

# HEMU 430-X 주행특성을 고려한 호남고속철도 곡선궤도구조의 거동연구

강운석<sup>1\*</sup>, 엄기영<sup>1</sup>, 김석원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 고속철도 인프라시스템 연구단

<sup>2</sup>한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발 연구단

## Study on the Behavior of Curved Track in Honam High-Speed Line considering the Running Performace for HEMU 430-X

Yun-Suk Kang<sup>1\*</sup>, Ki-Young Um<sup>1</sup> and Seog-Won Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>High-Speed Railroad Infrastructure System Research Team, KRRI

<sup>2</sup>Next High-Speed Railroad Systems Research Team, KRRI

**요 약** 열차가 주행할 때 발생하는 차륜-레일 상호작용력은 열차의 주행속도, 차량축중과 선형조건(곡선반경, 캔트) 등 여러 변수의 영향을 받는다. 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 증속이전에 각 변수별로 구조물에 대한 영향 평가가 필요하다. 최근 차세대고속철도사업으로 국내에서 개발된 HEMU 430-X는 지난 2013년 3월, 경부 2단계구간에서 최고 421.4km/h의 속도를 달성한 바 있다. 향후 호남고속선 Test-Bed 구간(오송기점 K.P 100-128km)에서 추가적인 증속주행시험을 하는 경우 동적효과 증가로 인한 동적하중증가와 원심하중에 의한 외측레일에 대한 궤도작용력에 대한 검토가 필요하다. 본 논문에서는 HEMU 열차의 추진력, 실측주행저항과 호남고속선의 선로선형을 고려하여 TPS 분석을 수행하여 선로에서의 속도변화를 계산하였다. 그리고 HEMU 열차주행시 곡선구간에서의 원심하중과 충격계수를 고려한 궤도부담력을 평가하였다.

**Abstract** The wheel-rail interaction forces are influenced by the velocity of vehicle, wheel load, alignment (curve radius, cant etc). For the safety of track structure, it is required to evaluate the influences for track and influential factors. Recently, the HEMU 430-X, which was developed by Next Generation High-Speed Rail Development R&D Project, achieved 421.4km/h in a test run of Daegu-Busan section of the Gyeongbu high speed rail on March in 2013. In the case of additional speed-up test on Test-Bed Section(Gongju-Jeongeup: KP 100~128km Osong starting point), the analysis of track forces is required for outer rail by the increase of dynamic force and centrifugal force of vehicle. In this paper, the vehicle speed variation on HSL line is evaluated by TPS analysis considering the tractive effort of HEMU 430-X, tested running resistance and alignment of Honam HSR. And the track forces are evaluated by centrifugal force and impact factor on curved track.

**Key Words** : Track, Alignment, Curve Radius, Cant, Centrifugal Force, HEMU-430-X, TPS, Impact Factor

### 1. 서론

열차가 주행할 때 차량과 레일의 사이에 발생하는 상

호작용력이 발생하는데 궤도구조에서는 이를 충분히 지지할 수 있는 강도를 확보해야 한다. 상호작용력은 주행 속도, 차량 축중, 선형조건(곡선반경, 캔트 등)과 궤도를

본 논문은 “고속선 증속을 고려한 설계기준 및 성능평가 핵심연구”과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Yun-Suk Kang(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5323 email: [yskang@krri.re.kr](mailto:yskang@krri.re.kr)

Received May 30, 2013

Revised July 22, 2013

Accepted August 7, 2013

림 등 여러 변수의 영향을 받는다[1-3]. 열차 증속시 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 선로에 대한 영향, 변수별 검토 및 예측평가가 선행되어야 한다.

최근 국내 고속철도 속도향상을 위하여 HEMU 430-X 개발제작이 완료되어 경부 고속선 2단계 구간에서 증속 시험이 이루어졌다. HEMU 차량은 최대 축중이 15톤 이하의 동력 분산식 차량으로 경량화 차체 및 대차기술 등이 개발 적용되었다. 개발차량은 지난 2013년 3월 최고 421.4km/h의 속도를 달성하였고 향후 호남 고속선 Test-Bed 구간(오송기점 KP(Kilo Post) 100~128km)에서 추가적인 주행시험[4]을 앞두고 있는데 안정성확보를 위한 다양한 기술검토가 필요하다.

본 논문에서는 경부 2단계 구간 시운전시 적용된 HEMU 430-X 열차의 추진력, 주행저항과 호남고속선 선로의 중단 및 평면선형을 고려하여 TPS(Train Performance Simulation)분석을 수행하였다. 그리고 궤도부담력이 증가가 예측되는 곡선궤도구간에 대하여 부족캔트와 충격계수를 고려하여 궤도부담력을 평가하고 향후 HEMU 430-X차량 증속에 따른 적합성을 평가하였다.

