

3장 견인 장치

3.1 개요

학습목표

- 견인 회로와 관련된 전기 법칙 몇 가지를 알아본다.
- 교·직류 전기동차의 동력 전달 체계와 전류의 흐름을 알 수 있다.
- 유도전동기의 회전 원리와 속도 제어 방법을 알고 이해한다.
- 주 변환장치(컨버터/인버터)의 구성과 작용을 알고 이해한다.
- 필터리액터, 차단기 및 견인 회로의 보호 장치에 대하여 알아본다.
- 견인 장치를 제어하는 주간제어기, 제동제어기와 견인제어장치의 작용을 알아본다.
- 직류와 교류 구간에서 동력 제어회로를 익힌다.
- 직류와 교류 구간에서 전기제동 회로에 대하여 알아본다.
- 견인 장치의 보호 작용과 복귀를 알아본다.
- 전기동차의 재(再)기동과 고장 차 차단을 알아본다.

[핵심용어]

유도전동기, 주 변환장치, 가변전압 가변주파수, 동력 운전, 전기(화생)제동, 견인제어장치, 보호 작용

3.1.1 개요

철도차량용 견인전동기로 과거에는 브러시(Brush)와 정류자를 가지고 있는 직류전동기를 주로 사용하였다. 이에 직류전동기보다 설계가 간단하고, 높은 신뢰성을 가지고 있으며 정비가 쉬운 유도전동기를 철도차량에 이용하고자 하였다. 하지만 유도전동기는 그 속도를 제어하는 기술이 충분하지 못해 그 사용 범위가 한정되었었다.

이후 전력변환 소자의 개발과 전동기의 냉각 기술의 발전, 마이크로프로세서에 의한 제어 기술의

진전에 따라 인버터의 제어에 의한 유도전동기의 구동 시스템이 개발되었다.

철도차량도 VVVF 제어 전기동차에 최초로 유도전동기가 채택되었으며, 철도차량용 교류 유도전동기(이하 유도전동기라 한다)의 특징은 다음과 같다.

첫째, 유도전동기는 직류전동기와 같은 정류 장치나 브러시(brush)가 없어 수리 점검에 드는 시간과 비용을 절감할 수 있고, 회전자(전기자라고도 한다)의 기계적 강도가 뛰어나 회전속도를 높게 할 수 있어 차량의 고속운전이 가능하다.

둘째, 직류전동기와 교류전동기의 동급 출력 용량 측면에서 비교해 볼 때, 교류기가 직류기에 비해 약 30% 정도 작고, 가볍게 할 수 있다.

셋째, 기계적인 절환 조작 없이 인버터에 의해 동력 운전과 전기제동의 절환 및 운전 방향의 절환 이 가능하여, 기계적인 접촉기나 절환기 그리고 회로차단기 등의 수를 줄일 수 있어 전체 시스템의 크기와 무게를 줄일 수 있다.

넷째, 전기제동을 충분히 활용하여, 예전에는 공기 제동 방식으로만 제동이 체결되던 부수차(T, T1차) 및 제어차(TC차)의 제동까지도 구동차(M, M'차)¹⁾의 전기제동으로 부담하는 제동 방식을 채택하였다. 그리고 전기제동 시 유도전동기에서 발생하는 전기에너지를 전차선으로 되돌려 보내 에너지의 절감 효과를 얻을 수 있다.

3.1.1 용어 및 약어

용어의 내용과 약어의 명칭은 다음과 같다.

3.1.1.1 용어

용어의 내용은 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 기본 용어와 내용

용어	내용
GTO 사이리스터 (Gate Turn Off Thyristor)	스위칭용 전력변환(반도체)소자로 전력을 변환하거나 공급 또는 차단하고, 장치를 제어하는 등 무접점 스위치 역할을 한다.

1) 견인전동기(유도전동기)가 장착되어 동력을 발휘하는 차

용어	내용
IGBT (Insulated gate bi-polar transistor)	절연게이트양극성트랜지스터라 하고, 높은 전압과 대 전류의 전기 회로에서 고속 스위칭이 가능한 전력변환 소자이다. GTO 사이리스터에 비해 스위칭 속도가 빠르고 스위칭 시 발생하는 소음과 발열이 적어 GTO 사이리스터 대신 전력을 변환하거나 공급 또는 차단하고, 제어하는 등 무접점 스위치로 사용하고 있다.
가변전압 가변주파수제어	교류 전력을 출력하는 인버터 등의 전력변환장치로 교류 전력의 전압과 주파수 등을 변환하여 전기기기의 속도와 회전력 등을 제어하는 것을 가변전압 가변주파수(Variable Voltage Variable Frequency) 제어 한다.
견인전동기	동력을 발휘하는 차량에 설치하여 전동기(Motor)의 회전력으로 차량의 바퀴를 회전시켜 추진력을 발휘하는 전동기로VVVF 제어 전기동차에는 유도전동기를 사용하고 있다.
견인제어장치 (Traction Control Unit : TCU)	주 변환장치에 내장되어 있으며, 마이크로프로세서에 의해 제어되는 전자장치로 컨버터와 인버터를 제어하여 동력 운전과 전기제동을 수행하며, 견인 장치의 보호 작용을 한다.
견인 회로	주변압기 2차 측의 주 변환장치에서 유도전동기까지의 전기 회로를 말한다. 유도전동기에 전력을 공급하고, 동력 운전과 전기제동을 제어하는 전기 회로와 보호회로를 포함한다.
차단기 (Line Braker)	견인 회로와 고압회로를 상시 개폐하거나 회로에 과부하 또는 과전류가 흐르면 회로를 차단하기도 하는 접촉기이다. 견인 회로를 구성하는 고속도차단기(L1)와 유닛(Unit) 스위치(L2, L3) 등이 있다. L1은 회로에 이상이 있을 때 회로를 차단하는 역할도 한다.
동력 운전	견인전동기가 전력을 공급받아 동력(회전력)을 발휘하여 운전하는 것이다. 견인전동기의 회전력으로 차륜을 회전시켜 주행한다.
무동력 운전	견인전동기에 전력의 공급을 중단하여 회전력을 발휘하지는 않지만 주행하는 차량 또는 열차가 관성에 의해 계속 주행하고 있는 상태이다.
역률	교류는 직류와 같이 일정한 전류의 흐름이 아니라 정현파 형태를 그리며 주기적으로 변화하기 때문에 전압과 전류의 위상이 일치하지 않을 수 있다. 따라서 교류의 전압과 전류의 실현값을 곱한 이론상의 전력 중에서 유효전력으로 사용되는 비율로 입력되는 전체 전력에 대하여 실제로 일을 하는 출력과의 비율이다. 리액터 회로에서는 전압의 위상이 전류의 위상 보다 앞서고, 반대로 콘덴서 회로에서는 전압의 위상이 전류의 위상 보다 뒤진다.
전력변환 소자	전기적인 스위칭 작용으로 전력의 변환이나 제어를 위해 사용하는 다이오드, 트랜지스터, GTO 사이리스터, IGBT 등을 전력변환 소자라 한다.

용어	내용
전력의 변환	전원을 공급하고 그 전력을 사용하는 부하 사이에서 부하에 적합하도록 전압이나 전류 또는 주파수, 교류의 위상 등을 변화시켜 전력을 공급하는 것을 말한다. 전력을 변환하는 장치를 전력변환장치라 하고 전기동차에는 변압기, 변류기와 주 변환장치, 보조전원장치 등이 있다.
펄스폭 변조 (PWM: Pulse Width-Modulation)	전력변환 소자의 스위칭을 이용하여 신호나 전기의 폭을 조절함으로써 원하는 출력파형을 얻는 방법이다. 이를 이용하여 전압을 정현파 모양으로 변화시켜 매끄러운 정현파 출력을 얻을 수 있고, 전압과 전류의 크기도 조절할 수 있다.
필터리액터(FL)	직류 구간에서 견인 회로의 고조파 분과 전차선의 이상 충격전압을 흡수하고 인버터와 연결부에 이상전압이 들어가는 것을 방지하는 장치

3.1.1.2 약어

약어와 그 명칭은 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 약어의 명칭

기호 일람표		
약어	명칭	비고
AK	보조 접촉기	Auxiliary Contactor
AKR	보조 접촉기 계전기	"AK" Relay
APR	보조 전원 계전기	Auxiliary Power Relay
APT	보조 전위 계전기	Auxiliary Potential Relay
ASCN	활주 방지 제어회로 차단기	"ASC" NFB(No-Fuse Braker)
BMFR	송풍 전동기 고장 계전기	Blower Motor Fault Relay
CCOS	제어회로 절환 스위치	Control Changeover Switch
CDR	제동 전류 검지 계전기	Brake Current Detector Relay
CIBM	주 변환장치 송풍 전동기	Conv/Inv Blower Mortor
CIBMN	"CIBM" 회로 차단기	Conv/Inv Blower Mortor NFB
CIFR	주 변환장치 고장 계전기	Conv/Inv Fault Relay
CIN	주 변환장치 제어회로 차단기	Conv/Inv Control NFB
CN1	전·후진 회로 차단기	NFB For Forward/Reverse
CN2	전기제동 회로 차단기	NFB For Electric Braking
CN3	동력 회로 차단기	NFB For Powering

기호 일람표

약어	명칭	비고
COR	차단 계전기	Cut-Out Relay
CTR	출력 제어 계전기	Power Control Relay
DCK	직류 제어 전원 접촉기	DC Control Power Contactor
DCKTD	"DCK" 시한계전기	DCK Timer Relay
EBCOS	비상제동 차단 스위치	Emergency Brake Cut-Out Switch
ELBR	전기제동 계전기	Electric Brake Relay
EODN	"EOD" 회로 차단기	"EOD" NFB
FLBMK	리액터 송풍 전동기 접촉기	"FL" Blower Motor Contactor
FLBMN	"FL" 전동기 회로 차단기	"FL" Blower Motor NFB
K	접촉기	Contactor
KR	접촉기 계전기	"K" Relay
KRR	접촉기 반복 계전기	"K" Repeat Relay
L1	L1 차단기(고속 차단기)	Line Braker "L1"
L1FR	L1 차단 계전기	L1-Trip Relay
L1R	L1 제어계전기	"L1" Relay
L2	L2 차단기	Unit Switch "L2"
L2R	L2 제어 계전기	"L2" Relay
L3	L3 차단기	Unit Switch "L3"
L3R	L3 제어 계전기	"L3" Relay
MCBAR	MCB 보조 계전기	"MCB" Auxiliary" Relay
MCBOR	"MCB" 차단 계전기	"MCB" Open Relay
OVCRF	과전압 방전 사이리스터	Over Voltage Discharging Thyristor
RS	복귀 스위치	Reset Switch
RSR	복귀 계전기	Reset Relay
SIVSR	"SIV" 기동 계전기	SIV Start relay
SqAR	시퀀스 보조 계전기	Sequence Auxiliary Relay
SqHR	시퀀스 유지 계전기	Sequence Holding Relay
SqR1,2	시퀀스 시험 계전기	Sequence Test Relay
SYN1,2	동기신호용 회로 차단기	Synchronizing Signal NFB
UCOR	유닛(Unit) 차단 계전기	Unit Cutout Relay
UCORR	유닛(Unit) 차단 반복 계전기	"UCOR" Reapeat Relay

기호 일람표		
약어	명칭	비고
VCOR	차량 차단 계전기	Vehicle Cutout Relay
VCORR	차량 차단 반복 계전기	“VCOR”Repeat Relay
VCOS	차량 차단 스위치	Vehicle Cutout Switch
VRS	차량 차단 복귀 스위치	Vehicle Reset Switch

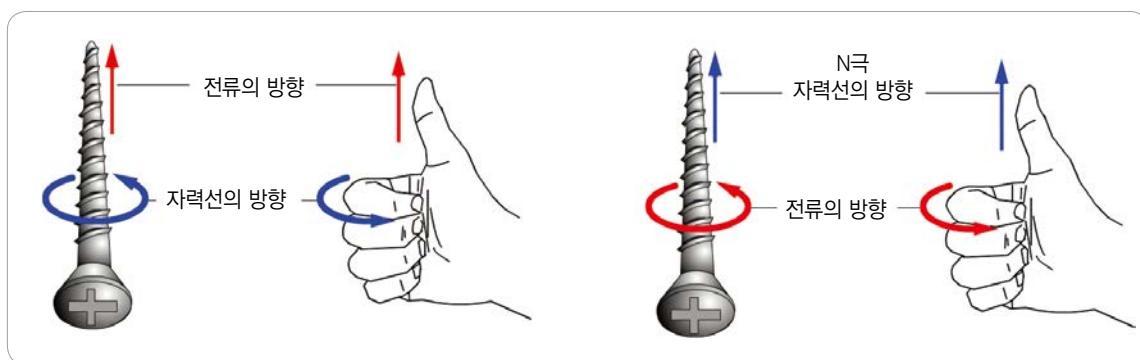
3.1.2 전기의 법칙

견인 회로 기기의 작용을 이해하기 위해 다음과 같은 전기의 법칙을 몇 가지 알아본다.

3.1.2.1 양페르의 오른나사의 법칙

양페르의 오른나사의 법칙은 전류의 흐르는 방향과 그 전류에 의해 발생하는 자기장²⁾의 방향을 쉽게 설명한 것이다.

도선에 전류가 흐르는 방향이 오른나사의 진행 방향일 때 오른나사의 회전 방향으로 자기장이 유도된다. 또 나사의 회전 방향으로 전류가 흐르면 자기장은 나사의 진행 방향으로 유도된다는 법칙이다. 따라서 철심에 코일을 감고 전기를 흐르게 하면 자기장이 유도되는데, 유도되는 방향이 오른나사의 진행 방향으로 나타나고 그 방향이 전자석의 N극이 된다.



[그림 3-1] 양페르의 오른나사 법칙

2) 자석의 자기력(자석이 쇠붙이 같은 금속 물체를 끄는 힘)이 작용하는 공간

오른손을 [그림 3-1]과 같이 하였을 때 전류의 방향을 엄지손가락 방향으로 하면 나머지 손가락의 방향으로 자기장이 유도되는 것을 말한다. 이는 반대로 자기장이 염지를 제외한 나머지 손가락 방향으로 만들어지면 전류가 엄지손가락의 방향으로 유도됨을 뜻한다.

즉, 오른나사의 진행 방향과 엄지손가락의 방향이 전류의 방향이면 나사의 회전 방향과 나머지 손가락의 방향이 자기장의 방향([그림 3-1]의 왼쪽)이다. 반대로 나사의 회전 방향과 염지를 제외한 나머지 손가락의 방향이 전류의 방향일 때 나사의 진행 방향과 엄지손가락의 방향이 자기장의 방향이 되며, 전자석일 때는 N극을 나타낸다는 것이 양페르의 오른나사 법칙([그림 3-1]의 오른쪽)이다.

평면도에서 전류의 들어가고 나감을 표기할 때 \otimes , \odot 으로 나타낸다. \otimes 은 앞쪽에서 뒤쪽으로 전류가 흘러가는 것을 나타내고, \odot 은 뒤쪽에서 앞쪽으로 전류가 흘러나옴을 나타낸다.

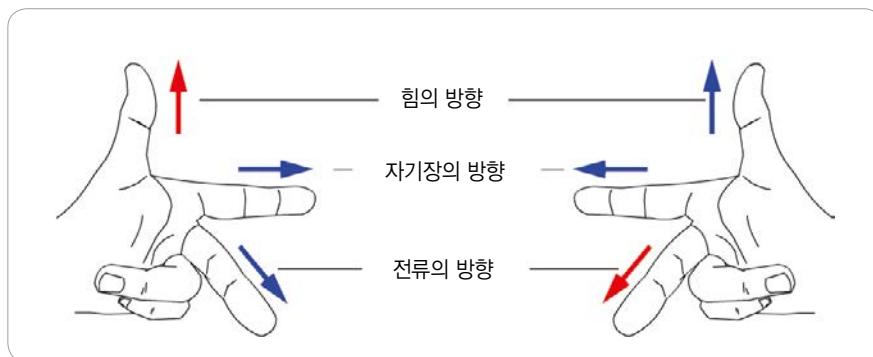
3.1.2.2 플레밍의 법칙(Fleming's rule)

플레밍의 법칙에는 회전력과 자기장의 방향을 알 때 전자유도로 생기는 유도전류의 방향을 표시하는 오른손법칙과 자기장이 작용하는 공간에 도체를 놓고 그 도체에 전류를 흐르게 하면 자기장과 도체에서 생기는 자력선의 상호작용으로 발생하는 힘(회전력)의 방향을 표시하는 왼손법칙이 있다.

(1) 오른손법칙

오른손법칙은 발전기의 원리로 N극과 S극 사이의 자기장 내에서 도체를 회전시킬 때 도체에 유도되는 전류의 방향을 나타내 주는 법칙이다.

오른손을 [그림 3-2]의 오른쪽과 같이 펼쳤을 때 엄지손가락이 도체에 작용하는 힘의 방향, 집게손가락이 자기장의 방향이면, 도체에 만들어진 유도전류는 가운데손가락 방향으로 흐른다. 이를 플레밍의 오른손법칙이라 한다.



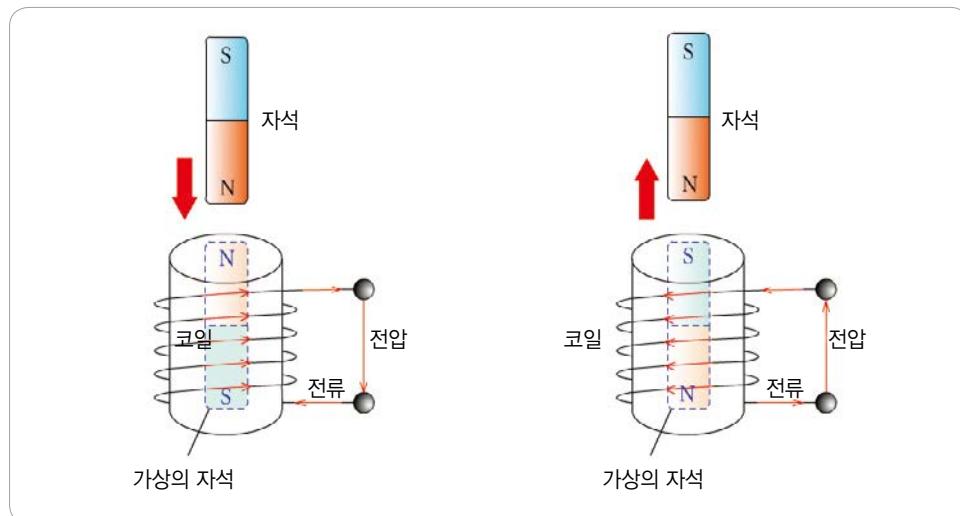
[그림 3-2] 플레밍의 왼손법칙(왼쪽)과 오른손법칙(오른쪽)

(2) 원손법칙

원손법칙은 전동기의 원리를 설명해 준다. N극과 S극 사이에 도체를 놓고 그 도체에 전류를 흘려보내면 그 도체는 N극과 S극 사이의 자기장과 도체에서 만들어지는 자기장과의 상호작용으로 회전력이 생기는 것을 설명하는 법칙이다. 원손을 [그림 3-2]의 원쪽과 같이 펼쳤을 때 집계손가락이 자기장의 방향이고, 가운데손가락이 전류의 방향일 때 도체에 생기는 힘의 방향은 엄지손가락의 방향이다.

3.1.2.3 렌츠의 법칙

자속³⁾을 변화시키면 이 변화를 방해하는 방향으로 전자유도에 의한 유도기전력이 발생한다. 이 유도기전력의 방향을 구하는 것이 렌츠의 법칙이다.



[그림 3-3] 렌츠의 법칙

[그림 3-3]의 왼쪽 그림에서 자석의 N극을 감싸있는 코일에 가깝게 하면 코일에는 N극에 반발하는 가상의 N극이 생기고, 그 반대쪽에는 S극이 생겨 코일에는 앙페르의 오른나사의 법칙에 따라 화살표 방향으로 전류의 흐름이 유도된다. 반대로 [그림 3-3]의 오른쪽 그림과 같이 자석을 코일에서 멀리하면 코일에는 N극을 끌어당기려는 가상의 S극이 생기고 반대쪽에는 N극이 생기면서 전류의

3) 자기장 속의 어떤 표면을 통과하는 자기력선의 물리적인 양

흐름이 유도된다. 이같이 전자유도로 코일에 생기는 유도전류는 자석에 의한 자속의 증가를 방해하는 방향으로 발생한다는 것이 렌츠의 법칙이다. 이를 응용한 것이 교류의 전압을 변화시키는 변압기이다.

3.1.3 교·직류 전기동차의 동력 전달 체계

전기동차는 일반적으로 [그림 3-4]와 같이 동력 운전 시에는 견인전동기(유도전동기)의 회전자 회전력 → 기어 커플링 → 소치차 → 대치차 → 차축 → 동륜의 순서로 회전력을 전달한다.

무동력 운전 시에는 동륜이 관성으로 회전하기 때문에 맞물려 있는 견인전동기의 회전자도 같이 회전하고 있다. 이때 전기제동을 체결하여 견인전동기(유도전동기)의 계자에 전력을 공급하면 계자는 전자석이 되어 회전자계가 발생하고 회전자계의 회전수를 회전자의 회전수 보다 낮게 해 주면 전기자가 회전자계의 자기장 속에서 자기력선을 끊게 된다. 이 자기력선을 끊을 때 생기는 저항(부하)이 차륜 회전력에 대하여 역(易)회전력인 제동력으로 작용한다. 따라서 견인전동기는 일시적으로 발전기로 작용하면서 전력을 만들어 낸다. 이 전력은 동력 운전 시와는 반대로 전차선으로 되돌려지고, 이를 회생제동이라 한다.

교·직류 전기동차의 교류 전차선 구간(이하 ‘교류 구간’이라 한다) 및 직류 전차선 구간(이하 ‘직류 구간’이라 한다)에서 견인 회로의 전류의 흐름은 다음과 같다.

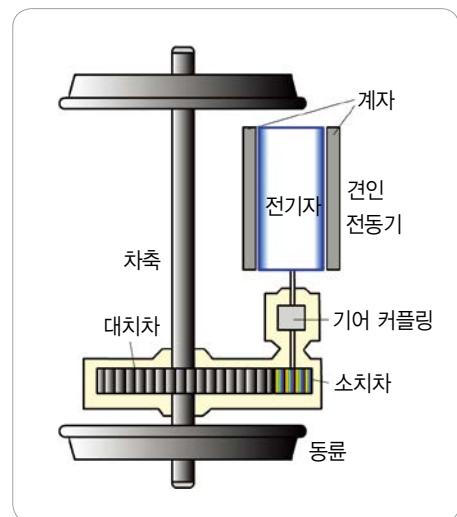
3.1.3.1 직류 구간

직류 구간에서 동력 운전과 회생제동 시 개략적인 전류의 흐름은 다음과 같다.

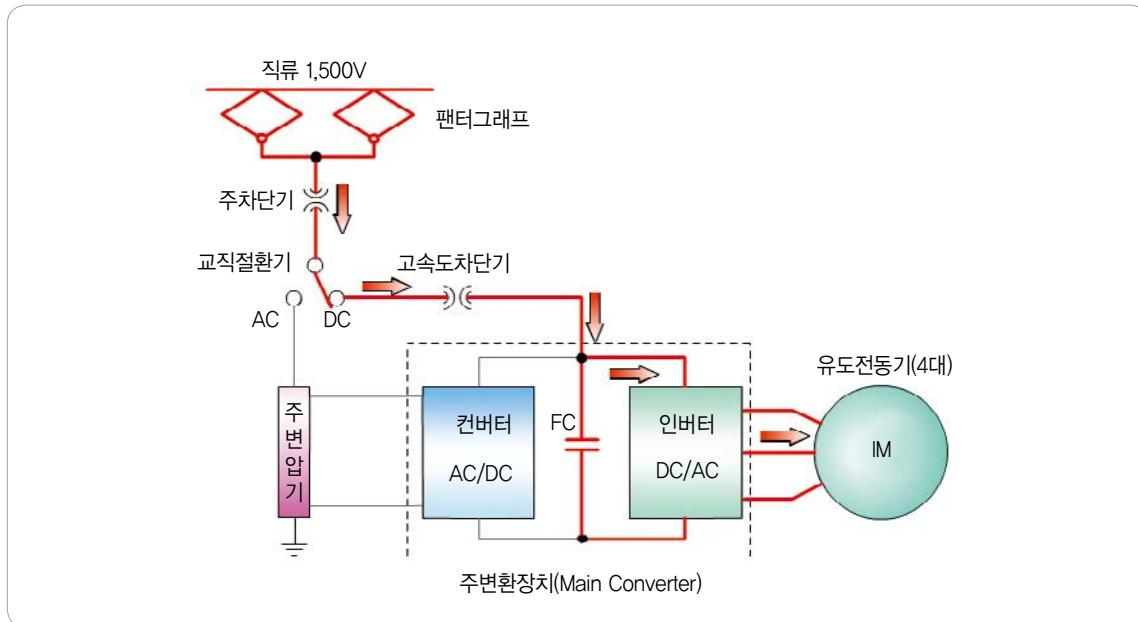
(1) 동력 운전

직류 1,500V의 전차선 전압을 그대로 사용하여 인버터를 거쳐 유도전동기로 가는 회로가 구성된다. 직류 구간에서는 주변압기와 컨버터를 사용하지 않는다.

