

2층 · 급행열차 추진시스템 및 전기장치에 관한 연구

A Study on the Traction System and Electric Devices of Double Deck (Express) Trains

백광선¹ · 김형진² · 김명룡¹ · 장동욱³ · 박광복⁴

Kwang-Sun Baik · Hyeong-Jin Kim · Myung-Yong Kim · Dong-Uk Jang · Kwang-Bok Park

Abstract

In this paper, traction system and electric devices of a double deck train were designed 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.

Keywords : traction system(추진시스템), double deck(2층 열차)

1. 서론

일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층 열차의 활용이 증가되고 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 들어가는 데 어려움을 느끼고 있어 기존 전동차와 차별화된 급행열차의 투입 필요성이 증대되고 있다. 본 연구는 통근용으로 사용될 수 있는 수도권 광역철도망이나 중거리 inter-city로 운용되는 급행 2층 열차 차량 도입의 타당성을 검토하기 위해, 필요한 차량성능을 만족하기 위한 추진시스템의 필요 용량과 기기배치의 타당성 검토를 목적으로 한다. 2층 열차는 기존 전동차와 길이는 동일하지만 차량에 더 많은 좌석이 설치되는 관계로 차량 하부 공간이 축소되어 차량 하부에 전장품이 집중 취부되는 기존 전동차에 비해 전장품 배치가 어렵다. 이 점은 2층 열차 설계에

있어서 가장 중요한 요소 중의 하나로 외국에서도 가장 많은 고심을 하고 있는 부분 중 하나이다. 하지만 프랑스 등 철도선진국들은 2층 열차를 상용화해본 많은 경험과 설계 제작기술의 보편화로 시스템의 패키지화를 통한 전장품 용량과 기기배치 설계 및 제작시간의 단축을 꾀하고 있는 실정이다. 그러나 현재 국내에서는 2층 열차에 대한 경험이 전무한 형편이므로 본 논문에서는 차량의 운용을 위한 전장품의 추진 용량 및 구성과 관련된 부분을 검토하며 기기배치에 적절하도록 각 기기의 형상을 구성하는데 주안점을 둔다. 현재 고려되는 2층 열차는 운행 구간이 결정된 것이 아니기 때문에 운행될 수 있는 지상 및 지하 그리고 AC/DC 겸용과 AC 전용 구간운행을 예상하여 관련된 Factor를 고려한 기기 배치 및 용량설계를 하였다. 그 외에 신호장치, 종합제어장치 등 차량의 기능과 관련하여 현재 운용중인 도시철도차량의 것을 동일하게 적용하도록 하였다. 본 연구의 결과는 향후 2층 열차와 관련된 국내의 철도 수준을 선진철도수준으로 향상시키기 위한 기초가 될 수 있을 것이다.

2. 외국사례

2.1 일본

일본의 2층 열차는 Central, West, East Japan Railway 및

1 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원
2 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원
3 정회원, 한국철도기술연구원 주임연구원
4 정회원, (주)동림컨설팅

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 저항기, 전기부품이 탑재하였으며, 가속도는 2.3km/h/s이며 DC 전원을 사용함으로 변압기와 컨버터가 없고 차량의 크기가 커서 전장품을 설치하는데 여유가 있다. 이 외에도 217계가 구리하마-동경-나리타공항(구리하마 - 동경: 70km, 15역, 동경 - 나리타 공항: 79km, 17역)으로 연계운행 하고 있다.

2.2 프랑스

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 벽과 같은 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. 주요 견인방식은 EMU, DMU, DEMU, Push-Pull의 4가지이며 상업운행속도는 120 km/h 이다. 또한 고속전철에서도 설계 최대속도 320km/h, 영업 최고속도 300km/h인 2층 열차(TGV Duplex)를 운용하며 세계 2층열차 시장 진출을 위해 준비하고 있다. 이 열차는 지붕에 설치된 IGBT 인버터(heat pipes적용, 강제냉각

방식)와 유도전동기(375kW 450kW)를 사용하고 있다. 알스톰사의 2층 열차 납품실적은 Table 1과 같다.

