

## 레이저 용접현상과 산업계로의 응용

## The State of the Laser Welding and Its Industrial Application



김 종 도  
J. D. KIM

- 1963년 1월 28일생
- 한국해양대학교
- 기관시스템공학부



마쓰나와 아끼라  
Akira MATSUNAWA

- 1938년 4월 7일생
- 일본, 오사카 대학
- 집합과학연구소

## 1. 서 론

1960년경, Hughes연구소의 T. H. Maiman이 루비를 이용하여 레이저(LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)를 처음으로 발진시킨이후<sup>1)</sup>, 각종의 레이저가 개발되어 통신, 계측, 의료, 재료가공등의 폭넓은분야에 걸쳐 기술적 혁명을 가져왔다. 20세기 최대의 과학·기술적 발명이라고 말해지는 레이저는, 고파워밀도, 에너지의 원거리 전송, 시간·공간의 우수한 제어성능으로 인해 재료가공기술에 큰 변혁을 가져왔다.

레이저 가공은 에너지의 이용형태로부터 크게 분류하면 열가공과 양자가공의 2종류로 나눌 수 있다. 열가공(熱加工)은 photon가 재료표면 가까운 곳에 위치하는 전자와의 상호작용을 통해서 격자진동을 유기하고, 양자에너지를 열에너지로 변환하여 행하는 가공이다. 이에 대해 양자가공(量子

加工)은 photon의 에너지가 직접 원자·분자에 작용하여 행하는 것으로, 열의 발생을 수반하지 않는 가공형태이다. 열가공인가 또는 양자가공인가 하는 것은 가공에너지와 재료와의 상호작용시간에 기인하는데, 금속의 경우 상호작용시간이 길면 열가공으로, 나노초(ns)단위이하의 극단시간의 상호작용의 경우는 양자가공으로 된다. 또한, photon의 경우, 파장이 짧게되면 에너지( $E=h\nu$ )가 크게 되어 수 eV에 도달하므로 양자가공으로 되기 쉽다. 현재 실용화되어 있는 레이저가공의 대부분은 열가공이라 할 수 있다.

지금까지 개발·실용화된 레이저 열가공법은 용접, 제거가공(절단, 구멍뚫기등), 표면개질등이 대표적이다<sup>2)</sup>. 이 가운데, 레이저절단·구멍뚫기가공을 중심으로한 물질제거가공은 레이저가 가진 우수한 에너지 집광성을 최대한 이용한 것이며, 레이저 절단의 경우 타의 절단법(열절단 및 기계절단)보다 훨씬 우수한 고속·고정도의, 그리고 유연

성을 가지고 있음으로써, 근래 얇은 판금속 절단을 중심으로 CO<sub>2</sub>레이저 및 YAG레이저 열원이 널리 산업계에 채용되고 있다.

한편, 레이저 접합가공은 현재 고품질·고능률 접합법으로서 세계적으로 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 제조라인에 도입되어 성공적인 결과를 가져오고 있으나, 아직 산업계로의 보급은 미성숙단계라 할 수 있다. 제조라인으로의 보급을 저해하는 요인으로서, 레이저 발전기에도 많은 문제점을 지적할 수 있으나, 그 이상으로 주변기술-빔전송·집광광학계, 가공테이블, 로버트 및 제어기술-에도 다수의 난제를 안고 있으며, 결과적으로 레이저가 가진 잠재적 유연성이 완전히 발휘되고 있지 않다고 볼 수 있다.

또한, 복잡한 레이저 접합가공현상이 충분히 해명되어 있지 아니하며, 기기시스템의 Initial-Cost 및 Running-Cost가 높고, 대량생산이외의 분야에서는 Cost-Merit가 약하다. 그러나 이러한 요인들이 개선되어 간다면 레이저 접합은 급속히 보급되리라 생각된다.

본고에서는 각종재료에 대한 레이저 용접시의 특징에 대해서 약술하고, 최근 레이저 용접에 관한 산업계로의 응용사례 및 연구상황, 그리고 장래의 과제에 대해 언급하고자 한다. 지면상 개괄적인 내용밖에 서술할 수 없으나, 레이저 가공관련 연구자 및 기술자들에게 조금이라도 도움이 되었으면 한다.

## 2. 레이저 용접의 특징

레이저 절단은 다종·소량생산에 유리하면서도 효율 좋게 대응할 수 있다는 점에서 선진 산업계에 급속히 확산되고 있는 반면, 레이저 용접은 전자·전기부품, 자동차, 차량부품, OA기기 등 작은 부품의 대량생산 현장에 적극적으로 도입되고 있다. 즉, 레이저용접은 대량생산시 비용절감에 효과가 크다는 인식이 지배적이다.

절단과는 달리, 용접에는 보다 대출력의 레이저 발전기와 고가의 치구를 필요로 하기 때문에 초기 투자액은 상당히 크게 된다. 따라서 대기업에서 우선적으로 채택하여 응용하게 된다.

그러나, 선진 대기업에서는 신제품 혹은 신프로세스에 레이저를 라인에 도입할 것인지 여부를 결정하기 전에 Job-Shop을 이용하여 다수의 기초실험을 행하고 있기 때문에, 레이저용접에 관한 Know-How의 축적은 대기업 보다도 일부의 Job-Shop가 우위에 있다. 현재 일본의 경우 Job-Shop에는 다양한 과제가 주어져 있으며, 그들의 풍부한 경험과 기술력은 대·중기업의 레이저 용접의 생산라인에 점진적으로 도입되고 공헌하고 있음을 간파해서는 아니된다.

