

지하철 고가부 자갈도상 분기기 궤도구조의 생력화 방안(I)

A Study on an improvement of Ballast Track turnout in Subway bridge(I)

성덕룡* 최정열** 김준형*** 박용걸****
Deok-Yong Sung Jung-Youl Choi Jun-Hyung Kim Yong-Gul Park

ABSTRACT

This paper presents the analysis results to evaluate the application of separation sleeper boot of turnout in concrete track in subway. An analysis includes the dynamic load on turnout-bridge and the ballast improvement method of upbound and down line independent girder in servicing line. From the results, the aspect and the property of separation sleeper boot of turnout are evaluated. FE analysis explain the relationship between independent bridge and track behaviour of dynamic loads. The assessment of application based on FE analysis results in a good improvement method of servicing subway line is proposed.

key words : separation sleeper boot, independent girder, ballast improvement method

1. 서 론

자갈도상궤도는 철도의 시작부터 현재까지 국내외적으로 널리 사용되고 있는 궤도구조이다. 그러나 자갈도상은 정기적인 유지관리에도 불구하고 열차하중 및 기타요인에 의해 열화현상이 진행되고 있어 그 기능이 저하되고 궤도의 유지관리 및 운행안정성확보에 대한 우려가 높아지고 있다. 자갈도상에서 자갈의 상태는 궤도의 안전성에 중요한 영향을 미치는 인자로서 자갈의 노후화에 따라 충격흡수, 마찰 등의 기능이 상실될 경우 열차주행조건악화와 궤도부담력의 증대로 이어지므로 선로의 사용성 및 주행안전성에 매우 불리한 여건을 초래한다. 더욱이 교량상에 부설된 분기기의 경우 궤도와 교량상호작용 및 분기기에서 발생하는 충격의 영향이 분기부 도상 상태를 더욱 악화시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지하철 고가부 분기기 자갈도상 궤도구조를 콘크리트 도상궤도구조로 도상 개량하는 방안을 검토하는 과정에서 대두된 현장애로사항에 대한 고찰을 통해 적절한 개량방안을 도출하고자 한다.

대상구간의 고가구조물은 그림 1과 같이 상하행선의 거더가 분리구조로 되어있으며 그 자리에 종방향 신

* 책임저자 : 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 박사과정

E-mail : duckcar@naver.com

TEL : (02)970-6890 FAX : (02)978-6575

** 정회원, (주)대한콘설탄트 철도부 궤도팀 사원, 공학석사

*** 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 석사과정

**** 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수, 공학박사

축 및 물막이가 설치되어있어 상부구조의 수직변위 차이가 발생하게 된다. 따라서 도상개량시 분기기의 건
 넘선부 궤도 도상을 강성 구조로 한다면 도상과 침목의 균열 및 파손이 우려되었다.

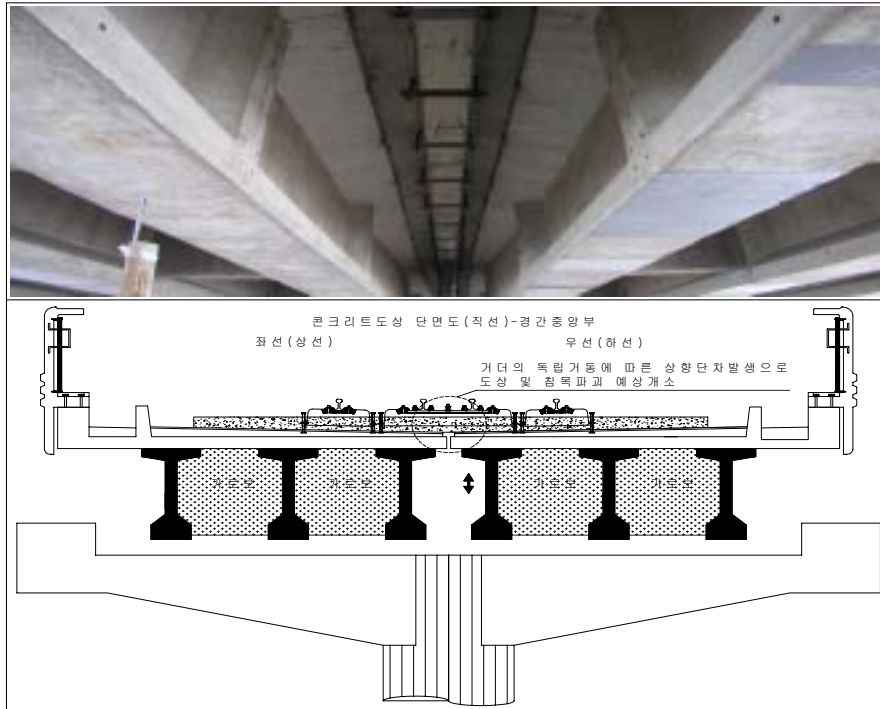


그림 1 교량상 분기부 도상개량시 예상 단면도

이러한 교량의 경우 교량상판의 횡방향 연속화 및 가로보 증설을 통한 거더의 합성구조화시 일반적인 콘
 크리트 도상개량이 가능하나 이러한 구조물 성능개선 공사는 운행선에서의 작업이 불가능하다.

또한 현장여건을 감안하여 임시로 자갈도상에 도상안정제를 살포하는 방안이 적용될 수 있겠으나 향후 유
 지관리 측면을 감안하여 장기적이고 안정적인 콘크리트 궤도구조의 검토가 필요하여 상, 하선 도상분리형
 콘크리트 궤도구조로 개량하는 방안을 검토하였다.

