

# 교량 상 분기기 축력 및 변위해석

## Analyses of axial forces and displacements for turnout on the bridge

김인재\*      김정일\*\*      양신추\*\*\*      한상철\*\*\*\*  
Kim, In-Jae      Kim, Jeong-Il      Yang, Shin-Choo      Han, Sang-Chul

---

### ABSTRACT

The improvement of speed and ride comfort requires a very horizontally and vertically rigid and non-flexible alignment. It is inevitable to construct many bridges depending on the topography of landscapes and obliged to lay turnouts on the bridges. In that case, special considerations have to be taken into account, i.e. permissible stresses of turnout components and limitations of displacements of bridge and turnouts. In this studies, numerical analyses for turnout/bridge interaction are carried out using commercial program LUSAS. The target of analytical model is the turnout layed near Pyeongrae-Hopyeng station on Kyeongchun line. The lead rail, stock rails, and the bridge are modelled using beam elements. Fasteners and ballast resistances are modelled using bi-linear spring elements. The turnout behaviors are investigated by varying the parameters such as span length of bridge, spring coefficients, and thermal loads.

---

### 1. 서론

최근에 부설되는 선로는 고속화와 유지관리비용이 적게 소요되는 시스템을 추구하고 있으며 선로선형 설계 시에도 고속화 및 민원저감 등의 사유로 많은 구간에서 교량 및 터널로 설계할 수 밖에 없는 실정에 있다. 따라서 부득이 분기기 및 건널선이 교량 상에 설치하여야 하는 경우가 빈번하게 발생하게 되고 유지관리의 효율성 및 승차감, 환경적인 측면 등을 고려할 때 분기부가 포함된 장대레일화는 필수적으로 채택되어야 한다. 교량 상에 분기부를 포함하여 장대레일을 부설하기 위해서는 레일에 부가되는 축력을 검토하여야 하나 국내 및 국제적으로도 연구 성과가 미미한 실정이다. 본 연구에서는 유한요소해석을 이용한 교량상 분기기 상호작용 해석 방법을 제시하고 국내에서 개발한 교량과 분기기 상호작용해석 전용 프로그램으로 해석을 수행하였다. 또한 개발프로그램의 검증하기 위해 범용유한요소 해석프로그램으로 UIC774-3 의 예제모델로 검증을 수행한 LUSAS해석프로그램을 이용하여 개발프로그램의 결과와 비교 분석을 통해 해석모델을 제시 하였다.

### 2. 분기기와 교량 상호작용해석

#### 2.1 분기기구성

열차 또는 차량을 한 궤도에서 타 궤도로 전환시키기 위하여 궤도상에 설치한 설비를 분기기라 하며 분기기는 포인트(point)부, 크로싱(crossing)부, 리드(lead)부의 3부분으로 구성된다. 아래 그림은 분기기 각 부의 명칭을 나타내었으며 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 분기기인 편개분기기가 기본이며 주요 부재는 텅레일(tongue rail), 크로싱, 가드레일(guard rail)이 있다.

---

\* 정회원, 한국철도시설공단 궤도관리부장 E-mail : [injaero@hanmail.net](mailto:injaero@hanmail.net) TEL : (042)607-3982 FAX : (042)607-3779

\*\* (주)삼안 철도사업부, 대리 E-mail : [imsphere17@hanmail.net](mailto:imsphere17@hanmail.net) TEL : (02) 509-4872

\*\*\* 한국철도기술연구원, 책임연구원 E-mail : [scyang@krri.re.kr](mailto:scyang@krri.re.kr) TEL: (031) 460-5301

