

## 2층 급행열차 추진시스템 및 전기장치 기기배치에 관한 연구

백광선\*, 김명룡, 김진환, 창상훈

한국철도기술연구원

### A Study on arrangement of the traction system and electric devices of double deck (express trains)

BAIK KWANGSUN, KIM MYONGYONG, KIM MINWHAN, CHANG SANGHYUN

Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - In this paper, equipments arrangements of traction system and electric devices of a double deck train were studied to examine technical reasonableness for driving on the ground and underground. Double deck trains operated in other countries were also considered. For designing the electric devices, two types of accelerations and electric devices arrangements which are based on the current subway system were considered.

### 1. 서 론

일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 폐적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층 열차의 활용을 증가시키고 있는 추세이다. 이는 2층 열차를 투입하는 것이 선로용량 증대 등 시설물에 투자하여 수송량을 증강시키는 것보다 훨씬 저렴한 투자방법임이 입증되었기 때문이다. 국내에서도 차량이 계속 증가하여 도심에서 교통체증이 증가하고 있으므로 도시 외곽에서 도심으로 출퇴근하는 사람들이 도심으로 들어가는데 어려움을 느끼고 있어 기존 전동차와 차별화된 급행열차의 요구가 증대되고 있다. 본 연구는 수도권 광역 철도(또는 중거리 inter-city)에 운용되는 급행 2층 열차 차량 도입의 타당성을 검토하기 위해 수행하는 과제의 일환으로, 필요한 차량성능을 만족하기 위한 추진시스템의 필요 용량을 설계하는데 있어 중요한기기배치의 적정성을 검토했다. 2층 열차는 기존 전동차와 크기는 동일하지만 차량에 더 많은 좌석이 설치되는 관계로 차량 하부에 전장품을 매달고 있는 기존 전동차에 비하여 전장품의 배치에 어려움이 있다. 2층 열차에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나인 공간배치가 효율적으로 배치되도록 구성하는 것이 중요하며 외국에서도 이 부분에 가장 많이 고심을 하고 있다. 따라서 이를 고려한 배치 및 냉각시스템을 구성할 필요가 있다. 여기에 더하여 2층 열차의 운행 구간이 결정된 것이 아니기 때문에 운행될 수 있는 지상 및 지하 그리고 AC/DC 겸용 또는 AC 전용 구간운행을 예상하여 관련된 Factor를 고려한 기기 배치에 대하여 설계에 대하여 검토하도록 하였다. 현재 프랑스 등 철도선진국들은 2층 열차가 보편화되어 있으므로 시스템의 패키지화를 통한 전장품 용량과 기기배치 설계 및 제작시간의 단축을 이룩하고 있는 실정이다. 본 연구의 결과는 향후 2층 열차와 관련된 국내의 철도수준을 선진철도수준으로 향상시키기 위한 기초가 될 수 있을 것이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 외국 사례

일본의 2층 열차는 Central, West, East Japan Railway 및 Odakyu Railway에서 운행되고 있으며 운행되고 있는 차종도 다양하고 동력분산식의 전동차 형식을택하

고 있다. 쇼난신주쿠 라인(신주쿠와 오다와라 구간 87.7km 운행)에서 운행되는 215계의 경우 Mc 차량에는 전장품이 집중적으로 배치되며 차량하부(상하)에는 Compressor 및 저항기, 전기부품이 탑재하였으며, 가속도를 2.3km/h/s이며 DC 전원을 사용함으로 변압기와 컨버터가 없고 차량의 크기가 커서 전장품을 설치하는데 여유가 있다.