2. 대상구조물 현황 및 제반사항 검토

2.1 대상구조물 현황

본 연구의 대상구간 분기기는 정거장에 인접하여 부설된 건넘선으로써 상선에서 하선으로 건너가는 50kg
 NH 8# 분기기이며 현재 자갈도상으로 부설되어 운행 중에 있다. 또한, 부설 후 약 20년의 공용기간을 거치
 는 동안 레일의 통과톤수 도달 및 목침목의 균열, 부패를 비롯하여 도상자갈의 열화에 따라 궤도성능이 저
 하되어 열차의 안전운행을 위하여 많은 유지보수 비용이 소요되고 있는 실정이다. 따라서 기존 노후 분기기
 의 재료교환 및 구조개량이 필요하며 장기적인 측면에서 완전한 개량을 위해 도상개량이 불가피한 실정
 이다. 기존 분기기 설치 전경은 그림 2와 같다.



그림 2 Site of conventional line(50kg NH #8 turnout)

또한 대상구조물에 대한 고가부 구조물 정밀안전진단(2003) 결과에 따르면 현장재하시험을 통한 대상교량의 종방향 신축위치에서의 거더간 변위차이는 최대 1.28mm로 나타났다. 대상 분기기가 위치한 곳은 고가구간 중 4개 경간에 해당하며 교량형식은 PSC Beam, 경간길이 20m, 교폭 10m이고 지점조건은 FM방식이다. 그림 3은 총 4경간에 걸쳐 부설되는 분기기의 평면상 위치와 종방향 신축을 나타낸다.

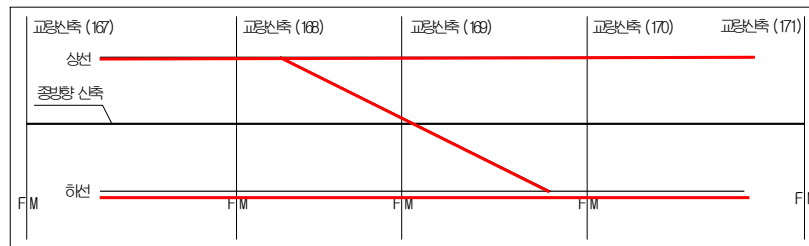

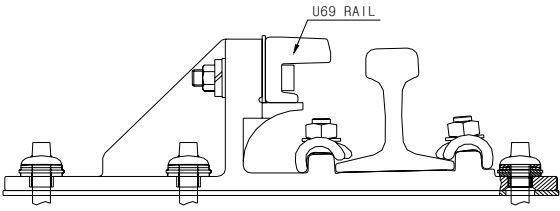


그림 3 Plan view of longitudinal expansion joint in turnout

2.2 적용 분기기 검토

대상구간에 적용될 분기기의 종류별 특징을 검토한 결과 50kg NS에서 60kg 노스가동 분기기에 이르기까지 다양하고 기능적으로 우수한 형식의 분기기가 국내외에 많이 있으나 안전성, 시공성 및 경제성을 고려하여 제한된 시간내 단계별로 시공이 가능하고 적절한 중량과 내구성이 증대될 수 있는 구조로 선정하였다. 이에 분선구간의 장대화 및 중량화 계획에 따라 분선구간과의 호환성과 유지관리측면에서 유리하며 국내 부실실적이 풍부한 60kg 탄성분기기를 적용하는 것이 적절할 것으로 판단되었으며 특징은 표 1과 같다.

표 1 Characteristics of turnout system(60kg-linear system)

스켈톤	<ul style="list-style-type: none"> •기존(목침목)분기기 선형 및 스켈톤 동일 적용가능 •기존 설계된 분기 구간의 호환성 확보
이음매	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> •접착절연레일 적용 •차량진동 및 소음감소, 절연재 마모 감소 •망간크로싱 전/후단을 플래시버트 용접으로 사용 •이음매부 결점 해소 및 수명연장
가드부 상판	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> •2중 탄성체결구조 : 소음진동감소, 수명연장 효과 •가드레일을 50kg 레일에서 U69레일로 변경

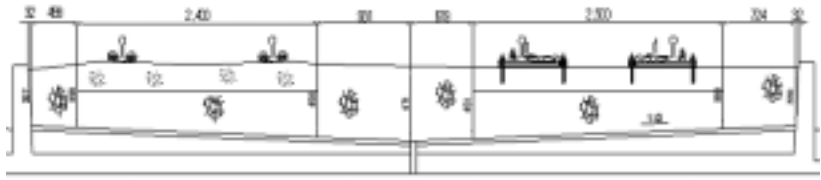
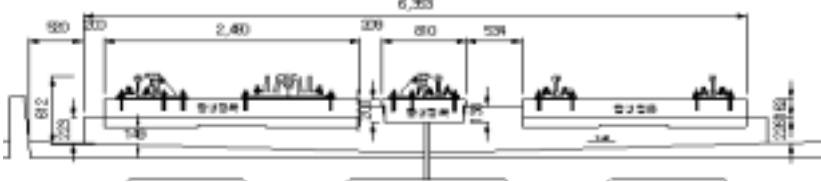
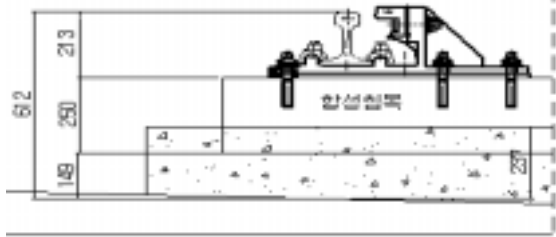
본 연구 대상구간의 분기기 설치 여건은 고가구조물이 상, 하선으로 분리되어 궤도생력화 추구 시 분기기의 건넘선 구간에서 가드레일과 구조물 종방향 신축의 경합으로 궤도도상을 강성도상(콘크리트 등)으로 하지 못한다.

