

# 경량전철 AGT 안내궤조의 적용성에 관한 연구

## A Study for Improvement Guideway of Automated Guideway Transit System

김 행 배 \*  
Kim, Haeng-Bae

### 1. 서론

경량전철(Light Rail Transit, LRT)은 환경친화적인 도시내 대중교통 수단으로서 우리나라에서도 경전철 AGT 고무차륜방식을 개발하여 부산 반송선에 실용화코자 현재 건설공사를 진행중에 있으며 차량 시스템에 대해서도 성능향상을 추진중에 있다.

그러나 우리나라는 경전철 AGT 고무차륜방식을 처음 도입하는 단계에 있으며 그 동안 차량시스템, 궤도 및 안내궤조에 대하여 많은 연구, 실험, 시운전 등을 통하여 어느정도 안정성을 확보하였으나 최적의 시스템 구축을 위하여 관계부처, 관련연구원과 업계에서 심혈을 기울여 실용화에 대비하고 있다.

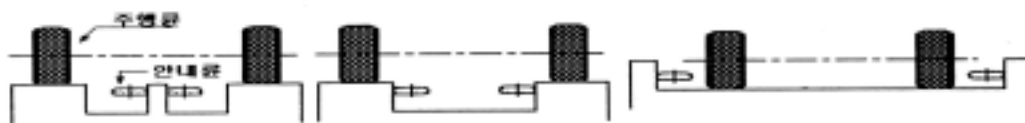
본 논문은 특히 경전철 AGT 고무차륜방식의 안내궤조에 작용하는 열차 운행중의 횡압과 응력을 모델링 해석을 통하여 분석 검토하므로서 적정 규격에서 안내궤조의 역학적 특성을 파악하고자 하며, 또한 일정한 길이마다 연결하여야 하므로 연결부에서의 문제점을 분석하여 횡압, 응력에 안전하게 대응할 뿐만아니라 신축 발생시 활동여유를 확보하므로서 열차 운행시 신축이음부에서의 충격과 흔들림을 방지하여 승차감을 좋게할 수 있는 연결부 처리방안에 대하여 연구하고자 한다.

### 2. 경량전철 안내궤일 해석을 위한 이론

#### 2.1 기본 전제

##### 2.1.1 안내궤일 형식 선정

- 경량전철 AGT시스템에 사용되는 안내방식중 측방안내방식의 수평가동안내궤판을 채택하였다.



중앙안내방식

중앙측구안내방식

측방안내방식

##### 2.1.2 분기기 형식 선정

- 수평가동안내궤판식 복기기와 기본 사양



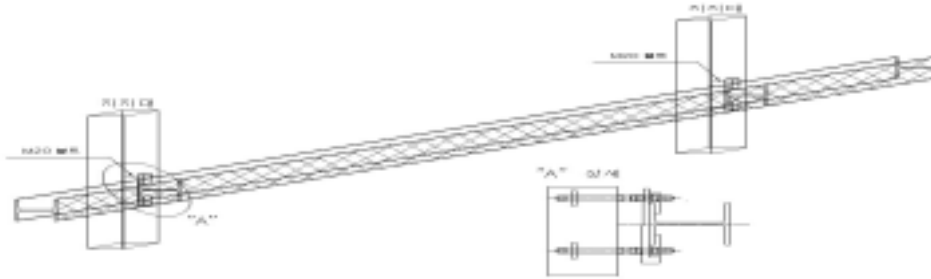
| 구 분    | 규 격            |
|--------|----------------|
| 사용전압   | AC105V/220V 단상 |
| STROKE | 220mm          |
| 전환력    | Max. 400kg     |
| 전환시간   | 7초이하           |
| 운전전류   | 8.5/4.75A      |

\* 김행배, 정회원, (주)삼안 철도사업본부,  
[habkim@hanmail.net](mailto:habkim@hanmail.net), (02)778-5600, FAX(02)778-5611

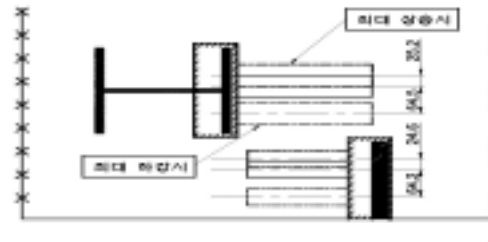
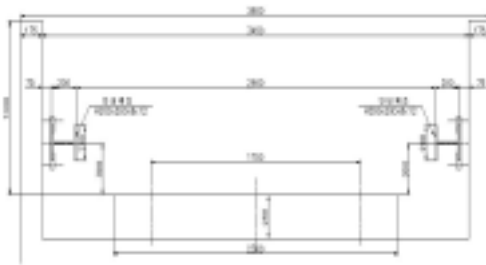
## 2.2 측방안내식 안내레일의 기본구조

