

# 자기부상열차용 5방향 분기기 장경간 거더 높이 변화에 따른 구조 특성 분석

## Structural Characterization of the Long Span Girder according to Height Changes For Maglev 5-Way Branching Switch

이영학\*, 김창현\*, 임재원\*, 한형석\*, 이종민\*†

Younghak Lee\*, Chang-Hyun Kim\*, Jaewon Lim\*, Hyung-Suk Han\*, Jong Min Lee\*†

**Abstract** The 5-way branching switch for maglev vehicle should be designed so that the car safety changes its track without touching the guiderail. And it secure structural safety regardless of surrounding environment. For the safety, girder height are important design parameters and structural characterization is essential. The goal of this study is to analyze the influence of girder according to height changes for maglev 5-way branching switch. By doing so, the girder redesign changed to 200mm height units and for analysis of structural characterization simulate deformation, stress natural frequency, thermal stress and thermal deformation. Through simulation we analyze safety of the influence of girder according to height changes switch. We present an optimized design of switch with improved safety.

**Keywords** : Maglev vehicle, 5-way branching switch, Girder, Structure analysis, modal analysis

**초 록** 자기부상열차에 있어서 분기기는 차량 진행 노선이 안전하게 변경될 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 외부 영향에 관계없이 구조적 안전성을 확보해야 한다. 구조적 안전성 확보를 위하여 거더 구조물 높이는 중요한 설계 변수가 되고 이에 따른 구조적 특성 분석은 필수적이다. 본 논문에서는 자기부상열차용 분기기의 거더 구조물의 높이 변경에 따른 구조적 특성 분석에 그 목적이 있다. 이를 수행하기 위하여 거더 구조물의 높이를 200mm 단위로 변경하면서 그에 따른 처짐, 응력, 고유 진동수를 해석하였다. 또한 열팽창에 의한 응력 및 변형 해석을 통해 열에 의한 특성도 분석하였다. 이를 통해 거더 구조물의 높이 변화가 구조적 안전성에 미치는 영향을 분석하고 안전성 향상을 위한 분기기 거더 구조물의 설계 방향을 제시한다.

**주요어** : 자기부상열차, 5방향 분기기, 거더 구조물, 구조 해석, 모달 해석

### 1. 서 론

자기부상열차에서 분기기는 차량의 노선을 변경하는 기능을 가진 선로구조물이다. 분기기는 차량이 가이드레일과 접촉 없이 안전하게 노선을 변경할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 외부 영향에 관계없이 구조적 안전성을 확보해야 한다. 구조적 안정성 확보를 위하여 거더 구조물 높이는 중요한 설계 변수가 되고 이에 따른 구조적 특성 분석은 필수적이다. 하

† 교신저자: 한국기계연구원 자기부상연구실(lee\_jm@kimm.re.kr)

\* 한국기계연구원 자기부상연구실

지만 비용적, 공간적 제약에 의해 여러 형태의 시제품을 만드는 것은 불가능하며 이를 보완하기 위해 구조적 해석 과정은 필수적이다. 본 논문에서는 자기부상열차용 분기기의 거더 구조물의 높이 변경에 따른 구조적 특성 분석에 그 목적이 있다. 이를 수행하기 위하여 거더 구조물의 높이를 200mm 단위로 변경하면서 그에 따른 처짐, 응력, 고유 진동수를 해석하였다. 또한 열팽창에 의한 응력 및 변형 해석을 통해 열에 의한 변화도 분석하였다. 이를 통해 거더 구조물의 높이 변화가 구조적 안전성에 미치는 영향을 분석하고 안전성 향상을 위한 분기기 거더 구조물의 설계 방향을 제시한다.

## 2. 본 론

### 2.1 5방향 분기기

#### 2.1.1 구성

자기부상열차용 5방향 분기기 구조는 Fig. 1과 같다. 한 방향에 장경간 거더 하나와 단경간 거더 4개가 연결되어 있다. 시작과 끝단 거더까지 합해서 총 약 37m이다. 이 가운데 장경간 거더는 열차의 주행과 분기기 시스템 전체에 가장 큰 영향을 주며 본 논문에서 해석한 거더이다.

