

PC Girder 및 Steel Girder가 자기부상열차 직선 궤도의 응력해석에 미치는 영향

노규석*, 이종민, 조흥제(한국기계연구원)

Influence of PC Girder and Steel Girder on Stress Analysis for Maglev straight Track

K. S. Rho, J. M. Lee, H. J. Cho(KIMM)

ABSTRACT

Maglev straight track composes of guide rail, back iron, power rail and girder. Above all, girder is important. So this study analyzes the influence of PC girder and steel girder on stress analysis for Maglev straight track, and to study the stress analysis the finite element method is utilized.

Key Words : Finite Element Method(유한요소법), Maglev(자기부상열차), PC Girder(프리스트레스 콘크리트 보), Steel Girder(강재 보)

1. 서론

자기부상열차는 바퀴 없이 전자석으로 떠서 달리는 새로운 궤도교통수단이다.

자기부상열차의 기술 방식은 몇가지로 구분할 수 있으나, 공통된 특징은 궤도와의 접촉이 없이 떠서 가기 때문에 인체에 해로운 분진이 발생하지 않고, 기계적 원인에 의한 진동이 거의 없으며, 소음이 거의 발생하지 않는 환경친화적 특징을 우선 들 수 있다.

주행 성능에 있어서는 바퀴식과 달리 언덕에서 미끄러짐 현상이 발생하지 않기 때문에 경사도가 높은 언덕지역을 쉽게 주행할 수 있다(바퀴식: 4%, 자기부상식: 8% 이상). 또한, 급곡선 주행이 가능(바퀴식: ~150m 정도, 자기부상식: ~60m)하기 때문에 도심 노선에 적용하기 유리하다.

비용면에 있어서는, 건설비는 고가궤도로 건설할 경우 타 시스템과 대동소이하나, 회전부품 및 마모부위가 없어서 운영비가 거의 절반정도까지 저렴해질 수 있는 큰 장점이 있다.

자기부상열차의 궤도부는 크게 4가지로 구성되어 있는데, 토목부는 Girder Beam 등 탄성기초의

역할 담당하고, 상부궤도부는 부상용 Guide Rail과 추진용 Reaction Rail 등으로 차량의 주행에 필요하다. 집전용 강체가선(Power Rail)부는 차량의 팬토타그램을 통하여 차량에 필요한 전력을 공급하고, 분기장치는 차량의 진행방향을 변경한다.

본 연구는 궤도와 마찰없이 주행하는 자기부상열차의 지지와 안내역할을 수행하는 고가구조물인 자기부상열차 직선 궤도를 대상으로 구조해석을 한 후 강도가 약한 부위를 도출하고 그 성능을 평가하였다.

2. 유한요소해석 모델링 및 하중조건

본 절에서는 PC Girder 및 Steel Girder로 설치된 자기부상열차 직선 궤도를 대상으로 항복강도를 적용하여 구조해석을 하였다. Fig. 1은 자기부상열차 직선 궤도의 단면을 나타낸 것이고, Fig. 2는 궤도의 기하학적인 형상, 하중, 경계조건 등이 대칭임을 고려하여 생성한 유한요소 반쪽 모델인데, 유한요소 전후처리 전용 S/W인 HYPERMESH를 사용하여 유한요소 모델링한 것이다.

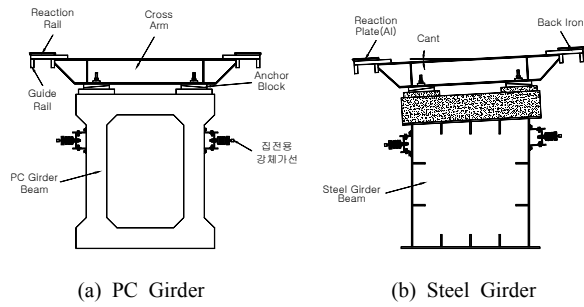


Fig. 1 Cross section of Maglev Track

유한요소해석 모델을 실제 PC Girder 및 Steel Girder로 설치된 자기부상열차 직선 궤도에 최대한 가깝게 근사시키기 위하여 삼각형과 사각형의 shell element와 hexahedron의 solid element를 혼합 사용하였다. 요소의 크기는 평균 40 mm로 하였으며 94,071 개의 element와 120,659 개의 node로 구성하였다. 해석 대상의 좌표는 가로 방향을 X축, 세로 방향을 Y축, 높이 방향을 Z축으로 정의하였다.

