

콘크리트궤도 부설 교량의 접속슬래브 단부 처짐한도에 관한 연구

The Displacement Limit at the End of an Approach Slab for a Railway Bridge with Ballastless Track

최진유[†] · 양신추^{*}

Jin-Yu Choi · Shin-Chu Yang

Abstract The transition area between a bridge and an earthwork is one of the weakest area of track because of the track geometry deterioration caused unequal settlement of backfill of abutment. In case of a ballastless track, the approach slab could be installed to prevent such a phenomenon. But, if there is occurred the inclined displacement on the approach slab by a settlement of the foundation or formation, the track is also under the inclined displacement. And this defect causes reducing the running stability of a vehicle, the riding comfort of passengers, and increasing the track deteriorations by excessive impact force acting on the track. In this study, parametric studies were performed to investigate the displacement limit on the approach slab to avoid such problems. The length and the amount of unequal settlement of approach slab were adopted as parameter for numerical analysis considering vehicle-track interaction. Car body accelerations, variations of wheel force, stresses in rail, and uplift forces induced on fastener clip were investigated. From the result, reasonable settlement limit on the end of an approach slab according to slab length was suggested.

Keywords : Approach slab, Ballastless track, Displacement Limit, Vehicle-track interaction

요 지 교량과 토공의 접속부는 궤도의 대표적인 취약구간으로서 교대배면의 부등침하로 인한 궤도틀림발생이 빈번하여 유지관리에 많은 어려움을 겪고 있는 구간 중의 하나이다. 콘크리트궤도부설구간의 경우에는 교대배면의 부등침하를 방지하기 위하여 접속슬래브 부설이 일반화되고 있는 추세이다. 이 경우, 접속슬래브를 지지하고 있는 노반의 침하로 인하여 접속슬래브에 경사처짐이 발생하게 되면 궤도도 경사처짐이 발생하게 된다. 이로 인해 이 구간을 통과하는 차량의 주행안정성과 승차감의 저하, 그리고 과도한 충격에 의한 궤도의 손상을 유발하게 되므로 접속슬래브의 단부에서의 침하를 제한할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 궤도 부설 교량과 토공의 접속부에 부설되는 접속슬래브의 단부에서의 처짐한도를 알아보기 위하여 접속슬래브의 길이와 단부처짐량을 매개변수로 한 차량-궤도 상호작용 해석을 실시하여 차체가속도, 운중변동률, 레일 저부응력, 그리고 체결구에 발생하는 상향압력을 조사하였으며, 수치해석결과와 각 검토항목별 허용한도와와의 비교검토를 통하여 접속슬래브의 길이에 따른 단부처짐의 허용한도를 제시하였다.

주요어 : 접속슬래브, 콘크리트궤도, 처짐한도, 차량-궤도 상호작용

1. 서론

교량과 토공의 접속부는 궤도의 대표적인 취약구간으로서 교대배면의 부등침하로 인한 궤도틀림발생이 빈번하여 유지관리에 많은 어려움을 겪고 있는 구간 중의 하나이다.

콘크리트궤도부설구간의 경우에는 교대배면의 부등침하를 방지하기 위하여 Fig. 1과 같이 접속슬래브의 부설이 일반화되고 있는 추세이다. 이 경우, 접속슬래브를 지지하고 있는 노반의 침하로 인하여 접속슬래브의 단부가 침하되게 되면 슬래브가 경사지게 되고 이와 아울러 궤도에는 Fig. 2와 같은 경사처짐이 발생하여 슬래브의 양쪽 단부에 궤도면의 꺾임이 발생하게 된다. 토공구간의 침하에 의하여 토공측 단부에 침하가 과도하게 발생하면 슬래브 양단부에서의 궤도면의 꺾임 역시 과도하게 발생되고 이로 인하여 접

[†] 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원
E-mail : jychoi@krti.re.kr
TEL : (031)460-5338 FAX : (031)460-5814