프랑스의 알스톰사 사례를 보면 기존열차와의 상이한 설계로 인하여 가장 고심한 부분은 주요장치들의 재배치에 있었다. 최대한 공간을 활용하면서 차량하부에 위치하였던 장치들이 소형화되어 다른 공간으로 재배치되고 인버터의 경우 지붕에 설치할 수 있도록 재설계하여 강제 냉각방식을 취하기도 한다. 특히 계단 밑의 공간과 차량의 앞뒤 끝단 벽에도 차량사이 공간을 이용하고 있다. 투입노선의 성격에 따라 4가지 성격의 2층열차를 제작하는데 Urban, Suburban, Regional, Intercity급 등 4등급으로 나누어 차량편성 및 운행속도 대역을 맞추어 설계하고 있다.

#### 2.2 2층 열차 구조

##### 2.2.1 차량 구성

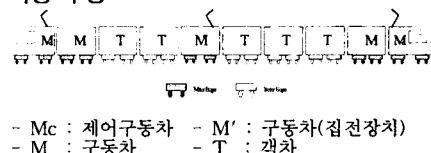


그림 1. 2층 열차의 기본 편성

그림 1의 차량을 추진하기 위한 시스템이 구성은 그림2와 같다. 이 그림에는 AC25000V를 전원으로 하는 시스템을 구성으로 하고 있으며 DC의 경우에는 컨버터와 인버터 사이에 연결단자를 내주면 된다. SIV는 DC단의 직류전원을 사용하여 CVCF 인버터를 구동하는 방법도 있으나 컨버터가 고장나는 경우, SIV까지 동작을 못하는 현상을 제거하는 목적으로 주변압기에서 3차권선을 사용하여 별도의 전압을 이용하는 것으로 한다. DC를 사용하는 경우, 추진용 인버터와 마찬가지로 인버터와 컨버터 사이에 연결단자를 내서 급전할 수 있다.

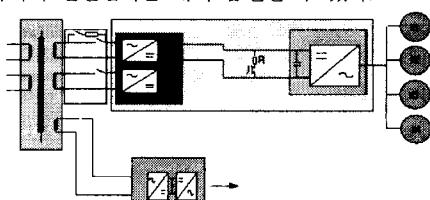


그림 2. 추진시스템 구성도

## 2.2.2 차량설계 사양

기본 과제에서 제안한 결과를 이용하여 2층 열차의 전장품의 용량을 계산하기 위한 승객과 차량의 중량 그리고 편성 구성을 정리하면 표1와 표2와 같다. 차량이 운행되는 구간에 따라 사용 장치에 영향을 받으나 검토되는 경우는 변압기 등 중량이 큰 전장품을 동일하게 사용하므로 차량의 중량을 일정하게 계산한다.

표 2 2층열차 차량 사양

구분	내용
편성구성	5M5T
가선전압	25,000Vac 또는 1,500Vdc
신호장치	ATC/ATO
전동기 구성	1C4M, 4 motors/Mcar
가속도	3.0 $\text{m/s}^2$ or 2.5km/h/s
목표 최고속도	110 km/h
전체중량	595.36ton(총히중 민차시 200 %고려)
차륜경	820 mm(최대 860mm)
열차 주행 저항	(1) 지상구간 $R = (1.65+0.024V)W_m + (0.078+0.0028V)W_t + (0.028+0.0078(n-1))V^2 \text{ kg}$ (2) 지하구간 $R = 0.000745V^2 + 0.0359V + 1.867(\text{kg/ton})$ $V: \text{km/h}, W_m: \text{편성당 동력차 총 중량}, W_t: \text{편성중부수차 총중량}, n: \text{편성차량수}$ $(\text{평지 및 직선주로에서 } V = \text{열차속도}(\text{km/h}))$

표 2. 2층 열차 편성 모델 중량

항목	Mc	M	T	M'
차체	9,800	9,200	9,000	9,800
운전실설비	1,500			
실내설비	4,510	5,250	5,970	4,780
기계설비	4,100	5,100	4,100	4,100
전장품 설비	16,200	5,200	2,200	9,650
차외설비	2,700	2,100	2,100	3,700
대차	15,400	15,400	11,000	15,400
공차중량	54,210	42,250	34,370	47,430
정비하중	150	150	150	150
정비중량	54,360	42,400	34,520	47,580
승객하중(정원시)	3,224	5,208	5,952	3,348
승객하중(민차시, 200%)	8,680	20,336	22,196	12,648
총히중(민차시, 200%)	63,040	62,736	56,716	60,228

