TCMS에 의한 전동차 추진/제동 제어기술의 현차시험 결과고찰

A Study for Running Test Result of Train Powering/Braking Control by TCMS

박 성호*, 한 정수**, 신 광균***, 박 계서****,
PARK, SUNG-HO HAN, JEONG-SOO SHIN, KWANG-KYUN, PARK, GYE-SEO

ABSTRACT

TCMS(Train Control & Management System) control, monitor and test the main on-board equipments including propulsion/brake unit by the serial transmission line. TCMS reduces interface circuits and number of train lines by the software logic and utilizing serial communication method.

This paper describes the method of powering and braking control by TCMS software logic, and the software logic is verified by running test at Seoul Subway Line# 6. By running test result, we can see TCMS successfully control Powering/Braking of train

1. 서 론

최근 국내외 대/중소 도시에서 통근형으로 적용 및 운행되고 있는 전동차는 VVVF(가변전압, 가변 주파수)제어방식의 추진장치와 제동장치가 자동제어장치(ATC)/자동운전장치(ATO) 등과 연계하여 운영되는 방식을 취하고 있다. 이와 같이 컴퓨터화된 개별 시스템을 효율적으로 통합하여 제어 및 감시하기 위하여 종합제어 관리 시스템이 요구되며, 향후 도입 예정인 국내외 전동차에서도 각종 전장품의 상태를 실시간 감시하여 이를 바탕으로 개별 전장품의 최적화된 동작을 위한 제어명령을 지령하며 검수시, 모든 전장품의 통합 시험/검사기능을 수행기 위하여 종합제어 관리장치(TCMS:Train Control and Management System)를 요구하고 있다. 본 논문에서는 해외 기술제휴 없이 TCMS의 설계, 제작에 이르는 전공정을 독자적으로 개발 완료후 서울시

* 한국철도차량(주) 중앙연구소 선임연구원, 비회원
** 한국철도차량(주) 중앙연구소 선임연구원, 정회원
*** 한국철도차량(주) 중앙연구소 주임연구원, 비회원
**** 한국철도차량(주) 중앙연구소 수석연구원, 정회원

6호선 전동차에 탑재 한국철도차량 창원공장 및 서울시 6호선 본구간에서 시험하여 SOFTWARE LOGIC 및 직열통신(SERIAL COMMUNICATION)방식을 사용한 TCMS장치의 추진/제동제어 기법에 대한 타당성 및 안전성을 검증하였다.

2. TCMS에 의한 추진/제동 제어기법

본 논문에서는 TCMS에 의한 추진/제동 제어를 서울시 6호선 전동차(8량 1편성, 편성구조: TC1-M1-M2-T1-T2-M1-M2-TC2)를 대상으로 구현하여 현차시험을 수행하였다. TCMS와 제동장치, 추진장치(VVVF INVERTER)는 그림 1과 같이 직열통신으로 연결되며 ATO장치에 의한 자동운전 및 1 핸들 TYPE의 주간제어기(MASTER CONTROLLER)를 이용한 운전자의 수동운전도 가능한 구조이다. 이러한 구조에서 TCMS장치는 추진제어시 열차의 운전방향 정보 및 추진NOTCH 정보를 ATO장치 혹은 주간제어기로부터 입력받아 속도에 따른 추진력을 계산, 이를 열차상태에 따라 직열통신을 통해 추진장치로 전송한다. 제동제어시에는 제동 NOTCH 정보를 입력받아 열차의 상태에 따른 총 요구 제동력을 계산, 속도에 따라 최대 회생제동력을 추진장치로 전송하고 그 부족분 및 추진장치에서 귀환된 실제 회생제동력으로 인한 부족분을 M차 및 T차의 제동장치로 전달하여 공기 제동을 체결, 항상 일정한 제동력을 얻도록 제어한다. 이때, 안전성을 위해 보안제동(SB) 및 비상제동(EB PB 또는 ATC EB)은 기존 방식과 같이 별도의 HARDWIRE로 구성한다.