궤도 생력화를 위해서는 기존 고가구조물의 상, 하선이 분리된 방식처럼 궤도에서도 도상을 분리를 시켜 상, 하선측 고가구조물이 독립적으로 거동하더라도 궤도에 영향이 없도록 하여야 하므로 분기기 일반부에는 장침목을 사용하여 시공이 용이하도록 하고, 경합부(건넘선 가드레일 침목)에는 궤도도상과 침목을 분리시킬 수 있는 도상분리상자와 합성수지 단침목을 사용하였다.

2.3 분기부 사하중 검토

분기기의 사하중 검토는 분기침목의 높이 결정에 영향을 주므로 기존의 자갈도상 상태의 분기기 부설과 생력화 구조 개량시 구조물에 작용하는 사하중을 비교하여 적정 도상면 높이를 결정하고자 한다. 현장조사시 검측한 도상두께를 근거로한 도상단면도를 작성하여 도상형식별 사하중과 궤도높이를 검토한 결과를 표 2에 정리하였다.

표 2 Dead load and Track height of turnout system

도 상 단 면 도(분기기 후단부 기준)	
자 갈	 <p>V=3.092m³/m, M=1,650kg/m³, W=5,100 kg/m</p>
개 량	 <p>V=1.744m³/m, M=2,400kg/m³, W=4,185 kg/m</p>
검 토	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자갈도상대비 82% 로 사하중 경감(5.100tonf → 4.185tonf) <p>주) V : 단위m당 체적, M : 단위체적당 중량, W : 단위m당 중량</p>
궤도높이(612mm) ■ 레일 : 174mm ■ 체결구 : 39mm ■ 침목높이 : 250mm ■ 도상높이 : 150mm	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 레일직하부에서 최소도상두께 150mm를 고려하면 침목 높이는 250mm 까지 가능하며 침목의 삽입 깊이는 88mm이다 	

도상개량 및 분기기 구조개량에 따른 분기기부 사하중 검토 결과 기존 자갈도상대비 82% 수준으로 사하중이 경감되는 것으로 분석되어 도상개량에 따라 고가부 정적 안정성 확보 및 장기 내구성측면에서 유리할 것으로 판단된다.

2.4 분기기부 침목 검토

도상개량 및 분기기 구조개량에 따라 분기 침목의 교체는 불가피한 사항이다. 또한 개량 궤도구조에서 적용될 분기 침목은 기존 자갈도상 궤도 분기기에 적용된 목침목 궤도구조와 동등이상의 탄성력을 확보하여야 하며 고가부 사하중 증가에 영향을 미치지 않도록 침목의 중량은 기존 목침목의 중량과 유사한 수준이어야 한다. 분기기 침목은 레일을 소정위치에 견고히 정착시키고 지지함과 동시에 레일을 통하여 전달되는 차량 하중을 넓게 도상에 분포시키기 위한 궤도재료로서 레일과의 견고한 체결에 적당하고 열차하중을 지지할 수 있는 강도를 가지고 있어야 하며 탄성, 수축성, 내구성이 풍부하고 취급이 용이하며 내구년한이 길고 경제적이야 한다. 따라서 운행선에서의 개량이고 고가의 분리구조에 따른 건널선부 도상개량의 어려운 실정을 감안하여 취급이 용이하고 단침목 매립 고정강도가 우수한 합성수지침목을 적용하는 것으로 검토하였다.

합성수지 침목은 Glass 장섬유와 Urethane수지를 주성분으로 하여 소량의 촉매와 정포제 및 발포제를 첨가한 원료에서 얻어진 FFU(Fiber reinforced Foamed Urethane)라는 성형판을 적층하여 접합부를 압축 접착하여 제조된 제품이며 특징은 다음과 같다.

- ① 우수한 기계적 강도를 갖고 있다.
- ② 흡수율이 작아 치수안정성이 크고 내부식성이 우수하다.
- ③ 전기절연성이 우수하다.
- ④ 체결강도가 우수하다. 일반 스파이크나 스크류 스파이크의 인발강도가 크고, 반복 타입시의 유지성도 크다. 또, 오일 부착에 의한 강도저하도 거의 없다. 7년간의 실사용에서도 타이플레이트의 침하나 이동 및 박힘이 없었다.
- ⑤ 내후성이 우수하다. 일사광선에 5,000시간 노출에서도 휨강도, 종압축강도, 접착전단강도는 거의 변화가 없었다.
- ⑥ 반복 휨피로 강도가 우수하다. 휨응력 90MPa일 때, 1,000,000회에서도 전단하지 않고, 압력제거후의 변형도 거의 없다.
- ⑦ 안정된 고품질의 장척물 공급이 가능하다.
- ⑧ 단침목 매립고정 강도가 우수하다.

이상과 같은 합성수지침목의 기능적 특성을 기존 분기기 목침목과 비교, 정리하여 표 3에 나타내었다.

표 3 Properties of turnout sleeper type(WT, FFUT)

항 목	단 위	합성수지침목(FFUT)	목침목(WT)	
비중	-	0.74	0.75	
휨강도	MPa	142	80	
휨탄성계수	MPa	8.1×10^3	7.1×10^3	
경도	MPa	28	17	
충격휨강도	20°C	j/cm ²	41	20
	-20°C	j/cm ²	41	8
흡수량	mg/cm ²	3.3	137.0	
절연저항	DRY	Ω	1.6×10^{13}	6.6×10^7
	WET	Ω	1.4×10^8	5.9×10^4
스크류스파이크 인발강도	kN	65	43	

표 3과 같이 합성수지침목은 가벼워서 작업성이 우수하기에 높은 곳, 좁은 곳에서의 작업이 용이하며 경도가 목침목 보다 우수하여 기존 목침목 궤도에서 발생하였던 궤도틀림발생이 줄어들고 별도의 유지관리가 필요 없게 되어 유지관리 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

또한 충격휨강도 또한 목침목 보다 크게 우수하여 궤도에서 발생하는 충격의 영향을 충분히 견딜 수 있으며 흡수량과 절연저항성능이 우수하여 내수성이 확보되고 궤도의 전식방지 및 절연성능 향상에 유리할 것으로 판단된다.

