

현장측정을 통한 분기기시스템 주변의 진동특성 평가

Evaluation of Vibration Characteristics around the Conventional, Turnout System through the Field Measurements

김영하†
Kim, Young-Ha

엄기영*
Eum, Ki-Young

신민호**
Shin, Min-Ho

박용걸***
Park, Yong-Gul

ABSTRACT

A turnout system which permits trains to pass from one track to another is a combination of the switch, the crossing, lead rails which are necessary to connect the switch and the crossing, two guard rails and switch machines for operating the switch. A turnout is the sole moving part among the railway components and has complex configuration, so the safety has always been raised an issue. In Korea, it is planned to adopt the high speed tilting train, which operates at the maximum speed of 180km/h, at conventional lines. However, for the application of the tilting train to conventional lines, it is prerequisite to establish a stable turnout system allowing the tilting train to pass through it without reducing speed. Therefore, the improved turnout system for the speed-up of conventional lines has been developed and the prototype of the turnout system has been constructed.

In this study, evaluation of Vibration characteristics around the improved turnout system was performed through the field measurements. Field measurements of Vibration around the conventional and the high-speed turnout system were also carried out for the comparison.

key words : improved turnout system, vibration , tilting train

1. 서 론

국내/외에서 발생하는 열차 사고사례의 상당수가 분기기와 관련이 있을 만큼 분기기에서는 대형사고가 빈번하여 각국의 철도기관에서도 이를 취약부로 분류하여 엄격히 관리하고 있고, 사고를 감소시키고자 우리나라 규정에서도 분기기의 직선 측 최대 통과속도를 제한시키고 있다. 철도운영에 있어 분기기는 열차를 주행선로에서 이웃한 선로로 이동시키는 매우 중요한 역할을 수행하는 장치로서 포인트부, 리드부, 그리고 크로싱부로 이루어져 있다. 그러나 분기기는 레일 주변설비 중 유일한 가동부로 구조도 복잡하고 천이과정 중 차륜, 레일간의 급격한 운동변화가 필연적으로 발생되어 안전성 문제가 항상 거론되고 있다.

본 연구에서는 분기기가 부설되어 있는 구간을 열차가 운행할 때 분기기시스템에서의 열차종류별, 운행 속도별, 열차거리별로 진동을 측정하고 분기기시스템별로 비교평가 및 분석을 통하여 상관관계식을 제시하였다.

2. 분기기 진동 측정

기존 분기기시스템의 크로싱부에서는 열차의 충격하중에 따라 진동이 발생하며 분기기시스템 인근에서의 진동 발생 수준을 측정 평가하기 위해 조립분기기와 망간크로싱 분기기가 부설되어 있는 충북선(내수역),

† 정회원, 한국철도시설공단, 건설본부, 부장, 서울산업대 철도전문대학원 석사과정
E-mail : korail64@hanmail.net
TEL : (042)607-3952 FAX : (042)607-4085

* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 책임연구원, 공학박사

** 부회장, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 수석연구원, 공학박사

*** 이 사, 서울산업대학교 철도전문대학원, 철도건설공학과 주임교수, 공학박사

호남선(일로역, 황등역)에서 진동측정을 실시하였다. 그림 1은 각 역에 부설되어 있는 진동측정 대상 분기기를 나타낸 것이다.



(a) Conventional turnout



(b) Improved turnout

그림 1. 시험대상 분기기

2.1 측정방법

틸팅열차의 시험운행 구간에 설치된 기존 분기기 인근의 진동을 측정하기 위해 그림 2에 나타낸 바와 같이 측정 장비를 구성하였다. 진동측정은 호남선(일로역, 황등역)에서 실시하였으며, 진동측정은 가속도계를 이용하였다. 가속도계의 위치는 기본적으로 결선부(crossing)를 기준으로 4 m, 8 m, 16 m, 그리고 32m 이격지점에 설치하였다 그림 2는 현장의 측정위치 및 측정장비 구성도 나타낸 것이다.

