-Q/S 30 MW
GaAs	1986	과기원	-850 nm 발전

삼성항공에서는 미국 KTD사와 기술협력을 하여 Nd: glass 레이저를 개발할 예정이다. 또한 과기원이 중심이 되어 국가 특정 연구과제로서 '91년 까지 10kw의 CO₂ 레이저를 개발할 계획이다. 그밖에 동양방전에서 이 분야의 연구를 시작하였다.

2. 국내의 레이저가공 응용현황

국내의 산업체에서 레이저를 이용하여 가공을 수행하고 있는 분야를 표9에 제시한다.

신성기연에서는 금속 및 비금속의 판금가공과 다품종 소량제품의 제작을 주문생산 형태로 1500w CO₂ 레이저를 이용하여 수행하며 금성전선연구소에서는 PCB 기판 드릴 스크라이빙 등에 대해 연구를 하며 삼성전판에서는 브라운관의 정밀 용접,

절단, 열처리용으로 이용하고 있으며 금강다이에서는 伸線用 다이의 다이아몬드 드릴용 Nd: YAG 레이저를 이용하고 이화다이아몬드도 마찬가지로, 삼영기계, 경성기업사 등이 용접과 절단용으로 2kw와 1.5kw CO₂ 레이저를 이용하며, 삼신레이저, 서울레이저등도 460w와 1.5kw 레이저로 주문생산을 하고있다.

자동차에서는 용접용 레이저가 삼성항공에서는 절단용 레이저, 삼성반도체에서 마킹, 현대중공업에서도 마킹과 조각을, 삼성전기에서는 트리밍 작업에 레이저를 이용하고 있다. KIST와 기계연구소 대덕분소에서는 3kw 레이저를 도입하여 용접에 관한 연구를 하고 있으며 연세대학교, 인하대학교, 과학원등에서도 CO₂ 레이저를 이용하여 표면의 개질과 브레이징 및 절단등에 관해 연구를

표.9) 국내 산업체의 레이저 가공 응용 현황

레이저 종류	응용 분야
CO ₂ 레이저 (약 30 대)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 레이저 절단 ◦ 레이저 Marking ◦ 세라믹 물질 Drill 및 Score ◦ 외과 수술
Nd : YAG 레이저 (약 20 대)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 저항 Trimming ◦ 안과 수술 ◦ Compact Disk 진동 측정 ◦ 시험 및 용접 분야 ◦ 정보 산업(Numbering) ◦ 용접 및 표면가공
He-Ne 레이저 (수백대)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Optical Head (Compact Disk) ◦ 정렬용 ◦ 직경측정 ◦ 간섭계를 이용한 표면형상 측정 ◦ 면도날 각도, 길이 측정 ◦ 길이 측정 및 결정 검출 ◦ 미소변위 측정 ◦ 분말의 입도 분포 측정
Kr. Ar 레이저 (10 대 미만)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 유체의 유속 측정(LDV) ◦ 타이머의 미소변형 측정 및 결합 탐지 ◦ PCB 제작용 Photo Plotter
다이오드 레이저 (반도체 레이저)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 광섬유의 광학적 특성 측정 ◦ 광섬유의 두께 측정 ◦ 통신용 Light Source ◦ 레이저 프린터 개발용

하고있다.

한국기계연구소 가공기술실에서는 '84년 부터 '87년까지 레이저 광선을 이용하여 비접촉식으로 변형률을 측정하는 기술을 개발하였다. 또한 '89년 부터 레이저를 이용한 가공기술에 관한 연구를 수행하고 있는데 최적의 절단 및 드릴링 조건 결정, 表面粗度を 향상시키는 기술에 관한 연구를하여 자동차, 전자, 항공 산업계에 기술을 이전하여 많은 부품을 레이저로 가공할 수 있도록 유도할 것이다.

