

## 2층열차 차량모델에 대한 기초연구

### A Basic Study on a Double Deck Train Model

김형진\*      황원주\*\*      허현무\*\*\*      강부병\*\*\*\*      박종희\*\*\*\*\*  
Kim, Hyeongjin   Hwang, Wonju   Hur, Hyunmoo   Kang, Bubyong   Park, Jonghee

---

#### ABSTRACT

In recent years, due to the continuous concentration of population and sharp increment of commuters around Seoul metropolitan area, traffic jam has become one of severe problems along with housing in this area. In order to solve the problem like the one mentioned above, several countries such as Japan, France and so on gradually operate double deck trains as efficient, reliable and comfortable mass transportation systems. However, the double deck train has weak points such as big cross sectional area and high mass center that cause unsafe vehicle running performances and interface problems between the vehicles and infrastructures. Therefore, prior to operate double deck trains on the existing lines, careful investigations should be performed. For these reasons, we have investigated foreign double deck trains and studied the technologies for a double deck train as an alternative way to carry heavy transportation efficiently and comfortably.

---

Keywords : double deck train

#### 1. 서론

일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 동경, 파리 등 대도시권역의 급속 팽창으로 이들 대도시권 외곽지역에 거주하는 주민들의 수가 급격히 증가하자 이들을 위해서 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층열차를 점차 활용하고 있는 추세이다. 이는 2층열차를 투입하는 것이 쾌적한 승객서비스를 제공하면서 선로용량 증대 등 시설물에 투자하여 수송량을 증강시키는 것보다 훨씬 저렴한 방법임이 입증되었기 때문이다. 그러나 2층열차는 기존 차량보다 차량 단면적이 크고 무게 중심이 높으므로 주변 시설물과의 간섭문제나 주행안전성에 있어 불리한 점을 내포하고 있어 2층열차를 기존 노선에 투입하기 위하여는 세심한 검토가 요구된다.

2층열차는 차량구조의 특성상, 출입문 수가 기존 전동차보다 적어 승하차 시간이 다소 긴 단점이 있으므로 수도권 광역철도망 운행시 주요 거점역에서만 정차하는 급행의 개념으로 투입하기에 적절하며 대피선이 설치되지 않은 도심내부(지하철 구간)에서 운행하기보다는 수도권 외곽지역에서 도심으로 연계하는 광역철도망(또는 근거리 inter-city)에 투입되는 것이 바람직하다.

---

\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원  
\*\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 연구원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 선임연구원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 주임연구원  
\*\*\*\*\* 건설교통부 광역철도과 사무관

## 2. 국외 2층열차 관련 기술 동향

선로용량이 포화될 때, 쾌적하면서도 수송량을 증강시키는 방법으로 시격 단축이나 편성 차량 수를 증가시켜 수송량을 증대시키는 방안 등이 있으나 열차 시격 단축은 복잡한 신호시스템 및 제동거리 단축이 필요할 뿐만 아니라 시격 단축 자체도 한계가 있다. 편성 차량 수의 증가는 긴 역사를 필요로 하므로 역사 증축 등 부가적 시설비의 투자가 요구된다. 따라서 프랑스 등에서는 선로 사용률이 높은 구간에서 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층열차를 활용하고 있는 추세이다. 2층열차는 차체의 높이가 터널 및 차량한계에 의해 제한을 받으므로 프랑스 등에서 현재 상업 운행되는 2층열차 중 우리의 현실에 적합한 차종은 그리 많지 않으나 일본의 경우, 차고 4.1m 내외의 2층열차 차량도 운용하고 있기 때문에 우리나라의 광역철도망 중 도심 외곽 지역에서의 2층열차 운행은 큰 문제가 없을 것으로 보인다.

2층열차에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나가 공간배치의 효율성 측면이다. 프랑스 알스톰사 사례를 보면 기존열차와의 상이한 설계로 인하여 가장 고심한 부분은 주요장치들의 재배치 문제이다. 차체의 공간을 최대한 활용하기 위해서 차량 하부의 전기장치, 제동장치, 공압 관련 장치, 제어반 등이 소형화되어 재배치되었으며 특히 새롭게 생긴 계단 밑의 공간이 많이 활용되고 차량의 앞뒤 끝단의 공간을 이용하기도 한다. 차량의 단면 프로파일은 UIC계지를 최대한 활용, 롤링모션(rolling motion)시 시설물과의 간섭이 일어나지 않도록 하고 있으며 차량의 편성방식 및 의자배치, 계단위치 및 형상, 전두부의 형상, 차체의 폭과 높이를 고객의 요구에 맞게 맞춤설계가 가능한 설계방식을 적용하고 있다.

