2016 년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집 KSR2016S005

제3궤조 집전방식 도시철도의 건축한계 적용에 대한 연구

Application Study on a Construction Gauge of the Urban Railway with 3rd Rail System

박성기*, 구정서*†, 함영삼**

Sungki Park*, Jeongseo Koo*†, Yeongsam Ham**

Abstract Recent years the local governments in Korea have been tending to construct the 3rd Rail System together with an unmanned Light Railway Transit in order to reduce the budget. Reduction of the construction budget makes us focus on the tunnel size as the Civil Works that shares major portion of the budget. For this the local governments try to minimize the tunnel size while considering the safe operation of the train, the Construction Gauge, and the related laws and regulations. In this study, we analyze the Lateral Movements of the Rolling Stock, compare the Construction Gauge determined by the laws and regulations with the analysis result, and validate the infringements on the Construction Gauge of the Incheon Line 2 as a reference project. Then we bring an optimal application of the Construction Gauge of an Urban Railway Transit with the 3rd Rail System in order to facilitate the local governments' efforts.

***Keywords* :** Static Gauge, Dynamic Gauge, Construction Gauge, Light Railway Transit, 3rd Rail System

초 록 최근 국내 지방자치단체에서 신규 설치하는 도시철도는 총사업비 절감을 위해 제3궤조 집전방식의 무인 경전철 차량운행시스템을 다수 운영 하고 있다. 신규노선의 총사업비 절감을 위해서는 공사비 비중이 큰 토목공사의 비용절감이 절대적으로 필요하며, 이를 위해 각 지자체는 차량의 안전 주행을 확보하면서 터널 Size최소를 위해 터널 구축한계에 대한 관련 법령과 규정을 적용하여 터널 Size를 선정하고 있다. 이에 본 연구는 현재 설치되고 있는 제3궤조 집전방식 도시철도의 건축한계 적용사례(인천2호선)를 중심으로 차량의 횡변위를 분석하고, 횡변위 분석결과와 관련 법령에 의거 설치된 건축한계와의 저촉여부를 검증하여, 제3궤조방식 도시철도 차량의 최적 건축한계 적용 방향을 제시하고자 한다

주요어 : 차량한계, 건축한계, 횡변위, 경량전철, 제3궤조.

1. 서 론

최근 도시철도 신규노선을 건설하기 위해서는 초기 공사비 및 운영비의 예산 절감이 중요한 정책 우선 순위로 고려되고 있다. 이에, 각 지방자치단체에서는 도심지 공사의 대부분을 차지하고 있는 터널의 굴착 크기를 축소할 수 있고, 운영비용 절감이 가능한 제3궤조 방식의 무인 경전철 차량운행시스템을 구축하여 이를 달성하고 있다.(부산김해, 신분당, 인천2호선, 우이신설, 김포경전철, 서울신림선, 동북선 등). 이에, 지방자치단체의 건축한계 적용시 설치 사례가 많지 않은 제3궤조 방식의 무인 경전철 시스템의 건축한계

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과(koojs@seoulteh.ac.kr)
* 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과
** 정회원, 철도기술연구원

적용 실제 사례 분석을 통해 차량의 횡변위 분석과 실제 차량 운행을 통한 검증 결과를 관련법령 기준과 비교하여 건축한계의 최적화 방안에 대하여 연구 하였다.

2. 건축한계의 개념 및 관련 법령

2.1 건축한계의 개념

건축한계란 차량이 주행하는 외측공간으로서 주행장치의 흔들림, 선로의 비틀림 노후화 등을 고려한 차량과 시설물간의 추돌사고 예방을 위한 최소 안전공간으로서 모든 구축물과 시설물이 침범할 수 없는 가상의 공간으로서 차량의 정적한계(정차중 차량의 외적한계)와 건축한계(안전한 차량운행에 영향을 주지 않는 시설물의 한계), 구축한계(터널등 토목구조물의 내공)로 구분되며, 구간별 개념은 Fig. 1과 같다

