

방사광 가속기 PLS-II 저장링 거더 시스템 개발

The Development of PLS-II Storage-ring Girder Systems at PAL

김 승 남*·이 채 순*·이 홍 기*·김 광 우*·남 상 훈*
Seungnam Kim, Chaesun Lee, Honggi Lee, Kwangwoo Kim and Sanghun Nam

(Received March 18, 2013 ; Revised July 17, 2013 ; Accepted July 17, 2013)

Key Words : Pohang Light Source(포항 방사광 가속기), Storage-ring(저장링), Girder(거더), Magnet(전자석), Vacuum Chamber(진공 용기), Beam Position Monitor(빔 확인 모니터), Dipole Magnet Girder(2극 전자석 거더), Multi Magnet Girder(멀티 전자석 거더)

ABSTRACT

The magnets and vacuum chambers, which are the main facilities of the Pohang light source are installed on the storage-ring girders. System safety and reliability should be taken into account for the precise operating of the main facilities, so vibration analysis is essential to do this. Static and seismic analyses were performed for the design of structure considering safety, and also frequency and response spectrum analyses were performed for the precise alignment. With these results, the effects of surrounding vibration were checked. This paper explains about the design and vibration analysis of girder systems.

1. 서 론

포항에서는 현재 우리나라 최초의 방사광 가속기(Pohang light source)가 건설되어 운영되어지고 있으며 최근에는 PLS-II로 업그레이드를 하여 더욱 성능이 좋아진 장비들이 설치되어졌으며 그로 인해 유용한 빔라인 실험이 진행되고 있다. 포항 방사광 가속기는 광속과 거의 같은 속도로 가속된 전자 빔이 진로를 바꿀 때 그 커브의 접선 방향으로 좁은 퍼짐을 가지고 방출되는 매우 강력한 빛을 만들어 내는 장치이다. PLS-II는 크게 선형 가속기와 저장링으로 나누어진다. 선형가속기에서 가속된 전자는 저장링에 입사되어 방사광을 방출하며 저장된다. 현재의 가속기는 휘도가 큰 값을 갖게 설계된 제 3세대로

분류되어지고 있다.

저장링에서의 정격 에너지는 3.5 GeV이고 현재의 목표는 400 mA에서 빔의 수명을 10시간 이상 유지하도록 설계되어 있다. 이를 위하여 모든 장비의 정확한 정렬을 포함하여 안정된 시스템과 빔을 원활히 돌릴 수 있는 제반 여건이 필요하다. 기본적으로 거더 위에는 전자석, 진공용기, 각종 진단 장치들이 설치되어지며 이러한 일련의 장치들이 제 역할을 하기 위해서는 거더의 개발은 필수적이다. 거더의 개발에 있어 중요한 점은 진동 및 정렬의 편리성이다. PLS에 비해 PLS-II에서는 정렬의 편리성을 추구하기 위해 1-cell 개념에 모두 6개의 거더를 설치하며 전체적으로는 12-cell, 즉 72개의 거더가 설치되어진다. 진동 문제에 있어서는 먼저 가속기가 건설되어진 지반 및 거더가 설치되어지는 저장링과의 공진을

† Corresponding Author ; Member, Pohang Accelerator Laboratory/POSTECH
E-mail : ksn@postech.ac.kr
Tel : +82-54-279-1814, Fax : +82-54-279-1899
* Pohang Accelerator Laboratory/POSTECH

‡ Recommended by Editor Sung Soo Na

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

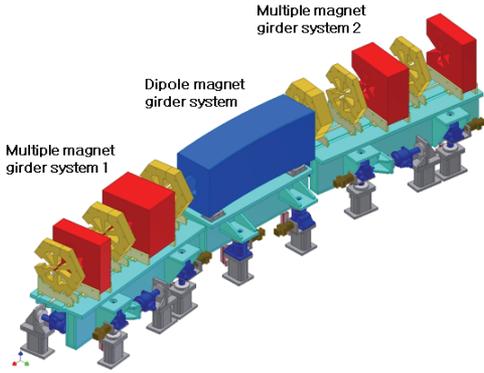


Fig. 1 Configuration of half cell girder systems

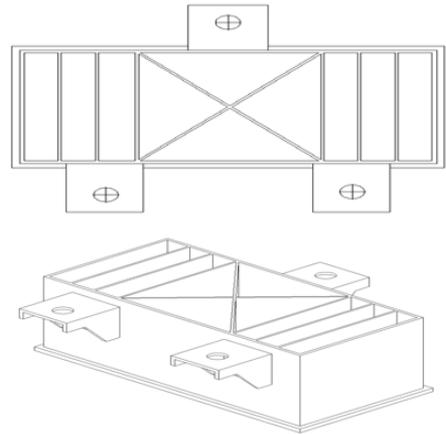


Fig. 2 Layout of MMG

피해야 하며 또한 거더 시스템의 강성을 높여서 고유진동수를 올리는 개발이 필요하다. 이와 더불어 지진 발생 시에도 전체적인 거더 시스템은 안정적으로 운영이 가능해야 하므로 거더 시스템을 지탱해주는 스크류 잭의 용량 선정을 위한 진동 해석이 필수적이다.

