

# 보강철근이 적용된 급속경화궤도용 광폭침목의 보유 휨 내력 평가

배영훈\*, 이일화  
한국철도기술연구원 첨단인프라연구팀

## Evaluation of Flexural Strength of Wide Sleepers with Reinforcing Bars for Quick-Hardened Concrete Track

Young-Hoon Bae\*, Il-Wha Lee

Advanced Infrastructure Research Team, Korea Railroad Research Institute

**요약** 노후화된 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 개량하는 급속경화궤도 기술이 개발되어 일반철도 및 도시철도의 토공 및 터널 현장에 적용되고 있다. 프리스트레스 방식으로 제작되는 콘크리트 침목에는 일반적으로 보강 개념의 철근이 적용되지 않는다. 그러나 철도 현장에 부설된 침목 다수에서 균열 발생 사례가 관찰되고 있다. 급속경화궤도 시스템의 주요 구성품 중 하나인 광폭침목은 이러한 문제가 발생되지 않도록 자갈궤도 및 콘크리트 궤도 상태에서 구조적인 안전성이 보장되어야 하며 균열 저항성이 확보되어야 한다. 특히 포스트텐션 방식으로 제작되는 광폭침목은 반드시 레일 좌면부에 인장부 보강철근이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 급속경화궤도용 광폭침목의 보강철근 적용 유무에 따른 침목의 보유 휨 내력 및 균열 저항 성능을 비교 및 평가하기 위하여, 정적 및 동적 휨강도 시험, 피로 시험을 실시하였다. 시험 결과 광폭침목 레일 좌면부에 주재료인 강봉 뿐만 아니라 소수의 보강철근을 적절하게 배치할 경우 균열발생 억제 및 균열폭 확대 지연, 휨 파괴 지연 효과를 확인할 수 있었다.

**Abstract** A quick-hardened concrete track was developed to improve the aged ballasted track to a concrete track, and applied to earthworks and tunnels of main and urban railways. Rebars for reinforcement are not generally applied to prestressed concrete sleepers. On the other hand, many cracked sleepers have been observed in railroad sites. A wide sleeper, which is one of the main components of quick-hardened concrete track, should be structurally safe and crack-resistant in a ballasted and concrete track to avoid this problem. In particular, a wide sleeper manufactured by a post-tension method must have reinforcing bars applied to the rail-seat section. In this paper, static tests, dynamic tests, and fatigue tests were carried out to compare the flexural strength and crack resistance performance of a wide sleeper with and without reinforcing bars for a quick-hardened concrete track. As a result of the test, if some reinforcing bars are applied appropriately to the rail-seat section of a wide sleeper, it will be possible to prevent the occurrence of cracks, delay the expansion of the crack width, and the flexural fracture.

**Keywords** : Flexural strength, Quick-hardened concrete track, Reinforcing bars, Serviceability, Wide sleeper

### 1. 서론

노후화된 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 개량하는 급속경화궤도 기술이 개발되어 일반철도 및 도시철도의 토공 및 터널 현장에 적용되고 있다. 급속경화궤도는 노후자

갈 및 기존 침목을 걷어낸 뒤 세척자갈 및 광폭침목을 부설하고 자갈궤도 상태에서 안정화 기간을 거친 후 초속경 시멘트 모르타를 주입하고 2~3시간 후에 영업 열차의 운행이 가능하게 하는 궤도 유지보수 기술로서 그 기본 개념도는 Fig. 1과 같다[1].

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원(17RTRP-B065581-05)으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Young-Hoon Bae(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5531 email: yhae@krrri.re.kr

Received January 2, 2018

Revised January 16, 2018

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

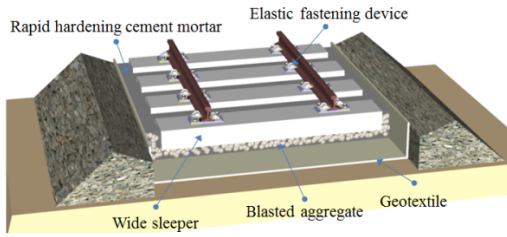


Fig. 1. Concept of quick-hardened concrete track

국내·외적으로 프리스트레스 방식을 통해 제작되는 콘크리트 침목은 레일 좌면부 및 침목 중앙부에 별도의 보강철근을 적용하지 않으며, PS강재(강연선 또는 강봉)만으로 콘크리트에 인장응력이 발생되지 않도록 설계 및 제작되고 있다. 그러나 철도 현장에 부설된 침목 다수에서 균열 발생 사례가 관찰되고 있으며 균열 유형은 침목 길이방향의 균열, 휨 균열 및 망상균열 등이 있다. 균열 원인으로는 콘크리트 재료 결함, 침목 제작 결함, 열차 운행 시 충격 하중, 도상 및 노반 불량 등이 있으며, 이러한 원인 때문에 철도 선로에 부설되는 침목에는 항상 균열 발생 가능성이 내제되어 있다[2].