레이저 용접의 적용범위는 현재 상당히 한정되어 있으나, 레이저 용접에 관한 연구논문은 매년 증가하고 있다.

고파워밀도의 미세한 광열원(光熱源)인 레이저 빔(YAG, CO<sub>2</sub>레이저)을 용접에 이용하였을 때의 장단점에 대하여 정리하면 다음과 같다<sup>3,4)</sup>.

우선 그 장점으로서

- 1) 레이저 빔의 집광성이 양호하여 정밀·미세 가공이 가능하다.
- 2) 고파워밀도의 열원으로 깊은 용입용접이 가능하다.
- 3) 피가공물로의 저입열로 열변형이 적다.
- 4) YAG레이저의 경우, Optical fiber에 의한 광에너지의 전송으로 레이저 장치로부터 떨어진 곳에서의 용접이 가능하다.
- 5) 제어성 측면에서 Beam-Spot위치 및 크기의 제어가 용이하다.

등의 특징이 있다.

또한, 전자빔(EB: Electric Beam)가공과 비교해서, 진공실을 필요로 하지 않으며, 자장(磁場)의 영향을 받지 않고, X선 방사의 위험성이 없다는 등의 장점도 가지고 있다. 그러나 그 반면 레이저 빔은

- 1) 급속의 흡수율이 상온(常溫)에서 10%이하로 낮다.
- 2) 초점심도가 얇다.
- 3) 용접부에 발생하는 플라즈마의 빔 흡수·산란 등의 영향을 받는다.

등의 문제점도 가지고 있으며, 진일보한 성과를 얻기 위해 많은 연구가 이루어져야 하겠다.

### 3. 산업계의 레이저 용접 적용사례

#### 3. 1 자동차산업

레이저에 의한 재료가공에의 적용은 1967년에 AT&T사의 다이아몬드 다이스의 미세구멍뚫기 가공이 최초의 사례이다. 그후 1970년대부터 절단, 구멍뚫기 가공등에 대한 응용연구가 시작되었고, kW급 레이저가 개발됨에 따라 용접으로의 적용이 검토되기 시작했다.

1980년대초경 자동차용 부품제조부분에서 이미 레이저 용접이 도입되어 성공을 이루었다. Fig. 1은 자동차용 발전기의 Stator core의 제조과정에 있어서 Core의 적층판 고정용으로 사용되어 온 용접법의 변천을 나타낸다<sup>5)</sup>. 처음에는 아크 용접이 이용되었는데, Core에는 기계유로 범벅이 되어 있으므로 아크용접전에 탈지공정을 필요로 했다.

그러나, 판사이의 기름성분을 완전히 제거하는 것은 매우 곤란하였으므로 결함의 발생 및 용접변형이 큰 문제였다. 그래서 다음으로 프로젝션 용접이 채용되어 약간의 개선이 이루어졌으나, 발전기 중량의 경량화를 위해 타의 용접법채택이 필요로 하게 되었고, 마침내 1982년에 탄산가스(CO<sub>2</sub>) 레

이저 용접이 생산라인에 도입됨에 따라 제품의 신뢰성과 생산성 향상, 그리고 비용절감에 큰 기여를 하게 되었다.

탄산가스 레이저 용접의 잇점은 용접전의 탈지 공정을 생략할수 있으며, 용접후의 변형이 없고 기계가공공정이 불필요하다는 점, 그리고 고속용접에 의한 생산성의 향상을 들수 있다. 탈지공정이 불필요한 이유는, 레이저의 고과워 밀도로 인해 금속이 용융전 기름성분이 완전히 증발하고, 금속용융에 선행하여 일종의 표면청정화현상이 발생하기 때문이다. 현재 초점렌즈의 이동을 제어함에 따라 직경이 다른 Stators core가 혼재하는 라인에서 고능률의 생산시스템이 가동하고 있다.

이와 같은 레이저 용접에서는 스파이럴 상으로 뻗은 Stators core를 고정레에 넣을 때 까지 가고정(假固定)하기 위한 것으로 설계상의 용접강도는 그렇게 중요한 것은 아니다.

그러나, 실제 용접강도는 충분히 높으며, 장기간의 사용에도 문제가 없음이 보고되고 있다. 레이저 용접의 신뢰성이 확인된 한 사례였으며, 그후 신뢰성이 요구되는 엔진회전부품등의 용접에도 레이저 용접이 널리 사용되게 되었다.