### 2.1 일본 동경근교 교외선 2층열차 운영현황

일본의 경우, 동경 도심지의 비싼 주거비용 및 쾌적한 주거환경 선호경향으로 최근 교외 주거지역이 급속히 팽창하고 있는데 교외지역 거주자들에게 쾌적하고 신속한 통근수단을 제공하기 위해 2층열차가 투입되게 되었다. 일본의 2층 열차는 Central, West, East Japan Railway 및 Odakyu Railway에서 운행되고 있으며 운행되고 있는 차종도 다양하나 본 연구에서는 동경근교에서 교외선 2층차량을 운용하고 있는 동일본 철도(East Japan Railway)를 주로 검토하였다.

동일본 철도는 동경근교 외곽 주택지의 원거리 통근 대책으로서 215계 근교형 2층열차를 도입, 착석 통근의 기회를 늘렸으며 Subway용이 아니라 중·장거리 및 도시간(intercity)이나 교외지역(광역철도망) 출퇴근자를 위한 운행이 주목적으로 수송량은 좌석승객 기준으로 되어있다.

215계 열차는 쇼난 Liner(동경과 오다와라(小田原)간 83.9km, 1992년 4월 20일 개통) 및 쇼난신주쿠 Liner(신주쿠와 오다와라(小田原)간 87.7 km, 2001년 12월 1일에 개통)에서 급행으로 하루에 1회 운행되고 있으며 정차는 시나가와, 후지사와 및 치케아사키 역에서만 하고 있다. 쇼난 Liner의 표정속도는 약 67km/h(소요시간 75분)이며 쇼난신주쿠 Liner의 표정속도는 59.1km/h(소요시간 89분)이다. 최고 120km/h로 운용되며 열차의 편성은  $M_c - M' - T - T' - T' - T_s - T_s' - T - M' - M_c$ 의 순으로 되어있고 차체(연결면간 길이: 20m, 폭:2.9m, 높이:4.07m)는 스테인레스로 제작되었다. 차량편성의 양쪽 끝에 위치하고 있는  $M_c$  차량은 2층에만 객실이 있고 1층에는 메인컨트롤러, 인버터 등 주요장비를 탑재하고 있는 기계실로 활용하고 있으며 동력차( $M'$ )는 부수차량( $T$ )과 마찬가지로 1, 2층 모두를 객실로 활용하는 형태(120석)로 되어있지만 차이점은 부수차량과 달리 차장실과 화장실이 없다. 차량편성의 중간에 위치한 부수차량 6량중 2량은 특실( $T_s$ )로 운용하고 있다(출입문 폭:0.9m).

주로 “쇼난 Liner”로 사용되고 있는 기존의 185계와 비교하면, 215계 차량편성(10량)은 좌석수 기준으로 60% 향상된 1010석을 갖추고 있다. 215계의 편성차량 중  $M_c$ 차를 제외한 나머지 차량들의 단면 Section은 대체로 유사한데 차량의 측 출입구 주변의 양끝단은 대차가 위치하고 있는 관계로 단일 층으로 구성되어 있고 대차사이의 가운데 부분은 2층으로 되어있다.



그림 1. 교의선 215계의 Leading Car(Mc)

