

## 철도교 콘크리트 슬래브궤도의 사용성에 관한 매개변수 영향 연구

### A Parametric Study on the Serviceability of Concrete Slab Track on Railway Bridges

박홍기<sup>†</sup> · 장승엽<sup>\*</sup> · 양신주<sup>\*\*</sup> · 박용걸<sup>\*\*\*</sup>

Hong-Kee Park · Seung-Yup Jang · Sin-Chu Yang · Yong-Gul Park

**Abstract** Deformations of bridge deck ends on abutments and piers bring about severe problems in track geometry and require maintenance work. In case of concrete slab track, more severe deformation and additional forces on rail and rail supports can be induced by bridge deck deformation, which affect the serviceability of track structure since concrete slab track is much stiffer than ballasted track and the behavior of track structure is integrated with that of bridge deck. In this study, the design variables affecting the serviceability of track structure are selected and the influence level is estimated by a parametric study. As a result, it is found that continuous span is advantageous than simply supported span and the stiffness of bridge bearing and rail fastener as well as the distance between last rail support and bridge bearing are most important parameters.

**Keywords** : Serviceability of slab track, Bridge deck ends, Forces on rail support, Uplift forces

**요    지** 교대나 교각 위 교량 슬래브 단부의 변형은 궤도 틀림이나 유지보수의 주요 원인이 되고 있으며, 특히 콘크리트 슬래브궤도가 설치되는 경우에는 궤도구조의 강성과 교량 슬래브와의 일체성으로 레일 및 지지구조의 사용성에 심각한 영향을 미치는 변형과 추가하중이 발생하게 된다. 이번 연구에서는 교량 슬래브 단부 변형으로 인해 발생하는 궤도구조의 사용성에 영향을 미치는 인자를 파악하고 매개변수 해석을 통해 변수 별 영향 정도를 파악하였다. 연구 결과 단경간교 보다 연속교가 레일 지지점 하중 감소에 유리하고, 마지막 레일 지지점과 교량받침 사이 간격, 교량받침 강성, 체결구 강성이 사용성에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

**주    요    어** : 슬래브궤도의 사용성, 교량 슬래브 단부, 레일 지지점 하중, 압상력

#### 1. 서 론

철도교에서 자갈도상은 열차 운행, 기상 변화, 노반 노후화에 따라 도상자갈의 손실 및 이완, 공극율 변화 등으로 궤도틀림의 발생과 도상저항계수의 변화를 유발하게 되어 지속적인 관리 및 보수작업이 필요한 문제점을 가지고 있다.

이에 비해 콘크리트 슬래브도상은 궤도변형을 최소화

하여 유지관리작업을 감소시키고 열차의 안전운행과 승차감을 확보할 수 있어 독일과 일본에서는 이미 현장타설식 또는 프리캐스트 콘크리트 슬래브궤도를 적용해 오고 있다.

국내에서도 경부고속철도 1단계 구간(광명~동대구간)의 터널 내에 콘크리트 슬래브궤도가 일부 적용된 후 2단계 구간(동대구~부산간)의 전구간에 현장타설식인 Rheda 2000 시스템이 적용되고 있으며, 현재 설계 중인 호남고속철도에도 콘크리트 슬래브궤도의 적용이 검토되고 있다.

콘크리트 슬래브궤도는 연속적인 구조체로 형성되고 강성이 커서 궤도틀림이 적은 장점이 있으나 궤도와 교량슬래브가 보다 견고하게 연결되기 때문에 교량구조의 변형이 그대로 궤도구조에 전달되어 레일, 체결구 등에 자갈도상일 경우보다 과대한 응력이 작용하는 경우가 발

\* 책임저자 : 정희원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 박사과정, (주)신성엔지니어링 부사장  
E-mail : hongkpark@hanmail.net  
TEL : (02)3497-6512 FAX : (02)3497-6004  
\* 정희원, 한국철도기술연구원 차륜궤도연구실 선임연구원  
\*\* 정희원, 한국철도기술연구원 차륜궤도연구실장  
\*\*\* 정희원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수

생하게 된다[1,2].

특히 교량슬래브의 단부에서는 상부구조와 하부구조의 변형에 의해 교량슬래브 단부 사이에 회전변위 및 단차가 발생하게 되어 레일과 체결구에 악영향을 미치게 된다.

이 연구에서는 콘크리트 슬래브궤도가 설치되는 교량에서 슬래브 단부변형에 따라 궤도구조에 발생하는 응력을 궤도 및 교량구조의 특성요소를 변수로 하여 산정하고 이를 변수의 영향을 비교함으로써 궤도구조의 사용성을 지배하는 주요영향인자와 그 영향정도를 검토하고 사용성 확보를 위한 앞으로의 연구방향을 제시하고자 한다.

## 2. 콘크리트 슬래브궤도의 사용성 검토 이론

### 2.1 궤도의 사용성

철도교에서는 토공이나 터널노반과 달리 열차 주행이나 기온 변화, 지반상태에 따라 궤도와 교량에 정적 및 동적 하중이 작용하고 이에 따른 변위로 주행성과 승차감에 악영향을 미치고 궤도의 유지보수에 상당한 문제점을 야기 시키게 된다.

이와 같이 열차의 안전 주행, 승차감, 유지보수에 관련된 사항들을 궤도의 사용성(Serviceability)이라고 하며 이들을 허용한도 내로 확보하기 위한 검토를 사용성 검토라 한다.

자갈도상 교량에 대해서는 교량슬래브 변형에 의한 단부에서의 회전 및 단차에 의한 주행 안전성과 승차감 저하, 도상이완 및 궤도틀림에 의한 유지보수 등의 문제점을 감소시키는 등 사용성을 확보하기 위해 교량 변위에 대한 엄격한 제한을 규정하고 있다(Table 1 참조).