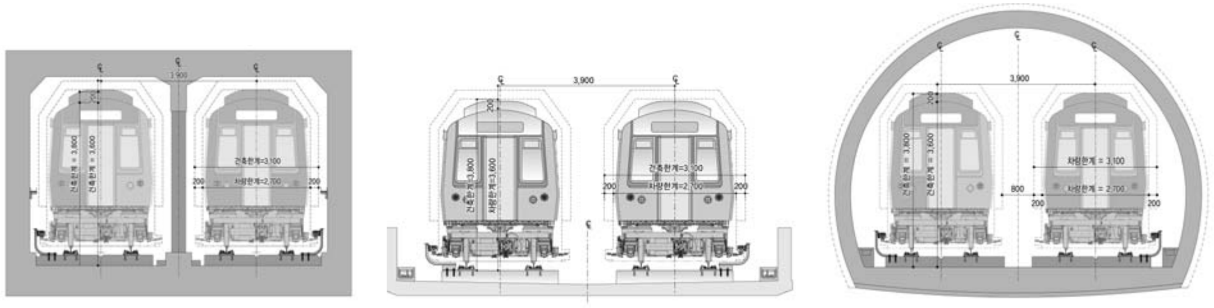

Fig. 1 Types of Construction Gauges

3.2 관련법령 검토

Third Rail방식은 주로 경전철에 적용되고 있으며, 건축한계의 규정은 도시철도 건설규칙(국토교통부령)에서 지자체별 시도지사등이 정하도록 규정되어 있어, 차량의 종류에 따라 본선 및 승강장등의 건축한계를 지자체별 상이하게 적용하고 있다. 국내 지자체 경량전철 차량한계 대비 건축한계 및 구축한계의 적용기준에 의한 차량한계 대비 여유치는 Table 1과 같다며, 승강장 부분은 차량한계에서 50mm이내 간격을 유지하도록 규정 되어 있다

Table 1 Regional Construction Gauges

구 분		서울 도시철도	부산 도시철도	대구 도시철도	인천 도시철도
건축한계 (차량한계대비)	높이 [mm]	+200	+200	+400	+400
	폭 [mm]	+150	+150	+200	+200
구축한계 (건축한계대비)	높이 [mm]	+300	+300	+500	+500
	폭 [mm]	+450	+450	+500	+500

3. 제3궤조방식 도시철도의 건축한계 적용 사례 분석

현재 지방자치단체에서 설치되고 있는 제3궤조 방식의 경량전철 건축한계 적용 사례를 분석하였다. 건축한계 저촉 여부의 주요 측정 항목은 선로 주변의 일반공사 구조물, 궤도분야 구조물, 시스템분야(제3궤조설치물, 신호장치등)등 본선에 설치되는 모든 구조물에 대해 해당 지자체의 관련법령을 적용하여 측정한다. 직선구간은 관련법령에 의한 여유치를 적용하며(좌우+200), 곡선구간은 곡선반경(mR)별 확폭량을 반영(건축한계+(내측: 18,000mm/R)+(외측: 17,000mm /R)) 추가한 건축한계를 검측 한다. 차량크기를 반영한 건축한계 및 구축한계는 Table 2와 같다.

Table 2 Construction Gauge determined by the Laws and Regulations

구 분	적용기준(관련법령)	여유율
차량크기 [mm]	W:2,700, H:380~3,700	
건축한계 [mm]	W:3,100, H:380~3,800	차량한계(W: 좌우+200 , H: +100)
구축한계 [mm]	W:3,700, H:380~3,900	건축한계(W: 좌우+300 , H: +100)

3.1 측정 결과

본선 및 차량기지의 선로주변 모든 구조물에 대하여 관련규정을 적용하여, 검측대차를 이용하여 Fig. 2와 같이 측정하였으며, 측정 결과 총 128개소의 건축한계 저촉 부위가 발생하였으며, 저촉 시설물 및 저촉 치수는 Table 3와 같이 나타났으며, 구조물(토목,건축)보다는 시설물(전력,통신,신호 시설물)이 상대적으로 많이 저촉 되었으며, 수정작업을 위해 15일 이상의 기간이 소요되었다.

Fig. 2 Measurement Gear of the Construction Gauge

Table 3 Numbers of Each Subsystem Infringements

저촉치수	구조물 (토목,건축)	시설물 (전력,통신,기타)	소계 (비율)
10 [mm]	1개소	20개소	21개소(16.4%)
10~50 [mm]	12개소	47개소	59개소(46.1%)
50~100 [mm]	17개소	17개소	34개소(26.9%)
100mm이상	7개소	7개소	14개소(10.9%)
소계	37개소	91개소	128개소

4. 횡변위 분석을 통한 건축한계 검증

본 연구에 적용한 제3궤조 경량전철 도시철도 차량에 대하여 관련법령에 의한 건축한계 기준에 대하여, 차량의 횡변위 분석을 통하여 지자체의 건축한계 규정과 어느 정도의 차이를 보이는지 알아보았다. 차량은 실제 제작된 차량의 제원을 기준으로 분석하였다. 차량의 횡변위에 영향을 미치는 항목은 궤도 불규칙도, 현가장치의 스프링 감쇠 특성, 궤도틀림, 차륜 플렌지와 선로간의 유격, 선로의 Cant등이 있으며, 상기 항목들이 복합적으로 작용하여 횡변위에 영향을 미친다.