\*\*\*\* 서울산업대학교 철도전문대학원, 교수

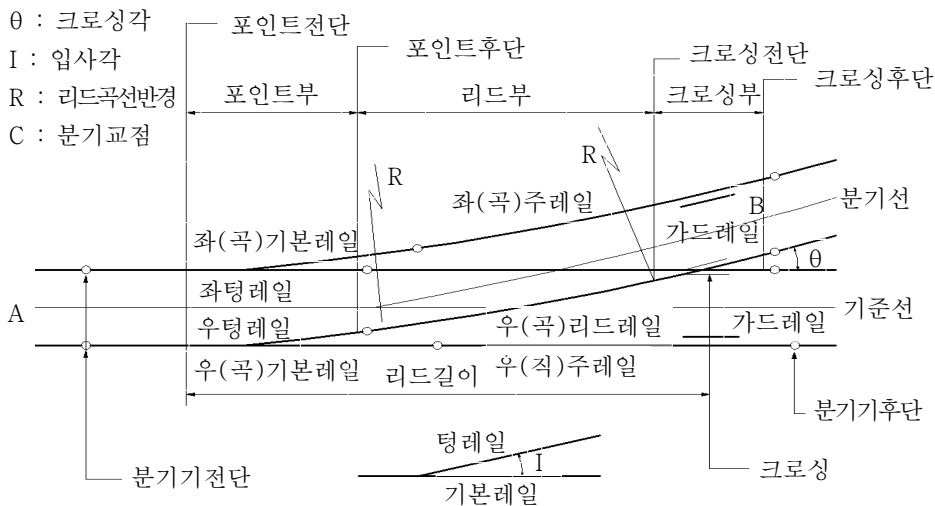


그림 1 분기기 각부의 명칭

## 2.2 분기기의 역학적 분석

장대레일은 소음진동의 저감이나 궤도보수량의 경감에 매우 효과가 있으며 보다 광범위하게 적용되는 것이 바람직하다. 그러나 분기기를 포함하여 장대레일화 하는 것은 분기기의 구조적인 특성을 감안하여 선정되어야 한다. 일반적으로 분기기를 포함하여 장대레일화 할 경우 축력은 일반적인 궤도보다 높게 되거나 텅레일에서 직각틀림이 발생하게 된다.

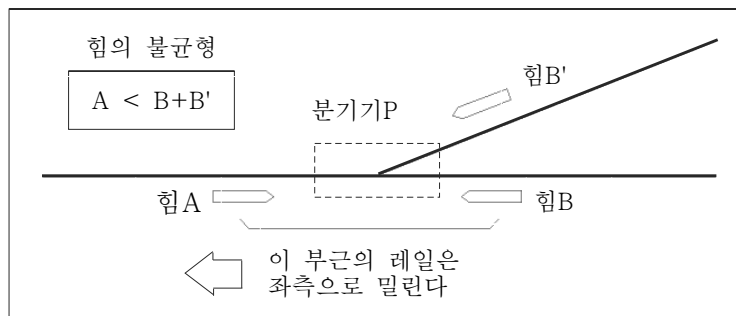


그림 2 분기기가 포함된 장대레일 개략도

위의 그림은 분기기가 포함된 장대레일을 약도로 표시한 것으로 P가 분기부에 해당되며 분기기전후가 장대레일이라면 P로부터 충분히 떨어진 점 A, B, B'에서의 축력은 통상적으로 일반구간의 장대레일 부동구간과 같게 된다. 만약 P점을 완전히 고정하였다고 가정하면 P점으로 향하는 힘은 좌측 1의 힘에 대하여 우측 2의 힘으로 되기 때문에 힘의 불균형이 초래된다. 분기기는 완전하게 고정이 불가능하기 때문에 P점은 A측으로 힘이 밀리게 되며 A로부터 P에 향하는 힘이 B, B'에서 P로 향하는 힘의 합계와 같게 되어 균형 상태로 된다. 이 결과 레일축력은 P에서 A측 방향으로 상승하게 되고 B 및 B'측에서는 저하하게 되며 이 때의 기본레일은 분기전후의 일반 장대레일과 접촉하고 있는 반면 크로싱에 접촉하는 레일은 그 선단이 텅레일로 되어 있기 때문에 이동량이 크게 되며 상대적인 직각틀림이 생기게 된다. 아래의 그림은 기준선 및 분기선측 모두를 장대레일로 했을 경우에 대하여 해석한 결과[2]이며 35%정도의 레일축력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 이 부가축력이 생기는 범위는 기준선측만 장대레일로 했을 경우 분기기 텅레일 후단(힐부)으로부터 분기기전단 방향으로 약10~20m, 기준선과 분기선 모두를 장대레일화 한 경우에는 약 30~40m정도가 된다. 위와 같이 분기기가 포함된 장대레일을 부설하기 위해서는 부가축력에 견딜 수 있는 도상저항력의 증가가 필요하며 기본적으로 콘크리트침목이 적용되어야 한다.

