

타설 경계면을 고려한 슬라이딩 궤도 횡방향 지지 콘크리트 블록의 전단 내하력 평가

이 성 철¹ · 장 승 엽² · 이 경 찬^{2*}

¹국제원자력대학원대학교 원자력산업학과, ²한국철도기술연구원 고속철도연구본부

Evaluation of Shear Load Carrying Capacity of Lateral Supporting Concrete Block for Sliding Slab Track Considering Construction Joint

Seong-Cheol Lee¹, Seung Yup Jang² and Kyoung-Chan Lee^{2*}

¹Department of NPP Engineering, KEPCO International Nuclear Graduate School(KINGS), Ulsan, 45014, Korea

²High-Speed Railroad System Research Center, Korea Railroad Research Institute(KRRI), Uiwang, 16105, Korea

Abstract

Recently several researches have been conducted to develop sliding track system in which friction between concrete track and bridge slab has been reduced. This paper investigated shear load carrying capacity of lateral supporting concrete block which should be implemented to resist lateral load due to train in sliding track system. In order to evaluate shear load carrying capacity of lateral supporting concrete block, analytical model has been developed considering concrete friction and rebar dowel action along construction joint. The proposed model predicted test results on the shear load carrying capacity from literature conservatively by 13~23% because effect of aggregate interlock along crack surface was neglected. Since construction joint status is ambiguous on construction site, it can be concluded that the proposed model can be used for reasonable design of lateral supporting concrete block. Based on the proposed model, design proposal for lateral supporting concrete block has been established.

Keywords : dowel, shear, concrete friction, construction joint, sliding slab track

1. 서 론

현대 철도교량은 승차감 개선과 고속주행을 위해 끊김 없이 연속으로 부설된 장대레일을 적용하고 있다. 철도교량은 온도 변화에 따른 교량의 신축 변위 등에 의하여 레일에 부가 응력을 유발하며 이를 궤도-교량 상호작용 효과라 부른다. 상호작용 효과를 제어하기 위하여 철도교량에서는 단경간 단순교를 주로 적용하고 있으며, 불가피하게 장경간 교량을 적용한 경우 특수 체결장치 또는 레일신축이음장치를 사용하여 상호작용 효과를 저감시키고 있다. 이러한 기존의 방법은 그 효과에 한계가 있거나, 특수 장치의 설치에 따른 부수적인 문제점을 유발할 우려가 있다.

최근 궤도-교량 상호작용을 저감하기 위한 대안으로 콘크리트

궤도 슬래브 하면과 교량 바닥판 사이에 저마찰 슬라이드층을 형성한 궤도 시스템인 슬라이딩 궤도가 연구 개발되고 있다 (Lee *et al.*, 2015a). 슬라이딩 궤도는 콘크리트 궤도 슬래브와 교량 바닥판의 종방향 거동을 분리하여 교량의 온도 신축등에 의한 종방향 변위가 콘크리트 도상을 통해 장대 레일로 전달되는 것을 차단하는 것에 착안하고 있으며, 이를 적용한 궤도는 기존 궤도와 비교하여 궤도-교량 상호작용 효과에 의한 레일 부가축력이 80~90% 저감되는 것을 Lee 등(2015b; 2016a)의 선행연구에서 확인한 바 있다.

슬라이딩 궤도는 교량과 궤도 슬래브가 슬라이드층으로 서로 분리되어 있기 때문에, 열차 주행에 따른 횡방향 하중을 저항할 수 있는 횡방향 지지 구조가 반드시 필요하다. 횡방향 하중은 열차의 사행하중, 풍하중 그리고 곡선부에서 원심하중,

* Corresponding author:

Tel: +82-31-460-5391; E-mail: klee@krri.re.kr

Received November 14 2016; Revised November 27 2016;

Accepted November 28 2016

©2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

레일온도하중에 의하여 발생한다. Fig. 1에 교량 바닥판, 슬라이딩 궤도 슬래브, 슬라이드층 그리고 횡방향 지지 블록을 포함한 슬라이딩 궤도의 개념도가 도시되어 있다. 횡방향 지지 블록은 교량 바닥판 시공 후에 추가로 설치되기 때문에, 교량 바닥판과 타설 경계면이 형성될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 타설 경계면을 갖는 횡방향 지지 블록의 설계를 위한 전단 내하력 산정 기법을 제안하고자 한다. 이를 위해 타설 경계면의 전단 강도를 고려한 전단 내하력 산정 기법을 유도하고 기존 실험 결과와 비교를 통해 검증하고, 그 결과를 바탕으로 슬라이딩 궤도에 적용할 수 있는 횡방향 지지 블록의 설계안을 제시하고자 한다.