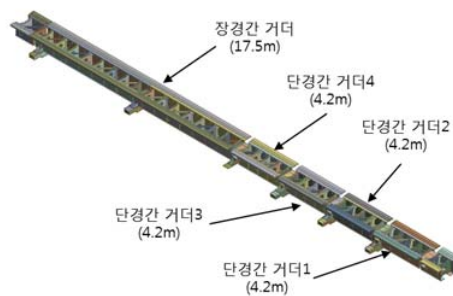


Fig. 1 Structure of the 5way switch girder for maglev vehicle

#### 2.1.2 장경간 거더

Fig. 2는 장경간 거더의 3D 모델이다. 길이는 약 17m로 2개 부분으로 나뉘어져 있으며 연결부는 강하게 결속되어 있다. 교차지점의 중앙부에는 힌지 및 상부레일에 각도완화장치가 설치되어 안정적으로 노선을 변경할 수 있도록 도와준다.

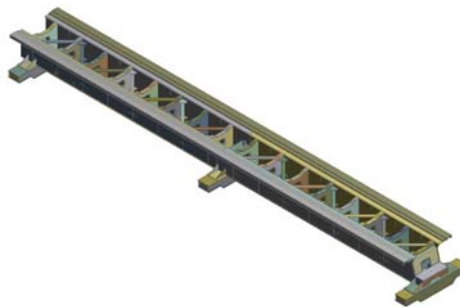


Fig. 2 Structure of long span girder for maglev vehicle

## 2.2 구조 해석

### 2.2.1 조건

장경간 이동거더는 양단에 각각 기타 거더와 접합되는 지지점이 위치해 있다. 또한 회전 모터에 의해 이동하기 때문에 Fig. 3 (a)와 같이 양단을 수직방향으로는 고정하고 수평방향으로의 움직임을 허용하였다. 또한 하중 조건은 Fig. 3 (b)와 차량의 만차 조건인 53ton 일 때 한쪽 레일에 인가되는 하중과 레일의 길이를 고려하여 43320 Pa로 인가하였다. 장경간 거더의 물성은 Table 1과 같다. 전체가 structural steel로 구성되어 있으며 그에 맞는 물성을 입력하였다.

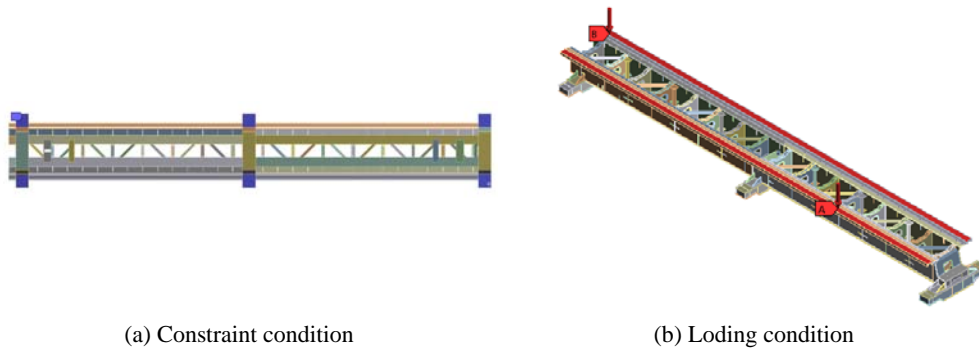


Fig. 3 The condition of analysis for long span girder

Table 1 Properties of materials

Materials	Properties	
Structural steel	Density (Kg m <sup>-3</sup> )	7850
	Young`s modulus (GPa)	220
	Poisson`s ratio	0.3
	Yield strength(Mpa)	250

