

大韓熔接學會誌  
第9卷第1號 1991年 3月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol. 9, No. 1, Mar., 1991

## 레이저 가공기술(III)

한 유 희\*

### Laser Beam Processing Technique(III)

Y. H. Han\*

< 목 차 >

- |  |  |
|--|--|
| <p>2. 레이저 용접의 특별사항</p> <p>2.1. 용접부 준비 가공 (접합부 준비)</p> <p>2.1.1. 이음부 형상</p> <p>2.2. Plasma 영향</p> <p>2.3. Shielding Gas의 영향</p> | <p>2.4. 편광 영향</p> <p>3. 레이저 Beam의 진단 (Diagnostic)</p> <p>3.1. 레이저 출력 측정</p> <p>3.2. Intensity 측정</p> <p>4. 결 언</p> |
|--|--|

## 2. 레이저 용접의 특별사항

### 2.1. 용접부 준비사항

용접하기전 이음부의 가공에 타 용접방법에서 보다 더 세심한 주의를 할 필요가 있다. 용융부위가 적은 관계로 이음부의 간극이 작아야 하고 촛점이 이음부에 정확히 조준되어야 한다.

#### 2.1.1. 이음부 형상

허용간극은 레이저 빔이 수렴되는 형상과 용접 열량에 영향을 받으므로 이음부의 허용간극을 일반적으로 규정 짓는 것은 불가능하다. 예로써 6

mm 두께의 강판을 각각 0.2, 0.5 그리고 1mm의 간극을 두고 맞대기 용접을 했을때 용접부 단면의 형상이 그림 15에 나타나 있다.

그림에서 간극이 클수록 함몰현상이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 허용간극 및 엇갈림의 범위는 재료두께에 따라 다음의 기준치를 넘지 않도록 한다.

재료두께	간극	엇갈림
0.5- 3mm	0.1 d	0.15d
3 -10mm	0.05d	0.1 d

\* 정회원, 한국해사 기술연구소.

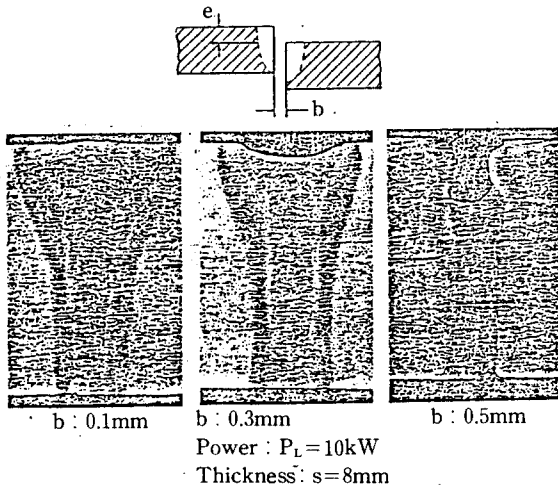


그림 15 이음부 간극에 따른 용접단면의 변화

### 2.2. 플라즈마 영향

레이저 용접의 효율은 레이저 빔 에너지를 얼마만큼 열에너지로 변환시키느냐에 달려 있다. 이같은 에너지 변환을 이해하기 위해서는 레이저 빔이 흡수되는 과정을 이해하는 것이 전제가 된다. 흡수는 두가지 방법이 있다.

- 보통의 재료와 파장에 따른 흡수 ( $I < I_c$ )
- 출력의 밀도에 따른 흡수 ( $I > I_c$ )

적외선의 금속표면 흡수율은 그림 16에서 보듯이 매우 적다. 흡수는 금속의 자유전자를 통해 일어나므로 열전도율과 전기 전도도에 역비례한다. 따라서 온도상승에 따른 흡수율의 변화(그림 17)가 있다. 증발온도 부근에서 반사율이 급격하게 감소하는 것은 금속증기 발생 -플라즈마 생성으로 흡수율이 높아진 것으로 설명될 수 있다.