저장링의 원주 길이는 280 m로서 2극 전자석 및 멀티 전자석 거더로 이루어진 half-cell 거더 시스템의 24개가 저장링 안에 설치됨으로서 빔을 돌릴 수 있는 구성을 이루게 된다. Fig. 1에서는 half cell로 구성되어진 거더 시스템의 배치도를 보여주고 있다. 빔의 흐름을 원활하게, 그리고 정확히 하기 위해서는 거더 시스템의 구성원인 전자석 및 진공 용기의 이동 량이 거더 위에서 엄격한 허용 오차 안에 있어야 한다. 그러나 실제로는 주변의 미세진동과 지반 운동 등으로 인하여 불균형이 발생할 수가 있다. Half cell 거더 시스템은 2극 전자석 거더(DMG) 한 개, 멀티 전자석 거더(MMG) 2개와 여러 종류의 전자석, 진공 용기 등으로 구성되어져 있으며 전체의 전자석은 거더와 일체형으로 설치되어져 있어서 정밀 조정을 가능하도록 설계하였다.

2. 해석방법 및 결과

2.1 정적 해석

정적 해석(static analysis)에서는 거더의 상판에 설치되는 부품과 자중만을 고려하여 해석을 수행하였다. 정적 해석에서의 목표는 처짐 량이 부품의 정밀 조정 범위 내에 들어오도록 주요 치수를 설계 하는데 있다. 먼저 수직 방향의 지지 점을 구하기

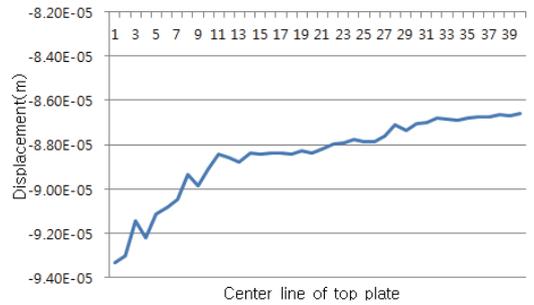


Fig. 3 The static displacement at the top plate centerline of MMG

위하여 반복적인 해석을 통하여 최대 처짐 량이 최소화 되도록 지지 점의 위치를 결정하였다. 결정된 모델을 이용하여 각 부품의 설치 위치에서의 처짐 량을 계산하며 이에 따라 필요한 부분에 보강 및 anti-camber를 적용하는 설계를 고려하였다. Fig. 2에서는 멀티 전자석 거더의 3점 수직 지지 점의 위치를 보여주고 있으며, 또한 거더 내부에 설치된 보강 판의 모습을 보여주고 있다. 정적 해석을 통해 Fig. 3에서 보여준 것 처럼 거더 상판의 처짐 량을 구해본 결과 정렬 관점에서 본다면 다소 큰 수치로 생각되나 전체 시스템간의 상대 변위는 93 μm에서 87 μm 이내이므로 전자석과 진공 용기의 정렬을 위해서는 충분히 작은 값이므로 거더 지지대의 조정 범위를 크게 하여 전체적인 조정을 가능하게 하는 것이 필요하다. 거더 지지대의 한쪽에 집중 하중이 걸려 응력 분포가 그 밖의 다른 곳보다 월등히 크기 때문에 보강을 위하여 부분적으로 그루브 용접을 하

도록 설계하였다.

2.2 지반 및 저장링 진동 특성

PLS-II 가속기 지반의 파 전달 속도 측정은 동아 컨설턴트의 지질보고서 자료 중에 Crosshole 시험 결과의 일부를 이용했다. Crosshole 시험은 그 측정 방법상 다른 방법의 결과보다 정확한 결과를 제공할 것으로 보이기 때문이며, 측정 위치로는 저장링 부지 깊이 2 m에 설치한 진동 측정 지점에서의 결과를 이용했다. 파속은 S파 전달 속도를 이용했다. S 파속의 이용은 안전진동수 산출 시에는 P파의 경우보다 안전측의 결과를 산출하며, 위험진동수의 산출에도 실제적으로 조정이 가능한 범위를 충분하게 포함하고 있어서 적절한 것으로 판단된다.