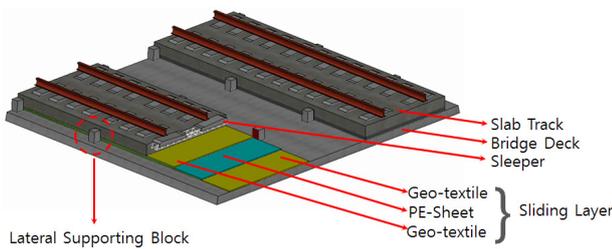


Fig. 1 Conceptual drawing of sliding slab track

2. 타설 경계면을 고려한 전단 내하력 산정기법 유도

횡방향 지지 콘크리트 블록은 먼저 시공된 교량 바닥판 위에 분할 타설된다. 따라서 횡방향 지지 블록의 전단 내하력을 정확히 평가하기 위해서는 타설 경계면에서의 전단 거동 특성을 고려해야 한다(Lee *et al.*, 2016b). 일반적인 유한요소해석으로는 타설 경계면의 구조 거동 특성을 고려한 계면 요소를 사용해야만 횡방향 지지 블록의 전단 내하력 산정이 가능하다. 선행 연구에서 이러한 타설 경계면의 비선형 전단 거동을 고려한 해석 기법을 검토한 바 있으나(Lee *et al.*, 2016b), 이러한 비선형 해석 방법은 설계에 직접 활용하기에 너무 복잡한 단점이 있다. 따라서, 이번 연구에서는 이러한 선행 연구결과를 토대로 교량 바닥판과 횡방향 지지 콘크리트 블록 사이의 타설 경계면의 전단 강도를 고려하면서 설계에서 활용할 수 있도록 보다 단순화된 전단 내하력 산정 기법을 제안하고자 한다.

2.1 타설 경계면 응력 상태

교량 바닥판에 후설치 된 횡방향 지지 블록이 전단 하중을 받을 경우, Fig. 2에서 보는 바와 같이 교량 바닥판 상면으로부터 횡방향 지지 블록 높이의 절반만큼 떨어진 곳에 수평 하중의 중심이 형성되게 된다. 이로 인해 횡방향 지지 콘크

리트 블록과 교량 바닥판 사이의 타설 경계면에 모멘트가 발생하게 되며, 수평 하중에 의해 유발된 모멘트에 의해 타설 경계면 중 일부는 압축력을, 일부는 인장력을 받는다. 이 때 타설 경계면에서의 콘크리트 인장강도는 무시될 수 있으므로, 타설 경계면 중 압축력을 받는 부분에서의 콘크리트 마찰력과 배근된 철근의 다월 거동에 의해 수평 하중을 저항한다.

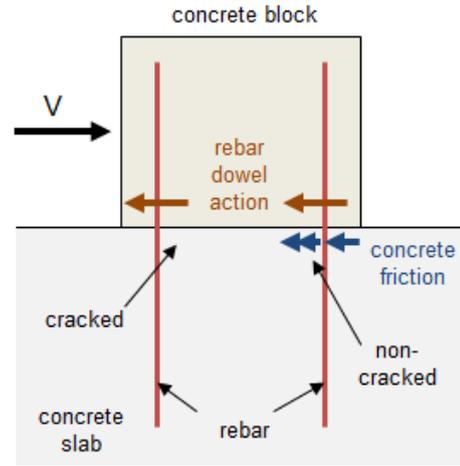


Fig. 2 Force and stress distribution along construction joint

2.2 콘크리트 마찰 및 철근 다월에 의한 전단 저항력

압축력이 발생하는 타설 경계면에서의 콘크리트 전단 마찰에 의한 전단강도(v_d)는 도로교설계기준 한계상태설계법(KBDC, 2015)에 제시된 콘크리트 계면 전단 강도 산정식에서 철근에 의한 부분을 제외함으로써 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$v_d = \mu_1 f_{ck} + \mu_2 f_n \quad (1)$$

여기서, μ_1 및 μ_2 는 계면 거칠기에 따른 계수로서, 횡방향 지지 콘크리트 블록과 교량 바닥판의 계면 상태가 거친 것으로 가정하여 각각 0.45 및 0.7을 적용할 수 있다. 또한, f_{ck} 는 콘크리트 인장강도를, f_n 은 타설 경계면에 법선방향으로 작용하는 압축응력을 의미한다.