## 2.2.3 추진시스템 및 전기장치 설계

### 2.2.3.1 일반

현재 운용되는 전동차의 사용 전원은 각 운용처의 관리 구간마다 다르다. 서울 및 경인지방에서 철도청이 관리하는 구간은 AC를 사용하고 서울시지하철 공사 등에서는 DC 구간이다. 따라서 1호선 및 4호선의 경우 철도청과 지하철 공사에서 운영하는 전원이 혼재되어 이 구간에는 AC/DC 겸용전동차가 사용되며 철도청이 운영하는 분당 선의 경우 AC 전용 전동차를 그리고 서울지하철공사에서 운영하는 2호선 등은 DC 전용 전동차를 사용한다. 차량이 사용하는 전원은 전장품의 종류와 차량의 중량에 영향을 미친다. 본 논문은 타당성을 확인하는 것이므로 차량 중량의 변화까지는 고려하지 않으나 주행 구간에 따른 각각의 경우에 대하여 검토를 하면 다음과 같다.

### 2.2.3.2 추진시스템 용량 선정

#### - 지상구간만 통과하는 경우

차량이 지상구간만을 통과하는 경우에는 지하구간을 통과하는 경우보다 주행 저항이 작고 AC전용 또는 DC

전용 전동차를 운용하므로 겸용에 비하여 차량의 구조가 간단해지고 가벼워짐으로 전장품의 용량이 감소되는 장점이 있다. 현재 국내에는 지상 구간은 AC전원을 사용하고 있다. 따라서 Line Filter 등이 없으므로 중량이 지상과 지하를 모두 운행하는 차량보다 가볍다. 이 경우, 각 역마다 정차하는 운전체계를 적용하여 도시철도법에 있는 가속도 3.0km/h/s의 설계 기준을 적용할 수도 있고 몇 개의 역을 통과한 후 정차하는 운행 패턴에 따라 무궁화호처럼 2.5km/h/s의 작은 가속도를 설계 기준으로 사용할 수 있다. 이때 필요한 추진시스템의 용량을 계산한 값은 표3와 같다.

#### - 지상 및 지하구간을 통과하는 경우

지하구간을 주행시에 전동차에 의한 바람이 외부로 흘어지지 못하므로 지상구간에 비하여 주행 저항이 많이 증가하게 되어 전동기의 용량 및 관련 추진시스템의 용량이 증가한다. 현재의 지하구간은 주행하는 선로와 정차하는 선로가 동일한 역 때문에 급행열차의 장점을 사용할 수 없고 매 역마다 정차를 해야 한다. 이 경우 가속도는 3.0 km/h/s를 적용해야 한다. AC 구간에서 사용하도록 변압기를 설치해야 하고 DC 구간에서는 HB 등이 필요하므로 겸토되는 구간 중 차량의 중량이 가장 크고 견인력이 가장 많이 필요한 조건이 된다.

표 3 구간별 추진시스템 용량 계산 결과

	1안	2안	3안
정토크영역(Km/h)	35	25	35
정출력영역(Km/h)	55	40	60
주행저항(KN, 정토크영역)	23.596	9.807	23.596
필요견인력(KN, 정토크영역)	569.35	464.60	478.39
견인전동기출력(KW)	230	185	191
축동력(KW, 1동력차)	1107	645	930
인버터출력(KW)	1234	719	1037
컨버터출력(KW)	1272	741	1069
변압기입력(KVA)	1655	1073	1432
변압기 출력(KW)	1589	1031	1375

#### 주1) 구분

- 1안 : 가속도 3적용, 지하구간 통과
- 2안 : 가속도 2.5적용, 지상구간 통과
- 3안 : 가속도 2.5적용, 지하구간 통과

위의 시뮬레이션 결과는 가능한 현재 전동차에서 적용하는 설계 기준을 적용하였으나 본 연구의 목적상 약조건으로 설계하였다.