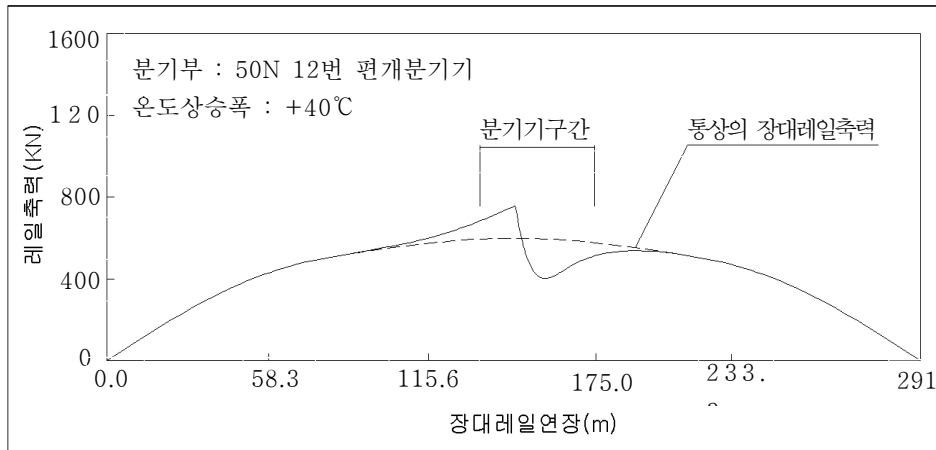


그림 3 분기기가 포함된 장대레일 부동구간의 축력분포도

### 2.3. 교량상 분기기 해석방법

분기기는 장대레일로 되어 있는 기본레일(Stock rail)과 힐(hill)부에서 끝나는 리드레일(Lead rail)로 구성되어 있다. 그 구조는 포인트부, 리드부, 크로싱부로 나누어지며 해석 모델링할 때에는 포인트부인 경우 기본레일에 대하여만 해석요소로 적용하고 텅레일은 포함하지 않으며 이는 텅레일이 침목이나 기본레일에 구속력이 없기 때문이다. 따라서 분기기에 대한 해석모델링은 그림 4와 같이 힐부에서 크로싱부까지로 구분된다.

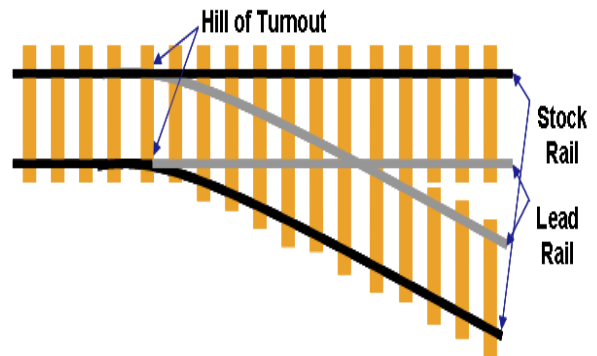


그림 4 분기기 모델 구조도

본 모델의 특징은 다음과 같다.

1) 분기기 구간의 모델화는 레일길이 방향에 대해서는 침목자체를 절점으로 나타내어 상부의 레일과 하부의 교량을 비선형 스프링으로 직렬 연결시켰다. 이는 일반구간과 다르게 분기침목이 복선에 걸쳐 1개의 침목으로 연결하는 경우가 있으며 1개의 침목에 6개의 레일이 올라가게 되므로 도상중저항력이 크게 됨에 따라 도상저항력보다는 레일체결장치의 체결력이 축력에 영향이 클 것으로 보아 일반구간과 다르게 모델링하였다.

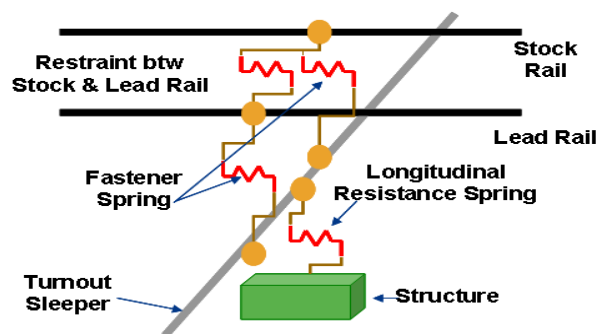


그림 5 분기 구간 해석모델링

- i) 레일 종방향으로는 체결장치의 종저항력에 상당하는 비선형스프링과 도상중저항력에 상당하는 비선형 스프링을 침목절점 요소에서 연결시켜 상호작용력을 전달하도록 하였다.
- ii) 레일 직각방향(횡방향)으로 작용하는 체결장치의 횡저항력은 강결로 거동하는 스프링과 도상횡저항력에 상당하는 비선형 스프링을 침목절점 요소에 연결시켜 상호작용력이 전달되도록 하였다. 유도상 궤도의 도상횡저항력과 도상중저항력은 분기침목의 길이에 따라 다르기 때문에, 각 침목 길이 마다 다음의 도상횡저항력의 계산식을 이용해서 계산하였다.

