

100 TW 레이저 펄스의 파면 보정용 적응 광학계

Adaptive Optics System for Correcting Wavefront Aberrations in 100 TW Laser Pulses

정태문, 최일우, 성재희, Nasr Hafz, 고도경, 이종민

광주과학기술원, 고등광기술연구소, 펨토과학연구소

jeongtm@apri.gist.ac.kr

극초단 고출력 레이저 펄스와 표적과의 상호 작용은 X선, 전자 및 양성자 빔과 같은 2차 선원을 발생시키며 전세계적으로 연구가 활발히 이루어지고 있다. 극초단 고출력 레이저 펄스 에너지의 효율적인 사용을 위해서는 레이저 펄스를 회절 한계까지 집속하는 것이 필요하다. 레이저 펄스의 파면 수차(wavefront aberration)는 레이저 펄스를 회절 한계(diffraction-limited)까지 집속하는 것을 어렵게 한다. 따라서, 회절 한계의 집속 빔을 얻기 위해서는 레이저 펄스의 파면 수차를 보정하여야 한다. 특히, 고차 파면 수차는 일반적인 광학 렌즈나 거울을 이용해서 교정할 수 없다. 이러한, 고차 파면 수차를 보정하기 위해서 변형 거울을 이용하는 적응 광학계가 사용되고 있다. 적응 광학계를 이용한 레이저 펄스의 파면 보정은 1998년 F. Druon 등이 처음으로 극초단 고출력 레이저에 적용하여 레이저 펄스를 회절 한계 가까이 집속할 수 있었고,¹ 현재까지 페타와트 레이저 시스템에 적응 광학계를 이용하여 약 1020 W/cm²의 높은 intensity를 얻을 수 있었다.² 이러한, 적응 광학계는 파면 측정기, 변형 거울 및 변형 거울 구동 소프트웨어로 구성된다.

본 논문에서는 고등광기술연구소에 설치된 100 TW Ti:sapphire 레이저 시설에서 발생된 100 TW 레이저 펄스의 파면 보정용 적응 광학계에 설치 및 적응 광학계를 통해서 집속된 레이저 펄스의 공간적인 집속 특성에 대해서 발표하고자 한다. 고등광기술연구소에 설치된 100 TW Ti:sapphire 레이저 시설의 구성 및 성능에 대한 자세한 내용은 이미 다른 문헌에 소개되어 있다.³ 파면 보정용 적응 광학계는 그림 1에서 보여준 바와 같이 펄스 압축 chamber내의 펄스폭 압축 장치 뒤에 설치되었다. 레이저 펄스의 파면

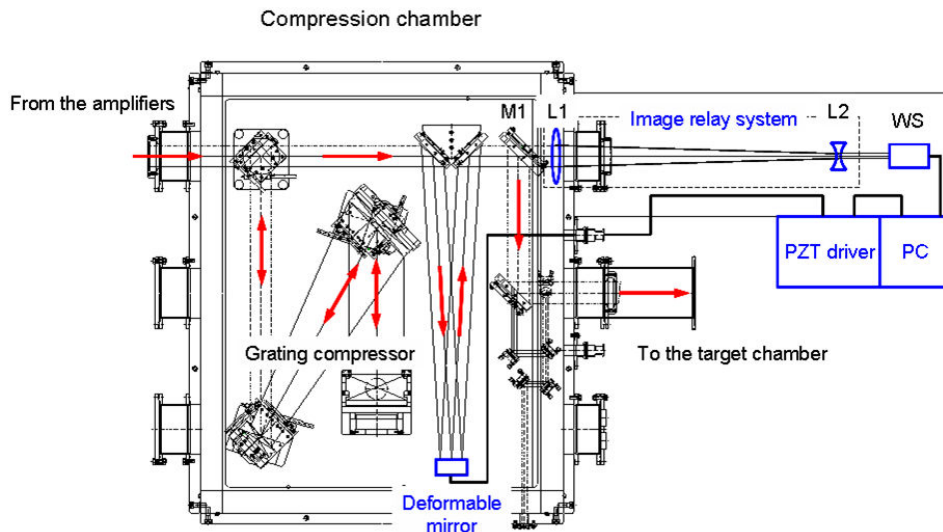


그림 1 펄스 압축 chamber 및 적응 광학계 배치도

은 거울 M1을 통과한 레이저 펄스를 렌즈 L1과 L2로 구성된 상전송계로 파면 측정기까지 상 전송하여 측정하였다. 이 때 레이저 빔의 직경은 약 70 mm이고 상 전송계의 배율은 1/20 이었다. 거울 M1은 전 반사경으로 전 반사경에서 일부 새는 레이저 펄스의 파면을 측정하였다. 파면 측정기로 층밀림 간섭형 파면 측정기를 사용하였다. 측정된 파면 수차는 5차까지의 Zernike polynomial을 이용하여 표현하였다. 파면 측정기로 측정된 레이저 펄스의 파면은 clear aperture가 70 mm이상이고 32 channel로 구성된 bimorph 변형 거울로 보정하였다.