직류 1,500V → 팬터그래프 → 주차단기 → 교직질환기 → 고속도차단기 → 인버터(DC → AC 변환 및 유도전동기 제어) → 유도전동기([그림 3-5])



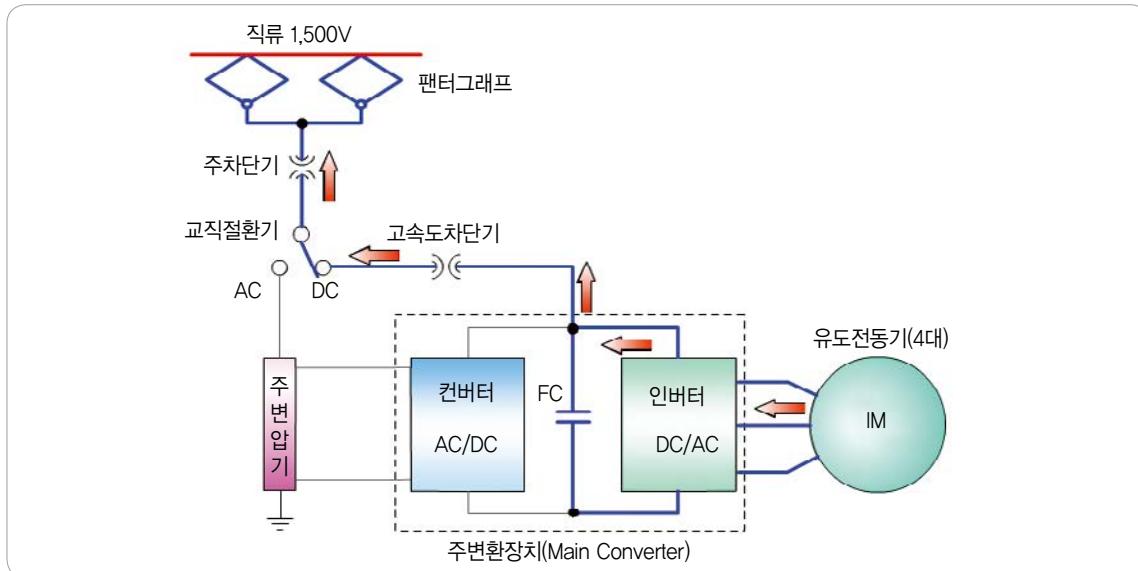
[그림 3-4] 동력전달장치 개요



[그림 3-5] 직류 구간 동력 운전 시 전류 흐름도

(2) 회생제동

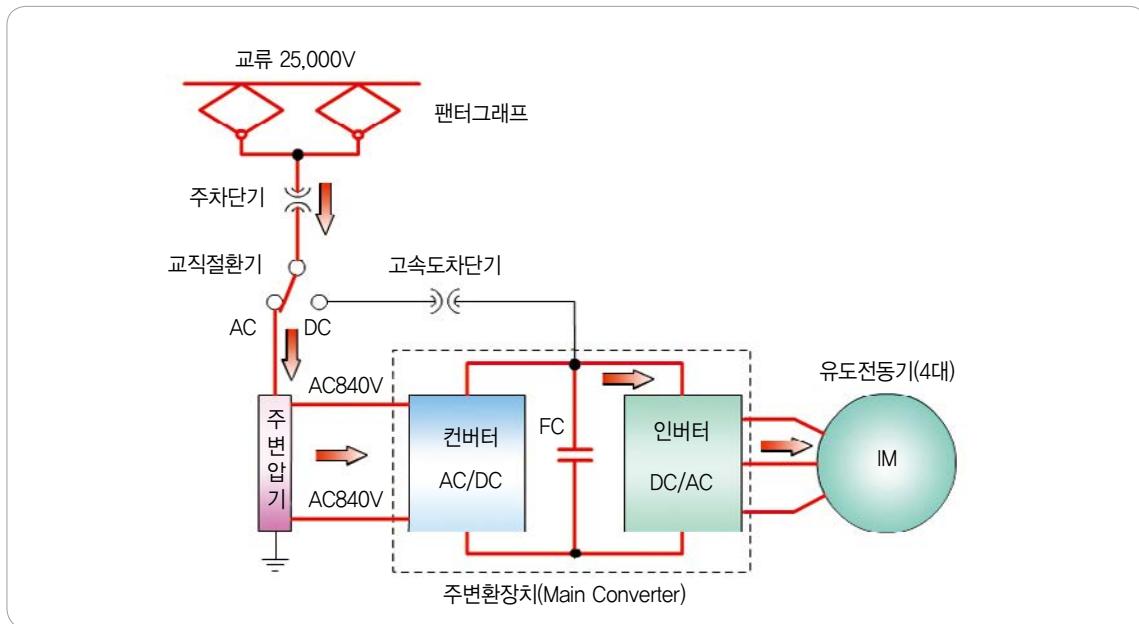
유도전동기 → 인버터(동력 운전 시의 인버터가 컨버터 역할, AC → DC) → 고속도차단기 → 교직 절환기 → 주차단기 → 팬터그래프 → 전차선([그림 3-6])



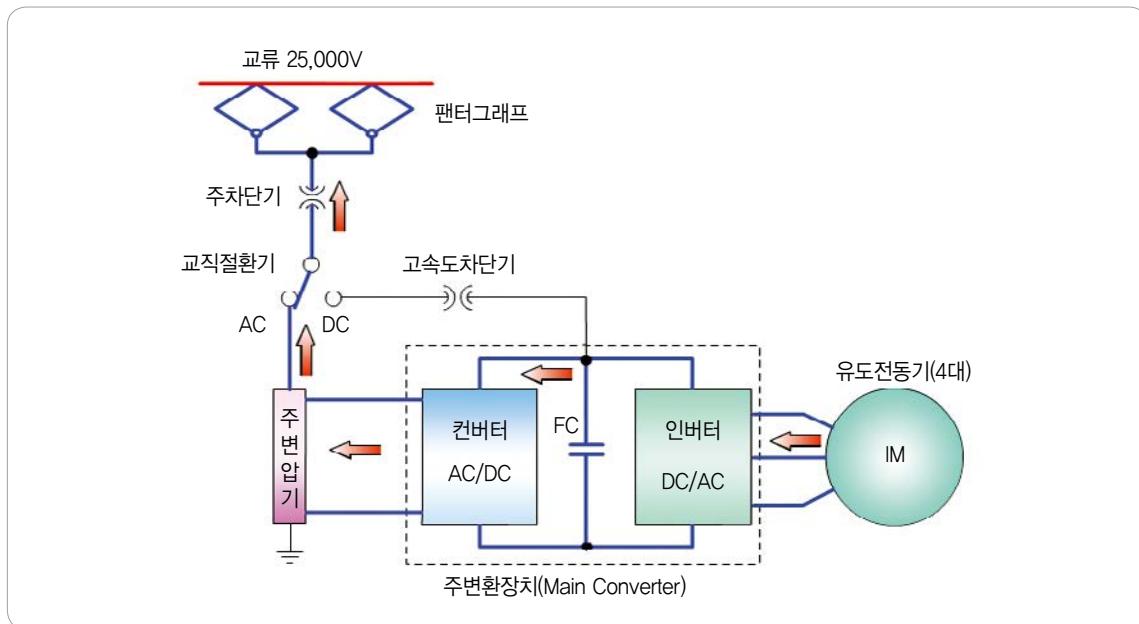
[그림 3-6] 직류 구간 회생제동 시 회생 전류 흐름도

3.1.3.2 교류 구간

교류 구간에서 동력 운전과 회생제동 시 개략적인 전류의 흐름은 다음과 같다.



[그림 3-7] 교류 구간 동력 운전 시 전류 흐름도



[그림 3-8] 교류 구간 회생제동 시 회생 전류 흐름도

(1) 동력 운전

교류 25,000V → 팬터그래프 → 주차단기 → 교직절환기 → 주변압기(AC 840×2) → 컨버터(AC → DC 1,800V) → 인버터(DC → AC, 유도전동기 제어) → 유도전동기 순서로 회로가 구성된다([그림 3-7]).

(2) 회생제동

유도전동기 회생 전류 → 인버터(동력 운전 시의 인버터가 컨버터 역할, AC → DC) → 컨버터(동력 운전 시의 컨버터가 인버터 역할, DC → AC) → 주변압기 → 교직절환기 → 주차단기 → 팬터그래프 → 전차선([그림 3-8])

3.2 견인 장치의 구성과 작용

견인 장치는 유도전동기와 주 변환장치, 그리고 주 변환장치를 제어하는 견인제어장치 및 필터리 액터, 차단기, 그리고 기타 보호 장치와 제어회로 등으로 구성되어 있다. 견인제어장치는 운전실의 주간제어기와 제동제어기의 제어를 받아 유도전동기의 운전 방향을 결정하고, 마이크로프로세서로 동력 운전과 전기제동 등을 제어한다.

3.2.1 유도전동기

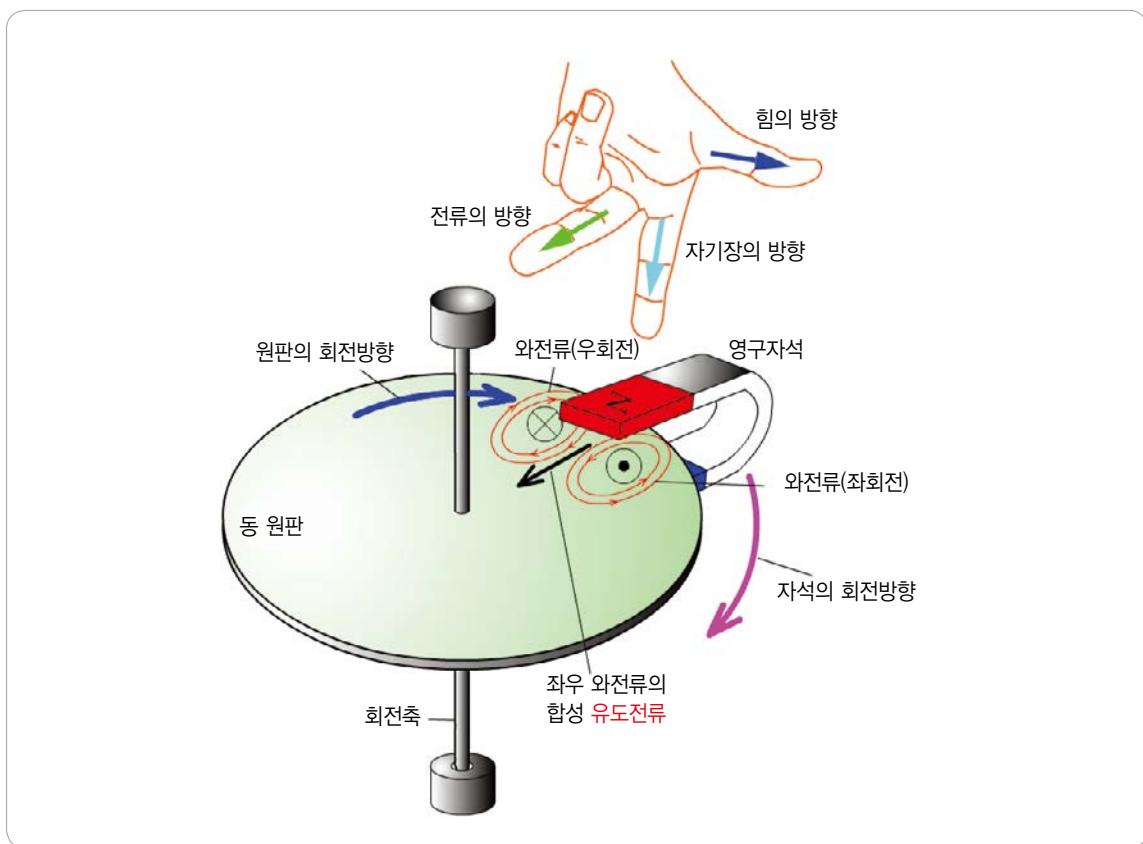
유도전동기의 고정자 권선에 3상의 교류전류를 공급하면 회전자계가 발생한다. 유도전동기는 그 회전자계에 의해 회전자의 도체에 유도되는 유도전류와 자기장 사이에서 회전력을 발휘하는 전동기이다. 유도전동기는 고정자 권선에만 전류가 흐르고, 회전자에는 별도로 외부 전류를 공급하지 않아 직류기에 있는 정류 장치와 브러시(brush)가 없다. 따라서 구성이 간단하고 기계적으로 튼튼하여 유지 보수가 쉬우며 가격도 저렴하다.

VVVF 제어 전기동차의 유도전동기는 3상 4극 농형유도전동기⁴⁾이고, 자체 냉각 방식이다. 연속 정격은 200KW, 1,100V, 130A, 2055RPM(Revolution Per Minute)이다.

4) 회전자의 모양이 대바구니 혹은 새장같이 생겨 농형유도전동기라 한다.

3.2.1.1 유도전동기의 회전 원리

유도전동기의 회전 원리는 일반적으로 아라고(D.F Arago)의 원판으로 설명한다. 아라고의 원판은 회전축을 중심으로 회전이 가능한 동 원판에 영구자석을 맞대고 회전시키면 동 원판이 따라 도는 현상을 나타낸 것이다. [그림 3-9]는 원판을 사이에 두고 영구자석의 N극과 S극을 시계 방향(보라색 화살표)으로 회전시키면 동 원판이 같은 방향(파란색 화살표)으로 영구자석을 따라서 도는 현상을 설명한 것이다.



[그림 3-9] 아라고의 원판과 회전 원리

원판의 회전 원리는 자석의 N극과 S극 사이의 자속이 회전하면 원판에 유도되는 자속도 그 크기가 변화하므로 렌츠의 법칙에 따라 원판에는 자속의 변화를 방해하는 방향으로 유도기전력이 발생한다.

즉 자석이 가는 곳의 자기장은 자석의 빨간색 N극에서 파란색 S극으로 들어가므로 원판의 위에서 아래 방향으로 들어가는 자기장의 세기가 계속 증가하는데 원판에는 이를 방해하는 방향 즉, 원판의

아래에서 위 방향으로 나오는(◎) 기전력이 유도된다.

반대로 자석이 지나간 자리는 위에서 아래로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 점차 줄어들기 때문에 이를 저지하는 방향 즉, 위에서 아래로 들어가는 방향(⊗)으로 기전력이 원판에 유도된다. 이같이 유도된 기전력에 앙페르의 오른나사 법칙이 적용되어 와(맴돌이)⁵⁾ 전류가 생긴다. 지나간 쪽은 우회전, 가는 쪽은 좌회전하는 전류가 서로 다른 방향으로 만들어지고, 이 와전류의 합성 전류가 [그림 3-9]의 검은색 화살표 방향으로 유도된다.

유도된 전류(검은색 화살표)의 방향은 원판의 중심 쪽으로 흐르고 자기장의 방향은 영구자석의 N극에서 S극 방향으로 이동하므로 원판의 위쪽에서 아래쪽으로 작용한다. 따라서 유도된 전류와 자기장의 작용으로 플레밍의 원손법칙에 의하여 힘(전자력)이 염지손가락의 방향(파란색 화살표)으로 발생하고 원판은 자석과 같은 방향으로 자석을 뒤따라 회전한다. 이것이 유도전동기의 회전 원리이다.

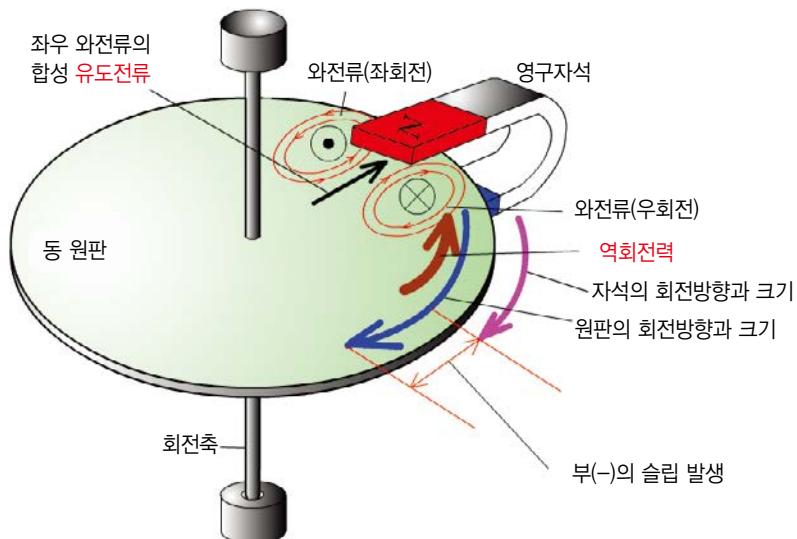
3.2.1.2 유도전동기의 전기제동 원리

동 원판이 관성에 의해 회전하고 있을 때 동 원판의 회전속도보다 영구자석의 회전속도를 늦추면 영구자석에서 발생하는 자기장을 동 원판이 끊고 지나가는 마이너스(−)의 슬립(미끄러짐)이 생긴다.

영구자석이 동 원판을 뒤따라 가면 동 원판의 뒤쪽으로 영구자석이 이동하는 상황이 되어 영구자석 뒤쪽의 동 원판에는 영구자석의 자기장의 세기가 계속 증가하므로 이를 방해하는 방향 즉, 원판의 아래에서 위 방향으로 나오는(◎) 기전력이 유도된다. 반대로 자석이 지나간 자리는 위에서 아래로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 점차 줄어들기 때문에 이를 방해하는 방향 즉, 위에서 아래로 들어가는 방향(⊗)으로 기전력이 유도된다. 이같이 유도된 기전력에 의해 만들어진 와전류의 합성 전류가 유도전동기의 회전 시와는 반대로 원판의 바깥([그림 3-10]의 검은색 화살표) 방향으로 유도된다.

따라서 플레밍의 원손법칙에 따라 발생하는 힘(전자력)이 회전 시와 반대(갈색 화살표 : 역(易)회전력)로 발생하여 원판의 회전을 방해하는 방향으로 작용한다. 이를 이용한 것이 유도전동기의 전기제동의 원리이며, 이때 원판이 영구자석의 자기장을 끊게 되어 유도전동기는 일시 유도발전기가 되어 교류 전기를 발전한다.

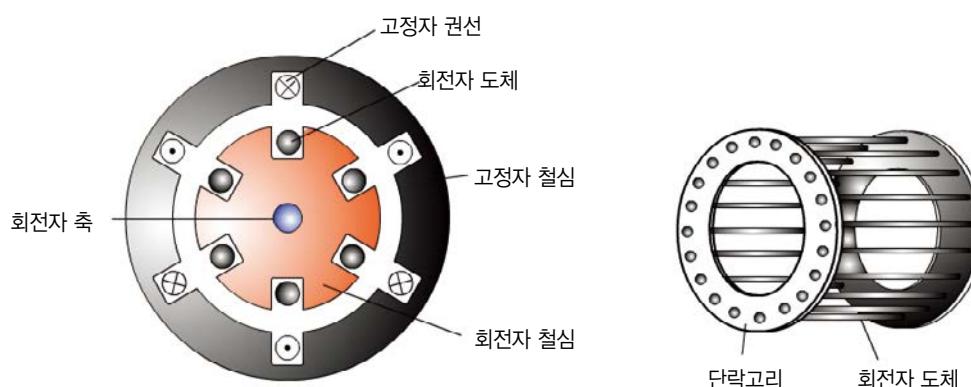
5) 도체의 내부에서 만들어진 전류로, 도체의 일부분에서 소용돌이 모양의 닫힌 통로를 흐르는 전류를 말한다.



[그림 3-10] 아라고의 원판과 전기제동 원리

3.2.1.3 유도전동기의 구조

농형유도전동기의 고정자 측에는 [그림 3-11]과 같이 회전자계를 발생하는 고정자 권선이 있다. 회전자는 철심의 흠에 회전자 도체를 집어넣어 각 도체의 양 끝을 단락 고리로 연결하여 도체와 철심 간을 별도로 절연할 필요가 없으며 간단하고 튼튼한 구조이다.



3상 유도전동기(고정자와 회전자)의 구조

회전자(Rotor)의 구조

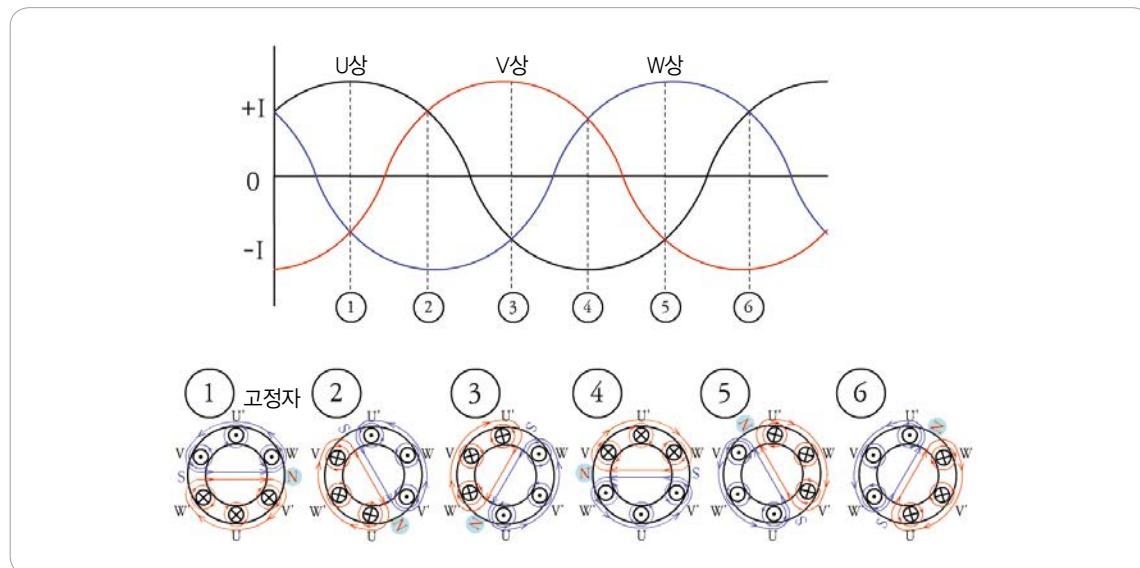
[그림 3-11] 유도전동기의 구조

3.2.1.4 회전자계와 회전수

원판(이하 ‘회전자’라 한다)에 자석을 회전시켜 자속을 변화시키면 자석의 회전에 따라 회전자도 같은 방향으로 회전한다. 그러나 유도전동기에 자석을 회전시킬 수는 없으므로 자석을 회전시키는 대신 3상의 교류 전원을 공급하여 전자석을 만들어 회전시키는 회전자계로 대체한다.

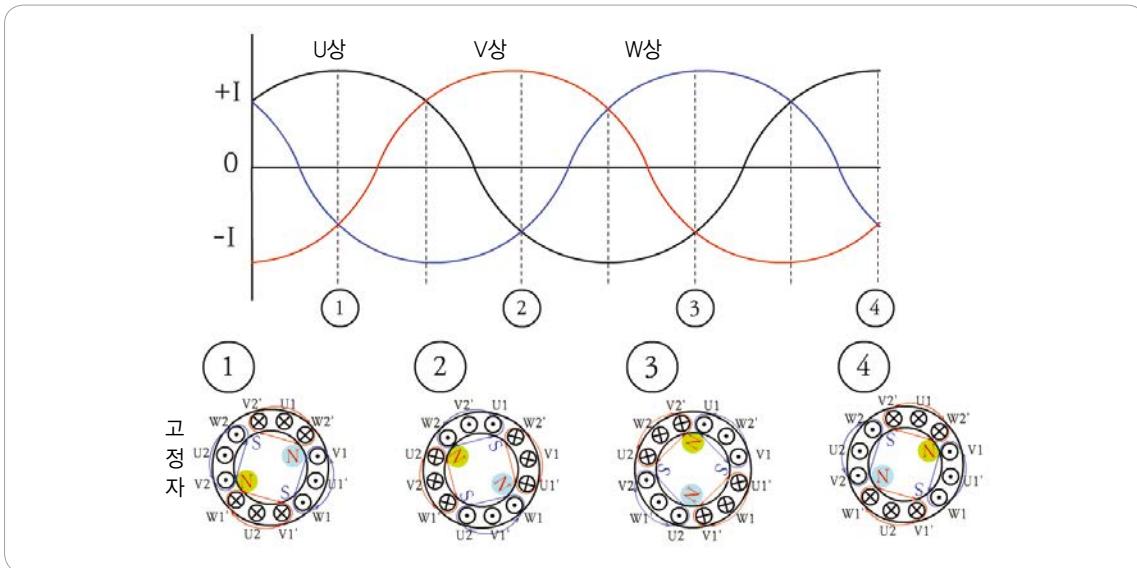
유도전동기의 원통형 고정자 철심의 홈(slot) 사이에 세 가닥의 코일을 120° 의 전기각(電氣角) 간격으로 배치([그림 3-11])하였다. 이들 코일을 각각 U, V, W상 권선(고정자 권선)이라 하고 그 권선에 [그림 3-12], [그림 3-13]과 같이 삼상교류 전류를 흘리면 고정자에 회전자계가 발생한다.

[그림 3-12]는 2극(U와 U', V와 V', W와 W')의 고정자 권선에 3상 교류를 흘려보냈을 때 회전자계가 발생하는 과정을 나타낸 것이다.



[그림 3-12] 2극일 때의 회전자계(1주기에서 1회전)

120도의 위상차를 가진 U상과 V상 그리고 W상의 1주기 동안에 생기는 회전자계를 6개의 순간으로 나누어 살펴보자. 먼저 ①의 경우 U상은 '+', V상과 W상은 '-'로 전류는 고정자 권선의 U(\otimes) → U'(\odot), V'(\otimes) → V(\odot), W'(\otimes) → W(\odot)로 흐르므로 앙페르의 오른나사의 법칙에 따라 전류가 나오는 쪽(\odot)은 반시계 방향(파란색)으로 자기장이 생기고, 전류가 들어가는 쪽(\otimes)은 시계 방향(빨간색)으로 자기장이 생긴다. 이같이 만들어진 자기장을 합성하면 N극과 S극을 가진 가상의 전자석이 생긴다. 같은 방법으로 ②에서 ⑥까지 진행하면서 만들어진 가상의 전자석이 시계 방향으로 회전(하늘색 N극의 이동을 참고)하고 있는 것을 볼 수 있어 마치 자석을 회전시키는 것과 같아 이를



[그림 3-13] 4극일 때의 회전자계(1주기에서 1/2회전)

회전자계라 한다.

회전자계는 2극일 때 교류 1주기에서 1회전을 하므로 1초에 60번 진동하는 주파수(Hz)를 가진 3상 교류를 흘려보내면 회전자계는 원주를 1초에 60바퀴를 회전하게 된다.

[그림 3-13]의 4극일 때를 살펴보자. 교류 1주기 ①에서 ④까지 진행하면서 2개의 가상의 전자석이 만들어지고 회전자계는 3상 교류 1주기 동안에 원주를 1/2 회전하는 것을 알 수 있다.

정리하면, 회전자계가 2극일 때는 3상 교류의 1주기에서 원주를 1회전을 하고 4극일 때는 1/2 회전하므로, 회전자계의 회전수(동기속도)⁶⁾는 주파수(F)에 비례하고 극(P) 수에 반비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 회전자계의 초당 회전수(Ns)는 주파수(F)를 극수(P)로 나눈 값 $N_s = 2F/P$ 로 나타낼 수 있다.

여기서 주파수(F)는 1초당 진동하는 횟수로 초당 회전수이다. 이를 전동기의 분당 회전수인 RPM으로 값을 바꾸면 다음과 같다.

$$N_s = \frac{120F}{P} \quad \dots \dots \dots \quad (3-1)$$

식 중 N_s : 1분간 회전수(RPM), F : 전원 주파수(Hz), P : 극수

6) 회전자계의 회전속도이고, 전원의 주파수와 전동기의 극수에 의해 결정된다.

3.2.1.5 유도전동기의 속도 제어

(1) 전압과 주파수 제어

유도전동기의 회전수는 (3-1)식에서와 같이 전원 주파수에 비례하고, 극수에 반비례한다. 즉 회전수를 변화시키려면 전원 주파수 또는 극수를 바꾸어 주면 되는데, 전동기의 극 수를 변경하는 것은 곤란하고 일반적으로 전원 주파수를 변화시킨다. 전원 주파수를 변화시키면 회전자계의 회전속도가 변화하므로 따라 도는 회전자의 회전속도를 제어할 수 있다.

그러나 전원 주파수만을 증가시켜 회전수를 올리게 되면 속도가 올라감에 따라 유도전동기의 회전력이 점차 떨어지고, 부하보다 회전력의 크기가 떨어지면 가속은 멈추게 된다. 따라서 전원 주파수의 증가와 함께 전동기 공급 전압을 동시에 올려 주면 속도를 높이면서 회전력을 유지할 수 있다.