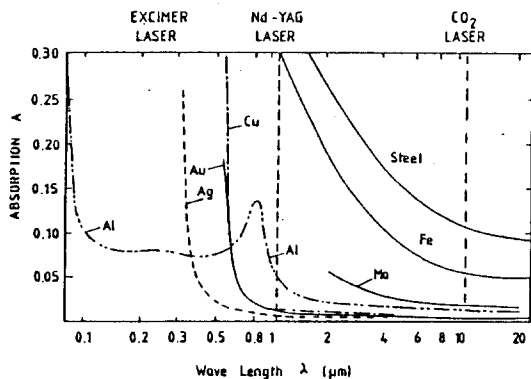


그림 16 금속에서 파장에 따른 흡수율 변화

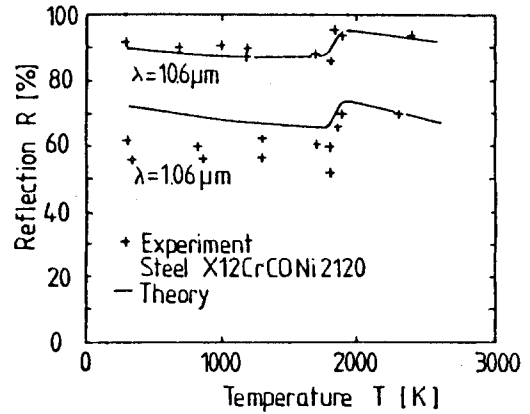


그림 17 온도에 따른 흡수반사율 변화

레이저 용접시 레이저 빔 에너지의 90% 이상이 열에너지로 변환, 즉 흡수율이 90% 이상 되는 것은 플라즈마의 발생 및 key hole 형성으로 설명할 수 있다.

현 시점에서 플라즈마와 key hole의 역할의 비중을 논하기에는 아직 연구가 미흡한 상태이다.

plasma설을 주장하는 측은 laser beam과 재료 간의 에너지 전달은 다음과 같이 laser-plasma: plasma-재료, 즉 레이저 빔이 plasma에 흡수되고, plasma에 흡수된 에너지는 복사, 대류를 통해 재료에 전달된다고 주장한다. intensity가 커지면 plasma가 과도 발생하고 레이저 빔은 plasma군에 의해 일부 반사 및 차단되어 용접효율은 감소하게 된다.

Key hole의 형성이 레이저 빔의 흡수를 올리는 데 결정적인 역할을 한다고 주장하는 측은, plasma가 없이도 key hole의 다중반사를 통한 내벽의 흡수로도 과도흡수 효과를 설명할 수 있다고 주장한다. 출력밀도가 상승함에 따라 재료 표면에서 증발이 일어나며, 이때 증발압력에 의해 key hole이 형성되며, key hole 내벽은 일종의 wave guide 역할을 한다.

### 2.3. Shielding Gas (Process Gas)의 영향

과도한 plasma의 발생은 laser beam을 차단하고, 따라서 key hole이 닫히게 된다. plasma가 확산됨에 따라 다시금 key hole이 열리게 되고-plasma의 과도발생 -key hole닫힘-plasma확산 등의 반복이 일어나게 된다. 이로 인해 용접깊이의 변화가 현저하게 나타난다. 이같은 불량요인을

없애기 위해서는 plasma가 과도히 생성되는 것을 방지해야 하는데, 이때 주로 process gas를 key hole 주위에 불어서 plasma를 감소(금속증기내의 ion과 electron의 재결합(Recombination))시킨다. Laser beam이 plasma에 흡수되는 율은 전자의 밀도에 비례하므로 재결합(Recombination)으로 인한 만큼 흡수율이 감소된다. 재결합은 소위 3자충돌, 즉 ion과 electron 또는 neutral gas atom이 충돌함으로써 이루어진다.

Neutral gas atom의 밀도는 electron의 밀도보다 훨씬 크므로 neutral gas의 역할이 3자충돌에서 중요한 역할을 한다. 충돌의 확율은 gas atom의 운동성에 비례하므로 gas atom의 질량에 반비례한다. 따라서 helium, 질소, argon의 순서로 3자충돌의 효율이 감소된다. Plasma의 밀도가 적을수록 3자충돌의 확율을 내지는 효율이 감소하므로 process gas(neutral gas)의 역할이 작음을 알 수 있다(그림 18).

