

# 2층 열차의 편성 및 기기배치 설계에 관한 연구

## The Study for Design of Formation and System of Double Deck Train

박광복\*  
Park, Kwang-Bok

김형진\*\*  
Kim, Hyeong-Jin

백광선\*\*\*  
Baik, Kwang-Sun

---

### ABSTRACT

This report was studied about the design of formation and lay out of major components of double deck train operated at main line of the domestic. And we carried out the basic design of train formation, the lay out of propulsion system and brake system and studied about the performance of train traction and brake system of double deck train.

---

## 1. 서론

우리나라의 간선철도 경부선, 호남선, 전라선, 중앙선, 춘천선 등은 일부구간에서 열차 운행용량이 한계에 도달한 상태이며, 무궁화 열차 등은 입석열차로 운영하고 있는 실정이다. 따라서 승객이 장시간 서서 여행해야 하는 불편함이 있어 고객에 대한 서비스가 떨어져 있는 상태이다.

이러한 문제들을 개선하기 위하여 철도 수송수요가 많은 간선 노선중에 천안-서울, 춘천-서울, 원주-서울 구간 등과 일부 혼잡노선에 2층 열차를 운행해 서비스를 향상시키는 것이 요구되고 있다.

본 연구는 2층 열차의 운행에 대비하여 열차 편성과 기기배치 기본설계에 대한 연구를 수행 것으로서, 열차의 편성 구성, 추진 및 제동 시스템의 구성과 배치, 추진 및 제동 시스템의 성능에 대하여 수행된 연구내용을 소개하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 열차의 편성

2층 열차가 광역철도에서 효율적으로 운행하기 위하여 편성구성에 대하여 다음과 같이 2개 편성안에 대하여 검토하였다.

표1에서 5M5T 편성안은 제어구동차를 전후부에 배치하여 각종 기기를 상하와 1층 상상에 설치하였고, 열차중간에 있는 구동차 및 부수차에는 승객이 1, 2층에 자유롭게 탑승하게 하고, 열차

---

\* (주)동립컨설팅트 진무, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

내의 이동편의성을 좋게 한 안이다. 또한 2층 열차는 교통수요가 많은 광역철도에서 운행할 계획이므로 도시철도의 가속도 기준(3.0 Km/h/s)을 맞출 수 있는 추진력이 확보된 편성안이다.

4M6T 편성안은 5M5T 편성안에서 중앙의 M' 구동차를 없애고, T 부수차를 연결하였다. 이 열차의 가속도는 2.3 Km/h/s로서 광역철도로서 도심을 운행하기에는 충분하지 못한 상태이다.

구분	5M5T 편성안	4M6T 편성안
편성구성	10량 : Mc1+M1+T1+T2+M'+T3+T4+T5+M2+Mc2	10량 : Mc1+M1+T1+T2+T3+T4+T5+T6+M2+Mc2
시스템 특징	전후부에 구동차를 배치하고, 중앙에 구동차를 배치하여 도시철도에 요구하는 가속도 기준이상 만족한다.	전후부에 구동차를 배치하고 중간에는 모두 6량의 부수차를 편성하여 편성당 승객정원을 늘렸다.
전원공급장치	주전원장치인 판토품그래프, 변압기, 주전력변환장치와 보조전원장치인 SIV와 축전장치는 Mc1, Mc2, M' 차량에 설치하였고, M1, M2 차량에는 견인전동기만 설치하였다.	주전원장치인 판토품그래프, 변압기 및 주전력변환장치 보조전원장치인 SIV 및 축전장치는 Mc1, Mc2 차량에 설치하였으며, M1, M2 차량에는 견인전동기만 설치하였다.
제어신호구성	운전실 및 승무원실에서 각각 제어 및 조작이 가능하도록 하였고, M'차에서 전후부의 제어통신 네트워크가 교차되도록 한다.	운전실 및 승무원실에서 각각 제어 및 조작 가능하도록 하였고, T3차에서 전후부의 제어통신 네트워크가 교차되도록 한다.

표 1 열차 편성 구성 비교

### 2.1.1 편성의 구성

2층 열차의 편성은 그림 1과 같이 10량으로 구성하였으며, 2량의 제어구동차(Mc), 3량의 구동차(M), 5량의 부수차(T)로 구성하였다.