## 2. 호남고속철도 및 HEMU 430-X 제원

### 2.1 호남고속철도 현황

호남고속철도는 1단계(오송~광주(송정리))구간과 2단계사업(광주(송정리)~목포)구간을 연결하는 고속철도 연결노선이다. 이 노선은 2014년까지 1단계 구간이 완공되는 전 구간 콘크리트 궤도선로로서 설계속도는 350km/h인 고속철도 전용노선이다.

호남고속철도의 1단계구간은 오송기점 0km740~179km140로 총 180km 연장에 6개의 정차역이 있으며 시설의 주요 구조물 현황은 Table 1과 같다. 200km/h 이상 주행구간에서의 곡선구간 곡선반경은 5,000~15,000m로서 현황은 Table 2와 같으며 부설캔트량은 30mm~150mm이다[5,6].

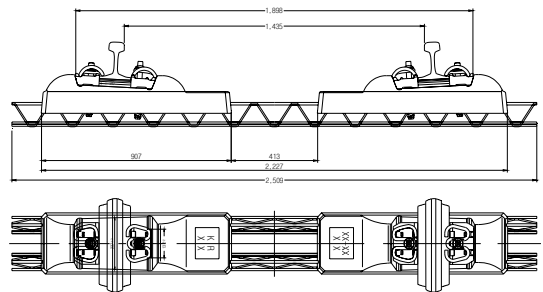
호남고속철도에 부설되는 궤도구조는 콘크리트 궤도 슬래브구조로서 Fig. 1과 같은 격자형철근 침목(Bi-block 침목)에 연속타설을 하는 레다 2000 궤도구조이다. 토공 구간 콘크리트 도상 궤도는 TCL(Track Concrete Layer) 및 HSB(Hydraulic Sub Base)층으로 구성되며 터널구간은 터널 인버트 위에 TCL층을 타설한다. 체결장치는 텐션크램프를 통해 체결력을 확보하며 운행시 높이조절(-4~56mm) 및 횡방향 조정(좌우±16mm)이 가능하다[5,6,14].

[Table 1] The State of Honam HSL Railway Structure

Spec.	Earthwork	Bridge	Tunnel	Summary
Elongation Distance	63.536km	72.001km	44.441km	179.978km
Proportion	35.3%	40.0%	24.7%	100%

[Table 2] The State of Horizontal Alignment

Spec.	Osong~Gongju	Gongju~Iksan	Iksan~Jeongeup	Jeongeup~Gwangju	
Minimum Curve Radius	R=5,000m	R=600m	R=2,200m	R=900m	
Span	Less than R=5,000m	-	4EA	1EA	2EA
Curve Track	R=5,000m ~7,000m	3EA	-	2EA	-
State	More than R=7,000m	2EA	7EA	5EA	7EA



[Fig. 1] Bi-Block Sleeper of Rheda 2000 Track system

### 2.2 HEMU 430-X 열차

HEMU 430-X열차(High-speed Electric Multiple Unit 430km/h eXperiment)는 2007년부터 2012년까지 국가연구개발사업으로 개발된 고속열차로서 최고속도 430km/h 급의 동력분산식 차량이다. 현재 운행시험을 위한 시제편성은 5MIT 편성에 최대축중은 15톤 이하이지만 향후 운행편성은 6M2T에 최대축중 13톤 이하로 제작될 예정이다. 주요 특징은 동력분산형 고속차량으로서 경량화 고효율 유도전동기 및 고속주행용 대차를 탑재하여 기존 전동기 대비 10% 경량화, 효율 및 가감속 성능이 향상되었다. 알루미늄 압출재 최적화로 5% 경량화 및 차음성능이 저감되었다. 이외 전두부 형상, 객객디자인 및 편의시설 개선 등이 이루어졌다[4].

HEMU 430-X차량은 2012년 5월 16일 출고해 시운전을 시작한지 10개월, 55차체에 걸쳐 138회의 최고속도 증속시험 만에 경부 고속선 2단계구간에서 최고속도 421.4km/h (2013년3월28일)를 기록하고 3월 31일 최고속

도시험을 종료하였다. 향후 호남고속선 Test-Bed 구간(오송기점 100~128km)에는 2014년에 전차선 보강 및 소음, 선로구축물(궤도, 노반, 교량) 모니터링 시스템이 구축되고 있는데,[5,7] 향후 HEMU 430km/h 최고 속도시험이 2014년부터 단계적으로 수행될 예정이다.



