

틸팅전동차용 추진 및 제어시스템 설계에 관한 연구

*한성호, 이수길, 송용수, 이은규^o
한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단, ^o우진산전

The Study of Main Circuit and Control System Design for EMU Tilting Vechile

Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Yong-Soo Song, ^oEun-Kyu Lee
Korea Railroad Research Institute, ^oWoo-Jin Co. Ltd

Abstract -Tilting train has been developed to increase the operational speed of the trains on conventional lines which have many curves. This train are tilted at curves to compensate for unbalanced carbody centrifugal acceleration to a greater extent than compensation produced by the track cant, so that passengers do not feel centrifugal acceleration and thus trains can run at higher speed at curves. This paper show that results of normal capacity calculations of the electrical equipments such as Main transformer, PWM converter, VVVF inverter, traction motor in TTX(tilting train express) with maximum operation speed 180 km/h

1. 서 론

전기철도는 수송능력향상, 에너지이용효율의 증대, 수송원가의 절감, 환경친화적 개선, 지역의 균형발전 등의 많은 장점을 토대로 해외 철도선진국가인 프랑스, 독일, 일본 등을 중심으로 고속화, 경량화, 에너지절약 등을 목표로 하는 연구가 경쟁적으로 추진되고 있다. 본 연구는 전기철도의 고속화 방안으로 기존선로에서 열차의 주행 속도향상에 주요 문제점으로 대두되고 있는 곡선부 속도제한을 해결할 수 있는 180km/h급 틸팅전기차량(TTX: Titing Train Express) 개발에 관한 것이다. 틸팅열차기술은 열차가 곡선선로를 주행할 때 곡선 바깥으로 생기는 원심력을 곡선 안쪽으로 차체를 기울여 줌으로써 열차의 수직력을 증가시켜 원심력을 감쇄시키는 기술이다. 궁극적으로 열차의 탈선현상이나 승차감(승객들의 몸이 한 쪽으로 기울어지는 현상)을 개선하여 일반열차보다 고속(20-30% 속도향상)으로 편안한 열차여행을 할 수 있도록 하는 효과가 있다.

- 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 860mm 성능계산 820 mm(반마모)
- 6) 주행저항

주행저항을 신축하기 위하여 철도청 디젤동차 주행저항식을 차량 시스템 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

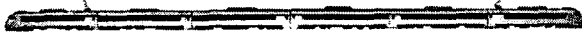
주행저항식은 개발되는 기존선 고속 틸팅열차의 추진 및 제동 시스템의 연구를 위하여 사용하여 연구를 수행하고 TTX 차량의 시제차를 제작하여 시운전 시험을 통하여 새로운 주행저항식이 정의될 것이다.

2. 본 론

2.1 틸팅차량 주회로 기술검토

주회로는 전차선으로부터 25kV 60Hz의 전압을 열차진행 방향으로 선두차, Mcp차 (역방향으로 진행시 후부차 Mcp차)의 판토그래프(Pan), 주회로 차단기(VCB)를 거쳐 편성열차의 Mcp차의 주변압기(MTr) 1차 권선에 공급된다. 추진장치의 제어를 위해 1차 변성기(HVT)와 변류기(PCT)가 1차 전압과 전류를 측정한다. 각각의 주변압기 2차 권선에서 강압된 전압은 구동차 유니트 Mcp, M차의 주변환장치로 공급된다.

● 틸팅 차량 시제차(6량 편성)



● 틸팅 차량 제어구동차(Mcp)



● 틸팅 차량 부수차(T)

