

## 2층 전동차 시스템 개념설계에 관한 연구 Concept designs of a double deck EMU train

김형진\*      황원주\*\*      허연무\*\*\*      백광선\*\*\*      박광복\*\*\*\*  
Kim, Hyeongjin    Hwang, Wonju    Hur, Hyunmoo    Baik, Kwangsun    Park, Kwangbok

---

### ABSTRACT

Currently, many countries in the world operate double deck trains as one of the efficient, reliable and comfortable mass transportation systems. However, double deck trains have relatively big cross sectional areas that cause interface problems between the vehicles and infrastructures, and do not have enough spaces for installing electric equipments. Therefore, prior to the operation of double deck trains on the existing lines in Korea, careful investigations should be performed. In this study, we have designed the concept model of a double deck EMU train system and analyzed related problems.

---

Key words : double deck train

### 1. 서론

해외에서는 최근 고속철도 및 통근용 차량으로 2층열차에 대한 관심이 고조되고 있다. 일본, 프랑스 등의 경우, 수도권 도심 내의 고 주거비용 및 개발제한으로 수도권 외곽 거주민이 급격히 증가하게 되었고 이를 위해 쾌적, 신속한 중외근 용 대중 교통수단으로 2층열차를 투입하고 있다. 각 나라의 통근용 2층열차는 각각의 선장 및 노선상황에 적합한 형태로 운용되고 있다. 일본은 승하차시간 분배 상으로 2층열차는 좌석식 또는 특설화하여 도심내부를 운행하지 않고 통경과 외곽도시를 연결 운행하고 있는데 비해 프랑스는 파리도심 내부 운행용 지하철(METRO)과 주요 기점역에서 연계, 환승되는 RER노선에서 통근용 2층열차가 운행되고 있다.

2층 EMU열차는 단면적 및 높이가 크고 기기배치를 위한 공간이 협소하므로 기존차량에 비해 주변 시설물과의 간섭이나 주행안전성이 불리할 가능성이 있고 기기배치 자체도 쉽지 않다. 따라서 2층열차를 기존 노선에 투입하기 위해서는 차량시스템 전반에 대한 세심한 검토가 요구된다. 또한, 2층 열차는 차량구조의 특성 상 기존 전동차에 비해 중입문 수가 제한되어 승하차 시간이 길게 될 소지가 있으므로 혼잡하고 대피선도 없는 도심내부에서 기존 전동차와 혼용하여 운행하는 것은 오히려 선로용량을 저감시킬 수 있으며 차체규격도 도시철도와 부합되지 않는다. 따라서 2층 EMU차량은 기존의 도시철도와는 차별화하여 수도권 외곽지역에서 도심으로 일제하기 위한 중거리 급행 inter-city로 투입되거나 수도권 광역선도망에서 일부 기점역만 정차하는 급행의 개념으로 투입되는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

---

\* 한국철도기술연구원 차량기제연구본부 책임연구원, 정희연  
\*\* 한국철도기술연구원 차량기제연구본부 연구원, 정희연  
\*\*\* 한국철도기술연구원 차량기제연구본부 선임연구원, 정희연  
\*\*\*\* 동원엔지니어링, 권무, 정희연

## 2. 해외 동향

미국, 독일, 프랑스 등지의 2층열차는 차량이 크고 중량이 무거우나 일본 동경지역의 교외선에서선 차고 4.1m 내외의 2층열차도 운용되고 있기 때문에 우리나라의 도심 외곽지역에서 승거리 인터시티 및 광역철도망에서의 2층 급행열차 운행은 가능할 것으로 전망된다. 2층 전동차 공간배치 기술과 관련하여 프랑스 알스톰사는 차량 하부의 전기, 제동, 공압관련 장치 및 제어반 등을 소형화하여 제배치하고 계단 밑이나 차량 앞뒤 끝단의 공간을 효율적으로 활용하였으며 차량 편성방식 및 의자배치, 계단위치 및 형상, 전두부의 형상, 차체의 폭과 높이를 교역의 요구에 따라 맞춤설계가 가능하도록 하였다.

