연속철근 콘크리트 궤도의 철근 배치에 따른 환경하중 응력 변화 분석

Variation of Environmental Load Stresses in Continuously Reinforced Concrete Slab Track Depending on Steel Bar Arrangement

권종욱* · 조영교** · 김성민*** · 안석준**** · 최원일****

Kwon, Jong-Wook · Cho, Young-Kyo · Kim, Seong-Min · Ahn, Suk-Jun · Choi, Won-Il

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of steel bar locations in the continuously reinforced concrete slab track (CRCT) on the stress distribution and crack widths when the steel ratio was constant and the system was subjected to environmental loads. Three-dimensional finite element analysis models of CRCT were developed and the vertical temperature gradient that caused slab curling and the temperature drop were considered as environmental loads. The analysis results showed that even if the steel ratio was identical the stresses and crack widths of CRCT were affected by the steel bar arrangement.

Key words : Continuously reinforced concrete track, Environmental load, Crack, Steel bar arrangement, Stress

요 약

본 연구는 연속철근 콘크리트 슬래브 궤도(CRCT: continuously reinforced concrete slab track)가 환경하중을 받을 경우에 철근비가 동일하더라도 철근 배근 위치가 달라지면 슬래브의 응력과 균열폭에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하기 위해 수행되었다. 분석을 위해 CRCT의 3차원 유한요소해석 모델을 구성하였으며 환경하중으로는 슬래브의 휨을 야기하는 수직온도경사 및 온도하강을 고려하였다. 이러한 해석모델을 이용하여 CRCT의 응력 및 균열폭 변화를 분석한 결과, 철근비가 일정하더라도 철근을 어떠한 위치에 배근하느냐에 따라 슬래브의 응력 및 균열폭이 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 연속철근 콘크리트 궤도, 환경하중, 균열, 철근배치, 응력

1. 서 론

연속철근 콘크리트 슬래브 궤도(CRCT: continuously reinforced concrete slab track)는 도로에서 사용되고 있는 연속철근 콘크리트 포장(CRCP: continuously reinforced concrete pavement)과 유사한 방식의 구조물로써 별도의 줄눈을 설치하지 않는 대신 자연적으로 발생하는 횡방향 균열을 허용하며 종방향 철근을 설치하여 자연적으로 발생한 횡방향 균열이 과도하게 벌어지는 것을 억제하도록 하는 철도 궤도의 형식이다. 따라서 CRCT에서의 균열은 열차하중이 작

용하기 이전인 시공 초기에 환경하중에 의해 발생하게 되며 균열폭과 슬래브의 응력은 환경하중에 의해 크게 영향을 받게 된다. 일반적으로 연속철근 콘크리트 슬래브 구조물의 균열특성인 균열폭과 균열간격 등은 철근비에 의해 영향을 받게 되며 철근비가 높아질수록 균열이 많이 발생하여 균열간격이 작아지며 균열폭도 작아지는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 1998; 2003; 2006).

CRCT도 이러한 이유에서 철근비를 설계에서 중요한 인자로 사용하고 있는 실정이다. 하지만 CRCT의 경우는 다른 CRC 구조물과는 다르게 철근을 슬래브의 상하부에 이단으로

*정회원. (주)삼안 철도부 사원(E-mail: hyunsnu@naver.com)

Member. Railway Planning Dept, Saman Company

**경희대학교 토목공학과 박사과정

Department of Civil Engineering, Kyung Hee University

***교신저자. 경희대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-31-201-3795, Fax: +82-31-202-8854, E-mail: seongmin@khu.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Department of Civil Engineering, Kyung Hee University

****(주)삼안 도시철도부 부회장

Railway Planning Dept, Saman Company

*****한국철도시설공단 기술연구소 부장

Department Korea Rail Network Authority, Electric Works & Catenary Division

Fig. 1. Dimension of Rheda2000 (Korea, 2010)

Fig. 2. Steel bar Arrangement of Rheda2000 (Korea, 2010)

배근하고 있으며 또한 침목의 위치에는 배근이 불가능하여 이를 제외한 위치에 배근을 하고 있다(Korea, 2010). 따라서 CRCT에서 철근비 뿐 만 아니라 철근배근 위치가 슬래브의 응력 및 균열 발생에 영향을 미치는 지를 분석하여 영향이 있을 경우에는 이를 설계에 반영할 필요가 있을 것이다.

