

## 10kW 화이버레이저를 이용한 후판소재 용접 및 응용 A weldability of thick materials with 10kW fiber laser and its application

이목영\*, 류충선\*, 장용성\*, 박서정\*

\* 포항산업과학연구원(RIST) 용접센터

**ABSTRACT** The laser welding process was effective way to join the metals, because of the high productivity, the low distortion and the good weld quality. The fiber laser used the double-clad fiber architecture, the single element diode laser and the fully-spliced side pumping. It has the advantages in the views of the energy conversion efficiency, the beam quality, the robustness and the mobility. Recently, the thick material was welded with the high power laser in ship building or construction industry owing to the super bright fiber laser. In this study, we introduced the characteristics of high power fiber laser and its welding performance of thick gauge materials.

### 1. 서 론

레이저는 20세기 빛의 혁명이라고 일컬어질 정도로 짧은 개발역사에 비하여 광범위하게 적용되고 있다. 인류가 만들어낸 대표적인 발명인 초고속인터넷이 레이저의 광섬유 전송에 의하여 실현되었으며, 의료분야에서는 레이저를 이용하여 치료 및 시술을 행하고 있으며, 제조업에서는 MEMS에서 초대형 철강구조물에 이르기 까지 레이저가 광범위하게 적용되고 있다.

지금까지 산업적으로 적용된 레이저는 CO<sub>2</sub> 레이저, Nd:YAG 레이저, Diode 레이저 등이 있다. 이러한 레이저 들은 레이저 출력, 에너지 변환 효율, 빔전송 등의 측면에서 제약이 있기 때문에 얇은 판재의 절단, 자동화된 대량 생산라인의 용접 등 제한적인 분야에 적용되어 왔다.

그러나 산업이 고도화되고, 인류의 생활수준 향상에 따른 욕구증대, 에너지 혹은 환경문제에 따른 효율향상 등의 필요에 따라 보다 출력이 높고 효율이 우수한 레이저에 대한 Needs가 증폭되어 왔다.

화이버 레이저는 레이저 발전에 사용되는 파장의 빛(다이오드 레이저)만을 여기원으로 사용하고, double cadding 및 Fiber Bragg Grating에 의하여 가늘고 길이가 긴 광섬유를 사용하여 레이저를 증폭하므로써 열손실 및 열렌즈효과(thermal lensing)를 방지하여 에너지 효율 및 빔품질을 동시에 향상시키는 것이 가능한 새로운 기술이다. 고체레이저에서 효율이 낮은 이유는 레이저 증폭에 사용되지 않는 빛의 발생 및 그 에너지를 발산시키기 위하여 많은 량의 에너지가 소모되기 때문이다. 실제로 화이버레이저에서 레이저를 발전시키는 화이버는 공냉을 하며, 냉각수는 다이오드 레이저를 장착한 방열판 및 빔전송계 만을 냉각시킨다. 또한 화이버 레이저에서는 single element의 다이오드 레이저를 사용하므로써 출력이 안정되고 수명이 길며, 다이오드 레이저에서부터 레이저 발전 화이버의 출력단까지 화이버가 융착이 되어 있기 때문에 물리적인 충격에 매우 강건하다.

화이버 레이저의 개념은 1963년 Elias Snitzer에 의하여 처음 고안되었으며, 1980년대

후반에 이르러서야 상업화가 되었다. 그 후 1990 년대에 4W Erbium-doped 화이버 레이저가 개발되어 와트레벨 레이저의 시대가 열렸으며, 그 후 괄목할 만한 성장이 지속되어 최근에는 10kW 이상의 레이저를 생산하고 있다.

2006년부터 출시가 되기 시작한 10kW 이상의 화이버레이저는 조선, 파이프라인, 중공업, 토목/건축 등에 적용이 기대된다. 그러나 한편으로는 약  $0.3\text{MW}/\text{mm}^2$  이상의 매우 높은 에너지 밀도를 갖기 때문에 지금까지 겪어보지 못했던 새로운 문제들이 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 대출력 화이버 레이저를 산업에 적용하기 위해서는 충분한 연구가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 대출력 화이버 레이저의 특성 및 기본적인 용접특성에 대하여 소개를 하였다.

## 2. 대출력 화이버 레이저 및 그 응용

RIST에서는 대구경 파이프 원주용접 및 조선/중공업 적용성을 조사하기 위하여 최대 평균출력 10kW의 화이버 레이저를 설치하였다. 그림 1은 RIST에서 설치한 화이버 레이저의 빔품질을 측정 한 것이다. 화이버의 core 직경은  $300\mu\text{m}$ 이었으며, 집속렌즈는 초점거리 300mm를 사용하였다. 측정결과 빔직경은  $283\mu\text{m}$ 이었으며, rayleigh length는 6.8mm 및 빔발산각(BPP)은 11.8mrad 이었다.