3.1 모델링 및 제원

차량의 횡 변위를 계산하기 위해 크게 세가지 측면을 검토하였다. 첫 번째는 차량 부문으로서, 차량이 주행하면서 발생하는 횡 방향 진동 가속도 수준이 어느 정도인지를 알아야 하며, 이를 구하기 위해서 DeltaRail에서 각종 시험을 통하여 그 신뢰성이 입증된 철도차량 동특성 해석 전용 software인 VAMPIRE(Vehicle Dynamic Modeling Package In a Railway Environment)로 해석 하였으며, 본 연구에 적용된 차량의 제원은 Table 4와 같으며, 궤도 불규칙도는 track160을 적용하였다. 두 번째는 선로 부문으로서, 궤도 틀림(궤간, 수평, 면, 줄) 및 레일 마모에 기인한 차량 횡 변위이다. 궤도 틀림에 적용된 수치는 "인천시 1호선 콘크리트궤도 공사시방서" 에서 인용하였으며, 세 번째는 차륜 마모 및 삭정으로 인한 차륜 - 선로간의 유격이다. 차륜-선로간의 유격은 선로 제원은 Table 5와 같이 적용하였다.

Table 4 Parameters of the Rolling Stock

구 분	항목	MC-CAR
중량[ton]	차량	45.242
	보기	3.412
1차 현가장치[MN/m]	Kx/wheel	7.20
	Ky/wheel	5.40
	Kz/wheel	1.22
2차 현가장치[MN/m]	Kx/wheel	0.12
	Ky/wheel	0.17
	Kz/wheel	0.51
주요치수[mm]	대차 중심간 거리	11,600
	축간 거리	2,150
	1차 스프링 횡간격	1,970
	2차 스프링 횡간격	1,720

Table 5 Parameters of the Track

구 분	항목	궤도정비기준	궤도공사 마감기준
선로조건 [mm]	궤간	6	2
	수평	6	3
	줄맞춤	6	3
	레일 편마모	15[60kg 레일]	

3.2 횡변위 해석결과와 건축한계 적용에 대한 분석

직선구간과 곡선구간에 대하여 차량의 최대 돌출부분에 대하여 7가지 CASE별 횡변위를 분석 하였으며, 이를 토대로 관련규정에 의거 적용된 건축한계 적용치수와 횡변위 해석값을 비교한 결과 차량의 횡변위 값이 건축한계를 간섭하지는 않았으며, 관련법령을 적용한 건축한계 치수와 횡변위 결과 값에는 Table 6과 같이 여유치수가 있는 것으로 나타났다.

Table 6 Comparisons between the Construction Gauge and the Lateral Movements of the Rolling Stock

구간	운행조건	최대 횡변위값	건축한계 (관련법령)	여유치수 (건축한계-횡변위)
직선구간 [mm]	30km주행	1,366.4	1,550.0	183.6
	50km주행	1,370.8		179.2
	80km 주행	1,377.5		172.5
곡선구간 (100mR) [mm]	정차시 (풍속0m/sec)	1,599.5	1,730.0	130.5
	37km/h (풍속0m/sec)	1,547.7		182.3
	정차시 (풍속30m/sec)	1,618.3		117.7
	37km/h (풍속30m/sec)	1,607.0		123.0

5. 실차 운행을 통한 횡변위 및 건축한계 분석

횡변위 분석 결과값에 대한 검증을 위해 실제 차량을 투입하여 횡변위 분석결과와 관련법령을 적용한 건축한계 기준을 비교해 보았다. 검증방법은 Fig. 3과 같이 최대 횡변위 구간(100mR)에 승강장부분 횡변위 분석 결과값과 건축한계 적용값에 해당하는 가설 구조물을 설치하여 차량을 만차 조건으로 주행하면서 결과값을 분석하였다. 40여회 이상의 왕복 주행을 통해 분석한 결과 주행 차량이 차량한계는 침범 하였으나, 횡변위 결과 치수와 관련법령에서 규정한 건축한계 치수는 침범하지 않았다.

