

# 연속철근 콘크리트 궤도의 균열 진전 분석을 위한 구조해석 모델 개발

## Development of Numerical Analysis Model to Analyze Crack Propagation of Continuously Reinforced Concrete Track

조영교\*, 김성민\*†, 박희범\*, 이영훈\*

Young Kyo Cho\*, Seong-Min Kim\*†, Hee Beom Park\*, Young Hoon Lee\*

**Abstract** In this study, three-dimensional analysis models of continuously reinforced concrete track (CRCT) were developed to evaluate behaviors of CRCT and to understand crack occurrence mechanism. Using the developed models, additional analyses will be conducted to analyze the crack propagation, finally, to define CRCT failure mechanism under environmental and train loads.

**Keywords** : Continuously Reinforced Concrete Track, Environmental Load, Crack Propagation, Numerical Analysis Model

**초 록** 본 연구에서는 연속철근 콘크리트 궤도(CRCT)의 거동을 명확히 파악하며, CRCT 슬래브에 발생하는 균열 발생 메커니즘 이해를 도모하기 위하여 3차원 CRCT 해석모델을 개발하였으며, 향후 개발된 모델을 이용하여 CRCT 균열 진전 분석을 수행하고 궁극적으로 열차하중과 환경하중에 의한 CRCT 파괴메커니즘의 정립 및 검증에 활용하고자 한다.

**주요어** : 연속철근 콘크리트 궤도, 환경하중, 균열진전, 수치해석모델

### 1. 서 론

자갈궤도로 시공된 경부고속철도 1단계 구간은 운영 과정에서 여러 문제점이 발생하였다. 열차의 고속 주행 시 자갈의 비산 현상으로 유발되는 차륜과 레일에 손상이 발생하였으며, 빈번한 보수작업에 따른 과도한 유지보수비가 소요되었다. 이러한 자갈궤도의 근본적인 문제점을 개선하기 위해 2010년 11월 개통된 경부고속철도 2단계 구간은 콘크리트 궤도 형식 중 연속철근 콘크리트 궤도(CRCT:Continuously Reinforced Concrete Track)를 도입하여 시공되었다. CRCT는 콘크리트 궤도임에도 별도의 줄눈을 설치하지 않고 연속적으로 설치되며, 자연적으로 발생하는 횡방향 균열을 허용하는 방식의 궤도시스템이다.

본 연구에서는 이러한 CRCT의 거동을 명확히 파악하며, CRCT 슬래브에 발생하는 균열 발생 메커니즘 이해를 도모하기 위하여 3차원 CRCT 해석모델을 개발하였으며, 향후 개발된 모델을 이용하여 CRCT 균열 진전 분석을 수행하도록 하며 궁극적으로 CRCT 파괴메커니즘의 정립 및 검증에 활용하고자 한다.

† 교신저자: 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과(seongmin@khu.ac.kr)

\* 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과

## 2. 구조해석 모델 개발

CRCT 시스템은 성토 지반 위에 HSB, 슬래브, Bi-Block 침목, 종·횡방향 철근, 레일로 구성된 다. 실제 구조물은 레일의 체결장치, 신호장비, 분기기 등 다양한 구성 요소가 존재하지만 본 연구의 CRCT 해석모델은 환경하중 작용 시 균열의 발생 메커니즘과 거동 분석에 필요한 HSB, 슬래브, Bi-Block 침목, 종·횡방향 철근 및 레일을 대상으로 거동을 분석하였다. CRCT 시스템의 HSB는 다짐을 마친 성토지반 위에 높이 0.3m, 횡방향 폭 3.8m로 시공되며, CRCT와는 달리 일정간격으로 수축줄눈이 설치된다. 수축줄눈의 설치 간격은 5.2m이며, 이는 침목간의 간격인 0.65m의 8배를 나타낸다. CRCT 해석모델의 HSB는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 종·횡방향의 대칭성을 고려하여 횡방향 길이 1.9m, 종방향 길이 5.2m로 구성하였으며 고체 요소(Solid Element)를 적용하여 모델링하였다.

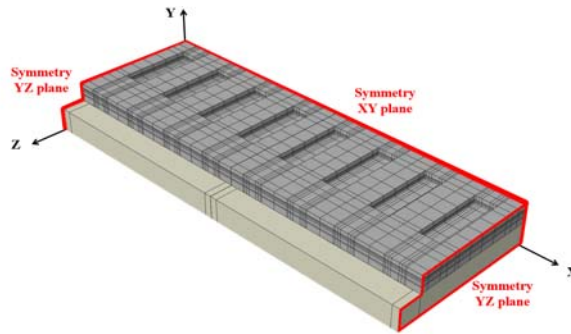


Fig. 1 Slab and HSB of CRCT Model

CRCT에 사용되는 Bi-Block 침목은 격자 구조의 트러스 철근이 하부에 매립된 형태로 공장에서 사전 제작되며 그 형상 및 제원은 Fig. 2에 나타내었다. 침목의 트러스 철근은 현장 타설 콘크리트로 형성되는 슬래브에 침목을 완전 구속시키는 역할을 하며 상부철근 직경 12mm, 하부 철근 직경 10mm, 래티스(Lattice) 구조 철근 직경 7mm의 세 종류에 철근으로 구성되어 있다. CRCT 해석모델의 Bi-Block 침목은 횡방향 대칭성을 고려하여 Fig. 3과 같이 폭 0.28m, 너비 0.9m, 두께 0.12m의 공칭크기로 구성하였고 고체 요소를 적용하여 모델링 하였다. 또한 상·하부 철근은 폭 1.25m, 래티스 구조 철근은 상·하부의 간격 0.106m 사이에 52° 로 구성하였으며 선 요소(Wire Element)를 적용하여 격자 구조를 모델링 하였다