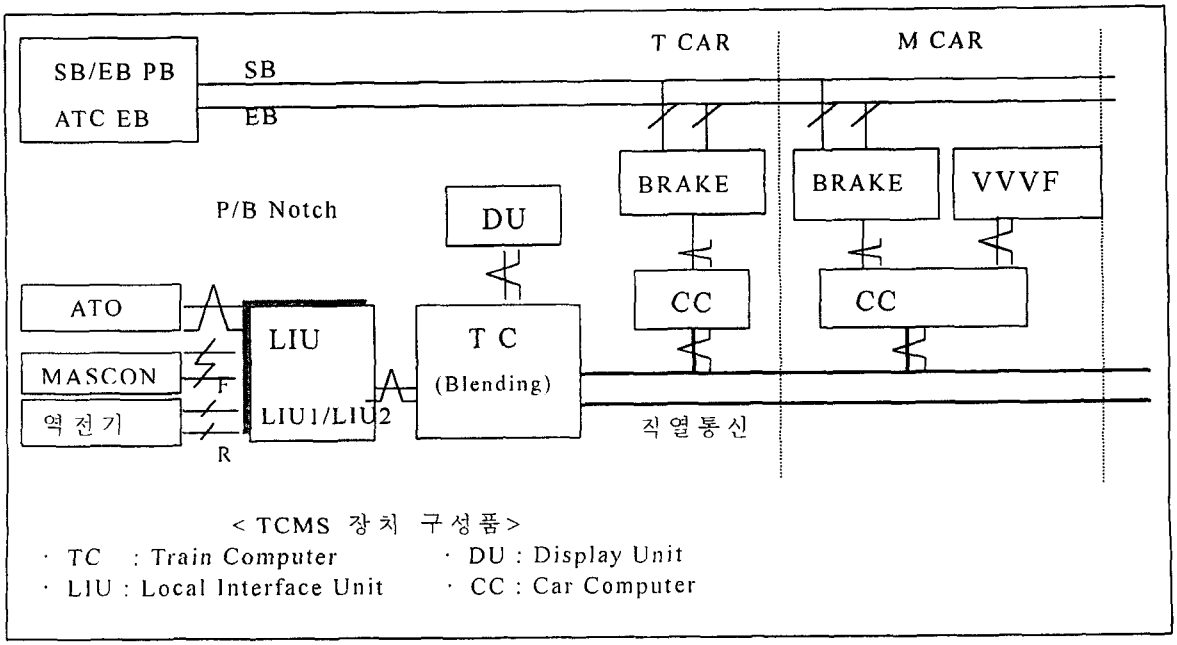

그림 1. TCMS에 의한 추진/제동제어방식 구성도

2.1 추진제어 기법

본 TCMS 에서 사용된 추진제어 기법은 열차운전모드에 따른 추진력 기준값(%)을 선택한후, 먼저 전동차의 추진 차단조건을 검색하여 차단조건이 없는 경우에는 추진력 기준값(P0.5, P1 ~ P4)을, 차단조건 발생시에는 0 값을 속도에 따른 추진력 계산 LOGIC(VELOCITY ADAPTATION)으로 전달하도록 한다. 속도에 따른 추진력 PATTERN(TEv)은 견인전동기 특성에 따라 결정되며, 본 TCMS 에서는 40Km/h 까지는 일정 가속도를 유지하는 6 호선 특성곡선[2]을 사용하였다. 6 호선 전동차의 최대 요구 추진력(TE max) 및 추진력 출력(TE1)은 다음과 같이 구한다.

TE max = (만차 제동중량 x 최대요구 가속도)+ (속도 40Km/h 의 주행저항) [2]

= 456.4 x 0.83 + 19.024 = 397.80 KN ---- (식 1)

TE1 = TE v x TE s(%) ---- (식 2)

다음 단계로 전동차의 승객무게에 상관없이 일정 가속도를 얻기 위하여 MT 쌍에 대한 응하중 제어를 수행한다. 제동중량 %는 (공차 제동중량/만차 제동중량)의 비로서, 제동장치로부터 얻은 승객하중에 따라 이에 비례한 추진력 값(TE2)을 얻는다.

TE2 = TE w x TE1 ---(식 3)

이와 같이 계산된 추진력은 직열통신을 통하여 전동차의 추진방향(전진/후진) 정보와 함께 VVVF 인버터로 전송한다.

2.2 제동제어 기법

본 TCMS 에서 사용한 제동제어 절차는 추진제어시와 같이 열차감시 LOGIC 를 통하여 제동력 기준값을 구하며, 비상제동 및 보안 제동시는 VVVF 인버터에 의한 회생 제동력값을 0 로 한다.

제동력 최대 기준값(BE s:100%)에 따른 MT 쌍에 대한 최대 요구제동력 및 MASCON NOTCH 에 대한 요구 제동력(BEdem)은 다음과 같다.

