

대출력 레이저를 이용한 재료 가공

이목영*

1. 서론

레이저는 높은 에너지 강도를 갖는 일종의 빛이며, 비접촉으로 재료를 가공하는 것이 가능하다. 또한 동일한 장치를 이용하여 용접, 절단, 열처리 등 대부분의 재료 가공이 가능하며, 기존의 가공 방법에 비하여 가공속도가 빠를 뿐만 아니라 가공품질이 우수한 장점이 있기 때문에 산업 적용이 급격히 증가하고 있는 기술이다.

레이저를 이용하여 재료를 가공하는 방법에는 MEMS 등의 초미세 가공으로부터 조선용 후판에 이르기까지 다양하지만, 본 보고에서는 출력 1kW 이상의 레이저를 이용한 금속의 용접 및 절단 가공에 대해서 서술하였다. 금속의 가공에 이용 가능한 출력 1kW 이상의 레이저는 CO₂ 레이저, YAG 레이저, Diode 레이저 등이 있다.

2. 대출력 레이저의 동향

가. CO₂ 레이저

CO₂ 레이저는 CO₂ 분자의 진동준위 사이의 밀도반전에 의하여 발진되는 파장 10.6 μ m의 레이저이며, 1964년 미국 벨연구소의 패텔이 최초로 연속발진에 성공한 이래 산업에 가장 널리 적용되고 있다. 최대 출력은 특수한 목적으로는 150kW까지 개발되었으나, 상업적으로 이용 가능한 최대출력은 20kW이다. CO₂ 레이저의 제조업체는 Trumpf, Rofin, PRC, Fanuc, Mitsubishi,

Bystronic 등이 있다. 그림 1에 20kW CO₂ 레이저를 나타내었다.

나. YAG 레이저

YAG(Yttrium Aluminium Garnet: Y₃Al₅O₁₂) 레이저는 Nd:YAG 레이저, 디스크 레이저 및 화이버 레이저

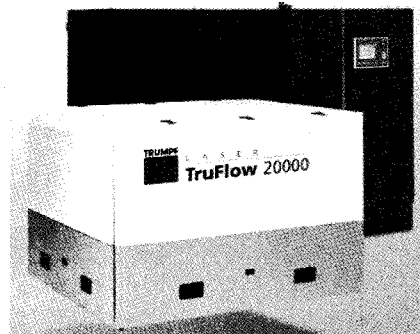
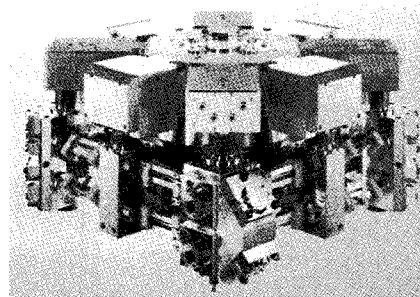


그림 1. 20kW CO₂ Laser

* 포항산업과학연구원 융합공정연구본부



그림 2. 디스크 레이저 발전기 내부 및 외관

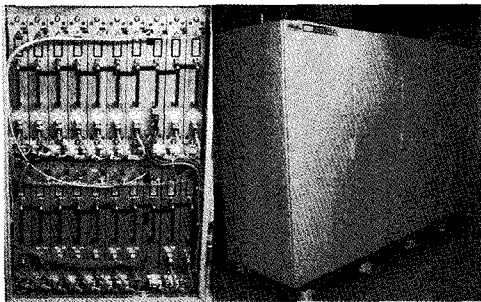


그림 3. 화이버 레이저 발전기 내부 및 외관

가 있으며, Nd 혹은 Yb가 도핑된 YAG 크리스탈의 광 펌핑에 의하여 레이저가 발생된다. Nd:YAG 레이저는 Nd(neodymium) 도핑되고, 디스크 혹은 화이버 레이저는 Yb(ytterbium) 도핑된다. YAG 레이저는 빔의 광섬유 전송이 가능하며, 1990년대 후반 자동차 산업에 활발히 적용되었으며, 최근에는 에너지 변환 효율 및 빔 품질이 우수한 화이버 레이저 및 디스크 레이저의 개발이 활발하다. 그림 2 및 3에 디스크 레이저 및 화이버 레이저의 내부 및 외관을 나타내었다. 이러한 새로운 레이저는 기존의 아크램프 펌핑방식의 Nd:YAG 레이저에 비하여 빔품질, 효율 및 외형치수 등에서 유리할 뿐만 아니라 출력증가가 용이하여 최근에는 30kW급 화이버 레이저의 상업적 판매가 이루어지고 있다. 표 1에 레이저 종류별 특성을 비교하여 나타내었다.

