

F10/F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 주행안전성 해석[§]

엄범규* · 김성종** · 이승일*** · 이희성*†

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과, ** 국토교통과학기술진흥원, *** 한국교통대학교

Analysis of Running Safety According to Changes of Guard Rail Length on F10/F12 Turnout

Beom Gyu Eom^{*}, Sung Jong Kim^{**}, Seung Il Lee^{***} and Hi Sung Lee^{*†}

^{*} Dept. of Rolling Stock System Engineering, Graduate School of Railroad, Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology,

^{**} Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement,

^{***} Korea Nat'l Univ. of Transportation

(Received April 25, 2012 ; Revised March 5, 2013 ; Accepted March 7, 2013)

Key Words: Turnout(분기기), Guard Rail(가드레일), Running Safety(주행안전성), Derailment Coefficient (탈선계수)

초록: 기존선에서의 속도향상을 저해하는 요인은 매우 다양하지만, 그 중 분기기 통과속도 제한규정을 가장 대표적 사례로 손꼽히고 있다. 현재, 기존선 분기기의 직선측 최고 통과속도는 일반 선로의 차량 최고 주행속도에 비하여 낮은 속도로 제한되어 운행하고 있으며 분기기내에서 주행속도를 제한하는 것은 분기기 통과 시 철도차량의 주행안전성을 확보하는데 목적을 두고 있다. 본 연구에서는 대구도시철도공사의 분기기 가드레일에 대한 형상 변경사례를 기반으로 하여, 분기기에서의 차륜/레일 형상에 따른 기하학적 관계식을 이론적으로 검토하였으며, 개발한 VI-Rail 분기기 해석기법을 통하여 F10/F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 주행안전성 해석을 수행하여 그에 따른 영향을 살펴보았다.

Abstract: The speed-limit regulation on a turnout is the main factor inhibiting the speed-up of conventional lines. The specified speed for a train moving through a turnout system is lower than that for a train traveling over the general track. This is done to ensure the running safety of a railway vehicle moving through a turnout. In this study, the shape change example of the guard rail component of a turnout in the Daegu Metropolitan Transit Corporation (DTRO) system was studied. A theoretical examination of the geometrical interaction formula according to wheel/rail shape at the turnout was conducted. Running safety analysis by changing the length of the guard rail on the F10/F12 turnout using the developed analysis techniques (by VI-Rail) was achieved, and the effect on railway safety was examined accordingly.

1. 서 론

1.1 연구목적 및 필요성

기존선에서의 속도향상을 저해하는 요인은 매우 다양하지만, 그 중 분기기 통과속도 제한규정을 가장 대표적 사례로 손꼽히고 있다. 현재, 기존선 분기기의 직선측 최고 통과속도는 일반 선로의 차량 최고 주행속도에 비하여 낮은 속도로 제한되어 운행하고 있으며 분기기내에서 주행속도를 제한하

는 것은 분기기 통과 시 철도차량의 주행안전성을 확보하는데 목적을 두고 있다.

분기기에서는 일반적인 차륜-레일 접촉과 달리 다중접촉이 발생하거나 충격하중이 발생하기도 한다. 또한, 복잡한 분기기의 구성 때문에 곡선부에 캔트(Cant)를 부여하기가 곤란하므로 곡선부에서 발생하는 횡가속도가 감소되지 않아 승객에게 불편함을 주게 되고 차량의 주행안전성에도 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

위와 같은 문제점을 보완하기 위하여 철도관련 연구기관에서 분기기에서의 통과속도 및 주행안전성을 향상시키기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 특히 철도차량의 분기기 통과 시에 횡압의 변화를 최소화하기 위한 설계가 요구되고 있다. 하지만,

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 동역학 및 제어부분 춘계학술대회(2012. 4. 11.-13., 제주 KAL 호텔) 발표논문임.

† Corresponding Author, hslee@seoultech.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

기존의 분기기 설계방식은 분기기를 통과하는 차량을 질점으로 가정하여 기구학적인 해석만을 수행함으로써, 실제 분기기에서의 응답특성을 정확히 표현하는데 어려움이 있다.⁽¹⁾

