

2층 열차에 적합한 추진시스템 사양 연구

백광선, 김명룡, 김진환
한국철도기술연구원

A study on Specification for propulsion system design of double deck trains

Baik kwangsun*, Kim Myungyoung, Jin-whan Kim
KRII

Abstract - In this paper, Traction system and electric devices of double deck is designed to examine technical reasonableness for driving on the ground and underground. Other countries's double decks is considered. For designing the electric devices, two accelerations are considered and design criterion are given.

1. 서 론

일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층 열차의 활용을 증가시키고 있는 추세이다. 이는 2층 열차를 투입하는 것이 선로용량 증대 등 시설물에 투자하여 수송량을 증가시키는 것보다 훨씬 저렴한 투자방법임이 입증되었기 때문이다. 국내에서도 차량이 계속 증가하여 도심에서 교통체증이 증가하고 있으므로 도시 외곽에서 도심으로 출퇴근하는 사람들이 도심으로 들어가는 데 어려움을 느끼고 있어 기존 전동차와 차별화된 급행열차의 요구가 증대되고 있다. 본 연구는 수도권 광역철도(또는 중거리 inter-city)에 운용되는 급행 2층 열차 차량 도입의 타당성을 검토하기 위해 수행하는 과제 일환으로, 필요한 차량성능을 만족하기 위한 추진시스템의 필요 용량과 기기배치의 타당성 검토를 목적으로 한다. 또한 2층 열차는 기존 전동차와 길이는 동일하지만 차량에 더 많은 좌석이 설치되는 관계로 차량 하부의 공간이 축소되며 따라서 차량 하부에 전장품이 취부되는 기존 전동차에 비하여 전장품의 배치에 어려움이 있다. 2층 열차에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나인 공간배치가 효율적으로 이루어지도록 구성하는 것이 중요하며 외국에서도 이 부분에 가장 많이 고심을 하고 있다. 본 논문에서는 차량의 운용을 위한 전장품의 추진 용량 및 구성과 관련된 부분을 검토하되 기기배치 및 기기배치에 적절하도록 각 기기의 형상을 구성하는데 주안점을 둔다. 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 배치 및 용량설계를 하였다.

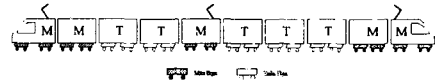
2. 외국사례

일본의 2층 열차는 Central, West, East Japan Railway 및 Odakyu Railway에서 운행되고 있으며 운행되고 있는 차종도 다양하고 동력분산식의 전동차 형식을 택하고 있다. 쇼난신주쿠 라인(신주쿠와 오다와라 구간 87.7km 운행)에서 운행되는 215계의 경우 Mc 차량에는 전장품이 집중적으로 배치되며 차량하부(상하)에는 Compressor 및 집항기, 전기부품이 탑재하였으며, 가속도를 2.3 km/h/s이며 DC 전원을 사용함으로 변압기와 컨버터가 없고 차량의 크기가 커서 전장품을 설치하는데 여유가 있다. 프랑스의 알스톰사의 경우 기존열차와의 상이한 설계로 인하여 가장 고심한 부분은 주요장치들의 재배치에 있었다. 최대한 공간을 활용하면서 차량하부에 위치하였던 장치들이 소형화

되어 다른 공간으로 재배치되고 인버터의 경우 지붕에 설치할 수 있도록 재설계하여 강제 냉각방식을 취하기도 한다. 특히 계단 밑의 공간과 차량의 앞뒤 끝단 벽과 같은 차량사이 공간을 이용하고 있다. 주요 견인방식은 EMU, DMU, DEMU, Push-Pull의 4가지이며 상업운행속도는 120~220 km/h 이다. 또한 고속전철에서도 설계 최대속도 320 km/h, 영업 최고속도 300km/h인 2층열차(TGV Duplex)를 운용하며 세계 2층열차 저장 진출을 위해 준비하고 있다. 이 열차는 지붕에 설치된 IGBT 인버터(heat pipes적용, 강제 냉각방식)와 유도전동기(375 kW ~ 450 kW)를 사용하고 있다. 이 외에도 네덜란드에서는 차량 당 1개의 견인전동기의 최대 출력 398 kW, IGBT 인버터, 상용제동 0.66 m/s², 비상제동 1.05 m/s², 최고속도 160 km/h인 EMU type의 Bombardier에서 제작된 2층 열차가 운행되고 있다. 그 외에 독일과 이스라엘 등에서 다양한 추진 성능과 시스템을 갖춘 2층 열차가 운행되고 있다.