프랑스 RATP(파리된 대중교통공사)는 RER노선에 1997년부터 제작한 승차감을 유지하고 승객 수송량도 기존차량에 비해 30%정도 향상된 MI2N 2층열차를 투입하고 있다. MI2N(최대속도 120 km/h, 표정속도 약 50km/h)은 5량 1편성 기준으로 좌석 승객 수 550명, 입석 승객 수(4명/㎡)는 732명이고 출입문의 폭은 2m이다. 이 차량은 주요 거점 역에서 파리도심 내부 이동은 위해 METRO와 연계되는 데 RER노선에서 운행되는 2층열차의 수는 점차 증가하는 추세에 있다.

스웨덴의 Talgo 22는 차량전체가 2층 구조로 된 개념모델이며 모델의 개념 전체를 바탕으로 살롱사이즈 mock-up이 제작된 바 있다. 이 차량은 출입문이 1층으로 바로 연결되기 때문에 2층으로 통하는 계단만 설치 되어있으며 1, 2층에 각각의 풍도가 있고 차량과 차량 사이에 1축 좌절대차를 채택하였다. 편성타입은 동력집중식이다.

동일본 철도는 동경 교외선에 215계(10량 편성, 편성 당 좌석: 1010석) 2층열차를 투입, 좌석 통근 기회를 늘렸으며 수송량은 좌석승객 기준이다. 이 열차는 쇼난 Liner(봉경-오다와라, 83.9 km) 및 쇼난신주쿠 Liner(신주쿠-오다와라, 87.7 km)에서 급행으로 운행된다. 최고 속도는 120km/h이며 차체(연결단 길이: 20m, 폭:2.9m, 높이:4.07m, 출입문 폭:0.9m)는 스테인레스로 제작되었고 차체/차체 및 차체/대차간 횡면위를 감쇠하는 기구가 설치되어 있다. 편성 앞 끝단의 M, 차량은 2층만 객실이고 1층은 장비가 탑재된 기계실이다. 구리하라에서 나리타공항(구리하라-동경-나리타 공항, 149km)까지 운행되는 217계(11량 편성) 열차는 편성 중 2량만 2층열차(특실, 좌석워쿠)이며 특실은 기본요금 외에 거리별로 차량 부가되는 특실요금을 지불해야 한다.

## 3. 2층열차 개념모델의 기본 구조 및 제원

2층열차는 차량단면적 및 공차중량이 크므로 구체의 경량화를 위해 알루미늄 합금을 적용하였고 전동차 운영형태를 고려하여 10량 편성으로 검토하였다(5M5T). 검토 차종은 4종류(M-car, T-car, Mc-car, M'-car)로 차체의 개념설계를 위해, 알루미늄 차체에 적용된 각종 압축재 단면 형상을 참고로 하였다. 그림 1은 2층열차 차체 기본 구조이며 출입문 근처에 설치된 계단을 통해 1층 및 2층으로 이동한다. 출입문은 기존 차량보다 넓은 출입문(2m)을 채택하였다.

표 1. 2층열차 모델 주요제원(단위 : mm)

항목(Item)	2층열차	
차체길이(mm)	19,500	
차체높이(mm)	h <sub>1</sub> (1층)	1,920
	h <sub>2</sub> (2층)	1,974.5
차체폭(mm)	3,120	
대차간 거리(mm)	13,800	
엔드면 끝단과 대차중심간(mm)	2,850	
출입문 설치 높이	1,150	

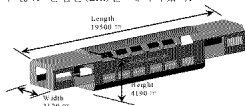


그림 1. 2층열차 차체 컨셉 모델



그림 2. 2층열차 차량편성도



표 3. 2층 열차의 차종별 중량 및 승객 수(단위 : kg)