Table 1. 자갈도상궤도가 부설된 교량의 슬래브의 연직변위 한계

항목	국내		일본		EURO
	단경간	복경간	단경간	복경간	
관련기준	호남고속철도설계지침(노반면) (2007)[3]		철도구조물 등 설계표준동해설 (2006)[4]		EN 1990[6] EN 1991-2[5]
설계속도	350km/h		360km/h		
최대	안전성	L/600	L/1100	L/1900	L/600
처짐	승차감	L/1400	L/1900	L/2200	L/1900
	단차(mm)	1.0	2.0	1.0	2.0~3.0
회전 변위	평행 이동	3.2%(상시) 8.0%(지진 시)	2.0%(상시) 7.9%(지진 시)	국가별로 규정, 독일 경우 (-)1~2%	
	꺾임	7.0%(지진 시)	2.0%(상시) 7.5%(지진 시)		

L : 교량 상부구조 경간장      단차 : 인접한 교량슬래브의 고저차  
 평행이동 : 인접한 교량슬래브 중 한 쪽만 회전하는 것(Parallel Movement)      꺾임 : 인접한 교량슬래브 양 쪽이 모두 회전하는 것(Folding)

그러나 콘크리트 슬래브궤도의 경우에는 자갈궤도와 같은 별도의 규정은 두지 않고 있으며 슬래브와 궤도구조가 직접 연결되어 있어 교량 상부구조 변위 시 레일 체결구에 압상력이 작용하고 이에 따라 체결구의 성능에 이상이 발생할 수 있는 점을 고려하여 레일 지지점(체결구)에 작용하는 압상력의 크기를 검토할 것을 요구하고 이를 위한 슬래브 단부의 회전변위와 고저차(단차)에 대한 검토기준은 국가별로 지정하여 관리하도록 하고 있다[5,6].

이에 따라 콘크리트슬래브궤도를 많이 적용하고 있는 독일에서는 궤도구조와 레일체결장치의 기능유지에 의한 주행 안전성 확보에 사용성 검토의 초점을 맞추고 DS 804 App. 29(2000)[2]에 압상력 및 압축력에 대한 검토 방법 및 기준을 제시하고 있고, 국내에서도 교량구조와 콘크리트궤도의 인터페이스에 대한 연구를 통해 단부에서의 사용성 검토에 대한 연구를 진행하고 있다[7,8].

### 2.2 사용성 검토 이론

콘크리트슬래브궤도가 설치된 교량에 정적 및 동적하중이 작용하면 교량슬래브의 단부와 레일에는 Fig. 1과 같은 형태로 변형이 발생하게 된다[2].

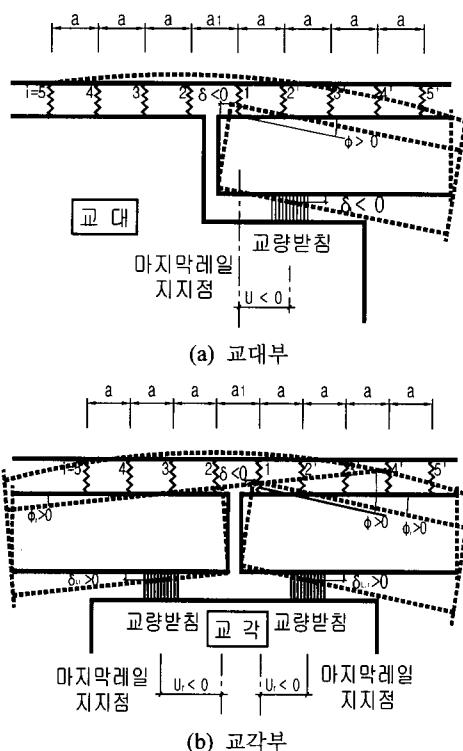


Fig. 1. 교량슬래브 단부와 레일의 변형 형태

교량 상부구조에 변형이 발생하면 교량받침을 기준으로 슬래브 단부는 중앙부와는 반대방향으로 회전하고 이 경우

레일도 같이 이동하게 되어 교대부 또는 인접 슬래브에 설치된 레일을 위로 당기게 된다(Fig. 1). 이에 따라 변형을 일으킨 슬래브 단부의 레일을 지지하는 체결구에는 압축력이, 교대 및 인접 슬래브의 체결구에는 압상력이 작용하게 되는 것이다.

이런 점을 감안하여 교량에 설치되는 레일 체결구는 위에서 언급한 압축력 및 압상력을 체결장치의 성능을 유지하는 범위 내에서 감당할 수 있어야 한다.

체결장치의 성능을 유지한다는 것은 레일을 고정하는 Clip 또는 Clamp의 변형이나 파손이 발생하지 않는 것 외에도 레일 하부의 패드를 포함한 부속물들이 제 위치를 벗어나거나 성능을 유지하지 못해서도 안 된다는 것을 의미한다.

레일 체결장치의 초기 체결력 이상으로 압상력이 작용하면 레일 하부의 패드가 유동하게 되고, 탄성패드의 변형한계 이상으로 압축력이 작용하게 되면 패드의 탄성복원 불능 또는 패드의 파손으로 체결장치의 성능 저하를 가져오게 된다.

