

포항공대 가속기연구소 김동연*
 J. Milburn
 구양모
 장봉구
 Engineering Group

Pohang Light Source (PLS) 용 전자석의 설계, 제작 및 측정¹⁾

Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH, D.E.Kim*
 J.Milburn
 Y.M.Koo
 B.K.Kang
 Engineering Group

1. 서론

포항방사광 가속기는[1] 전자를 2.0 GeV 까지 가속 시키는 선형가속기와 가속된 전자를 원형궤도에 저장하는 전자 저장링, 전자가 방출하는 방사광을 실험지역까지 끌어내는 빔라인으로 이루어져 있다. PLS 는 입자들을 충돌시켜 그 구성물질들을 찾아내는 collider 가 아니라 전자에서 방출되는 빛을 사용하기 위한 광원(Light Source)이다. 이미 전세계적으로 운전중인 Light Source 가 여러개 있지만 PLS 는 빛의 활용만을 목적으로 설계 제작되었다. 따라서 기존의 광원보다 낮은 beam emittance를 가지고 있고 삽입장치를 설치할 수 있는 직선구간을 많이 보유하고 있다는 면에서 기존의 2세대 광원과는 구별하여 제3세대 광원이라고 부른다. 지금까지 건설된 제3세대 광원은 미국의 ALS, 대한의 SRRC, 유럽의 ESRF 등이 완공되어 운용되고 있으며 PLS 는 제3세대 광원으로는 세계에서 5번째이다.

제3세대 방사광 가속기에 사용되는 전자석은 전자가 저장링을 수백억번이상을 회전할 동안 안정된 전자궤도를 보장하여야 하므로 전자석들끼리의 Fundamental 성분의 에러 및 한 전자석에서의 허용되는 다극 에러가 아주 작아야한다. 또 허용되는 오차들이 작기 때문에 그차이를 측정하는 자장측정 System 또한 쉬운문제가 아니다. 이보고서에서는 이런 tolerance를 만족시키기 위한 가속기연구소의 전자석설계, 제작, 측정에 관한 노력에대하여 설명하였다.

2. 설계

PLS 에서는 36 개의 2극 전자석, 144 개의 4극 전자석, 48 개의 6극 전자석, 72 개의 보정전자석이 사용되었다. 이들 전자석의 Pole tip 및 Yoke 설계에서는 가속기용 전자석설계에서는 표준적인 POISSON Group Code를 사용하여 최적화 및 magnetostatic 계산을 수행하였다. 이 POISSON code 는 2차원 Magnetostatic 이나 Electrostatic 또는 RF Cavity 에 관하여 사용될 수 있다. POISSON code 가 2차원이라는 한계를 가지고 있기 때문에 이를 보완하기 위하여 Vector Fields 사의 3차원 magnetostatic code TOSCA를 사용하여 POISSON 결과를 보완하였다.

¹ MOST 와 POSCO 지원사업임.

모든 전자석의 Core 는 기본적으로 적층구조를 가지고 있으며 재질은 가속기연구소의 전자석을 위하여 포항공과대학교, RIST, POSCO 가 공동개발한 Low Carbon Steel을 사용하였다. Lamination 의 두께는 1 mm 이고 정밀 금형을 사용하여 Punching 되어 이상적인 형상에서 10 mm 내의 윤곽공차를 가지도록 하였다. 이 Lamination 들은 Epoxy를 사용하여 적층 및 Curing 되었다. 또 Magnet 사이의 에러를 최소화하기 위하여 Lamination 들을 Sorting하여 각 전자석의 Core들이 균질의 자기적 특성을 가지도록 하였다.

전자석에 사용된 대부분의 Coil 은 내부에 냉각구멍을 갖는 무산소동을 사용하였다. 전형적인 제작 절차는 도체를 먼저 절연하고 Coil 형상의 Fixture 에 권선한다음 Molding Jig를 사용하여 진공함침한다. 이과정에서 Impulse Test, Hi Potential Test 등을 하고 그 결과를 기록함으로써 Coil 의 제작공정을 확고히 하였다.

3. 자장측정

PLS 전자석의 Magnet to Magnet 허용오차는 10^{-3} 정도이고, 한 전자석안에서의 허용되는 Multipole 에러는 5×10^{-4} 정도이다. 따라서 측정 System 의 정밀도는 허용오차보다 좋아야하므로 Fundamental 의 측정 에러는 2×10^{-4} 정도이어야하고, 다극에러의 허용 측정 Error 는 10^{-5} 정도이다.

이런 요구조건을 달성시키기 위하여 NMR (Nuclear Magnetic Resonance) Probe 로 Calibration 된 Hall Probe System을 사용하였으며, 또 Rotating Coil System을 개발하여 Fundamental 성분과 Multipole Error를 측정하는데 사용하였다.

측정결과 Magnet to Magnet 에러는 0.3×10^{-3} 정도로서 1.0×10^{-3} 의 Tolerance를 충분히 만족시켰으며, 최대 다극 Error 는 약 3×10^{-4} 정도로 Beam Dynamics 의 허용오차를 만족 하였다. 측정 System 의 Fundamental 성분측정의 반복성은 약 10^{-4} 정도이고, 다극 에러의 측정 반복성은 약 3×10^{-6} 으로 만족스러운 결과를 보여주었다.

4. 결론

Pohang Light Source 에 사용되는 전자석을 설계, 제작, 측정하였다. 최종으로 조립된 전자석의 정밀 자장측정을 통하여 제작된 전자석들이 Beam Dynamics에서 요구하였던 모든 Magnet to Magnet 에러 및 Multipole (다극) 에러를 충분히 만족시킬수 있었다. 전자석들은 전자저장링에 설치되어 기대하였던 모든기능을 성공적으로 수행하고 있다. PLS 의 전자석을 국내에서 설계, 제작, 측정하면서 국내에서는 전무하였던 정밀 전자석의 최적설계 기술, Engineering 기술, 제작기술, 정밀 측정기술 등을 숙련할 수 있었다.

5. 참고문헌

[1] Conceptual Design Report of PLS, POSTECH, Pohang, Korea (1992)