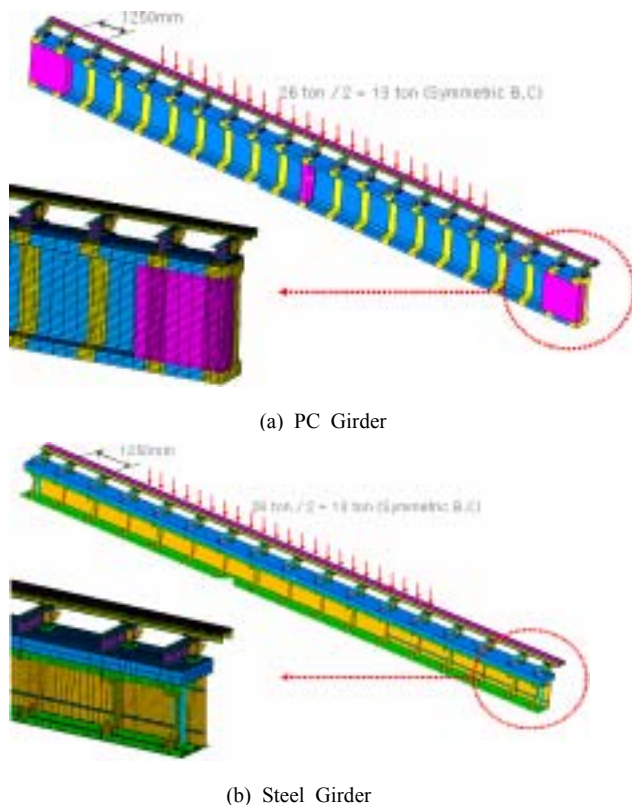


Fig. 2 Geometry and FE model used for finite element analysis of Maglev Track

자기부상열차의 차량 중량인 26 ton이 정적하중

으로 궤도에 작용하는데, Fig. 2의 궤도는 대칭임을 고려한 반쪽 모델이므로 Guide Rail에 13 ton의 하중을 가하였다.

Table 1은 자기부상열차 직선궤도의 물성치를 나타낸 것으로 SS400, SWS 490 및 A16061 재질을 사용하여 제작하였다.

Table 1 Material properties of Maglev Track

	E	ν	σ_Y
Guide Rail (SS 400)	21406.7 kg_f/mm^2	0.3	25.0 kg_f/mm^2
Cross Arm (SS 400)	21406.7 kg_f/mm^2	0.3	25.0 kg_f/mm^2
Back Iron (SS 400)	21406.7 kg_f/mm^2	0.3	25.0 kg_f/mm^2
Steel Girder (SWS 490)	21406.7 kg_f/mm^2	0.3	32.0 kg_f/mm^2
Al Reaction Plate (A1 6061)	7135.6 kg_f/mm^2	0.33	21.9 kg_f/mm^2

3. 구조해석 및 결과

3.1 PC Girder로 설치된 직선궤도의 구조해석

본 절에서는 PC Girder로 설치된 자기부상열차 직선 궤도 대상으로 구조해석을 한 후 강도가 약한 부위를 도출하고 그 성능을 평가하였다.

Fig. 3은 PC Girder로 설치된 직선 궤도에 자기부상열차의 하중이 작용하였을 때 발생하는 Von-Mises 응력을 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 최대응력이 Guide Rail에 근접한 Cross Arm에서 5.95 kg_f/mm^2 로 발생하였다. 이는 Cross Arm의 재료 SS400 항복점인 25.0 kg_f/mm^2 의 23.8%에 해당한다. Safe factor로 환산하면 4.2이므로 구조 강도 측면에서 안전하다고 할 수 있다.

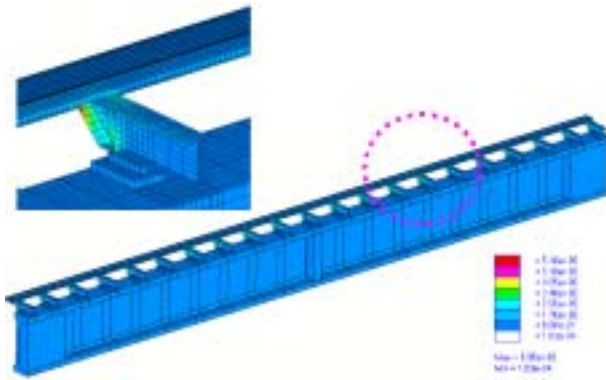


Fig. 3 Von-Mises stress distribution of Maglev Track made by PC Girder

Fig.4는 PC Girder로 설치된 직선 궤도에 자기 부상열차의 하중이 작용할 때 발생하는 변위를 나타낸 것이다. 최대 처짐은 궤도 중앙부위의 Guide Rail에서 발생하며 처짐량은 3.07 mm로 매우적어 처짐 조건을 만족한다고 할 수 있다.