	Fiber Laser	Nd:YAG	CO ₂	Disc
Wall Plug Efficiency	30%	~5%	~10%	20%
Output Powers	~50kW	~6kW	~20kW	~16kW
BPP (4/5kW)	< 2.5	25	6	8
Diode Lifetimes	100,000	10,000	N.A.	10,000
Cooling	Air/Water	Deionized	Water	Water
Floor Space (4/5kW)	< 1m ²	6m ²	3m ²	> 2.4m ²
Operating Cost/hour	\$21.31	\$38.33	\$24.27	\$35.43
Maintenance	Not Required	Often	Required	Often

표 1. 레이저 종류에 따른 특성 비교

다. 다이오드 레이저

다이오드 레이저는 디스크 혹은 화이버 레이저에서 여

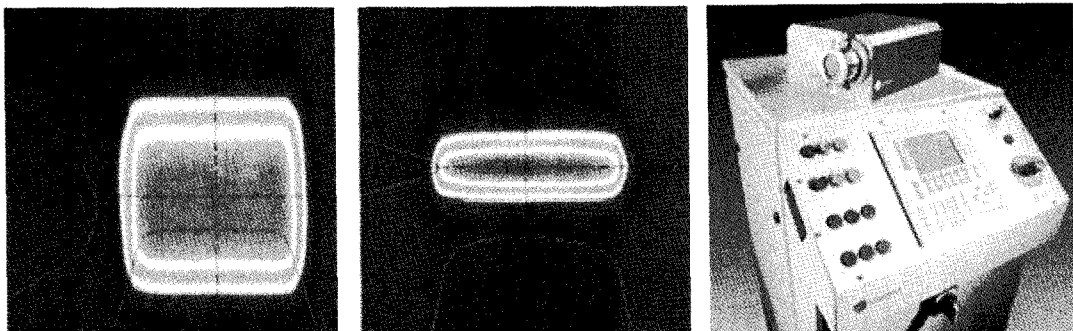


그림 4. 다이오드 레이저의 빔분포 및 장치 외관

대출력 레이저를 이용한 재료 가공

기원으로 사용하는 다이오드 레이저를 직접 이용하는 것으로 에너지 효율이 우수하고 시스템 구조가 단순하다. 최근에는 화이버 빔 전송이 가능한 장비가 출시되며, 최대 출력 10kW 제품이 출시되었다. 많은 논란이 되고 있는 다이오드 레이저의 수명은 3만시간 혹은 5~7년을 보증하며, 파장은 900~1030nm 범위이다. 빔 품질은 1kW 가량의 저출력에서는 20mm mrad, 10kW 장비는 100mm mrad으로 디스크 혹은 화이버 레이저에 비하여 낮다. 다이오드 레이저는 용접, 절단 등 다양한 용도로 사용이 가능하지만, 넓은 조사면적을 필요로 하는 열처리 혹은 클래딩 등에 유용한 것으로 알려졌다. 그림 4에 다이오드 레이저의 빔분포 및 장치 (헤드 및 전원) 외관을 나타내었다.

3. 대출력 레이저를 이용한 재료 가공 기술

가. 하이브리드 용접 기술

하이브리드 용접은 레이저와 아크열원을 혼합하여 레

이저 용접의 단점을 개선하는 것으로, 용접속도향상, 용접부 기공 억제, 용접부 경도 저감 등의 이점으로 인하여 알루미늄 자동차 차체에 널리 적용되고 있다. 그러나 가장 대표적인 장점은 이음부 간극 허용도 향상으로 조선훈 강재와 같이 두께가 두껍고 용접선 길이가 긴 경우에 특히 유용하다. 그림 5는 독일 Meyer 조선소의 하이브리드 적용 사례를 나타낸 것으로 12kW CO₂ 레이저를 이용하여 패널 맞대기 이음부 및 보강판 T 이음부를 하이브리드 용접한 것이다.