^{*} 정희원, 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 책임연구원

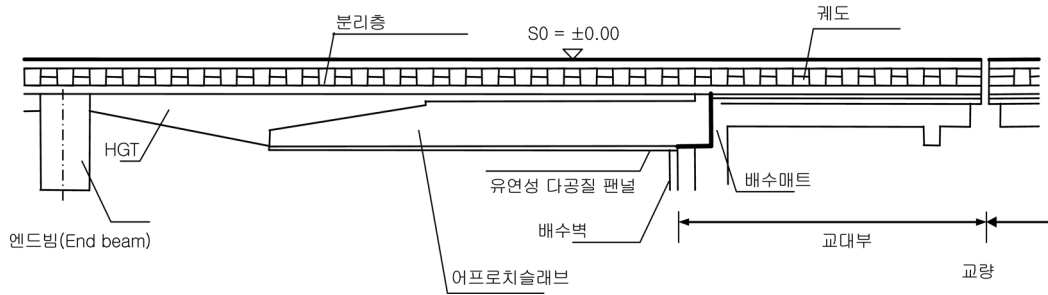


Fig. 1. Approach Slab for railway bridge with concrete track

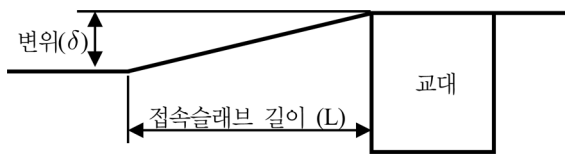


Fig. 2. Settlement of an Approach Slab

속구간을 통과하는 차량의 주행안정성의 저하와 궤도의 파손이 발생할 우려가 있다[1]. 따라서 접속슬래브의 단부에서의 탄성침하와 영구침하를 합한 허용처짐한도를 제한함으로써 이와 같은 현상의 발생을 방지할 필요가 있다. 본 연구에서는 접속슬래브의 길이와 슬래브 단부의 처짐량을 매개변수로 한 차량-궤도 상호작용 해석을 수행하여 슬래브의 길이에 따른 단부처짐의 허용한도를 제시하였다.

2. 접속슬래브 처짐한도 산정을 위한 검토 사항

2.1 검토사항

궤도의 기하학적, 재료적 불연속 구간을 통과하는 차량의 주행안정성과 궤도의 구조적 안전성을 확보하기 위해서는 차량과 궤도구성요소에 대한 거동 또는 성능제한 기준이 필요하다. 본 연구의 대상인 접속슬래브 구간의 경우, 토공구간의 침하로 인하여 슬래브 단부에 과도한 변위가 발생하면, 슬래브단부에서의 궤도면의 꺾임이 심하게 발생되고 이로 인하여 접속구간을 통과하는 차량의 주행안정성을 저해시키는 과도한 차량동요와 윤증변동이 발생될 수 있다. 또한 궤도선형의 과도한 변형에 의한 충격으로 인하여 부가적인 레일응력의 발생과 레일체결장치의 체결력을 상회하는 상향압력이 발생되어 레일의 들림현상이 발생될 수 있다. 따라서 교량과 토공의 접속부 설치의 적정성을 검토하기 위해서는 앞에서 언급한 항목들에 대한 검토가 반드시 필요하다고 볼 수 있다. 레일의 응력과 체결구의 상향압력은 현재 국내에서 사용되고 있는 레일과 체결구의 특성치를 적용하였다. 그러나 차량의 차체상하진동가속도와 윤증변동에 대해서는 국내의 기준이 없기 때문에 일본의 설계기준

에서 제시하고 있는 한계치를 적용하였다.

2.1.1 차체상하진동가속도

「일본철도구조물 설계표준 변위제한편, 제7장 안전성의 조사」[2]에서는 차량의 주행안정성을 확보하기 위한 진동가속도의 한계치에서 궤도틀림에 의한 진동가속도의 한계치를 3.7m/sec^2 을 구조물의 변위에 의한 차체수직진동가속도의 한계치로 규정하고 있으며, 본 연구에서도 동일한 값을 교량과 토공의 접속구간을 통과하는 차량의 차체상하진동가속도의 제한값으로 정하였다.

2.1.2 윤증 감소율

윤증감소율은 「일본철도구조물 설계표준 변위제한편, 제7장 안전성의 조사」에 제시된 윤증과 차체의 상하진동가속도와의 관계식에서 도출할 수 있으며, 윤증감소율(윤증감소량/정지윤증)은 차체상하진동가속도계수(차체상하진동가속도를 중력가속도로 나눈 값)와 같음을 알 수 있다. 본 연구에서는 국내 차량에 대하여 주행안정성을 확보하기 위한 차체상하진동가속도의 한계값에 대한 자료가 없기 때문에 부득이하게 일본의 기준을 적용하였으며, 위의 일본 설계기준에서 제시하고 있는 궤도틀림의 영향이 배제된 구조물만의 변위에 의한 윤증감소율의 설계한계값을 적용하여 0.37을 제한값으로 정하였다.

2.1.3 레일저부응력

윤증변동 및 지지강성계수의 불균일에 의하여 발생하는 레일응력의 제한값은 피로를 고려한 장대화된 UIC60레일의 동적하중에 의한 반복응력의 한도치를 130~140MPa로 보고[3], 일본의 경우와 같이 그 값의 70%를 허용한도로 고려하여[4] 90MPa로 정하였다.

2.1.4 체결구에 작용하는 상향 압력

접속부에서 지지강성계수의 불균일에 의하여 레일체결장치에 작용하는 부압(상향 압력)의 한계치는 안전을 고려하

여 레일체결장치 체결력의 70% 이하로 억제하도록 하고 있다[2]. 국내 고속철도의 콘크리트궤도에 사용이 예상되는 체결구의 경우 Pandrol SFC인 경우 초기 체결력이 17.2kN, Vossloh system 300-1인 경우 29.0 kN로서 이중 적은 값을 적용하여 70%를 취하면 12kN 정도이다. 따라서 이 값을 체결구에 작용하는 상향압력의 제한값으로 정하였다.