즉, 유도전동기의 회전수를 높이려면 전원 주파수를 올리면서 떨어지는 회전력을 보상해 주기 위해 전압도 함께 올려야 한다. 이를 가변전압 가변주파수(Variable Voltage Variable Frequency) 제어라 한다.

(2) 슬립 제어

유도전동기 회전자의 회전속도는 회전자계의 속도를 거의 따라가지만 회전자에 걸리는 부하로 인하여 완전하게 일치하지는 않는다. 즉 동력 운전을 하는 경우 회전자는 회전자계의 회전속도보다 조금 느린 속도로 회전하고, 전기제동⁷⁾ 시는 반대로 회전자계보다 조금 빠른 속도로 회전한다. 이 일치하지 않는 부분의 비율을 슬립(slip)이라 하고, 회전자계의 속도에서 실제 회전자의 회전속도를 감한 것을 슬립주파수라 한다.

동력 운전 시 슬립주파수가 크면 회전자가 회전자계를 그만큼 늦게 따라가므로, 회전자에 유도되는 전류가 크게 된다. 따라서 슬립의 크기를 제어하면 회전자에 유도되는 전류의 크기가 제어되므로 부하에 대응하여 회전력의 크기도 제어할 수가 있다(식 (3-4) 참고).

슬립주파수 F_s 는 다음식 (3-2)와 같다.

$$F_s = N_s - N \quad \dots \dots \dots \quad (3-2)$$

(F_s : 슬립주파수, N_s : 회전자계의 회전속도(동기속도), N : 회전자의 회전속도)

7) 전기동차의 전기제동은 대부분 전력을 전차선으로 되돌리는 회생제동으로 작용하나, 전력을 전차선으로 되돌릴 수 없는 경우에는 발전제동으로도 작용한다. 따라서 회생제동과 발전제동을 아울러서 전기제동으로 표기하기로 한다.

또 슬립 S는 슬립주파수 F_s 를 회전자계의 회전속도 N_s 로 나눈 값이다.

$$S = \frac{F_S}{N_S} = \frac{N_S - N}{N_S} \dots \dots \dots \quad (3-3)$$

(3) 회전력 제어

1) 전압과 주파수 제어

유도전동기에 발생하는 회전력(Torque)은 식 (3-4)와 같이(전원 전압/전원 주파수)의 제곱과 슬립주파수에 비례하는 것으로 나타나므로, 전동기의 전원 전압과 주파수 그리고 슬립주파수를 제어하여 유도전동기의 토크를 자유롭게 제어할 수 있다.

(T : 유도전동기 회전력, K : 상수, F : 전원 주파수, V : 전원 전압, F_s : 슬립주파수)

2) 슬립주파수 제어

유도전동기의 주파수와 전압을 제어하여 높일 수 있는 전동기의 공급 전압이 한계에 이르면 이후 주파수의 상승으로 떨어지는 회전력을 슬립주파수를 변화시켜 높여준다.

즉, 슬립이 크면 회전자에 유도되는 전류가 커지기 때문에 떨어지는 회전력을 높일 수 있다.

3.2.2 주 변환장치

주 변환장치는 유도전동기가 장착된 구동차(M. M'차)에 탑재되어 있고, 4대의 유도전동기의 전원과 속도 및 견인 등을 제어하는 장치이다. 교·직류 전기동차의 주 변환장치는 전력변환장치부와 견인제어장치부로 구성되어 있다. 전력변환장치부에는 컨버터와 인버터 그리고 평활회로가 있다.

[그림 3-14]와 같이 동력 운전 시에 직류 구간(교직 절환기 DC위치)에서 직류 1,500V의 전차선 전원을 공급받아 필터커패시터에서 평활화한 다음, 인버터로 보낸다. 인버터에서는 직류 전력을 3상 교류로 변환 출력하여 구동차(M차 또는 M'차)에 있는 4대의 유도전동기를 제어한다.

교류 구간에서(교직 절환기 AC위치)는 주변압기에서 오는 단상교류(AC 840V×2)의 전원을 입력 받아 컨버터에서 직류 1,800V로 변환하고, 그 전압을 필터커패시터(FC)에서 평활화한 다음 인버터로 보내면 인버터에서는 직류 구간과 같이 3상 교류로 전력을 변환하여 4대의 유도전동기를 제어한다.

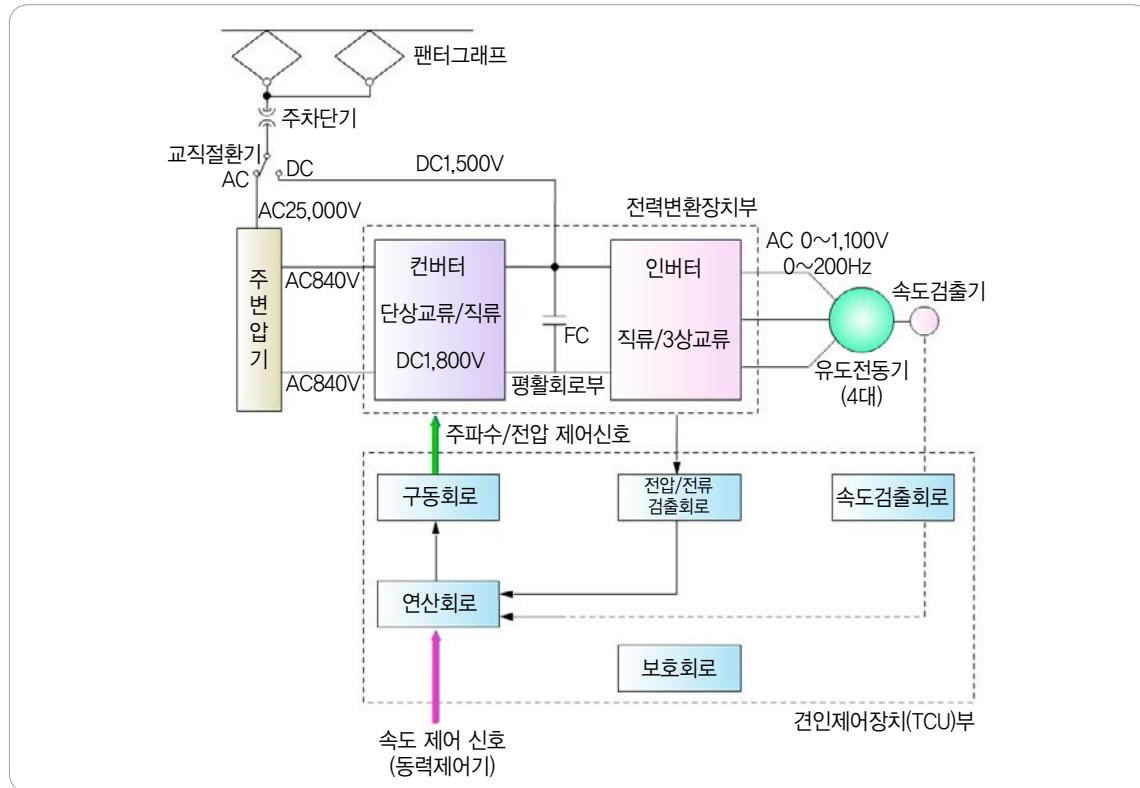
회생제동 시에 컨버터는 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 전차선으로 되돌리는 역할을 하고, 인버터는 유도전동기에서 발전된 교류 전력을 직류 전력으로 변환시켜 교류 구간에서는 컨버터로 되돌리고, 직류 구간에서는 전차선으로 되돌리는 역할을 한다.

따라서 동력 운전 시의 컨버터는 전기제동 시에는 인버터 역할을 하고, 동력 운전 시의 인버터는 회생제동 시에는 컨버터 역할을 하게 된다. 한편 직류 전력을 전차선에서 직접 수전하여 운행하는 직류 전용 전동차에는 컨버터의 설비가 필요 없다.

평활회로 부분은 컨버터와 인버터에서 정류 시 발생하는 파형(ripple) 전압을 흡수하는 필터커패시터가 있다.

주 변환장치의 특징은 다음과 같다.

- ⓐ 동력과 전기제동의 전환과 앞, 뒤 운전 방향의 전환이 전력변환 소자의 스위치 전환으로 이루 어지므로 별도의 전기 접촉기가 필요 없다.
- ⓑ 대용량의 전력변환 소자에 의해 유도전동기가 제어되어 견인제어회로가 간단하고 소형화되었다.



[그림 3-14] 주 변환장치의 구성

- ④ 교류 구간 운행 중에는 주변압기에서 오는 단상의 교류를 입력받아 컨버터와 인버터를 거쳐 3상의 교류로 출력하여 유도전동기에 전력을 공급하나, 직류 구간을 운행 중에는 직류 1,500V를 직접 인버터에서 3상 교류로 출력하기 때문에 컨버터 부분의 사용이 중지된다.

3.2.2.1 주 변환장치의 구성과 작용

주 변환장치는 [그림 3-14]와 같이 전력변환장치부와 견인제어장치부로 구성되어 있다.

(1) 주 변환(전력변환) 장치부

전력을 변환하여 유도전동기에 전력을 공급하고, 유도전동기를 제어하는 장치를 주 변환장치라 부른다. 주 변환장치의 제어 방식은 전압형 PWM 제어, 가변전압 가변주파수 인버터 제어 방식이다. 장치의 구성은 주변압기를 거쳐 온 단상교류 전원을 직류 전력으로 변환하는 「컨버터 부분」, 직류 전력을 3상 교류로 변환하는 「인버터 부분」, 컨버터 부분과 인버터 부분에서 정류 시 발생하는 파형(ripple) 전압을 흡수하는 「평활회로 부분」의 필터커패시터(Filter Capacitor, 이하 'FC'라 한다)로 구성된다.

(2) 견인제어장치부

1) 제어회로

견인제어장치의 제어회로는 마이크로프로세서에 의해 주 변환장치의 전압과 전류, 유도전동기의 속도, 동력제어기의 속도 제어 신호 등을 연산하여 주 변환장치에 적절한 제어 신호를 준다. 이 제어 신호로 주 변환장치는 유도전동기의 회전속도와 회전력 등을 제어한다. 제어회로는 다음과 같은 회로로 구성된다([그림 3-14]).

- ① 전압/전류 검출회로 : 전력변환장치부의 전압과 전류를 검출한다.
- ② 속도검출 회로 : 유도전동기의 속도를 검출한다.
- ③ 연산회로 : 전력변환장치에서 검출된 전압/전류, 유도전동기의 속도와 동력제어기의 속도 제어 신호를 받아 유도전동기 제어용 주파수와 전압을 연산한다.
- ④ 구동회로 : 연산회로의 신호를 증폭하여 주 변환장치의 전력변환용 소자(GTO 사이리스터 또는 IGBT, 이하 '전력변환 소자'라 한다)의 ON/OFF로 주파수와 전압을 제어한다.

2) 보호회로

주 변환장치와 유도전동기를 과전압, 과전류 등에서 보호하는 회로를 「보호회로」라 하고 기기를

손상시킬 우려가 있는 과전압과 과전류 등의 보호 검출은 기본적으로 하드웨어(Hardware)로 행하고 있다.

운행 중에 발생하는 가벼운 고장의 경우 즉시 전력변환 소자를 OFF 하여 주 변환장치의 작동을 멈추게 하는 동시에 과전압 방전 사이리스터(OVCRf)로 필터커패시터(FC)의 전하를 방전하여 장치를 보호한다.

교류 구간을 운행 중 전력변환 소자의 소손, 주 변환장치의 과부하 및 접지 등의 중(重)고장이 발생하였을 때는 MCB 개방계전기(MCBOR)가 무여자 되어 주차단기(MCB, 이하 MCB라 한다)를 차단한다. MCB가 차단되면 견인 회로가 끊어지므로 고장의 확대를 사전에 방지한다.

3.2.2.2 컨버터와 인버터의 작용

(1) PWM 컨버터(Pulse Width Modulation Convertor)

전기동차용 컨버터는 단상 전압형 PWM 컨버터(Convertor)로 전력변환 소자를 이용한 전력변환 장치이다. 전력변환 소자로 초기 모델은 GTO 사이리스터를 사용하였으나 이후 IGBT 소자를 사용하고 있다. 전기동차가 동력 운전 시에는 주변압기 2차 측 2개의 권선을 병렬접속한 840V×2의 강압된 교류 전원을 PWM 컨버터에서 DC 1,800V의 일정 직류전압으로 변환하여 FC에 에너지를 축적하고, VVVF 인버터 입력으로 공급한다.

전기제동 시에는 유도전동기에서 발생 된 교류 전력을 동력 운전 시의 인버터 측에서 직류 1,800V 전력으로 변환하여 일단 FC에 회생 에너지로 축적한 다음 PWM 컨버터에 의해 교류 전력으로 역변환하여 전자선으로 에너지를 되돌려 준다. 따라서 동력 운전 시의 컨버터는 인버터의 전기제동 시와 같고, 전기제동 시의 컨버터는 동력 운전 시의 인버터 역할을 하는 것으로 직류 구간을 운전할 때는 사용하지 않는다.

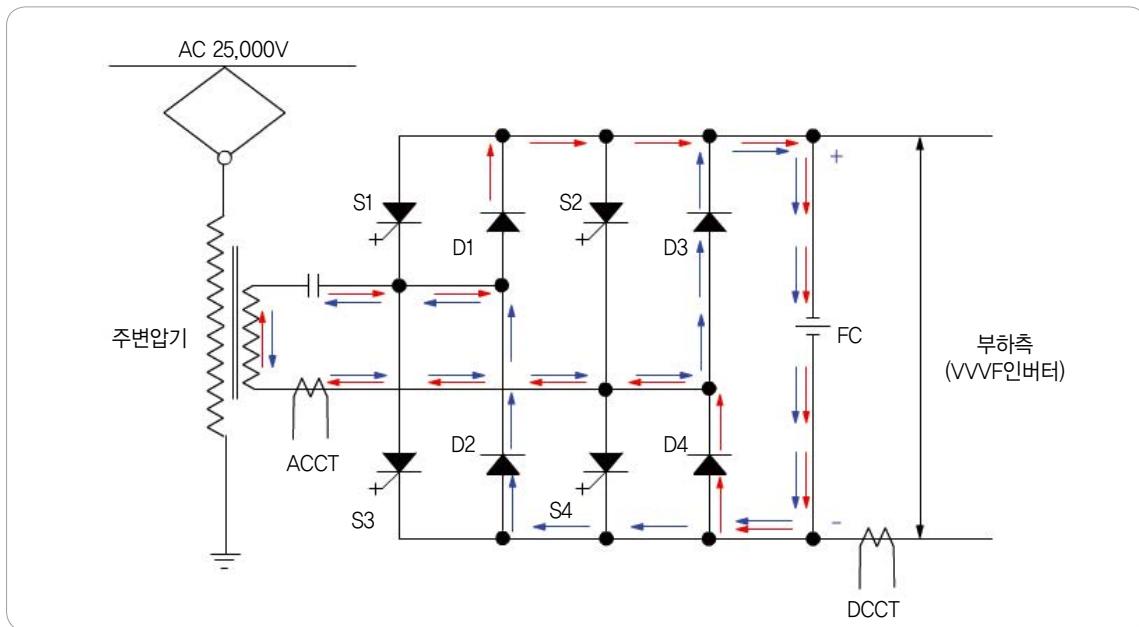
장치의 간략한 구성은 [그림 3-15]에서 보는 것처럼 주변압기의 2차 측에 전력변환 소자(S1~S4), 다이오드(D1~D4), 직류 평활용 FC로 구성되며 부하 측은 VVVF 인버터와 접속된다.

PWM 컨버터의 작용은 크게 교류를 직류로 바꾸는 정류작용을 하고, 전압을 승압하여 직류 1,800V로 높인 다음 정전압 제어와 함께 역률을 제어한다.

1) 교류의 정류작용

정류란 교호로 전류의 흐름이 바뀌는 교류를 한 방향으로 흐르는 직류전류로 바꾸는 작용을 말한다. 교류의 정류는 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 다이오드의 특성을 이용한 것이다. [그림 3-15]에서 4개의 다이오드를 이용하여 정류하는 과정을 살펴보자.

주변압기 2차 측에 유도되는 교류는 전류의 흐르는 방향이 교호로 바뀐다. 그림에서 주변압기 2차 측의 위쪽으로 전류가 흐를 때는 빨간색 화살표 방향으로 전류가 흘러 FC에 축적되고 주변압기 2차 측으로 되돌아오는 하나의 회로를 구성한다. 반대로 아래쪽으로 전류가 흐르면 그림의 파란색 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 FC 측은 전류가 항상 한 쪽 방향으로 흐른다.



[그림 3-15] PWM 컨버터의 구성과 정류작용

2) 역률과 정전압 제어

① 역률 제어

주변압기의 2차 측 유기 전압의 크기와 주파수는 거의 일정하기 때문에 교류 출력전압의 크기와 위상을 컨버터에서 전력변환 소자의 ON/OFF로 제어하면 임의로 역률의 제어가 가능하다. 즉 교류 구간의 전자선에서 오는 전압, 전류와 주파수에 맞춰서 전력변환 소자의 ON/OFF 신호를 주어 역률을 제어한다.

② 정전압 제어

제어 신호 전압과 FC 쪽의 실제 전압을 비교하여 실제 전압이 제어 신호 전압보다 낮으면 제어계에서 전력변환 소자로 전류치를 증가시켜 FC로 보내 에너지를 축적시킴으로 직류전압을 높인다. 반대로 제어 전압보다 실제 전압이 높으면 그 유효전력을 전원 쪽으로 회생하는 방법으로

직류전압을 감소시켜 제어 신호 전압과 실제 전압이 같도록 출력전압(통상 DC 1,800V)을 항상 일정하게 제어한다.

- ⓐ 제어 신호 전압 > 실제 전압 → 전류를 증가, FC에 축적시켜 직류전압 높임
- ⓑ 제어 신호 전압 < 실제 전압 → 유효전력을 전원 측으로 회생, 직류전압 낮춤
- ⓒ 출력전압을 DC 1,800V로 일정 제어

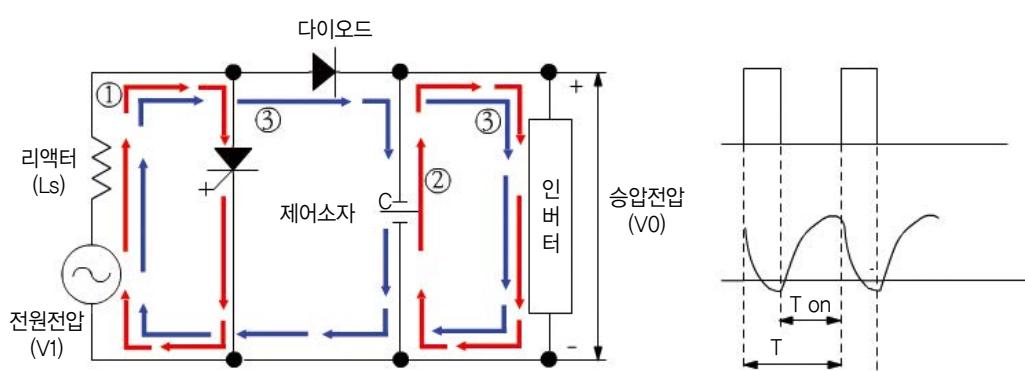
이와 같은 정전압의 제어는 PWM 제어를 통해 평균 전압을 제어하여 이루어진다. PWM 제어는 다음 '(2) VVVF 인버터'에서 설명하기로 한다.

③ 승압 초퍼(chopper)로서의 작용

[그림 3-16]은 PWM 컨버터 회로 중 승압 초퍼 작동에 관련된 부분만을 발췌하여 나타내었다.

승압 초퍼의 작동은 전력변환 소자가 ON일 때와 OFF일 때로 구분하여 나타낼 수 있다. 그림에서 교류 전원이 정(正)의 반주기일 때 전력변환 소자를 ON 한 상태에서 전원 전압에 의해 전류가 리액터(L_s)로 흘러(빨간색 화살표 ①) 축적되고, 인버터 측에는 콘덴서에 축적되어 있던 전류(빨간색 화살표 ②)가 흘러간다. 다이오드는 전력변환 소자가 ON일 때 콘덴서의 전류가 전력변환 소자 쪽으로 흐르는 것을 방지한다.

전력변환 소자가 OFF 되면 일정한 전류를 계속 흐르게 하는 리액터의 작용으로 전원 전압(V_1)의 리액터(L_s)에 축적된 전기에너지가 다이오드의 순방향을 거쳐 콘덴서에 더해지고, 인버터 측으로 흘러가므로(파란색 화살표 ③), 인버터 측의 전압은 리액터에 축적된 에너지 전압만큼 승압이 된다. 따라서 전자선에서 수전한 교류 25,000V는 주변압기 2차 측에서 $840V \times 2$ 가 만들어지고, 컨버터를 거쳐 직류 1,800V로 승압이 된다.



[그림 3-16] 승압 초퍼 동작 설명도

(2) VVVF(Variabie Voltage Variable Frequency) 인버터

1) 개요

VVVF 인버터는 직류 전력을 3상의 교류 전력으로 변환하여 3상 유도전동기에 전력을 공급하면서 유도전동기의 회전수와 회전력을 제어한다. 제어하는 방식이 출력전압과 주파수의 크기를 변화시켜서 제어하기 때문에 가변전압 가변주파수(Variabie Voltage Variable Frequency, 이하 VVVF라 한다)제어 인버터라 한다.

VVVF 제어 인버터는 전력변환 소자를 사용하여 교호 스위칭(ON/OFF) 작용으로 3상 교류 전력을 만들고 전압과 주파수를 제어하여 유도전동기 속도와 회전력을 제어한다. 그리고 동력 운전과 전기제동을 선택하고, 유도전동기의 회전 방향을 바꾸어 차량의 운전 방향을 결정한다.

VVVF 인버터의 주요 기능을 요약하면 다음과 같다.

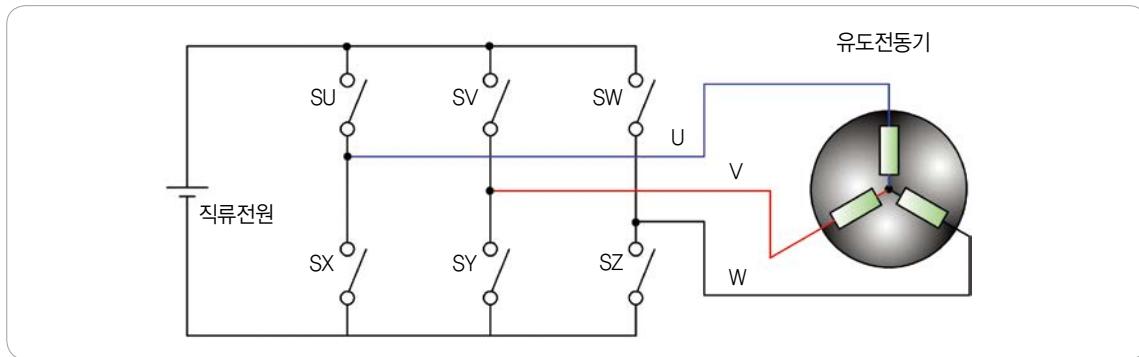
첫째, 유도전동기에 3상의 교류 전력을 공급하며, 전압과 주파수 등을 변화시켜 전동기의 회전수와 회전력을 제어한다.

둘째, 동력 운전과 전기제동의 회로를 선택하고 제어한다.

셋째, 유도전동기의 회전 방향을 바꾸어 차량의 운전 방향을 결정한다.

2) 3상 교류의 발생

직류전원을 3상 교류전압으로 만들기 위해 [그림 3-17]과 같은 회로에 유도전동기를 제어하는 6개의 스위치(SU, SV, SW, SX, SY, SZ)를 설정하였다.



[그림 3-17] 인버터의 간략 회로도

회로의 스위치를 [표 3-3]과 같이 ON/OFF 시키는 경우 교류 3상 U, V, W 각 상의 전압과 UV, VW, WU의 선간전압이 [그림 3-18]과 같이 발생한다.

[표 3-3]의 형태 1, 2, 3에서 스위치 SU가 On 상태로 되고, SV는 형태 3, 4, 5에서 On 상태로 된다. 여기서 U상과 V상의 발생 전압은 반대이기 때문에 서로 대응할 경우 U와 V선 사이 선간의 전압은 형태 1, 2에서 “+”방향으로 나타나고, 형태 4, 5에서는 “-”방향으로 나타난다.

따라서 형태 1에서 6까지 진행되는 동안 U와 V선 사이는 형태 1, 2에서 “+”반주기, 형태 4, 5에서 “-”의 반주기의 교류 1개 파형이 형성된다. 이하 VW, WU 선간에서도 마찬가지의 교류 파형이 형성되어 3상 교류로 변형된 전력이 [그림 3-18]과 같이 나타난다.

[표 3-3] 스위칭 순서

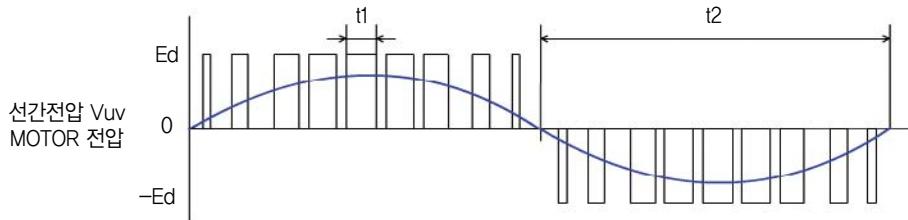
형태	1	2	3	4	5	6	1	2
On 상태의 SW	SU	SU	SU	SX	SX	SX	SU	SU
	SY	SY	SV	SV	SV	SY	SY	SY
	SW	SZ	SZ	SZ	SW	SW	SW	SZ

형태	1	2	3	4	5	6	1	2
U상 전압								
V상 전압								
W상 전압								
UV 선간 전압								
VW 선간 전압								
WU 선간 전압								

[그림 3-18] 스위칭 순서에 의한 발생 전압

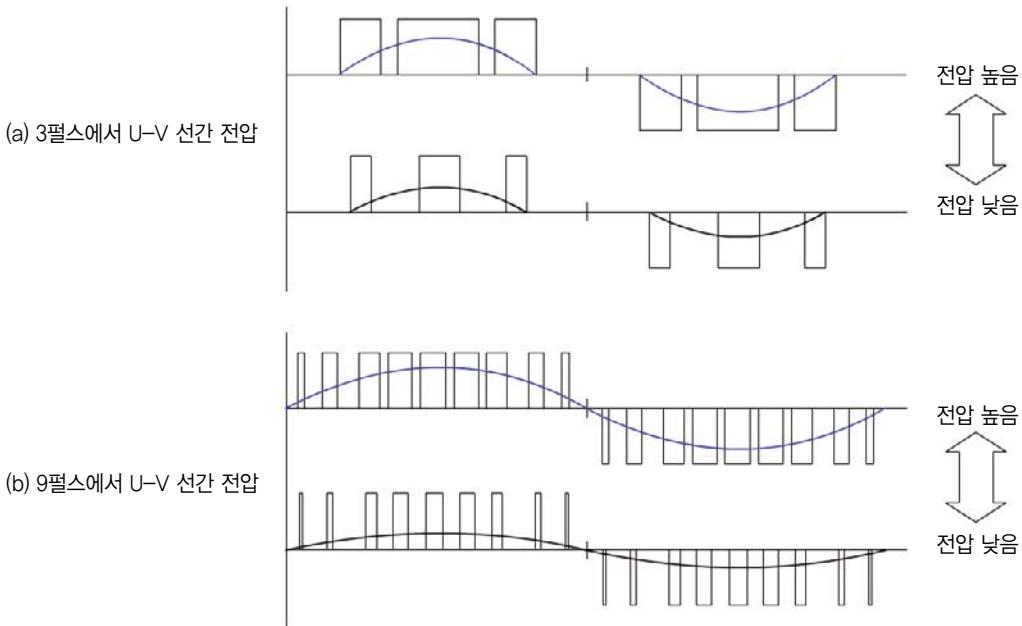
3) 전압 제어 방법

출력전압은 [그림 3-19]에서와 같이 스위치의 ON 기간 t_1 에 의해 제어되고, 출력 주파수는 스위치 ON/OFF의 주기인 t_2 에 의해 제어가 가능하다.