인장응력이 작용하는 타설 경계면에서는 타설 경계면 중 균열면에서의 골재 맞물림 효과 등에 의한 전단 마찰을 고려해야 한다(Lee *et al.*, 2016b; Vecchio and Lai, 2004; Walraven, 1981). 그러나 실제 현장에서의 타설 경계면 시공 상황에 따라 균열면의 상태가 크게 달라지므로, 횡방향 지지 콘크리트 블록의 설계를 위해서는 보수적인 전단 내하력 산정을 위해 여기서는 균열면 골재 맞물림 효과를 고려하지 않는 것으로 가정한다. 따라서 식 (1)에서 작용하는 법선응력이 인장일 경우

v_d 는 0이 된다.

횡방향 지지 콘크리트 블록은 크기가 수백 mm 정도로서, 횡방향 지지 콘크리트 블록과 교량 바닥판의 타설 경계면을 따라 배근된 철근의 다월 작용에 의한 전단 저항력은 비교적 비슷한 규모의 시험체를 대상으로 실험한 Soroushian 등(1986; 1987)의 연구 결과로부터 산정할 수 있다. 이 때, 철근의 다월 거동에 의한 최대 전단 저항력은 콘크리트 코어에 대한 파괴와 콘크리트 피복 탈락에 의한 파괴 등 크게 두 가지로 분류되어 산정된다.

횡방향 지지 콘크리트 블록에 배근되는 철근들 중 충분한 피복 두께가 확보된 철근의 다월 거동에 의한 최대 전단 저항력은 철근의 인장응력이 크지 않을 경우 Soroushian 등(1986)으로부터 철근의 인장응력에 대한 부분을 고려하지 않음으로써 다음과 같이 단순히 산정할 수 있다.

$$D_u = 0.05f_b(0.37\gamma d_b - c)^2 \quad (2)$$

여기서, $\gamma = \sqrt[4]{E_s/K_f d_b}$, $K_f = 271.7 \text{MPa/mm}$, d_b 및 E_s 는 다월 철근의 직경 및 탄성계수, $f_b = 37.6 \sqrt{f'_c} / \sqrt[3]{d_b}$, $c = 0.05 f_y d_b / f'_c$ 이다.

한편, 횡방향 지지 콘크리트 블록에 배근되는 철근 중 수평 하중이 작용하는 반대편에 배근된 철근들의 경우 피복 두께가 상대적으로 작아 콘크리트 피복 탈락에 의해 최대 전단 저항력이 결정되며, 이는 다음으로부터 산정할 수 있다(Soroushian *et al.*, 1987).

$$D_{cr} = 0.83(b - d_b) \times c \times f_t \quad (3)$$

여기서, $f_t = 0.63 \sqrt{f'_c}$, $c = \pi / (2 \sqrt[4]{(K_f d_b) / (4 E_s I_b)})$, I_b 는 철근의 단면 2차 모멘트, b 는 철근의 배근 간격을 의미한다.

2.3 전단 내하력 산정

2.3.1 중립축 위치

타설 경계면에서의 콘크리트 마찰에 의한 전단 저항력을 산정하기 위해서는 타설 경계면에서의 콘크리트 압축 응력을 계산해야 하며, 이를 위해서 중립축의 위치를 계산한다.

횡방향 지지 콘크리트 블록이 수평 하중을 받을 경우 교량 바닥판과의 타설 경계면이 상대적으로 큰 것으로 기인해 실제 타설 경계면에서의 변형률은 상당히 작게 된다. 즉, 타설 경계면에서의 콘크리트 및 철근의 압축 및 인장 거동은 선형-탄성 구간 내에 머무는 것으로 가정할 수 있다. 따라서, 타설 경계면에서

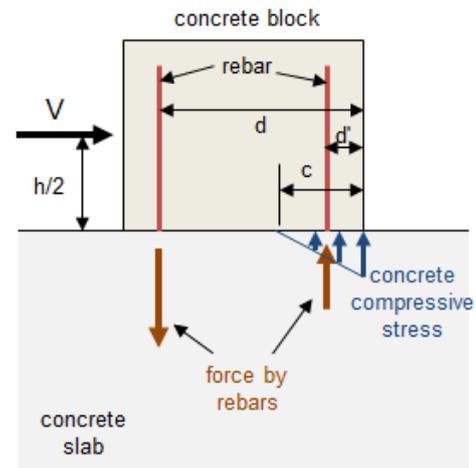


Fig. 3 Stress and force distribution along construction joint

콘크리트의 인장 응력을 무시할 경우 타설 경계면을 따라 분포하는 수직 압축 및 인장 응력은 Fig. 3과 같다.

