

# 한국형 고속전철의 추진 및 제어 시스템 개발에 관한 연구

## A Study for the development of a propulsion and control system about Korean High Speed Train

임성근\*\*\*                      전성현\*\*\*                      김현철\*\*                      박광복\*  
IM, Sung-Goun                      Jeon, Sung-Hyun                      KIM Hyun-Cheol                      PARK, Kwang-Bok

---

### ABSTRACT

The study was carried out about the development of the propulsion and the control systems for Korean High Speed Train. The propulsion system was studied to run the maximum operating speed of 350km/h. The capacity of the main equipments is decided for the train to run the maximum operating speed of 350km/h with one lake of 2 power cars, 4 motorized trailers and 14 intermediate trailers. The control system was studied to two parts the supply and the control of high and low voltages used at train. The performance study of control system would be continued for interface with other systems.

---

#### 1. 서론

고속열차의 추진 및 제어시스템은 열차의 많은 시스템 중에서 가장 중요한 역할을 담당하며, 열차의 성능에 직접적으로 관계가 있다. 특히 높은 안전성과 신뢰성을 갖고 있어야 한다. 한국형 고속전철은 20량 편성이 기본 편성이고, 시제편성은 7량 편성으로 구성되어있다. 추진 분야는 350km/h의 최고운행속도로 운행할 수 있도록 개발되는 G7 고속전철 연구를 통하여 동력을 결정하였다. 본 논문에서는 지금까지 연구한 결과로 결정된 열차 동력 및 보조 장치 부하를 토대로한 각종 장치의 용량을 제시한다.

열차 제어의 목적은 각 장치와 제어 인터페이스를 구성하여 열차에서 요구되는 각 시스템의 기능을 검토, 분석하여 관련된 개발 과제와 시스템 제어 기능을 설정하고, 인터페이스를 고려하여 전기 회로를 설계할 때 기준이 될 수 있도록 설계하는 것이다. 열차 제어 분야는 운전실 제어, 열

---

\* 대우중공업(주) 철도차량기술연구소 수석연구원 정회원

\*\* 대우중공업(주) 철도차량기술연구소 선임연구원 비회원

\*\*\* 대우중공업(주) 철도차량기술연구소 주임연구원 비회원

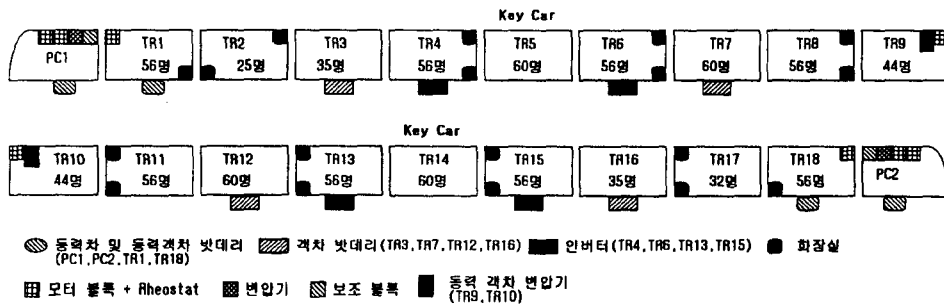
차 운행 제어, 승객 서비스 제어 그리고 전원 공급 제어(HV 및 LV 전원)로 크게 분류된다.

따라서 본 연구에서는 350km/h 최고 주행속도에 만족되는 추진시스템을 설계하고자, 추진 시스템은 20 량 편성을 기본으로하여 열차 편성도를 구성하고, 추진 시스템 구성 및 장치의 용량을 검토하였다. 하지만 제어 시스템은 시제차 5 량 편성을 기본으로 하여 4 가지 분야중에 전원 공급 관련 분야에 대하여 고속전철 시스템 요구사항에 의거하여 면밀히 검토하고자 한다.

## 2. 추진 시스템 설계

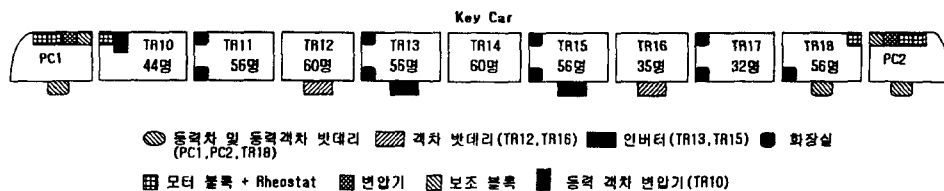
### 2.1. 열차 편성 블록다이어그램

열차의 편성은 아래의 그림 1.과 그림 2.에서와 같이 필요에 따라 20 량 및 11 량편성으로 운행 가능하도록 설계 되었다. 이 열차 시스템을 KHST 라 칭하기로 하고 20 량 편성은 KHST-20, 11 량 편성은 KHST-11 로 한다



