

# 우리나라 전기산업계의 레이저 광기술 수용전략

(6)

姜 玟 鎬

韓國電氣通信公社 研究開發團長

## 마. 전기재료 가공기술<sup>(15,17)</sup>

### (1) 레이저와 가공

레이저 발전에 성공한 이래로 30년이 경과한 오늘날도 발전은 계속되어 의료, 통신, 계측, 가공, 예술 등 여러분야에 급속하게 확대되어 왔다. 그 결과 용도에 따라 적합한 레이저 발전기와 가공법이 개발되고 여러산업 분야에 큰 공헌을 하게 되었다. 가공분야에 따라 레이저를 고려해 보면 재료를 부분적으로 제거하는 절단, 구멍뚫기, trimming, marking, scriber와 재료를 서로 녹여서 붙이는 용접 그리고 표면처리가 있다. 현재 사용중인 가공용 레이저는 표 2-7에서 보여주는 바와 같이 여러 종류가 있으나 주로 가공용으로 사용되는 것은 야그레이저와 탄산가스 레이저이다.

용도별 경향에 따라서는 반도체 관련 가공에는 YAG, 비금속과 금속의 가공에는 CO<sub>2</sub>와 YAG, 금속의 절단, 구멍뚫기, 용접·열처리에는 CO<sub>2</sub>레이저가 주로 이용된다.

### (2) 레이저 가공법의 특징

레이저 빔을 재료에 조사하면 재료의 표면층에서 광이 흡수되어 열로 변환되고 따라서

재료가 가열된다. 광을 계속 조사하면 재료의 표면층은 용융되고 더욱더 조사하면 증발한다. 이와 같이 가열, 용융, 증발현상을 이용하여 용접, 절단, 표면처리 등이 행해진다. 이러한 가공 과정은 레이저파워 밀도에 의하여 영향을 받고 있다.

고 파워 밀도의 경우, 재료 내부에 열이 전도됨이 없이 표면이 증발하는 것으로 열영향 부위가 적은 가공에 사용되고, 저 파워 밀도인 경우에는 증발에 충분한 조사시간을 필요로 하고 표면층이 용접에 달하기 때문에 용접, 합금 등의 용융가공에 사용된다. 레이저 가공의 특징을 열거하면 아래와 같다.

- (a) 평행하고 코히런트한 광을 집광하기 때문에 10°~10°W/cm<sup>2</sup>의 높은 파워 밀도가 얻어지고, 고융점·가열·무기재료의 가공이 가능하다.
- (b) 비접촉 가공이므로 공구의 마모 및 오염이 없다.
- (c) 가공 분위기에 제한이 없어 진공중이나 대기중에서도 가공할 수 있다.
- (d) 가공에 의한 변형, 뒤틀림 등의 열영향이 적어 정밀가공이 가능하다.
- (e) 레이저 조사중 X선의 방사가 없다.

〈표 2-7〉 가공용 레이저의 종류

	레이저 종류	파 장 ( $\mu\text{m}$ )	출력형태	출력의 크기	특 징	추 용 도
고 체	루 비	0.6943	펄 스	50J/P	가시 대출력	가 공
	YAG	1.06	Q-Switch (CW) 노말펄스	10~수백W ~10J/P	연속 고속 반복 주파수	가 공 (마이크로가공)
기	Nd/glass	1.06	펄 스	~200J/P~ 수십 KJ/P	초단 펄스	핵융합 가공
기	CO <sub>2</sub>	10.6	CW	1W~20kW	CW 대출력	가 공
		9.6	펄 스			에너지 응용
체	Ar	0.4880 0.5145	CW	1~100W	연속 고출력 가시	홀로 그래피 라아만 분광
	엑사이머 (KrF)	0.249	펄 스	10J/P (평균)	자외 대출력	레이저 화학 반응, 가공
	TEA CO <sub>2</sub>	10.6	펄 스	~100W (평균)	펄스 대출력	마 킹

(f) 미세가공이 가능하기 때문에 전자부품의 scribing, trimming 등이 용이하다.

(g) 광학계에 의해 가공 station을 쉽게 변경할 수 있고 시분할에 의한 생산도 가능하다.

레이저 가공장치의 문제점으로서는

- (a) 레이저 가공 장치의 가격 및 유지비가 비싸다.
- (b) 에너지 효율이 낮다.

### (3) 레이저 가공의 종류

레이저 가공에서는 레이저 빔의 조사조건을 제어함으로써 각종의 가공을 가능케 한다. 대표적인 레이저 가공법에는 가열 증발에 의한 절단, 구멍내기 등의 제거가공, 재료를 용융시키는 용접, 표면처리 등이 있다.

#### (가) 용 접

$10^5 \sim 10^6 \text{W/cm}^2$ 의 파워 밀도에서 행해지는 것으로서 YAG 및 CO<sub>2</sub>레이저에 의한 금속 및 세라믹의 용접이 있다. 레이저 용접법은 고품질이고, 속도가 빠르고, 제어성이 우수하고, 전자빔 용접과 거의 동등의 고품질 용접이 가능하여 서서히 실용화가 진행되고 있다.

