

지속시간 펨토초 수준의 광펄스를 재는 프로그 장치 개발

The Development of FROG System for the Measurement of Femto-Seconds Ultrashort Laser Pulses

양병관, 김진승*

전북대학교 광전자정보기술연구소

jin@moak.chonbuk.ac.kr

지속시간이 펨토초(femto-seconds) 수준에 이르는 극초단 광펄스(ultrashort laser pulse)는 각종 계측 및 물질가공 등에 널리 응용되며, 앞으로 그 쓰임새가 더욱 확대될 것이다. 극초단 광펄스를 만들고 쓸 때 광펄스의 특성 - 파장분포, 펄스 진폭과 위상의 시간변화 - 에 관한 정보가 요구되는데, 펄스 지속시간이 아주 짧아서 이러한 특성을 재는데 어려움이 많았다. 그러나 최근 수년동안 “프로그(FROG: Frequency Resolved Optical Gating)”를 비롯한 몇 가지 방법이 제안되었고, 실용성이 입증되었다.

이 연구에서는 “이차고조파 프로그(SHG FROG(1): Second-Harmonic Generation Frequency Resolved Optical Gating)” 방식을 써서 펨토초 수준의 광펄스의 진폭과 위상변화를 찾아내는 장치의 개발에 관해 설명한다. 이차 고조파 프로그의 장치구성은 광펄스 “자체상관기(autocorrelator)”와 “분광계(spectrometer)”를 결합한 것으로서 기본적인 모양은 그림 1과 같다: 특성을 재야 할 광펄스를 두 가닥으로 나눠 한 가닥의 경로를 조절하여 상대적 시간지연을 준 다음, 두 가닥의 빛을 다시 모아 비선형 광학결정에 넣어 이차 고조파를 만들고 이것의 분광분포를 잰다. 그 결과로 얻는 자료를 “프로그 궤적(FROG trace)” 또는 “스펙트로그램(spectrogram)”이라 하는데, 이것은 시간지연과 파장(또는 진동수)의 함수로서 다음과 같은 꼴이다:

$$I_{FROG}(\omega, \tau) = \left| \int E(t)E(t-\tau)e^{-i\omega t} dt \right|^2$$

프로그 궤적을 얻으면 펄스복원 알고리즘을 써서 광펄스의 밝기와 위상의 분포를 시간 및 주파수의 함수로 얻을 수 있다.

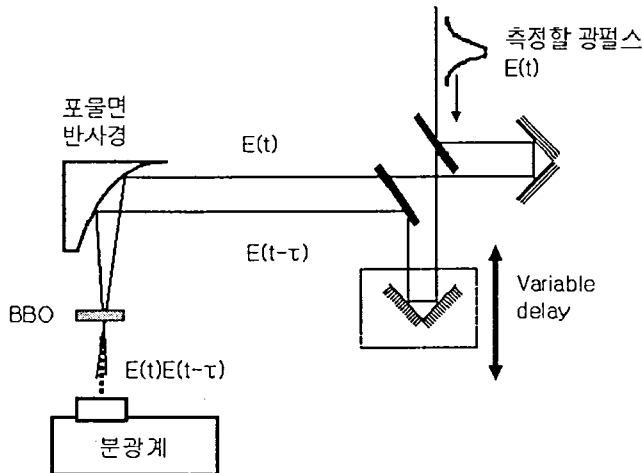
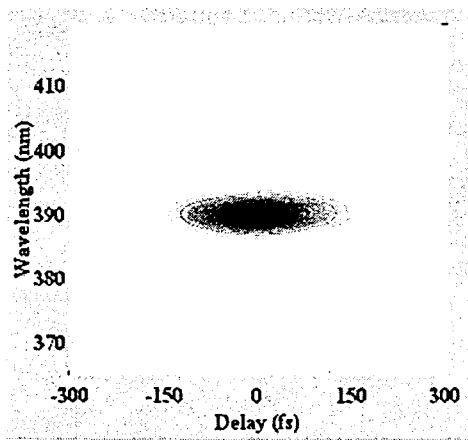
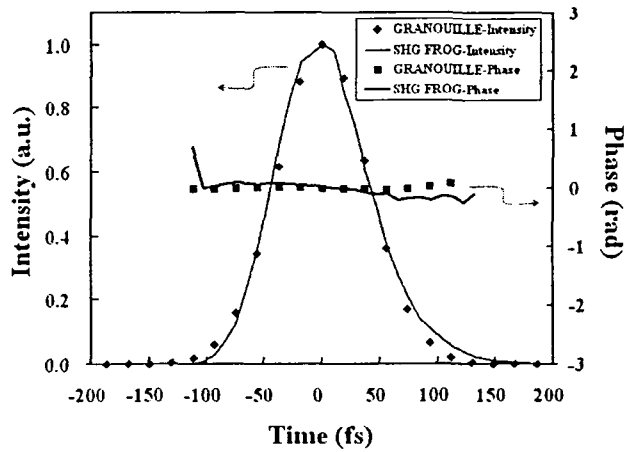