방송 장치, 승무원실 : TR2, TR17      장애자 화장실 : TR2    배전반 : 모든 객차

그림 1. 20 량 열차 기본 편성(승객 : 893 명)



방송 장치, 승무원실 : TR17    배전반 : 모든 객차

그림 2. 11 량 열차 편성(승객 : 451 명)

열차의 20 량 편성에서 동력 객차는 TR1, TR9, TR10, TR18 에 4 량이 들어 가는데 중앙에 위치한 TR9 와 TR10 은 집전위치로부터 거리가 멀어서 25KV 로 전력이 공급되고 자체 변압기가 새로이 설치 된다. TR1 과 TR18 은 동력차의 변압기를 통하여 전력이 공급된다.

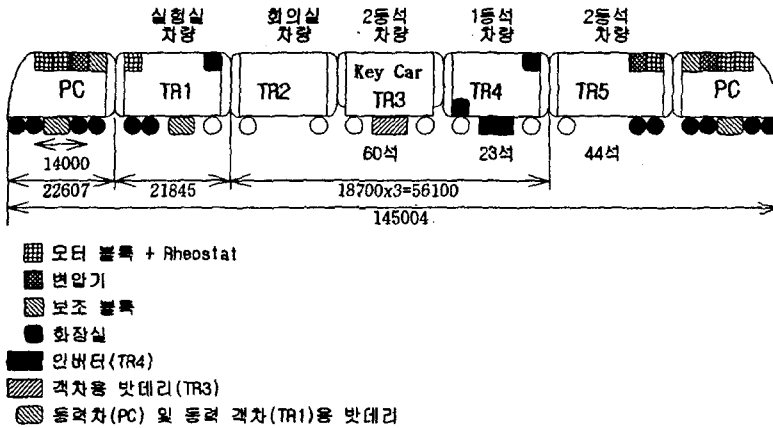


그림 3. 시제차 편성

시제차 편성은 그림 3 과 같이 7 량으로 구성이 되며 TR1 은 동력차의 변압기로 부터 전력을 공급 받고 TR5 는 자체내에 동력 객차용 변압기가 설치된다. TR1 에는 차량 승차감, 소음 진동, 추진 및 제동성능 시험시 필요한 각종 시험 기자재가 탑재되며 TR2 에는 이를 분석하고 협의 할수 있는 회의실이 설치된다. TR3 와 TR5 에는 일반 동력 객차 및 객차의 형태로 좌석이 설치되며, TR4 는 일동석 객차이다. 시제차에서의 전장품 취부 위치는 상기 그림 3 과 같다.

## 2.2 열차 추진 시스템 구성 및 성능

모터블록에 인버터 및 컨버터등이 장착되어있고, 보조블록에는 보조전원 장치등이 설치되어 있고 기본적인 추진시스템 구성은 그림 4 에서 간략하게 나타내주고 있다. 추진 성능 기본 데이터 및 계산 결과는 도표 1 과 2 에 나타냈다. 견인전동기는 유도기를 사용하였고, 모터블록내의 컨버터 및 인버터는 PWM 방식의 VVVF 제어를 채택하였다. 동력전달 방법은 집중식을 채택하고 있다.