$$F = a \times W + b \times \gamma \times G_e + c \times \gamma \times G_s \quad (1)$$

여기서 F는 침목 1정당 도상횡저항력(kg)을 W는 침목중량(궤광중량 포함, kg)을  $\gamma$ 는 도상의 단위

용적중량(kg/cm<sup>3</sup>)을  $G_e$ 는 침목 단부면의 단면1차모멘트(cm<sup>3</sup>)를  $G_s$ 는 침목 측면의 단면1차모멘트(cm<sup>3</sup>)을 나타내고 계수  $a, b, c$ 는 궤도형식별도 표1과 같다.

표 1 궤도형식별 계수치

구 분	a	b	c	비 고
PC침목 + 깐자갈	0.75	29	1.8	
목침목 + 깐자갈	0.75	29	1.3	
목침목 + 마모된 자갈	0.6	29	1.4	

식(1)에서 좌변의 제1항은 침목저면, 제2항은 침목단부면, 제3항은 침목측면의 도상형저항력에 대한 분담을 나타낸다.

도상중저항력을 산출하기 위해서는 도상형저항력 구하는 공식(1)의 제2항과 제3항의 계수를 바꾸어 계산하면 다음과 같다.

$$F = a \times W + c \times \gamma \times G_e + b \times \gamma \times G_s \quad (2)$$

- 2) 교량 일반구간의 모델화는 레일의 절점과 교형의 절점 사이에 레일 길이 방향과 직각방향의 비선형 스프링을 넣었다. 그리고 교량의 양쪽의 일반 토공부는 길이 200m 정도를 레일과 연결시킨 비선형 스프링의 다른 쪽 절점을 완전 고정시켜 레일의 부동구간과 교량의 신축을 접속시켰다..
- 3) 교량의 모델화는 온도변화에 따른 열팽창만을 고려해 횡방향으로 거동하지 않도록 하였다.
- 4) 레일과 교량의 모델화는 Beam 범요소를 이용하였다.

### 2.3 교량상 분기기 해석

해석 대상 철도교는 그림4와 같이 총길이 240m의 2@40m 3연속교위에 분기기(F12)를 설치하는 조건으로 설정하였다. 레일 부동구간을 나타내는 양측 토공부 총400m을 합하면 전체모델은 640m이다.

해석프로그램으로는 3자유도의 2차원 Beam요소를 이용한 국내 개발 프로그램과 범용유한요소프로그램으로 6자유도의 Beam요소를 이용한 Lusas을 사용하였다. 두 프로그램간의 특징은 다음 표2와 같다.

표 2 해석프로그램 특징

구 분	개발프로그램	범용전산(Lusas)
Nonlinear 해석 방법	Simplified method	Incremental Loading method
레일, 교량 요소	3자유도 beam	6자유도 Beam
도상, 체결구 스프링요소	비선형 스프링	비선형 스프링

해석에 적용된 모델의 조건으로는 다음 표 3과 같다.

표 3 해석조건

구 분		조 건 값	구 분		조 건 값
레일종별		60kg K	분기기		F12
도상저항력	일반구간	20kN/m/궤도	한계변위	종방향	2mm
	교량분기기	식(1),(2)에 따름		횡방향	2mm
온도변화량	레일	45℃	열팽창 계수	레일	1.14E-5
	교량	20℃		교량	1.00E-5

6자유도의 보요소를 적용한 범용전산(Lusas)프로그램으로 분기기가 설치된 교량의 레일-교량 상호작용 해석결과 레일의 횡변위는 그림 7과 같이 최대 0.72mm가 분기기 전단의 레일에서 발생하였다. 분기기 부분은 장침목의 사용으로 일반구간보다 상당히 높은 도상 저항력이 작용하여 횡변위에 대한 안정성이 확보되므로 분기기 바로 전단의 일반침목부에서 횡변위의 최대가 나왔으나 그 크기가 작아 횡방향으로는 안정성이 확보된다고 판단된다. 따라서 도상횡저항력이 충분히 확보되어 횡방향에 대한 안정성이 확보된 경우에 한해서는 2자유도의 보요소를 사용하여 간편한 모델링과 빠른 궤도-교량 상호작용 해석 해석수행으로 궤도와 교량의 거동분석이 편리해질 것으로 사료된다.