이러한 차량과 분기기간의 상호 작용에 따른 동역학 해석과 관련하여 연구사례를 조사한 결과, 정우진 등⁽²⁾이 65번 고속용 분기기를 통과하는 차량의 동특성 변화를 예측하였고, 한형석 등⁽³⁾이 차륜/레일 접촉특성 해석프로그램을 개발하여 동특성 해석을 수행하였다. 최근에는 김성중 등^(4,5)이 고속철도차량의 분기기 주행 시 주행안전성 해석을 위하여 철도차량 전용 해석프로그램인 VI-Rail을 적용한 차량, 분기기 시스템의 해석모델 구축과 차륜/레일 사이의 접촉점 위치 해석을 수행하였다. 또한 분기기 단면 형상 변화가 차량의 주행안전성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 F10/F12 분기기를 대상으로 포인트부 텅레일의 길이, 크로싱부 노즈레일의 높이를 변경시켜 주행안전성 해석을 수행한 바 있다. 한편, 대구도시철도공사에서는 전동차차륜에서 발생한 이상마모를 분기부에 설치된 가드레일 길이를 연장하여 해결한 사례가 있었다. 따라서 본 연구에서는 가드레일의 형상변화가 차량의 주행안전성에도 영향을 미칠 것으로 판단하고, 앞서 소개한 연구사례를 바탕으로 이론적으로 분기기에서의 차륜/레일 형상에 따른 기하학적 접촉 특성을 먼저 검토하였고, 대구도시철도공사를 현장 방문하여 분기기 구성요소 중 가드레일에 대한 형상 변경사례를 조사하였다. 마지막으로 개발한 VI-Rail 분기기 해석기법을 통하여 F10/F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 주행안전성 해석을 수행하였다.

2. 분기기에서의 차륜/레일 인터페이스

2.1 분기기 구성

분기기는 크게 세 가지 부분 즉, 포인트부, 리드부, 크로싱부로 나뉘며 포인트부는 분기기 진입 구간으로 기본레일에서 분기레일로 갈아타는 시작 위치를 나타낸다. 포인트부는 기본레일과 텅레일로 구성되고 기본 레일은 UIC 60 단면으로 형상이 일정하며 텅레일은 UIC 60D 단면을 기준으로 절삭가공되어 길이방향으로 단면이 변화를 한다. 두 번째로 리드부는 분기된 이후 반대측 기본 레일과 교차하기 전까지 연결되어 있는 레일을 의미하며 이 위치에서는 UIC 60D 단면에서 UIC 60 단면으로 형상 변화가 발생한다. 마지막으로 크로싱부는 분기되어 나온 레일 부분과 반대측 직선 레일이

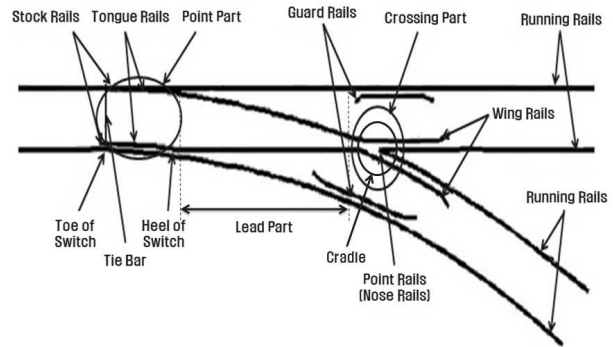


Fig. 1 Schematic diagram of turnout

서로 교차하는 부위를 말하며 크래들, 포인트 레일, 가드 레일 등으로 구성된다. 크래들은 크로싱부에서 가장 구조물이 큰 레일로 하나의 큰 부품으로 구성되며, 포인트 레일은 크로싱부에서 차륜의 진행방향을 결정해주는 레일이다. 가드 레일은 분기 시 크로싱부에서 받는 횡력을 지지하는 역할을 한다. Fig. 1은 분기기의 일반적인 형상을 보여준다.⁽⁶⁾

2.2 분기기 유지보수 기준

분기기는 선로에서 가장 취약한 부분이며, 구조상으로 복잡하고 많은 부재가 조립되어 있어 열차의 통과 시 진동이 심하므로 열차속도 및 안전상에 저해요인이 있다. 그러므로 분기기는 항상 양호한 상태가 유지되도록 정비하고 있다. 특히 분기기 구성 중 가드레일 플랜지웨이(Flange way) 폭과 백게이지(Back gage)는 분기기에서의 차륜/레일간의 인터페이스에 중요한 요소가 된다

2.2.1 가드레일 플랜지웨이 폭

가드레일의 플랜지웨이 폭은 차륜 유도량과 차륜이 노즈레일에 닿는 양에 영향을 준다. 플랜지웨이 폭을 넓게 한 경우에는 차륜 유도량이 작게 되어 배면횡압에 대하여는 유리하게 되지만, 차륜이 노즈레일에 닿는 양이 크게 되어 노즈레일의 손상과 마모에 대하여 불리하게 된다. 또한, 플랜지웨이 폭을 좁게 한 경우에는 차륜 유도량이 크게 되어 배면횡압에 대하여 불리하게 되지만, 차륜이 노즈레일에 닿는 양이 작게 되어 노즈레일의 손상과 마모에 대하여 유리하게 된다.

