

4GSR 가속기의 부스터 링을 위한 전자석 전원 공급장치

김민재¹, 최윤결¹, 김범준¹, 김영선¹, 최민규¹, 김민성²
 포항가속기연구소¹, 동국대학교-서울캠퍼스²

Magnet Power Supplies (MPS) for the Booster Ring in the 4GSR Accelerator

Min-Jae Kim¹, Yoon-Goel Choi¹, Beom-Jun Kim¹, Yeong-Seon Kim¹, Min-Kyu Choi¹,
 Minsung Kim²
 Pohang Accelerator Laboratory/POSTECH¹, Dongguk University- Seoul Campus²

ABSTRACT

이 논문은 4GSR 가속기 중 전자석 전원장치 설계에 대한 내용이다. 저장링의 전자석 전원장치는 Magnet의 총 28개의 주기적인 섹터와 28곳에 분산 배치된 개별 Magnet의 전력을 공급하며, 저장링(Storage-Ring)의 모든 Magnet은 각개별 MPS (Magnet Power Supply)에 의해 전력이 공급된다. 부스터링(Booster-ring)의 경우 2Hz Ramping 운전을 하며, 마그넷을 직렬 연결 구성하여 직렬 연결된 전자석에 동일한 전류를 공급함에 따라 동일한 전자석 B-field 생성하기 유리하도록 구성하였다. 특히, 다이폴 전자석은 전자석을 직렬로 구성할 경우 MPS의 출력 전압이 3kV 이상 된다. 따라서 부스터링 다이폴용 MPS는 용량을 줄이기 위해 마그넷을 4도체, 4병렬로 구성하였고, 출력전압은 800V이하로 구성, 4대의 MPS로 다이폴 전자석을 구동하도록 설계하였다.

전자석 전원장치를 필요하다. 하지만 Ramping 운전시 출력 케이블의 EMI 및 Parasitic Inductance를 상쇄하기 위한 구성이 어려움, 고절연 특수 케이블 사용, 전자석의 3kV 이상의 고전압 절연이 요구되는 단점을 가지게 된다. 전자석 전원장치의 부담을 줄이고, 상기 단점을 극복하기 위해 이극 전자석의 연결은 <그림 2>와 같이 구성한다.

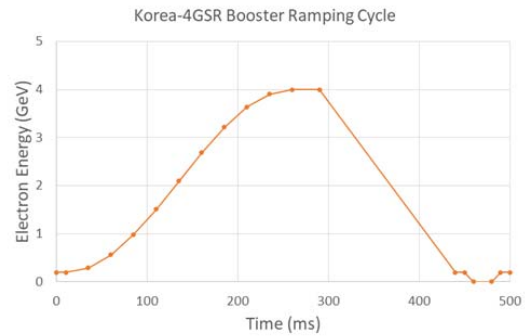


그림1 Radiation Dose Monitoring System

1. 서론

4GSR(4 Generation Storage Ring, 4GSR)은 기존의 3세대 저장링에 비해 더 높은 밝기와 코히어런스를 제공하여, 다양한 과학 및 기술 분야에서 혁신적인 연구를 가능하게 한다. 이중 전자석 전원장치(Magnet Power Supply, MPS)는 이러한 고성능 4GSR의 핵심 구성 요소로, 전자빔의 정밀 제어와 안정성을 보장한다. 본 논문에서는 한국에서 진행 중인 4GSR 가속기 건설 프로젝트를 중심으로 부스터링 전자석 전원장치의 설계 및 구성에 대해 논의하고자 한다.