항목	Mc1	M1	T1	T2	M'	T3	T4	T5	M2	Mc2	합계
차체	9,800	9,200	9,000	9,000	9,800	9,000	9,000	9,000	9,200	9,800	92,800
운전실설비	1,500									1,500	3,000
실내설비	4,860	7,020	7,170	7,170	3,320	7,170	7,170	7,170	7,020	4,860	62,930
기계설비	3,750	3,900	2,900	2,900	3,750	2,900	2,900	2,900	3,900	3,750	33,550
견장폴 설비	16,200	4,630	2,200	2,200	12,260	2,200	2,200	2,200	4,630	16,200	64,920
차외설비	2,700	2,100	2,100	2,100	2,900	2,100	2,100	2,100	2,100	2,700	23,000
대차	15,400	15,400	11,000	11,000	15,400	11,000	11,000	11,000	15,400	15,400	132,000
공차중량	54,210	42,250	34,370	34,370	47,430	34,370	34,370	34,370	42,250	54,210	412,200
경비하중	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1,500
정비중량	54,360	42,400	34,520	34,520	47,580	34,520	34,520	34,520	42,400	54,360	413,700
승객하중: 정원시	5,952	12,772	14,074	14,074	7,998	14,074	14,074	14,074	12,772	5,952	115,816
승객하중: 만차시	8,680	20,336	22,196	22,196	12,648	22,196	22,196	22,196	20,336	8,680	181,660
총하중(만차시)	63,040	62,736	56,716	56,716	60,228	56,716	56,716	56,716	62,736	63,040	595,360
각 차종별 승객 수(명), 만차는 입석혼잡 200% 기준 (승객하중기준 : 62kg, 도시철도)											
정원시 : 좌석	52	84	96	96	54	96	96	96	84	52	806
1층	20	40	52	52	22	52	52	52	40	20	402
2층	32	44	44	44	32	44	44	44	44	32	404
입석	44	122	131	131	75	131	131	131	122	44	1062
1층	30	90	99	99	61	99	99	99	90	30	796
2층	14	32	32	32	14	32	32	32	32	14	266
소계	96	206	227	227	129	227	227	227	206	96	1868
만차시 : 좌석	52	84	96	96	54	96	96	96	84	52	806
입석	88	244	262	262	150	262	262	262	244	88	2124
소계	140	328	358	358	204	358	358	358	328	140	2990

표 4. 차종별 기기배치 방안

기기명칭/차종	교/직류 경용차량 주전력변환장치 및 SIV 냉각방식: 강제				교류차량 주전력변환장치 및 SIV 냉각방식: 자연			
	Mc'	M	M'	T	Mc'	M	M'	T
	주전력변환장치	○		○		○		○
라인 브레이크	○		○					
필터 리액터	○		○					
전자제어박스	○		○		○		○	
HSCB	○		○					
주변압기	○		○		○		○	
SIV 인버터	○		○		○		○	
SIV 변압기	○		○		○		○	
스타팅박스	○		○		○		○	
판토회로제어박스	○		○		○		○	
판토회로조압축기	○		○		○		○	
판토회로공기통	○		○		○		○	
공기압축기 유니트	○		○		○		○	
축전지/충전기 박스	○		○		○		○	
계동 유니트	○	○	○	○	○	○	○	○
주공기통	○		○		○		○	
공급공기통	○		○		○		○	
계동 공기통	○	○	○	○	○	○	○	○
일반배전반	○	○	○	○	○	○	○	○
냉난방제어반	○	○	○	○	○	○	○	○
진단제어장치	○				○			
T/M 연결박스	○	○	○		○	○	○	
ATS 제어장치	○				○			
판토타블	○		○		○		○	

위의 표 4는 교/적류 점용 및 교류차량의 기기배치 방안을 나타낸 것으로 무임 노선이나 운용 조건에 따라 차량제원이 달라진다. AC 전용구간에서 몇 개 주요역만 정차하는 급행으로 운용할 경우, 가속도를 도시철도보다 낮추어 운행하는 것이 가능하다던 기기배치가 상대적으로 수월 할 것이나 도시철도의 가속 성능을 지니는 AC/DC 겸용 차량은 전장중의 사이드룸 현재보다 대폭 줄이지 않으면 차량에 탑재가 어려울 것으로 판단된다. 또한, 서울시 도시철도건설 규격의 차체 규격에 해당되지 않으므로 해당규격이 적용되는 도시철도 구간 운용이 어려운 것이다. 따라서 2층 열차(EMU)의 국내 투입 시 철도공사 운영노선에서 교류 전용차량으로 우선 검토하는 것이 차량 공간 활용이나 차량중량 등 경제적 측면과 시스템 설계 효율과 측면에서 유리하다.