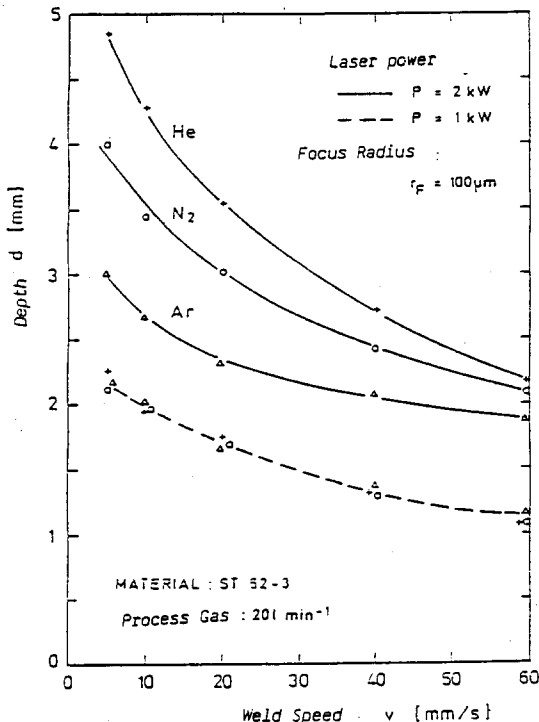


그림 18 각 process gas에서 용접속도에 따른 용접깊이 변화

### 2.4. 편광영향 (Linear Polarization)

레이저 절단에서 절단방향을 기준한 레이저 빔의 편광이 절단성에 영향을 준다고 하는 사실은 이미 알려져 있다. 용접에서도 편광이 적게나마 용접성에 영향을 준다(그림 19, 20).

-Intensity가 증가하고 용접속도가 감소함에 따라 금속증기의 밀도가 상승되며, 이로 인해 plasma를 매체로한 빔의 흡수가 지배적으로 그림 20에서 보듯이 용접속도가 적은 범위 (<40 mm/s)에서는 편광으로 인한 용접깊이의 차이는 볼 수 없다.

-용접속도가 클 경우에는 plasma의 밀도가 적어서 plasma를 매체로한 빔의 흡수가 상대적으로 줄어들어 편광의 영향이 크게 나타난다.

-Intensity가 작은 경우에도 그림 19에서와 같이 편광의 영향이 나타난다.

-용접속도가 20mm/s와 35mm/s에서 급격한 용접깊이의 변화가 있는 것은 임계 intensity(critical intensity)에 달했기 때문이다. 증발율이 이 경우에는 작은 관계로 plasma의 생성 및 유지가 어렵고 따라서 key hole이 형성되지 않았다.

편광성이 용접깊이에 영향을 주는 것은 그림 21에서 보듯이 입사각에 따른 반사율의 변화에 기인한다.

선형편광(linear polarization)을 circular polarization으로 바꿔줌으로써 편광방향에 따른 용접깊이의 변화를 방지할 수 있다(그림 22).