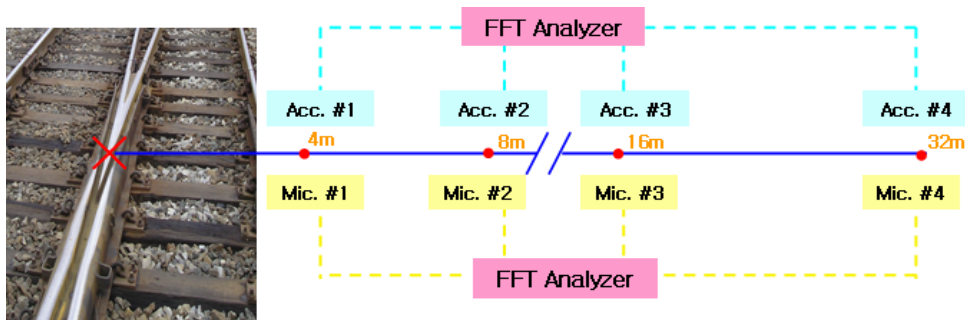


그림 2. 측정위치 및 측정장비 구성도

3. 측정결과

3.1 크로싱부 열차종류별 특성 분석

호남선의 황등역 망간분기기 크로싱부에서 측정된 열차별 진동특성을 비교하기 위해 그림 3에서 보듯이 열차속도에 따라 진동수준을 분석하였다. 4m 지점에서는 새마을열차 운행시 최대 25.6 cm/s^2 의 진동이 발생하고 있으며, KTX, 무궁화, 틸팅열차 순으로 진동수준이 나타났다. 새마을과 무궁화의 경우 열차속도는 92~110km/h사이에서 분기기를 통과하고 있었으며, 무궁화에 비해 새마을의 진동수준이 높은 것은 동력차의 특성에 따른 것으로 판단된다. 120km/h이상으로 운행하는 KTX와 틸팅열차의 진동수준은 비슷하였다.

8m 지점에서는 KTX 운행시 최대 13.8 cm/s^2 의 진동이 발생하고 있으며, 틸팅열차와 새마을, 무궁화의 진동수준은 비슷한 것으로 나타났다. 이처럼 KTX 운행시 높은 진동수준이 발생하는 것은 타열차에 비해 운행속도 최대 30km/h이상 빠르게 운행하고 있어 순간적인 동하중이 큰 것으로 보인다. 비슷한 속도의 틸팅열차의 경우 최대 5 cm/s^2 의 진동이 발생하고 있어 KTX에 비해 다소 낮은 수준을 보였다.

16m 지점에서는 무궁화의 진동수준이 타열차에 비해 다소 높으나 대체로 비슷한 수준을 보이고 있으며, 32m 지점에서도 열차별 진동수준 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 분기기에서 발생하는 충격성 진동이

지반을 통해 전파되면서 기하감쇠(Geometrical Damping)와 재료감쇠(Material Damping)가 거리에 따라 지수함수적으로 감쇠하는 특성에 따라 열차별로 진동수준이 비슷해지는 것으로 예상된다.