#### 4. 차량 주행 동특성

개념모델 주행특성 해석을 위해 과천선 곡선구간(R300) 및 경부선(서울-수원) 직선구간 일부에서 레도건축차로 신속한 데이터를 샘플링하여 모델링하였다. 차량은 임식혼합 200%의 영차조건 및 과천선 차량(M<sub>20</sub>) 대차의 기본 물성치를 사용하고 차체 횡변위 저감을 위해 차체/차재, 차재/대차간 횡변위 제약을 소폭 강화하였다. 평가계는 1차원가계에 코너킬 측속 교부스프링이, 2차원가계에 공기스프링이 장착된 볼스타리스 형식이다. 해석 S/W는 영국 AEA Technology사의 VAMPIRE(Ver.3.5)이며 그림 9는 10량 편성 차량 모델링 결과를 나타낸 것이다. 곡선(R300 구간) 통과속도는 60km/h, 최고속도(직선구간)는 110km/h를 적용하여 해석을 수행하였다.

그림 10은 곡선구간 통과 시 차량의 횡변위 및 건축한계 기준치를 표시하고 있는데 차량하부의 2면 위치는 차량 및 터널한계의 간격이 좁아 차량과 시설물(터널)의 접촉이 우려되는 곳이다. 그림 11은 곡선구간 주행 시 각 차종별 2면 위치에서의 횡변위를 표시한 것으로 약대는 편성 중 각 차량의 횡변위이고 전선으로 표시된 부분은 직선구간의 건축한계, 실선은 국유철도규칙 제13조의 3항의 곡선구간의 건축한계 규정에 다음식과 같이 명시된 최대대 규정을 적용한 것이다.

$$W = \frac{50,000}{R} \text{ (전동차전용선인 경우)} \quad \frac{24,000}{R}$$

여기서 W는 선로중심에서 좌우측으로의 최대량(mm), R은 곡선반경(m)을 의미한다.

그림 11에서 알 수 있듯이, 곡선부 통과시 차량의 횡변위가 폭이 확대된 건축한계를 넘지 않으므로 차량과 시설물의 접촉은 발생하지 않을 것으로 예측되며 차량의 횡 변위를 저감시키기 위한 차체/차재 및 차재/대차 간 횡변위 감쇠요소가 필요한 것으로 예측되었다. 그림 12는 곡선구간 통과시 속도(40, 50, 60km/h)에 따른 횡변위를 나타내는 것으로 곡선구간 통과속도가 클수록 횡변위가 커짐을 알 수 있었다. 동적성능 평가기준은 국내 철도차량에 통상적으로 적용되어온 기준치를 이용, 적합성 여부를 검토하였는데 R300곡선구간 통과 시 및 최고속도 110km/h 주행 시, 차량 주행안전도 관련 인자인 융중감소율, 탈선계수가 모두 허용기준의 이내에 있음을 알 수 있었다.

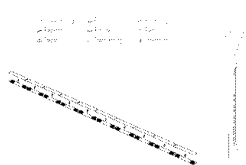


그림 9. 10량편성 차량모델링

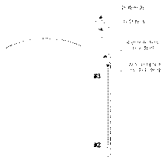


그림 10. 곡선통과시 차량 횡변위

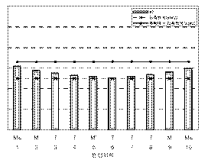


그림 11. 차종별 차체 최대 횡변위(#2위치)