최근에는 대출력 화이버 레이저가 개발되어 기존의 패널용접 및 보강판 용접에 적용이 증가하는 추세이며, 일본 미쯔비시중공업 나가사키 조선소는 레이저 아크 하이브리드 용접을 상선에 적용하기 위한 선급협회의 승인을 취득하였다. 국내에서도 화이버 레이저를 이용한 하이브리드 용접의 산업적용은 증가할 것으로 전망된다.

나. 스캐너 용접 기술

기존의 레이저 헤드 이송 방식은 용접선 길이와 헤드



그림 5. 조선 패널 하이브리드 적용

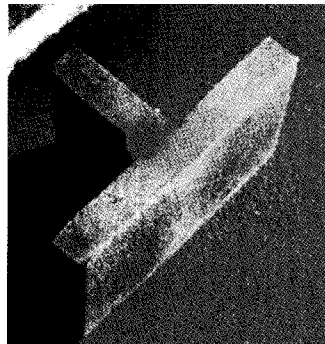
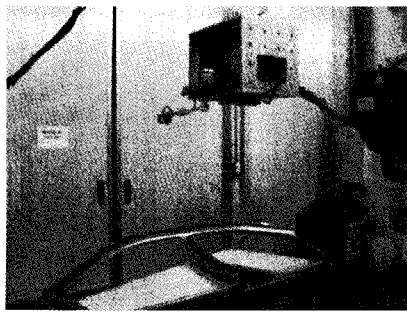


그림 6. 스캐너 용접의 개념도 및 사례





의 이송거리 혹은 속도가 동일하고, 헤드 자체의 중량에 따른 관성력으로 인하여 용접속도의 제약이 따른다. 고 휘도의 고출력 레이저가 개발되면서 이러한 레이저 가공 속도의 향상에 대한 필요가 제기되면서 스캐너를 이용한 고속 레이저 가공기술이 적용되고 있다. 스캐너 방식은 반사경의 각도조절에 의하여 레이저 빔을 이송시키므로 레이저 헤드의 이송량이 적으면서 고속 가공이 가능하다. 그림 6은 스캐너 빔 이송의 개념도 및 국내 한빛레이저에서 개발한 로봇 동기 제어 방식의 레이저 스캐너를 보여준다. 스캐너 레이저 가공장치는 CO₂ 레이저를 이용한 절단기와 디스크 혹은 화이버 레이저를 이용한 절단/용접기 등이 있으며, 스캐너 헤드는 Trumpf, HighYAG, Utica, Scanlab, Arges 등의 제품이 있다. 독일 ISW의 발표에 따르면 직경 10mm의 홀 100개를 가공하는데 기존의 CNC 가공기로 19초가 소

요되는데 비하여 스캐너로는 1.17초가 소요되었다. 스캐너 레이저 용접은 용접부 가스 보호, 용접부 추적, 광학계 냉각 등 해결해야 할 과제가 많이 있지만, 용접속도가 매우 빠르고 장치가 단순하여 향후 적용이 증가될 것으로 예상된다.