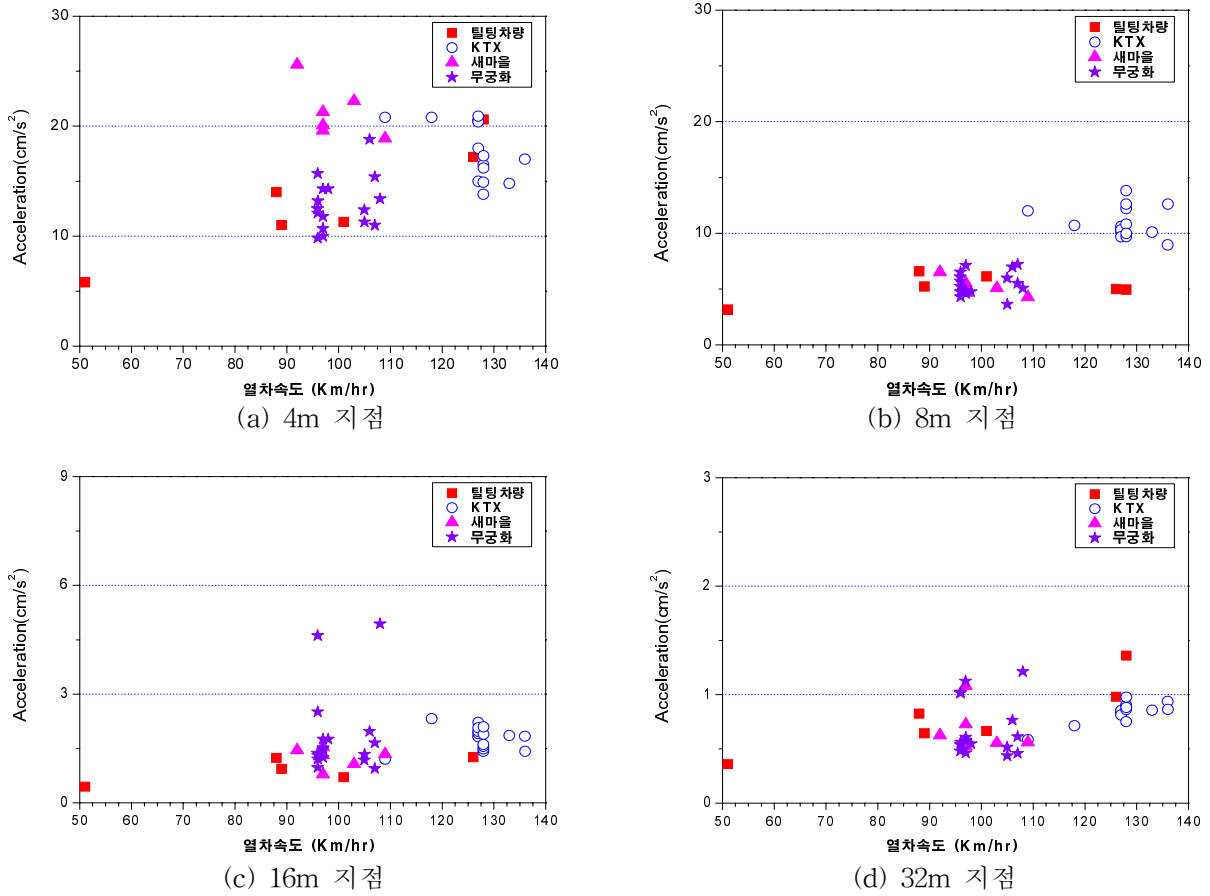
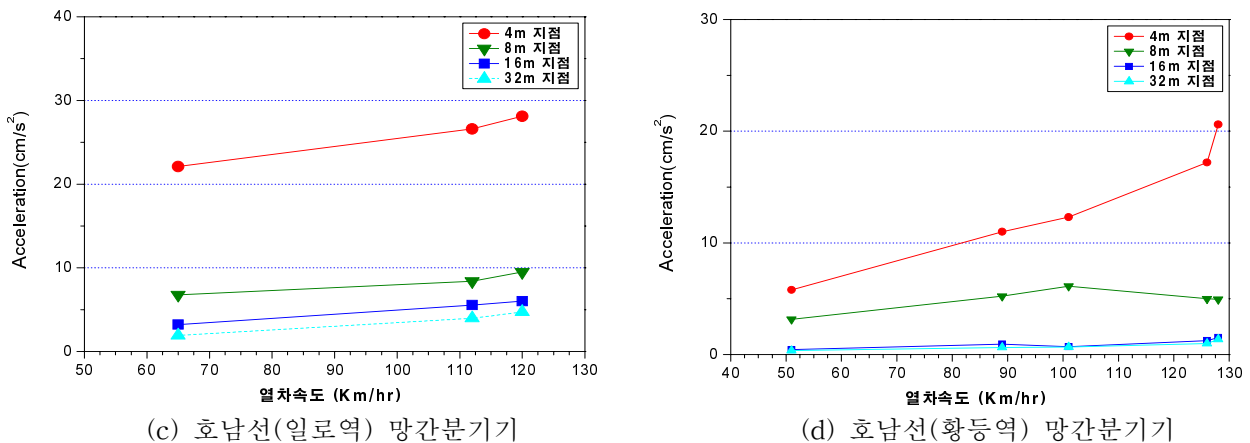