Table 1에서는 전단파의 특성을 보여주고 있다. 지반으로 전파되는 진동의 파장이 저장링의 직경과 비교해서 유효하게 큰 값을 가질 경우, 이러한 진동이 유발하는 저장링 내의 상대변위는 비교적 작은 값을 가지게 되고, 위험도 크지 않다. 저장링의 주파수 특성은 직접적으로 거더 시스템에 영향을 미치는 관계로 정확한 진동 해석 데이터가 필요하다. 또한

Table 1 Propagation velocity of shear wave

Items	Value
Velocity	621-2061 m/s
Standard deviation	557
Minimum value	621 m/s
Average value	1301 m/s
Average-1*standard	744 m/s

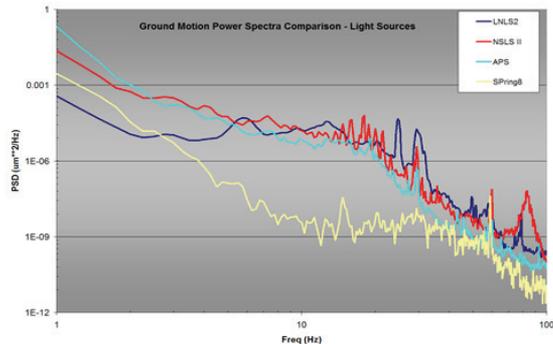


Fig. 4 Ground motion power spectral density of foreign light sources

보다 정확한 거더 시스템의 구축을 위해서는 지반 진동 특성을 파악하고 대비해야 하는데 이를 위해서 주변 부지의 4곳을 선정하여 지반 주파수 특성을 파악하였고 외국 가속기의 지반 특성과 비교하였다. Fig. 4는 주요 해외 가속기 지반의 진동 특성을 보여주고 있으며 Fig. 5는 PLS-II가 설치된 지반의 진동 특성을 보여주고 있다. Fig. 5의 통합적 수직 진동 변위는 0.025 µm로 해외 가속기 지반 진동 변위 값과 비교해서 좋은 결과를 보여주고 있다. Fig. 6에서는 지반과 저장링 바닥의 주파수 특성을 비교하였는데 19~23 Hz, 28~29 Hz에서 공진의 특성을 보여주고 있다. 따라서 위 주파수 영역 대에서의 공진 특성을 피하기 위한 거더 시스템의 준비가 필요하다. 저장링 바닥의 통합적 수직 진동 변위 값은 0.018 µm로서 비교적 좋은 결과를 보여주고 있다.

Fig. 7은 저장링의 단면도를 보여주고 있는데 저장링에 설치되어지는 장치들의 안정성을 유지시키기 위해 저장링 바닥의 두께는 1m로 하였으며, 실험

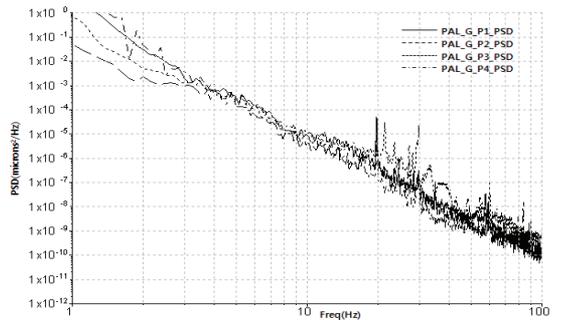


Fig. 5 Ground motion power spectral density of PLS-II

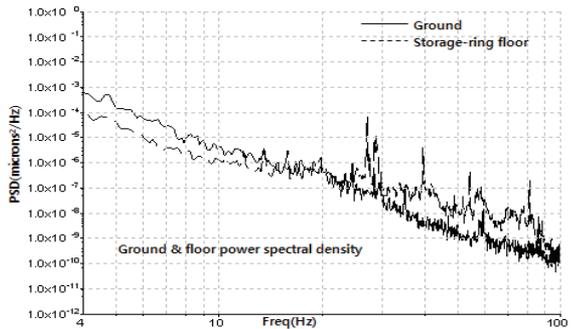


Fig. 6 Comparison of power spectral density for ground and floor motion

홀의 두께는 0.3 m로 하였다. Fig. 8은 저장링 진동 해석의 모델링을 보여주고 있다. 저장링의 고유진동수는 아래와 같다⁽¹⁾.

