

고출력 Fiber 레이저 용접 기술 개발

Development of high power Fiber laser welding

현대자동차 생산기술개발팀
권태용, 이희범, 장인성, 정창호

I. 서론

1. Fiber 레이저 개요 설명

산업용으로 널리 사용되고 있는 Nd:YAG레이저는 Co₂레이저와는 다르게 광Fiber로 원거리까지 전송이 가능하여 여러 분야에서 적용되고 있으며 특히 완성차의 차체 용접과 절단등 금속 가공분야에 사용되고 있다. 고출력화 및 장비의 안정화는 고출력 Nd:YAG 레이저의 실용화를 가능케 하였고,, 그 보급에 박차를 가하였다.

그러나 Nd:YAG레이저도 신뢰성 및 에너지 효율 등의 측면에서 현재까지는 시장의 요구를 만족하고 있다고는 말하기 어렵다. Nd:YAG 레이저는 에너지 효율과 빔 품질이 떨어져서 현재는 그 사용 용도가 한정되어 있다. 또한 설비 자체가 대규모이어서 설치 공간 확보 및 Utility 구성 등에서 제한적일 수 밖에 없다. 또 빔 품질이라는 관점에서는 Co₂에 비교하면 꽤 열악하기 때문에, 高 빔 품질을 요구하는 리모트 레이저 용접 등의 응용 분야에는 적용이 곤란하다. 현 시점에서 레이저 용접 그 차체의 레이저 빔은 고속으로 생산성을 향상 시킬 수 있으나, 레이저빔의 전달체로서 광Fiber를 사용하고 있으며, 이 광Fiber를 로봇에 고정시켜 작업을 진행 함으로서 로봇 속도의 한계를 극복할 수 없는 상황이다.

이러한 배경에 따라, 최근 유럽을 중심으로 새로운 레이저 기술의 개발이 행하여져서 그 성과로서 Fiber 레이저가 실용화되어 큰 주목을 받고 있다.

Fiber레이저는 다이오드 소자의 레이저 매체를 사용하여 발진기의 가동 비용을 최소화 할 수 있었으며, 이로 인해 다른 고체 레이저와 비교하여 에너지 효율의 극대화를 가져왔다.

또한 싱글모드 Fiber 레이저는, 레이저 매질이 그 발진 파장의 기본파 모드만을 전파 가능한 싱글모드 Fiber이므로 高빔 품질을 얻을 수 있다.

그리고 , Fiber는 Nd:YAG레이저의 로드(rod)타입의 레이저 매질과 비교하여, 그 체적에 대한 측면의 표면적의 비율이 크기 때문에 특히 냉각 효율이 높고, 덧붙여 효율이 우수하고 발열이 기존 레이저에 비교하여 적으므로(70~75%), 복잡하고 거대한 냉각 기구를 필요로 하지 않기 때문에 소형화가 용이하다.

2. 본 연구의 목적

상기에서 언급한 Fiber 레이저의 장점에도 불구하고, 국내에서는 아직 Fiber 레이저에 대한 연구가 많이 진행되고 있지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 Fiber레이저의 특성 조사를 실시하여 기본적인 평가를 하였고, 현재 용접용으로 많이 사용되고 있는 Nd:YAG 레이저와 신 레이저 장비인 Fiber레이저로 기초적인 물성 시험을 실시하였다. 각각의 레이저로 용접을 실시하여 인장시험편을 제작하고 인장강도 시험을 통하여 기계적 강도를 평가 비교하였다.

II. 시험편의 인장강도시험

1. 시험 장치 및 방법

본 실험에서 사용한 레이저 발전기는 TRUMPF社의 4.0kw Nd:YAG 레이저인 HL4006D와 IPG Photonics社의 4.5kw Fiber 레이저인 YLR-4500이다. 각 레이저의 특성은 Table 1에 나타내었다.

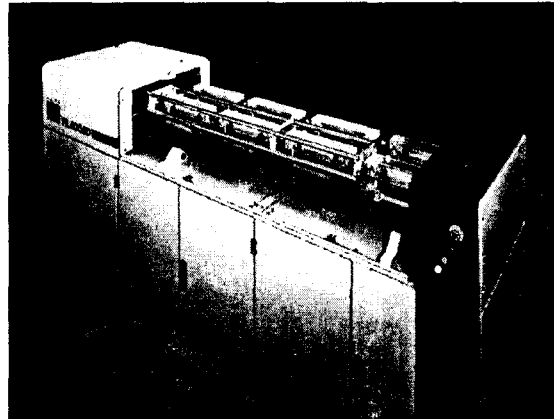
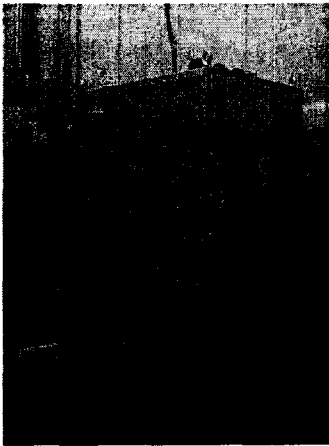