2.3 기타

미국에서는 CDT(California Department of Transportation)와 Metra에서 기관차 견인형 객차형식의 2층 열차가 운행되고 있으며 네덜란드에서는 차량 당 1개의 견인전동기의 최대 출력 398kW, IGBT 인버터, 상용제동 0.66m/s², 비상제동 1.05m/s², 최고속도 160km/h인 EMU type의 Bombardier에서 제작된 2층 열차가 운행되고 있다. 그 외에 독일과 이스라엘 등에서 다양한 추진 성능과 시스템을 갖춘 2층 열차가 운행되고 있다.

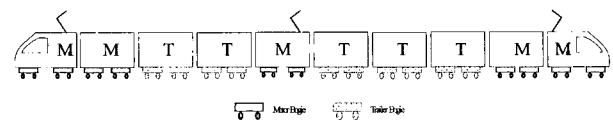
3. 2층 열차 기본 사양

3.1 차량 구성

Fig. 1의 차량을 추진하기 위한 시스템의 구성은 Fig. 2와 같다. Fig. 2는 AC 25000 V를 전원으로 하는 시스템을 구성으로 하고 있으며 DC의 경우에는 컨버터와 인버터 사이에 연결단자를 내주면 된다. SIV는 정류된 DC단의 직류전원을 사용하여 CVCF 인버터를 구동하는 방법도 있으나 컨버터가 고장나는 경우, SIV까지 동작을 못하는 시스템 종속성을 배제하는 목적으로 주변압기에서 3차 권선을 사용하여 별도의 전압을 이용하는 것으로 한다. DC를 사용하는 경우, 추진용 인버터와 마찬가지로 인버터와 컨버터 사이에 연결단자를 설치하여 고압을 직접 급전할 수 있다.

Table 1. 알스톰의 2층열차 납품 실적

차량 종류	납품처	차량수	견인방식	최고속도/ 가속도(감속도)
M6	SNCB, 벨기에	210	Push-Pull	160kph
TAGUS	CP, 포르투갈	160	EMU	140kph
TER2N	SNCF/French Regions 프랑스	160	EMU	140kph
UT450 /451	RENFE 스페인	180	EMU	140kph
MI2N	SNCF/RATP, 프랑스	410	EMU	140kph/ 0.9(1.1)m/s ²
V2N	SNCF 프랑스	151	Push-Pull 전동식, 디젤식	160kph
Z2N	SNCF 프랑스	1500(EMU) 750(PUSH-PULL)	EMU	140kph



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

Fig. 1. 2층 열차의 기본 편성

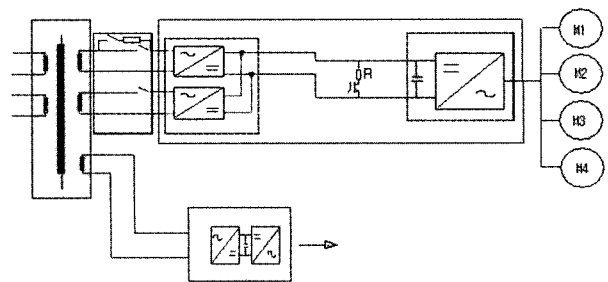


Fig. 2. 추진시스템 구성도

3.2 차량설계 사양

2층 열차의 전장품의 용량을 계산하기 위한 승객과 차량의 중량 그리고 편성 구성을 정리하면 Table2와 Table3과 같다. 차량이 운행되는 구간에 따라 사용 장치의 사양 및 중량이 달라질 수는 있으나 전체 중량에 미치는 영향이 작고 중량이 큰 변압기 등을 공통적으로 사용하므로 전체적인 차량 중량은 동일한 것으로 가정한다.