표 1 부스터링 대용량 전자석 필요 사양 및 연결 구성

Magnet Type	Magnet Name	Magnet Qty	Total Resistor (Ohm)	Total Inductance (H)	Peak Current (A)	Peak Voltage (V)	Peak Power (W)	Average Power (kW)	Regenerative Energy @1 cycle (J)	Configuration
		Total								
Dipole Bending	BD Strong	56	0.3196	0.2478	465.7	785.55	365,829	24.9	23219	56 Series/ 4 Parallel
	BD Weak	4	0.0457	0.0354	385.1	92.80	35,737	2.433	2269	2-Series, 2-Series
Quadrupole	Quad54	54	2.2410	0.6329	147	779.00	11,4513	15.34	4497	34-Series
	Quad4	12	0.1660	0.0469	147	57.70	8,482	1.70	500	2-Series, 2-Series
Sextupole	S Strong	30	0.0038	0.1500	113.9	102.77	11,706	-	-	30-Series
	S Weak	30	0.0038	0.1500	38.2	34.47	1,317	0.27	0.12	30-Series

2. 부스터링(Booster-ring) 전자석 전원장치

부스터링(Booster-ring)의 경우 <그림 1>와 같이 2Hz Ramping 운전을 하며, 시운전을 용이하게 하기 위해 직렬 연결 구성하여 직렬 연결된 전자석에 동일한 전류를 공급함으로써 동일한 전자석 B-field 생성하기 유리하도록 구성한다.

<표 1>은 각 대용량과 소용량의 부스터-링 전자석 전원장치의 직류 운전시 필요 사양 및 연결 구성을 나타낸다. 이극 전자석 (Dipole Bending)의 경우 모두 56개의 전자석의 직렬 연결이 필요하며, 이를 모두 직렬 연결 후 2Hz Raping 운전을 하게 되면, 출력전압 3kV 이상의 1MW(peak)급의

3. 부스터링 2극 전자석 및 전원장치 연결 구성

부스터 링 이극 전자석의 상/하 권선 모두 2개의 개별 권선, 총 4개의 권선으로 구성하며, 각 이극 전자석의 한 개의 권선씩만 모두 직렬 연결하여 총 4대의 전자석 전원장치를 동시 운전함(병렬 운전)으로써 부스터 링 이극 전자석에 전력을 공급한다 <그림 5>. 또한 <그림 4>와 같이, 직렬 연결 시 상/하 권선을 교차 연결 (1번 권선(상) -> 3번 권선(하) -> 2번 권선(상) -> 4번 권선(하)) 하여 전자석 전원장치의 출력 차이가 발생하더라도 전자석에 동일 B-field를 형성하여 시운전을 용이하도록 한다. 전자석 사이에 연결을 위한 케이블은 서로 전류의 방향이 반대로 되도록

구성하여 Parasitic Inductance 및 EMI를 저감 하도록 구성한다.

