

극초단 선원 발생 실험용 표적챔버 및 레이저빔 전송계 구축 Construction of Target Chamber and Laser Beam Transport System for Ultrashort Source Generation Experiments

최일우, 유태준, 김정훈, 노영철, 고도경, 이종민
광주과학기술원, 고등광기술연구소
e-mail : iwchoi@apri.gist.ac.kr

발전선폭이 넓은 티타늄 사파이어 레이저 증폭기에 CPA(chirped pulse amplification)⁽¹⁾ 기술을 적용하면서, 실험실 규모의 공간 안에 수십 테라와트 이상의 첨두출력을 가지는 펨토초급 고출력 레이저를 설치할 수 있게 되었다. 2003년 초에는 일본원자력연구소에서 첨두출력이 0.85 페타와트인 티타늄 사파이어 레이저 시스템 개발에 성공하였다.⁽²⁾ 펨토초급 페타와트 레이저 펄스를 작은 초점으로 집속하면 10^{21} W/cm² 정도에 이르는 집속강도를 얻을 수 있으므로, 지금까지 인간이 개발한 어느 장비로도 실현하기 어려운 물리적 극한조건을 형성할 수 있다. 이러한 강도로 집속된 공간 안에서 전자는 레이저의 전기장에 의해 광속에 가까운 속도로 가속되어 상대론적 비선형 현상을 일으킨다. 펨토초급 고출력 레이저 펄스를 표적에 집속하면, 엑스선 광원⁽³⁾, 전자빔⁽⁴⁾, 이온 및 양성자빔⁽⁵⁾, 중성자빔 등의 다양한 2차 선원(source)을 발생시킬 수 있다. 이러한 2차 선원은 레이저 펄스가 집속되는 시간 동안만 발생되므로, 지속시간이 피코초 이하인 극초단 펄스형 선원이다. 또한, 레이저 펄스가 집속된 위치에서만 발생되므로, 마이크로미터 정도의 공간적 크기를 가지는 초소형 선원이다. 이 같은 특성을 지닌 극초단 초소형 선원은 물질의 초고속 현상 탐구⁽⁶⁾나 초정밀 영상 및 진단에 활용될 수 있다.

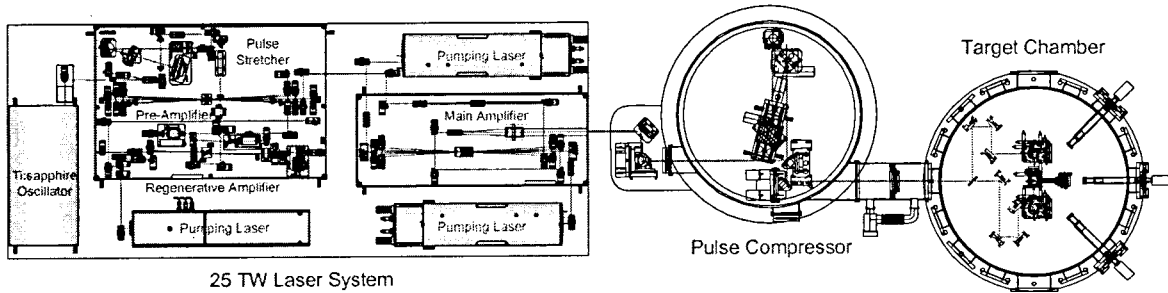


그림 1. 25 테라와트 티타늄 사파이어 레이저 시스템과 표적챔버의 배치도.

본 논문에서는 광주과학기술원 고등광기술연구소에 구축된 25 테라와트 티타늄 사파이어 레이저 시스템과 다양한 2차 선원을 발생시키는데 사용될 표적챔버와 레이저빔 전송계가 소개된다. 그림 1과 같이 25 테라와트 레이저 시스템은 펨토초 레이저 발진기, 펄스 확장기, 재생 증폭기와 2단의 다중통과 증폭기(multi-pass amplifier), 펄스 압축기로 구성되어 있다. 펄스 압축기를 통과한 레이저 펄스의 펄스폭은 30 fs 이하이고 펄스당 에너지는 700 mJ 이상이다. 펄스 압축기에 연결된 표적챔버는 자유로이 분리해 이동하기 어려우므로, 실험배치가 바뀔 때마다 표적챔버의 다른 포트(port)를 사용해야 한다. 따라서 하나의 표적챔버에서 다양한 종류의 선원발생과 특성분석 연구를 수행하기 위해 표적챔버에는 여러 개의 포트를 만들었다. 다양한 실험배치를 고려하여 범용성을 가지도록 표적챔버를 제작하였는데, 그림 2는 여러 가지 실험에서 사용될 표적챔버, 표적장치, 레이저 펄스 집속장치의 배치도를 보여주고 있다. 그림 2 (a)는 고체표적이나 기체표적에 레이저 펄스를 집속하는 실험에서 널리 이용되는 일반적인 배치도이다. 그림 2 (b)는 연엑스선 레이저 실험이나 고차 조화파 발생 실험 등과 같이 초점거리가 비교적 긴 거울이 사용되는 배치도이다. 초점거리가 긴 거울을 사용하기 위해 표적챔버의 한 포트에 연장관을 연결하고 그 안에 거울을 설치할 수 있도록 제작하였다. 그림 2 (c)는 고에너지 전자빔과 레이저광의 산란 실험과 같이 두 레이저 펄스가 서로 반대방향으로 진행하며 상호작용하는 구조에서 사용되는 배치도이다.

