

# 교차 상관관계 주파수 분해 광게이팅을 이용한 이차조화파 레이저 펄스의 시간 특성 측정

## The temporal characterization of second harmonic pulses using the cross-correlation Frequency Resolved Optical Gating

박주윤\*, 성재희, 이용수, 남창희  
한국과학기술원 물리학과 및 걸맞는 X선 연구단  
[juyuni@kaist.ac.kr](mailto:juyuni@kaist.ac.kr)

펄토초 레이저의 개발은 커렌즈 모드잠금(Kerr-lens mode-locking) 기술이 티타늄 사파이어 이득 매질에 적용되면서 1990년대에 들어 급속하게 이루어졌다. 구조가 간단하면서 안정적인 티타늄 사파이어 레이저는 현재 펄토초 레이저 광원의 표준을 이루고 있으며, 처프 펄스 증폭(chirped-pulse amplification) 방식의 도입으로 높은 침투 출력을 발생시키는 레이저 펄스의 생성이 가능하게 되었다. 그리고 이는 극초단 x-선 방사와 고차조화파 발생 같은 다양한 고에너지 분야의 응용에 유용하다. 그러나 레이저와 물질 사이의 상호작용 실험에서 레이저 펄스의 증폭된 자발 방출(amplified spontaneous emission; ASE)과 앞선 펄스 때문에 낮은 밀도의 플라즈마가 생성될 수 있다. 이 원인을 줄이기 위한 방법의 하나로 이차 조화파 생성이 있는데, 이는 ASE와 앞선 펄스의 세기를 약화시키기 때문에, 레이저 세기 대비가 향상되므로 보다 높은 밀도의 플라즈마를 생성시킬 수 있게 된다.<sup>(1)</sup> 그래서 이런 응용에 사용되는 SH 펄스의 시간 특성인 시간폭과 위상을 아는 것이 중요해지게 된다.

펄스의 시간특성을 측정하는 방법 중 하나로서 1993년에 개발된 주파수 분해 광게이팅(Frequency-Resolved Optical gating; FROG)이 있고 이는 알고리즘을 통해서 정확하게 펄스의 세기와 위상을 복원할 수 있다. FROG는 여러 가지 기하학적 구조가 가능한데 이 중의 하나로서, 약한 펄스에 민감하게 반응하는 SHG FROG로도 측정할 수 없을 만큼의 아주 약한 세기에서 측정이 가능하고<sup>(2)</sup>, 기준 펄스와 테스트 펄스의 스펙트럼이 겹칠 필요가 없는 교차 상관관계 FROG(Cross-Correlation FROG; XFROG)가 있다. 이를 사용하여 SH 펄스의 시간 특성을 측정한다.

교차 상관관계 신호의 전기마당은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.<sup>(3)</sup>

$$E_{cross}(t, \tau) \propto E_{test}(t) E_{ref}(t - \tau)$$

위 식에서 보는 것처럼 기준 펄스( $E_{ref}$ )가 충분히 세면 상대적으로 아주 약한 펄스( $E_{test}$ )가 들어가도 나오는 교차 상관관계 신호( $E_{cross}$ )의 측정이 가능하고, 기준 펄스를 알면 측정되는 교차 상관관계 신호와 XFROG 알고리즘을 통해서 테스트 펄스를 복원할 수 있다. XFROG는 SHG FROG처럼 비선형 현상을 사용할지라도 입력되는 두 펄스가 같지 않기 때

문에 시간의 모호성은 나타나지 않는다.

그림 1은 XFROG 방법의 상세한 실험 장치이다. 펄스를 입사시키면 빔 분할기에서 두 빔으로 나누어진다. 한쪽 경로에서는 두 빔을 시간적으로 겹치게 하기 위해 time delay를 조절하고 다른 경로에서는 비선형 결정을 사용하여 이차조화파를 생성시킨다. 이 두 펄스를 또 다른 비선형 결정에 동시에 입사시켜 difference frequency generation(DFG)으로 새로운 신호를 얻게 된다.

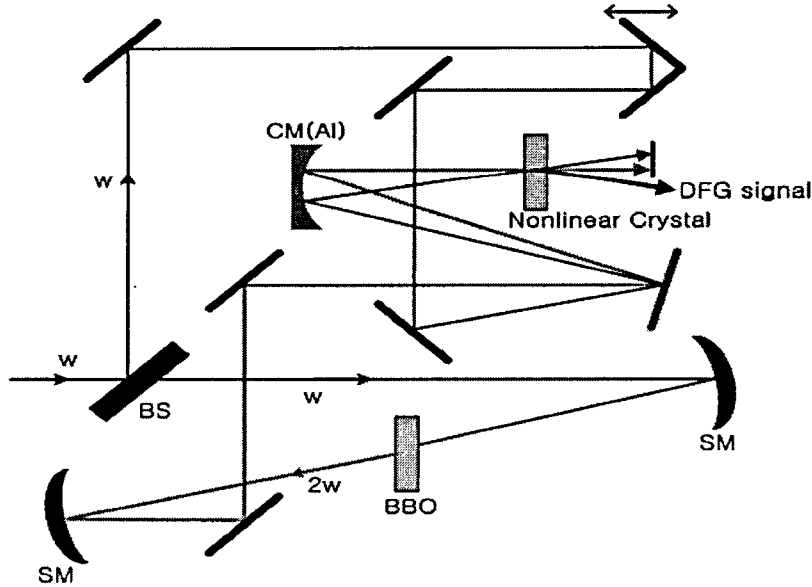


그림 1. XFROG의 실험 장치.

(w, 기준펄스 ; 2w, SH 펄스 ; BS, Beam Splitter ; SM, Spherical mirror; CM, Cylindrical mirror)

실험에서는 중심파장이 820 nm이고 스펙트럼의 폭(FWHM)이 45 nm인 레이저 펄스를 사용하였고 이는 기준 펄스로 작용을 한다. Single-Shot SHG FROG를 사용하여 이 펄스를 측정하였다. 이차조화파 펄스를 생성하기 위해 100  $\mu\text{m}$ 와 200  $\mu\text{m}$  두께를 가진 BBO를 사용하였고, 레이저 펄스의 분산과 비선형 결정의 두께에 따른 이차조화파의 펄스폭을 측정하였다.

#### 참고문헌

1. M. Aoyama, T. Harimoto, J. Ma, Y. Akahane and K. Yamakawa, "Second-harmonic generation of ultra-high intensity femtosecond pulses with a KDP crystal", OPTICS EXPRESS, Vol.9, No.11 579-585(2001)
2. S. Linden, J. Kuhl and H. Giessen, "Amplitude and phase characterization of weak blue ultrashort pulses by downconversion", Optics Letter, Vol. 24, No. 8, 569-571(1999)
3. S. Linden, H. Giessen and J. Kuhl, "XFROG-A new method for amplitude and phase characterization of weak ultrashort pulses", phys. stat. sol. (b) 206, 119-124(1998)

T  
E