

## 포항방사광가속기 빔위치 정렬 용 정밀전원장치 개발

남상훈, 서재학, 하기만, 황정연, 고인수  
 포항가속기연구소, 포항공과대학교

### Development of High Current Shunt Regulator for Beam Based Alignment in PLS 2GeV Storage Ring

S. H. Nam, J. H. Suh, K. M. Ha, J. Y. Huang, and I. S. Ko  
 Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH, Pohang 790-784, Korea

**Abstract** - Total 144 quadrupole magnets are installed in PLS. The magnets are connected in series with groups of two or 24. Each group is powered by a high-precision constant-current DC power supply. For the purpose of the beam based alignment of beam position monitors in the PLS, it is necessary to adjust the current of each quadrupole independently. To achieve this, a high current shunt regulator is designed. It can shunt a maximum 50 A of the quadrupole magnet current. The shunt regulator is programmable and the current amplitude can be varied linearly with a 12-bit resolution. Power transistors are used in the current shunt regulator. The operation of transistors is in linear region. The RS232C protocol is used for remote control and status report of the shunt regulator to the main control centre of the PLS. Preliminary result indicates that the calibration accuracy of the beam position monitor can be achievable in less than 10 $\mu$ m.

#### 1. 서 론

포항방사광가속기는 선형가속기와 저장링으로 구성되어 있다. 선형가속기에서 가속된 전자빔은 저장링으로 입사된 후 저장된다. 저장링에 전자빔을 저장하기 위한 환경 조성에 각종 전자석이 사용되는데 그 중 사극전자석의 기능이 중요하다. 사극전자석의 주위에는 빔의 현재 위치를 측정하기 위한 빔위치측정기가 설치되어 있다. 빔위치측정기로 측정된 자료를 바탕으로 빔의 운동을 예측하고 사극전자석의 자장 등을 조정한다. 저장링에 저장된 전자빔은 사극전자석의 정 중앙에 위치할 때 최대의 성능을 낸다. 사극전자석과 빔위치측정기는 기계적인 측량을 거쳐 정밀하게 정렬되었으나 정확도에 한계가 있으며 항상 오차가 존재한다. 이 측정 오차를 줄이기 위하여 전자빔이 저장된 상태에서 각

사극전자석 전류를 변화시킴에 따라 나타나는 빔위치 데이터가 이용되며 이를 빔위치 정렬이라 한다. 그러나 포항방사광가속기의 사극전자석들은 2개 또는 24개의 직렬 군으로 연결되어 있으므로 사극전자석의 개개의 전류 조절은 불가능하다. 사극전자석 전류의 독립적인 조절을 가능하게 하기 위하여 전력 트랜지스터를 사용한 전류분로장치를 개발한 후 개개의 사극전자석에 병렬로 설치하여 빔위치 정렬을 성공적으로 달성하였다.

#### 2. 사 극 전 자 석

포항방사광가속기 저장링의 사극전자석은 Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 6종으로 구분된다. 저장링은 12개의 주기로 구성되었으며 각 주기마다 종류 별로 2개씩 총 12개의 사극전자석이 설치되어 있다. 그러므로 저장링에는 총 144개의 사극전자석이 설치되었다. Q1, Q2, Q3은 각각 2개의 전자석이 직렬로 연결되어 있고 Q4, Q5, Q6은 각각 24개의 전자석이 직렬로 연결되어 한 개의 전원장치로 구동된다. 따라서, 개별적인 전류 조절이 불가능하다. 빔위치 정렬에는 개별적인 사극전자석 전류 조절이 요구된다. 표 1에 사극전자석의 주요 특성을 보여 준다. 표 1에서  $R$ 은 전자석 저항,  $V_{Max}$ 는 전원 장치의 최대 출력전압이다.  $I$ 와  $V_{Drop}$ 은 전류와 전압강하로 2 GeV 운전 시의 값이다.

