

틸팅열차 운행 시 분기기 인근의 소음특성 평가

Estimation of Noise around the Turnout System Induced by the Tilting Train

엄기영† · 이진욱* · 이진영**

Ki-Young Eum · Jin-Wook Lee · Chin-Hyung Lee

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 a switch machine for operating the switch. In Korea, it has been planned to adopt the high speed tilting train which is suitable for the circumstance of Korea and operates at the maximum speed of 180 km/h, at conventional lines by the year of 2010. For the present, the prototype of the tilting train has been fabricated, and has undergoing a trial run. In this study, evaluation of noise around the turnout system induced by the tilting train has been implemented through the field measurements.

Keywords : Tilting Train, Turnout System, Speed-up, Vibration

요 지 철도운행에 있어 분기기는 열차를 주행선로에서 이웃한 선로로 이동시키는 매우 중요한 역할을 수행하는 중요한 장치이다. 우리나라 철도는 기존선의 속도향상을 달성하기 위하여 곡선부가 많은 우리나라 지형에 적합한 최고 운행속도 180 km/h의 틸팅열차를 개발하여 현재 시제차량 제작을 마치고 시운전 시험이 단계적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 기존선 속도향상을 위해 개발된 틸팅열차가 분기기를 통과할 때 발생하는 소음특성을 현장계측실험을 통해 평가하였다.

주요어 : 틸팅열차, 분기기, 속도향상, 진동

1. 서론

철도운행에 있어 분기기는 열차를 주행선로에서 이웃한 선로로 이동시키는 매우 중요한 역할을 수행하는 장치로서 포인트부, 리드부, 그리고 크로싱부로 이루어져 있다[1-3]. 그러나 분기기는 레일 주변설비 중 유일한 가동부로 구조도 복잡하고 천이과정 중 차륜, 레일간의 급격한 운동변화가 필연적으로 발생되어 안전성 문제가 항상 거론되고 있다. 실제로, 국내외에서 발생하는 열차 사고사례의 상당수가 분기기와 관련이 있을 만큼 분기기에서는 대형사고가 빈번하여 우리나라뿐만 아니라 각국의 철도기관에서도 이를 취약부로 분류하여 엄격히 관리하고 있다. 또한 분기기는 차량, 궤도,

통신, 그리고 전기 분야 등 각각 다른 기능을 수행하는 매우 복잡한 장치들의 조합 시스템이므로 각각의 단위 개체들의 최적화만으로는 분기기의 전반적 성능을 향상시키기는 힘들며 이들에 대한 통합 기술의 확보가 필수적이다.

이처럼 궤도 구성물 중에서 가장 취약하고 복잡한 분기기는 최초로 정확히 설치되지 않거나 사용 중 원형정비가 되지 않으면 고장은 물론 열차 탈선사고를 발생시킬 수 있다. 이러한 분기기를 철도차량이 통과 시 통과속도를 높이는 데는 기술적인 문제가 많다. 분기부를 지날 때 충격, 소음, 파손, 손상 등이 심할 뿐 아니라 차륜의 플랜지가 결선부에 빠지지 않도록 하기 위해 상대 쪽 차륜을 잡아주는 가이드레일도 있어야 하는데 여기서도 충격과 소음이 크게 발생한다. 고속철도의 경우에는 텅레일의 관절을 없애고, 전환기를 통해 텅레일과 고정레일 사이의 접촉면에서 각이 생기지 않도록 하여 충격, 소음, 마모, 손상 뿐 아니라 속도도 많이 낮추어야 하는 문제점을 해결하고 있다. 그러나 이와 같이 분기기를 설치하

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 궤도토목본부, 책임연구원
E-mail : kyeum@krti.re.kr

TEL : (031)460-5680 FAX : (031)460-5319

* 정희원, 한국철도기술연구원, 궤도토목본부, 선임연구원

** 정희원, 한국철도기술연구원, 궤도토목본부, 박사후 연구원

기 위해서는 길이가 길어지고 구조가 훨씬 복잡해져서 건설 및 보수비가 많이 소요되는 단점이 있다.