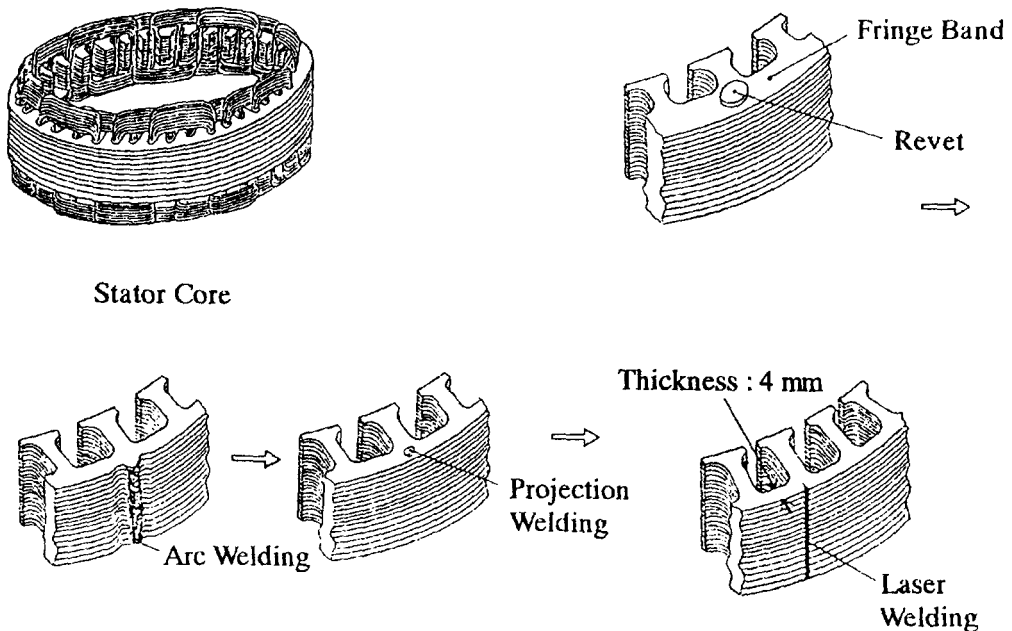


Fig. 1 Change in welding method of stators core [5]

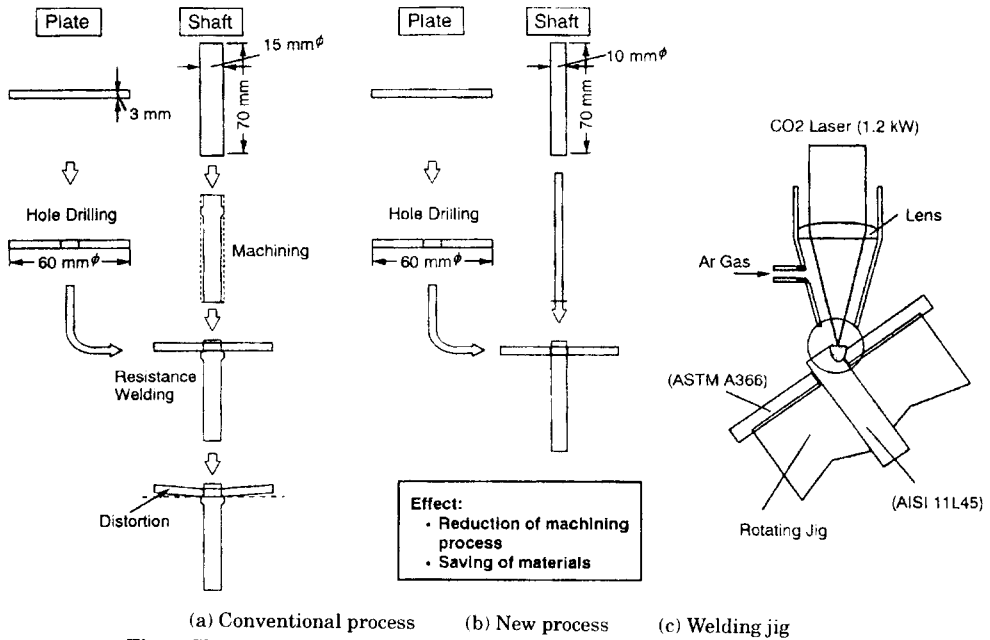


Fig. 2 Change in welding process of rotating parts used for automobile [5]

Fig. 2는 엔진용 회전부품에 대한 용접법의 변천 과정을 나타낸다<sup>5)</sup>. 종래는 기계가공한 샤프트에 원반상의 판에 구멍을 뚫고, 저항용접을 해서 원판과 샤프트의 접합을 행하였다. 그러나 이 방법으로는 용접후 변형이 크게 되어 용접후에 변형제거 공정이 필요했다. 그래서 Fig. 2(c)와 같은 지그를 이용하여 진공중에서 전자빔 용접이 채용되었다, 이 방법에서는 샤프트의 기계가공을 필요로하지 않으며, 용접변형이 적어 변형제거 공정도 생략할수 있어서 비용절감을 현저히 줄일 수 있었다.

그러나, 전자빔 용접에서는 부품을 진공실로 반출입해야 한다는 점과 적정진공도를 이루는데 시간이 걸린다는 문제가 있었다. 현재로는 전자빔의 용접과 동일한 방법으로 대기중 아르곤(Ar)의 차폐분위기 하에서 레이저 용접이 채용되고 있다.

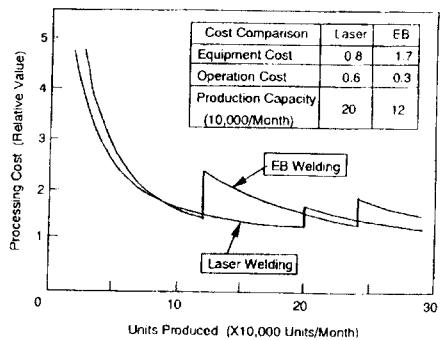
Fig. 3(a)는 3종류의 용접법을 이용했을때의 소요비용에 대해서, 저항 용접의 장치비(裝置費)를 1로 했을때의 상대비교치를 나타낸다<sup>5)</sup>.

레이저 용접은 운전비용면에서 타의 방법에 비해 고가(高價)이지만, 장치비용 및 재료비상으로는 유리하여, 결과적으로 생산비용은 세 용접방법 중 가장 낮게됨을 알수 있다.