#### (나) 절 단

$10^5 \sim 10^6 \text{W/cm}^2$ 의 파워 밀도에서 행해지는

것으로서 YAG 및 CO<sub>2</sub>레이저에 의한 금속 및 비금속의 절단이 있다. 강판 등의 절단에는 레이저 빔에 따라서 가스를 내뿜는 레이저 가스 절단법이 유효하다. 연강, 스텐레스강의 절단은 다음의 면에서 산소가 이용된다.

(a) 산화반응 열의 기여

(b) 슬랙 유동성 개선

(c) 산화물의 생성에 의한 빔의 흡수율 향상  
한편 Ti와 같은 활성 금속에서는 Ar 등이 이용된다.

(다) 표면처리

$10^3 \text{W/cm}^2$  이상의 파워 밀도에서 행해지는 것으로서 합금화 처리, glassing(금속표면층의 아몰피스화)등이 있다. 이외에 표면질 개선법으로서 표면 코팅, annealing 등 새로운 방법이 개발 실용화되고 있다.

### (4) 레이저 가공과 정도

레이저 가공은 워크 또는 대물렌즈계의 헤드를 구동 제어하여 목적으로 하는 기계본체 측과 가공에 적합한 레이저 광을 출력하는 발전기의 상호 작용으로 가공을 진행시키는 가공법이다. 따라서 가공기의 성능은 표 2-8에 보이는 여러가지의 기능 및 정도에 의하여 결정된다.

〈표 2-8〉 가공 정도

- (1) 기계계의 정도
  - a. 정적 정도 b. 동적 정도
- (2) 서보계의 정도
  - a. 1차지연 b. 2차지연 c. 정상편차
  - d. 불감대
- (3) 레이저계의 정도
  - a. 출력의 안정 b. 모드의 안정
  - c. point stability d. cold start 특성
- (4) 기타의 정도
  - a. 공구 b. 가스 c. 피가공재
- (5) 외적 요인
  - a. 열 b. 힘

기계 본체측의 성능이 좋고 나쁜 것은 어떻게 작동부를 지령대로 정확하게 동작시킬 수 있는가로 결정된다. 그러나 이것을 방해하는 요인은 표 2-9에서와 같이 다수 존재한다. 또 레이저 가공은 연속가공이므로 운전중 위치의 정확함이 절대로 필요하므로 서보계의 지연에 의한 진동과 기계의 강도가 중요하다.

기계 본체의 구조는 워크를 XY 양방향으로 구동하는 방식과 워크와 렌즈계 헤드를 1축씩 구동하는 방식 그리고 렌즈계 헤드를 XY방향으로 구동하는 3가지 방식이 있어, 여러가지 특징을 발휘하고 있다. 그러나 가공정도를 우선으로한 기계를 선택하려면 광로장이 변하지 않는 XY워크 위치 구동형이 레이저 spot size와 위치 안정성에서 유리하다.

레이저 발전기의 성능중에서 절단·구멍뚫

〈표 2-9〉 정도를 악화시키는 요인

- (1) 열에 의한 기계의 변형
  - a. 변형 b. 변위 c. 마모
- (2) 힘에 의한 기계의 변형
  - a. 변형 b. 변위 c. 진동 d. 마모
- (3) 환경에서 오는 기계의 마모
  - a. 진동 b. 열 c. 습기
- (4) 유지보수 불량
  - a. 마모

기에 깊은 관련이 있는 것은 레이저의 출력 모드·광축위치의 안정이며 광축 단면의 광에너지 분포가 원모양의 제특성이 기온 습도의 변화에 대하여도 충분히 안정되게 동작시킬 수 있다.

(5) CO<sub>2</sub> 레이저 가공

(가) 절단 가공

원편광 빔을 채용하여 절단방향에 관계없이 균일하고 평탄한 절단면이 얻어진다. 또 박판의 정밀절단 및 미소 구멍가공의 경우에는 입사량을 제어할 필요가 있어 일반적으로 펄스빔을 이용하여 절단한다.

일반적으로 각종 재료의 절단조건(레이저 조사 에너지, 절단 속도, 보조가스량등)에는 각각의 적정 범위가 정해져 있다.

(나) 용접 가공

현재 고에너지 밀도를 얻기 위해 출력 5kW 이상의 CO<sub>2</sub>레이저가 이용되고 있지만 안정형 공진기 구성에 의한 멀티모드보다는 집광성이 좋은 불안정형 공진기인 링모드가 주로 이용되고 있다.