2. 연속철근 콘크리트 슬래브 궤도 모델링

해석에 사용된 모델의 제원은 호남고속철도에 적용된 Rheda2000의 토공구간의 단면을 적용하였으며 이를 Fig. 1에 나타내었다. CRCT의 폭은 3.2 m이며 두께는 0.24 m로 구성되어 있다.

철근배근은 이단으로 되어있으며 상부철근은 H16, 하부철근은 H19를 사용하며 배근 간격은 Fig. 2와 같다. 침목과 중앙부의 채움 콘크리트는 메인 슬래브에 완벽하게 부착되어 하나의 슬래브 시스템을 구성하지는 않기 때문에 구조해석 시에 침목과 중앙부 채움 콘크리트의 영향은 고려하지 않았다(Kim et al., 2012).

CRCT와 기층인 HSB(Hydraulically Stabilized Basecourse)의 경계조건은 접촉상태를 정의하여 모사하였으며 수직방향으로는 완전한 접촉, 수평방향으로는 마찰계수 0.6을 적용하였다. HSB의 하부지층은 수직방향으로는 탄성지반을 적용하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 20 MPa/m의 크기로 지지하였고, 수평방향 마찰력의 경우 CRCT에 큰 영향이 미치지 않기 때문에 해석을 위한 최소한의 경계조건만을 적용하였다(Eisenmann and Leykauf, 2000).

CRCT의 온도변화에 따른 거동 특성을 분석하기 위하여 유

한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 3차원 유한요소해석 모델을 구성하였다(ABAQUS, 2007). 콘크리트 슬래브는 고체요소(Solid Element)를 사용하였으며, 철근은 보요소(Beam Element)를 사용하였다. 철근과 콘크리트는 완전부착으로 가정하여 모사하였다. 콘크리트 슬래브 하부의 린콘크리트층(HSB)도 고체요소를 사용하여 모델링하였으며 HSB의 하부지층은 탄성지반으로 모델링하였다. 슬래브와 HSB간의 마찰저항도 고려하여 모델링하였다. CRCT의 온도변화에 의한 거동은 종방향으로 중앙선을 따라 대칭이기 때문에 한쪽 슬래브만을 모델링하는 대칭 모델을 사용하였다. 균열간격은 일정한 것으로 가정하여 하나의 균열간격을 슬래브의 종방향 길이로 가정하여 모델링하였다. 균열에서의 경계조건은 콘크리트 슬래브는 구속이 없는 것으로 하였으며 철근은 종방향 변위 및 힘에 대한 회전변위를 구속하였다. 또한 슬

Fig. 3. Interaction between HSB and Base (Eisenmann and Leykauf, 2000).

Fig. 4. Finite Element Model of CRCT

Table 1. Material Properties of CRCT Model

Concrete modulus of elasticity (MPa)	3.36×10^4
HSB modulus of elasticity (MPa)	2.84×10^4
Steel modulus of elasticity (MPa)	2.00×10^5
Thermal expansion coefficient of steel ($^{\circ}\text{C}$)	0.00001
Steel bar diameter	upper - H16 lower - H19
Steel ratio (%)	0.8
Temperature drop ($^{\circ}\text{C}$)	20
Vertical temperature gradient ($^{\circ}\text{C}/\text{cm}$)	0.6

래브의 대칭면에서는 횡방향 변위를 구속하였다. 콘크리트 슬래브에는 침목이 놓여있으나, 침목의 존재 여부는 슬래브의 응력에 거의 영향을 미치지 않는다는 이전의 연구 결과에 따라 콘크리트 슬래브에서 침목이 놓이는 위치는 침목의 크기에 맞게 파악되어 있는 것으로 모델링하였다(Kim *et al.*, 2012). 이러한 해석 모형에 대한 개념을 Fig. 4에 나타내었다.

구조해석에 사용된 기본 입력값은 Table 1과 같다.

3. 구조해석

3.1 해석 조건

Rheda2000의 철근 배근은 Fig. 2와 같이 상부철근의 경우 H16 철근으로 측면부 4개씩 총 8개와 중앙부 3개로 구성되어 있으며, 하부철근의 경우 H19철근으로 14개의 철근으로 배근되어 있다. 철근 배근 차이에 따른 환경하중에 대한 응력 분포를 분석하기 위하여 상부 철근을 측면부와 중앙부의 철근에 1개의 철근을 가감하였으며 하부 철근은 슬래브의 철근비가 0.8%로 동일할 수 있도록 맞추어 개수를 산정하였다. 이에 따른 철근 배근 개수를 Table 2에 나타내었다.

