

## 경부고속철도 콘크리트궤도의 균열 및 손상 유형

## Crack and Damage Patterns of Concrete Track of Kyeong-Bu High-Speed Railways

장승엽<sup>\*†</sup>, 최승선<sup>\*\*</sup>Seung Yup Jang<sup>\*†</sup>, Seung Sun Choi<sup>\*\*</sup>

**Abstract** In the entire 2<sup>nd</sup> phase section(Dong-Dae-Gu~Busan) of Kyeong-Bu high-speed railway that was open in 2010, the concrete track has been installed. In Korea, because of insufficient experience on the concrete track, systematic maintenance standards should be established in the future. For this purpose, this paper investigated patterns of crack and damage occurred in the concrete track of Kyeong-Bu high-speed railway. According to the field investigation, cracks in concrete slab (TCL) are the most frequent, which develop following the interface between PC sleeper and TCL, and show the highest frequency on the earthwork. The separation of PC sleeper and TCL was observed in some area. Cracks in PC sleepers were also observed in some area, but the frequency was very low relative to the cracks in TCL. Based on these results, the causes and countermeasures on each type of cracks and damages were discussed.

**Keywords :** High-speed railway, Concrete track, Slab, PC sleeper, Crack, Damage

**초 록** 2010년 개통된 경부고속철도 2단계 구간(동대구~부산)에는 토공 구간을 비롯한 전 구간에 콘크리트궤도를 부설하였다. 우리나라에서는 콘크리트궤도에 대한 유지보수 경험이 많지 않기 때문에 앞으로 보다 체계적인 관리 기준을 수립해 나갈 필요가 있다. 이에 이 논문에서는 경부고속철도에 적용된 콘크리트궤도에 발생한 균열 또는 손상의 유형을 살펴 보았다. 현장조사 결과에 따르면, 가장 빈번하게 관찰되는 균열은 콘크리트 슬래브 (TCL)에서 횡방향으로 발생하는 균열로, 프리캐스트 콘크리트(PC) 침목과의 경계를 따라 나타나며, 토공구간에서 가장 빈도가 높게 나타나고 있다. 또 침목 하부 간극에 의한 침목-TCL 간의 분리 현상이 일부 구간에서 관찰되었고, 일부 PC 침목에서도 균열이 관찰되었으나 상대적으로 매우 빈도가 낮았다. 이러한 현장조사 결과를 토대로 각 균열 및 손상 유형별로 그 원인과 대책을 분석하였다.

**주요어 :** 고속철도, 콘크리트궤도, 슬래브, PC침목, 균열, 손상

## 1. 서 론

2010년 개통된 경부고속철도 2단계 구간(동대구~부산)에는 토공 구간을 비롯한 전 구간에 콘크리트궤도를 부설하였다. 우리나라에서는 콘크리트궤도에 대한 유지보수 경험이 많지 않기 때문에 앞으로 보다 체계적인 관리 기준을 수립해 나갈 필요가 있다.

이에 이 논문에서는 경부고속철도에 적용된 콘크리트궤도에 발생한 균열 또는 손상의 유형을 살펴 보고 그 원인과 대책을 분석하였다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(syjang@krrri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

\*\* 한국철도시설공단 영남본부 시설처

## 2. 경부고속철도 콘크리트궤도의 구조

경부고속철도에 부설된 콘크리트궤도는 독일에서 개발된 Rheda2000 공법[1]을 계승한 KCT-II 공법이다(Fig. 1 참조)[2]. 이 공법은 PC침목 위에 레일을 설치하고 선형을 모두 조정한 후에 콘크리트를 타설하여 PC침목이 현장치기 콘크리트에 매립되도록 하는 구조이다. 토공구간과 터널구간에는 현장타설 방식의 연속 철근 콘크리트 궤도(continuously reinforced concrete track) 형식으로 설치되어 있고, 교량구간에는 불연속 콘크리트 궤도 형식으로 설치되어 있다.