표 5. 차량주행시 동작성 측정결과

선로	주행 속도	항목	측정 결과	비 고
H30 O	60km/h	달진계수	0.64	- 30Hz low pass filter, 구간 최대치 - 빈도누적확률 0.1% 시 1.1까지 적용
		중공감소 [%]	31.8	- 30Hz low pass filter, 구간 최대치 - 빈도누적확률 0.1% 시 80%까지 적용
곡선 선로	110km/h	달진계수	0.3	- 30Hz low pass filter, 구간 최대치 - 빈도누적확률 0.1% 시 1.1까지 적용
		중공감소 [%]	35.0	- 30Hz low pass filter, 구간 최대치 - 빈도누적확률 0.1% 시 80%까지 적용



그림 12. 곡선통과시 속도대 따른 차체변위(#2위치)

### 5. 결론

최근, 서울 - 원안 전철 계통 등 계속적인 수도권 전철과 수전 및 서울 외곽 택지지구 개발로 수도권 광역임대망이 점차 확대되는 추세이다. 수도권 인구의 효율적 분산 및 모토교를 혼잡 예방을 위해 이러한 전철화 사업은 반드시 필요한 사업이다. 이와 더불어 이철 외곽지역 거주자에게 쾌적하고 신속한 대중교통 수단 제공의 일환으로 기존차량 대비, 월등히 많은 좌석용량을 제공하는 급행 2층열차의 도입 검토가 절실히 필요한 시점에 도달하였다.

본 연구에서는 향후 2층열차의 국내 도입에 대비, 국내의 차량 및 전축한계, 운용조건을 감안한 2층열차(전동차) 구조 및 내/외부 열상을 개념 설계하였으며 차체를 경량화하기 위해 경량소재인 알루미늄 압축재의 적용방안을 모색하였다. 또한, 차량중량 및 차중변 승객수충량, 기기대치 등을 검토하였는데 2층열차는 차량 하부에 기기설치할 위한 공간이 거의 없어 기존 차량과는 상이한 기기대치가 필요하며 주요 부품의 소형/경량화, 공간 활용 기술 등려 개발이 필수적이다.

2층열차 개념도면의 주행특성을 분석한 결과, 60km/h의 속도로 곡선구간을 통과할 때나 최고 속도(110km/h)로 주행 할 때의 동적 중공감소율과 달진계수가 모두 허용 기준의 여백에 들어 국내선정에 적합한 동작성능을 지니는 2층열차의 설계가 가능한 것으로 평가되었다. 곡선부 통과 시 시설물과의 간섭을 예방하기 위해 곡선부 통과속도를 줄여 차량 횡변위를 감소시킬 수는 있으나 차량 운용측면에서 바람직하지 않으므로 차량의 횡변위 완화를 위한 장치가 필요하며 곡선구간의 전축한계 확보기준에 맞추어 타일이 원형정비 되어져야 한다.

2층열차는 차체 및 주요 전장품의 경량화한 통해 차량의 중량을 획기적으로 줄이지 않는 한, 공차중량을 줄이기는 어렵다. 축중을 16톤 이하로 제한할 경우, 기존 전동차와 비해 2층열차의 수송량 증감효과가 외국의 경우처럼 크게 없을 것이다. 좌석수가 많은 2층열차의 정원은 기존 전동차의 정원보다 많게 할 수 있으나 정원 대비 좌석비율이 높기 때문에 차내 혼잡율이 증가 할수록 수송량 증대 효과는 낮아지며 승객제한 때문에 수송량을 늘리는데도 한계가 있다. 또한, 차체 조립이 극심할 경우, 승하차 시간 지연이 우려되고 차량의 크기도 도시열도의 범위를 벗어나므로 2층열차는 도심환경 위주의 도시열차라는 차별적으로 광역열도망 및 인하시외 급행열차로 운용, 교외 지역 통근차에게 좌석 통근의 기회를 늘림과 동시에 여행시간 단축을 통하여 승객편의성을 대폭 향상시킨 신 개념 차량으로 운행되는 것이 바람직한 것이다.

### 참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2003), "2층 급행열차 운행을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구(국내 실정에 적합한 2층열차 도면 기초연구)", 건설교통기술혁신사업 3차년도 연구보고서