

分岐部 長大레일화시의 軸力舉動特性 解析

The Parameter Study on the Characteristics of Axial Force in Turnout with Continuous Welded Rail

김 두 환* 고 상 훈**
Kim, Doo-Hwan Ko, Sang-Hun

Abstract

This paper is to study the characteristics of axial force behavior that operates to the part of turnout when it makes the turnout and the continuous welded rail unifying. The study is to model by using the 50kgN rail No. 15 turnout used in the domestic national railway and the UIC60 rail No. 18 turnout used in the rapid transit railway as the finite elements for analyzing the axial force behavior of the turnout by the continuous welded rail. It is to analyze the characteristics of behavior according to the change of creep resistance, ballast resistance and the change of parameter valuables of heel joint by the axial force simulation in making the continuous welded rail and then, it is to present the result. As the result of research on the parameter valuables through the analysis, it shows that the maximum axial force of turnout by the continuous welded rail are largely subordinated to the maximum resistance of heel joint and the fitting devices than the ballast resistance. Also it shows that the maximum axial force produced changes a lot according to the characteristics of creep resistance of the fitting part and the ballast resistance.

keywords : Turnout, Continuous Welded Rail, Axial Force, Creep Resistance, Ballast Resistance, Resistance of Heel Joint

1. 서 론

철도에 있어서 레일의 이음매는 최대의 약점부이며,

이음매판과 볼트로 견고하게 체결하고 있으나 강성이 균일할 수 없고 온도변화에 따라 이음매 유간이 생겨 이곳을 차량이 수행하면서 충격과 동요를 발생시킨다.

* 경희원, 서울산업대학교 구조공학과 교수, 공학박사

** 서울산업대학교 구조공학과 석사

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이러한 이음매는 그 보수에 있어서 많은 비용이 필요할 뿐만 아니라 열차의 주행으로 인한 충격과 동요에 의하여 궤도재료 및 차량부품의 수명단축, 승차감 악화, 궤도파괴를 가속하고 있음은 물론 열차의 발착 등의 환경에도 악영향을 끼치고 있으므로 현대철도에서는 이음매를 용접하여 강성을 동일하게 만든 장대레일을 사용하고 있는 실정이다. 장대레일은 고속주행시 승차감을 좋게 하며 열차 및 궤도의 안전성을 증가시키는 효과가 있다. 이와 같이 장대레일화의 효과를 높이기 위해서는 일반궤도에 그치지 않고 분기기에 대해서도 이것을 적극 장대레일과 일체화하는 것이 필요하다. 그러나 장대레일과 분기기의 일체화의 실현에 있어서는 망간크로싱과 일반레일과의 용접관련성, 기준선축과 분기선축의 두 개의 궤도가 합류으로써 부가적인 축압력 증가 등의 문제점이 발생한다. 용접에 의한 문제점에 대해서는 최근 압점크로싱이나 접착이음매의 현장시공의 실현에 의하여 해결되었고, 장대레일과 분기기의 일체화가 물리적으로 가능하게 되었다. 한편 부가적인 축압력의 문제의 경우에는 궤도의 좌굴 안전성을 저하시키므로 분기기와 장대레일의 일체화를 실현하기 위해서는 그 실태를 밝혀서 적절한 대책을 강구하는 것이 필수적이다. 이를 위해 우선적으로 장대레일화된 분기기에서의 축력분포특성에 대한 연구가 시행되어야 한다.

본 연구에서는 분기기 장대레일화시의 축력거동을 해석하기 위하여 국철에서 사용중인 50kgN레일 15번 분기기와 고속철도용 UIC60레일 18번 분기기를 사용

하여 유한요소모델을 작성하였고, 유한요소를 이용한 분기기의 축력해석 모델은 레일, 텅레일 및 침목을 공간 보요소로 사용하였으며, 침목당 도상저항력, 레일 체결장치의 거동 등은 비선형 스프링 모델을 이용하였다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이러한 유한요소모델에서 도상저항력의 변화에 따른 거동특성을 분석하였고, 침목을 각각 모형화하여 침목의 변형을 고려하였으며, 체결장치의 복진저항력에 따른 거동특성을 분석함으로써 다양한 조건에서 분기기 부분에 작용하는 축력이 어떠한 거동을 보이는지 알아보았다.

2. 해석방법

2.1 해석모델

일반궤도의 온도 변화에 의한 장대레일의 거동에 대해서는 이미 비선형 특성을 갖는 도상 종저항력과 이력을 고려한 모델에 의한 해석이 실시되고 있다.⁽³⁾ 본 연구에서는 이를 기본으로 하여 Fig. 1에 나타내는 바와 같이 분기기 구조를 모델링 하기 위하여 Fig. 2와 같은 보와 비선형 스프링으로 구성된 뼈대구조로 해석모델을 작성하였으며, 국내에서 사용중인 국철의 50kgN레일 15번분기기와 고속철도의 UIC60레일 18번분기기에서의 장대레일화 문제를 해석하기 위하여 이러한 접근 방법을 사용하였으며, 본 연구에서 모델링된 분기기 모델의 개략적 형상은 Fig. 3과 같다.