선두부의 제어구동차에는 추진시스템 집전시스템, 변압기, 주전력변환장치를 설비하여 2개 대차에 각각 2개의 견인전동기로 열차 주행을 위한 추진력 및 제동력을 제어한다. 대차에 설비된 견인전동기는 구동축으로서 차축에 연결하여 차축기어장치를 구동하여 차륜을 회전시켜 차량을 주행시킨다. 한편 구동차(M')중에 1량은 집전 시스템과 주변압기를 설비하여 추진 시스템에 전원을 공급한다.

○ 편성구성(10량): Mc1+M1+T1+T2+M'+T3+T4+T5+M2+Mc2



그림 1 편성 구성도

2층 열차의 편성의 유연성은 여객수송수요에 따라서 편성당 량수를 8량 또는 6량으로 축소운영이 가능하도록 하였다.

○ 축소편성(8량): Mc1+M1+T1+T2+T3+T4+M2+Mc2

○ 축소편성(6량): Mc1+M1+T1+T2+T3+Mc2

### 2.1.2 편성의 특징

2층 열차의 편성은 기존의 도시철도보다 좌석수를 늘려 장거리 여객에게 편의성을 향상시켰으며, 각종 추진제어장치, 전력공급장치, 제어 시스템 등을 전후부와 중간에 집중배치 함으로서 열차의 승객정원을 크게 향상시켜 운영을 개선하였다. 2층 열차의 장단점은 다음과 같다.

#### ○ 장점

- 모든 차량을 2층 구조로 하여 승객 수를 정원은 19%, 좌석은 53% 정도 향상되었다.

- 장거리 승객을 위하여 2층에 객차 수준의 의자 및 설비를 하여 안락한 여행을 할 수 있다.
- 전 후부에 구동차를 집중배치 함으로서 유지보수성이 개선되었다.
- 부수차에 소음/진동 원인인 보조전원장치, 충전장치, 공압장치 등의 설비를 Mc 제어구동차 및 M' 구동차에 설비하여, 승차감과 소음수준을 개선하였다.
- 제어구동차 1층에는 기기실이 있어, 2층으로 승객 이동함으로 인해 전후부에 배치하였다.
- 중앙에 M' 차량에는 독립적인 전원공급 및 추진제어 시스템을 설비하여 신뢰성이 향상되었다.
- 2층은 실내에서는 여행 조망이 좋다.

### ○ 단점

- 2층 급행열차는 1, 2층 구조로 되어 있어 승객이 객실을 통과해 다른 차량으로 이동시 계단을 이용 이동해야 함으로 불편하다.
- 각 층의 천장 높이가 낮아 승객이 승하차시 답답한 느낌을 준다.
- 2층의 양 측벽 쪽으로는 높이가 낮아 불편하다
- 승객의 승하차시간이 도시철도보다 다소 길다.
- 1층은 플랫폼과 높이가 같아 조망이 나쁘다.

## 2.2 추진 시스템의 구성 및 성능

### 2.2.1 추진 시스템 구성

2층 열차의 전력공급시스템은 광역철도 운영을 고려하여 AC 25,000V, 60 Hz와 DC 1,500V 겸용에 싱글암 형식의 판토틀라프 설치하였다.

#### 1) 추진 시스템 제어방식

2층 급행열차의 기존의 도시철도와 다르게 차량의 객실이 2층으로 구성되어 있어, 각종 시스템에 대한 기기배치 설치 공간 제약을 받고 있다. 특히 추진제어시스템은 공간을 많이 차지 하므로 제어방식은 차량기기배치에 아주 중요하다. 현재 전동차에서 사용 중인 견인전동기의 제어방식은 1모터 제어방식, 2모터 제어방식, 4모터 제어방식이 사용되고 있다.

- 1모터 제어방식 : 1대의 인버터가 1대의 견인전동기를 개별적으로 제어하는 방식으로 정밀제어가 가능하며, 한 전동기 축에서 공전이 일어나면 즉시 재점착 제어가 가능하다. 인버터나 견인전동기가 고장 나면 즉시 차단 할 수 있어 신뢰성이 높다.
- 2모터 제어방식 : 1대의 인버터가 2대의 견인전동기를 병렬 제어하는 방식이며, 한 전동기 축에서 공전이 일어나면 2 구동축에 재점착제어가 되어 공전축의 토크제어가 어렵다. 인버터나 1대의 견인전동기가 고장 나면 2대의 견인전동기가 차단되므로 신뢰성이 1모터 제어보다는 떨어진다.
- 4모터 제어방식 : 1대의 인버터가 4대의 견인전동기를 병렬 제어하는 방식이며, 한 전동기 축에서 공전이 일어나면 4 구동축에 재점착제어가 되어 공전축의 토크제어가 불가능하게 된다. 인버터나 1대의 견인전동기가 고장이 나면 4대의 견인전동기가 차단되어 신뢰성이 2모터 제어보다 낮다.

