

## 교량상 급속경화궤도 구조 안정성 평가

**Structural Stability Evaluation of Fast Hardening Track on Bridge**

조상현\*, 이경찬\*\*, 이희영\*, 정원석\*†

Cho Sang Hyun\*, Lee Kyung Chan\*\*, Lee Hee Young\*, Chung Won Seok\*\*

**Abstract** Fast Hardening Track (FHT) has been proposed to reduce the maintenance and repair cost over replacing an existing ballast track. For the application of FHT to a railway bridge, anchors should be applied to ensure the composite action between FHT and bridge. This study investigates the longitudinal behavior of FHT on a railway bridge considering curing age of FHT. An appropriate installation time of anchor has been proposed by means of longitudinal interaction analysis of rail-FHT-bridge system.

**Keywords :** FHT (Fast Hardening Track), bridge, structural stability, anchor installation time

**초 록** 최근 기존의 자갈도상궤도에서는 빈번한 궤도 틀림, 승차감 저하, 유지·보수비용 증가 등의 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 기존 자갈도상궤도에 급속경화 모르타르를 충전하여 콘크리트궤도로 대체하는 급속경화궤도 기술이 개발되고 있다. 고속철도 구간의 많은 부분을 차지하는 교량상 급속경화궤도를 시공할 시 급속경화궤도와 교량 바닥판의 일체화가 필요하다. 본 연구는 급속경화궤도와 교량 바닥판의 일체화를 위해 급속경화궤도와 바닥판 사이에 앵커를 설치하여 연결하였다. 급속경화궤도에 앵커를 설치하여 바닥판과 일체화하는 경우, 앵커부에서 온도변화 혹은 열차 하중에 의한 심각한 균열이 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 교량상 급속경화궤도의 레일 및 앵커부의 거동 분석을 통하여 교량상 급속경화궤도 구조 안정성을 평가하고, 적합한 앵커부 설치시기를 분석하고자 한다.

**주요어 :** 급속경화궤도, 교량, 구조적 안정성, 앵커부 설치시기

## 1. 서 론

기존 자갈도상궤도의 문제점인 유지·보수비용, 궤도 틀림, 승차감 저하 등을 해결하기 위해 급속경화궤도가 개발되었다. 급속경화궤도란 기존의 자갈도상궤도를 콘크리트궤도로 대체하는 방식이다. 교량상 급속경화궤도는 급속경화궤도와 교량 바닥판의 일체화를 위하여 앵커를 설치해야 한다. 급속경화궤도에 앵커를 설치하여 바닥판과 일체화하는 경우에는 레일 및 앵커부에 작용하는 하중을 고려하여야 한다. 이러한 앵커부에 작용하는 하중은 급속경화궤도 재령일에 따라 레일부가응력 및 앵커부 거동이 변화하므로 이를 고려한 교량상 급속경화궤도의 구조적 안정성을 검토하여야 한다. 또한 재령일에 따른 적절한 앵커부

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

\* 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과

\*\* 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단

설치시기를 분석하기 위하여 Table 1과 같이 매개변수를 선정하였다. C-0는 재령 4시간이 지났을 때의 앵커 물성치이고 급속경화궤도의 재령일에 따라 C-1, C-3, C-7, C-28로 명명하였다. 앵커 강도는 각 매개변수마다 앵커부에 균열이 발생하였을 시(Qd), 콘크리트 파괴가 발생했을 때, 앵커 파괴가 발생했을 때로 구분하였다. 설계강도(Qd)는 앵커 부근의 급속경화콘크리트에 균열이 발생했을 때 가해진 하중 값으로 급속경화궤도의 안정성을 판별하는 기준이다.

**Table 1** Parameters of fast hardening track

Case	Aged days (day)	Anchor strength			
		Design load (Qd)	Concrete fracture load	Anchor fracture load	
Case C	C-0	0.167 (4hr)	166.2	345.8	405.1
	C-1	1	182.3	379.1	458.4
	C-3	3	190.6	396.6	486.7
	C-7	7	204.0	424.2	532.5
	C-28	28	243.4	506.3	674.1

## 2. 교량상 급속경화궤도의 종방향 상호작용해석

교량상 급속경화궤도 레일부가응력 해석 시 레일 및 교량구조물에 작용하는 하중은 철도설계편람(2014)에 제시되어 있는 하중 규정으로 설정하였다. 레일의 종방향 상호작용해석에는 온도하중, 시/제동하중, 수직하중이 고려되어야 한다. 식(1)은 온도하중, 시/제동하중, 열차 수직하중에 의해 발생하는 레일부가응력 산정식이다.

$$\sum R = \alpha R(\text{온도하중}) + \beta R(\text{시제동하중}) + \gamma R(\text{열차수직하중}) \quad (1)$$

교량이 단순지지 경간인 경우,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  는 각각 1의 값을 갖는다. 철도설계편람(2014)에서는 레일부가응력 허용기준을 제시하고 있으며, 그 값은 Table 2와 같다.

**Table 2** Concrete bridges allowable standard for additional rail stress

Additional rail stress	Design criteria	Loads
Compression	92MPa	-Temperature load
Tension	92MPa	-Acceleration/Break load
		-Vertical load

본 연구는 교량상 급속경화궤도 거동을 분석하기 위하여 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS(version 6.71)을 사용하여 해석을 수행하였다. 레일, PSC 박스거더, 급속경화궤도 슬래브는 보(Beam)요소(B23)를 적용하여 급속경화궤도 모델링을 구현하였다. 레일과 급속경화궤도의 연결부인 레일체결장치와 급속경화궤도와 교량의 연결부인 앵커는 모델 상에서 표현하

기 위해 스프링(Connect two points)요소를 이용하여 상호 연결하였다. 하중재하 유/무에 따른 체결장치의 종방향 저항력 규정은 철도설계편람 궤도-교량 종방향 상호작용해석(2014)에서 제시하고 있다(Fig. 1(a)). 앵커 강도는 Fig. 1(b)와 같이 실험 값을 토대로 산정하였다. 최종적으로 급속경화궤도 해석모델은 Fig. 2와 같이 구성하였다.

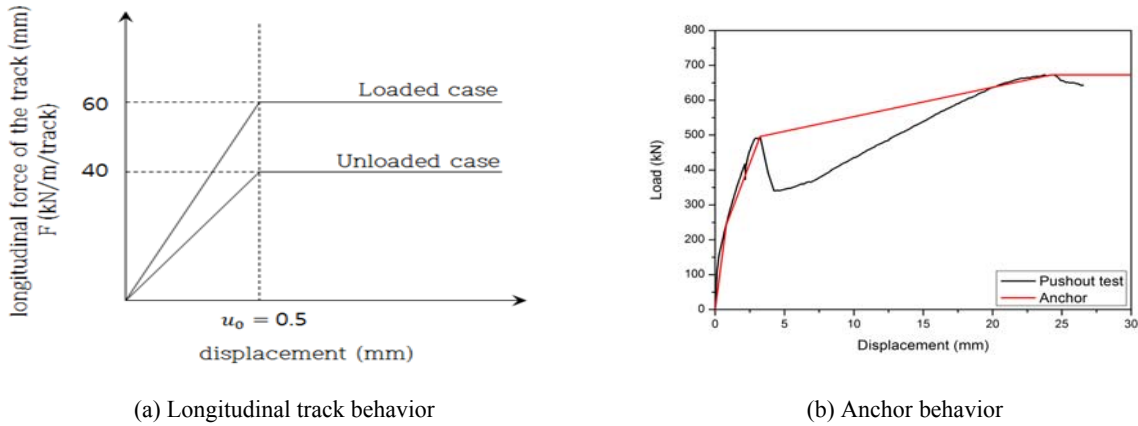


Fig. 1 Load-displacement curve of track longitudinal resistance

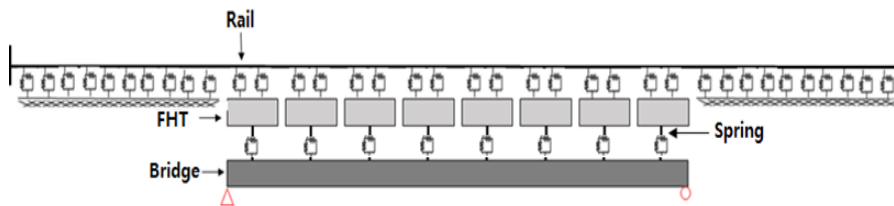


Fig. 2 Analysis model

### 3. 해석 결과

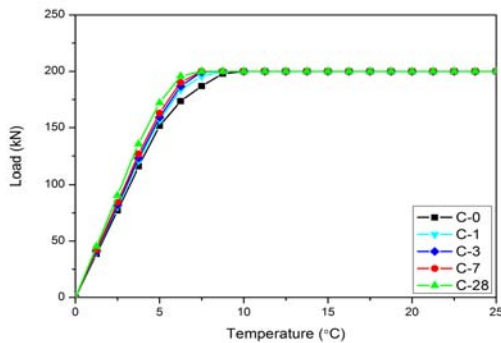
Table 3는 온도하중, 시/제동하중, 수직하중 그리고 조합하중에 의한 레일부가응력 결과이다. 재령일이 증가함에 따라 온도하중에 의한 레일부가응력은 증가하고, 시/제동하중에 의한 레일부가응력은 감소하였다. 수직하중에 의한 레일부가응력은 재령일에 상관없이 3.7MPa로 일정하였다. 조합하중에 의한 최대 레일부가응력은 재령 4시간일 때 59.0MPa로 허용치인 92.0MPa 이 내인 것으로 분석되었다. 조합하중은 시/제동하중에 의한 레일부가응력 감소량이 온도하중에 의한 레일부가응력 증가량보다 크기 때문에 재령일에 따라 감소하는 것으로 분석되었다.

Fig. 3(a)는 온도변화에 의한 앵커부에 작용하는 하중 그래프이다. 온도변화에 의해서 발생하는 앵커부의 최대 하중은 200.0kN이다. 재령 7일 이후에 설치된 앵커에서는 앵커 스프링의 하중이 설계강도(Qd)를 넘지 않았으나, 재령 4시간, 1일, 3일의 경우에는 온도변화량이 5.8° C, 6.3° C, 6.5° C보다 크면 설계강도(Qd)보다 높은 앵커 스프링 하중이 발생하고 급속경화궤도에 균열이 발생하는 것을 분석되었다. Fig. 3(b)는 시/제동하중에 의해 앵커부에서 발생하는 하중

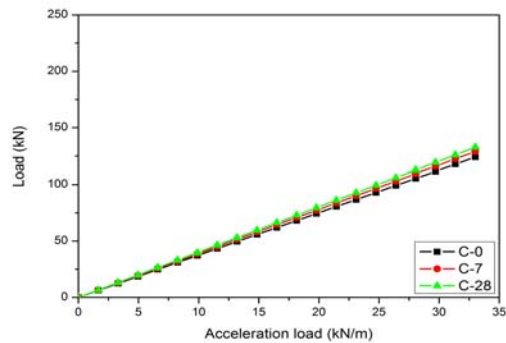
그래프이다. 시/제동하중에 의해 앵커부에 발생하는 최대 하중은 132.6kN으로 설계강도(Qd)보다 낮은 하중이 산출되었다.

**Table 3** Additional rail stress of fast hardening track

Case		Temperature load (MPa)		Acceleration load (MPa)		Vertical load (MPa)		Combination load (MPa)	
		Com	Tem	Com	Tem	Com	Tem	Com	Tem
Case C	C-0	28.7	43.5	10.3	12.8	3.5	3.7	36.8	59.0
	C-1	29.1	43.7	10.0	12.2	3.5	3.7	36.9	58.6
	C-3	29.3	43.8	9.9	12.0	3.5	3.7	37.0	58.5
	C-7	30.0	43.9	9.7	11.7	3.5	3.7	37.5	58.3
	C-28	30.1	44.1	9.2	11.0	3.5	3.7	37.1	57.8



(a) Anchor load-temperature



(b) Anchor load-Acceleration

**Fig. 3** Anchor load graph

#### 4. 결론

본 연구에서는 급속경화궤도를 교량에 설치하기 위한 종방향 상호작용해석을 실시하였다. 교량상 급속경화궤도를 시공하여 후설치 앵커를 설치하기 위한 시점을 분석하기 위해서 급속경화궤도 재령일을 매개변수로 선정하고 이에 따른 거동을 분석하였다. 단, 본 연구는 실제 급속경화 콘크리트의 재령에 따른 앵커부 거동 실험결과가 없는 관계로 일반콘크리트의 재령 경과에 따른 실험결과를 기반으로 적용한 결과이다.

교량상 급속경화궤도의 해석결과, 본 연구에서 고려한 모든 매개변수에 대한 레일부가응력은 92.0MPa이하로 설계허용응력에 만족한다. 급속경화궤도로 시공된 40m 단선교량에서는 급속경화궤도의 재령일이 증가함에 따라 조합하중에 의한 레일부가응력은 감소하는 경향을 보였다. 재령일이 지날수록 레일을 구속하는 힘이 강해지기 때문에 레일에서 부담하는 하중이 급속경화궤도 및 교량으로 분산되어 감소한 것으로 분석된다.

급속경화궤도와 교량의 일체화를 위한 후설치 앵커는 급속경화궤도 재령 7일 이후에 설치

하는 것이 레일의 부가응력과 인장응력 등의 기준치를 만족하므로 적절하다. 교량의 시/제동 하중에 의해 앵커가 부담하는 하중은 설계강도보다 낮으므로 시/제동하중에 의한 균열은 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부철도기술연구사업의 연구비지원(고속철도 자갈궤도 급속경화 기술개발, 15RTRP-B065581-03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Korea Rail Network Authority (2014) KR C-08080
- [2] Korea Rail Network Authority (2014) KR C-14050
- [3] K.C. Lee (2014) Feasibility analysis of sliding slab track for reducing track-bridge interaction, *In Proceedings of 2014 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 916-920.
- [4] Topkaya, C., Yura, J. A., & Williamson, E. B. (2004) Composite shear stud strength at early concrete ages, *Journal of Structural Engineering*, 130(6), pp. 952-960.
- [5] Wang, Y. C. (1998). Deflection of steel-concrete composite beams with partial shear interaction, *Journal of Structural Engineering*, 124(10), pp. 1159-1165.
- [6] W.S. Choi, H.Y. Lee, I.I. Hwa, W.S. Chung, et al. (2017) Behavior analysis of fast hardening track on the bridge, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 17, pp. 203-208.