

초기 설계한 굴절식 자기부상열차 분기기의 세 번째 이동거더와 이동대차 구조해석

Structure Analysis for the third moving girder and bogie of the articulated Maglev Switching

*#노규석¹, 조흥제¹, 이종민¹, 황종균²

*#Rho kyusok(ksrho@kimm.re.kr)¹, Cho hungje¹, Lee jongmin¹, Hwang jongkyun²

¹ 한국기계연구원, ² 대명엔지니어링

Key words : Finite Element Method, the Articulated Maglev Switching, moving Girder

1. 서론

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 팬토그래프를 통하여 차량에 필요한 전력을 공급하고, 분기장치는 차량의 진행방향을 변경한다.

굴절식 자기부상열차 분기기는 크게 3부분으로 구성되는데, 4.2m의 첫 번째 이동거더, 4.2m의 두 번째 이동거더와 이동대차, 그리고 18m의 세 번째 이동거더와 이동대차로 이루어진다.

본 연구는 굴절식 자기부상열차 분기기의 세 번째 이동거더와 이동대차를 대상으로 구조, MODE 및 열팽창 해석을 하여 강도가 약한 부위를 도출하고 그 성능을 평가하였다.

2. 유한요소해석 모델링 및 하중조건

Fig. 1은 유한요소 전후 처리 전용 S/W인 HYPERMESH를 사용하여 18m의 세 번째 이동거더와 이동대차를 유한요소 모델링한 것인데 자기부상열차의 만차 하중을 기준으로 1m 당 2ton의 하중을 가하여 총 34.6ton의 하중을 적용하였다.

구조해석 모델을 실제 세 번째 이동거더와 이동대차에 최대한 가깝게 근사시키기 위하여 삼각형과 사각형의 shell element를 혼합 사용하였고 등방성 재료의 쉘 요소인 SHELL 63을 적용하였다. 쉘 요소의 크기는 평균 30mm로 하였으며 136,216 개의 element와 137,370 개의 node로 구성하였다.

해석 대상의 좌표는 가로 방향을 X축, 세로 방향을 Y축, 높이 방향을 Z축으로 정의하였다.

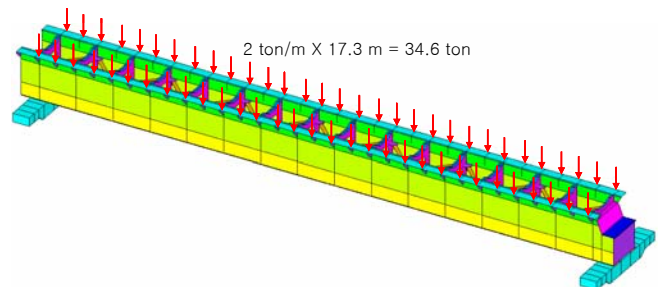


Fig. 1 Geometry and FE model used for finite element analysis of the third moving girder

3. 구조해석 결과

본 절에서는 자기부상열차의 만차하중인 1m 당 2ton의 하중을 받고 있는 18m의 세 번째 이동거더와 이동대차를 대상으로 항복강도를 적용하여 구조해석을 수행하였다.

Fig. 2는 세 번째 이동거더와 이동대차를 구조해석한 후 Von-Mises 응력으로 나타낸 것이다. 최대응력은 22.8 kgf/mm²로 분기기 Locking 장치에서 발생하였다. 이는 SS 400 항복응력(25.0 kgf/mm²)에 근접하지만 분기기 Locking 장치를 좀 더 보강하면 재료의 강도조건을 충분히 만족할 수 있을 것이다.

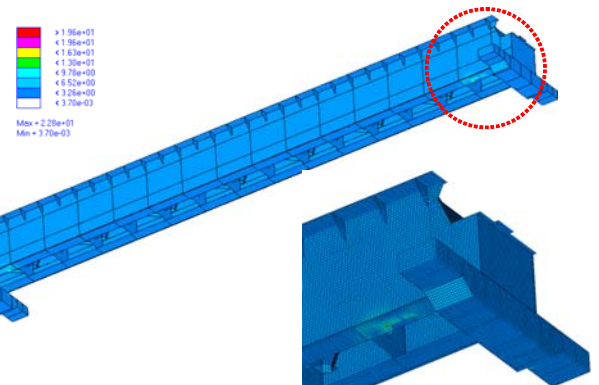


Fig. 2 Von-Mises stress distribution of the third moving girder

Fig. 3은 자기부상열차의 만차 하중을 기준으로 1m 당 2ton의 하중을 가하여 총 34.6ton의 하중이 작용한 상태

에서 구조해석을 한 후 변위로 나타낸 것이다. 위쪽에서 보았을 때 변위가 크게 변하는 곳은 Girder 중앙의 상단부 위인데, 최대 처짐량은 3.18mm으로 적어 구조 측면에서 안전하다고 할 수 있다.