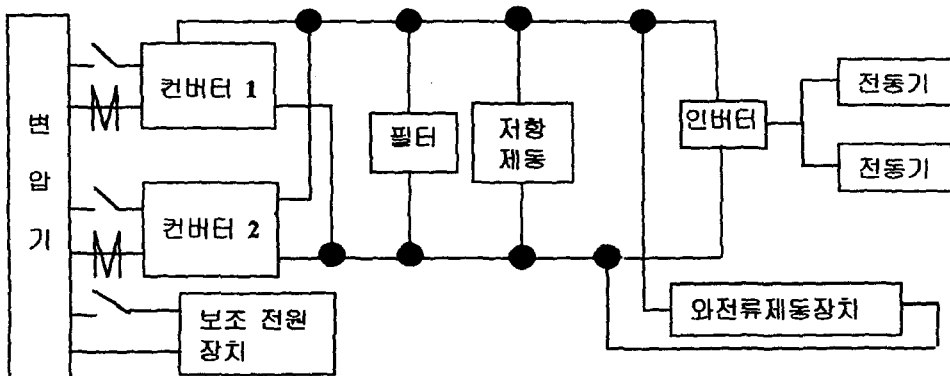


그림 4. 열차 추진 시스템 구성도

도표 1. 추진성능 기본데이터

구 분	실편성(20 량 / 편성)	시제편성(7 량 / 편성)
- 편성	2PC+MT+7IT+2MT+7IT+MT+12T	2PC+2MT+3T
- 중량	780 톤	331 톤
- 모터출력	17,600kW(1100×16)	13,200kW(1100×12)
- 점착계수 (0 km/h)	0.173	0.173
- 점착계수 (350 km/h)	0.075(추정)	0.075(추정)
- 인장력 (기동시)	$F = \frac{0.173 \times 272 \times 10^3}{102} = 460\text{KN}$	$F = \frac{0.173 \times 204 \times 10^3}{102} = 345\text{KN}$
- 인장력 (최고속도시)	$F = \frac{0.075 \times 272 \times 10^3}{102} = 176\text{KN}$	$F = \frac{0.075 \times 204 \times 10^3}{102} = 132\text{KN}$
- 주행저항 [daN]	$R = 471.15 + 6.24V + 0.08561V^2$	$R = 198.12 + 2.648 + 0.039851V^2$

도표 2. 추진성능 계산결과

구 분	시스템 요구사항	20 량/편성(집중)	7 량/편성
- 350 km/h 속도 성능			
· 점착력	-	200KN	150KN
· 견인력	-	176KN	132KN
· 주행저항	-	131KN	60KN
· 가속도 여력	0.05 m/S <sup>2</sup>	0.057 m/S <sup>2</sup>	0.217 m/S <sup>2</sup>
· 도달거리	30 km	27.2 km	11.1 km
· 평형속도	-	389 km/h	462 km/h

### 2.3. 열차의 소요 동력 및 용량

열차의 운전은 견인전동기에서 발생하는 회전력을 차륜에 전달하여 점착력 범위내의 출력을 발생, 차륜을 회전시켜 열차를 주행하고 있다. 이 때 고속 열차가 350km/h의 속도로 주행 할 수 있도록 전동기 출력을 1100kW로 결정하였다. 이것을 토대로하여 각 장치의 용량을 산출한다.

#### 1) 견인 전동기의 입력 용량

열차의 주행 저항 및 운전 방식 기동 추진력 및 기동 가속도등을 고려한 집중식 고속 전철 시스템의 기본 사양과 속도와 전체 견인력 관계곡선이 발표되었다. 그리고 전동기의 효율( $\eta_M$ )을 0.94로 가정하여, 전동기의 입력 용량을 구하면

$$P_M = P_{MO} / \eta_M \quad \text{----- (1)}$$

식(1)와 같이 되어, 전동기 입력 용량 P(kW)은

$$1100 \text{ kW} / 0.94 = 1170 \text{ kW} \text{ 이다}$$

## 2) PWM 인버터 용량

인버터의 효율( $\eta_{in}$ )을 0.97, 전동기 역율( $P_M$ )을 0.88 로 가정하여 용량을 구하면

$$P_1 = \text{구동 전동기 수} \times P_{M1} / P_M \quad \text{----- (2)}$$

식(2)와 같이 되어, 인버터 용량  $P_1$  (kVA)은

$$2 \times 1170 \text{ Kw} / 0.88 = 2659 \text{ kVA} \text{ 이다}$$

견인 전동기에 공급되는 전압 및 주파수를 가변 시키기 위한 인버터의 동작 모드는 크게 3 가지로 나누어진다.

## 3) 4 상한 컨버터 용량

4 상한 컨버터는 2 대를 병렬로 연결하여 운전하고, 컨버터의 효율( $\eta_{con}$ )을 0.97 로 가정하여 용량을 구하면

$$2 \times P_c = P_1 \times P_M / \eta_{in} \quad \text{----- (3)}$$

식(3)와 같이 되어, 컨버터 용량  $P_c$  (kW)은

$$2P_c = 2659 \text{ kVA} \times 0.88 / 0.97 = 2412 \text{ kW}$$

$$P_c = 1206 \text{ kW} \text{ 이다.}$$

이 컨버터는 펄스 제어형 컨버터로 전원측으로 전력을 회생 시켜 공급할 수 있는 능력을 가지며, 교류전원으로부터 모든 유효 전력을 공급하는 것이 가능하고, 나아가 고조파로 인한 선전류의 왜곡을 신호와 통신시스템에 영향을 미치지 않는 수준으로 유지 할 수 있어야 한다.

