

상전도 흡인식 자기부상열차 굴절식 분기기의 구조해석 Structure Analysis for the EMS Maglev Articulated Switching

*#노규석, 조흥제, 이종민

*#Rho kususok(ksrho@kimm.re.kr), Cho hungje, Lee jongmin
한국기계연구원

Key words : EMS, Articulated Switching, Finite Element Method

1. 서론

기존 레일/바퀴식 시스템의 분기기와 달리 자기부상열차 분기기는 대차가 고가궤도를 감싸고 있는 구조로서 궤도가 분기되기 위해서는 분기구간내 고가궤도 전체가 움직여야 한다. 이와같은 구조의 분기기를 갖는 시스템은 자기부상열차 외에 모노레일이 있다. 현재까지 개발된 자기부상열차 분기기로는 평행이동식과 굴절식이 있다. 현재 한국기계연구원에 설치되어 있는 평행이동식 분기기는 분기구간이 우측으로 이동하면 선로가 직선으로 연결되고 좌측으로 이동하면 선로가 곡선으로 연결된다. 즉, 분기구간내 이동되도록 분기장치가 곡선선로와 직선선로가 한 몸체로 구성되어 있다.

굴절식 분기기는 분기구간내 선로가 직선으로 연결되어 있다가 차량이 곡선구간으로 분기할 경우에는 분기 구간내 선로가 곡선으로 굴절되어 곡선으로 연결되도록 설계되어 있다.

본 연구는 상전도 흡인식 자기부상열차 굴절식 분기기의 첫 번째 이동거더를 대상으로 구조, MODE 및 열팽창 해석을 수행하였다.

2. 유한요소해석 모델링 및 하중조건

상전도 흡인식 자기부상열차 굴절식 분기기는 크게 3부분으로 구성된다. 즉, 첫 번째 이동거더(4.2m), 두 번째 이동거더(4.2m)와 이동대차, 그리고 세 번째 이동거더(18m)와 이동대차로 구성되어지며, 그밖에 모터, 각도완화장치, 감속기 등을 포함한다.

본 연구는 첫 번째 이동거더를 대상으로 구조, MODE 및 열팽창 해석을 한 후 강도가 약한 부위를 도출하고 이를 개선하였다. Fig. 1은 첫 번째 이동거더를 유한요소 전후 처리 전용 S/W인 HYPERMESH로 유한요소 모델링한 것이며 자기부상열차의 만차 하중을 기준으로 1m 당 2ton의 하중을 가하여 총 7.6ton의 하중을 적용하였다. 구조해석 및 평가에는 상용 유한요소 해석 S/W인 ANSYS를 사용하였다.

구조해석 모델을 최대한 실제 모델과 최대한 근사시키기 위하여 삼각형과 사각형의 shell element를 혼합 사용하였고 등방성 재료의 쉘 요소인 SHELL 63을 적용하였다. 쉘 요소의 크기는 평균 30mm로 하였으며 34,942 개의 element와 34,996 개의 node로 구성하였다. 해석 대상의 좌표는 가로 방향을 X축, 세로 방향을 Y축, 높이 방향을 Z축으로 정의하였다.

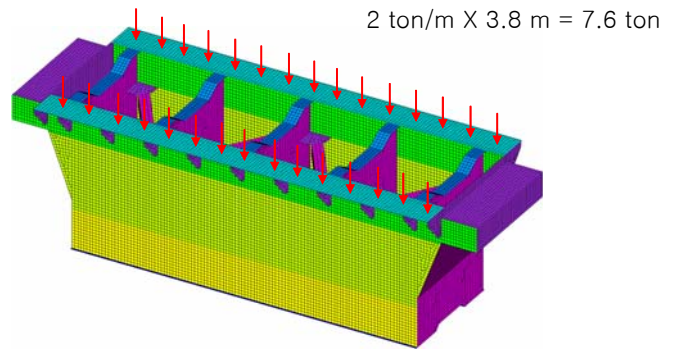


Fig. 1 Geometry and FE model used for finite element analysis of the first moving girder

3. 구조해석 결과

Fig. 2는 2 ton/m의 하중을 받고 있는 첫 번째 이동거더를 구조해석한 후 Von-Mises 응력으로 나타난 것이다. 강재(SS 400)의 항복응력은 25.0 kgf/mm²인데, 최대응력은 1.18 kgf/mm²로 Side Roller 체결부위에서 발생하였다. 이는 SS 400 항복응력(25.0 kgf/mm²)의 4.7%에 해당하므로 이 부위는 재료의 강도조건을 만족한다고 할 수 있다.