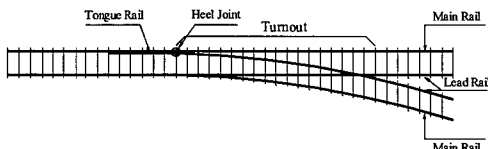


Fig. 1 분기기 개요

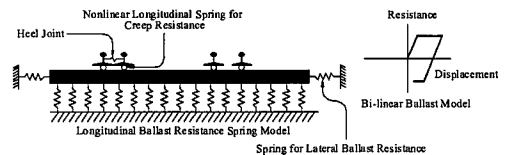
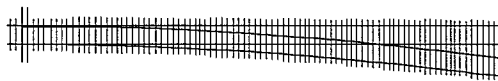


Fig. 2 분기기 해석이론



50kgN레일 15번 분기기



UIC60레일 18번 분기기

Fig. 3 분기기 모델의 개략적 형상

2.2 구속스프링계수의 산정

힐부(Heel Joint)부분의 기본레일(Main Rail)과 리드레일(Lead Rail)의 침목 한 개당 구속스프링계수는 양 레일간의 종방향 상대변위를 고려하여 유한요소로 모형화하는 경우에 사용된다. Fig. 4에서 나타나는 기본레일 및 리드레일의 변위 및 축압력에 대해서 근접된 두 점간의 레일의 변위는 직선 변화하는 것으로 하며, 위의 구간에서 각 침목에 작용하는 도상저항력과 각 침목의 위치에서 레일 변위의 사이에는 탄성-완전소성(Elastic-Perfectly Plastic)의 관계가 성립한다.

일본의 경우 레일의 종저항력과 구속스프링 값으로 모형화되어 있으나, 본 해석모델에서는 침목의 변형을 고려함으로써 보다 사실적으로 상호작용력의 산정이 가능하게 되었으며, 상대변위에 따른 힘의 분배가 이루어지게 되었다. 또한, 일본자료에 나타난 구속스프링계수 $58.8 \times 10^4 \text{kgf/mm}$ 의 강성을 포인트 후단이음매부의 상대변위에 대한 강성으로 가정⁽⁴⁾ 하였으며, 레일과 침목의 연결을 강체로 보는 경우에는 $9.8 \times 10^{10} \text{kgf/mm}$ 의 강성으로 하였다.

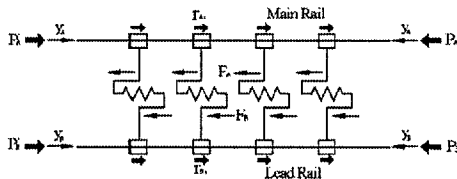


Fig. 4 힐부부분의 변위와 축력

2.3 도상저항력의 설정

도상저항력은 식(1)에 의해서 구해지며, 계산된 50kgN레일 15번분기기의 도상저항력은 Table 1과 같고, UIC60레일 18번 분기기의 도상저항력은 Table 2와 같다.

$$\begin{aligned} g &= 0.75W + 29\rho G_e + 1.3\rho G_s \\ r &= 0.75W + 1.3\rho G_e + 29\rho G_s \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, g 는 침목 1개당 도상저항력이고, r 은 침목 1개당 도상종저항력, W 는 침목 1개당 레일 등의 침목 윗부분 중량, ρ 는 도상의 단위용적중량 (0.0019kg/cm^3), G_e 는 침목단면의 상변에 대한 단면1차모멘트, G_s 는 침목측면의 상변에 대한 단면1차모멘트이다.

Table 1 15번분기기의 도상저항력

침목길이 (cm)	표준침목도상저항력	
	g(kgf)	r(kgf)
250	332	1861
260	335	1932
280	341	2073
310	351	2284
340	360	2496
370	370	2708
400	379	2919
430	389	3131
460	398	3342

Table 2 18번분기기의 도상저항력

침목길이 (cm)	표준침목도상저항력	
	g(kgf)	r(kgf)
240	569	2727
260	579	2952
280	589	3178
320	610	3630
360	630	4082
400	650	4534
440	670	4986
460	680	5212

2.4 레일 부등구간의 축력

장대레일의 설정온도는 부설 후 장대레일의 거동에 강한 영향을 주는 요소가 된다. 대기온도와 레일온도는 서로 다르며 낮은 온도(20°C 이하)에서는 비슷하나 높은 온도에서는 레일의 온도가 더 높다.

우리나라의 대기온도 범위를 $-20^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 로 보면 레일 온도변화는 $-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 이다. 최고레일 온도와 하한온도의 차이는 40°C 이나 본 연구에서는 온도변화를 45°C 로 하여 안전측으로 해석하였다. 또한, 레일부등구간 축력의 0.001배의 허용오차를 두고 해석하였으며, 레일에 작용하는 축력은 Table 3과 같다.

Table 3 레일 부등구간의 축력

분기종류	$E(kgf/cm^2)$	$A(cm^2)$	α	$\Delta t(^\circ C)$	$P(kgf)$
#15	2.1×10^{-6}	64.20	1.2×10^{-6}	45	7134674.4
#18	2.1×10^{-6}	76.86	1.2×10^{-6}	45	8541605.5

3. 장대레일화시의 분기기의 축력거동 해석

3.1 도상저항력 및 체결장치의 조건에 따른 분기기의 축력분포

분기기의 도상저항력 및 체결장치의 조건을 다양하게 적용하였을 경우 분기기 부분에 작용하는 축력거동을 해석하기 위하여 다음과 같은 조건을 적용하였다.

해석에 사용된 레일의 길이는 15년분기기의 경우 52.291m(직선측 기본레일)이고, 18년분기기의 경우 70.850m(직선측 기본레일)이다.

해석에 적용된 침목도상저항력 및 체결장치(fastener)의 조건은 다음과 같다.