## 4) 보조 전원 용량

보조 전원의 부하는 72V DC, 380V AC, 440V AC, 여압시스템 부하로 크게 나눌 수 있다. 보조 컨버터 2 시간 연속 정격은 1,400kW 이다.

## 5) 주 변압기 용량

동력차용 주 변압기는 6 개의 주 권선 및 1 개의 보조 전원용 권선으로 구성되어있으며, 4 상한 컨버터의 입력 용량으로 주 변압기의 용량을 역산하면 주 권선 용량을 구할 수 있다. 그리고 동력객차용 변압기는 2 개의 주 권선으로 구성된다. 보조 전원용 제어 정류기의 효율( $\eta_{rc}$ )을 0.97 로

가정한다.

$$\begin{aligned} \text{주권선 용량 : } P_{tr1} &= P_c / \eta_{con} \\ &= 1207 \text{ kW} / 0.97 = 1245 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{보조권선 용량 : } P_{tr2} &= P_{rec} / \eta_{rec} \\ &= 1400 \text{ kW} / 0.97 = 1443 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{동력차용 변압기 연속 정격 용량 : } & (P_{tr1} \times 6 + P_{tr2}) / \eta_{tr} \\ &= (1245 \times 6 + 1443) / 0.97 = 9189 \text{ kVA 이다.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{동력객차 변압기 연속 정격 용량 : } & (P_{tr1} \times 2) / \eta_{tr} \\ &= (1245 \times 2) / 0.97 = 2567 \text{ kVA 이다.} \end{aligned}$$

이상과 같이 차량 추진 분야 장치 구성을 통하여 용량을 산출하였다.

### 3. 제어 시스템 설계

#### 3.1. 보조 전원 장치 구성

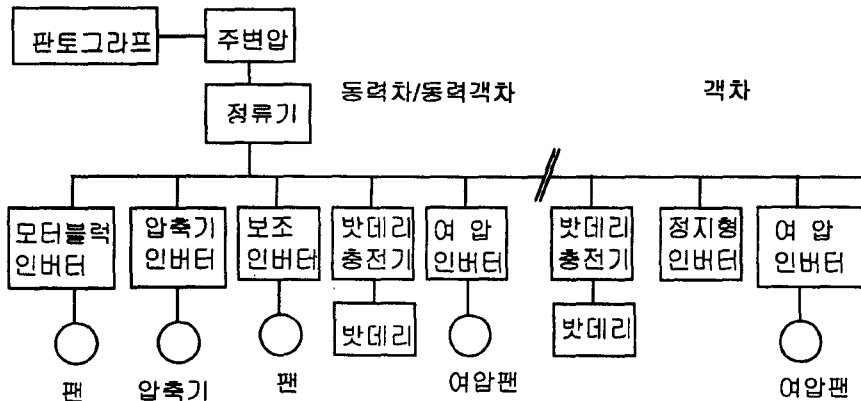


그림 5. 반편성 보조 전원 공급 개념도

#### 1) 동력차 및 동력객차

##### ● 컨버터

4 개의 모듈로 2 개씩 2 개의 제어군으로써 각 모듈별 350V AC 전원을 받아 670V DC 전원을 생성시킨다.

##### ● 모터블럭 환기 인버터

보조블럭 Half bridge 정류기로부터 전원을 공급받아 4 개 유도전동기를 구동시킨다. (3-모터블럭 냉각팬, 1-견인전동기 냉각팬)

- 보조 인버터

PC1,2 용으로 1 개의 보조블럭 냉각팬, 2 개의 주변압기 냉각팬, 2 개의 오일 펌프팬을 구동시키고, 중간 동력차(T9,10)용으로 1 개의 변압기 냉각팬, 1 개의 오일 펌프팬을 구동구동 시킨다.

- 압축기 인버터

2 대로써 각 1 개의 압축기를 구동시킨다.

- 여압장치용 인버터

터널진입 및 터널내 교행시 차량 내부와 외부의 압력차로 인한 승객의 불편을 없애고져. 각 차에 설치한다.

- 배터리 충전기

정류기로부터 670Vdc 전원을 공급 받아 72Vdc 를 배터리(동력객차 포함), 모터블럭, Cab cubicle 에 제어전원을 공급한다.

- 배터리

모터블럭당 1 대씩 있으며, 열차기동, 보조압축기 기동, 배터리 충전기 고장시 제어전원 공급한다.

## 2) 객차

- 정지형 인버터

객차내 각종 보조전원(에어컨, 조명, 음식설비등) 3 상 440VAC 공급 고장시 연장급전이 가능해야 한다.

