

Efficient Generation of Energetic Protons from Thick Plastic Targets by using 10 TW Ti:Sapphire Laser Pulses

이기태, 이용우, 예권해, 이지영, 박성희, 차용호, 정영욱, 이병철, 이해준*

한국원자력연구소 양자광학기술개발부, *부산대학교 전자 전기 정보 컴퓨터 공학부

klee@kaeri.re.kr

CPA⁽¹⁾ 기술의 개발로 인한 극초단 고강도 레이저 기술의 급속한 발전은 상대론적 플라즈마라는 새로운 물리 분야를 개척하고 있다. 이 분야는 극한 조건에서의 물리 현상에 대한 연구로 주목을 받을 뿐만 아니라 기대되는 다양한 응용성으로 인해 많은 관심을 끌고 있다. 이 중에서도 특히 전자나 양성자 혹은 이온을 소규모 장치로써 높은 에너지로 가속하는 것은 차세대의 새로운 가속 기술로 기대되어 더욱 주목을 받고 있다.

고강도 레이저의 개발과 더불어 레이저를 이용하여 이온빔을 발생하는 연구가 진행되어 오고 있다. 최근에는 에너지⁽²⁾, 발생량, 에미턴스⁽³⁾, 에너지 폭^(4,5) 등에서 기존의 RF를 근간으로 하는 가속기에 근접하는 결과들이 발표되면서 실용화를 향해 한 걸음씩 다가서고 있다. 최근의 이런 결과들은 대부분 피코초의 펄스폭과 수백 Joule의 에너지를 가지는 대규모의 레이저에 의한 것이다. 이러한 레이저들은 반복률이 시간당 한 번 정도로 매우 낮기 때문에 실용화에는 어려운 점이 있다. 이에 비해 Ti:Sapphire 레이저는 10 Hz 이상의 반복률을 가지기 때문에 레이저 가속 기술이 보다 현실적으로 다가오기 위해서는 이를 이용한 가속 기술 개발이 중요하게 인식이 되고 있다. 하지만 극초단 레이저는 입자를 가속하는데 필요한 충분한 시간을 제공하지 못하기 때문에 피코초 레이저에 비해 훨씬 낮은 에너지를 보여주고 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위한 여러 연구들이 행해지고 있는데, 특히 레이저의 펄스 모양⁽⁶⁾이나 타겟의 위치⁽⁷⁾ 등을 조절함으로써 보다 최적화된 조건을 얻기 위한 연구가 진행되고 있다.

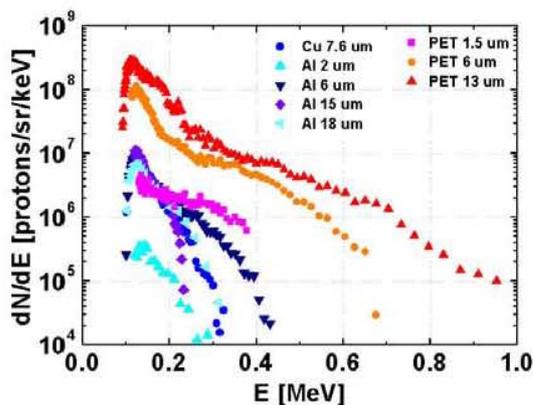


그림 1. Thomson Parabola Spectrometer로 얻은 타겟의 종류 및 두께에 따른 양성자의 에너지 스펙트럼. 이 실험에 사용된 레이저의 세기는 약 $2 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ 이다.

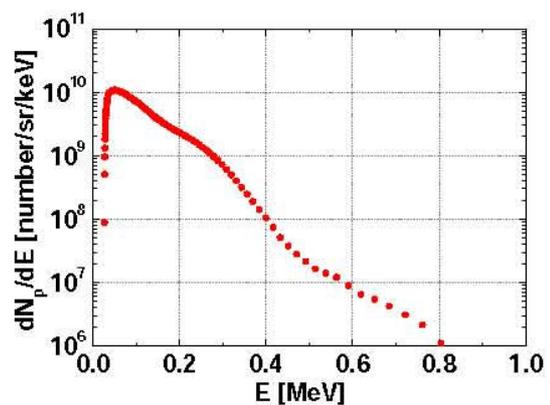


그림 2. WCM의 전기신호를 TOF 방식으로 계산하여 얻은 양성자 에너지 스펙트럼. 이 때 사용한 타겟은 PET 13 um이다.

한국원자력연구소에서는 pre-pulse를 가지는 10 TW의 Ti:Sapphire 레이저를 두께가 비교적 두꺼운 13 μm 의 PET (Polyester)에 집속하여 최대 약 1 MeV의 양성자를 발생하는데 성공하였다. 이 때 사용된 레이저의 세기는 약 $2 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ 로 normalized vector potential이 1 정도이다. 이 결과는 기존의 실험 결과와 비교할 때, 같은 레이저의 세기로 최대 에너지가 약 3배 정도 크며, 타겟도 일반적으로 사용하는 얇은 금속 박막이 아닌 두꺼운 플라스틱 타겟에서 더 큰 에너지가 발생한 것이다 (그림 1). 본 발표에서는 타겟의 종류 및 두께를 변화시켜가면서 최대 에너지의 양성자를 내는 레이저의 펄스 형태에 대한 연구 결과를 발표하고자 한다.

일반적으로 양성자의 에너지를 측정하기 위해서 Thomson Parabola Spectrometer나 Faraday Cup를 사용한다. 특히 CR39라는 plastic nuclear track detector를 사용하는 Thomson Parabola Spectrometer는 발생량 및 정밀한 에너지 측정에 유용하나, 실험 후 결과를 얻기까지 하루 정도가 소요되는 단점이 있다. Faraday Cup은 실시간 측정의 장점을 가지고 있지만, 다른 측정기 혹은 응용 실험과 병행할 수 없는 단점이 있다. 이런 문제를 극복하기 위해서 우리는 일반적으로 가속기에서 전자빔을 측정하기 위해 사용하는 Wall Current Monitor (WCM)를 사용하였다. 그림 2는 WCM을 이용해 측정한 양성자의 에너지 스펙트럼의 한 예이다. 이 결과와 Thomson Parabola 실험결과의 비교 분석을 통해서 실시간 비접촉 측정기으로써 WCM의 특성에 대해 발표하고자 한다.

1. M. D. Perry and G. Mourou, Science 264, 917 (1994).
2. R. Snavely et al., Phys. Rev. Lett. 85, 2945 (2000).
3. T. E. Cowan et al., Phys. Rev. Lett. 92, 204801 (2004).
4. B. M. Hegelich et al., Nature 439, 441 (2006).
5. H. Schworer et al., Nature 439, 445 (2006).
6. M. Kaluza et al., Phys. Rev. Lett. 93, 045003 (2004).
7. Y. Wada, Jap. J. App. Phys. 44, 3299 (2005).