- 1) 표준침목도상저항력 상태 및 Flexible한 체결장

치 (이하 SF)

- 2) 표준침목도상저항력 상태 및 Rigid한 체결장치 (이하 SR)
- 3) 표준침목도상저항력 $\times 2$ 및 Flexible한 체결장치 (이하 DF)
- 4) 표준침목도상저항력 $\times 2$ 및 Rigid한 체결장치 (이하 DR)
- 5) 표준침목도상저항력 $\times 1/2$ 및 Flexible한 체결장치 (이하 HF)
- 6) 표준침목도상저항력 $\times 1/2$ 및 Rigid한 체결장치(이하 HR)

Flexible한 체결장치의 경우 $58.8 \times 10^4 kgf/mm$ 의 강성으로 하였고, Rigid한 체결장치의 경우 $9.8 \times 10^{10} kgf/mm$ 의 강성으로 하였다.

Table 4 도상저항력 및 체결장치의 조건에 따른 분기기의 최대축력 및 최대축력/부등구간축력

분기종류	조건	SF	SR	DF	DR	HF	HR
	#15	최대축력 (kgf)	8762474	8736994	8696050	9469348	8243662
	최대축력/부등구간축력	1.23	1.22	1.22	1.33	1.16	1.15
#18	최대축력 (kgf)	10984820	11664960	10283140	11635540	10997560	10955420
	최대축력/부등구간축력	1.29	1.37	1.20	1.36	1.29	1.28

Table 5 각 조건에서 분기기의 최대축력 및 최대축력/부등구간축력

분기종류	조건	A	B	C	D	E
	#15	최대축력 (kgf)	9949940	9906820	9840180	9856840
	최대축력/부등구간축력	1.39	1.39	1.38	1.38	1.39
#18	최대축력 (kgf)	11955020	11775680	11686500	11869760	11802140
	최대축력/부등구간축력	1.40	1.38	1.37	1.39	1.38

- 여기서, A : 표준도상저항력상태 및 Rigid한 횡부조건에서 레일크립저항력의 변화에 따른 분기기 부분의 최대축력
- B : 표준도상저항력 상태 및 횡부저항력 $58.8 \times 10^4 kgf$ 인 조건에서 레일크립저항력의 변화에 따른 분기기 부분의 최대축력
- C : 레일크립저항력 $9.8 \times 10^4 kgf$ 및 표준도상저항력 상태에서 횡부저항력의 변화에 따른 분기기 부분의 최대축력
- D : 레일크립저항력 $9.8 \times 10^4 kgf$ 및 Rigid한 횡부조건에서 도상저항력의 변화에 따른 분기기 부분의 최대축력
- E : 횡부저항력 $58.8 \times 10^4 kgf$ 및 레일미끄러짐부시 조건에서 도상저항력의 변화에 따른 분기기 부분의 최대축력

해석결과 15번분기기 및 18번분기기의 각 조건별 최대축력 및 최대축력/부동구간축력은 Table 4와 같고, 축력변화는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

분기기 전후에 150m 정도의 부동구간을 두었을 때 분기기 부분에 작용하는 축력거동을 해석하기 위하여 횡부조건, 도상저항력상태 및 레일크립 저항력의 대개변수 변화에 따른 축력거동을 분석하였다.

3.2 분기기 전후에 부동구간을 확보한 경우 축력분포

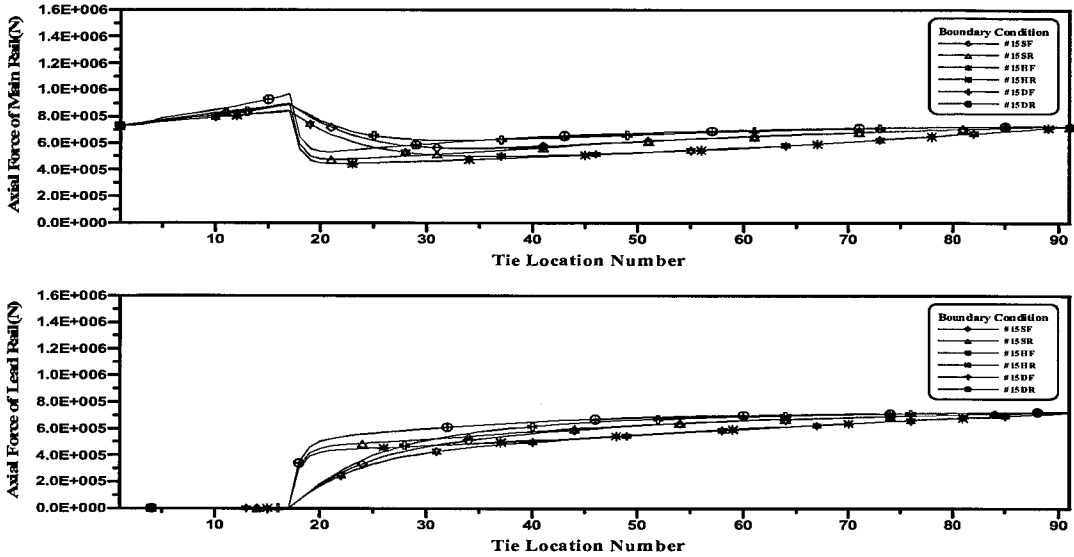


Fig. 5 도상저항력 및 체경정치의 조건에 따른 분기기의 축력변화(#15)