CRCT에 작용하는 환경하중은 대표적으로 구분할 수 있는 네 가지의 경우를 고려하였다. 이는 슬래브의 중앙부가 위로 솟는 모양으로 휘게 되는 꺾다운 현상을 야기하는 선형온도경사, 슬래브의 중앙부가 아래로 내려앉는 모양으로 휘게 되는 꺾업 현상을 야기하는 선형온도경사, 슬래브의 온도를 전체적으로 감소시키는 온도하강, 그리고 온도하강과 꺾업을 야기하는 선형온도경사가 함께 작용하는 경우이다. 선형온도경사는 $0.6^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 를 적용하였고 온도하강은 -20°C 를 적용하였다. 이러한 환경하중을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 y축

Table 2. Steel Bar Arrangements

	Location	Type	Number of steel	
①	Upper	H16	Side/Center/Side	8EA
			3/2/3	
	Lower	H19	16EA	
②	Upper	H16	Side/Center/Side	11EA
			4/3/4	
	Lower	H19	14EA	
③	Upper	H16	Side/Center/Side	14EA
			5/4/5	
	Lower	H19	12EA

Fig. 5. Environmental Loading

-0.3 m~0.0 m 구간은 HSB층의 온도이며 일반적으로 슬래브 깊이가 깊어질수록 온도변화가 크지 않기 때문에 HSB층의 온도는 일정한 값을 적용하였다. 그림에서 y축 0.0 m~0.24 m 구간은 해석에 사용된 CRCT 층의 온도를 나타내었다.

3.2 결업에 의한 영향

Fig. 6은 결업 시 발생하는 종방향 응력을 나타낸 것이다. 결업 시 슬래브 상부의 온도가 슬래브 하부의 온도보다 낮기 때문에 슬래브 중앙부가 아래로 볼록한 형태가 된다. 응력분포를 살펴보면 대체적으로 HSB 층의 경우 CRCT 층에 비해 큰 응력이 발생하지 않는 것을 알 수 있으며, CRCT 슬래브의 경우 침목과 침목 사이 그리고 철근과의 경계부에서 인장응력이 크게 발생함을 알 수 있다.

Fig. 8(a)는 결업 시 철근 배근에 따른 콘크리트 응력을 Fig. 7의 1번 방향을 따라 나타낸 것으로 전체적으로 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 결업 시의 경우 슬래

Fig. 6. Longitudinal Stress Distribution with Curl Up

Fig. 7. Analysis Directions

Fig. 8. Longitudinal Stresses Depending on Steel Bar Arrangement with Curl Up

브 상부는 슬래브 하부보다 낮은 온도가 적용되어 수축되어야 하지만 철근이 콘크리트의 수축을 억제하기 때문에 슬래브 상부에는 인장응력이 발생하게 된다. 또한 같은 원리로 슬래브 하부에는 압축응력이 발생하게 된다.

슬래브 상부의 중앙에서의 응력은 슬래브의 내측으로 도달

Fig. 9. Crack Widths Depending on Steel Bar Arrangement with Curl Up

할수록 응력이 크게 발생함을 알 수 있으며 침목 경계에서 응력 집중이 발생함을 알 수 있다. 상부에 14개(5/4/5)의 철근이 배근될 경우 최대 3.48 MPa의 인장응력이 발생하는 것으로 나타났으며 11개(4/3/4)의 경우 최대 3.38 MPa, 8개(3/2/3)의 경우 최대 3.29 MPa의 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 슬래브 상부에 더 많은 철근이 배근될수록 인장응력이 증가하며 이는 더 많은 균열이 발생할 수 있음을 의미한다.

Fig. 8(b)는 Fig. 7의 2번 방향을 따라 응력을 나타낸 것으로 전체적인 응력분포는 슬래브 상부 중앙에서의 응력과 비슷한 분포를 나타내고 있다. 최대응력의 경우 철근개수가 많은 순부터 3.04 MPa, 2.95 MPa, 2.84 MPa으로 나타나 최대응력은 슬래브 중앙부에서 보다는 작은 인장응력이 발생함을 알 수 있다.