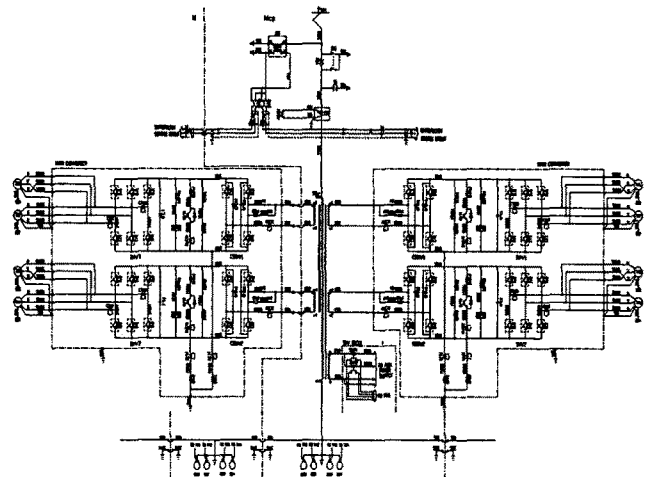


열차편성(기본편성)	6량 차량 GAR : Mcp-M-T-T-M-Mcp
열차편성 정보	Mcp : 판토그래프를 가진 제어구동차 (판토그래프 / 1동축 객실(31 좌석)) M : 동차 / 구동모터 / 2동축 객실(60 좌석) T : 부수차 / 경량화를 위한 설비 승무원실 / 2동축 객실(62 좌석)
총좌석(기본편성)	306 좌석
최대운행속도 (최고속도계속도)	180km/h (200km/h)
차량형식	EMU(동력분산식)
무게	344톤(한차, 일반차량)

<그림 1> TTX 차량 편성구성도

현재 기존선 고속 틸팅열차(TTX : Tilting Train eXpress EMU for Conventional Railroad)의 시제편성은 4M 2T, 6량으로 그림 1과 같이 구성하였다. Mcp 차량은 동력차 및 선두 차량제어와 판토그래프로 구성된 차량이며, M 차량은 동력차이며 T 차량은 객차이다. 열차추진성능은 최고운행속도 180km/h의 주행이 가능해야하고, 최고운행속도에서 0.07m/s²이상의 여유가속도를 확보해야 하며, 7%이상의 오름 구배를 주행할 수 있어야 한다.

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



<그림 2> TTX 차량 주회로 시스템 구성도

주변압기 2차 권선의 교류전압은 주변환장치의 2조 PWM 컨버터

(CONV1, CONV2)에 의해 정전압으로 변환되고, 정류된 직류전압은 각각의 VVVF 인버터(INV1, INV2)에 공급된다. 전위 및 후위 대차에 장착된 2대의 견인전동기(TM)는 VVVF 인버터에 의해 제어된다. (1조 VVVF 인버터 → 2대 견인전동기 제어) 따라서 각 구동차의 주변압장치는 각 2조의 PWM 컨버터와 VVVF 인버터로 구성이 되며, 주 전력소자는 IGBT를 사용한다. 그림2는 TTX차량 주회로 시스템구성을 나타낸 것이다.

2.2 주요 장치별 용량기술점도

1) 추진제어장치

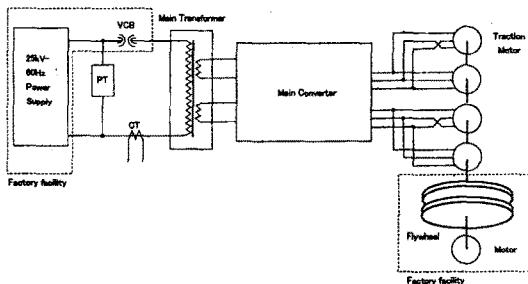
현재 운영되고 있는 추진 시스템의 제어 방식은 1MIC 방식, 2MIC 방식, 4MIC 방식 등 다양하나 TTX에서는 2MIC 방식을 선정하였다. 다음 표 1은 추진제어장치의 주요 사양을 요약한 것이다.

〈표 1〉 추진제어장치 주요사양

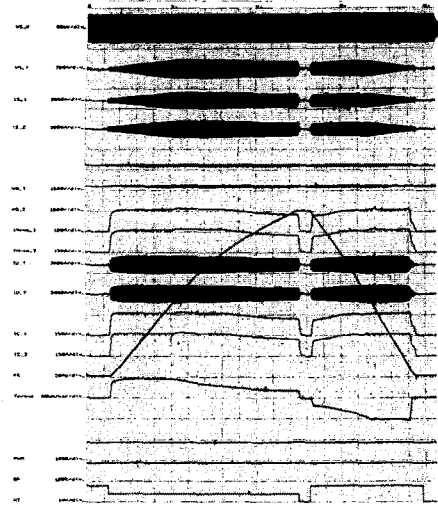
구분	주요 사양
가선전압	AC 25kV, 60Hz(20.0kV ~ 27.5kV)
입력전압	AC 1040V, 60Hz ■ 2회로
정격출력	1000kW/ Mcar(250kW ■ 4 T/M)
최대속도	200km/h (운행속도 180km/h)
가속도	1.8km/h/s (가선 25KV에서 80km/h 속도까지)
감속도	평균감속도 - 180Km/h 속도에서 1400m이내 정차 상감속도 - 3.6Km/h/s
주회로	PWM CONVERTER + VVVF INVERTER for 2T/M CONTROL x 2그룹
전기방식	CONVERTER부 : 단상전압형 PWM CONVERTER(Dual Converter 사용) INVERTER부 : 3상전압형 PWM INVERTER
주회로소자	CONVERTER부 : IGBT 3300V-1200A (2병렬, 4 arms, 2 groups) INVERTER부 : IGBT 3300V-1200A (6 arms, 2 rroups)
냉각방식	CONVERTER부/INVERTER부 : 자연냉각 방식

추진제어장치의 주요기능은 다음과 같다.