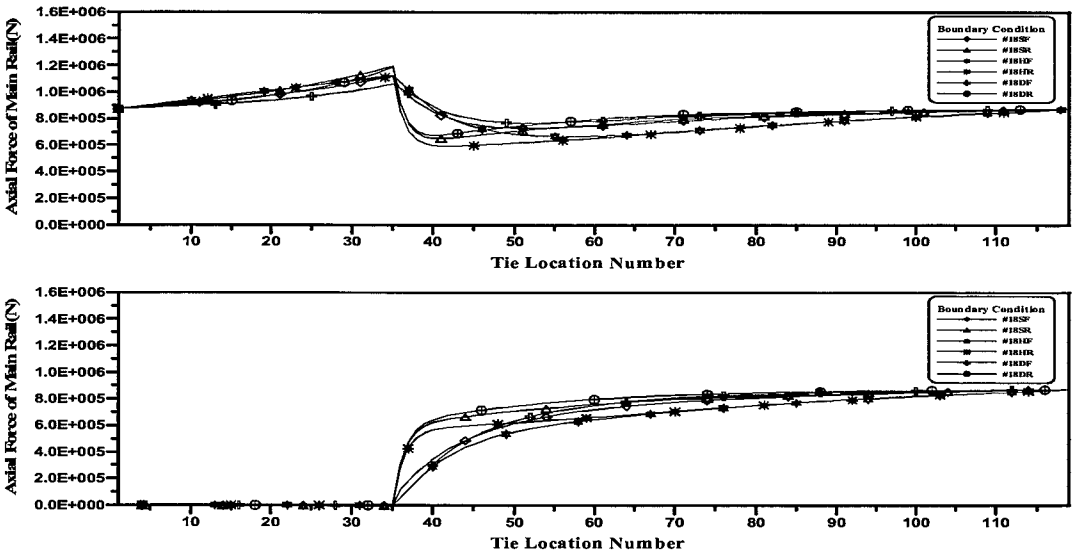


Fig. 6 도상저항력 및 체경장치의 조건에 따른 분기기의 축력변화(#18)

해석결과 도상저항력의 상태, 레일크립저항력 및 철부의 저항력의 크기에 따른 분기기 부분에 작용하는 최대축력 및 최대축력/부동구간의축력은 Table 5와

같고, 축력변화는 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16과 같다.

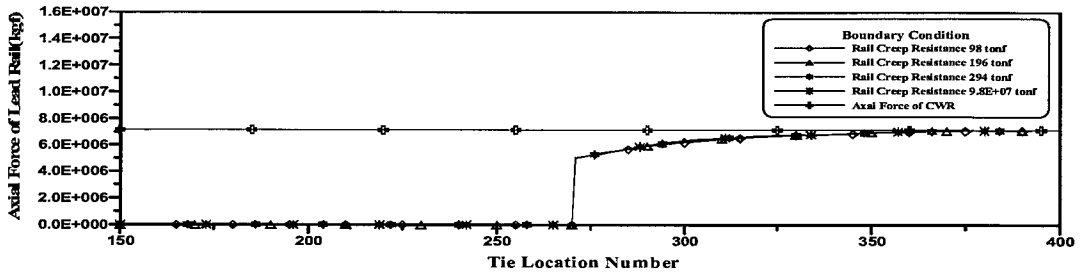
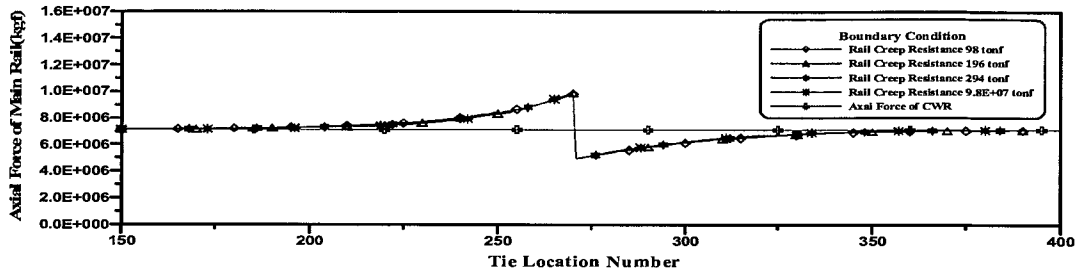


Fig. 7 표준도상저항력상태 및 Rigid한 횡부조건에서 레일크립저항력에 따른 축력변화(#15)

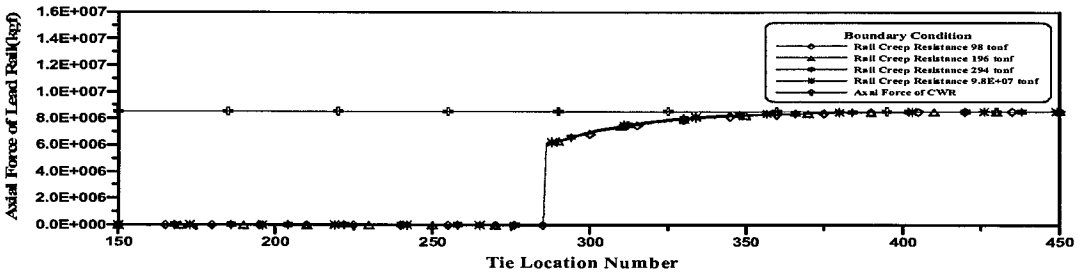
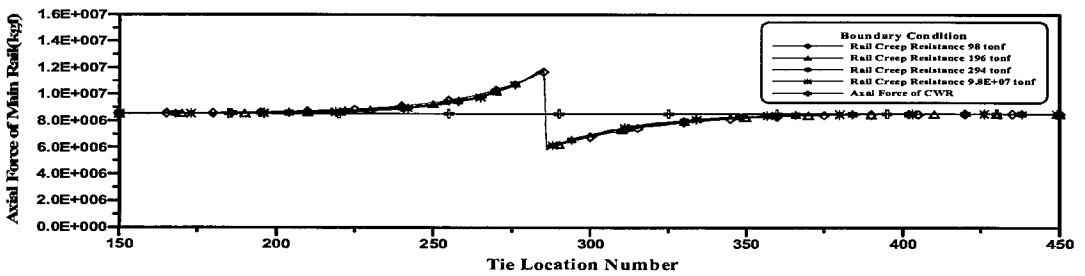


