

화학레이저의 이론해석기법

이영우*

*목원대학교 정보전자영상공학부

A Numerical Analysis Techniques of Chemical Laser

Young-Woo Lee*

*Division of Information Electronic and Imaging Engineering, Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.c.kr

요 약

최근 에너지효율이 높은 고출력 HF 레이저에 대한 관심이 다시 높아지고 있다. 레이저점화방식의 최적설계와 출력특성의 향상을 위해 정확한 이론해석 모델이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 최신의 반응정수를 적용한 HF 화학레이저 모델을 구축하였다.

키워드

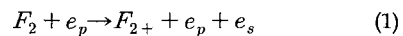
HF Laser, Chemical Laser, Numerical Analysis

I. 서 론

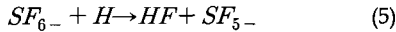
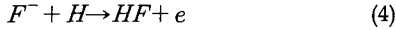
최근 국내외적으로 군사목적의 레이저에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데 국내에서도 화학레이저에 대한 연구가 새롭게 주목받고 있다[1]. 화학레이저 중에서도 펄스파워기술의 발전과 함께 전자 빔 점화 방식의 HF 레이저가 고출력, 고효율의 발전특성으로 말미암아 세계적으로 활발히 연구되어 왔다. 그러나, 이들 화학레이저에 대한 국내의 연구는 거의 이루어지지 않아 레이저매질로서의 여기 화학 반응 및 출력특성에 대한 스케일링에 큰 어려움이 따랐다. 따라서 본 연구에서는 화학레이저 중 효율과 출력특성이 가장 우수한 HF 레이저에 대하여, 반응정수를 근간으로 하는 시뮬레이션 코드를 개발하였고, 점화방식에 따른 최적설계와 출력특성 향상을 위한 이론해석을 행하였다.

II. 해석조건 및 이론해석

본 연구에서는 출력특성에 영향을 주는 파라미터 중 F 원자 해리도와 가스조성비의 관점에서 이론해석을 행하였다. HF 레이저는 높은에너지의 전자와 불소도너와의 충돌에 의해 생성되는 F 원자와 Hot 여기 반응 (hot pumping reaction)의 결과로 생성되는 H 원자를 연쇄반응의 seed로 사용, 연속적으로 발생하는 발열에너지가 HF 생성 분자의 진동준위에 분포되어 반전분포를 형성하는 레이저이다. HF 레이저는 점화 시에 다음과 같은 F원자와 F- 이온의 생성경로가 있다.



여기에서 F_2 는 불소, e_p 는 1차 전자(primary electron) e_s 는 2차 전자(secondary electron) 이다. 또한 이온 펌핑 반응에서는 다음과 같은 경로를 고려할 수 있다.



높은 강도의 단펄스(short pulse) 점화원을 갖고 HF 레이저의 출력에너지 특성(실험결과)과 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 코드에 의한 이론해석결과를 그림 1에 보인다.

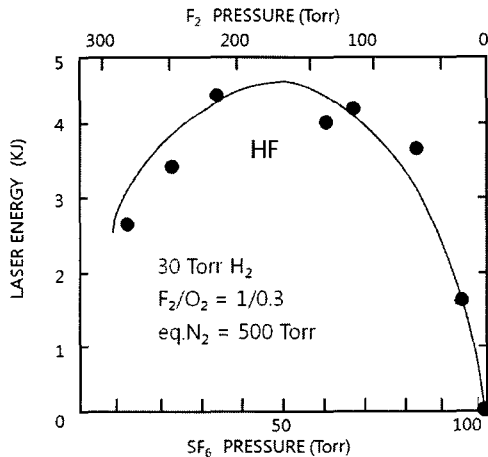


그림 5 . HF레이저의 출력에너지 특성 (이론해석 및 실험결과)

그림 1에서 F_2 분압이 높은 영역에서는 플라즈마(plasma)상태의 가스로부터 생성되는 이온-원자, 이온-이온 반응 등에 의해 HF 레이저 분자의 생성경로가 많아지는 것으로 보인다. 이 영역에서는 불소도너의 특성해리에너지(characteristic dissociation energy)로부터 산출되는 점화도를 계산에 사용하는 것은 모순이 있다. 실제로 이전에 개발된 시뮬레이션 코드로 이론해석을 행한 결과 실험결과와는 약 5% 이상의 오차가 발생됨을 알 수 있었다. 본 연구에서 사용된 코드에는 이온반응에 의해 생성되는 F를 포함시켰다. 그림 1에서 얻은 실험결과는 500Torr의 N_2 가스와 같은 정도의 에너지 축적도를 갖는 $H_2/F_2/O_2/SF_6$ 의

혼합가스로부터 얻었다. 또한 그림에 보이는 시뮬레이션 결과는 F원자해리도와 펌핑반응을 포함하는 이온반응을 고려한 모델을 이용해 얻었으며 실험결과와 매우 일치하는 결과를 얻었다. 이온반응을 활성화시키는 SF_6 가스의 첨가는 전자에너지를 축적이 증가되고 높은 해리도의 달성이 가능하여 출력에너지의 증가에 기여함을 알 수 있었다.

그림 2는 가스혼합비에 대한 HF 레이저 출력 에너지를 보인다. 점화도가 높은 F_2 -rich 영역보다 SF_6 가스가 높은 영역에서 대출력 에너지를 기록하였다. 점화도 즉 해리도에 비례하지 않음을 보여준다. SF_6 분압이 일정 이상 증가하면 비연쇄반응이 되어 급속히 레이저 출력 에너지가 줄어들음을 알 수 있었다. 또한 이전에 행한 실험들과 약 2% 범위내에서 일치함을 보여준다. 따라서 본 연구에 적용한 이온반응을 고려한 시뮬레이션 코드가 실험결과의 이론해석에 보다 적합함을 알 수 있었다.

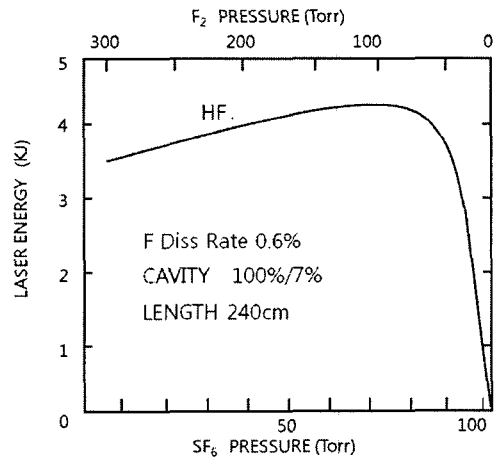


그림 6 . 가스혼합비에 대한 HF 레이저 출력 에너지

III. 결론

고출력의 HF 레이저를 달성하기 위해 여기 프로세스의 정확한 이해와 분석이 필요하다. 본 연구에서는 이온반응을 포함한 시뮬레이션을 개발하였다. 출력에너지의 향상과 화학효율의 개선을 위해 F_2 가스의 분압 및 SF_6 가스 분압의 비를

함수로 하는 이론해석을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

참고문헌

- 1) F_2 -rich 영역에서는 높은 점화도에 의한 본 계산의 가정과 실험결과가 일치하였다.
- 2) 각 가스 혼합비에 대한 반응생성율과 이득특성은 점화도와는 독립적 특성을 갖고 있음을 알았다.

- [1] 김제기, "Development of CW Chemical DF Laser", 2007 첨단레이저 및 레이저 응용 (2007)