

경량철도 소음·진동의 저감 대책에 관한 연구

A Study of Decreasing Noise and Vibration for a Light Rail Transit.

김 동기* · 박 종복** · 박 광현*** · 나 상주****

Kim Dong-Gi, Park Jong-Bok, Park Kwang-Hyun, Rha Sang-Ju

ABSTRACT

A light rail transit would be one of effective means to solve a traffic problem of the city. Noise and vibration originated from light railway, however, would be another problem. This study focuses on the method of decreasing noise and vibration for a light railway, and comprises track condition, driving condition, linear condition, vehicle condition and civil engineering structure condition. For decreasing noise and vibration in an track, long rail laying and low vibration track laying would be good methods. The result of this study proves that improving the track would be the most economical and valid method for decreasing noise and vibration for light railway.

1. 서론

경량철도는 우리사회에서 대량성 및 경제성외에 소음, 진동이 적은 친환경적인 도시내 교통수단으로 인식되어져 지속적인 건설이 추진되고 있다.

그러나 경량철도는 차량의 중량은 작지만 도심지를 통과하는 관계로 수음, 수진부와 인접하게 되고, 열차운행회수가 많아 경량철도 운행에 따른 민원발생요소 또한 많아져 근본적인 소음, 진동이 최소화되도록 접근해야 한다.

경량철도의 소음·진동이 소음·진동발생원인 차량을 포함하여 교량·터널·토공 등 노반구조물, 전차선(제3궤조) 등이 종합적으로 검토되어야 하나, 본문에서는 경량전철 중철제차

륜과 리니어 모터차형식 중의 중요한 발생요인인 선로 구축물 중 궤도를 중심으로 소음, 진동의 최소화 방안을 중점 조사하였고 관련분야에 대하여도 기본적인 방향을 제시하였다.

택을 대상으로 구분하여 검토하여야한다. 하지만 소음의 직접적인 영향은 1차적으로 차량내 승객에게 미치고 있고 2차적으로 인근 주민에게 영향을 미치고 있으므로 우선 차량내의 소음원을 기준으로 조사하면 크게 다음과 같은 원인으로 대별할 수 있다.

- 1) 주행시 차량과 레일의 상호 작용에 따른 소음원
- 2) 경량철도 주행시 교량진동에 의하여 발생하는 2차소음.
- 3) 경량철도 주행시 터널 구조물의 진동이 지반에 전달됨으로서 발생하는 소음.
- 4) 급곡선에서 차륜 플랜지와 레일사이 미끌림소음 (Squealing, Hissing)
- 5) 제동에 의한 소음 (차륜과 레일면 사이에 미끌림 소음)
- 6) 가속시 발생하는 엔진가동에 의한 소음
- 7) 차량의 집진장치와 제3궤조의 접촉음
- 8) 대차와 차체의 진동에 의한 소음 등을 들 수 있다.

이러한 차내 소음의 크기는 차량, 제3궤조, 궤도, 교량·터널구조, 주변 지반의 특성 및 운전속도 등에 따라 다르다.

2. 경량철도의 소음·진동

2.1 소음의 원인

경량철도의 소음의 원인은 차량내 승객과 인접부근의 주

2.2 진동의 원인

경량전철에서의 진동은 경량철도를 이용하는 승객보다는 주변주민들에게 미친다. 이에 대한 원인을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 경량전철 주행시 궤도에서 주변지반을 통하여 전달되는 진동
- 2) 경량전철이 주행시 궤도의 레일이음매부, 크로싱 결선부, 절연이음매부 통과시 발생한 충격
- 3) 차륜찰상(Wheel Flat)에 의하여 발생하는 충격
- 4) 파상마모에 의하여 발생하는 충격

* (주)유신코퍼레이션 철도부
E-mail :y12861@yooshin.co.kr
Tel: (02)6202-0409, Fax: (02)6202-0469