3. 차량-궤도 상호작용 해석

접속슬래브의 길이와 접속슬래브 단부의 처짐량을 매개변수로 하여 교량과 토공 접속부를 통과하는 차량의 승차감과 주행안전성, 그리고 궤도에서 레일의 응력과 체결구에 발생하는 상향압력에 대한 정량적정성적 특성을 분석하기 위하여 차량-궤도 상호작용을 고려한 수치해석을 수행하였다. 해석결과를 앞 절에서 제시한 검토기준과 비교분석함으로써 접속부 통과에 따른 차량과 궤도의 적절한 성능을 확보할 수 있는 접속슬래브의 적정길이와 단부의 허용처짐한도를 알아보았다.

3.1 차량의 운동방정식

차량의 1, 2차 현가장치(Suspension)와 대차(Bogie) 및 차체의 질량을 고려할 경우 조도로 인한 차량의 운동은 Fig. 3과 같이 모형화 할 수 있고 이때의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$\begin{aligned}
 M_y \ddot{y}_t + C_s(2\dot{y}_t - \dot{y}_{b1} - \dot{y}_{b2}) + K_s(2y_t - y_{b1} - y_{b2}) &= 0 \\
 I_t \ddot{\theta}_t + C_s d(2d\dot{\theta}_t - \dot{y}_{b1} + \dot{y}_{b2}) + K_s d(2d\theta_t - y_{b1} + y_{b2}) &= 0 \\
 M_{b1} \ddot{y}_{b1} + C_s(\dot{y}_{b1} - \dot{y}_t - d\dot{\theta}_t) + C_p(2\dot{y}_{b1} - \dot{y}_{w1} - \dot{y}_{w2}) \\
 + K_s(y_{b1} - y_t - d\theta_t) + K_p(2y_{b1} - y_{w1} - y_{w2}) &= 0 \\
 I_{b1} \ddot{\theta}_{b1} + C_p a(2a\dot{\theta}_{b1} - \dot{y}_{w1} + \dot{y}_{w2}) + K_p a(2a\theta_{b1} - y_{w1} + y_{w2}) &= 0 \\
 M_{b2} \ddot{y}_{b2} + C_s(\dot{y}_{b2} - \dot{y}_t + d\dot{\theta}_t) + C_p(2\dot{y}_{b2} - \dot{y}_{w3} - \dot{y}_{w4}) \\
 + K_s(y_{b2} - y_t + d\theta_t) + K_p(2y_{b2} - y_{w3} - y_{w4}) &= 0 \\
 I_{b2} \ddot{\theta}_{b2} + C_p a(2a\dot{\theta}_{b2} - \dot{y}_{w3} + \dot{y}_{w4}) + K_p a(2a\theta_{b2} - y_{w3} + y_{w4}) &= 0 \\
 M_{w1} \ddot{y}_{w1} + C_p(\dot{y}_{w1} - (\dot{y}_{b1} + a\dot{\theta}_{b1})) + K_p(y_{w1} - (y_{b1} + a\theta_{b1})) &= F_{W1} \\
 M_{w2} \ddot{y}_{w2} + C_p(\dot{y}_{w2} - (\dot{y}_{b1} - a\dot{\theta}_{b1})) + K_p(y_{w2} - (y_{b1} - a\theta_{b1})) &= F_{W2} \\
 M_{w3} \ddot{y}_{w3} + C_p(\dot{y}_{w3} - (\dot{y}_{b2} + a\dot{\theta}_{b2})) + K_p(y_{w3} - (y_{b2} + a\theta_{b2})) &= F_{W3} \\
 M_{w4} \ddot{y}_{w4} + C_p(\dot{y}_{w4} - (\dot{y}_{b2} - a\dot{\theta}_{b2})) + K_p(y_{w4} - (y_{b2} - a\theta_{b2})) &= F_{W4}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, M_t, M_b : 차체 및 대차의 질량

M_w : 스프링하질량(Unsprung mass)

K_p, K_s : 1차 및 2차 현가장치의 스프링계수

C_p, C_s : 1차 및 2차 현가장치의 감쇠계수

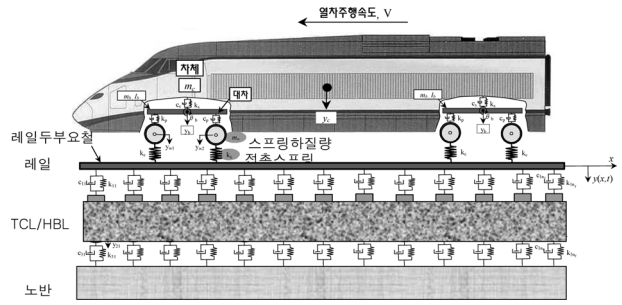


Fig. 3. Model for Vehicle-Track Interaction Analysis

3.2 궤도의 운동방정식

그림 3의 모델에 있어서 주행하중에 의한 레일변형의 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + R_k(t) \delta(x - x_k) = P(t) \delta(x - x_w) \tag{2}$$

여기서, EI : 레일의 굴곡강성

ρA : 레일의 밀도 및 단면적

$R_k(t)$: 제 k 체결구에 있어서 레일지점반력

$P(t)$: 차량동하중

$\delta(x)$: 드랙델타함수

x_k : 제 k 체결의 x좌표

x_w : 차량위치의 x좌표 = $x - x_o - vt$

x_o : 차량의 초기위치

v : 열차속도

또한, i층 k번째 질량체의 운동방정식은 다음과 같이 나타내진다.