3. 2층 열차 기본 사양

3.1 차량 구성



- Mc : 제어구동차 - M' : 구동차(집전장치)
- M : 구동차 - T : 객차

Fig 1. 2층 열차의 기본 편성

Fig 1의 차량을 추진하기 위한 시스템의 구성은 Fig2와 같다. 이 Fig에는 AC 25000 V를 전원으로 하는 시스템을 구성하고 있으며 DC의 경우에는 컨버터와 인버터 사이에 연결단자를 내주면 된다. SIV는 DC단의 직류전원을 사용하여 CVCF 인버터를 구동하는 방법도 있으나 컨버터가 고장나는 경우, SIV까지 동작을 못하는 시스템의 종속성을 배제하는 목적으로 주변압기에서 3차 권선을 사용하여 별도의 전압을 이용하는 것으로 한다.

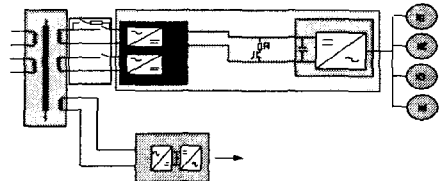


Fig 2. 추진시스템 구성도

3.2 차량설계 사양

2층 열차의 전장품의 용량을 계산하기 위한 승객과 차량의 증량 그리고 편성 구성을 정리하면 Table2와 Table3과 같다. 차량이 운행되는 구간에 따라 사용 장치의 사양 및 증량이 달라질 수는 있으나 증량이 큰 변압기 등을 공통적으로 사용하므로 전체적인 차량 증량은

동일한 것으로 가정한다.

Table 2. 2층열차 차량 사양

구분	내용
편성구성	5M5T
가선전압	25.000 Vac 또는 1.500 Vdc
신호장치	ATC/ATO
전동기 구성	1C4M, 4 motors/Mcar
가속도	3.0 km/h/sec or 2.5 km/h/s
목표 최고속도	110 km/h
전체중량	595.36 ton(만차 총하중 200 %고려)
차륜경	820 mm(최대 860 mm)
열차 주행 저항	(1) 지상구간 $R = (1.65 + 0.024V)Wm + (0.078 + 0.0028V)Wt + (0.028 + 0.0078(n-1))V^2$ kg (2) 지하구간 $R = 0.000745V^2 + 0.0359V + 1.867(kg/ton)$ V: km/h, Wm: 편성당 동력차 총 중량, Wt : 편성중 부수차 총중량, n: 편성차량수 (평지 및 직선주로에서, V는 열차속도(km/h))

Table 3. 2층 열차 편성 모델 중량

항목	Mc	M	T	M'
공차중량	54,210	42,250	34,370	47,430
정비비중	150	150	150	150
정비중량	54,360	42,400	34,520	47,580
승객하중(정원시)	3,224	5,208	5,952	3,348
승객하중(만차시, 200%)	8,680	20,336	22,196	12,648
총하중(만차시, 200%)	63,040	62,736	56,716	60,228

4. 추진시스템 및 전기장치 설계

4.1 일반

1호선 및 4호선에서 운용되는 AC/DC 겸용전동차와 분당선의 경우 AC 전용 전동차, 그리고 2호선 등은 DC 전용 전동차는 그 사용전원으로 인해 전장품의 종류와 차량의 중량에 영향을 받는다. 또한 전동차가 운행되는 구간(지상 또는 지하)은 전동차의 주행저항에 영향을 미치게 되고 가속성능에 영향을 주게 된다. 현재 사용되는 도시철도차량의 가속성능을 만족하고자 하는 경우 지하구간의 주행저항이 지상구간에 비하여 큰 관계로 추진장치의 용량이 증가하게 만든다. 이 외에도 본선에 사용되는 전원의 종류에 따라 차량에 탑재되는 전장품의 구성이 달라지므로 무게에 영향을 줄 수 있고 이와 같은 부하의 변화는 결국 차량의 추진성능에 영향을 미치고 전장품의 용량에도 영향을 주게 된다. 본 논문은 타당성을 확인하는 것이므로 차량 중량의 변화까지는 고려하지 않으나 주행구간에 따른 각각의 경우에 대하여 검토를 하면 다음과 같다.