그림 2의 파란색 바 그래프는 변형 거울로 보정하기 전에 레이저 펄스의 파면 수차이다. 그림에서 보여진 것처럼 변형 거울로 보정하기 전에 defocus(Z_2^0)가 100 TW 레이저 펄스의 가장 대표적인 파면 수차였다. 그 외에 astigmatism(Z_2^{-2} 및 Z_2^2)를 비롯하여 coma(Z_3^1), trefoil(Z_3^3), 및 spherical aberration(Z_4^0)이 관측되었다. 전체적으로 변형 거울로 보정하기 전에 고차 파면 수차(higher-order aberration)의 rms(root-mean-square)값은 약 0.22 μm 이었다. 그림 2의 자주색 바 그래프는 변형 거울을 이용하여 100 TW 레이저 펄스의 파면 수차를 보정한 후 측정한 레이저 펄스의 파면 수차이다. 그림에서 보는 바와 같이 적응 광학계를 동작시켰을 때, 변형 거울은 100 TW 레이저 펄스의 파면을 성공적으로 보정하였다. 적응 광학계로 100 TW 레이저 펄스의 파면을 보정하였을 때, 표적 chamber에서 집속된 레이저 빔의 focal spot을 광학계를 이용하여 측정하였다. focal spot은 6배의 배율을 갖는 광학계와 CCD를 이용하여 측정하였다. 적응 광학계로 100 TW 레이저 펄스의 파면을 보정하였을 때, 표적 chamber에서 측정된 레이저 펄스의 focal spot은 회절 한계 빔의 약 1.2배인 것으로 관측되었다.

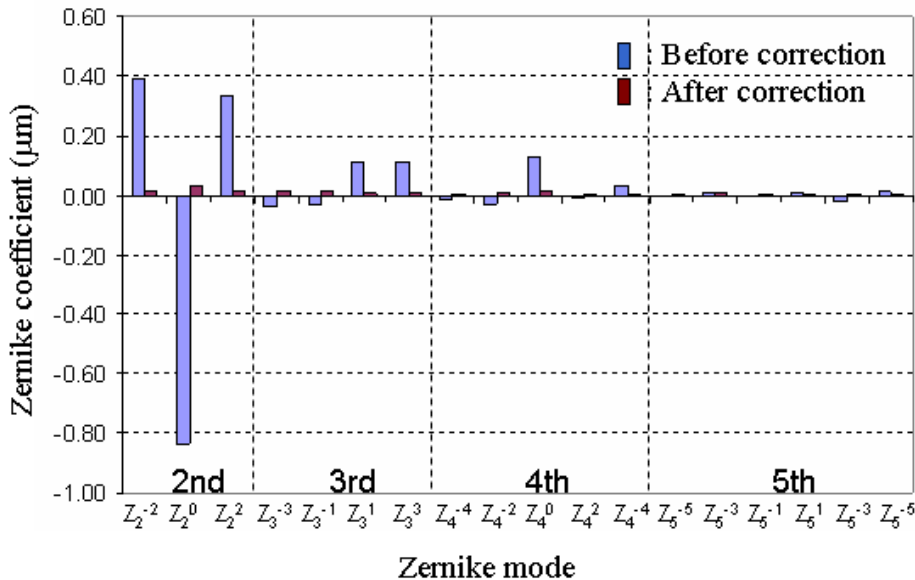


그림 2 변형 거울로 100 TW 레이저 펄스의 파면을 보정하기 전후의 레이저 펄스 파면 수차

참고문헌

1. F. Druon, *et al.*, "Wave-front correction of femtosecond terawatt lasers by deformable mirrors," *Opt. Lett.*, **23**, 1043-1045 (1998).
2. M.D. Perry, *et al.*, "Petawatt laser pulses," *Opt. Lett.*, **24**, 160-162 (1999).
3. I. W. Choi, *et al.*, The Thirteenth International Symposium on Laser Spectroscopy, p. 9, Daejeon, Korea, Nov. 3-4, 2005.