- 배터리 충전기

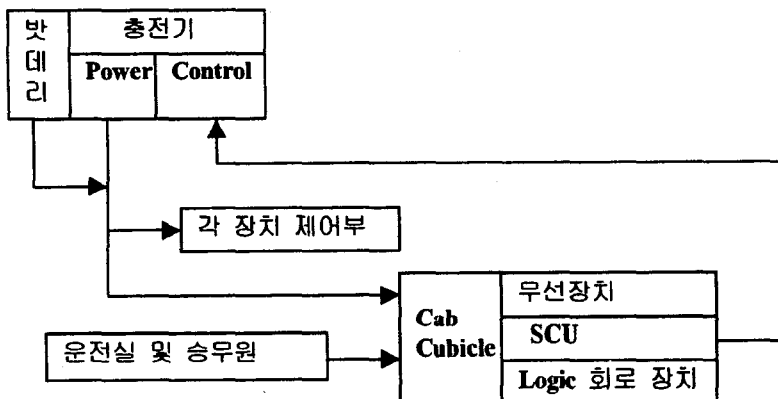
객차내 각종 제어회로 전원 및 배터리에 72VDC 공급해야 한다.

- 배터리 : 배터리 충전기 고장시 제어회로 전원 공급해야 한다.

## 3.2. 전원 제어 방법

### 3-2-1. 동력차 배터리 제어 전원 공급 및 제어 부문

#### 1) 기능 인터페이스 Diagram



## 2) 제어전원 공급

제어전원은 72VDC를 사용하기 위해서 동력차 U/F에 Battery & Charger 2sets 및 동력차 후단의 TR1 동력객차에 Battery & Charger 1set를 설치한다. 결선 방법은 3sets의 Battery & Charger를 병렬 연결하여, 동력차 전체의 제어전원 부하 및 동력차 후단의 TR1 동력객차 추진장치에 제어전원을 공급하도록 하고, Battery Charger는 Control 부분과 Power 부분을 일체형으로 개발, 제작한다.

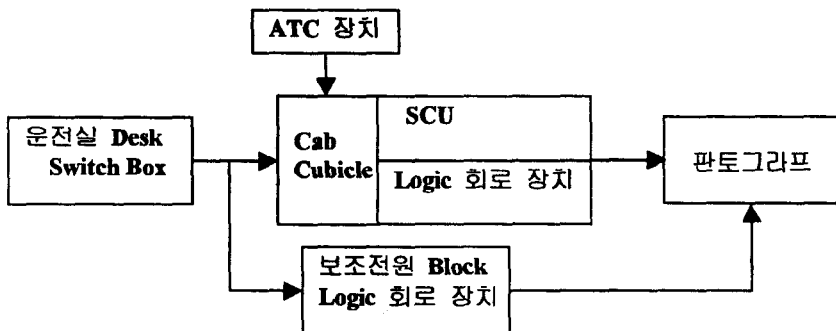
## 3) 제어 방법

정상적인 Battery ON/OFF는 운전실 및 객차에 있는 승무원실의 스위치를 취급하거나, Radio 장치를 통한 Battery ON의 원격제어를 통하여 Supervisory Control Unit(SCU) 제어신호에 의한다.

정상적인 Battery Charger ON/OFF는 SCU 제어신호에 의한다. 편성 전후의 Battery 제어신호 전송은 차량 인통선에 의한다.

### 3-2-2. Pantograph 제어부문

#### 1) 기능 인터페이스 Diagram



#### 2) 편성단위 제어

동력차에 1set씩 설치하여, 운행시 진행 방향의 반대 편성에 있는 1set가 동작하여 집전한다. Panto.동작은 운전실에 있는 Panto.선택스위치에 의해, 저속정상/저속비상/고속정상/고속비상 모드로 제어한다. 정상적인 Panto.제어는 앞으로 설계될 Logic 회로에 따라 이루어 질것이다. 동력차간의 제어신호 전송에는 차량 인통선을 사용한다. 원격제어에 의한 Pre-conditioning 시의 제어는 저속비상 모드로 SCU 제어신호에 의한다. 운전실 교환시에 Service 부하에 계속 전원을 공급하기 위해서 설계된 Service Retention(S/R) 기능은 Logic 회로 제어에 의하며, 양쪽 동력차간의 제어신호 전송에는 SCU를 통한 Network를 이용한다.

