

방진자갈매트구간 궤도지지계수 측정 및 분석

Measurement and analysis of support stiffness of the track which rubber ballast-mat installed

양 신 추* 이 지 하** 김 은***
Yang, Shin Chu Lee, Jee Ha Kim, Eun

ABSTRACT

In high-speed line, at some part of the track which rubber ballast-mat installed, track irregularity grew rapidly and affected riding comfort and train running stability. It is urgently requested to establish counter-measures which can be applied to track under operation. To do this, it is very important to analysis the origin of that phenomenon before.

Track support stiffness is an essential factor for evaluating track condition. Sudden changes of support stiffness along track occur instability of train and bad riding comfort. Preventing sudden changes of track support stiffness is a key technique in high-speed track maintenance. Besides the sudden changes, the magnitude itself also significantly affects track and train. Low stiffness of ballast-mat makes ballast acceleration area wider. And it may accelerate track irregularity growth. So, the stiffness should be limited. To calculate track stiffness, measuring load and displacement on track is needed.

In this study, the behavior of the track which rubber ballast-mat installed was measured and analyzed to understand the origin of rapid growth of it.

1. 서론

고속철도 방진매트부설 일부구간에서 궤도틀림이 타 구간에 비하여 진전속도가 빨라짐에 따라 열차의 주행안전성 및 승차감을 저하시키므로 근본원인을 분석하여 운영 중 적용 가능한 효율적인 대책방안을 조속히 수립할 것이 요망된다.

궤도지지계수는 궤도상태를 평가할 수 있는 매우 중요한 요소이다. 선로길이방향을 궤도지지계수가 급변할 경우 차량의 동요와 궤도에서의 충격하중이 발생하므로 궤도지지계수의 급변화를 방지할 수 있도록 궤도를 완충설계하는 것은 고속철도에서 매우 중요한 기술요건이라 할 수 있다. 또한 궤도지지계수의 크기 자체도 궤도와 차량에 매우 큰 영향을 미친다. 특히 자갈매트의 강성이 적을 경우에는 상부의 자갈도상가속도가 넓은 범위에서 크게 되어 궤도틀림이 급진전할 수 있으므로 강성을 제한하여야 한다. 궤도지지계수는 레일휨강성, 레일패드강성, 자갈매트강성, 토노반강성의 조합으로 주어지는데 계측을 통하여 지지계수값을 산정하기 위해서는 작용하는 하중과 그에 대응하는 처짐의 측정이 필수적이다.

본 연구에서는 고속철도 방진매트부설구간에서 궤도지지계수를 측정 및 분석함으로써 방진자갈매트구간에서 궤도틀림이 급진전하는 원인을 체계적으로 분석하고자 하였다. 측정은 방진매트가 부설된 설계교~영동터널사이에서 수행하였으며, 궤도지지계수는 모터카를 주행하여 윤중과 그에 대응하는 처짐을 측정함으로써 산정하였다. 측정결과는 기준값들과 비교함으로써 적절성을 분석하였다.

* 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도구조연구팀

E-mail : scyang@krti.re.kr

TEL : (031) 460-5301 FAX : (031) 460-5814

** *** 한국철도기술연구원

2. 현장 궤도지지계수 계측

설계교~영동터널 사이 궤도지지강성변화를 측정하기 위하여 모터카를 주행하면서 윤중 및 변위를 계측하였다. 측정위치는 그림 1에 나타난 바와 같이 교량구간 1개소, 토공구간 1개소, B형매트구간 1개소, A형 매트구간 2개소 등 총 5개소에서 계측을 시행하였다.

모터카의 최대축중은 16ton으로서 KTX 객차부분의 축중과 거의 비슷한 수준이므로 계측상의 의미는 충분히 갖는다고 판단된다. 모터카 통과속도를 10~20km/h 정도로 서행운행함으로써 정적궤도지지계수를 측정할 수 있도록 하였다.