- Horizontal : 3.48~4.25 Hz
- Vertical : 5.67~6.93 Hz

위의 결과를 토대로 저장링 거더 시스템의 구조를 결정해야 하며 전체적으로 무게 등을 고려한 시스템의 디자인이 필요하다. 진동은 저장링의 전자석에 랜덤한 변위를 발생시켜서 전자빔이 전자석의 설계된 자장 위치를 지나지 못하게 함으로써 방사력을 증가시킨다. 따라서 이러한 방사력의 증가는 전자빔 단면을 증가시키며, 결과적으로 저장링이 생산하고자

하는 방사광의 휘도를 약화시킨다. 저장링에 있어서 가속도나 속도보다 변위가 더욱 심각한 영향을 끼치므로 변위의 단위로 진동제한 기준을 설정했으며 저장링 4극 전자석의 수직 방향 변위를 기준으로 제한 기준이 설정되었다. 이는 전자빔의 방사력이 10% 증가되는 값으로 계산되었다. 또한 지반의 저주파 진동은 측정이 어려울 뿐만 아니라 방진도 불가능하여 진동 제한 기준에 주파수 영역을 설정할 필요가 있다. 지반으로 전파되는 진동의 파장이 저장링의 직경과 비교해서 유효하게 큰 파장의 진동에 의한 저장링 내의 상대 변위는 작은 값을 가지게 된다. 이러한 이유에 근거하여 Table 1에서 보여진 것처럼 지반의 파 전달 속도와 저장링 직경을 사용하여 주파수 기준을 산출하였으며, 측정된 지반의 파 전달 속도가 높은 편차를 가지고 있어서 안전 측으로 파 전달 속도의 평균값에서 표준편차를 뺀 값을 기준으로 계산하였다. 또한 고주파 영역에서는 변위값의 제한 기준이 무의미하므로 이와는 별도로 저장링과 방사광관 기기의 운전 환경을 규정하기 위하여 진동 가속도의 제한 기준을 일반적인 기준으로 설정하였다. 이와 같은 점을 고려하여 설정한 주요 기준과 부대 기준은 아래와 같다.

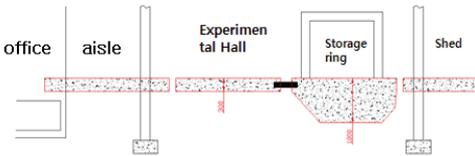


Fig. 7 Layout of storage-ring

- 주요 기준
- 4극 전자석 수직 방향 변위 제한 : 0.1 micron, rms
- 부대 기준
- 고려 주파수 : 4 Hz 이상
- 바닥 슬래브에서의 진동가속도 제한 : 1 gal, rms

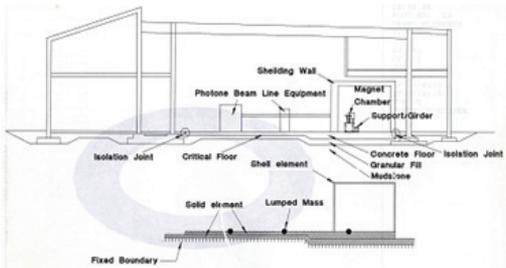


Fig. 8 FEM modeling of storage-ring

Fig. 9는 임의의 저장링 5-cell 바닥에서 측정된 가속도 값이며 변위로 환산하면 평균 0.05 μm 정도로 주요 기준의 변위 제한을 만족하고 있다. Fig. 10에서는 저장링과 실험 홀 바닥의 진동 특성을 비교하였다. 두께가 상이하기 때문에 두 바닥의 진동 특성을 비교하였으며 실험 홀의 통합적 수직 진동 변위는 0.028 μm로서 저장링 값 보다는 다소 높았으나 기준치에는 합당한 수치로 판정되었다.

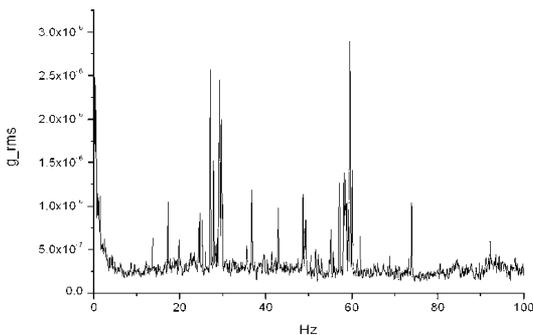


Fig. 9 Vibration measurement of storage-ring floor

2.3 모드 해석

거더 시스템의 주파수 특성을 파악하기 위하여 모드 해석(modal analysis)을 수행하였다. 거더 시스템의 주파수 특성은 저장링 및 지반의 진동 특성과