한편, 일반적으로 횡방향 지지 콘크리트 블록에서는 타설 경계면에서의 전단력에 대해 효율적으로 저항하기 위해 인장 및 압축 철근의 면적이 서로 동일하게 배근하므로, Fig. 3으로부터 타설 경계면에서의 수직 방향으로의 힘의 평형에 대한 식을 유도하면 다음과 같다.

$$\epsilon_s E_s A_s + \epsilon'_s E_s A_s + 0.5 \epsilon_c E_c b c = 0 \quad (4)$$

여기서, A_s 는 인장 또는 압축 철근 면적을, ϵ_c 는 횡방향 지지 콘크리트 블록 압축 연단에서의 콘크리트 변형률을, c 는 압축 연단으로부터 중립축까지의 거리를 의미한다. ϵ_s 및 ϵ'_s 은 주어진 ϵ_c 에 대한 인장 및 압축 철근의 변형률을 각각 의미한다. 철근의 변형률 ϵ_s 및 ϵ'_s 는 타설 경계면 내 변형률의 선형분포 조건으로부터 ϵ_c 와 중립축 위치 c 로부터 계산할 수 있으며, 이를 식 (4)에 대입하면 중립축 위치 c 에 대한 식이 유도된다.

$$c = \frac{-2E_s A_s + \sqrt{4E_s^2 A_s^2 + 2E_c E_s A_s b (d + d')}}{E_c b} \quad (5)$$

위 식에서 보는 바와 같이, 중립축의 위치는 압축 연단에서의 콘크리트 변형률과 관계없이 횡방향 지지 콘크리트 블록의 기하 형상에 의해 결정된다. 이는 콘크리트 및 철근의 압축 및 인장 거동이 선형-탄성 구간 내에 머무는 것으로 가정한 것에 기인한다.

2.3.2 전단 내하력 산정을 위한 모멘트 평형 조건

산정된 중립축 위치로부터 주어진 압축 연단에서의 콘크리트 변형률에 대해 타설 경계면에서의 최대 전단 저항력은 콘크리트 마찰력과 철근의 다월 거동에 의한 전단 저항력의 합으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V = \mu_1 f_{ck} + \mu_2 f_n + D_u n_s + D_c n_s \quad (6)$$

여기서, n_s 는 콘크리트 코어 또는 피복 탈락에 대해 지배되는 각각의 다월 철근의 수, 즉 인장 또는 압축 철근의 수를 의미하며, 그 외의 항들은 식 (1)~(3)으로부터 결정된다. 한편, 식 (6)으로부터 계산된 전단력이 수평하중으로 횡방향 지지 콘크리트 블록에 작용할 경우, 수평하중으로 인해 발생하는 외부 모멘트 (M_{ext})와 타설 경계면에서의 내부 모멘트(M_{int})를 다음의 식들로부터 계산할 수 있다.

$$M_{ext} = 0.5 Vh \quad (7)$$

$$M_{int} = \epsilon_s E_s A_s d_s + \epsilon_s' E_s A_s' d_s' + \frac{1}{6} \epsilon_c E_c b c^2 \quad (8)$$

여기서, h 는 횡방향 지지 콘크리트 블록의 높이를 의미한다. 압축 연단에서의 콘크리트 변형률 ϵ_c 에 의해 V 및 M_{ext} , M_{int} 모두 영향을 받게 되며, M_{ext} 와 M_{int} 가 동일해야 하는 조건

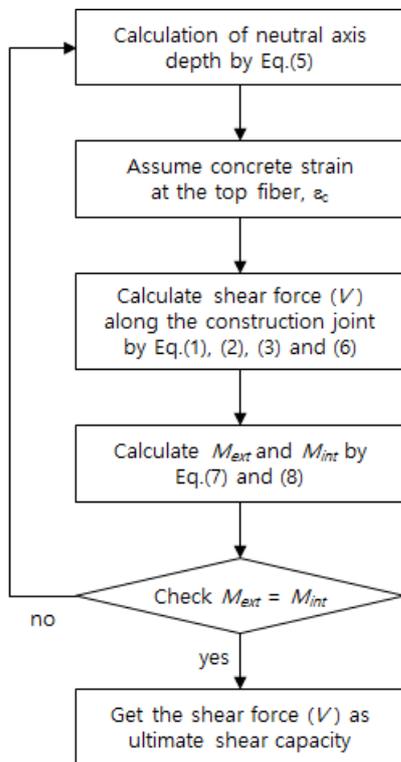


Fig. 4 Analysis algorithm for shear strength evaluation considering construction joint

으로부터 ϵ_c 및 V 를 산정할 수 있다.

