

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.6.667>

JCCT 2022-11-82

도시철도 침목플로팅궤도의 침목손상 원인 분석

Cause Analysis for Sleeper Damage of Sleeper Floating Track in Urban Transit

최정열*, 신황성**

Jung-Youl Choi*, Hwang-Sung Shin**

요약 침목플로팅궤도(STEDEF)의 콘크리트침목은 2개의 콘크리트블럭을 타이바로 연결하여 구성된 형태이며 침목방진패드 및 침목상자와 도상 콘크리트층에 매립되어 레일로 전달되는 열차하중을 지지하고 하중을 도상으로 분산시키는 역할을 수행하는 주요 궤도구성품이다. 침목방진패드는 열차의 반복운행에 따른 누적하중 증가, 장기간 사용에 따른 열화로 인해 재료적 성능이 저하되어 다른 궤도구성품의 손상을 유발할 수 있다. 실제 형상과 동일한 3D 모델링으로 운행하중 조건에서 발생하는 침목플로팅궤도구조의 거동을 파악하고, 수치해석을 통해 침목방진패드의 스프링강성 변화가 콘크리트침목의 손상에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 침목방진패드의 좌·우측 스프링강성 증가는 콘크리트침목의 최대 응력 및 인장응력, 변위는 증가하고 레일 직하부 침목의 최대 압축응력은 감소하며, 타이바 접촉부 콘크리트에서 응력집중이 되는 것으로 분석되었다. 이는 현장조사결과와 콘크리트침목 손상유형과도 일치하는 것으로서 침목방진패드의 장기간 사용에 따른 스프링강성 변화는 콘크리트침목의 응력 증가를 초래할 수 있으며, 좌우 침목의 침하량의 차이가 증가되어 콘크리트침목의 손상에 영향을 미칠 수 있음을 해석적으로 입증하였다.

주요어 : 궤도구성품, 손상, 열화, 콘크리트 침목, 유한요소해석

Abstract In this study, the correlation between the damage type and operating conditions of the sleepers was analyzed based on the design data and visual inspection results for the concrete sleepers of the sleeper floating track (STEDEF) that have been in operation for more than 20 years. It appeared in the form of cracks, breakages, and breaks in the concrete at the center and tie bar contact and buried areas. As a result of the numerical analysis, it was analyzed that the change in the left and right spring stiffness of the sleeper resilience pad increases the maximum stress, tensile stress, compressive stress, and displacement of the concrete sleeper, and stress concentration in the concrete at the tie bar contact area. It was proved analytically that the sleeper resilience pad can affect the damage of the concrete sleeper. Therefore, damage of concrete sleepers in the sleeper floating track in urban transit could be caused by changes in spring stiffness of sleeper resilience pads. It was reviewed that preventive maintenance such as improvement and timely replacement of sleeper resilience pads was necessary.

Key words : Track Component, Damage, Deterioration, RC Block, Finite Element Analysis

*정희원, 동양대학교 건설공학과 교수 (제1저자)