가드레일 플랜지웨이 폭을 검토할 때에는 이상과 같은 점을 고려함과 동시에 관련된 궤도규칙, 분기기의 사용 목적, 궤간의 보수 기준, 크로싱의 플랜지웨이 폭, 백게이지 및 윤축의 보수기준 등을 고려하여야 한다. 기존선에서 분기기 가드레일

의 플랜지웨이 폭은 42 ± 2 mm 이다.

2.2.2 백게이지

백게이지는 Fig. 2 에 나타난 것처럼 가드레일의 플랜지웨이 측면에서 크로싱의 대응하는 노즈레일 레간선까지의 거리이다. 차륜의 내면거리 때문에 크로싱의 노즈 레일 부근의 가드와 윙 레일간의 간격은 정해진 범위 내에서 엄격하게 유지되어야 차륜이 원활한 주행을 할 수 있을 뿐 아니라 열차의 승차감 및 주행 안전도를 보장할 수 있다. 백게이지가 작은 경우에는 차륜이 노즈레일에 닿는 양이 크게 되어 노즈레일의 손상과 마모가 생기며, 극단적인 경우에는 이선진입을 일으킬 위험성이 있다. 또한, 백게이지가 큰 경우에는 차륜내측이 가드레일과 윙레일에 구속되어 차륜이 올라 탈 우려가 있다. 기존선에서는 백게이지를 1,390~1,396 mm 로 유지하도록 하고 있다.

Table 1 Maintenance standard on turnout

Divisions	Maintenance limit (mm)	Remarks
Track gage of crossing part	+3, -2	
Back gage	1390~1396	Excluding nose rail-flow on measuring back gage
Track gage near tongue rail (CTC section)	+3, -2	Centralized train control section
Flange way width of guard rail	42 ± 3	Back gage (1,390 mm) : 45 mm Back gage (1,396 mm) : 39 mm

※ Comment : Track maintenance of Korea Rail Network Authority (08.11.21)

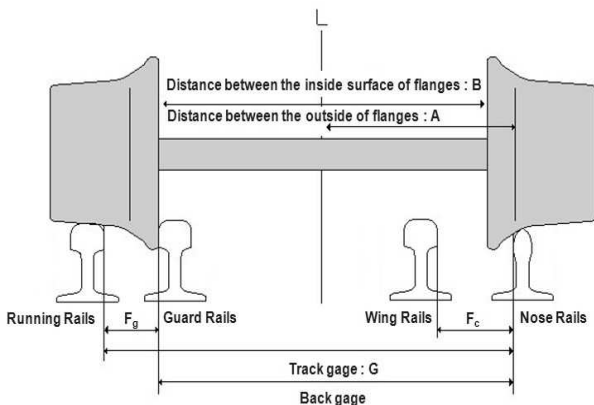


Fig. 2 Correlation of wheelset, track gage and back gage

선로정비규정에서 분기기 크로싱부의 레간정비 한도는 +3 mm, -2 mm 이고, 가드레일 플랜지웨이 폭은 42 ± 3 mm 이므로 레간이 최소일 경우, 레간은 1,433 mm 이 되고, 백게이지는 $1,390 \text{ mm} + 42 \text{ mm} = 1,432 \text{ mm}$ 되므로 차륜과 노즈와의 간격은 1 mm 여유밖에 없다. 레간이 최대일 경우, 레간은 1,438 mm 이 되고, 백게이지도 $1,396 \text{ mm} + 42 \text{ mm} = 1,438 \text{ mm}$ 가 되므로 차륜과 노즈와의 간격은 여유가 없게 된다. 한국철도시설공단에서 제정('08.11.21)한 '선로정비지침' 제 59 조에 의하면 분기기와 관련하여 레간 및 백게이지에 대한 정비 기준은 다음의 Table 1 과 같다.

2.3 분기기 통과 시 인터페이스 검토

현재 서울-부산 전 구간이 고속선으로 KTX 차량이 운행되고 있지만 전국 철도망의 고속화 정책에 따라 앞으로도 KTX 차량은 고속선과 기존선 구간을 동시에 운행하게 될 것이다. 따라서 KTX 차량이 고속의 UIC60 레일 뿐만 아니라 기존선의 KS50N, KS60 레일 등 다양한 레일 위를 주행하게 될 것이므로 KTX 차량을 기준으로 분기기 통과 시의 인터페이스 특성을 검토하였다.⁽⁶⁾

먼저, KTX 차량이 기존선 분기기 통과 시 가드레일과 주레일, 윙레일과 노즈레일의 간격에 의하여 주행상의 인터페이스에 문제가 없어야 하며 KTX 의 차륜내 거리와 플랜지두께 등을 고려하여 최대의 윤축이 분기기를 통과할 수 있어야 한다. 즉, 차륜내면거리와 플랜지외면거리의 최대치 합이 기존선 분기기 백게이지의 정비한도 이하이어야 한다.