[Fig. 2] HEMU 430X 차량

### 3. TPS 분석

#### 3.1 개요

호남고속철도 노선에서 HEMU 430-X의 최대속도 시험 시 가능속도와 각 구조물 통과속도대역을 예측하기 위하여 TPS(Train Performance Simulation) 분석을 수행하였다. TPS는 주행차량의 주요제원과 노선의 선형정보를 입력한 후 차량을 모의주행을 하여 노선위치에서의 통과속도를 예측할 수 있다. 해석을 위한 TPS의 입력값으로 고려되는 조건은 주행저항(차륜과 레일사이 마찰저항, 공력저항 등)이 있다. 여기에 차량의 견인특성, 제동특성, 중량특성을 반영하고 노선에서의 평면 및 종단선형 정보 즉 곡선구간, 구배에 대한 정보, 터널유무 등에 대한 정보를 고려하였다.

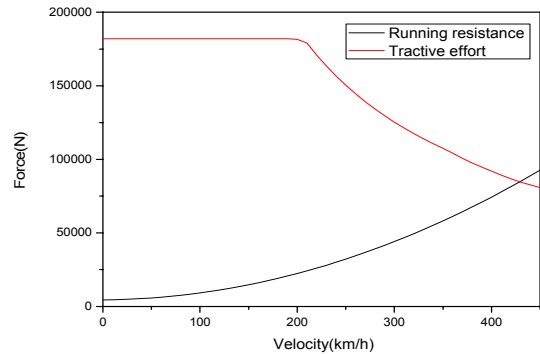
HEMU 430-X의 호남고속선 차량 주행시 위치-속도 프로파일을 예측하기 위해서는 TPN-ONC ver 2.0 프로그램을 사용하였다. 본 프로그램은 지난 2004년 HSR-350 시제차량시험과 차세대고속열차 HEMU 시운전 시험시 검증된 바 있다. 입력된 HEMU-430X의 주행저항은 다음 식과 같으며 이는 경부 2단계 구간에서 실측된 값이다 [4].

$$R = 4.49 + 0.00443V + 0.0004254V^2 \quad (1)$$

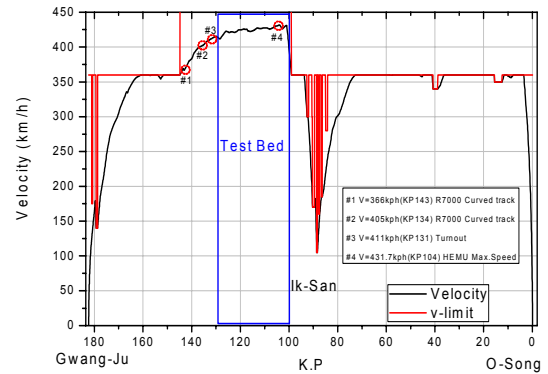
여기서,  $R$ : 열차주행저항( $N$ )

$V$ : 열차속도( $km/h$ )

적용된 차량의 견인력은 Fig. 3과 같고, HEMU-430X 차량의 유도전동기와 동기전동기의 출력은 각각 410kW이며 총 20대의 전동기가 설치되어 총 출력은 8,200kW를 고려하였다. 경부 2단계 구간에서의 HEMU 최고속도 시험시 고려된 Fig. 3과 같은 견인력과 주행저항 곡선을 TPS해석의 입력값으로 하였다.



[Fig. 3] Tractive effort and running resistance curve of HEMU 430X



[Fig. 4] Results of TPS(Gwangju-Iksan) Line

#### 3.2 TPS분석결과

TPS 분석결과는 Fig. 4와 같은데 광주에서 익산방향 T2 상행선을 대상으로 주행속도변화를 검토하였다. 호남고속선 오송기점 KP 104km지점에서 HEMU 430-X 차량은 431.4km/h의 최고속도주행이 예상된다.

#### 3.3 속도에 따른 TPS분석결과

호남고속선 Test-Bed 구간 내의 HEMU 열차의 예상주행속도와 부설캔트(cant), 부족캔트량(cant deficiency), 필요 완화곡선길이(required transition length), 차체불평형가속도(unbalanced lateral acceleration)를 Table 3과 같

[Table 3] Vehicle Velocity by TPS and Cant Deficiency of Curved Track

Spec.	Location (KP)	Curve Radius (m)	Cant (mm)	Vehicle Velocity by TPS (km/h)	Cant Deficiency (mm)	Transition Curve Length (m)	Required Transition Length L1 (m)	Unbalanced Lateral Acceleration (m/s <sup>2</sup> )
R27	150.41	13000	90	360.0	27.64	277.50	236.8	0.18
R26	147.72	13000	90	360.0	27.64	277.51	236.8	0.18
R25	143.33	7000	150	368.0	78.30	450.05	403.5	0.51
R24	134.07	7000	120	406.9	159.10	450.04	356.9	1.04
R23	129.82	10000	90	415.3	113.52	362.51	273.2	0.74
R22	120.23	10000	120	424.6	92.74	362.51	372.5	0.61
R21	112.01	15000	80	426.6	63.16	240.00	249.5	0.41
R20	107.78	10000	120	425.7	93.84	362.51	373.4	0.61
R19	98.82	7000	150	360.0	68.47	450.05	394.7	0.45
R18	92.59	5000	70	300.0	142.40	159.81	153.5	0.93