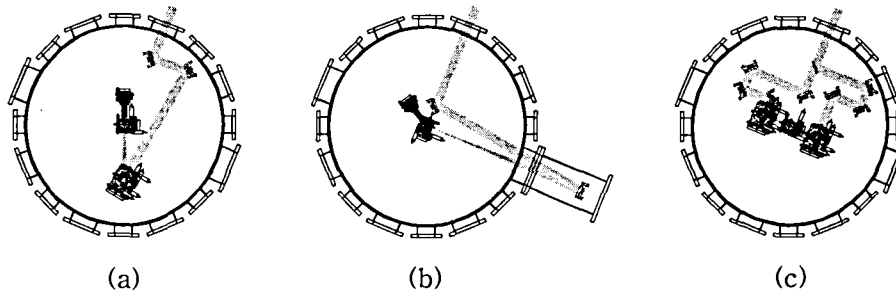


그림 2. 다양한 실험목적에 위한 표적챔버, 표적장치, 레이저 펄스 집속장치의 배치도.

표적챔버의 내경은 1.2 m이고 깊이는 850 mm이다. 표적챔버의 안에는 25 mm 간격으로 M6 볼트홈이 가공된 광학 정렬판(bread board)이 내장되어 있어서, 각종 광학 마운트(optical mount)와 부품을 필요한 위에 설치할 수 있도록 하였다. 레이저빔은 광학 정렬판으로부터 높이 300 mm인 위치로 진행하고, 비축포물거울(off-axis parabolic mirror) 또는 일반 오목거울을 이용하여 집속한다. 최적의 상태에서 비축포물거울 등을 사용하여 레이저 펄스의 초점을 $20 \mu\text{m}$ 이하로 집속한다면 $7 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ 이상의 집속강도를 얻을 수 있다. 하나의 펄스 압축기를 공유하면서 여러 개의 표적챔버를 사용하기 위해, 그림 3과 같은 레이저빔 전송계를 설계하였다. 3개의 표적챔버를 동시에 설치하여 별도의 실험을 수행할 수 있으며, 표적챔버들의 앞에 설치된 반사거울을 조절하여 사용될 표적챔버를 선정할 수 있다.

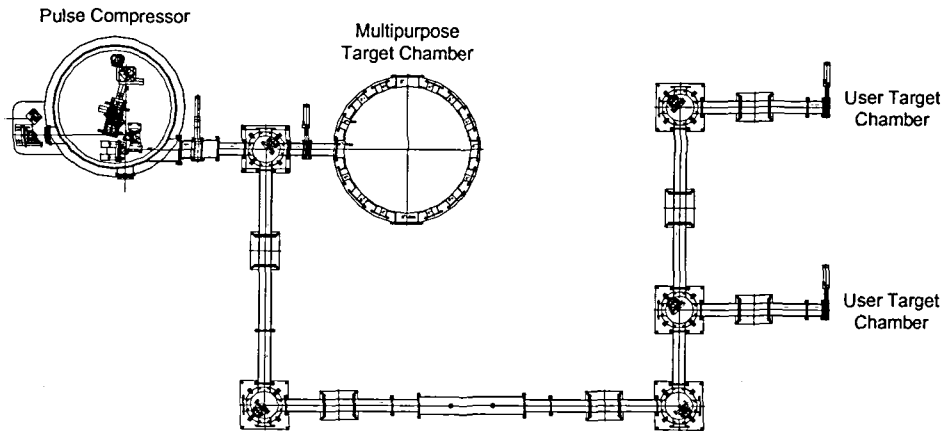


그림 3. 다수의 표적챔버를 동시에 사용하기 위해 제작중인 레이저빔 전송계.

1. D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses," *Opt. Commun.* 56, 219-221 (1985).
2. M. Aoyama, K. Yamakawa, Y. Akahane, J. Ma, N. Inoue, H. Ueda, and H. Kiriyama, "0.85-PW, 33-fs Ti:sapphire laser," *Opt. Lett.* 28, 1594-1596 (2003).
3. J. D. Kmetec, G. L. Gordon, J. J. Macklin, B. E. Lemoff, G. S. Brown, and S. E. Harris, "MeV x-ray generation with a femtosecond laser," *Phy. Rev. Lett.* 68, 1527-1530 (1992).
4. S. P. D. Mangles et al., "Monoenergetic beams of relativistic electrons from intense laser-plasma interactions," *Nature* 431, 535-538 (2004).
5. K. Matsukado et al., "Energetic protons from a few-micron metallic foil evaporated by an intense laser pulse," *Phy. Rev. Lett.* 91, 215001-1-4 (2003).
6. M. Bargheer, N. Zhavoronkov, Y. Gritsai, J. C. Woo, D. S. Kim, M. Woerner, and T. Elsaesser, "Coherent atomic motions in a nanostructure studied by femtosecond x-ray diffraction," *Science* 306, 1771-1773 (2004).