2층 급행열차의 추진 시스템 제어방식은 차체가 2층으로 구성되어 기기설치 공간부족하고, 시스템 신뢰성 등을 고려하여 그림 2와 같이 1C4M의 2모터 제어방식으로 하였고, 주전력변환장치와 보조전원장치(SIV)를 강제냉각방식으로 개선하여 장비의 크기와 중량을 감소시켰다.

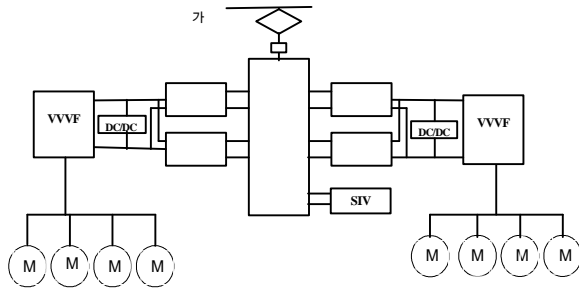


그림 2 주회로 블록 다이어그램(1C4M 제어방식)

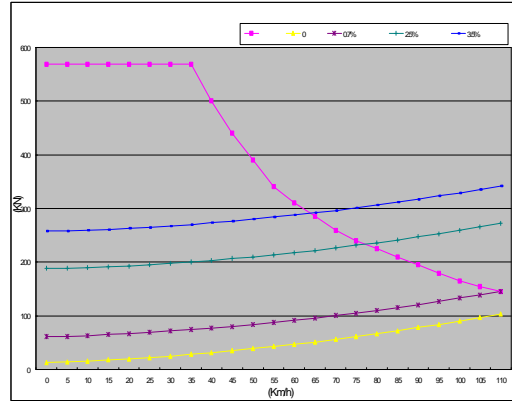


그림 3 2층 급행열차 견인력 선도

### 2.2.2 추진 성능

2층 열차의 추진 성능은 광역철도에서 원활하게 운행될 수 있도록 하여야 하고, 10량 편성의 열차는 개방운전(Unit Cut Operation) 및 구원운전(Rescue Operation)을 고려하여 차량성능이 확보되어야 한다. 열차의 최고운행속도는 110 km/h의 주행이 가능하여야 하고, 승객은 정원에 200% 인원을 만차중량으로 차량 성능을 계산하였다. 이와 같은 요구조건을 만족할 수 있는 충분한 열차 추진력을 확보할 수 있는 견인전동기 성능을 갖출 수 있도록 추진 시스템을 설계하였다.

#### 1) 차량 운행조건

- 차량편성(10량) :  $Mc1 + M1 + T1 + T2 + M' + T3 + T4 + T5 + M2 + Mc2$
- 열차속도 : 최고운행속도 : 110 km/h
- 차륜직경 : - 신차륜 : 860 mm, 성능계산 : 820 mm(반마모)
- 주행저항 : - 지하구간 :  $Ru = 1.867 + 0.0359V + 0.000745V^2$  (Kg/ton)  
 - 지상구간 :  $Rl = (1.65 + 0.024V)Wm + (0.78 + 0.0028V)Wt + (0.028 + 0.0078(n-1))V^2$  (Kg)
- 가속도 :  $a = 3.0$  Km/h/s (0.833 ㎥/s)이상
- 감속도 :  $rs$ (상용) = 3.5 Km/h/s (0.97 ㎥/s)이상,  $re$ (비상) = 4.5 Km/h/s (1.25 ㎥/s)이상
- 관성질량 보상계수 :  $p = 1.10$

#### 2) 열차 추진성능 검토 결과

광역철도 선로에서 운용될 열차의 견인력은 그림 3에 나타나 있는 바와 같이 기동시 만차상태에서 최대견인력은 58,000 kg(568,400 N)이상, 공차상태에서의 견인력은 49,000 kg(490,200 N) 이상, 최고속도 만차 상태에서 견인력은 14,948 kg(146,000N) 이상 필요하다. 이 견인성능은 차량의 추진장치 고장의 경우 선로조건에서 개방운전(Unit Cut Operation)이나 구원운전(Rescue Operation) 등 제반 운전조건을 만족하고 있으며, 특히 공차 상태의 정상열차가 만차 상태의 고장열차 구원의 경우 최급구배에서의 열차 기동도 정상적으로 가능한 것으로 검토되었다.