$$BG_{\min} \geq \frac{B_{\max}}{2} + A_{\max} \tag{1}$$

BG_{\min} : 백게이지 하한값

$\frac{B_{\max}}{2}$: 차륜내면 거리의 최대치

A_{\max} : 플랜지 외면거리의 최대치

이론적으로 검토결과, KTX 차량의 B_{\max} 는 1,356 mm, A_{\max} 는 710.5 mm 이므로 위식에 의하여 $1,356 \text{ mm} / 2 + 710.5 \text{ mm} = 1,388.5 \text{ mm}$ 이 된다. 기존선 분기기 백게이지 하한값이 1,390 mm 이므로 KTX 차량과 크로싱부의 접촉을 고려하여 보면 $1,390 \text{ mm} \geq 1,388.5 \text{ mm}$ 이며 그 차이는 1.5 mm 가 된다. 따라서, 차륜과 레일 노즈부와의 간격이 1.5 mm 여유가 있으므로 분기기 통과 시 인터페이스 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

2.4 대구 도시철도공사 현장조사

상기에서는 언급한 바와 같이 이론적으로 분기기에서의 차륜/레일 인터페이스 특성을 검토하였고, 이를 바탕으로 분기부 및 곡선부의 가드레일에 대한 형상변화를 통하여 전동차 차륜의 이상마모 현상을 해결한 대구 도시철도공사 차량기지 현장을 방문하여 분기부 가드레일 변경설치 전후의 형상과 이에 따른 레일과 차륜의 접촉상태 변화를 추가 검토하였다.

2007 년 대구 도시철도공사 2 호선 전동차의 차륜에서 이상마모가 지속적으로 발생하여 차륜의 전삭주기가 단축, 마모가 발생하는 현상이 나타났다. 이를 해결하기 위하여 도유기점검 및 곡선부 구간에서의 도유기설치, 곡선부 캔트부설 등을 실시하였으나 개선효과가 나타나지 않았다.

다각적인 노력에도 불구하고 지속적으로 차륜에서 이상마모가 발생하고 본선 구간보다 회차 및 입·출고 시 마모가 주로 발생하는 것으로 추정되어 대구 도시철도공사에서는 분기기 및 곡선부 내측의 가드레일 길이를 Fig. 3 과 같이 확대(분기부 4,360 mm→8,475 mm, 곡선부는 가드레일을 이음매 판으로 연결)하여 설치하였고 그에 따른 마모발생 감소의 결과를 얻을 수 있었다. (7,8)

대구 도시철도공사 현장조사 결과, 이는 분기기에서 가드레일이 차량의 주행안전성에 영향을 미치는 인자가 될 수 있음을 확인할 수 있었으며, 따라서, 차륜 및 레일 마모방지에 효과적인 가드레일을 개발한 분기기 동역학 해석모델에 적용하



Fig. 3 Guard rails on Moonyang station – field survey

여 분기기에서의 가드레일 길이형상 변화에 따른 차량 주행안전성 영향을 살펴보고자 하였다.

3. 주행안전성 해석

3.1 해석모델

분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 주행안전성 해석을 위하여 본 연구에서는 신뢰성인 입증된 철도차량 동특성 해석용 상용 소프트웨어인 VI-Rail⁽⁹⁾해석프로그램을 이용하였다.

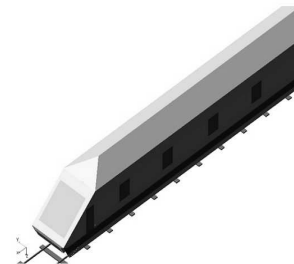
3.1.1 철도차량 모델링

VI-Rail 해석프로그램에서 모델 구성 방식은 대차(Bogie)와 차체(Carbody) 등을 모델링하는 템플릿(Template) 과정, 철도차량 구성품들을 완성하는 위한 서브시스템(Subsystem)과정, 완성된 서브시스템을 불러들여 전체 철도차량을 조립하는 어셈블리(Assembly)로서 총 3 단계를 거쳐서 이루어진다. 상기에서 설명한 VI-Rail 해석프로그램에서의 모델링 방법을 통하여 KTX 동력차의 철도차량 모델링을 수행하였다. 차량모델은 Fig. 4 와 같이 KTX 동력차 1 량을 차체, 대차 순으로 모델링하여 해석을 수행하였으며 모델링 시 사용하였던 KTX 동력차 주요 물성치는 참고문헌^(4,5)에 제시된 자료를 사용하였다.