**정희원, 서울교통공사 궤도차 팀장 (교신저자)

접수일: 2022년 9월 16일, 수정완료일: 2022년 10월 5일

게재확정일: 2022년 10월 25일

Received: September 16, 2022 / Revised: October 5, 2022

Accepted: October 25, 2022

**Corresponding Author: shs0258@naver.com

Dept. of Track Engineering Office, Seoul Metro, Korea

I. 서 론

국내 도시철도 최초의 콘크리트궤도는 역사내의 청결상태유지를 위하여 1974년 서울시 지하철 1호선 건설 시 시청역을 포함한 7개역 구내에 목단 침목을 현장타설 콘크리트도상 속에 매입하는 형식으로 약 3km를 건설하였다[1-4]. 2호선 건설 시에는 잠실 철교상 및 일부 역구내에 RC단침목과 PC침목을 콘크리트도상에 매립하였으나 열차운행시의 진동과 시공성의 문제로 침목과 접촉된 콘크리트도상 부위가 파손되는 등 문제점이 발견되어 3, 4호선 건설 시에는 정거장 구내에 한하여 다시 목단 침목을 사용한 콘크리트궤도를 채택하였다[1-4]. 서울 2기 지하철 건설 시에는 기존 지하철역 구내에 건설된 직결궤도의 문제점을 보완하여 건설경력, 지하철의 특수조건, 경제성, 유지보수성, 방진성능 등을 고려하여 우리 실정에 유리한 콘크리트 궤도구조로 프랑스의 STEDEF궤도를 채택하였다[1-4]. 현재 운행 중인 도시철도 침목플로팅궤도(STEDEF) 콘크리트침목의 손상은 국부적이지만 지속적으로 발생되고 사용연한 경과에 따라 증가되는 추세에 있다[5-8]. 이는 침목 제작 시 콘크리트의 다짐불량과 재료분리, 구조적인 문제 등도 원인이 되겠지만, 좌우측 콘크리트침목의 하중제하의 불균등에 따른 부등침하, 궤도시공 시 발생할 수 있는 침목하부와 방진재료 사이의 미소한 간극에 의한 부등침하, 직·곡선 구간에서 열차속도와 하중제하 조건의 상이성, 침목방진재료의 특성치 변화에 의한 레일 압력 증가, 침목의 하중 및 변위에 대해서도 충분한 검토가 이루어져야 하겠다[9-11].

본 연구에서는 운용 중인 도시철도 침목플로팅궤도의 콘크리트침목 손상조사, 현황 및 손상유형을 분석하고, 동 궤도구조 운행하중 조건에서 수치해석을 통해 궤도 구성품 중 손상에 가장 취약한 침목방진패드의 스프링 강성의 변화가 콘크리트침목의 손상에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 대상 궤도구조로 1964년 프랑스에서 최초로 개발된 STEDEF 궤도구조로 RC 침목과 침목을 상호 연결하는 철재 타이바(Tie-bar), 레일패드, 침목하면에 침목방진패드, 침목상자 등으로 구성된 침목플로팅 궤도구조이다. RC침목 바닥과 측면에 침목상자를 RC침목과 침목상자 중간에 침목방진패드가 설치되는 구조로 그림 1과 같다.

침목플로팅궤도의 콘크리트침목(RC Twin Block)은

그림 1과 같이 RC침목과 침목을 상호 연결하는 타이바로 구성되어 있으며, 일반 콘크리트 침목과의 특징적인 타이바는 열차주행 시 재하되는 수직 및 수평 하중으로 발생될 수 있는 궤간을 유지하는 역할을 한다.



그림 1. STEDEF 궤도구조 전경

Figure 1. Photographs of STEDEF

II. 콘크리트침목 손상현황 분석

본 연구에서는 침목플로팅궤도(STEDEF)의 콘크리트침목에 대하여 1995년 개통 시부터 2020년 상반기까지 발생한 손상현황을 조사한 결과는 표 1과 같다. 콘크리트침목의 손상유형은 표 1 및 그림 2와 같이 레일 직하부 침목 중앙부 균열, 침목 내측 타이바 접촉부 균열 및 탈락, 타이바 매립부 상부 파손, 타이바 절손 등 인 것으로 조사되었다.

표 1. 콘크리트침목 손상유형

Table 1. Damage type of concrete sleeper

| Components | Damage quantity | Ratio (%) | Damage quantity/km |
|--|-----------------|-----------|--------------------|
| · Rail and concrete sleeper contact surface damage · Tie-bar and concrete sleeper contact surface crack | 586 EA | 79.3 | 1.85 |
| · Tie-bar buried part damage (Rebar exposure) | 73 EA | 9.9 | 0.23 |
| · Tie-bar break | 80 EA | 10.8 | 0.25 |
| Total length of track : 317.5km | 739 EA | 100 | 2.33 |

현장에서 조사된 콘크리트침목의 손상유형은 그림 2와 같이 침목 내측의 타이바 접촉부 균열 및 탈락, 침목 내측의 타이바 매립부 상부 파손(철근노출), 레일 직하부

중앙부 균열, 타이바 절손 등이다. 대부분의 손상은 콘크리트침목을 연결하는 타이바와 접촉부 콘크리트침목에서 주로 발생되며, 가장 취약한 것으로 나타났다.



그림 2. 콘크리트침목 손상 전경
 Figure 2. Photographs of damaged concrete sleepers

III. 수치해석

1. 모델링 및 해석조건

침목플로팅케도(STEDEF) 구조는 침목방진패드와 침목상자가 도상 속에 매립되어 있기 때문에 내부의 케도 구성품에 발생하는 응력 및 변위수준을 현장측정을 통해 파악하기 어려운 구조이다.

