

수 kW급 Chemical Oxygen-Iodine Laser의 출력특성

Output Characteristics of Multikilowatt Chemical Oxygen-Iodine Laser

김택수, 김성훈, 권성욱, 최운동, 김철중
 한국원자력연구소
 chjkim@kaeri.re.kr

화학레이저는 화학연료의 반응에서 생성되는 막대한 화학에너지를 이용하여 레이저를 발생시키며, 반응하는 화학연료의 양에 따라 수천 kW의 고출력을 낼 수 있는 가장 강력한 레이저이다. 화학레이저인 Chemical Oxygen-Iodine Laser(COIL)는 염소기체(Cl_2)를 염기성 과산화수소수 용액과 반응시켜 고에너지의 여기산소($\text{O}_2(^1\Delta)$)를 생성시키고 여기산소가 다시 요오드 원자와 반응하면서 $1.3 \mu\text{m}$ 파장의 레이저를 발생시킨다.(1)-(2) 이와같은 COIL 레이저는 발진효율이 높고 포화 강도가 높아 수십 kW급의 고출력이 용이하게 이루어 질수 있으며 광섬유 전송시 광손실이 가장 적어 레이저 빔의 원격 전송에 의한 재료가공에 적합한 레이저이다. 가공용레이저로 많이 사용하는 CO_2 레이저에 비해 발진 파장이 짧으므로 재료의 광흡수율이 높아 일반 산업분야의 용접/절단에서 기존의 CO_2 레이저를 대체할 것으로 기대되는 상용성이 큰 레이저이다.(3)-(4) 또한 COIL은 우수한 집속 특성을 유지하면서도 고출력의 개발이 가능하다. 이미 외국에서는 비록 단시간 동안 동작하지만 수백 kW급이 실현되었으며 수천 kW급 고출력 항공기탑재형 COIL 이 수백 km의 거리에서 미사일을 요격하기위해 지금 개발중에 있다.(5) 일반 산업용 광섬유에 의해 쉽게 전송되는 파장인 $1.315 \mu\text{m}$ 인 수십 kW급 COIL 은 조선 등의 중공업산업용 및 원자력 제염/해체분야에서 다용도 기술로서 광범위하게 사용될 것이다. COIL은 다양한 재료와 다양한 두께의 구조물 절단, 표면처리 그리고 용접에도 이용될 수 있다. COIL의 산업화는 빠르게 발전하고 있으며 산업용으로써 장시간 연속사용이 가능한 20-30 kW급 시설이 곧 개발될 것으로 기대된다. 따라서 개발될 고출력 화학레이저가 앞으로 원자력시설의 해체시 작업자의 안전성 향상에 크게 기여할 수 있게 되었다.(6) 여기서는 화학레이저인 COIL 장치와 기본적인 원리, 그리고 염소유량에 따른 출력특성등을 살펴보기로 하겠다.

COIL은 Jet-type의 여기산소발생장치(Jet Singlet Oxygen Generator, JSOG), 초음속 노즐(Supersonic Nozzle)을 포함한 레이저 헤드(Laser Head), 요오드증기 발생장치, 요오드유량 측정장치 그리고 진공장치 등으로 구성되어있다. Jet-type으로 제작된 여기산소 발생장치(SOG)는 기타 다른 type의 방법들보다 높은 수득율(Yield, 90%이상)을 가진 가장 효율적인 방법이다.(7)-(8) JSOG로부터 발생된 여기산소($\text{O}_2(^1\Delta)$)는 Slit Valve와 여러 가지의 단면적을 가진 Plenum duct을 통과하여 요오드(I_2) 혼합노즐로 전송된다. 요오드 혼합영역에서는 요오드가 산소흐름에 대해 노즐벽면에서 수직으로 분사되게 설계되었다. 요오드 증기의 carrier gas로 질소(N_2)가 사용되었다.(9) 요오드 혼합노즐과 초음속 노즐은 레이저 헤드에 직접 연결되어있다. 고정형 레이저 공진기도 레이저 헤드에 직접 연결되어 있다. COIL 발진중, 염소, Buffer 질소 그리고 요오드 운반용 기체의 유량은 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 조절하였다. 요오드 유량은 요오드 증기발생 장치를 통과하는 질소의 유량과 통과하지 않는 질소의 유량간의 비를 조절하여 변화시켰다. 요오드 증기장치는 1 kW와 500 W의 할로젠 램프로 가열하였다. 레이저 출력은 Power meter(Moletron PM5k)를 이용하여 직접 측정하였다. 진공 장치는 Cold trap과 진

공 펌프 장치로 구성되어있다. Cold trap은 액체질소로 미리 냉각되며 진공펌프의 부식을 방지하기 위해 반응후 요오드와 미염소의 제거를 위해 사용된다. Cold trap은 유체의 흐름 방해로 최소화시키도록 설계제작되었다. 진공펌프는 오일펌프 두 개와 roots blower로 구성된 펌프시스템으로 구성되었다.