다. 이동형 레이저

CO₂레이저는 빔품질이 우수하고, 출력증대가 용이하고, 가격이 저렴하여 용접 혹은 절단분야에 가장 널리 사용되어 왔으나, 외형이 크고 무겁고 충격에 대한 안정성이 문제가 되어 고정형으로 사용되어 왔다. 레이저 용접은 기존의 아크용접에 비하여 생산성, 품질 등의 측면에서 장점이 있음에도 가격이 비싸기 때문에 레이저를 사용해야만 하는 특수한 경우에 적용이 가능하다. 조선, 파이프 등에서는 변형 방지, 용접부 성능 등의 측면에서 고가임에도 레이저를 적용하려는 시도가 꾸준히 지속되어 왔다. 화이버 레이저는 외형치수가 작고 무게가 가볍고 충격 혹은 진동에 대한 안전도가 우수하여 이동형 장치에 대한 수요가 증가하고 있다. 그림 7은 이동형 레이저의 예를 나타내었는데, 4kW Nd:YAG 레이저로 이동형 장치를 구성하면 12톤에 달하는 반면, 10kW 화이버 레이저와 냉각기를 포함하여 길이 4.6m 및 무게 3톤에 불과하다. 이러한 이동형 레이저 장치를 이용하면 조선소에서 대규모 투자없이도 선체 패널용접이 가능하다. 이동형 레이저 장치의 또 다른 응용 사례는 대규모 파이프 라인의 원주용접으로 그림 8은 파이프 시공 장비 전문업체인 Vietz의 이동형 레이저를 이용한 파이프 용접 장치의 개념도를 나타낸 것이다. Vietz 사의 발표에 따르면 상기의 VPL(Vietz Pipeline Laser) system을 이용하면 아크용접과 비교하여 4배 이상의 생산성 향상이 가능하다.

한편 레이저를 이용하여 재료를 가공하기 위해서는 로봇, 갠트리 등과 같은 레이저 헤드 이송 수단이 필요한데, 조선소의 야드와 같이 넓은 공간에서 이러한 헤드 이송 장치의 설치에 어려움이 따른다. 별도의 장비 없이 레이저를 이용하여 간편하게 용접 혹은 절단을 하기 위한 자기 주행식 레이저 헤드에 관한 연구가 수행되었다. 그림 9는 자주식 레이저 헤드의 외형 및 절단면을 나타낸 것이다.

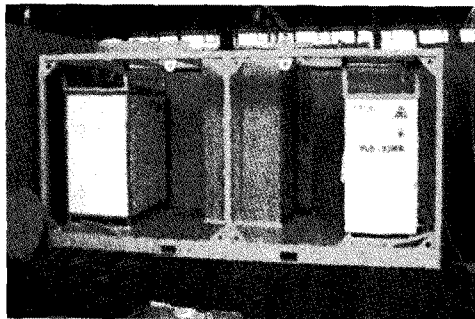


그림 7. 이동형 레이저 장치



그림 8. 이동형 레이저 파이프 용접장치

대출력 레이저를 이용한 재료 가공

4. 맺음말

대출력 레이저 및 그 가공 기술의 현황을 정리하였다. 레이저 발전기의 개발은 시장의 요구수준 보다 빠르게 진행이 되고 있으나, 비용의 한계로 인하여 산업 적용은 예상보다 활발하지는 않다. 그러나 레이저를 반드시 적용해야 하는 분야의 적용은 점점 증가하는 추세이므로 국내에서도 레이저의 장점을 활용한 적용처를 발굴하면 제조업의 국제 경쟁력 향상에 크게 도움이 될 것으로 예상된다.

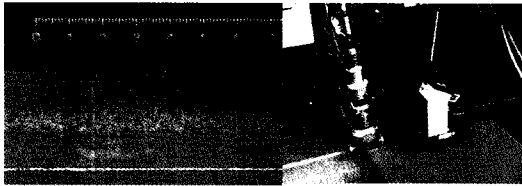


그림 9. 자주식 레이저 헤드

참고문헌

- (1) V. Gapontsev, W. Krupke: Fiber lasers grow in power, Laser Focus World, Aug. 2002, 83-87.
- (2) V. Gapontsev: Ultra high power ytterbium fiber lasers, PICALO 2004.
- (3) V. Gapontsev et. al.: US patent No. 5, 999,673, 1996.
- (4) L. Quintion, A. Costa, R. Miranda, D. Yapp, V. Kumar and, C.J. Kong : Welding with high power fiber lasers - A preliminary study, Materials and Design, 28 (2007), 1231-1237.
- (5) Antti salminen and Anna Fellman: The effect of laser and welding parameters on keyhole and melt pool behavior during fiber laser welding, ICALEO 2007, 416-422.

약 력



이목영(李穆泳)

- 1965년생
- 포항산업과학연구원 용접연구실
- 대출력화이버레이저용접, 하이브리드용접
- e-mail: accelee@rist.re.kr