급속경화궤도 시스템의 주요 구성품 중 하나인 광폭 침목은 자갈궤도 및 콘크리트 궤도 상태에서 구조적인 안전성이 확보되어야 하며 균열 저항성 확보를 통한 사용성이 우수하여야 한다. 따라서 광폭침목의 초기 균열 및 균열폭 확대 제어, 극한하중 증대를 위해서는 주재료로서 PS강재뿐만 아니라 보강철근의 적용이 필요하다. 특히 작은 직경의 강연선이 다수 적용되는 프리텐션 방식으로 제작되는 침목에 비해 큰 직경의 강봉이 소수 적용되는 포스트텐션 방식으로 제작되는 광폭침목에는 반드시 보강철근이 적용되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 급속경화궤도용 광폭침목의 보강철근 적용 유무에 따른 침목의 보유 휨 내력 및 균열 저항 성능을 시험적으로 비교·평가하여 보강철근 필요성 여부를 확인하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 기준하중 산정

EN 13230-2[3]에 따라 콘크리트 침목의 휨 강도 시험을 수행하기 위해서는 기준하중( $Fr_0$ )을 산정하여야 하며, 이를 위해서는 레일 좌면부 및 침목 중앙부에 작용되

는 모멘트를 계산하여야 한다. 급속경화궤도용 광폭침목의 레일 좌면부에 작용되는 모멘트는 콘크리트 궤도일 때보다 자갈궤도일 때가 더 크므로 UIC 713R 및 prEN 13230-6에 의거하여 산정하였다[4-5]. 먼저 레일 좌면부 동적 하중( $P_d$ ) 산정을 위해 철도 차량의 축중( $Q$ )은 220 kN, 탄성패드에 의한 하중 감쇄 효과를 고려하기 위한 패드 계수( $\gamma_p$ )는 0.78, 침목 배치 간격을 고려한 하중 분배계수( $\gamma_d$ )는 0.5, 도상지지 조건에 따른 침목 간 열차 운행방향 하중 분배 변화를 고려하기 위한 동적 증가계수( $\gamma_r$ )는 1.35가 적용되었다. 열차 운행속도를 고려한 동적 할증계수( $\gamma_v$ )는 KR C-14030에 따라 식(1)을 통해 계산되었다[6]. 이때,  $t$ 는 확률 99.7%의 신뢰구간에 좌우되는 표준편차의 가중치로 침목 구조계산 시 적용되는 값인 3이,  $\Phi$ 는 궤도 품질에 좌우되는 계수로서 고속선 또는 일반선 본선에 적용된다는 가정 하에 0.15[7]가,  $V$ 는 열차 운행속도로 급속경화궤도 공정 상 자갈궤도 안정화 기간 중 열차 서행 속도인 90 km/h[8]가 식(1)에 입력되었다. 이를 통해 레일 좌면부 동적 하중( $P_d$ )은 식(2)에 의해 계산되었다.

$$\gamma_v = t\phi \left[ 1.0 + 0.5 \frac{(V-60)}{80} \right] = 0.534 \quad (1)$$

$$P_d = \frac{Q}{2} (1 + \gamma_p \gamma_v) \gamma_d \gamma_r = 105.2 \text{ kN} \quad (2)$$

레일 좌면부 모멘트는 식(3)에 따라 계산되었다. 이때, 자갈도상과 침목 저부간의 접촉 불균일에 따른 휨 모멘트 증분을 고려하기 위한 계수( $\gamma_i$ )는 1.6을 적용하였으며, 레일 좌면부 중심에서 침목 단부까지 거리( $L_p$ )는 0.645 m, 60 kg 레일이 적용되므로 레일 저부 폭( $b_r$ )은 0.145 m, 침목 상면에서 레일 좌면부 단면(Fig. 2 참조) 도심간 거리( $y_1$ )는 0.128 m이다. 침목 중앙부 모멘트는 식(4)에 따라 계산되며 그 값은 7.53 kN·m이다. 이때, 레일 중심간 거리( $c$ ), 침목 길이( $L$ ), 침목 중심부 단면 저부 폭( $b$ ), 레일 좌면부 확폭부 폭( $b_1$ ) 및 레일 좌면부 확폭부(사다리꼴 형상) 짧은 길이와 긴 길이의 합( $t'$ )은 Fig. 3에 의거하여 각각 1.5 m, 2.8 m, 0.4 m, 0.1 m, 0.66 m이다.

$$M_{d_r} = \gamma_i P_d \frac{\{L_p - (0.5b_r + y_1)\}}{4} = 18.71 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (3)$$

$$M_{dc}^- = \gamma_i P_d \left[ \frac{c}{2} \left\{ 1 - \frac{2t' \frac{b_1}{b}}{L + 2t' \frac{b_1}{b}} \right\} - \frac{\frac{L^2}{4}}{L + 2t' \frac{b_1}{b}} \right] \quad (4)$$