이 계산하였다. 호남고속선 Test-Bed 구간 내에는 곡선반경 10000m인 곡선구간 2개소와 곡선반경 15000m인 곡선구간 2개소가 위치한다. 이 구간 진입 전후구간에는 곡선반경 7000m, 10000m 등의 곡선구간이 위치하며 최고속도 430km/h를 통과하기 위해서는 Table 3의 주행속도로 통과할 것으로 예측되었다. 검토결과, R24번 곡선반경 7000m 구간에서는 406.9km/h로 열차가 통과하며 캔트부족량은 159.1mm로 예측되었다.

### 4. 궤도안정성 검토

#### 4.1 개요

일반적으로 차륜-레일 동적 상호작용력은 속도에 비례하여 커지며 궤도구조에 전달되는 하중도 증가한다 [8-10]. 곡선궤도구간에서 균형속도를 초과하여 증속하면 원심하중에 의하여 부족캔트(Cant Deficiency) 상태가 되며 외궤 레일에 하중이 가해지는데 이 부분의 안정성검토가 필요하다.

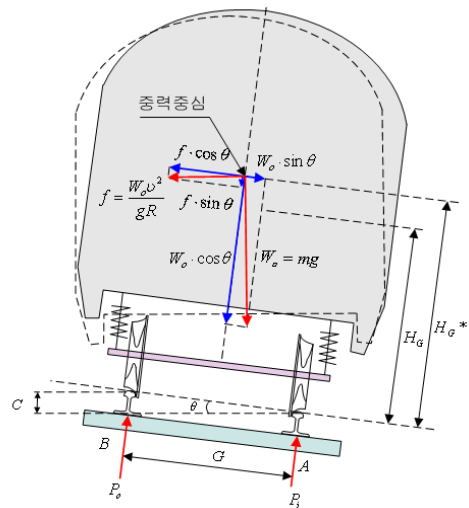
그러므로 본 해석에서는 곡선구간에서 균형캔트를 초과하는 HEMU열차의 고속주행시 곡선구간 외측레일에 대한 하중을 계산하였다. 그리고 속도증가 시 차륜-레일의 상호작용에 의한 동적효과가 고려된 동적충격계수(D.A.F)를 고려하여 극대하중과 반복하중을 계산하였다. 발생하중은 궤도구조의 연직방향과 열차진행 직각방향으로 재해되며 레일과 체결장치를 거쳐 슬래브 층에 전달된다. 이를 고속선의 곡선구간과 부설캔트별로 계산하였다.

#### 4.2 곡선구간 내외측레일 발생 유향중

차량은 캔트가 있는 곡선구간을 통과할 때 선로 면이

비틀어짐에 따라 Fig. 5와 같이 경사를 이룬다. 이 때 차륜/레일의 접촉점을 중심으로 하여 차체 질량중심점의 외측방향으로 원심하중이 작용하며 원심하중과 차체하중의 모멘트의 합을 구할 수 있다. 균형캔트를 초과하는 만큼의 캔트부족량  $C_d$ 에 의하여 발생하는 초과원심력이 차량의 유효중심높이  $H_G^*$ 에 발생하는 경우를 다음 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다[3,5,11].

외측과 내측 레일의 유향중 정상분은 Table 4의 제원을 고려하였다. 속도, 곡선반경, 부설캔트를 변수로 하여 외측레일에 발생하는  $\overline{P}_o$ 와 내측에 발생하는 상호작용력  $\overline{P}_i$ 를 계산하였다.