Fig. 8(c)는 슬래브 중앙의 하부를 따라 응력을 나타낸 것으로 전체적으로 압축응력을 받고 있음을 알 수 있다. 상부 철근의 개수가 가장 적은 8개(3/2/3) 배근된 모델이 2.21 MPa의 가장 큰 압축응력이 발생하며 상부철근 개수가 많아질수록 2.17 MPa, 2.12 MPa으로 나타났다. 본 해석에서는 상부 철근의 개수가 적게 배근된 경우 하부철근의 개수를 늘려 전체적인 철근비(0.8%)를 맞추었기 때문에 상부철근이 적게 배근된 모델에서 슬래브 하부에서는 더 큰 압축응력이 발생한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 7의 3번 방향을 따라 균열폭을 나타낸 것으로 상부철근이 많을수록 균열폭은 작아짐을 알 수 있다. 이는 철근이 많이 배근될수록 벌어지려는 균열폭을 철근이 억제하려는 힘이 더욱 커지기 때문이다. 따라서 상부철근이 많을수록 콘크리트의 인장응력은 크게 발생되어 더 많은 균열이 발생할 수 있으나 균열폭은 더 작아진다는 것을 알 수 있다.

3.3 켈다운에 의한 영향

Fig. 10은 켈다운 시 모델에 발생하는 종방향 응력을 나타낸 것이다. 켈다운 시 슬래브 상부의 온도가 슬래브 하부의 온도보다 높기 때문에 슬래브 중앙부가 위로 볼록한 형태가 된다. 응력분포를 살펴보면 대체적으로 HSB층의 경우 큰 응력이 발생하지 않는 것을 알 수 있으며, CRCT 슬래브의 경

Fig. 10. Longitudinal Stress Distribution with Curl Down

Fig. 11. Longitudinal Stresses Depending on Steel Bar Arrangement with Curl Down

우 침목과 침목 사이 그리고 철근과의 경계부에서 큰 응력이 발생함을 알 수 있다.

Fig. 11(a)는 켤다운 시 철근 배근에 따른 콘크리트 응력을 Fig. 7의 1번 방향을 따라 나타낸 것으로 켤업시의 응력과 반대의 추세를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 켤다운 시는 슬래브 상부는 슬래브 하부보다 온도가 높아지므로 슬래브

Fig. 12. Crack Widths Depending on Steel Bar Arrangement with Curl Down

상부가 팽창되어야 하지만 철근에 의해 팽창이 억제되어 압축응력이 발생하게 된다. 상부에 14개(5/4/5)의 철근이 배근될 경우 최대 3.20 MPa의 압축응력이 발생하는 것으로 나타났다. 11개(4/3/4)의 경우 최대 3.11 MPa, 8개(3/2/3)의 경우 최대 3.01 MPa의 압축응력이 발생하는 것으로 나타났다.

Fig. 11(b)는 Fig. 7의 2번 방향을 따라 나타낸 것으로 전체적인 응력분포는 슬래브 상부 중앙에서의 응력과 비슷한 분포를 나타내고 있다. 최대 압축응력의 경우 철근개수가 많은 순부터 3.47 MPa, 3.41 MPa, 3.36 MPa로 나타나 최대 응력은 슬래브 중앙부 보다 큰 압축응력이 발생함을 알 수 있다.

Fig. 11(c)는 슬래브 하부의 중앙부를 따라 응력을 나타낸 것으로 켤다운 시에는 슬래브 하부에 인장응력이 발생한다. 상부철근의 개수가 가장 적은 8개(3/2/3) 배근된 모델이 2.05 MPa의 가장 큰 인장응력이 발생하며 상부철근 개수가 많아질수록 2.02 MPa, 1.96 MPa로 나타났다. 상부철근의 개수가 적음은 하부철근의 개수가 많아짐을 의미하므로 결국 철근 개수가 많아지면 그 위치에서의 콘크리트의 응력은 커지는 것을 알 수 있다.

켤다운만 작용할 경우 슬래브 상부의 균열은 닫히게 되어 균열폭이 0이 되기 때문에 켤다운 시의 균열폭은 Fig. 7의 3번 방향의 하부를 따라 분석하여 Fig. 12에 나타내었다. 상부철근이 많을수록 균열폭이 커짐을 알 수 있다. 즉 슬래브 하부의 균열은 하부철근의 개수가 많을수록 균열폭이 작게 발생함을 알 수 있다.

3.4 온도하강에 의한 영향

Fig. 13은 온도하강 시 모델에 발생하는 종방향 응력 분포를 나타낸 것이다. 슬래브의 온도가 낮아지기 때문에 슬래브는 수축하려 하지만 철근이 이러한 수축을 억제하기 때문에 슬래브 전체에 인장응력이 발생하게 된다.