Table 2. 2층 열차 차량 사양

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

Table 3. 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 (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

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 분당선의 경우 AC 전용 전동차를 그리고 서울지하철공사에서 운영하는 2호선 등은 DC 전용 전동차를 사용한다. 이처럼 차량에 사용되는 전원은 전장품의 종류와 차량의 중량에 영향을 미친다. 또한 전동차가 운행되는 구간(지상 또는 지하)은 전동차의 주행저항에 영향을 미치게 되고 가속성능에 영향을 주게 된다. 예로써 현재 사용되는 도시철도차량의 가속성능을 만족하고자 하는 경우 지하구간의 주행저항이 지상구간에 비하여 큰 관계로 추진장치의 용량이 증가하게 만든다. 이 외에도 AC/DC 구간을 운행하는 경우에는 AC 또는 DC 전용에 필요한 전장품을 모두 차량에 탑재해야 하므로 무게가 증가하고 결국 차량의 추진성능이 증가하게 만드는 요인이 되기도 한다. 본 논문은 타당성을 확인하는 것이므로 차량 중량의 변화까지는 고려하지 않으나 주행 구간에 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. 현재 국내에서는 지상 구간은 거의 철도청 관할 구간으로 AC를 급전하고 있는 상황이다. 지상 구간의 경우 AC를 급전하므로 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 3.0km/h/s의 설계 기준을 적용해야 한다. 그러나 지상구간인 경부선의 경우, 각 역마다 정차하는 운전패턴(도시철도법의 규정을 준용하는 광역철도의 경우)을 적용하여 가속도 3.0km/h/s의 설계 기준을 적용할 수도 있고, 몇 개의 역을 통과한 후 정차하는 운행패턴(중거리 인터시티 차량은 급가속 및 감속이 필요치 않으므로 상대적으로 낮은 가속력 적용, 새마을호의 가속도는 2.0km/h/s에도 미치지 못하고 있음)을 적용하는 경우 급가속 및 감속이 필요치 않으므로 상대적으로 낮은 가

속력인 2.5km/h/s(전동차 1호선 초기 구입분)을 적용할 수 있으므로 추진 시스템의 용량을 작게 가져갈 수 있게 된다. 이런 사항들을 반영하여 필요한 추진시스템의 용량을 계산하였다.

4.2.2 지상 및 지하구간을 통과하는 경우

지하구간에서 주행하는 경우 전동차에 의한 바람이 외부로 흩어지지 못하므로 지상구간에 비하여 주행저항이 많이 증가하게 되어 전동기의 용량 및 관련 추진시스템의 용량이 증가한다. 또한 현재의 지하구간은 주행하는 선로와 정차하는 선로가 동일한 역 때문에 급행열차의 장점을 사용할 수 없고 매 역마다 정차를 해야 한다. 이 경우 가속도는 3.0km/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.

4.2.3 추진시스템 용량 계산

전동차의 가속도를 3.0km/h/s로 하고 지하구간에서 주행하는 경우에 대한 계산결과는 다음과 같다. Table 2와 Table 3을 적용하여 견인력을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$F_{\text{주행저항}} = (0.000745 \times 35^2 + 0.0359 \times 35 + 1.867) \times 595.36 \times 9.8$$

$$\approx 23.6 \text{ kN}$$

에서 3km/h/s의 가속도를 내기 위한 가속력

$$F_{\text{가속력}} = K \times W \times a \times 1.1 = 28.345 \times 595.36 \times 3 \times 9.8 \times 1.1 \approx 545.8 \text{ kN}$$

이 되고 $F_{\text{견인력}} = F_{\text{주행저항}} + F_{\text{가속력}} \approx 569.3 \text{ kN}$ 가 된다.