표 1. 포항방사광가속기 사극전자석 특성

Magnet	Qty	R[ $\Omega$ ]	V Max. [V]	I[A]	V Drop [V]
Q1	24	0.257	83.9	35.5	9.10
Q2	24	0.429	133.5	83.4	35.76
Q3	24	0.318	101.4	95.85	30.43
Q4	24	0.021	326.2	339.7	6.97
Q5	24	0.027	421.7	415.7	11.16
Q6	24	0.016	268.0	186.0	3.05

### 3. 전류분로장치

#### 3.1 설계 사양

범위치 정렬 용 전류분로장치의 설계 사양은 다음과 같다.

- 분로 전류 범위는 전자석 전류의 5-10%일 것,
- 사극전자석 개개의 전류 조절이 가능,
- 원격 제어가 가능,
- 전류분로장치 동작 시 주전류의 안정도( $\pm 0.005\%$ )와 리플( $\pm 0.05\%$ )을 유지할 것
- 과도 상태에서 저장빔의 질을 유지할 것.

표 1에 나타낸바와 같이 전자석 전류의 값은 최소 36A, 최대 416A이다. 각 전자석 종류 별로 분로 전류 범위를 설정하는 것은 제작상 불리하다. 따라서, 분로장치를 15A와 50A 두 가지 종류로 설계하면 모든 사극전자석의 필요한 분로 전류범위의 설정이 가능하다. 전류분로장치에 활성 영역에서 동작하는 전력 트랜지스터를 적용하여 사극전자석과 병렬 연결하여 사용하면 독립적인 전류제어가 가능할 뿐 아니라 원격 제어가 용이하고 신뢰성이 있는 장치를 설계할 수 있다. 사극전자석 전원장치의 전류 안정도는  $\pm 0.005\%$ , 전류 리플은  $\pm 0.05\%$ 이다. 전류분로장치는 주전원장치의 요구된 안정도와 전류 리플 사양을 유지하기 위한 폐회로 제어가 가능하다. 순간적인 과대한 전류 변화를 방지하기 위하여 전류분로장치의 제어기에는 또한 하드웨어와 소프트웨어를 이용한 전류의 상승 및 하강을 시간적으로 천천히 구동시킬 수 있는 기능이 필요하다.

### 3.2 전류분로장치의 설계

#### 3.2.1 장치의 구성

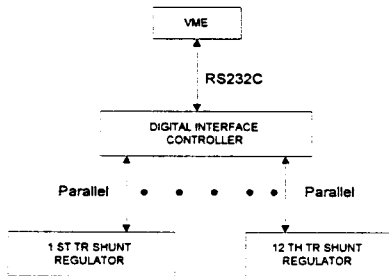


그림 1. 전류분로장치의 구성도

포항방사광가속기 저장링은 12개의 주기(또는 셀)로 구성되어 있다. 그림 1은 1셀에 해당되는 분로장치의 구성도를 나타낸 것으로 Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 전자석에 해당하는 분로장치는 각 종류 별로 2대 씩 12대가 있다. 1대의 디지털 접속기가 가속기의 주제어기인 VME와 직렬 통신을 하면서, 각 분로 장치와는 병렬 통신을 하게 구성되었다. 이와

동일한 시스템이 저장링의 각 셀 마다 설치된다.

#### 3.2.2 트랜지스터 전류분로장치

그림 2는 개략적인 전류분로장치의 개념도이다. 그림 2에서와 같이 전류분로장치는 전력 트랜지스터, 전류 검출기, 전류 제어기, 디지털 입력 부로 구성되어 장치를 싸고있는 금속 외함과 외부 회로와는 전기적으로 절연되었다. 분로장치는 초기 과도 상태에서 저장된 빔에 영향을 주지 않도록 하기 위하여 소프트웨어와, 하드웨어를 이용 분로전류의 상승 및 하강이 천천히 이루어지도록 제어한다. 또한 분로장치 동작 시 해당 사극전자석 전원장치의 출력 전류가 안정도를 유지할 수 있도록 제어하여 저장된 빔을 손상 없이 유지시킨다.