본 연구 대상구간 분기기에 적용한 분기침목은 시공성을 감안하여 일반구간은 장침목으로, 건널선부 가드레일 침목은 단침목으로 검토하였으며 표 4는 분기기 위치별 도상단면도이며 Table 5는 분기침목의 형식별 단면치수를 나타낸다. 또한 그림 4에 국내에 부설된 합성침목 분기기 부설전경을 나타내었다.

표 4 Track Section of turnout position

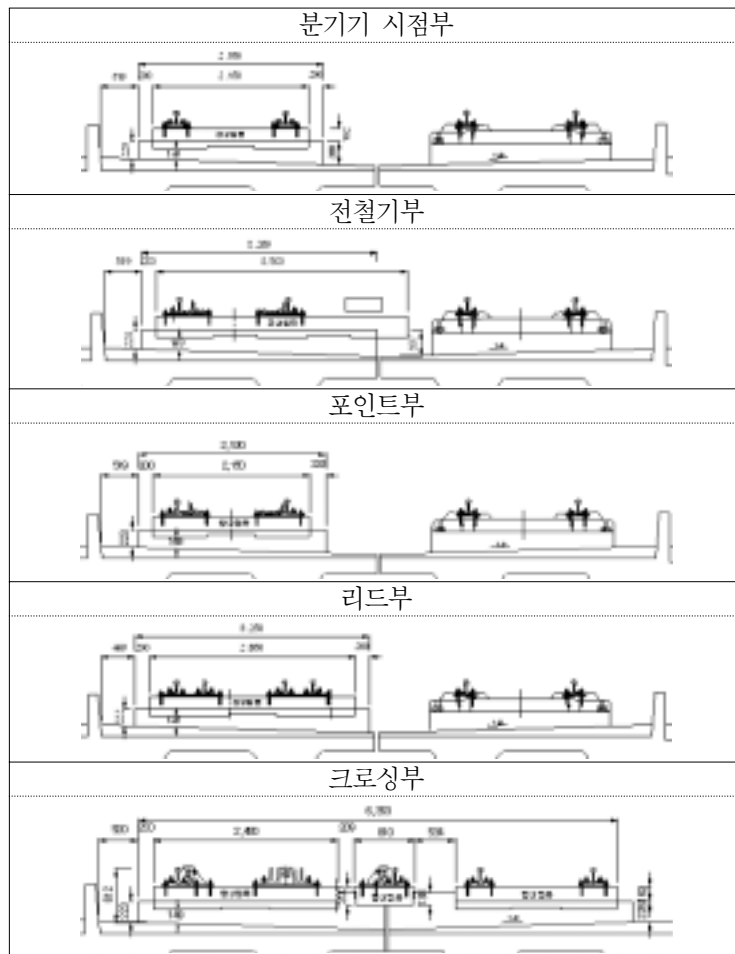


표 5 Shape of turnout sleeper type

TYPE	측 면	단 면
A~H		
G		



그림 4 View of FFUT in turnout

2.5 운행선 개량공법 검토

운행선 고가부 분기기 도상개량인 점과 고가부 상, 하선 구조물이 분리되어 건널선부 도상개량에 어려움이 있는 본 연구 대상구간의 현장여건을 감안하여 개량공법을 선정하였다. 기존 콘크리트 타설공법은 별도의 가받침을 하여야 하며 도상채움콘크리트의 강도발현이 늦고 건널선부 종방향 신축의 기능

유지를 위한 도상분리형 가드레일 침목의 설치가 어려워 초속경 무수축모르터를 이용한 개량공법을 적용하고자 한다. 초속경 무수축모르터를 이용한 개량공법은 일본에서 개발되어 사용중에 있으며 현재 국내에서는 한국철도기술연구원에서 국산화를 위한 연구가 추진중에 있다.[4],[5] 기존 콘크리트 타설 공법과 초속경 무수축모르터를 이용한 주입공법의 차이점을 비교하여 표 6에 나타내었다.

표 6 Comparison of a method of servicing line improvement

구분	기존 콘크리트 타설 공법	초속경 무수축모르터 주입공법
공정	① 도상 기존 자갈철거 ② 궤도 임시 받침 ③ 콘크리트 타설 ④ 양생	① 도상 신규 자갈치환 ② 초속경 무수축 모르터 주입 ③ 양생
장점	-가격이 다소 저렴하다.	- 궤도 가받침 설치 필요 없음 (주입 후 2시간 강도 8MPa이상) - 도상자갈을 직접 콘크리트화 (작업이 용이) - 양생 균열 없어 내구성 우수
단점	- 궤도 가받침 설치 : 열차 서행 운행, 철저한 안전관리필요 - 시공후 바로 열차운행 불가능 - 콘크리트 양생이 늦어 균열 발생이 많아 상대적으로 유지보수 관점에서 비경제적임.	- 시공비가 고가임. · 자갈을 양질의 새 자갈로 교체함으로 추가 비용이 소요 · 초속경 무수축 몰탈이 고가
비용	17억/km	24억/km

2.6 건널선부(가드레일 침목) 적용궤도구조

본 연구에서 검토한 분기기 건널선부 궤도구조 개량방안은 그림 5와 같이 고가구조물의 종방향 신축을 궤도도상까지 연장하되 단블럭 형식의 합성침목을 사용하고 단블럭 저부에 그림 6과 같은 도상분리상자를 설치하여 상, 하선 거더와 완전 분리시키는 궤도구조이다.