Fig. 14(a)는 온도하강 시 철근 배근에 따른 콘크리트 응력을 Fig. 7의 1번 방향을 따라 나타낸 것으로 전체적으로 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 슬래브 상부의 응력 분포는 켤업 시의 응력분포와 유사한 것을 알 수 있으나, 켤업 시에는 슬래브의 시중점부에서의 응력이 중앙부에서의 응력보다 확연하게 작지만 온도하강 시에는 슬래브의 시중점부와

Fig. 13. Longitudinal Stress Distribution with Temperature Drop

(a) along centerline (top)

(b) along edge (top)

(c) along centerline (bottom)

Fig. 14. Longitudinal Stresses Depending on Steel Bar Arrangement with Temperature Drop

중앙부에서의 응력이 서로 유사한 것을 알 수 있다. 철근의 개수가 작을 때에는 슬래브 중앙부에 최대 응력이 발생하며 철근의 개수가 많을 경우 균열과 가까운 침목부에 최대 응력이 발생한다. 상부에 14개(5/4/5)의 철근이 배근 될 경우 최대 7.88 MPa의 응력이 발생하는 것으로 나타났으며 11개(4/

Fig. 15. Crack Widths Depending on Steel Bar Arrangement with Temperature Drop

3/4)의 경우 최대 7.31 MPa, 8개(3/2/3)의 경우 최대 7.20 MPa의 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다.

Fig. 14(b)는 Fig. 7의 2번 방향을 따라 종방향 응력을 나타낸 것으로 이 경우에는 철근개수가 적더라도 균열부에 인접한 침목부에서 최대 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있으며, 최대응력은 철근개수가 많은 순부터 8.54 MPa, 7.91 MPa, 7.13 MPa으로 나타났다.

Fig. 14(c)는 슬래브 하부의 중앙부를 따라 응력을 나타낸 것으로 전체적으로 인장응력을 받고 있으며 상부철근의 개수가 가장 적은 8개(3/2/3) 배근된 모델이 5.69 MPa의 가장 큰 인장응력이 발생하며 상부철근 개수가 많아질수록 5.18 MPa, 4.95 MPa으로 나타났다. 따라서 상부철근의 개수가 적게 배근된 경우 하부철근의 개수가 늘어나므로 이때의 슬래브 하부의 인장응력이 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 15는 온도하강 시 균열폭을 Fig. 7의 3번 방향을 따라 나타낸 것으로 이전의 경우에서와 같이 상부철근이 많을수록 균열폭은 작아짐을 알 수 있다.

3.5 컬업과 온도하강에 의한 영향

Fig. 16은 컬업과 온도하강을 동시에 적용한 상태에서의 종방향 응력분포를 나타낸 것이다. 부분적으로 인장응력이 집중되어 크게 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 17(a)는 컬업과 온도하강 시 철근 배근에 따른 콘크리트 응력을 Fig. 7의 1번 방향을 따라 나타낸 것으로 컬업과 온도하강 모두 슬래브 상부에는 인장응력을 발생시키기 때문에 전체적으로 다른 해석에 비해 응력이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 철근 개수에 따른 응력의 차이는 슬래브의 중심

Fig. 16. Longitudinal Stress Distribution with Curl Up and Temperature Drop

(a) along centerline (top)

(b) along edge (top)

(c) along centerline (bottom)

Fig. 17. Longitudinal Stresses Depending on Steel Bar Arrangement with Curl Up and Temperature Drop

부에서는 차이가 크게 발생하지 않지만 균열부에 가까울수록 철근 개수에 따른 응력의 차이가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 상부에 14개(5/4/5)의 철근이 배근 될 경우 최대 10.98 MPa의 응력이 발생하는 것으로 나타났으며 11개(4/3/4)의 경우 최대 10.79 MPa, 8개(3/2/3)의 경우 최대 10.484 MPa의 인장응력이 발생하는 것으로 나타나 최대응력은 철근 개수가 많을수록 미소하게 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 17(b)는 Fig. 7의 2번 방향을 따라 나타낸 것으로 균열부에서의 거리에 상관없이 유사한 유형의 응력분포를 보이며, 최대응력의 경우 철근개수가 많은 순부터 11.37 MPa, 10.54 MPa, 9.65 MPa로 나타나 상부철근의 개수가 많을수록 최대 인장응력이 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 17(c)는 슬래브 중앙 하부를 따라 응력을 나타낸 것으로 컬업 시에는 슬래브 하부에는 압축응력이 발생하지만 온

Fig. 18. Crack Widths Depending on Steel Bar Arrangement with Curl Up and Temperature Drop

도하강에 의해 발생하는 인장응력이 더 크게 발생하여 슬래브 하부에 전체적으로 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 상부철근의 개수가 가장 적은 8개(3/2/3) 배근된 모델이 4.32 MPa의 가장 큰 인장응력이 발생하며 상부철근 개수가 많아질수록 3.84 MPa, 3.44 MPa로 나타났다.