답면 출력-차륜과 레일간의 출력과 전동기의 기계적 출력은 위에서 계산된 견인력과 속도에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{\text{답면출력}} = \frac{1}{3.6} \times F \times V / \eta [\text{kW}] \approx 285 [\text{kW}]$$

여기서,

F : 차륜 1조의 견인력 = 전체 견인력/20 $\approx 28.5 [\text{kN}]$

V : 전동차 속도[km/h]

η : 차륜과 레일사이의 효율 ; 0.97로 가정

$$P_{\text{전동기기계}} = P_{\text{답면출력}} / \eta_{\text{감속기효율}} \approx 293 [\text{kW}]$$

여기서 $\eta_{\text{감속기효율}}$ 을 0.975로 가정

유도전동기를 35km/h까지 3km/h/s의 가속도로 가속하고 55km/h까지 정 출력 영역을 유지하는 운전조건의 전기적 사양을 구해보면 다음과 같다.

$$P_{\text{전동기전기}} = P_{\text{전동기기계}} / \eta_{\text{전동기효율}} = 293 / 0.92 \approx 318 \text{ kW}$$

$$\text{견인전동기 정격출력} = \frac{\text{기동시출력}}{\text{기동시여유율}} \times \frac{\text{전동기여유율}}{\text{기어효율}}$$

$$= \frac{277}{1.5} \times \frac{1.2}{0.975} \approx 230 [\text{kW}]$$

SIV 용량 : 현재 수도권에서 운행하는 지하철 1호선 전동차의 경우, 1편성 당 3개의 190KVA SIV가 탑재되어 있다. 각 SIV의 최대 부하는 에어컨이고 3량 또는 4량 분의 에어컨에 전원을 공급하고 있으며 1량당 12KVA 용량의 에어컨 2개가 설치되어 있다. 이 경우 각 SIV는 72KVA에서 96KVA의 전원을 공급하고 있는 것이다. 그런데 2층 열차의 경우에 전원의 용량 증가가 필요하다. 먼저 승객 정원이 20% 증가하게 됨에 따라 냉방장치의 용량 증가가 요구되어 SIV는 에어컨에 115KVA를 공급해야 한다. 또한 2층 구조에 따른 필요 전동 수의 증가, 냉방장치의 구조 변경 및 기타 SIV 전원을 사용해야 하는 장치의 용량 증가는 SIV의 용량의 변화 및 증가를 의미한다. 그런데 현재 사양이 결정된 장치가 없으므로 앞서 언급된 이유로 SIV의 용량을 정확하게 산정할 수는 없고 60%정도 추가하였다. 이 용량은 추후 정확한 냉방용량 계산에 의하여 변경될 수 있다. 시뮬레이션은 가능한 현재 전동차에서 적용하는 설계 기준을 적용하였으나 본 연구의 목적상 악조건으로 설계하였다.

상기자료를 근거로 축동력과 인버터출력 및 컨버터출력 그리고 변압기의 용량을 구하는 과정은 다음과 같다.

$$P [\text{kW}] = \frac{TE [\text{kN}] \times V [\text{km/h}]}{3.6} = \frac{113.87 \times 35}{3.6}$$

$$\approx 1,107 [\text{kW}]$$

$$P_{\text{inv}} [\text{kW}] = \frac{P [\text{kW}]}{\eta_M \times \eta_G} = \frac{1107}{0.92 \times 0.975} \approx 1234 [\text{kW}]$$

$$P_{\text{con}} [\text{kW}] = \frac{P_{\text{inv}} [\text{kW}]}{\eta_I} = \frac{1234}{0.97} \approx 1272 [\text{kW}]$$

변압기의 입력과 출력은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{\text{Tr1}} [\text{kW}] = \frac{P_{\text{con}} [\text{kW}]}{\eta_C} = \frac{1272}{0.95} \approx 1339 [\text{kW}]$$

$$P_{\text{e1}} [\text{kVA}] = \frac{\frac{P_{\text{Tr}} [\text{kW}]}{\eta_{\text{Tr}}} + P_{\text{SIV}}}{\text{pf}} = \frac{\frac{1339}{0.97} + 250}{0.99} \approx 1647 \text{ kVA}$$

\therefore SIV는 편의상 유효전력으로 변환하여 계산함.

