

비정 측정을 통한 고에너지 양성자의 에너지 결정

박연수 · 양태건 · 김재홍 · 황원택
한국원자력의학원

E-mail: freeysp@kirams.re.kr

중심어 (keyword) : 비정, 감속재, 에너지 측정 장치

서론

한국원자력의학원이 보유하고 있는 MC-50 사이클로트론은 양성자, 중양자, 헬륨 이온을 가속할 수 있는 원형가속기이며, 매년 약 50개 연구과제가 이 시설을 활용하고 있다. 양성자 이온빔의 경우, 20MeV에서 50MeV까지 고에너지 영역의 빔 인출이 가능하다. 일반적으로 하전 입자 빔의 경우 반도체 검출기를 이용하여 그 에너지 측정이 이루어지나, 고에너지 영역의 하전입자를 측정할 경우는 하전 입자에 대해서 활성 영역(Depletion region)이 큰 검출기가 마련되어야 한다는 어려움이 있다.

앞서 본 연구실에서 간편한 시스템으로 구성될 수 있는 Gafchromic 필름과 Bragg 피크와 이온빔 에너지의 관계를 활용하여 에너지 결정하는 방법을 발표한 바 있으나 [1], 그 방법은 측정 후 에너지를 확인하는 과정에서 작업의 번거로움이 있었다.

따라서 본 연구에서는 하전입자의 물질 내에서 비정이 그 에너지에 의존한다는 사실과 에너지 측정 확인 과정의 단순성을 고려하여, 비정 측정을 통한 고에너지 양성자 이온빔의 에너지 측정 장치를 고안했다.

재료 및 방법

이온이 물질을 통과할 때, 물질 내 전자 및 핵과 상호 작용하여 그 에너지를 점차적으로 잃게 되며, 물질이 충분히 두꺼운 경우에는 그 에너지를 모두 잃고 물질 속에서 멈추게 된다. 이때 단위 길이 당 이온의

에너지 손실을 저지능(Stopping power)이라고 하며, 이온의 전하 크기 및 에너지, 그리고 물질의 물리적 특징과 관련된 함수로 나타난다. 저지능의 역수를 이온이 물질 속에서 멈출 때까지 적분하면, 비정(Range)에 대한 정보를 얻을 수 있다. 아래 식 (1), (2)는 저지능과 비정의 식을 나타낸다.

$$S = - \frac{dE}{dx} \quad (1)$$

$$R(T) = \int_0^T \left[- \frac{dE}{dx} \right]^{-1} dE \quad (2)$$

이온의 투과율 측면에서 볼 때, 이온이 물질 속을 진행하다 비정 근방에 그 투과율이 급격히 떨어지게 된다. 이때 투과율이 반으로 떨어지는 깊이가 평균 비정으로 정의되는데 일반적인 비정 측정에 자주 사용된다.

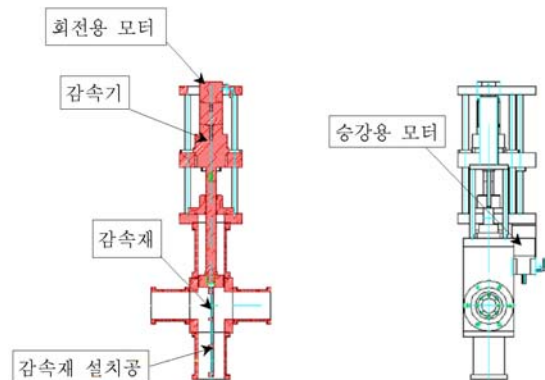


그림 1. 개발한 가속 이온빔 에너지 측정 장치의 측면도(좌)와 전면도(우)

실험적으로 비정을 측정하기 위해서는 이온의 진행 경로에 가변적인 두께를 가지는 감속재 물질과 투과된 이온빔 양을 결정할 수 있는 장치가 필요하다. 본 연구에서는 그림 1과 같은 구조로 비정 측정 장치를 설계 및 제작하였다.