** (주)유신코퍼레이션 철도부

*** (주)유신코퍼레이션 환경부

**** 코오롱건설주식회사 T/K팀

3. 일반철재 차륜형 경량철도 특징

3.1 철재 차륜형 궤도 특징

일반철재 차륜형식은 전력을 공급하는 제3궤조를 제외하고는 우리나라 지하철과 흡사한 형식으로 일반적으로 운전 조건, 차량조건, 구조물조건 등은 지하철과 유사하다. 궤도의 특징은 궤도의 중량을 최소화하기 위하여 가능하면 교량에 콘크리트 도상을 사용한다. 또한 노선 전구간을 장대레일로 부설하는 것이 전제되어져야 한다. 급곡선에서도 장대레일화를 위하여 곡선에서도 자유롭게 신축할 수 있는 둔단형 신축이음매가 사용되며 일반 자갈도상구간에서는 제3궤조와 Rail이 정밀도를 유지한 상태에서 단면을 형성해야 한다. 제3궤조의 경우 차량의 집전장치에 맞추어 설치되어야 하는데 특히 자갈도상의 경우에는 침목에 취부 하므로 각종 인서트, 하중 등 제원을 전기분야에서 궤도분야에 통보해야 한다.

3.2 리니어 모터카형 궤도 특징

리니어 모터카형(Linear Motorcar)는 자기부상열차와 추진방식이 동일한 개념으로 운행하는 경량철도로, 차륜직경 축소에 차량높이감소 및 비접착 구동으로 동판능력이 우수하며, 급곡선 주행에 우수하다. 터널내공간면을 축소 할 수 있어 도시철도 건설비중 1/2의 토목공사비 절감효과가 있고 소음·진동을 감소시킬 수 있는 경량철도로서 그림1과 같다.

궤도의 특성은 일반적으로 차륜직경이 적어 장대레일 파단시 허용 개구량이 적으며, 차륜이 직접 구동하지 않으므로 소음이 타 시스템에 비하여 적다. 차륜이 직접 구동하지 않으므로 급구배에서도 공전 하지 않는다.

일반 자갈도상구간에서는 제3궤조가 침목에 고정된다. 제3궤조의 경우 차량의 집전장치에 맞추어 설치되어야 하는데 특히 자갈도상의 경우에는 침목에 고정해야 하므로 각종 인서트, 하중을 전기분야에서 궤도분야에 통보한다.

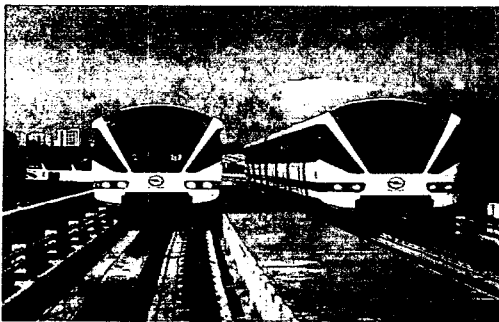


그림1 리니어모터카 궤도단면(단선)

3.3 경량철도 소음·진동 저감 대책

경량철도 운행으로 인하여 발생하는 소음·진동에 대한 방음·방진 대책 수립은 크게 발생원 대책, 전달 경로상에서의 대책, 수신부 대책 등으로 구분할 수 있다.

발생원에 대한 대책은 소음·진동 저감에 가장 효과적인 방안이라 할 수 있으며 이는 본 경전철 사업 초기단계에서부터 면밀히 검토되어야 할 사항이다.

발생원 대책으로는 레일에 대해서는 레일 표면의 관리, 레일북부에 방진고무설치, 장대레일 부설 등이 있으며, 궤도 부분에서는 지진동 궤도, 터널 부분에서의 터널 중량의 중대 및 이중 박스 터널 사용 등이 있다.

본문에서는 각 경우에 대한 세부적인 소음·진동 저감 방안을 상호 복합적으로 검토하여 수립하는 것이 소음·진동 저감에 가장 효과적이라 생각하여 각 경우에 대한 소음·진동 저감 방안을 제시하였다.