2.3.3 전단 내하력 산정 알고리즘

앞에서 유도된 식들로부터 타설 경계면을 고려한 횡방향 지지 콘크리트 블록의 전단 내하력 산정을 위한 해석 알고리즘을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 주어진 콘크리트 블록의 기하 형상으로부터 중립축의 위치를 산정한다. 이후 압축 연단에서의 콘크리트 변형률 ϵ_c 를 가정하고, 가정된 ϵ_c 에 대해 타설 경계면에서의 전단력(V)과 내부 모멘트(M_{int})를 계산한다. 이 후 전단력에 의한 외부 모멘트 M_{ext} 가 내부 모멘트와 동일해야하는 조건을 확인함으로써, 가정된 ϵ_c 의 타당성 여부를 판단하게 된다. 참고로, ϵ_c 가 적절한 값보다 작을 경우 M_{int} 이 M_{ext} 보다 작게 되며, 반대의 경우 M_{int} 이 M_{ext} 보다 크게 되며, 이로부터 반복 계산을 통해 $M_{int} = M_{ext}$ 을 만족하는 ϵ_c 를 찾을 수 있게 된다. 이 때 계산된 전단력(V)이 타설 경계면을 고려한 횡방향 지지 콘크리트 블록의 전단 내하력이 된다.

3. 기존 실험 결과와의 비교 및 검증

3.1 기존 실험 개요

제안된 전단 내하력 산정 기법을 검증하기 위해 횡방향 지지 콘크리트 블록과 유사한 방법으로 시공되고 구조 거동이 비슷할 것이라 생각되는 콘크리트 궤도의 캄플레이트에 대한 기존의 실험 결과(Kang *et al.*, 2015)와 비교하였다. 참고로 캄플레이트는 교량 상의 콘크리트 층(PCL)과 상부의 궤도 슬래브(TCL)를 종방향 및 횡방향으로 고정시키기 위한 전단기로서, 캄플레이트의 전단 거동은 횡방향 지지 콘크리트 블록과 유사하게 타설 경계면에서의 콘크리트 마찰 및 철근의 다월 거동에 의해 지배되는 것으로 연구된 바 있다(Lee *et al.*, 2016b).

Kang 등(2015)의 실험이 수행한 4개의 시험체 중 시험체 가운데 압축 및 인장 연단 인근에 철근이 상대적으로 많이 배근되어 횡방향 지지 콘크리트 블록과 보다 유사한 두 개의 시험체(S11, S21)를 제안된 전단 내하력 산정 기법의 검증을

Table 1 Specification of specimen(Kang *et al.*, 2015)

Specimen	Camplate dimension (mm)	Nominal size and no. of rebars	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	Shear capacity (kN)
S11	700×700×130	H13, 4×7	30	400	408.1
S21	500×500×130	H13, 3×5	30	400	308.3

위해 활용하였다. Table 1은 시험체 변수명 및 실험으로부터 측정된 전단 내하력을 정리한 것이다.

3.2 전단 내하력 비교 및 분석

캠플레이트의 전단 내하력에 대해 본 연구에서 개발된 전단 내하력 산정 기법으로부터 예측된 결과를 실험으로부터 측정된 전단 내하력과 Fig. 5에 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 개발된 전단 내하력 산정 기법이 기존 실험에서 측정된 전단 내하력을 약 13~23% 정도 보수적으로 평가하였다. 이는 타설 경계면 중 균열면에서의 골재 맞물림 효과 등에 의한 전단 마찰을 무시한 것에 기인한 것으로 판단된다. 실제 Lee 등(2016b)는 균열면에서의 골재 맞물림 효과 고려 시 실험 결과에 보다 유사하게 전단 거동을 예측하는 것으로 보고하였다. 앞서 서술한 바와 같이 균열면에서의 골재 맞물림 효과는 실제 현장에서의 타설 경계면 시공 상황에 따라 큰 영향을 받게 되므로 불확실한 균열면 골재 맞물림 효과를 배제함으로써 보다 안전측의 설계가 가능할 것으로 판단된다.

한편, 제안된 전단 내하력 산정 기법으로부터 반복 계산을 통해 산정된 콘크리트 블록 압축 연단에서의 콘크리트 변형률은 S11 및 S21 시험체에 대해 각각 -39×10^{-6} 및 -68×10^{-6} 로 예측되었다. 이는 콘크리트 압축 강도 도달 시의 변형률보다 매우 작은 값으로서, 선형-탄성 조건으로 유도하여 제안된 본 연구의 전단 내하력 산정 기법이 타당함을 의미한다.