### 2.2.2 최대 응력 해석 결과

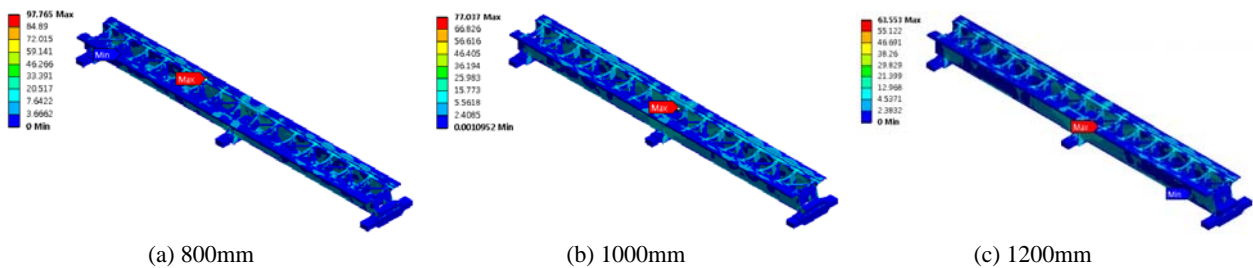


Fig. 4 The analysis result of maximum stress for long span girder

장경간 거더 높이 변경에 따른 최대 응력 해석 결과는 Fig. 4와 같다. 최대 응력이 발생한 지점은 레일과 거더가 만나는 접합부로 발생 위치는 다르지만 동일면에서 발생하였다. 장경간 거더 높이를 800mm로 설정하여 해석한 결과 최대 응력은 97.765Mpa로 나타났고, 1000mm로

설정하여 해석한 결과는 77.037Mpa로 나타났다. 또한 거더 높이를 1200mm로 변경한 경우는 63.553Mpa로 세가지 경우 중에서 가장 작은 값이 발생하는 것을 확인하였다. 세가지 경우 모두 항복응력에 미치지 못하는 값으로 강도 조건에 만족한다고 판단할 수 있다. 또한 거더 높이가 높아질수록 최대 응력은 낮아지는 것을 확인하였다.

### 2.2.3 변형 해석 결과

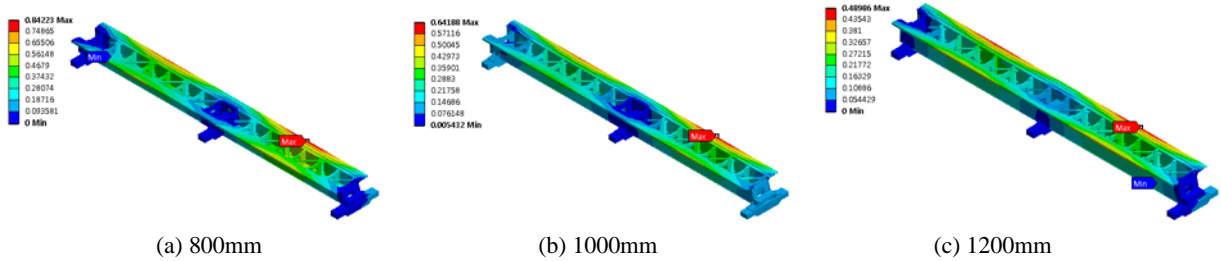


Fig. 5 The analysis result of deformation for long span girder

장경간 거더 높이 변경에 따른 변형 해석 결과는 Fig. 5와 같다. 세 경우 모두 최대 변형이 발생한 지점은 레일 상부로 나타났다. 장경간 거더 높이를 800mm로 설정하여 해석한 결과 최대 변형은 0.84mm로 나타났고, 1000mm로 설정하여 해석한 결과는 0.64mm로 나타났다. 또한 거더 높이를 1200mm로 변경한 경우는 0.48mm로 나타났다. 세가지 경우 모두 차량과의 거리 및 기타 요소들을 고려하였을 때 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단한다. 또한 응력 변화와 마찬가지로 거더 높이가 높아질수록 변형은 낮아지는 것을 확인하였다.