또한, 본 분기기에서의 가드레일 변화에 따른 주행안전성 해석에서는 VI-Rail 해석프로그램을 이용하여 분기기 관련 동특성 해석 시 사용되었던



(a) Carbody (b) Bogie



(c) Full assembly of vehicle

Fig. 4 Analysis model (KTX- power car)

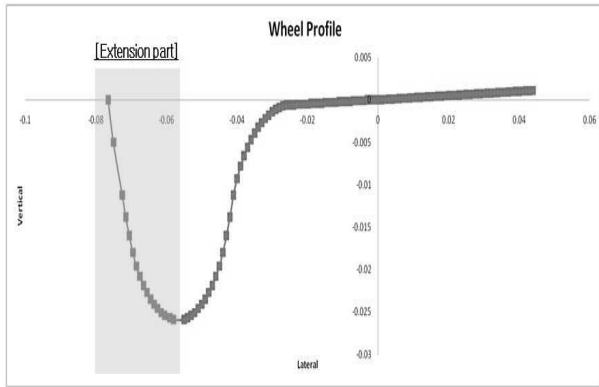


Fig. 5 Extension part of wheel profile

철도차량모델링 기법을 바탕으로 차륜 프로파일(Profile)에 대한 추가연구를 수행하였다. 기존 사례의 동특성 해석과 달리 분기기에서의 가드레일 형상이 추가 되게 되면 그에 따른 차륜/레일의 접촉면을 모사하여야 해석이 가능하게 된다. 이런 사유로 차륜프로파일에 대한 플랜지 자료를 획득하여 KTX 동력차 차륜에 대하여 Fig. 5 와 같이 차륜 플랜지 부분을 연장하여 모델링하였다.

3.1.2 F10/F12 분기기 모델

분기기는 크게 세 가지 부분 즉, 포인트부, 리드부, 크로싱부로 나뉘며 포인트부는 분기기 진입 구간으로 기본레일에서 분기레일로 갈아타는 시작 위치를 나타낸다. 리드부는 분기된 이후 반대측 기본 레일과 교차하기 전까지 연결되어 있는 레일을, 크로싱부는 분기되어 나온 레일 부분과 반대측 직선 레일이 서로 교차하는 부위를 의미한다. 마지막으로 본 연구에서의 주행안전성 해석조건인 가드레일은 분기 시 크로싱부에서 받는 횡력을 지지하는 역할을 한다.

VI-Rail 해석프로그램에서의 분기기 모델방법은 위치별 2D 단면 형상을 바탕으로 3D Contact Surface 를 생성하고 차륜과 레일이 접촉하는 두부의 단면 형상을 추출하여 길이 방향으로 단면 형상을 정의한다. F10/F12 분기기 모델을 이전 연구에서 개발한 모델을 사용하였다.⁽⁶⁾

3.2 해석조건

3.2.1 주행속도

국내에서는 분기기를 통과 시 분기기 변수와 형상에 따라 운전 속도를 제한하고 있으며 본 주행안전성 해석에서는 F10/F12 분기기(편개)를 대상으로 하여 이에 따른 주행속도를 Table 2 과 같이 선정하여 해석을 수행하였다.⁽¹⁰⁾

Table 2 Running speed depending on F10/F12 turnout

Turnout number	Simple turnout	
	Curve radius (m)	Running speed (km/h)
F10	245	35
	258.6	
F12	350	45
	373	

Table 3 Analysis conditions on F10 turnout

Case	Length of Guard rail (Unit : mm)			Remarks
	A	B	C	
Origin	100	1900	1200	F10_ORG
Case1_Guard rail_2x	200	3800	2400	F10_GR_2x
Case2_Guard rail_3x	300	5700	3600	F10_GR_3x

Table 4 Analysis conditions on F12 turnout

Case	Length of Guard rail (Unit : mm)			Remarks
	A	B	C	
Origin	100	1800	1500	F12_ORG
Case1_Guard rail_2x	200	3600	3000	F12_GR_2x
Case2_Guard rail_3x	300	5400	4500	F12_GR_3x

3.2.2 가드레일 길이 변화

분기기에서의 가드레일의 길이와 주행안정성과의 관계는 열차가 분기기 크로싱부를 통과할 때, 전륜과 후륜이 동시에 가드레일부를 통과할 것인지, 아니면 각각 통과할 것인지에 따라 달라지게 되고 있으며, 기존의 가드레일은 전륜과 후륜이 각각 가드레일을 통과하게 설계되어 있다.

상기에서 언급된 이론적 고찰 및 현장조사 연구 결과에 따라, 분기기에서의 가드레일 길이변화에 따른 주행안전성 해석을 수행하고자 F10 분기기는 Table 3 과 같이, F12 분기기는 Table 4 과 같이, F10/F12 분기기에서의 기존 가드레일 길이를 2,3 배로 연장하여 해석조건을 선정하였다.