※ ①호차, 판트그래프는 차량 후단부 지붕에 취부

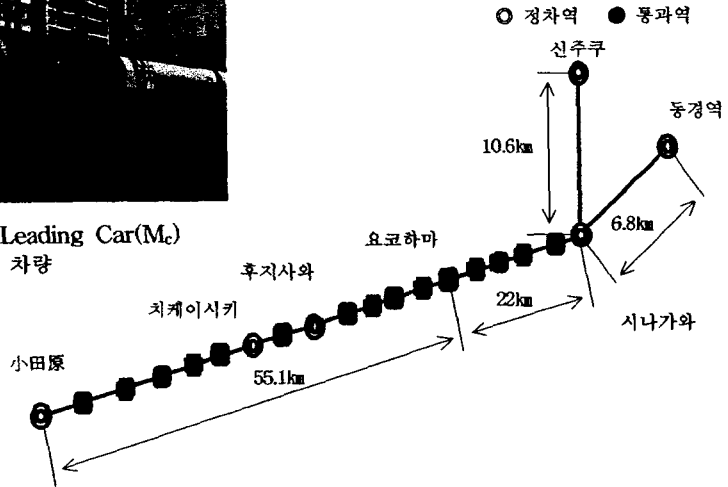


그림 2. 쇼난 Liner과 쇼난신주쿠 Liner

## 2.2 프랑스 파리근교의 2층열차 운영현황

RER(파리 광역철도망)의 라인A는 80년대 이후 엄청나게 늘어난 유동 승객들로 인해 이들의 쾌적한 수송문제가 큰 고민거리로 지적되어 RATP(파리권 대중교통 공사)는 추가선로를 건설하는 등의 노력을 끊임없이 기울여 왔으나 기존 철도시설물에 대한 큰 투자 없이 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안으로 검토한 것이 2층열차이다. 2층열차는 쾌적한 승차감을 유지하면서 승객 수송량이 기존차량에 비해 30~35%정도 크기 때문이다.

Z2N 2층열차의 최대속도는 140km/h로 레일상면으로부터의 높이가 4.32m 이고 차량 폭은 2.82m, 동력차의 길이는 25.1m, 부수 차량의 길이는 26.4m이며 동력차에는 집전장치가 설치되어 있고 차량의 양 끝단에 전장품 등 장비가 설치되는 공간이 있다. 측 출입문은 편성에 속한 모든 차량의 양쪽에 2개씩 설치되어 있으나 동력차(2동실)의 경우는 탑승 승객수가 적으므로 문의 폭을 1.3m로 하였으며 4량이나 5량을 한 편성으로 하여 운용된다.

MI2N 형식(운행 최대속도 120km/h)은 5량 편성으로 운용되고 있는데 SNCF(프랑스 철도공사) 차량편성은 2동실(운전실 포함)+동력차(2동실)+2동실(부수차량)+동력차(1,2동실)+2동실(운전실)로 구성되어 있다. RATP는 1996년 2월 MI2N 차량을 처음 도입하여 차량 적용시험을 거친 후 현재 운용 중인데 좌석 승객 수 550명, 입석 승객 수(4명/m<sup>2</sup>)는 732명으로 이는 같은 노선에서 운행되고 있는 다른 차량에 비해 승객 수송량이 30%정도 향상된 것이다. 출입문은 승객들의 승하차를 쉽게 하기 위하여 폭을 2m로 대폭 확장하여 적용하였다.



그림 3. MI2N 2층 객차

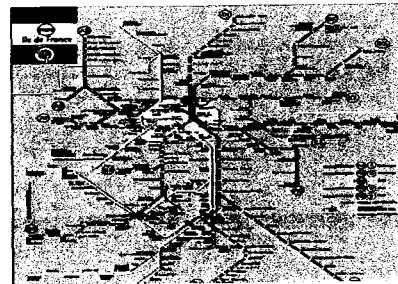


그림 4. RER 노선도

도표 1. Z2N 및 MI2N 차량의 편성

구분	편성	편성길이	좌석	승객수	하중
Z2N	동력차(2량)+2등실(1량)+1,2등 혼합실(1량)	103 m	600	1,064	298.7톤
	동력차(2량)+2등실(2량)+1,2등 혼합실(1량)	129.4 m	804	1,413	366.2톤
MI2N (RATP)	2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+동력차(1,2등실)+동력차(2등실)+2등실(운전실)	112m	550	1282	360톤

프랑스의 경우, 파리 도심지는 집값이 교외지역에 비해 엄청나게 비쌌 뿐만 아니라 파리지내의 유적지 보호측면에서 개발이 제한되어 있으므로 시내 각 도로의 혼잡은 극심한 상황이다. 따라서 많은 사람들이 파리 외곽지역에서 출퇴근을 하는 실정인데 30~40분 이상 여행하는 사람들은 대부분 앉아서 여행하고 싶어한다. 이러한 추세에 맞춰 도입된 2층열차는 좋은 호평을 받게 되었고 프랑스에서는 MI2N을 비롯한 2층열차의 운행 효율성을 인정받아 점차 그 수가 늘고 있는 추세이며 2층열차 운영의 성공적 케이스로 평가되고 있다. RATP는 RER노선에서 기존의 전동차와 2층 열차인 MI2N 차량을 혼용하고 주요 거점역에서 파리도심 내부로의 이동을 위해 METRO와 연계 되도록 운용하고 있는데 2층열차의 경우, 1층뿐만 아니라 2층에도 상당수의 입석승객이 있어 2층 열차의 투입 시 구조 특성상 불가피한 승하차 시간 지연 때문에 이 노선에 투입되는 2층열차는 차량측면 당 문 3개짜리 MI2N이 운용되고 있다.