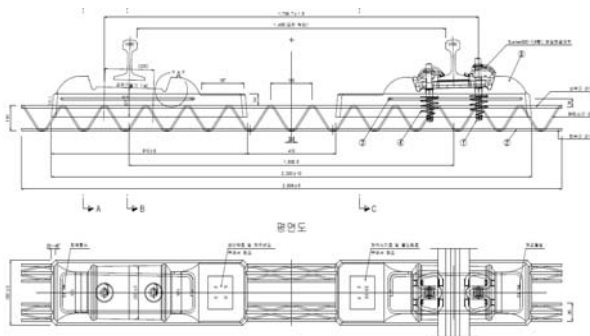


Fig. 2 Drawing of sleeper

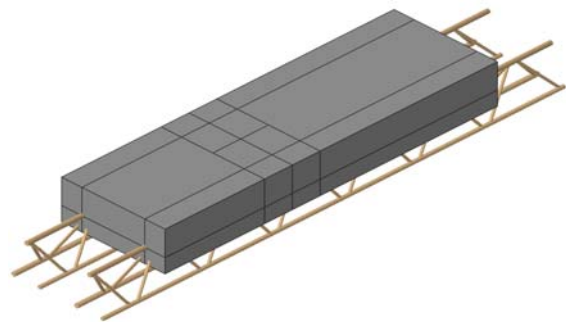


Fig. 3 Modeling of Bi-Block sleeper

CRCT의 종·횡방향 철근은 미리 시공된 HSB 위에 Bi-Block 침목과 조립되며 종방향 철근은 직경 22mm, 횡방향 철근은 직경 16mm의 이형철근이 사용된다. CRCT에 시공되는 철근의 배치도를 Fig. 4에 나타내었다. 슬래브의 양단에 배치되는 종방향 철근의 경우 슬래브의 중간 높이인 120mm보다 상향으로 배근되며 그 외 종방향 철근의 경우 Bi-Block 침목의 격자 구조 사이에 하나씩 배근된다. 또한 횡방향 철근은 침목과 침목 사이의 중간 위치에 0.65m 간격으로 배근된다. 슬래브를 구성하는 콘크리트 타설 전 철근과 철근 사이 조립에 의한 구속력은 콘크리트에 매립된 철근의 구속력에 비해 매우 작으므로 CRCT 해석모델 구성 시 철근과 철근 사이의 구속력은 고려하지 않았다. CRCT 해석모델에 종·횡방향 철근의 길이는 각각 5.2m와 1.55m로 구성하였고 선 요소를 활용하여 모델링 하였다. CRCT 해석모델의 Bi-Block 침목과 종·횡방향 철근의 결합된 해석모델을 Fig. 5에 나타내었다.

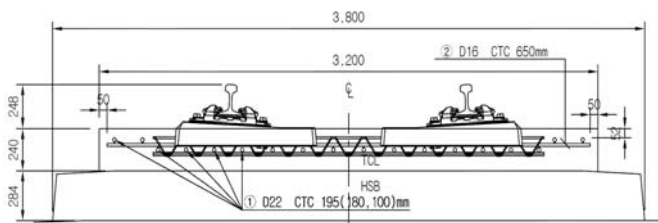


Fig. 4 Steel arrangement of CRCT

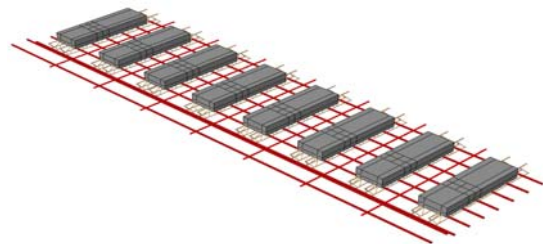


Fig. 5 Modeling of steel bars

경부고속철도 2단계 구간에 사용된 레일의 규격은 UIC 60이며 Fig. 6 에 UIC 60의 단면 형상을 나타내었다. Fig. 7 과 같이 CRCT 해석모델의 레일 단면은 UIC 60의 규격에 따라 고체 요소를 활용하여 모델링하였으며 종방향 길이 5.2 m로 구성하였다. CRCT 슬래브는 환경하중에 의한 결업, 켈다운 현상과 건조수축, 크리프 등 재료적 특성에 의해 수축·팽창 거동이 나타나며 응력이 발생한다. 슬래브에 균열이 발생하면 균열부의 응력이 철근으로 집중되는 현상이 발생하게 되며 이러한 응력집중현상의 효과적인 구현을 위해 본 연구의 해석모델은 철근과 슬래브 간의 매립(Embedded region)방식을 적용하였다. 또한 수렴해의 정확도를 향상시키기 위해서 선 요소로 모델링한 종·횡방향 철근을 고체 요소로 모델링한 슬래브 및 침목의 절점에 위치시키도록 Fig. 8과 같이 슬래브와 침목을 정밀하게 분할하였다(Beam Profiles Scale Factor: 2). 구성요소가 모두 결합된 CRCT 해석모델을 Fig. 9에 나타내었다.