$$\begin{aligned}
 m_{2k} \frac{d^2 y_{2k}}{dt^2} + \left(k_{3k} + c_{3k} \frac{d}{dt} \right) (y_{2k} - y_{3k}) \\
 - \left(k_{2k} + c_{2k} \frac{d}{dt} \right) (y_{1k} - y_{2k}) = 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, y_{ik} : 제 k 체결에서 제 i 층 도상의 상하변위

m_{ik} : 제 k 체결에서 제 i 층도상의 질량(레일편측당)

k_{ik} : 제 k 체결에서 제 i-1 층과 제 I 층도상 사이 강성계수

c_{ik} : 제 k 체결에서 제 i-1 층과 제 i 층도상 사이 감쇠계수

3.3 차륜-레일 접촉강성

k_c 는 차륜과 레일의 접촉강성으로서 차륜(y_w)과 레일변위(y_r)의 상대변위(Δ)의 함수로 다음과 같이 비선형 방정식으로 주어진다.

$$\begin{aligned}
 k_c = \frac{3}{2} c_H \Delta^{1/2} \quad \Delta \geq 0 \\
 k_c = 0 \quad \Delta < 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서,

c_H : Herzian 스프링 계수
 Δ : 차륜과 레일의 상대 변위

$$\Delta = y_w - y(x_w) - y_{w/r}(x_w) \quad (5)$$

3.4 계산제원

본 연구에서 적용한 차량과 콘크리트궤도의 계산 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties for vehicle and track

차량/궤도모델	물성치
차체질량(ton)	27.48
대차질량(kg)	1.21
스프링하중량(ton)	1.024
축간거리(m)	3.0
대차간 거리(m)	14.0
차륜반경(mm)	430
1차 현가장치 스프링계수(kN · s/m)	1.252E3
1차 현가장치 댐핑계수(kN · s/m)	16.0
2차 현가장치 스프링(kN/m)	1.26E3
2차 현가장치 댐핑(kN · s/m)	28.5
차체회전관성모멘트(ton · m ²)	565.95
침목간격(m)	0.625
레일종류	UIC60kg
레일표면반경(mm)	300
레일질량(kg/m)	60.3
레일강성도(kNm ²)	6.42 × 10 ³
레일패드 댐핑계수(kN · s/m)	5.0
레일패드 탄성계수(kN/m ²)	30.0

3.5 해석경우

교량과 토공의 접속부를 통과하는 차량의 거동에 영향을 미치는 요소는 교량의 강성, 궤도틀림, 교대부와 토공부의 지지강성차, 접속구간의 길이 및 강성변화도, 접속슬래브의 단부처짐량 등 다양한 요인에 의하여 차량의 거동이 변화하게 된다. 콘크리트궤도가 적용된 경우에는 접속구간에서의 궤도강성 변화도는 거의 없다고 볼 수 있고, 교량단부에서의 단부격임각이 설계기준을 만족하고 교대부의 길이가 충분히 길기 때문에 교량단부 통과에 따른 차량의 동요를 무시하는 것으로 가정하였고, 궤도틀림의 영향이 배제(2장의 검토기준이 궤도틀림의 영향이 배제된 기준임)한 경우를 기본으로 하였다. 이와 같은 가정에 의하여 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 접속슬래브의 길이(L)와 단부처짐량(δ)을 매개변수로 하여 해석을 수행하였다. 해석에 고려된 해석경우는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Analysis cases

슬래브 길이 L(m)	단부 처짐량 δ (mm)	운행속도	운행방향
10	10	350km/hr	교대 → 교량 교량 → 교대
15	20		
20	30		
25	40		
30	50		
총 50가지 경우			

4. 해석결과

접속슬래브의 길이와 단부처짐량을 매개변수로 차량-궤도 상호작용해석을 수행하여, 차량의 접속부 통과시 승차감을 알아보기 위한 차량의 차체상하진동기속도를 검토하였고, 차량의 주행안전성을 알아보기 위한 운중의 변동률을 분석하여 보았다. 또한 궤도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 레일에 발생하는 응력과 체결구에 작용하는 상향압력을 분석하여 보았다.

4.1 차체상하진동기속도

Table 3과 Fig. 4는 접속슬래브의 길이와 단부에서의 처짐량에 따른 통과차량의 차체가속도 변화를 차량의 진

Table 3. Body Acceleration in Vertical Direction

(a) Earth to Bridge		단위 : m/s ²				
구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	1.18	2.36	3.54	4.72	5.91
	15	0.95	2.08	3.12	4.16	5.21
	20	0.95	1.9	2.84	3.79	4.74
	25	0.85	1.7	2.55	3.40	4.25
	30	0.73	1.45	2.18	2.90	3.63
한계치		3.7				
(b) Bridge to Earth		단위 : m/s ²				
구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	1.18	2.36	3.54	4.72	5.91
	15	0.95	2.08	3.12	4.16	5.21
	20	0.95	1.9	2.84	3.79	4.74
	25	0.85	1.7	2.55	3.40	4.25
	30	0.73	1.45	2.18	2.90	3.63
한계치		3.7				