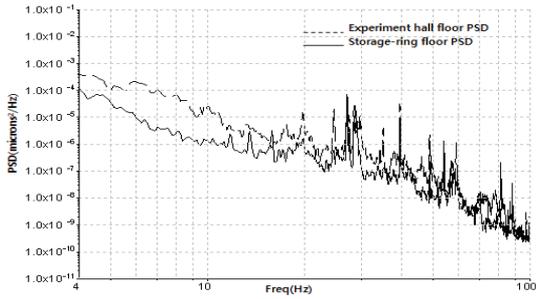


Fig. 10 Comparison with hall power spectral density

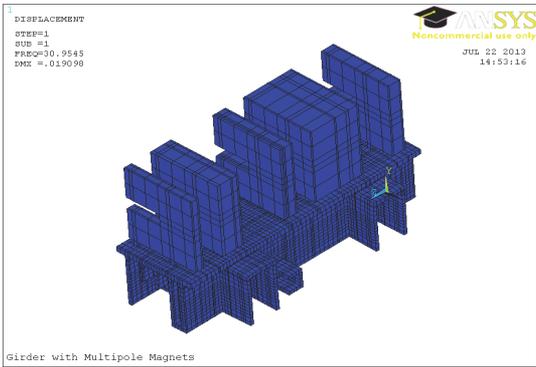


Fig. 11 1st mode(natural frequency : 30.9 Hz) of MMG

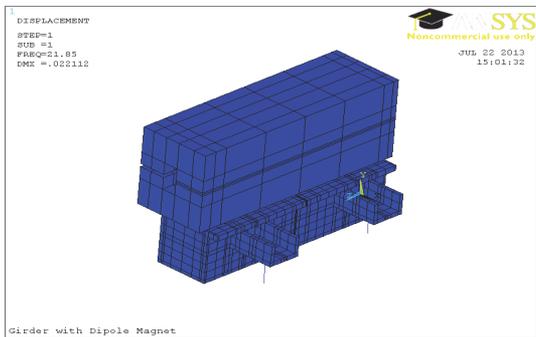


Fig. 12 1st mode(natural frequency : 21.8 Hz) of DMG

밀접한 관계가 있기 때문에 위에서 언급한 저장링의 주파수 특성을 고려해서 거더 시스템을 디자인 하였으며 먼저 해석을 통한 고유 진동수를 구해서 디자인 설계에 반영하였으며 제작이 완료되어 저장링에 설치된 후에 다시 측정을 하여 실제적인 고유진동수를 구하였다.

Fig. 11과 12는 멀티 전자석 거더 시스템과 2극 전자석 거더 시스템의 해석 결과로서 초기에 추구하

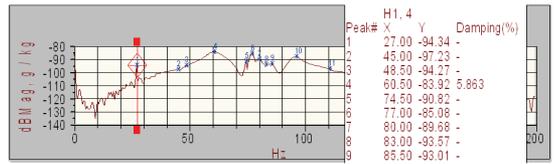


Fig. 13 The measured natural frequency of MMG



Fig. 14 The measured natural frequency of DMG

고자 했던 고유진동수 40 Hz에는 못 미치지만 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 기본적으로 거더 위 부품의 움직임을 줄이기 위해 대부분의 가속기에서는 거더 시스템의 고유진동수를 40 Hz 정도로 목표를 설정하고 있다^(2,3).

Fig. 13과 14에서는 현장에 설치된 각 거더 시스템을 임펄스 충격 햄머를 이용하여 측정한 고유진동수 값을 보여주고 있다. 고유진동수 측정은 센서를 거더 양 끝에 설치하고 측정하였으며 측정된 두 값을 비교하였을 때 차이는 크지 않았다. 멀티 전자석 거더 시스템 및 2극 전자석 거더 시스템의 측정 값은 각각 27 및 16 Hz이어서 해석 및 측정 수치는 크게 다르지 않았으며 따라서 비교적 정확한 진동 해석이 이루어졌음을 나타내주고 있다. Fig. 11과 12의 해석 결과를 토대로 거더 시스템의 구조를 확정하였다.

2.4 스크류 잭 용량 계산

최종적으로 거더 시스템을 지탱해 주는 스크류 잭의 용량을 정하는 과정이 남아있다. 가속기가 설치되어진 포항은 지진의 발생을 고려해야 하는 지역이며 그에 따라 거더 시스템의 안전을 위해 지진을 고려한 스크류 잭의 용량을 정할 필요가 있다. 충분한 내구성을 갖추기 위해 강 진동, 즉 0.2g의 경우를 가상하여 시스템의 안정성을 추구하였으며 각 지지 점에 대한 응답 결과 보다는 응력 분포를 점검해 봄으로서 전체 시스템의 안전성에 초점을 맞추었다. Fig. 15는 멀티 전자석 거더 시스템에 설치되어지는

