

Pipe jet array형 여기산소발생기를 이용한 초음속 산소-요오드 화학레이저 Supersonic chemical oxygen iodine laser (COIL) with pipe-jet array singlet oxygen generator

권성욱, 정진만, 김철중
한국원자력연구소 양자광학기술개발부
sokwon@kaeri.re.kr

산소-요오드 화학레이저(Cheical Oxygen Iodine Laser : COIL)는 화학반응에 의해 발생하는 막대한 에너지를 변환시켜 레이저발진을 일으키는 기술로서 화학반응물의 양에 비례하여 출력을 높일 수 있어서 MW급 이상의 고출력이 가능한 레이저이다. 화학반응에 의해 레이저빔이 발생하는 COIL은 화학반응량에 비례하여 높은 화학에너지를 발생시키게 되며, 빛 에너지로 변환되어 고출력레이저가 가능해 진다. 또한 COIL은 가스레이저로서 레이저빔의 품질이 우수하고 발진 파장이 1.315 μm 로서 광섬유 전송시 전송손실이 가장 적은 특성을 갖고 있다. 이와 같은 특성으로 COIL은 원자력분야에서는 노후 원자력시설의 제염 해체와 같은 산업적 활용을 위해 이에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다.^[1]

화학레이저인 COIL은 알칼리성 과산화수소와 염소의 화학반응으로 전자준위적으로 여기상태인 여기산소(singlet oxygen)가 생성된다. 산소의 전자 에너지 준위는 화학반응에 의해 밀도반전(population inversion)이 형성되지만 여기산소의 수명이 수 시간에 이르기 때문에 레이저발진을 유도하기는 어렵다. 그러나 여기산소는 분자간 충돌과 같은 외부자극에 의해 다른 분자 혹은 원자로 에너지 전달이 쉽게 이루어지는 특성이 있으며 요오드 원자의 여기상태와 거의 같은 에너지 준위를 가지고 있어 준공명 에너지 전달에 의하여 요오드로 에너지 전달이 되고 요오드 원자에 의해 레이저발진이 이루어진다. 즉 화학반응에 의해 생성되는 여기산소는 에너지 저장고(reservoir) 역할을 하게 되며 화학반응에 의해 생성되는 에너지를 요오드로 전달하는 역할을 하는 것이다.

여기산소가 생성되는 화학반응장치는 여기산소발생기 (singlet oxygen generator) 라고 하는데 초기의 COIL에 사용되었던 여기산소발생기는 알칼리성 과산화수소용액에 염소가스를 bubbling하여 거품의 표면과 염소가스가 반응하여 여기산소가 발생되도록 하였다. 이러한 방법은 sparger generator라고 하는데 여기산소발생기 내부 압력이 낮고 화학반응 유량이 적을 때 적용할 수 있는 방법이다. 그러나 화학반응에 의해 생성되는 여기산소가 bubble속에서 deactivation 되기 쉽기 때문에 화학반응을 제어하기 어려운 단점이 있었다. 이러한 문제점을 극복하고 화학반응 용량을 높일 수 있는 방법으로 분사형 여기산소발생기가 '90년대 초반에 개발되었다.^[2] 이는 구조가 간단할 뿐만 아니라 화학반응 용량을 쉽게 높일 수 있는 장점이 있다. 여기산소발생기의 화학반응공간에 분사되는 알칼리성 과산화수소와 염소가 jet column 표면에서 반응하여 여기산소가 발생하는 구조로서 다른 여기산소발생기 구조에 비하여 화학반응 효율이 90%이상으로 높은 장점이 있다. 분사형 여기산소발생기는 연구목적에 적합하게 구조적 변형이 가능하다. 원자력연구소에서는 분사형 여기산소발생기를 기본으로 하여 COIL 레이저발진을 실증하였고, 화학반응 용량을 높이기 위하여 새로운 개념의 pipe jet array 분사형 여기산소발생기 기술을 개발하여 고출력 레이저발진 가능성을 제시하였다 (그림 1). 최근까지 개발된 분사형 여기산소발생기는 알칼리성 과산화수소가 분사되면서 발생하는 droplet이 가스흐름에 의해 레이저 공진기 속으로 주입되어 요오드원자를 quenching 하고