Fig.3(b)는 전자빔 용접과 레이저 용접의 생산량

Items	Laser Welding	EB Welding	Resistance Welding
Outline of Concept			
Equipment Cost	0.8	1.7	1.0
Operation Cost	0.6	0.3	0.5
Materials Cost	0.9	0.9	1.7
Total Cost	2.3	2.9	3.2

(a)



(b)

Fig. 3 Comparison of production cost of rotating parts used for car by various welding methods [5]

(a) Cost comparison

(b) Production capacity and processing cost of welder

에 따른 비용을 비교한 것이다. 매월 생산량이 적을 때는 양자의 차이는 거의 없으나, 어느 한계치를 넘으면 전자빔 용접의 경우 설비 투자가 더욱 필요로 하기 때문에 불연속적으로 높게 된다.

따라서, 레이저 용접장치가 한계생산량에 달하여 새로운 설비투자를 하기까지는 레이저 용접이 비용면에서 압도적으로 우위에 있게 된다. 이와같이 1980년대초 무렵부터 시작된 자동차부품의 레이저 용접은 현재 여러 분야에 걸쳐 생산효율 향상 및 품질향상에 일익을 담당하고 있다.

자동차 보디의 용접에 전면시입 용접을 채용하는 것은 강성향상 및 경량화의 관점으로부터 오랫동안 요망되어 왔다. 1970년 대에는 미국에서 보디의 3차원 레이저시입 용접이 시도되었으나, 당시의 프레스 정도(精度) 및 레이저 기기시스템의 미비등으로 실용화까지는 이르지 못했다. 그 이후에도 여러곳에서 동일한 시도가 이루어져서, 일부 기업에서는 생산라인에 도입한 예도 있으나, 3차원 시입 트래킹 및 고정지그에 의한 판간극간 관리가 어렵고, 레이저 용접속도가너무 늦어 충분한 효과를 거둘수가 없었다.

1985년에 자동차 보디의 용접에 있어서 획기적인 방법이 도요다 자동차에 의해 도입되었다. 종래와 같이 프레스 성형후에 용접하는 것이 아니고, Fig. 4에 나타내는 바와 같이 평판상태에서 레이저 용접으로 소재 결합을 행한후 프레스가공하는 방법으로, 소재결합법 또는 테일로드 브랭크용접법(Tailored Blank Welding)으로 불려지고 있다<sup>6)</sup>.

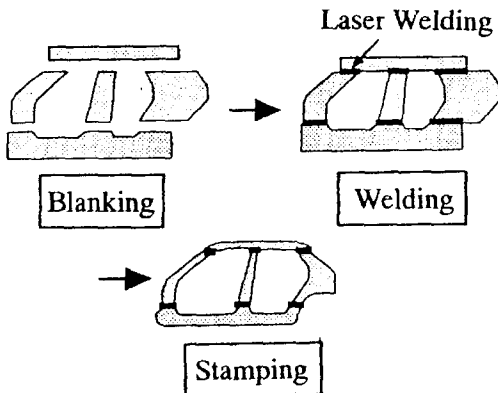


Fig. 4 Laser tailored blank welding [6]

이 방법을 채용함에 따라 레이저 용접은 하향(下向)의 직선용접으로 되기 때문에 3차원 용접에 비해 장치가 안가(安價)로 되고 또한 용접속도가 빠르게 된다. 더욱이 이 방법의 특징은 재료의 가공시 원자재에 대한 제품의 비율이 높고, 부위에 따라서 판두께를 변화시킬 수 있어 차체의 경량화에 크게 기여하고 있다. 현재 이 방법은 세계의 다수 메이커에서 각종의 차체부품제조에 적용되고 있다. 앞으로 자동차이외의 분야에서도 이 방법이 확대적용되리라 본다.

### 3. 2 철강산업

철강업에서도 일찌기 제조라인에 레이저용접의 도입이 검토되었으며, 1982년에 세계최초로 일본가와사끼(川崎)제철이 규소강판 산세(酸洗)라인의 코일연결에 레이저 용접이 적용되었다<sup>7)</sup>. 그 후 Fig. 5에 나타내는 바와 같이, 각종 박판의 코일연

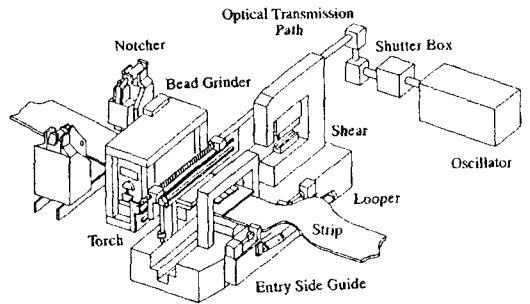


Fig. 5 Laser welding of coil connection in rolling mills [7]

Parts Name	Shape of Sheet	Material Yield-up Zone
1.Sun Roof		40% → 80% SGACD 1.6 t
2.Inner Cowl		60% → 70% SGCAD 0.8 t
3.Side Panel		40% → 65% SGMCF SPCC 1.0 t 0.8 t

결에 5 kW급 및 10 kW급의 CO<sub>2</sub>레이저를 이용한 레이저 용접이 생산라인에 도입되어 효과를 거두고 있다.

파이프의 제조에 레이저를 이용하려는 계획은 오랜 이전부터 있었으며, 예를 들면 Fig. 6에 나타내듯이 종래의 고주파유도 가열을 이용한 압접조관법(壓接造管法)에 레이저 가열을 병행하는 방법이 1986년에 일본의 신니혼(新日本)제철에 의해 발표되었다<sup>8)</sup>. 고주파 용접법에서는 판두께가 두꺼울수록 고주파가열 특유의 edge효과에 의해 판상하면(板上下面)의 코너부만이 가열되어, 판중앙부의 가열이 불안정하게 되기 쉽다. 그래서 Fig. 6과 같이 판 중앙부에 CO<sub>2</sub>레이저를 조사하고 보조적으로 가열함으로써 안정한 압접이 이루어 지도록 했다. 이 경우 레이저 광은 썩기상의 판측면을 다중반사하면서 용접부에 집중하게 된다.