우리나라 철도는 기존선의 속도향상을 달성하기 위하여 곡선부가 많은 우리나라 지형에 적합한 최고운행속도 180km/h의 틸팅열차를 개발하여 현재 시제차량 제작을 마치고 시운전 시험이 단계적으로 이루어지고 있다[4,5]. 열차의 고속화를 위해 개발된 틸팅열차는 새로운 노선의 신설 없이 기존 노선의 개량만으로도 열차 운행속도를 향상시킬 수 있다. 틸팅차량에 의한 열차의 고속화를 위해서는 열차 차량의 개발과 함께 분기기의 개량이 필요하나 현재 일괄적인 분기기 교체가 어려운 관계로 현재 설치되어 있는 분기기에서 시험운행이 실시되고 있다.

본 연구에서는 기존선의 고속화를 위해 개발된 틸팅차량이 기존선의 분기기를 통과할 때의 소음특성을 현장실험을 통하여 정량화 하고자 하였다.

2. 분기기인근 소음 측정 및 결과

2.1 측정 방법

틸팅차량의 시험운행 구간에 설치된 기존 분기기 인근의 소음 측정을 위해 Fig. 1에 나타난 바와 같이 측정 장비를 구성하였다. 소음측정은 중복선 및 호남선에 설치된 기존 분기기(조립식 및 망간크로싱)를 대상으로 마이크로폰을 이용하여 이루어졌으며, 그 위치는 기본적으로 결선부(crossing)를 기준으로 4m, 8m, 16m, 그리고 32m 이격지점에 설치하되, 현장여건에 따라 불가능한 위치는 배제하였다. Fig. 2에 측정 전경을 나타내었다.

2.2 측정 결과

Fig. 3은 중복선 내수역에서 틸팅차량 운행시 분기기를 통과하는 동안 발생하는 소음의 크기를 주파수대역의 overall값으로 나타낸 것이다. 이 때 열차의 평균속도는 65km/h이다. Fig. 4는 열차별 운행 시 나타나는 소음 특성이다. 틸팅열차 운행 시 중복선 내수역에 설치되어 있는 망간분기기와 조립식분기기에서 각각 측정된 소음특성을 살펴보면 망간분기기

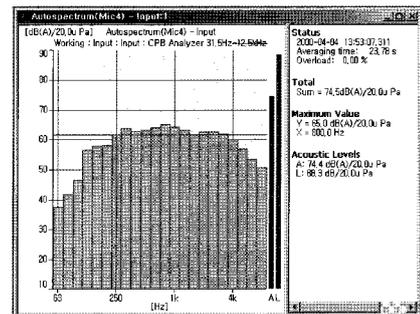
의 경우 63~250Hz의 저주파 대역 소음은 완만히 상승하고 250Hz~4kHz 대역에서 고른 분포를 보이는 반면, 조립식분기기의 경우 250Hz 부근까지는 급격한 상승을 보이다가 250Hz~8kHz까지는 고른 분포를 보이고 있다. 이는 조립식분기기의 결선부에서 발생하는 충격성 소음이 고주파수 대역 성분을 포함하고 있기 때문으로 판단된다[6,7].

열차별 결과에서 주파수 대역을 비교하여 보면 망간크로싱 분기기 결선부에서 발생하는 소음은 대부분 800Hz 부근에서 탁월성분을 보임을 알 수 있다.

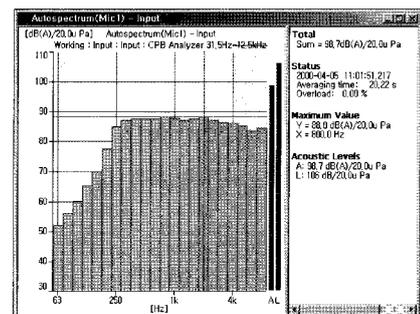
일반적인 철도소음의 요소는 동력차의 엔진, 냉각 팬, 열차의 하부 동력원, 기어, 고속에서의 공력소음 및 바퀴와 레일의 충격음 또는 마찰음 등 여러가지가 있으며, 이 중 바퀴와 레