도표 2. MI2N 제원

RER LINE A	MI2N의 제원	최대속도	120km/h
		설계최대속도	140km/h
		출입문 폭	2m × 3
	최소 운전시각	2분	
	예상 최대 혼잡율	150%	
	승하차시간	30~40 초	
	표정속도	약 50km/h	
	운행형태	파리지내	Metro와 연계 운행
		파리교외	skip-stop

### 3. 2층열차 차량 구조의 기본 구조

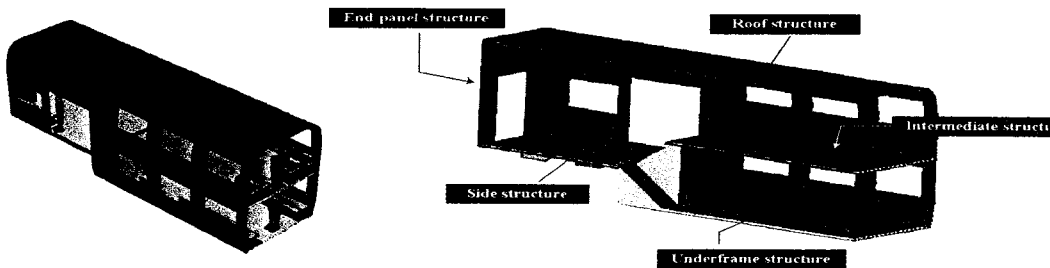


그림 5. 2층열차 차체 구조

2층열차 차량 양쪽끝단은 대차가 위치하는 관계로 1개층으로 되어있고 대차 사이의 부분만 2층

으로 하되 1층 바닥면은 대차 상면보다 밑으로 내려오는 구조로 되어있다. Table에 명시된 차체의 제원은 현재까지 검토된 내용으로 추후 연구가 계속 진행됨에 따라 다소 변경되어 질 수도 있다.

도표 3. 2층열차 개념설계 주요제원

항목(Item)		2층열차	
차체길이		19500 mm	
차체높이	h1(1층)	1985 mm	4070 mm (from rail)
	h2(2층)	1930 mm	
차체폭		3008 mm	
대차중심간 거리		13800 mm	
구조체 중량		9 ton	
공차중량		41.5 ton	

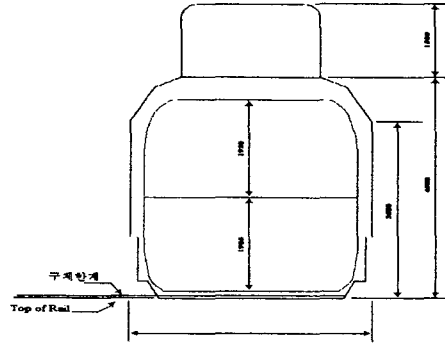


그림 6. 국철 차량한계(정적상태) 및 2층열차 차량단면

#### 4. 2층열차 차량 주행 동특성

철도차량의 주행특성은 차체, 대차등의 질량요소와 관련된 무게, 무게중심, 관성모우먼트등의 물성치와 차량의 1차, 2차 현가계와 관련된 치수, 스프링강성, 감쇠력등의 작용에 의하여 크게 영향을 받는다. 2층열차는 승객 및 차량부속기기로 인한 하중부과 위치가 차체상부에 작용함에 따라 차체 운동중심이 상승하여 곡선주행시 과도한 차체경사 작용에 의하여 터널 및 시설물간의 간섭 문제가 발생할 가능성이 있다. 따라서, 개념적으로 설정된 2층열차 모델에 대하여 차량주행시의 주행특성 분석과 궤도, 터널등의 시설물간의 인터페이스 검토를 위해 주행동특성 해석을 수행하였다. 해석에 필요한 주요 물성치 및 해석관련 자료는 2층열차 차량이 실존하지 않으므로 국내의 차량관련 자료를 조사하여 적용하였으며, 궤도 및 터널 데이터는 실측데이터 및 설계도면을 참고로 하였고 차량 운용조건은 전동차에 적용되는 조건을 적용하였다. 주행특성 시뮬레이션을 위하여 철도차량 동특성해석 전용프로그램인 영국 AEA Technology사의 VAMPIRE(Ver.3.5)를 사용하였다.