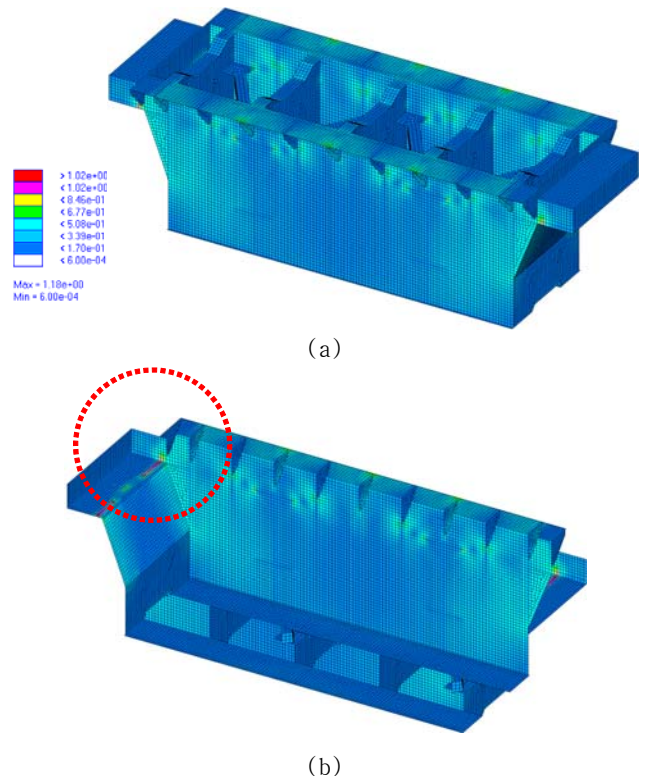


Fig. 2 Von-Mises stress distribution of the first moving girder

Fig. 3은 자기부상열차의 만차 하중을 기준으로 1m 당 2 ton의 하중을 가하여 총 7.6 ton의 하중이 작용한 상태에서 구조해석을 한 후 변위로 나타낸 것이다. 7.6 ton의 분포 하중을 Girder 상단부에서 받고 있기 때문에 Girder 중앙부 위에서 최대 처짐이 아래쪽으로 0.08 mm 발생하였다. 이는 처짐량이 매우 적어 구조 측면에서 안전하다고 할 수 있다.

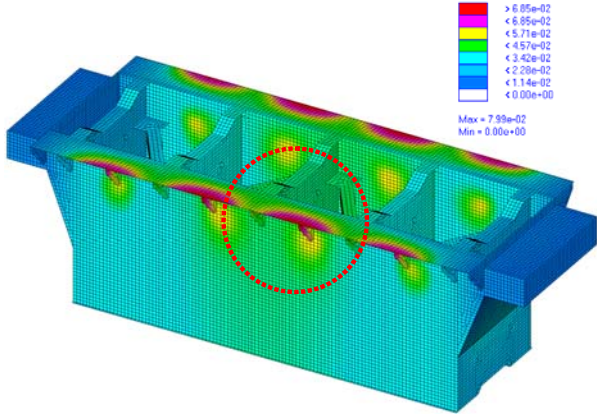


Fig. 3 Displacement distribution of the first moving girder

Fig. 4는 MODE 해석을 수행하기 위한 하중조건을 나타낸 것이며 양쪽 Center Pin에 simply support를 적용하였다.

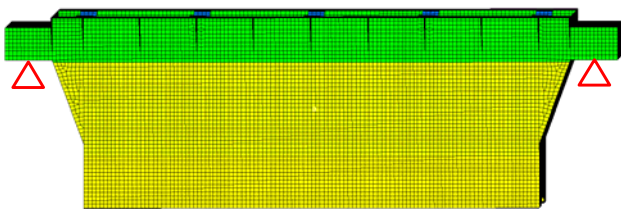


Fig. 4 Boundary condition of the first moving girder for MODE analysis

Fig. 5는 첫 번째 이동거더의 MODE 해석을 한 후 Mode 양상을 나타낸 것이다. 이동거더는 상하 방향으로는 강성이 매우 크나 좌우 방향으로는 비교적 작은 편이다. 상하 방향의 1차 Mode는 92.918 Hz로 해석되었다.