### 2.2.1 안내레일의 기본 구조

- 1) 안내레일의 단면 : H 200×200×8×12, 기본길이 : 10m, 체결장치 : 단조품.
- 2) 콘크리트 안내벽에 심는 Stud Bolting 방식을 채택



### 2.2.2 측방안내식 안내레일의 단면도 및 분기륜/안내륜 상하 변위량



## 3. 측방안내식 안내레일의 설계 및 해석

### 3.1 안내레일의 제원 및 허용응력

#### 3.1.1 안내레일의 제원

##### 1) 단면 상수

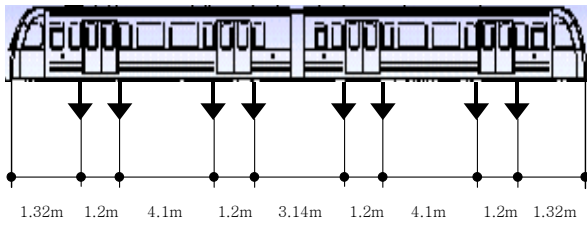
|                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| 단면적(A)                         | 63.53cm <sup>2</sup>   |
| 단면2차모멘트-강축(I <sub>x</sub> )    | 4,720cm <sup>4</sup>   |
| 단면2차모멘트-약축(I <sub>y</sub> )    | 1,620cm <sup>4</sup>   |
| St. Venant 비틀 상수(J)            | 26.044cm <sup>4</sup>  |
| 뒹(Warping) 상수(I <sub>w</sub> ) | 141,380cm <sup>6</sup> |

##### 2) 국부좌굴을 고려한 안내레일 강재의 허용응력

|      |                          |
|------|--------------------------|
| 인장응력 | 1,900kgf/cm <sup>2</sup> |
| 압축응력 | 1,900kgf/cm <sup>2</sup> |
| 전단응력 | 1,100kgf/cm <sup>2</sup> |

#### 3.1.2 안내륜의 횡압

- 1) 본 연구에서는 아래 그림과 같이 2량 1편성으로 구성된 경량전철의 차량 한량에 4개의 안내륜이 있고, 각 안내륜당 2ton의 횡압이 작용하며 그 작용위치는 고무차륜과 노면 상태에 따라 아래 오른쪽 그림과 같이 3가지 경우로 분류될 수 있다.



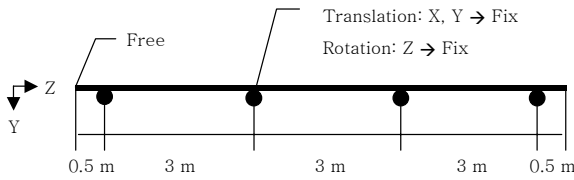
<고무차륜형 경전철의 안내륜 위치>



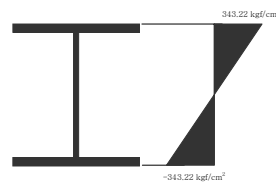
<안내레일에 작용가능한 안내륜의 위치>

### 3.1.3 최대모멘트 발생시 응력검토

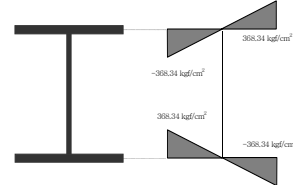
o 안내레일은 10m 길이의 H형강을 3m 간격마다 지지대를 설치하고 있으며 인접한 안내레일과는 신축이음매를 사용하여 연결하고 있다. 이러한 지지조건들을 고려하여 아래 그림과 같은 해석 모델을 사용하고 안내레일의 끝단은 힌과 비틀림에 대해 불연속 되었다고 가정하였다.



