

# UV 극초단 레이저 펄스의 발생과 증폭

이영우\*

\*목원대학교

## UV ultra-short laser pulse generation and amplification

Young-Woo Lee\*

\*Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.ac.k

### 요 약

엑시머 레이저로 여기되는 분포피드백 색소레이저(DFDL: Distributed Feedback Dye Laser)로부터 616nm의 레이저 펄스를 얻고, 이를 제2고조파 발생에 의한 파장변환을 통해 308nm의 극초단 자외 광펄스를 얻었다. 또한 3단의 XeCl 엑시머 레이저 증폭기를 구성하여 자외 광펄스의 증폭을 행하였다.

### ABSTRACT

We have obtained ultra-short pulses with a wavelength of 616 nm from a Distributed Feedback Dye Laser pumped by excimer laser. Using the second harmonic generation, we obtained ultra-short pulse at 308nm in ultraviolet region and also performed amplification in 3 stages of XeCl amplifiers.

### 키워드

UV, ultrashort excimer laser, large amplifier

## I. 서 론

자외 극초단 고출력 엑시머 레이저 시스템의 기술 개발 동향은 ps 에서 fs로의 극초단 펄스화 및 고반복률 달성과 TW급의 출력에서 PW급으로의 초고출력화에 많은 연구가 집중되고 있다[1-4].

세계적 규모의 극초단 초고출력 엑시머 레이저 시스템을 당장 국내에 건설할 수는 없어도 앞으로 산업기술에 큰 영향을 줄 것으로 예상되므로 본 연구에서는 엑시머 레이저의 단계적인 단펄스화와 고출력화를 위한 실험 및 이론해석을 행한다. 본 연구에서는 DFDL 및 제2고조파 발생으로부터 얻은 자외 단펄스 레이저를 XeCl 증폭기에서 single-pass 및 double-pass 증폭실험을 행하여 ps 및 subps 영역의 자외 극초단 펄스의 증폭 시스템 구성을 위한 예비실험을 행하였다.

2단의 엑시머 증폭기에 의한 최종적인 실험 전에 예비실험으로서 자체제작 XeCl 레이저 시스템에 대한 Single-pass 와 double-pass 증폭 실험을 행하였다. 그림 1 에 UV 단펄스의 XeCl 레이저 증폭실험을 위한 장치도를 보인다. BBO 결정에 의해 UV광으로 변환된 펄스는 빔경 2 mm로 약간 확대되어 XeCl 레이저 증폭기에 입사된다. 레이저관의 양 측에 부착된 창은 CaF2 로서 기생 발진을 막기 위해 광축 방향에 대해 약간 기울게 설계되었다. 자외선 영역의 극초단 레이저 펄스의 경우 레이저 창 및 렌즈와 같은 투과 광학계에 의한 자기위상변조 및 분산등으로 인해 펄스폭 증가등의 현상이 일어날 수 있으나 현재의 단펄스실험에서는 큰 문제가 없을 것으로 보인다. 장래 극단펄스의 실험에서는 고려하여야 할 문제이다. 충전 전압 20kV,총가스 압력 2 atm., 조성비는 HCl/Xe/He=0.1/1.7/balanced (%)로 동작 시켰다. 이득길이는 50 cm 이다. 본 실험에서 증폭기의 동기는 DFDL 여기용

## II. UV 단펄스의 XeCl 레이저 증폭실험

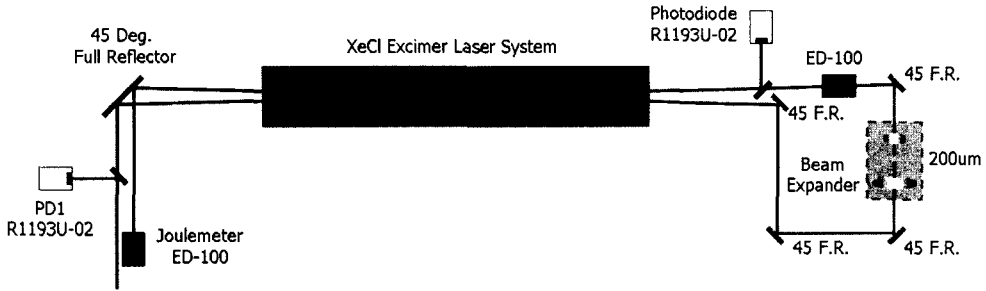


그림 4. Experimental setup for the short pulse amplification in XeCl excimer system