[그림 3-19] 인버터 출력 전압(U-V 상간 발생 전압)

이같이 정현파의 반주기 동안에 전력변환 소자의 스위치 ON 기간(t_1)과 스위칭 횟수(t_2)에 의해 결정된 펄스의 파형을 유도전동기의 전압 제어에 이용한다.



[그림 3-20] 펄스폭 변조에 의한 출력전압 제어 방법

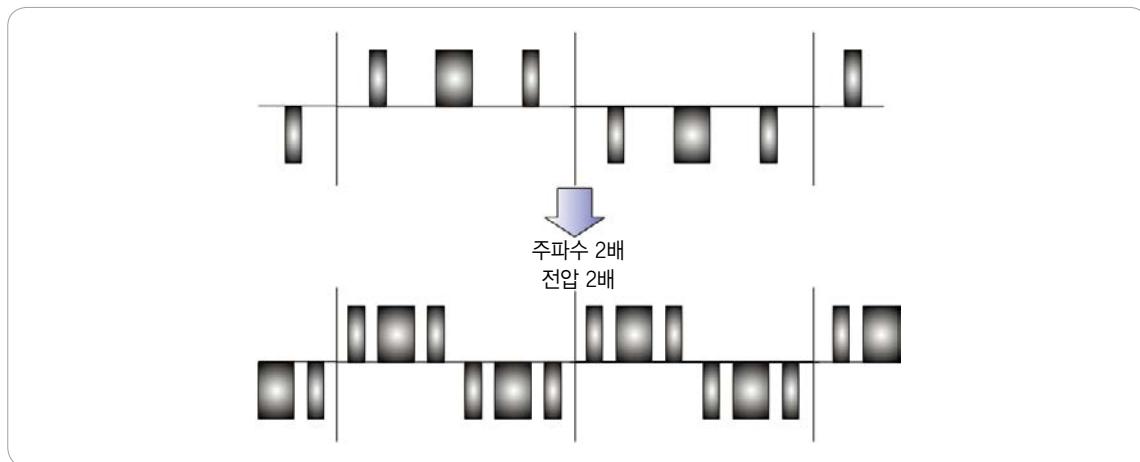
[그림 3-20]은 동일 주파수에 있어서 3과 9펄스 모드⁸⁾ 시의 전압 제어 방법을 보여 주고 있다. 그림의 (a)와 (b)에서 각각 아래쪽은 위쪽보다 펄스폭을 좁게 한 경우로 평균 전압은 그림의 곡선

8) 선간전압 파형의 반주기당 전압 펄스의 수를 펄스 모드라 한다.

으로 표현한 것처럼 펄스폭이 넓은 위쪽에 비하여 아래쪽이 낮게 나타난다. 그리고 펄스 모드를 바꾸면 평균 전압은 변화하기 때문에 유도전동기의 고정자에 인가되는 전압의 크기를 제어하는 것은 펄스 모드와 펄스폭을 변경하는 것으로 가능하게 된다.

4) 주파수 제어 방법

출력 주파수는 [그림 3-21]과 같이 펄스 모드나 펄스폭은 변경하지 않고 펄스 주파수, 즉 전력변환 소자의 스위칭 주파수 주기를 변경하면 가능하게 된다. 위 그림보다 아래 그림과 같이 전력변환 소자의 스위칭 횟수를 2배 증가하면 주파수가 2배가 된다. 인버터에서 주파수의 제어는 유도전동기의 회전수를 속도 검출기에서 검출하여 비교 연산한 다음 제어 신호에 의해 전력변환 소자를 ON/OFF 하여 이루어진다.



[그림 3-21] 주파수 제어

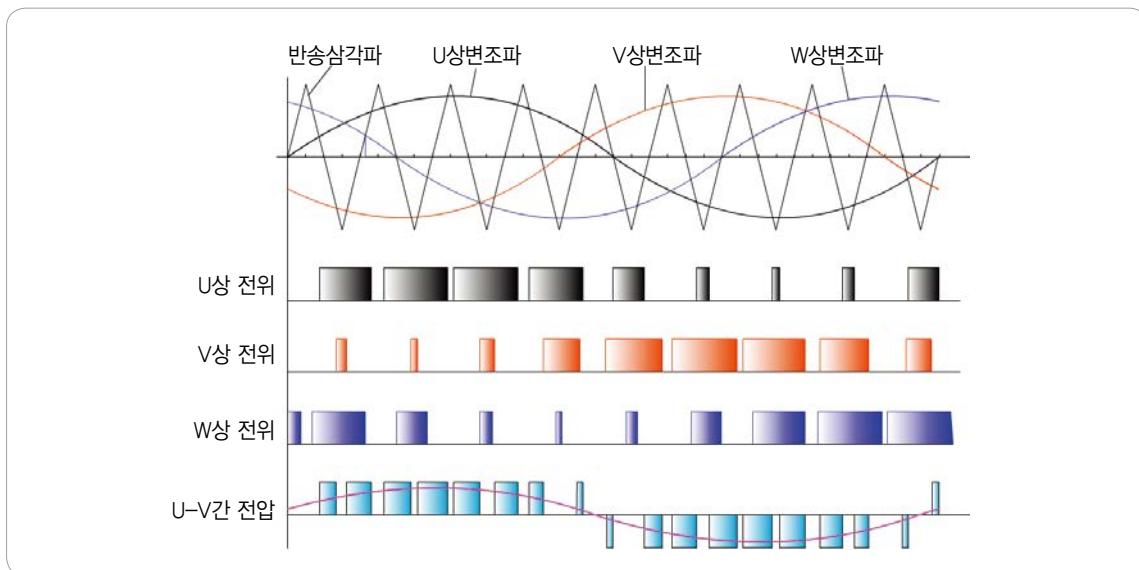
전압 제어와 주파수 제어 방법을 정리하면 동력 운전 시 VVVF 제어 인버터는 직류를 교류로 변환하면서 전압과 주파수를 변화시키는 기능을 가진 변환기로 작용한다. 유도전동기를 제어하는 출력전압의 크기는 전력변환 소자의 스위치의 ON 시간의 비인 펄스폭에 의해 결정된다. ON 시간이 길어 펄스폭이 넓어지면 전압의 크기도 커지고, ON 시간이 짧아 펄스폭이 좁아지면 전압의 크기가 작아진다.

유도전동기의 회전수를 제어하는 출력 주파수는 전력변환 소자의 스위칭 주기에 의한다. 스위칭의 주기를 빠르게 하면 유도전동기의 고정자 코일의 전원 주파수를 높여서 따라 도는 회전자의 속도도 함께 빨라지게 된다.

이같이 전력변환 소자의 스위칭 ON 시간으로 전압의 크기를 제어하고, 스위칭의 주기로 주파수를 제어하여 유도전동기에 공급하는 전압과 주파수를 제어한다.

5) 펄스폭 변조(PWM: Pulse Width Modulation) 제어

펄스폭 변조란 출력 파형의 반주기 안에 여러 개의 펄스열을 만들고, 그 펄스폭의 등가 전압을 정현파 모양으로 변화시켜 매끄러운 정현파 출력을 얻는 방법이다. [그림 3-22]는 9펄스 모드의 예로 정현파를 제어하는 방법을 나타내고 있다.



[그림 3-22] 펄스폭 제어 원리

그림과 같이 반송(Carrier) 3각파와 정현파 형태의 각 상 변조파를 비교하여 각 출력 단자 전위를 각 상의 변조파가 반송 3각파보다 큰 경우에만 전력변환 소자의 스위치를 ON하도록 하면 펄스폭을 변조할 수 있다. 그 출력의 평균 전압은 그림의 U-V 선간전압과 같은 정현파를 얻을 수 있다.

이같이 인버터의 출력전압은 반송 삼각파의 주파수가 높을수록 펄스 모드를 높여서 정현파에 가까운 매끄러운 출력을 얻을 수 있지만, 전력변환 소자의 스위칭 성능과 데이터 처리 속도의 제한, 회로 손상의 우려 등으로 반송주파수는 제한을 받게 된다. 따라서 인버터 출력 주파수의 상승, 즉 차량의 속도가 높아짐에 따라 펄스 모드의 수를 감소시켜 주고 있다.

6) 유도전동기 회전 방향 바꾸기

유도전동기의 회전 방향을 변환하여 차량의 운전 방향을 결정하는 것은 인버터 전력변환 소자의 점호⁹⁾ 순서를 변경하여 주면 된다. 이것은 유도전동기의 고정자 코일의 V상과 W상을 서로 바꾼 것에 해당하는 것으로 회전자계의 발생순서가 반대로 되어 유도전동기의 회전 방향이 반대로 바뀌게 된다.

전력변환 소자의 점호 순서를 [표 3-4]와 같이 하였을 때 전력변환 소자의 점호 순서에 의한 유도전동기 회전 방향 변환은 [그림 3-23]과 같다.

[표 3-4] 전력변환 소자의 점호 순서

반시계 방향 회전 ←						→ 시계 방향 회전					
SU	SU	SW	SV	SV	SU	SU	SU	SW	SV	SV	SV
SY	SW	SX	SW	SX	SV	SY	SW	SX	SW	SX	SX
SZ	SY	SY	SX	SZ	SZ	SZ	SY	SY	SX	SZ	SZ

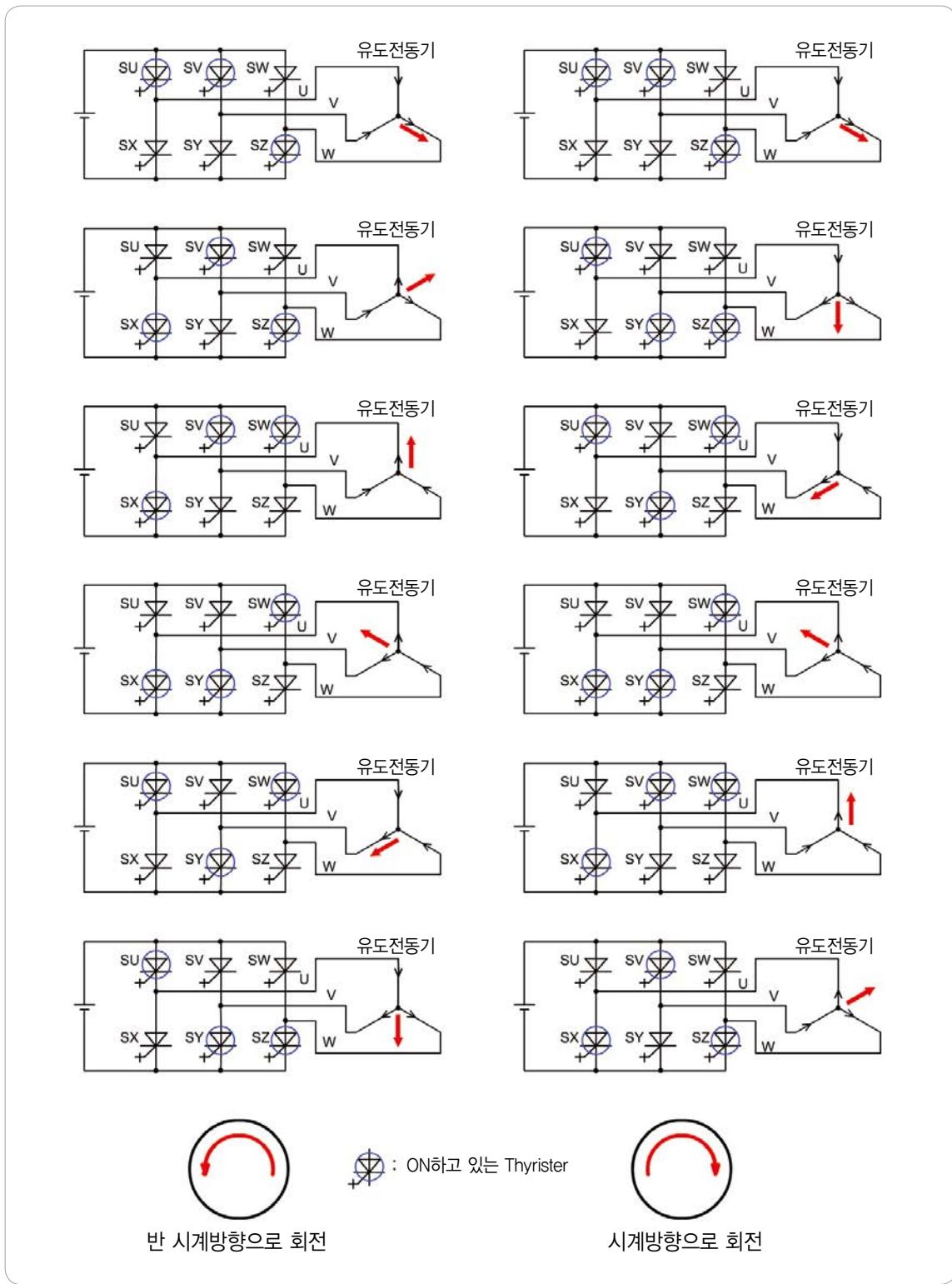
7) 전기제동 제어

전기동차는 무동력 운전 시 관성에 의해 회전하는 차축이 유도전동기의 회전자를 회전시킨다[그림 3-4]. 따라서 차축과 함께 회전하는 유도전동기의 회전자의 회전속도를 줄이면 차축의 회전도 저지시킬 수 있다.

회전자의 회전속도를 줄이려면 고정자에서 발생하는 회전자계의 회전속도를 점차 낮추면 된다. 즉 전원 주파수를 인버터의 제어로 낮추어 주면 회전자계와 회전자 사이에는 동력 운전 시와 반대로 마이너스의 슬립이 발생한다(3.2.1.2 유도전동기의 전기제동 원리와 [그림 3-10] 참고). 이 마이너스의 슬립 때문에 회전자가 회전자계의 자속을 끊게 되므로 유도전동기는 일시적으로 유도발전기가 되어 역방향의 회전력이 발생하여 회전자의 회전을 저지하는 전기제동력으로 작용한다.

전기제동 시 유도전동기의 회전속도를 낮추는 방법은 고속에서는 전원 주파수만을 줄여서 회전자계의 회전속도를 감속시키고, 중속에서는 전원 주파수를 줄이면서 전원 주파수의 자승 값과 같은 비율로 슬립주파수를 줄여나간다. 저속에서는 전원 주파수와 전원 전압을 함께 줄여서 회전자의 회전속도를 줄인다.

9) 전력변환 소자를 전기가 통하는 상태로 만들기 위해 외부에서 신호를 주는 것



[그림 3-23] 전력변환 소자의 점호 순서에 의한 유도전동기 회전 방향 변환도

유도발전기에서 발생한 교류 전력은 주 변환장치의 인버터에서 동력 운전과는 반대로 직류 전력으로 변환하고, 평활회로의 FC에 축적한다. FC에 축적되어 높아진 직류전압은 직류 구간에서는 전차선으로 되돌리고, 교류 구간에서는 컨버터로 가서 교류 전력으로 변환한 다음 전차선으로 되돌려진다.

즉 전기제동 시의 컨버터부는 동력 운전 시와는 반대로 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 전차선으로 되돌리는 역할을 하고, 인버터부는 유도전동기에서 발전된 교류 전력을 직류 전력으로 변환하여 교류 구간에서는 컨버터부로 되돌리고, 직류 구간에서는 전차선으로 되돌리는 역할을 한다. 따라서 동력 운전 시의 컨버터부는 전기제동 시에는 인버터 역할을 하고 동력 운전 시의 인버터부는 전기제동 시에는 컨버터 역할을 한다.

3.2.2.3 과전압 방전 사이리스터(OVCRf :Over Voltage Discharging Thyristor)

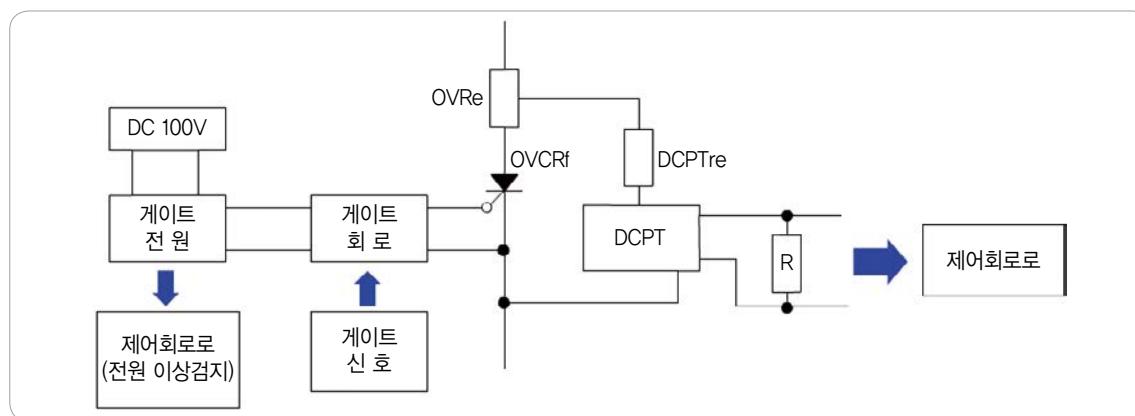
(1) 개요

전기제동 시 전차선 전압의 급격한 변화 등으로 회생 전압이 전차선 전압보다 낮거나 팬터그래프가 전차선에서 떨어지는 현상 등이 발생하면 회생된 전력을 전차선으로 회생시킬 수 없게 된다. 회생되지 못하고 남아 있는 전력은 전력변환 소자의 파손 등 주 변환장치에 악영향을 미치게 된다.

과전압 방전 사이리스터(이하 ‘OVCRf’라 한다)는 이때 FC의 전하를 방전시켜서 주 변환장치, 보조전원장치(SIV) 등을 직류 과전압으로부터 보호할 목적으로 설치하였다.

(2) OVCRf 장치의 구성

OVCRf는 게이트 회로, 게이트 전원, 과전압 저항기(OVRe), 중간 직류전압(FC 전압) 검출용 직류 계기용변압기(DCPT)가 장착되어 있으며, 그 구성은 [그림 3-24]와 같다.



[그림 3-24] OVCRf 장치 구성도

(3) OVCRf 제어의 원리

OVCRf는 직류 계기용 변압기(DCPT)에서 검출된 FC 전압이 설정치를 초과할 경우 등에 작동하여 FC의 전하를 방전시켜 기기를 보호하는 장치로 다음의 경우에 작동한다.

1) 직류 과전압 검지 시

전기제동 시에는 유도전동기가 발전기로 작용하기 때문에 회생된 전력을 인버터 측에서 직류 전력으로 변환하여 직접 전차선으로 보내거나 컨버터 측으로 보내 전력을 회생한다. 전력을 회생 시 전차선의 정전이 발생하거나 팬터그래프가 전차선에서 떨어지면 전력의 회생이 불가능하거나 회생이 충분하지 못하게 된다. 따라서 FC의 전압은 급격히 올라가 장치에 나쁜 영향을 미치게 되므로 즉시 주 변환장치에서 전기제동의 출력을 감소시키지만 그래도 기준치를 초과하게 되면 OVCRf를 작동시켜 FC의 전하를 과전압 저항기(OVRe)로 방전시킨다.

2) 전력변환 소자 제어 전원 저하 시

전력변환 소자의 제어 전원이 저하된 경우 소자의 스위칭이 불가능하게 되고 소자의 파괴로 진행될 가능성이 있다. 이같이 전력변환 소자의 제어 전원 저하 시에는 즉시 전력변환 소자를 OFF 함과 동시에 OVCRf의 작용으로 FC의 전하를 방전시켜 확실하게 장치를 보호한다.

3.2.2.4 방전 저항기(DCHRe : DisCHarge Resistor)

팬터그래프를 내려 차량의 기동을 정지시키거나 견인 회로의 전원을 차단하면 FC에는 잔류 전하가 남아 있다. 이때 FC에 병렬로 접속된 방전 저항기가 남아 있는 FC의 전하를 자연 방전시킨다. 견인 회로 장치 등의 검수 작업 시에는 안전을 고려하여 팬터그래프를 내린 후 자연 방전되는 수 분의 여유를 둔 다음 FC의 전압을 다시 확인한 뒤 작업을 시행하여야 한다.

3.2.3 필터리액터(Filter Reactor)

3.2.3.1 필터리액터의 역할

필터리액터는 전기동차가 직류 구간을 운전할 때만 사용한다. 직류 구간에서 DC 1,500V의 전차선 전압은 철도변전소에서 교류를 정류한 맥류이기 때문에 고조파의 전압(ripple voltage) 성분을 많이 포함하고 있다.

필터리액터는 M, M'차의 L1 차단기와 L2 차단기 사이에 직렬로 접속되어 있고, 뒤쪽에 연결된

FC와 함께 리액터와 콘덴서 조합의 전기 필터 회로를 구성한다. 이 필터 회로는 견인 및 고압회로의 고조파 성분과 전차선의 이상 충격전압 등의 노이즈(noise)¹⁰⁾를 흡수하여 주 변환장치의 입력부에 이상전압이 들어가는 것을 방지한다.

3.2.3.2 필터리액터의 구조

필터리액터는 가운데가 빈 원통형이고, 발생하는 열을 송풍 전동기(FLBFM, Filter Reactor Fan Motor)의 바람으로 강제 냉각시킨다. 리액터의 코일은 평각 알루미늄 선을 원통형으로 감아서 절연 통에 세로 방향으로 집어넣은 다음 양측을 알루미늄 프레임으로 고정하였다.

필터리액터를 냉각하는 송풍 전동기는 SIV의 출력 전원(AC 440V)에 의해 회전한다.



[그림 3-25] 필터리액터

3.2.4 차단기(Line Braker)

차단기는 유도전동기가 장착된 구동차(M, M'차) 차체 측면의 프레임 밑 부분에 있는 함(Box) 속에 있다. 차단기 함에는 1개의 고속도차단기(L1)와 2개(L2, L3)의 차단기, 충전 저항기(CHR) 및 계전기 유닛(Unit)과 L1용 강제 차단 기구가 있다.

10) 기계의 작동을 방해하는 불필요한 전기신호

L1, L2, L3 차단기는 SIV 회로와 견인 회로를 개폐하여 주는 역할을 하고, 특히 L1은 직류 구간을 운행하는 중에 견인 회로에 이상이 있을 때 주 접촉부를 차단하여 전기동차의 SIV 회로와 견인 회로를 보호하는 역할을 하는 고속도차단기이다.



[그림 3-26] 차단기 함

3.2.4.1 L1 차단기(고속도차단기 : High Speed Circuit Braker)

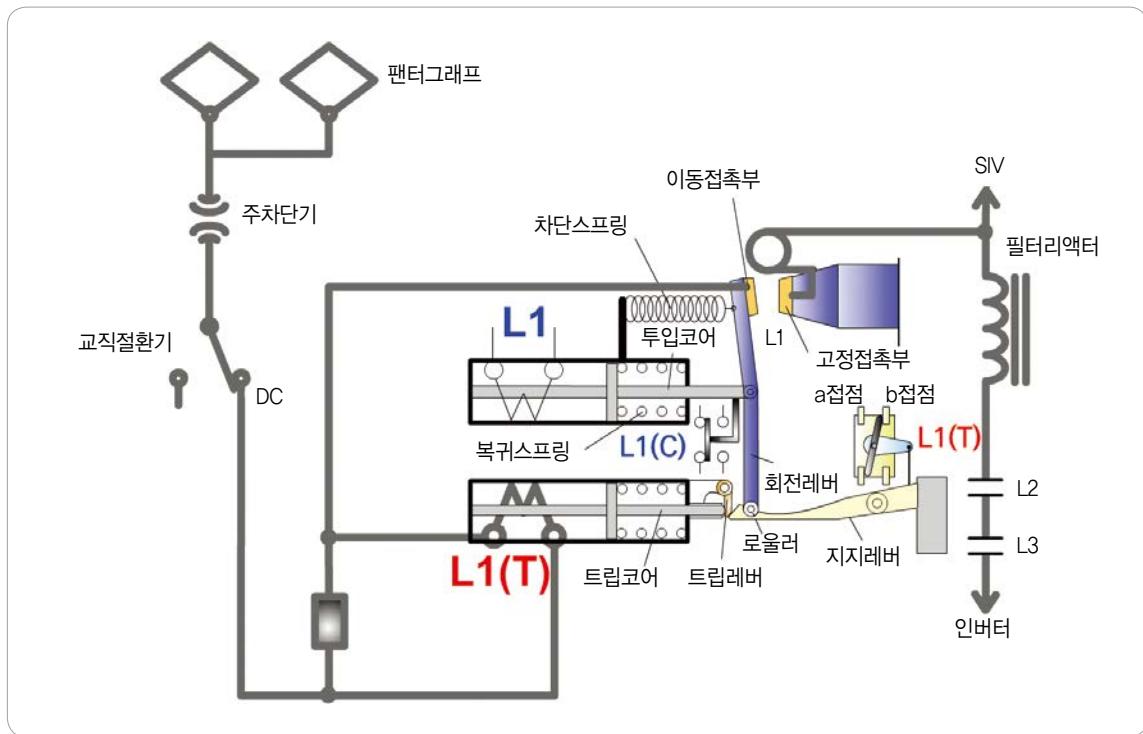
L1 차단기(이하 L1이라 한다)는 전자식 유닛(Unit) 스위치로 고속으로 작동하는 차단용 기구를 사용하여 직류 구간 운행 중 SIV 회로와 견인 회로에 흐르는 직류전류가 1,600A를 초과하거나 주변 환장치의 전력변환 소자의 소손 시 Trip 되어 견인 회로의 주 접촉부를 개방하여 견인 장치를 보호 한다.

[그림 3-27]¹¹⁾은 L1이 투입되기 전 고정 접촉부에서 이동 접촉부가 떨어져 있는 상태로 팬터그래프에서 전기동차로 전력 공급이 중단된 그림이다.