Fig. 2. Measurement sight



(a) Manganese crossing turnout



(b) Conventional crossing turnout

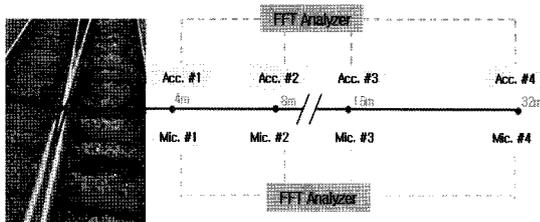


Fig. 1. Measurement locations

Fig. 3. Measurement results at 4 m

일간 소음은 50km/h 이상에서 전체 소음도에 영향을 주기 시작해서 100km/h 이상에서는 주요 소음원으로 작용한다. 또한 소음의 전달에 의한 저감은 파동 전파의 일반적 원리인 기하학적 거리감쇠(geometrical-divergence attenuation), 공기흡음에 의한 감쇠(atmospheric-absorption attenuation) 및 지면에

의한 감쇠(ground attenuation) 등 여러 요인에 의해 저감된다. 틸팅열차는 전동차로서 제어구동차(Mcp) 2량과 동력차(M) 2량 그리고 부수차(T, Th) 2량으로 구성되는 Mcp - M - T - Th - M - Mcp 타입의 열차이다. 측정결과 틸팅 열차의 소음의 시간파형은 시점에서 종점까지 거의 일정한 크기를 가지는 것으로 나타났다. 이는 틸팅열차가 디젤차에 비해 구동부 소음이 상대적으로 낮은 전동차인 관계로 분기기 결선부의 충격소음과 바퀴와 레일에서 발생하는 소음이 주 음원으로 작용한 때문으로 사료된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 충북선 내수역에서 틸팅차량의 분기기 통과 시 발생하는 소음을 이격거리별로 측정한 결과이다. 이때 틸팅차량의 평균속도는 65km/h이다. 망간 분기기 및 조립식 분기기 모두 4m 지점에서 8m 지점까지의 감쇠율과 그 이후의 감쇠율이 상이하게 나타난 것을 알 수 있는데, 이는 기하학적인 요인으로 음원과 비교적 가까운 음장의 거리감쇠율이 음원장의 감쇠율보다 높기 때문이다. 주파수별로 보면 조립식 분기기의 경우 315~630Hz 대역에서 평균 23dB가 줄어들어 감쇠가 가장 큰 반면 125~250Hz 대역은 13.5dB 줄어드는 데 그쳐 감쇠가 가장 적은 대역으로 나타났다. 망간 분기기는 200~400Hz 대역이 평균 25.3dB 로 가장 많이 줄어든 반면 63~80Hz의 저주파 대역이 평균 11dB로 가장 적게 줄어든 것으로 나타났다.

3. 소음 특성 분석

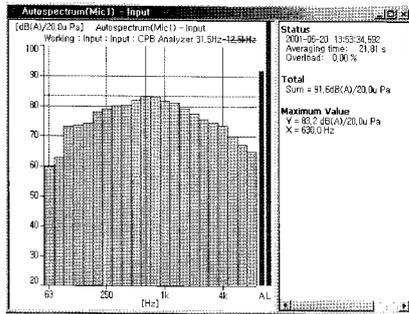
시험운행중인 틸팅차량을 포함한 열차 종류별, 그리고 통과속도별로 이격거리에 따라 측정한 분기기 인근의 소음 측정결과를 바탕으로 하여 틸팅차량 운행 시 분기기 결선부에서의 충격성 소음 특성을 기존열차와 비교하여 틸팅차량의 개선연구에 정량화된 자료를 사용할 수 있도록 하고자 하였다. 소음측정자료는 통과시간동안의 Leq값을 기준으로 음압 레벨(SPL ; Sound Pressure Level)로 정량화하였다.

$$SPL = 20 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right) \quad (dB) \quad (1)$$

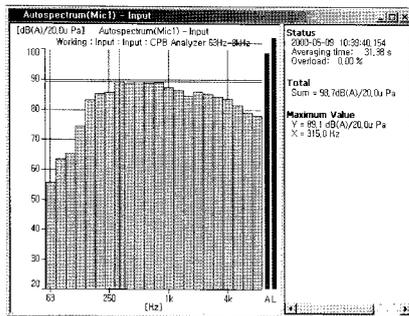
여기서 p : 음압의 실효값, p_{ref} : 음압의 최저 가청한도 ($=2 \times 10^{-5} Pa$)

