

## 이원자 분자를 이용한 고차조화파의 특성 연구

### Characteristics of high-order harmonic generation from diatomic molecules by intense femtosecond laser pulses

이계황<sup>1\*</sup>, 김형택<sup>1</sup>, 김태규<sup>2</sup>, 이재혁<sup>2</sup>, 박주윤<sup>1</sup>, 이효철<sup>2</sup>, 남창희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원 물리학과

<sup>2</sup>한국과학기술원 화학과

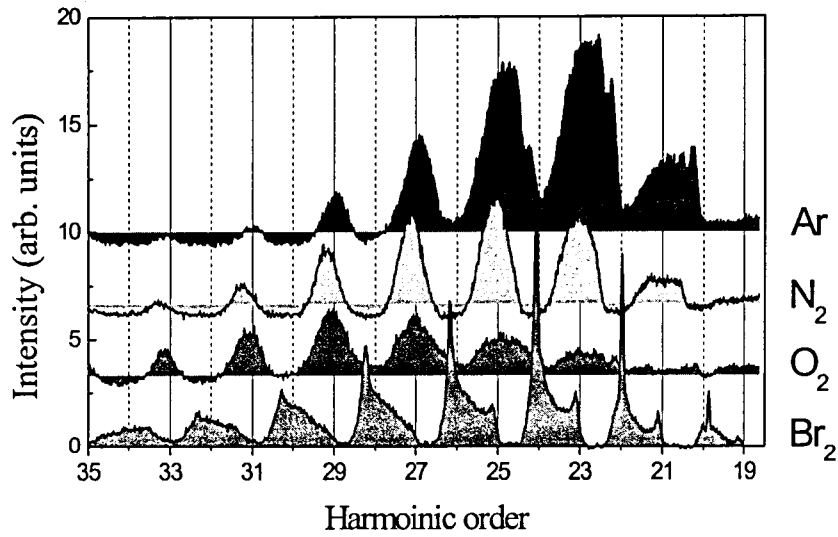
\*momenta@kaist.ac.kr

고출력 펄초 레이저가 원자나 분자에 입사하여 레이저 파장의 홀수 배에 해당하는 파장을 가진 빛이 여러 차수에 걸쳐 발생하는 현상을 고차조화파라고 한다. 최근 들어 원자뿐만 아니라 분자를 이용한 고차조화파 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 이는 고차조화파를 이용하여 분자의 전자 구조<sup>(1)</sup>나 정렬 현상<sup>(2)</sup>등을 관측 할 수 있기 때문이다. 이에 본 연구에서는 다양한 크기의 이원자 분자들의 고차조화파를 관찰하고 각각의 분자들이 레이저 펄스에 의해 정렬되는 현상을 관찰하였다.

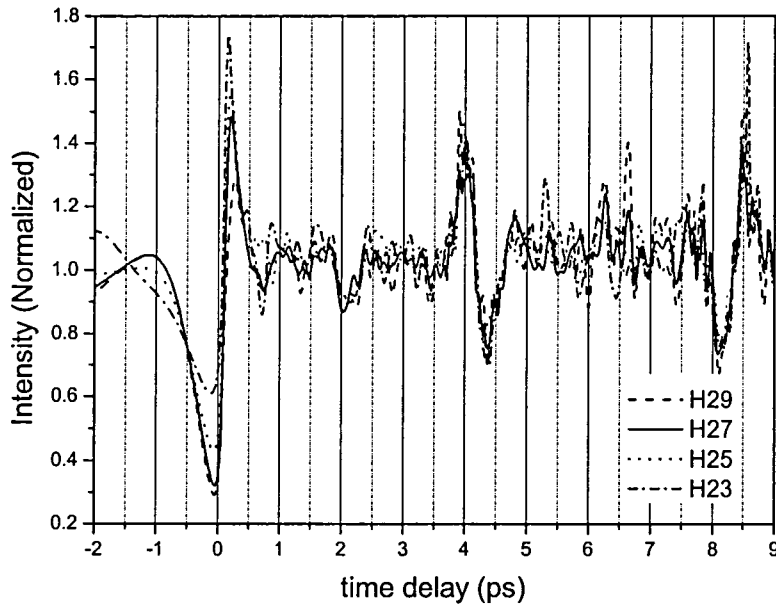
분자에서 발생한 고차조화파가 원자에서 발생한 고차조화파와 다른 특성을 가지고 있음을 실험적으로 관측하였다. 그림 [1]은 다양한 분자에서 발생한 고차조화파의 스펙트럼을 보여준다. Br<sub>2</sub>로부터 얻은 고차조화파는 단원자나 원자 간의 거리가 비교적 작은 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>에서 얻은 고차조화파 다르게 double peak 구조가 나타났다. 일반적으로 고차조화파는 그 발생 원리에 의해 홀수차수에 해당되는 스펙트럼만 보이게 되는데, Br<sub>2</sub>인 경우만 홀수, 짝수차수에 해당되는 주파수 성분을 가지고 있음을 볼 수 있다. 이는 원자나 크기가 작은 분자에서는 나타나지 않는 현상으로, 원자 간의 거리가 먼 이원자 분자가 가지는 비대칭 퍼텐셜의 영향이라고 할 수 있다.

이와 더불어 고차조화파 발생을 이용하여 시간에 따른 분자 정렬 과정을 관측하였다. 분자의 정렬을 위하여  $3 \times 10^{13} \text{W/cm}^2$  정도의 세기를 갖는 레이저 펄스를 이용하였고, 고차조화파의 발생을 위해서는  $1 \times 10^{14} \text{W/cm}^2$  정도의 세기를 갖는 레이저 펄스를 사용하였다. 그림[2]는 두 펄스간의 시간 간격을 조절하며 고차조화파의 스펙트럼의 세기 변화를 관측한 것이다. 시간 간격이 0ps 부근, 즉 pump 펄스에 의해 분자들의 정렬에 의해 고차조화파의 세기가 크게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 변화는 정렬을 위한 레이저 펄스가 지나간 후 4ps, 8ps 에서도 볼 수 있는데, 이는 레이저 펄스에 의해 분자가 한번 정렬되면 정렬이 깨졌다가도 특정 시간 뒤에 주기적으로 다시 정렬됨을 의미한다. 이와 같은 현상은 분자의 회전시간보다 훨씬 짧은 펄초 레이저를 분자의 정렬을 위해 사용하여 나타나는 현상으로, 분자의 동적 정렬 (dynamic alignment)이라고 한다.

위에서 살펴본 두 가지 현상, double peak 구조가 나타나는 것과 정렬되는 것은 모두 원자에서는 볼 수 없는 현상이며 분자가 갖는 비대칭 퍼텐셜에 의한 효과라 볼 수 있다. 따라서 분자에서 발생하는 고차조화파 연구는 분자의 구조와 그 특성을 이해하는 데 중요한 정보를 제공해 줄 것이다.



[그림 1] 기체 종류에 따른 고차조화파의 스펙트럼 비교



[그림 2] N<sub>2</sub>의 정렬에 따른 고차조화파의 세기 변화

참고문헌

- [1] J. Itatani *et al*, "tomographic imaging of molecular orbitals," *Nature* 423, 867 (2004).
- [2] N. Hay *et al*, "High-order harmonic generation in laser-aligned molecules," *Phys. Rev. A* 65, 53805 (2002).