두 해석프로그램간의 레일응력과 레일의 종방향 변위를 조사한 결과 그림 8과 9와 같이 나타났고 그 결과 값들을 정리하면 표 4와 같다.

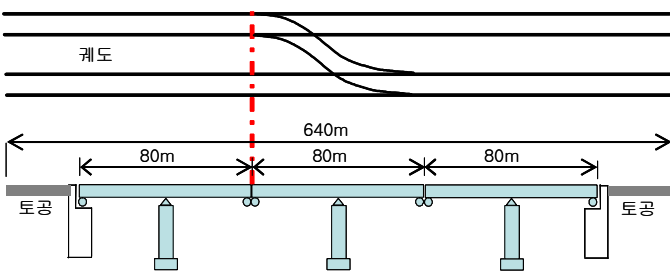


그림 6 교량상 분기기 배치도

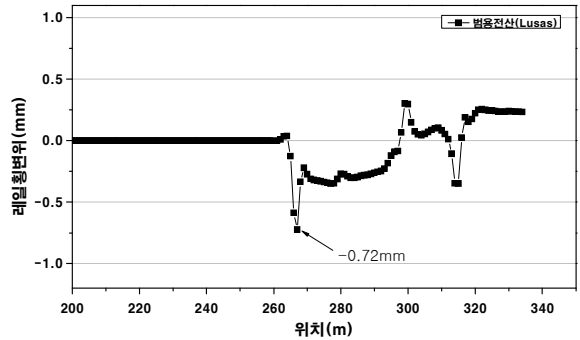
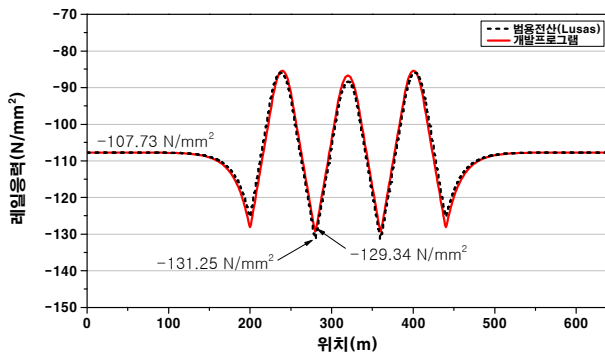
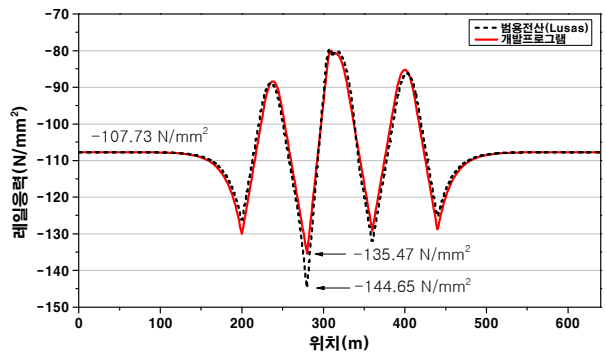


그림 7 레일횡변위

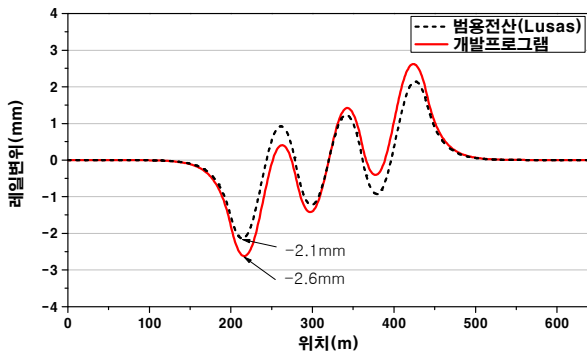


(a) 분기기 설치 전

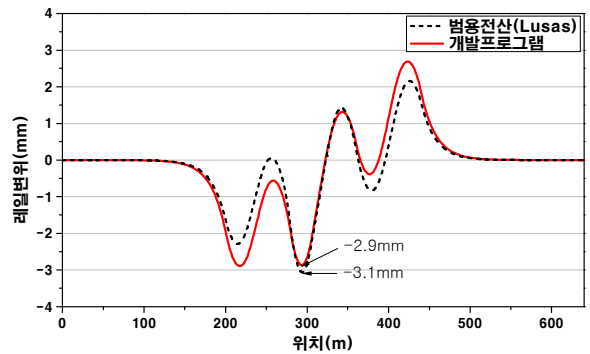


(b) 분기기 설치후

그림 8 레일응력



(a) 분기기 설치 전



(b) 분기기 설치후

그림 9 레일변위

분기기 설치전의 레일의 응력은 개발프로그램에서 최대압축  $129.34 N/mm^2$  (부가응력 =  $21.6 N/mm^2$ )로 범용전산프로그램과의 차이는 -1.46% 정도로 매우 적은 차이가 발생하였다. 2번째 교량의 신축장치 위에 분기기의 힐부가 시작되게 분기기를 설치한 후에는 힐부에서 개발프로그램은 최대압축  $135.47$