(다) 표면처리

최근에 각광을 받고 있는 분야로 피가공물 표면에 레이저 빔을 조사하여 표면을 가열, 용융, 증발 등의 공정을 거쳐 내마모성, 내식성, 내열성, 내구성 향상, 전기적 특성 개선 등에 이용하고 있다. 이의 특징을 열거하면

- 열처리에 의한 왜곡이 매우 적다.
  - Clean한 열처리 가공이다.
  - 처리조건의 정량적 관리가 가능하다.
  - 필요부분만의 선택적 가공이 가능하다.
- 등이 있다. 따라서 후처리 과정이 별도로 필요치 않기 때문에 고부가가치 가공, 생산성 및 품질 향상이 기대된다.

레이저에 의한 표면처리를 각 공정과 함께 대표적인 처리 기술을 열거하면

(a) 가열 Process

변태 열처리, 복합 열처리

(b) 용융 Process

표면 변질 가공 : 표면재용융, 비정질화

〈표 2-10〉 각종 재료의 레이저 Cladding 조건

처리조건 \ Cladding	T-800 합 금	실 리 콘	텅스텐 카바 아트 및 칠	알루미늄
Cladding 재료의 공급방법	분 말	분 말	WC(~0.5mm) Fe(~44μm)	분 말 (~0.3mm)
모재 재질	ASTM A387	AA 390 Al 합금	AISI 1018	2219 Al 합금
분말 공급두께	6	1	1	0.75
예열온도 (°C)	20	20	20	20
레이저 빔형태(mm×mm)	14×14	φ5	12×12	6.4×19
오실레이션의 유무	무	무	무	유 (690Hz)
레이저 출력 kW	12.5	4.3	12.5	12.5
빔 속도(mm/s)	1.27	8.47	5.5	8.47
Shield 가스	He	He, Ar	He	O <sub>2</sub>

부가가공 : 합금화, Cladding, Coating

(c) 증착 Process  
박막 형성

(6) YAG 레이저 가공

(가) 레이저 납땜

Flat pack IC와 같이 여러개의 단자를 납땜할 경우에 연속여기 YAG레이저로 조사한 채로 사전에 dispenser등에 의하여 cream납이 칠해진 다수 단자의 리드부를 조사하여 납땜이 이루어진다. 최근에는 저손실 석영계 광파이버와 로봇 팔을 이용하여 임의의 위치에 YAG 레이저 광을 전송하여 이용하는 시스템도 개발 사용되고 있다.

(나) 레이저 마킹

레이저 마킹은 피가공물체에 레이저 빔을 조사하여 가열, 용융, 증발의 가공 메카니즘을 이용한 것으로 전자, 전기부품, 기계부품, 공구 등에 회사명, 제조번호, 형식 등을 marking 하는 것이다. 본 방식은 크게 광빔 주사방식과 mask pattern방식으로 나누어 지는데 이들의 장단점을 표 2-11에 나타낸다.

(다) 레이저 Patterning

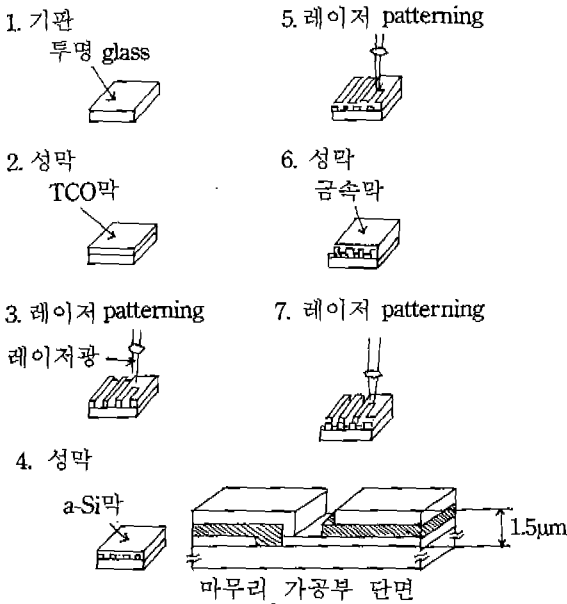
전력용을 목적으로 면적이 큰 아몰퍼스 실리콘 (a-Si) 태양전지 제조 Process의 Patterning

가공에 YAG 레이저 가공이 채용되고 있다.

이 방식은 그림 2-42에서 보여주는 바와 같이 TCO막, a-Si막, 금속막등 가공특성이 서로 다른 재료를 순차적으로 가공할 때 하층부에 손상을 주지않는 방식이다. 이의 가공 메카니즘은 각 재료의 증발온도, 즉 가공에

〈표 2-11〉 마킹 방식의 비교

마킹방식 비교항목	광주사방식	마스크패턴방식
마킹 원리	갈바노 미터에 의한 광스캔 방식	마스크에 의한 광결 상 방식
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>마킹내용(기호, 문자등)을 자유로이 변경할수 있음</li> <li>마킹 면적이 넓다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>동일의 단순한 마킹 내용에서 고속 마킹이 가능하고 생산성이 좋다.</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>동일의 단순한 마킹 내용을 양산할 때는 속도가 느리다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>마킹내용을 자유로이 변경할수 없다.</li> <li>마킹면적이 좁다.</li> </ul>



〈그림 2-40〉 a-Si 태양전지의 레이저 Patterning

필요한 레이저 빔의 출력파워 밀도의 차이를 이용하여 선택가공을 행하는 것으로 고정도가공 기술을 필요로 한다.

