

합성형 Multi-chamber kW급 대출력 Nd:YAG Laser의 발전

특성 및 광전송

Output Characteristics and Beam Delivery of Multi-chamber Mixed-high power Nd:YAG Laser

김연수, 김철중

한국원자력연구소

김정묵

(주)한빛 레이저

allf@nanum.kaeri.re.kr

Laser의 optical fiber에 의한 전송은 laser가 보다 많은 분야로 응용될 수 있도록 하였다. 특히 자동차, 원자력, 항공우주, 조선, 통신, 의료, 학술 등 여러 분야의 현장에서 용접, 절단, 천공, 각인, 제염, 열처리, 표면처리, 통신 등에 있어서 괄목할 만한 성과를 이루고 있다. 최근 이러한 optical fiber에 의한 기술 발전에 힘입어 기계나 전기 혹은 gas를 이용한 가공 기술의 한계를 극복하려는 노력의 일환으로 높고, 큰 출력을 내는 laser의 개발이 요구되었다. 그 중의 하나가 바로 kW급 이상의 Nd:YAG Laser이다. 최근 Nd:YAG laser는 CO₂ laser에 비해 짧은 파장특성과 광섬유를 이용한 출력의 전송, 고출력 및 대출력화에 따른 가공능력 향상에 힘입어 많은 관심을 끌고 있다^(1, 3). 우리는 이와 같은 배경을 바탕으로 pumping chamber를 직렬 형태로 위치시키는 합성형 multi-chamber kW급 Nd:YAG laser 개발을 위한 연구들을 진행하였다.

우선 다단형 kW급 Nd:YAG laser를 구현하기 위하여 레이저 발전 부분의 원천 기술이라 할 수 있는 레이저의 전원 장치, 냉각 장치, pumping chamber와 공진기를 포함하는 head 부분의 최적화를 실시하였다. 실험에 사용한 전원은 CW의 경우 10kW용량의 EMI사 ESKI model을 사용하였고, Pulse의 경우 최대 평균전력 15kW용량의 (주)한빛 레이저 PLS-680 model을 사용하였다. 냉각장치는 schwammle사의 model S3N 열 교환기를 사용하여 city water에 의한 cooling 방식으로 하였다. 냉각 능력은 1차 냉각수와 2차 냉각수가 각각 20 l/min 일 때 열 전달계수가 약 1800W/K이므로 평균 수온차이를 11°C 정도만 유지하더라도 약 20kW 정도의 능력을 갖도록⁽⁴⁾ module 형태로 pumping chamber 1개당 1 module씩 추가 할수 있도록 설계, 제작하였다. 1차 냉각수로 증류수를 사용하는데, 1 μ m 입자 filter와 ion exchanger를 사용하여 항상 500k Ω ·cm 이상의 순도를 유지하도록 하였다. Head부분은 금속 모재(무산소 동)에 금코팅(gold coating)을 하는 형태의 reflector를 사용하였을 경우 input전력 대 출력효율 면에서 다소 유리하지만, kW laser 구성상의 복잡성과 한계를 극복할 수 있는 ceramic diffuse type reflector를 사용했다. ceramic diffuse type reflector를 사용한 결과 laser beam의 공간적 균일도가 획기적으로 개선되었을 뿐만 아니라, 고출력, 고효율, 저 발산각을 갖는 laser 빔 발전에 대단히 큰 영향을 미치는 열 렌즈 효과^(5, 6)(Thermal lensing effect)를 동일 전력 input에 대하여 약 1/2정도 줄일 수 있었다. 공진기는 mirror의 재질이 BK-7이고 plane/parallel 형으로 구성하였다. CW의 경우 실험에 사용한 rod는 직경 7mm 길이 160mm이며, Nd dopant rate는 0.6%와 0.7% 두 종류를 사용하여 각각 실험을 하였다. Lamp는 Kr arc