Fig. 8 표준도상저항력상태 및 Rigid한 횡부조건에서 레일크립저항력에 따른 축력변화(#13)

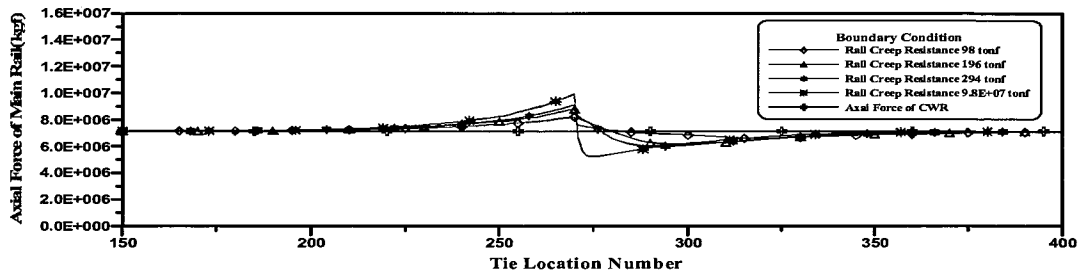


Fig. 9 표준도상저항력상태 및 횡부저항력 588kgf에서 레일크리프저항력에 따른 축력변화(#15)

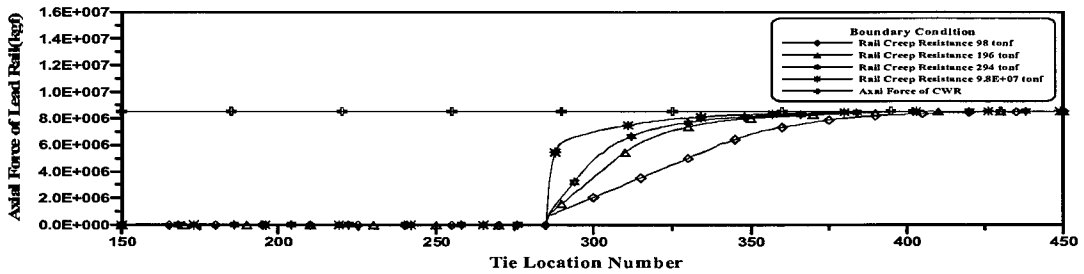
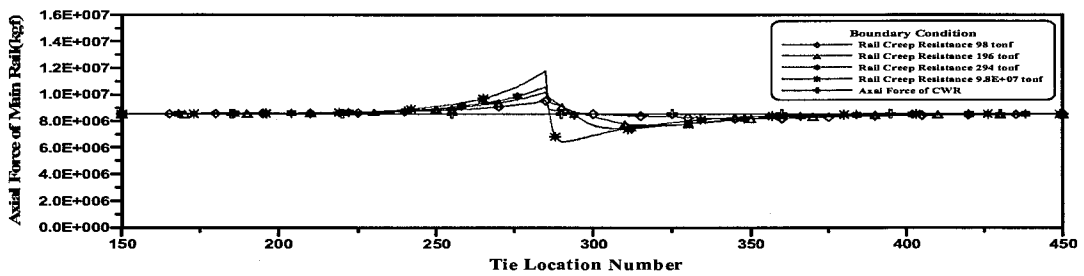
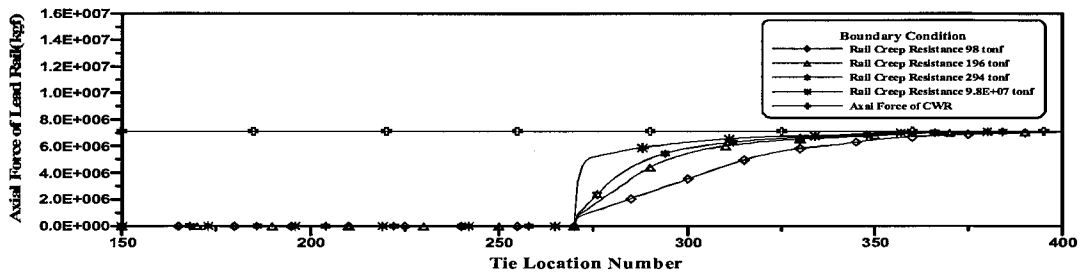


Fig. 10 표준도상저항력상태 및 횡부저항력 588kgf에서 레일크리프저항력에 따른 축력변화(#18)

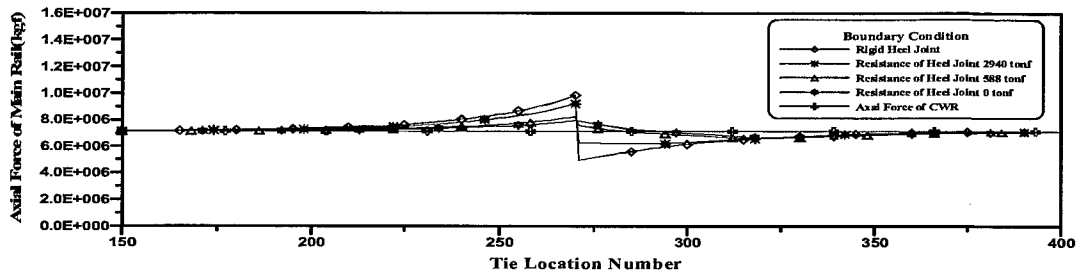


Fig. 11 레일크립저항력 98tonf 및 표준도상저항력 상태에서 횡부저항력에 따른 축력변화(#15)