#### (라) 절 단

고출력 YAG 레이저의 실용화로 수미리 강판두께도 절단 할 수 있는 위치에 와 있으며 특히 비철금속의 절단에 효과가 기대된다.

#### (마) 용 접

YAG 레이저는 CO<sub>2</sub> 레이저와 같이 고출력을 얻을 수 없기 때문에 마이크로 용접 분야에 널리 실용화되고 있다. 통상적으로 용접에는 normal 펄스와 연속 혹은 준연속발진의 레이저가 이용된다. normal 펄스 발진에는 dot printer 헤드 부품, 고정형 디스크 헤드 부품, 컬러브라운관부품, 릴레이 접점 등의 spot 용접이 있고 연속 및 준연속 발진에는 라인프린터용 활자벨트 용접, 반도체 금속용접, 자기헤드 lamination 용접 등이 있다. 용접에 이용되는 YAG 레이저 출력은 연속여기에서 100W 이상, 펄스여기에서 수백 mJ/펄스~수십 mJ/펄스의 레이저가 사용된다.

#### (바) Etching

최근 반도체 기판재료 또는 기능 부품으로서 우수한 성질을 갖는 각종 세라믹에 대한 연구가 진행되고 있지만, 동시에 가공이 어려운 세라믹 가공기술의 연구도 요구되고 있다.

일례로 레이저 어시스트 에칭과 같은 미세형상 가공의 연구가 진행되고 있다.

#### (사) 표면 처리

레이저에 의한 표면처리 기술에는 표면 경화, 합금화 처리, 반도체 재료에의 아닐링, 그리고 표면을 용융시키고 급속, 급냉하여 아몰퍼스화하는 glassing 등이 있다. 이 중에서도 레이저 아닐링은 비정질층을 재결합화 시킨 것으로 열효과 모델에 의하면 펄스레이저 아닐링에서는 액상 epitaxy, CW 레이저 아닐링에서는 고상 epitaxy에 의하여 재결정화가 일어난다고 생각된다. 대상 재료로는 Si, Ge, GaAs, GaAlAs, GaP, InP, ZnTe 등이 있고 현재 활발한 연구가 진행되고 있다. 또 glassing은 아몰퍼스화 하기 쉬운 얇은 금속을 결정질의 금속표면에 접합하여 펄스레이저로 조사하면 표면층만이 아몰퍼스화 하여 내식성, 경도를 높이는 것이다. 아몰퍼스화하기 쉬운 재료로서는 Fe<sub>78</sub>Si<sub>19</sub>B<sub>13</sub>, Pd<sub>78</sub>Cu<sub>6</sub>Si<sub>16</sub>, Fe<sub>70</sub>Cr<sub>10</sub>P<sub>13</sub>Cn, Fe<sub>65</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>5</sub>P<sub>13</sub>Cn 등이 있다.

이러한 얇은 합금재료를 HIP(열간정수압축) 법으로 Cu 또는 Ni 표면에 접합하면 얇은 합금재료는 고온 처리되기 때문에 결정질로 되고 이 상태에서 레이저 에너지 0.32~14.9J/펄스, 펄스폭 0.24~3.1ms로 펄스 조사하면 아몰퍼스 합금층이 얻어지는 원리이다.

### 참 고 문 헌

1. 光應用計測調査 専門委員會 “光應用計測의 技術動向” 電氣學會技術報告(II部) 第 221 號
2. 福井良夫 “레이저의 通信, 計測制御에의 應用(I)” J. Ohm, pp.81, 1984. 10.
3. 澤 武司 “實證試驗을 開始한 光 CT-PD

(電流·電壓變成器) J. Ohm, pp.25, 1989. 7.

4. 小野公三, 西浦洋三, “光纖維 計測” 電氣評論, pp.63, 1988. 3.
5. 北井茂, 宮本俊治, “光計測技術의 과학—일렉트로닉스의 適用” J. Ohm, pp.73, 1987. 2.
6. 東楨良旺 “光纖維 應用센서의 動向”, 오트메이션 Vol.33, No.5, pp.17
7. Power Control and Information Series 6, “光纖維 通信計測技術” 電氣書院, 1986.
8. 김요희 “電力用 레이저 應用計測技術” 電氣學會誌, Vol.137, No.12, pp.29, 1988. 12.
9. 김요희의 “電力用 光計測시스템 開發研究” 科學技術處 研究報告書, 1987. 5.
10. Dennis C. Erickson, “The use of fiber optics for communication measurement and control within high voltage substations” IEEE Trans. Power Apparatus and System, Vol. PAS-99, No.3, May/June 1980.
11. 加藤轟, 剛本敏明, “光傳送方式에 의한 FD 시스템” 電氣現場技術, 1989. 5.
12. Ole Tonnesen, N. Beatty, O. Skilbreid “Electrooptic Methods for Measurement of Small DC Current at High Voltage Level” IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.4, No.3, July, 1989.
13. 芳野俊彦 “光纖維 應用技術” 電學誌, 107 卷 12號, 昭 62.
14. C.L.M. Ireland “KILOWATT POWER LEVELS EXTEND. INDUSTRIAL YAG PROCESSING CAPABILITIES” LASER FOCUS/ELECTROOPTICS, NOVEMBER, 1988
15. 黒米一雄 “레이저加工” 省力과 自動化 1989. 9.
16. 森川 “光纖維의 에너지 傳送容量” OQE 78-53
17. 池田正幸他 “레이저加工裝置應用 現狀과 課題” 電氣學會技術報告(II部) 第 264 號, 昭 63.2
18. 栗原雅幸他 “小口徑光纖維의 光에너지 輸送容量의 檢討” 電中研報告, No.T86068 昭 62.6