전체 레이저 발진효율을 떨어뜨리는 단점이 있었다. Pipe jet 분사형 여기산소발생기는 가스흐름과 jet 분사방향이 완전히 반대방향이 되도록 하여 droplet이 레이저 공진기 속으로 흘러가지 않도록 하였다. 따라서 pipe jet 분사형 여기산소발생기는 간단한 구조이면서 화학반응용량을 높일 수 있는 구조로서 고효율 레이저발진에 적합할 것으로 판단된다.

6 kW 출력의 레이저에서는 레이저 이득길이를 200mm로 하여 초음속노즐 입구에서 2-throat 초음속노즐로 설계하였으며 전체 레이저 혼합가스 속도를 마하 2로 유지하며 레이저 발진을 실증하였다. pipe jet 분사형 여기산소발생기를 이용한 COIL은 280mmole/sec 의 유량으로 염소가스를 주입하여 화학효율 23.7%, 레이저출력 6.03 kW, 화학효율 23.7%인 결과를 보여주었다. (그림 2)

참고문헌

- [1] J. Adachi, *et al.*, Progress in Nuclear Energy, Vol.32, No.3/4, 517-523, 1998
- [2] M.V. Zagidullin, *et al.*, Sov. J. Quantum Electron. 21, pp. 747-753, 1991

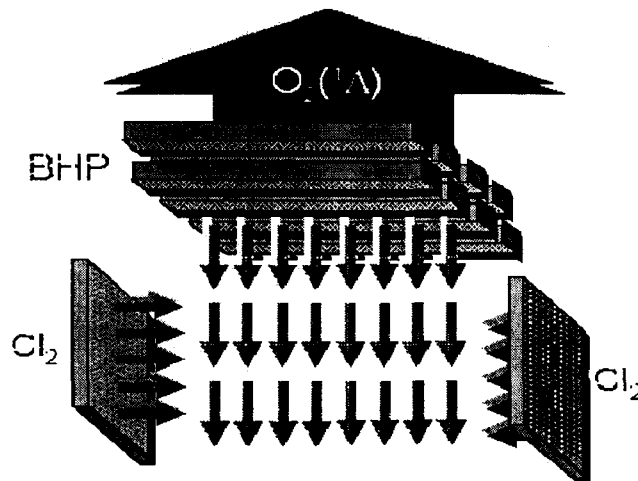


그림 1. Pipe jet array를 이용한 분사형 여기산소발생기

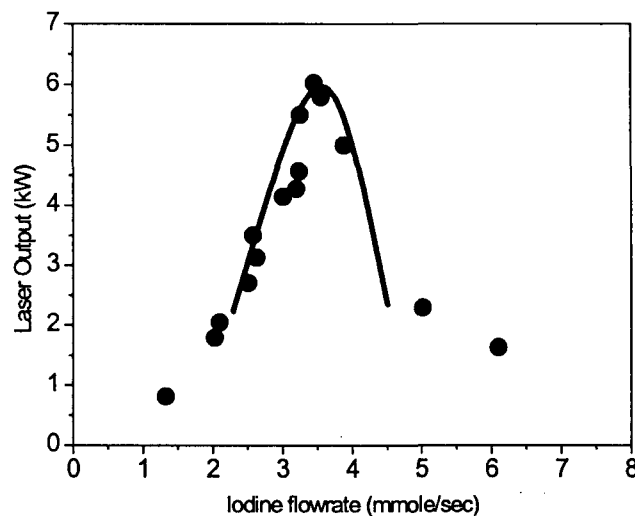


그림 2. 요오드유량에 따른 COIL 레이저 출력특성