Fig. 6 UIC 60



Fig. 7 Modeling of rail

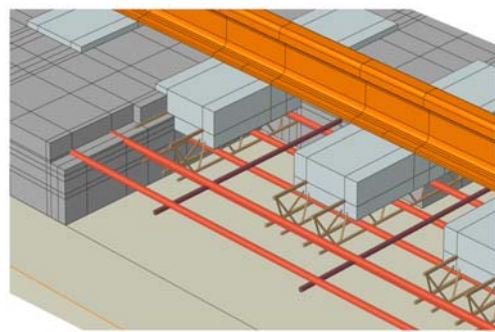


Fig. 8 Detail of CRCT model

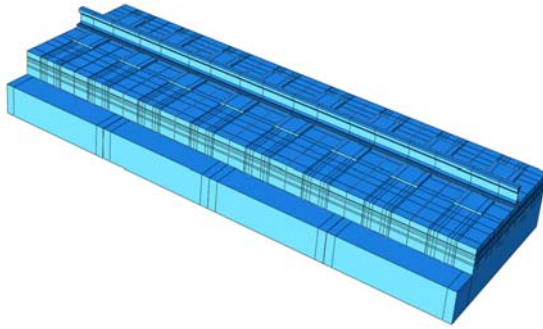


Fig. 9 CRCT model

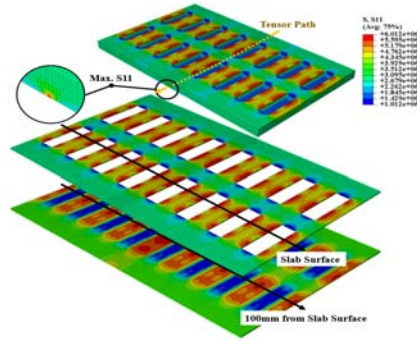


Fig. 10 Stresses distribution

개발된 CRCT 해석 모델을 사용하여 환경하중에 대한 해석을 수행하였다. 적용된 하중은 슬래브는 수화 반응에 의한 중간 깊이의 온도하강 8℃를 적용하였으며 HSB는 일평균 HSB 온도 변화와 슬래브의 수화 반응을 고려하여 온도하강 10℃를 적용하였다. Fig. 10은 CRCT에 작용하는 종방향 응력 분포를 나타내었다. HSB 수축줄눈 위치에 맞닿은 슬래브 하부에 응력집중현상이 발생하며, 슬래브 표면은 침목과의 경계부에 인장응력의 집중현상이 발생하였다.

Fig. 10의 Data Path를 따라 슬래브 표면 침목부에 발생하는 인장응력과 슬래브 표면으로부터 100mm 깊이의 침목부의 인장응력 분포를 Fig. 11에 나타내었다. 슬래브 표면 침목부는 침목과 맞닿은 가장자리에 인장강도 5.5MPa을 초과하는 인장응력이 발생한다. 이를 통해 침목과 슬래브의 분리 현상이 표면으로부터 유발된다는 것을 알 수 있다. 매립 침목의 하부 깊이인 100mm 지점의 경우 약 3.7MPa 이하의 인장응력이 발생하며 안정된 상태임을 확인할 수 있다. 매립된 침목의 경우 4MPa 이하의 인장응력이 작용하므로 침목 자체의 균열은 발생하지 않을 것으로 예상된다.

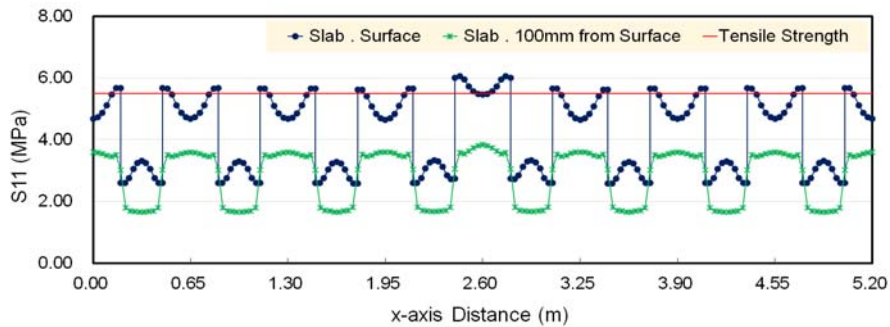


Fig. 11 Stress distribution along longitudinal direction

### 3. 결론

본 연구에서는 CRCT의 거동 및 균열 발생 메커니즘 확립을 위하여 3차원 CRCT 해석모델을 개발하였으며, 본 연구를 통하여 개발된 모델을 이용하여 향후 CRCT 파괴 메커니즘 정립에 활용할 계획이다.

### 감사의 글

이 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(과제번호: 15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었습니다.