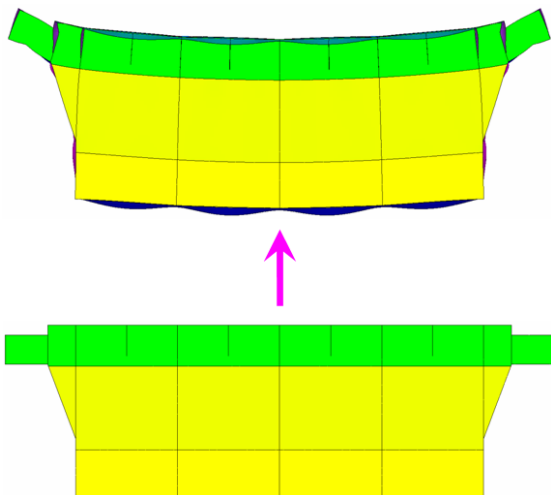


Fig. 5 MODE analysis results of the first moving girder

Fig. 6은 열팽창 해석을 수행하기 위해서 첫 번째 이동 거더에 하중조건을 적용한 것이다. 한쪽의 Center Pin에는

simply support를 적용하였고 다른 쪽에는 열팽창에 의해서 길이가 늘어나도록 rolling support를 적용하였다. 온도변화는 겨울에 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 여름에 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 변하는 것을 고려하여 최대 온도 변화인 $\Delta 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 적용하였다.

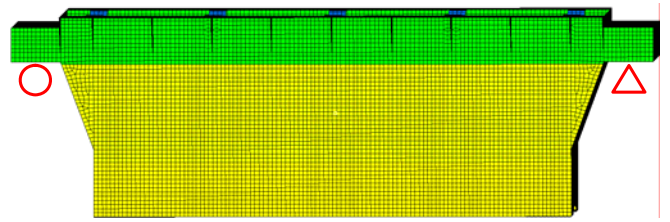


Fig. 6 Boundary condition of the first moving girder for thermal analysis

Fig. 7은 첫 번째 이동거더를 열팽창 해석한 후 변위로 나타낸 것이다. 한쪽의 Center Pin에는 simply support를 적용하였기 때문에 고정되어 있고 다른 쪽에는 rolling support를 적용하였기 때문에 열 팽창에 의해서 Fig. 7과 같이 최대 변위가 이동거더의 끝부분에서 3.06 mm로 발생하였다. 이 결과는 최대 온도 변화($\Delta 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)를 적용한 값이므로 실제로 3.06 mm의 변위가 발생할 일은 매우 적으나, 굴절식 자기부상열차 분기기의 원활한 작동을 위해서 설계에 반영하였다.

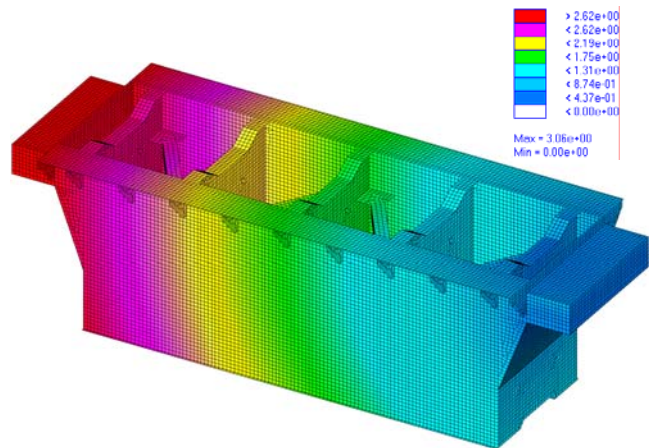


Fig. 7 Thermal analysis results of the first moving girder

4. 결론

본 연구에서는 상전도 흡인식 자기부상열차 굴절식 분기기의 첫 번째 이동대차를 대상으로 항복강도를 적용하여 구조, MODE 및 열팽창 해석을 수행하였다.

자기부상열차의 만차하중인 1m 당 2 ton의 하중이 작용하였을 때 최대 응력은 1.18 kgf/mm^2 , 최대 처짐은 0.08 mm로 매우 적게 발생하였다.

상하 방향의 1차 Mode는 92.918 Hz로 해석되었으며, 열팽창 해석은 최대 온도변화 조건인 $\Delta 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 적용하였을 때 3.06 mm로 발생하였다.

참고문헌

1. 조홍제, 이종민, 김석수, "도시형 자기부상열차 분기기 개발", 대한기계학회 추계학술대회, pp. 57-61, 1997.
2. 김영운, "도시형 자기부상열차 시험선로 설계"의 실시설계 보고서, pp. 15-35, 1994.
3. 김인근, "도시형 자기부상열차 개발 사업"의 보고서, 한국기계연구원, pp. 273-336, 1998.