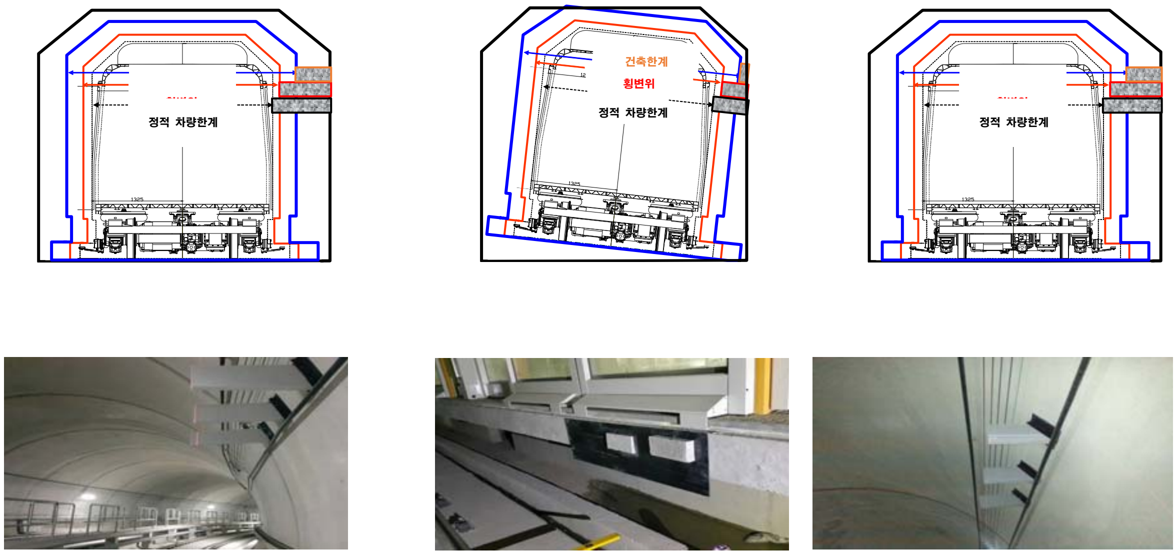

Fig. 3 Validation Methods

6. 결 론

본 논문에서는 현재 지방자치단체가 적용하고 있는 제3궤조 경전철 차량운행시스템 건축한계 적용의 적정성을 검토하고자, 실제 현장에서 적용하고 있는 건축한계 측정사례를 바탕으로 차량의 횡변위 분석, 실 차 현장검증 결과를 통하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 향후 도시철도 차량의 횡변위 분석을 통한 동적거동 해석에 대한 추가 연구를 통해 건축한계 적용 기준을 좀더 축소할 수 있을 것으로 판단된다.

1) 승강장을 제외한 터널구간에서 도시철도 차량 표준규격에서 정한 차량한계와 건축한계를 기준으로 차량 측부를 기준으로 좌우 각각 +200mmm(좌우 400mm)의 여유공간을 적용할 경우, 횡 변위 영향인자를 바탕으로 동적거동 해석을 수행한 결과 Table 6과 같이 동적거동 한계와는 좌우 200mm이상의 여유공간이 있는 것으로 나타났다

2) 신설노선의 건축한계를 침범한 시설물을 분석한 결과 터널 Size가 협소 하여 건축한계를 침범하는게 아니라 시설물 설치 전 인터페이스 협의 부족 등이 주요 원인으로서 사업 착수전 토목, 건축분야와 시스템 분야간 충분한 시스템엔지니어링 활동을 통해 시공 오류를 예방할 수 있을 것으로 확인되었다.

참고문헌

[1] J.D. Chung, J.G. Ohn, J.S. Pyun, J.S Pyun. J.G Park et al (2013), Kinematic Envelope Analysis of the Urban Transit EMU based on PSD Insallation, *Journal of the Korean Society for Railway*, VOL.16, NO.6, pp. 447-453.

[2] C.K.Park, Y.G. Kim, D.S. Bae (2013), Analysis of Vehicle Limit Considering the Dynamic Behavior for an Urban Train, *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, VOL.12, NO.7, pp. 527-533.

[3] UIC505-1 “Railway transport stock Roiling stock construction gauge” 7th edition 1-1-93