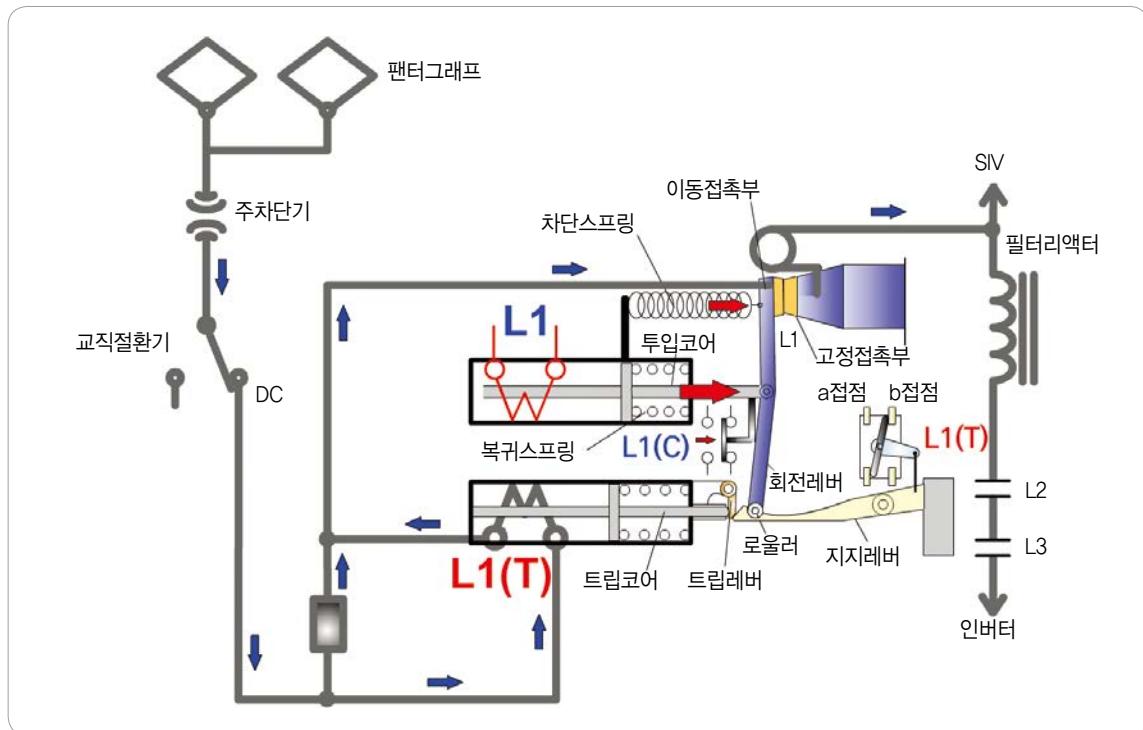
(1) L1의 투입

L1 전자코일이 여자 되면 [그림 3-28]의 빨간색 큰 화살표 방향으로 투입 코어를 믈다.

¹¹⁾ [그림 3-27]~[그림 3-30]까지는 L1 고속도차단기의 작동과 보조 접점의 상태를 설명하기 위한 그림으로 구조와 작동 등이 실제 차량과 다를 수 있습니다.



[그림 3-27] L1 투입 전



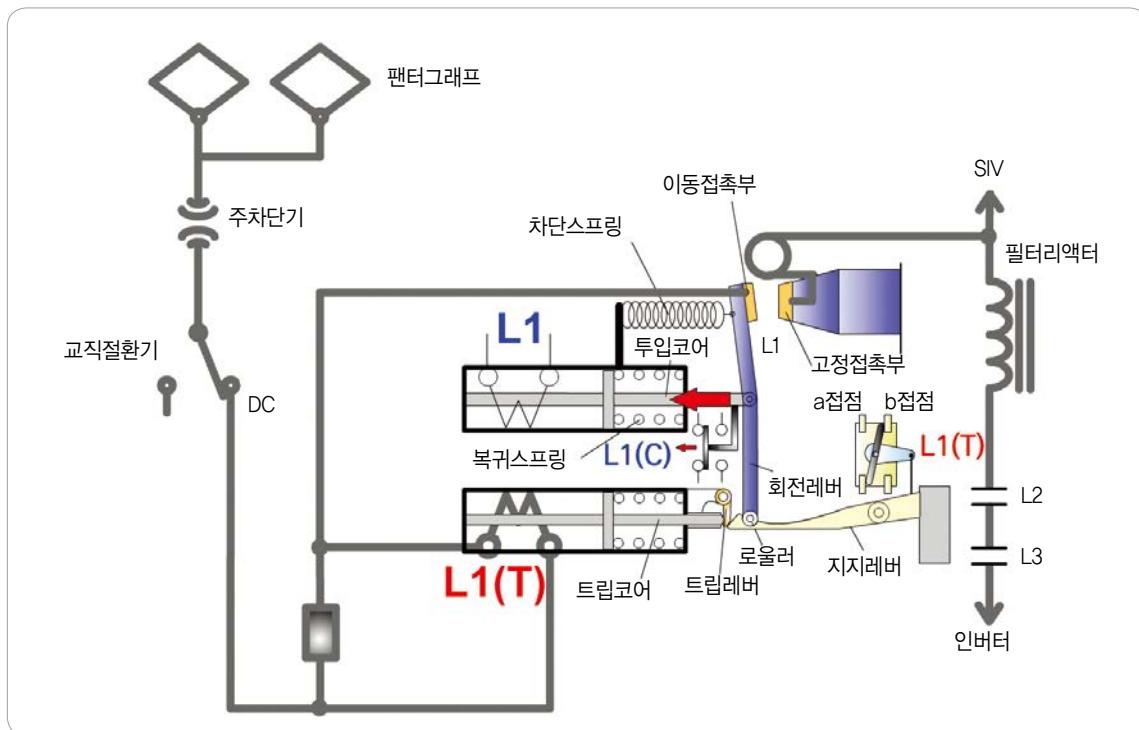
[그림 3-28] L1 투입

투입 코어가 복귀 스프링을 누르고 밀리면 회전 레버는 지지 레버의 홈에 끼어있는 롤러를 지점으로 중간크기의 빨간색 화살표 방향으로 밀려서 차단 스프링 힘을 이기고 이동 접촉부가 고정 접촉부에 접촉한다. 따라서 팬터그래프에서 수전한 전력을 SIV 회로와 견인 회로의 인버터에 공급할 수 있도록 회로를 구성한다(남색 화살표). 이때 보조 접점 L1(C)는 투입 코어와 연동되어 빨간색 작은 화살표 방향으로 밀려서 L1(C)의 a접점을 붙여 준다.

(2) L1의 평상시 차단

L1 전자코일이 무여자 되면 회전 레버가 내부의 복귀 스프링 힘에 의해 [그림 3-29]의 빨간색 큰 화살표 방향으로 복귀되므로 회전 레버는 지지 레버의 홈에 끼어있는 롤러를 지점으로 이동하여 이동 접촉부가 고정 접촉부에서 떨어져 SIV 회로와 견인 회로(인버터)의 구성을 개방한다.

보조 접점 L1(C)는 투입 코어와 함께 이동(빨간색 작은 화살표)하므로 L1(C)의 a접점은 개방하고 b접점을 붙여 준다.

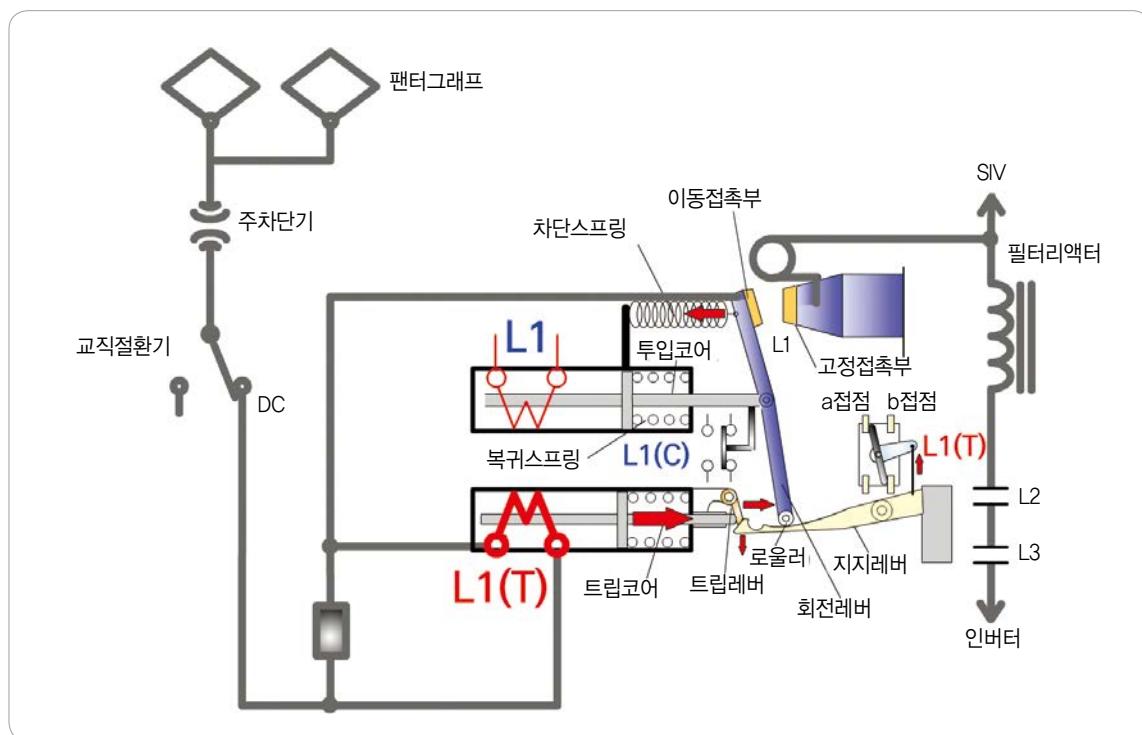


[그림 3-29] L1 평상시 차단

(3) L1의 사고 시 차단

견인 회로에 과전류 등의 이상이 발생하면 L1(T) 트립 코일이 여자 된다. L1(T)가 여자 되면 [그림 3-30]과 같이 트립 코어가 빨간색 큰 화살표 방향으로 이동하여 트립 레버를 밀고 트립 레버에 의해 지지 레버가 아래로 밀리면 회전 레버의 롤러는 지지 레버의 홈에서 벗겨진다. 따라서 차단 스프링의 힘으로 회전 레버가 빨간색 중간크기의 화살표 방향으로 빠르게 움직여 이동 접촉부는 고정 접촉부에서 신속하게 떨어져서 견인 회로와 SIV 회로를 차단한다.

지지 레버가 이동함에 따라 L1(T)의 a보조 접점이 [그림 3-30]과 같이 접촉한다. 따라서 L1은 여자 상태를 유지하고 있으므로 L1(C)의 a보조 접점이 접촉된 상태에서 L1(T)접점도 a보조 접점이 접촉된 상태가 된다.



[그림 3-30] L1 사고 차단

(4) 사고 차단 후 L1의 복귀

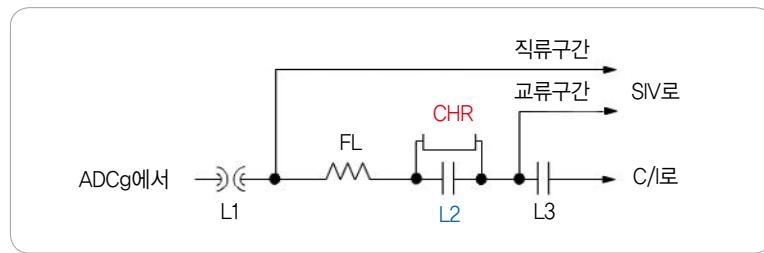
사고 차단 후 운전실의 MCBOS와 리셋 스위치(RS)를 취급하면 L1(C)의 전자코일이 무여자되어 트립 코어가 복귀되면서 회전 레버의 복원으로 롤러도 함께 내려와 지지 레버의 홈에 다시 끼워지고, 평상시 차단 상태로 복귀된다.

3.2.4.2 L2, L3 차단기(Unit Contactor)

견인 회로를 끊거나 투입하는 접촉기로 전자코일에 전원을 공급하면 코일을 여자 시켜 접촉자를 붙여 주는 전자공기식 접촉기이다.

L2는 병렬회로로 [그림 3-31]과 같이 충전 저항기(CHR)가 있어 L2가 투입되기 전이라도 L3만 투입되면 전류는 충전 저항기를 통해 흐를 수 있어 FC에 충전된다. 따라서 L3과 L2가 투입될 때 L3이 먼저 투입되면 견인 회로의 전류는 충전 저항기를 통해 약하게 흘러 FC에 충전되고, 그 후 L2가 투입되어 정상적인 회로가 구성되도록 하여 전기적인 충격을 줄여 준다.

또 회로를 끊을 때도 L2가 먼저 끊기고 충전 저항기를 통해 약하게 전류가 흐르고 있는 상태에서 L3이 회로를 완전히 개방하기 때문에 회로차단 시 생길 수 있는 전기적인 충격을 줄여 준다.



[그림 3-31] L2, CHR과 L3 회로

3.2.5 교류 접촉기(AC Contactor)

주변환장치(C/I)함 내에 설치된 전자식 접촉기로 AC구간에서 TCU의 제어 신호로 작동한다.

(1) AK(AC보조접촉기)

교류접촉기(K)가 투입되기 전 먼저 투입되어 MT의 2차측 전원이 FC로 충전될 때 충전저항기를 거치게하여 충전 시의 돌입전류를 방지하고 K가 투입되면 차단된다.

(2) K(교류접촉기)

AK가 투입되어 FC에 충전된 후 K가 투입되면 컨버터가 기동하여 MT와 C/I를 연결하며, TCU의 제어신호와 보호장치 작동 등으로 차단된다.

3.3 견인 장치의 제어

3.3.1 개요

견인 장치의 제어는 주 변환장치로 운전 방향의 선택, 동력 운전 또는 전기제동을 결정하고, 유도 전동기를 제어하는 한편 견인 장치를 보호하는 것 등을 포함한다.

주 변환장치의 제어는 장치 내에 내장된 견인제어장치(Traction Control Unit : TCU, 이하 TCU 라 한다)에서 제어한다.

TCU는 운전 준비가 완료된 상태에서 운전실 제어대의 주간제어기와 제동제어기의 제어 신호를 받아 차량의 상태 및 주변의 여건 등을 고려하여 마이크로프로세서에 의해 연산된 신호로 주 변환장치를 제어한다. 운전 준비의 완료란 전차선에 전원이 급전되어 팬터그래프의 상승과 MCB의 투입으로 전차선의 전원을 전기동차로 받아들인 다음 보조전원장치(SIV)가 기동하여 압축공기 압력과 각 기기가 정상적인 상태에서 운전제어가 가능한 상태를 말한다.

3.3.2. 견인 장치의 제어기기

견인 장치를 제어하는 기기는 주 변환장치에 내장되어 있는 TCU와 제어차 운전실에서 전기동차의 견인을 제어하는 주간제어기와 제동제어기가 있다. 그리고 보호 장치가 작동되었을 때 시스템을 복구하는 리셋스위치(RS)와 고장 차를 개방하는 차량차단스위치(VCOS) 및 고장 차의 개방을 복귀시키는 차량차단복귀스위치(VRS) 등이 제어차 운전실에 있다. TCU는 주간제어기와 제동제어기의 신호를 바탕으로 견인 회로를 구성하고, 주 변환장치를 제어하면서 견인 회로를 보호하는 역할을 한다.

주간제어기에는 전기동차의 운전 방향을 결정하는 전·후진 핸들과 동력 운전을 제어하는 동력핸들이 있고, 동력핸들에는 기관사안전장치가 함께 부착되어 있다.

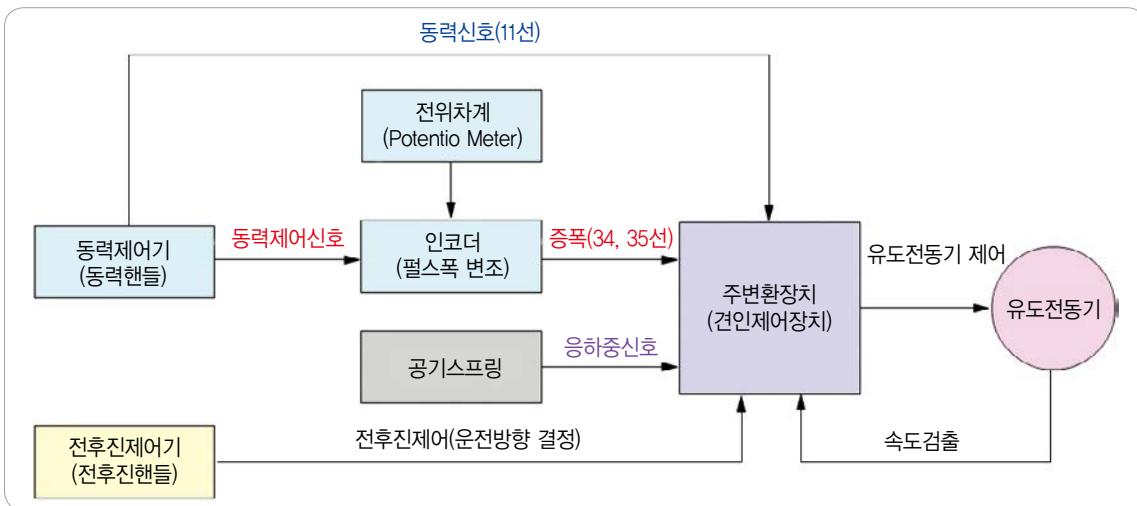
제동제어기는 제동핸들의 조작에 따라 핸들 축에 연결된 캠의 움직임에 의해 전기접점을 여닫아 제동 제어 신호를 인통선으로 보내거나 제어장치의 회로를 개폐한다.

3.3.2.1 주간제어기

주간제어기는 전·후진 제어부, 동력 제어부, 기관사안전장치부로 구성([그림 3-32])되어 있다. 주간제어기는 전·후진 핸들, 동력핸들에 의해 운전 방향과 동력 운전을 제어하고, 기관사 안전장치는 주행 중에 손으로 동력핸들을 항상 아래로 누르고 있어야 장치의 작동을 막을 수 있다.



[그림 3-32] 주간제어기



[그림 3-33] 동력 제어의 개요

(1) 전 · 후진 제어부

전 · 후진 제어부의 핸들에는 전진, 후진, 중립, 차단의 4개의 위치가 있다. 작용은 전기동차의 운전 방향을 결정(전진/후진)하고, 견인제어 전원(1선 → 2선)을 개폐하면서 ATC 장치에도 전원을 공급한다. 그리고 동력핸들과 함께 동력 신호를 TCU로 보내는 등 전기 회로를 개폐하는 역할을 한다.

(2) 동력 제어부

동력핸들은 0~4단의 5개의 위치가 있다. 전 · 후진 핸들을 전진 혹은 후진 위치(4/5선 가압)로

하여 운전 방향을 결정한 다음 동력핸들을 1~4단 위치로 옮기면 동력 제어선(11선)과 핸들의 위치(1~4단)에 상응한 동력 제어 신호를 TCU로 보낸다.

동력핸들의 축은 기어에 의해 회전하는 장치가 전위차계¹²⁾에 연결되어 동력 제어 신호에 상응한 저항값을 설정하고 이 값에 의해 설정된 직류 신호를 인코더로 보낸다. 인코더에서는 입력된 직류 신호를 펄스폭 변조(PWM) 신호로 변환하여 증폭시킨 다음 그 출력(34, 35선)을 TCU로 보낸다. TCU에서는 동력 제어 신호(인코더 출력)와 응하증 신호 등을 연산하여 주 변환장치로 보내 유도전 동기를 제어하여 동력의 크기를 결정한다([그림 3-33]).

(3) 기관사안전장치부

기관사안전장치(Driver Safety Device : DSD, 이하 DSD라 한다)는 기관사에게 발생할 수 있는 불의의 사고에 대비하여 설치한 장치이다.

DSD는 동력핸들에 연동되어 있어 전기동차가 주행 중에는 동력핸들을 항상 적당한 압력으로 누르고 있어야만 DSD가 작동하지 않게끔 되어 있다. DSD가 작동하면 경고 방송이 송출되면서 약 5초 후 전 차량에 자동으로 비상제동이 체결된다.

(4) 주간제어기의 취급

주간제어기의 취급은 주제어키(Master Control Key : MC 키)([그림 3-34])를 키 투입구에 끼워 오른쪽으로 90° 회전하면 전·후진 핸들을 전진에서 후진 혹은 후진에서 전진 위치로 바꿀 수 있고, 전·후진 핸들의 전진 혹은 후진 위치에서만 동력핸들의 1~4단 취급이 가능하다. 그리고 동력핸들의 위치가 “0”의 위치에 있을 때만 전·후진 핸들로 운전 방향을 바꿀 수 있다.



[그림 3-34] 주제어(MC) 키(key)

3.3.2.2 제동제어기(Brake Controller)

제동제어기는 제동핸들([그림 3-35])에 의해 전기동차의 제동과 제어회로를 개폐한다. 제동핸들의 위치는 완해 위치, 1~7단의 상용제동 위치와 비상 제동 위치 그리고 핸들취거 위치로 10개의 위치가 있다.

12) 일종의 가변저항기로 동력핸들의 위치에 따라 저항값이 변하여 이 값에 의해 직류 입력 신호를 인코더에 보내 동력의 크기를 결정한다.

제동제어기는 제동핸들의 위치에 따라 제동 제어를 하고, 축전지 접촉기(BatK)를 투입시켜 전체 차량의 직류 모션(103선)과 축전지를 연결하면서 제어 운전실을 선택(HCR/TCR)한다. 그리고 ATC/ATS 절환과 복귀에 관련된 회로를 개폐하고, 비상제동Loop회로를 구성하여 비상 제동을 완해하는 등의 제어 작용을 한다.

전기제동은 상용제동 시에만 작용한다. 전기제동의 제어

는 제동핸들을 제동 위치로 하면 [그림 3-36]과 같이 주변환장치 내의 TCU에 전기제동 신호(10선)을 주고 제동제어장치(EOD)에 제동핸들의 위치에 따른 상용한 상용제동 제어 신호(27, 28, 29선)가 간다.

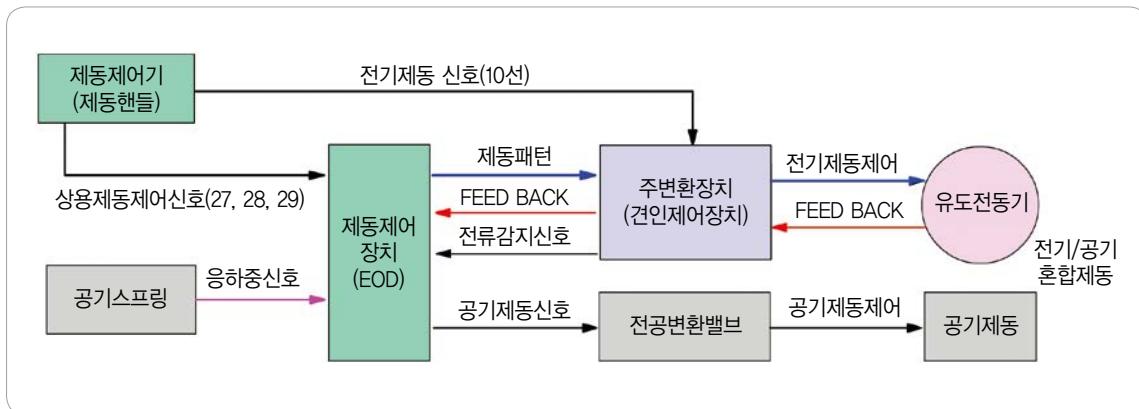
제동제어장치(EOD)에서는 제동핸들에서 오는 상용제동 제어 신호와 공기스프링에 의해 검출된 응하중 신호를 연산하여 제동패턴(Brake Pattern)을 만들어 TCU로 보낸다.

TCU는 제동제어장치에서 온 제동패턴의 크기를 기준으로 유도전동기를 제어하여 전기제동력을 제어한다.

유도전동기에서 형성된 전기제동력의 출력 신호는 TCU로 다시 Feed Back 되고, TCU에서 제동 제어장치로 Feed Back 된다.



[그림 3-35] 제동핸들



[그림 3-36] 제동 제어 개요

제동제어장치에서는 제동패턴과 전기제동의 Feed Back 신호를 비교하여 Feed Back 신호의 크기가 제동패턴보다 작으면 각 차의 전공변환밸브에 공기 제동 신호를 보내 공기 제동으로 전기제동력

의 부족분을 보충하도록 제어한다. 한편 전기제동력이 충분히 확보되면 부수차의 제동까지도 전기제동력으로 부담하여 필요한 대부분의 제동력을 전기제동력이 담당한다.

3.3.2.3 견인제어장치(TCU)

TCU는 주 변환장치에 내장되어 있고, 16비트 마이크로프로세서(Micro Processor)와 32Bit 디지털 신호 프로세서(DSP, Digital Signal Processor)¹³⁾로 주 변환장치와 견인 회로를 구성하는 각 접촉기 및 차단기(AK, K, L2, L3 등)의 투입과 차단을 제어한다. 그리고 컨버터와 인버터의 전력변환 소자의 start/stop으로 주 변환장치의 순차 기동과 정지를 제어하면서 컨버터와 인버터를 통하여 유도전동기의 속도를 제어하는 장치이다. TCU의 주요 기능은 다음과 같다.

1) 견인 회로의 구성과 운전 방향의 결정

견인 회로를 구성하거나 개방 또는 차단하고 유도전동기의 회전 방향을 바꾸어 전기동차의 운전 방향을 결정한다.

2) 동력 운전 시 동력의 크기 결정

동력핸들의 동력 제어 신호(인코더 출력)와 열차의 속도 및 차량의 하중에 상응한 인장력이 되도록 인버터의 출력전압과 전류, 주파수를 결정한 다음 인버터를 제어하여 동력의 크기를 결정한다.

3) 제동 시 전기제동력의 크기 결정

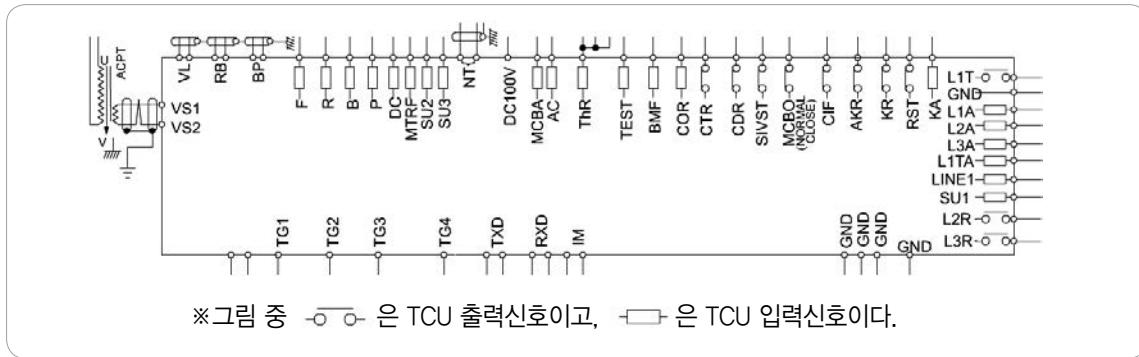
제동패턴에 상응한 제동력이 되도록 인버터의 출력전압, 전류, 주파수를 제어하여 유도전동기의 전기제동력을 결정하고, 유도전동기에서 형성된 전기제동력의 피드백 신호를 받아 제동제어장치를 통해 각 차의 전공변환밸브에서 필요한 만큼의 공기 제동력이 형성되도록 하여 전기제동과 공기제동을 적절히 혼합한다.