19. 孤崎晶雄 “低溫核融合 5 포인트” OHM 1989.
20. R.H. Stolen “Nonlinearity in Fiber Transmission” Proceedings of The IEEE, Vol.68, No.10, October 1980.

### 3. 外國의 사례와 我國의 現狀

#### 가. 日本, 美國의 사례

##### (1) 光계측 技術<sup>(1,2,3,5)</sup>

日本, 美國 등 선진國에서는 光계측 技術에 관심을 가져온 이래 꾸준히 연구되어 왔으며 現狀에는 여러 산업분야에 실용되거나 실용을 앞두고 실증시험중인 것도 상당수 있다. 특히 전력분야에서는 이러한 光계측 技術의 도입에는 數년간의 실증시험이 필요하며 現狀 실용된 분야는 거의 없고 연구중이나 실용화 시험중인 것이 대부분이다. 이들 시스템을 총괄적으로 표 3-1에 나타낸다.

##### (2) 전력회사 광통신 技術<sup>(4)</sup>

전력용 광통신 시스템의 응용분야는 최근 빠른 속도로 증가하고 있으나 실용화된 시스템은 그리 많지는 않고 시험 시스템이 대부분이다. 아래의 시스템은 日本 美國 등에서 개발중이거나 개발 사용중인 시스템들로서 광의 장점을 충분히 활용하고 있다.

##### (가) 송전선 계통 보호 시스템

- 전류 차동 릴레이 시스템
- 전력 케이블 사고 검출 시스템

##### (나) 가공 송전선 감시 시스템

- 송전선 관측 시스템
- 송전선 감시 시스템

##### (다) 지중 송전선 감시 시스템

##### (라) 발·변전소 구내 광통신 시스템

- 변전소 구내 원방감시 제어 시스템
- 뇌과형 관측 처리 시스템
- 디지털 릴레이 시스템

##### (마) 배전계통의 자동제어 시스템

- 光통신에 의한 배전자동화 모델 시스템

〈표 3-1〉 전력용 광계측기술 현황

原理	測定對象	風向	風速	溫度	大氣環境監視	襲雷檢知	雷波形觀測	光CT	光PT	光PCT	OF케이블量檢出	變壓器內部溫度測定	火力發電所內監視	構內侵入監視
광섬유	Pockels 효과													
	Kerr 효과							○	△					
센서	패러데이 효과							△						
	屈折率變化			△				△	△					
광응용	Image 광섬유													
	光의遮斷	◎	◎			◎							◎	
계측	光의反射		◎								◎			◎
	光의透過率變化			○								○		◎
추	光反射率散亂				◎									
	Pockels 효과						○		○	△				
	Kerr 효과								△					
	파라데이효과							○		△				
	Electro gyration 효과									△				

(◎ : 實用中, ○ : 實用化 試驗中, △ : 研究開發中)

— 광전송을 이용한 자동검침 부하제어 모델 시스템

(3) 광섬유의 에너지 전송 활용 기술<sup>(6,7,9)</sup>

광섬유를 이용한 에너지 전송 활용은 조명, 급전장치, 가공 시스템에의 응용이 보고되어 있다. 이중에서 급전방식에 관하여 CRIEPI(일본)에서 행한 예를 간단하게 소개한다.