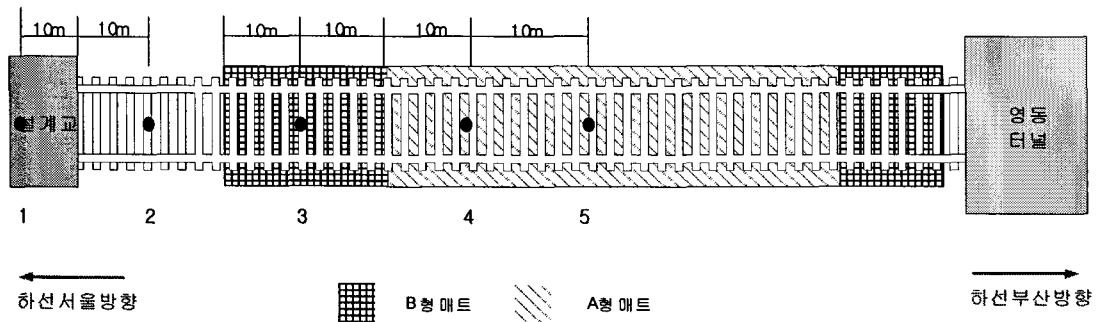
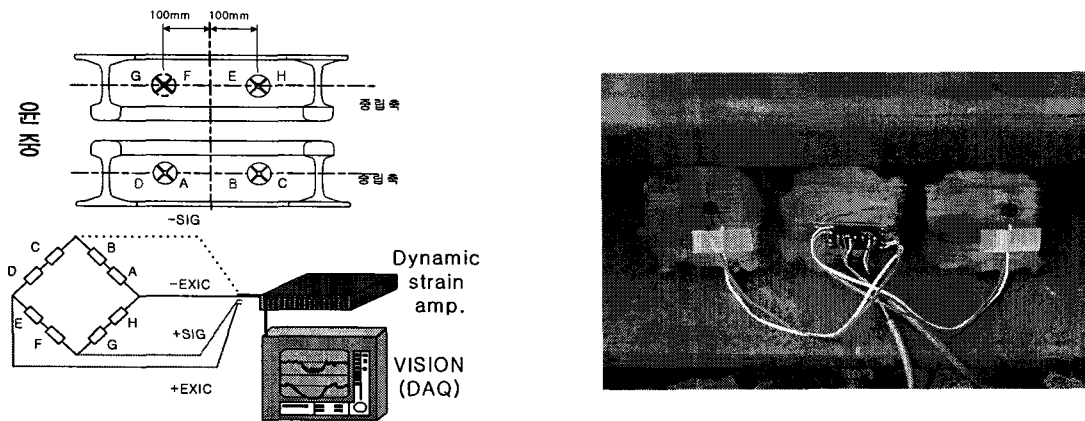


그림 1. 모터카 주행시 윤중 및 변위 측정계소

윤중 측정시스템은 그림 2와 같다.



(a) 윤중 게이지 부착과 계측시스템

(b) 실제 윤중 게이지 부착모습

그림 2. 윤중 측정시스템

3. 계측결과

그림 1에서 나타난 계측지점을 기준으로 측정점별 윤중 및 변위는 그림 3~6와 같다.

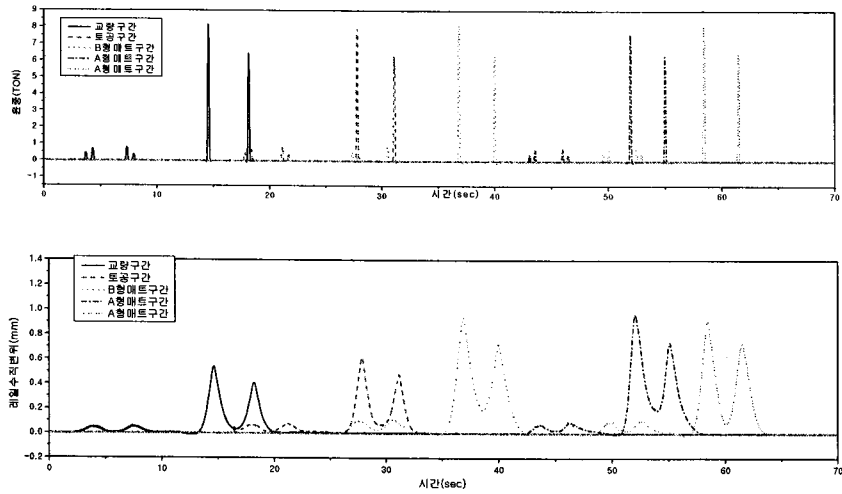


그림 3 모터카 주행시 윤중 및 레일변위(측정 1)