참고로 Table 3~4 에 대한 추가설명을 위하여 Fig. 6 과 같이 F10/F12 분기기에서의 가드레일과 대차의 고정축거의 관계, 그리고 해석조건인 가드레일길이변경에 따른 분기기 형상을 나타내었다. Table 3~4 내의 A, B, C 는 Fig. 6 에서와 같이 가드

Table 5 Analysis result of front bogie on F10/F12 turnout

Parameters			Vertical force [N]		Lateral force [N]		Derailment coefficient		Attack angle [deg]		Vertical displacement [m]	
			F10	F12	F10	F12	F10	F12	F10	F12	F10	F12
Front bogie	Origin	Front Left	989,220	1,643,900	78,480	64,500	0.3691	0.3588	0.6129	0.4176	0.4685	0.4598
		Front Right	128,800	172,630	21,220	15,150	0.3411	0.3478	0.1619	0.2022	0.4579	0.4575
		Rear Left	1,422,000	871,440	38,210	152,520	0.3662	0.3105	0.5718	0.3735	0.4616	0.4604
		Rear Right	131,200	116,050	51,750	37,460	0.3678	0.3555	0.2002	0.2012	0.4577	0.4588
	Case1_Guard rail_2x	Front Left	1,121,000	1,752,600	72,110	57,920	0.2299	0.3263	0.6162	0.4052	0.4585	0.4522
		Front Right	147,100	175,250	17,710	14,900	0.3326	0.3425	0.0873	0.2012	0.4571	0.4572
		Rear Left	1,688,000	876,700	25,740	142,200	0.2735	0.2820	0.5714	0.3482	0.4614	0.4589
		Rear Right	155,200	117,100	48,180	37,440	0.3672	0.3425	0.2655	0.2045	0.4576	0.4521
	Case2_Guard rail_3x	Front Left	1,225,000	1,788,700	64,400	38,000	0.2231	0.3210	0.6130	0.4011	0.4585	0.4227
		Front Right	526,100	183,000	16,410	13,100	0.3403	0.3410	0.0855	0.1981	0.4573	0.4522
		Rear Left	1,772,000	882,00	17,000	130,240	0.2159	0.2720	0.5717	0.3522	0.4606	0.4590
		Rear Right	154,900	117,760	42,530	37,380	0.3541	0.3525	0.2645	0.2011	0.4573	0.4524

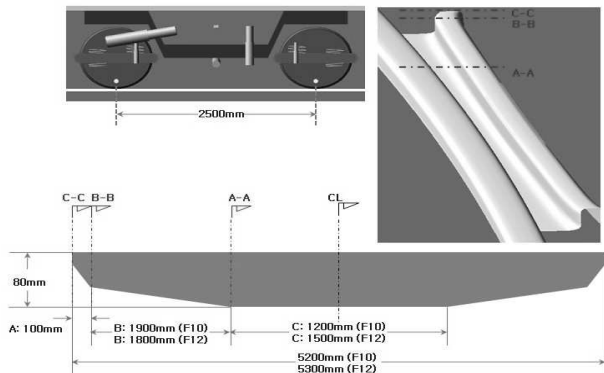


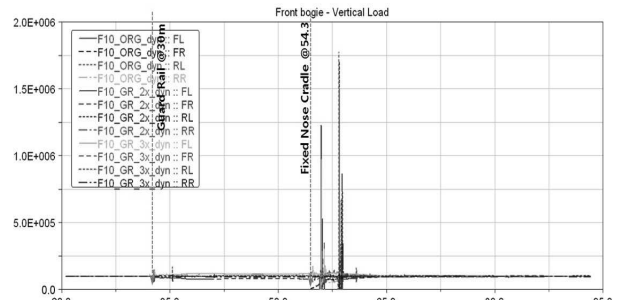
Fig. 6 Analysis conditions on F10/F12 turnout

레일 형상을 기준으로 가드레일의 길이를 3 개의 구간별로 나눠 해석조건을 선정하였다.

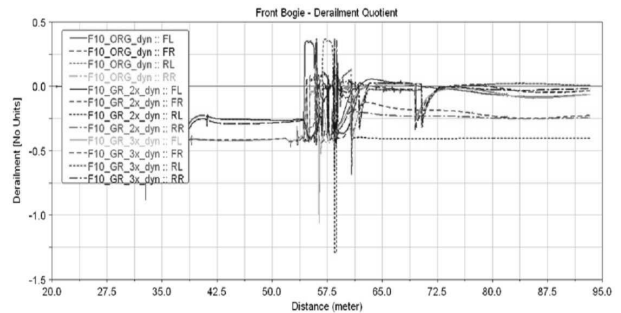
3.3 해석결과

해석조건에 따라 F10/F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 주행안전성 해석을 수행하였으며 이에 따른 해석결과는 Table 5 와 같다 해석결과는 KTX 동력차의 전위대차를 기준으로 전후방 및 내외측 차륜의 윤중, 횡압, 탈선계수, 공격각, 수직변위를 해석한 결과로서 최대/최소값을 표시하였다.