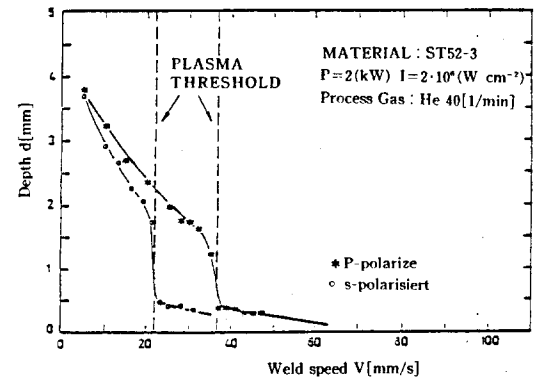


그림 19 편광방향에 따른 용접속도 변화에서 나타나는 용접깊이

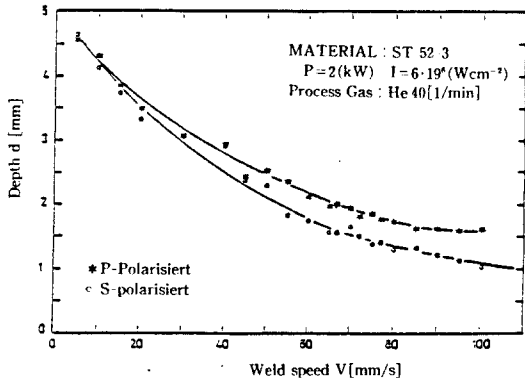


그림 20 편광방향에 따른 용접속도 변화에서 나타나는 용접깊이

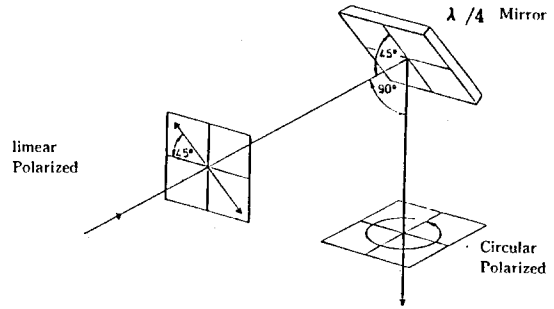


그림 22 Linear polarization을 circular polarization으로 변환

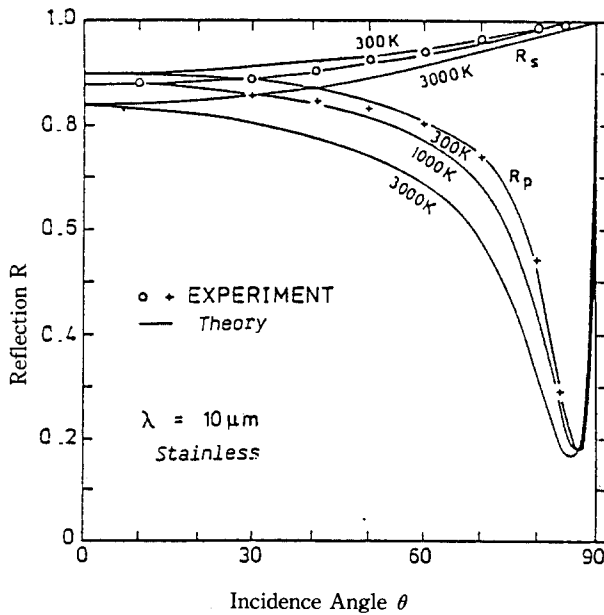
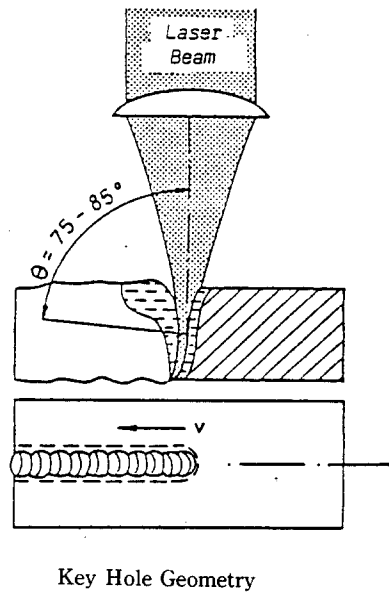


그림 21 입사각에 따른 반사율 변화



### 3. Laser Beam의 진단 (Diagnostic)

실제 Laser를 이용하는 산업분야에서 laser beam 진단장치의 중요성이 점차 인식되어 가고 있다. 이는 beam의 진단이 laser를 이용한 재료 가공 하는데 있어 얼마만큼 중요한 위치를 차지하고 있는가를 말해주고 있다.

Laser 자체를 개발하는 분야에서는 beam quality를 정확히 잴 수 있음으로 해서 보다 나은 laser를 개발하게 되는 계기가 되고, laser system을 설치해 주는 기술자는 정확한 진단장치를 사용해서 laser가 가진 본래의 성능을 낼 수 있도록 보

장할 수 있게 된다. 그리고 실제 laser를 사용하는 현장에서는 beam quality를 수시로 점검할 수 있어 품질검사 목적으로 진단장치를 사용하게 된다.