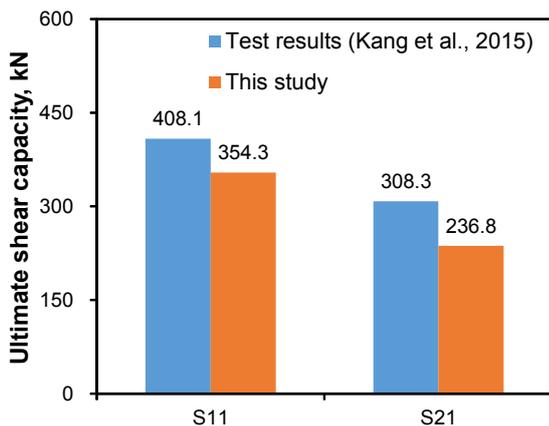


Fig. 5 Comparison on the shear strength

4. 횡방향지지 콘크리트 블록 설계

4.1 하중 조건

철도 교량에서 횡방향 하중을 유발하는 원인은 열차의 사행 하중(nosing force), 풍하중이 있으며 곡선부인 경우 원심하중,

레일의 온도하중이 더해진다. 본 연구에서는 설계속도 350 km/h인 고속선과 250km/h인 일반선에 대하여 각각 횡하중을 산정하였으며, 각각 직선구간과 곡선구간을 구분하여 검토하였다. 곡선구간의 곡선반경은 철도시설공단 설계지침(KR C-14020 궤도 선형 및 배선)에 제시된 설계속도에 대한 콘크리트 궤도의 최소곡선반경을 적용하여 고속선의 곡선반경은 4,700m, 일반선은 2,400m에 대하여 검토하였다. 열차 하중은 철도시설공단설계지침(KR C-08020 하중)에 제시된 표준 열차하중(KRL-2012)을 기준으로 여객 및 화물공용 하중과 여객전용 하중을 각각 반영하였다.

횡방향 지지 블록은 교축 방향으로 5m 간격으로 궤도 슬래브 양측에 각각 설치되는 것으로 가정하였으며, 5개의 블록을 고려하여 25m 길이에 대하여 산정된 횡하중을 재하한 후 구조해석을 통하여 각 블록에 재하되는 수평반력의 최댓값으로부터 설계 전단하중을 산정하였다. 고속선 곡선 구간에 대하여 하중을 산정한 사례를 Fig. 6과 Table 2에 제시하였다. 설계속도, 곡선반경 그리고 하중 종류에 따른 횡방향 설계 하중 산정 결과는 Table 4에 제시된 바와 같다.

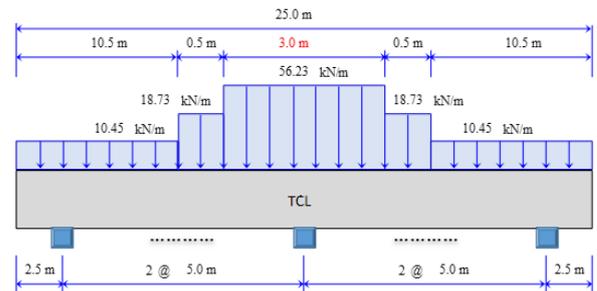


Fig. 6 Shear loading at lateral supporting block (350km/h, R4700)

Table 2 Horizontal load(350km/h, R4700)

Load type	Load level (kN/m)	Loaded length (m)	Partial Factor (γ)	Comb. factor (ϕ)	Design load (kN/m)
Nosing	25.00	4.0	1.50	1.0	37.50
Centrifugal	Axle	3.0	1.45	1.0	12.80
	Dist.		1.45	1.0	4.52
Wind	6.150	All	1.50	0.6	5.54
Rail Temp.	0.330		1.50	0.8	0.40

4.2 설계 방안 결과 및 분석

슬라이딩 궤도 슬래브에 적용되는 횡방향 지지 콘크리트 블록은 크기가 상대적으로 작아 교량 바닥판과 연결되는 다일 철근의 콘크리트 피복 두께 및 배근 간격에 많은 제약이 따른다. 또한, 다일 철근 배근 시 시공성을 확보하기 위해 교량

바닥판의 철근 간격 또한 고려되어야 한다. 본 연구에서는 전단 내하력 산정 기법에 적용된 Soroushian 등(1986, 1987)에 사용된 시험체의 크기 및 배근 간격을 고려하여, 횡방향 지지 콘크리트 블록 내 다웰 철근의 배근 간격을 수평 하중 방향으로 교축 직각방향으로 250mm, 가력에 수직인 교축 방향으로 150mm로 설정하였으며, 다웰 철근에 대한 콘크리트 상부 피복 두께는 50mm로 설정하였다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 Table 3에서 보는 바와 같이 총 3가지 형태의 횡방향 지지 콘크리트 블록 설계 방안에 대해 전단 내하력을 검토하였으며, 이 중 철근 4가닥이 배근된 설계 방안을 Fig. 7에 나타내었다.

제안된 산정 기법에 의해 계산된 횡방향 지지 콘크리트 블록에 대한 전단 내하력을 Table 3에 함께 정리하였다. 여기서, 도로교설계기준 한계상태설계법(2015)에서 제시하고 있는 콘크리트 및 철근에 대한 재료계수 0.65 및 0.90을 적용하지 않은 경우를 공칭(nominal) 전단 내하력으로, 적용한 경우를 설계(design) 전단 내하력으로 표기하였다.