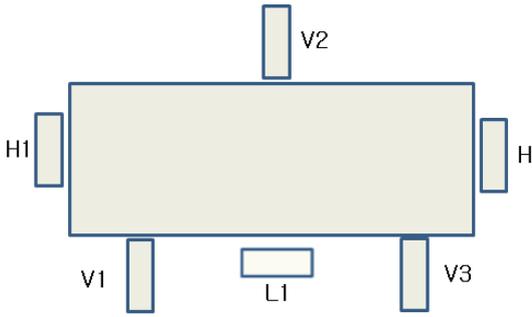


Fig. 15 Screw-jack position of MMG

Table 2 The load(kgf) of screw-jack at MMG

Screw-jack	Static load	Seismic load	Total
V1	2,433	4,968	7,401
V2	3,928	9,937	13,865
V3	1,919	4,534	6,453
H1	16.3	1,245	1,261
H2	16.3	1,245	1,261
L1	24.2	1,867	1,891

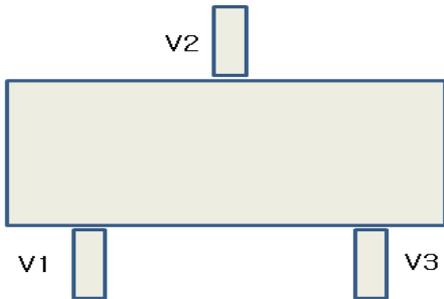


Fig. 16 Screw-jack position of DMG

Table 3 The load(kgf) of screw-jack at DMG

Screw-jack	Static load	Seismic load	Total
V1	1,399	1,507	2,906
V2	3,554	9,806	13,360
V3	1,771	2,183	3,954

스크류 잭의 위치 및 구성 도를 보여주고 있다.

Table 2는 멀티 전자석 거더 시스템의 각 스크류 잭에 걸리는 하중을 보여주고 있는데 특히 V2에 걸리는 하중이 다른 곳보다 큰 관계로 20 ton 용량을 사용하였으며 나머지 스크류 잭의 용량은 10 ton으

로 정하였다.

마찬가지로 Fig. 16은 2극 전자석 거더 시스템에 설치되어지는 스크류 잭의 위치 및 구성 도를 보여주고 있다. Table 3에서는 2극 전자석 거더 시스템의 스크류 잭에 걸리는 하중을 표시하였으며 멀티 전자석 거더 시스템과 비슷하게 후면부에 설치된 V2의 하중은 다른 곳보다 크기 때문에 마찬가지로 20 ton의 용량을 선정하였다. Table 3에서는 2극 전자석 거더 시스템의 스크류 잭 용량을 보여주고 있다.

2.5 부품 성능 평가

현재 PLS-II로 업그레이드한 모든 장비의 운영은 정상적으로 진행되고 있으며 빔라인에서의 실험도 무리 없이 수행되고 있다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 여러 가지 제한 기준을 만족시키기 위해 디자인된 거더 시스템 위에 설치된 각종 중요 부품들의 진동 움직임을 검토를 해보고 기준에 부합되는지 확인하는 것이다. 거더 시스템에 장착되는 주요 부품은 각종 전자석, 진공 용기 그리고 빔의 움직임을 감시하는 빔 확인 모니터(BPM) 등이 있다. 위에서 언급한 부품들은 저장링의 가장 핵심적인 것들로 최소한의 미세 움직임만이 허용되는 것으로 미세 진동 변위를 파악하는 것이 매우 중요하다. Fig. 17은 거더 시스템의 수평과 수직에 대한 주파수 특성을 보여주고 있다. 수직 방향보다는 수평 방향의 진동 변위 값이 더 크다는 것을 알 수 있으며 그 결과 치는 수직 : 0.011 μm, 수평 : 0.044 μm로서 약 4배의 차이를 보이고 있다. 그러나 시스템 운영 및 성능 면에서는 수직 방향의 진동 변위 관리가 더 중요하다고 하겠다. 저장링에 설치되어지는 각 부품의 수는 매우 많기 때문에 대표적인 몇 cell을 선택하여 진동 측정을 하였으며 기준치에 대해 부합 여부를 확인하였다. 측정되어지는 모든 변위 데이터는 power spectral density로 정의되는데 일반적인 진동 속도 $v(t_n)$ 은 각각의 시간 $t_n = n\Delta t$, $n=1,2,\dots,N(\Delta f = \frac{1}{N\Delta})$ 에서 측정이 이루어진다. 따라서 변위 power spectral density는 아래와 같이 정의될 수 있다⁽³⁾.

$$P(f_k) = \frac{N\Delta t^3}{2\pi^2 k^2} \left| \sum_{n=1}^N v(n) e^{-2\pi i \frac{kn}{N}} \right|^2 \tag{1}$$