Laser beam을 진단한다고 하면 다음의 laser parameter를 측정한다고 말할 수 있다.

- 1) 출력
- 2) Polarization의 상태
- 3) Laser beam의 안정도  
(Beam pointing stability)
- 4) Intensity

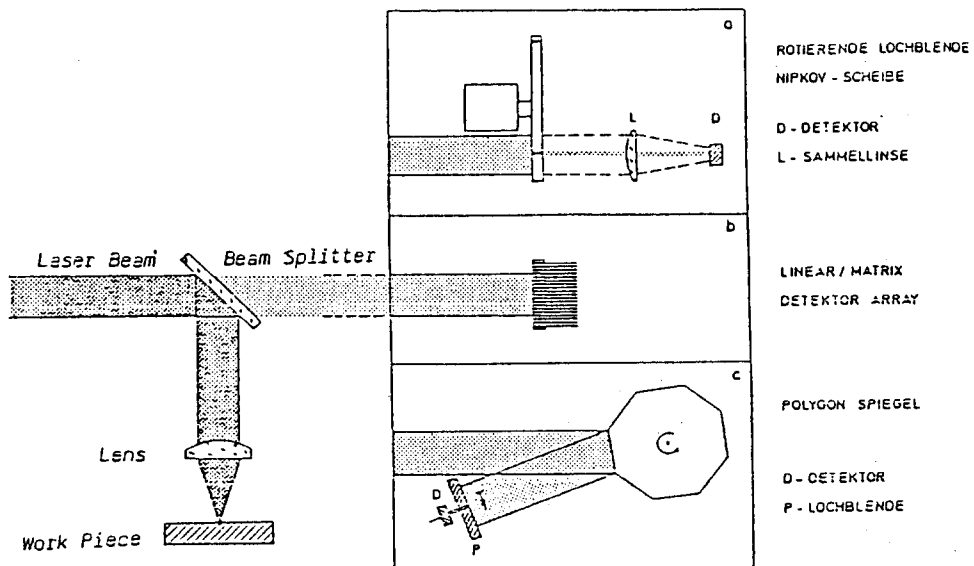
위의 4가지 중에서 **intensity** 측정은 재료가공에서 중요한 의미를 갖고 있다고 할 수 있다. 이는 출력, beam의 위치, beam의 직경, **rayleigh length** 그리고 **divergence**들이 beam의 **intensity** 분포로부터 산출되기 때문이다. 초점이 맺히기 전과 초점상에서 beam의 **intensity** 분포는 beam이 전파되는 동안 거울, beam의 경로를 보호하는 관의 분위기 또는 **lens**등의 영향으로 인해 변한다. 따라서 실제 가공이 이루어지는 초점 부근에서 **intensity**의 분포가 직접 가공 **quality**와 가장 밀접한 관계를 갖는다.

위에서 언급한 **laser parameter**를 파악하는 것 외에도 시간상에 따른 beam의 상태 변화를 측정하는 것도 고도의 품질을 요하는 가공에서는 중요하다 하겠다. 시간의 변화에 따른 **laser beam**의 변화는 시간단위에 따라서 우선 수분에서 수시간에 이르는 시간 단위에서는 열영향으로 인한 **resonator**와 **beam guiding system**의 변형을 들 수 있다. 방전과 가스 유동에서의 변화에 기인한 출력의 불안정은 ms 범위의 시간단위에서 일어난다. 위의 현상들이 품질에 얼마나 영향을 주는가는 가공과제에 따라 다르다. 그러므로 가공과제에

따라 적합한 진단장치를 선택, 사용하는 것이 바람직하다.

