

TTX 차량 주회로 설계에 관한 기술연구

이수길, 한성호, 한영재, 송용수, 이은규, 이영호
 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단, "우진산전"

The Study of Main Electrical Circuit Design for TTX(Tilting Train eXpress)

Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Young-Jae Han, Yong Soo Song, Eun-Kyu Lee, Young-Ho Lee
 Korea Railroad Research Institute, "Woo-Jin Co. Ltd"

Abstract - 기존노선을 이용한 고속화 신기술 개발사업 과제를 수행하여 중장거리 및 도시간의 교통해소를 위해 중고속 철도차량을 개발하여 최고속도 180km/h의 속도로 운행할수 있는 차량의 주요 전기시스템인 주변압기, 주변환장치, 견인전동기, 보조전원장치의 설계 및 사양을 정립하여 TTX차량을 제작하는 연구를 수행하였다.

1. 서 론

철도는 안전성, 대량수송, 고속, 에너지절약, 쾌적성과 환경문제에 대해 장점을 가지는 대중교통 수단으로써 각국의 초미의 관심사로 떠오르고 있다. 특히 전기철도는 최근 가장 각광받는 교통수단으로 부각되어 대량, 고속수송이라는 철도 고유의 장점을 유감없이 발휘하고 있으며, 프랑스, 독일, 일본 등의 국가를 중심으로 전기철도의 고속화, 경량화, 에너지절약 등에 대한 연구가 경쟁적으로 추진되게 되었다.

현재 철도청 철도기술연구개발사업의 일환으로 개발되고 있는 TTX 기존선 고속 틸팅열차(Tilting Train eXpress EMU for Conventional Railroad)의 시제편성은 2유닛-6량으로 구성하였다. 각 유닛은 3량으로 독립된 추진 시스템을 설치하고 있다. 한편 확대편성은 3유닛-9량 및 4유닛-12량으로 구성된다.

1유닛은 3량으로 즉 구동차 2량과 부수차 1량의 2M1T 구조로서 최근에 선진 EMU 차량에서 시스템을 구성하는 기술이다. 그림 1은 개발차량의 편성구성도이다. Mcp 차량은 동력차 및 차량제어와 판토티그래프로 구성된 차량이며, M 차량은 동력차이며 T 차량은 객차이다.

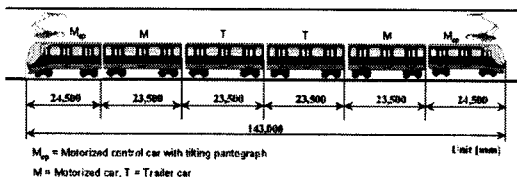


그림 1. TTX 차량 편성도

열차추진성능은 시스템 요구사항을 만족해야 하며, 최고운행속도 180km/h의 주행이 가능해야하고, 최고운행속도에서 0.07m/s²이상의 여유가속도를 확보해야 하며, 단 7%이상의 옴 구배를 주행할 수 있어야 한다. 이를 위해 충분한 열차 추진력을 확보할 수 있는 견인전동기 성능을 갖추 수 있도록 시스템이 설계되어야 한다.

- 1) 열차속도 : - 최고운행속도 : 180 km/h
 - 설계최고속도 : 200 km/h

2) 편성 :

- 시제편성(6량) : Mcp+M+T1+T2+M+Mcp
- 확대편성(9량) :

Mcp+M+T1+M+M+T1+T2+M+Mcp

여기서 Mcp : 제어구동차 (Motorized Control Car with Tilting Pantograph)

M : 구동차 (Motorized Car)

T1, T2 : 부수차(Trailer)

3) 열차중량(W2) : 기본편성 344톤 이하

9량 확대편성 516 톤 이하

4) 추진성능 : 상용최고 속도 시 0.07% 이상의 여유가속도를 가지거나 또는 7% 이상의 구배를 주행할 수 있어야 한다.