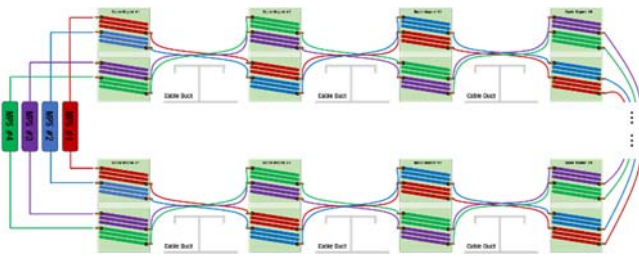


그림2 부스터링 이극 전자석 연결 구성도

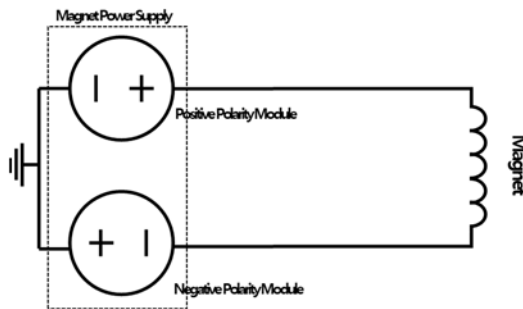


그림3 부스터링 전자석 전원장치 내부 모듈 구성

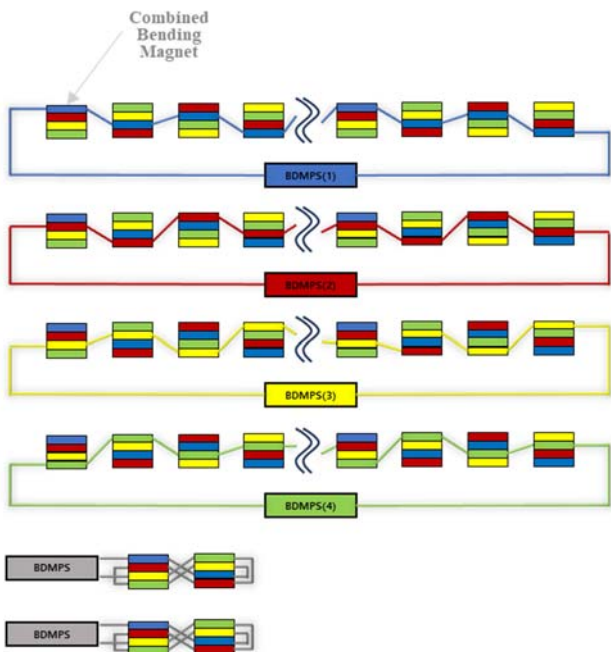


그림4 부스터링 전자석 전원장치 연결 구성

<그림 3>의 그림과 같이 전자석 전원장치의 내부 구성을 2개의 내부 모듈로 직렬 연결하고 한 개의 모듈은 양전압(Positive Polarity), 다른 한 개의 모듈은 음전압(Negative Polarity)을 출력하며 모듈 중간에 접지를 연결한다. 이를 통해 출력 케이블 및 전자석은 접지부터 전자석 전원장치의 출력 전압의 절반의 해당하는 절연

내력을 가질 수 있도록 할 수 있으며, Ramping 운전시 전자석으로부터 케환되는 에너지를 받아주는 전자석 전원장치의 Capacitor Bank의 정격 전압을 낮출 수 있어 구성에 유리한 장점을 가지게 된다.

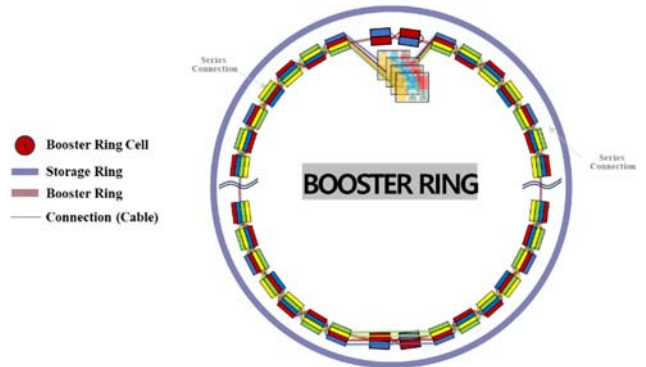


그림5 부스터링 전자석 전원장치 연결 구성

4. 결 론

본 논문에서는 한국에서 진행 중인 4세대 저장 링(4GSR) 가속기 건설 프로젝트의 부스터 링 전자석 전원장치 설계 및 구성에 대해 논의했다. 2Hz Ramping 운전을 위한 직렬 연결 구성과 교차 연결 방식은 전력 공급의 효율성을 높이고, 기생 인덕턴스 및 EMI를 저감하여 시스템 안정성을 강화합니다. 상/하 권선의 개별 직렬 연결과 병렬 운전 방식을 통해 전자석에 균일한 B-필드를 형성할 수 있었습니다. 이러한 설계는 4GSR의 고성능 운영을 뒷받침하며, 전자석 전원장치의 부담을 줄이고 안정적인 전류 공급을 보장함으로써 다양한 과학적 연구의 가능성을 확장합니다.

This research was supported in part by the Korean Government (MSIT: Ministry of Science and ICT) (No. RS-2022-00155836, Multipurpose Synchrotron Radiation Construction Project)

참 고 문 헌

- [1] Wiedemann, H. "Particle Accelerator Physics." Springer, 2015.
- [2] K. H. Park, et al., "The development of high stability magnet power supply", Cyclotrons2013, Vancouver, April 2013, TUPSH012
- [3] M. J. Kim, et al., "Design of the Analog to Digital Converter Scheme for High - Precision Elec-tromagnet Power supply", IPAC2019, Melbourne, Australia, May 2019, TUPSH032