### 2.2.3.3 기기 배치

신호장치나 종합제어장치는 차량 운전실부분에 설치하거나 차량의 빈 공간에 설치하도록 하므로 이 논문에서는 별도로 언급하지는 않도록 하다. 또한 현재의 기기 배치 기본은 승객의 텁승에 영향을 미치는 부분에 중점을 둔다. 따라서 집전장치는 차량의 지붕에 배치되므로 별도 기술하지 않는다. 그리고 부피가 작은 기기들은 차량의 공간을 활용하는 것으로 하고 주요 장치 위주로 배치한다. 전장품의 배치를 위한 차량의 형상은 다음과 같다. 2층 열차인 관계로 객실과 전장품 설치장소의 기본 구성은 동일하다.

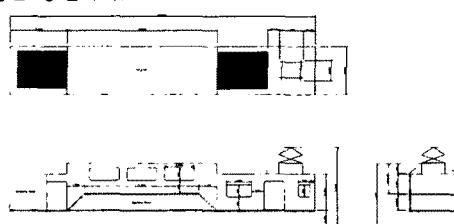
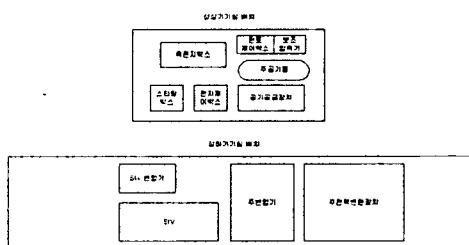


그림3 Mc 차 기본 개념도

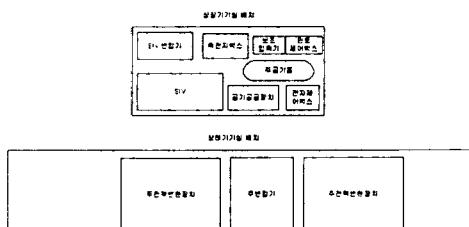
현재의 전동차의 운행과 동일한 구간(AC/DC 겸용)을 운행하는 경우와 AC 전용 구간을 운행하는 경우로 구분하여 전장품을 배치하였다. 현재 전동차에는 외국의 경우에 비하여 용량이 큰 장치들이 있다. 또한 2층 열차는 발열장치가 강제 냉각되는 구조를 갖게 되므로 부피가 줄어들 수 있다. 이런 점들을 반영하여 전장품의 공간배치를 하였으며 현재 차량에 탑재되는 전장품의 크기를 적용하였다. AC전용의 경우와 AC/DC 겸용의 경우를 구분하여 차량 하부에 배치되는 장치의 구성을 보면 다음과 같다.

#### - AC전용

AC 전용차의 경우 DC를 사용하지 않음에 따라 Filter Reactor를 비롯한 몇 가지 장치가 빠진다. 상상기기실은 밀폐되는 공간에 있으므로 강제냉각방식을 사용하며 하부는 현재의 전동차처럼 외부에 기기가 노출되는 자연냉각방식을 취한다. 이를 고려하여 기기를 배치한 결과는 다음과 같다. Mc차와 M'차에 기기를 배치가능성을 확인하기 위하여 각 장치를 배치한 결과는 다음과 같다. Mc차의 경우 상상 부위는 강제 냉각방식을 채용하므로 설치되는 기기의 전체 치수는 7200mm x 2000mm이 되고 길이방향으로 100mm와 측방향으로 1120mm의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우 기기의 크기는 8900mm x 2500mm 이므로 경우 길이방향으로 900mm와 측방향으로 620mm의 공간적인 여유가 있었다. M'차의 경우 기기가 취부되는 조건은 Mc와 동일하며 이것을 고려하여 배치한 결과, 상상부위 기기의 전체 치수는 3300mm x 820mm가 되고 길이방향으로 4000mm와 측방향으로 2300mm의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우는 기기의 크기가 8900 x 2500이므로 길이방향으로 900mm와 측방향으로 620mm의 공간적인 여유가 있었다.