앞서 계산된 결과를 정리하면 다음 표와 같다.

Table 4. 구간별 추진시스템 용량 계산 결과

	1안	2안	3안
정토크영역(Km/h)	35	35	35
정출력영역(Km/h)	55	50	60
주행저항(KN, 정토크영역)	23.6	11.2	23.6
필요견인력(KN, 정토크영역)	569.4	466.0	478.4
전인전동기출력(KW)	230	185	191
축동력(KW, 동력차 1량)	1107	906	930
인버터출력(KW)	1234	1010	1037
컨버터출력(KW)	1272	1041	1069
변압기입력(KVA)	1647	1394	1424
변압기출력(KW)	1339	1096	1125

주1) 구분
 - 1안 : 가속도 3적용, 지하구간 통과
 - 2안 : 가속도 2.5적용, 지상구간 통과
 - 3안 : 가속도 2.5적용, 지하구간 통과
 주2) 표준 전동차 설계방법에 따른 계산결과임

4.3 기기 배치

신호장치나 종합제어장치는 차량 운전실부분에 설치하거나 차량의 빈 공간에 설치하도록 하므로 이 논문에서는 별도로 언급하지는 않도록 한다. 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. 그리고 전장품을 취부할 수 있는 공간은 편의상 상상과 상하로 구분하였으며 상상의 경우 계단이 있는 관계로 7300mm×3120이며 상하의 경우 9800mm×3120이 된다.

상기 설계된 치수에 따라 현재의 전동차의 운행과 동일한 구간(AC/DC 겸용)을 운행하는 경우와 AC 전용 구간을 운행하는 경우로 구분하여 전장품을 배치해 보았다. 현재 전동차에는 외국의 경우에 비하여 용량이 큰 장치들이 있다. 또한 2층 열차는 발열장치가 강제 냉각되는 구조를 갖게 되

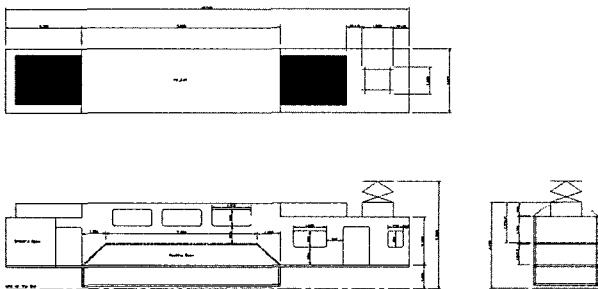


Fig. 3. Mc 차 기본 개념도

므로 부피가 줄어들 수 있다. 이런 점들을 반영하여 전장품의 공간배치를 하였으며 표준전동차와 현재 운용되는 도시철도차량에 탑재되는 전장품의 크기를 적용하였다. 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 설치되지 않아도 된다. 상상의 경우, 밀폐되는 공간에 있으므로 강제냉각방식을 사용하며 하부는 현재의 전동차처럼 외부에 기기가 노출되는 자연냉각방식을 취한다.

Mc차와 M'차에 기기를 배치가능성을 확인하기 위하여 각 장치를 배치하여 보았다. Mc차의 경우 상상 부위는 강제 냉각방식을 채용하므로 설치되는 기기의 전체 치수는 7200mm×2000mm이 되고 길이방향으로 100mm와 측방향으로 1120mm의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우 기기의 크기는 8900mm×2500mm이므로 경우 길이방향으로 900mm와 측방향으로 620mm의 공간적인 여유가 있었다. M'차의 경우 기기가 취부되는 조건은 Mc와 동일하며 이것을 고려하여 배치한 결과, 상상상위 기기의 전체 치수는 3300mm×820mm가 되고 길이방향으로 100mm와 측방향으로 1120mm의 공간적