<안내레일의 해석 모델>



<단면내 휨-법선응력 분포도>



<단면내 뒐-법선응력 분포>

## 3.2 전단응력

### 3.2.1 최대모멘트가 발생하는 위치에서의 휨-전단응력 계산

$$\tau_{b-\max} = \left( \frac{b \cdot t_f}{t_w} + \frac{h}{4} \right) \cdot \left( \frac{V \cdot h}{2I} \right) = \left( \frac{20 \times 1.2}{0.8} + \frac{18.8}{4} \right) \cdot \left( \frac{-1.47 \times 10^3 \times 18.8}{2 \times 4720} \right) = 101.586 \text{ kgf/cm}^2$$

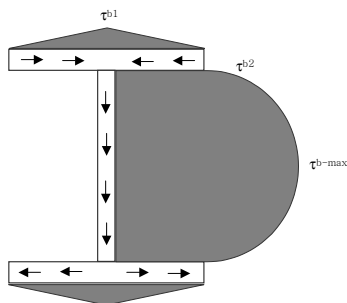
h : 상부 플랜지의 두께 중앙에서 하부 플랜지의 두께 중앙까지의 거리

tf : 플랜지 두께    tw : 웨브 두께    b : 플랜지 폭

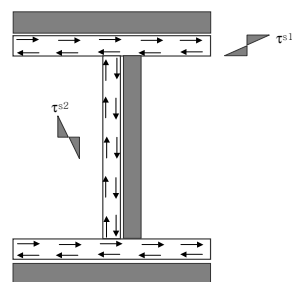
### 3.2.2 최대모멘트가 발생하는 위치에서의 Saint-Venant 비틀림모멘트 계산

$$1) \tau_{s1} = \frac{S_T \cdot t_f}{J} = \frac{0.1268 \times 10^4 \times 1.2}{26.044} = 58.424 \text{ kgf/cm}^2$$

$$2) \tau_{s2} = \frac{S_T \cdot t_w}{J} = \frac{0.1268 \times 10^4 \times 0.8}{26.044} = 38.950 \text{ kgf/cm}^2$$



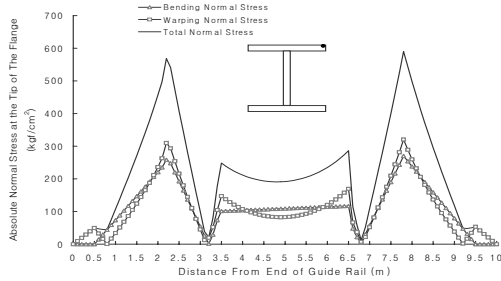
<단면내 휨-전단응력 분포도>



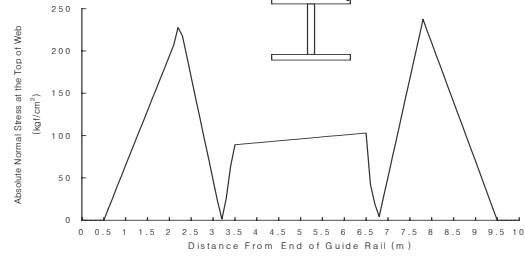
<Saint-Venant 토오크에 의한 전단응력>

### 3.2.3 각 단면에 작용하는 전체 응력선도

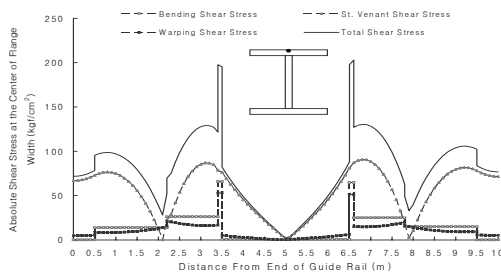
○ 각 단면에 대한 법선응력과 전단응력을 구한 결과 각 단면에 작용하는 전체 응력선도를 그림 그림과 같이 나타내었다.