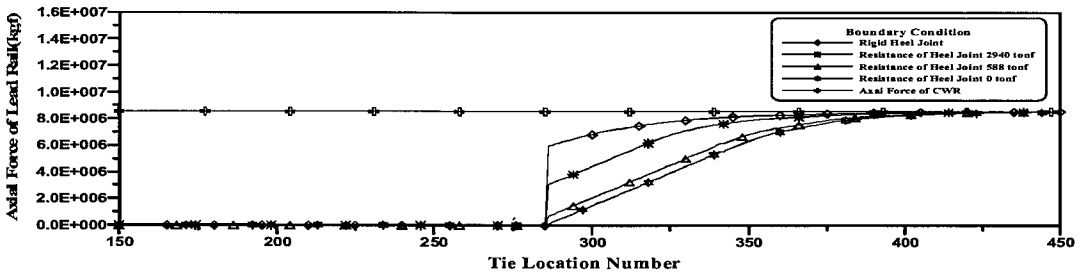
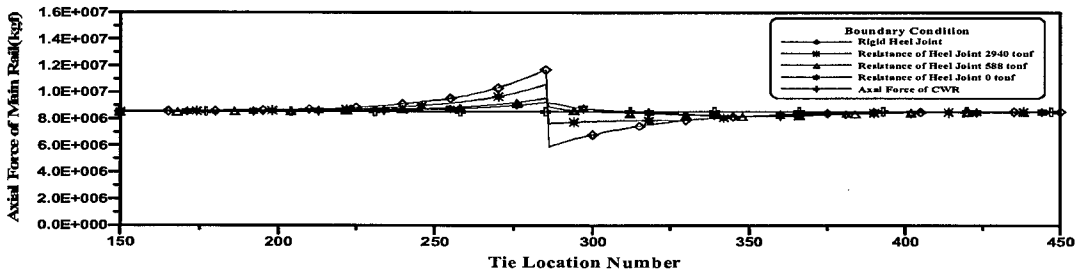
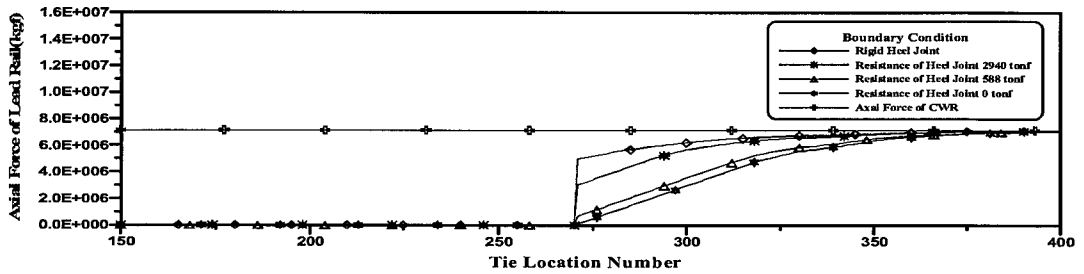


Fig. 12 레일크립저항력 98tonf 및 표준도상저항력 상태에서 횡부저항력에 따른 축력변화(#18)

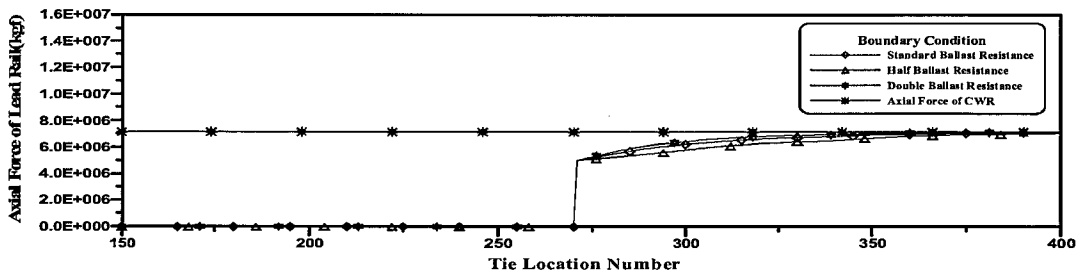
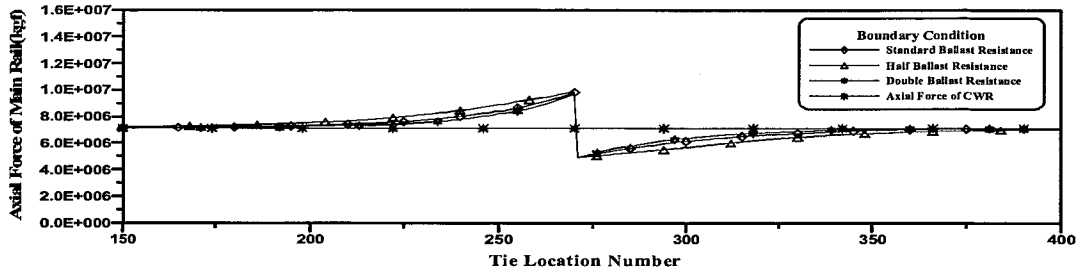


Fig. 13 레일크립저항력 98tonf 및 Rigid한 횡부조커에서 도상저항력에 따른 축력변화(#15)