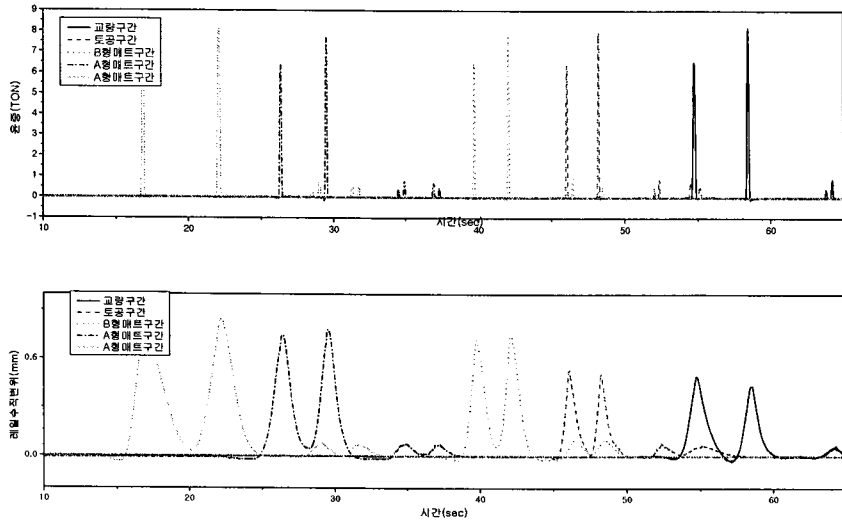


그림 4 모터카 주행시 윤중 및 레일변위(측정 2)

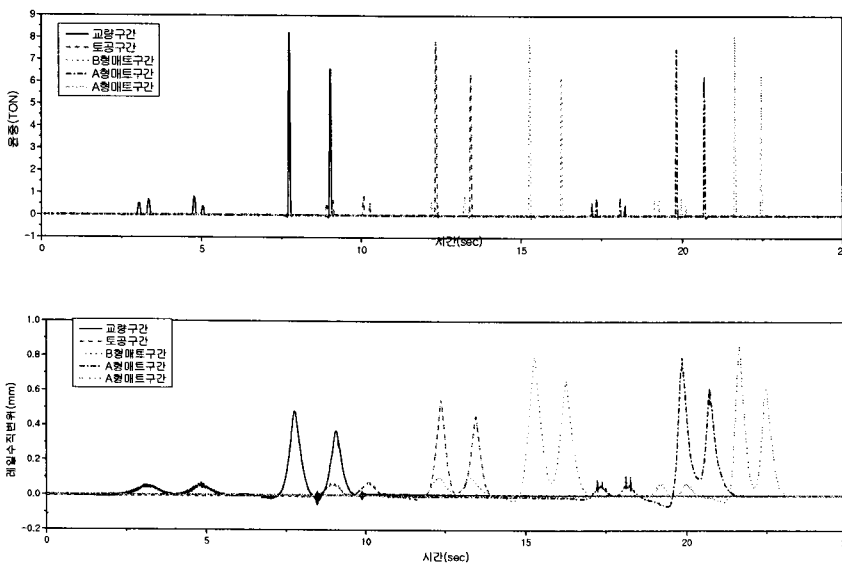


그림 5. 모터카 주행시 윤중 및 레일변위(측정 3)