4. 궤도분야에서의 저감 대책

4.1 지진동 궤도에 의한 저감 대책

경량철도는 일반적으로 수신부를 인접하여 고가, 지하로 통과하기 때문에 발생원으로 부터의 대책수립이 무엇보다 중요하다.

따라서 궤도구조 자체에서 진동을 흡수하기 위하여 탄성계수(스프링계수)가 적은 궤도구조를 이용하여 저주파 진동의 발생을 차단 해야 한다. 따라서 열차운행시 발생하는 진동 및 동적하중을 저감시켜주는 방진궤도 즉 지진동 궤도의 개발이 필요하게 되었고 이에 따라서 여러 가지 형태의 방진궤도가 개발되어 사용되어 왔는데 그 기본은 다음과 같다.

- (1) 침목의 스프링상수를 낮추는 방법
- (2) 레일과 지반 사이의 중량을 크게 하는 방법,
- (3) 레일의 단면적을 크게 하여 단면의 2차 모멘트를 크게 하는 방법 등 이다.

이 중 경량철도에서 사용하는 가장 일반적인 방법은 첫째와 셋째 방법을 함께 사용하는 것, 즉 중량레일을 사용하고 레일의 하부에 방진궤도를 설치하는 것이다.

이러한 방진궤도를 설치할 경우에 그 목적을 충분히 달성하기 위해서는 방진궤도의 구조설정과 함께 방진계의 동적 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다.

4.2 지진동(방진)궤도의 종류

경량철도궤도는 크게 자갈도상궤도(Ballasted Track)와 콘크리트도상궤도(Non-Ballasted Track), 부유궤도(Floating Track)로 구분할 수 있으며 각각 이 경우 지진동 궤도를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 자갈도상궤도(Ballasted Track)

자갈도상 궤도는 침목과 지반의 사이에 차량에서 발생하는 동적하중을 분산시켜주기 위해 자갈을 사용하는 궤도가

주로 사용되어 왔는데, 이는 자갈케도가 바퀴를 통해 전달되는 진동을 지반으로 분산시킬 때 좋은 감쇠특성이 있고 배수특성이 우수할 뿐만 아니라 자갈과 자갈의 틈새에 의한 흡음성이 탁월해서 터널 등과 같은 밀폐된 공간에서의 음의 반사를 저감시켜주는 성능이 있기 때문이다.

(2) 콘크리트도상케도

콘크리트도상케도는 터널, 교량구간 등에 있어 자갈 대신 콘크리트를 타설하고 그 위에 레일을 설치하는 케도를 총칭하며 슬래브 트랙(Slab Track)이라고도 부른다.

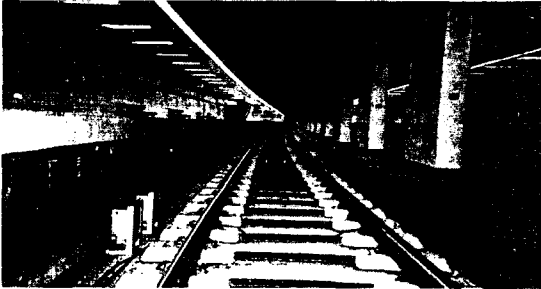


그림2 콘크리트도상케도

지하공간과 같이 지하의 밀폐된 공간에 자갈케도를 설치할 경우 유지 및 보수가 불편하고 자갈의 세립화에 의해 분진을 비롯한 각종 환경적인 문제가 대두되어 콘크리트 도상케도가 사용되고 있다.

그러나 자갈케도에 비하여 진동면에서는 유리 할 수 있으나 소음면에서는 흡음기능이 없어서 불리하기 때문에 적절한 흡음대책 및 진동방지 대책을 강구하여 진동 및 고체음을 줄이는 노력을 기울여야 할것이다.

(3) 부유케도(Floating Track)

부유케도는 케도와 토목구조물을 탄성체로 완전분리하여 케도로부터의 진동이 직접 전달되지 않도록 하는 방안이다.