그림 3. 속도에 따른 차종별 진동특성

3.2 크로싱부 열차속도별 특성 분석

크로싱부를 지날 때 발생하는 과진동의 원인 중 하나인 열차 속도에 따른 진동수준을 비교한 결과는 그림 4와 같다. 틸팅열차의 운행속도에 따른 충격성 진동의 변화추이를 살펴보면 저속운행(50~70 Km/h)시 운행속도에 따른 진동수준변화는 차이가 미소하나 고속운행(110~120km/h)시 저속운행(50~70Km/h)때보다 약 20~30%정도의 진동수준이 높아졌다. 호남선의 경우 일로역이 황등역보다 진동발생량이 약 1.3배가량 높으며, 이격거리별도 전반적으로 일로역에서 진동발생량이 높음을 알 수 있다. 또한 4m 지점을 지나 8m지점 이상부터는 진동 전달량이 약 2배 이상 감소하는 특성을 보이고 있다.



(c) 호남선(일로역) 망간분기기

(d) 호남선(황등역) 망간분기기

그림 4. 운행속도별 틸팅열차의 진동 수준비교

분기기 크로싱부에서 새마을이나 무궁화에 비해 운행속도를 120km/h이상 유지하는 KTX와 비슷한 수준의 운행속도를 보이는 틸팅열차와의 진동발생수준을 비교한 결과는 그림 5와 같다. 호남선 황등역 망간분기기 크로싱부에서 측정된 Data 중 126km/h와 128km/h로 운행시 KTX와 틸팅열차의 진동수준을 측정한 자료를 비교한 결과4m 지점에서는 유사한 진동수준을 보이나 8m 지점부터는 KTX에 비해 진동수준이 2배가량 낮아졌으며, 16m 이상에서는 유사한 수준을 보였다. 이는 8m 지점까지는 KTX 운행시 발생한 저주파수 성분 중 30~40Hz부근의 성분이 많이 감소되지 않은 채 그대로 전달되고 있어 틸팅열차에 비해 다소 높은 진동수준을 보이고 있는 것으로 보인다.