4) 견인 장치의 보호

견인 장치의 과전압, 과전류 등의 보호 작용을 기계적으로 하여 기기의 손상을 방지한다. 전력변환 소자의 소손, 2차 과부하 등 중(重)고장의 경우에는 MCB 개방계전기(MCBOR)의 무여자로 MCB를 차단하여 고장의 확대를 사전에 방지한다.

13) 디지털 신호를 기계장치가 빠르게 처리할 수 있도록 하는 접점회로를 말한다.(두산백과)

TCU의 제어와 관련된 입력과 출력 신호는 [그림 3-37], [표 3-5]와 같다.



[그림 3-37] TCU 제어 입출력 신호

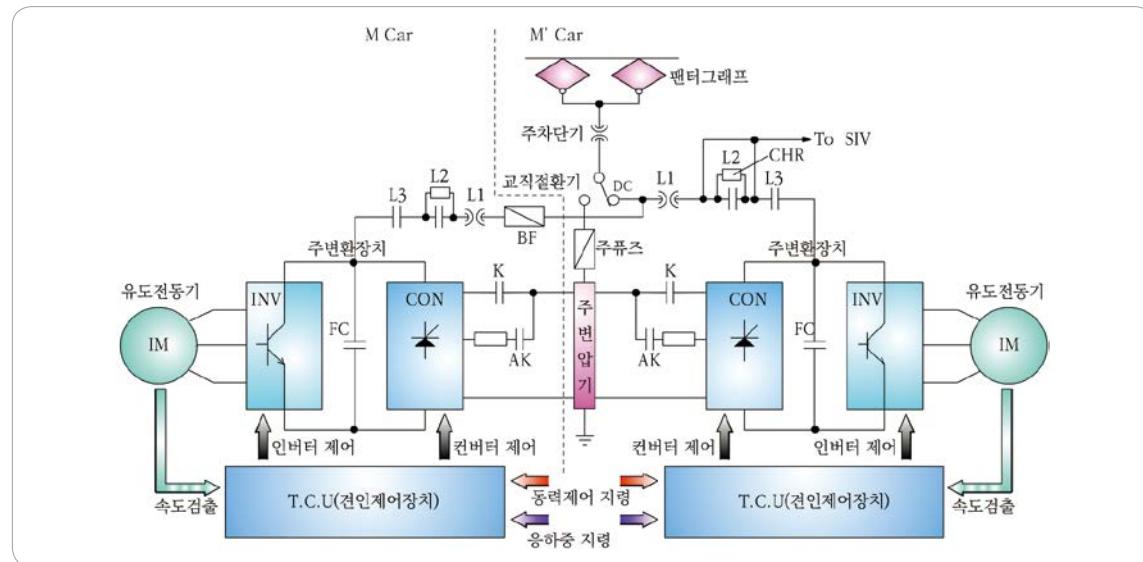
[표 3-5] TCU 제어 입출력 신호 내용

신호	내 용	신호	내 용
ACPT	동기 전원용 교류 변압기 ¹⁴⁾	CDR	제동 전류 검지
VS1, 2	교류 전차선 전압	SIVST	SIV 기동 신호
VL	응하중 신호	MCBO	MCB 고장 차단
RB	전기(회생)제동 유효 신호	CIF	주 변환장치 이상
BP	제동페더	AKR	AK 투입
F, R	전, 후진	KR	KR 투입
B, P	전기(회생)제동, 동력 운전	RST	복귀
DC	직류 구간	KA	K 투입
MTRF	주변압기 유류, 유온 이상	L1T	L1 트립
SU1, 2, 3	차량 종류 판별	GND	접지
NT	동력 인코더 신호	L1A	L1 투입
DC100V	CIN에서 오는 전원	L2A	L2 투입
MCBA	MCB 개방	L1TA	L1T 트립
AC	교류 구간	L2R	L2R 여자
ThR	주 변환장치 온도 계전기	L3R	L3R 여자
TEST	테스트 신호	IM	유도전동기 전류
BMF	송풍기 이상	TXD	모니터 입력
COR	고장 차 차단	RXD	모니터 출력
CTR	출력 제어	TG1, 2, 3, 4	전동기(1, 2, 3, 4) 회전속도

14) 전차선 측 계기용변압기(PT)의 출력을 변압하여 전차선의 전압과 전류 정보를 TCU에 입력하는 변압기

3.3.3 동력 제어회로(Powering Control Circuit)

동력의 제어는 주간제어기의 제어 신호를 받아 이루어지며, 동력 운전 시 견인 회로의 작동은 교류 구간과 직류 구간이 서로 달라 따로 설명하기로 한다. 속도 제어와 전력의 흐름을 살펴보면 [그림 3-38]과 같고, 장치의 작동은 [표 3-6]과 같다.



[그림 3-38] 견인 회로 및 동력 제어 간략도

[표 3-6] 견인 장치의 작동

M' 차									
구간	상태	L1	L2	L3	AK	K	컨버터	인버터	
교류	P/B	×	○	○	△	○	○	○	
	OFF	×	○	○	△	○	○	×	
직류	P/B	○	○	○	×	×	×	○	
	OFF	○	×	×	×	×	×	×	
M 차									
구간	상태	L1	L2	L3	AK	K	컨버터	인버터	
교류	P/B	×	×	×	△	○	○	○	
	OFF	×	×	×	△	○	○	×	
직류	P/B	○	○	○	×	×	×	○	
	OFF	○	×	×	×	×	×	×	

비고 : P/B Powering/Braking, ○ 투입 또는 Gate 제어, ×개방 또는 Gate OFF, △ FC 충전 시까지 접촉 후 개방

[그림 3-38]에서 전기동차가 직류 구간에 있을 때 전차선 → 팬터그래프 → 주차단기 → 교직절환기 → L1, L2, L3 → 인버터(INV) → 유도전동기의 순서로 주 전력이 공급된다.

속도의 제어는 TCU에서 동력핸들의 동력 제어 신호와 응하중 신호를 받아 유도전동기에서 검출된 속도를 비교, 연산한 다음 그 신호로 인버터를 기동하고 제어하여 결정한다. SIV의 전원은 MCB가 투입되고 L1이 투입되면 공급된다.

교류 구간을 운행 시에는 전차선 → 팬터그래프 → 주차단기 → 교직절환기 → 주퓨즈 → 주변압기 → 컨버터(CON) → 인버터(INV) → 유도전동기의 순서로 전력이 공급되고, SIV의 구동을 위해서는 M'차의 L3이 투입되어야 한다. 교류 구간에서 속도 제어는 직류 구간에서와 마찬가지로 TCU에서 동력핸들의 제어 신호와 응하중 신호를 받아 유도전동기에서 검출된 속도를 비교, 연산하여 결정한다. 이때 인버터와 함께 컨버터의 기동 및 제어도 TCU에서 이루어진다.

3.3.3.1 직류 구간의 기동 및 동력 제어

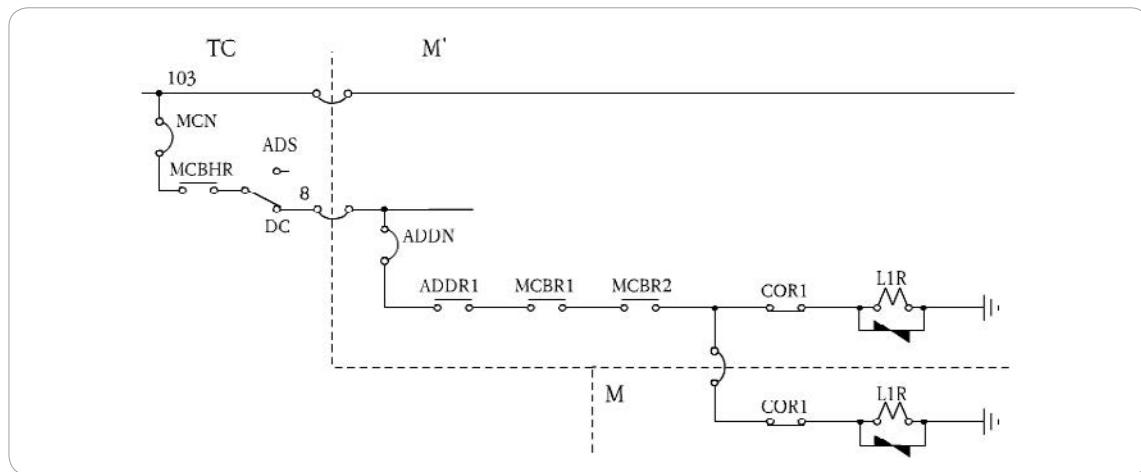
(1) 직류 구간에서의 기동 제어회로

1) L1 차단기(고속도차단기)의 투입과 SIV 기동

전기동차의 MCB가 투입되면 L1은 [그림 3-39]와 같이 투입된다.

① L1R의 여자

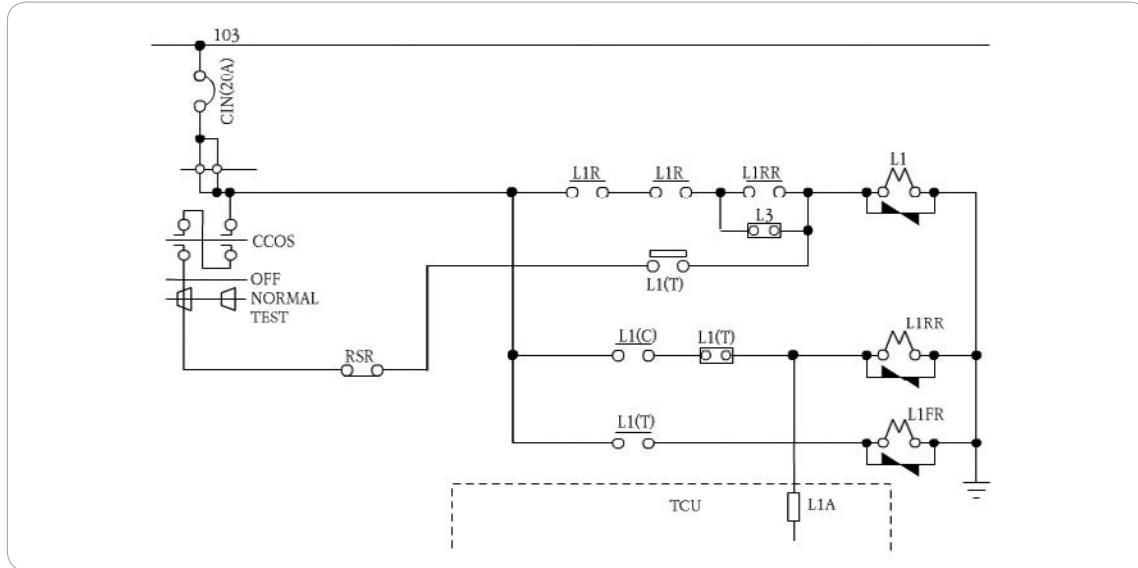
- ◆ TC차{103-MCN-MCBHR(a)-ADS(DC)} – M'차{ADDN-ADDR1(a)-MCBR1(a)}
- MCBR2(a)-COR1(b)-L1R 여자
 - └ M차{COR1(b)→L1R 여자}



[그림 3-39] L1R 여자 회로

② L1의 여자와 고속도차단기(L1)의 투입

- ◆ M'차, M차{103-CIN-L1R(a)-L1R(a)-L3(b)-L1 여자로 고속도차단기(L1)가 투입된다([그림 3-40]). L1의 기계적 투입 작동은 [그림 3-28]을 참조할 것.



[그림 3-40] L1 여자 회로

③ L1의 투입으로 [그림 3-40]에서

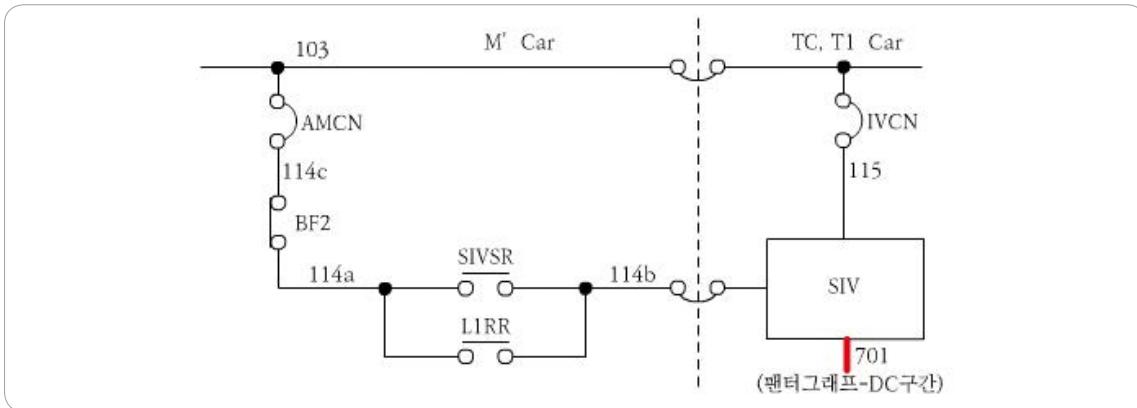
- ◆ M'차, M차 {103-CIN-L1(C)-L1(T)-L1RR 여자
└ (TCU L1A)}

에 의해 L1RR이 여자 되고, TCU에 L1이 투입되었다는 신호(L1A)를 준다. 그리고 L1RR의 여자로 L1회로에 있는 L1RR(a)접점이 붙는다. 따라서 L3의 여자로 L3(b)접점이 떨어지더라도 L1은 여자 상태를 유지한다.

CCOS는 제어회로 절환 스위치이고, 견인 회로를 차단하거나 견인 회로의 작동 시험을 할 때 사용하여 통상 Normal 위치에 있다.

L1이 투입되면 보조전원장치(SIV)로 직류전원이 공급되어 SIV가 기동한다. 기동 신호는 [그림 3-41]과 같이 직류 구간에서는 L1RR의 여자로 L1RR(a)접점에 의해 주어진다.

- ◆ M'차 {103-AMCN-114c-BF2(b)-114a-L1RR(a)-114b} → TC, T1차{SIV}로 SIV 기동신호가 입력된다.

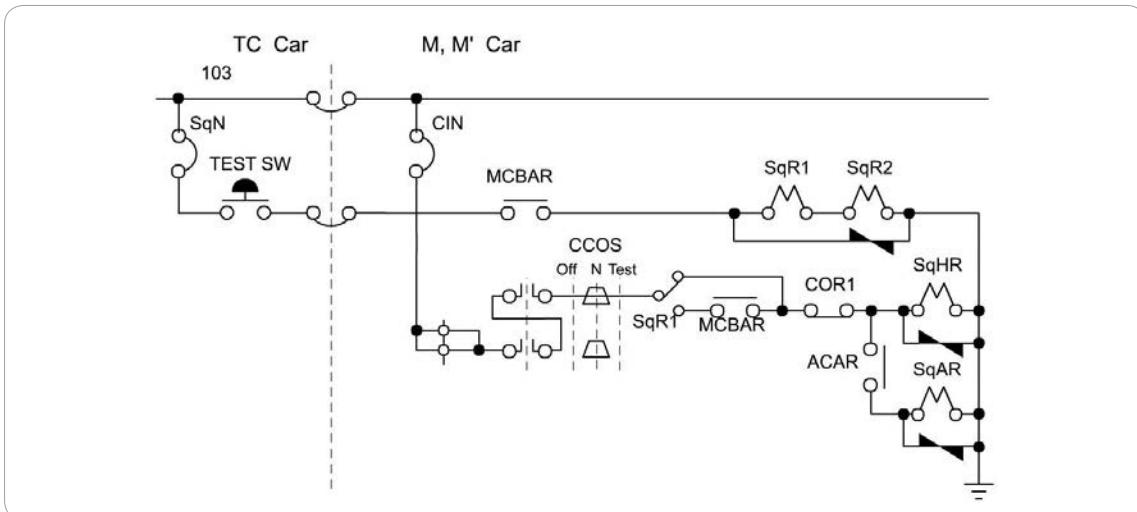


[그림 3-41] 보조전원장치(SIV) 기동 신호

2) 시퀀스 유지계전기(SqHR) 여자회로

제어회로 절환 스위치(이하 ‘CCOS’라 한다)의 핸들이 정상(N) 위치에 있을 때 [그림 3-42] 회로에 의해 M차, M'차의 시퀀스 유지계전기(SqHR, 이하 SqHR이라 한다)가 여자 된다.

- ◆ M차, M'차 {103–CIN–CCOS(N)–SqR1(b)–COR1(b)–SqHR 여자



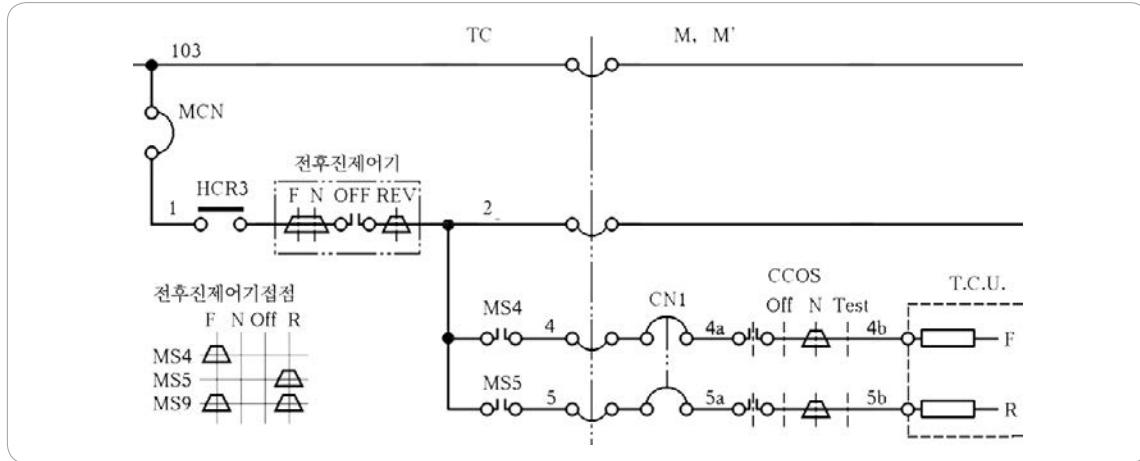
[그림 3-42] 시퀀스(sequence) 유지계전기(SqHR) 여자회로

(2) 직류 구간에서의 동력 제어회로

1) 전 · 후진 핸들의 조작

전 · 후진 핸들의 전진(F) 또는 후진(R) 위치에서 [그림 3-43]과 같이 4선 또는 5선이 가압되

어 TCU에 운전 방향을 결정하는 신호를 준다.



[그림 3-43] 전 · 후진 제어회로

[그림 3-43]에서 TC차 운전실의 전 · 후진 핸들을 전진(F)과 중립(N) 또는 후진(REV) 위치로 하면 103선의 전원이 MCN-HCR3(a)-전 · 후진 제어기를 거쳐 2선이 가압된다. 2선의 가압으로

① 4선 가압

- ◆ TC차{2-MS4-4}-M차, M'차 {4-CN1-4a-CCOS(N)-4b-(TCU-F)}

② 5선 가압

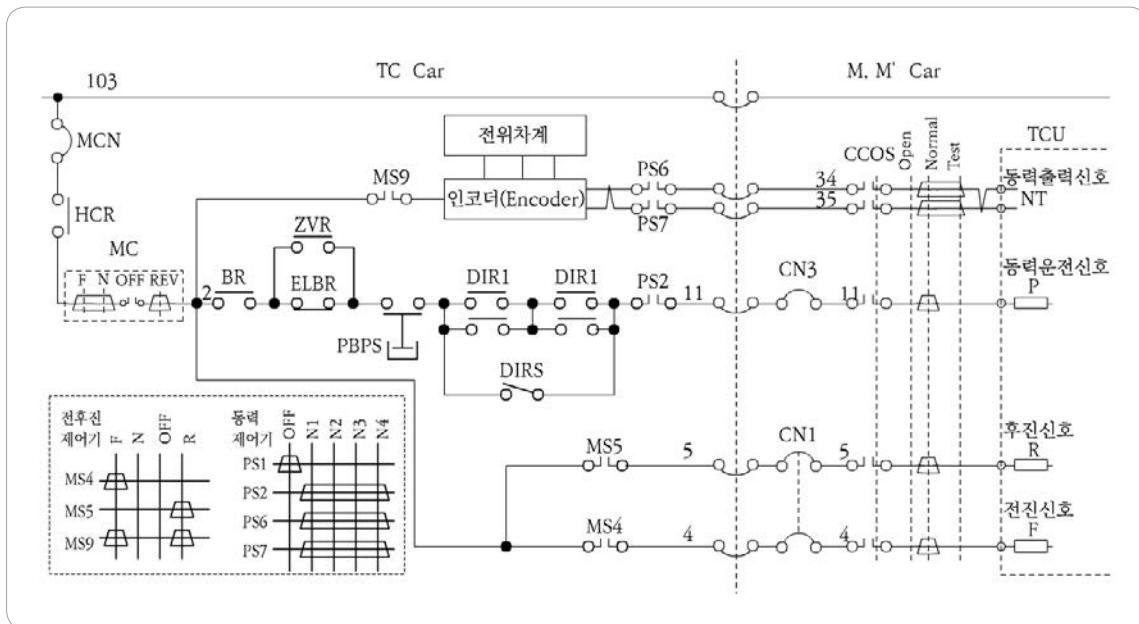
- ◆ TC차{2-MS5-5}-M차, M'차 {5-CN1-5a-CCOS(N)-5b-(TCU-R)}

2) 출입문 연동 회로

전기동차의 동력 회로는 객실 승객의 안전을 위해 출입문이 모두 닫혀 있는 조건에서 동력 운전이 가능하도록 하였다.

즉, 출입문이 모두 닫히면 출입문 연동계전기(DIR1)가 작동하고, 동력 운전 선(11선)에 있는 DIR1(a)접점을 붙여 준다. 출입문 연동계전기(DIR1)는 모든 차의 객실 출입문이 완전히 닫혔음을 확인하는 계전기로 출입문 닫힘 회로와 연동되어 있다.

출입문 비(非)연동스위치(DIRS)는 객실 출입문의 고장 등으로 출입문이 한 개 이상 닫히지 않거나 기타의 사유로 출입문 연동계전기(DIR)의 작동이 불량한 경우에 출입문과 관계없이 동력 회로를 구성할 수 있도록 하는 스위치이다.



[그림 3-44] 전 · 후진 제어 및 동력 운전 제어 신호

3) 동력 신호와 L3, L2 투입신호

① 동력 운전 신호

동력핸들을 1~4단의 위치로 옮기면, [그림 3-44]와 같이 동력제어기의 PS2, PS6, PS7 접점이 붙는다.

따라서

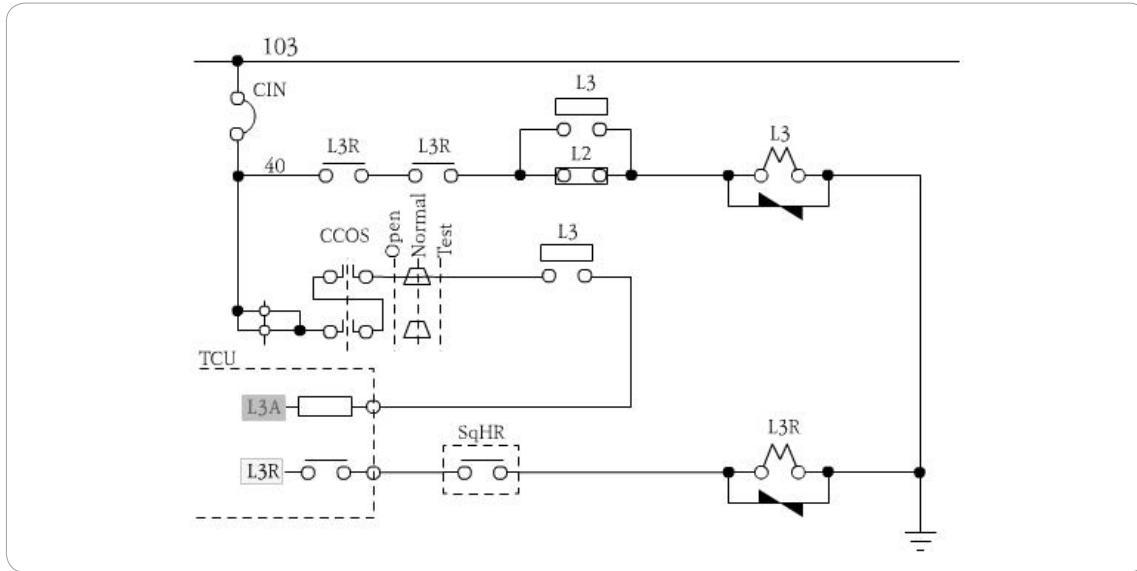
- ◆ TC차 {2-BR(a)-ELBR(b)-PBPS(정상)- DIR1(a)-DIR1(a)-PS2-11}-

M'차, M차{11-CN3-11-CCOS(Normal)-TCU-P}에 동력 운전 신호가 간다.

② L3 투입신호

동력 운전 신호가 주어지고 0.3초 후, TCU에서 [그림 3-45]와 같이

- ◆ M차, M'차 TCU L3R-SqHR(a)-L3R 여자
 - ◆ 103-CIN-40-L3R(a)-L3R(a)-L2(b)-L3 여자
에 의해 차단기 L3을 투입하고, L3 투입을 나타나
 - ◆ M차 M'차 CIN-CCOS(Nomal)-L3(a)-TCU L3



[그림 3-45] L3 투입 회로

L3이 투입되면 L2가 투입되기 전이라도 L2와 병렬로 연결된 저항기(CHR)를 거친 전력이 FC에 충전([그림 3-31])되면서 동력 회로 구성 시 발생할 수 있는 충격을 완화시킨다.

L3이 투입되고 이후 L3(a) 연동으로 L2(b)와 관계없이 L3 여자회로를 구성한다.