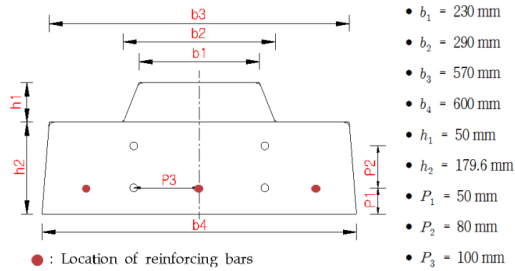


Fig. 2. Dimension of rail-seat section for wide sleeper

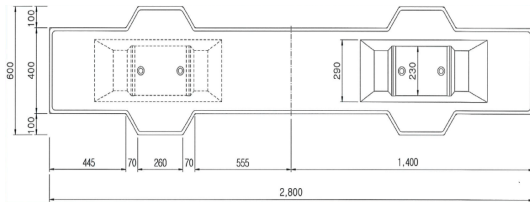


Fig. 3. Floor plan of wide sleeper for quick-hardened concrete track

따라서 앞서 계산된 레일 좌면부 및 침목 중앙부 모멘트 값을 각각 식(5) 및 식(6)에 대입하여 얻은 침목 각 위치별 기준하중은 149.7 kN 및 21.5 kN이다. 여기서,  $L_r$ 은 EN 13230-2에 따라 0.6 m가,  $L_c$ 는 1.5 m가 적용되었다.

$$Fr_0 = \frac{4M_{dr}^+}{L_r - 0.1} = 149.7 \text{ kN} \quad (5)$$

$$Fc_{0m} = \frac{4M_{dc}^-}{L_c - 0.1} = 21.5 \text{ kN} \quad (6)$$

### 2.2 급속경화계도용 광폭침목 제작

보강철근 적용 유무에 따른 침목의 보유 휨 내력 및 균열 저항 성능을 시험적으로 비교·평가하기 위하여 급속경화계도용 광폭침목을 제작하였다[9]. 침목 제작은 포스트텐션 방식을 채택하였으며, 11 mm 강봉(SBPR 1275/1420) 4개를 배치하였다. 레일 좌면부에 보강철근

을 배치한 침목은 S-RB로 명명하였고, 미배치한 침목은 S-N으로 명명하였다. 공통적으로 S-N 및 S-RB 침목의 양 단부에 스티럽 개념의 보강철근을 2개씩 배근하였고, 침목 중앙부에는 보강철근을 적용하지 않았다. 또한 Fig. 4에서 레일 좌면부 강봉 그룹의 적절한 구속을 위해 스티럽 2개를 배근하였다. 두 종류 침목의 보강철근 적용 관련 차이점은 Fig. 4와 같이 침목 저면 인장 보강을 위해 S-RB 침목 레일 좌면부에 침목 길이 방향으로 3개의 인장철근(440 mm 1개 및 360 mm 2개)을 배치하는 것이며, 인장 철근 및 강봉과의 결속을 위해서 큰 크기의 스티럽 1개를 추가하였다. 또한 침목 길이 방향 인장철근이 기울어지지 않도록 일자 형상의 철근을 덧붙여 설치하였다. 적용된 보강철근의 직경은 10 mm이다.

콘크리트는 프리스트레스 힘에 견딜 수 있도록 고강도 콘크리트를 적용하였다. 증기양생 후 1일차 탈형강도는 공시체 3개 평균값 기준 42.2 MPa이었으며, 포스트텐션 도입 시 콘크리트 강도( $f_{4day}$ )는 공시체 3개 평균값 기준 53.5 MPa이었다. 또한 콘크리트 28일 압축강도( $f_{ck}$ )는 공시체 3개 평균값 기준 73.2 MPa이었다.

정·동적 휨 강도 시험 및 피로 시험을 위하여 S-N 및 S-RB 침목을 각각 10개씩 제작하였으며, 생산 완료된 급속경화계도용 광폭침목은 Fig. 5와 같다.



Fig. 4. Arrangement for strands and reinforcing bars at rail-seat section in mold



Fig. 5. Production of wide sleepers for quick-hardened concrete track  
(a) Inspection (b) Final products

### 2.3 보강철근 적용 유무에 따른 광폭침목의 보유 휨 내력 평가

#### 2.3.1 침목 중앙부 정적 휨 강도 시험

S-N 및 S-RB 침목의 중앙부는 공통적으로 보강철근이 적용되지 않았으며 동일한 콘크리트 및 강봉이 적용되었으므로, 휨 강도가 동등 또는 유사한 것이 일반적이다. 두 종류의 침목 중앙부 휨 강도의 동등성을 시험적으로 확인해야만, 이후 레일 좌면부 정·동적 휨 강도 시험 및 피로 시험 시 보강철근 유무에 따른 휨 강도 차이를 신뢰할 수 있다.