- 옹하중제어, 공전활주제점착제어 및 Jerk 제어기능을 갖고 있다. 공전활주 제점착 제어는 벡터 제어에 의한 고속 응답성을 지닌다.
- 고전압, 과전류 출력전류 불평형, 제어전압 저하등에 대한 보호 기능을 갖도록 한다.
- 회생제동 우선의 공기 BRAKE와 Blending 제어기능, 자기진단 기능은 있는 것으로 한다.



〈그림 3〉 추진제어 조합시험설비 블록도



〈그림 4〉 추진제어조합시험 결과 데이터

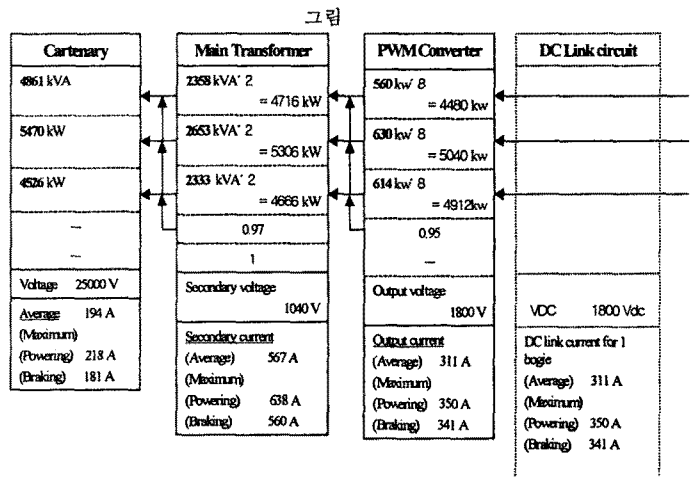
그림 3은 틸팅차량용 주전력변환장치의 조합시험설비 블록도이다.

2) 주변압기장치

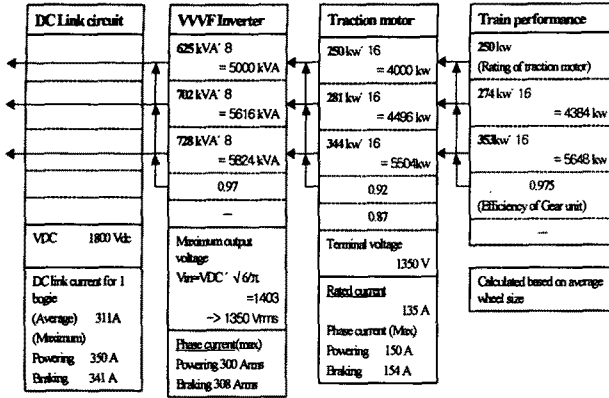
주변압기는 가선으로부터 AC 25kV의 특고압 전력을 받아 이것을 적당한 전압으로 변화시켜 2차측에서 MAIN Converter/Inverter를 통하여 추진동기, 3차측은 SIV를 통하여 보조회로기기에 전력을 공급한다. 주변압기용 오일펌프 및 냉각송풍기의 전원으로는 보조전원 장치의 전원을 사용한다. 그림 3과 그림 4에 주변압기 용량계산을 위한 기술검토내용을 나타내었다. 주회로 시스템이 2병 1직렬(2P1S) 방식이고, M1 - M2차가 1개 유니트로 되기 때문에 주변압기는 2개 유니트의 컨버터에 전력을 공급한다. 주변압기의 2차측에는 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. 이들 조건을 고려하여 냉각계통을 강화한 구조로 설계되어야 한다. 절연유는 난연성의 실리콘 오일을 사용하여 화재의 위험을 방지하고 있으며, 알루미늄제의 오일냉각기를 사용하여 경량화를 꾀하고 있다.