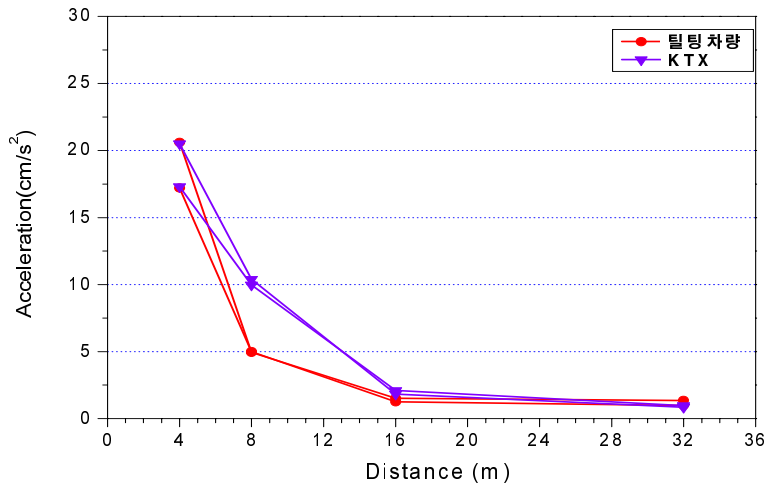


그림 5. KTX와 틸팅열차의 진동수준 비교

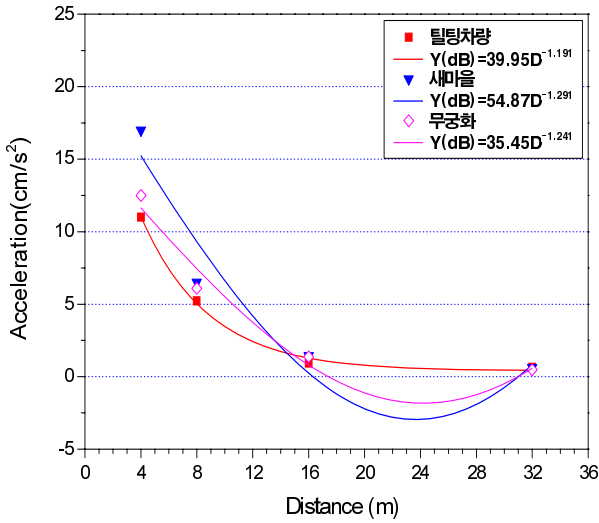
3.3 크로싱부 거리별 특성 분석

호남선의 황등역에 설치된 망간 크로싱 타입 분기기에서 충격성 진동을 측정된 결과를 살펴보면 그림 6과 같다. 차량의 운행속도가 100km/h이하일때 거리별 진동특성을 살펴보면 4m지점에서는 차량별로 차이가 있으나 16m이상부터는 지반에서의 급격한 감소로 인해 진동수준이 낮아지고 있다. 이와 유사하게 100km/h이상 일때도 8m 지점까지는 대체로 높은 수준의 진동이 전달되지만 16m 이상부터 전달되는 진동수준이 급격히 낮아지고 있다. 열차별 거리에 따른 진동가속도의 예측 상관식은 도표 1과 같다. 거리에 따라 진동가속도가 일정하게 감쇠하고 있음을 알 수 있다. 지반진동의 경우 기하감쇠와 재료감쇠가 거리에 따라 지수함수적으로 감쇠되는 특성을 감안할 때 신뢰성 있는 예측치를 제안하고 있음을 알 수 있다.

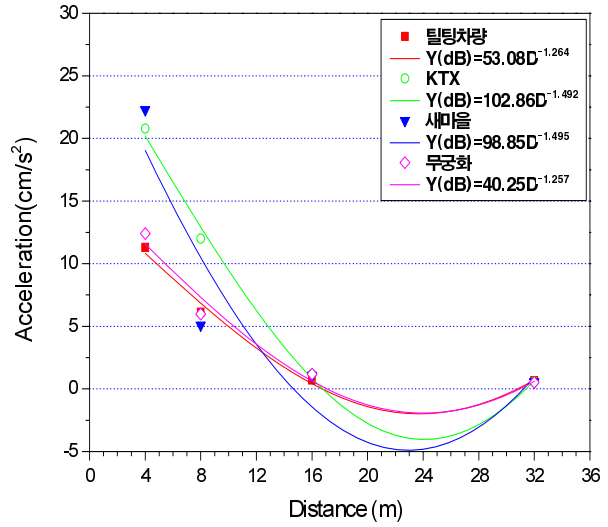
도표 1. 열차별 거리에 따른 진동가속도의 실측식

차량종류	열차운행속도	
	90~95km/h	101~109km/h
틸팅열차	$A(\text{dB})=39.95D^{-1.191}$ $R^2=0.973$	$A(\text{dB})=58.08D^{-1.264}$ $R^2=0.989$
KTX	-	$A(\text{dB})=102.86D^{-1.492}$ $R^2=0.995$
새마을	$A(\text{dB})=54.87D^{-1.291}$ $R^2=0.927$	$A(\text{dB})=98.85D^{-1.495}$ $R^2=0.853$
무궁화	$A(\text{dB})=35.45D^{-1.241}$ $R^2=0.968$	$A(\text{dB})=40.25D^{-1.257}$ $R^2=0.969$

※ A(dB)=진동가속도, D=거리(m)