S-N 및 S-RB 침목 각각 3개에 대해서 침목 중앙부 정적 휨 강도 시험을 실시하였다. 시험체는 EN 13230-2에 의거하여 Fig. 6과 같이 설치되었다. 이 때 지점 거리는 1.5 m이며, 최초 균열 발생 하중( $F_{c,m}$ )은 저면에서 상방향으로 15 mm 떨어진 지점까지 균열이 진전될 때 하중을 의미한다. 시험은 침목 중앙부 단면이 더 이상 하중을 지지하지 못하는 지점( $F_{c,Bn}$ )까지 진행되었다. 침목 중앙부 정적 휨 강도 시험에 적용된 하중재하 절차는 Fig. 7과 같다.

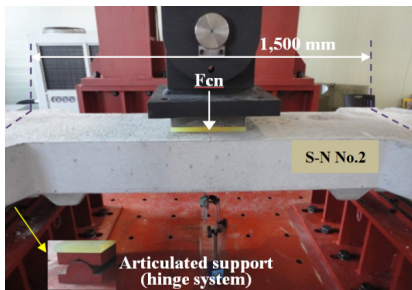


Fig. 6. Test arrangements for static test at center section of wide sleeper

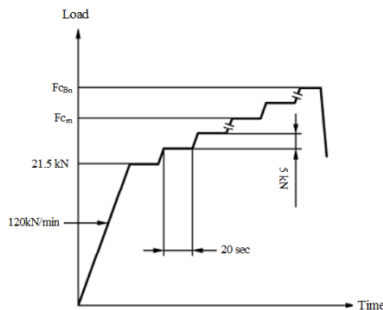


Fig. 7. Static test procedure at the center section for negative design approval test (Modified after EN 13230-2)

Table 1. Static test results for rail-seat section of wide sleeper for quick-hardened track

Specimen		$F_{c,m}$ (kN)	$F_{c,Bn}$ (kN)
S-N	No.1	67.4	117.5
	No.2	67.4	115.9
	No.3	62.4	112.4
	AVG.	65.7	115.3
S-RB	No.11	66.4	101.4
	No.12	71.4	116.4
	No.13	61.4	106.4
	AVG.	66.4	108.1

S-N 및 S-RB 침목에 대한 침목 중앙부 정적 휨 강도 시험 결과는 Table. 1과 같다. 시험 결과에서 알 수 있듯이, 최초 균열 발생 하중( $F_{c,m}$ ) 평균값은 S-N 및 S-RB 침목 간 차이가 0.7 kN으로 매우 유사하였으며, 더 이상 하중을 지지하지 못하는 지점( $F_{c,Bn}$ )은 S-N 침목이 S-RB 침목 보다 7.2 kN 컷으나 그 차이는  $F_{c,Bn}$  대비 그 비율이 크지 않다고 할 수 있다.

#### 2.2.2 레일 좌면부 정적 휨 강도 시험

침목의 레일 좌면부는 열차 하중이 레일을 통해 직접 전달되는 단면이므로, 이 단면은 열차 하중에 대한 충분한 저항 성능이 확보되어야 한다. 여기서 저항 성능은 구조적 관점에서의 휨 강도와 사용성 관점에서의 균열 저항 성능을 포함한다. 포스트텐션 방식으로 제작되는 광폭의 콘크리트 침목은 특히 휨 강도 뿐만 아니라 균열 저항 성능이 확보되어야 한다.

급속경화궤도용 광폭침목 설계 및 제작 시 보강철근 적용 유무에 따른 정적 휨 강도와 정하중-균열의 관계를 확인하기 위하여, Fig. 8과 같이 시험체를 설치한 후 레일 좌면부 정적 휨 강도 시험을 실시하였다. 시험은 S-N 및 S-RB 침목 각각 3개에 대해서 수행되었으며, 하중은 Fig. 9와 같은 절차로 침목 레일 좌면부에 재하되었다. 레일 좌면부 중심에서 침목 단부까지 거리가 0.645 m이므로 EN 13230-2에 의거 지점 거리를 0.6 m로 설정하였다. 최초 균열 발생 하중( $F_r$ )은 침목 중앙부 휨 강도 시험과 마찬가지로 저면에서 상방향으로 15 mm 떨어진 지점까지 균열이 발생될 때의 하중을 의미한다. 균열폭은 단계별로 하중이 제거된 후에 측정되었으며, 0.01 mm 단위까지 측정 가능한 스마트폰 기반 균열 게이지 (Dico crack gauge)가 사용되었다. 레일 좌면부 정적 휨