[Fig. 5] Variation of Wheel Load on Curved Track

$$\overline{P}_o = \frac{W_o}{2} \left[ \left\{ 1 + \frac{v^2}{g \cdot R} \cdot \frac{C}{G} \right\} + \frac{H_G^*}{G/2} \left\{ \frac{v^2}{g \cdot R} - \frac{C}{G} \right\} \right] \quad (1)$$

$$\overline{P}_i = \frac{W_o}{2} \left[ \left\{ 1 + \frac{v^2}{g \cdot R} \cdot \frac{C}{G} \right\} - \frac{H_G^*}{G/2} \left\{ \frac{v^2}{g \cdot R} - \frac{C}{G} \right\} \right] \quad (2)$$

여기서,

$\overline{P}_o$  : 외측 레일 율하중 정상분(kN)

$\overline{P}_i$  : 내측 레일 율하중 정상분(kN)

$W_o$  : 정적 축중(kN)  $v$  : 차량속도(m/s)

$G$  : 궤간(m)  $C$  : 캔트(m)

$R$  : 곡선반경(m)

$g$  : 중력가속도(9.8m/s<sup>2</sup>)

$H_G^*$  : HEMU 430X 차량유효중심높이(m)

$$C_d = 1 + t \times s \times \varphi \quad (3)$$

여기서,

$t$  는 통계안전 계수로서 확률의 신뢰구간에 좌우되는 표준편차의 가중값이다.

$t = 1$  는 측정값의 확률 68.3%

$t = 2$  는 측정값의 확률 95.5%

$t = 3$  는 측정값의 확률 99.7%를 나타낸다.

레일에 적용하는 하중은  $t = 3$  을 적용한다.

$s$  는 인프라 상태에 좌우되는 계수로서 궤도품질을 의미한다.

$s = 0.1$  매우 양호한 상태(very good track)

$s = 0.2$  양호한 상태(good track)

$s = 0.3$  불량한 상태(poor track) 이다.

호남고속선 2단계 콘크리트 구간은  $s = 0.1$  을 적용하였다.

$\varphi$  는 동적확대계수이다.

$$V \leq 60 \text{ km / h 인 경우, } \varphi = 1.0 \quad (4)$$

$$V > 60 \text{ km / h 인 경우, } \varphi = 1.0 + 0.5 \frac{V - 60}{190} \quad (5)$$

이다. 본 해석에서 위 식들을 적용하였다.

[Table 4] Properties of Analysis

Variables	Symbol	Value
Wheel Load	$W_o$	150kN
Effective height of Carbody	$H_G^*$	3.0m
Gage	$G$	1500mm
Gravity constant	$g$	9.8m/sec <sup>2</sup>

### 4.3 충격계수 적용

열차가 주행할 때 발생하는 차량과 레일의 상호작용력은 궤도틀림, 궤도지지강성 등에 의해 증가하며 설계시에는 이러한 영향을 충격계수로 고려하여 설계에 반영한다. 선로는 장대하고 연속적인 구조로서 상호작용력은 선로의 차륜, 레일접촉점을 따라 시간과 위치에 따라 불규칙하게 변동하는 하중분포 특성을 보이며 일반적으로 정규확률과정으로 가정할 수 있다. 국내 및 외국에서 제안된 식은 속도증가에 따른 충격계수를 정적하중에 곱하여 속도증가에 따른 동적하중 증가분으로 추정이 가능하며 이러한 계수는 선로 실내시험, 현장시험 등에서 측정 데이터를 기반으로 하여 제시된다[1,2,5,12]. 충격계수의 대표적인 식으로는 아이젠만(Eisenmann)이 충격계수가 있다. 정상분포를 이룬다는 사실을 증명하였고 가설과 실험 결과를 바탕으로 동적충격계수( $C_d$ )를 제안하였다. 이는 국내기준에도 제시되기도 하였다[12].

### 4.4 레일거동계산

곡선구간에서 동적충격계수( $C_d$ ) 증가에 따른 궤도구조의 작용하는 하중을 계산하였다. 궤도의 이산지지모델에서는 레일을 지지하는 침목 1개의 체결장치에 대한 스프링계수를 고려한다. 호남고속선의 슬래브궤도구조의 수직방향 레일지지강성은 레일패드, 슬래브노반의 스프링 계수를 고려하여 다음과 같이 표현할 수 있다[2,5].

$$K_{ts} = \frac{1}{\frac{1}{K_{railpad}} + \frac{1}{K_{roadbed}}} \quad (6)$$

여기서,  $K_{ts}$  는 레일지지강성이며,  $K_{railpad}$ ,  $K_{Roadbed}$  는 각각 레일체결장치, 슬래브노반의 수직강성이다.