3.1 분기기별 소음 특성

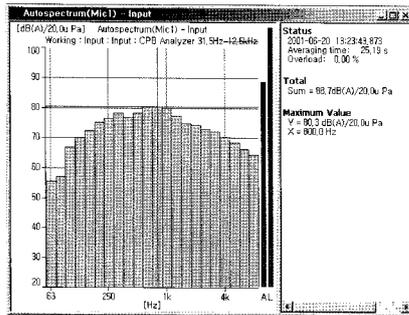
충북선(내수역)에 설치된 조립 크로싱과 망간 크로싱 타입 분기기에 따른 틸팅차량의 소음 특성을 분석하여 보면 Fig. 7과 같다. 분기기별 소음은 조립식분기기보다 망간분기기 소음이 낮다. 4m 지점에서의 수준을 비교하여 보면 조립식분기



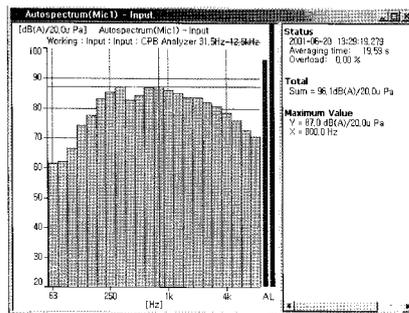
(a) Mugunghwa train



(b) Freight train

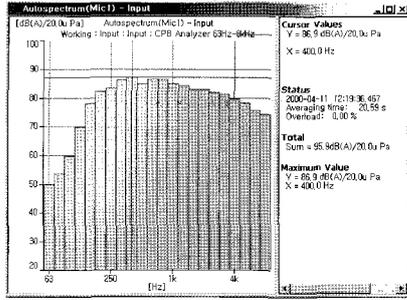


(c) Saemaul train

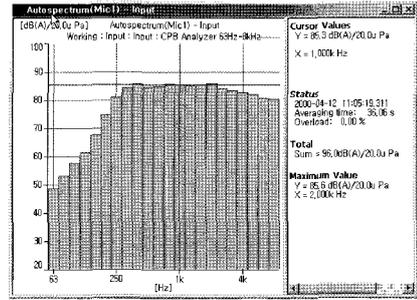


(d) KTX

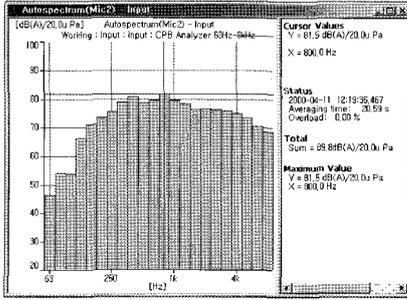
Fig. 4. Measurement results at 4 m (manganese crossing turnout)



