2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

TTX 차량 보조전원장치 시스템 설계에 관한 연구

*이수길, 한성호, 송용수, 한영재, °이은규, °이영호
한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단, °우진산전

The Study of Static Inverter System Design for TTX(Tilting Train eXpress)

Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Yong Soo Song, Young-Jae Han, °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 2유니트-6량으로 구성하였다. 각 유니트는 3량으로 독립된 추진 시스템을 설비하고 있다. 한편 확대편성은 3유니트-9량 및 4유니트-12량으로 구성된다.

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

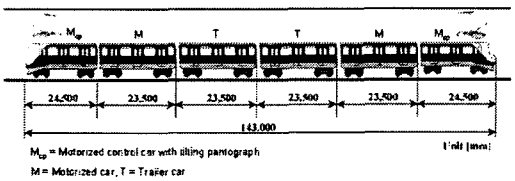

그림 1. TTX 차량 편성도

열차추진성능은 시스템 요구사항을 만족해야 하며, 최고운행속도 180km/h의 주행이 가능해야하고, 최고운행속도에서 0.07m/s2이상의 여유가속도를 확보해야 하며, 단 7‰이상의 오름 구배를 주행할 수 있어야 한다. 이를 위해 충분한 열차 추진력을 확보할 수 있는 견인전동기 성능을 갖출 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 : 제어구동차차 (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.

$$R(Kg) = A+B\times V+C\times V2$$
$$=2.5+0.0186\times V+\{(0.0269+0.0079(n-1))\times V2\}/W$$

여기서 A : 2.5, B=0.0186×V, C = {(0.0269+0.0079(n-1))×V2}/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 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 틸팅차량은 틸팅제어장치의 용량을 감안하여 설계할 필요가 있다. 본 계산서는 틸팅차량의 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	1.06	1.06	1.06	1.06	.99	220 VAC
LINE FLOW FAN	.62	.62	.62	.62	.62	.62	
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	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	
합 계	27.95	27.78	34.78	34.78	27.78	27.95	

(2) DC 부하 (100V)

표2. TTX 차량 DC 부하표 (DC 100V)

부하의 종류	Mp	M	T1	T2	M	Mp	사용전압
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	
방송장치	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
정상조건시	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.

2.2 보조전원장치 일반사양

2.2.1 보조전원장치 일반사양

(1) 방 식

IGBT 12상 전압형 인버터방식, 정류형 Battery 충전 방식 단상쵸퍼형 DC 전원 공급 방식

(2) 입력전압 AC 1580V, 단상

(3) 출력전압 AC 380V, 3상4선식, DC100 x 2

(4) 정격용량 260KVA, AC 380용량 210KVA, Battery Charger 20 Kw, DC전원공급장치 50KVA

(5) 부하 내량 100%연속, 200% 1분

(6) 출력의 종별 교류3상 교류단상 직류

- 정격전압 380Vac 220Vac 100Vdc
- 전압정도 +5~-10% +5~-10% +5~-10%
- 주 파 수 60Hz±1% 60Hz±1%
- 왜 율 5%이하

(7) 중 량 2700Kg

2.2.2 Filter Reactor & Filter Capacitor(FL, FC) 설계

FL과 FC는 가선전압에 대하여 필터의 기능을 담당하므로 DC필터로 정의한다. DC 필터는 다음과 같은 요구에 의하여 설계되어야 한다.

-가선 전압 파형의 평활화

-SIV내에서 발생하는 고조파의 가선으로의 유출을 방지

-가선 전압 파형의 평활화

직류가선에 포함된 전압 리플은 360Hz이며, FL과 FC로 LC필터를 구성 하여 입력 전압 리플을 평활화 하여야 한다. 설계 목표는 전압 리플을 필터를 이용해서 10%이하로 감소시킨다.

