

고출력 Fiber Laser Multi-kW Fiber Laser

한 유희, 전 창수
(주) 이오테크닉스

ABSTRACT

그동안 고출력 레이저에는 CO2 Laser, LPSSL, DPSSL 등이 주로 사용되어 왔다. 최근에는 Fiber Laser가 좋은 빔특성을 가지면서 10kW이상의 고출력이 가능해 큰 주목을 받고 있다. 고출력 레이저는 매질의 냉각문제가 가장 큰 관건인데, Fiber Laser는 수백 μm 의 지름을 가진 수십m 길이의 공진기 형태를 띠어 부피 대비 냉각면적이 가장 크다고 할 수 있다. EDFA 등 광통신을 위해 개발되었던 다이오드 레이저들이 Fiber Laser쪽으로 전용되고, Side Cladding pumping 방법의 실용화, 다이오드 레이저 펌핑 광과 광섬유사이의 커플링 방법이 개발되면서 고출력 Fiber Laser 개발이 급속히 이루어졌다. Fiber Laser는 시스템의 부피가 매우 작아질 뿐만 아니라 유지관리 비용이 거의 들어가지 않는다는 장점을 가진다. 현재 단일모드(single-mode) 로는 300W의 출력이 가능하고, 이들을 결합하여 10kW 이상의 고출력 Fiber Laser 제품이 나오고 있다. 높은 효율의 레이저발진을 하면서 고출력의 좋은 빔특성을 가지기 때문에 기존의 고출력 레이저용접 및 절단 응용분야에 큰 관심을 불러일으키고 있다.

1. 서 론

90년대 중후반 다이오드 레이저 펌핑 고체레이저(DPSSL)가 소개된 후 그 고효율성과 좋은 빔특성으로 주목을 받으며 많은 개발 및 적용이 이루어져왔다. 이에 이어 현재는 독일 등을 중심으로 DPSSL의 응용격이라 할 수 있는 Slab Laser, Thin-disk Laser, Fiber Laser 등이 연달아 선을 보이며 기존의 가공을 저비용 및 개선된 시스템으로 교체하도록 이끌고 있다. 이 중 수십 kW의 고출력 발전 Fiber Laser에 대해 소개하고자 한다.

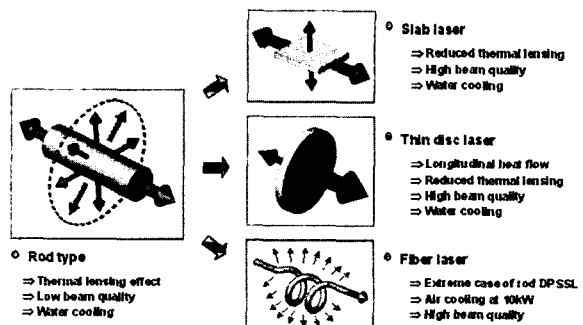
2. New generation DPSSL

고출력 CO2 Laser는 수십 kW의 고출력을 내지만 레이저 파장으로 인해 초점 크기의 한계와 Beam delivery에 제약이 따른다.

램프펌핑 고체레이저(Lamp-pumped solid state laser)의 경우, 펌핑에너지 및 펌핑에 쓰이지 못하고 버려지는 파장들 때문에 발생하는 많은 열로 인한 매질 내의 열적렌즈효과(Thermal lensing)로 파면(wavefront)이 왜곡되어 빔특성이 나빠지거나, 이러한 열로 인한 매질의 불균일한 굴절률 변화는 이방성(Anisotropy)을 유발시켜

레이저광의 복굴절을 일으키기도 한다. 다이오드 레이저 펌핑은 이러한 문제를 많이 개선하였으나 봉(rod) 형태의 레이저 매질의 근본적인 냉각한계로 인해, 고출력의 경우엔 빔특성이 급격히 나빠지는 문제를 극복하기 힘들었다.

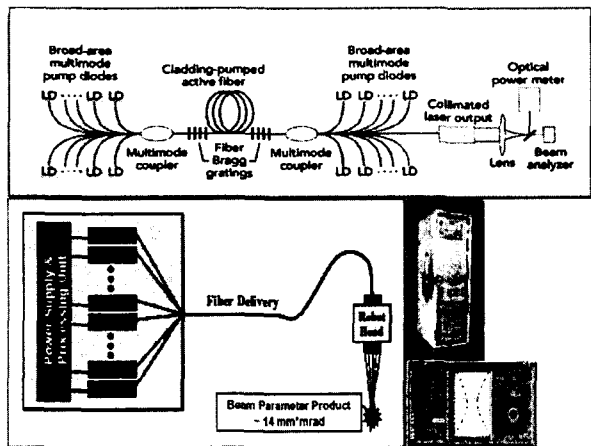
최근의 고체레이저 개발은 레이저 매질의 냉각(Cooling)문제를 혁신적으로 개선하면서 새로운 형태의 레이저들이 선보이고 있다. [그림 1]은 이런 몇가지 새로운 레이저 매질의 경향을 나타낸다. Slab Laser는 평판형(slab) 매질을 사용하여 냉각문제를 해결한다. 평판형 매질의 좁은 옆면으로 펌핑 및 레이저증폭이 일어나고 넓은 상하면을 통해 냉각을 하게 되면 좋은 빔특성을 유지하면서 고출력이 가능하고, 전기광학적 Q-switching 등을 통해 짧은 펄스폭을 만들어