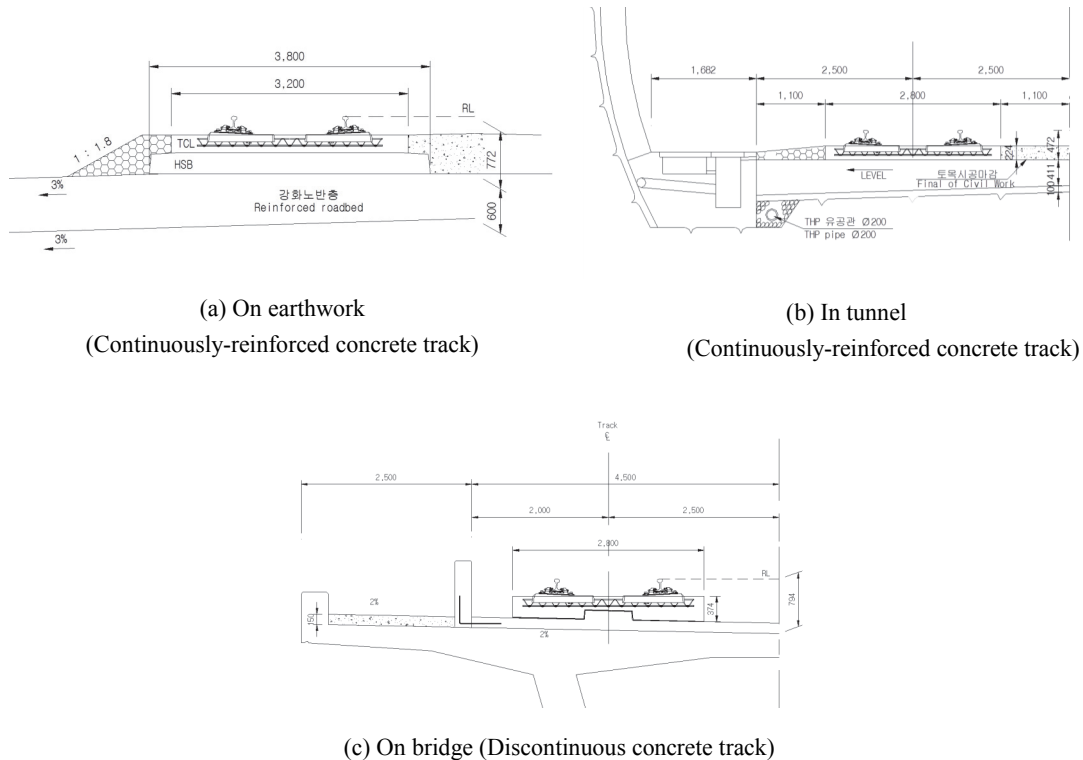


Fig. 1. Structure of KCT-II track in Kyeong-Bu high speed railways

연속 철근 콘크리트 궤도에서는 콘크리트 도상 즉, 궤도 슬래브(track concrete layer, TCL)는 조인트가 없이 선로 방향으로 연속인 콘크리트 슬래브이고, 궤도 슬래브 하부에는 무근 콘크리트 기층(도상안정층)인 HSB(hydraulically stabilized base course)가 설치된다(Fig. 1(a) 참조). 슬래브 단부와 바닥이 슬래브 신축 작용을 완전히 구속하므로 콘크리트 수축이나 온도변화에 의한 슬래브가 수축할 경우 콘크리트에는 인장응력이 발생하게 되고, 이 인장응력은 필연적으로 콘크리트 균열을 유발한다. 다만 균열이 발생하더라도 요구되는 장기 성능을 확보하기 위해 균열폭이 커지는 것을 막고 작은 균열이 촘촘하게 발생하도록 제어하기 위해 슬래브 중심 위치에 철근을 배근하고 있다(토공구간은 단면적의 0.8~0.9%, 터널구간은 0.4%).

교량구간에서는 교량 단부의 꺾임과 같은 변형에 따라 토공구간과는 슬래브를 연속해서 연결할 수 없기 때문에 6~8m 길이의 불연속 철근 슬래브로 설계하고 동시에 수평방향의 힘을 교량의 하부구조로 전달하도록 전단키를 슬래브 하부에 설치한다(Fig. 1(b) 참조). 그리고 전단

키가 슬래브의 건조수축이나 온도변화에 의한 수축을 구속하지 않도록 슬래브 하부에는 분리막을 설치하여 마찰을 줄이고, 전단키의 측면에는 탄성패드를 부착한다. 따라서 교량구간에서 궤도 슬래브는 토공구간에 비해 자유롭게 신축이 이루어지기 때문에 구속으로 인해 발생하는 응력이 매우 작아진다.

### 3. 콘크리트궤도 균열/손상 유형과 그 원인 및 대책

#### 3.1 균열 및 손상 유형

경부고속철도 2단계 구간(동대구~부산)의 콘크리트궤도에서 2010sus 개통 이후 지금까지 발생한 초기 균열과 손상은 콘크리트 도상(궤도 슬래브, TCL) 균열, 콘크리트 기층(HSB) 균열, PC 침목 균열, 침목-도상 분리 등으로 나타나고 있다(Fig. 2 참조).