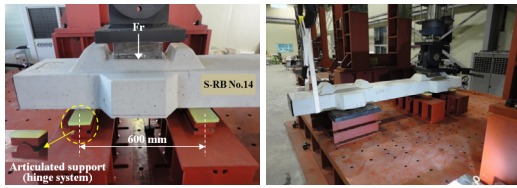


Fig. 8. Test arrangements for static test at rail-seat section of wide sleeper

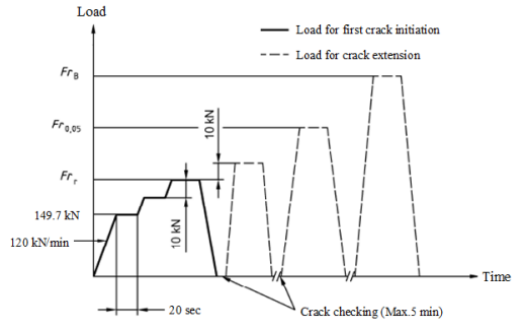


Fig. 9. Static test procedure at the rail-seat section for positive design approval test (Modified after EN 13230-2)

Table 2. Static test results for rail-seat section of wide sleeper for quick-hardened track

Specimen		Fr <sub>r</sub> (kN)	Fr <sub>0.05</sub> (kN)	Fr <sub>B</sub> (kN)
S-N	No.4	270.6	290.6	600.6
	No.5	245.8	285.8	565.8
	No.6	215.8	275.8	575.8
	AVG.	244.1	284.1	580.7
S-RB	No.14	379.7	519.7	669.7
	No.15	369.7	429.7	859.7
	No.16	359.7	519.7	719.7
	AVG.	369.7	489.7	749.7

강도 시험 시 주요 측정값은 Fr<sub>r</sub>, Fr<sub>0.05</sub>(하중 제거 시 균열폭이 0.05 mm 일때의 최대 하중), Fr<sub>B</sub>(레일 좌면부 단면이 더 이상 하중을 지지하지 못할 때의 하중)이다.

급속경화케도용 광폭침목 레일 좌면부의 정적 휨 강도 시험 결과는 Table. 2와 같으며, 최종 파괴 유형은 S-N 침목 3개 및 S-RB 침목 2개(No.14 및 No.15)의 경우 휨 파괴였으며, S-RB No.16의 경우는 휨·전단 파괴였다. 정적 휨 강도 시험 후 파괴된 시편 중 대표적인 예는 Fig. 10과 같다. S-RB 침목은 S-N 침목보다 초기 균열 하중이 평균값 기준 125.6 kN 컸으며, 초기 균열 발

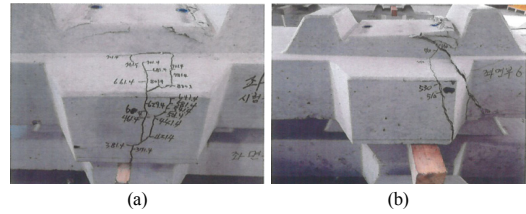


Fig. 10. Results of crack propagation after static tests  
(a) S-RB: No.15 (flexural failure)  
(b) S-RB: No.16 (flexural-shear failure)

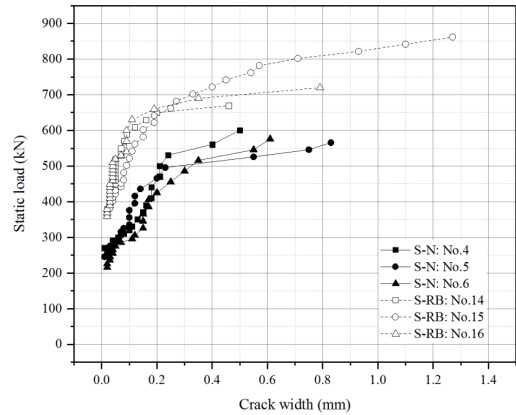


Fig. 11. Relationship between static load and crack width at rail-seat section

생 후 균열폭이 0.05 mm까지 확대되기 위해 추가로 가해진 하중(Fr<sub>0.05</sub> - Fr<sub>r</sub>)은 S-RB 침목의 경우 평균값 기준 120 kN인 반면 S-N 침목의 경우는 40 kN이었다. 그리고 파괴 시 하중도 S-RB 침목의 경우 평균값 기준 749.7 kN인 반면 S-N 침목의 경우는 580.7 kN이었다. 정적 하중 대비 균열폭 관계는 Fig. 11과 같다. S-N 침목은 초기 균열 발생 후 균열폭 0.05 mm에 도달하는 하중 재하 단계 수가 시험체별로 각각 3회, 4회, 6회인 반면, S-RB 침목의 경우는 시험체별로 각각 14회, 7회, 16회였다. 따라서 광폭침목의 레일 좌면부 보강철근 적용은 침목의 초기 균열 억제, 초기 균열 발생 이후 균열폭 확대 및 휨 파괴를 상당히 지연시킬 수 있는 효과적인 방법임을 알 수 있다.

### 2.3.3 레일 좌면부 동적 휨 강도 시험

궤도 선형 및 도상 또는 노반 상태에 따라 철도 차량이 선로를 주행할 때 궤도에 동적 충격하중이 가해질 수 있다. 예상 수준을 훨씬 초과하는 동적 충격하중이 급속

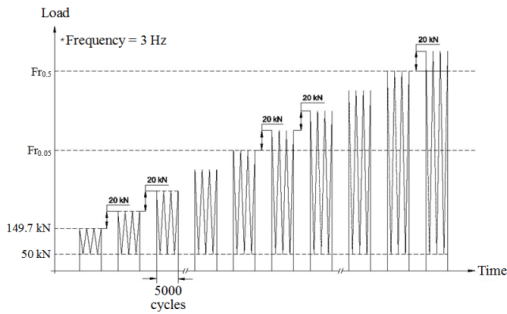


Fig. 12. Dynamic test procedure at the rail-seat section for positive design approval test (Modified after EN 13230-2)

경화궤도용 광폭침목에 작용할 경우 레일 좌면부에 균열이 발생할 수 있다. 이렇게 발생한 균열은 확대되지 않아야 하며, 이를 위해서는 광폭침목 레일 좌면부에 적절한 보강이 요구된다.

급속경화궤도용 광폭침목의 보강철근 적용 유무에 따른 동적 휨 강도와 동하중-균열의 관계를 확인하기 위하여, Fig. 8과 같이 시험체를 설치한 후 레일 좌면부 동적 휨 강도 시험을 실시하였으며 하중 재하 절차는 Fig. 12와 같다. 단계별 동하중 재하 횟수는 EN 13230-2에 정의된 5,000회가 적용되었으며, 균열폭은 단계별 동하중 재하가 완료되어 하중이 제거된 후 측정되었다. 시험은 S-N 및 S-RB 침목 각각 3개에 대해서 수행되었으며, 지점 거리 및 균열폭 측정은 정적 휨 강도 시험과 동일한 사항이 적용되었다. 레일 좌면부 동적 휨 강도 시험 시 주요 측정값은  $F_r$ ,  $F_{r0.05}$ (하중 제거 시 균열폭이 0.05 mm 일때의 최대 하중),  $F_{r0.5}$ (하중 제거 시 균열폭이 0.5 mm 일때의 최대 하중)이다.

급속경화궤도용 광폭침목 레일 좌면부의 동적 휨 강도 시험 결과는 Table. 3과 같으며, 최종 파괴 유형은 S-N 침목 3개 및 S-RB 침목 2개(No.17 및 No.18)의 경우 휨 파괴였으며, S-RB No.19의 경우는 휨·전단 파괴였다. 동적 휨 강도 시험 후 파괴된 시편 중 대표적인 예는 Fig. 13과 같다. S-RB 침목은 S-N 침목보다 초기 균열 하중이 평균값 기준 77.2 kN 컸으며, 초기 균열 발생 후 균열폭이 0.05 mm 이상까지 확대되기 위해 추가로 가해진 하중( $F_{r0.05} - F_r$ )은 S-RB 침목의 경우 평균값 기준 123.3 kN인 반면 S-N 침목의 경우는 56.6 kN이었다. 그리고 균열폭이 0.5 mm까지 확대되었을 때 하중도 S-RB 침목의 경우 평균값 기준 543.0 kN인 반면 S-N

Table 3. Dynamic test results for rail-seat section of wide sleeper for quick-hardened track

Specimen		$F_r$ (kN)	$F_{r0.05}$ (kN)	$F_{r0.5}$ (kN)
S-N	No.7	195.8	255.8	405.8
	No.8	215.8	265.8	395.8
	No.9	195.8	255.8	345.8
	AVG.	202.5	259.1	382.5
S-RB	No.17	244.7	389.7	509.7
	No.18	244.7	389.7	569.7
	No.19	349.7	429.7	549.7
	AVG.	279.7	403.0	543.0



Fig. 13. Results of crack propagation after dynamic tests  
(a) S-RB: No.18 (flexural failure)  
(b) S-RB: No.19 (flexural-shear failure)

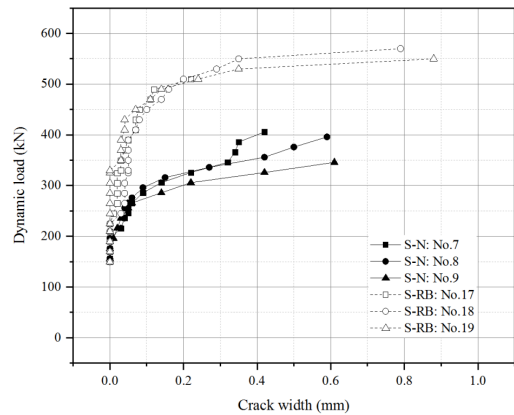


Fig. 14. Relationship between dynamic load and crack width at rail-seat section

침목의 경우는 382.5 kN이었다. 동적 하중 대비 균열폭 관계는 Fig. 14와 같다. S-N 침목은 초기 균열 발생 후 균열폭 0.05 mm에 도달하는 하중 재하 단계 수가 3개 시험체 모두 3회인 반면, S-RB 침목의 경우는 시험체별로 각각 8회, 8회, 5회였다. 따라서 동적 휨 강도 시험에서도 광폭침목 레일 좌면부 보강철근 적용은 침목의 초기 균열 억제, 초기 균열 발생 이후 균열폭 확대 및 휨

파괴를 상당히 지연시킬 수 있는 효과적인 방법임을 알 수 있다.

### 2.3.4 피로 시험

프리스트레스 방식으로 제작되는 콘크리트 침목은 하중 작용에 따른 균열이 발생하더라도 하중이 제거되면 침목 내 강봉으로 인해 균열이 닫힌다. 그러나 철도 하중 특성 상 반복적인 열차 운행에 의해서 콘크리트 침목의 균열폭이 점차 확장될 수 있으며, 이에 따른 침목의 사용성이 저하될 수 있다.

급속경화케도용 광폭침목 설계 및 제작 시 보강철근 적용 유무에 따른 피로 시험 전·후 균열폭 확대 및 휨 강도 변화 여부를 확인하기 위하여, Fig. 8과 같은 방법으로 S-N 및 S-RB 침목 1개씩을 설치한 후 Fig. 15와 같은 절차에 의거 피로 시험을 수행하였다. 여기서 첫 번째 사이클은 Fig. 9의 최초 균열발생을 위한 하중 재하 절차가 적용되었다. 200만회 반복하중 재하가 완료된 후, 반복하중 재하에 따른 균열폭 확대를 확인하기 위하여 최대 피로 하중(=149.7 kN)이 재하된 상태 및 하중이 완전히 제거된 상태에서 균열폭( $\omega$ )을 측정하였다. 또한 균열폭 측정 후 정적 휨 강도 변화 여부를 확인하기 위하여 파괴 시까지 정적 하중을 가하였다.

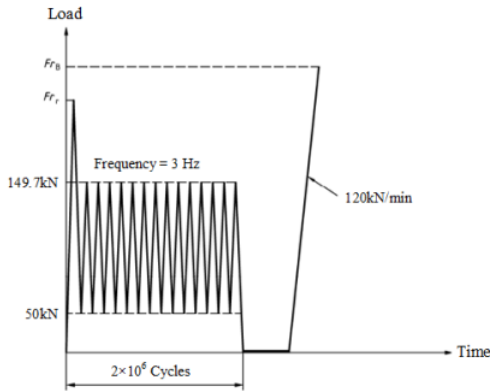


Fig. 15. Fatigue test procedure at the rail-seat section for positive design approval test (Modified after EN 13230-2)

Table 4. Fatigue test results for rail-seat section of wide sleeper for quick-hardened track

Specimen	First crack (kN)	$\omega$ at 149.7 kN (mm)	$\omega$ at 0 kN (mm)	$F_{rB}$ (kN)
S-N	No.10	293.2	0.02	600.6
S-RB	No.20	379.7	< 0.01	765.4

보강철근 적용 유무에 따른 급속경화케도용 광폭침목의 피로 시험 결과는 Table. 4와 같다. 피로 시험 결과에서 알 수 있듯이, S-RB 침목이 S-N 침목보다 200만회 피로 시험 후 균열폭이 작았으며, 피로 하중 제거 전·후로도 균열폭 확대 없이 0.01 mm 미만으로 유지되었다. 또한 피로 시험 후 정적 파괴 하중( $F_{rB}$ )도 정적 휨 강도 시험 결과인 Table. 2의 S-RB 침목 평균값 749.7 kN 대비 동등 이상이었으며, 따라서 휨 강도 저하가 발생되지 않았다. 따라서 급속경화케도용 광폭침목 설계 및 제작 시 레일 좌면부에 보강철근을 적용하는 것이 침목의 사용성 및 장기 거동 개선 측면에서 유리하다고 판단된다.