BE max = 만차 제동중량 x 최대 요구 감속도

= 456.368 x 0.97 = 442.67 KN ---(식 4-1)

$BE_{(MT\ PAIR)}$ = BE max / 4 = 110.9 KN ---(식 4-2)

BE dem = $BE_{(MT\ PAIR)}$ x BE s(%) ---(식 4-3)

승객하중에 따른 응하중 제어에 의하여 요구 제동력(BE1)은 다음과 같이 계산된다.

BE1 = BE dem x BE w ----(식 5)

속도에 따른 전기 제동력 PATTERN(DBEv)은 견인전동기 특성에 따라 결정되며, 본 TCMS 에서는 60Km/h 에서 최대 회생력을 내고 속도가 15km/h 이하로 떨어질때 회생력이 급격히 감소하는 6 호선 특성곡선[2] 과 국내에서 일반적으로 적용하는 16%의 점착계수를 사용하였으며, 계산된 전기제동력은 직열통신을 통하여 VVVF 인버터로 전송한다. 이때, 일정한 요구 감속도를 얻기위해 필요한 공기제동력을 계산, 전기/

공기 제동 BLENDING 제어를 수행하며 공기제동 우선순위에 따라 제동제어장치로 전달하여 공기제동력을 제어한다.

3. 현차 시험 및 결과 고찰

3.1 현차시험 환경

현차시험은 한국철도차량 창원공장 시운전 선로 및 서울시 지하철 6 호선 본선구간에서 시행하였으며 6 호선 본선구간은 현재 3 개 구간으로 구분, 제 1 구간은 봉화산에서 상월곡, 제 2 구간은 월곡에서 공덕, 제 3 구간은 대흥에서 독바위까지로 현재 제 1 구간은 영업 운전중이며 2, 3 구간은 시운전중이다. 본선구간에서의 현차시험은 제 1, 2 구간에서 시행하였으며 구간내 지상신호설비, 변전, 통신설비는 완비된 상태로 현차시험 기간중 제 1 구간은 영업시운전 구간으로 설정되어 구간내에서 운영되는 전동차는 영업운전시와 동일한 시격으로 운행되었다. 열차의 운행은 시험을 위하여 수동운전과 자동운전을 병행하여 진행하였으며 만차상태 조성을 위해 각 차량당 20Ton 상당의 물탱크를 적재후 만차시험을 수행하였다.

3.2 추진/제동시험

추진/제동시험은 만차 및 공차 조건에서 수행하여 정상적인 추진력 및 제동력(Blending 제어)을 TCMS 가 출력하는지를 확인하였다. 그림 1, 3 은 공차시, 그림 2, 4 는 만차시의 시험결과를 나타낸다.

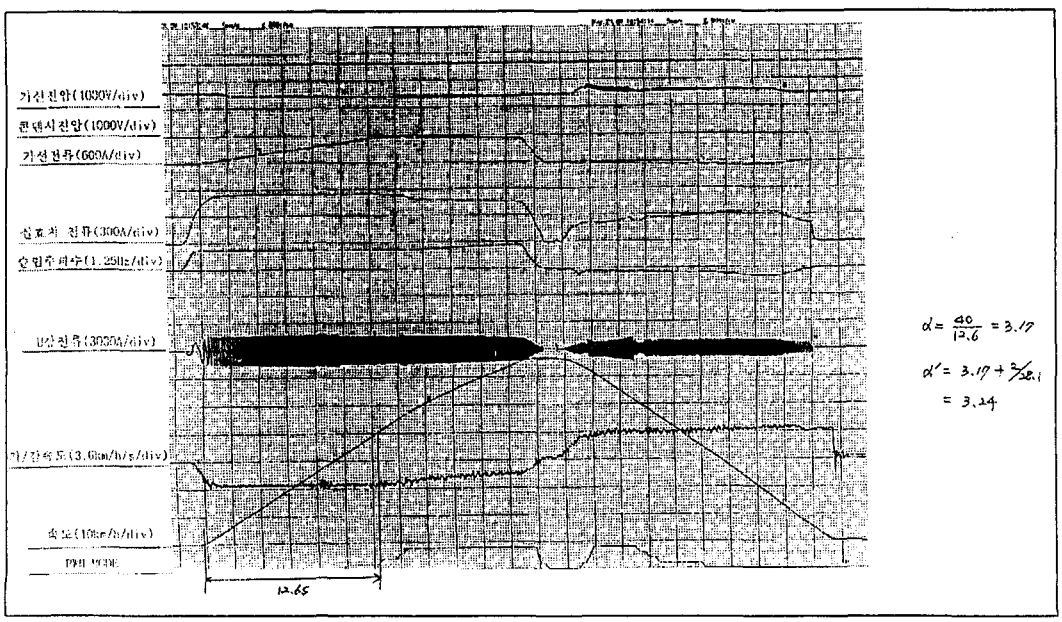

그림 1. 추진력/제동력 제어시험
(공차, TC1M1, INV 출력)