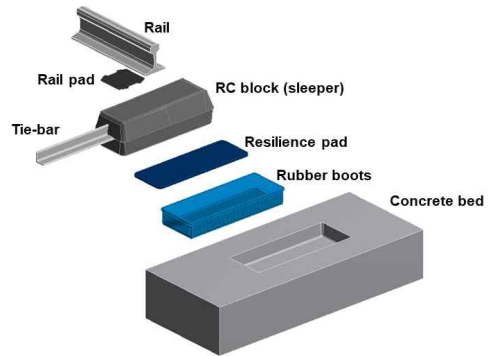
이에 본 연구에서는 실제 형상과 동일한 3D Solid요소 모델링을 통해 운행하중 조건에서 발생하는 침목플로팅 케도구조의 거동을 파악하였다. 또한 수치해석을 통해 침목방진패드의 스프링강성 변화가 콘크리트침목의 응력 및 변위 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 범용구조해석 프로그램인 Ansys workbench Ver. 17.2를 사용하였으며, 재료의 특성치는 표 2와 같다.

본 연구의 수치해석 모델링은 침목플로팅케도의 케도 구성품 중 e-clip을 제외한 레일, 레일패드, 콘크리트침목, 타이바, 침목방진패드, 침목상자 및 도상콘크리트를 3D Solid요소로 모델링을 수행하였다.

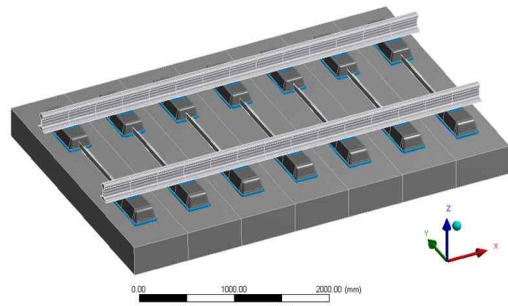
수치해석대상인 침목플로팅케도를 구성하는 케도 구성품은 그림 3(a)와 같고 수치해석 모델링은 그림 3(b)와 같다.

표 2. 침목플로팅케도(STEDEF) 케도구성품 제원
 Table 2. Properties of STEDEF track components

| Component | Mechanical properties |
|----------------|---|
| RC Block | <ul style="list-style-type: none"> Elastic modulus: $E_c=3.5 \times 10^4 \text{MPa}$ $\epsilon_{tc}=35 \text{MPa}$ Poisson's ratio= 0.18 |
| Tie-bar | <ul style="list-style-type: none"> Elastic modulus $E_s= 2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ Yield strength $\sigma_y=300 \text{MPa}$ |
| Steel | <ul style="list-style-type: none"> Elastic modulus $E_s=2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ Yield strength $\sigma_y=300 \text{MPa}$ Poisson's ratio=0.3 |
| Resilience pad | <ul style="list-style-type: none"> Spring stiffness: 12.5kN/mm Elastic modulus=0.98MPa Poisson's ratio: 0.49 Thickness: 230×660×12mm |
| Rubber boots | <ul style="list-style-type: none"> Elastic modulus=21.4MPa Spring stiffness= 650kN/mm Size=5mm×6mm Area=260×690mm |
| Rail pad | <ul style="list-style-type: none"> Spring stiffness: 400kN/mm Elastic modulus: 72.6MPa Area: 190×193mm Thickness: 5mm |
| Rail | <ul style="list-style-type: none"> Tensile strength: 800MPa Elastic modulus: $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ Geometrical moment of inertial: $3,090 \text{cm}^4$ Area: 77.5cm^2 |



(a) Sleeper floating track components



(b) Sleeper floating track Full model (3D view)

그림 3. 수치해석 모델링
 Figure 3. Numerical analysis modeling

본 수치해석에 적용한 하중조건은 정적 윤중 80kN과 정적 윤중의 60%에 해당하는 정적 횡압 48kN을 양측 레일에 동일하게 적용하였다. 또한 경계조건은 경우 도상 하부면을 고정지점으로 적용하였다. 수치해석 하중조건 및 경계조건은 그림 4와 같다.