레일의 휨거동을 검토하기 위해 궤도역학의 선형해석 이론을 적용하였는데 1개 차륜이 연속체위에 놓인 탄성

보 모델로 가정하여 최대 레일변위, 최대모멘트, 최대레일응력은 다음 식과 같이 계산하였다.

$$y_r = \frac{P_{ou}}{2kl_c} \quad (7)$$

$$M_r = \frac{P_{ou}l_c}{4} \quad (8)$$

$$\sigma_r = \frac{M_r}{Z_r} \quad (9)$$

여기서,

$y_r$ : 레일변위(mm)

$P_{ou}$ : 극대윤중(kN)

$k = K_{ts} / l_s$ : 레일 단위지지강성(kN/m/m)

$l_s$ : 침목간격(m)

$l_c = \sqrt[4]{4EI / k}$ : 레일특성길이(m)

$M_r$ : 레일 모멘트  $\sigma_r$ : 레일응력

$EI$ : 레일 휨강성(UIC 60레일)

$z_r$ : 레일단면계수(UIC 60레일)

레일 횡변위를 구하기 위해서 레일의 경사각도를 다음 식과 같이 구할 수 있다[2,5].

$$\theta = \sqrt{\frac{l_s}{K_t}} \frac{1}{2} (\Delta H_o h - P_o e) \quad (10)$$

여기서,

$\theta$ : 레일틸팅각도

$l_s$ : 침목간격

$K_t$ : 체결장치 저항 모멘트

$C$ : 레일 뒤틀림 강성

$\Delta H_o$ : 궤간 외측 반복횡압

$h$ : 레일저부로부터 횡하중 작용 높이

$P_o$ : 궤간 외측 윤하중 정상분

$e$ : 레일중심으로부터 윤하중 작용점까지 거리(편심)

레일 패드와 체결스프링의 저항모멘트는 다음과 같다.

$$K_t = \frac{1}{12} K_p b^2 + \frac{1}{2} K_c (b - \Delta b)^2 \quad (11)$$

여기서,

$K_t$ : 레일패드, 체결스프링의 저항모멘트를 고려한 전

체 체결장치 저항모멘트

$K_p$ : 레일패드동적강성(1.3×레일패드정적강성)

$b$ : 레일패드 침목 종방향 길이

$K_c$ : 체결클립 스프링 강성

$b - \Delta b$ : 체결클립의 레일 접촉점간 거리

호남고속선 궤도구조에 가해지는 하중에 대한 레일 변위, 레일 휨응력 값의 상한기준은 경부고속선 HEMU열차 시험기준을 참조하였다.[4] 이 기준은 국내 경부 고속선 1,2 단계 개통 전 시험에도 적용된 바 있다. 이를 고려하여 허용응력 기준 값으로 적용하였다. 해석에 적용된 제원은 Table 5와 같다[5,7,14,15].

[Table 5] Properties of Track Analysis

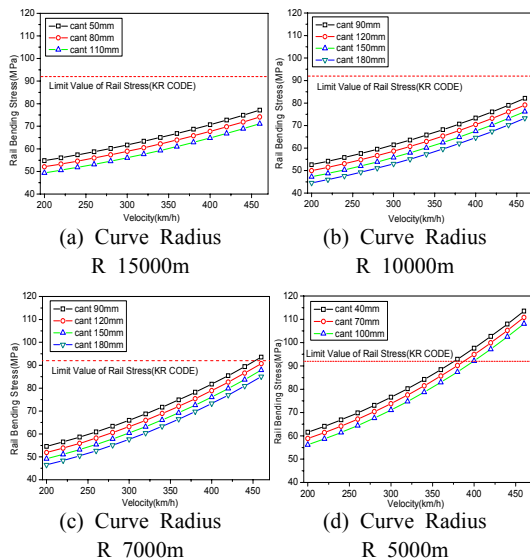
Parameter	Symbol	Value
Rail bending rigidity	$EI$	6434.0 kN · m <sup>2</sup>
Rail section modulus	$z_r$	355.0×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>
Rail unit support stiffness	$k$	57730 kN / m / m
Distance of sleeper	$l_s$	0.625 m
Rigidity of rail torsion	$C$	400 kN / m <sup>2</sup>
Height of lateral load from rail foot	$h$	0.157 m
Eccentric distance from rail center line to wheel load applying point	$e$	0.036 m
Dynamic stiffness of rail pad	$K_p$	28900 kN / m
longitudinal length of rail pad	$b$	0.29 m
Spring rigidity of rail fastening clip	$K_c$	588.24 kN / m
Distance of fastening clip contact point	$b - \Delta b$	0.126 m

Fig. 6 ~ Fig. 8은 호남 고속선의 각각의 곡선반경과 캔트변화에 따른 레일휨응력, 레일수직 및 수평변위의 해석결과를 나타낸다. 해석결과는 호남고속선 선로의 곡선 반경 15000m, 10000m, 7000m, 5000m와 부설캔트 50 ~ 180mm를 대상으로 200 ~ 450km/h 열차속도대역에서 검