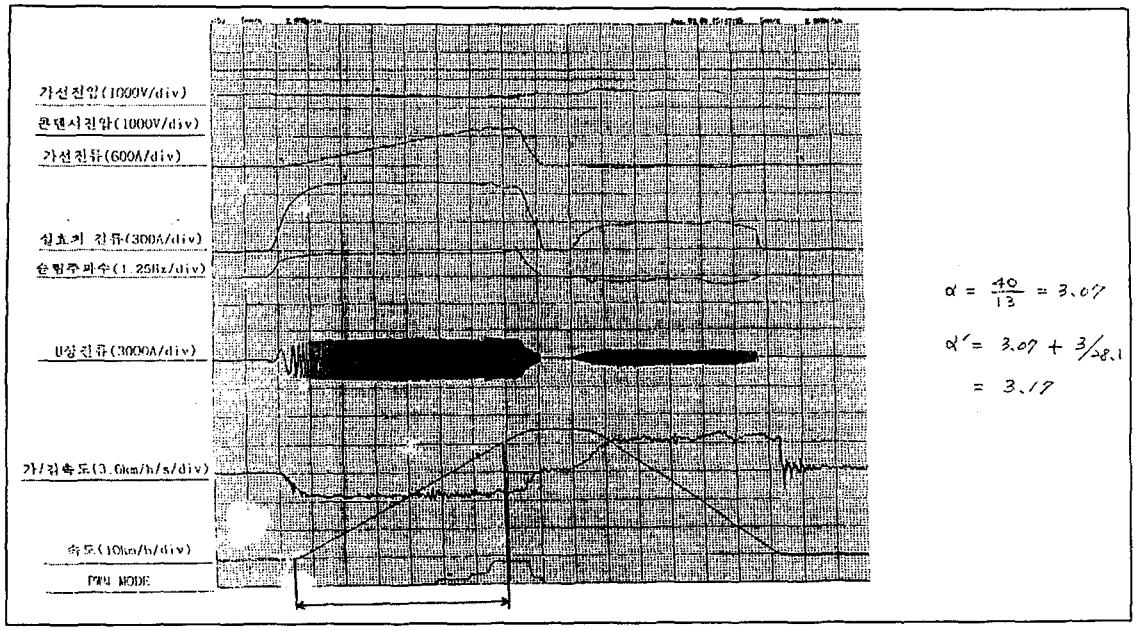

그림 2. 추진력/제동력 제어시험
(만차, TC1M1, INV 출력)

그림 1, 2 는 인버터 측에서 출력한 그래프이며, 그림 3,4 는 TCMS 장치의 시운전 데이터 출력기능을 사용하여 출력한 그래프이다. 그림 1,2 는 가속도시험으로 서울시 6 호선 태능<->화랑대 구간에서 수동운전모드로 운전자가 주간제어기를 이용하여 N->P4->N->B7->0 KM/H 의 PATTERN 으로 시험한 파형으로, TCMS 는 주간제어기 입력(P4)에 해당하는 추진력을 공차 및 만차 하중조건에 따라 응하중제어된 해당 추진력을 VVVF INVERTER 장치로 전달, 하중조건에 관계없이 요구되는 가속도(3.0 KM/H/S 이상)가 나오도록 제어됨을 보여주고 있다. 본 시험에서 공차 가속도는 구배보상시 3.24 KM/H/S, 만차 가속도는 구배보상시 3.17KM/H/S 를 얻을 수 있었다.