Fig. 18은 컬업과 온도하강 시 Fig. 7의 3번 방향을 따라 균열폭을 나타낸 것으로 상부철근이 많을수록 균열폭은 작아짐을 알 수 있다. 상부철근이 8개 배근된 경우 최대 균열폭은 0.44 mm로 가장 크게 나타났으며, 11개의 경우 0.39 mm, 14개의 경우 0.35 mm로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 연속철근 콘크리트 궤도가 환경하중을 받을 경우에 철근 배치에 따라 응력 분포가 어떻게 변화하는지를 분석하기 위하여 유한요소해석 모델을 구성하였으며, 이를 이용하여 환경하중의 대표적인 형태인 슬래브 깊이에 따른 온도변화된 수직온도경사와 슬래브에 전체적으로 온도가 감소하는 온도하강이 작용할 경우에 응력을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

철근의 개수가 많이 배근될수록 컬링 및 온도하강에 대하여 콘크리트 슬래브에 더 큰 인장응력과 압축응력이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 컬링 및 온도하강에 대하여 철근의 개수가 많아질수록 철근이 슬래브의 변위에 가하는 구속력이 더욱 증가하기 때문이다. 따라서 철근비가 동일할 경우에 슬래브 상부에 배치된 철근의 개수가 많으면 슬래브 상부에서의 응력이 증가하게 되며 하부에서의 응력은 감소하게 된다.

철근비가 동일할 경우에 균열폭은 철근 배치에 따라 영향을 받게 되며 슬래브 상부에 철근이 많이 배근될수록 균열폭이 감소하게 된다.

컬링 현상 분석 결과 컬업 시가 켜다운 시 보다 더 큰 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다. 만약 침목부가 없으면 컬업과 켜다운 시의 응력이 비슷하게 발생 할 것으로 판단되지만 침목으로 인해 슬래브 상부의 단면적 감소 및 응력집중으로 컬업 시 슬래브 상부의 인장응력이 켜다운 시 슬래브 하부의 인장응력에 비해 크게 발생하게 된다.

컬링 현상의 경우 슬래브 내측이 슬래브의 균열부보다 응력이 크게 발생하지만 온도하강의 경우 슬래브 내측보다 슬래브의 균열부에서 더 큰 응력이 발생하게 된다.

환경하중과 철근배근에 따라 CRCT의 중앙부와 측면부에 발생하는 응력이 달라진다. 따라서 CRCT 설계 시 적절한 철근배근을 통해 중앙부와 측면부에 응력이 균등하게 도입될 수 있도록 최적 설계방안을 수립해야 할 것으로 판단된다.

CRCT는 침목과 슬래브를 종방향으로 연결하는 철근이 사용되지 않기 때문에 침목과 슬래브가 분리되어 균열폭이 과도하게 커질 수 있다. 따라서 침목과 CRCT의 분리 방지를 위한 방안 혹은 분리 시 균열폭을 적절하게 제어 할 수 있는 방안 등이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부에서 지원한 “400 km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발” 과제에 의해 수행되었습니다.

References

- ABAQUS (2007) User's Manual Version 6.7, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, R.I.
- Eisenmann, J. and Leykauf, G. (2000) Feste fahrbahn für schienenbahnen, Beton-Kalender-2000, pp. 291-326.
- Kim, J.I. Cho, Y.K. Kim, J.I. and Kim, S.M. (2012) Behavior of continuously reinforced concrete track subjected to temperature changes, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 4, pp. 39-44.
- Kim, S.M. Cho, B.H. and Kwon, S.M. (2006) Effect of longitudinal steel ratio on behavior of CRCP system, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 18, No. 1, pp. 58-61.
- Kim, S.M. Won, M.C. and McCullough, B.F. (1998) Numerical modeling of continuously reinforced concrete pavement subjected to environmental loads, *Transportation Research Record*, No. 1629, pp. 76-89.
- Kim, S.M. Won, M.C. and McCullough, B.F. (2003) Mechanistic modeling of continuously reinforced concrete pavement, *ACI Structural Journal*, Vol. 100, No. 5, pp. 674-682.
- Korea rail network authority (2010) Standard design of Honam KTX between Iksan and Kwangju Songjeong.

© Received September 30, 2013

© Revised October 2, 2013

© Accepted October 15, 2013