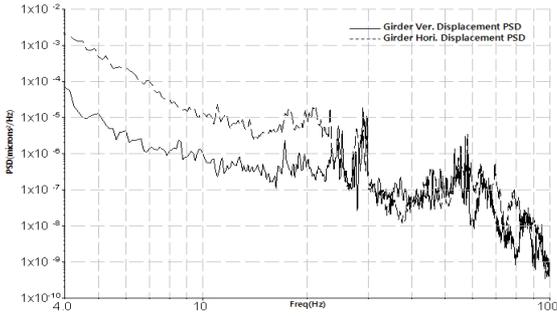


Fig. 17 Horizontal and vertical motion of girder system

위 식은 vibration velocity의 frequency-domain fourier transform을 적분함으로써 얻어질 수 있는데 위의 진동 $f_{min} = \frac{k_{min}}{N\Delta t}$ 에 의하여 유도되어 진 총합 RMS displacement는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$I(f_{min}) = \sqrt{\frac{1}{N\Delta t} \sum_{k'=k_{min}}^{k_{max}} P(f_{k'})} \quad (2)$$

여기서 k_{max} 는 최대 측정가능 주파수와 일치한다. 종합적으로 거더 시스템에 영향을 미치는 요인을 분석해보면 지반 움직임이 가장 중요하다⁽⁴⁾. 가속기는 특성상 진동원이 많지 않기 때문에 특별히 지반 움직임을 관찰할 필요가 있는데 Fig. 18에서 보여주고 있는 측정 데이터는 매우 양호함을 보여주고 있다. Fig. 19는 거더 위에 설치되어진 진공 용기의 진동 변위 power spectral density를 보여주고 있다. 진공 용기는 전자석과 연계해서 그 역할을 하고 있기 때문에 미세한 움직임도 허용되지 않는 부품이지만 측정에서 보여준 진동 변위는 허용 범위 내에 존재하고 있다. Fig. 20은 4개의 4극 전자석의 진동 변위 power spectral density 수치를 보여주고 있는데 방사력 증가의 측면에서 살펴보면 이러한 진동은 저장 링의 전자석중 자기력이 평행하지 않은 4극 전자석과 6극 전자석에서 큰 영향을 줄 수 있으며, 이 중에도 전자빔의 궤도를 구성하는 4극 전자석에서 가장 큰 영향을 준다⁽⁵⁾. 또한 전자석의 진동은 전자빔의 진행 방향과 연직 방향 그리고 진행 방향에 수직인 수평 방향(횡 방향)의 세 방향으로 구분될 수 있는데 이 중에서 전자빔의 진행 방향 진동은 전자빔의

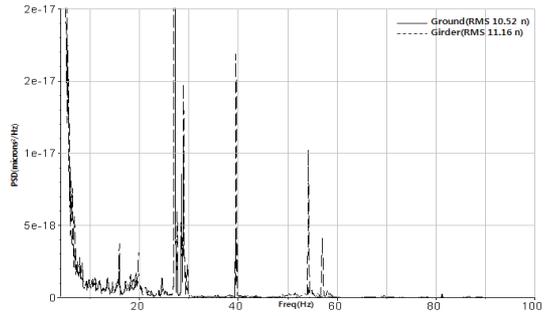


Fig. 18 Vibration displacement power spectral density of ground & girder

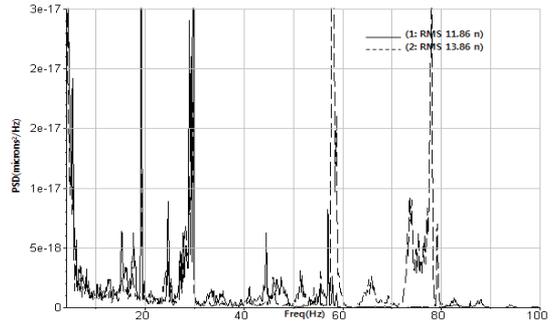


Fig. 19 Vibration displacement power spectral density of vacuum chamber

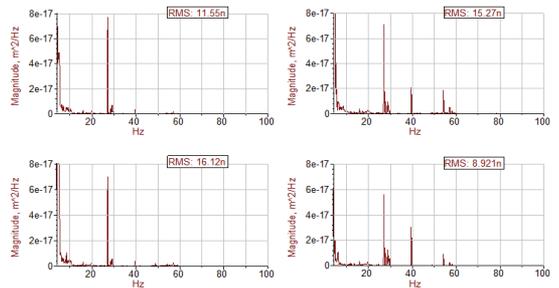


Fig. 20 Vibration displacement power spectral density of quadrupole magnet

운동 이론에 따르면 단면 방향에 비해서 상대적으로 중요도가 낮으며, 단면 내에서도 수직인 방향의 성분이 가장 중요도가 높다. 이는 전자빔 자체가 횡 방향으로 퍼진 타원형의 단면을 가지고 있기 때문이다. Fig. 21은 일부 빔 확인 모니터(BPM)의 진동 변위를 나타내고 있다. 빔 확인 모니터는 빔의 움직임을 감시하는 장치이기 때문에 자체의 진동 변위가 크면 빔의 움직임으로 착오를 일으킬 가능성이 있기