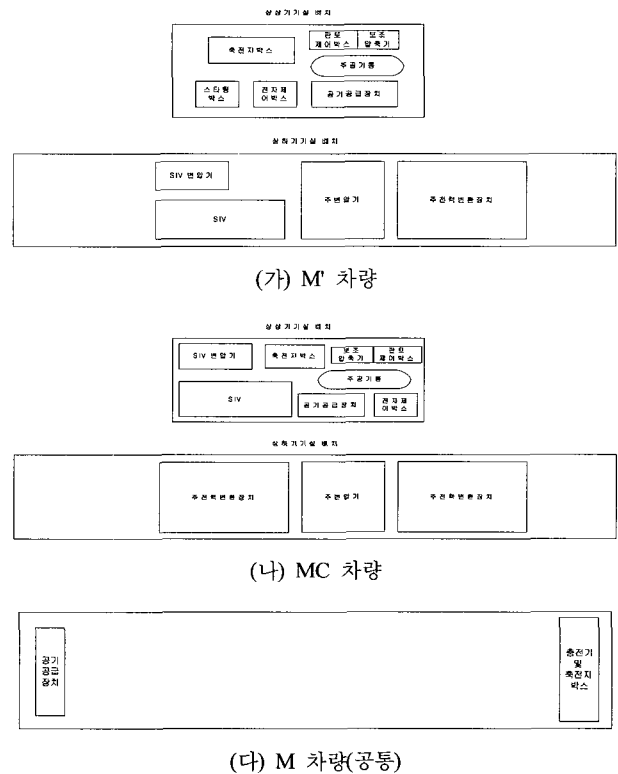


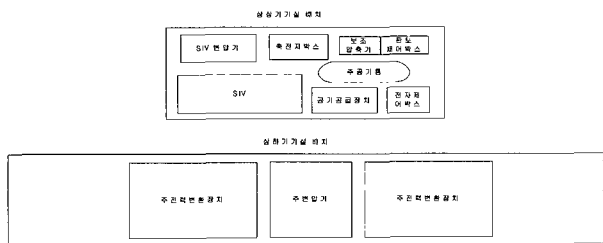
Fig. 4. AC 전용 전동차의 전장품 배치도

인 여유가 있었다. 상하의 경우는 기기의 크기가 8900×2500 이므로 경우 길이방향으로 900mm 와 측방향으로 620mm 의 공간적인 여유가 있었다.

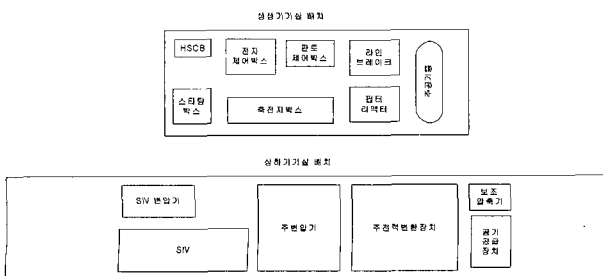
4.3.2 AC/DC 겸용

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 강제 냉각시키는 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.

AC 전용의 경우에 비하여 전장품의 수가 증가하므로 M'차와 M'차에 대하여 강제냉각방식을 채용하는 경우를 고려하여 전장품의 치수를 약 20%정도 감소한 치수를 적용하여 기기를 배치하였다. Mc차의 경우 상상 부위 기기의 전체 치수는 $6100\text{mm} \times 2900\text{mm}$ 이 되고 길이방향으로 1200mm 와 측방향으로 220mm 의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우는 기기의 크기는 $7500\text{mm} \times 2500\text{mm}$ 이므로 경우 길이방향으로 2300mm 와 측방향으로 320mm 의 공간적인 여유가 있었다. M'차의 경우, 상상 부위 기기의 전체 치수는 $5100\text{mm} \times 2700\text{mm}$ 가 되고 길이방향으로 2200mm 와 측방향으로 420mm 의 공간적인 여유가 있었다. 상하의 경우는 기기의 크기가 820×2700 이므로 경우 길이방향으로 1600mm 와 측방



(가) M' 차량



(나) MC 차량

Fig. 5. AC/DC 겸용 전동차의 전장품 배치도

향으로 4220mm 의 공간적인 여유가 있어 설계된 2층 열차에 전장품의 배치가 가능함을 예측할 수 있었다.