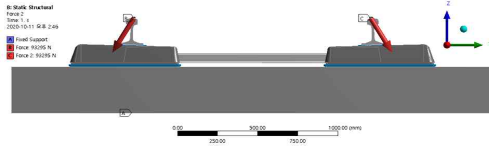


그림 4. 하중조건 및 경계조건
Figure 4. load condition and Boundary condition

본 연구에서는 침목방진패드의 기능상실 정도가 콘크리트침목에 미치는 손상영향을 분석하기 위해 좌측레일과 우측레일 침목방진패드의 스프링강성 변화율을 변수로 설정하여 수치해석을 수행하였다. 또한 침목방진패드는 3D Solid요소로 적용되어 침목방진패드 스프링강성을 탄성계수로 환산하여 수치해석에 적용하였으며 해석조건 설정은 표 3과 같다.

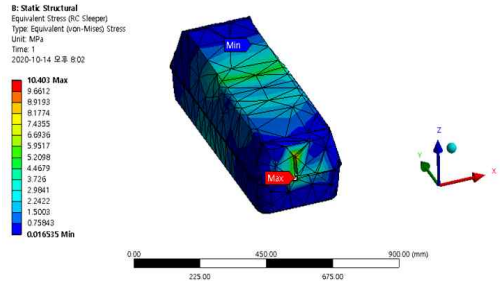
표 3. 해석조건 설정
Table 3. Analysis condition setting

| Component | Left rail | Right rRail | Simulated condition |
|-----------|--|--|--|
| Case 1 | General | General | General |
| Case 2 | Resilience pad spring stiffness 50% increase | General | Rail support point displacement decrease (deteriorate) |
| Case 3 | Resilience pad spring stiffness 50% decrease | General | Double resilience section |
| Case 4 | Resilience pad spring stiffness 90% decrease | General | Hanging sleeper |
| Case 5 | Resilience pad spring stiffness 90% decrease | Resilience pad spring stiffness 90% decrease | Hanging sleeper |

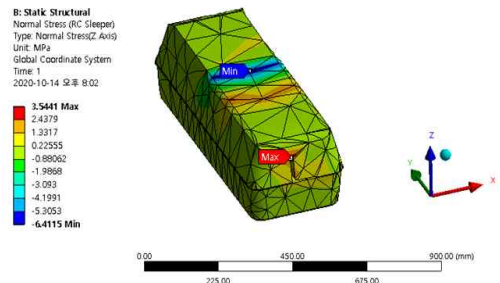
2. 해석결과

본 연구에서 수행한 수치해석결과 예시는 그림 5와 같다. 선행연구에 따르면 도시철도 침목플로팅궤도의 침목방진패드 교체 후 콘크리트침목의 수직변위 측정결과는 약 1.92mm로 측정되었다[9]. 본 연구에서는 선행연구에서

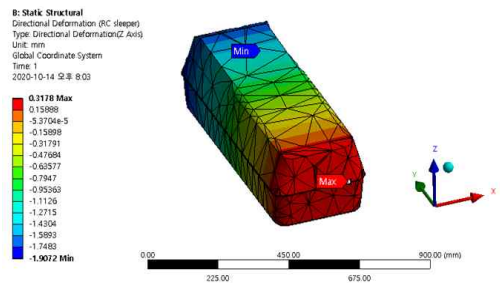
제시된 측정결과를 인용(참조)하여 수치해석 모델의 적정성을 입증하였다.



(a) Stress analysis result (Equivalent)



(b) Stress analysis result (Normal, z axis)



(c) Displacement analysis result (Directional, z axis)

그림 5. 콘크리트침목 해석결과 (Case 1)
Figure 5. Analyzed result of concrete sleeper (Case 1)

본 연구에서는 선행연구에서의 현장측정과 동일한 조건에서 수치해석을 수행한 결과 그림 5(c)와 같이 침목의 최대변위는 약 1.91mm로 분석되었다. 따라서 침목변위에 대한 현장측정결과와 해석결과가 유사한 것으로 나타나 수치모델이 적절한 것으로 분석되었다.

IV. 침목플로팅궤도 침목 손상영향 분석

본 연구에서는 좌측레일과 우측레일의 침목방진패드 스프링강성 조건에 따른 콘크리트침목의 발생하는 응력

및 변위를 분석하였으며 수치해석을 토대로 침목방진패드의 스프링강성 수준 변화가 콘크리트침목 손상영향과 콘크리트침목 손상유형을 분석하였다.