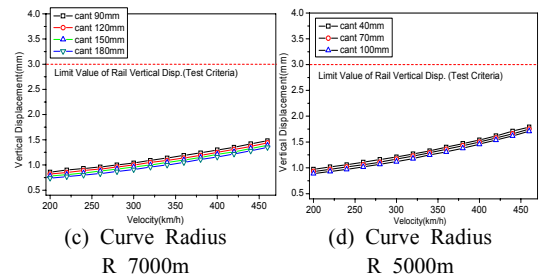
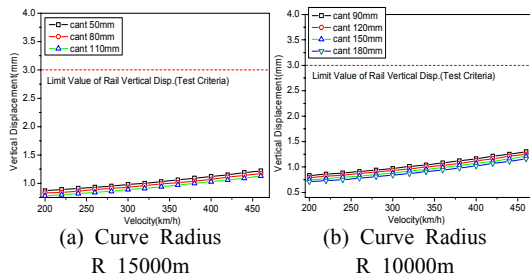
토하였고 해석결과를 기준 값과 비교하였다.

Fig. 6 ~ Fig. 8의 해석결과는 열차의 속도가 증가하면서 발생하는 원심하중의 영향에의해서 곡선구간 외측에 작용하는 레일의 응력,변위는 증가하는 것으로 나타났다. 그리고

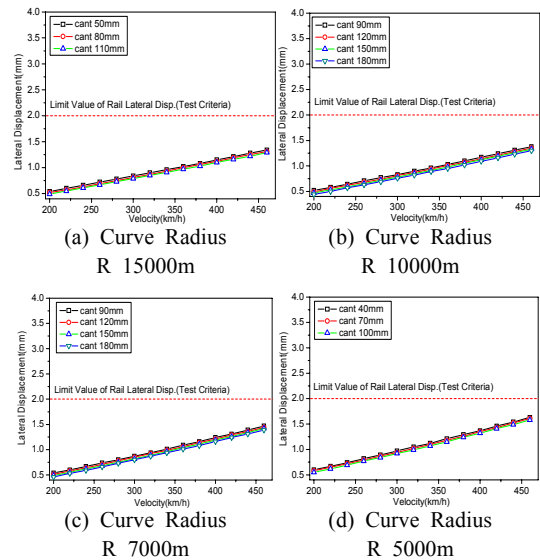
곡선구간의 곡선반경이 작을수록 궤도 부담력은 동일 속도 주행시와 비교하여 더 증가한다. 호남선 곡선구간에 실제 부설된 캔트를 기준으로 하여 부설캔트량을 증감시켜 해석을 수행했는데 부설캔트가 증가하면 부족캔트량을 감소시켜 각각 레일응력과 발생하는 레일변위는 감소한다.



[Fig. 6] Results of Rail Stress according to curve radius



[Fig. 7] Results of Rail Vertical deflection according to curve radius



[Fig. 8] Results of Rail Lateral deflection according to curve radius

TPS 분석에 의하면 호남 고속선 Test-Bed 구간 진입 전에 위치한 곡선반경 7000m 구간에서 최대 406km/h 이상의 주행이 예상되며 곡선반경 10000m, 15000m구간에서는 425km/h의 속도로 통과가 예상된다. 차량속도증가에 따라 호남고속선 곡선반경 7000m의 곡선구간의 경우 상한 기준 대비 안전율에 대한 여유도는 감소한다. 장대한 선로현장의 특성상 계절환경 변화요인, 재료 및 선형 오차에 의한 구조물의 응답이 증가할 수도 있으므로 이를 대비하여 충분한 안전율을 확보한 상태에서 차량주행이 필요하다. 향후 호남고속선 구간의 선로구축물의 현장 성능시험과 차상모니터링을 증속단계별로 시행하면서 속도향상하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 경부 2단계에서 수행하였던 최고속도 시험당시 HEMU 430-X열차의 추진력, 주행저항을 적용하고 호남고속선 선로의 평면 및 종단선형을 고려해 주행열차의 예상속도대역을 평가하기 위하여 TPS(Train Performance Simulation) 분석을 1차로 수행하였다. 검토 결과 곡선반경 7000 ~ 10000m구간에서 400km/h이상으로 주행하는 것으로 나타났다. 곡선구간에는 궤도구조에서의 가장 큰 거동이 예상되므로 곡선구간 내외측의 하중발생 메커니즘을 검토하고 곡선구간 외측 및 내측레일에 작용하는 하중을 예측하였다. 그리고 국내 KR-CODE 등에서 제시하는 충격계수를 고려하여 극대하중과 피로하중을 계산한 후 극대하중값에 의한 레일의 거동을 분석하였다. 각각 곡선구간과 캔트에 따라 얼마나 거동차이가 나타나는지 변화양상을 검토하고 차이를 평가하였다. 속도향상시 안정성 검토를 위해 검토된 레일 부담력은 기준값 이내에서 거동하며 안전율을 확보하였다. 그러나 해석상 호남고속선 곡선구간에서는 여러 현장여건의 불확실성(환경, 물성값 변동, 시공오차 등)에 의한 동적응답 증가를 대비하여 충분한 안전율을 확보한 상태에서 차량주행이 필요하다. 향후 호남고속선 구간의 선로구축물의 현장 성능시험과 차상모니터링을 증속단계별로 수행하여 매단계마다 안정성을 평가한 이후 속도향상이 바람직할 것으로 판단된다.