4.2 추진시스템 용량 선정

4.2.1 지상구간만 통과하는 경우

차량이 지상구간만을 운행하는 경우에는 지하구간을 통과하는 경우보다 주행저항이 작다. 분당선이나 경부선의 철도청 구간은 AC를 급전하고 기타 지하구간은 DC를 급전하고 있는 상황이다. 지상 구간만을 보았을 때 AC를 급전하는 것으로 구분할 수 있고, 차량에 Line Filter 등이 없으므로 중량이 AC/DC 전원에서 모두 운행하는 차량보다 가볍다. 이것은 부하가 작다는 것을 의미하며 결과적으로 작은 용량을 가진 추진시스템을 설계하는 것이 가능하게 한다. 지하 구간에는 대피선이 마련된 역이 몇 개 없으므로 도시철도법에 있는 가속도 3.0 km/h/s의 설계 기준을 적용해야 한다. 그런데 경부선의 경우, 지상구간에 각 역마다 대피선이 있는 관계로 각 역마다 정차하는 운전패턴(도시철도법의 규정을 준용하는 광역철도의 경우)을 적용하여 가속도 3.0 km/h/s의 설계 기준을 적용하므로 가속 용량에 다른 추진시스템의 용량이 커지나, 몇 개의 역을 통과한 후 정차하는 운행패턴(중거리 인터시티 차량은 급가속 및 감속이 필요치 않으므로 상대적으로 낮은 가속력 적용, 새마을호의 가속도는 2.0 km/h/s에도 미치지 못하고 있음)를 적용하는 경우 급가속 및 감속이 필요치 않으므로 상대적으로 낮은 가속력인 2.5 km/h/s을 적용할 수 있으므로 추진 시스템의 용량을 작게 가져갈 수

있게 된다. 따라 전동차 1호선 초기 구입분에서 적용된 2.5 km/h/s의 가속도를 설계 기준으로 사용할 수 있다. 이런 사항을 을 반영하여 필요한 추진시스템의 용량을 계산한 값은 Table4와 같다.

4.2.2 지상 및 지하구간을 통과하는 경우

지하구간에서 주행하는 경우 전동차에 의한 바람이 외부로 흩어지지 못하므로 지상구간에 비하여 주행저항이 많이 증가하게 되어 전동차의 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 검토되는 구간 중 차량의 중량이 가장 크고 견인력이 가장 많이 필요한 조건이 된다.

Table 4. 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
변압기출력(KW)	1589	1031	1375

주1) 구분

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

주2) 표준 전동차 설계방법에 따른 계산결과

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

4.3 기기 배치

신호장치나 종합제어장치는 차량 운전실부분에 설치하거나 차량의 빈 공간에 설치하도록 하므로 이 논문에서는 별도로 언급하지는 않도록 하다. 또한 현재의 기기 배치 기본은 승객의 탑승에 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.

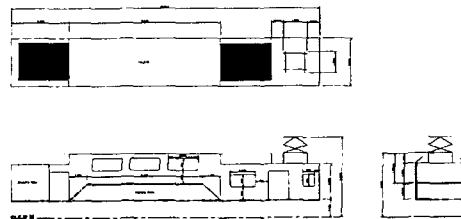


Fig 3. Mc 차 기본 개념도

현재의 전동차의 운행과 동일한 구간(AC/DC 겸용)을 운행하는 경우와 AC 전용 구간을 운행하는 경우로 구분하여 전장품을 배치해 보았다. 현재 전동차의 여유 있는 전장품 용량의 감소와 2층 열차는 발열장치가 강제 냉각되는 구조를 갖게 되므로 부피가 줄어들 수 있다. 이런 점들을 반영하여 전장품의 공간배치를 하였다. AC전용의 경우와 AC/DC 겸용의 경우를 구분하여 차량하부에 배치되는 장치의 구성을 보면 다음과 같다.

4.3.1 AC전용

AC 전용차의 경우 DC를 사용하지 않음에 따라 Filter

Reactor를 비롯한 몇 가지 장치가 빠진다. 차내기시설은 밀폐되는 공간에 있으므로 강제냉각방식을 사용하며 하부는 현재의 전동차처럼 외부에 기기가 노출되는 자연냉각방식을 취한다.