이러한 교량 슬래브 단부 변형에 따른 레일과 체결구의 작용력 및 발생 변위를 감안하여 독일의 DS 804 App.29[2]는 다음과 같은 규정을 만족 할 것을 요구하고 있다.

$$\max F_u \leq Z_u / \gamma_M \quad (1)$$

$$\frac{\max F_c}{c_d} \leq zul s_D \quad (2)$$

여기서,

$F_u$ ,  $F_c$  : 여러 작용력에 의해 체결구에 발생하는 압상력 또는 압축력의 합의 절대 값(kN)

$Z_u$  : 체결구 특성에 따른 허용 압상력(초기 체결력)(kN)

$\gamma_M$  : 재료계수(1.0)

$c_d$  : 체결구의 동적강성(압축력 검토 시는 안전 측으로 정적 강성 값을 적용)(kN/mm)

$zul s_D$  : 체결구 탄성패드의 허용 압축변위(mm)

### 3. 설계 변수 및 평가기준

#### 3.1 설계 변수

##### 3.1.1 주요 작용력

교량슬래브의 연직변형을 유발하는 작용력은 정적 작용력과 동적 작용력이 있으며 이를 작용력의 영향으로 교량 슬래브 단부는 회전변위 또는 수직변위(단차)를 일으키게 된다.

Table 2. 작용력 및 단부 변형형태[8]

항목	작용력	변형 형태	단부 변위	부분안전 계수( $\gamma_F$ )
정적	크리프 및 건조수축	슬래브 휨	단부 회전	1.0
	상부구조 상·하면 온도차	슬래브 휨	단부 회전	1.0
	교각기초 잔류부등침하	교각 침하	단부 회전	1.0
	레일-교량슬래브 온도차	교각 회전	단차	1.0
	교각 전·후면 온도차	교각 회전	단차	1.0
동적	열차 수직하중	슬래브 휨 교각 회전	단부 회전 단차	1.3
	열차 사·제동하중	교각 회전	단차	1.0
	차륜 축하중	레일지지점에 직접작용		1.3

이들 작용력은 교량 설계의 결과를 이용하거나 레일-교량 상호작용을 고려한 정적해석 그리고 별도의 설계조건에 의해 산정되어 작용력 별 단부 회전변위(%) 또는 단차(mm)를 산정하게 된다. 작용력의 산정기준은 Table 3과 같다.

Table 3. 작용력 산정기준[8]

항 목	산정 기준
크리프 및 건조수축	콘크리트 구조설계기준 적용
상부구조 상·하면 온도차	최대 3°C, 최소 -6°C
교각기초 잔류부등침하	5mm(궤도 부설시기 고려)
레일-교량슬래브 온도차	궤도-교량 종방향 상호작용 고려
교각 전·후면 온도차	최대 5°C
열차 수직하중	HL-25하중을 실열차하중으로 보정
열차 사·제동하중	시동:33kN/m/궤도, 제동:20kN/m/궤도
차륜 축하중	윤중에 동적충격계수 고려

##### 3.1.2 레일지지점 하중 영향인자

앞서 산정한 작용력에 의한 교량 슬래브 단부의 회전변위나 단차에 따라 레일 지지점(체결구 위치)에 작용하는 압상력 또는 압축력을 산정하는데 이 경우 여러 변수에 따라 그 값이 달라지게 된다.

이들 변수들은 레일 지지점에 작용하는 힘을 변화시키게 되므로 그 영향인자를 파악하고 영향의 정도를 분석하는 것이 사용성 검토에서 매우 중요한 과제가 되는 것으로 교량 관련 변수와 궤도 관련 변수로 구분할 수 있다.

교량 관련 변수로는 경간 길이, 거더 강성, 교량받침 강성, 교각 높이 및 강성, 교각하부 기초의 저지강성 등이 있으며, 궤도 관련 변수로는 교량받침에서 마지막 레일 지지점까지의 거리, 단부에서의 레일 지지점 간격, 레일 체결장치 강성, 궤도 종저항력 및 종방향 스프링계수, 교

량 슬래브와 궤도구조 사이 탄성 분리층 스프링계수 등으로 다양하게 분포된다.

이들이 레일 지지점 작용 하중에 미치는 정도는 매우 다양한데 이들의 영향 정도를 분석하여 주요 영향인자를 파악하고 사용성 확보를 위해 고려해야 하는 사항을 분석하는 것을 이번 연구의 목적으로 하고 있다.

### 3.1.3 레일지지점 하중 산정

콘크리트 슬래브궤도의 사용성 검토에서는 먼저 교량 슬래브 단부에 단위 변형(회전 변위 및 단차)이나 단위 축하중이 작용할 때 각각의 레일 지지점에 작용하는 하중을 산정하고 이것에 앞서 산정한 작용력에 의한 변형의 합(부분 안전계수 고려) 또는 축하중을 곱한 다음 그 합을 구하여 레일 지지점 하중을 산정한다. 이것은 궤도 및 교량의 거동이 선형탄성 범위에 있다는 가정 하에 유효하다.

이에 따라 체결구에 작용하는 압상력과 압축력은 다음과 같이 산정된다.

$$\begin{aligned} F_u &= \phi_{d,stat} F_{u\phi}(c_s, a, a_1) + \phi_{d,dyn} F_{u\phi}(c_d, a, a_1) \\ &\quad + \delta_{d,stat} F_{u\delta}(c_s, a, a_1) + \delta_{d,dyn} F_{u\delta}(c_d, a, a_1) \\ &\quad + \frac{P_d}{100} F_{up}(c_d, a) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} F_c &= \phi_{d,dyn} F_{\phi}(c_d, a, a_1) + \delta_{d,dyn} F_{\phi}(c_d, a, a_1) \\ &\quad + \frac{P_d}{100} F_{cp}(c_d, a) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \phi_{d,stat} &= \sum \gamma_F \phi_{stat}, \quad \phi_{d,dyn} = \sum \gamma_F \phi_{dyn} \\ \delta_{d,stat} &= \sum \gamma_F \delta_{stat}, \quad \delta_{d,dyn} = \sum \gamma_F \delta_{dyn} \end{aligned}$$