1. 침목 응력 및 변위 분석

그림 6과 같이 침목방진패드 기능상실 정도에 따른 콘크리트침목의 최대 응력 분석결과, 좌측 콘크리트침목 Case 2의 경우 응력 변화율이 미소하나 좌측 침목방진패드 스프링강성이 50% 감소된 Case 3에서 정상조건에 비해 약 2.71배 증가하는 것으로 분석되었다. 좌측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 4에서 응력증가율이 큰 것으로 나타났으며 정상조건에 비해 약 9.03배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5는 Case 4의 조건보다 최대 응력이 감소하는 것으로 분석되었다.

우측 콘크리트침목의 경우 Case 2와 Case 3은 정상조건에 비해 응력 변화율이 미소하나 좌측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 4에서 정상조건에 비해 약 3.49배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 좌우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5에서 발생하는 응력이 큰 것으로 나타났으며 정상조건에 비해 약 5.11배 증가하는 것으로 분석되었다.

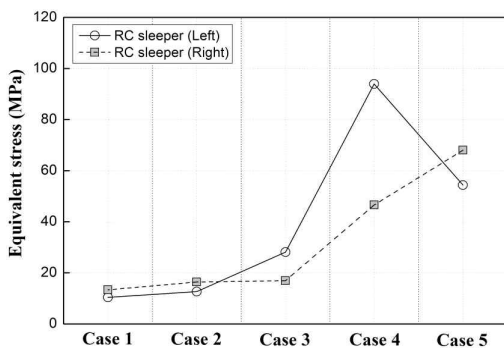


그림 6. 콘크리트침목 최대 응력 분석결과
 Figure 6. Results of max. stress of concrete sleeper

그림 7과 같이 침목방진패드 기능상실 정도에 따른 콘크리트침목의 최대 인장응력 분석결과, 좌측 콘크리트침목은 Case 2의 경우 인장응력 증가율이 미소하나 좌측 침목방진패드 스프링강성이 50% 감소된 Case 3에서 정상조건에 비해 인장응력이 약 2.23배 증가하는

것으로 분석되었다.

좌측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 4에서 인장응력 증가율이 큰 것으로 나타났으며 정상조건에 비해 약 7.65배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5는 Case 4의 조건보다 최대 인장응력이 감소하는 것으로 분석되었다.

우측 콘크리트침목의 경우 Case 2는 정상조건에 비해 인장응력 변화율이 미소한 것으로 나타났으나 좌측 침목방진패드 스프링강성이 50% 감소된 Case 3은 정상조건에 비해 약 1.66배 증가하는 것으로 분석되었다.

좌측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 4에서 인장응력 증가율이 큰 것으로 나타났으며 정상조건에 비해 약 10.65배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5는 Case 4의 조건보다 최대 인장응력이 감소하는 것으로 분석되었다.

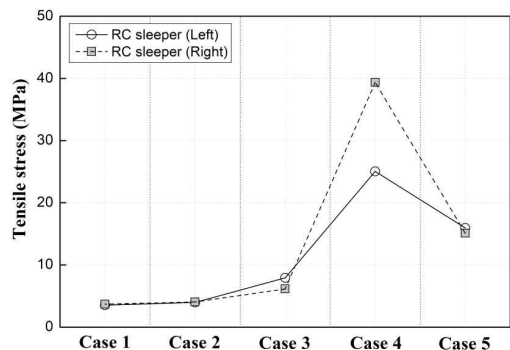


그림 7. 콘크리트침목 최대 인장응력 분석결과
 Figure 7. Results of max. tensile stress of concrete sleeper

그림 8과 같이 침목방진패드의 스프링강성이 정상적이 아닌 상태에서 콘크리트 침목의 최대 압축응력 분석결과, 좌측 콘크리트침목 Case 2의 경우 정상조건에 비해 압축응력 증가율이 미소하게 증가하는 것으로 나타났다. 좌측 침목방진패드 스프링강성이 50% 감소된 Case 3의 경우 정상조건에 비해 약 12% 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5에서 인장응력증가율이 큰 것으로 나타났으며 정상조건에 비해 약 21% 감소하는 것으로 분석되었다. 우측 콘크리트침목 최대 압축응력의 경우 Case 2~Case 4는 정상조건에 비해 압축응력 변화율이

미소한 것으로 나타났으나 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5는 정상조건에 비해 압축응력이 약 16% 감소하는 것으로 분석되었다.