## References

[1] Coenradd Esveld, *Modern Railway Track 2nd Edition*, pp.71-85, MRT-Production, 2001.  
 [2] Bernhaed Lichtberger, "*Track Compendium*", pp60-75, 148-163, Eurail press, 2005  
 [3] Masao UCHIDA, Hideyuki TAKAI, Hironari MURAMATSU, Hiroaki ISHIDA, "*Evaluation of Derailment Safety Using Lateral-Force/ Wheel- Load Estimation Equations*" Vol 15.No 4, pp.2~7. RTRI REPORT April 2001  
 [4] Korea Railroad Research Institute, *System Performance Evaluation of Next High Speed Train*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2013  
 [5] Y.S.Kang et al, *Study on design standards of track systems for the high-speed railway at 400km/h*, Korea Railway Research Institute Korea Railway Research Institute, pp. 41-62, Korean Research Railroad Institute, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, KICTEP, 2012

[6] Korea Rail Network Authority, *Honam High-Speed Line Construction Section Detailed Design Report*, Korea Rail Network Authority, 2012  
 [7] K.Y.Um, JY, Kim, C.Y.Choi, J.H. Yoon, Testbed Implementation for Performance Evaluation of High Speed Railway Infrastructure. pp 910-916, *Proceedings of Korean Society for Railway*, 2012  
 [8] Y.S.Kang, Y.J.Kang, S.C.Yang, "Dynamic Interaction of Track and Train System on Open Gap by Rail Breaks" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol 28. No.6D pp 900-903, 2008  
 [9] Y.S.Kang, Y.J.Kang, S.C.Yang, S.K.Cho. S.Y.Han, "A Study of Dynamic Behavior of Track and Train Interaction on Rail Open Gap" *International Journal of STEEL STRUCTURES*, Vol 19. No 4 pp 352-353, 2007  
 [10] S.C.Yang, Y.S.Kang, "Design of Shock-absorbing Reinforced Rail over the Joining Area of Bridge and Embankment" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol 22. No.6D pp 1257-1269, 2002  
 [11] S.B.Hwan, S.C.Yang, Y.S.Kang, "A Study on the Parameters Effecting on the Derailment Factor of Running Train on the Curved Track." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol 24. No.6D pp 947-954, 2004  
 [12] Korea Railway Network Authority, KR CODE 2012, KR C-14(Track), Korea Railway Network Authority  
 [13] Y.S.Kang(2007), *Techonolgy Development for Track System of KHST(Track/Trackbed Field)*, Korea Railway Research Institute, Ministry of Construction & Transportation, KICTEP  
 [14] Available From: <http://www.vossloh-fastening-systems.de/cms/en/home/home.html>(accessed May. 30, 2012)  
 [15] Available From: <http://www.pandrol.com> (accessed May. 30, 2012)

## 강 윤 석(Yun-Suk Kang)

[정회원]



- 1996년 6월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(석사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 대학원 구조대학원(박사)
- 2008년 1월 ~ 2011년 3월 : 국토해양부 철도기술 전문위원회 위원
- 1997년 12월 ~ 현재 : 한국철도 기술연구원 책임연구원

<관심분야>

고속철도 선로구축물 속도향상, 궤도구조



**엄 기 영(Ki-Young Um)**

[정회원]



- 1990년 2월 : 성균관대학교 건설 환경시스템 공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 서울과학기술대학교 철도건설공학과 (공학박사)
- 1996년 12월 ~ 현재 : 한국철도 기술연구원 연구단장
- 2013년 1월 ~ 현재: 국토교통부 항공철도사고조사위원회 자문위원

<관심분야>

고속철도 인프라 속도향상, 선로구축물기술개발

---

**김 석 원(Seog-Won Kim)**

[정회원]



- 1987년 8월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (석사)
- 2007년 2월 : 아주대학교 대학원 기계공학과 (박사)
- 1987년 2월 ~ 1994년 3월 : 대우조선해양 대리
- 1994년 3월 ~ 1997년 2월 : 삼성중공업 중앙연구소 과장
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 차세대고속 철도 연구단장

<관심분야>

고속철도, 차량시스템, 제동시스템