박판 스텐레스 강관의 제조는 종래 TIG아크 용접 또는 고주파 유도 가열 압접법으로 제조되었다. 그러나, 용접속도를 크게 향상시키기 위해서 현재로는 Fig. 7과 같이 고주파 가열과 레이저 가열을

병용한 방법이 채용되어 큰 효과를 거두고 있다<sup>9)</sup>.

상기의 두가지 사례는, 레이저가 가진 절대적인 결점, 즉 낮은 발전효율에 기인하는 고가(高價)의

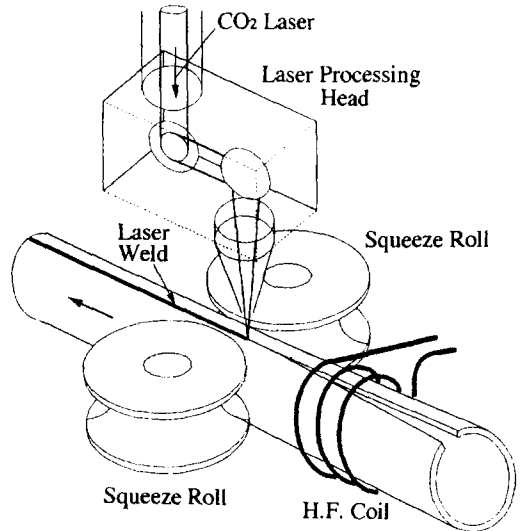


Fig. 7 Laser assisted HF welding in thin thickness pipe [9]

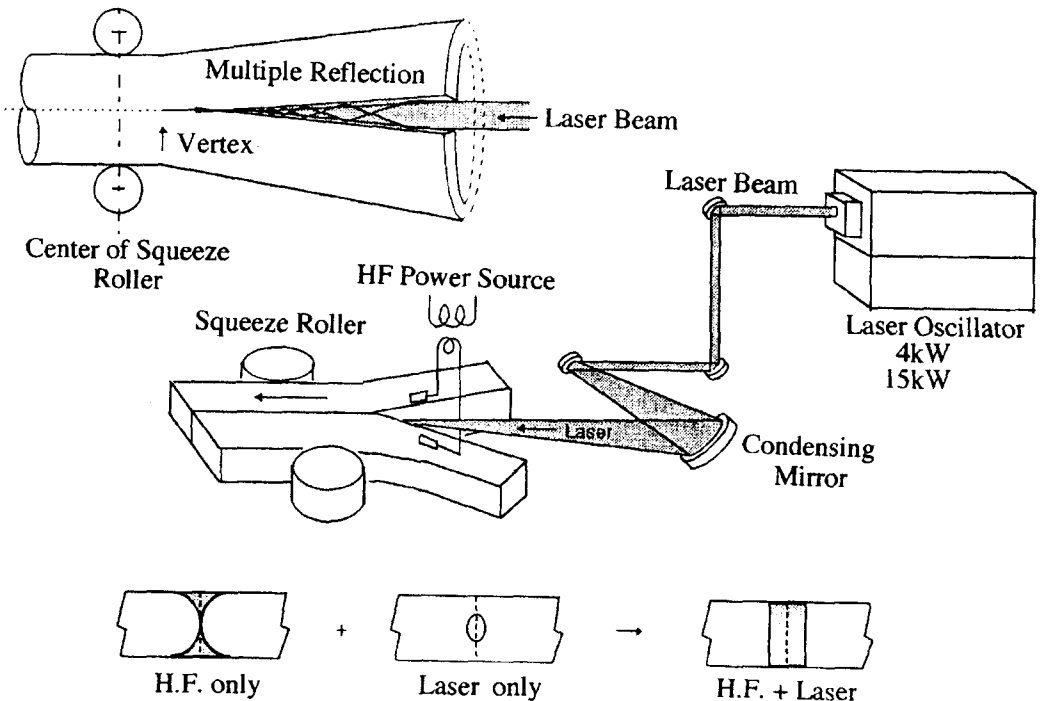


Fig. 6 Combined HF and laser welding for production of pipe [8]

Photon cost를 고주파 열원과 hybrid로 조합함에 따라 용접속도의 대폭적인 향상과 최종소모비용의 절감을 실현하고 있다. 이후, 레이저와 아크의 조합 등 hybrid레이저 가공이 크게 주목받게 될 것이다.

최근 선박, 차량등의 수송기기의 고속화, 절전 에너지화 문제와 더불어 경량화가 큰 화제로 되고 있다. 이로인해, 종래의 골재와 판에 의한 용접구조로부터 honeycomb plate나 Corrugated plate 등을 이용한 벽구조로 그 전환이 고려되고 있다. 이러한 박판 집합체를 용접구조로 만드는 경우, 아크용접은 용접 변형 및 용접 속도의 문제로 인하여 부적절함에 따라 레이저 용접의 채택이 각국에서 검토되고 있다.