V. 기술개발 전략

앞에서 언급한 바와같이 레이저를 이용한 가공기술은 3가지 방향으로 발전되어가고 있는데, 첫번째는 이미 사용되고 있는 통상적인 가공방법을 대체화하는 수단이며, 다음에는 새로운 레이저 가공방법을 개발하는 분야, 마지막으로 레이저가공기 자체를 개발하는 것이다. 첫번째 범주에는 세라믹의 기관의 트리밍, 복합재의 절단, 티타늄 절단, 터어빈 블레이드 드릴링등이 속하며, 두번째 범주에는 레이저를 이용한 합금과 금속형성 등이며, 마지막으로 레이저가공기를 개량하는 분야로서는 고출력 레이저를 개발하거나 엑사이머

레이저와 같은 새로운 레이저를 가공에 이용하는 기술과 또한 최근 선진국에서 관심을 쏟고있는 자동화와 유연생산시스템(Flexible Manufacturing)의 개발 분야이다.

국내의 기술수준은 첫번째 범주에 속하는 대체기술에 대한 연구가 시작된 단계이며 레이저 發振裝置에 대한 개발도 초기단계에 머물러 있다. 현단계에서는 간헐적인 연구보다는 국가적인 사업으로서 체계적이고 종합적인 안목에서 지속적으로 연구를 할 필요성이 있다. 3개의 연구분야를 동시에 수행하되 시기와 연구방법 연구수행 기관등의 선택에 신중을 기해야만 한다.

먼저 레이저를 이용하여 금속 및 비금속을 가공하는 대체기술 분야에 관한 학계측의 역할은 열을 조절하는 기법, 즉 열역학, 열전달 모델과 레이저 가공역학(Mechanism), 새로운 레이저열원을 이용한 대체 기술을 위한 이론적 해석등을 담당해야 하고, 연구소에서는 최적 가공방법이나 조건, 초점문제등의 광학 시스템의 개량, 보조 가스 및 노즐 등 주변기계등의 자동화와 제어 시스템에 관한 연구, 많은 응용 범위를 넓히는데 기여할 수 있는 기술확보 등이다. 업체는 이전된 기술을 실제 공정에 투입할 수 있도록 연구소와

유기적인 관계에 있어야 하는데 이범주에 속하는 연구는 특히 연구소의 역할이 크게 부각되는 분야이다.

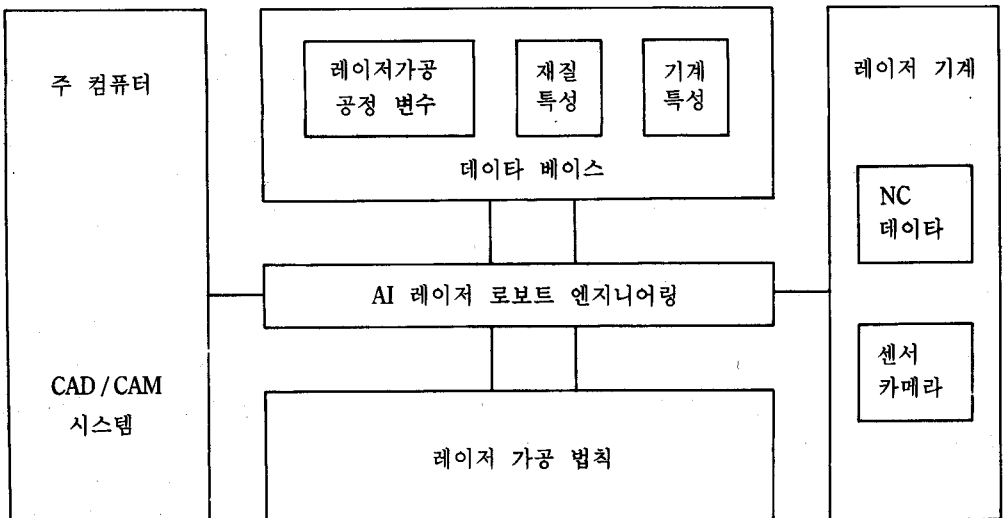
두번째로 새로운 레이저 기법을 연구하는 분야는 관련업체의 필요성이 기초가되어야 하며 학계에서는 이론과 기본 역학등에 관한 연구가 선행되어야 하며, 교량적인 역할을 하는 연구소와 더불어 공동연구를 수행해야 한다. 기술적, 경제적 위험성이 줄어든 상황에서 산업계로 기술이전이 되어야 하는데 국내 기술수준과 경제 여건상 다른 두 분야보다 우선 순위를 뒤로 하는 것이 바람직하다.