Table 3에서 정리된 바와 같이, 재료계수를 고려하여 공칭 전단 내하력 보다 설계 전단 내하력이 약 17% 정도 작은 것으로 나타났다. 이와 같은 감소율은 콘크리트에 대한 재료계수 0.65보다 철근에 대한 재료계수 0.90에 더 가까운 것으로서, 제안된 산정 기법에 의한 전단 내하력에서 철근의 다웰 거동이 콘크리트 마찰보다 더 지배적인 것을 의미한다.

Table 3 Design examples for concrete block

Case	Concrete block size, l×t×h (mm)	Rebar arrangement, rebar size, l×t (no. of rebars)	Nominal shear capacity (kN)	Design shear capacity (kN)
Design 1	250×300×240	H22, 2×2	226.6	187.3
Design 2	250×300×240	H25, 2×2	272.0	226.2
Design 3	400×300×240	H22, 3×2	349.5	288.4

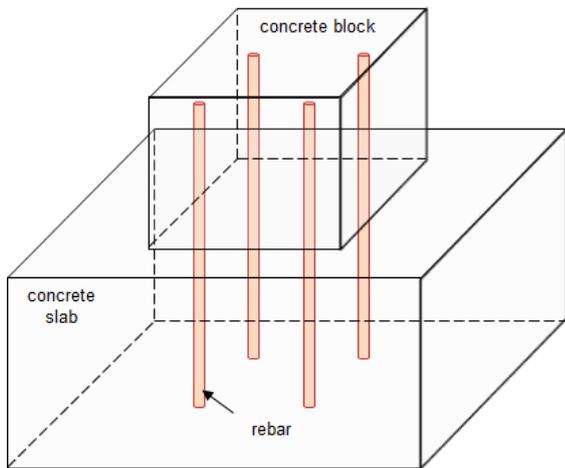


Fig. 7 Design example for concrete block with 4 rebars

Table 4 Design loads and results of supporting block

Load type	Design velocity (km/h)	Radius of curvature (m)	Design shear load (kN)	Design result
Straight line		∞	158.49	Design 1
Passenger car only	350	4,700	205.75	Design 2
	250	2,400	248.38	Design 3
Passenger & freight car	350	4,700	220.90	Design 2
	250	2,400	277.19	Design 3

Table 3에 제시된 횡방향 지지 블록의 설계 전단 내하력과 Table 4에 제시된 설계 하중을 바탕으로, 각 설계하중에 대하여 적합한 횡방향 지지 블록을 제시하였다. 직선구간인 경우에는 사행하중과 풍하중만 있으므로, 열차의 하중 종류 및 노선의 곡률 반경에 관계없이 H22 철근을 4개 배치한 Design 1을 적용할 수 있는 것으로 평가되었다. 설계속도가 350 km/h인 고속선의 경우에는 최소 곡선반경 4,700m에 대하여 H25 철근을 4개 배치한 Design 2를 적용할 수 있는 것으로 계산되었다. 설계속도가 250km/h이고 최소 곡선반경이 2,400m인 경우에는 H22 철근을 6개 배치한 Design 3을 적용해야 하는 것으로 나타났다. 실제 노선에 적용할 경우에는 해당 노선의 곡률 반경과 설계 속도 그리고 열차 하중 종류에 따라서 위에 제시된 방법으로 적절한 형태의 횡방향 지지 블록을 선정하여 적용해야 할 것이다.

5. 결 론

상호작용 효과 저감을 위하여 새로이 개발되고 있는 슬라이딩 웨도 슬래브에 적용되는 횡방향 지지 콘크리트 블록의 설계를 위해, 슬라이딩 웨도 슬래브와 횡방향 지지 콘크리트 블록 사이의 타설 경계면을 고려한 전단 내하력 산정 기법을 개발하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬라이딩 웨도의 횡방향 지지 콘크리트 블록은 교량 바닥판과 개별 시공되어 그 사이에 타설경계면이 형성되므로, 타설 경계면에서의 콘크리트 마찰 및 철근의 다웰 저항력을 고려하여 합리적인 전단 내하력을 산정할 수 있는 기법을 개발하였다.
- 2) 횡방향 지지 콘크리트 블록과 유사한 거동을 보이는 선형 연구의 캠프레이트 시험과 비교한 결과, 개발된 전단 내하력 산정 기법이 실험으로부터 측정된 전단 내하력을 13~23% 정도 보수적으로 평가하는 것으로 나타났다.
- 3) 제안된 산정 기법에 의해 전단 내하력이 다소 보수적으로 평가되는 것은 균열이 발생한 타설 경계면에서의 골재 맞물림 등에 의한 효과로 판단된다. 하지만, 실제 현장

에서 타설 경계면의 상황은 현실적으로 예측하기 어려우므로, 횡방향 지지 콘크리트 블록의 설계를 위한 전단 내하력 평가에 본 연구에서 제안된 산정 기법이 합리적인 것으로 판단된다.