5) 차륜경 : 신차륜 860 mm

성능계산 820 mm(반마모)

6) 주행저항

주행저항을 산출하기 위하여 철도청 디젤동차 주행저항식을 차량시스템 엔지니어링 기초연구를 수행하기 위하여 다음과 같이 철도청 디젤동차식을 사용하였다.

$$R(Kg) = A + B \times V + C \times V^2$$

$$= 2.5 + 0.0186 \times V + \{(0.0269 + 0.0079(n-1)) \times V^2\} / W$$

여기서 A : 2.5, B = 0.0186 × V, C =

$$\{(0.0269 + 0.0079(n-1)) \times V^2\} / W,$$

W : W2(normal load, Kg),

V : 열차속도(Km/h), n = 차량 수

주행저항식은 개발되는 기존선 고속 틸팅열차의 추진 및 제동 시스템의 연구를 위하여 사용하여 연구를 수행하고 TTX 차량의 시제차를 제작하여 시운전 시험을 통하여 새로운 주행저항식이 정의될 것이다.

2. 본 론

2.1 추진제어장치

개발되는 기존선 고속 틸팅 열차의 열차의 추진 시스템은 3량 단위로 유닛화 시켰으며, 이는 열차의 유연성을 부여하고, 추진 시스템을 Simple(간략화)하게 하기 위하여 시스템이 검토 선정되어 추진하고 있다. 현재 운영되고 있는 추진 시스템의 제어 방식은 1MIC 방식, 2MIC 방식, 4MIC 방식 등 다양하다. 틸팅 시스템의 기술도입의 방향에 따라 2MIC 방식 또는 4MIC 방식으로 검토되었지만, 현재 검토된 것은 2MIC 방으로 연구하고 있다. 1MIC 제어방식은 구동차 1량에 추진 시스템 일체를 설치하는 방식으로 1량에 견인전동기, 주전력변환장치, 판토티그래프, 보조전원장치, 제어장치, 제동/공압장치 등을 설치한다. 2MIC 제어방식은 구동차와 비구동차 각 1량을 1Unit 로 추진 시스템을 구성방식으로 M차에는 견인전동기, 주전력변환장치를 설치하고, 부수차(T)에는 판토티그래프, 보조전원장치, 제동 및 공압장치, 제어장치를 설치하게 된다.

4MIC 제어방식은 구동차 2량과 비구동차 1량을 1Unit로 추진 시스템을 구성하는 방식으로 M차에는 견인전동기, 주전력변환장치를 설치하고, T차에는 판토틀레프, 보조전원장치, 제동/공압장치, 제어장치를 설치한다.

- (1) 방식 : 전압형 단상 PWM 제어 CONVERTER 전압형 3상 PWM 제어 VVVF INVERTER
- (2) 정 격 : 입력전압 : AC 840V x 2 x 2군 (주변압기 2차 권선에서 공급)
- (3) 용량(컨버터): 제어용량 : 600Kw x 2
입력전압 : AC 840V (단상)
출력전압 : DC 1800V
제어방식: PWM제어,역율제어, 비트 레스 제어
용량(인버터): 제어용량 : 650Kw x 2
출력전압 : AC 0 ~ 1300V (단상)
제어방식: Vector 제어, Slip Side 제어
- (4) 장치구성 2 Converter, 1 Inverter, 4 Motor
- (5) 최대출력 1,520KVA 이상
- (6) 주전동기용 제어주파수 범위 0 ~ 200Hz
- (7) 사용소자 3300V - 1200A IGBT CONVERTER 1S - 2P - 4A - 2G (16EA) INVERTER 1S - 1P - 6A - 1G (6EA)
- (8) 제어전압 DC100V (70V~110V)
- (9) 중량 : 2.4 ton
- (10) 주요 기능
 - 옹하중제어, 공진활주제점착제어 및 Jerk 제어기능을 갖고 있다. 공진활주제점착 제어는 백터 제어에 의한 고속 응답성을 지닌다.
 - 고전압, 과전류 출력전류 불평형, 제어전압 저하등에 대한 보호기능을 갖도록 한다.
 - 회생제동 우선의 공기 BRAKE와 Blending 제어기능. 자기진단 기능은 있는 것으로 한다.