### 3.1. 레이저 출력 측정

고출력 레이저 beam을 진단하는데 있어서 기본적인 문제점은 짧은 단위시간에 큰 출력의 변화를 감지하는데에 있다. 큰 부하를 받을 수 있는 **thermal detector**는 수 kW 범의에서 사용되나, 반응시간이 긴 단점이 있다. 반응시간이 짧은 것이 요구될 때에는 **Pyro-Detector** 또는 **Quantum-Detector**를 선택하는데, 이들의 반응시간은 ms에서 nano sec 범위이며, 저온에서 작동한다. 고출력 레이저 beam을 진단하기 위해서는 위에 기술한 이유 때문에 beam을 약화시켜야 하는데 통상 **chopper**나 **splitter**를 사용한다. 부분 투과 거울을 통해 나온 레이저 빔을 **Pyro-Detector**를 이용해 출력을 측정하는 장치가 그림 23에 나타나 있다. 가공시 가공물에서 반사되는 beam에 의해 **resonator** 내부에 교란이 생겨 출력의 변화가 크게 나타나는 것을 그림에서 볼 수 있다.



- a) Photon Technology, San Jose, CA, USA ;  
 b) Molelectron Corporation, Sunnyvale, CA, USA ;  
 c) Leb. Device

그림 23 Intensity 측정 원리

3.2. Intensity 분포 측정

그림 23에 3가지의 on-line 측정장치가 나타나 있다. 고출력 레이저에서는 앞에서 서술한 바와 같이 beam을 약화시켜야 하므로 beam splitter를 사용하고, 위치에 따른 출력, 즉 intensity를 측정하기 위해 hole, detector array 또는 polygon mirror를 사용한다. 이같은 측정장치에서 beam splitter의 부하한계는 최고  $1kW/cm^2$ 이다. Polarization 방향에 따른 투과비율이 다르므로 polarization 방향에서의 laser beam의 출력변화가 있을 경우 측정오차가 생길 수 있다.

그림 24에서는 다른 4가지의 측정원리가 나타나 있다. 여기에서는 반사율이 높은 element가 광속의 단면을 지나갈 때 반사된 빔을 detector로 측정한다. a, b, c의 방법을 raw beam의 intensity 측정에만 사용된다. d의 경우에 raw beam뿐 아니라 초점에서의 intensity도 측정이 가능하다.

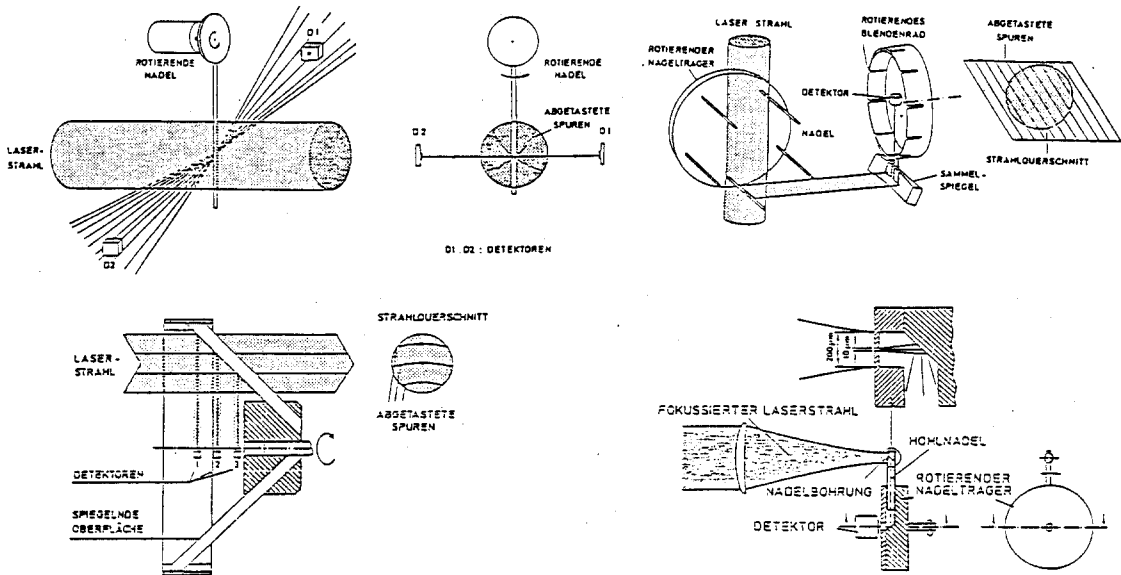
초점의 intensity 측정으로 optic(lens, parabolic mirror)의 alignment를 점검을 할 수 있어 측정장비 d는 중요 장비로 부각되고 있다.