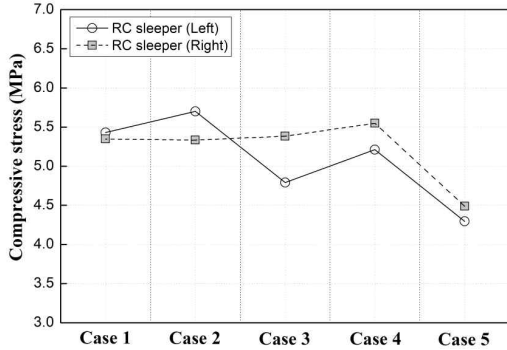


그림 8. 콘크리트침목 최대 압축응력 분석결과
Figure 8. Results of max. compressive stress of concrete sleeper

그림 9와 같이 침목방진패드 기능상실 정도에 따른 콘크리트침목의 변위 분석결과, 좌측 콘크리트침목 Case 2의 경우 정상조건에 비해 변위량이 미소하게 감소하는 것으로 나타났다.

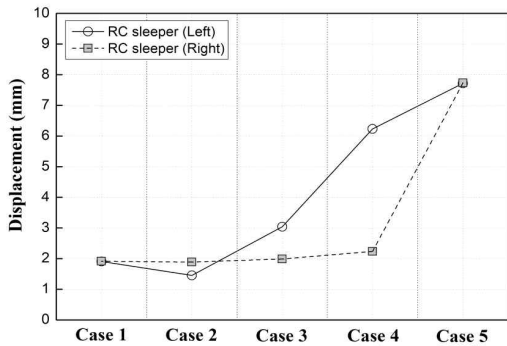


그림 9. 콘크리트침목 변위 분석결과
Figure 9. Displacement Analysed results of concrete sleeper

좌측 침목방진패드 스프링강성이 50% 감소된 Case 3의 경우 정상조건에 비해 약 1.59배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5에서 변위량이 큰 것으로 나타났으며 정상조건에 비해 약 4.05배 증가하는 것으로 분석되었다.

우측 콘크리트침목 최대 변위의 경우 Case 2~ Case 4는

정상조건에 비해 변위량이 미소한 것으로 나타났으나 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소된 Case 5는 정상조건에 비해 변위량이 약 4.04배 증가하는 것으로 분석되었다. 수치해석을 통한 침목방진패드의 스프링강성 변화에 따른 침목플로팅레도 콘크리트침목의 손상영향 분석결과, 콘크리트침목의 최대 응력은 좌측 침목방진패드 스프링강성이 각각 50%, 90% 감소 시 정상조건에 비해 좌측 침목의 경우 각각 약 2.71배, 약 9.03배 증가하였고, 우측 침목의 경우 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소 시 약 3.49배 증가하였다. 또한, 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소 시 정상조건에 비해 약 5.11배 증가하였다는 것으로 분석되었다.

콘크리트침목의 최대 인장응력은 좌측 침목방진패드 스프링강성이 각각 50%, 90% 감소 시 좌측 침목은 정상조건에 비해 각각 약 2.23배, 약 7.65배 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 우측 침목의 경우 각각 약 1.66배, 약 10.65배 증가하는 것으로 분석되었다. 레일 직하부 콘크리트침목의 최대 압축응력은 좌측 침목방진패드 스프링강성이 각각 50%, 90% 감소 시 정상조건에 비해 좌측 침목은 각각 약 12%, 약 21% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 우측 침목의 경우 압축응력 변화율은 미소한 것으로 나타났으나 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소 시 압축응력이 약 16% 감소하는 것으로 분석되었다.

콘크리트침목의 변위는 좌측 침목방진패드 스프링강성이 50% 감소 시 정상조건에 비해 좌측 침목은 약 1.59배 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 우측 침목의 경우 변위량의 변화는 미소한 것으로 나타났으나, 좌, 우측 침목방진패드 스프링강성이 90% 감소 시 침목의 변위량은 약 4.05배 크게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 좌, 우측 침목방진패드의 스프링강성 차이가 클수록 타이바로 연결된 콘크리트침목의 좌우 불균형 현상이 가중되어 콘크리트침목의 손상에 취약한 조건인 것으로 분석되었다.