Fig. 8은 일본 운수성(運輸省)의 Techno - Super Liner Project의 Model Ship인 Gale(疾風)에 사용된 Corrugated Plate제작법의 개요를 나타낸다. 0.4~2 mm의 스테인레스강을 탄산가스 및 YAG레이저로 용접해서 Panel 판을 제작하고, 그 후 부위의 형상에 맞추어 소성 변형 가공을 행하여, Panel과 Panel을 용접해서 선체를 만들고 있다.

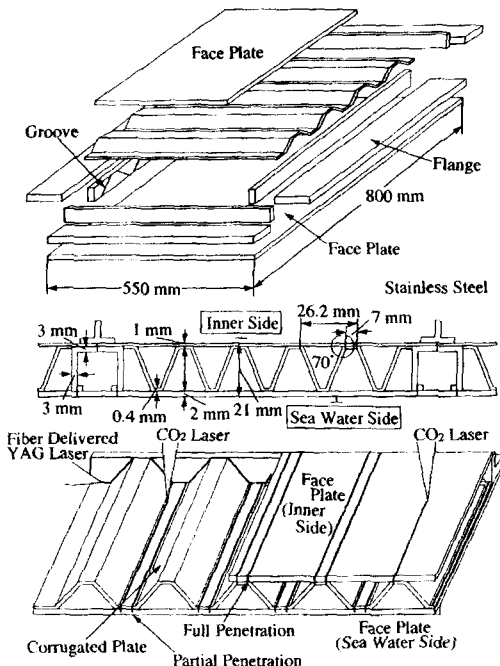


Fig. 8 Production method of corrugated plate by laser welding

### 3. 3 전기·전자산업

전기·전자산업에 있어서 레이저 적용 예는 일이 열거할 수 없을 정도로 많다. 이것은 대출력 레이저 시스템의 개발이 주로 종합전기 메이커에 의하여 이루어지고 있고, 그 적용이 우선적으로 자사내의 제조라인에 도입되기 때문이다.

레이저 용접이 일찌기 적용된 곳은, 브라운관이나 진공관의 전자총 혹은 전극의 YAG레이저 용접이었다. 예를 들면 전자총의 경우 종래는 저항용접이 채용되었으나 성능 향상을 위해 소형화가 요구되고, 용접부 주변으로의 열영향을 최소로 억제할 수 있다는 점에서 레이저 용접이 채용되기에 이르렀다. 또한, YAG레이저 광은 Glass를 투과할 수 있으므로 Glass이면의 전기부품의 용접이 가능하다는 것도 큰 특징이다.

최근 많이 이용되고 있는 충전가능한 Nickel - Cadmium전지등에서는, 전극봉과 보디의 용접, 전기재료 봉입후의 시일용접에 YAG레이저 용접이 사용되고 있다. 전지재료는 내열허용온도범위가 낮기 때문에 종래는 기계적 맞춤에 의한 Hermetic Sealing가 이용되었으나 내부 전지액의 누설이 발생되기 쉬운 결점이 있었다. 레이저 용접에서는 전지재료에 거의 열영향을 미치지 않고, 또한 완전히 시일할 수 있기 때문에 장기간의 사용에 견딜수 있는 전지제조에 불가결의 용접기술이 되어 있다.

한편, 반도체 디바이스의 접합에도 YAG레이저가 사용되고 있다. 예를 들면, Fig. 9에 나타내듯이 Flat pack I.C의 Soldering에 YAG레이저 Soldering 법이 많이 이용되고 있다<sup>10)</sup>. 이것은 Reflow Soldering의 일종으로, 전극리드부에 도포된 Solder paste의 위를 Fig. 9(a)와 같이 Spot형상의 빔을 조사(照射)하는 방식과 (b)의 선상(線狀)빔을 조사하는 방식의 2종류가 있다.

다음으로 비교적 대형전기 부품에서, 종래 아크 용접으로 만들어 졌던 것이 현재 레이저 용접으로 변경된 사례에 대해서 언급한다. Fig. 10은 모터의 강판 프레임 구조에 레이저 용접을 적용한 예를 나타낸다<sup>11)</sup>. 적용개소는 굽힘 가공한 강판 프레임 본체의 맞대기 부위, 본체와 취부다이 I 및 II(Leg

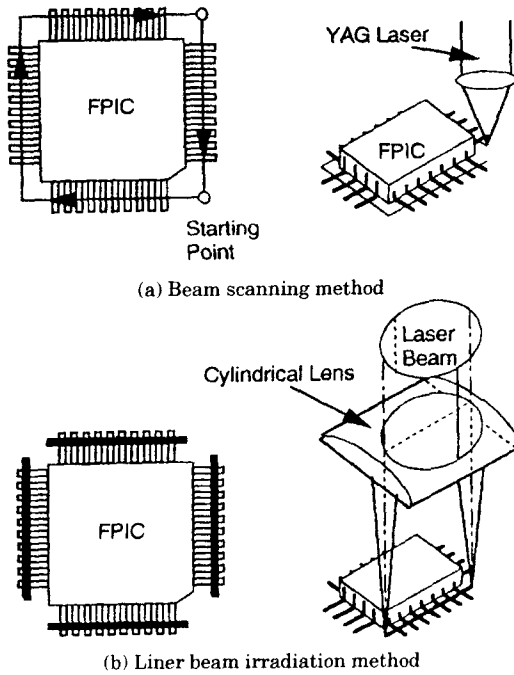


Fig. 9 Laser Soldering of flat pack IC [10]