[그림 1] 다이오드펌핑 레이저의 발전 경향

MW급의 첨두출력이 가능하다. 100W까지는 상용화되어 있으며 1kW급 이상이 개발중이다. Thin-disk Laser는 평판원형(disk)의 매질을 10mm 내외의 지름에 0.1-0.2mm의 두께로 만들어 한쪽 면에서 펌핑하고 반대쪽 면에서 냉각을 한다. 이러한 평판원형(disk) 매질을 공진기 내에 여러 개 배치하거나 MOPA 기술과 접목하면 고출력이 가능하게 되는데, 현재 고체레이저 중 가장 좋은 빔특성을 가진다. 제품으로는 4kW 급까지 소개되고 있다. 한편 Fiber Laser는 수백 μm 의 지름을 가진 수십m 길이의 공진기 형태를 띠어 부피 대비 냉각면적이 가장 크다고 할 수 있다. EDFA 등 광통신을 위해 개발되었던 다이오드 레이저들이 Fiber Laser쪽으로 전용되고, Side Cladding pumping 방법의 실용화, 다이오드 레이저 펌핑 광과 광섬유사이의 커플링 방법이 개발되면서 고출력 Fiber Laser 개발이 급속히 이루어졌다. Fiber Laser는 시스템의 부피가 매우 작아질 뿐만 아니라 유지관리 비용이 거의 들어가지 않는다는 장점을 가진다. 현재 10kW 이상의 고출력 Fiber Laser 제품이 출시되고 있다.

3. Multi-kW fiber laser



[그림 2] 고출력 파이버 레이저의 구성

Fiber Laser는 Fiber 자체가 공진기 역할을 한다. 현재 선보이고 있는 Double-clad pumping high power fiber laser는 core, inner cladding, outer cladding, jacket의 구조로 되어있는데, LD 펌핑광이 Inner cladding을 통하여 진행하면서 코어(Core)에 Doping된 Yb^{3+} 이온들을 여기시켜 1.07 μm 파장의 레이저광을 만들고, FBG(Fiber Bragg Grating)가 공진기 미러 역할을 하게 된다.

이 때 펌핑은 5W급의 multi-mode LD 수십개를 active fiber에 splicing하여 inner cladding에 coupling한다. 여기에서 active fiber는 single-

mode fiber이기 때문에 좋은 빔특성을 가지며 현재 약 300W 출력이 가능하다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 이러한 unit을 원하는 출력만큼 combine하여 High Power Fiber Laser(HPFL)를 만들게 된다.

5kW fiber laser의 경우 BPP(beam parameter product) 10mm.mrad 이하의 값을 가질 정도로 매우 좋은 빔특성을 보인다. 이러한 좋은 빔특성은 1.5m 거리에서 700*700mm² 이상의 면적에 0.6mm spot size를 구현할 수 있는 원거리 용접 (Remote Welding)을 가능하게 할 뿐만 아니라, Fiber laser라는 장점으로 인해 더욱 주목하게 한다. 우선 레이저 시스템의 크기가 기존에 비해 매우 작아지고, 교체부품 및 alignment할 내부 광학계가 없어 유지관리가 쉽다는 특성이 있다. 사용상의 편리함 이외에도, 기존 레이저들이 부품교체를 위해 수시로 생산라인이 멈춰서야 했던 낭비를 대폭 줄일 수 있게 되는 것이다.

	Typical Characteristics			
	CO2	LP Nd:YAG	DP Nd:YAG	HPFL
E/O Efficiency, %	5-10	2-3	4-6	15-20
Electrical Power (w/o chiller)	~50KW	~130KW	~80KW	20-25KW
Floor Space (w/o chiller), m ²	6	5	3	0.5
Water, m ³ /hr	6-8	20-25	~15	<2
Chiller	yes	yes	yes	n/a
Integration, hrs	30-40	20-30	20-30	2-4
Maintainance / Khrs	~1-2	~0.5	~2-3	~10-15
Pump Replacement / hrs	n/a	500 - 1000	2000-5000	>50,000

Comparison was made for 4KWatts lasers.

[그림 3] 고출력 레이저의 특성 비교

4. 결 론

고출력 Fiber laser는 30kW까지 개발중이며, 파장또한 1.07 μm 외에 1.56 μm , 2 μm 등이 개발예정이다.

앞서 살펴본 고출력 Fiber laser의 특성은 고출력, 고효율, 좋은 빔특성, 작은 용적용, 긴 빔 전달로 요약될 수 있다. 이는 자동차나 중공업 분야에서는 수백mm까지 가능한 fiber delivery를 통하여 라인의 공간활용도를 높일수 있게 하고, 항공, 선박, 파이프라인 분야에서는 "On ship", "In field" 절단 및 용접이 가능하게 한다.

참고문헌

1. V. Gapontsev, W. Krupke, Fiber Lasers grow in power, Laser Focus World, Aug. 2002, pp.83-87
2. R. Poprawe, W. Schulz, Development and application of new high-power laser beam sources, RIKEN review No. 50, Jan. 2003