

상대론적 광학연구를 위한 100 TW급 극초단 초고출력 레이저 구축

Construction of 100 TW Ultra-Short Ultra-High Intense Laser for Relativistic Optics

유태준, 성재희, 홍경한, 최일우, 김형택, 김정훈, 정태문, 노영철, 고도경*, 이종민
 광주과학기술원 고등광기술연구소 펄토평학연구소
 tjyu@apri.gist.ac.kr, *dkko@apri.gist.ac.kr

최근 5년 동안 기술 선진국에서는 100 TW급 이상의 초고출력 레이저 시설들이 활발하게 구축되어 오고 있다. 100 TW이상의 레이저 출력으로 시공간의 한 지점에서 얻을 수 있는 최대 집속 강도는 10^{20}W/cm^2 이상이다. 이는 그동안 인류가 경험할 수 없었던 극한의 물리적 환경을 만들 수가 있다. 이런 극한의 집속강도 영역에서는 전자가 단지 레이저의 반주기에 해당하는 1.4 fs란 극히 짧은 시간동안에 빛의 속도의 99% 이상으로 달리게 된다. 이런 특이한 물리적 공간을 레이저에 의해 생성하고 제어하는 영역을 상대론적 광학이라 부른다. 상대론적 광학연구를 통해 이전까지 보지 못한 것들 예를 들어 상대론적 고에너지 양성자빔 발생^[1] 및 이온 가속과 상대론적 전자빔 발생^[2]과 상대론적 톱슨 산란에 의한 X선 발생 실험을 수행해 나갈 수 있다.

본 논문은 상대론적 광학영역에 도달하기 위한 도구인 초고출력 레이저 빔의 발생기술을 소개하고, 고등광기술연구소에서는 이를 위해 100 TW급 극초단 초고출력 레이저 시설의 최근 현황과 앞으로의 출력 향상을 위한 계획을 소개한다. 현재까지 고등광기술연구소에서 설치된 100 TW급 극초단 초고출력 레이저 시스템은 CPA 기술을 이용하여 레이저 펄스의 에너지를 순차적으로 증가시킨다. 이 레이저 시스템은 그림 1과 같이 펄토평 레이저 발진기, 펄스 확장기(pulse stretcher), 재생 증폭기(regenerative amplifier), 전치 증폭기(pre-amplifier), 1단 주증폭기, 2단 주증폭기, 펄스 압축기(pulse compressor)로 구성되어 있다. 펄토평 레이저 발진기는 20 펄토평의 펄스폭을 가지는 레이저 펄스를 발생시키고, 이 펄스가 펄스 확장기를 통과하면 340 ps로 펄스폭이 확장된다. 펄스 확장기에서 나온 레이저 펄스는 재생 증폭기, 전치 증폭기, 1단 주증폭기, 2단 주증폭기를 거치면서 순차적으로 에너지가 증가한다. 각각의 증폭기는 녹색 파장(527, 532 nm)을 방출하는 레이저로 펌핑된다. 최종 증폭단인 2단 주증폭기는 파장 532 nm에서 최대 1.2 J을 방출하는 네오디뮴 야그(Nd:YAG) 레이저 8대에 의해 펌핑된다. 최종 증폭된 티타늄 사파이어 레이저빔의 중심파장은 800 nm 정도이고 최대 에너지는 5.6 J 정도이다. 펄스폭이 확장되어 증폭된 레이저 펄스를 원래의 펄스폭 정도로 환원하기 위해 펄스 압축기를 사용한다.

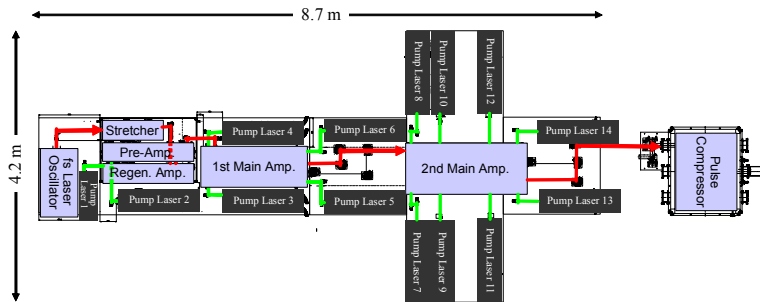


그림 1. 100 TW급 극초단 초고출력 레이저 시스템의 구성도.