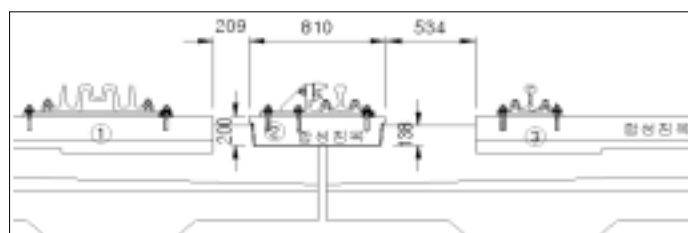


그림 5 Separation of crossover sleeper

따라서 콘크리트 도상 궤도구조에서 일반적인 방진궤도시스템인 LVT와 Stedef 궤도시스템과 유사한 궤도구조를 구성하게 되나 방진상자 내부의 방진패드도 분기기 방진레일체결시스템의 방진패드를 감안하여 제외하였다. 구조적으로는 ①~③번 부분이 모두 분리되어 상, 하선이 분리된 교량의 정, 동적 거동에 각각의 부분이 영향을 받지 않도록 유도한 궤도 형식이며 이에 따라 상, 하선측 거더의 수직변위 차이에 따른 종방향 신축위치에서의 침목 및 도상의 파손을 방지함으로써 종방향 신축에 의해 분리된 고가구조의 취약부분을 보완할 수 있는 상, 하선 도상분리형 콘크리트 궤도구조형식이다. 그림 6은 도상분리상자의 단면을 나타낸다.

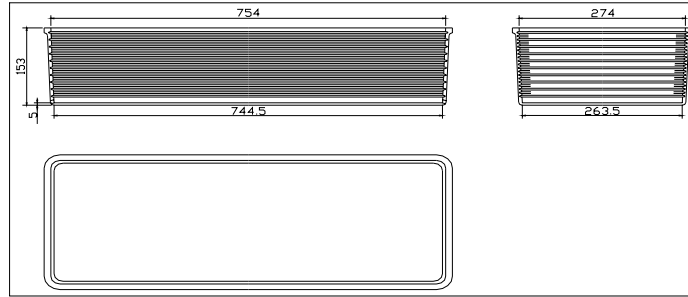


그림 6 Separation Sleeper boot in turnout

3. 유한요소해석

3.1 해석개요

본 연구에서는 범용유한요소해석 프로그램인 LUSAS 13.5-3을 이용하여 정, 동적 유한요소해석을 수행하였으며 분기기 건널선과 교량과의 상호작용해석을 위한 [유한요소해석 I]과 도상분리상자가 고려된 도상분리형 궤도구조의 상세해석인 [유한요소해석 II]로 구분하여 해석을 수행하였으며 해석조건 및 재료별 물성치는 표 7~표 8과 같다.

표 7 A condition of Analysis

구 분		산 식	적 용 값
선로 조건	레 일	일반구간레일 및 분기레일 모두 중량화	KS 60
	레일기울기	1:40	1.43°
	궤 간	표준궤간	1,435mm
	축 중	지하철 차량 축중	160 kN
설계상의 가정	충격 계수	동적하중요소	1.0
	L/V	횡방향력/수직력	0.5
설계하중 조건	수 직 력	$F_V = \text{축중} / 2 \times \text{분산계수}(0.5) \times \text{할증계수}(1.0 + 1.0)$	80kN
	횡 압	$F_H = \text{축중} / 2 \times 0.4$	32kN

표 8 Properties of Track members

재 료	물 성 치	
	탄성계수	프아송비
합성침목	8.3×10^3 [MPa]	0.35
도상분리상자	2.0×10^6 [kN/m]	0.4
도상콘크리트	2.0×10^4 [MPa]	0.3
교량 바닥판	2.0×10^4 [MPa]	0.3

3.2 열차하중 모델 산정

다수의 집중하중으로 재하되는 열차하중의 시간이력을 해석에 적용하기 위해 일정 축거를 갖는 축중의 요소 내 위치를 시간 간격마다 요소길이에 대해 무차원화하여 식 (a)와 같이 산정하였다.

$$x_n = \frac{V_T \times T_n}{L_e} \quad \text{식 (a)}$$

여기서, x_n : 절점 i로부터의 축위치, V_T : 열차속도, T_n : 시간, L_e : 요소의 길이, n : Time Step

임의의 Frame요소의 양단 절점 i, j 에서 치환되는 절점 하중 및 절점 모멘트하중은 하중의 크기와 형상함수(Shape Function)의 곱으로 나타낼 수 있으며 시간간격마다 각 절점 별로 하중을 누적 합산하여 하중의 시간이력을 아래의 식 (b)와 같이 나타낼 수 있다. 그림 7에는 형상함수를 나타내었다.

$$P_i(x) = Q_V \times N_i \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad \text{식 (b)}$$