- 4) 슬라이딩 궤도가 설치되는 노선의 열차 하중 종류, 설계속도 및 곡선반경을 고려하여 횡방향 하중을 산정하고, 개발된 전단 내하력 산정 기법을 토대로 적합한 횡방향 지지 블록에 대한 기본 설계안을 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업 연구비지원(과제번호 16RTRP-B071566-04, 과제명: 상호작용완화를 위한 궤도 및 교량 바닥판 구조 개발)에 의해 수행되었습니다.

References

- British Standards** (2003) EN 1991-2:2003 Eurocode 1 : Actions on Structures-Part 2: Traffic Loads on Bridges, BSI, p.164.
- Kang, Y.-S. et al.** (2015) Study on Design Standards of Track Systems for the High-Speed Railway at 400km/h, Final Report, Korea Railroad research Institute, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- KR C-14020** (2014) Track Geometry and Layout, Korea Rail Network Authority.
- KR C-08020** (2014) Load, Korea Rail Network Authority.
- Lee, K.C. Jang, S.Y., Yeo, I.H., Kim, C.E.** (2015a) Preliminary Design of Continuously Reinforced

- Slab for Sliding Slab Track, *Proceedings of the 2015 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp.56~61.
- Lee, K.C., Jang, S.Y., Jung, D.K., Byun, H.K.** (2015b) Evaluation of Stress Reduction of Continuous Welded Rail of Sliding Slab Track from Track-Bridge Interaction Analysis, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 35(5), pp.1179~1189.
- Lee, K.C., Jang, S.Y., Lee, J., Choi, H.S.** (2016a) Comparative Analysis of Track-Bridge Interaction of Sliding Slab Track and Rail Expansion Joint for Long-Span Railway Bridge, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 29(2), pp.169~177.
- Lee, S.-C., Kang, Y.-S., Jang, S.Y.** (2016b) Analysis of Shear Behavior of Shear Key for Concrete Track on Railway Bridge Considering Construction Joint, *J. Korean Soc. Railway*, 19(3), pp.341~350.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport** (2016) Korea Bridge Design Code (Limit State Design Method), p.811.
- Soroushian, P., Obaseki, K., Rojas, M.C., Shim, J.** (1987) Behavior of Bars in Dowel Action Against Concrete Cover, *ACI Structural J.*, 84(3), pp.170~176.
- Soroushian, P., Obaseki, K., Rojas, M.C., Sim, J.** (1986) Analysis of Dowel Bars Acting Against Concrete Core, *ACI J.*, 83(4), pp.642~649.
- Vecchio, F.J., Lai, D.** (2004) Crack Shear-Slip in Reinforced Concrete Elements, *J. Adv. Concr. Tech.*, 2(3), pp.289~300.
- Walraven, J.C.** (1981) Fundamental Analysis of Aggregate Interlock, *ASCE J. Struct. Div.*, 107(11), pp.2245~2270.

요 지

최근 콘크리트 궤도 슬래브 하면과 교량 바닥판 사이에 저마찰 슬라이드층을 형성하는 궤도 시스템인 슬라이딩 궤도와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 슬라이딩 궤도에서 열차 주행에 따른 횡방향 하중을 저항하기 위해 설치되는 횡방향 지지 콘크리트 블록의 전단 내하력에 대한 연구를 수행하였다. 횡방향 지지 콘크리트 블록의 전단 내하력 산정을 위해 타설경계면에서의 콘크리트 마찰 및 철근의 다웰 거동을 고려한 산정 기법을 개발하다. 제안된 산정 기법은 기존의 실험에서 측정된 전단 내하력을 13~23% 정도 보수적으로 예측하는 것으로 나타났다. 이는 균열면 골재 맞물림 효과를 무시한 것에 따른 것으로, 현장에서의 타설경계면 상태가 불확실한 것을 고려할 때 횡방향 지지 콘크리트 블록에 대한 안전측 설계를 위해 제안된 산정 기법이 합리적인 것으로 판단된다. 제안된 전단 내하력 산정 기법을 토대로 횡방향 지지 콘크리트 블록에 대한 설계 방안을 마련하였다.

핵심용어 : 다웰, 전단, 콘크리트 마찰, 타설경계면, 슬라이딩 궤도