##### 4.1 차량모델

차체는 본 연구에서 검토된 개념모델의 차체(1량)를 적용하였으며, 대차는 국내에서 운용중인 과천선 차량( $M_{car}$ )을 대상으로 모델링하였다. 2층열차의 현가계는 1차현가계에 코니컬축상고무스프링이, 2차현가계에 공기스프링이 장착된 볼스타리스 형식으로 구성되어 있다.

도표 4. 2층열차 동특성해석에 적용된 주요제원

항목	2층열차 제원	비고
구조체 중량	9 ton	부속기기17.5ton
차체 길이	19.5 m	
차체 높이	4.07 m	레일상면 기준
차체 폭	3.008 m	
차체 무게중심	1.765 m	영차시, 레일상면 기준
대차 중량	15 ton	1set당
대차중심간거리	13.8 m	
고정 축거	2.1 m	
차륜 경	0.86 m	
차륜 담면	원추형1/20	

#### 4.2 궤도모델

선로 주행시의 차량주행특성 분석을 위하여 궤도(표준계간, 1435mm, 50kgN 레일적용)를 모델링 하였다. 궤도모델은 실선로를 궤도검측차에 의하여 검측한 궤도데이터를 해석프로그램 궤도조건에 적합하게 변환하여 적용하였다. 곡선통과시의 터널과의 간섭해석을 위한 선로모델은 과천선의 R300곡선을 샘플링하여 모델링 하였다.

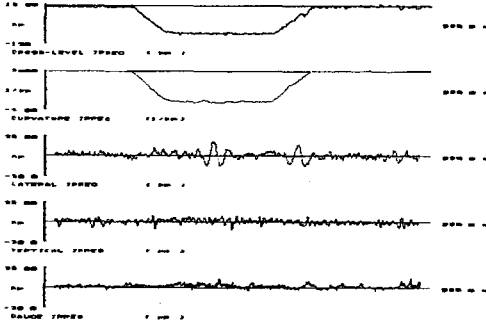


그림 7. 곡선통과해석에 적용된 선로데이터(과천선 샘플링, R300)

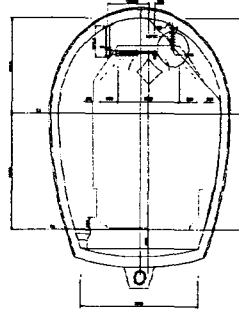


그림 8. 과천선 터널단면

#### 4.3 해석 결과

2층열차의 주행시, 동적 특성 및 터널구간 통과시의 시설물과의 간섭을 파악하기 위하여 해석을 수행하였다. 차량은 영차조건으로 하고 궤도모델은 과천선 구간의 일부 R300구간을 샘플링하여 모델링하였으며, 차량 통과속도는 전동차의 곡선통과속도인 60km/h로 하였다. 해석에 따른 동적성능 평가기준은 국내 철도차량에 통상적으로 적용되어온 기준치를 적용하여 그 적합성 여부를 검토하였다. 본 차량해석 모델의 R300 곡선통과시, 차량주행안전도 관련 인자인 동적윤증감소율, 탈선계수, 정상행가속도는 모두 허용기준치 이내에 있고 R300 곡선통과시의 차체 외측의 최대횡변위는 약 0.15m로 샘플링한 터널의 건축한계 이내에 있을 것으로 해석된다. 따라서 과천선 일부구간을 샘플링한 구간에서의 한정된 해석조건의 경우, 본 해석모델의 곡선통과시의 주행안전도 및 터널간의 간섭문제는 발생하지 않을 것으로 예측된다.