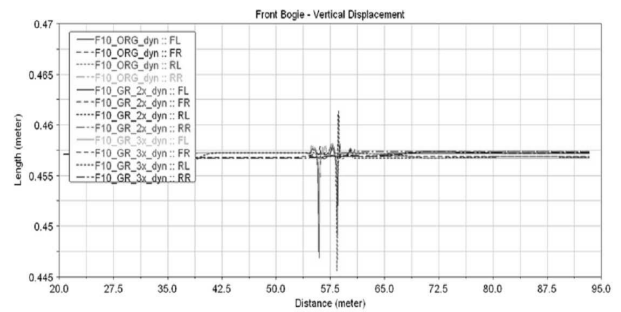
또한, 해석조건에 따라 해석결과 그래프에 분기기번호_해석조건_dyn(동적해석) : 해당차륜위치 형식으로 표시를 하였다. 예로 들어 F10_GR_2X_dyn: FL 의 경우는 F10 분기기를 가드레일(GR)을 기준보다 2 배(2X) 증가하여 해석을 수행하였고, 주행방향을 기준으로 전방 좌측(FL:Front Left)의 차륜 해석결과를 의미하고 있다.



(a) Vertical force



(b) Derailment coefficient



(c) Vertical displacement

Fig. 7 Analysis result for guard rail on F10 turnout

3.3.1 F10 분기기

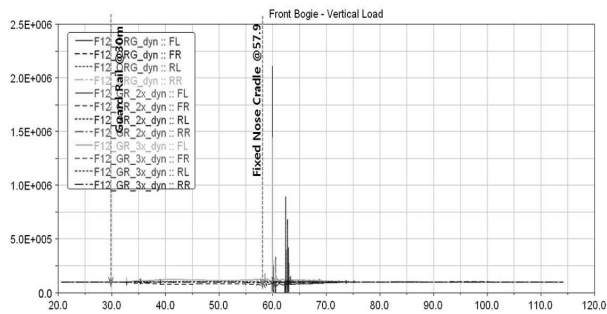
F10 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 전위대차의 해석결과를 Fig. 7에 나타내고 있다.

F10 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 해석결과를 살펴보면, 해석조건인 Case2_Guard rail_3x(기존길이의 3 배 연장)가 Origin(기존), Case1_Guard rail_2x(기존길이의 2 배 연장) 보다 주행안전성 측면에서 윤중은 증가하고, 횡압, 탈선계수, 공격각, 수직변위는 감소하여 모두 대체적으로 양호한 결과를 나타내는 걸 확인할 수 있었다.

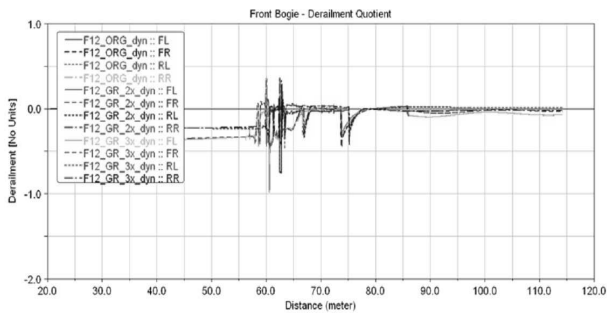
이는 분기기에서의 가드레일의 길이를 연장할수록 철도차량의 분기기 통과 시 주행안전성 확보하는 측면에서 유리하다고 판단된다.

3.3.2 F12 분기기

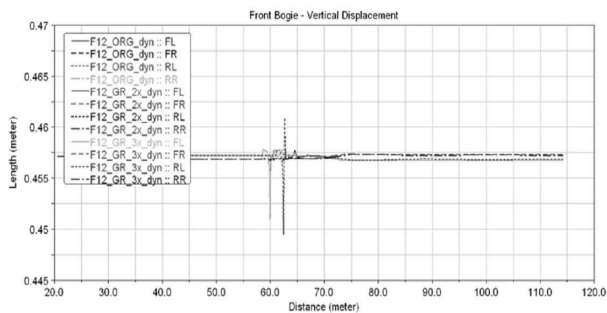
F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 전위대차의 해석결과를 Fig. 8에 나타내고 있다.