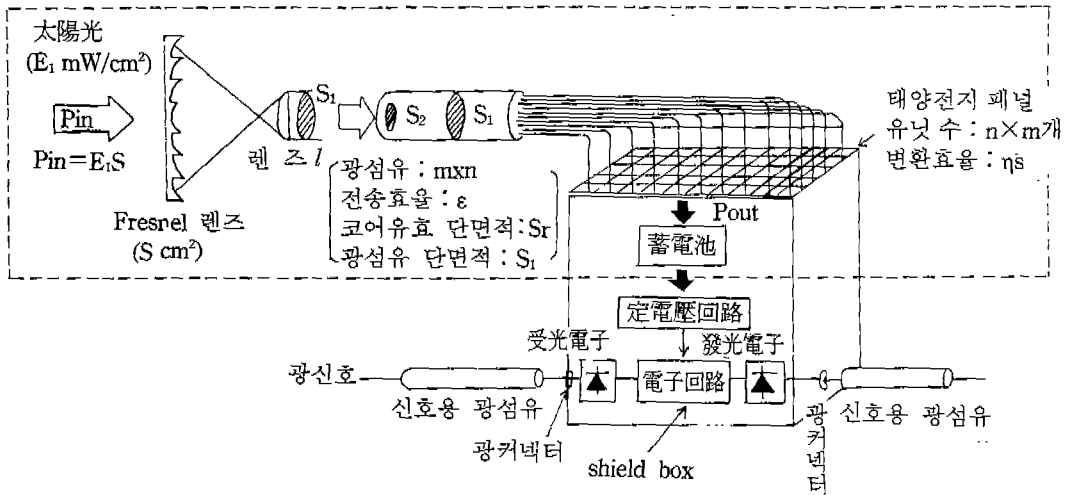
현용의 광증계기는, 광신호→전기신호→광신호의 변환을 행하여 신호감쇄의 보상과 파형정형을 하는것으로 전원을 필요로 한다. 전원을 공급하는 경우 광전송 방식의 신뢰성 측면에서 전자유도의 영향을 받지 않는 급전방식이 강력히 요구된다. 여기서 검토하는 방식은 외부 강전자기의 영향을 피하기 위하여 태양광을 에너지원으로 하는 광전력을 광섬유를 이용하여 전송하고 이 광전력을 광증계기 shield box 내부 또는 표면에 배치한 태양전지 판넬에 조사하여 광증계기에 필요한 전력을 얻는 급전방식이다. 광증계기가 필요로 하는 전력은 1W정도이며, 최근에는 소비전력 0.5W

정도의 저전력 광증계기도 개발되고 있다. 실험결과 전송 광전력은 7W정도로 되어 신뢰성 측면에서 본 방식은 유용하게 적용시킬 수 있으리라 생각된다. 그림 3-1은 본 방식의 구성예이다.

이외에도 광섬유를 이용한 전송활용 분야는 전술한 레이저 가공 기술에의 응용이 고려되고 있다. 코어경이 수백 μm인 대구경 광섬유 혹은 bundle형 광섬유에 광에너지를 전송하여 로봇 팔을 이용 임의의 국부레이저 가공을 행하는 장치도 개발되고 있다. 또 1대의 대출력 레이저 광을 복수의 광섬유로 에너지를 분할하여 다지점 동시가공을 행하는 경제적인 가공 시스템도 개발되고 있다.

(4) 레이저 핵융합 기술

레이저 핵융합의 경우 가장 앞선 것은 미국의 Livermore 국립연구소로서 Livermore 연구소의 과학자들은 지난 10여년 동안 일련의 거대한 레이저를 제작하여 핵융합의 가능성을 연구하여 왔다. 현재 그들이 소유하고 있는 2 억불짜리 Nova 레이저는 축구장 정도의 크기



〈그림 3-1〉 광섬유 급전방식의 구성

로 작은수소 연료소구를 가열하기 위해 10개의 빔을 가지고 있으며 현재 “break-even”에 이르고 있다.

1986년에 실시한 실험에 의해 레이저 핵융합 과학자들은 몹시 들떠 있으며 그들의 노력을 배가하게끔 하였다. 그 비밀 실험은 Nevada 사막 아래에 핵폭탄으로부터 방출되는 섬광을 사용하였으며 최초로 점화에 이르렀다. 그 실험으로 핵융합의 가능성이 확실히 증명되었다. 현재 레이저 핵융합에서는 점화를 이룰 정도로 충분히 큰 실험실 laser를 제작하는데 초점을 맞추고 있으며 Livermore에서는 Nova보다는 크지만 동일한 원리에 기초를 둔 7백만볼 레이저인 Athena 건설계획을 가지고 있다.

Livermore의 핵융합 관계자인 Storm 박사는 Magnetic이나 레이저 핵융합이나 간에 핵융합의 과학적 가능성은 더 이상 의심할 바가 없다고 하였다.

과학자들에 의하면 핵융합 장치는 플라즈마 물리학 연구, 핵폭탄의 영향 및 물리연구, 전기발생에 뿐만 아니라 군사적으로 이용될 수 있으나 tokamak을 주로 전기 발생에만 사용될 수 밖에 없다고 한다.

자석이나 레이저에 의한 미래의 발전소에 대한 매력은 그것의 에너지가 소멸되지 않는다는 점 뿐 아니라 안전성에 있다. 현재의 핵발전소는 많은 양의 방사능 waste를 배출하며

수천년이 지나야 생물학적으로 안전한 level에 이르나, 핵융합로는 최소한의 waste를 배출하며 또한 수백년내에 안전한 level에 이르는 장점이 있다.