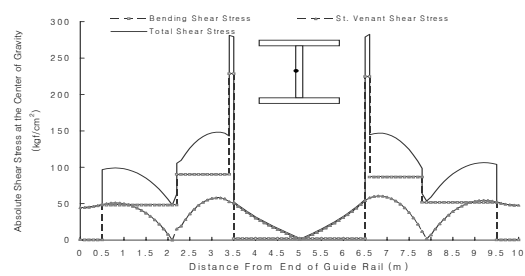
<플랜지 상부 끝단에서의 법선응력선도>



<플랜지와 웨브 연결부에서의 법선응력선도>



<플랜지 상부 중앙에서의 전단응력선도>



<단면 도심에서의 전단응력선도>

### 3.3 응력 검토 결과

#### 3.3.1 국부 좌굴을 고려한 안내레일의 허용응력과 실응력을 검토 결과

| 구 분        |      | 허용응력                     | 실작용응력                     | 발생위치                | 비 고           |
|------------|------|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------------|
| 절대최대모멘트발생시 | 법선응력 | 1,900kgf/cm <sup>2</sup> | 711.76kgf/cm <sup>2</sup> | 좌측에서 1.6m 플랜지 상부 끝단 | 허용응력을 충분히 만족함 |
|            | 전단응력 | 1,100kgf/cm <sup>2</sup> | 280.21kgf/cm <sup>2</sup> | 좌측에서 1.6m 플랜지 상부 끝단 | “             |
| 절대최대토크발생시  | 법선응력 | 1,900kgf/cm <sup>2</sup> | 590.25kgf/cm <sup>2</sup> | 좌측에서 1.6m 플랜지 상부 끝단 | “             |
|            | 전단응력 | 1,100kgf/cm <sup>2</sup> | 282.72kgf/cm <sup>2</sup> | 좌측에서 1.6m 플랜지 상부 끝단 | “             |

#### 3.3.2 전체 좌굴형압에 대한 검토 결과

| 구 분        | 안내륜당 허용 좌굴형압 | 안내륜당 실작용형압 | 비 고           |
|------------|--------------|------------|---------------|
| 절대최대모멘트발생시 | 60.68 ton    | 2 ton      | 실좌굴형압에 충분히 견딤 |
| 절대최대토크발생시  | 80.86 ton    | 2 ton      | “             |

## 4. 안내레일의 설계 및 해석 결과 검토

### 4.1 안내레일의 해석 결과 안전성

#### 4.1.1 적용 규격 및 재질

- H형강 200×200×8×12mm 단면의 압연형 강재, L=10m(기본 길이)

#### 4.1.2 설계 및 해석 결과

- 적용 규격으로 해석한 결과 허용응력과 좌굴응력을 충분히 만족하였다.

#### 4.1.3 안내레일의 해석 결과 안전성

- 본 연구에서 안내레일의 정적 응력을 실험한 결과 매우 안정적이라고 판단할 수 있으며, 실제 시험선 구간의 곡선부나 동적 응력을 고려하지 않았으나, 그에 따르는 안전율을 고려한다 하더라도 안내레일은 매우 안정적이라고 판단되었다.

### 4.2 안내레일의 이음부 처리 방법

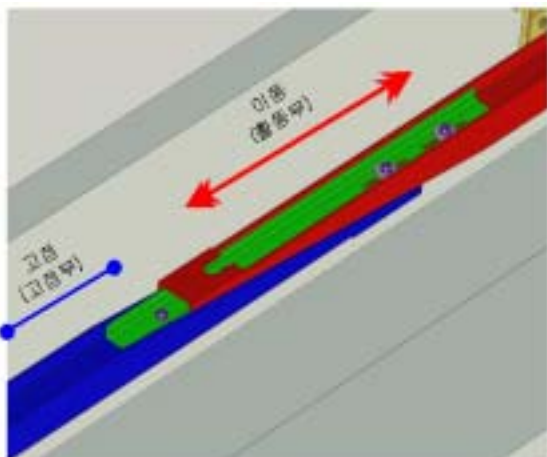
#### 4.2.1 기존 방식

- 교량의 신축이음부에서의 가이드레일 조인트를 어떻게 처리할 것인가가 상당히 중요하다. 교량의 신축량(최대80mm 검측 됨)과 레일의 신축량이 다르고 가이드륜의 직경이 작기 때문에 많은 유간을 확보하기가 곤란하다. 따라서 본 시험선에서는 그림과 같이 분기구간과 동일하게 교량신축이음부에서는 가이드레일을 약 50Cm 절단하고 분기륜으로 가이드를 하였다. 구조상 안전하지만 분기기 통과속도이상으로 고속으로 통과시 일정하게 유도되지 못하고 약간의 충격과 동시에 횡방향으로 흔들림이 발생하여 승차감이 좋지 않은 결과를 초래하였다. 이는 신축이음부에 차량이 진입시 최대(공차한계) +5mm의 벗어난 진입이 발생할 수 있어 이를 오차없이 빠르게 유도하기 위하여 순간적으로 가이드륜이 레일에 충격을 줄 수 밖에 없는 구조로 되어있어 개선이 필요한 것으로 판단되었다.