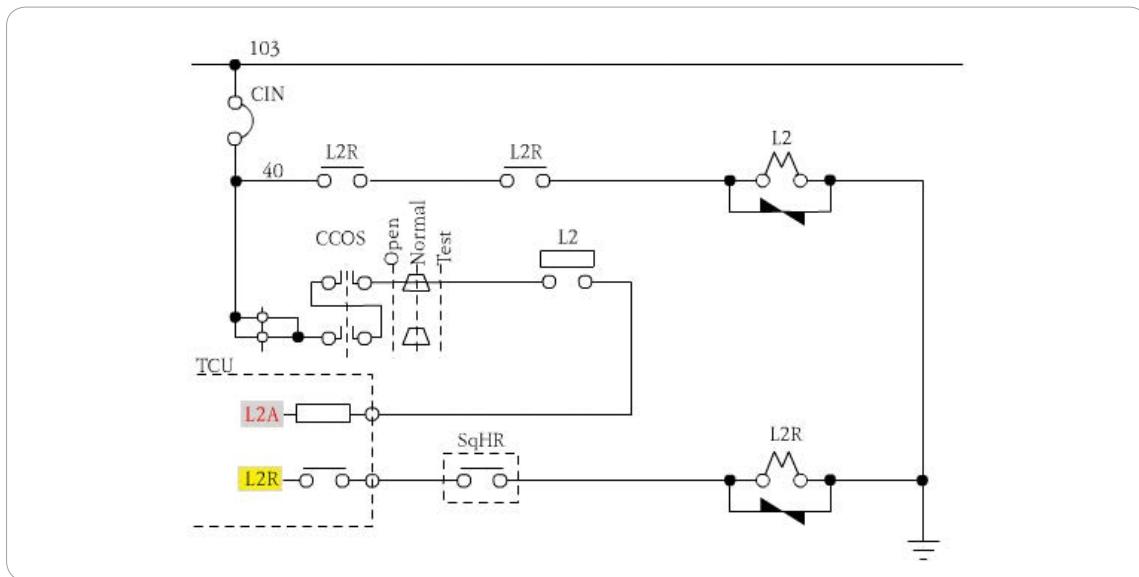
③ L2 투입신호

L3 투입을 나타내는 신호(L3A)가 있은 다음 0.6초 후, [그림 3-46]과 같이

- ◆ M차, M'차 {TCU-L2R-SqHR(a)-L2R} 여자
 - ◆ 103-CIN-40-L2R(a)-L2R(a)-L2 여자
- 에 의해 L2 접촉기가 투입되고, TCU에 L2 투입을 표시하는 신호(L2A)가
- ◆ M차, M'차{CIN-CCOS-L2(a)-TCU L2A}에 의해 TCU에 입력되고, 견인 회로가 구성된다.

4) 인버터의 기동과 제어

TCU로 L1~L3 투입을 표시하는 신호(L1A~L3A)가 모두 입력된 다음 0.1초 후, 인버터가 기동이 되고, TCU는 각 외부 입력 조건(응하중, 동력핸들의 위치, 속도)에 의해 제어를 행한다. 즉 TC 차의 동력핸들에 의한 인코더(Encoder) 출력과 열차 속도, 차량 하중에 상응한 인장력이 되도록 인버터의 출력전압, 전류, 주파수를 결정하여 유도전동기의 속도를 제어한다.



[그림 3-46] L2 여자 및 L2 투입 신호 회로

이때 유도전동기의 제어는 저속 영역에서 주파수를 올리면서 출력전압도 같은 비율로 올리는 정 토크(Torque) 제어와 중속 영역에서 주파수와 슬립주파수를 같은 비율로 올려 출력을 일정하게 하는 정 출력 제어, 그리고 고속 영역에서는 주파수만 최대로 올려 유도전동기의 특성상 높일 수 있는 한계까지 속도를 높이는 특성 제어가 있다.

5) 직류 구간에서 전기동차의 기동과 동력 제어 요약

직류 구간에서 전기동차의 기동과 동력 제어회로의 구성 및 순서는 다음과 같다([그림 3-47]).

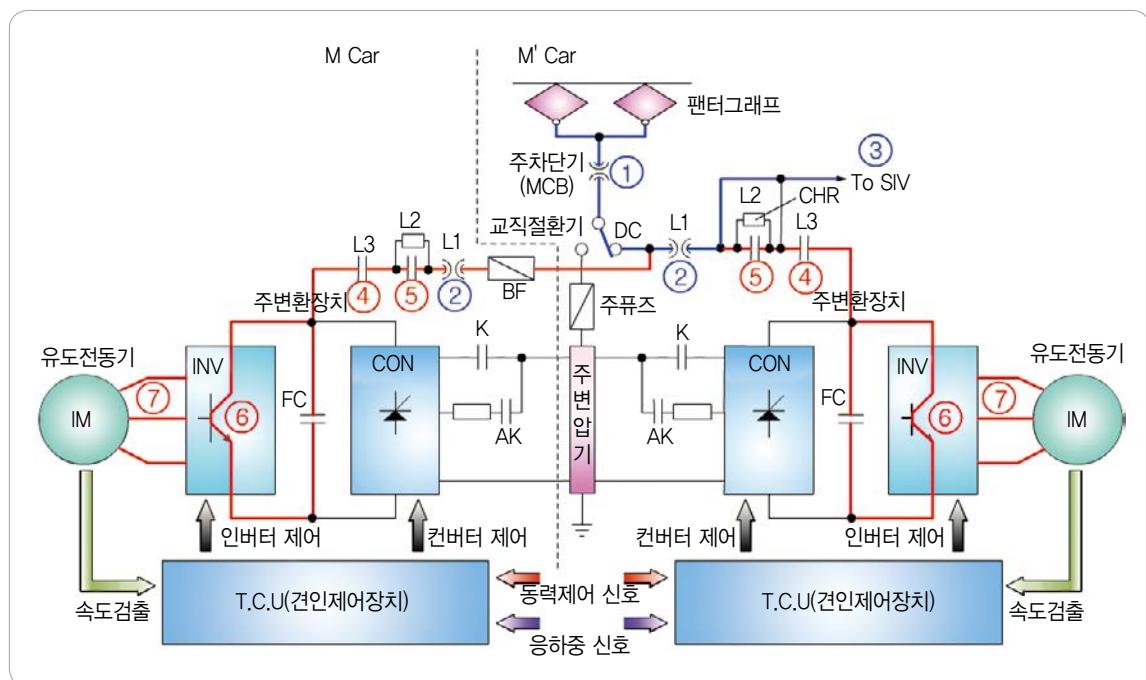
① 전기동차 기동

순서	작용	비고
①	팬터그래프 상승과 MCB 투입	
②	L1 투입	
③	SIV 기동	

② 동력 제어

동력핸들 취급(1~4단) 11선 가압과 인코더 신호 발생, TCU에서 동력 운전 신호(11선) 및 동력 제어 신호(인코더 출력 신호) 수신

순서	작용	비고
④	동력 운전 신호 수신 후 0.3초 후 L3 투입	
⑤	L3 투입 신호(L3A) 수신 후 0.6초 후 L2 투입	
⑥	L2 투입 신호(L2A) 수신 후 0.1초 후 인버터 기동	
⑦	유도전동기 동력 제어	



[그림 3-47] 직류 구간에서 전기동차의 기동과 동력 제어 요약

6) 동력핸들을 OFF 할 경우

동력핸들을 OFF 위치로 하면, 11선이 무가압 상태로 되어 TCU로 가는 동력 운전 신호가 끊기므로 TCU의 신호로 L2가 먼저 차단되고 L3이 차단된다. 이는 L2가 차단되어도 L2와 병렬로 접속된 저항(CHR)을 거친 전력이 공급되고 있는 상태에서 L3이 견인 회로의 전력을 완전히 차단하므로 차단 시 발생할 수 있는 전기적인 충격을 완화하면서 인버터의 전력변환 소자의 OFF가 동시에 이루어진다. 따라서 전차선의 전력은 L2와 L3에서 끊기고, 인버터의 작동이 멈추어 유도전동기의 제어와 전력 공급이 중단되므로 전기동차는 무동력 운전 상태로 된다.

7) 재(再)동력 취급

동력핸들을 OFF 후, 다시 동력핸들을 ON 취급하여 동력 운전을 하는 경우는 앞의 3)항 L3, L2의 투입부터 진행된다.

8) 전진과 후진의 절환

전진과 후진의 방향 절환은 전기동차가 완전히 정지한 다음 동력핸들을 OFF 위치로 하고 전 · 후진 핸들을 전진(F) 혹은 후진(R)위치로 하여 절환을 한다.

3.3.3.2 교류 구간의 기동 및 동력 제어

교류 구간에서의 동력 제어회로는 M차와 M'차가 다르다. M'차는 전차선의 전력을 받아 SIV에 그 전력을 공급하기 때문에 L3과 L2의 차단기가 투입되지만 M차는 L3과 L2가 투입되지 않는다.

(1) 교류 구간에서의 기동 제어회로

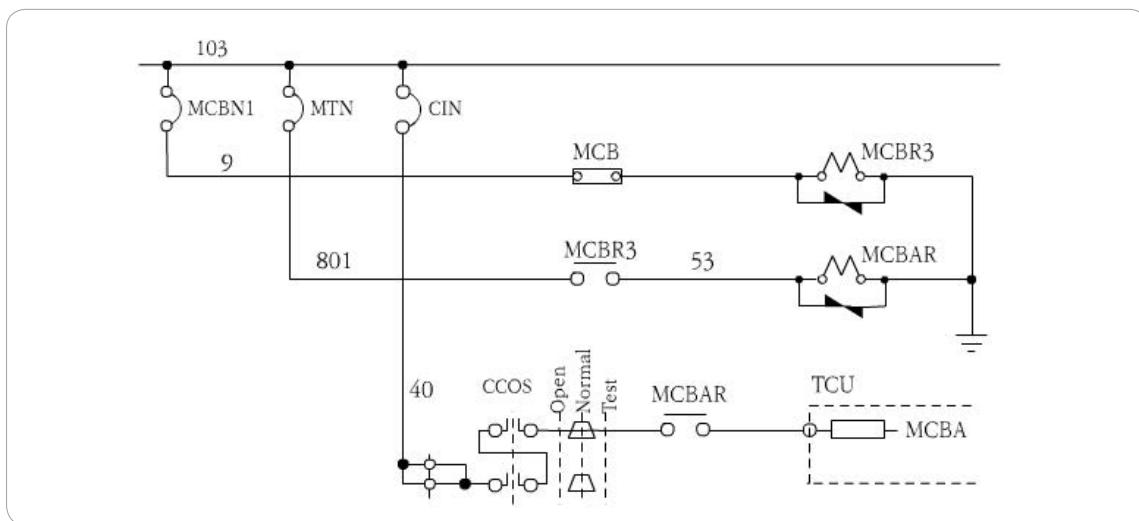
1) 컨버터와 SIV의 기동

① MCB 투입신호에 의해

MCB가 투입하면 [그림 3-48]에서

- ◆ 103-MCBN1-9-MCB(b)-MCBR3 무여자
- ◆ 103-MTN-801-MCBR3(a)-53-MCBAR 무여자

MCBR3의 무여자로 MCBAR도 무여자되어 MCBAR(a) 접점이 떨어진다.



[그림 3-48] MCBAR 여자와 MCB 개방 신호 소멸 회로

◆ 103-CIN-CCOS(Nomal)-MCBAR(a)-TCU MCBA 신호 소멸

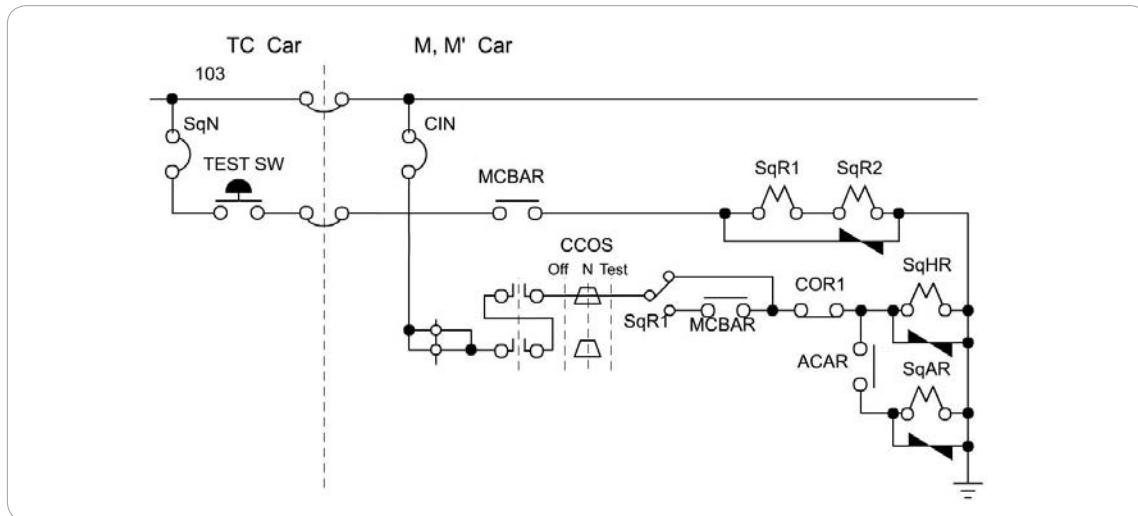
TCU에서는 MCB의 개방을 나타내는 신호(MCBA)가 없으므로 MCB가 투입된 것으로 인식 한다.

② 시퀀스 유지계전기(SqHR)와 시퀀스 보조계전기(SqAR) 여자회로

103선이 가압되고, CCOS가 정상(Normal) 위치에 있으면 [그림 3-49] 회로에 의해 M차, M' 차의 SqHR과 시퀀스 보조계전기(SqAR, 이하 SqAR이라 한다)가 여자 된다.

◆ M차, M'차 103-CIN-CCOS(N)-SqR1(b)-COR1(b)-SqHR 여자

◆ M차, M'차 103-CIN-CCOS(N)-SqR1(b)-COR1(b)-ACAR(a)-SqAR 여자



[그림 3-49] 시퀀스 유지계전기와 시퀀스 보조계전기 여자회로

③ L3 투입신호(M'차에서만)

MCB 개방 신호(MCBA)가 소멸된 후 TCU에서 [그림 3-50]과 같이

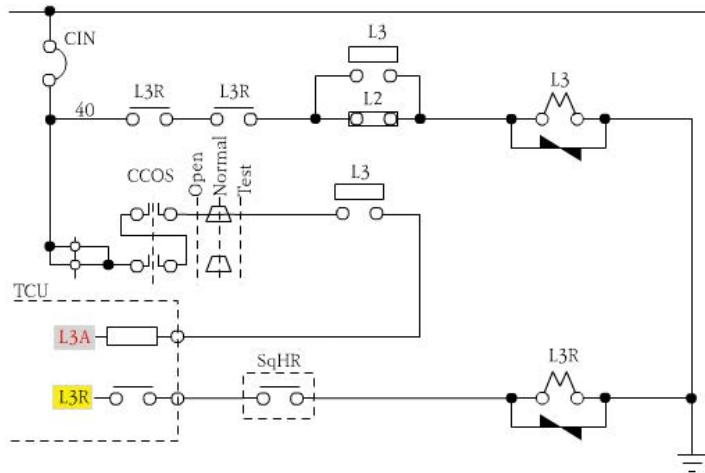
◆ TCU L3R(a)-SqHR(a)-L3R 여자

◆ 103-CIN-L3R(a)-L3R(a)-L2(b)-L3 여자

로 차단기 L3을 투입하고, L3이 투입된 후 투입이 되었다는 신호(L3A)가 TCU로 입력된다.

◆ M'차 CIN-CCOS(Nomal)-L3(a)-TCU L3A

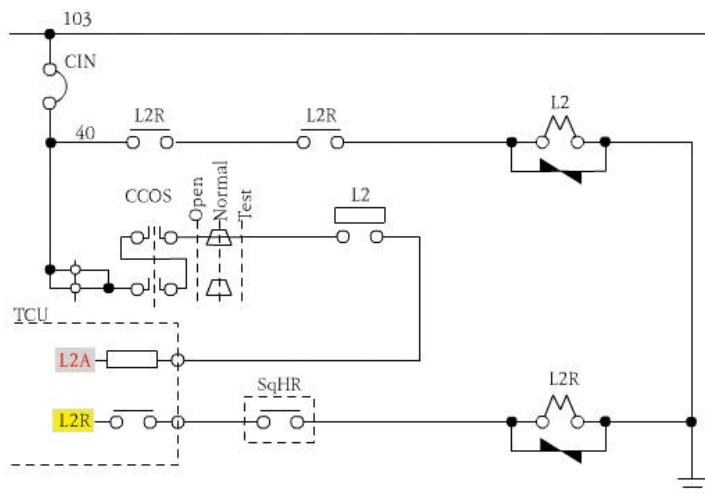
L3이 투입되고 이후 L3(a) 연동으로 L2(b)와 상관없이 L3 여자 회로가 구성된다.



[그림 3-50] L3 투입 회로

④ L2 투입신호(M'차에서만)

L3 투입을 나타내는 신호(L3A)가 있는 다음 0.6초 후, TCU는 L2R을 가압하여 L2R 여자 신호를 보낸다. [그림 3-51]에서



[그림 3-51] L2 여자 및 L2 투입 신호 회로

- ◆ M'차 TCU-L2R-SqHR(a)-L2R 여자
- ◆ 103-CIN-40-L2R(a)-L2R(a)-L2 여자



에 의해 L2 차단기가 투입되고, TCU에 L2 투입을 표시하는 신호(L2A)를

- ◆ M'차CIN-CCOS-L2(a)-TCU L2A에 의해 보낸다.

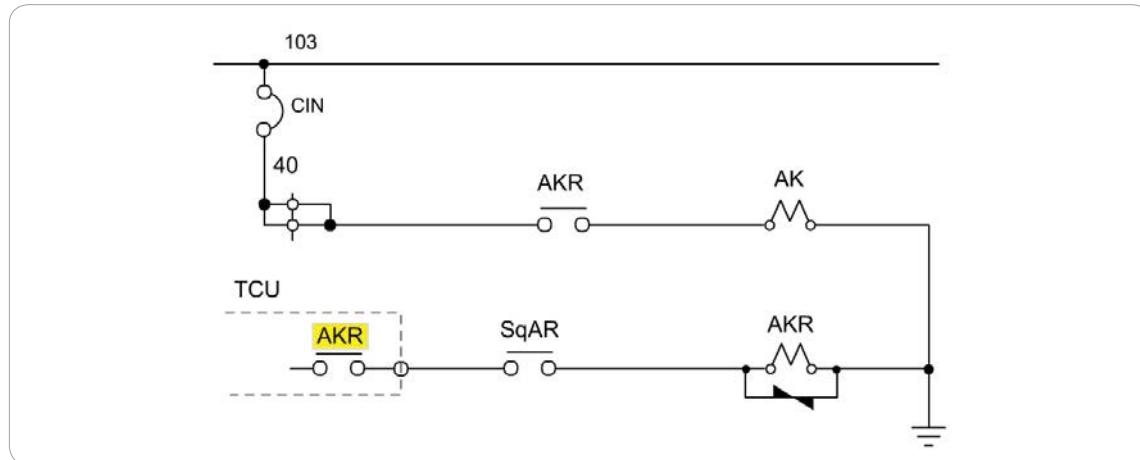
교류 구간에서 M'차는 K가 투입되면 컨버터가 기동되고 L3을 거쳐 컨버터에서 변환된 전력(DC 1,800V)이 SIV로 공급되기 때문에 L2 차단기의 투입은 큰 의미가 없다.

⑤ AK 투입신호(M차 M'차 모두)

M'차의 L2가 투입된 다음 1초 후 TCU에서 AKR 투입신호가 나온다. 이때 TCU에서는 MCB의 상태와 차단 입력의 유무, 전차선의 정전 유무 및 보호 작용의 작동여부 등을 확인한 다음 AKR의 여자 신호를 보낸다.

- ◆ TCU-AKR-SqAR(a)-AKR 여자
- ◆ 103-CIN-40-AKR(a)-AK 여자 ([그림 3-52])

에 의해 AK가 투입된다. 이때 컨버터의 기동신호는 아직 주어지지 않지만, 컨버터의 브리지 정류회로에 의해, 충전 저항기(CRe)를 거쳐 직류 중간 회로의 FC에 충전이 시작된다.



[그림 3-52] AKR과 AK 여자회로

⑥ K 투입신호

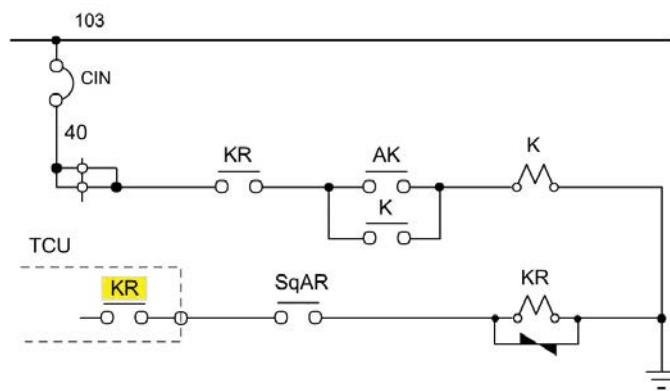
AK 투입으로부터 0.75초 후, TCU에서 KR 여자 신호를 한다.

- ◆ TCU-KR-SqAR(a)-KR 여자 ([그림 3-53])

KR이 여자 되면

- ◆ 103-CIN-40-KR(a)-AK(a)-K 여자

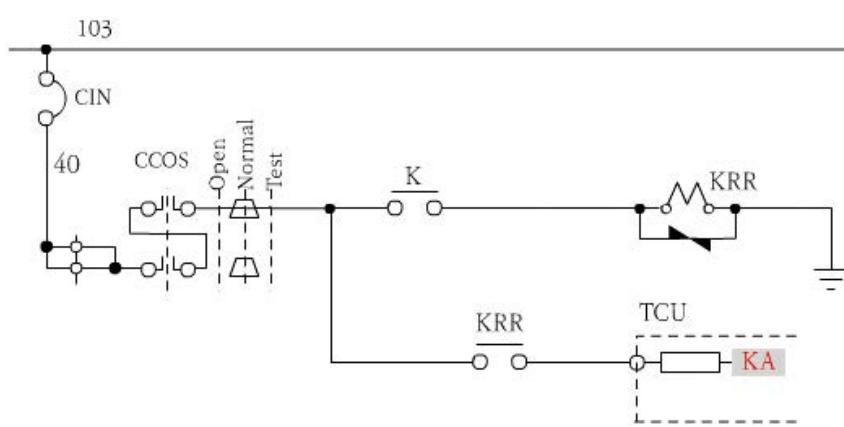
에 의해 K가 투입되고 컨버터가 기동되며, 이후 AK가 무여자 되더라도 AK(a)와 관계없이 K(a) 연동으로 K 여자회로를 계속 구성한다.



[그림 3-53] KR과 K 여자회로

K가 투입된 후 K 투입을 표시하는 신호가 TCU에 주어진다.

- ◆ 103-CIN-40-CCOS(N)-K(a)-KRR 여자
- ◆ 103-CIN-40-CCOS(N)-KRR(a)-TCU-KA(K 투입 표시 신호) ([그림 3-54])



[그림 3-54] K 투입 표시 회로

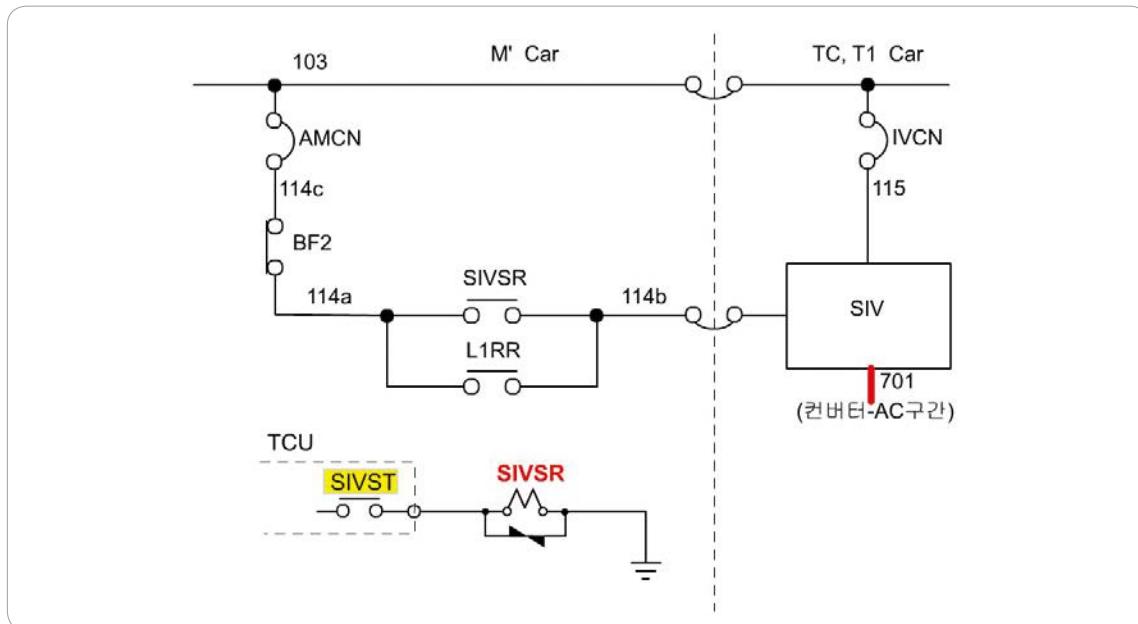
K투입 신호(KA)가 TCU로 가면 TCU에서 AK를 개방한다. 이것에 의해, 교류 구간에 있어서 M, M'차의 견인 회로가 구성되게 된다.

⑦ 컨버터와 SIV의 기동

각 접촉기가 투입하고, 겹인 회로가 구성되면, TCU에서 컨버터에 신호를 주어 컨버터가 기동한다. 컨버터가 기동되면 M'차 TCU에서는 보조전원장치(SIV)에 기동신호를 보낸다.

M'차 TCU-SIVST-SIVSR 여자

M'차 103-AMCN-114c-BF2-114a-SIVSR(a)-114b → TC, T1차 SIV로 제어 신호가 입력 ([그림 3-55])되고, SIV에는 M'차의 컨버터를 거친 직류전원이 공급된다. SIV의 기동으로 교류 구간에서 전기동차는 기동을 마치게 된다.



[그림 3-55] 보조전원장치(SIV) 기동 신호

(2) 교류 구간에서의 동력 제어회로

1) 전 · 후진 핸들의 조작

전진과 후진 신호는 직류 구간에서의 전진, 후진 신호와 같은 움직임으로 된다. 전 · 후진 핸들을 전진(F) 또는 후진(R)의 위치로 하면, 4선 또는 5선이 가압되고 TCU에 전진 또는 후진 운전의 신호가 주어진다.

2) 동력핸들의 조작

동력핸들을 1~4단의 위치로 이동하면, 11선이 가압되고 동력 운전 신호가 TCU로 간다. 직류 구

간에서는 동력 운전 신호가 TCU에 전달된 다음 L3과 L2가 접촉되고 인버터로 기동과 제어 신호가 있지만, 교류 구간에서는 직류 구간과 달리 컨버터가 기동이 되어 있는 상태에서 동력 제어가 시작되므로 동력 운전 신호가 오면 0.3초 후 TCU는 인버터의 전력변환 소자에 신호를 주어 곧바로 인버터를 기동시킨다. 그 신호 회로는 [그림 3-44]와 같고, 인버터가 유도전동기를 제어하는 것은 직류 구간과 동일하다.

3) 교류 구간에서 전기동차의 기동과 동력 제어 요약

교류 구간에서 전기동차의 기동과 동력 제어회로의 구성 및 순서는 다음과 같다([그림 3-56]).