### 2.3 모달 해석

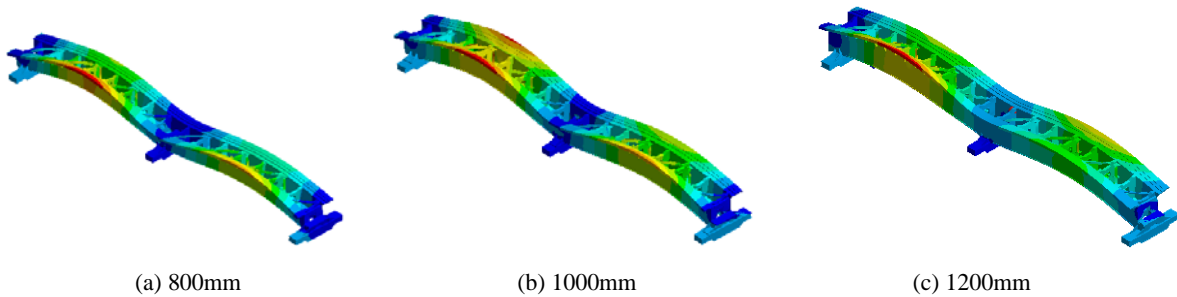


Fig. 6 The analysis result of 1<sup>st</sup> bending mode for long span girder

장경간 거더 높이 변경에 따른 모달 해석 결과는 Fig. 6와 같다. 거더 높이를 800, 1000, 1200mm로 설정하여 해석한 1차 lateral mode는 22.977, 20.517, 20.766Hz로 분석되었다. Torsion mode는 54.331, 53.794, 49.223 Hz로 분석되었다. 또한 차량과의 상호작용에 영향을 주는 1차 bending mode는 각각 41.207, 47.752, 50.046으로 분석되었다. 2차 bending mode는 81.553, 91.203, 92.483 Hz로 분석되었다. 1차 lateral mode 및 Torsion mode는 높이가 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보였고 나머지 모드에서는 증가하는 모습을 보였다. 결과적으로 거더 전체의 bending

mode값이 40Hz 이상으로 부상제어기 대역폭을 약 10Hz 정도로 사용하고 있는 자기부상 열차와는 공진 현상이 일어나지 않을 것으로 판단한다.

## 2.4 열 해석

### 2.4.1 조건

열해석 조건은 다음과 같다. 상온(22 °C)에서 ± 35 °C 까지 온도가 증가/감소하는 상황을 가정하였다. 최대 온도차는 70 °C 로 설정하였고, 경계조건은 대류에 의한 열전달 이라고 가정하였다. 일반적인 대류 상황으로 가정하여 대류계수는  $5e-006 W / mm^2 \cdot ^\circ C$  로 인가하였다.

### 2.4.2 열응력 해석 결과

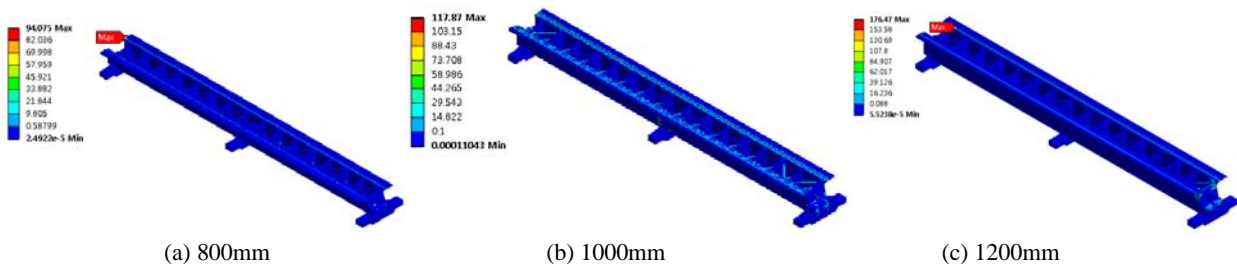


Fig. 7 The analysis result of thermal stress for long span girder

장경간 거더 높이 변경에 따른 열응력 해석 결과는 Fig. 7와 같다. 최대 응력이 발생한 지점은 레일과 거더가 만나는 접합부로 발생 위치는 다르지만 동일면에서 발생하였다. 장경간 거더 높이를 800mm로 설정하여 해석한 결과 최대 응력은 94.075Mpa로 나타났고, 1000mm로 설정하여 해석한 결과는 117.87Mpa로 나타났다. 또한 거더 높이를 1200mm로 변경한 경우는 176.47Mpa로 나타났다. 높이를 가장 낮게 변경한 경우에서 낮은 응력값을 확인하였다. 세가지 경우 모두 항복응력에 미치지 못하는 값으로 강도 조건에 만족한다고 판단할 수 있다. 또한 거더 높이가 높아질수록 최대 응력도 높아지는 것을 확인하였다.