$$N_1 = 2x_n^3 - 3x_n^2 + 1$$

$$N_2 = x_n \times L_e \times (x_n - 1)^2 \quad (0 \leq x \leq 1)$$

$$N_3 = -2x_n^3 + 3x_n^2$$

$$N_4 = x_n^2 \times L_e (x_n - 1)$$

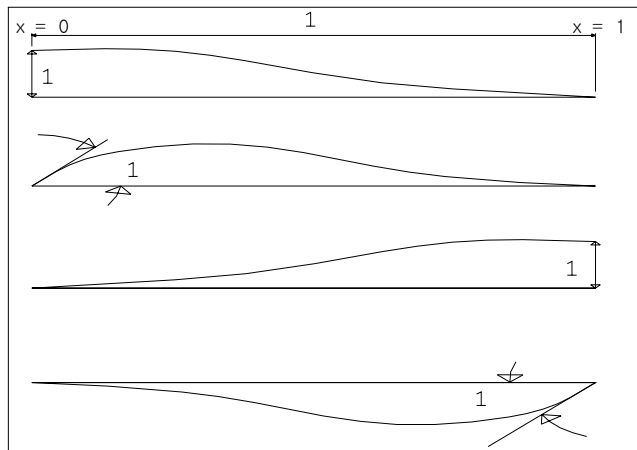


그림 7 Theory of Shape Function

본 검토에서는 지하철 열차하중(8량)을 100km/hr의 주행속도를 가지는 열차하중의 영향이 모델링의 각 절점에 짧은 시간동안 가해지고 사라지는 충격하중으로 작용하도록 시간이력함수를 정의하였다. 하중 재하 구간은 교량 시점부로부터 좌측으로 50m, 교량 종점부로부터 50m를 고려하여 총 180m(4@20m+100m)를 적용하였다. 또한, 하중 재하 구간을 100km/hr의 주행속도로 지나갈 때의 시간을 산정하여 적용하였으며, 열차하중이 분기선상을 주행하여 교량구간을 지날 때 철도교의 동적거동을 확인할 수 있도록 하였다. 본 연구대상구간의 운행 열차는 8량 편성으로 동력차와 객차의 조성은 6M2T(M : 동력차, T : 객차)를 기본으로 하고 있으며 100km/hr의 속도로 주행하는 열차의 윤하중을 모델링한 시간이력함수의 예와 부산지하철 운행 열차의 축중배치는 그림 8과 같다.

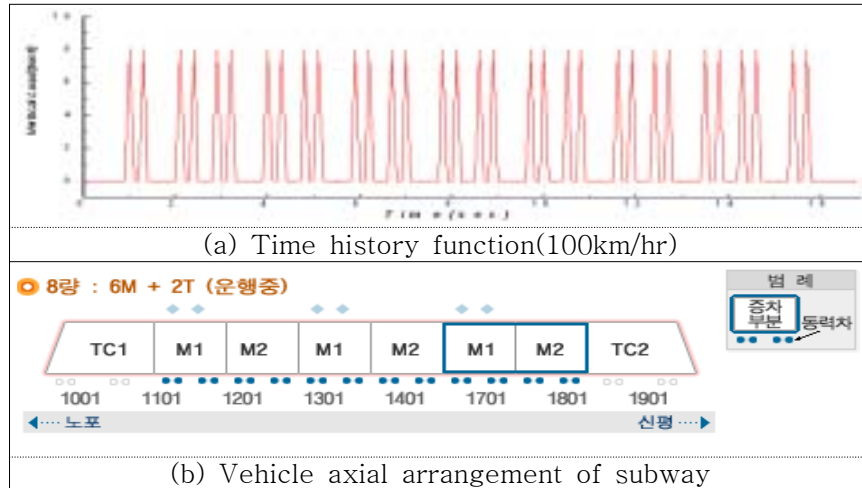


그림 8 Time history function(100km/hr) and subway vehicle axial arrangement

3.3 유한요소해석 I

(1) 유한요소해석 모델

시간이력해석을 위한 이동열차하중의 주행경로를 위한 레일 및 분기기의 요소길이는 1m로 하였으며 해석에 적용한 분기기 모델을 실제 선형조건과 동일하게 3차원 모델로 이상화시킴으로써 그림 9와 같이 건널선을 통과하는 주행열차하중의 영향을 고려하였다.

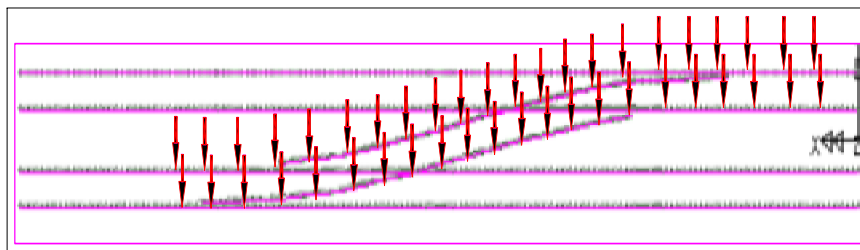


그림 9 Arrangement of wheel load at crossover

유한요소해석 모델은 그림 10과 같이 레일, 침목 및 분기기는 프레임요소(frame element)를 이용하였으며 PSC 교량은 3차원 솔리드요소(solid element)로 모델링 하였다. 레일은 KR 60kg 레일을 사용하였으며, 도상은 단위m당 교량에 추가적인 사하중(16.92 kN)으로 작용하는 것으로 고려하였으며, 교량에 미치는 하중의 영향이 과소평가되지 않도록 수직방향에 대한 분기기 레일체결시스템의 탄성력을 무한강성으로 가정하여 레일과 교량이 수직방향에 대해 강제 거동하도록 하였다.

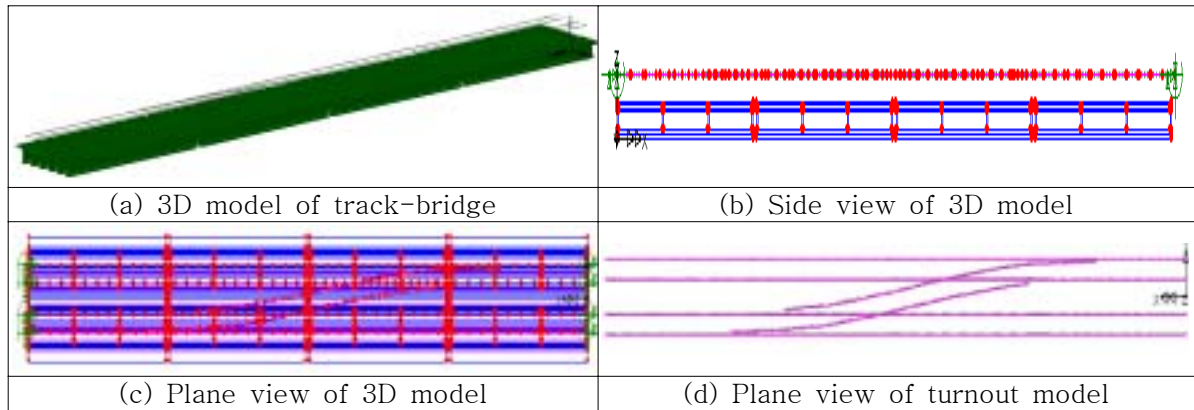


그림 10 FEM model of PSC girder and turnout system

(2) 해석결과분석(i)