Fig. 1 Fiber 레이저

Nd:YAG 레이저)

| Parameter | Fiber | Nd:YAG |
|---|--------------------|-----------------|
| Central emission wavelength[μm] | 1,070 | 1064 |
| Nominal output power[kW] | 4.5 | 4.0 |
| Output fiber delivery diameter[μm] | 300-400 | 600 |
| Maximum power consumption[kW] | 30 (1/6 배) | 180 |
| Cooling water temperature[$^{\circ}\text{C}$] | 5~30 | 25 |
| Dimensions [W x D x H] | 60 x 9 x 160 (1/9) | 123 x 320 x 178 |
| Weight[kg] | 450 (1/3 배) | 1500 |
| Efficiency[%] | 20~25 | 3 |

Table 1. 레이저 발전기 특성 비교

Table 1에서 볼 수 있듯이 Fiber레이저는 Nd:YAG레이저에 비해 에너지효율이 10배 정도 높기 때문에 냉각효율을 극대화 할 수가 있고, 냉각수 라인과 전기 라인이 Compact하게 구성될 수가 있다.

실질적인 실험을 위하여 완성차 차체에서 사용되는 판넬을 아래와 같이 조합하여 용접을 실시하였다. 일반 냉간압연강판 및 아연도금 강판 그리고 고장력 강판 등에 대하여 레이저 출력에 따른 레이저의 용접성 및 속도를 측정 비교하였다.

| 판넬 조합 | Fiber 레이저 | | Nd:YAG 레이저 | |
|-------------------------------------|-----------|---------------|------------|---------------|
| | 출력(kW) | 용접속도 (mm/sec) | 출력(kW) | 용접속도 (mm/sec) |
| SPCC 0.7mm / SPCC 0.7mm | 2.9 | 90 | 2.8 | 80 |
| SGARC45 0.8mm / SGARC45 1.0mm | 3.8 | 70 | 4.0 | 70 |
| SGACC60/60 0.7mm / SGACC60/60 0.7mm | 3.1 | 70 | 3.0 | 60 |

Table 2. 용접 조건

위와 같은 조건 및 조합으로 20mm Stitch와 30mm Shim 레이저용접 을 수행 하였으며 접합부의 기계적 접합강도를 평가하기 위해서 인장강도 시험을 수행하였다. 인장강도 시험을 위한 시험편의 형상은 Fig. 2에 나타내었으며 실험값은 조건당 5회씩 인장시험을 실시하였다. 그리고, 인장시험은 ZWICK社 ZO20으로 10mm/min의 속도로 시행하였다.

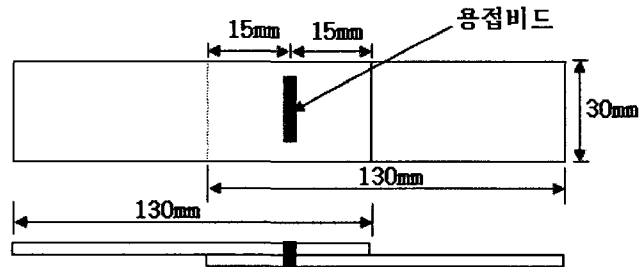


Fig. 2 레이저용접 인장시험편 형상

| 구분 | 용접방법 | 시험편내 레이저용접 길이 |
|--------|---------------------|---------------|
| STITCH | 20mm레이저 용접후 10mm 간격 | 20mm |
| SEAM | 연속 레이저용접 | 30mm |

Table 3. 용접방법(STITCH, SEAM 용접)

2. 시험결과 및 고찰

Fig.3에서는 Fiber레이저와 Nd:YAG레이저의 출력 및 속도와 용입 깊이의 상관 관계를 나타내었다. 10mm steel에 레이저 빔을 조사한 후 절단하여 용입 깊이를 확인하였다.

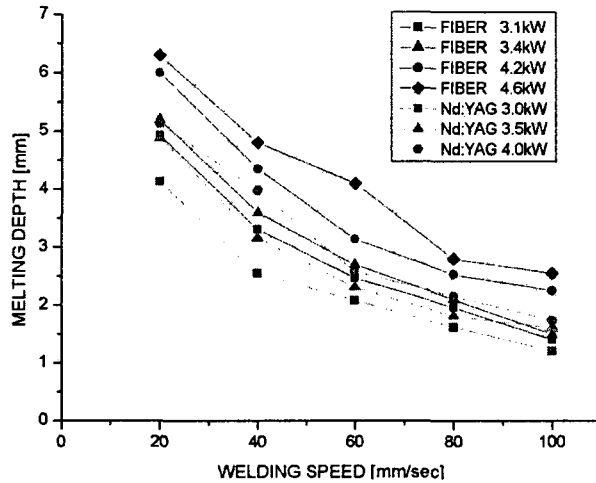


Fig. 3 레이저 종류에 따른 용접 조건과 용입 깊이의 상관 관계

Fig.3에서 보는 바와 같이 Fiber레이저와 Nd:YAG레이저에 상관없이 일반적으로 용접부의 용입깊이는 출력에 비례하고, 용접속도에 반비례함을 알 수가 있다. 동일 출력 및 동일 속도에서는 Fiber레이저의 용입깊이가 Nd:YAG레이저에 비하여 더 깊음을 알 수가 있다. 이는 Fiber레이저와 Nd:YAG레이저의 빔 패턴의 차이로 유추 된다.

