

고차조화파와 엑스선 레이저를 이용한 결맞는 엑스선 개발

Coherent X-ray Development using High-order Harmonics and X-ray Laser

김형택^{1*}, 최일우¹, 성재희¹, 홍경한¹, 유태준¹, 정태문¹, 김정훈¹, 노영철¹, 고도경¹,
K. A. Janulewicz², J. Tümmeler², 이종민¹

¹광주과학기술원 고등광기술연구소 펨토과학연구실,
²Max Born Institute Berlin, Germany
*htkim@gist.ac.kr

극초단 고출력 레이저를 이용한 결맞는 엑스선 발생 연구는 엑스선 분광학, 고분해능 엑스선 영상 및 홀로그래프 등의 다양한 응용 분야로 인하여 주목을 받아 왔다. 극초단 고출력 레이저를 이용한 결맞는 엑스선 발생 방법에는 크게 고차조화파 발생^[1]과 엑스선 레이저 발전^[2]이 있다. 고차조화파 발생은 우수한 결맞음성^[3]과 짧은 펄스폭^[4], 그리고 넓은 파장 변환성^[5] 등의 우수한 성질을 가지고 있다. 최근 고차조화파를 이용한 아토초 (10^{-18} 초) 발생이 실험적으로 구현되면서, 고차조화파는 원자 내부의 전자의 움직임을 포착할 수 있는 극초단 광원으로 각광을 받고 있다. 그러나 고차조화파의 발생 효율은 다양한 응용분야에 적용하기에는 부족하여, 엑스선 레이저를 이용한 고차조화파 증폭 기술을 개발할 필요성이 대두되고 있다^[6]. 본 발표에서는 최근 고등광기술연구소의 고출력 펨토초 레이저를 이용한 결맞는 엑스선 연구 결과와 향후 개발 계획이 발표될 것이다.

최근 고등광기술연구소에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 헬륨 매질을 이용하여 90차 이상의 고차조화파 발생에 성공하였다. 실험에는 초점거리 1m의 오목 거울을 이용하여, 3 mJ 에너지와 33 fs의 펄스폭을 가지는 레이저 펄스를 기체 매질에 집속하였다. 이 때 기체 매질의 길이는 1.2 mm 이었으며, 기체 밀도는 $1.4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 이었고, 기체 매질은 레이저의 초점에 위치하였다. 고차조화파는 연엑스선 분광기를^[7] 이용하여 관측하였으며, 레이저 빔을 차단하기 위해, 500 nm 두께의 Zr과 Al 금속 필터를 사용하였다. 금속 필터의 투과율에 따라 45차 이상의 고차조화파는 Zr 필터를 이용하여 관측하였고, 그 이하의 고차조화파는 Al 필터를 이용하여 관측하였다. 헬륨에서 발생한 고차조화파 이외에도 13 nm 부근의 네온에서 발생한 고차조화파, 30 nm 근처의 아르곤을 이용한 고차조화파 발생도 확인되었다.

향 후 고등광기술연구소에는 고차조화파의 발생 효율 증가 연구 등의 고차조화파 발생 연구와 엑스선 레이저 발전 연구를 진행할 계획이다. 엑스선 발생을 위해 GRIP (GRazing-Incidence Pumped) Ni-like 엑스선 레이저^[8] 개발을 독일의 Max Born Institute와 함께 진행 중에 있다. 이와 같은 고등광기술연구소의 결맞는 엑스선 발생 연구는 향후 고차조화파 주입 엑스선 레이저 기술의 기반 기술 확보에 필수적인 역할을 할 것으로 기대된다.

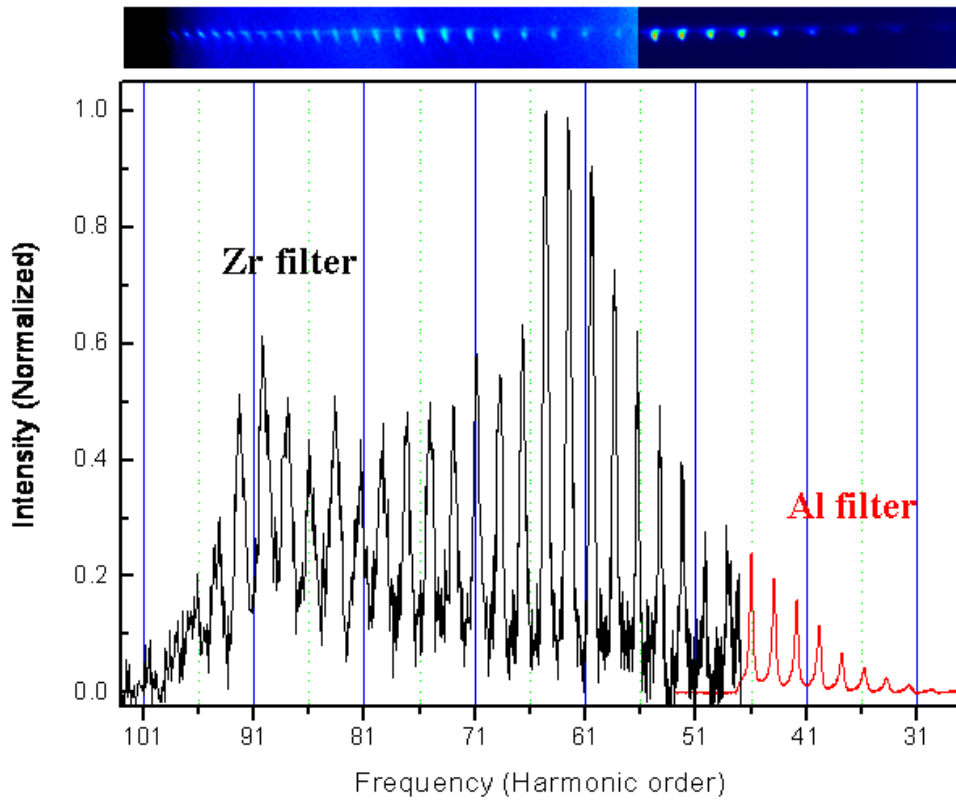


그림 1 헬륨에서 발생한 고차조화파 스펙트럼

참고문헌

- [1] E. Seres et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 163002 (2004).
- [2] K. A. Janulewicz et al., *Phys. Rev. A* **72**, 043825 (2005).
- [3] R. A. Bartels et al., *Science* **297**, 376 (2002).
- [4] R. Kienberger et al., *Nature* **427**, 817 (2004).
- [5] H. T. Kim et al., *Phys. Rev. A* **67** 051801 (2003).
- [6] Ph. Zeitoun et al., *Nature* **43**, 426 (2004).
- [7] I. W. Choi et al., *Appl. Opt.* **36**, 1457 (1997).
- [8] J. Tümmler et al., *Phys. Rev. E* **72**, 037401 (2005).