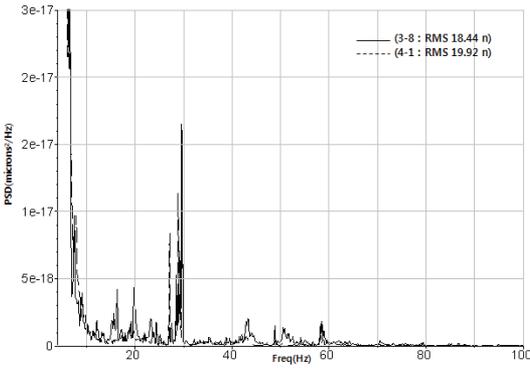


Fig. 21 Vibration displacement power spectral density of BPM

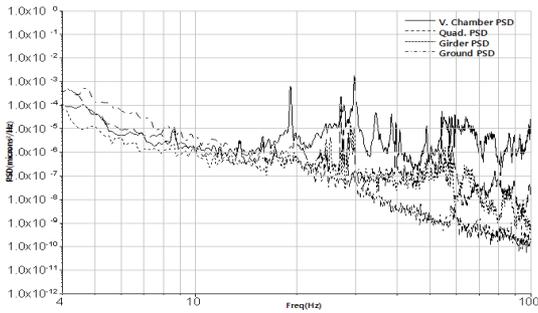


Fig. 22 Vibration measurements power spectral density of all vacuum components

때문에 자체 진동 변위를 최대한으로 줄여야 한다. 따라서 PLS-II에 있어서는 빔 확인 모니터 지지대의 무게를 늘려서 자체 중량으로 인한 변위를 최대한으로 줄이고자 했다. Fig. 22는 앞에서 결과를 보여준 모든 주요 부품들의 진동 측정 데이터를 비교한 것으로서 가장 민감한 부품으로는 빔 확인 모니터가 설치된 진공 용기 및 4극 전자석으로 통합적 수직 진동 변위 값은 각각 0.037 μm , 0.018 μm 이며 이들의 수치는 기준치인 0.1 μm 를 벗어나지 않기 때문에 성능 면에서는 만족을 시켜주고 있다.

3. 결 론

이 논문에서는 PLS-II로 업그레이드하는 가속기 시스템의 중요 부품이 설치되는 거더 시스템 개발관련 진동 해석 및 측정 결과에 대해 언급하였다. 가

속기 시스템에서 전자석과 진공 용기의 움직임은 매우 중요하며 이를 통제하는 거더 시스템의 개발은 가장 기초적인 것으로 진동을 최소화하고 또한 지진 발생 시에도 거더 시스템의 안전성을 보장하는 시스템 개발이 매우 중요하다고 하겠다. 진동관련 여러 가지 해석과 측정이 이루어졌으며 결과적으로는 매우 안정된 거더 시스템 개발이 완료되었다고 판단할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Seung, N. K. and Seong, W. C., 1992, Complex Analysis of 3rd Generation Accelerator by ANSYS Code, Proceedings of ANSYS User's Conference, pp. 514-531.
- (2) Zelenika, S., Rohrer, M., Rossetti, D. and Wiegand, P., 2009, Storage Ring Positioning and Position Monitor Systems, Swiss Light Source.
- (3) Redaelli, S., Abmann, R., Coosemans, W., Boge, M., Dehler, M. and Rivkin, L., 2009, Vibration Measurement at the Swiss Light Source(SLS), Swiss Light Source.
- (4) Kim, S. N. and Lee, C. S., 2013, The Status of Vibration Measurement of PLS-II Storage-ring, PAL-INT-2013-001.
- (5) Kwon, H.-W., Song, J.-H., Hong, S.-Y. and Hwa, J.-H., 2012, Vibration and Noise Analysis for Rotary Compressor in Medium-to-high Frequency Ranges, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 11, pp. 1033-1041.



Seung Nam Kim received the B.S. and M.S. degrees in Mechanical Engineering from Inha University in 1984 and 1986. He received license of professional engineer noise and vibration in 1999. He is a member of KSNVE. He is

working at beamline department of Pohang Accelerator Laboratory.