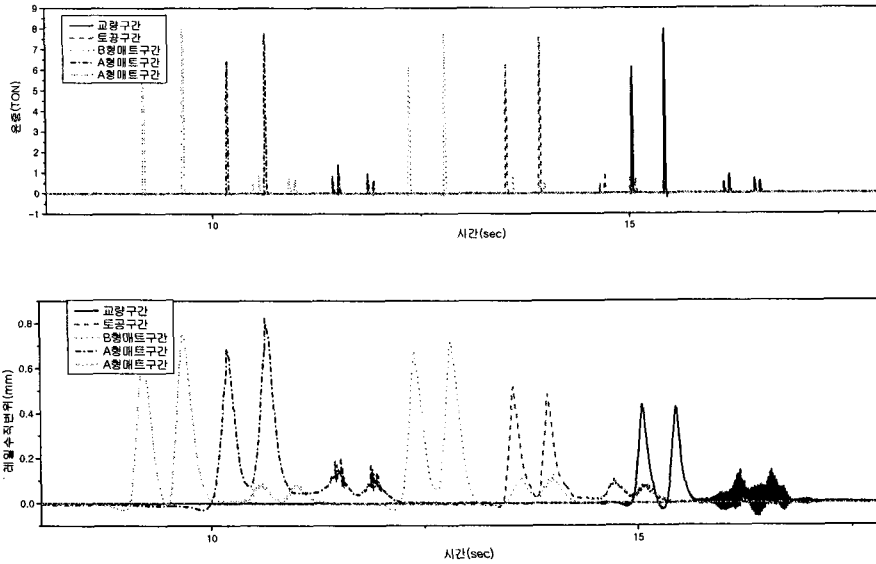


그림 6. 모터카 주행시 운동 및 레일변위(측정 4)

4. 계측결과 분석

1차 빔(Beam) 모델을 사용하면 종방향 단위길이당 단위수직방향변위를 유발하는데 요구되는 힘으로 정의되는 궤도지지계수 $k(kN/m^2)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$k = 4EI_x \left(\frac{W}{8EI_x y_{max}} \right)^{\frac{4}{3}}$$

여기서 W = 운동(kN)

E = 레일탄성계수(kN/m^2)

I_x = 수평중립축에 대한 레일단면2차모멘트(m^4)

y_{max} = 레일 최대처짐(m)

계측결과를 토대로 각 계측지점에서 궤도지지계수를 평가하면 표 1~4와 같고, 이들의 평균값을 구하면 표 5 및 그림 7과 같다.

표 1. 측정결과로부터 궤도지지계수 평가(측정 1)

측점	교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간	A형 매트구간(II)
운동(kN)	81.653	79.017	81.425	76.243	81.892
변위(m)	0.5385E-3	0.6184E-3	0.9479E-3	0.9391E-3	0.9082E-3
궤도지지계수 (kN/m^2)	108790	86589	51002	45352	54392

표 2. 측정결과로부터 퀘도지지계수 평가(측정 2)

측점	교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간(I)	A형 매트구간(II)
윤중(kN)	65.296	63.793	64.913	63.461	66.587
변위(m)	0.4927E-3	0.53217E-3	0.72013E-3	0.7425E-3	0.8309E-3
퀘도지지계수 (kN/m ²)	90908	79523	54378	50649	46485

표 3. 측정결과로부터 퀘도지지계수 평가(측정 3)

측점	교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간(I)	A형 매트구간(II)
윤중(kN)	82.128	78.309	80.892	75.059	81.221
변위(m)	0.481E-3	0.548E-3	0.800E-3	0.796E-3	0.855E-3
퀘도지지계수 (kN/m ²)	127600	100590	63383	57762	58303

표 4. 측정결과로부터 퀘도지지계수 평가(측정 4)

측점	교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간(I)	A형 매트구간(II)
윤중(kN)	61.317	62.437	61.674	64.297	60.823
변위(m)	0.438E-3	0.517E-3	0.677E-3	0.684E-3	0.648E-3
퀘도지지계수 (kN/m ²)	97803	80338	55181	57472	57343

표 5. 구간별 퀘도지지계수 평균

측점		교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간(I)	A형 매트구간(II)
퀘도 지지 계수	레이편측단 위길이당 (kN/m ²)	106.3E3	86.8E3	56.0E3	52.8E3	54.1E3
	체결구당 (kN/m)	63.8E3	52.1E3	33.6E3	31.7E3	32.5E3