비정 측정 장치는 감속재를 장착할 수 있는 구동축, 구동축을 움직일 수 있는 직선 구동 모터와 회전 구동 모터, 그리고 뒤 이온 전류 측정용 패러데이 컵으로 구성되어 있다. 넓은 영역의 감속재 물질 두께를 구현하기 위해 구동축에 서로 다른 두께를 가진 두 개의 감속재를 장착하여 이온빔 경로에 위치시킬 수 있도록 했으며, 특정 두께의 감속재에 대해서도 빔 경로에 대해 상대각을 가변시킬 수 있도록 했다. 감속재의 두께가 d 인 경우 감속재의 회전각이 θ 가 되면 이온이 진행하는 감속재의 두께(l)는 $l = d / \cos\theta$ 가 된다.

본 연구의 경우 감속재 물질로 알루미늄을 활용했으며, MC-50 사이클로트론에서 인출 가능한 20 - 40 MeV의 양성자에 대한 비정을 MCNPX 코드 [2]로 계산했고, 이 값을 측정된 비정 값과 비교함으로써 이온의 에너지를 결정했다.

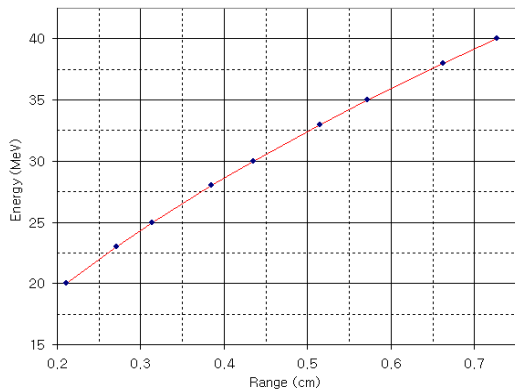


그림 2. MCNPX로 계산된 알루미늄 물질 내에서 양성자 에너지와 비정 관계

결과 및 고찰

MC-50 사이클로트론에서 인출된 양성자 에너지 측정은 30, 35 MeV에서 이루어졌다. 그림 3은 30MeV와 35MeV 인출빔에 대해 측정된 모습을 나타낸다.

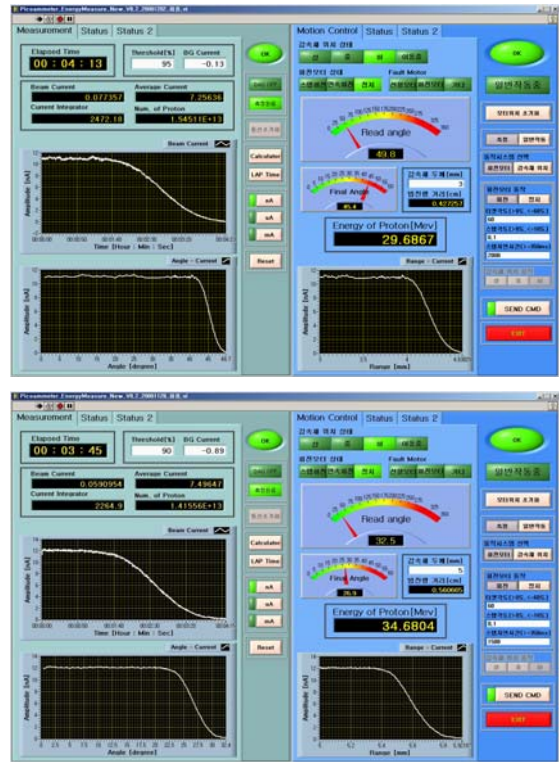


그림 3. 에너지 측정 장치를 이용하여 실제로 측정된 30MeV(위), 35MeV(아래) 양성자빔 에너지

분석창에서는 두께 변화에 따른 투과된 이온빔의 전류변화를 나타내며, 최종적으로 결정된 비정 값과 에너지 값을 보여 준다. 측정 결과 MC-50 가속기에서 지시된 30, 35MeV에 대해 각각 29.7, 34.7 MeV로 측정되었고 1% 이내에서 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

결론

본 연구에서 개발된 에너지 측정 장치로 MC-50 사이클로트론 시설에 부착하여 빠르고 정밀하게 인출된 이온빔의 에너지를 측정할 수 있었다. 이는 본 시설을 이용하는 많은 외부 연구자의 실험 전후에 빔 특성을 확인하는 데 많은 도움을 줄 수 있으리라 기대된다.

참고 문헌

1. 양태건. GAF 필름 이미지를 이용한 양성자 에너지 측정. 제10회 국제가속기 및 빔이용 워크샵. 2006.
2. <http://mcnp.lanl.gov/>