2층 열차의 견인전동기 정격출력은 230 KW로 선정되었고, 열차의 총 출력은 4,600 KW가 소요된다. 추진성능은 검토결과 최대가속도가 3.3 Km/h/s(0.91 ㎥/s)로서 도시철도 시스템 요구사항인 3 Km/h/s(0.833 ㎥/s)를 만족하고 있고, 평탄선로에서 최고운행속도 110Km/h의 도달거리가 2,400m 이고, 도달시간은 107초 이다. 따라서 2층 열차의 추진성능은 충분한 것으로 검토 되었다.

## 2.3 제동 시스템 구성 및 성능

### 2.3.1 제동 시스템 구성

2층 열차는 광역철도에 운영될 차량으로서 선로조건에 맞는 제동시스템을 구성하여야 한다. 또한 도심운행을 대비한 시스템으로 고려하여 ATS, ATC 및 ATP 운전에 적합한 고응답성 및 고성능의 전기지령식 제동장치로 구성하여 안전성과 신뢰성이 확보 되어야 한다.

현재 기존 노선에서 운영중인 철도차량의 제동시스템은 동력차 또는 기관차에 제동시스템을 설치하여 편성단위 제동력을 블랜딩하여 열차제동을 실행하고 있다. 그러나 최근 차량의 속도가 증가하면서 종래의 편성단위의 제동제어시스템 방식으로는 고속화에 신속한 응답과 제어의 일관성, 활주방지 측면에서 효율적인 대응이 어려운 문제가 있다.

따라서 2층 열차에서는 제반 문제를 개선하기 위하여 제동시스템을 대차단위로 독립적인 제어가 가능하게 하고 활주방지 기능을 갖추도록 한다. 아울러서 차륜디스크 제동장치를 채택하여 사용하는 방안으로 추진되어야 한다. 또한 2층 열차가 운행 중에 제동시스템의 상태를 항상 감시하여, 그 결과를 차상종합제어장치에 전송하는 제동감시기능 및 자기진단기능을 갖도록 한다.

제동시스템은 효율성과 신뢰성을 향상시키기 위하여 전기제동과 기계제동을 혼합하여 설치하고, 전기제동이 우선으로 작동토록 한다. 전기제동은 회생제동으로 하고, 기계제동은 부수대차의 디스크 제동과 구동대차의 차륜디스크 제동을 설치한다.

#### 가) 제동방식

전기/기계 병용제동은 전기지령식, 전기회생제동 연산식, 응하중제어 공기제동방식으로 한다. 제동장치는 신호장치 ATS, ATC, ATP, 추진제어장치 및 종합진단장치(TCMS)와 상호연동으로 제어되어야 한다.

#### 나) 제동의 종류

##### ● 상용제동

상용제동장치는 열차가 정상 주행시 사용하는 제동기능으로서 주간제어기 및 ATS, ATO, ATP에 의한 제동시스템 전공블랜딩(Electric Pneumatic Blending)에 의하여 혼합제동이 작용하고, 차량별의 하중상태에 따라 대차별로 독자적으로 응하중제어가 가능하도록 한다. 또한 차량속도에 의한 응속도제어를 통해 고속에서 마찰계수 저하로 인한 활주현상 발생을 최소화 하고, 제동력의 급격한 상승을 방지하는 저크제한기능이 있어야 한다.

##### ● 비상제동

열차의 비상제동은 열차운전 중에 비상상황이 발생시 작동되는 기능으로서 주간제어기 비상제동, 비상제동스위치 및 ATS, ATO, ATP 비상제동지령에 의하여 작동되도록 구성한다. 비상제동은 운전사에 의한 비상제동 작동, ATS, ATO, ATP에 의한 비상제동제어, 주공기통 압력부족, 열차분리 및 비상제동회로 이상시 비상제동이 작동된다.

##### ● 보안제동

보안제동시스템은 상용제동시스템 및 비상제동시스템과 다른 별도 계통의 제동시스템으로 상용제동시스템 및 비상제동시스템이 모두 고장시 사용하는 시스템이다.

##### ● 정차제동

정차제동은 열차가 역에 진입하여 정차하면 자동으로 체결되는 시스템으로 선로에서 전후 이동현상 방지하는 장치이다. 열차가 정차후 주행시는 자동으로 완해토록 한다.