2. 침목 손상유형 분석

침목플로팅레도를 이루고 있는 콘크리트침목의 손상현황과 수치해석과 비교 분석하였다. 콘크리트침목의 손상유형 분석결과, 열차주행 시 발생하는 충격 및 진동을 저감하는 역할인 침목방진패드의 스프링강성 변화로

인해 콘크리트침목의 각부에서 발생하는 응력이 변화되는 것으로 분석되었다. 또한 그림 10과 같이 침목방진패드 스프링강성이 변화함에 따라 레일 직하부 위치에서 발생응력이 증가하여 콘크리트침목의 손상이 발생하는 것으로 분석되었다.

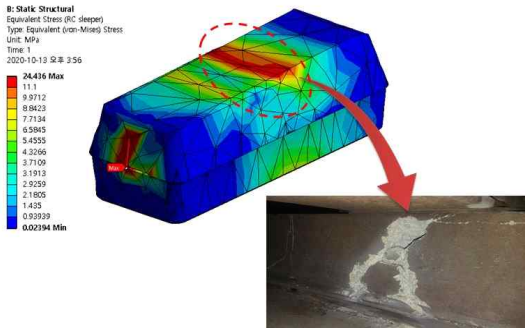


그림 10. 콘크리트침목 손상 (레일 직하부)
 Figure 10. Damaged concrete sleeper at rail seat

그림 11과 같이 콘크리트침목 타이바 접촉부 손상유형이 수치해석결과와 유사한 경향으로 나타났으며, 콘크리트침목 타이바 접촉부의 인장응력이 집중되는 것으로 나타났다.

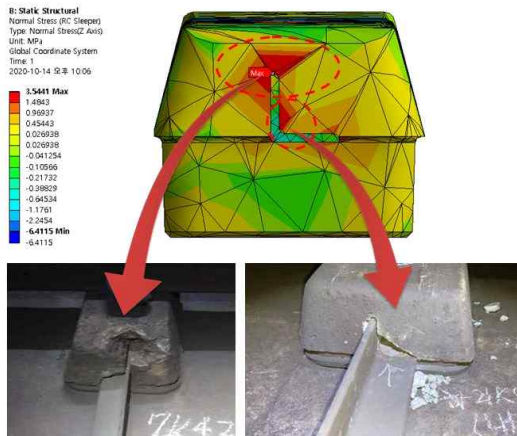


그림 11. 콘크리트침목 손상 (타이바 접촉부)
 Figure 11. Damaged concrete sleeper at tie-bar

콘크리트침목 타이바 접촉부 손상유형 분석결과, 타이바 해석결과인 그림 12와 같이 콘크리트침목과 타이바 접촉부에서 최대응력이 발생하는 것으로 나타났다. 콘크리트침목 압축강도는 35MPa로 휨강도(파괴

계수)는 3.73MPa로 산출되었다. 좌, 우 침목 직하부의 침목방진패드가 정상인 조건 즉, 침목직하부의 정상적인 경계조건 설정 조건에서의 해석결과는 약 3.54MPa로 나타났다. 반면, 침목방진패드 스프링강성 변화 및 좌, 우 침목 직하부의 침목방진패드 스프링강성의 불균형 조건에서는 침목에 발생하는 응력의 수준이 허용 휨강도를 초과하는 현상이 발생 될 수 있는 것으로 나타났다.

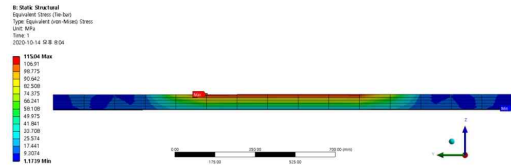


그림 12. 타이바 해석결과 (Case 1)
 Figure 12. Analysis results of tie-bar (Case 1)

따라서 콘크리트침목 손상의 경우 타이바 접촉부에서 발생하는 인장응력이 휨강도(파괴계수)를 초과하는 경우에 손상이 발생하는 것으로 해석적으로 분석되었다.