#### 3) 차량단위의 제어

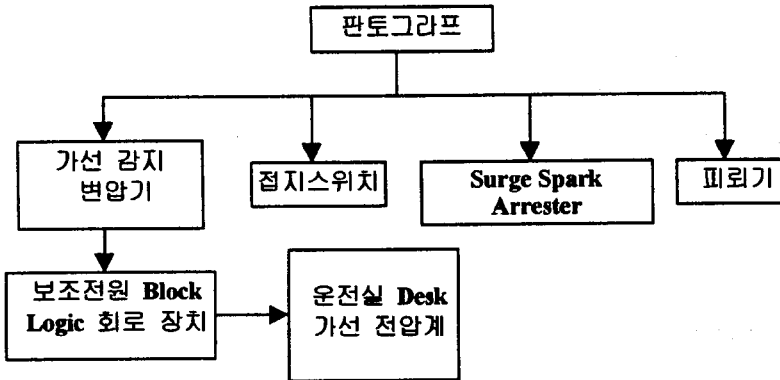
정상적인 Panto. 상승/하강 제어는 Logic 회로를 통하여 이루어지고, Panto. 집전판 내부에 이상마모 발생시에 감지할 수 있는 Air Tube를 설치하여, 압력 감소에 의한 이상 마모 감지시에 Panto. 고장/복귀 제어는 SCU 제어신호에 의해서 이루어진다. 고속선로에서는 Panto. 상승높이를 제한할 수



있는 후쿠 장치를 설치하고, SCU 제어신호에 전달된다.

### 3-2-3. 가선편압 검지부문

#### 1) 기능 인터페이스 Diagram



#### 2) 가선편압 검지

전압검지는 25KV/100V 변압기를 통한 100V/100V 절연변압기 출력전압 검지에 의한다.

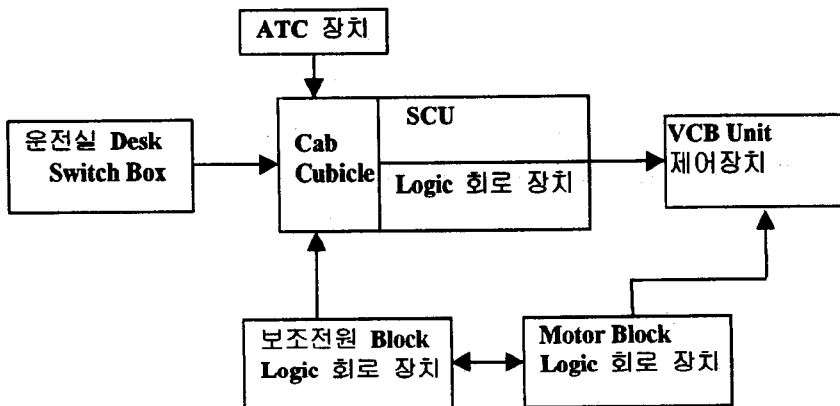
추진장치, 보조전원 장치에서의 가선편압치 검지 및 Desk 의 가선편압계 현시를 위하여, 차량인통선을 사용한다. 가선편압 정상검지는 앞으로 설계될 Logic 회로에 의해서 이루어진다.

#### 3) 가선편압 보호장치

Surge Arrester 는 동력차 Roof 에 설치되어, 낙뢰와 스위칭 과전압에 의한 변압기, 케이블과 전력전자 장치를 보호해야한다.

### 3-2-4. VCB 제어부문

#### 1) 기능 인터페이스 Diagram



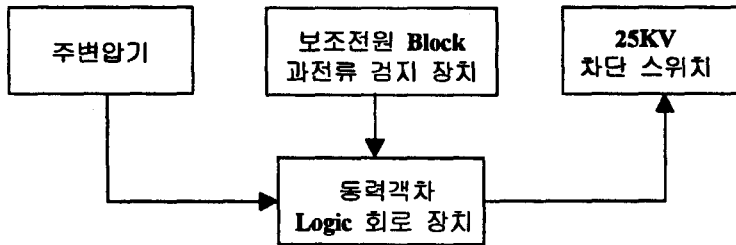
## 2) 제어

동력차에 1set 씩 설치하여, 운행시 Panto. 사용 차량의 VCB 만 사용하고, 정상시에는 제어스위치 신호를 통하여, Logic 회로를 구성하여 제어한다. 하지만 ATC 과속, 사구간, S/R 시의 제어는 바로 Logic 회로를 구성하여 제어한다. 동력차간의 제어신호 전송에 차량 인통선을 사용하고, 원격제어에 의한 Pre-conditioning 시의 제어는 SCU 제어신호에 의한다.