2.2 주변압기장치

주변압기는 가선으로부터 AC 25kV의 특고압 전력을 받아 이것을 적당한 전압으로 변화시켜 2차측에서 MAIN Converter/Inverter를 통하여 주전동기, 3차측은 SIV를 통하여 보조회로기기에 전력을 공급한다. 주변압기용 오일펌프 및 냉각송풍기의 전원으로는 보조전원 장치의 전원을 사용한다. 주회로 시스템이 2병 1직렬 (2P1S) 방식이고, M1 ~ M2차가 1개 유니트로 되기 때문에 주변압기는 2개 유니트의 컨버터에 전력을 공급한다. 주변압기의 2차측에는 PWM 방식의 컨버터가 접속된다. PWM 컨버터는 유도장해를 저감하기 위해, 2그룹/유니트로 위상차를 주어서 운전된다. 따라서 주변압기의 2차 권선은 2권선/유니트로 하였다. PWM 컨버터와 2차 권선 상호간은 간섭이 적어야 할 필요가 있다. 교류회생 제동 시에도 주변압기는 전류가 흐르므로, 열적으로 가혹한 사용이 된다. 이를 조건을 고려하여 냉각계통을 강화한 구조로 설계되어야 한다. 절연유는 난연성의 실리콘 오일을 사용하여 화재의 위험을 방지하고 있으며, 알루미늄계의 오일냉각기를 사용하여 경량화를 꾀하고 있다.

승차하중, 선로 조건 Unit Cutout의 운용상의 조건을 제외하고 주전동기 출력만으로 주변압기의 2차 권선 정격 용량을 구하였을 때는 다음 의 방법으로 계산한다. 주전동기 정격 용량을 정격 출력 250kw, 최대출력 270kw로 하여 그 입력 용량, 즉 VVVF Inverter 출력 용량은

주전동기의 효율을 정격시 0.91, 최대 출력시 0.90으로 하고, 역율을 0.85, Gear 효율을 0.95로 하면

$$VVVF\ Inverte\ 정격출력 = \frac{4 \times 250Kw}{0.95 \times 0.91 \times 0.85} = 1360[KVA]$$

$$VVVF\ Inverter\ 최대출력 = \frac{4 \times 270Kw}{0.95 \times 0.90 \times 0.85} = 1486[KVA]$$

VVVF Inverter의 효율을 0.97하고, PWM Converter의 출력용량을 구하면, PWM Converter 의 출력은 직류이므로 주전동기의 역율은 제외되기 때문에

$$VVVF\ Converter\ 정격출력 = \frac{1360 \times 0.85}{0.97} = 1191[Kw]$$

$$VVVF\ Converter\ 최대출력 = \frac{1486 \times 0.85}{0.97} = 1302[Kw]$$

단 VVVF Inverter, PWM Converter 의 제어오차는 포함하지 않는다.

(4) PWM Converter 의 효율을 0.95로 하고, 주변압기의 공차 권선 용량은 역율이 1.0이므로

$$정격출력시 = 1191[KW] \times \frac{1}{0.95} = 1253[KVA]$$

$$최대출력시 = 1302[KW] \times \frac{1}{0.95} = 1370[KVA]$$

로 하여 계산한다.

PWM Converter 제어 시스템일 경우 그 출력 전압을 제어하는 것이 가능하고, 2차 권선 전압의 변동은 보상되기 때문에 주변압기의 REACTANCE 분에 대한 전압 Regulation 은 용량계산에는 제외 할 수 있다.