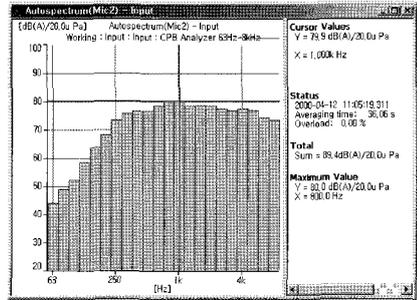
(a) 4 m location



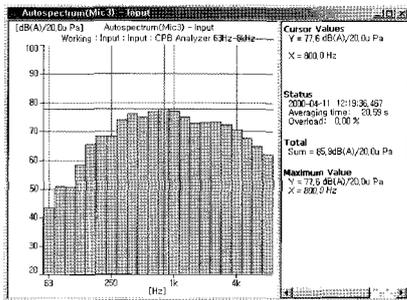
(a) 4 m location



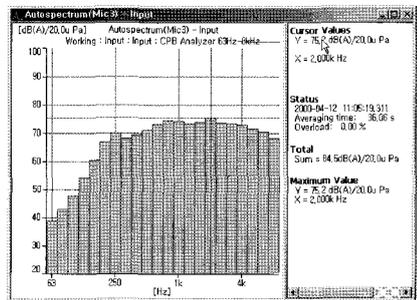
(b) 8 m location



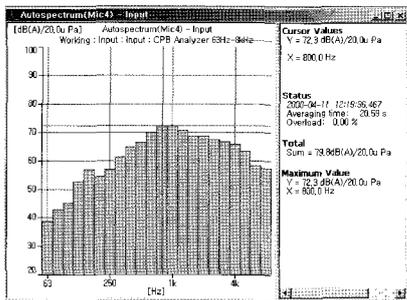
(b) 8 m location



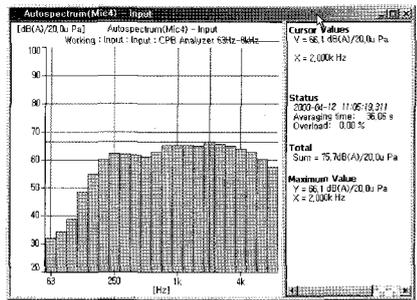
(c) 16 m location



(c) 16 m location



(d) 32 m location



(d) 32 m location

Fig. 5. Measurement results (manganese crossing turnout)

Fig. 6. Measurement results (conventional crossing turnout)

기의 경우 최대 102.0dB이지만 망간분기기에서는 최대 98.9dB(A)으로 약 3dB정도 낮은 수준을 보였으나 분기기로부터 거리에 따른 감쇠율은 조립식 분기기가 더 높아 32m 지점 소음도는 망간분기기 소음이 더 높게 나타났다.

호남선(일로역)과 충북선의 망간 분기기에서 측정된 소음 결과를 비교하여 보면 Fig. 8과 같이 비교적 선로상태가 좋은

호남선에서의 소음수준이 충북선에 비해 낮았다. 4m 지점에서의 수준을 비교하여 보면 충북선의 경우 61.2km/h 속도에서 최대 98.9dB(A)인 것에 비해 호남선은 112km/h일 때 최대 95.3dB(A)로 약 3.6dB 낮은 수준을 보였다. 또한 8m, 16m, 32m 지점에서의 거리감쇠율은 충북선과 호남선 모두 유사한 것으로 나타났다.

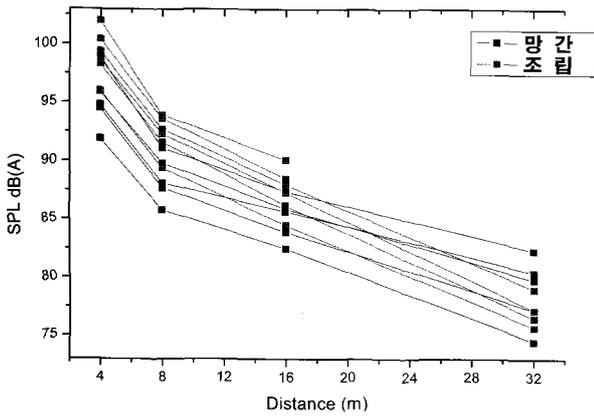


Fig. 7. Noise level based on turnouts(충북선)

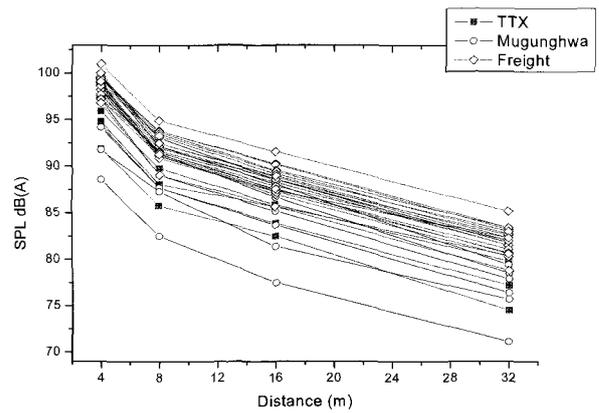


Fig. 9. Noise level (manganese crossing turnout)