승차하중, 선로 조건 Unit Cutout의 운용상의 조건을 제외하고 주전동기 출력만으로 주변압기의 2차 권선 정격 용량을 구하였을 때는 다음의 방법으로 계산한다.



〈그림 5-1〉 전차선으로부터 PWM컨버터 까지의 용량선정 흐름도



〈그림 5-2〉 PWM컨버터에서 견인전동기까지의 용량선정 흐름도



〈그림 6〉 완성된 주변압기

3) 보조전원장치

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. 틸팅차량의 시제차에 적용할 SIV의 전원 공급량은 운행시 소모되는 부하량을 계산하여 적용하며 TTX의 전체 부하량은 표2와 같다.

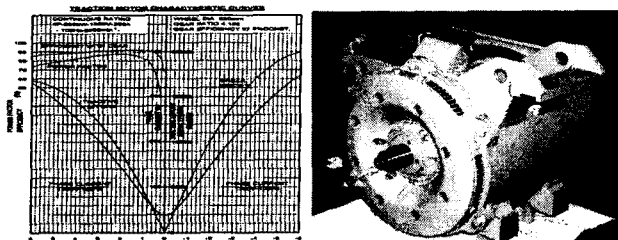
〈표 2〉 TTX 차량의 전체 총 부하량

부하의 종류	Mp	M	T1	T2	M	Mp	계
정상조건시	32.5	29.5	36.5	36.5	29.5	32.5	197

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

4) 견인전동기

국내 중고속 전철의 틸팅적용 노선에서는 표정속도를 60[km/h]~65[km/h]범위의 주행성능을 충족시킬 수 있는 견인전동기가 요구되는 바 이상의 결과에서 알 수 있는 바와같이 정격출력 210[kW] 이상의 견인전동기가 필요하며 여유율과 구매 및 차량의 성능을 고려하여 250Kw 급으로 적용한다.



〈그림 7〉 견인전동기 특성곡선 및 시작품

주행계산은 설정된 인버터 및 견인전동기의 제어특성 및 용량이 요구

되는 차량성능의 적합여부 검토 및 노선특성에 적합한 정격용량을 결정하는 가장 중요한 요소로서 노선의 길이, 역사위치, 구매와 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 요구되는바 이상의 결과에서 알 수 있는 바와같이 정격출력 210[kW] 이상의 견인전동기가 필요하며 여유율과 구매 및 차량의 성능을 고려하여 250Kw 급으로 적용한다.

〈표 3〉 견인전동기의 주요사양

구분	주요 사양
형식	3상 유도형전동기, 대차장가방식
극수	4극
냉각방식	자기 동풍방식
정격출력	250kW, 1350V, 130A, 2955 rpm, 100Hz 1.4% 슬립
절연등급	H중 이상
절연내력	5400V
최대속도	5627rpm (200km/h with 780mm wheel)
초과속도시험	6755 rpm
차륜직경	860mm(new), 820mm(at 성능계산시) 780mm(at fully worn condition)
치차비	91/22 (4.136)

3. 결 론

기존노선의 속도향상을 위한 최고운행속도 180km/h급 틸팅열차의 차량전기시스템 중 주요 전장품인 주변압기, 주변환장치, 견인전동기, 보조전원장치의 사양결정을 위한 용량선정 기술검토를 수행하였다. 틸팅차량의 차량 단면, 구체 및 차량설비 설계기술과 연계하여 시스템 성능을 확보하기위한 기술검토이며, 이를 기반으로 실제 차량제작을 위한 상세설계에 활용할 수 있는 실무적인 데이터를 생성하기 위함이다. 향후, 국내 중고속 전동차의 실용화 및 표준화 모델 제시 활용될 것이며 중고속 전기차량의 추진성능 및 보조전원설비를 안정적으로 운용할 수 있는 시스템기술을 확보하는데 의미가 있다고 할 수 있겠다. 그리고 관련된 시스템에 대한 시험을 통해 성능을 검증하였으며, 이것을 실제 TTX 차량에 취부하여 차량 주회로 시스템 안정성을 확보하여야 할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

1. 2차년도 시스템통합 및 총괄 보고서, 철도기술연구원, 2003
2. 2차년도 추진제어장치 실용기술개발 보고서, 우진산전, 2003
3. 호남선 전철화 타당성 조사 및 기본 계획, 한국철도기술연구원, 2001
4. 기존선 고속틸팅열차 차량시스템 요구사항, 한국철도기술연구원, WBS No : 2100-D001 Rev.A