정수 - FL : 8mH FC : 3000μF

감쇄율

$$\text{감쇄율} = \left| \frac{1}{1-(\frac{f}{f_0})^2} \right| = 0.008 \ll 0.1$$

여기서, f : 가선전압의 리플 주파수

f0 : DC필터의 공진주파수 : 32.504Hz

따라서, 위의 정수로 필터를 구성하여야 한다.

2.2.3 Band Pass Filter

IGBT 인버터의 스위칭 동작에 의해 콤프레서 운전시 20Hz의 노이즈가 출력전압에 실리게 된다. 20Hz의 노이즈 성분은 객실 형광등의 후리커 현상을 유발하게 되므로 FL에 병렬로 L, C, R 필터를 설계하여야 한다. 따라서, 20Hz의 노이즈 성분을 필터를 사용하여 1Hz쪽으로 옮겨 후리커 현상을 억제하여야 한다.

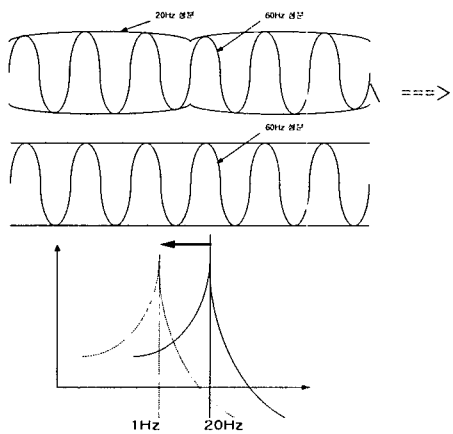

그림 2. Band Pass Filter 결과

- BPL (Band Pass Reactor)

방 식 : 건식

정격종류 : 연속정격

절연종별 : B종

냉각방식 : 자연냉각방식

인덕턴스 :150mH (전류가 5A일때 100mH이상)

정격전압 : 50±10V

회로전압 : 1500V

정격주파수 : 20Hz
중 량 : 4Kg

- BPC (Band Pass Capacitor)
  정격전압 : DC 1500V
  정격용량 : 250uF ±5%
- BPR (Band Pass Resistor)
  정격전력 : 40W
  정격저항 : 5.1Ω±5% 권선형(wind)

2.2.4 Inverter unit

Inverter unit는 보조전원장치의 핵심부분으로 전력변환이 이루어지는 장치이다. 구성품으로는 전력변환소자인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor), FC, 스너버 모듈 등과 busbar로 구성된다. PWM(Pulse Width Modulation : 펄스폭 변조)방식을 이용해 스위칭을 행한다. IGBT는 1700V 400A급 6개를 사용하였고, FC는 1500V 3000μF의 OIL 캐패시터를 이용하였으며, 스너버 모듈은 대용량에 적합한 저항과 캐패시터, 다이오드를 조합한 것을 사용하였다.