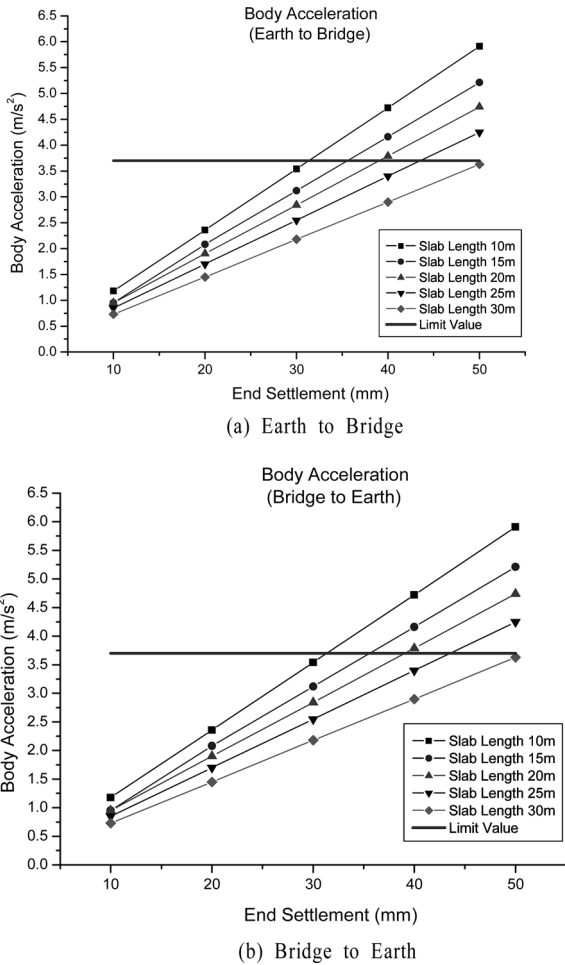


Fig. 4. Body Acceleration in Vertical Direction

행방향별로 나타낸 것으로서 단부처짐량과 슬래브 길이의 비가 클수록 차체의 상하진동가속도가 크게 발생됨을 알 수 있다. 즉 단부처짐이 발생했을 때에는 슬래브의 길이가 길수록 차체에 발생하는 상하진동가속도의 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. 한편, Fig. 5에서 알 수 있듯이 차량의 진행방향에 대해서 가속도의 방향은 반대지만 최대치는 동일하게 나타남을 알 수 있는데 차체의 상하진동가속도의 최대값이 차량이 접속구간을 통과한 후에 발생되고 진행방향 보다는 차량의 동요에 영향을 미치는 슬래브길이와 단부처짐의 비에 따라 그 크기가 결정되기 때문으로 생각된다. 차체상하진동가속도의 제한값과 비교하여 보았을 때, 슬래브 단부의 처짐이 30mm 이내인 경우에는 해석에 고려한 모든 슬래브 길이에 대하여 제한값을 만족시킴을 알 수 있지만 슬래브 단부의 처짐이 30mm 이상이 되면 슬래브의 길이가 길어져야 제한값을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

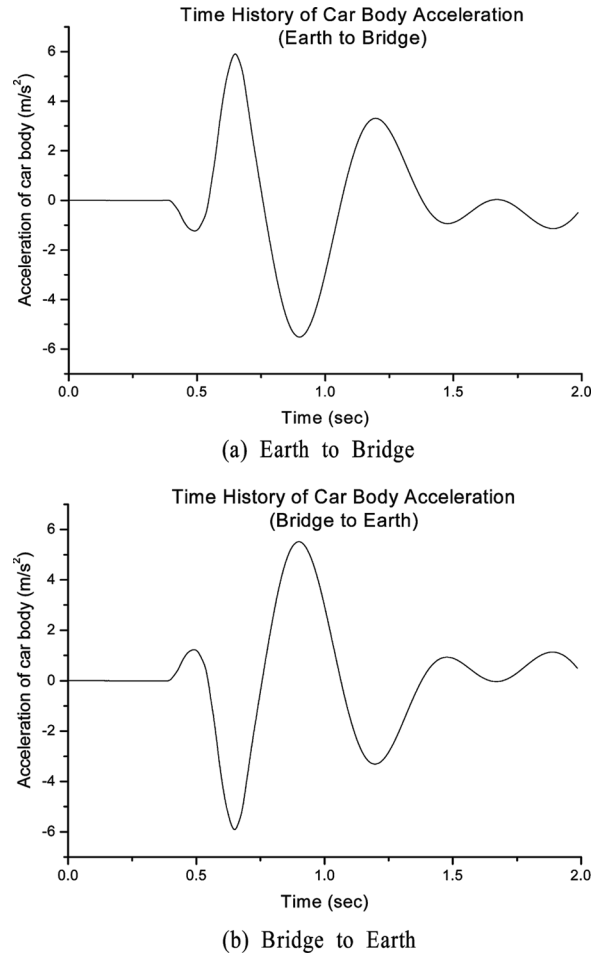


Fig. 5. Time History of a Body Acceleration in Vertical Direction

4.2 윤중감소율

Table 4와 Fig. 6은 접속부를 통과하는 차량의 윤중감소율의 변화를 나타낸 것으로 차량이 토공구간에서 교량구간으로 진행하는 경우에 더 크게 발생함을 알 수 있고, 차체상하진동가속도에서와 마찬가지로 단부처짐량과 슬래브 길이의 비가 클수록 윤중의 감소가 크게 발생함을 알 수 있다. 고려된 해석경우에 대하여 교량에서 토공으로 진행하는 경우에는 모든 해석경우에 대해서 제한기준을 만족하지만, 토공에서 교량으로 진행하는 경우에는 일부조건에 대하여 제한기준을 만족하지 못함을 알 수 있다.