여기서,

$\phi_{d,stat}$ ,  $\phi_{d,dyn}$  : 정, 동적하중에 의한 단부 회전변위 합(%)

$\delta_{d,stat}$ ,  $\delta_{d,dyn}$  : 정, 동적하중에 의한 슬래브 단차 합(mm)

$\gamma_F$  : 부분안전계수(Table 2)

$P_d$  : 차륜 축하중에 의한 레일 지지점 작용하중(kN)

$F_{u\phi}$ ,  $F_{u\delta}$ ,  $F_{up}$  : 단위 회전변위(1%), 단위 수직단차(1mm),

단위 축하중(100kN)에 의해 레일 지지점에  
작용하는 압상력(kN)

$F_{\phi}$ ,  $F_{\delta}$ ,  $F_{cp}$  : 단위 회전변위(1%), 단위 수직단차(1mm),  
단위 축하중(100kN)에 의해 레일 지지점에  
작용하는 압축력(kN)

$c_s$ ,  $c_d$  : 체결구의 정적 및 동적 강성(kN/mm)

$a$ ,  $a_1$  : 레일지지점(체결구)의 일반부 및 연결부 간격(mm)

### 3.2 사용성 평가 기준

콘크리트 슬래브궤도의 사용성은 식 (3) 및 (4)에 의한

교량 슬래브 단부에 위치한 레일 지지점에 작용하는 하중과 식 (1) 및 (2)에 의한 적용 대상 체결구의 초기 체결력 및 탄성패드의 허용 압축변위를 기준으로 판단한다.

국내 고속철도의 체결장치 성능시험[9]에는 콘크리트 궤도용 체결장치의 체결력을 16kN(하나의 단일체결 클립의 경우 8kN) 이상, 정적 스프링 계수를 조립체 당 20~50 kN/mm로 요구하고 있으며, 일반적으로 국내외에서 알려지고 콘크리트 궤도에 적용되는 대표적인 체결구의 경우 초기 체결력 12~27kN, 압축변위 2.5mm, 스프링계수 18~31 kN/mm를 나타내고 있어 국내 고속철도에 적용 가능할 것으로 판단된다.

그러나 레일 지지점 하중 산정에 있어 영향 인자들의 다양성, 하중 특성 및 작용 시기를 고려한 작용력별 단부변위의 적정 조합, 장기변형에서 궤도 유지관리 측면 고려 등 합리적 평가방법 및 기준 정립에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되며 이 부분의 연구는 다음에 다루는 것으로 하였다.

## 4. 매개변수별 영향 연구

### 4.1 해석 모델 및 내용

#### 4.1.1 해석 모델

설계변수의 영향을 알아보기 위해서 Fig. 2와 같은 40m 경간의 프리스트레스트 콘크리트 박스거더교를 기준모델로 선정하였으며, 다만 경간 길이의 영향은 Table 4와 같이 경간장과 상부구조 형식을 변화시켜 해석을 수행하였다.

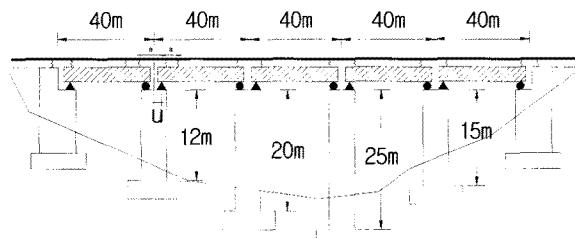


Fig. 2. 해석대상 교량 모델

#### 4.1.2 해석 항목

해석 대상 영향인자 및 해석내용은 다음과 같다.

##### (1) 교량 관련 인자

- 경간 길이 및 상부구조 형식의 영향
- 경간 구성 방법에 따른 영향
- 교각 높이 및 교각 강성에 따른 영향
- 교각 하부지지 스프링계수에 따른 영향
- 교량받침 강성에 따른 영향

## (2) 궤도 관련 인자

- 교량반침과 마지막 레일지지점 간 거리 영향
  - 체결구 강성에 따른 영향
- 이들 영향인자들의 각각에 대하여 변화 값을 대입한 해석을 수행하여 단부에 위치하는 레일 지지점에 작용하는 압상력과 압축력을 산정한 후 그 영향 정도를 분석하였다.

## 4.1.3 교량 및 궤도 주요제원 및 물성

해석에 사용된 교량 및 궤도의 제원 및 물성은 다음과 같다.

Table 4. 교량 상부구조 제원 및 물성치

항 목	Psc. Box Girder	Psc. G
경간 길이(m)	40	35
탄성계수( $\text{kN}/\text{m}^2$ )		28.57E+6
단면적( $\text{m}^2$ )	9.923	4.39
단면2차모멘트( $\text{m}^4$ )	17.235	11.62
$h_1(\text{m})$	1.27	0.90
$h_2(\text{m})$	2.23	1.77
온도팽창계수	1.0E-5	

$h_1$  : 중립축에서 상면까지의 거리  $h_2$  : 중립축에서 하면까지의 거리

Table 5. 교각 제원 및 물성치(중공식 콘크리트 교각)

항 목	형식 1	형식 2	형식 3	형식 4
교각 높이(m)	12	20	25	15
외경(m)	4.0	4.5	4.5	4.5
내경(m)	3.5	4.0	4.0	4.0
탄성계수( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	23.025E+6			
단면적( $\text{m}^2$ )	5.5	6.28		
단면2차모멘트( $\text{m}^4$ )	8.59	12.763		

Table 6. 교각 하부 지지강성(풍화암 이상 지반)