또한 핵융합 reactor는 소량의 중수소 연료가 계속 보충되므로 전혀 out-of-control 상태에 놓일 수 없다. 이에 반해서 핵발전로는 수년 동안 사용할 연료를 가지고 있기 때문에 소련의 Chernobyl 핵발전소 사고가 증명하였듯이 매우 위험하다.

핵융합에 가장 큰 장애는 경제성이며 실험실 규모의 핵융합에서 실질적인 전력생산에 필요한 핵융합장치를 건설하는데는 200억불 이상이 소요된다고 과학자들은 내다보고 있다. 그러나 21세기에는 환경적인 요인에 의해 핵융합 발전소의 출현이 불가피하다고 보고 있으며 그 시기를 빠르게는 2000년 이전 길게는 2050년으로 보고 있다.

현재 세계각국의 Laser fusion 설비는 표 3-2와 같다.

#### (5) 레이저 가공 기술<sup>6)</sup>

레이저 가공기의 보급현황은 과거 수년간 급속히 증가하여 매년 약 20%정도 이상 증가되고 있다. 1987년초 미국에서 사용되는 레이저 가공기는 50W 이상의 것만도 9,253대로 고체 레이저 4,562대 기체 레이저 4,691대. 사



〈표 3-2〉 Laser Fusion 설비

Location <sup>b</sup>	Type	Number of beams	Total beam area (cm <sup>2</sup> )	Maximum energy per beam	Peak power (TW)
USA : LASL <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub>	8	9600	10kJ	20
LASL <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub>	72	-	100kJ	100-200
LASL <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub>	1	1200	400 J	0.4
KMS <sup>c</sup>	Nd : glass	2	200	200 J	0.5
NRL <sup>c</sup>	Nd : glass	2	70	300 J	0.2
LLL : ARGUS <sup>c</sup>	Nd : glass	2	600	1kJ	4.0
SHIVA <sup>c</sup>	Nd : glass	20	6300	10kJ	30.0
NOVA	Nd : glass	100	-	300-500kJ	300
LLE : GDL <sup>c</sup>	Nd : glass	1	60	210 J	0.7
ZETA <sup>c</sup>	Nd : glass	6	360	1.3kJ	3-5
OMEGA	Nd : glass	24	5500	10-14kJ	30-40
USSR : Lebedev					
UM1 35 <sup>c</sup>	Nd : glass	32	2560	10kJ	5-10
DELPHIN	Nd : glass	216	3430	13kJ	10-15
UK : Rutherford <sup>c</sup>	Nd : glass	2	200	200 J	0.5
France : LiMeil <sup>c</sup> (Octal)	Nd : glass	8	500	700 J	1.0
Japan : Osaka	Nd : glass	12			40

\* Table adapted from the following sources : Following foreign fusion : Three countries, Opt, Spectra 13(5), 30 (1979) ; Laser fusion and the energy challenge. A rundown on 1979, Opt. Spectra 13(11), 29(1979) ; Shiva moves closer to laser fusion. Phys. Today 32(11) 20(1979) ; Rochester operates user facility for laser fusion. Phys. Today 32(2), 17(1979) ; Nova fusion laser, Laser Focus 15(7), 38(1979).

\* LASL - Los Alamos Scientific Laboratory : Los Alamos, New Mexico ; KMS - KMS Fusion, Ann Arbor, Michigan ; NRL - Naval Research Laboratory, Washington DC ; LLL - Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, California ; LEE - Laboratory for Laser Energetics, Rochester, New York.

\* Existing facilities.

〈표 3-3〉 국내에서 추진중이거나 계획중인 연구과제명

계측분야 (27개)	대기오염 측정을 위한 광음향에 관한 연구 Mie Scattering에 의한 안개층의 함수량 측정연구 Moire's fringe에 의한 변형 측정 LIDAR에 의한 공기오염 측정 Fluorescence Spectroscopy에 의한 배경 농도측정 Speckle 계측법 개발 LDV System 개발 Heterodyne 간섭 계측기 개발 Holography 간섭 계측기 개발 이중 Speckle 간섭계를 이용한 미소변형의 연속 측정 전자 Speckle 무늬 간섭계를 이용한 미소변형의 측정 Twyman-Green 간섭계 개발 Holographic 간섭계와 LDVI System을 이용한 Actuator 진동 특성 연구
---------------	---