해석을 통해 산출된 최대 수직 처짐은 가장 불리한 조건에서의 해석결과이므로 실제 구조물의 거동은 해석결과를 하회하는 수준으로 나타날 것으로 판단된다. 지간 중앙부 최대 처짐은 2.31mm로써 교량횡단 개소인 도상분리형 궤도구조가 부설될 위치와는 다소 차이가 있다.

건널선 통과 후 반대측 교량 위를 주행하게 되는 시점은 전체 교량 연장의 1/4위치이므로 그림 11과 같이 건널선부 열차 주행에 따른 거더 변위차이는 매우 미소하여 건널선 열차통과시 수직변위차에 따른 열차 주행안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한 해석결과 산출된 대상교량의 중방향 신축위치에서의 거더 변위차이는 1.14mm로 나타나 해석모델은 대상구조물 정밀안전진단의 현장재하시험 결과를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

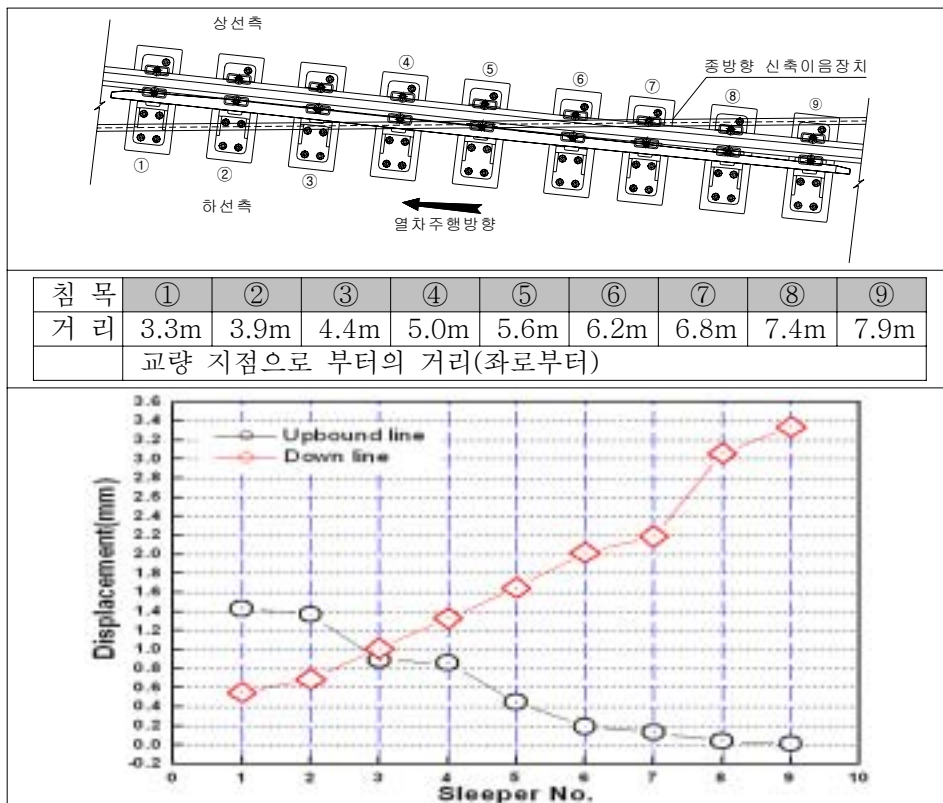


그림 11 FEM model of PSC girder and turnout system
(Vertical displacements of each deck at crossover)

3.4 유한요소해석 II

(1) 유한요소해석 모델

앞서 수행한 분기기 건넘선을 고려한 교량-분기기 상호작용 해석을 통해 교량상 분기기 건넘선 열차 통과시 발생하는 교량의 최대 동적 수직처짐을 파악하였다.

본 유한요소해석 II에서는 상기 전술한 조건하에서 건넘선 위치에 부설될 도상분리형 분기기 궤도구조의 동적 거동을 파악하고자 하였다. 범용유한요소해석 프로그램인 LUSAS 13.5-3을 이용하여 교량, 도상 채움콘크리트, 도상분리상자 및 합성침목은 3차원 솔리드요소 (solid element)로, 레일은 프레임요소(frame element)로 모델링 하였다. 또한 분기기용 방진레일체결 시스템의 탄성계수($1.7 \times 10^5 \text{kN/m}$)를 고려한 Joint element를 이용하여 레일과 침목요소를 탄성력을 갖는 스프링 요소로 연결하였다. 해석시 건넘선 열차 통과를 고려하여 운중을 비롯한 횡압을 적용하였으며 교량 모델은 하선측의 변위만을 허용하여 상하측 수직변위차이에 따른 상향단차가 최대가 될 수 있도록 고려하였다.

(2) 해석결과분석(ii)

도상분리형 분기기 궤도구조의 동적 거동을 분석하기 위한 유한요소해석 모델과 각 궤도구조부재의 동적 응력 및 변위분석결과는 그림 12와 같으며 해석결과를 표 9에 정리하였다.