항 목	지반 1	지반 2	지반 3
$K_x(\text{kN}/\text{m})$	1.9094E+6	1.9094E+7	2.1576E+8
$K_y(\text{kN}/\text{m})$	1.4373E+6	1.4373E+7	1.7035E+8
$K_m(\text{kN}\cdot\text{m})$	1.1631E+7	1.1631E+8	1.2277E+9

Table 7 교량반침 물성치(지지능력 8000~9000kN 범위)

항목	탄성반침 1 (RB1)	탄성반침 2 (RB2)	탄성반침 3 (RB3)	면진반침
$K_x(\text{kN}/\text{m})$	1.160E+4	7.200E+3	4.114E+3	3.269E+4
$K_y(\text{kN}/\text{m})$	4.580E+6	2.391E+6	1.366E+6	2.368E+7
$K'_x(\text{kN}/\text{m})$	-	-	-	3.195E+3

$K'_x$  : 면진반침에서의 2단 스프링계수  
Pot Bearing은 스프링계수를 무한대로 가정

Table 8. 체결구 물성치(2조 기준)

항 목	형식 1 (FS60)	형식 2 (FS80)	형식 3 (FS100)	형식 4 (FS100H)
정적 강성( $\text{kN}/\text{m}$ )	60	80	100	100
동적 강성( $\text{kN}/\text{m}$ )	80	120	150	200

Table 9. 기타 변수

항 목	입력 값
레일	UIC 60 레일
하중 조건	HL-25(UIC-LM71)
교량반침 위치	90cm 기준(50~110cm 변화)
단부 체결구 간격	62cm 기준(52~100cm 변화)

## 4.2 해석 결과 및 분석

해석 결과 슬래브 단부의 레일 지지점에 작용하는 하중에서 압상력은 대부분의 경우 체결구의 초기 체결력 범위를 벗어나는 것으로 분석되었다. 또 레일 지지점의 위치에 따라 큰 폭으로 변화하고 일부 영향인자에 대해서는 변화 값 별 하중변화 폭이 커서 집중적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 그러나 압축력의 경우는 레일 지지점 위치 별 변화 폭이 체결구의 허용한도에 비해 좁고 설계변수 별 영향도 크지 않은 것으로 분석되어 이 논문에서는 압상력에 대한 해석결과를 분석하여 콘크리트 슬래브궤도의 사용성에 대한 영향 정도를 판단하고 앞으로의 연구방향을 제시하고자 하였다.

## 4.2.1 경간 길이 변화에 따른 영향

Table 4의 교량 제원에 따라 경간 길이를 25~40m로 변화시키면서 해석한 결과 경간 길이에 따른 영향이 현저한 것으로 나타났으나 이는 경간 길이가 짧을수록 교량 상부구조에 작용하는 단면력과 변위가 감소하는 경향과 유사한 것으로 판단된다. 길이 25m의 Psc. Girder교에서의 압상력이 길이 30m의 Psc. Box Girder교에서의 압상력과 유사하게 나타난 것도 단면2차모멘트의 차이에 따른 결과로 판단된다.

교대부의 레일 지지점에서는 압상력이 크게 증가하는 것으로 나타났는데 이는 교대부의 강성을 무한대로 가정했기 때문에 나타난 결과로 판단된다(Fig. 3).

## 4.2.2 경간 구성 방법에 따른 영향

경간 구성은 Fig. 4와 같이 단경간과 2경간 연속, 2경간 연속에서는 고정지점이 연속경간의 중앙부에 있는 경우와 좌측 단부에 있는 경우를 비교하였다.

해석 결과 단경간교에 비해 연속교에서 압상력이 감소하는 것으로 분석되었다. 이 결과는 연속교가 단경간교에 비해 경간 중앙부의 처짐이 감소하기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 5).

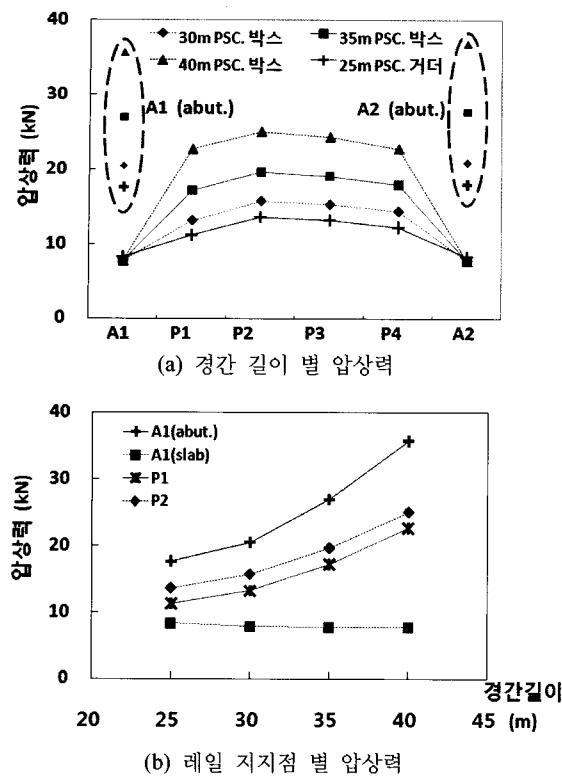


Fig. 3. 경간 길이에 따른 압상력 비교

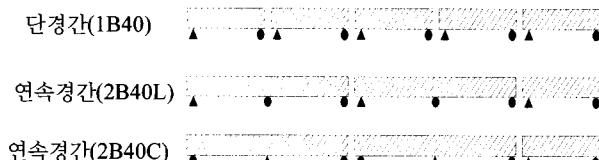


Fig. 4. 경간 구성 방법

특히 2B40C의 감소폭이 현저하고 2B40L은 감소 정도가 크지 않은 것으로 나타났는데 이는 Table 10에 나타난 바와 같이 받침 설치방법에 따른 교각 회전의 영향이 크게 작용한 결과로 분석된다. P4지점에서 2B40C의 경우에도 압상력이 크게 감소하지 않은 것은 P2와 달리 단경간의 고정점이 위치하고 있어 교각회전의 영향을 받은 결과로 판단된다.