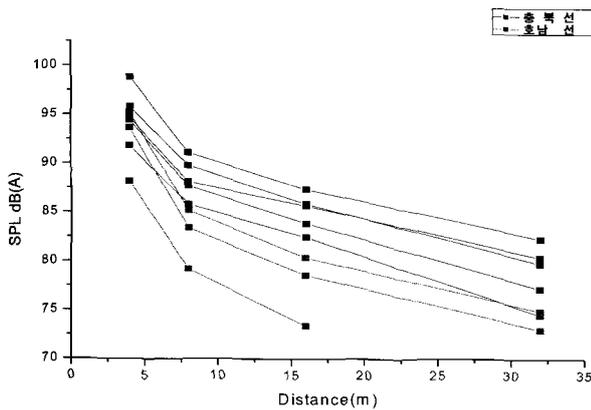


Fig. 8. Noise level based on lines

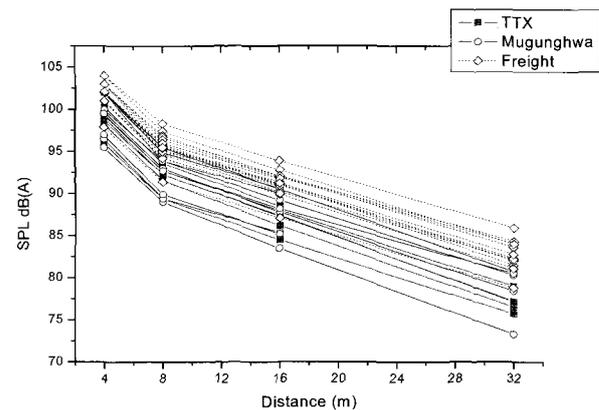


Fig. 10. Noise level (conventional crossing turnout)

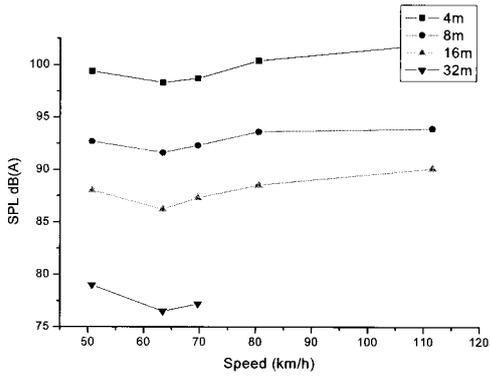
3.2 열차별 소음 특성

동일 분기기를 통과하는 열차 종류에 따른 소음수준을 분석하여 보면 Fig. 9와 Fig. 10과 같다. 먼저 망간 분기기를 통과하는 화물차, 무궁화와 틸팅차량의 소음수준을 비교하여 보면 4m 지점에서 평균 소음도는 화물 98.7dB(A), 무궁화 95.6dB(A) 틸팅 95.2dB(A) 로 틸팅차량의 소음수준이 비교적 낮았다.

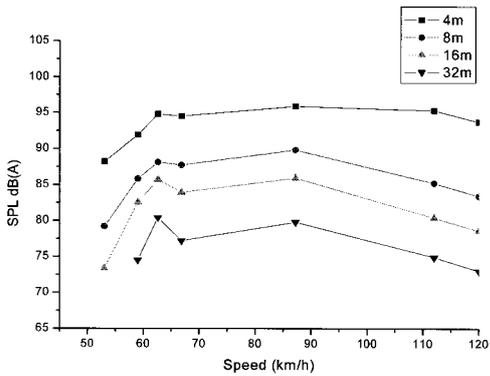
조립식 분기기 4m 지점에서의 열차별 평균 소음도는 화물 102.1dB(A), 무궁화 99.5dB(A) 틸팅 99.1dB(A)로 망간 분기기와 동일하게 틸팅차량 소음도가 낮게 나타났다. 이처럼 4m 지점에서는 틸팅차량이 무궁화나 화물차에 비해 분기기 통과 시 발생하는 충격성 소음수준은 낮으나 분기기로 부터 거리가 멀어지면 지반을 통해 재료감쇠와 기하감쇠에 의한 영향으로 비슷한 소음수준을 보였다. 다만, 망간 분기기의 16m 이상 거리에서 일부 틸팅차량의 거리감쇠율이 기타 열차보다 낮아 틸팅차량의 소음도가 일부 화물차와 무궁화를 포함한 기타 차량에 비해 높게 나타나는 경향을 보였다.