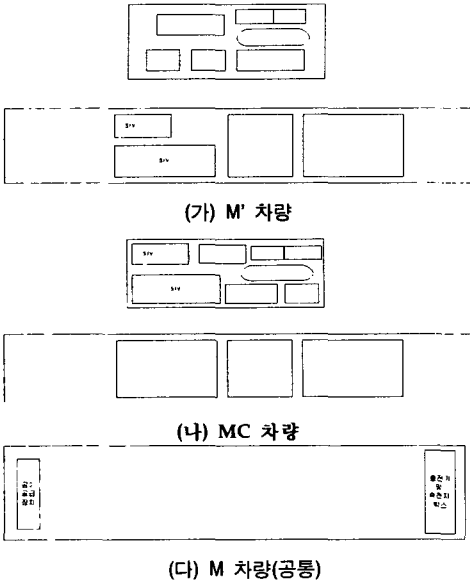


Fig 4. AC 전용 전동차의 전장품 배치도

4.3.2 AC/DC 겸용

AC 전용에 비하여 사용되는 전장품의 수량이 많다. 따라서 현재 전동차에서 사용하는 전장품의 크기를 그대로 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 강제냉각 방식을 사용하면 부피를 70~80% 수준으로 감소시킬 수 있게 되고 기기 배치상의 문제를 극복할 수 있다.

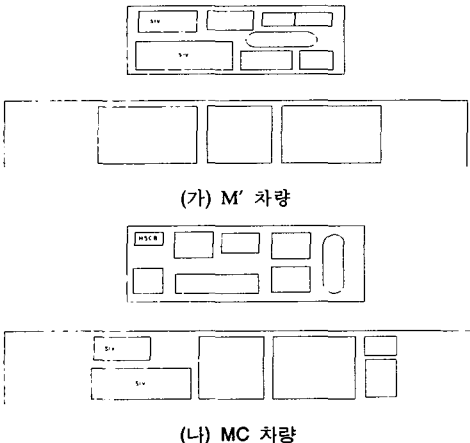


Fig 5. AC/DC 겸용 전동차의 전장품 배치도

5. 시뮬레이션

전동차가 모든 역에서 정차하지 않고 몇 개의 역마나 한 번씩 정차하는 경우를 가정하여 추진장치의 정출력이 시작하는 위치의 가속도를 2.5 km/h/s와 3.0 km/h/s를 적용하였고 지상과 지하 구간 주행시 별도의 주행저항을 적용하여 시뮬레이션을 하였다.

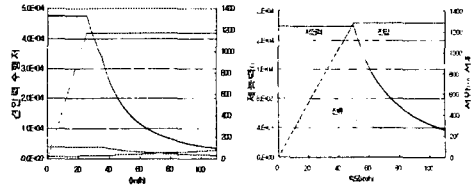


Fig 6. 속도 2.5 km/h/s, 지상구간 주행 특성곡선

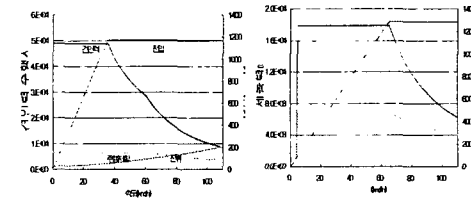


Fig 7. 속도 2.5 km/h/s, 지하구간 주행 특성곡선

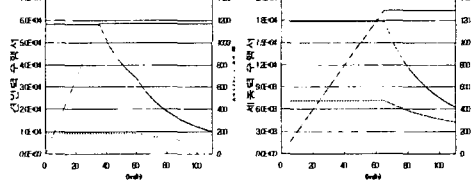


Fig 8. 속도 3.0 km/h/s, 전구간 주행 특성곡선

6. 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 설계차량의 구조에 적합한지를 검토하였으며 결과는 다음과 같다.

- i) 2층 열차가 운행되는 구간이 선정되지 않았으므로 수도권 광역철도망(도시철도차량 가속도 기준 적용) 및 중거리 인터시티에 통근형 전동차로 투입될 경우를 고려하였으며, 차량의 가속 성능을 모두 만족하는 전장품의 설계가 가능함을 보여 주었다.
- ii) 열차 주행에 필요한 전장품들이 주어진 공간 내에 배치되기 위해서는 전장품의 경량화 및 콤팩트화가 필수적이며 특히 AC/DC 겸용 2층 차량의 경우는 컨버터/인버터 및 SIV에 강제냉각방식 등을 적용하여 장치의 부피를 줄여야 기기배치가 가능할 것임을 보여주었다.

후 기

본 연구는 건설교통부가 출연한 건설기반기술혁신사업의 일환으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부/한국철도기술연구원, 2층·급행열차 운영을 위한 기술개발 및 설계 기준에 관한 연구(2차년도 연차보고서), 2003
2. 한국철도기술연구원, 추진력변환장치개발(2단계 1차년도 보고서, 2000)