#### 4.2.3 교량받침과 마지막 레일지지점 간 거리 영향

교량 슬래브 연결부에서 교량받침과 슬래브 단부의 마지막 레일지지점 간 거리(Fig. 1에서  $u$ )가 마지막 레일지지점의 압상력에 미치는 영향은 두가지 방법으로 검토하였다.

교량받침 위치를 교량 신축이음 중심선에서 90cm로 고정하고 마지막 레일지지점과 신축이음 중심 간의 거리( $a_1/2$ )를 26, 31, 36, 50, 90cm로 변화(이 경우  $u=64, 59, 54, 40, 0\text{cm}$ )시키면서  $u$ 의 영향을 검토한 결과 압상력은  $u$ 가 작을수록 크기가 현저히 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6).

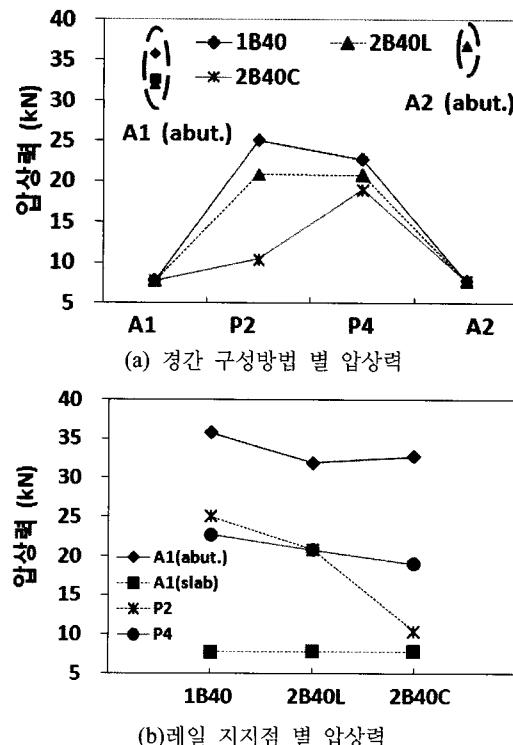


Fig. 5. 경간 구성방법에 따른 압상력 비교

Table 10. 연속교 고정지점 위치에 따른 압상력(kN) : P2 교각 상부

작용력	열차수직 하중	시·제동 하중	레일/교량 온도차	전체 압상력
중앙부 고정지점	3.05(30)	0.04(4)	0.00(0)	10.30(100)
좌측단 고정지점	9.25(44)	4.12(20)	0.28(1)	20.85(100)

( ) : 전체 압상력을 100%로 한 백분율

이는 마지막 레일 지지점이 교량받침에 근접하여 슬래브 단부 회전에 의한 수직이동 거리가 감소하여 나타난 결과로 콘크리트도상궤도에서 침목 간격( $a$  또는  $a_1$ )을 최대 65cm로 제한하고 있기 때문에 50, 90cm의 경우는 제외하고 침목 간격 65cm에 근접하는 경우인 마지막 레일 지지점 거리 26, 31, 36cm의 결과를 비교할 때 간격변화에 따른 영향은 실질적으로는 크다고 볼 수 없을 것이다.

마지막 레일지지점과 신축이음 간 거리를 31cm( $a_1=62\text{cm}$ )로 고정하고 교량받침을 신축이음 중심에서 부터 50~110cm( $u=19\sim79\text{cm}$ )로 이동하면서 산정한 압상력은 교량슬래브에 위치한 마지막 레일 지지점에서는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Fig. 7).

이는 교량받침과 마지막 레일지지점 간격 축소로 단부회전에 의한 단차가 감소하는 효과와 경간 길이 연장에 따른 상부구조 회전변위의 증가효과가 상쇄됨에 따른 결과로 판단된다.