그림 1. SHG FROG의 장치 구성도.

펄스복원 알고리즘의 내용은 다음과 같다: 먼저 전기장 $E(t)$ 의 진폭과 위상의 어림값을 마음대로 정한다. 이 어림값을 써서 $E(t)E(t-\tau)$ 를 셈하고, 이것을 시간 t 에 대해 푸리에 변환하여 주파수 영역에서의 신호값 $E_{sig}(\omega, \tau) = \int E(t)E(t-\tau)e^{-i\omega t} dt$ 를 만든다. 그 다음 이 신호값의 진폭을 실험에서 얻은 프로그래밍 $\sqrt{I_{FROG}(\omega, \tau)}$ 으로 바꿔친다. 개선된 $E_{sig}(\omega, \tau)$ 는 다시 역 푸리에 변환하여 시간영역의 함수 $E_{sig}(t, \tau)$ 를 구하고, 이 값을 써서 $E(t)$ 에 관한 새로운 어림값을 만든다. 이상적인 상황에서는 이 과정을 되풀이할 때마다 더 나은 어림값이 얻어지며, 궁극적으로는 정확한 복소 전기장에 수렴한다. 이 순환과정의 마지막 단계에서 신호값 $E_{sig}(t, \tau)$ 으로부터 새로운 어림값 $E(t)$ 를 구하는 방식에 따라 프로그래밍 알고리즘이 구별되는데 이 연구에서 개발한 프로그램에서는 펄스복원을 거의 실시간에 할 수 있고 비교적 견고한 “주요성분 일반투영법(PCGP⁽²⁾: principal component generalized projection)”을 썼다.



(a)



(b)

그림 2. 새울음(chirping)이 거의 없는 100-fs 광펄스의 FROG 궤적(a)과 복원한 광펄스의 밝기 및 위상분포(b)

그림 2는 새울음(chirping)이 거의 없는 약 100-fs의 광펄스의 측정결과이다. 비선형 결정으로는 BBO 결정(두께 100- μm)을 썼다. 그림 2(a)는 개발한 장치를 써서 얻은 프로그래밍 궤적이고, 그림 2(b)는 복원한 광펄스의 밝기 및 위상의 시간변화이다. 마름모와 사각형으로 표시한 값은 상품화된 펄스 측정장치(GRANOUILLE, Swamp Optics)로 낸 결과이고, 실선은 개발한 장치로 낸 결과이다. 펄스의 중요부분에서 두 결과가 잘 맞으므로 우리가 개발한 펨토초 수준의 극초단 광펄스 측정장치의 성능이 보증된다.

[참고문헌]

1. K. W. DeLong, Rick Trebino, J. Hunter and W. E. White, “Frequency-resolved optical gating with the use of second-harmonic generation”, J. Opt. Soc. Am. B **11**, 2206-2215 (1994).
2. Daniel J. Kane, “Recent Progress Toward Real-Time Measurement of Ultrashort Laser Pulses”, IEEE J. Quantum Electron. **35**, 421-431 (1999).

※ 이 연구는 2002년도 학술진흥재단의 지원(KRF-2002-C0003)을 받아 수행되었음