(가) M' 차량



(나) MC 차량



(다) M 차량(공통)

그림 4 AC 전용 전동차의 전장품 배치도

#### - AC/DC 겸용

AC 전용에 비하여 사용되는 전장품의 수량이 많다. 따라서 현재 전동차에서 사용하는 전장품의 크기를 그대

로 적용하는 경우, 좌석이 수를 줄여야하는 문제가 발생하게 된다. 이 경우도 AC 전용의 경우와 동일한 승객 수를 유지하기 위해서 전장품을 강제냉각시키는 방법을 취한다. 이에 따라 장치 중에서 컨버터/인버터 및 SIV에 강제냉각방식을 사용하면 부피를 70~80% 수준으로 감소시킬 수 있게 되고 기기 배치상의 문제를 극복할 수 있다. 이를 고려하여 기기의 치수를 검토한 결과는 다음과 같다. AC 전용의 경우에 비하여 전장품의 수가 증가하므로 Mc차와 M'차에 대하여 강제냉각방식을 채용하는 경우를 고려하여 전장품의 치수를 약 20%정도 감소한 치수를 적용하여 기기를 배치하였다. Mc차의 경우 상상부위 기기의 전체 치수는 6100mm x 2900mm이 되고 길이방향으로 1200mm와 측방향으로 220mm의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우 기기의 크기는 7500mm x 2500mm 이므로 경우 길이방향으로 2300mm와 측방향으로 620mm의 공간적인 여유가 있었다. M'차의 경우, 상상 부위 기기의 전체 치수는 5100mm x 2700mm 가 되고 길이방향으로 2200mm와 측방향으로 420mm의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우는 기기의 크기가 8200 x 2700 이므로 길이방향으로 1600mm와 측방향으로 420mm의 공간적인 여유가 있어 설계된 2층 열차에 전장품의 배치가 가능함을 예측할 수 있었다.

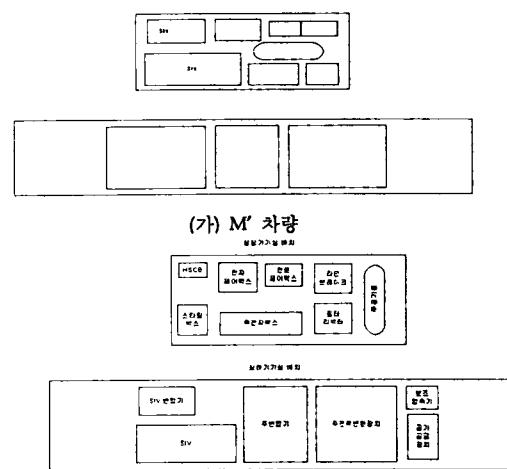


그림 5 AC/DC 겸용 전동차의 전장품 배치도

### 3. 결 론

본 논문은 2층 열차의 국내 도입, 운용의 타당성을 알아보기 위한 과제의 일환으로 설계된 승객을 운송하는데 있어 현재의 추진 성능을 만족하면서 전장품의 용량과 배치가 설계 차량의 구조에 적합한지를 검토하였으며 2층 열차가 운행되는 구간에 관계없이 차량의 추진력은 현재 도시철도 차량에서 적용하는 주행 성능과 전동차 초기 수입시 적용되었던 차량의 가속 성능을 모두 만족하는 주행에 필요한 전장품들이 주어진 공간 내에 배치될 수 있음을 보여주었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김형진 외, 건설교통부/한국철도기술연구원, 2층·급행 열차 운행을 위한 기술개발 및 설계 기준에 관한 연구, 2003
- [2] 한국철도기술연구원, 추진시스템 엔지니어링 기술개발(2차년도 연차보고서), 1998)