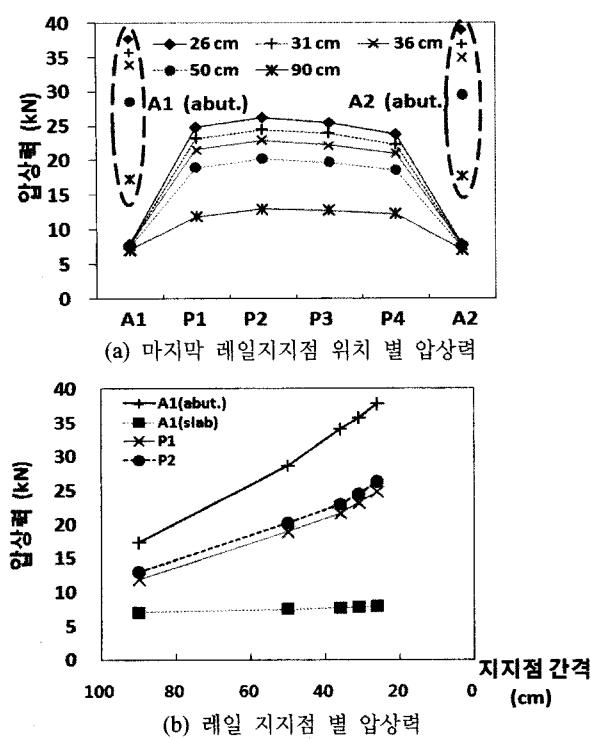


Fig. 6. 마지막 레일 지지점 위치에 따른 압상력 비교

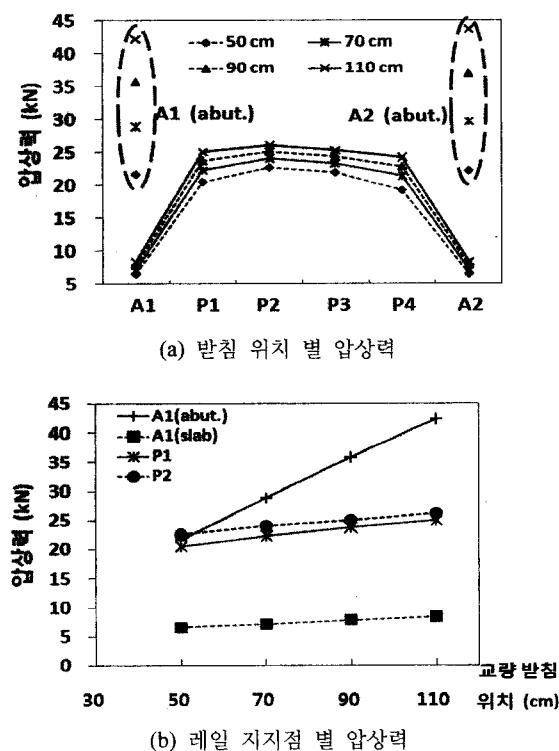


Fig. 7. 교량받침 위치에 따른 압상력 비교

이와 같은 해석 결과로 미루어 볼 때 교량받침은 가능한 한 교량 신축이음 중앙부에 접근시키고, 마지막 레일 지지

점 간격은 65cm에 근접하면서 교량받침에 최대한 접근시키는 것이 압상력을 감소시키는데 유리한 것으로 판단된다.

#### 4.2.4 교량받침 강성변화에 따른 영향

교량받침의 강성은 포트(Pot)받침, 면진받침, 탄성고무받침을 비교하여 탄성고무받침은 강성을 변화시키면서 영향을 비교하여 보았다(Fig. 8).

해석 결과 강성이 작을수록 압상력이 급격히 증가하는 것으로 나타났으며 이 결과는 열차의 수직하중에 의한 변위가 저강성 받침에서 크게 나타나는 것에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 고강성의 탄성받침과 면진받침은 교량 슬래브에서 포트받침과 유사하거나 그 이하의 압상력이 작용하는 것으로 나타났다.

또 교대부 레일지지점의 압상력이 포트받침에서 제일 크고 탄성받침에서 작게 나타난 것은 교량슬래브의 회전에 의한 단부의 상향 변위를 탄성받침의 하향변위가 일부 상쇄한 결과인 것으로 판단된다.

이상의 결과로 부터 교량받침은 강성이 큰 것이 유리하고 저강성의 탄성받침은 압상력이 현저하게 증가하기 때문에 주의해야 할 것으로 판단된다.

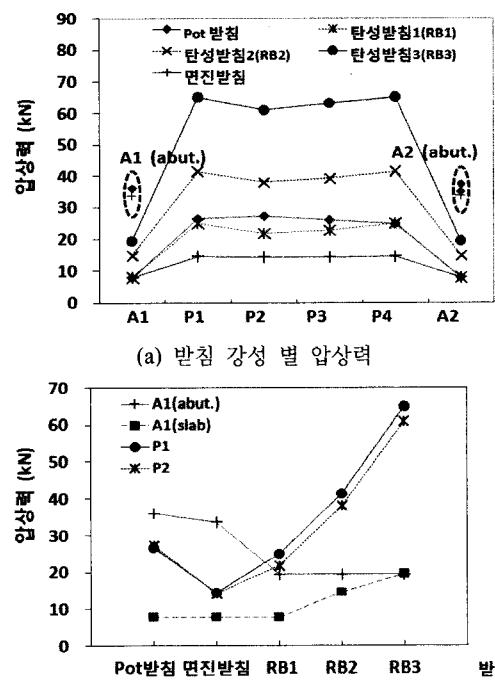


Fig. 8. 교량받침 강성에 따른 압상력 비교

#### 4.2.5 체결구 강성변화에 따른 영향

체결구는 레일 지지점에 작용하는 압상력과 압축력을

실제로 부담하는 구조체로 체결구의 강성은 사용성 평가에서 가장 중요한 요소로 미치는 영향도 를 것으로 기대하였다.

해석 결과 체결구 강성에 따라 레일 지지점에 작용하는 압상력의 크기는 큰 폭의 변화를 보여주고 있는데 체결구 강성이 작을수록 압상력은 크게 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 9).

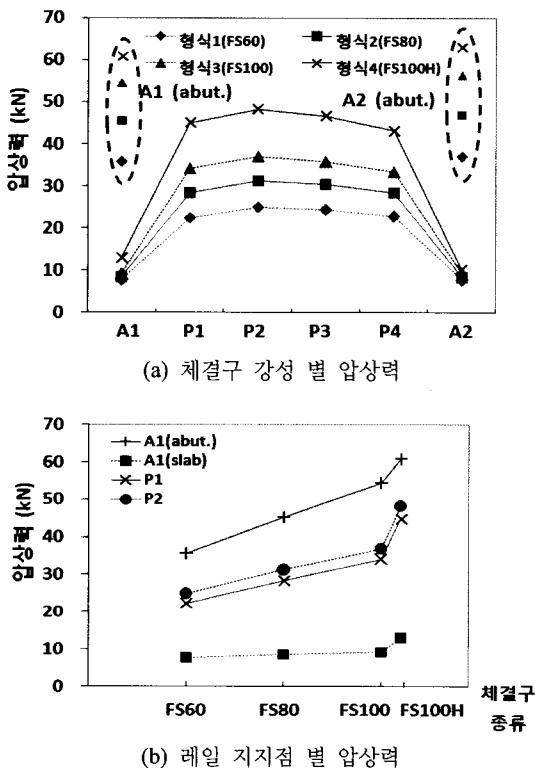


Fig. 9. 체결구 강성에 따른 압상력 비교

이는 동일 변위를 유발하는데 있어서 강성이 작을수록 작은 힘이 필요한 원리로 부터 레일 지지점 작용하중이 지지점 변위에 의해 발생한다는 것을 보여주는 것으로 판단된다.