4.3 레일저부응력

Table 5와 Fig. 7은 레일저부응력의 변화를 나타낸 것으로 차량이 교량에서 토공으로 진행할 경우가 토공에서 교량으로 진행할 경우보다 레일 저부에 발생하는 응력이 더 크게 나타나고, 단부의 처짐량과 슬래브길이의 비가 클수록 응력이 크게 발생됨을 알 수 있다. 모든 해석경우에 대하

Table 4. Wheel Force Reduction Ratio

구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	0.18	0.29	0.41	0.52	0.64
	15	0.14	0.23	0.30	0.38	0.46
	20	0.13	0.18	0.24	0.30	0.36
	25	0.12	0.16	0.18	0.26	0.31
	30	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26
한계치		1.30				

구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	0.13	0.19	0.25	0.31	0.37
	15	0.13	0.18	0.24	0.29	0.35
	20	0.12	0.17	0.22	0.28	0.33
	25	0.12	0.17	0.21	0.26	0.31
	30	0.11	0.15	0.20	0.24	0.28
한계치		0.37				

Table 5. Rail Stress at Bottom

구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	52.45	55.46	58.48	61.50	64.51
	15	52.35	55.23	58.13	61.01	63.90
	20	52.12	54.80	57.48	60.17	62.85
	25	51.90	54.36	56.83	59.28	61.75
	30	51.62	53.79	55.96	58.12	60.29
한계치		90.00				

구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	55.03	60.87	66.75	72.63	78.51
	15	53.27	57.40	61.52	65.64	69.75
	20	52.22	55.28	58.34	61.38	64.45
	25	51.71	54.15	56.65	59.13	61.63
	30	51.31	53.27	55.32	57.41	59.47
한계치		90.00				

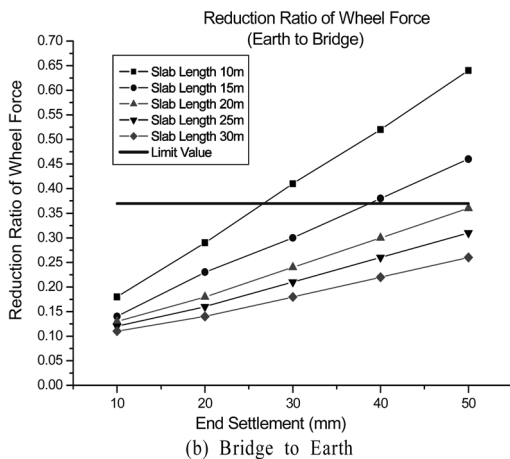
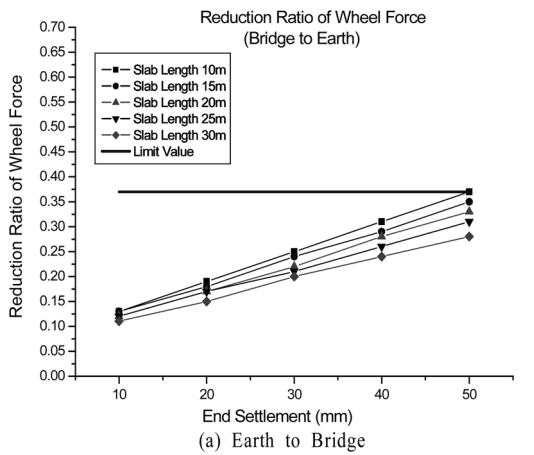


Fig. 6. Wheel Force Reduction Ratio

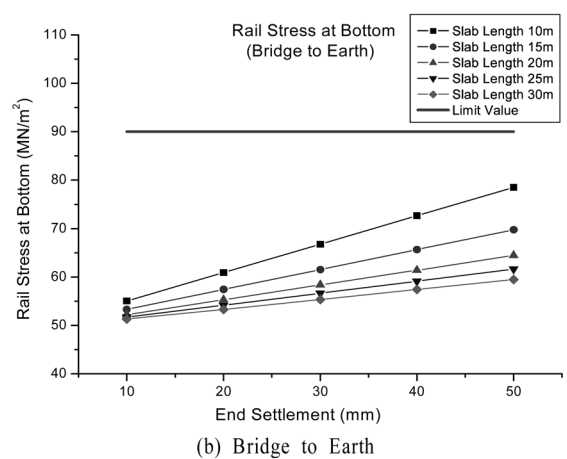
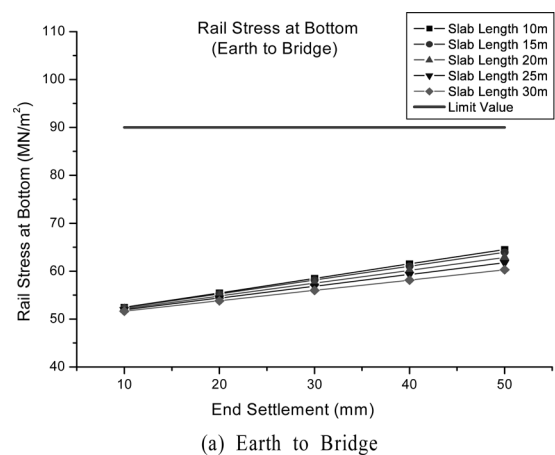


