

300 TW급 펨토초 티타늄 사파이어 레이저 설계

Design of 300-TW-class Femtosecond Ti:sapphire Laser

성재희*, 유태준, 홍경한, 최일우, 정태문, 노영철, 고도경, 이종민

광주과학기술원 고등광기술연구소 펨토과학연구실

*sungjh@gist.ac.kr

CPA(chirped-pulse amplification) 방식의 도입으로 펨토초의 짧은 펄스폭을 가지면서 테라와트 이상의 높은 첨두 출력을 가지는 레이저 시스템 개발이 1990년대부터 활발하게 이루어져 왔다. 그 결과 1998년에 100 TW 펨토초 레이저⁽¹⁾가 등장하였고 2003년에 0.85 PW 펨토초 레이저⁽²⁾가 개발되었다. 이러한 100 TW급 이상의 초고출력 레이저의 개발은 현재 전 세계적으로 이루어지고 있으며 국내에서는 2005년 광주과학기술원 고등광기술연구소에서 100 TW급 펨토초 레이저가 설치되었고⁽³⁾ 2009년 PW급의 레이저 시스템 개발을 목표로 현재 300 TW급 펨토초 레이저 시스템을 설계 및 개발하고 있는 중이다.

본 연구에서는 기존에 설치된 100 TW급의 펨토초 레이저 시스템을 이용하여 300 TW급의 펨토초 레이저 시스템을 개발하기 위해 필요한 다양한 설계 인자들을 고려하고 이를 최적화할 예정이다. 100 TW급의 펨토초 레이저 시스템의 경우 전형적인 CPA 레이저 시스템으로서 펨토초 공진기, 펄스 확장기, 재생 증폭기, 전치 증폭기, 2개의 주 증폭기, 펄스 압축기로 구성되어 있으며 최종적으로 3.5 J, 32 fs의 펄스가 생성된다. 300 TW급의 펨토초 펄스를 생성하기 위해 추가적으로 1개의 주 증폭기를 설치할 예정이며 최종 펄스폭을 40 fs로 가정하였을 경우 최종 펄스 에너지는 12 J 정도 되어야 한다. 300 TW용 주 증폭기에서 레이저 빔이 증폭된 후 펄스 압축기를 지나게 되므로 펄스 압축기의 투과 효율을 50%로 가정하였을 경우 증폭된 빔의 에너지는 24 J 이상이 되어야 한다. 24 J 이상의 증폭 에너지를 얻기 위해서는 주 증폭기에서 펌핑 레이저 에너지의 Ti:sapphire 레이저 에너지로의 변화 효율과 증폭기 내에서의 손실 등을 감안하여 45 J 이상의 펌핑 에너지가 필요하다. 300 TW용 주 증폭기의 구조는 그림 1에서 보는 것처럼 레이저 펄스가 이득 매질을 3~4회 정도 통과하면서 증폭되는 다중 통과 방식이며 평면 거울로만 구성된 단순한 형태이다. 이 때 증폭 효율을 높이기 위해서는 입력 빔 에너지, 펌핑 에너지, 증폭 에너지를 고려하여 입력 빔과 펌핑 빔의 크기, 이득 매질 통과 횟수 등을 적절히 선택해야 되며 이득 매질인 Ti:sapphire 결정에서 높은 펌핑 에너지 때문에 발생할 수 있는 Parasitic lasing을 충분히 억제할 수 있도록 펌핑 빔의 크기 등을 고려해야 된다.

수십 J의 높은 증폭된 빔 에너지를 얻기 위해 높은 에너지를 가지는 펌핑 빔이 넓은 면적을 가지고 이득 매질에 입사하게 되면 펌핑 빔 진행 방향의 횡 방향으로 parasitic lasing이 발생할 수 있다. Parasitic lasing은 이득 매질인 Ti:sapphire 결정의 횡 표면에서의 프레넬(Fresnel) 반사와 펌핑에 의한 이득에 의해 마치 레이저 공진기처럼 횡 방향으로 레이저 발진이 일어나는 것으로 증폭 효율을 나쁘게 할 뿐만 아니라 증폭된 빔의 공간 분포 또한 나빠지게 한다. 이러한 parasitic lasing에 의한 효과는 높은 펌핑 에너지를 가지는 증폭기를 설계할 때 반드시 고려해야 될 사항이며 이를 효과적으로 억제하기 위해 펌핑 빔 크기를 적절히 조절해야 되고 이득 매질을 둘러싸는 index matching material을 잘 선택해야 된다.