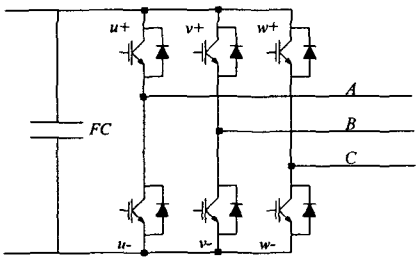

그림 3 인터터 유닛 구성도

3상 교류를 발생시키기 위한 기본적인 방법은 인버터의 암(Arm)을 구성하는 스위치를 180°씩 번갈아 도통시키는 것이다. 그러면 인버터의 출력 전압은 구형파가 된다. 그것들을 LC 필터를 통과시켜 정현파에 가깝게 출력을 만들어 내는 것이다. 그러나, 이 출력 파형에는 고조파를 많이 포함하고 있어 뒤에 연결되어 있는 변압기를 포화시키고 부하의 온도를 상승시키는 등의 나쁜 영향을 미친다. 그 악영향을 줄이기 위해서 본 시스템은 PWM(펄스 폭 변조)방식을 사용했다. PWM방식은 펄스의 폭을 변화시켜 출력전압의 크기를 변화시키는 방식으로서 고조파성분을 감소시켜 파형이 정현파에 가깝게 출력 파형을 만들 수 있다. 철도 차량용 전원은 CVCF의 전원이 요구되므로, 펄스의 수는 일정해야 하며, 입력 전압과 부하의 변화에 대해서 펄스의 폭(on-off 시간비율 : Duty ratio 변조율)을 변화시킨다. 그림4는 펄스 폭의 변화에 따른 출력전압의 기본파의 크기를 나타낸 것이다. 본 시스템에서는 4[㎑]의 스위칭 주파수를 사용하였다.

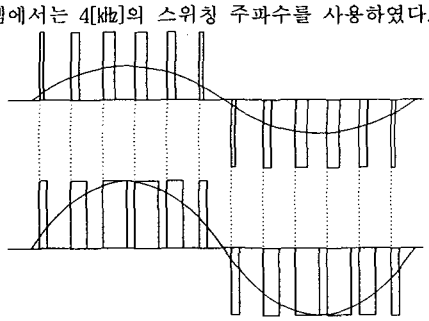

그림4 Pulse Width Modulation

IGBT의 on/off는 기본적으로 기준 파형(reference wave)과 캐리어 파형(carrier wave)의 비교로서 결정된다. 기준 파형으로는 정현파(sin wave)가 사용되고, 캐리어 파형으로는 삼각파(triangular wave), 변형된 삼각파(modified triangular wave), 사다리꼴파(trapezoidal wave) 등이 사용된다. 아래 그림은 정현파의 1주기에 대한 6주기의 삼각파의 비교동작을 보인다. 이 것은 가장 널리 쓰이는 PWM기법으로서, 캐리어 주파수를 높이면 정현파에 가까운 파형을 얻을 수 있으며 고조파도 줄일 수 있다. 정현파가 삼각파보다 큰 구간은 암의 위쪽 스위치인 U+가 ON(U- 는 OFF), 삼각파가 정현파보다 큰 구간은 아래쪽 스위치인 U-가 ON(U+ 는 OFF)동작을 행한다. 본 시스템에 사용된 정현파 기준치는 60.5[Hz]를 사용하여 신호기기들이 사용하는 주파수인 60[Hz]와 구별을 하여 서로의 간섭과 오동작을 방지하였다.

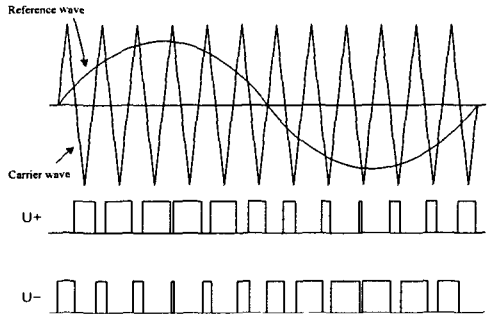

그림5 Bipolar PWM technique

그림 6은 최조 TTX 차량에 개발되는 SIV 도면을 나타낸 것이다. 틸팅전력을 위해 틸팅전력전용 밧데리 충전기를 포함한 것이다.

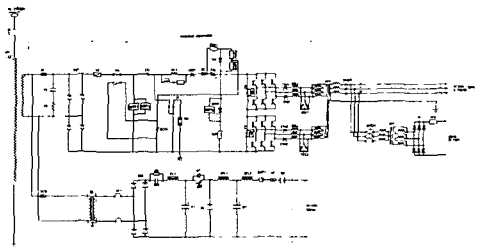

그림 6 보조전원장치 설계

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 보조전원장치설계를 연구하였다. 보조전원장치는 주전력시스템을 제외한 모든 차량전원을 담당하는 중요한 전장품으로 향후 제작 및 시험을 거쳐 안정된 시스템을 확보하여야 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