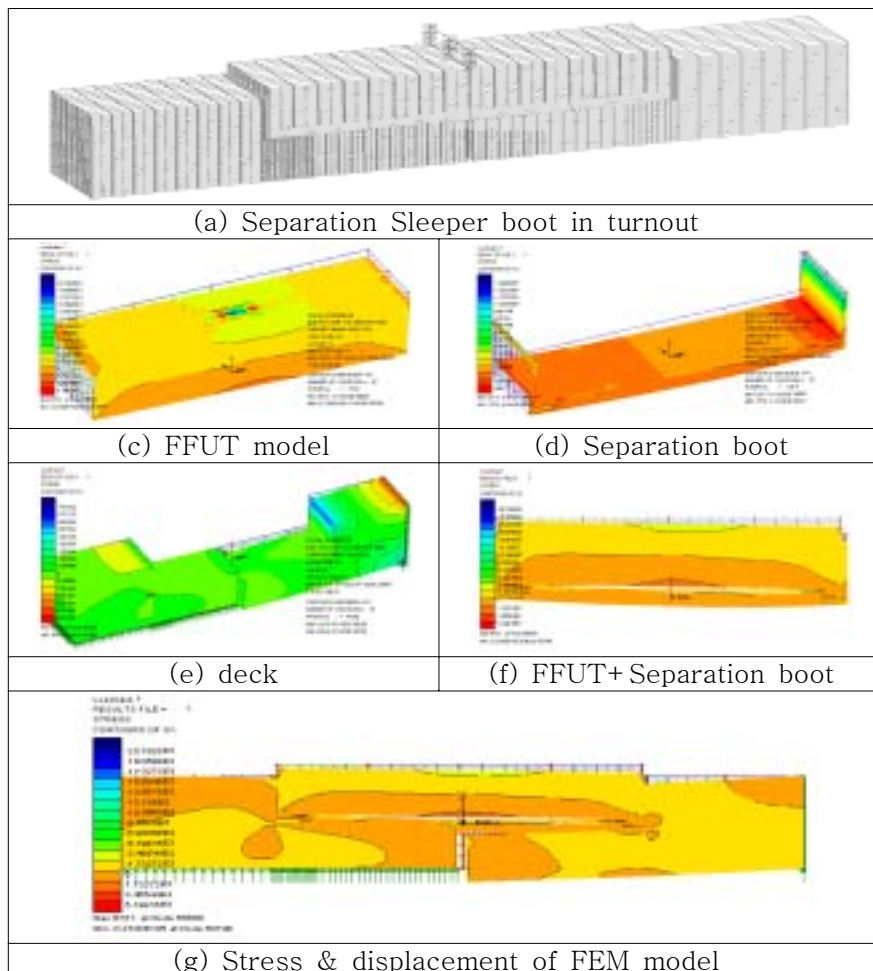


그림 12 FEM model and results of stress and displacement

표 9 Results of FEM model

구 분	최대값[MPa]		최대 변위[mm]	
	최대응력	허용기준	수직방향	횡방향
방진패드	1.49	23	0.65	0.018
합성침목	46.81	59.14	0.0151	-
도상분리상자	2.92	32	0.23	0.012
변위총계	-	-	0.8951	-

도상분리상자의 실물 치수와 동일한 탄성재료를 해석에 적용한 상세 유한요소해석 결과, 최대 동적 열차하중 재하시 도상분리상자 및 합성침목의 발생 최대 응력은 허용기준을 만족하였으며 도상분리상자와 합성침목의 수직방향과 횡방향 최대변위가 매우 미소하여 열차주행에 따른 안정성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

또한 궤도에서 발생하는 총 수직변위의 합이 1mm가 되지 않는 것으로 나타나 도상분리형 분기기 궤도구조를 적용할 경우 상하선 도상분리에 따른 구조적 문제는 발생하지 않을 것으로 판단되며 열차의 주행안정성 확보가 충분할 것으로 판단된다.

6. 결 론

지하철 고가부 자갈도상 궤도상에 부설되어있는 분기기 궤도구조의 생력화에 대한 연구결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 교량상 부설된 분기기 궤도구조의 거동 파악을 위한 해석결과 분기기 건넘선부 열차 통과시 종방향 신축위치에서의 거더 변위차이는 현장재하시험 결과와 유사하게 나타나 해석모델은 대상구조물 정밀안전진단의 현장재하시험 결과를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

(2) 또한 건넘선 통과 후 반대측 교량 위를 주행하게 되는 시점은 전체 교량 연장의 1/4위치이므로 건넘선부 열차 주행에 따른 거더 변위차이는 매우 미소하여 건넘선 통과시 수직변위차에 따른 열차 주행안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

(3) 유한요소해석 결과, 최대 동적열차하중 재하시 도상분리상자 및 합성침목의 발생 최대 응력은 허용기준을 만족하였으며 도상분리상자와 합성침목의 수직방향과 횡방향 최대변위가 매우 미소한 것으로 분석되었다.

(4) 또한 궤도에서 발생하는 총 수직변위의 합이 기존 궤도에서의 수준과 유사한 수준으로 나타나 상, 하선 도상분리에 따른 구조적 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

따라서 상, 하선 분리구조로 되어있는 기존 지하철 고가부의 건넘선 도상개량시 상, 하선 거더의 거동차이를 해소할 수 있는 방안으로 도상분리상자를 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 양재성 등 “케도생력화를 위한 도상구조에 대한 연구”, 한국철도기술연구원, 연구보고서, 1999
2. 정근영 등 “철도도상개량을 위한 기초연구”, 한국철도기술연구원, 연구보고서, 1998
3. 이일화 등 “포장궤도 구조결정을 위한 현장상태 조사”, 한국철도학회 학술대회, 2004
4. 이일화 등 “기존선 생력화를 위한 포장형 슬래브궤도 개발“, 한국철도기술연구원, 연구보고서, 2005