도표 5. 차량주행시 동특성 해석결과

선로 (속도)	항목	해석결과	비고
R300 (60km/h)	탈선계수	0.88	· 구간 최대치 · 빈도누적확률 0.1%일 때 1.1까지 허용
	윤증감소 [%]	45.1	· 구간 최대치 · 빈도누적확률 0.1%일 때 80%까지 허용
	정상행가속도 [m/s <sup>2</sup> ]	0.23	· 차체행가속도 정상성분 · 0.8m/s <sup>2</sup> 까지 허용
	차체 횡변위[m]	0.15	· 최대값

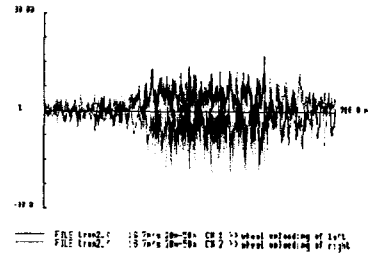


그림 9. 차량주행시 동적특성(동적윤증감소율)

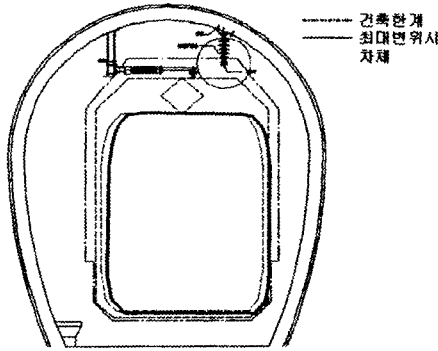


그림 10. R300통과시의 차체변위(과천선)

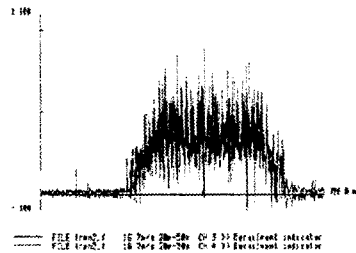


그림 11. 차량주행시 동적특성(탈선계수)

## 5. 결론

본 연구에서는 해외의 2층열차 운용사례 검토 및 분석을 통하여 개략적인 2층열차 차량의 구조 및 형상에 대한 모델을 설정하였으며 향후의 연구를 통하여 현재까지 검토된 모델에 대한 개선작업이 계속 이루어질 것이다.

차량의 운용측면에서 볼 때 수도권 전철 구간 중 경인선, 경부선 일부 구간은 이미 급행서비스가 이루어지고 있으므로 2층열차 도입에 따른 제한 조건은 크지 않을 것으로 보이며 수송량 증대 측면에서는 좌석위주의 기존 전동차가 운행되는 유럽 등의 좌석위주 2층열차와 비교해 볼 때 입석위주 전동차를 운행하는 국내실정에서 좌석위주 2층열차의 수송량 증강효과가 유럽만큼 크지는 않을 것이다. 또한 외국의 사례에 비춰볼 때 2층열차에 광폭의 출입문을 장착한다고 해도 150% 이상의 차내 혼잡율에서 승하차 지연은 피하기 어려울 것으로 판단되므로 대피선이 설치된 지상 구간에서 급행열차로 운행되는 것이 바람직 할 것으로 보인다(2기 지하철은 협소한 차량한계로 2층열차의 운행 자체가 불가능 할 것으로 판단되며 지상구간의 터널은 차량한계가 원형대로 보존되어 있어야 한다).

축중의 경우, 차량중량이 가장 무거운 동력차는 경량화가 어려우므로 전동차 전용구간(EL-18구간)에서 운용할 때 축중한계에 문제가 발생할 소지가 있다. 일본의 사례를 볼 때, 일부 2층 동력차는 1층을 기계실로 쓰고 2층만을 활용하여 동력차의 활용도가 높지 않으므로 축중제한 문제를 해결하기 위해 기존 전동차의 동력차에 출력을 다소 보강한 차량을 활용하는 것이 축중한계 문제, 장애자의 편의성 접근성, 기술적 측면에서의 전장품 컴팩트화 및 배치문제를 해결할 수 있는 방법의 하나이다.

2층열차는 수송량 증대와 더불어 승객편의성 향상에 큰 의미가 있으며 우리나라의 소득수준 및 삶의 질 향상에 따라 승객 편의성(좌석 편의성) 향상도 더욱 강조될 것으로 예측되므로 향후 국내

에서의 2층열차 운행 필요성은 점차 증가되어 질 것으로 보인다.

#### 참고문헌

1. “한국인 체형에 맞는 차량내 공간배치에 관한 조사연구”, 포항공과대학, 1992. 12
2. “도시철도 표준사양”, 건설교통부, 2000. 5
3. 철도차량공학“, 박광복, 삼성종합출판, 1999
4. “Double-deck electric railcar series 215 for East Japan Railway Company”, Rolling Stock in Japan, 1993