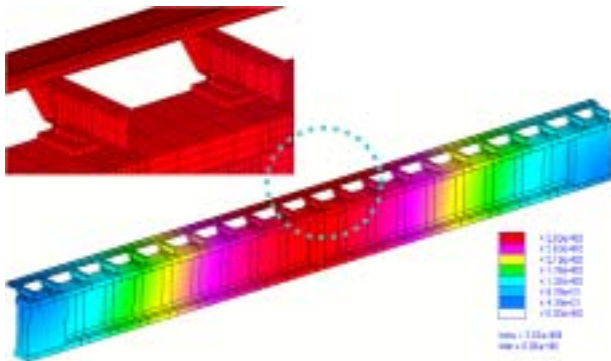


Fig. 4 Displacement distribution of Maglev Track made by PC Girder

3.2 Steel Girder로 설치된 직선궤도의 구조해석

자기부상열차의 자중을 Steel Girder로 설치된 직선궤도에 수직하중으로 가하여 구조해석한 후 Fig. 5와 같이 Von-Mises 응력으로 나타내었다. 20.5 kgf/mm²인 최대응력이 Anchor와 연결된 Cross Arm에서 발생하였으며 이 최대응력 값은 재질(SS 400)의 허용응력(25.0 kgf/mm²)를 초과하지 않으므로 강도조건을 만족한다고 할 수 있다.

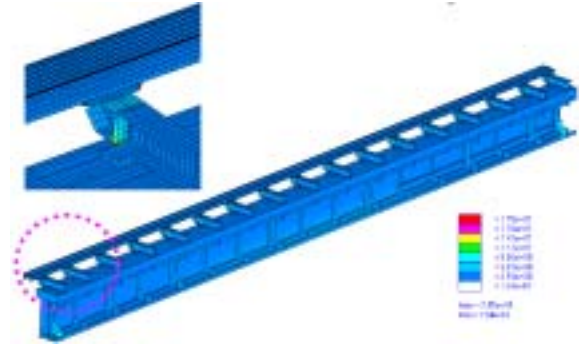


Fig. 5 Von-Mises stress distribution of Maglev Track made by Steel Girder

Fig. 6은 Steel Girder로 설치된 직선 궤도에 자기부상열차의 하중이 작용할 때 구조해석을 한 후 변위를 나타낸 것이다. 최대 처짐은 6.32 mm로 PC Girder와 마찬가지로 궤도의 중앙에서 발생한다.

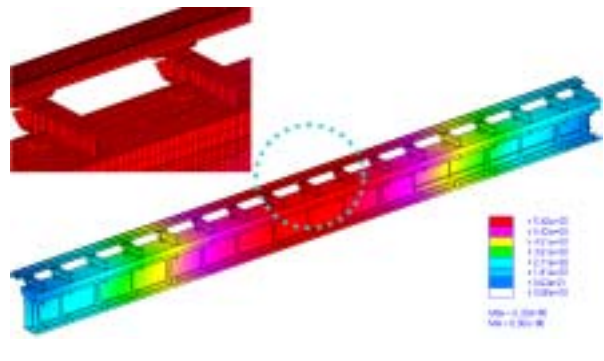


Fig. 6 Displacement distribution of Maglev Track made by Steel Girder

4. 결론

본 연구에서는 PC Girder 및 Steel Girder로 설치된 자기부상열차 직선 궤도를 대상으로 항복강도를 적용하여 구조해석을 하였다.

PC Girder로 설치된 직선 궤도에 자기부상열차의 하중이 작용하였을 때 최대응력은 5.95 kgf/mm²이고 Steel Girder는 20.5 kgf/mm²로 발생하였으며 허용응력(25.0 kgf/mm²)를 초과하지 않으므로 강도 조건을 만족한다.

최대 처짐도 각각 3.07 mm, 6.32 mm로 나타나 처짐 조건을 만족한다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 김영윤, "도시형 자기부상열차 시험선로 설계"의 실시설계 보고서, pp. 15-35, 1994.
2. 김인근, "도시형 자기부상열차 개발 사업"의 보고서, 한국기계연구원, pp. 273-336, 1998.