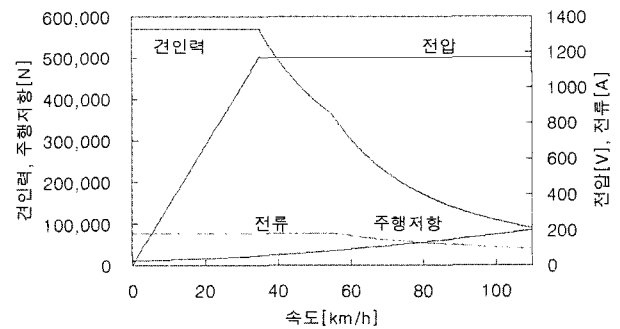
4.4 기타 시스템

종합제어장치, 신호장치 및 집전장치 등은 2층 열차라고 하여 크게 달라질 부분은 없으므로 현재 도시철도에서 사용하고 있는 기능을 그대로 사용하는 것으로 하였다.

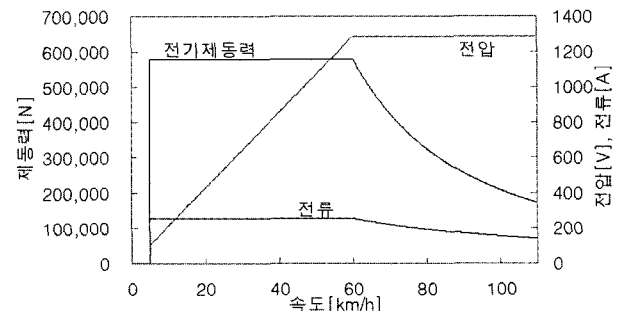
5. 시뮬레이션

전동차가 모든 역에서 정차하지 않고 몇 개의 역마다 한 번씩 정차하는 경우를 가정하여 추진장치의 정출력이 시작하는 위치의 가속도를 2.5km/h/s 와 3.0km/h/s 를 적용하였고 지상과 지하구간 주행시 별도의 주행저항을 적용하여 시뮬레이션을 하였다.

그림 6은 가속도를 3.0km/h/s 로 지하 및 지상구간을 주행할 때의 견인 및 제동특성을 시뮬레이션을 하였고 그림 7은 가속도 2.5km/h/s 로 지상구간을 주행할 때의 견인 및 제동특성을 시뮬레이션을 하였으며 그림 8은 가속도 2.5km/h/s 로 지하구간을 주행할 때의 견인 및 제동특성을 시뮬레이션을 하였다. 각 주행구간의 주행저항이 다른 관계로 정도오차가 끝나는 점은 다르게 하여 시뮬레이션을 하였다. 각 추진특