진동이나 고체음에 민감한 건물이 있는 경우에 주로 사용되며 케도의 고유진동수를 7~15Hz 정도로 낮출수 있기 때문에 진동 및 고체음차단에 매우 탁월한 효과를 발휘할 수 있다. 구조적 특성상 부유식 슬래브케도(Floating Slab Track)라고도 부르며 방진재의 종류에 따라 크게 스프링 삽입 시스템과 패드 삽입 시스템 두가지로 구분할 수 있다. 첫째로는 패드 시스템은 슬래브와 도상 사이에 고무나 기타 탄성체 패드를 삽입하여 진동을 감소시켜주는 시스템을 말하며, 둘째로는 스프링 삽입 시스템은 슬래브와 터널바닥 사이에 스프링이 들어가 열차로 인해 발생하는 진동의 전달을 감소시켜주는 시스템을 말한다.

4.3 차륜 및 레일 표면관리

운영중 유지보수 문제로서 차륜과 레일이 맞닿는 면의 평탄화 유지는 경량철도의 진동과 소음 저감에 가장 기본적인 방안으로서 이는 장대레일사용과 함께 소음·진동저감에 가장 효과적인 방법이다.

외국의 경우 차륜을 삭정한 후 측정된 결과 지하철 구조물이나 인접건물에서 100Hz에서 삭정 후 약 6~10dB 저감되었으며, 레일을 삭정한 결과 100Hz에서 약 4~8dB 정도 진동이 저감되었다.

외국의 예를 통해서 살펴본 결과 레일 및 차륜의 표면 관리가 소음·진동 저감에 상당히 중요하다는 것을 알 수 있으며 스톡홀름시 지하철의 경우 차륜은 40만km 주행시마다 삭정하고 레일은 4년마다 특별한 그라인딩 장비를 이용하여 삭정하고 있다.

최근에는 연마보다 성능이 향상된 밀링 Machine을 사용하여 곡선의 주행성을 향상 할 수 있는 비대칭 삭정까지 하고 있는 장비를 운영하고 있는 추세이다.

4.4 장대레일

이음매의 제거로 소음·진동을 획기적으로 저감시킬 수 있는 가장 기본적인 방안이다. 경량철도 특성상 채택되어야 하는 급곡선 구간은 물론 급구배 구간까지도 장대레일을 부설해야하기 때문에 완전한 선형의 일반철도와는 달리 부설조건에 많은 제약이 있다.

5. 기타 분야에서의 저감 대책

5.1 차량분야

(1) 탄성차륜의 채택

영국 등에서 채택하고 있는 방식으로 차륜의 일정한 층에 고무층을 삽입하여 충격을 흡수하는 방식으로 소음 및 진동저감에 큰 효과가 있는 것으로 분석되고 있다.

(2) 차음재 보강

경량철도를 이용하는 승객들을 위한 조치로서 차량의 바닥, 차창을 통하여 들어오는 소음을 차단하기 위하여 바닥에는 차음재의 추가 삽입, 차창에는 2중 유리 등으로 보강하는 방안이 적용되고 있다.

(3)바퀴와 레일의 조건

바퀴 및 레일에 대한 유지보수가 불량하면 정상적인 경우에 비해 상당히 높아진다. 차륜찰상, 느슨한 레일 접합부, 손상된 레일은 진동레벨을 10~20dB까지 상승시킬 수 있다.

5.2 토목분야

(1) 방음판 설치

경량전철에서는 산뜻한 이미지 제고를 위하여 방음벽을 설치하지 않는다. 따라서 본 경량전철에서는 방음벽을 설치 시에도 적은높이 약 80cm만 설치하며, 대신 일반적으로 케도에 흡음판을 설치한다.

(2) 제진재 부착

교량의 경우 경량전철 운행중 진동에 의하여 발생하는 2차 소음을 최소화할 목적으로 부착하며, 서울지하철 2호선에서도 민원우려개소에 부착하여 좋은 성과를 얻고 있다.