그림 2는 초점위치에서 레이저빔의 에너지밀도 분포를 입체적으로 나타낸 것이다. 빔의 에너지 분포는 일그러짐이 없이 비교적 우수하였다.

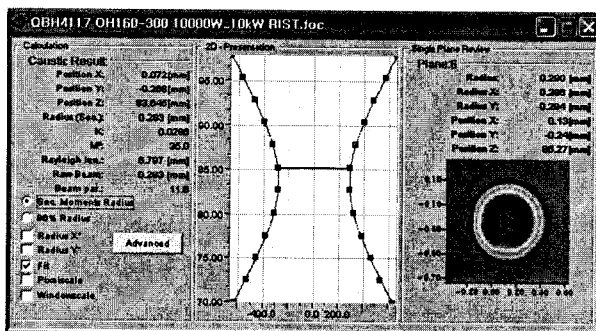


Figure 1 Beam quality of 10kW fiber laser

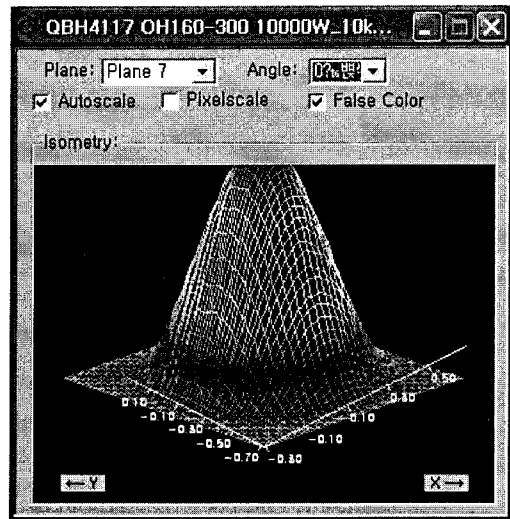


Figure 2 3-D Energy distribution of fiber laser

대출력 화이버 레이저의 적용은 대부분의 기업들이 공개를 하지 않기 때문에 양산 적용을 확인하기는 어렵다. 연구소 중심의 연구 사례를 보면 병원 콘크리트벽 드릴링, 대구경파이프 원주용접, 스마트 지뢰제거, 조선 용접/절단 등이 있다. 그림 3은 EU 프로젝트로 수행한 DOCK-LASER 시스템에 관한 것이다. 여기서는 10kW 화이버 레이저를 이용하여 기동성이 있는 시스템을 구성하여 조선현장에서 이동시키면서 절단 및 용접을 하고자 하였다.

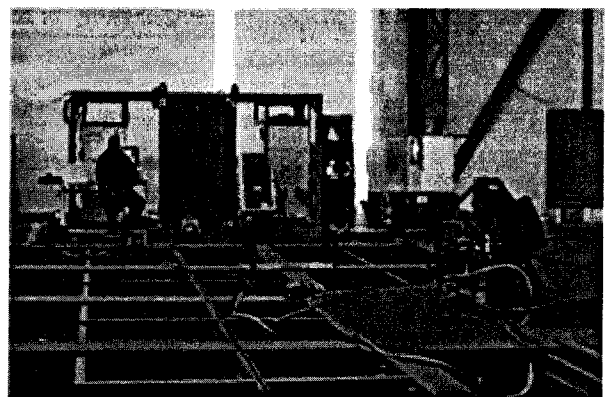


Figure 3 Mobile DOCK-LASER for shipbuilding

대출력 화이버 레이저는 기동성을 필요로 하는 중대형 규모의 철강 혹은 비철소재 용접분야의 적용이 증가할 것으로 예측된다.

### 3. 대출력 화이버레이저의 용접 성능 시험

#### 3.1 사용재료

본 실험에서는 대출력 화이버 레이저의 용접 성능을 평가하기 위하여 두께 12mm의 5000계열 알루미늄 및 SS400 구조용 강재를 사용하였다.

#### 3.2 실험방법

용접을 위하여 폭 100mm x 길이 200mm 시편을 고정지그로 고정한 후, 레이저 용접실험을 수행하였다. 용접공정변수에서 레이저 출력은 8kW로 고정하고 용접속도를 변화시켰으며, 보호가스는 유량 25l/min의 아르곤을 사용하였다. 용접 후에 샘플을 채취하여 조직검사를 수행하였으며, 디지털 카메라 및 영상분석 프로그램을 사용하여 용입특성을 평가하였다.

#### 3.3 실험 결과 및 고찰

그림 4는 연강에 대한 화이버 레이저의 용접부 외관을 용접속도에 따라 나타낸 것이다. 대출력 레이저에 의하여 용접비드 폭이 다소 넓기는 하였으나 비교적 양호한 용접표면 품질을 보였다.

