

패러데이컵을 이용한 레이저 가속 양성자빔의 정밀 실시간 계측

Real time measurement of the laser accelerated proton beams with high accuracy by using a Faraday Cup

이지영*, 이기태, 이용우, 박성희, 차용호, 예권해, 조재홍*, 정영욱

한국원자력연구원 양자광학연구부

*한남대학교 물리학과 응용광학실

yw106707@kaeri.re.kr

강도가 매우 높은 레이저빔을 얇은 고체 target에 집속 시키면 빛에 가까운 속도를 가지는 전자들로 구성된 상대론적 플라즈마가 발생한다. 이 때 국부적으로 매우 센 전기장이 발생하게 되어 플라즈마 내의 이온들이 수 ~ 수십 MeV 이상의 고에너지로 가속된다. 이와 같은 레이저를 이용한 가속 기술은 기존의 거대한 가속 장치를 소규모로 만들 수 있기 때문에 고속의 플라즈마 진단, 암 치료, 등 다양한 분야에 응용될 수 있다는 기대가 높다. 레이저를 이용한 이온 가속은 TNSA(Target Normal Sheath Acceleration) 가속 모형이 개발 되고, 이를 이용한 좁은 에너지 폭의 이온빔을 얻는 등 많은 성과가 있다. 하지만, 아직 보다 높은 효율을 위한 실험 조건을 구하고 발생 원리를 보다 명확하게 규명하기 위한 노력들이 진행 되고 있다.

본 연구팀은 레이저 가속 양성자 빔의 실시간 계측을 위하여 Faraday Cup (FC)과 Wall Current Monitor (WCM)를 제작하여 활용하고 있다. 두 경우 모두 target에서 발생하여 계측기까지 도달하는 이온의 비행시간을 계측함으로써 에너지를 측정한다. 하지만 이온들이 전자와 함께 무리를 이루며 진행하기 때문에 높은 에너지의 양성자를 정확히 계측하기에 어려움이 있다. 전자를 제거하기 위한 mesh 형태의 고전압 전극을 진행 방향에 수직으로 설치하였다(그림1). 고전압 전극 사이의 거리는 5 mm로 하고, 전압은 0, 1, 2, 4 kV로 변화를 주었다. 또한 전압에 의한 양성자 진행 방향의 변화를 측정하기 위하여 고전압 전극과 FC 사이에 detector(CR39)를 설치하였다. 레이저 가속 양성자를 발생하기 위한 레이저는 펄스폭이 30 fs이고 10 TW의 Ti:Sapphire 레이저를 f/4.5 Off-axis-parabola mirror를 사용하여 수 um의 얇은 박막 target에 45 °의 입사각을 가지고 집속하였으며, 이 때 집속 세기는 약 2.2×10^{18} W/cm²이다. FC으로 측정하는 양성자 빔을 발생시키기 위한 target으로는 Al 6 um와 Mylar 12.5 um를 사용하였다.

그림 2는 전반적으로 FC 신호가 큰 Mylar 12.5 um target을 사용하여 전압의 변화에 대한 FC 신호와 양성자 빔의 에너지 스펙트럼의 그래프이다. 전체적으로 전압이 증가하면 FC 신호가 증가하는 경향이 있다. 하지만 최적의 전압 조건 이상에서는 FC 신호가 감소한다. 높은 양성자 에너지의 경우에 전압의 변화에 대한 FC 신호의 차이가 크게 측정된다.

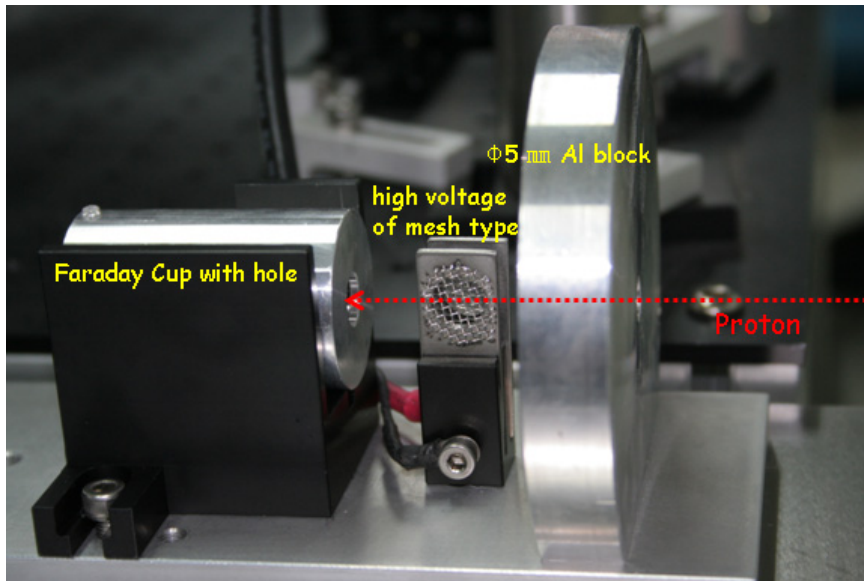


그림 1. Faraday Cup을 이용한 양성자 빔의 에너지를 실시간으로 측정하기 위한 장치

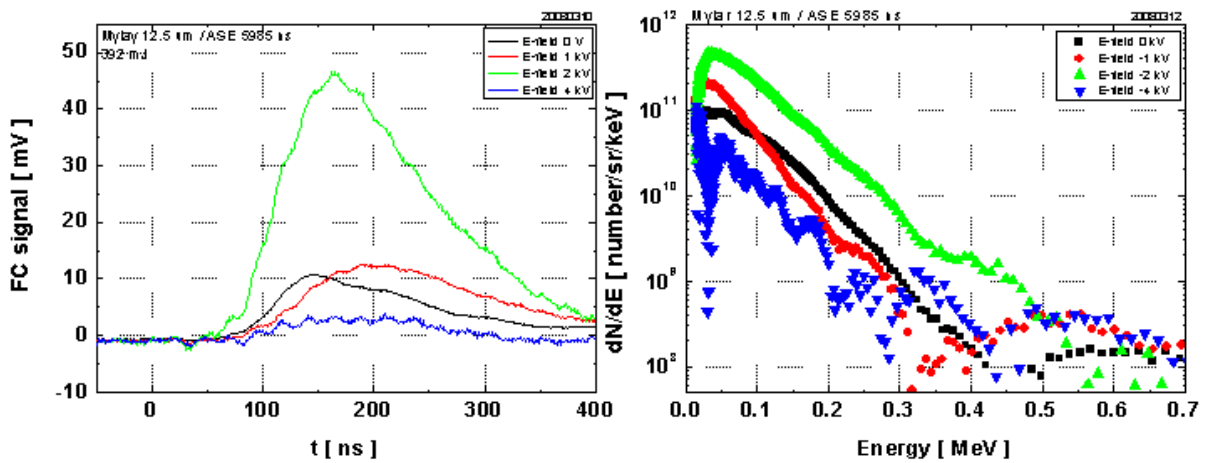


그림 2. Mylar 12.5 μ m target을 사용하여 전압의 변화에 대한 FC 신호와 양성자 빔의 에너지 스펙트럼