3차권선 출력 용량은 260KVA SIV 에의 공급용이며, 6량 편성시 SIV는 2대 사용된다. 주변압기는 6량 편성시 2대이며, 차량의 탈팅제어시의 Peat 전압에 지장없이 전력을 공급하기 위해 주변압기의 용량에 충분한 여유율을 준비해 둘 필요가 있다. 따라서 260KVA SIV의 효율 및 여유율을 고려하여 340KVA로 한다.

1차권선 용량은 상기의 계산에서 주변압기의 1차 권선 용량은 1,191KVA + 340KVA = 1531KVA가 된다.

변압기 2차 출력 전압은 최대 가선전압 (27.5 KV)에서 PWM 컨버터 최대 변조율 이하로 제어해야 하며 본 검토에서 V_{AC} 는 회생조건에서 결정한다.

2.3 보조전원장치

보조전원장치는 차량의 승객 서비스에 주안을 둔 장치로 에어컨, 히터 등의 냉난방장치 부하, 형광등의 조명장치 부하와 제어장치 등에 전원을 공급하는 장치이다. 기존의 중량전철은 대도시 내의 왕복, 순환노선에 주로 사용되어 대량의 승객수송에 사용되었기 때문에 170 ~ 200KVA급의 용량을 갖는 보조전원장치가 주류를 이루고 있다. 또한 승객의 편의를 위한 장치이므로 추진용 인버터와는 달리 연속동작의 용량으로 설계되어야 하는 것이 차이라 할 수 있다. 중고속전철인 탈팅차량은 탈팅 제어장치의 용량을 감안하여 설계할 필요가 있다. 본 계산서는 탈팅차량의 시제차에 적용할 SIV의 전원 공급량이 운행시 소모되는 부하량을 공급하는데 이상이 없는가를 검토하는데 목적이 있다.

하절기의 부하 용량은 아래와 같이 계산된다.

- (1) AC 부하 (380V, 220V)

표1. TTX 차량 AC 부하표 (380V, 220V)

부하의 종류 (kVA)	Mp	M	T1	T2	M	Mp	사용 전압
주전동공기압축기 15kW, pf=0.85			7	7			380 VAC
냉방장치 16kWx2 pf=0.85	25	25	25	25	25	25	
실내등	.99	1.0 6	1.06	1.0 6	1.06	.99	
LINE FLOW FAN	.62	.62	.62	.62	.62	.62	220 VAC
행선 표시기 정면:125W,측면:125 Wx2 pf=0.95	0.4	.26	.26	.26	.26	0.4	
열차 번호 표시기 100W pf=0.95	0.1					0.1	
차내 자동 안내 표시기 200Wx4 pf=0.95 (200Wx2, pf=0.95)	0.84	0.8 4	0.84	0.8 4	0.84	0.84	
합 계	27.9 5	27. 78	34.7 8	34. 78	27.7 8	27.9 5	

(2) DC 부하 (100V)

표2. TTX 차량 DC 부하표 (DC 100V)

부하의 종류	Mp	M	T1	T2	M	Mp	사용 전압
DC 형광등 20W	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	DC 100V
운전실 비상등 20W	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
전조등 165W/55W	.44						
후미등 40W						.44	
DOOR CONTROL	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
제동장치 제어	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	
방출장치	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	
열차무선장치						.15	
ATS/ATP	.5					.5	
보조전원장치 제어기	.4					.4	
TCMS	.47	.2	.2	.2	.2	.47	
표시기 제어장치						.1	
견인장치 제어기		.75	.75	.75	.75		
INDIGATER LAMP	.26					.26	
배터리 충전기	1.68					1.68	
합 계	4.57	1.74	1.74	1.74	1.74	4.82	

(3) 총 부하량

부하의 종류	Mp	M	T1	T2	M	Mp	계
정상조전시	32.52	29.52	36.52	36.52	29.52	32.52	197.12

틸팅차량의 보조전원 장치의 정격용량은 260 (KVA) 이상이며, 전차 운용에 필요한 최대 소비 전력량은 197.12 (KVA)이다. 따라서 보조 전원 공급용 SIV는 전차의 보조 전원 소비 전력량에 충분한 여유율을 가지므로 충분한 정격 용량으로 선정 되었음을 확인 할 수 있다.