$N/mm^2$ 가 발생하여 분기기 설치전보다 압축에서 +4.7%증가 되었다. 범용전산프로그램과의 차이는 -7.73%로 적게 나타났다. 분기기가 교량 상에 설치하는 경우에는 토공부에서의 축력분포도에 교량의 축력이 더하여 진다. 교량상의 가동단 부근에서 축력이 커지게 되는데 여기에 분기기를 설치하게 되면 분기기구간에서 증가된 축력이 부가적으로 작용하게 되어 안전성확보에 영향을 미치게 된다는 것을 보여준다. 레일변위 결과는 분기기 설치전 280m 지점에서 2.6mm로 +23.8%의 차이를 보이고 설치후에는 294m 지점에서 2.9mm로 -6.45%적게 차이가 발생하였다. 이상의 분석으로부터 개발프로그램은 범용전산프로그램과 레일응력에서는 불안전측으로는 최대 7.73%, 레일변위에서는 불안전측으로 최대 6.45% 안전측으로는 최대 23.80%의 차이가 발생하여 레일응력과 변위에 대해 적절한 해석의 신뢰성을 확보하고 있다고 판단된다.

표 4 개발프로그램과 범용전산프로그램의 결과 비교값

분기기 유·무	분기기 설치 전		분기기 설치후	
	레일응력 ( $N/mm^2$ )	레일변위 (mm)	레일응력 ( $N/mm^2$ )	레일변위 (mm)
a. 범용전산프로그램	131.25	2.1	144.65	3.1
b. 개발프로그램	129.34	2.6	135.47	2.9
결과차이 b/a(%)	-1.46%	+23.80	-7.73	-6.45%

또한 포인트부에서 기본레일과 텅레일이 상대적으로 이동이 크게될 우려가 있으므로 이에 대한 검토가 필요하며 해석 시 힐부의 구조적인 특성을 감안하여야 한다.

### 3. 결론

철도를 건설하면서 민원해결 및 공사비저감을 위해 고가화하는 경향이 많아지고 있으며 이에 따라 분기기의 설치위치가 교량 상에 위치하는 경우가 빈번해지고 있다. 분기기의 구조특성상 힐부에서 축력이 증가하는 형태이며 교량 또한 가동단에서 축력이 증가하는 구조이므로 두 구조가 경합하는 경우에는 축력이 증가하게 되며 안전확보 저해요인으로 작용하게 된다. 국내에는 이러한 현상에 대하여 연구가 본격적으로 시작되고 있다. 이번에 연구한 결과는 간편하게 이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 프로그램을 검증하는 차원에서 기존의 상용프로그램을 이용하여 교량과 분기기간의 상호작용해석을 수행하였다. 해석결과는 상용프로그램과 개발프로그램이 거의 유사하여 신뢰도에서는 문제가 없었다. 개발프로그램은 모델링 시 입력데이터를 단순화하여 사용자가 쉽게 접할 수 있고 축력 및 변위를 구할 수 있어 구조검토 시 쉽게 검토할 수 있는 토대를 마련하였다.

### 참고문헌

1. 高谷 博文, 佐藤吉彦, “分岐器の溫度軸壓力載荷試驗” 鐵道技術研究速報 No. A-87-214, 1987.
2. 三浦 重, 柳川秀明, “로그레일과一體化した分岐器의 레일軸力特性” RTRI REPORT Vol.3, No.1 pp36-42, 1989.
3. 金斗煥, 高相訓, “分岐部 長大레일화시의 軸力舉動特性分析” 구조물진단학회지 제5권 제2호 pp163-174, 2000
4. 岩佐裕一, 片岡宏夫, 柳川秀明, “分岐器介在로그레일의適用範圍의擴大” RTRI REPORT Vol.20, No.4 pp11-16, 2006.
5. 김인재, 양신추, 한상철, “교량과 분기기 상호작용 연구” 철도학회 논문집 제9권 제6호 pp689-694, 2006