3.3 속도별 소음 특성

틸팅차량의 운행속도에 따른 충격성 소음의 변화추이를 분석한 결과를 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었다. 틸팅차량의 운행속도에 따른 소음의 변화를 분석한 결과 조립식 분기기에서의 소음은 대체로 속도에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 다만 50km/h 정도의 저속 운행 시 소음도는 약 70-80km/h 일 때와 유사한 소음도를 나타내고 있는데, 이는 열차소음을 구성하는 분기기와 차량의 충격소음, 전동차 소음 및 공력소음 중 저속으로 이동하는 차량이 분기기에 닿는 순간의 충격이 70km/h 이하로 운행할 때보다 큰 때문으로 분석된다. 같은 망간 분기기라도 충북선보다 지반 및 레일 조건이 양호한 호남선에서의 소음도는 통과 속도가 유사하거나 높음에도 불구하고 호남선의 소음도가 낮은 것으로 나타나 분기기가 같은 경우에도 선로 및 노반 상태에 따른 소음도 차이가 큰 것으로 나타났다. 관련 자료에 따르면 디스크 브레이크를 장착하고 있는 차량에서 발생하는 소음의 크기는 선로 상태가 좋은 경우가 그렇지 않은 경우보다 일반적으로 8-10dB 낮고 예외적으로 상태가 좋지 않은 선로에서는 최대 20dB 까지 소음



(a) Conventional crossing turnout



(b) Manganese crossing turnout

Fig. 11. Comparison of noise levels

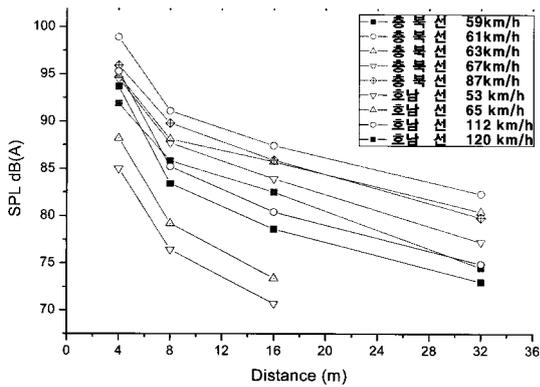


Fig. 12. Comparison of noise levels based on trains

이 차이가 나는 것으로 보고되고 있다[8].

Fig. 13과 같이 총복선 내수역 조립 분기기를 통과하는 차량별 유사 속도시 소음을 비교한 결과 틸팅차량의 소음도는 측정위치 4m 기준으로 화물차보다는 1.6dB 낮고 무궁화 보다는 3.9dB 높은 것으로 나타났다. 반면 망간 분기기의 경우 틸팅 차량의 4m 지점 통과 소음은 무궁화에 비해 2.3dB, 화물차에 비해 5.4dB 낮아 세 가지 열차 중 가장 낮게 나타났다 (Fig. 14).

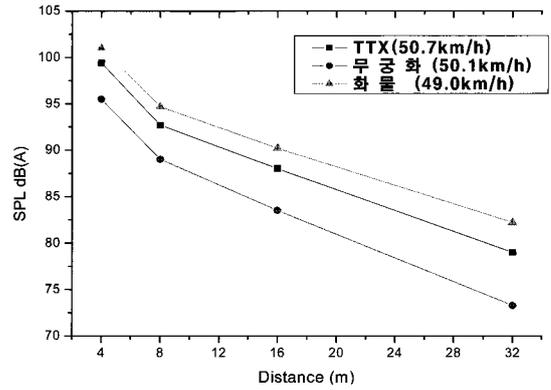


Fig. 13. Comparison of noise levels (conventional crossing turnout)

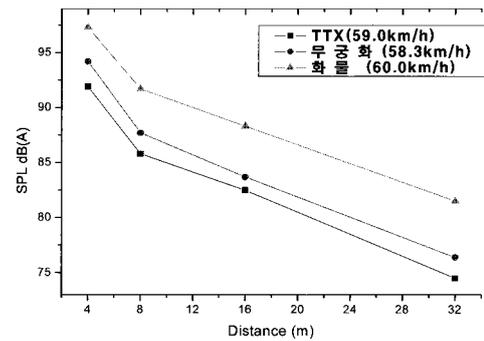


Fig. 14. Comparison of noise levels (manganese crossing turnout)