2.4 견인전동기장치

현재 차량 추진시스템에 사용되는 전동기의 형식은 전기 방식에 따라 직류전동기와 교류전동기로 대별하고 있으며, 최근 전력전자 기술의 발달에 힘입은 VVVF 인버터

제어시스템의 적용으로 가감속 제어성 및 승차감이 양호하고 전기제동시 큰 회생전력을 발생하여 운행에너지 절감할 수 있는 교류전동기가 주로 사용되고 있다. 교류전동기중에서도 3상 농형 유도전동기는 직류전동기에 비하여 정류자와 브러쉬가 없는 단순구조로서 유지·보수 측면에서 큰 장점을 가지며, 차량의 성능향상과 직결되는 소형·경량화, 고효율 및 저유지·보수 요구에 잘 부합되므로 현재 전동차의 추진제어장치에 널리 사용되고 있다. 정격용량은 전동기를 요구되는 사용조건으로 연속 사용했을 때 충족시켜야 되는 조건으로 주행계산을 통하여 설정될 수 있다. 주행계산은 설정된 인버터 및 견인전동기의 제어특성 및 용량이 요구되는 차량성능의 적합 여부 검토 및 노선특성에 적합한 정격용량을 결정하는 가장 중요한 요소로서 노선의 길이, 역사위치, 구배와 경사등의 선형을 종합적으로 검토하여 주행중의 소비전력 및 주행소요시간등의 조건을 검토하여 결정하며 국내 중고속 전철의 틸팅적용 노선에서는 표정속도를 60[km/h]~65[km/h]범위의 주행성능을 충족시킬 수 있는 견인전동기가 요구되는데 이상의 결과에서 알 수 있는 바와같이 정격출력 210[kW] 이상의 견인전동기가 필요하며 여유율과 구배 및 차량의 성능을 고려하여 250Kw 급으로 적용한다.

주요전장품에 대한 용량검토 결과를 토대로 TTX 차량용 주회로 시스템 설계를 완성하였다.

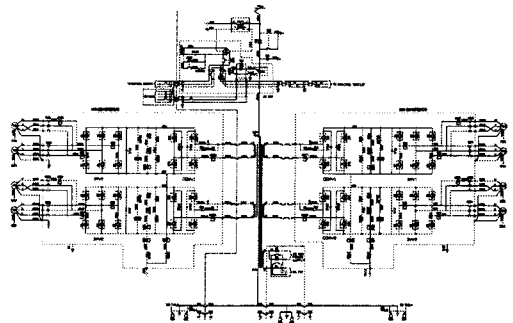


그림 2. TTX 차량 주회로 시스템도

3. 결론 및 향후연구계획

기존노선을 이용한 고속화 신기술 개발사업 과제를 수행하여 중장거리 및 도시간의 교통해소를 위해 중고속 철도차량을 개발하여 최고속도 180km/h의 속도로 운행할 수 있는 차량의 주요전장품의 주변압기, 주변환장치, 견인전동기, 보조전원장치의 설계를 기초로 하여 TTX 차량의 주회로 시스템을 연구하였다. 보다 안정적인 시스템으로 발전하기위해 계속연구하여야 한다.

참고문헌

- [1] 시스템통합 및 총괄, 철도기술연구원, 2003
- [2] 추진제어장치 실용기술개발, 우진산전, 2003
- [3] 호남선 전철화 타당성 조사 및 기본 계획, 한국철도기술연구원, 2001
- [4] 기존선 고속 틸팅 열차 차량 시스템 요구사항, 한국철도기술연구원, WBS No : 2100-D001 Rev.A