COIL의 출력특성실험 결과로 염소유량 120 mmole/sec에서 최대출력 2.2 kW을 달성하였으며 이때 buffer 기체로 질소(N₂)를 사용하였고 사용된 1차 buffer 기체와 2차 buffer 기체 및 염소기체의 기체유량비는 1차 N₂ : 2차 N₂ : Cl₂ = 1 : 1 : 1 였다. 이때 화학효율은 20.2 %였다. 레이저 gain 길이는 15) nm 였으며 초음속 노즐에서 광축까지의 거리는 53 mm 였다. 화학효율은 염소 100 mmole/sec에서 최고 약 23 %을 기록하였다. 레이저 공진기에 사용된 optics는 출력쪽은 98 %와 99 %가 사용되었으며 전반사쪽은 99.7 %이상을 사용하였다. 염소유량은 최소 10 mmole/sec 에서 최대 140 mmole/sec 까지 변화시키며 사용하였고 같은 유량에서도 초음속노즐폭과 SOG 폭이 다른 경우에도 출력변화를 관찰하였다. 사용된 기체유량비는 실험적으로 측정하여 최대출력일때의 유량비를 적용하였다. 이때 요오드 유량은 같은 염소유량에서도 초음속노즐폭의 차이에 따라 유량차이를 보여주었다. 기존에 보고된 문헌들에 따르면 1차 buffer 기체인 질소를 액체질소로 냉각하여 사용하게 되는 경우 화학효율과 출력이 증가하는 것으로 보고되어(8) 화학효율과 출력을 증가시키기 위해 1차 buffer 질소기체를 냉각하였다. 하지만 본 실험에서는 액체질소로 냉각하였을때와 하지 않았을 때의 화학효율과 출력차이가 나타나지 않았다. 이는 1차 buffer 질소 기체의 냉각효과보다 SOG에서 넘어가는 water vapor 또는 aerosol이 여기산소의 탄성을 방해하는 효과가 더 크기 때문인 것으로 추정된다.

참고문헌

1. 김철중, 권성욱, 최운동, 김응호, 백성훈, 김택수, 김형식, 이윤식, "고출력 COIL 레이저 개발", 제3회 통신/전자 학술대회(전자광학 및 레이저분야) 논문집, 259-268(1999).
2. 김응호, 권성욱, 최운동, 김택수, 김형식, 김철중, " COIL(화학 산소-요오드) 레이저 개발에 관한 연구", Applied Chemistry, 2(2), 788-791(1998).
3. H. Fujii, S. Yoshida, M. Iizuta, T. Atsuta, "Long term stability in the operation of a chemical oxygen iodine laser for industrial use", J.Appl.Phys. Vol. 66, No. 3, 1989, pp.1033-1037.
4. H. Fujii and T. Atsuta, "Industrial Chemical Oxygen Iodine laser". SPIE Vol. 3092, 1997, pp.700-705.
5. K.R. Kendrick, C.A. Helms and B.G. Quillen, "Determination of singlet-oxygen generator efficiency on a 10-kW class supersonic chemical oxygen-iodine laser(RADICL)", IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 35, No. 12, 1999, pp1759-1764.
6. J. Adachi, N. Takahashi, K. Yasuda and T. Atsuta, "Application of chemical oxygen iodine laser(COIL) for dismantling of nuclear facilities", Progress in Nuclear Energy, Vol. 32, No. 3/4, 1998, pp 517-523.
7. T.-S. Kim, S.O. Kwon and C.J. Kim, "Output characteristic of COIL using jet type singlet oxygen generator", Proceedings of 6th Symposium on Laser Spectroscopy, 6(3), 291-295(1998).
8. M.V. Zagidullin, V.D. Nikolaev, M.I. Svistun, N.A. Khvatov and N.I. Ufimtsev, "High efficient supersonic chemical oxygen iodine laser with a chlorine flow rate of 10 mmol s⁻¹" Quantum Electronics Vol. 27, No. 3, 1997, pp.195-199.
9. M. Endo, S. Nagatomo, S. Takeda, M.V. Zagidullin, V.D. Nikolaev, H. Fujii, F. Wani, D. Sugimoto, K. Sunako, K. Nanri and T. Fujioka, "High-efficiency operation of chemical oxygen-iodine laser using nitrogen as buffer gas", IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 34, No. 3, 1998, pp393-398.