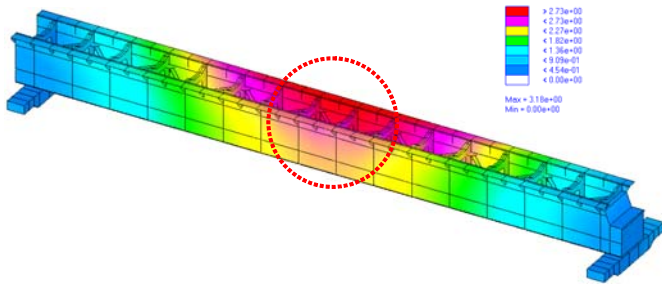


Fig. 3 Displacement distribution of the third moving girder

Fig. 4는 세 번째 이동거더와 이동대차의 MODE 해석을 수행하기 위한 하중조건을 나타낸 것으로 양쪽 분기기 Locking 장치에 simply support로 하중조건을 적용하였다.

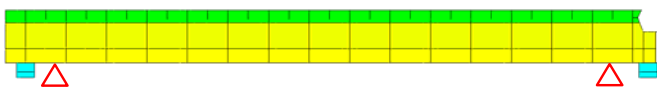


Fig. 4 Boundary condition of the third moving girder for MODE analysis

Fig. 5는 18m의 세 번째 이동거더와 이동대차를 MODE 해석 한 후 양상을 나타낸 것이다. 이동거더는 강성이 좌우 방향보다 상하 방향이 매우 큰 것으로 나타났다. 상하 방향의 1차 Mode는 18.422 Hz이고 중량은 15.8 ton으로 계산되었다.

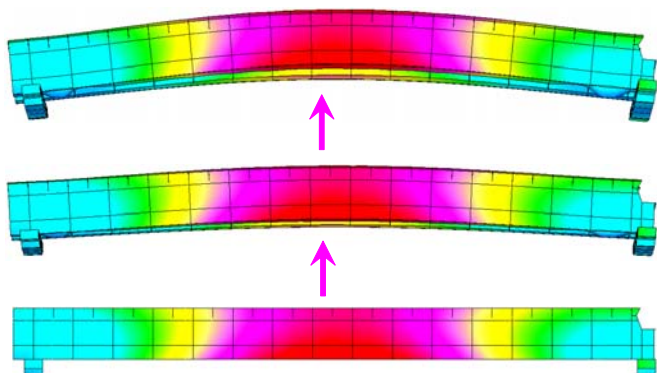


Fig. 5 MODE analysis results of the third moving girder

Fig. 6은 열팽창 해석을 수행하기 위해서 세 번째 이동거더와 이동대차에 하중조건을 적용한 것이다. 한쪽의 이동대차는 simply support를 적용하였고 다른쪽 이동대차에는 열 팽창에 의해서 길이가 늘어나도록 rolling support를 적용하였다. 온도변화는 겨울에 -20℃에서 여름에 40℃로 변하는 것을 고려하여 최대 온도변화 조건인 $\Delta 60^\circ\text{C}$ 를 적용하였다



Fig. 6 Boundary condition of the third moving girder for thermal analysis

Fig. 7은 세 번째 이동거더와 이동대차를 열팽창 해석 한 후 변위로 나타낸 것이다. 한쪽의 이동대차에는 simply support를 적용하였기 때문에 고정되어 있고 다른쪽은 rolling support를 적용하였기 때문에 열팽창에 의해서 Fig. 7과 같이 변위가 발생하였다. 최대 변위는 이동거더의 끝부분에서 12.7mm로 발생하였는데, 이 결과를 기초로 하여 굴절식 자기부상열차 분기기의 설계에 활용할 예정이다.

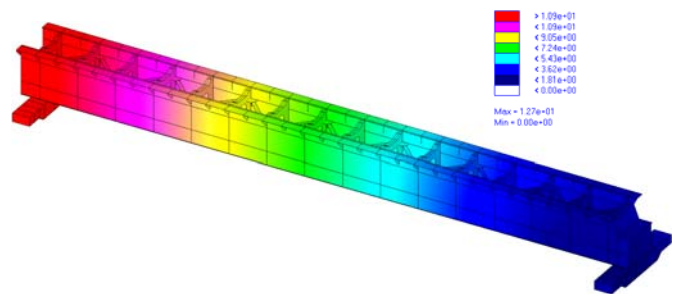


Fig. 7 Thermal analysis results of the third moving girder

4. 결론

본 연구에서는 굴절식 자기부상열차 분기기의 세 번째 이동거더와 이동대차를 대상으로 항복강도를 적용하여 구조, MODE 및 열팽창 해석을 수행하였다.

자기부상열차의 만차하중인 1m 당 2 ton의 하중이 작용하였을 때 최대응력은 22.8 kgf/mm^2 으로 분기기 Locking 장치에서 발생하였으며 허용응력(25.0 kgf/mm^2)를 초과하지 않으므로 강도조건을 만족한다.

최대 처짐도 3.18mm로 Girder 중앙 상단부위에서 나타나 처짐조건($L/2000 = 9 \text{ mm}$)을 만족한다고 할 수 있다.

이동거더는 강성이 좌우 방향보다 상하 방향이 매우 큰 것으로 나타났으며 상하 방향의 1차 Mode는 18.422 Hz으로 해석되었다.

열팽창 해석은 최대 온도변화 조건인 $\Delta 60^\circ\text{C}$ 를 적용하였을 때 이동거더의 끝부분에서 12.7mm로 발생하였다.

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.