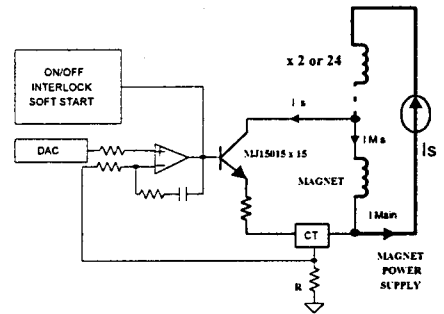


그림 2. 트랜지스터 전류분로장치 개념도

#### 3.2.3 디지털 접속기

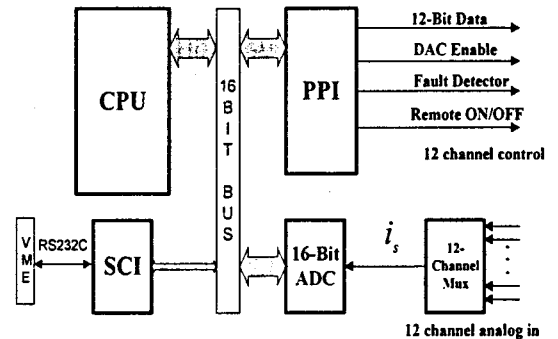


그림 3. 디지털 제어기 구성도

그림 3은 디지털 제어기의 구조도를 보여준다. 위 구조는 1대의 제어기로 12대의 전류분로장치와 병렬 통신으로 다중 제어가 가능하도록 되어있다. 디지털 제어장치의 주요 기능은 다음과 같다.

- Main CPU : TMS320C32-50
- 12-Channel 12-Bit DAC Controller
- 12-Channel Mux/16-Bit ADC
- One UART, Display
- 12 Digital Input/Output Port

제어기로는 TI사의 TMS320C32 디지털 신호처리기

(DSP)를 사용하였다. 원격 제어를 위하여 VME 컴퓨터와의 통신은 RS-232C를 적용하였다.

#### 4. 실험 결과

그림 4는 저장빔 에너지가 2 GeV에서 전류분로 장치를 켜(ON)와 켜(OFF) Q2 전자석의 전류(그림 2의  $I_{M2}$ ) 변화이다. 그림에 보이는 것처럼 분로 장치의 동작 및 동작 정지 시에 과도 상태가 존재한다. 그러나 이 과도 상태는 저장된 전자빔에 큰 영향을 주지 않았다. 분로 장치의 동작 시 과도 상태 시간을 제외하고는 주전류의 안정도( $\pm 0.005\%$ )가 유지되었다. 그림 5에는 Q2 전자석의 전류 리플을 보여준다. 그림의 상단은 분로 장치가 동작되지 않을 때의 파형이며 하단은 동작 시의 파형이다. 이 파형들은 2 GeV에서 측정된 결과이다. 이때 Q2 전자석전류와 분로 장치의 전류값은 각각 83.43A와 8.75A로 10.48%의 전류가 분로되는 상태이다. 그림에서 비교할 수 있는 바와 같이 두 리플 파형의 진폭은 거의 동일하며 분로 장치의 설치가 주전원장치 리플에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 사극전자석 전원 장치의 전류 리플 사양은  $\pm 0.05\%$  이다.

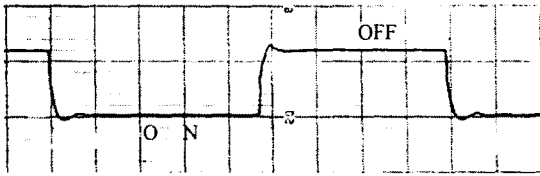


그림 4. 분로장치 동작 시의 Q2 전자석 전류의 변화(3.0 sec/Div.). 분로장치 동작 시 Q2 전자석 전류는 82.481A이고 동작 정지 시에는 83.352A이다.