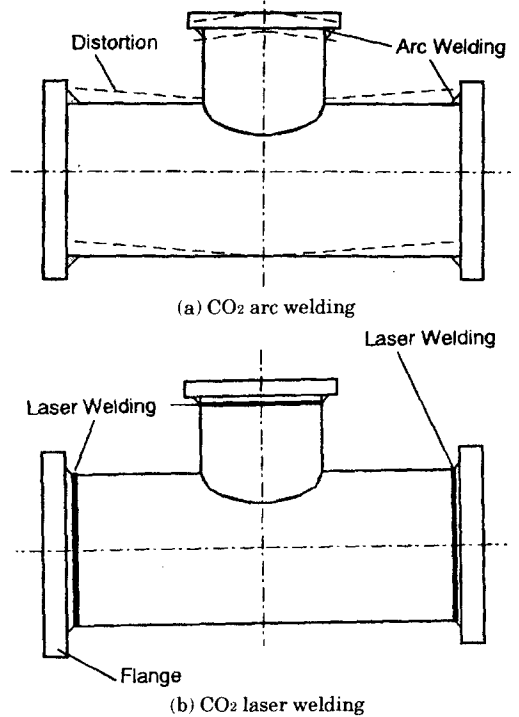


Plate Thickness ; 6, 9, 12 mm(Carbon Steel)
Welding Speed ; 1 - 1.5 m/min
Filler Wire ; SUS309 (0.6 - 0.8 mm $\phi$ )

Fig. 11 Pressure vessel for vacuum switch gear by laser welding [12]

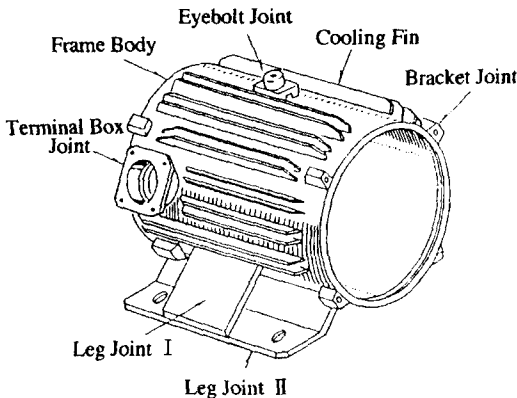


Fig. 10 Laser welded steel motor frame [11]

Joint I 및 II), 본체와 냉각핀의 접합부이다. 현재, 출력 11~90 kW의 모타프레임본체의 용접에 레이저가 사용되고 있다.

레이저 용접의 신뢰성이 확인됨에 따라, 압력용기로의 적용도 이루어 지고 있다. Fig. 11에 나타내는 진공가스 차단기용의 용기(容器)는 제2종 압력용기인데, 이것의 본체와 플랜지의 용접은 종래

탄산가스 아크용접으로 이루어졌다<sup>12)</sup>. 그러나 아크 용접으로는 용접변형이 크고, 용접후에 기계가공으로 플랜지 면의 정도(精度)를 확보할 필요가 있었다. 레이저 용접을 적용할 경우, 용접변형이 크게 감소되므로 용접한 그대로 플랜지면 정도가 확보됨에 따라 대형 NC기에 의한 기계가공이 생략될 수 있어서 제조효과 및 비용저감면에서 효과를 거두고 있다. 또한, 이 용접에는 스텐레스강과 탄소강의 이종재 이음부가 있으며, 응고 균열방지를 위해 적당한 필러와이어를 사용할 필요가 있다.

### 3. 4 중공업

두꺼운 판의 용접을 주로 대상으로하는 중공업에서는 레이저 용접의 보급이 그다지 많은 편은 아니지만, 레이저 용접에 대한 기대감은 대출력 레이



저 출현 당시부터 매우 컸으며, 실질적인 연구개발이 계속되어 왔다. 그 중에는, 레이저 발전기 및 레이저 가공시스템 그 자체를 개발하는 기업도 선진 일본에서는 많으며, 중공업분야에 있어서 레이저 가공에 대한 적극적인 연구투자는 세계적으로 보아도 극히 특징적이라 할 것이다. 최근에는 50 kW급의 탄산가스레이저와 4 kW급 YAG레이저가 개발되어 있으며, 금후 중공업에도 레이저 용접은 급속히 보급되리라 사려된다.

이 와중에서도, 원자력 관계의 보수용접에 획기적인 방법이 일본의 미쯔비시(三菱)중공업에서 개발되었다. 가압수형 원자로(PWR)의 증기 발생기 내에는 열교환용 세관(細管)이 3~4000개 설치되어 있다. 이 세관은 압력용기내의 지지판으로 고정되어 있는데 진동등의 영향으로 오랜 사용중에 지지판 근방의 세관이 손상을 입게됨에따라, 이것을 보수하는 효율적인 방법이 모색되어 왔다. 이 어려운 문제를 해소시킨 것이 화이버전송된 YAG레이저에 의한 용접 보수법이다.

종래 손상개소의 보수는 관내경보다 약간 좁은 슬리브를 삽입·확관해서 금 브레이징법으로 접합했다. 그러나 인코넬제의 전열관의 내경은 약

20 mm로 가늘고 대출력을 송급 할 수 없으므로 브레이징에 시간이 걸려 작업 효율에 문제가 있었다. 그래서 용융용접법의 채용이 검토되었으나, 아크용접의 경우 전력 케이블이나 수냉 및 실드가스 등의 파이프류가 두껍기 때문에 협소한 부위에서의 작업이 거의 불가능한 것으로 판단하기에 이르렀다.

그러나, YAG레이저의 파장(1.06 $\mu$ m)을 이용할 경우 석영계 광학 화이버에 의해서 수kW의 YAG레이저 파워를 거의 손실없이 전송할 수 있는데, 이러한 특징을 이용해서 개발된 것이 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내는 레이저 슬리브 용접법의 시스템 구성이다<sup>13)</sup>.