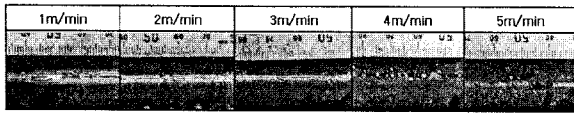


Figure 4 Appearance of weld bead

그림 5는 연강에 대한 화이버 레이저 용접부 단면을 용접속도에 따라 나타낸 것이다. 용접속도가 느린 1m/min에서 루트부에 미세한 기공이 형성되었으나, 그 이상의 용접속도에서는 기공 및 균열 등의 내부결함이 없는 매우 건전한 용접부를 형성하였다. 용접속도가 빠른 5m/min에서는 under cut이 형성되었는데, 이는 보호 가스의 양이 많고 표면에 산화피막이 있었기 때문이다. 이러한 under cut은 보호가스의 유량조정 및 표면

산화피막 제거에 의하여 감소되었다.

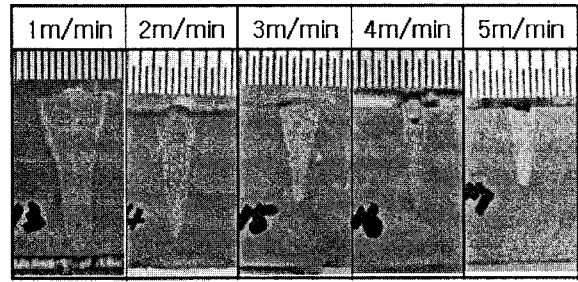


Figure 5 Cut views of welds

그림 4는 연강 및 5000계열 알루미늄 합금에 대한 대출력 화이버레이저의 용접특성을 나타낸 것이다. 용접속도 1m./min에서 연강의 최대 용입깊이는 11.6mm이며, 비드의 폭은 5mm 가량이었. 알루미늄 합금에 대해서는 용접속도 2m/min에서 용입깊이는 10mm이었으며, 이때 비드폭은 4mm가량이었. 일반적으로 전기전도도 및 열전도도가 우수한 알루미늄 합금은 소재의 레이저빔 흡수율이 낮고, 레이저 빔이 흡수되어 변환된 열이 상대적으로 빠른 속도로 전도되어 손실되므로 철강재에 비하여 용입깊이가 낮거나 용접속도가 느린 것으로 알려졌다. 그러나 레이저 출력이 상대적으로 높은 대출력 화이버레이저에서는 용접 성능이 유사하거나 오히려 연강에 비하여 알루미늄의 용접성능이 다소 우수한 것으로 나타났다.

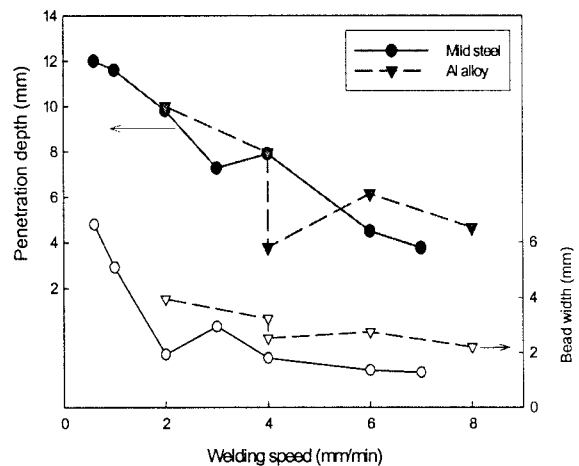


Figure 4 Penetration and bead width change according to welding speed

#### 4. 결 론

후판소재의 용접에 대한 대출력 화이버 레이저의 적용성 검토 및 용접성능 실험의 결과는 다음과 같다.

1) 대출력 화이버레이저는 빔품질이 우수하고, 물리적 충격에 강건하며, 에너지 효율이 우수하여 향후 적용이 급격히 증가할 것으로 예상된다. 특히, 장비 구성이 간단하고 무게가 가벼우므로 기동성을 요구하는 조선 혹은 현장용접에 적합하였다.

2) 대출력 화이버 레이저의 용접특성은 기존의 lamp pumping Nd:YAG와는 다소 상이한 용접특성을 보였다. 그러나 깊은 용입 및 빠른 용접속도에서도 내부 결함은 거의 없는 우수한 용접부 품질을 나타냈다.

#### 참 고 문 헌

1. V. Gapontsev, W. Krupke: Fiber lasers grow in power, Laser Focus World, Aug. 2002 pp.83-87
2. V. Gapontsev: Ultra high power ytterbium fiber lasers, PICALEO 2004
3. V. Gapontsev et. al.: US patent No. 5,999,673, 1996