펄스 압축기를 통과한 후 레이저 펄스는 그림 2와 같이 32 fs로 압축되었고 3.6 J 정도의 에너지를 가지므로, 첨두 출력 100 TW 이상이 달성되었다. 앞으로 2단 주증폭기에 하나의 증폭단을 더 추가하고 100 J 이상의 에너지로 펌핑하여, PW급 레이저 시스템을 건설할 예정이다.

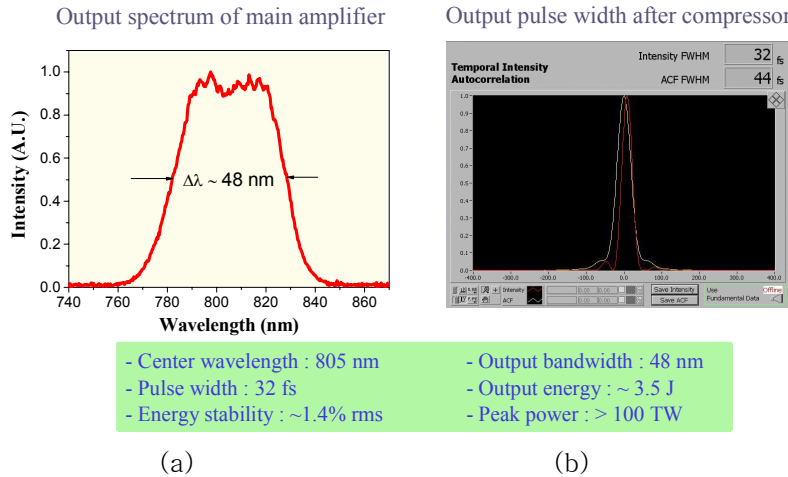


그림 2. 100 TW급 극초단 초고출력 레이저의 출력 특성. (a) 증폭된 레이저의 선폭은 48 nm이며 (b) 이때 펄스를 펄스 압축기를 통해 발생된 펄스폭은 32 fs이다.

펄스 압축기를 통과한 레이저빔은 다양한 응용 연구를 수행하기 위해 표적챔버로 진송된다. 표적챔버는 엑스선, 전자, 양성자, 이온, 중성자 등의 다양한 선원(source)을 발생시키고 이 선원을 이용하는 응용 연구에 사용되는 진공챔버이다. 펄스 압축기에 연결된 표적챔버는 자유로이 분리해 이동하기 어려우므로, 실험배치가 바뀔 때마다 표적챔버의 다른 포트(port)를 사용해야 한다. 따라서 하나의 표적챔버에서 다양한 종류의 선원 발생과 특성분석 연구를 수행하기 위해 표적챔버에는 여러 개의 포트를 만들었다. 다양한 실험배치를 고려하여 범용성을 가지도록 표적챔버를 제작하였다. 현재, 엑스선 발생 및 응용 분야는 고등광기술연구소에서 자체적으로 수행하고 있으며, 전자 발생 및 응용 분야는 한국전기연구원^[3,4]과 일본원자력연구소, 양성자 발생 및 응용 분야는 한국원자력연구소와 일본원자력연구소^[5]와 공동 연구를 수행하고 있다.

1. R. A. Snavely *et al.*, Phys. Rev. Lett **85**, 2945, 2000.
2. C. Joshi and T. Katsouleas, Physics Today, 47, June 2003.
3. N. Hafz, G. H. Kim, H. Suk, I. W. Choi, D.-K. Ko, and J. Lee, Particle Accelerator Conference 2005, Tennessee, USA, May 16-20 2005.
4. G. H. Kim, N. Hafz, H. Suk, I. W. Choi, T. J. Yu, D.-K. Ko, and J. Lee, Particle Accelerator Conference 2005, Tennessee, USA, May 16-20 2005.
5. A. Sagisaka, A. Yogo, H. Daido, A. Fukumi, Z. Li, K. Ogura, M. Nishiuchi, S. Orimo, Y. Hayashi, M. Mori, M. Kado, Y. Oishi, T. Nayuki, T. Fujii, K. Nemoto, S. Nakamura, Y. Iwashita, T. Shirai, A. Noda, T. Morita, M. Yamagiwa, S. V. Bulanov, T. Z. Esirkepov, A. S. Pirozhkov, I. W. Choi, J. H. Sung, D.-K. Ko, and J. Lee, 26th Meeting of the Laser Society of Japan, Feb. 9-10 2006.