4. 결 언

레이저는 이미 SDI 또는 공상과학에서 나오는 살인광선이 아니라 우리의 실생활을 좀더 윤택하고 편리하게 해주는 이로운 도구로써 점차 그 영역을 넓혀가고 있다. 가깝게는 CD-player에서 시작해서, 의학, 통신, 재료가공 등에서 레이저가 응용되고 있다.

재료가공 분야에서 레이저가 차지하는 비중은 우리나라에서는 아직 미미하지만 선진국의 예를 보면 공장자동화와 품질 및 생산성 향상이 연계되어 이미 많은 부분에서 그 진가를 발휘하고 있다. 선진국에서 레이저를 사용하게 된 배경은, 우선 레이저를 사용함으로써 제품의 질을 높이는 외에 타 제조방법에 비해 경제적이기 때문이다.

이같이 산업발전에 초석이 되는 레이저 가공기를 국내에 보급시키기 위해 몇몇 회사에서 이미 시도를 했으나, 어떤 이유에서인지 기대할만한 성과를 가져오지 못한 것으로 안다. 나름대로 분석해 보면, 우선 인식부족이 가장 큰 장애요소가 되지 않았는가 사료된다. 신기술에 대한 막연한 두



- a) Fa. Applikationslabor für Lasertechnik (ALL), Munchen
- b) Bremer Institut für angewandte Strahltechnik Bremen(Bild nach BIAS/Bremen)

- c) Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie, Aachen(Bild nach FhG - IPT/Aachen)
- d) Fraunhofer-Intitut für Lasertechnik, Aachen Vertrieb: Fa. Prometec, Aachen

그림 24 Intensity 측정 원리

려움과 고가의 설비투자는 레이저의 생산능력을 실제로 인식하지 않고는 선뜻 하기 힘든 것이다.

선진국에서도 이와 똑같은 경우를 경험했고 아직도 사용범위를 위해 위의 어려움을 타파하려고 노력하고 있다.

우선 인식부족을 타개하기 위해서는 활발한 홍보활동이 전개되어야 한다. 이를 위해서 seminar 또는 work shop 등이 개최되어야 하고, 실제 가공 현장 견학 등이 부가되어야 한다.

다음 단계로 설비투자에 앞서 실제 공정가능성을 조사해야 하는데, 이같은 일을 수행하는 기관이 있어야 한다. 이곳에서 실제 샘플을 제작해 보고 성능 테스트를 거친 후에 비로소 레이저 가공기를 구입, 설치하게 된다. 위에서 언급한 수행기관은 레이저 전문 연구소 또는 레이저 가공기 제작회사가 될 수 있다. 이와 같은 기관의 필요성은 레이저가 일반 용접기와 달리 고가인만큼 각 업체마다 한대씩 구입해서 제품생산 실험을 하기에는 무리가 있기 때문이다. 가공목적에 따라 적당한 레이저를 선택해야 하므로, 각종 레이저가 설치된

연구소의 필요성이 있고, 실제 선진국에서는 laser center가 많이 운동되고 있다. Laser center에서는 정보제공, 자문, 연구개발 등을 해주고, 필요에 따라서는 pilot production과 생산라인의 lay out까지 하고 있다.

선진국으로 발돋움하고 있는 우리나라에서도 위와 같은 laser center를 설립할 시기가 오지 않았나 하는 소견이다.

## 참고문헌

- You-Hie Han : Werkstoffveraenderungen beim Laserstrahlschneiden von Staehlen, Ni-Basis und Cu-Ni-Legierungen und deren Einfluss auf die Schwinnnngfestigkeit. Doctor Thesis David Belforte(Editor): The Industrial Laser Anual Handbook. Penn Well Books 1987 Tulsa, Oklahoma USA
- Lutz Cleemann(Editor): Schweißen mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern. VDI Verlag Duesseldorf