Fig. 7. Rail Stress at Bottom

Table 6. Upward Force at Clip

(a) Earth to Bridge						
구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	1.66	1.74	1.81	1.87	1.96
	15	1.64	1.70	1.75	1.80	1.86
	20	1.64	1.68	1.73	1.78	1.82
	25	1.63	1.67	1.72	1.77	1.82
	30	1.63	1.68	1.74	1.80	1.86
한계치		12.00				

(b) Bridge to Earth						
구 분		단부처짐량(mm)				
		10	20	30	40	50
슬래브 길이 (m)	10	1.73	1.87	2.03	2.20	2.36
	15	1.69	1.79	1.90	2.00	2.12
	20	1.64	1.72	1.81	1.89	1.97
	25	1.62	1.69	1.76	1.83	1.90
	30	1.61	1.67	1.72	1.78	1.84
한계치		12.00				

여 발생하는 레일저부응력이 제한값을 넘어서지 않는 것을 알 수 있으므로 레일저부응력이 접속슬래브를 설계를 위한 지배적인 요인이 아닌 것을 알 수 있다.

4.4 체결구에 작용하는 상향 압력

Table 6과 Fig. 8은 차량의 접속부 통과시 발생하는 체결구에 발생하는 상향압력의 최대값을 나타낸 것으로서, 단부처짐량과 슬래브의 길이변화에 대하여 큰 차이를 보이지는 않지만 그 비가 클수록 더 큰 상향압력이 발생됨을 알 수 있다. 또한 차량의 진행방향에 대해서는 큰 차이는 없지만 교량에서 토공방향으로 진행시에 상대적으로 더 큰 값을 발생됨을 알 수 있다. 그러나 체결구에 발생하는 상향압력의 크기가 모든 경우에 대하여 기준값 보다 매우 작게 발생하는 것을 알 수 있어 체결구의 상향압력은 접속슬래브의 설계를 제한하는 조건으로 작용하지 않음을 알 수 있다.

5. 분석 및 고찰

교량접속 슬래브의 길이와 허용처짐량을 결정함에 있어서 차체상하진동가속도가 다른 검토항목인 운중감소율, 레일저부응력, 체결구 발생 상향압력보다 지배적인 한계요인임을 알 수 있다. 따라서 가장 지배적인 요인인 차체상하진동가속도에 따라 접속슬래브의 길이와 허용처짐량의 관계를 살

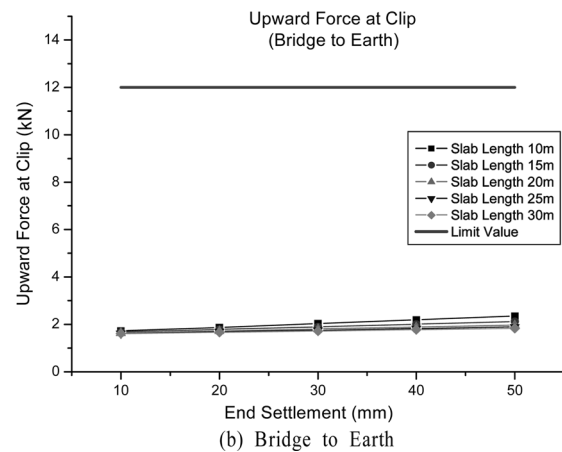
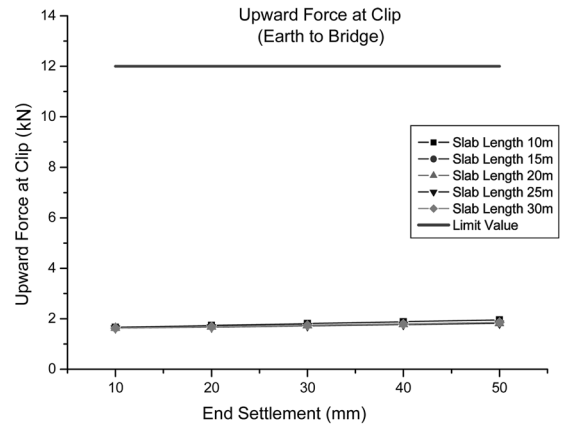


Fig. 8. Upward Force at Clip

Table 7. End displacement limit according to slab length

구 분	접속 슬래브 길이 (m)				
	10	15	20	25	30
처짐한계(mm)	31.5	35.5	39.0	43.5	50.0
처짐비	1/317	1/422	1/512	1/575	1/600

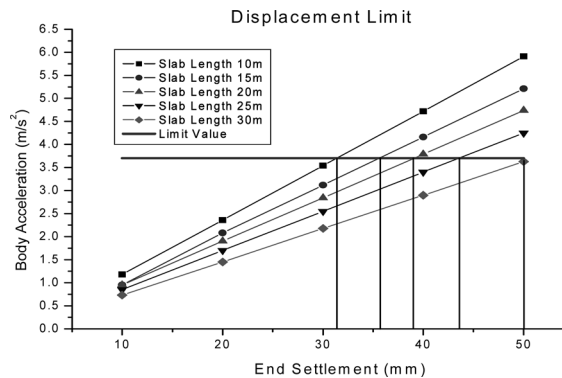


Fig. 9. Displacement Limit

펴보면 Table 7 및 Fig. 9와 같다.