lamp이고, 최대 9kW의 전력을 입력할 수 있다. 공진기 길이는 40cm이며, rod(dopant rate 0.6%)는 그 중앙에 위치하도록 하였다. 실험 결과 최대 input 전력 16kW일 때 출력은 0.6 kW이며, beam divergence는 30 mrad 정도이고, 이때 출력경에 형성되는⁽⁷⁾ beam의 직경은 4.8mm 이다. Pulse의 경우 실험에 사용한 rod는 직경 8mm 길이 160mm이며, Nd dopant rate는 1.1%이다. Lamp는 Kr flash lamp이며, 공진기 길이는 40cm이고, rod는 그 중앙에 위치하도록 하였다. 실험 결과 최대 평균출력 0.65kW, peak출력이 약 20kW에 달했다. 이때 공간적인 laser beam의 균일도는 metal-reflector와 비교할 때 획기적으로 균일함을 확인하였고, beam divergence는 18mrad정도를 보였다. 위의 결과를 이용하여 우선 CW laser의 출력 배증 실험을 하였다. 2단 발진의 경우 32kW의 전력 입력시 1.15kW의 출력으로 효율이 약 3.4%이며, beam divergence가 32mrad정도이고, core 직경 800 μ m optical fiber를 이용해 광전송 실험을 한 결과 입사 lens 광학계를 F/4로⁽⁸⁾ 구성하였을 때 laser 출력 1kW가 이상 없이 잘 전송됨을 확인하였다.

위와 같은 결과를 바탕으로 3단 발진 실험을 수행하였다. 이 결과 48kW의 전력 입력시 1.68kW의 출력을 냈으며, efficiency가 3.5%임을 확인할 수 있었다. 이때 출력경에 형성되는 beam의 직경은 5mm이고, beam divergence는 30mrad정도이다. 3단 발진 CW Laser의 빔 전송 실험을 위하여 core 직경 1000 μ m의 optical fiber를 사용하였다. 입사 lens 광학계는 F/4를 갖도록 하였으며, 정밀한 초점거리와 위치이동이 가능하고, fiber와 lens에 치명적인 영향을 미치는 대기중의 먼지나 미세 particle로부터 광학계를 보호할 수 있는 밀봉형태로 설계, 제작하여 빔 전송 실험에 사용하였다. 레이저 출력 1.3kW를 fiber에 입사하고, fiber 출구 쪽에서 power를 측정하였을 때 1.26kW 이었으며, 수 십분 동안 이상 없이 잘 전송됨을 확인하였다. 이러한 결과에 기초하여 CW laser와 pulse laser가 동시에 발진하는 혼합형 4단 pumping chamber Nd:YAG Laser를 구성하였다. 출력실험 결과 평균 출력은 2.2 kW, 최대 peak 출력은 약 13kW를 각각 나타내었는데, 이 출력값은 CW 1.68 kW를 내는 3단 pumping chamber와 pulse 평균출력 0.65kW를 내는 pumping chamber가 합성되어 내는 출력값이다.

참고문헌

1. S. Aruga, " Efficient and High-Quality Overlap welding of Car-body Aluminum Alloy Metal Sheets with High Power Nd:YAG Laser by Flexible Fiber Delivery " Proceeding of LAMP'92, June(1992), pp. 517-522
2. K.Behler, E. Beyer, " Laser Welding of aluminum", Laser Advanced Materials Proceeding, ICALEO'88 November, (1988), pp.529-533.
3. B. R. Nair, Application of Laser Welding Technology to the Repair of Nuclear Power Plant Steam Generator" Westinghouse Electric Company, (1993).
4. 김철중 등, " 레이저 기술 개발 레이저가공 및 광계측 기술 개발" KAERI/RR-1716/96(1997)
5. 김광석 등, " Nd:YAG 레이저의 Pumping reflector 국산화 개발" KAERI/RR-1421/94(1994)
6. 김정목 등, " 불안정 공진기를 이용한 200W급 CW Nd:YAG 레이저 국산화 개발", KAERI/RR-1576/94(1995)
7. M. Kumkar, etc., " Beam Quality and Efficiency of High-average-power Multirod Laser", Optical & Laser Technology vol. 24, 2, 67(1992)
8. N.reng, T.beck, "transmission Properties of All-silica Fibers for high-power Nd:YAG Lasers", Optics & Laser Technology vol. 25, 2, 117(1993)