2 kW급의 YAG레이저 연속빔은 직경 0.6mm $\phi$ 의 광화이버로 약 250 m 전송된다. 화이버로부터 출사된 빔은 소형용접용 광학계에서 집광되면서 금속미터로 90° 반사되어 슬리브면에 집광된다. 용접은 슬리브 원주방향으로 빔을 스파이럴상으로 회전시켜 3패스 용접을 행하며, 회전은 중공(中空)의 초음파모터를 이용하고, 용접공구의 외경은 16mm $\phi$ 이하로 슬리브 내면에 삽입가능토록 되어있다. 용접현상의 모니터링은, 용접부로부터의 발광, 레이저 반사광, 용접공구의 회전속도, 토크의 신호에 의하고 있다.

이 방법이 채용됨에 따라 원자력 플랜트 증기발

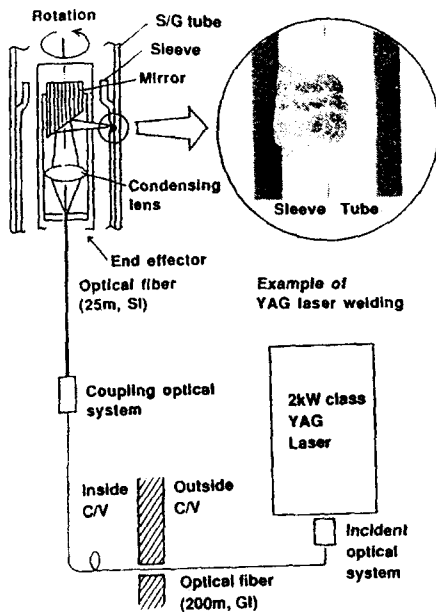


Fig. 12 Outline of laser welded sleeving technology [13]

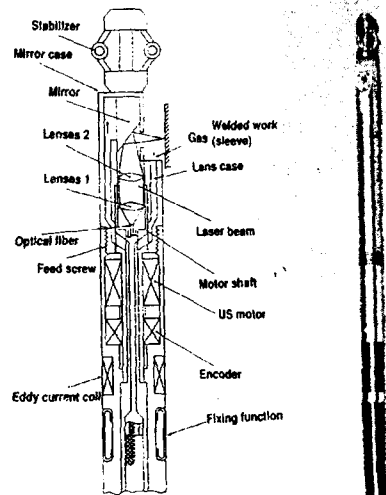


Fig. 13 Laser welding tool [13]

생기관외 보수용접효율은 비약적으로 향상되었으며, 세계적으로 주목을 받는 레이저 응용의 한 사례가 되었다.

#### 4. 결 론

레이저 용접의 응용은, 일본을 비롯한 유럽등지의 선진국에서 꾸준히 확대되고 있지만, 많은 연구자가 기대한 만큼 빠른 스텝으로 진전되고 있지는 않다. 그 원인은 레이저 발전기 및 집광·전송광학계, NC제어시스템, 가공테이블과 로봇, 센싱 및 모니터링시스템등의 정도(精度), 응답속도등이 레이저의 잠재능력을 충분히 발휘시킬 정도로 발달되어 있지 않다는데 있다. 현재, 레이저 가공법은 적응제어기술을 채택하고 있지 아니한데, 이것은 가공현상이 미소영역에서 또한 극단시간에 발생하기 때문에 현재의 피드백 제어기술로는 대처할 수 없기 때문이다. 이러한 문제를 해결하고 레이저 가공의 자동제어화를 꾀하는 것이야말로 기대되는 차세대의 FMS (Flexible Manufacturing System)화를 위해서도 극히 의미깊은 일일 것이다.

레이저 기술을 중심으로 하는 광자 테크놀리지는 21세기의 중심적 기반기술의 하나임을 직시한다면, 현재의 Low-Tech 레이저 가공기술의 Hi-Tech화는 긴급과제라 할 수 있다. 이를 실현하기 위해서는 철저한 레이저 가공현상의 해명과 그 메카니즘을 설명할 수 있는 미개척의 물리·화학이

론의 확립, 그리고 신학리와 발상에 근거한 고도 적응제어기술의 개발이 무엇보다 선행되어야 하겠다.

#### 참고문헌

1. T.H. Maiman : Nature, Vol. 187(1960), No. 4736, pp.493
2. 宮本 勇 : 日本溶接學會誌, Vol. 62-4 (1993), pp.59
3. 沓名 宗春 : 溶接技術, 1月 (1998), pp.60
4. 池田 正幸 外4人 編集 : "レーザープロセス技術ハンドブック, 朝倉書店, pp.116
5. Iwai and others : Proceeding of LAMP' 87(1987), pp.517
6. 夏見ら : 自動車技術會春期學術講演會前刷集, Vol. 901(1990), pp.245
7. M.Ito and others : Proceeding of LAMP' 87(1987), pp.535
8. K.Minamida and others : Proceeding of ICALEO' 86(1986), pp.97
9. 稻葉, 新谷 : 溶接技術, 9月 (1992), pp.60
10. 末永ら : 溶接技術, 6月 (1987), pp.58
11. 高木ら : 溶接技術, 11月 (1994), pp.62
12. 唐津 : "最新レーザー加工技術總攬, 産業技術サービスセンタ (1994), pp.278
13. T.Ishide and others : Proceeding of LAMP' 92(1992). pp.957