#### 다) 제동 시스템의 구성

2층 열차의 제동 시스템 구성은 그림 4와 같이 나타나 있다.

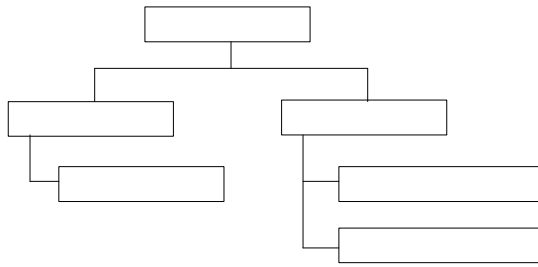


그림 4 제동 시스템 구성도

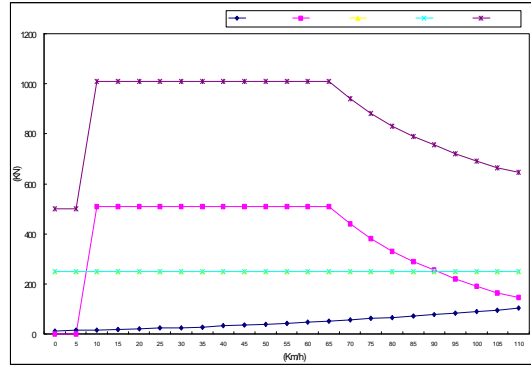


그림 5 2층 열차 제동력 선도

### 2.3.2 제동성능

#### 1) 제동 조건

2층 열차의 제동장치는 시스템 조건을 만족하고, 운행중 발생 가능한 최악조건에서도 전후 차량과의 충돌 없이 정지할 수 있는 제동거리를 확보하여야 한다. 이 제동거리를 확보하기 위한 차량의 속도에 따른 제동력 선도를 구하고, 이를 구현하기 위한 각 제동 기구를 적절하게 조합함으로써 승차감을 유지하면서 안전한 제동거리를 확보토록 한다.

- 차량편성 :  $M_c + M + T + T + M' + T + T + T + M + M_c$  (10량)
- 운행조건 : 최급구배 : 본선 35 %, 최소곡선반경 : 본선 150 M, 비상제동거리 : 600 m 이하
- 최고운행속도 : 110 km/h
- 회전관성보상계수 : 구동차 : 1.14, 부수차 : 1.06
- 감속도 : . 상용제동 : 3.5 Km/h/s 이상, 비상제동 : 4.5 Km/h/s 이상
- 견인전동기 : 대수 : 20 모터/편성. 출력 : 230 Kw/모터
- 디스크 제동 수 : 차축 : 20 개/편성, 차륜 : 40 개/편성

#### 2) 제동성능 계산 결과

2층 열차의 운행 및 제동조건으로 제동성능 계산결과는 표 2와 같으며, 그림 5는 제동력 선도이다.

표 2 제동성능 계산 결과

구분	량수	회생	차축 디스크	차륜 디스크	주행저항	제동거리	제동시간	평균감속도
상용시	10량	사용	사용	사용	미사용	521 m	33초	3.74 Km/h/s
비상시	10량	사용	사용	사용	미사용	359 m	22초	5.26 Km/h/s

제동성능 계산결과에 의하면 상용제동시 회생제동력과 차축/차륜 디스크 제동력을 사용하여 최고운행속도에서 제동을 작용하면 제동거리는 521m, 제동시간은 33초, 평균감속도는 3.74Km/h/s로 나타나 있어, 제동 시스템 요구사항인 제동 감속도 3.5Km/h/s 이상을 만족하고 있다. 비상제동시는 최고운행속도에서 제동을 작용하면 제동거리는 359m, 제동시간은 22초, 평균감속도는 5.26Km/h/s로 나타나 있어, 제동 시스템 요구사항인 제동 감속도 4.5Km/h/s 이상을 만족하고 있다.

## 2.4 차량의 기기배치

### 2.4.1 기기배치 구성

#### 1) 일반

2층 급행열차는 기존의 객차나 지하철의 구조와 다르게 상면이 2층 구조로 되어 있어, 차량 중앙부분의 객실바닥이 선로에 가깝게 내려가야 한다. 즉 기존의 차량은 상하에 기기배치를 자유롭게 할 수 있으나, 2층 급행열차는 1, 2층 상면구조로 되어 있어, 기기를 설비할 수 있는 공간이 거의 없는 상태로 되는 것이다. 따라서 구동차인 Mc, M' 차량에 추진제어시스템, 주전원공급장치, 보조전원장치, 제동장치, 공압장치 등의 기기설비를 집중배치 하여야 한다. 부수차에는 냉방장치, 제동장치, 일반배전반 등을 설비하여야 한다.