Table 7과 Fig. 9에서 알 수 있듯이 처짐비(접속슬래브의

길이에 대한 단부처짐량의 비)가 약 1/300~1/600 이하일 경우, 차체가속도 한계치를 만족함을 알 수 있다. 슬래브 단부의 처짐이 30mm 이내로 제한되면 해석에 고려한 슬래브의 모든 길이에 대하여 차체상하진동가속도가 제한값 이내에 존재하는 것을 알 수 있고, 한편으로 슬래브 길이가 30m 이상이 되면 단부처짐이 50mm까지 허용됨을 알 수 있었다. 한편, Table 7에서 보면, 슬래브의 길이가 길어질수록 허용한계치를 만족시키기 위한 처짐비가 감소, 즉 처짐한계치를 만족시키기 위한 슬래브의 길이가 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 차량가속도가 구배가 변화하는 지점에서 크게 발생하고 가속도의 크기가 구배변화의 크기보다는 구배변화의 존재유무에 보다 민감하기 때문에 구배변화가 감소하는 비율에 비하여 차량의 가속도가 감소비율이 작게 발생되기 때문으로 분석된다. 예로서, 길이 10m, 처짐 50mm인 경우 구배변화가 5‰이고 길이 10m, 처짐 50mm인 경우 구배변화가 1.7‰로서 3배의 구배변화차가 발생되지만 차량의 가속도가 감소비는 이 경우 Table 4에서 알 수 있듯이 1.63배(5.91/3.63)의 차량가속도 감소만이 발생된다. 따라서 슬래브의 길이를 무조건 길게 하는 것 보다는 노반의 침하량을 작게 하기 위한 비용과 슬래브 길이 증가에 대한 비용 등의 경제성을 고려하여 적정한 범위의 슬래브길이와 그에 따른 처짐한도를 결정하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 한편, 접속슬래브의 적정길이는 현실적으로 토공분야에서 경제성과 시공성에 따라 실현가능한 허용탄성처짐한도와 영구침하한도, 그리고 종곡선 삽입이 필요한 선로기울기 변화의 한계 등을 고려하여 결정할 수 있을 것으로 보이지만 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 제외하였다.

6. 결론

콘크리트궤도 부설 교량과 토공의 접속부에 부설되는 접속슬래브의 처짐에 대한 허용한도를 알아보기 위하여 접속슬래브의 길이와 단부의 처짐량을 매개변수로 하여 차체가

속도, 윤중변동률, 레일저부응력, 그리고 체결구에 발생하는 상향압력을 분석하여 보았으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 교량접속 슬래브의 길이와 허용처짐량을 결정함에 있어서 차체상하진동가속도와 윤중변동률이 레일저부응력과 체결구에 발생하는 상향압력보다 지배적인 한계요인임을 알 수 있었다.
- 2) 지배적인 한계요인인 차체상하진동가속도에 따라 접속슬래브의 길이와 허용처짐량의 관계를 분석한 결과, 슬래브의 길이에 따라 다르지만 처짐비(접속슬래브의 길이에 대한 단부처짐량의 비)가 약 1/300~1/600 이하일 경우에 차체상하진동가속도 한계치를 만족함을 알 수 있다.
- 3) 슬래브의 길이가 길어질수록 허용한계치를 만족시키기 위한 처짐비가 감소, 즉 처짐한계치를 만족시키기 위한 슬래브의 길이가 증가하므로 슬래브의 길이를 무조건 길게 하는 것 보다는 경제성을 고려하여 적정한 범위의 슬래브길이와 그에 따른 처짐한도를 결정하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. ERRI D230.1/RP3 (1999), "Bridge ends embankment structure transition," European Rail Research Institute.
2. 村明, 松尾浩一郎, 三浦重(1997), "지탄성천이구간의 궤도의 거동해석," 일본철도총연보고 Vol. 11, No. 2.
3. Eisenmann, J., Leykauf, G. (1993), "The effect of head checking on the bending fatigue strength of railway rails", Rail Quality and Maintenance for Modern Railway Operation, pp. 425-433.
4. 철도구조물 등 설계표준동해설, 변위제한편(2006), 일본철도총합기술연구소.
5. 양신추(2002), "궤도설계 동하중 산정을 위한 차량/궤도 상호작용 해석기법 개발", 한국철도학회 2002년 추계학술대회 논문집, 한국철도학회, pp.1094-1099.

(2008년 4월 16일 논문접수, 2008년 4월 23일 심사완료)