

# 300 TW급 초고출력 펄초 레이저 설계에서의 광학적 손상 문제 평가

## Evaluation of Optical Damage Problem in the Design of a 300-TW-class Ultra-high-power Femtosecond Laser

홍경환\*, 유태준, 성재희, 최일우, 정태문, 노영철, 고도경, 이종민

광주과학기술원 고등광기술연구소 펄초과학연구소

\*khhong@gist.ac.kr

펄초 레이저의 가장 큰 장점 중의 하나는 짧은 펄스폭으로 인하여 첨두출력을 높이기 쉽다는 것이며 이로 인하여 테라와트 이상의 첨두출력을 갖는 레이저 시스템 개발이 활발하게 이루어져 왔다. 펄초 레이저의 증폭을 위하여 주로 사용되고 있는 방법은 처프펄스증폭(chirped-pulse amplification; CPA) 방식인데 이는 잘 알려진 대로 펄스를 강한 양의 분산을 이용하여 시간적으로 늘인 후 증폭하여 다시 압축함으로써 매질이나 광학계에서 발생할 수 있는 광학적 손상을 최소화하는 획기적인 방법이다. 1990년대에 CPA 기술이 펄초 펄스에 접목되면서 테라와트급 펄초 레이저가 일반화되었고 1998년에는 100 TW급 펄초 레이저<sup>1)</sup>가 등장하기 시작하였다. 1999년에는 440 fs의 sub-피코초급 PW 레이저<sup>2)</sup>가 개발되었고 2003년에는 33 fs의 진정한 펄초 PW급 레이저<sup>3)</sup>가 시연되었다. 2006년 현재 세계적으로 10개가량의 페타와트 프로젝트가 진행되고 있는데, 국내에서도 2005년 광주과학기술원 고등광기술연구소에 100 TW급 펄초 레이저<sup>4)</sup>가 설치된 후 2009년 PW급을 목표로 300 TW급으로 업그레이드가 진행 중이다.

100 TW-PW급 레이저에서 나오는 에너지는 펄초의 짧은 펄스폭에 불구하고 5-50 J에 이르게 된다. 이러한 시스템은 펄스폭을 확대하는 CPA 방법을 쓰더라도 이미 상당히 큰 광학계와 이득매질을 사용해야 한다. 특히 높은 에너지로 펌핑해 주어야 하므로 시스템의 크기가 상당히 커지고 개발비용도 기하급수적으로 높아지는 한편 광학적 손상을 입기가 쉬워진다. 또한 증폭매질이나 반사경 등의 광학부품 가격의 제작 자체가 질적으로 시간적으로 용이하지 않기 때문에 광학적 손상을 입지 않도록 레이저를 설계하는 것이 매우 중요하다. 예를 들어 대구경의 이득매질이나 대형 회절격자에 광학적 손상이 발생하는 경우 제작 기간이 최소 6개월 이상 소요될 수 있기 때문에 레이저의 운영에 치명적인 지연을 가져다 줄 수 있다.

CPA 기술에서 10-100 fs 레이저 펄스는 통상적으로 50 ps-1 ns의 펄스폭으로 확장된 후 증폭되고 다시 압축된다. 펄스폭은 거울이나 이득매질과 같은 광학계의 표면 손상이나 내부 손상에 모두 영향을 주기 때문에 확장 펄스폭을 신중하게 결정해야 한다. 게다가 레이저 시스템의 에너지가 높아질수록 빔의 크기도 커지면서 펌프 빔 단면의 굴곡, 광학 매질 표면의 가공도, 열 문제 등으로 인하여 공간적인 모양이 나빠지기 때문에 확장펄스폭의 결정은 매우 중요하다.

레이저의 손상에 중요한 또 다른 parameter는 빔의 크기인데 펄스폭을 고려한 적절한 빔 크기의 결정이 요구된다. 특히 이득매질에서의 빔 크기와 펄스 압축기의 회절격자에서의 빔 크기를 결정하는 것은 대형 CPA 레이저 개발에 있어서 기술적으로나 경제적인 면에서 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 매질 손상의 입장에서는 확대된 폭이 넓을수록 유리하지만 회절격자의 크기, 곡면 거울의 크기 등을 무한정 늘일 수 없으므로 안정적으로 레이저가 동작할 수 있는 수준까지만 펄스폭을 늘이면 된다. 또한 펄스폭을 너무 많이 늘이면 확대기의 스펙트럼 대역이 좁아져 펄스의 background에 대한 대비(contrast)

가 나빠지고 확대기의 크기가 커지는 단점이 있다.

본 연구에서는 CPA 레이저의 증폭매질에서 발생할 수 있는 매질 손상 발생 요인들을 정량적 분석함으로써 레이저를 안정적으로 운영할 수 있는 레이저 설계 인자들을 결정하였다. 현재 운영 중인 시스템의 광학적 손상 위험도를 평가해 보고 이를 300 TW 시스템의 설계에 적용하였다. 그림 1은 현재 운영 중인 극초단광양자빔 시설의 펄스확대기에서 확장된 후 증폭된 펄스의 시간폭을 sampling scope과 GHz 급 광대역 검출기로 직접 측정된 것이다. 스펙트럼과 펄스확장기의 인자들을 통하여 계산한 펄스 모양과 비교적 잘 맞는 것을 알 수 있다. 측정된 확장 펄스폭을 바탕으로 표면 손상과 내부 손상의 효과를 정량적으로 계산하였고 확장 펄스폭에 따른 적절한 빔 크기를 결정하였다. 이 연구는 페타와트급 레이저 설계 및 개발에 있어서 빔의 인자들을 결정하는 데에 실제적 가이드 라인을 제시해 준다.

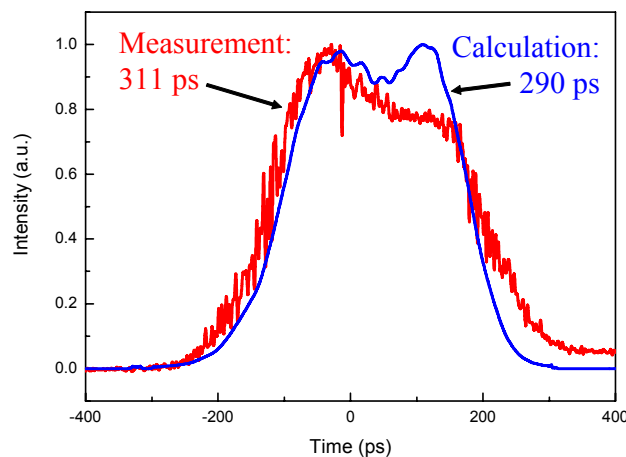


그림 1 펄스 확장기에서 확장된 후 증폭된 펄스의 시간적 모양

### 참고문헌

- [1] K. Yamakawa, M. Aoyama, S. Matsuoka, T. Kase, Y. Akahane, and H. Takuma, Opt. Lett. **23**, 1468 (1998).
- [2] M. D. Perry, D. Pennington, B. C. Stuart, G. Tietbohl, J. A. Britten, C. Brown, S. Herman, B. Golick, M. Kartz, J. Miller, H. T. Powell, M. Vergino, and V. Yanovsky, Opt. Lett. **24**, 160 (1999).
- [3] M. Aoyama, K. Yamakawa, Y. Akahane, J. Ma, N. Inoue, H. Ueda, and H. Kiriyama, Opt. Lett. **28**, 1594 (2003).
- [4] 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.