#### 2) 주요 기기배치 구성

광역철도에서 운행될 2층 급행열차는 EMU 동력분산방식으로 편성당 10량으로 구성되며, 차량의 배열은 그림 1과 같이 Mc1-M1-T1-T2-M'-T3-T4-T5-M2-Mc2로 되어있다. 차량의 실내는 2층으로 구성되며, 1층은 도시철도와 같이 양측벽으로 긴의자를 배치하여 입석승객이 많이 탑승할 수 있게 하고, 2층은 객차와 같이 2x2 의자를 배치하여 장거리 승객의 편의성을 도모하였다.

차량의 기기배치는 각 차종에 공통으로 취부되는 설비는 가급적 같은 위치에 동일한 방법으로 설치하도록 집중화시켜 차량의 정비시 보수 및 취급이 용이하도록 하였다.

Mc 제어구동차와 M' 구동차는 상하와 상상 기기실을 설비하여 열차의 추진제어시스템, 주전원/보조전원공급시스템, 제동시스템 및 공압시스템을 집중으로 배치하였다. 한편 객실내 계단 옆에 기기실을 설치하여 냉난방제어반, 일반제어반, 보조공기통, 전장품 등을 설비하였다.

M 차량과 T 부수차에는 객실에 계단 옆에 기기실을 설치하여 냉난방제어반, 일반제어반, 보조공기통, 전장품 등을 설비하였다. 한편 차량의 냉방기는 지붕 양단부에 설비하고, 판토틀라프는 Mc 와 M' 차량에 지붕에 각각 설비하였다. 특히 주전력변환장치와 SIV의 크기를 축소시키기 위하여 냉각방식을 환에 의한 강제냉각방식으로 채택하여 기기를 배치하였다.



그림 6 제어구동차(Mc) 기기배치

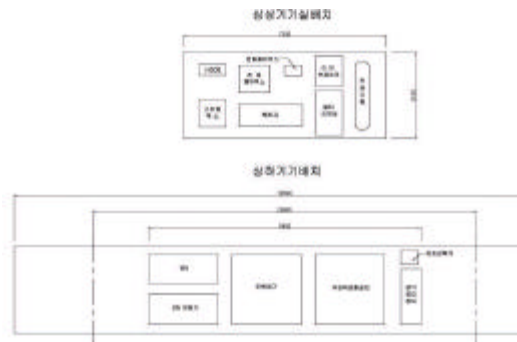


그림 7 M' 구동차 기기배치

## 3. 결론

본 연구에서는 우리나라의 주간선철도중에 승객 수송수요가 많아 입석으로 운행하는 선로에 2층 열차 운영을 위하여 편성구성, 주요시스템 구성 및 성능, 그리고 주요설비 기기배치에 대한 기본설계를 수행하여 다음과 같이 제시한다.

- 열차편성은 5M5T EMU(Electric Multiple Unit) 동력분산방식으로 하여 추진력 확보
- 추진제어시스템은 1C4M의 제어방식으로 설계
- 추진제어시스템 및 보조전원시스템의 인버터는 웬 강제냉각방식 설비
- 차체는 알루미늄 합금 또는 복합소재를 사용하여 경량화 및 저소음 설계
- 제동장치는 전기지령식의 전기회생제동과 디스크 제동을 최적 블렌딩 제어로 효율화
- 제동장치는 활주방지, 안티스키드 장치 및 차륜디스크 제동장치를 설비
- 열차제어진단장치를 설비하여 제어시스템 및 기능장치 감시
- 판토품그래프는 싱글암 방식 설비로 경량화

이상 같은 기본설계 내용을 토대로 하여, 2층 열차의 기술연구개발을 수행하여야 한다. 또한 각 분야별 상세 기술은 연구개발시 구체적으로 검토되어, 최적의 2층 열차가 기술개발 되어 혼잡한 대도시권 노선에 운영되어야 한다.

#### 참고자료

1. 2층 급행열차 운영을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구, 2002, 8 건설교통부/한국건설기술연구원
2. 2층 급행열차 운영을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구, 2008, 8 건설교통부/한국건설교통기술평가원