차단기 고립(Isolation)은 고장난 회로에 전원이 공급되는 것을 방지하기 위한것이고, 차단조건은 주변압기에 과부하 발생, 옥상 인통선 라인에 과전압 감지, 판토품자 고립 및 화재 발생시에 이루어 진다. 이러한 고립 상태는 SCU 에 기록된다.

### 3-2-5. 25KV 인통 제어부운

#### 1) 기능 인터페이스 Diagram



#### 2) 25KV 차단스위치 설치 및 제어

편성전체 차량의 Roof로 25KV Cable 을 설치한다.

주변압기 1 차측 과전류시의 25KV 차단을 위하여, TR1 동력객차 Roof 에 25KV 차단스위치를 설치하여, P1 or P2 동력차의 주변압기 1 차측 과전류 감지 및 화재 발생시에는 Logic 회로제어에 의해 TR1 의 25KV 차단스위치를 차단시킨다. 이러한 차단 상태는 SCU 에 기록된다. 단, TR5 중간 동력객차에서는 주변압기가 추진장치 Block 1set 만 담당함으로 과전류 감지/제어는 추진장치 Block 자체에 의하며, 별도의 주변압기 1 차측 과전압 감지장치 및 25KV 차단스위치 제어는 고려하지 않는다. 동력차의 주변압기 1 차측 과전류 감지를 위하여, Current Transformer 는 주변압기 내에 1set 를 설치하고, 과전류 계전기는 보조전원 Block 내에 1set 를 설치한다.

주) 20 량 편성의 경우, TR1 & TR18 동력객차 Roof 에 각각 차단스위치를 설치하여, P1 동력차의 주변압기 1 차측 과전류 감지시는 TR1 의 25KV 차단스위치를 차단시키고, P2 동력차의 주변압기 1 차측 과전류 감지시는 TR18 의 25KV 차단스위치를 차단 시킨다. 단, TR9 & TR10 중간 동력객차에서는 주변압기가 추진장치 Block 1set 만 담당함으로 과전류 감지/제어는 추진장치 Block 자체에 의하며, 별도의 주변압기 1 차측 과전압 감지장치 및 25KV 차단스위치 설치/제어는 고려하지 않는다.

### 3.3. 객차 전원 공급 제어

#### 3-3-1. 제어 전원 공급 및 제어 부문

##### 1) 전원 공급

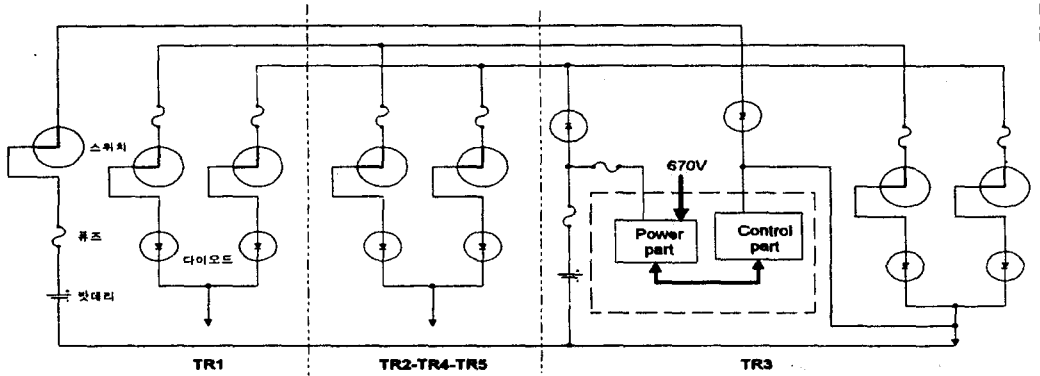


그림 6. 배터리 충전기 및 배터리 전원 공급 개념도

시제차 TR1,TR2,TR3,TR4,TR5 에 동력차 제어 전원 라인과는 별도로 분리하여 제어 전원을 공급하기 위하여 TR3 차량의 U/F 에 Battery & Battery Charger 를 설치하고, 정상적인 Battery 투입 및 차단 제어는 운전실 Cab Cubicle 내의 스위치와 승무원실 스위치 취급에 의한다. 또한 필요시 SCU/VCU 제어 신호에 의해 원격제어로 Battery 를 투입 및 차단 시킬 수 있도록 한다.