(a) 차량운행속도 90~95km/h



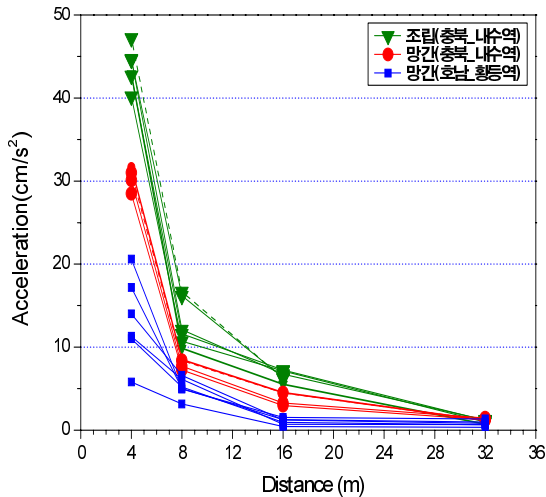
(b) 차량운행속도 101~109km/h

그림 6. 거리별 열차 진동수준 비교

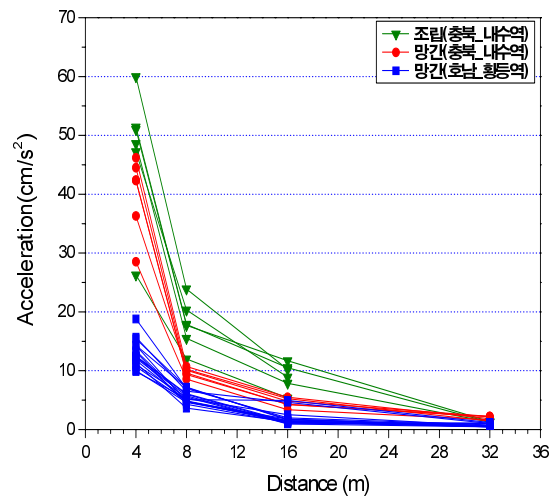
4. 분기기 종류별 진동 분석

호남선(황등역)에 설치된 망간 크로싱 분기기에 따른 틸팅열차의 진동 특성을 분석하여 보면 그림 7과 같다. 분기기 결선부의 충격성 진동수준은 조립식분기기보다 망간분기기에서 진동수준이 낮다. 4m 지점에서의 수준을 비교하여 보면 조립식분기기의 경우 최대 47.2 cm/s^2 이지만 망간분기기에서는 최대 31.7 cm/s^2 으로 약 32%정도 낮은 수준을 보였으나 분기기로부터 거리가 멀어질수록 진동수준은 차이가 적어졌다. 또한 충북선과 호남선의 망간 분기기에서는 호남선의 분기기에서 진동수준이 낮은 것으로 보아 선로에 따른 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 7-(b)는 분기기 타입에 따른 무궁화 운행시 진동수준을 나타낸 그래프이며, 조립식분기기에서 진동수준이 높게 나타나고 있으며, 같은 망간분기기에서는 호남선에서 진동수준이 4m 지점에서 약 2배 이상 차이가 나고 있다.

호남선(일로역, 황등역)은 망간 크로싱 타입 분기기에서 충격성 진동을 측정하였다. 비교적 선로상태가 좋은 호남선에서의 진동수준은 틸팅열차의 속도등의 차이가 있어 황등역에서 측정된 수준이 대체로 낮은 수준을 보였다. 특히 4m 지점에서의 수준을 비교하여 보면 일로역에서는 최대 28.1 cm/s^2 이며 황등역은 최대 20.6 cm/s^2 으로 약 27%정도 낮은 수준을 보였다. 그러나 8m, 16m, 32m 지점에서 대체로 황등역의 망간 분기기에서 발생하는 진동수준이 다소 낮은 수준을 보이거나 이는 시험운행 중인 틸팅열차의 운행속도와 지반 특성의 차이에 따른 영향으로 사료된다.