PC침목의 균열은 침목 모서리부에서 볼트 구멍을 중심으로 방사형으로 균열이 발생하고 있다. 균열폭은 0.3mm 미만이고 발생 빈도는 도상 균열에 비해 매우 낮다(Table 1 참조).

침목-도상 분리 구간은 침목 주변부 백태가 발생하고, 심한 경우 침목 및 도상 파손으로 진행되는 형태를 보이고 있다. 발생 빈도는 도상 균열이나 침목 균열보다 더 낮았다.



(a) 콘크리트 도상(궤도 슬래브)와 기층의 균열



(b) PC침목 균열

Fig. 2. Patterns of cracks and damages



(c) 침목-도상 분리부에서의 백태, 균열, 파손

Fig. 3. (continued)

Table 1. Summary of current status of cracks and damages in Kyeong-Bu high-speed railway (May 2013)[3]

| 구 분                            |               | 단위 | 계       | 토 공    | 교 량    | 터 널    |
|--------------------------------|---------------|----|---------|--------|--------|--------|
| 구조물 연장                         |               | km | 126k459 | 31k070 | 22k137 | 73k252 |
| TCL<br>균열수                     | 계             | 개소 | 39,965  | 18,489 | 1,722  | 19,754 |
|                                | 폭 0.3mm 미만    | 개소 | 29,832  | 15,823 | 1,545  | 12,464 |
|                                | 폭 0.3~0.5mm미만 | 개소 | 9,030   | 2,314  | 140    | 6,576  |
|                                | 폭 0.5~1.0mm   | 개소 | 1,103   | 352    | 37     | 714    |
| PC침목<br>균열수                    | 계             | 개소 | 3,962   | 3,556  | 385    | 21     |
|                                | 폭 0.3mm 미만    | 개소 | 3,962   | 3,556  | 379    | 21     |
|                                | 폭 0.3~0.5mm미만 | 개소 | 5       | -      | 5      | -      |
|                                | 폭 0.5~1.0mm   | 개소 | 1       | -      | 1      | -      |
| 침목-도상 분리 구간 수<br>(좌우 침목 각각 산정) |               | 개소 | 345     | 345    | -      | -      |

### 3.2 원인파 대책

균열과 손상 유형 중에서 도상 슬래브의 균열과 콘크리트 기층의 균열은 그 구조적 특성에 따라 콘크리트 자체의 수축과 슬래브-기층 간 온도차에 의한 응력에 의해 발생하며, 침목이 매립되어 있으므로 슬래브의 단면이 급격히 변화하는 침목-도상 경계를 따라 균열이 발달하게 된다. 교량-토공 접속부 등에서는 부등침하가 발생할 경우 콘크리트 기층에서 상당히 큰 휨균열이 발생하기도 한다. 이 경우 부등침하에 의해 균열폭이 증가된다고 볼 수 있으나 실제 현장에서는 명확한 구분이 어려웠다. 독일에서의 경험이나 국내외 콘크리트 포장에서의 경험에 따르면 이러한 횡균열이 발생하더라도 균열폭이 적절히 관리되고, 하부 노반이 양호한 조건이 유지된다면 장기적인 내구성에 미치는 영향은 매우 낮다.

PC침목에는 레일체결장치의 볼트가 고정되어 있어 레일의 선형을 유지하는 가장 중요한 기능을 담당하고 있다. 따라서 PC침목의 균열이 레일체결장치의 볼트 매립부에 발생하게 되면

인발 및 전단강도가 낮아져 앵커의 헐거워짐이나 뿔힘이 발생할 수 있기 때문에 레도 슬래브의 균열이 PC침목으로 연결되거나 PC침목 자체에 균열이 발생하는 것은 엄격히 제한하고 있다. 현장에서 발생한 PC침목의 균열은 볼트 구멍을 중심으로 방사형으로 발생하고 있지만 체결장치를 제거한 후의 균열 발달 상태를 보면 볼트에서부터 균열이 시작된 것이 아니라 침목의 외측 모서리에서부터 발달하여 외기에 노출된 부분까지만 균열이 발생하고 있음을 알 수 있다(Fig. 2(b) 참조). 따라서 이 균열은 열차 하중에 의해 볼트로 전달되는 힘에 의해 발생한 것이 아니라 콘크리트의 수축 현상에 기인한 것이라고 판단된다. 이는 경부고속철도 2단계 구간의 사업소별 침목 균열 발생 현황을 보여 주는 Fig. 3을 보면 좀 더 분명해진다. 그림에서 특정 구역(고모사업소 관할 구역)에서 대부분의 침목 균열이 집중되어 있음을 알 수 있는데 이 구역은 사업 초기에 공급된 침목이 부설된 구역이다. 따라서 초기 콘크리트 침목 제조 시 양생이나 배합 등의 원인으로 건조수축 변형률이 크게 발생했을 가능성이 크다고 판단된다. 그러므로 PC침목 균열을 줄이기 위해서는 제조 시 콘크리트의 품질 관리가 무엇보다 중요할 것으로 판단된다.