XeCl 레이저 시스템 (Questek, model 2560)으로부터의 동기 신호를 SRS사의 DPG(Delay Pulse Generator)에서 390 ns 지연시켜 trigger시켰다. 입력 레이저 펄스는 Attenuator에 의해 입력 에너지가 조정되어 입사되었고 입출력의 동시 측정을 위하여 입력 에너지에 대해 측정된 각 입력에너지 값에 대해 Photodiode(Hamamatsu, model R1193U-02)로 calibration 하여 입력에너지를 추정하였다. 입력 에너지의 측정에는 GENTEC ED-100을 사용하였다. 입력 에너지를 동시에 측정하기 위해 BS(beam splitter)에서 반사시켜 측정하였으나 에너지값이 너무 작아 동시에 측정하기가 어려웠다. 출력 측은 BS를 이용하여 photodiode(Hamamatsu, model R1193U-01)과 GENTEC ED-100 에너지 메타로 동시에 측정하였다. 출력측의 photodiode에는 XeCl 레이저 증폭기로부터의 ASE도 약간 입사 시켜 gain profile을 확인 함으로서 UV 단펄스가 증폭기의 이득 peak 시간에 입사되는지를 확인하였다. 모든 광 펄스의 시간적변화는 500 MHz의 저장형 오실로스코프 (Tektronics, model 7834)의 ADD 모드로 측정하였다. 308 nm의 UV광에 대한 반사경들은 전부 AR(Anti-Reflection) 코팅된 45도 전반사경을 사용하였다. double-pass의 경우, 한번 증폭기를 통과한 빔을 4번 90도로 반사시켜 재입사 시켰다. 출력측의 첫번째 반사경과 두번째 반사경 사이에 spatial filter를 사용하였다.

그림 2에 UV 단펄스의 XeCl 레이저 증폭기에 대한 single-pass 및 double-pass 증폭실험 결과를 보인다. 입력 에너지는 색소레이저의 SHG로부터 얻어지는 UV광의 에너지로 제한되어 15  $\mu\text{J}$ 이 본 실험에 사용된 최대 에너지이다. 입력 에너지의 크기는 Attenuator에 의해 조절되었다. Single-pass에 의한 증폭 출력은 입력 에너지의 증가에 따라 선형적으로 증가하였다. double-pass의 경우, 입력 빔의 크기를 직경 2 mm로 하여 행한 경우와 직경 2 mm로 single-pass 증폭 후에 beam expander를 이용하여 직경 7 mm로 확대한 후에 다시 증폭시킨 경우에 대해 실험하였다. 전자의 경우에 single-

pass후에 빔 단면의 에너지가 포화하여 double-pass의 출력 에너지가 크게 증가하지 않았다.

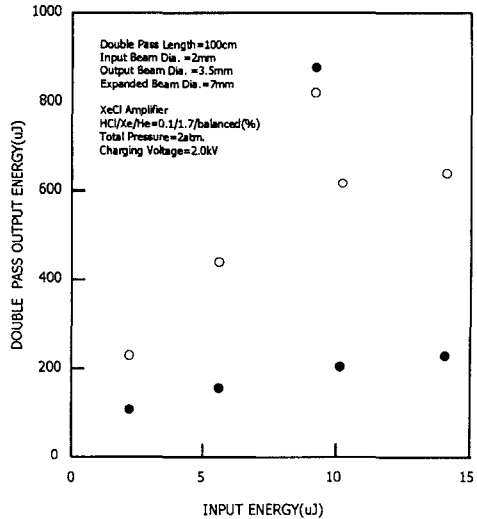


그림 2. Double-pass amplification in XeCl amplifier

### III. 시스템의 동기

UV 극초단 펄스의 고출력화를 위한 연구의 주된 관심사는 다음과 같다.