(a) 틸팅열차의 진동 수준비교



(b) 무궁화의 진동 수준비교

그림 7. 분기기 타입에 따른 진동 수준비교

5. 결 론

본 연구에서는 분기기가 부설되어 있는 구간을 열차가 운행할 때 분기기시스템에서의 현장측정 및 분석, 진동측정치 데이터베이스, 열차종류별, 운행속도별, 열차거리별, 분기기시스템별로 비교평가 하고 실측 상관관계식을 제시하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 크로싱부 열차종류별 특성을 살펴보면 호남선 황등역의 망간분기기에서는 새마을 열차 운행시 최대 25.6cm/s^2 의 진동이 발생하고 있으며, 다음으로 KTX, 무궁화, 틸팅열차 순으로 진동수준이 낮아졌다. 이는 새마을 동력차의 특성에 따른 것으로 판단되며, 틸팅열차에 비해 KTX의 진동발생량이 높은 것은 운행속도가 높은 점에서 기인하는 것으로 판단된다.

(2) 크로싱부 열차속도별 특성은 틸팅열차의 경우 운행속도에 따른 충격성 진동의 변화추이를 살펴보면 저속운행($50\sim 70\text{ Km/h}$)시 운행속도에 따른 진동수준변화는 차이가 미소하나 고속운행($110\sim 120\text{km/h}$)시 저속운행($50\sim 70\text{Km/h}$)때보다 약 $20\sim 30\%$ 정도의 진동수준이 높아졌다.

(3) 호남선의 황등역에 설치된 망간 크로싱 타입 분기기에서의 열차별 거리에 따른 진동가속도의 상관관계식은 다음과 같다.

차량종류	열차운행속도	
	90~95km/h	101~109km/h
틸팅열차	$A(\text{dB})=39.95D^{-1.191}$ $R^2=0.973$	$A(\text{dB})=58.08D^{-1.264}$ $R^2=0.989$
KTX	-	$A(\text{dB})=102.86D^{-1.492}$ $R^2=0.995$
새마을	$A(\text{dB})=54.87D^{-1.291}$ $R^2=0.927$	$A(\text{dB})=98.85D^{-1.495}$ $R^2=0.853$
무궁화	$A(\text{dB})=35.45D^{-1.241}$ $R^2=0.968$	$A(\text{dB})=40.25D^{-1.257}$ $R^2=0.969$

(4) 호남선(황등역)에 설치된 망간 크로싱 분기기에 따른 틸팅열차의 진동 특성을 분석하여 보면 분기기 결선부의 충격성 진동수준이 조립식분기기보다 망간분기기에서 진동수준이 낮게 나타난다. 4m 지점에서의 수준을 비교하여 보면 조립식분기기의 경우 최대 47.2 cm/s^2 이지만 망간분기기에서는 최대 31.7cm/s^2 으로 약 32% 정도 낮은 수준을 보였으나 분기기로부터 거리가 멀어질수록 진동수준은 차이가 적어졌다. 또한 충북선과 호남선의 망간 분기기에서는 호남선의 분기기에서 진동수준이 낮은 것으로 보아 선로에 따른 차이가 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, (2006), 분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구, 한국철도기술연구원.
2. 한국철도기술연구원, (2006), 기존선 속도 향상을 위한 선로시스템 개선 기술 개발, 한국철도기술연구원.
3. 한국철도기술연구원, (2004), 틸팅열차 투입선로의 선로성능평가 및 분석(II), 한국철도기술연구원.
4. 鐵道に関する技術基準(土木編)解説, 土木關係技術基準調査研究會、(2002)
5. 鐵道構造物等設計標準·同解説[軌道構造(有道床軌道)](案) 鐵道總合技術研究所, (1997)
6. 환경부, (2003), 소음·진동공정시험방법, 환경부 고시 제2003-221호, 환경부.
7. 유승도 등(1997), “경부선 철도진동의 특성과 영향범위”, 한국소음진동공학회지, Vol.7, No.4, pp. 597-604.
8. 엄기영, 엄주환, 이진형 (2006), “개량분기기 인근의 소음진동 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션학회논문집, 제 15권, 제4호, pp.119-128