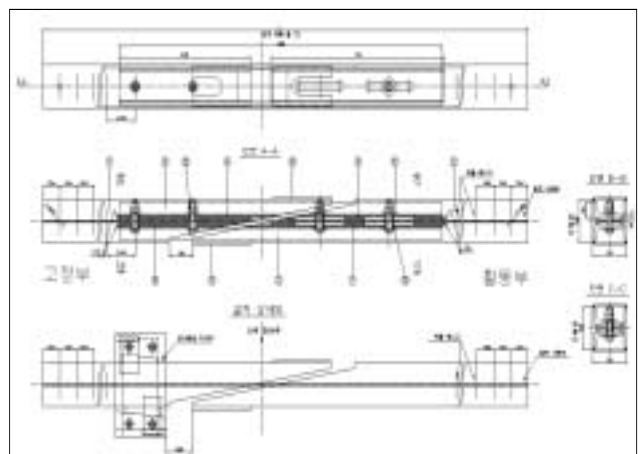
#### 4.2.2 경사식 신축이음장치

##### 1) 신축이음장치의 구조 및 작동 원리

- 안내레일을 주행면과 직각으로 경사로 절단하여 신축 발생시 활동부가 움직이는 구조이며 실제 검측 데이터를 이용하여 신축량은 ± 90mm로 산정하여 설계 반영하였다.

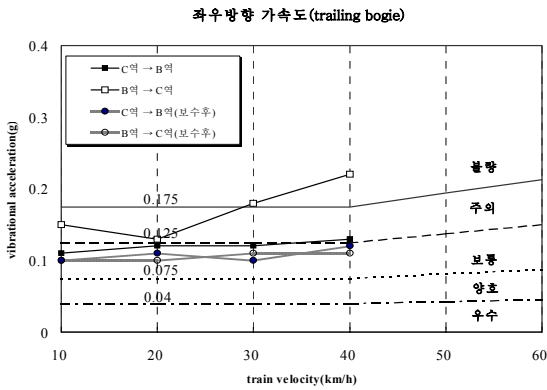


<가이드레일 활동부>

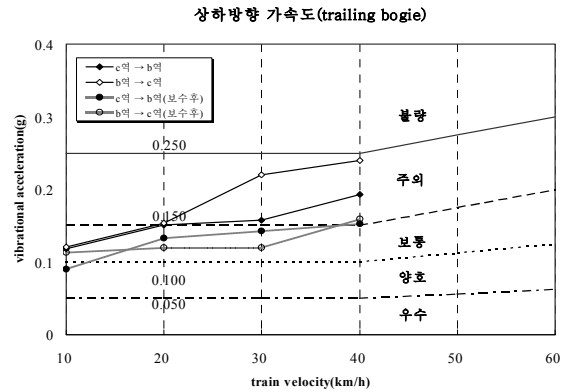


<경사식 신축이음 장치도>

## 2) 진동가속도 측정 결과



<횡방향 진동가속도 측정결과>



<종방향 진동가속도 측정결과>

## 5. 결론

### 5.1 안내레일의 규격

- H형강 200×200×8×12mm 단면의 압연형 강재, L=10m(기본 길이)를 적용

### 5.2 안내레일의 이음부 처리

- 경사식 신축이음장치를 제작 시험부설 하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

#### <경사식 안내레일 설치 후 모습>

- 경산 시험선 미래역사에서부터 242m지점의 시험선 교량 신축이음부의 가이드레일을 보수하기 전과 보수한 후에 차량의 진동가속도를 측정된 결과 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준의 판정기준으로 분석하면 보수전의 진동가속도는 대체적으로 주의와 불량으로 판단되었다. 하지만, 보수후의 진동가속도는 대부분 보통으로 판단할 수 있었다. 특히, 보수지점에서의 운행할 수 있는 최고속도인 40km/h의 속도에서 차량의 승객이 느끼는 승차감에 큰 영향을 미치는 상하방향 및 좌우방향의 진동특성이 보수전과 비교하여 개선된 것을 알 수 있었다.

고무차륜 형식의 AGT시스템의 선로구축물분야의 신뢰성 시험은 안내레일(가이드레일)을 대상으로 시행한 결과 전체적으로 신뢰성을 분석할 고장 등이 없어 구체적인 분석은 불가하였으며 다만 장기적인 유지보수 및 승차감 등을 고려하여 일부 개선한 사항위주로 시험을 수행하였으며 그 결과 또한 우수하게 도출되었으며 향후 지속적으로 관찰하여 좋은 신뢰성 자료를 확보할 계획이다. 끝.