	<p>Holographic 간섭계와 유한 요소법에 의한 진동체의 변위, 응력, 변형률 연구  LDV에 사용되는 산란입자의 유동 추종성 연구  Holography에 의한 물체의 진동 해석  Time-average Holographic 간섭계에 의한 비조화 진동해석  Dual-Beam LDV System을 이용한 입도 측정 및 Doppler신호의 특성연구  IR 간섭계 개발  Holographic 비파괴 검사  레이저를 응용한 유체 유속 측정기술 개발  레이저 자동측장기술 개발  초고온 열물성 측정 기술 개발  레이저 길이 측정장치 개발  전산기를 이용하는 고분해 간섭계 개발  적외선 영역에서의 레이저 자기 공명분광기(LMR)개발  극초단 펄스 레이저 응용기술 개발</p>
<p>광통신 및 정  보산업 분야  (10)</p>	<p>레이저 도청장치 개발  광섬유 음향 센서 개발  광섬유 측정 및 응용연구  반도체 광 도파로 특성연구  집정광학 기술과 특수 광섬유 제조 기술  레이저 결상 및 광 제어 기술  통신용 System 개발  광정보 처리 기술 개발  광 컴퓨팅 기술 개발</p>
<p>가공 및  광화학  (21)</p>	<p>레이저 정밀 가공 연구  Nd:YAG 레이저 가공기 개발  반도체 고충 양자점 연구 (MQW)  레이저 CVD에 의한 Si 결정성장 및 그 물성 연구  레이저 조사에 의한 전기 강판의 자구 미세화  레이저에 의한 전기접점 개발  레이저에 의한 공구강의 표면 합금층 형성  레이저에 의한 철강의 표면 경화층 연구  레이저에 의한 철강 및 비철금속의 접합  레이저에 의한 금속 및 비금속의 절단  레이저에 의한 철강제의 세라믹 코팅  Excimer 레이저의 반도체 초미세 가공연구  Excimer 레이저 CVD에 의한 박막형성에 관한 연구  레이저로 인한 광학 재료 손상 연구  광부양 기술에 의한 단일 미립자의 분광학적 특성 연구  반도체 광도파로 특성 연구  Excimer 레이저를 이용한 리소그라피 기술  고출력 레이저를 이용한 재료 가공 기술 개발  레이저 용접 및 표면처리 연구  레이저 절단 및 표면처리시의 잔류응력 규명  Arc Spray Coating등의 레이저 처리</p>
<p>의학 및 생물  (1)</p>	<p>10.6<math>\mu</math>m 레이저 광과 치아조직과의 상호 작용 연구</p>

플라즈마 분야 (3)	고에너지 선허 X-선 발생에 관한 연구 플라즈마 진단 기술 개발 고출력 레이저와 레이저 플라즈마 X-선
군사적 응용분야 (3)	야간 정찰용 IR 결상계 개발 IR 광학 부품 생산 개발 자동화용 광 센서 개발
분광학 및 광산란 (6)	CO 레이저를 사용한 기체의 광음향 효과 옥소원자 흡수체를 지나는 옥소레이저의 포화 흡수와 펄스모양의 변화에 관한 연구 레이저 라만 분광학 연구 DFWM에 의한 위생공역과 발생 레이저 고분해 분광학에 의한 알카리 금속원소들의 초미세구조연구 Ca 원자 및 수소분자에 대한 레이저 분광학
레이저 부품 개발 분야 (4)	레이저 Scanner 개발 레이저에 의한 박막 제조 및 재료 개발 레이저를 이용한 홀로그래피 격자 제작 레이저 빔 프린터 엔진 개발
레이저 개발 분야 (22)	Mode-locked CO <sub>2</sub> 레이저의 불안정에 관한 연구 High power pulsed CO <sub>2</sub> 레이저 개발 Multi-Wavelength 레이저 개발 Color center 레이저 및 주파수 가변 고체 레이저 개발 cw Nd:YAG 레이저 개발 CO <sub>2</sub> Waveguide 레이저 개발 색소 레이저의 향상에 관한 연구 우주공간에서의 태양 광 펌핑 레이저 개발 색소 레이저의 Q-Switching과 mode locking 연구 cw CO <sub>2</sub> 레이저의 mode locking 연구 색소 혼합법에 의한 청록색소 레이저의 효율증가 색소 혼합법에 의한 형광 효율증가 UV 레이저 개발 고주파 여기에 의한 Waveguide CO <sub>2</sub> 레이저 발전기 연구 Waveguide CO <sub>2</sub> 레이저의 급전 고주파 전력기 제작 KrF 레이저 Raman 펄스 압축에 관한 연구 반도체 레이저의 제작 반도체 레이저의 단일 모드 동작 고출력 CO <sub>2</sub> 레이저 개발 산업용 고체 레이저 개발 레이저 계측용 주파수 가변 고체 레이저 개발 광주파수 표준 옥소 안정화 헬륨 네온 레이저 개발

용장소별로는 자동차 회사 3,238대 전자회사 1,665대 항공기 회사 3,516대 기타 834대로 나타나 있다. 일본의 경우도 레이저 가공에 대한 관심이 고조되어 절단과 제어 가공 분야에 67% 용접분야에 10% 전자 부품 가공에 10% 이외에 열처리 등의 응용이 13% 정도

점유하고 있으며 YAG레이저의 경우 전자부품 응용분야가 많아 trimming, scribing 분야가 40%, 납땜 분야가 10%, 마킹분야가 13%, 금속 재료 가공분야가 26% 기타 11%로 이용되고 있다.

☛ 다음 호에 계속