

## 극초단 고출력 레이저를 이용한 핵융합 반응

이용주, 남성모, 한재민, 이용우

한국원자력연구소 양자광학기술개발부  
yjrhee@kaeri.re.kr

최근 CPA (Chirped Pulse Amplification) 기술이 개발되면서  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup> 이상의 극초단 고출력 레이저를 보통의 광학실험실에서도 갖출 수 있게 되었으며, 이러한 레이저를 이용한 레이저 핵융합 반응의 연구가 여러 연구 그룹에서 진행되고 있다. 중수소 클러스터를 대상으로 레이저 핵융합 반응을 성공한 실험 결과가 처음으로 발표된 이후 [1] 많은 유사한 실험이 수행되고 있는데, D<sub>2</sub>와 CD<sub>4</sub> 기체 클러스터에서 핵융합 반응을 성공한 Madison [2], CD<sub>4</sub> 클러스터에서 핵융합 반응에 의한 중성자 발생에 성공하여 <sup>252</sup>Cf 동위원소로 교정한 결과 레이저 펄스 당 약 7000개의 중성자를 발생시킨 Grillon [3], 고체 필름타겟인 중수소 폴리에틸렌 (C<sub>2</sub>D<sub>4</sub>)에 prepulse 방법을 적용하여 레이저 핵융합을 성공한 Pretzler [4], (CD<sub>2</sub>)<sub>n</sub> 폴리머에서 핵융합 반응의 방향 특성을 연구한 Hilscher [5] 등 많은 연구그룹에서 연구 결과가 발표되고 있다.

중수소가 포함되어 있는 고분자화합물이나 중수소 기체에 초고출력의 레이저를 조사하게 되면 중수소에 들어있는 전자가 원자에서 튀어나가면서 중수소 이온이 생성되고, 이 이온들이 주위의 전기적 반발력에 의해 순간적으로 1억도 이상의 고온으로 가열된다. 이 상태에서 중수소 이온들이 핵융합 반응을 일으키면서 헬륨원자와 중성자를 방출하게 되는데 이때 발생하는 중성자를 측정하게 되면 핵융합 반응이 어느 정도 일어났는지를 알 수 있게 된다.

본 논문에서는 펄스폭이 30 펨토초인 10 테라와트 (10조 와트)의 초고출력 티타늄 사파이어 레이저를 자체 기술로 개발하고 (그림 1), 이를 이용하여 국내에서는 최초로 레이저 핵융합 반응을 성공적으로 실증한 내용을 발표한다.

레이저 핵융합 실험을 위하여 타겟으로는 중수소가 함유된 폴리스틸렌 필름과 액체 질소로 냉각된 중수소 기체를 각각 사용하였으며, 두 경우에 대하여 레이저 핵융합 반응을 각각 실증하였다.

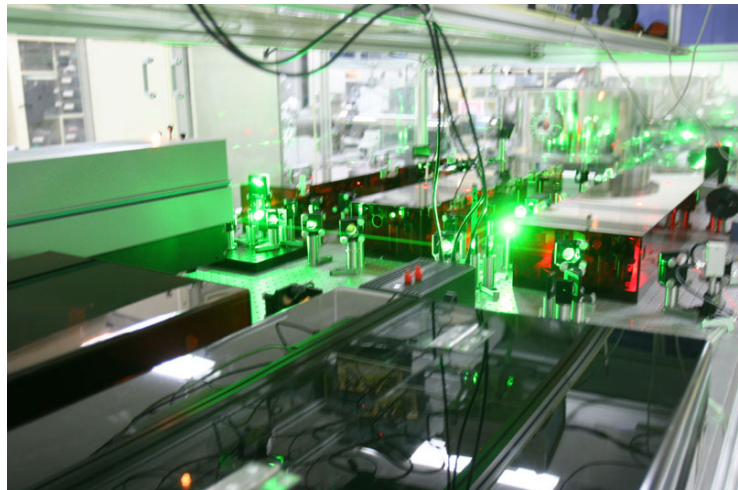


그림 1. 연구결과로 개발된 초고출력 레이저 장치; 레이저 펄스 지속시간: 30 펨토초, 레이저 펄스 에너지: 0.3 J, 레이저 펄스 반복율: 10 회/초, 레이저 출력: 10 테라와트, 레이저 중심파장: 820 나노미터, 레이저 발진 재질: 티타늄 사파이어 결정

액체질소로 냉각된 초음속 노즐을 통하여 중수소 기체를 통과시키면 온도가 약 80°K 정도로 냉각되며 이 기체가 노즐을 통과해 나가면서 단열팽창에 의해

온도가 더 내려가면서 분자가 서로 엉켜 클러스터를 생성하게 된다. 중수소 클러스터의 특성을 분석하기 위해서 HeNe 레이저 (632.8 nm)를 클러스터에 조사하여 산란되는 빔의 크기를 측정하였다 (그림 2).