- 엑시머 레이저 증폭기 창재(window material)에서의 비선형 효과 즉, 흡수와 self-focusing
- ASE 억제
- 엑시머 매질에서의 비포화 흡수체에 의한 흡수(여기 단면의 제한)
- 엑시머 매질의 제한된 에너지 축적시간
- phase front와 pulse front의 형태
- 시스템의 동기 (low-jitter의 실현)

위에 열거한 내용들은 sub-ns의 펄스 증폭에서

는 문제가 되지 않지만 앞으로 펄스 폭이 sub-ps 영역에 이르고 출력을 높이기 위해서는 시스템의 설계에 고려해야 할 사항이다. 본 실험에서는 위에 열거한 사항중에서 최종적인 시스템구성을 위한 시스템의 동기 실험을 행하였다.

엑시머 레이저 이득의 시간폭은 장치의 특성에 의존하지만 5ns-100ns 정도가 일반적이다. 여러단의 엑시머 레이저로 시스템을 구성할 경우 단펄스의 통과시간에 증폭기 이득이 최고값을 갖는 동기화를 행할 필요가 있다. 본 실험에 사용한 XeCl 엑시머 레이저 시스템은 총 3대로서 각각의 방전 시스템의 jitter를 고려하고 gain build-up time등을 확인하여 단펄스가 통과되도록 구성하여야 한다. 또한 정확한 동기화는 증폭기 이득의 시간 선택을 조절함에 따라 ASE 억제에도 매우 중요하다.

그림 3은 동기 실험을 위한 장치도이다. 장치도에서 스펙트로미터를 사용할 경우와 안하는 경우의 두가지에 대하여 지연시간이 달리 적혀있다. 전자의 경우는 스펙트로미터의 스펙트럼 어날라이저의 시스템 반응시간을 고려하여 지연시간을 결정하였다. 이 경우에는 스펙트럼 어날라이저에서 나온 최초의 동기신호로 DPG(Delay Pulse Generator)를 trigger 하여 각각의 시스템에 적합한 지연펄스를 보낸다. 후자는 그림 3의 아래에 보여준다. 증폭기 2를 최초로 trigger 하고 Oscillator에 1  $\mu$ s, 증폭기 1에 1.360  $\mu$ s, 지연신호로 인가하면 단펄스가 각 증폭기의 gain peak 시간에 통과할수 있는 동기시스템을 구성한다. 전체 시스템의 평균적 jitter는 약 10 ns 이하 였다.

#### IV. 결 론

제 2 고조파 발생에 의해 얻은 UV 광을 seed 펄스로 하는 XeCl 전치 레이저 증폭기에서의 증폭 실험을 통해 소신호이득계수가 8.5%/cm 임을 알았다. 또한 증폭기 2를 포함한 시스템 동기 실험에서 15 ns 이하에서 전 시스템의 동기화를 하였고 각 시스템의 평균적 jitter는 < 10ns 이었다.

#### 참고문헌

- [1] W.Kaiser, ed., Ultrashort Laser Pulses and amplification, Springer-Verlag(1987).
- [2] A.Endoh, M.Watanabe, N.Srukura, and Watanabe, Opt. Lett., 14, 353(1989).
- [3] S.Watanabe, A.Endoh, M.Watanabe, N.Srukura, and K.Hata, J. Opt. Soc. Am.B, 6,1870 (1989).
- [4] I.A.McIntyre, and C.K.Rhodes, J. Appl. Phys., 69, R1(1991).

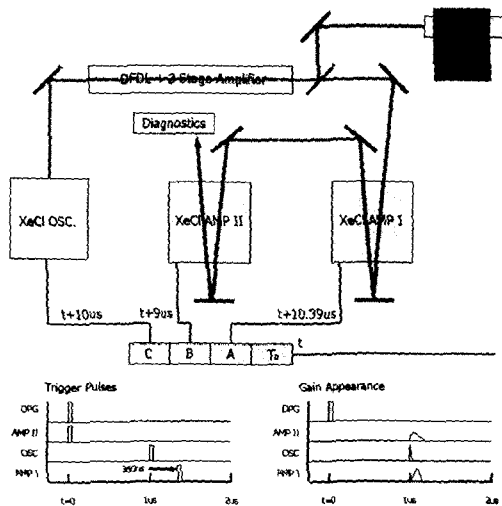


그림 3. Schematic diagram of the trigger system for synchronization