6.경량철도소음·진동저감방안종합표

저감방안		저감효과	비고
레일	• 장대레일 사용	• 저주파 영역 : 5dB 저감 가능 • 고주파 영역 : 10dB 저감 가능	
	• 차륜 및 레일 표면관리 철저	• 6 ~ 10dB저감가능	Monitoring System활용
	• 레일 복부에 탄성 흡수재 부착	• 1차 진동에 의한 소음제거	Vanguard 등
	• 탄성체결장치 사용	• 진동레벨이 20LogK(K는 레일 지지 강성계수)에 비례하므로 구조체가 유연할 수록 저감 효과 증가	
궤도구조	• 저진동 궤도사용	• 차량하중 적용시 2mm이상 Soft한 탄성을 갖인 Baseplate를 설치 • 진동 발생원으로 부터 진동을 줄이 수 있는 효과적인 방법 • 20Hz~30Hz이상에서 20~30dB 저감가능	
	• 부유궤도 사용	• 진동 발생원으로 부터 진동을 줄이 수 있는 가장 효과적인 방법 (패드형, 스프링형)	공사비의 증가로 진동에 민감한지역에서만 사용
	• 레일복부 지지형궤도 사용	• 레일복부에 탄성체로 지지함으로 레일진동을 줄일수 있도록 효과적인 방법	진동에 민감한 지역에서만 사용
	• 마모방지 레일에 도유시스템 적용	• 마모방지레일이 곡선부 외측 차륜이 레일에 접촉하지 않도록 설치후 마모방지레일에 도유	영국 도클랜드 경전철
분기기	• 가동노스 크로싱 사용	• 크로싱 결선부를 제거 할수 있어 소음진동의 현저한 감소 가능	캐나다Sky Train영국 도클랜드 경전철
토목구조물	교량 구조	• 소음, 진동에 취약한 강교사용 의 지양 (부득이한 경우 바닥 슬래브는 콘크리트 적용) • 진동흡수가 가능한 고무계통의 지승 적용 • 제진재 부착	
	터널 구조	• 중량 터널 사용	• 터널벽을 2배로 증가시킨 경우 터널벽에서 5~18dB 저감 가능
선형계획 측면	• 가능한 곡률이 큰 곡선선택 • 수진,수음부와 이격된 선형 계획	• 곡선에서 스웰소음 발생요인 제거 • 전달경로를 길게함으로서 소음 및 진동 Power의 현저한 약화	

저감방안	저감효과	비고
차량 측면	• Radial기능이 있는차륜사용 • 탄성차륜의 채택 • 차음재 보강	• 곡선에서 스웰소음 제거로약 30dB(A) 까지 저감 가능 • 레일과 차륜의 접촉에따른 충격 흡수로 소음,진동의 현저한 감소 • 차내 승객이 느끼는 소음의 감소

7. 결론

도시의 교통문제를 해결하기위하여 각 지방자치단체에서는 경량철도의 도입을 추진하고 있다. 경량철도는 도시내 근거리 교통문제 해결에 탁월한 효과가 기대되지만 그에 따른 소음·진동의 문제가 예상된다.

본문에서는 경량철도의 특성을 고려하여 궤도구조, 토목구조형식, 선형계획, 차량형식, 전파경로, 수진부의 건물, 운전 속도 등에 대하여 소음·진동의 저감효과를 자료를 통하여 비교 검토한 결과 궤도부분을 보완하는 것이 가장 경제적이고, 저감효과를 검증 할 수 있다는 것이 확인되었다.

궤도부분에서 소음·진동의 저감대책은 우선 장대레일과 저진동 궤도를 부설하고, 레일면의 결선부 등을 개량하면 경량철도의 소음·진동이 효과적으로 저감됨을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) 이 덕영 등, 2003. 9 “경량전철 실무” (주)유신코퍼레이션.
- (2) 이 종득 저, 1996. 3 “철도공학” 노해출판사
- (3) 서 사범 역, 2003. 5 “최신 철도선로 (Modern Railway Track) ” 일과일
- (4) 이 덕영 저, 2003.10 “경량전철에서 소음·진동의 최소화 및 장대레일화를 위한 교량 강간계획 연구보고서” (주) 유신코퍼레이션.