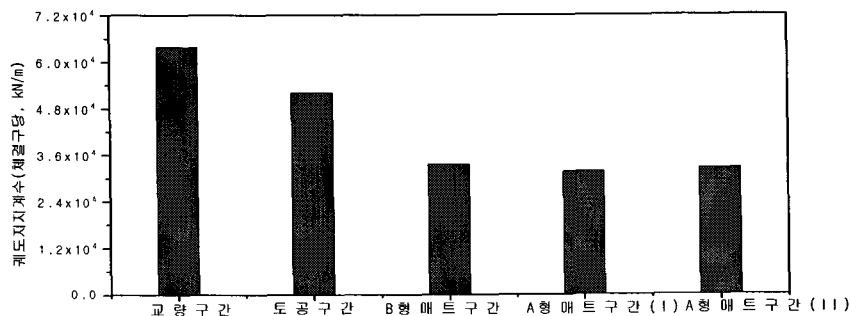


그림 7. 구간별 퀘도지지계수(단위 체결구당)

주어진 궤도지지계수에 대하여 궤도의 대변형을 유발하는 임계속도는 다음과 같이 주어진다.

$$V_{cr}^2 = \frac{2}{m} \sqrt{kEI_x}$$

여기서 m = 레일의 단위길이당 질량

측정된 궤도지지계수를 토대로 궤도 임계속도를 계산하면 표 6과 같다.

표 6. 구간별 궤도 임계속도

측점	교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간(I)	A형 매트구간(II)
임계속도(km/h)	3358.8	2861.8	2861.5	2819.7	2836.9

표 6의 결과로부터 이 구간에서 임계속도는 열차운영속도(300km/h) 보다 매우 커서 임계속도 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

문헌[1]에 의하면 열차속도 300km/h에서 궤도유지관리상 허용할 수 있는 정도로 자갈도상가속도를 유지시키기 위해서는 궤도지지계수의 변화율을 20%이하로 제한하여야 한다고 보고되고 있다. 계측결과를 토대로 구간별 지지강성변화율은 표 7과 같다. 이들 결과로부터 궤도지지계수변화는 교량구간과 토공구간사이 및 B형 자갈매트구간과 A형 자갈매트구간사이는 기준값을 만족하나 토공구간과 B형자갈매트사이는 기준값보다 크게 상회함을 알 수 있다. 따라서 토공구간과 본래의 방진매트로의 기능을 요하는 A형 방진자갈매트사이에서 완충역할을 하도록 부설한 B형자갈매트의 궤도지지강성이 다소 큰 것을 알 수 있다.

표 7. 구간별 지지계수변화율

구간	교량구간	토공구간	B형 매트구간	A형 매트구간(I)
지지계수변화율		1.22	1.55	1.06

5. 결론

본 연구에서는 고속철도 방진매트부설구간에서 궤도지지계수를 측정 및 분석함으로써 방진자갈매트 구간에서 궤도틀림이 급진전하는 원인을 체계적으로 분석하고자 하였다. 계측결과 궤도지지계수변화는 교량구간과 토공구간사이 및 B형 자갈매트구간과 A형 자갈매트구간사이는 기준값을 만족하나 토공구간과 B형자갈매트사이는 기준 값보다 크게 상회함을 알 수 있다. 따라서 토공구간과 본래의 방진매트로의 기능을 요하는 A형 방진자갈매트사이에서 완충역할을 하도록 부설한 B형자갈매트의 궤도지지강성이 다소 큰 것을 알 수 있다. 따라서 궤도틀림을 감소시키기 위해서는 궤도지지계수의 급격한 변화를 방지할 수 있도록 B형 방진매트강성을 감소시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. A. López-Pita, P.F. Teixeira, C.Casas-Esplugas and L.Ubalde., "Deterioration in geometric track quality on high speed lines: the experience of the Madrid-Seville high speed line (1992-2002)", TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM