

## VXI Bus를 이용한 싸이클로트론의 빔 단면 표시장치

조영호\* 안두수\* 이한석\* 김유석\* 채종서\*  
 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 \* 한국 원자력 연구소 싸이클로트론 응용연구실

### Beam Crossectional Monitor of Cyclotron using VXI Bus

Young-Ho Cho\* Doo-Soo Ahn\* Han-Seok Lee\* Yu-Seok Kim\* Jong-Seo Chai\*  
 \* Sung Kyun Kwan Univ. \* KAERI Cyclotron Application Lab

**Abstract** - We made the beam crosssectional monitor system which was possible to display the ion beam crosssection extracted from accelerator on personal computer monitor. Previous beam profile monitor system could detect the central beam position with limited low beam current, but this developed beam crosssectional monitor system could operate at the relatively higher beam current. In addition we realized the real time data taking system by adopting the VXI system for beam size, central position and crosssection.

### 1. 서 론

현재 원자력 연구소에 설치되어 있는 MC-50 싸이클로트론은 인출에너지가 최대 51MeV인 에너지 가변형 경이온 가속장치로 기초과학, 공학, 생명과학, 산업분야 등에 다용도로 이용할 수 있는 장비이다. 특히 싸이클로트론을 산업분야에서 이용하고자 할 때는 표적물에 정확한 입사가 생산성에 직접적으로 관계되므로 정확한 빔의 계측이 선행되어야 한다. 그러나 현재 싸이클로트론에 장착되어 있는 빔 특성 진단장치는 저 전류의 빔 크기와 수송단의 중심부에서 벗어난 거리 정도의 데이터만을 획득할 수 있기 때문에 빔 인출을 위한 조정 시 문제점으로 대두되고 있다[1].

따라서 본 연구에서는 개선된 빔 단면 표시장치를 실제 제작하고, 이를 통해 얻어진 데이터를 VXI Bus를 통하여 실시간으로 획득, 분석하여 싸이클로트론을 운용하는 조정자(operator)에게 빔에 관한 정확한 정보를 제공함으로써 빔 인출 및 수송의 효율을 높일 수 있는 방법을 제시하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 MC-50 싸이클로트론

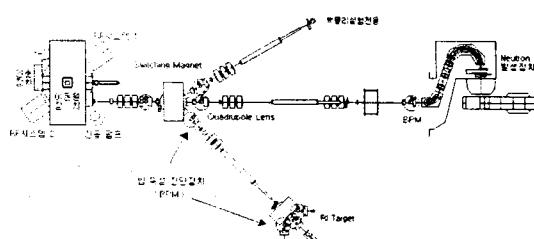


그림 1 MC-50 싸이클로트론

Fig. 1 MC-50 Cyclotron

MC-50싸이클로트론은 양성자를 최대 51MeV까지 가속 가능한 에너지 가변형 경이온 가속장치로 공학, 의학, 물리학 등에 이용할 수 있는 시스템이다. 싸이클로트론은 전자석, RF장치, 전공장치, 인출장치, 빔 수송장치등이 상호 연관적으로 결합되어 있는 비선형 특성이 강한 대규모시스템으로 그림 1과 같은 주요장치들로 구성되어 있다[2].

#### 2.2 MC-50싸이클로트론의 빔 수송단 진단장치

기존 MC-50싸이클로트론의 빔 진단장치는 그림 2와 같이 동기모터에 연결되어 있는 텅스텐 링이 회전을 하면 빔과 부딪히게 되고 전류를 획득하게 된다. 이때 획득된 전류는 다시 전압으로 변환하여 오실로스코프를 통하여 빔의 위치를 계측하게 된다. 그러나 이 방법은 수송단의 중심에서 빔이 벗어난 정도만을 오실로스코프를 이용하여 X축과 Y축 각각 두 개의 최고점 사이의 간격으로 측정을 하게 된다. 따라서 이 방법은 빔 수송단의 중앙에서 위치와 관계없이 빔이 벗어난 거리만을 측정할 수 있고, 진단장치의 내부는 진공상태이므로 냉각이 불가능하여 2 μA 이상의 출력에는 이용할 수 없다는 문제점을 갖는다[1].

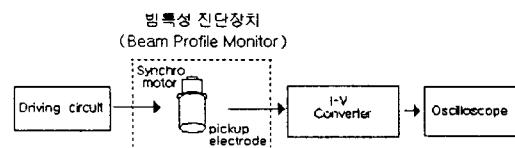


그림 2. 빔 특성 진단장치의 블록도

Fig. 2 Block diagram of BPM

#### 2.3 개선된 빔 단면 표시장치 제작

본 연구에서 기존의 문제점을 보완한 빔 단면 표시장치의 단면도를 그림 3에 간략히 나타냈으며, 포획채집단(pickup electrode)은 지름 70mm 반원형태로 두께 0.25mm인 텅스텐 선(wire)을 사용하였다. 텅스텐 선을 사용하므로써 기존의 빔 특성 진단장치로는 측정이 불가능했던 빔의 위치에 관한 정보까지도 획득 가능케 하였다. 제작된 빔 단면 표시장치는 회전수 단위로 제어가 가능하므로 양성자 빔과의 충돌에 의한 열 축적을 연속회전 방식보다 감소시킬 수 있어 고출력의 빔을 측정할 수 있는 장점을 갖는다. 그리고 일정시간이 경과하면 자체 정지 전자석을 동작시켜 여분의 회전을 일으키지 않도록 설계하여 방사화 문제를 해결하였다.

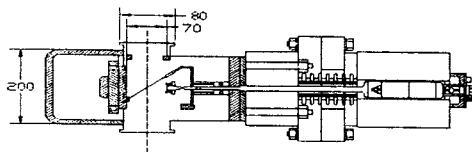


그림 3. 제작된 빔 단면 표시장치의 단면도

Fig. 3 A cross section of beam crossectional monitor

또한 제작된 빔 단면 표시장치는 빔 수송단에 대해 45° 경사로 부착시켜, 한 번의 회전만으로 빔 수송단을 기준으로 수평, 수직 성분의 측정이 가능하도록 하였다.

#### 2.4 VXI Bus를 이용한 데이터 획득

본 연구에서는 제작된 빔 단면 표시장치로부터 실시간으로 데이터를 처리하기 위해서 VXIBus시스템[3]을 도입하였으며 전체적인 H/W구성의 블록도는 그림 4와 같다.

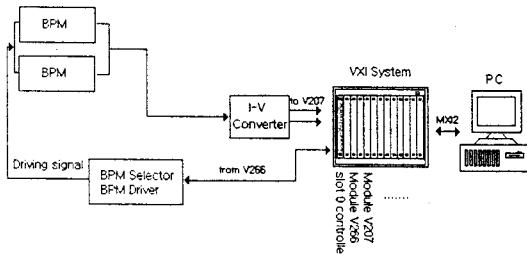


그림 4. 전체적인 H/W 장치 구성

Fig. 4 Construction of H/W device

빔 단면 표시장치내의 텅스텐 선에서 획득되는 전류는  $\mu\text{A}$ 이하의 매우 작은 값이므로 가변형 증폭기 형태의 전류-전압 변환기를 통해 0~10V까지의 전압으로 V207모듈로 인가된다.

V207모듈은 최대 500,000샘플/초를 얻을 수 있는 고성능 A/D변환 모듈로써 입력채널은 MUX를 이용해 최대 96채널까지 처리할 수 있다. 실제 실험에서는 동기모터에서 발생되는 트리거 신호와 빔에 의해 텅스텐 선에 유기된 아날로그 전압을 입력으로 받아들인다. 샘플링은 텅스텐 선의 굽기를 고려해 회전당 600번 샘플링하였고 0.31mm의 분해능을 갖는다. 또한 샘플링된 데이터들은 LabWindows/CVI를 통하여 패널형태로 프로그램하여 PC를 통해 싸이클로트론 운영자에게 GUI환경으로 제공된다.

V266모듈은 최대 64채널을 이용할 수 있는 D/A변환 모듈로써 본 연구에서는 동기모터의 시작신호로 이용하였다. 모터의 회전수는 빔과의 충돌에 의해 발생되는 열을 최소화하기 위해 회전수를 작게 하여야만 한다. 따라서 동기모터는 4회전을 사용하였으며 이는 모터의 비선형적인 회전속도를 고려하여 최단 시간 내에 정속회전을 얻기 위한 회전수로 실제 데이터의 획득은 4회전째만을 취하게 된다. 그림 5에는 지금까지 기술한 데이터 획득 과정에 대한 흐름도를 나타냈다.

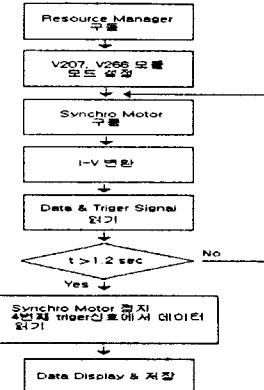


그림 5. 데이터 획득 흐름도

Fig. 5 Flow chart of data acquisition

#### 2.5 데이터의 분석 및 처리

MC-50 싸이클로트론에 있어 빔 전류의 시간적 분포는 1.5ns이며 40ns에 해당하는 주기성을 가지지만, 일반적으로 빔의 전류는 측정장치의 시간 분해능이 ns 이상이므로 각각의 빔다발이 한 주기당 기여하는 효과적인 전류(rms)로 측정하게 된다[4].

본 연구에서는 rms형태의 빔 전류를 측정하며 측정된 전류를 I-V변환기를 통해 전압의 형태로 데이터를 얻을 수 있도록 하드웨어를 구성하였다.

빔단면 표시장치내에서 회전하는 텅스텐선은 한 번의 회전신호에 의해 600개의 데이터를 획득하는데, 이는 X축, Y축에 대해 각각 300번 획득함을 의미한다. 따라서 회전단면을 따라서 0.31mm마다 데이터를 얻게 된다. 그림 6, 7은 이 방법으로 획득된 데이터를 그래프로 나타냈다.



그림 6. X축 데이터

Fig. 6 Data of X axis

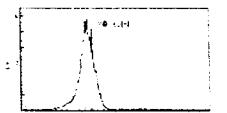


그림 7. Y축 데이터

Fig. 7 Data of Y axis

빔수송단의 단면은 지름 70mm의 원형이며, 빔의 단면은 일반적으로 원형 또는 타원형 형태를 유지한다. 따라서 빔의 실제 모양을 컴퓨터 화면에 표현하기 위해서는 텅스텐 선으로부터 얻어진 1차원적인 데이터를 2차원 또는 3차원적으로 변환해야 한다. 보통 그림 8.9와 같이 1차원적으로 양자화된 데이터를 2차원적으로 표현할 때는 유사단면루틴(pseudo cross-sectional routine)을 이용하는 방법이 많이 이용된다[4]. 본 연구에서도 유사 단면루틴법을 이용하였고, 식 (1)~식 (3)의 과정을 이용해 계산된다.

$$X = \frac{\sum_{i=0}^N X_i}{N} \quad (1)$$

단.  $X$  : X축 평균값,  $X_i$  : i번째 X축 데이터.

$N$  : 데이터 개수

$$Y = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j}{N} \quad (2)$$

단.  $Y$  :  $Y$ 축 평균값,  $Y_j$  :  $j$ 번째  $Y$ 축 데이터  
 $N$  : 데이터 개수

$$D(i,j) = \frac{X_i}{X} \cdot \frac{Y_j}{Y} \quad (3)$$

단.  $D(i,j)$  : 그래프 평면상에서  $i, j$ 좌표값의  
 데이터 값

## 2.6 실험결과 및 분석

본 연구에서 제작된 빔 단면 표시장치에서 얻어진 데이터는 2차원적인 형태를 취하게 되는데 빔의 분포 및 세기를 측정하기 위해 3차원 형태로 데이터를 분석할 수 있는 PAW 코드를 이용하였다[5].

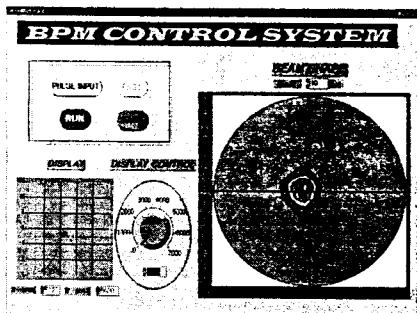


그림 8 계측된 이온빔의 패널

Fig. 8 Panel of ion beam measurement

그림 8은 계측용 소프트웨어인 LabWindows/CVI[6]를 이용하여 제작된 빔 단면 표시장치 패널이다. 패널의 왼쪽 상단에는 빔 단면 표시장치를 동작할 수 있는 제어 스위치들이 있고, 왼쪽 하단에는 빔 단면 표시장치의 동기모터로부터 얻어지는 600개의 빔 데이터를 보여주는 가상 오실로스코프가 있다. 또한 패널의 우측에 위치한 원도우는 빔의 형태, 세기, 정 중앙에서의 절대 위치를 보여주는 그래픽화면으로 싸이클로트론 조정자가 빔의 조정과정에서 사용할 수 있도록 제작하였다.

패널의 RUN 스위치를 클릭하면 VXI시스템의 V266 모듈을 통해 동기모터에 OV 시작신호가 인가되어 동기모터는 1.2초 동안 구동하다가 정지한다. 동기모터가 동작하면 텅스텐 선으로부터 약 7000개의 데이터와 4개의 트리거신호가 V207모듈의 2개의 채널을 통해 빔 단면 표시장치 패널에 들어오게 된다.

빔 단면 표시장치는 텅스텐 선의 보호와 동기모터의 정속회전 구동을 위해 4번짜 트리거신호와 같은 타이밍에 들어온 빔 데이터를 사용하여 실제 빔의 평면적인 모양과 빔의 내부분포, 크기 및 위치를 판별하였다. 또한 빔의 세기는 10단계로 나누어 각각에 대해 색을 부여하여 그래픽화면에 표시하게 하였다. 따라서 빔을 조정하는 과정에서 손쉽게 참고할 수 있으므로 빔의 포커스(focus) 과정에 아주 유용하게 이용될 수 있다. 그림 8은 2μA의 빔 세기에서 빔 단면 표시장치를 이용해 빔 조정을 완료한 상태를 나타냈다.

그림 9는 그림 8의 빔을 전공 챔버안에 장착된  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에 입사시켜 빔의 모양을 확인한 결과이다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 본 연구에서 제작된 빔 단면 표시장치는 빔의 모양과 위치를 간편히 확인할 수 있어, 실제

빔의 조정과정에서 유용하게 사용될 수 있음을 입증할 수 있었다.



그림 9 실제 이온빔의 사진( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Fig. 9 Picture of ion beam at  $\text{Al}_2\text{O}_3$

## 3. 결 론

본 연구에서는 MC-50 싸이클로트론의 빔을 계측하기 위해 빔 단면 표시장치를 제작하였고, 획득된 데이터는 VXIBus를 통해 실시간으로 처리하였는데 얻어진 결론은 다음과 같다.

기존 MC-50 싸이클로트론의 빔의 계측 장치는 빔이 중심부에서 떨어진 위치와 낮은 빔 전류에서만을 계측할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 제작된 빔 단면 표시장치는 내부의 텅스텐 포획채집단을 변형시킴으로써 빔의 모양과 세기까지도 관측할 수 있으며, 60μA의 빔 출력력에서도 데이터를 계측할 수 있었다. 또한 획득된 데이터는 VXI시스템을 이용해 싸이클로트론 운영자에게 GUI형태로 실시간에 전달되므로 빔의 모양 및 위치제어에 유용하게 이용될 수 있었다. 본 연구에서는 빔의 분포, 모양과 위치를 정확히 계측하는 것에 목적을 두었지만, 향후 싸이클로트론의 자동화를 수행할 때 중요한 계측자료로 이용될 수 있을 것이라 생각된다.

## (참 고 문 헌)

- [1] 채종서, 김유석, 하장호, 홍성석, 이민용, 박찬원, "MC-50이클로트론운영", KAERI/MR-298/97, pp. 77-79, 과학기술처, 1997.
- [2] MC-50 Cyclotron Manual, Scanditronix, 1984.
- [3] Robert T. Cleary, "A New CAMAC and VXIbus High Performance High Performance Highway Interconnect", IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. 44, No. 3, pp. 393-397, June, 1997.
- [4] C.S. Lee, Y.S. Kim, J.H. Lee, J.S. Chai and Y.S. Kim, "The Time-structure Measurement of 50 MeV Pulsed Proton Beam using a Single Toroidal Coil", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 32, pp. 20-24, 1998.
- [5] P. Blomhard, Z. Gelbart, "High Current Beam Profile Monitor", Proc. 11th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications, Tokyo, pp. 465-467, 1987.
- [6] LabWindows, National Instruments Corporation, 1996.