4. 결론

본 연구에서는 기존선의 고속화를 위해 개발된 틸팅차량이 기존선의 분기기를 통과할 때의 소음특성을 평가하기 위해 현장실험을 실시하였다. 본 연구로부터 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 분기기 인근 소음 측정 결과, 망간분기기의 경우 63~250Hz의 저주파 대역 소음은 완만히 상승하고 250Hz~4kHz 대역에서 고른 분포를 보이는 반면, 조립식분기기의 경우 250Hz 부근까지는 급격한 상승을 보이다가 250Hz~8kHz 까지 고른 분포를 보였다. 이는 조립식분기기의 결선부에서 발생하는 충격성소음이 고주파수 대역 성분을 포함하고 있기 때문으로 판단된다.
2. 분기기에 따른 거리별 주파수 특성을 검토한 결과 조립식 분기기의 경우 315~630Hz 대역에서 평균 23dB가 줄어든 반면 125~250Hz 대역은 13.5dB 줄어드는 데 그쳐 감쇠가 가장 적은 것으로 나타났다. 망간 분기기는 200~400Hz 대역이 평균 25.3dB 로 가장 많이 줄어든 반면 63~80Hz의 저주파 대역이 평균 11dB로 가장 적게

줄어들어, 근거리에서는 조립식 분기기, 원거리에서는 망간 분기기 소음 영향이 클 것으로 판단된다.

3. 틸팅차량의 운행속도에 따른 소음의 변화를 분석한 결과 조립식분기기에서의 소음은 대체로 속도에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 망간분기기의 경우에는 속도가 증가함에 따라 소음이 증가하다가 90km/h의 속도를 전후하여 속도가 증가할수록 오히려 소음도가 감소함을 알 수 있었다.
4. 동일 분기기를 통과하는 열차종류에 따른 평균 소음도를 검토한 결과 망간분기기와 조립식분기기 모두 4m 지점에서는 틸팅차량이 무궁화나 화물차에 비해 충격성 소음수준이 낮으나 분기기로부터 거리가 멀어지면 지반을 통한 재료감쇠와 기하감쇠에 의한 영향으로 비슷한 소음수준을 보임을 알 수 있었다.
5. 동일한 망간 분기기 소음도 선로 및 지반의 상태에 따른 차이가 거리별로 최대 8dB 가까이 차이가 나는 것으로 나타났다. 이는 주요 분석 대상인 틸팅차량의 경우 소음면에서 유리한 디스크 브레이크, 전동차 등의 사양임을 감안하면 주로 분기기의 상태에 따른 소음 차이로 판단된다. 분기기를 포함한 레일과 차륜에서 발생하는 소음을 결정하는 인자는 레일과 차륜의 거칠기, 열차의 속도,

운중 등이므로 향후 개량 분기기 및 틸팅차량 소음 분석에 이러한 요소들에 대한 분석을 병행할 때 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 서사범(1999). “선로공학,” 삼과꿈.
2. 엄기영 외 2인(2006). “분절형 PC침목의 안전성 확보를 위한 성능평가 시험, 한국방재학회 논문집, 제6권, 제4호, pp.11-16.
3. 엄주환 외 2인(2006). “현장측정을 통한 기존분기이용 목침목과 개량분기기 분절침목의 동적거동 비교평가,” 한국철도학회 논문집, 제9권, 제6호, pp.746-752.
4. 엄기영 등(2006). “분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구,” 한국철도기술연구원.
5. 엄기영 등(2007). “분기기 성능개선을 통한 기존선 속도향상 방안 연구,” 한국철도기술연구원.
6. 김석홍 등(1993). “경부선 철도 소음진동의 전파특성에 관한 기초 연구, 한국소음진동공학회지, Vol.3, No.1, pp.47-55.
7. 강대준(1997), “철도소음과 그 영향, 한국소음진동공학회지, Vol.7, No.6, pp.827-836.
8. Hardy, R.R.K Jones (2004), “Rail and wheel roughness-implications for noise mapping based on the Calculation of Railway Noise procedure,” A report produced for Defra, AEA Technology plc.

(2007년 11월 5일 논문접수, 2007년 12월 5일 심사완료)