다중 통과 방식의 주 증폭기에서 증폭 에너지를 이론적으로 계산하기 위해 이득 포화 현상을 고려한 Frantz-Nodvic 모델을 도입하였다. 이 모델을 이용하여 입력 빔과 펌핑 빔의 크기와 에너지를 변화시키면서 증폭 효율이 최대화되도록 이득 매질 통과 횟수 등을 정하도록 하였다. 기본적으로 입력 빔과 펌핑 빔의 공간적인 모양은 Flat-top 형태로 가정하였으며 증폭 효율을 높이고 균일한 공간 특성을 가지는 증폭 빔을 얻기 위해 이득 매질에서 입력 빔과 펌핑 빔의 크기를 공간적으로 동일하도록 하였다.

300 TW용 주 증폭기를 통해 증폭된 레이저 펄스는 펄스 압축기를 통해 시간적으로 압축되는데 이 때 압축된 레이저 펄스의 시간 폭을 최적화시키기 위해 300 TW용 주 증폭기에서 사용된 이득 매질의 분산을 고려하여 펄스 압축기 내 회절격자의 입사 각도와 회절격자 간 거리를 조절해야 된다. 그리고 증폭된 레이저 빔에 의한 회절격자의 광학적 손상을 막기 위해 증폭 빔 크기를 충분히 크게 해서 펄스 압축기에 입사시켜야 된다.

300 TW급 펄초 레이저 시스템을 설계하기위해서 이처럼 다양한 요인들을 고려하였으며 향후 PW급 펄초 레이저 시스템으로의 확장성을 고려하여 설계하도록 하였다.

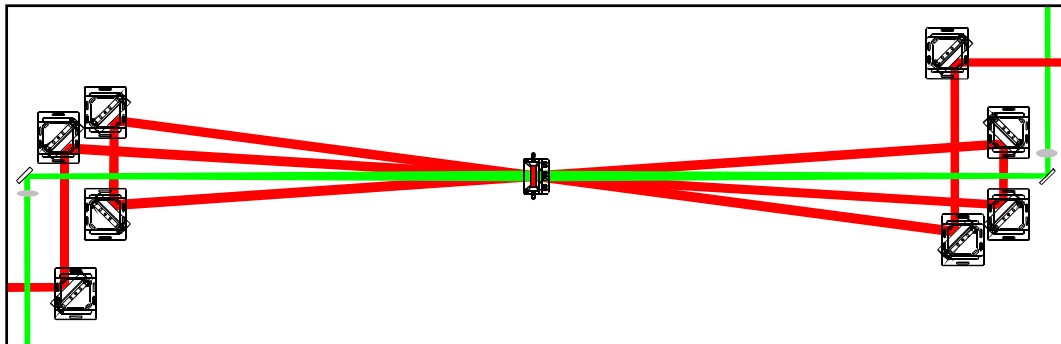


그림 1. 300 TW용 주 증폭기의 구조

참고문헌

1. K. Yamakawa, M. Aoyama, S. Matsuoka, T. Kase, Y. Akahane, and H. Takuma, "100-TW sub-20-fs Ti:sapphire laser system operating at a 10-Hz repetition rate", Opt. Lett. **23**, 1468 (1998).
2. M. Aoyama, K. Yamakawa, Y. Akahane, J. Ma, N. Inoue, H. Ueda, and H. Kiriya, "0.85-PW, 33-fs Ti:sapphire laser", Opt. Lett. **28**, 1594 (2003).
3. D.-K. Ko, T. J. Yu, I. W. Choi, K.-H. Hong, J. H. Sung, Y.-C. Noh, and J. Lee, LPHYS'05 (Kyoto, Japan, July 4-8, 2005) Sem. 4.5.3.