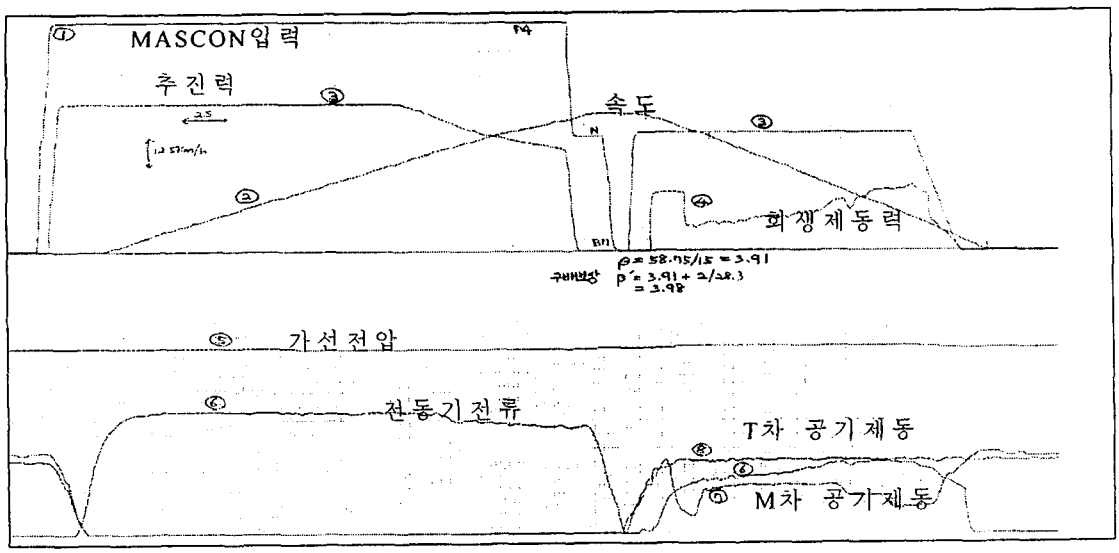

그림 3. 추진력/제동력 제어시험
(공차, TC1M1, TCMS 출력)

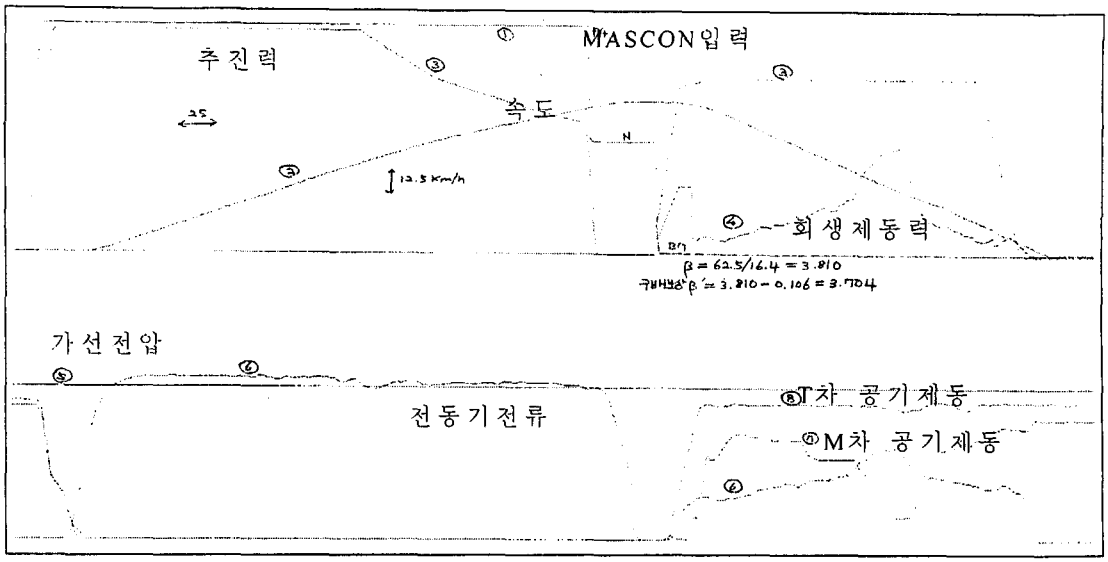

그림 4. 추진력/제동력 제어시험
(만차, TC1M1, TCMS 출력)

그림 3, 4 는 TCMS 측에서 출력한 제동제어 그래프로 그림 3 은 공차상태로 태능<->화랑대간(구배: 3%) 구간에서 주행 PATTERN 을 출력한 것이며, 그림 4 는 만차상태로 청구<->약수(구배 : 3%)구간에서의 주행 PATTERN 을 출력한 그래프로서 제동시 감속율이 구배보상하여 각각 3.98 과 3.704 KM/H/S 이다. 그림 3, 4 의 추진력/회생제동력 및 M/T 차의 공기제동력 비교를 통해 공기제동장치에서 직렬통신을 통해 전달받은 하중값에 따라 TCMS 장치에서 응하중 제어를 수행하여 하중에 따른 추진력과 제동력을 추진장치 및 제동장치로 정확히 전송함을 볼수 있다. 또한, 제동시 회생제동력과 M/T 차의 공기제동 그래프를 통해 TCMS 장치에 의한 전공 Blending 의 진행 형태를 볼수있다. 총요구제동력을 회생제동력으로 충족시키지 못할 경우 T 차 우선으로 공기제동이 체결되고 그래도 부족한 경우 M 차의 공기제동이 체결된다.