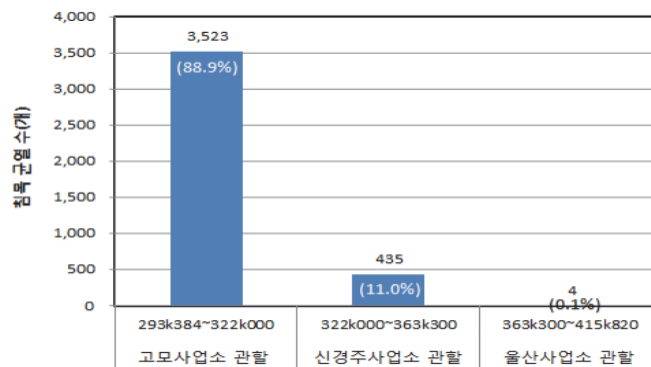


Fig. 3. Frequency of PC sleeper cracks

침목-도상 분리의 경우는 침목 주변의 콘크리트 표면에서 백화(efflorescence)가 발견되는 점으로 볼 때 침목 하부로 유입된 침투수가 열차 주행 시 펌핑(pumping) 현상에 의해 밖으로 흘러나오면서 이것이 슬래브 표면에서 석출되는 것으로 추정된다. 즉 침목 하부에는 침목의 상대적인 수직 처짐이 발생할 만큼의 간극(void)이 존재할 가능성이 크다. 현장에서 코어를 채취하여 내부를 확인한 결과에서도 Fig. 4와 같이 육안으로 간극을 확인할 수 있었다. PC침목 하부로 현장치기 콘크리트 채워 넣는 시공방법의 특성상 이러한 간극은 시공 중에 발생할 가능성이 높다. 따라서 시공 숙련도를 향상하는 것이 간극을 줄이는 데 가장 효과적인 대책이라고 판단된다. 콘크리트 침목은 래티스 철근으로 TCL과 연결되어 있기 때문에 간극이 발생하더라도 상대변위의 크기는 매우 작기 때문에 당장 열차의 운행에 영향을 주는 수준은 아니지만 수분이 침투하여 장기간 노출될 경우 철근 부식이 발생할 수도 있고, 열차 하중이 반복적으로 작용하게 되면 변위가 점차 증가하고 침목 주변의 도상 슬래브나 침목 콘크리트의 파손(faulting)으로 발전할 수 있으므로 주입 보수를 실시하는 것이 바람직하다.





**Fig. 4.** Void in the interface of sleeper and TCL

#### 4. 결 론

우리나라는 콘크리트궤도의 운영 경험이 충분하지 못하여 초기 균열과 손상에 대해 지나치게 우려하는 경향이 있다. 그러나 가장 빈번하게 발생하는 궤도 슬래브의 횡균열은 콘크리트 특성상 필연적으로 발생할 수밖에 없고 적절히 관리되고, 하부 노반이 양호한 조건이 유지된다면 장기적인 내구성에 미치는 영향은 매우 낮으므로, 너무 성급하게 보수를 실시하기 보다는 장기 내구성에 미치는 영향을 살피고 지속적으로 관리하는 것이 중요하다. 또한 PC침목 균열이나 침목-도상 경계부의 간극 등은 상대적으로 빈도는 낮지만, 향후 체결구 앵커의 헐거워짐이나 뽐힘이 발생할 수 있고, 침목-도상 경계부에서 도상 슬래브나 침목 콘크리트의 파손으로 발전할 수 있으므로 조기 보수가 필요하며, 이를 방지하기 위한 침목의 제조와 시공 시의 품질 관리, 숙련도의 향상 등이 요구된다.

#### 후 기

본 연구는 한국철도시설공단의 지원에 의해 “콘크리트궤도 균열 합동조사반(2014.4~6.)”의 조사 활동의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] S.Y. Jang, Y.S. Kang, E.Kim, Recent technology of high-speed railway concrete slab track, The Magazine of Korea Concrete Institute, Vol.16, No.4, 2004, pp.10-17.
- [2] S.G. Park et al., Investigation on cracks of concrete track, Final report, Korea Rail Network Authority, June 2013.
- [3] KRTC, Execution design of track construction for the 2<sup>nd</sup> phase of Kyeong-Bu high-speed railway, Final report, Korea Rail Network Authority, 2006.