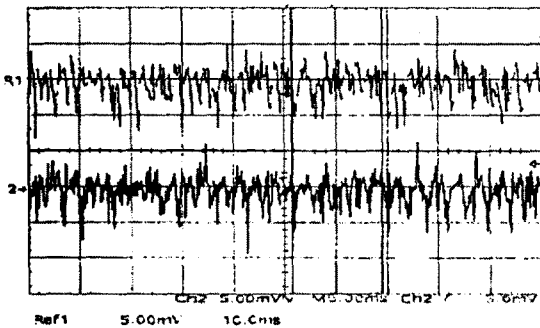


그림 5. Q2 전자석 리플 파형 (0.075 A/Div., 5 ms/Div.). 상단 : 동작 정지, 하단 : 동작 시

전류분로 장치는 직류모드 뿐만 아니라 교류모드로 운전이 가능하며 그 동작 예가 그림 6에 보여졌다.

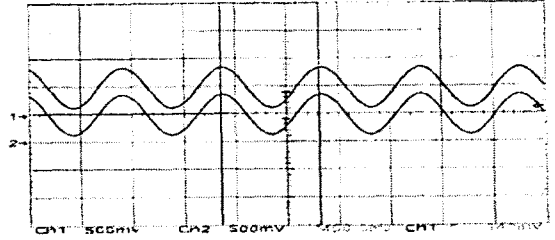


그림 6. Q2 분로 장치의 10Hz 교류 동작 시의 전류 명령(상단)과 출력 전류(하단) 파형. Q2 전자석 전류: 83.36A, DC 오프셋 분로전류: 1.22 A, 교류 전류: 1.8 A.

포항방사광가속기에는 총 108개의 빔위치측정기가 설치되어 있다. 전류분로 장치를 이용한 빔위치 측정기의 오차 측정에서  $10\mu\text{m}$  정렬 정확도를 얻을 수 있었다. 빔위치측정기의 정확한 정렬은 또한 저장된 전자빔의 평형 궤도의 변위(Closed Orbit Distortion)를 감소시킨다. 현재 평형 궤도의 변위는 실효치로  $500\mu\text{m}$  이상이다[1]. 우리의 최종 목표는 모든 빔위치측정기의 오차를  $10\mu\text{m}$  이하 교정하며, 또한 평형 궤도 변위를 실효치  $50\mu\text{m}$  이하로 하는 것이다.

#### 5. 결론

포항방사광가속기 저장링에 설치된 빔위치측정기의 정렬 정확도를 높이기 위하여 빔위치 정렬용 전류분로 장치를 개발하고 설치하였다. 빔위치 정렬 시스템은 개개의 사극전자석 전류의 제어가 요구된다. 빔위치 정렬을 위하여 트랜지스터를 이용한 고전압 전류분로 장치가 개발되었다. 개발된 분로 장치는 전자석전원의 전류 사양을 유지하면서 약 10% 까지 전류의 분로가 가능하다. 기본 시험에서 분로 장치는 만족할 만한 성능을 나타냈다. 빔위치측정기의 정렬 오차를 실효치로  $10\mu\text{m}$  이내로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 이는 평형 궤도 변위를 실효치  $50\mu\text{m}$  이내로 향상시킬 수 있음을 의미한다.

#### 6. 지원

이 작업은 포항제철과 과학기술처가 예산 지원하였다. 이 작업에 도움을 준 팀 동료 정성훈, 한성훈에게 감사드린다.

#### (참고 문헌)

- [1] J. Y. Huang, D. H. Jung, S. H. Nam, M. Yoon, I. S. Ko, "Beam Based Offset Calibration of the PLS BPM," PAC97, Vancouver, Canada, May 1997.