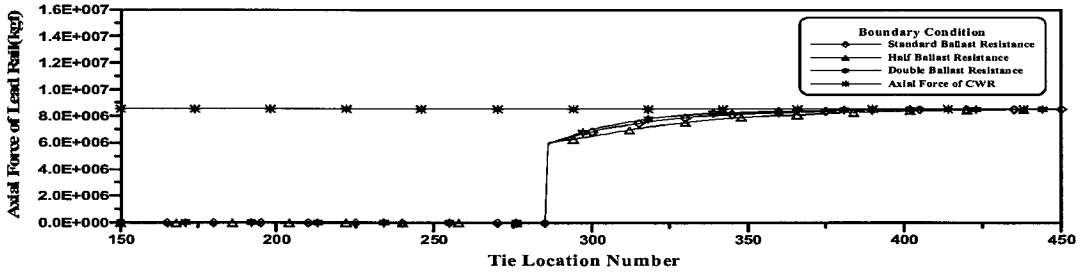
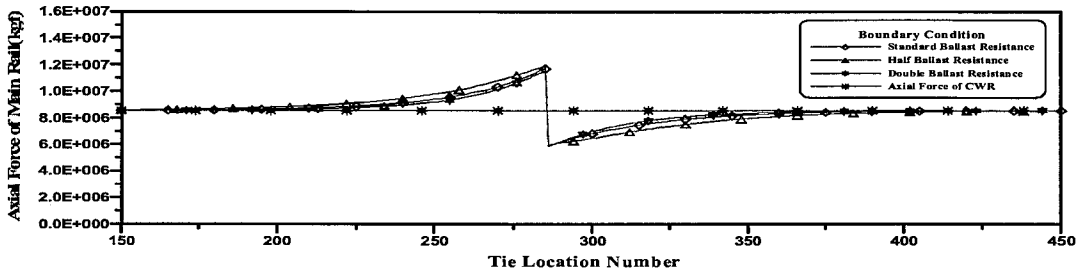


Fig. 14 레일크립저항력 98tonf 및 Rigid한 횡부조건에서 도상저항력에 따른 축력변화(#15)

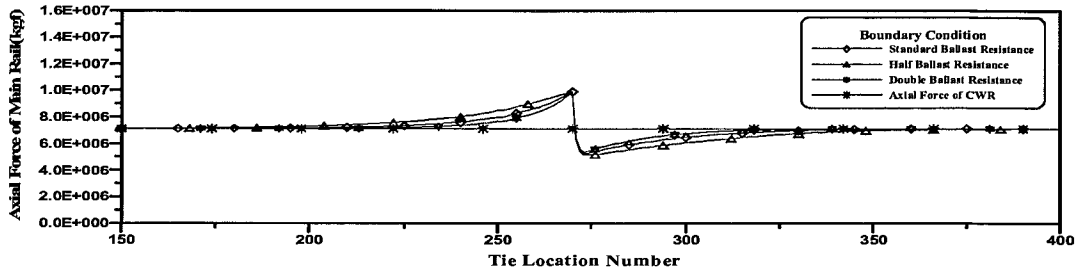


Fig. 15 횡부저항력 588tonf 및 레일미끄러짐무시 조건에서 도상저항력에 따른 축력변화(#15)

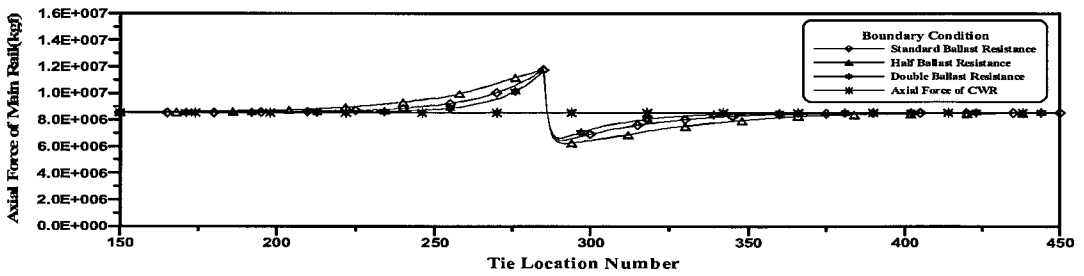
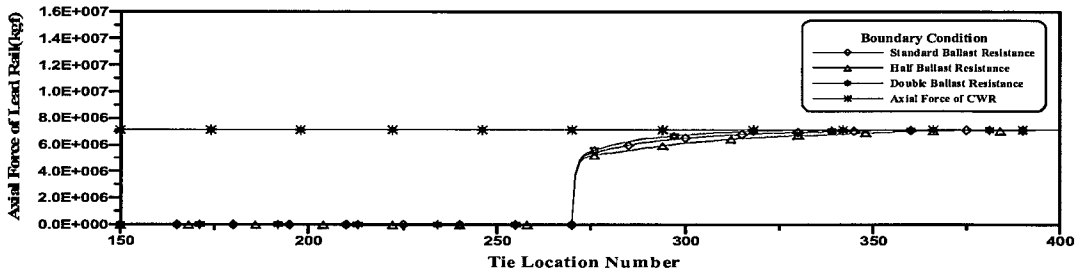
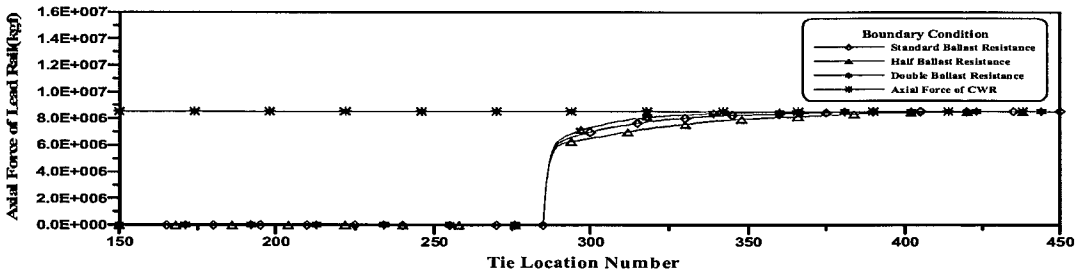