마지막으로 레이저가공기를 개량하는 분야는 학계와 연구소, 산업체가 동시에 수행해야 하는데 고출력 레이저를 개발하는 데는 현재 표준연구소와 과학기술원에서 담당하고 있어, 업체중에는 금성전선연구소나 대우중공업과 더불어 개발하는 것이 바람직하다.

미국에서는 레이저 열원을 생산하는 업체가 38 곳, 일본은 10 곳이므로 이와 비교하여 국내는 1~2 개 만 레이저 열원을 생산하면 된다.

또한 새로운 레이저를 개발하는 분야는 과기원에서 주체가되어 서울대학교, 전남대, 경희대,

표.10) 레이저 엑스퍼트 시스템



경북대, 연세대등이 공동 혹은 개별로 연구를 하고 있는데, 가공기술에 많이 이용될 것으로 보이는 엑사이머와 CO 레이저에 관한 연구가 선행되어야 한다.

마지막으로 자동화 시스템에 연결시켜 FA와 생산시스템을 구성하는 문제는 국내의 공작기계 생산업체와 레이저가공기를 생산하는 업체가 동일업체인 경우가 많으므로 산업체에서 선도적인 역할을 하여 연구소나 학계에서 이에 필요한 자료와 소프트웨어 개발등에 관한 연구를 담당할 수 있어야 한다. 본 연구소에서 관심이 많은 가공기술 개발분야는 연세대, 과기원, 서울대, 인하대, 부산대등 학계와 금성전선, 대우중공업, 삼성항공등과 공동으로 절단, 드릴링, 용접, 열처리, 표면처리등에 관한 연구가 수행될 수 있어야 하며 국가적인 사업으로 과학기술처나 상공부등에서 중점적으로 육성되어야 한다. 미래에는 레이저 Expert 시스템을 고려할 수 있는데 이 시스템은

AI(Artificial Intelligence)을 적용할수 있으며 표10과 같이 복합기술로서 물리, 화학, 기계, 재료 등 거의 모든 분야의 총체적 기술의 결합으로 레이저시스템과 가공기술의 활용방안이 결정되므로 연구가 병렬로 수행되어야 한다.

VI. 결 론

레이저 가공기술의 최종목표는 柔軟生産시스템 (Flexible Manufacturing System Complex Provided with Laser)을 완성하는 것이며, 미래의 산업구조가 자동화, 정밀, 고생산을 요하는 尖端技術을 필요로 한다면 레이저가공은 이를 만족시킬 수 있다. 국내의 기술과 시설수준은 아직 미숙한 편이지만 미래 지향적 산업구조를 갖기 위해서는 이 분야의 연구와 투자가 중점적이고 지속적으로 이루어져야 한다.

[참고 문헌]

- 1) *Laser and Applications*, 1987-1988. 3
- 2) *The Industrial Laser Annual Handbook*, 1986
- 3) *Laser & Optronics*, 1988. 4-1989. 4
- 4) Laser 가공기술 세미나 교재, Korea Techno Bank, 1988
- 5) Laser 가공에 관한 워크 샵, 부산대학교, 1988
- 6) *Laser in Modern Industry*, SME, 1979
- 7) *Source Book on Application of the Laser in Metalworking*, ASM Engineering Bookself, American Society for Metals, 1981
- 8) *Laser Advanced Materials Processing*, Japan Laser Processing Society, 1987