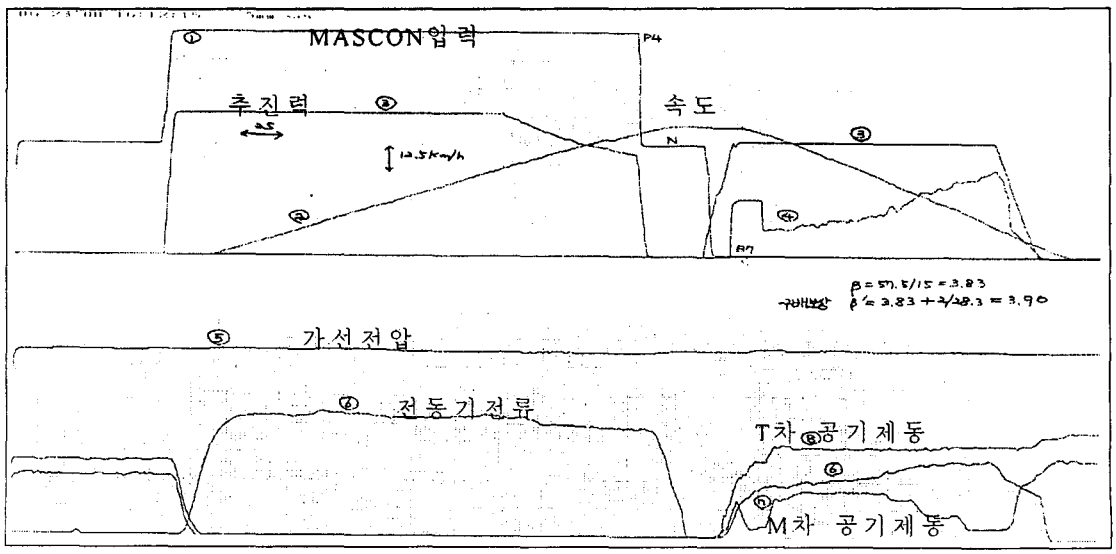

그림 5. 제동장치 1 CUT 시험
(공차, TC1M1)

만약 편성중 한 량(T1 차)의 제동장치가 고장시, TCMS 는 요구제동력에 대한 부족분을 정상인 전차량으로 균등하게(고장인 T1 차에 해당하는 제동 % (BP:11.2%)를 나머지 3 개의 MT 쌍에 33%씩 더해서 전달) 나누어서 제동력을 제어함으로써, 열차전체에 대하여서는 일정한 요구제동력을 얻도록 하였으며 이와 같은 제동보상에 대한 시험결과를 그림 5 에서 보여준다. 그림 5 는 태능<->화랑대간의 주행시 출력 그래프로서 제동시 T 차(TC1 차) 및 M 차(M1 차)의 공기 제동력을 그림 3(공차상태 태능<->화랑대)과 비교하여 보면 요구제동력에 대한 부족분이 정상인 차량에 보상됨을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 자체 개발한 TCMS장치의 핵심기능인 추진/제동 제어방법에 대하여 기술하고, 현차시험을 통하여 제어방식에 대한 타당성을 검증하였다. 현차시험을 통하여 제어 PARAMETER의 TUNNING 및 제어시간 조정 등의 과정을 거쳤으며 이 같은 과정을 통해 수요자의 요구에 즉각적으로 부합하며, 각기 다른 특성을 갖고있는 추진장치 및 제동장치을 조합하여 운용할 수 있는 기법을 획득하였다.

참고문헌

1.현대정공(1997), 서울시 6호선 제동력 계산서
2.현대정공(1997), 서울시 6호선 열차성능(견인력 및 제동력 계산)
3.한정수(1999), "TCMS에 의한 전동차 추진/제동 제어기법", 한국철도공학회