Fig. 16 횡부저항력 588tonf 및 레일미끄러짐무시 조건에서 도상저항력에 따른 축력변화(#18)



3.3 해석결과 및 고찰

해석결과 분기기 부분에 작용하는 최대속력은 A조건에서 가장 크게 나타났고, C조건에서는 최대속력의 크기가 가장 작았다. 또한 15번분기기의 경우 최대속력은 부동구간속력의 약 1.38~1.39배의 값을 가졌고, 18번분기기의 경우 약 1.37~1.40배의 값을 나타내었다.

Fig. 17은 각 조건에서 최대속력을 부동구간의 속력으로 나누었을 때 15번분기기와 18번분기기의 값을 비교하였고, Fig. 18은 각 조건에서 15번분기기와 18번분기기에 작용하는 최대속력의 변화율을 비교하였다.

Table 6은 각 조건에서 레일에 작용하는 최대속력의 변화율을 나타내었고, 해석결과 18번분기기가 15번분기기 보다 최대속력의 변화율이 크게 나타났으며, C조건에서 최대속력의 변화율이 가장 크고 E조건에서 최대속력의 변화율이 가장 작았다.

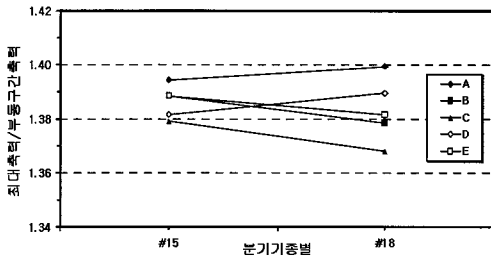


Fig. 17 각 조건에서 15번분기기와 18번분기기의 최대속력/부동구간속력 비교

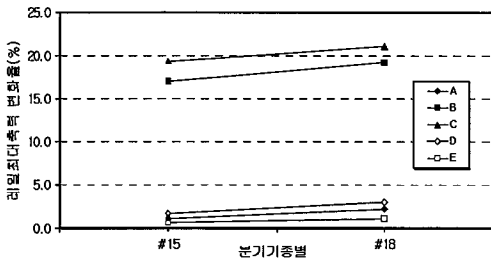


Fig. 18 각 조건에서 15번분기기와 18번분기기의 최대속력 변화율 비교

Table 6 가 조건에서 분기기 최대속력의 변화율(%)

분기기종별 \ 조건	A	B	C	D	E
#15	1.10	17.0	19.34	1.73	0.63
#18	2.25	19.21	21.11	3.01	1.10

Table 7 각 조건에서 레일과단시의 개구량 (mm)

분기기종별 \ 조건	A	B	C	D	E
#15	39.3	39.2	38.9	39.0	39.2
#18	53.5	52.7	52.3	53.2	52.9

또한 B, C조건에서는 최대속력의 변화율이 약 17~21% 정도로 크게 나타났으나 A, D, E조건에서는 최대속력의 변화율이 약 3% 미만으로 작았다.

Table 7은 각 조건에서 레일과단시의 개구량을 나타내었고, 해석결과 레일과단시의 개구량은 15번분기기 경우 약 39mm정도이고, 18번분기기의 경우 약 53~54mm로 나타나 허용범위인 70mm에 만족하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 상대레일과 분기기 부분을 일체화시켰을 때 분기기 부분에 작용하는 속력거동특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 해석을 통한 매개변수 연구 결과 상대레일화된 분기기의 최대속력은 표준침목도상저항력 상태 및 강결(Rigid)한 포인드 후단이음매에서 체결부의 미끄러짐을 무시한 경우에 발생하였고, 도상저항력보다도 포인드 후단이음매와 체결강치의 최대저항력에 크게 종속적임을 알 수 있었다.
- 2) 발생하는 최대속력은 체결부의 크립저항력 및 포인드 후단이음매의 특성에 따라 큰 변화를 보였으며, 분기부의 최대속력을 감소시키기 위해서는 레일의 크립저항력 및 포인드 후단이음매의 저항력 조정을 위한 시스템의 조율이 매우 중요한 것으로 판단된다.

3) 보다 상세한 분기기 축력연구를 수행하기 위해서는 축력의 최대값에 가장 큰 영향을 미치는 포인트 후단이음매 및 체결장치의 특성구명을 위한 실험적 연구가 추가적으로 필요하며 본 논문에서 사용된 해석기법과 연구방법은 철도교의 장대레일화 영향분석에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 2001년도 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Robert D. Cook 외 2인, "Concepts and Applications of Finite Element Analysis" 3rd Edition, Wiley, 1989, pp.501~540
2. Klaus-Jürgen Bathe, "Finite Element Procedures" International Edition, Prentice-Hall, 1996, pp.979~1009
3. 伊能忠敏, 鈴木俊一, 佐藤吉彦, "履歴を特つ非線形道床縦抵抗力によるロングレール軌道の伸縮特性", 土木學會論文集 第33号 IV-7, 1987, 7, pp.55~61
4. shigeru MIURA and Hideaki YANAGAWA, "ロングレールと一體化した分岐器のレール軸力特性", RTRI Report Vol. 3 No.1, 1989, 1, pp.36~42

(접수일자 : 2000년 12월 30일)