Fig 4는 Fiber레이저와 Nd:YAG레이저로 2점 및 3점 판넬을 겹치기용접하여 인장결과를 비교한 그래프이다.

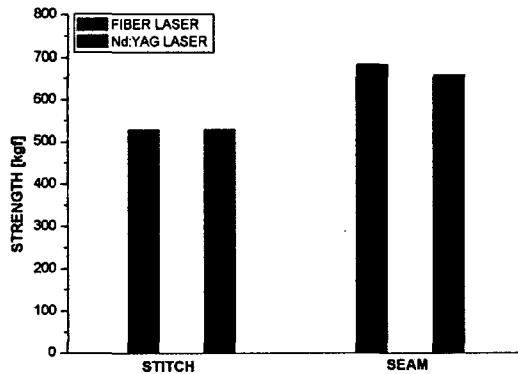


Fig. 4-1 레이저별 인장 강도 비교 (SPCC 0.7mm / SPCC 0.7mm)

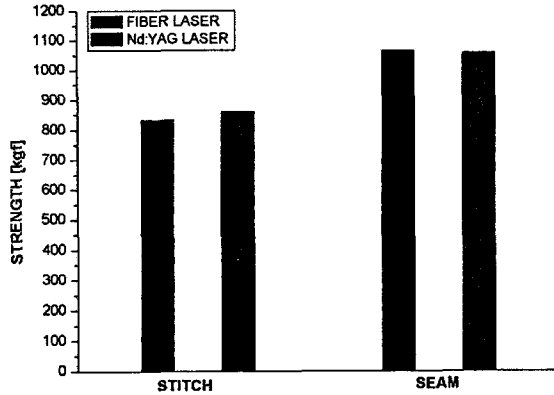


Fig. 4-2 레이저별 인장강도 비교 (SGARC45 0.8mm / SGARC45 1.0mm)

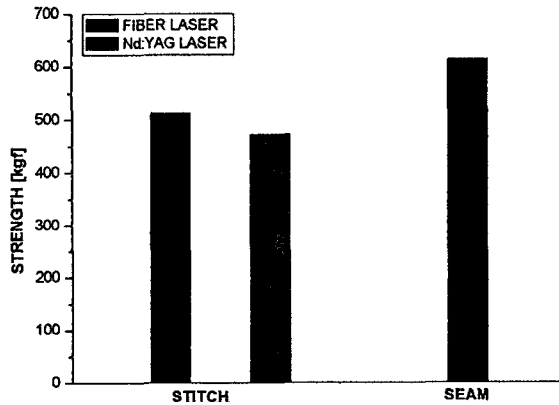


Fig. 4-3 레이저별 인장시험 결과 (SGACC60/60 0.7mm / SGACC60/60 0.7mm)

Fig 4-1 ~ 4-3에서 보듯이 Fiber레이저와 Nd:YAG레이저는 유사한 용접조건에서 거의 유사한 인장 강도를 나타내며, 용접선 길이에 따라 인장 강도가 커진다. 또한 20mm이상 레이저용접의 인장강도가 스폿용접의 인장강도보다 더 큰 것으로 유추할 수 있다.

III. 결론

Fiber 레이저와 Nd:YAG 레이저의 인장강도 비교 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동일 출력 및 동일 속도에서는 Fiber레이저의 인장강도와 Nd:YAG레이저의 인장강도에는 큰 차이가 없음을 알 수가 있었다.
2. Fiber레이저는 Nd:YAG레이저에 비하여 Dimension이 현저히 작고, 에너지효율도 높기 때문에 Utility 설치 공간등을 많이 줄일 수 있다.
3. Beam Quality가 좋은 Fiber레이저는 리모트 레이저용접등에도 많은 사용이 기대된다.

IV. 참고문헌

1. Min-Kyu Jeon, Weon-Bae Kim, Guk-Chan Han and Suck-Joo Na, “ A study on heat flow and temperature monitoring in the laser brazing of a pin-to-plate joint” , Journal of materials processing technology , 1998, 82(1), pp.53-60
2. B. Bouaifi, “ Low heat process enhances joining of coated sheet metals” , Welding journal, 2003, 82(1), pp.27-30
3. U. Sandstrom, “ Combined process tool for seam tracking, laser welding and brazing – A new development and the first implementation” , EALA2003, pp.147-171
4. F. Bachmann, High Power kW-range diode lasers for direct materials processing : High power laser conference, September 18-22, 2000
5. Klein, R., and Abram, L., “ Low flux laser brazing of vehicle-body materials” , Precision Processing with Solid-State Lasers, 1996, VDI-Verlag, pp.85-90
6. Hoffmann, P., Brassel : “ Laserstrahlhartloeten von Versuchsteilen, Projektbericht” BLZ-AUDI AG, 1997