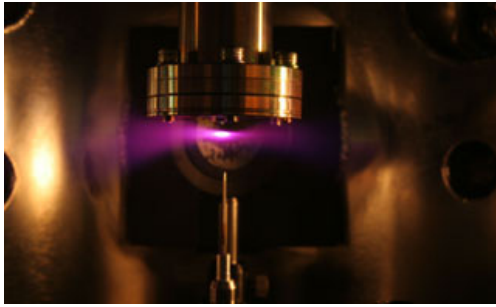


그림 2. 극초단 레이저가 중수소 클러스터에 조사되어 Rayleigh 산란빔을 발산하는 모습. 중수소 클러스터가 레이저 빔에 의해 가열되어 핵융합 반응을 일으키게 됨

Rayleigh 산란신호의 의존도는 압력의 2.8승에 비례하는 것으로 나타났다. 한편, 극초단 고출력 레이저빔을 클러스터에 조사하면서 액체 섬광계 (liquid scintillator)나 플라스틱 섬광계 (plastic scintillator)로 중성자 신호를 측정하고 Faraday cup으로는 챔버내부의 이온의 생성을 측정하였다 (그림 3). 중수소 클러스터의 경우, 레이저 펄스당 중성자의 생성량은 약 1000개정도인 것으로 나타났으며 이때의 기압은 50기압 이었다 (그림 4).

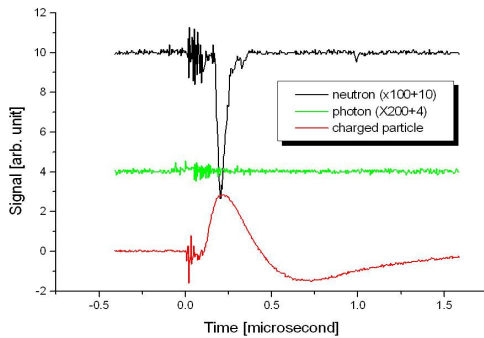


그림 3. 30fs 0.3J의 극초단 티타늄 사파이어 레이저로 중수소 클러스터를 조사했을때 측정된 신호: 액체섬광계로 측정한 중성자 신호 (위), photodiode로 측정한 레이저 신호 (중간), Faraday cup으로 측정한 이온신호 (아래)

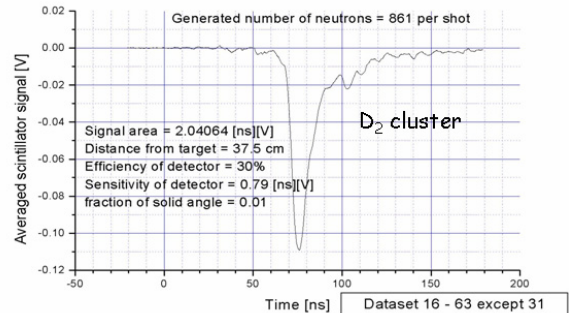


그림 4. 플라스틱 섬광계로 측정한 중성자 발생 신호; 레이저 펄스당 약 1000개 정도의 중성자가 발생한 것으로 나타남.

### 참고문헌

- [1] T.Ditmire et.al., Nature 398 pp489-492 (1999); T.Ditmire et. al., Physics of Plasma vol 7, 5 1993 (2000); J. Zweiback and T. Ditmire, Physics of Plasma, vol 8, 10 4545 (2001); J. Zweiback et. al. Physics of Plasma vol 9, 7 3108 (2002)
- [2] K.W.Madison, et.al., Physics of Plasmas vol 11, No 1 pp270-277 (2004)
- [3] G.Grillon, et.al., Phy. Rev. Lett. Vol 89, No 6 p065005 (2002)
- [4] G.Pretzler, et. al., Phy. Rev. E. vol 58, No 1 pp1165-1168 (1998)
- [5] D.Hilscher, et.al., Phy. Rev. E. vol 64, p016414 (2001)