V. 결 론

본 연구에서는 도시철도 침목플로팅케드(STEDEF) 운영구간의 콘크리트침목 손상현황 조사결과를 바탕으로 주요 손상유형을 도출하고 이를 바탕으로 손상원인 분석을 위한 매개변수 해석을 수행하였다. 수치해석을 바탕으로 침목플로팅케드의 거동특성을 파악하고, 침목방진패드의 스프링강성 변화 및 좌, 우 침목의 지지조건의 변화가 콘크리트침목의 손상에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 콘크리트침목의 손상현황 및 유형 분석결과, 콘크리트침목의 손상은 타이바 접촉부의 균열발생 및 타이바 주변 콘크리트 탈락(79.5%), 타이바 매립부 콘크리트 상부 파손(10.4%), 레일 직하부 콘크리트 균열(0.7%), 타이바 절손(9.3%) 등의 유형으로 나타났다.

(2) 수치해석 결과, 좌, 우측 침목의 지지조건에 해당하는 침목방진패드의 스프링강성 변화는 콘크리트침목의 등가응력, 인장 및 압축응력을 비롯하여 침목의 변위를 증가시킴으로서 레일 직하부 및 타이바 접촉부에서 발생응력이 집중되는 것으로 분석되었다. 또한 침목방진

패드의 스프링강성 변화에 따라 휨강도(파괴계수)를 초과하는 현상이 발생 가능한 것으로 분석되었다. 연구결과, 운행선 현장에서 발생된 타이바 주변의 콘크리트침목에 발생된 손상의 경우 타이바 접촉부에서 발생하는 인장응력이 휨강도를 초과한 것에서 기인된 것임을 해석적으로 입증하였다.

(3) 연구결과, 도시철도 침목플로팅케도에서 침목방진패드의 열화로 인한 스프링강성 변화는 동적인 하중이 증가되어 케도구조를 구성하는 콘크리트침목 등 케도재료의 전반적인 성능저하 및 다양한 손상의 기저요인이 될 수 있다. 또한 침목방진패드의 스프링강성 변화가 일반구간에 비해 큰 이중방진구간과 콘크리트침목의 지지조건(레일지지점 스프링강성)이 불균등한 경우, 콘크리트침목의 손상에 직접적인 영향을 초래할 수 있을 것으로 분석되었다.

References

- [1] H.S. Shin, "Cause Analysis for Sleeper Damage of Sleeper Floating Track in Urban Transit", Master thesis, DongYang University, 2021.
- [2] M.H. Kim, "A Study on the Dynamic Behavior of Sleeper Floating Track According to Various Track Support Stiffness on Serviced Urban Transit", Master thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2016.
- [3] H.S. Yoon, "A Study on Effect of Resilience pad on Track Support Stiffness Change", Master thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2020.
- [4] S.G. Lee, "A Study on Performance Evaluation Method for Direct Fixation Track System", Ph.D. thesis, Dongyang University, 2017.
- [5] J.Y. Choi, D.H. Ahn, S.H. Kim, "Behavior Characteristics of a Booted Sleeper Track System According to Substructure Deformation", Applied Sciences, Vol. 11., No. 10, pp. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11104507>
- [6] J.Y. Choi, H.S. Kim, K.S. Han, C.J. Jang, J.S. Chung, "Damage Evaluation of Track Components for Sleeper Floating Track System in Urban Transit", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 5, No. 4, pp. 387-394, 2019. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.3.335>
- [7] J.Y. Choi, T.H. Shin, J.S. Chung, "Damage Cause Analysis of Concrete Sleeper for Sharp Curved Track on Urban Railway Bridge", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 7, No. 3, pp. 517-522, 2021. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.3.517>
- [8] J.S. Chung, J.S. Lee, J.Y. Choi, "A Study on Estimation Method of Concrete Sleeper Strength for Sleeper Floating Track using Rebound Hardness Test Method", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 8, No. 3, pp. 277-282, 2021. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.3.517>
- [9] J.Y. Choi, J.G. Bong, J.S. Lee, J.M. Han, J.S. Chung, "Dynamic Behavior of Sleeper Floating Track System(STEDEF) on Urban Rapid Transit According to Replacement of Resilience Pad", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No. 3, pp. 335-340, 2020. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.3.335>
- [10] J.Y. Choi, J.S. Lee, J.G. Bong, S.J. Kim, J.S. Chung, "Evaluation on Fatigue Behavior of Resilience pad for Sleeper Floating Track System in Urban Transit", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No. 3, pp.347-352,2020. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.3.347>
- [11] J.Y. Choi, "Analytical Study on Fatigue Behavior of Resilient pad for Rail Fastening System", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No. 3, pp. 405-410, 2021. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.2.405>