## 3. 결론

본 논문에서는 급속경화케도의 주요 구성품 중 하나인 광폭침목에 대해 급속경화기술 적용 전·후 자갈케도 및 콘크리트 케도 상태에서 광폭침목의 구조 안전성 및 균열 저항성을 확보 하는데 있어서, 레일 좌면부 보강철근 적용 유무에 따른 침목의 보유 휨 내력 및 균열 저항 성능을 시험적으로 비교·평가하여 보강철근 필요성 여부 및 보강철근 적용의 효율성을 확인하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 급속경화케도 레일 좌면부의 구조 안전성 및 균열 저항성 확보를 위해 좌면부 저부 각각에 430 mm 길이의 직경 10 mm인 인장 철근 1개 및 360 mm 길이의 직경 10 mm인 인장 철근 2개를 배근하였고, 인장 철근의 정확한 위치 설정을 위해 폐합 스트립을 활용하였다. 보강철근 적용으로 인한 침목 제작 시 문제점은 발생되지 않았다.
- (2) 광폭침목 레일 좌면부에 대해 정적 휨 강도 시험을 실시한 결과, 인장부 보강철근을 적용한 침목은 미적용 침목 대비 최초 균열발생 하중은 약 1.5배, 균열폭 0.05 mm일 때 최대 하중은 약 1.7 배, 파괴 하중은 약 1.3배 크게 측정되었다.
- (3) 광폭침목 레일 좌면부에 대해 동적 휨 강도 시험을 실시한 결과, 인장부 보강철근을 적용한 침목은 미적용 침목 대비 최초 균열발생 하중은 약 1.4배, 균열폭 0.05 mm일 때 최대 하중은 약 1.5 배, 균열폭 0.5 mm일 때 최대 하중은 약 1.4배 크게 측정되었다.

- (4) 광폭침목 레일 좌면부에 대해 피로 시험을 실시한 결과, 인장부 보강철근을 적용한 침목은 미적용 침목 대비 피로 시험 후 균열폭이 작았으며, 피로 하중 제거 전·후로도 균열폭이 0.01 mm 미만으로 균열폭 확대가 거의 관찰되지 않았다. 또한 인장부 보강철근을 적용한 침목은 200만회 피로 시험 후 실시한 파괴 시험에서 파괴 하중이 정적 휨 강도 시험에서 측정된 평균 파괴 하중 대비 동등 이상으로 측정되었고, 따라서 200만회 피로 시험 후 휨 강도 저하가 발생되지 않았음을 알 수 있다.
- (5) 정·동적 휨 강도 시험 및 피로 시험을 통해서, 레일 좌면부 보강철근 적용은 침목의 초기 균열발생 억제 효과가 있으며, 균열발생 후 균열폭 확대 지연 효과( $Fr_{0.05} - Fr_r$ )는 정적 휨 시험 시는 보강철근 미적용 침목 대비 보강철근 적용 침목이 3배, 동적 휨 강도 시험 시는 약 2.2배였다. 따라서 급속경화계도용 광폭침목 레일 좌면부에 강봉 뿐만 아니라 소수의 보강철근을 적절하게 배치할 경우 균열 발생 억제 및 균열폭 확대 지연, 휨 파괴 지연 효과를 기대할 수 있다고 판단된다.
- (6) 향후 급속경화계도용 광폭침목의 설계 최적화(침목 형상, 보강철근의 위치 및 개수 등)를 위한 매개변수 분석 및 실험을 추가로 수행할 예정이다.

## References

- [1] I. W. Lee, S. H. Pyo, "Experimental investigating on the application of quick-hardening mortar for converting railway ballasted track to concrete track on operating line", *Construction and Building Materials*, vol. 133, pp. 154-162, February, 2017.  
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.049>
- [2] H. Thun, S. Utsi, L. Elfgren, "Load carrying capacity of cracked concrete railway sleepers", *Structural Concrete*, vol. 9, no. 3, pp. 153-161, September, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1680/stco.2007.00024>
- [3] European Committee for Standardization (CEN), EN 13230-2: Railway applications-Track-Concrete sleepers and bearers Part 2: Prestressed monoblock sleepers, pp. 5-17, CEN, 2016.
- [4] International Union of Railways (UIC), Design of monoblock concrete sleepers (UIC 713R), pp. 4-12, UIC, 2004.
- [5] European Committee for Standardization (CEN), prEN 13230-6: Railway applications-Track-Concrete sleepers and bearers Part 6: Design, pp. 5-40, 2014.
- [6] Korea Rail Network Authority (KRNA), Railway design guideline and handbook-Ballasted track structure (KR C-14030), pp. 15-19, KRNA, 2014.
- [7] Bernhard Lichtberger, Track compendium-Formation, Permanent way, Maintenance, Economics, pp. 53-59, Eurailpress, 2005.
- [8] Korail, Train Operation Guide of High Speed Line, pp. 7-8, Korail, 2013.
- [9] I. W. Lee, Y. H. Bae, K. C. Lee and S. H. Pyo, Development of quick hardening technology for ballasted track of high-speed railway, Ministry of Land, Infrastructure and Transport R&D Report, 2017.

### 배 영 훈(Young-Hoon Bae)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (구조공학석사)
- 2003년 3월 ~ 2007년 3월 : (주)동호(舊금호엔지니어링) 구조부 대리
- 2007년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도제도, 콘크리트구조 및 재료, 철도유지보수

### 이 일 화(Il-Wha Lee)

[정회원]



- 1999년 8월 : 중앙대학교 토목공학과 (지반공학박사)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

철도제도, 구조물 개량