(a) Vertical force



(b) Derailment coefficient



(c) Vertical displacement

Fig. 8 Analysis result for guard rail on F12 turnout

F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 해석결과를 살펴보면, F10 분기기의 해석결과와 마찬가지로 가드레일 길이를 연장할수록 주행안전성 측면에서 윤중, 횡압, 탈선계수 등 모두 대체적으로 양호한 결과를 나타내는 걸 확인할 수 있었다. 이는 F10 분기기에서 뿐만 아니라, F12 분기기에서도 일반적인 가드레일의 길이 연장의 중요성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 가드레일의 형상변화가 차량의 주행안전성에도 영향을 미칠 것으로 판단하고 이론적으로 분기기에서의 차륜/레일 형상에 따른 기하학적 접촉 특성을 먼저 검토하였고, 대구도시철도공사를 현장 방문하여 분기기 구성요소 중 가드레일에 대한 형상 변경사례를 조사하였다. 또한, 개발한 VI-Rail 분기기 해석기법을 통하여 F10/F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 주행안전성 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 분기기에서의 차륜/레일 형상에 따른 기하학적 접촉 특성의 이론적 검토결과, KTX 동력차 차량의 분기기 통과 시 차륜과 레일 노즈부와의 간격이 1.5 mm 여유가 있으므로 차륜/레일의 인터페이스 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

(2) 대구 도시철도공사 현장조사에 따른 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 검토 결과, 분기기에서 가드레일이 차량의 주행안전성에 영향을 미치는 인자가 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

(3) F10/F12 분기기에서의 가드레일 길이 변화에 따른 해석결과, 분기기에서의 가드레일의 길이를 연장할수록 철도차량의 분기기 통과 시 주행안전성을 확보하는 측면에서 유리하다고 판단된다.

이는 해석조건에서 설명된 바와 같이 분기기에서의 가드레일의 길이와 주행안전성과의 관계는 열차가 분기기 크로스부를 통과 시 전륜과 후륜이 동시에 가드레일부를 통과하는지 여부에 따라 달라지게 되는데, 결론적으로 가드레일의 길이가 길어지게 되면 전륜과 후륜이 동시에 가드레일부를 통과하여 되어 주행안전성이 향상된다는 결과를 확인할 수 있었다.

(4) 향후 분기기 가드레일 형상변화에 따른 현장 계측 시험을 통하여 비교연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) Korea Railroad Research Institute, 2008~2009,

- "Development of Test and Evaluation Techniques for Derailment and the Improvement of Safety Performances," 4~6 years Report.
- (2) Chung, W. J., Shin, J. R., Yang, S. C. and Kim, N. P., 2000, "Study on the Dynamic Characteristics of Rolling Stocks Passing on the High Speed Turnout System," *Symposium Spring of the Korean Society for Railway*, pp. 226~233.
- (3) Han, H. S., Kim, M. C., Hur, H. M. and Hur, Y. C., 2006, "Analysis of Wheel/Rail Contact Characteristics on a Turnout," *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 14~19.
- (4) Kim, S. J. and Lee, H. S., 2009, "A Study on the Running Safety by F26 Turnout and Vehicle Model," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 12, No. 6, pp. 859~864.
- (5) Kim, S. J., Eom, B. G., Kang, B. B. and Lee, H. S., 2011, "A Study of Running Safety According to the Section Shape of an F10/F12 Turnout," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 35, No. 6, pp. 591~598.
- (6) Lee, J. H., Lee, H. U., Lee, H. S. and Kang, K. S., 2000, "A geometrical review on the wear of rail and KTX wheel," *Autumn Conference of The Korean Society for Railway*.
- (7) Lee, K. M., 2010, "Guard rail to protect wheel wear for Daegu Metropolitan Transit Corporation".
- (8) Kim, S. J., Kim, T. G., Eom, B. G., Kang, B. B. and Lee, H. S., 2011, "An Analysis of Running Safety according to the Guard Rail Change of F10/F12 Turnout," *Autumn Conference of The Korean Society for Railway*.
- (9) VI grade, 2008, "ADAMS/Rail 2005 R2. 11.0 Documentation".
- (10) Korea Railroad, 2007, "Train Operation Enforcement Decree".
- (11) Eom, B. G. and Lee, H. S., 2010, "Assessment of Running Safety of Railway Vehicles using Multibody Dynamics," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 11, No. 2, pp. 315~320.
- (12) Eom, B. G., Kang, B. B. and Lee, H. S., 2012, "A Running Stability Test of 1/5 Scaled Bogie using Small-Scaled Derailment Simulator," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 15, No. 1, pp. 9~16.
- (13) Um, J. H., Kim, M. C., Lee, I. W., and Goo, B., C., 2012, "An Analytical Study on Running Safety and Ride Comfort in Case of Superimposition of Vertical and Transition Curves," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 15, No. 2, pp. 172~178.
- (14) Sim, K. S., Park, T. W., Lee, J. H., and Jeong, G. B., 2012, "An Evaluation on Derailment according to Running Safety of Next-Generation High Speed Train (HEMU-430X)," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 15, No. 4, pp. 343~351.
- (15) Kang, J. S., Park, T. W., Lee, J. H., and Jeong, G. B., 2012, "A Three Dimensional Wheelset Dynamic Analysis considering Wheel-rail Two Point Contact," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 15, No. 1, pp. 1~8.