그러나 궤도에는 정적 및 동적하중이 작용하고 체결구 강성은 기온 변화나 진동수에 따라 강성이 변하기 때문에 사용성 확보에 유리한 체결구의 선정에는 신중한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4.2.6 교각 강성 및 하부지지 스프링계수에 따른 영향

교각 제원과 하부지반의 스프링계수를 Table 5, Table 6과 같이 변화시키면서 레일지지점 하중에 미치는 영향을 검토한 결과 교각 강성과 하부지지강성은 압상력 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

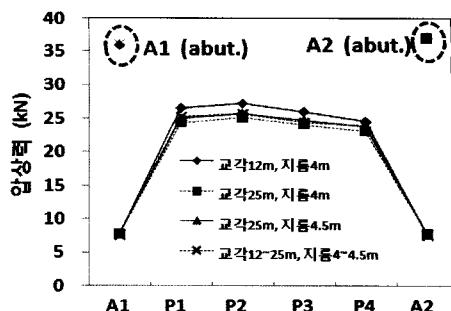


Fig. 10. 교각 높이 및 강성에 따른 압상력 비교

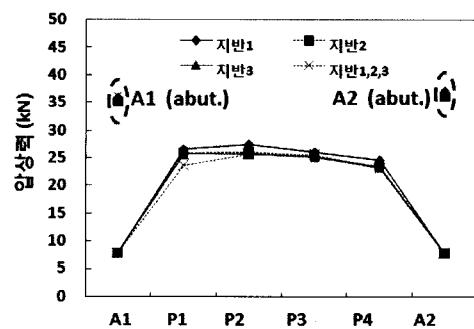


Fig. 11. 교각하부 지지스프링계수에 따른 압상력 비교

## 5. 결론

이상의 분석 결과를 종합할 때 다음과 같은 결론을 내릴 수 있을 것이다.

첫째, 콘크리트슬래브궤도의 사용성은 여러 인자들이 영향을 미치지만 그 중에서도 경간 길이, 경간 구성 방법, 마지막 레일 지지점과 교량받침 사이 거리, 교량받침의 강성, 체결구 강성이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

둘째, 연속교가 단경간교보다 레일 지지점의 압상력 감소에 유리하며 특히, 중앙에 고정지점을 두고 교량신축이 음이 놓이는 교각에는 모두 가동지점을 두는 것이 압상력 감소에 매우 유리하다.

셋째, 교량받침은 가능한 한 교량신축이음 중심선에 근접 시키고 마지막 레일 지지점 간격은 65cm 이내에서 교량 받침에 최대한 근접시키는 것이 유리하다.

넷째, 교량받침은 강성이 큰 것이 유리한 것으로 판단되었으며 적절한 강성 값을 찾기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

다섯째, 체결구는 강성이 낮은 것이 압상력 감소에 유리한 것으로 분석되었으나 열차운행 안전성과 기온 변화에 따른 강성 변화 등을 고려하여 신중한 판단이 요구된다.

이제까지 콘크리트 슬래브궤도의 사용성에 영향을 미치는 설계변수를 파악하고 각각의 변수 별 영향을 판단하기 위

한 해석을 실시하여 변수 별 영향 정도를 분석하여 보았다.

콘크리트 슬래브궤도는 서두에서 언급한 바와 같이 열차 주행의 안전성과 승차감을 제고하면서 유지관리 작업을 최소화할 수 있는 것이 장점으로 이러한 장점을 지속적으로 유지하기 위해서는 구조적 안전성과 더불어 사용성이 확보되어야 한다. 이번 연구를 통해서 사용성을 감안한 설계의 필요성과 사용성 확보에 유리한 설계의 기본 방향을 제시하였다.

차후에는 사용성에 대한 합리적 평가기준의 정립과 작용력 산정에 대한 상세한 연구도 계속되어야 할 것이다.

### 참 고 문 献

1. Eisenmann, J. and Leykauf, G. (2000), "Feste fahrbahn für schienenbahnen," Beton-Kalender, pp.291-326.
2. DS 804 App.29(2000), "Bridge deck Ends, Check for serviceability limit state of superstructure", Deutch Bahn.
3. 한국철도시설공단(2007), "호남고속철도 설계지침(노반편)".
4. 鐵道總合技術研究所(2006), "鐵道 構造物 等 設計標準・同解説 變位制限".
5. BS EN 1991-2(2003), "Eurocode 1 : Actions on structures-part 2 : Traffic loads on bridges".
6. BS EN 1990+A1(2005), "Eurocode-Basis of structural design".
7. 장승엽, 양신추, 김종태(2007), "궤도-교량 상호작용을 고려한 콘크리트 슬래브궤도 부설교량의 단부 사용성 검토", 한국철도학회 2007 춘계학술대회.
8. 양신추 외(2007), "콘크리트궤도 인터페이스 성능향상 연구용역, 최종보고서", 한국철도시설공단, 한국철도기술연구원, (주)한국철도기술공사.
9. 한국고속철도건설공단(2002), "레일체결장치 성능시험서".

접수일(2008년 7월 11일), 수정일(2008년 8월 18일),

제재확정일(2009년 2월 12일)