##### 2) 제어 기능

배터리 충전기 입력 전원은 동력차로부터 공급되는 670V DC 전원을 사용하며, 정상적인 배터리 충전기 ON/OFF 는 차량 제어 유닛의 제어 신호에 의한다. 배터리가 설치되어 있는 장소의 외부 공기온도 변화에 따른 충전 전압의 제어가 필요하기 때문에 Charger 의 출력전압이 외부 온도 변화에 따라 적정치로 가변제어 될 수 있도록 배터리 유니트 주위에 설치되는 온도 센서를 사용하여 출력 전압을 제어하도록 한다. 충전기 제어 전원은 모터 블록 배터리 단자와 배터리에 의해서 공급되거나, TR3 차의 배터리 단자와 배터리에 의해서 공급되도록 한다.

#### 3-3-2. 440V AC 전원 공급 및 제어 부문

##### 1) 전원 공급

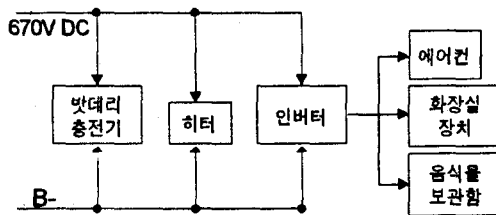


그림 7. 객차 중간 전원 공급 개념도

시제 차량 편성에 3상 440V AC 전원을 공급하기 위해 TR4 차에 인버터가 설치되어 있고, 이 인버터는 다이오드와 퓨즈를 통해 열차의 670V DC 라인에 연결되어 있다. 3상 440V AC 전원은 에어컨, 음식물보관 장치, 화장실 장치에 사용된다.

## 2) 제어 기능

객차용 정지형 인버터는 시제차 편성의 TR4 차에 1Set 를 설치하여 동력차로부터 입력되는 670V DC 전원을 입력으로 하여, 시제차 전체 편성에 3상 3선 440V AC, 60Hz 전원을 공급 한다. 구성은 Power Unit 와 Control Unit 를 일체형으로 하고, 평활 리액터는 별도 유니트로 구분 하여 설치한다. 입력 전원은 동력차로부터 공급되는 670V DC 전원을 사용하고, 제어 전원은 72V DC 전원을 사용한다. 인버터를 보호하기 위해서 주 차단기를 이용하여 차단하고, 기동시 필터 콘덴서 충전용으로 Precharger Contactor 를 사용한다. 반도체 소자인 IGBT 에 역 병렬로 궤환 다이오드를 설치하여 역전압이 가해지는 것을 방지하고, 인버터 모듈 양단에 전압 상승을 억제하기 위해서 콘덴서를 사용한다.

## 4. 결론

추진 시스템구성은 크게 변압기 주 권선에서 출력되는 주전원과 보조 권선에서 출력되는 보조 전원으로 구성하였으며, 주 전원의 경우는 20 량 편성을 고려하여 최고속도 350Km/h 에 도달할 수 있는 견인 전동기 용량(1100kW)을 토대로 주요 장치의 용량을 산출하였다. 보조 전원은 동력차의 주 전원을 공급하기 위해 필요한 제어 장치부와 객차에서 필요로 하는 서비스 회로 구성과 부하(1400kW)를 산출하였다.

제어 시스템은 동력차 및 객차의 전원 공급 방법을 토대로 하여 검토 되었다. 동력차는 бат데리 제어 전원 공급 방법, 가선 전압 공급 방법 및 감지와 보호 방법에 대해서 서술 하였고, 객차는 бат데리에서 나오는 제어 전압공급 방법과 670V DC 를 정지형 인버터를 통하여 변환된 440V AC 전원에 대하여 서술 하였다.

앞으로 추진 시스템 상세한 주행 시뮬레이션을 통하여 좀더 정확한 용량이 산출 되도록 하겠으며 추진 시스템은 관련 장치와의 협의를 통하여 최적의 제어 시스템과 신뢰할 수 있는 시스템이 될 있도록 설계하겠다.

## 참고문헌

1. 박광복, 김현철 “한국형 고속전철 추진 시스템 설계 및 성능 연구” 한국철도학회 춘계학술대회 1998 p349~358
2. 대우중공업 “G7 고속전철사업 1 차년도 연구성과보고회” 한국철도기술연구원 1997 p135~139
3. 대우중공업 (1997), "G7 고속전철 동력차 시스템 엔지니어링 기술개발 1 차년도 보고서"

4. 대우중공업 (1998), "G7 고속전철 동력차 시스템 엔지니어링 기술개발 2 차년도 보고서"
5. 한진 중공업 (1998), "G7 고속전철 객차 시스템 엔지니어링 기술개발 2 차년도 보고서"
6. 대우중공업 "고속전철기술개발 사업 차량분야 상반기 연구결과 발표 자료" 생산기술연구원  
1998