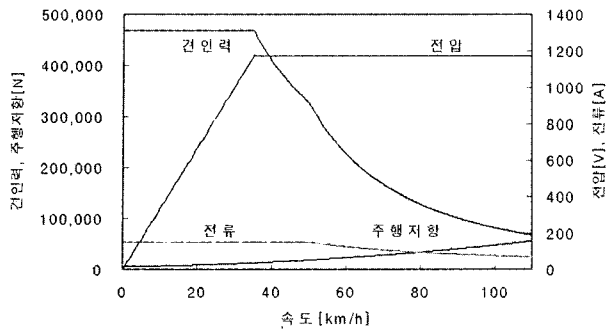


(가) 추진특성곡선

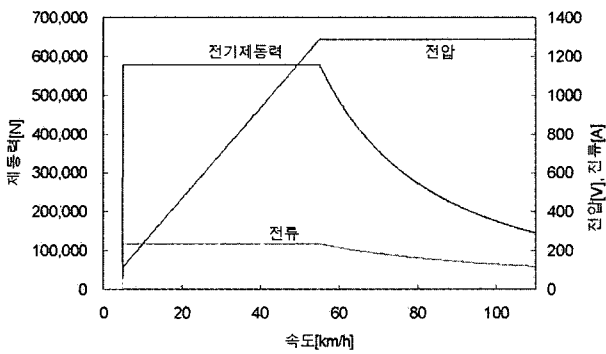


(나) 제동특성곡선

Fig. 6. 가속도 3.0km/h/s , 전구간 주행 특성곡선

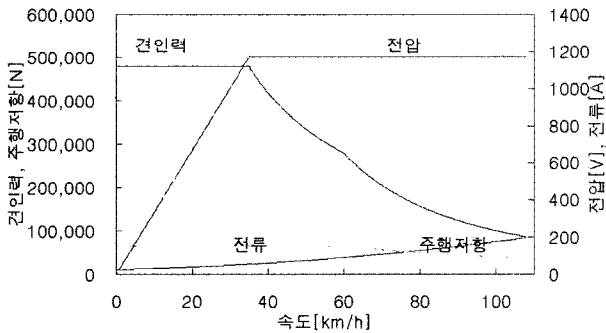


(가) 추진특성곡선

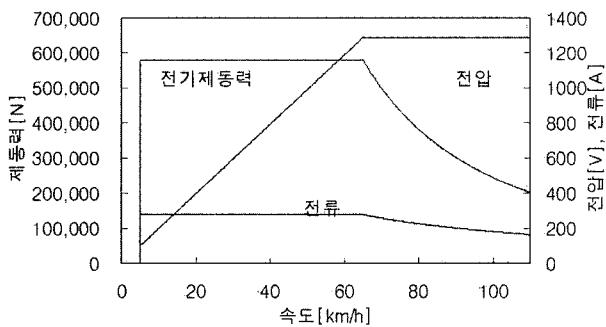


(나) 제동특성곡선

Fig. 7. 가속도 2.5km/h/s, 지상구간 주행 특성곡선



(가) 추진특성곡선



(나) 제동특성곡선

Fig. 8. 가속도 2.5km/h/s, 지하구간 주행 특성곡선

성곡선에서 볼 수 있듯이 표 4의 토오크가 정토크영역이 끝나는 위치까지 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 또한 가속성능이 3.0km/h/s일 때와 2.5km/h/s일 때에 차이를 알 수 있다. 제동특성은 감속도를 3.5km/h/s로 하였을 때를 기준으로 시뮬레이션을 하였다. 그리고 회생제동력이 일정하게 되는 지점은 추진특성곡선상의 정특성영역 시작점을 고려하였다. 이 제동특성은 전동기의 포화 등의 제반사항을 고려하여 변경될 수 있다. 전기제동은 전압이 견인시의 전압보다 큰 상태(본 논문에서는 견인시 전압의 1.1배)에서 체결하므로 제동력이 견인력에 비하여 크게 나타났다.

6. 결론

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.

- (1) 2층 열차가 운행되는 구간이 선정되지 않았으므로 수도권 광역철도망(도시철도차량 가속도 기준 적용) 및 중거리 인터시티에 통근형 전동차로 투입될 경우를 고려하였으며, 차량의 가속성능을 모두 만족하는 전장품의 설계가 가능함을 보여 주었다.
- (2) 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.

후기

본 연구는 건설교통부가 출연한 건설기반기술혁신사업의 일환으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. 건설교통부/한국철도기술연구원, 2층·급행열차 운행을 위한 기술개발 및 설계 기준에 관한 연구(2차년도 연차보고서), 2003.
2. 한국철도기술연구원, 주전력변환장치개발(2단계 1차년도 보고서), 2000.
3. 한국철도기술연구원, 견인전동기개발(1차년도 연차보고서), 1997.
4. 한국철도기술연구원, 추진시스템 엔지니어링 기술개발(2차년도 연차보고서), 1998.