### 2.4.3 열변형 해석 결과

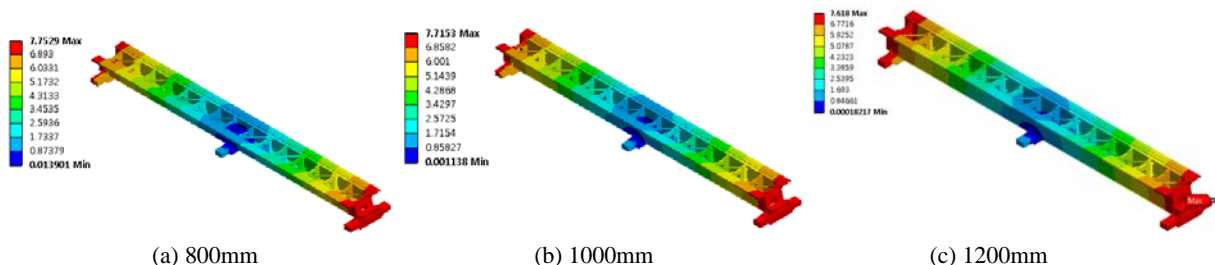


Fig. 8 The analysis result of thermal deformation for long span girder

장경간 거더 높이 변경에 따른 열응력 해석 결과는 Fig. 7와 같다. 경우별로 약간의 오차는

존재하지만 한쪽으로 약7.5mm 양쪽으로 최대 약 15mm 정도 변형되는 것을 확인하였다. 거더의 높이가 높아질수록 변형은 줄어드는 것을 확인하였다. 이는 높이가 횡방향으로 변형을 일부분 억제하고 있다고 판단할 수 있다.

**Table 2** Total analysis result of long span girder

	800mm	1000mm	1200mm
Maximum stress (Mpa)	97.765	77.037	63.553
Total deformation (mm)	0.84	0.64	0.48
Thermal stress (Mpa)	94.075	117.870	176.470
Thermal deformation (mm)	15.50	15.43	15.23
1 <sup>st</sup> lateral bending mode (Hz)	22.977	20.517	20.766
Torsion mode (Hz)	54.331	53.794	49.223
1 <sup>st</sup> bending mode (Hz)	41.207	47.752	50.046
2 <sup>nd</sup> bending mode (Hz)	81.553	91.203	92.483

### 3. 결론

본 논문에서는 자기부상열차용 5방향 분기기 장경간 거더 높이 변화에 따른 거더의 구조특성 분석을 수행하였다. 해석결과 구조적 측면에서 800, 1000, 1200mm 세조건 모두 안전성이 보장될 것이라 판단된다. 모달 해석결과 40Hz 이상의 고주파영역에서 각각의 모드가 형성됐다. 이는 자기부상 제어시스템의 대역폭을 고려하였을 때, 주행 시 거더와 차량간의 상호 공진이 발생할 가능성은 희박하리라 판단할 수 있다. 또한, 열 해석결과 열에 의한 영향은 미미하리라 판단된다. 정리하면, 본 논문에서는 장경간 거더 높이 변화에 따른 거더의 구조적, 열적 안정성을 검토하였다. 추후에는 연구의 실용성 측면에서 거더의 안전성 뿐만 아니라 경제성을 고려한 건설비 저감에 관한 연구도 병렬적으로 진행할 예정이다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업에 연구비 지원(15RTRP-B070544-03)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] J.M. Lee, H.S. Han, C.H. Kim, H.J. Shin (2011) "Status of development of the segmented 3 way Maglev switch and running tests", *Proceedings of Maglev 2011 Conference, 2011.*
- [2] H.J. Shin, J.M. Lee, H.S. Han (2011) Vibration test between Maglev vehicle and switching system, *Proceedings of Maglev 2011 Conference, Daejeon.*