① 전기동차의 기동

순서	작용	비고
①	Pan 상승, MCB 투입, TCU로 가는 MCB 차단 신호 소멸	
②	L3 투입(M'차에 한함)	
③	L2 투입(M'차에 한함)	L3 투입 후 0.6초
④	AK 투입	L2 투입 후 1초 후
⑤	K 투입 후 AK 차단	AK 투입 후 0.75초
⑥	컨버터의 기동과 SIV의 기동	

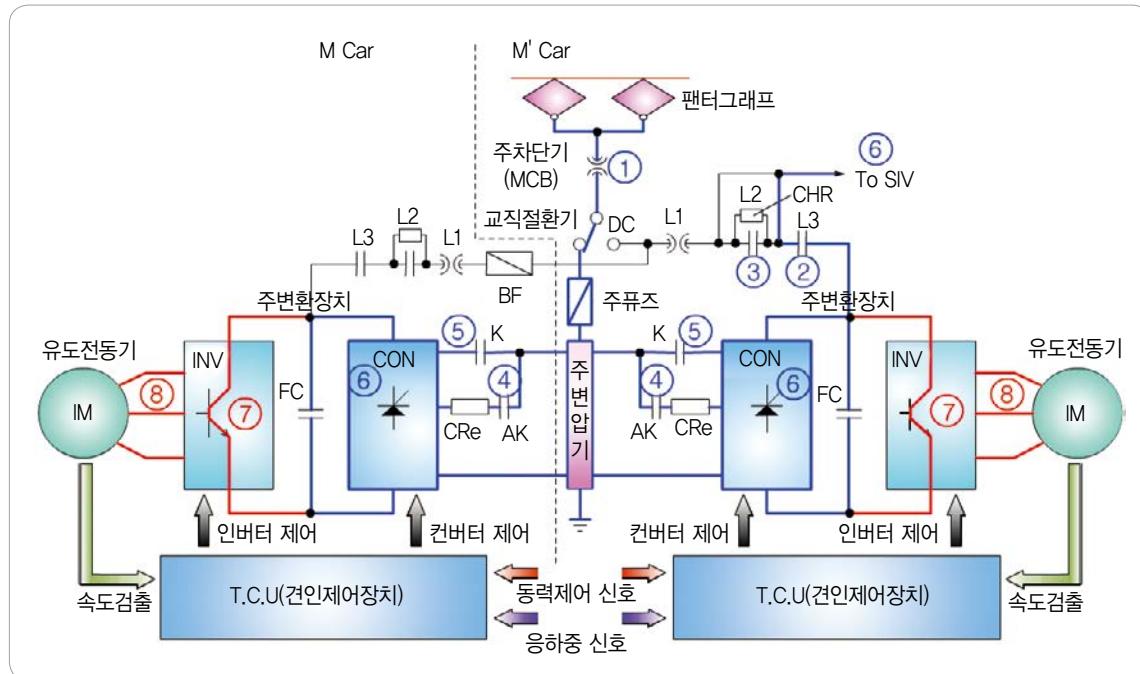
② 동력 제어

교류 구간에서 동력 신호가 가면 컨버터는 이미 기동이 된 상태에서 0.3초 후에 인버터가 기동이 되고 인버터에 의해 유도전동기를 제어하여 동력 운전을 한다.

순서	작용	비고
⑦	동력 신호 0.3초 후 인버터의 기동	
⑧	유도전동기 동력 제어	

(3) 동력 제어 핸들의 OFF

동력핸들을 OFF 위치로 하면 TCU로 가는 동력 운전선(11선)이 무가압되고, TCU의 신호로 1초 후에 인버터의 작동이 멈춘다. 이때 각 접촉기는 원래의 상태를 유지하고, 컨버터도 계속 작동 상태를 유지한다. 그러나 인버터가 정지되어 유도전동기에 전력의 공급과 제어가 중단되므로 전기동차



[그림 3-56] 교류 구간에서 전기동차의 기동과 동력 제어 요약

는 직류 구간과 같이 무동력 운전 상태로 된다.

(4) 재(再)동력 취급

동력제어기를 OFF 후, 다시 동력 운전을 하는 경우에는 0.3초 후에 인버터가 작동하여 동력을 제어한다.

(5) 전진과 후진의 절환

전기동차의 전진과 후진의 방향 절환은 전기동차가 완전히 정지한 다음 동력핸들을 OFF 위치로 하고 전 · 후진 핸들을 전진(F) 혹은 후진(R) 위치로 하여 방향을 바꾼다.

3.3.4 전기제동 제어회로

전기제동은 상용제동에서만 작용한다. 제동핸들을 상용제동 위치(1~7Step)로 이동하거나 ATC의 속도 초과로 상용제동 신호가 있을 때 제동핸들을 1단 이상 취급하면 전기제동이 작용하는데 이때 발생하는 전기제동력은 공기 제동력과 적절히 혼합되어 작용한다.

제동은 구동차 하나에 부수차 하나가 1개의 유닛(Unit)으로 작용하고, 필요한 제동력은 대부분 전기제동으로 담당하도록 하였다. 공기 제동은 전기제동력이 부족한 경우나 전기제동이 작동하지 않을 때 제동력을 보완한다.

이 같은 두 종류의 제동력은 제동핸들 등에 의한 제동 제어(Brake Notch) 신호와 객실 하중(승차 인 수)에 의한 응하중에 따라 결정되어 적절한 제동력을 얻을 수 있지만, 전기(회생)제동이 보호 작용 등으로 작동하지 않을 때는 공기 제동으로 바꾸어 체결된다.

공기 제동은 제동 장치에서 자세히 다루기로 하고, 이 장에서는 전기제동에 대해서만 알아보기로 한다. 전기제동의 작용 회로도 동력 운전과 같이 직류 구간과 교류 구간이 서로 달라 따로 설명하기로 한다.

3.3.4.1 직류 구간에서 전기제동 제어

직류 구간에서 동력 운전 중 동력핸들을 OFF 하면, MCB와 L1은 투입된 상태에서 L2와 L3이 개방되고, 인버터의 기동은 정지된 상태가 된다. 이 상태에서 전기제동은 시작된다.

(1) 전기제동 제어

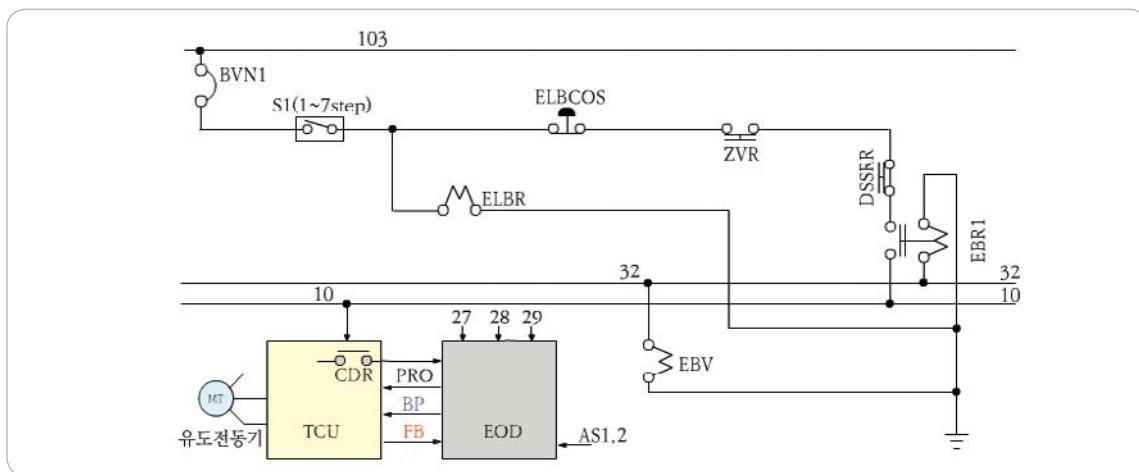
1) 전기제동 제어 신호

제동핸들을 1~7Step의 위치로 이동하면 TCU에 [그림 3-57]과 같이 전기제동 신호(10선)를 준다.

TC차103-BVN1-S1(제동핸들 1~7step)

-ELBCOS(정상)-ZVR(b)-DSSRR(b)-EBR1(a)-M'차, M'차10-TCU

그리고 TC차103-BVN1-S1(제동핸들 1~7step)-ELBR 여자로 동력 운전 회로(11선)를 차단한다.



[그림 3-57] 전기제동 제어회로



[그림 3-57]에서 EBR1 계전기는 제동 계통이 전기적, 공기적으로 완전한 조건에서 비상제동 Loop 회로가 구성되면 여자 되는 계전기이다. 따라서 비상제동Loop 회로가 끊어지면 무여자 되어 전기제동 신호선인 10선을 끊어서 전기제동을 차단하기 때문에 비상제동 시는 순수한 공기 제동만 작용하도록 한다.

2) 제동력의 결정

필요한 제동력의 결정은 27, 28, 29선의 제동 제어 신호와 차량의 공기스프링(AS1,2)에 의해 검출된 승객의 하중정보(응하중 신호)를 제동제어장치(EOD)에서 연산하여 필요한 총 제동력을 패턴화(Brake Pattern)한 다음 TCU에 보내 유도전동기를 제어하여 결정한다.

3) 전기제동 작용

① L3 투입신호

TCU는 제동신호(10선)를 받은 다음 0.4초 후에 L3 투입신호를 내고 L3 작동 후 L3이 투입되었다는 신호를 얻는다(동력 운전과 동일 [그림 3-45]).

② L2 투입신호

L3 투입을 나타내는 신호가 있은 다음 0.6초 후에 L2의 투입신호가 나온다. 따라서 동력 운전 시와 마찬가지로 견인 회로가 구성된다(동력 운전과 동일 [그림 3-46]).

③ 인버터의 기동

L2가 투입된 다음 0.1초 후에 인버터가 기동이 되고, TCU는 제동패턴에 상응한 제동력이 되도록 인버터를 제어한다. 인버터에서는 출력전압과 주파수를 결정하여 유도전동기를 구동시켜 전기제동력을 제어한다.

(2) 제동 제어의 차단

제동핸들의 위치를 OFF 위치로 하면 10선이 무가압 상태가 되어 TCU로 가던 전기제동 신호가 종료되므로 L2, L3의 개방과 인버터가 동시에 정지된다. 이 상태로 전기제동이 종료된다.

(3) 동력 취급 또는 재(再)제동

제동 제어를 차단한 후 동력을 취급하거나 다시 제동을 취급하는 경우는 L3 투입 → L2 투입 → 인버터의 기동 및 유도전동기의 제어 순서로 이루어진다.

3.3.4.2 교류 구간에서 전기제동 제어

교류 구간에서 동력 운전 중 동력핸들을 OFF 하면, M, M'차는 [표 3-7]의 상태로 된다.

[표 3-7] 교류 구간에서 무동력 운전 시 기기의 상태

차종	기기	K	AK	L2, L3	컨버터	인버터	SIV
M차	투입	개방	개방	작동	정지		
M'차 (TC차)	투입	개방	투입	작동	정지	(작동)	

(1) 전기제동 제어

1) 제동 신호

제동핸들을 1~7Step 위치로 이동하면 10선이 가압되고, TCU에 [그림 3-57]과 같이 전기제동 신호(10선)가 주어진다.

TC차103–BVN1–S1(제동핸들 1~7step)

–ELBCOS(정상)–ZVR(b)–DSSRR(b)–EBR1(a)–M차, M'차10–TCU

그리고 TC차103–BVN1–S1(제동핸들 1~7step)–ELBR 여자로 동력 운전 회로(11선)를 차단한다.

2) 제동력의 결정

필요한 총 제동력의 결정은 직류 구간과 동일하게 제동 제어 신호와 차량의 공기스프링에 의해 검출된 승객의 하중정보를 제동제어장치(EOD)에서 연산하여 결정한다. 그리고 제동력을 패턴화하여 TCU에 보내 유도전동기를 제어한다.

3) 인버터의 기동

견인 회로의 각 접촉기의 작동은 변하지 않고 인버터만 정지된 상태에서 TCU는 제동 신호(10선)가 있은 다음 0.4초 후에 인버터의 기동을 행한다.

TCU는 제동패턴에 상응한 제동력이 되도록 인버터를 제어한다. 인버터에서는 출력전압, 주파수를 제어하여 유도전동기를 구동시켜 전기제동력을 조절한다.

(2) 제동 제어의 차단

제동핸들을 OFF 위치로 하면 10선이 무가압 상태로 되고 TCU로 가던 회생제동 신호가 종료되면서, 인버터의 기동이 동시에 정지된다. 이 상태로 전기제동이 끝난다.

(3) 동력 취급 또는 재(再)제동

제동 신호를 차단한 후 동력을 취급하거나 재 제동을 취급하는 경우는 [표 3-7]의 상태에서 인버터가 기동이 되고, 유도전동기를 제어한다.

3.4 주 변환장치의 보호 작용과 복귀

주 변환장치에 고장이 발생하면 상황에 따라 주 변환장치 고장계전기(CIFR)의 여자, L1 고속도차단기의 차단, MCB 차단계전기의 무여자 및 과전압 방전 사이리스터(OVCRf)의 작동 등으로 보호 작용을 한다.

주 변환장치의 보호 작용¹⁵⁾은 [표 3-8]과 같다.

[표 3-8] 주 변환장치의 보호 작용

고장 내용	구간	기기 작동	제어대 표시등 상태	작동 기기
인버터 과전류	직류 구간	인버터 OFF, L2, L3 차단	FAULT등	CIFR ON
2차 과전류	교류 구간	주 변환장치 정지, K 차단, M'차 L2, L3 차단,	FAULT등	CIFR ON
2차 과부하	교류 구간	주 변환장치 정지, K 차단, MCB 차단, M'차 L2, L3 차단	FAULT등 MCB 양 소등	MCBOR OFF CIFR ON
직류 과전압	직류 구간	인버터 OFF, L2, L3 차단		OVCRf ON
	교류 구간	주 변환장치 정지, K 차단 M'차 L2, L3 차단		OVCRf ON
직류 과전류	직류 구간	인버터 OFF, L2, L3 차단	FAULT등 HSCB등	L1 차단
	교류 구간	주 변환장치 정지, K 차단 M'차 L2, L3 차단		OVCRf ON
2차 접지	교류 구간	주 변환장치 정지, K 차단, MCB 차단, M'차 L2, L3 차단	FAULT등 MCB 양 소등	MCBOR OFF CIFR ON
전력 변환 소자 이상	직류 구간	L2, L3 차단 L1 차단	FAULT등 HSCB등	L1 차단
	교류 구간	주 변환장치 정지, K 차단, MCB 차단, M'차 L2, L3 차단	FAULT등 MCB 양 소등	MCBOR OFF CIFR ON

15) 철도청, 과천/분당선 인버터제어 전동차 취급 및 정비 지침서, 1994, pp.2-3~3~5

3.4.1 주 변환장치 고장계전기(CIFR)의 보호 작용과 복귀

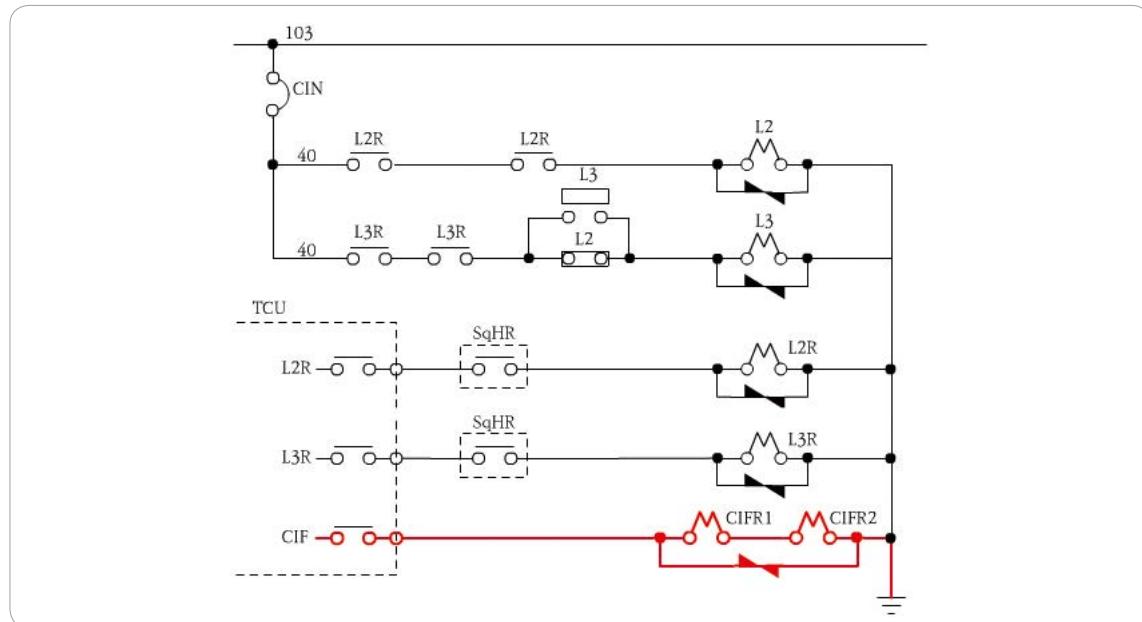
3.4.1.1 주 변환장치 고장계전기(CIFR)의 보호 작용

주 변환장치 인버터의 출력 측(유도전동기 입력 측)에 과전류나 제어 이상 등이 발생하면 직류 구간에서는 TCU에서 인버터의 기동을 중지시키고, L2와 L3을 차단한다.

[그림 3-58]에서 TCU의 L2R과 L3R의 신호가 끊기면 L3R과 L2R이 무여자 되므로 L3과 L2도 무여자 되어 견인 회로의 L3과 L2를 차단한다. 그리고 주 변환장치 고장계전기(CIFR1, 2, 이하 CIFR이라 한다)를 여자 시킨다.

CIFR 여자회로는

- ◆ M차, M'차 {TCU-CIF-CIFR1-CIFR2}에 의해 CIFR1, 2의 계전기 코일을 여자 한다.



[그림 3-58] CIFR 여자회로

CIFR1,2가 여자 되면, [그림 3-59]에서

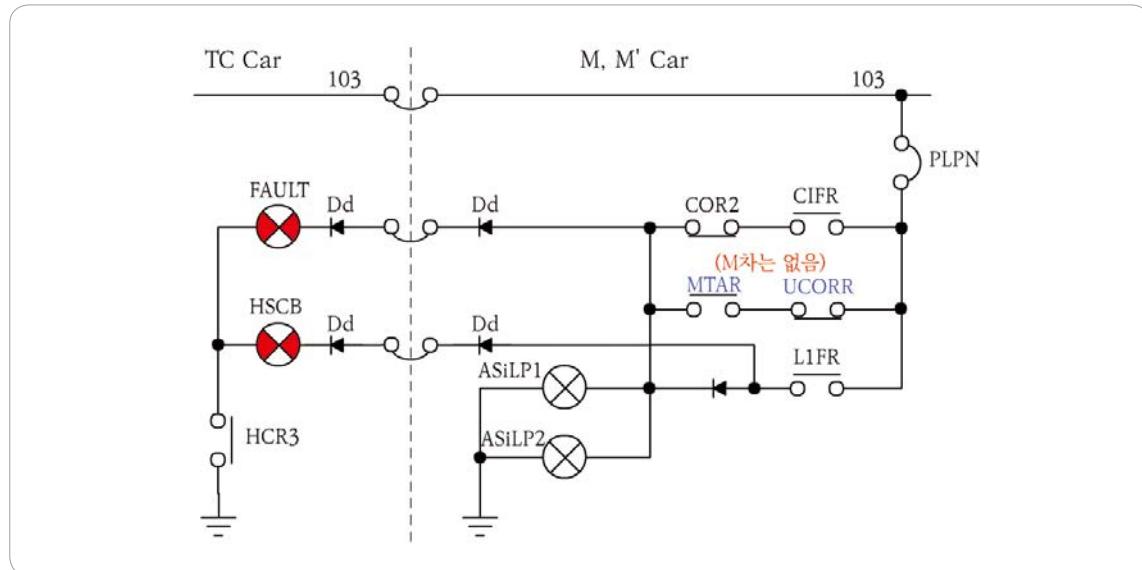
- ◆ M차, M'차 103-PLpN-CIFR(a)-COR2(b)-Dd-TC차 Dd-FAULT등-HCR3-접지
에 의해 TC차 운전실 제어대의 FAULT등과 해당 M 또는 M'차의 차측등(ASiLP-백색)이 접등된다.

교류 구간에서 주변압기 2차 측 또는 인버터의 출력 측에 과전류가 발생하거나 제어 이상 등이 발생하면 TCU는 KR의 신호를 끊어 KR을 무여자 시킨다. KR이 무여자 되면 KR(a)에 의해 여자되고 있던 K의 무여자로 K를 차단하여 컨버터의 기동을 정지시키고 CIFR1, 2를 여자 시킨다.([그림 3-58]).

M'차는 TCU에서 L2R과, L3R 신호도 끊어 L2, L3을 개방한다.

주변압기 2차 과전류 또는 인버터의 출력 측 과전류가 발생하면 M차는 K의 차단으로 주 변환장치만 정지되고, M'차는 주 변환장치가 정지되면서 L2와 L3이 차단되므로 해당 유닛(Unit)의 SIV까지 구동을 멈추게 된다. 따라서 SIV의 정지로 SIV의 전원을 받는 각 송풍용 전동기와 주변압기 오일펌프 전동기(MTOM, 이하 MTOM이라 한다)도 멈춘다.

MTOM의 정지로 주변압기를 냉각시키는 기름의 흐름이 검지되지 않으면 약 60초 후에 주변압기 보조계전기(MTAR, 이하 MTAR이라 한다)를 여자 시켜 MCB를 차단시키는 연쇄적 고장이 발생한다.



[그림 3-59] 보호 장치 작동 시 고장 표시등 회로

교류 구간에서 M'차 CIFR 여자 시 현상을 정리하면 다음과 같다.

CIFR 여자 → 컨버터/인버터 정지 및 L2, L3 차단 → 10초 후 해당 유닛(Unit) SIV 정지 → 각 송풍기와 MTOM 정지 → 주변압기 냉각유의 흐름이 멈춤 → 60초 후 MTAR 여자로 MCB 차단

3.4.1.2 CIFR의 복귀

보호 작용으로 동력이 차단되고 CIFR이 여자 된 경우의 조치는 다음과 같다.

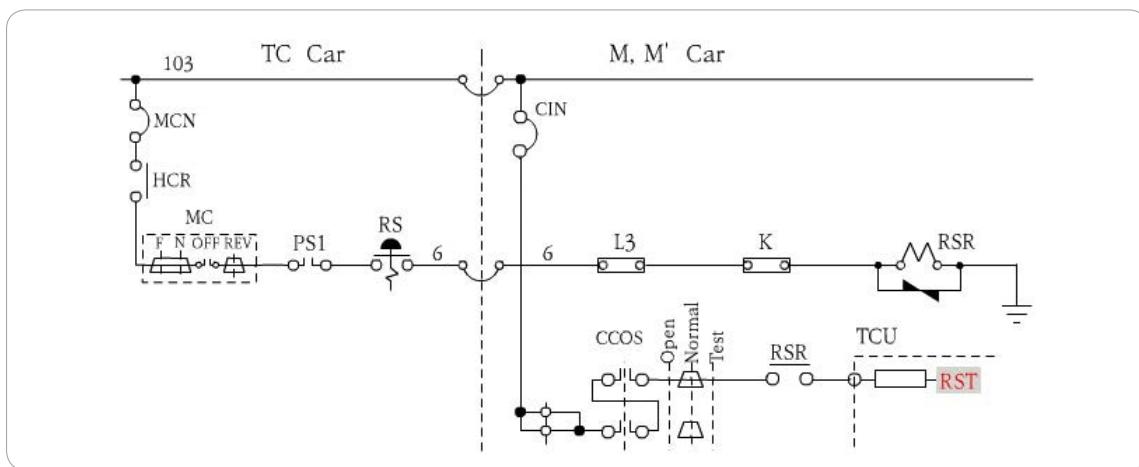
(1) 복귀계전기(RSR)의 여자

보호 작용 후의 복귀 취급은 전체 MCB를 먼저 차단하고 리셋스위치(Reset Switch 이하 RS라 한다)를 취급 한 다음 약 3초 정도 TCU 초기설정 시간 여유를 둔 후 MCB를 투입시키는 순서로 한다.

[그림 3-60]에서 L3 차단기와 K 접촉기가 개방된 조건에서

- ◆ TC차{103-MCN-HCR(a)-MC(F,N,REV)-PS1-RS-6}
- ◆ M차, M'차{6-L3(b)-K(b)-RSR 여자}
- ◆ M차, M'차{CIN-CCOS(Nomal)-RSR(a)-TCU_RST}

에 의해 TCU에 복귀 신호를 보내면 장치가 복귀되고, 그 후 통상적인 방법으로 기동이 가능하게 된다.



[그림 3-60] RS 취급 회로

(2) RS 취급으로 복귀되지 않을 때 조치

RS를 취급하였으나 수초가 지나도 FAULT등이 깨지지 않으면 재(再)기동을 하여 본다. 재기동 방법은 팬터그래프를 내리고, 제동핸들을 쥐거 위치로 하여 축전지의 전원이 103선에 가압되는 것을 끊어 제어 전원을 모두 차단하여 견인 회로를 초기화시킨 다음, 약 10초 후 다시 제동핸들을 삽입(103선 가압)하고 팬터그래프의 상승, MCB를 투입시키는 방법이다.

이때 기동을 정지시킨 다음, 약 10초 후 재기동을 하는 이유는 마이크로프로세서에 의해 제어되

는 TCU의 완전 초기화 설정 시간과 FC에 남아 있는 전하가 방전 저항기(DCHRe)를 통해 자연 방전(3.2.2.4 참고)되는 시간도 고려한 것이다.

이 같은 취급으로도 재차 고장이 발생하여 복귀되지 않으면 직류 구간에서는 차량차단스위치(VCOS, 이하 VCOS라 한다)를 조작하여 고장 차를 차단하여야 한다.

교류 구간에서 M차는 VCOS를 조작하여 고장 차를 차단한다. M'차는 VCOS를 조작하여 고장 차를 차단하면 주 변환장치가 정지되므로 SIV도 정지된다. 따라서 인접한 유닛의 SIV의 전원을 끌어서 사용하는 연장 급전을 하여야 한다.

3.4.2 L1 고속도차단기에 의한 보호 작용과 복귀

직류 구간에서 직류 과전류와 전력변환 소자의 이상에 의한 회로의 보호는 L1 고속도차단기(이하 L1이라 한다)에서 한다.

L1은 다음의 경우에 트립(Trip)¹⁶⁾ 되어 견인 회로를 끊어서 회로를 보호한다.

- ⓐ 직류 구간을 운행 중 견인 회로에 1,600A 이상의 과전류가 발생하였을 때
- ⓑ 주 변환장치의 전력변환 소자가 소손이 되었을 때

3.4.2.1 보호 작용

L1의 주접촉부의 차단은 TCU의 트립 신호(L1T)에 의해 트립 코일 L1(T)가 여자 되어 견인 회로의 주접촉부를 끊어서 견인 회로(M'차는 SIV 회로 포함)에 흐르는 전류를 차단한다([그림 3-30]).

트립 코일 L1(T)가 여자 되어 견인 회로를 차단해도 L1 계전기 코일은 [그림 3-62]에서 L1(T)의 a연동에 의해 여자 상태를 유지한다.

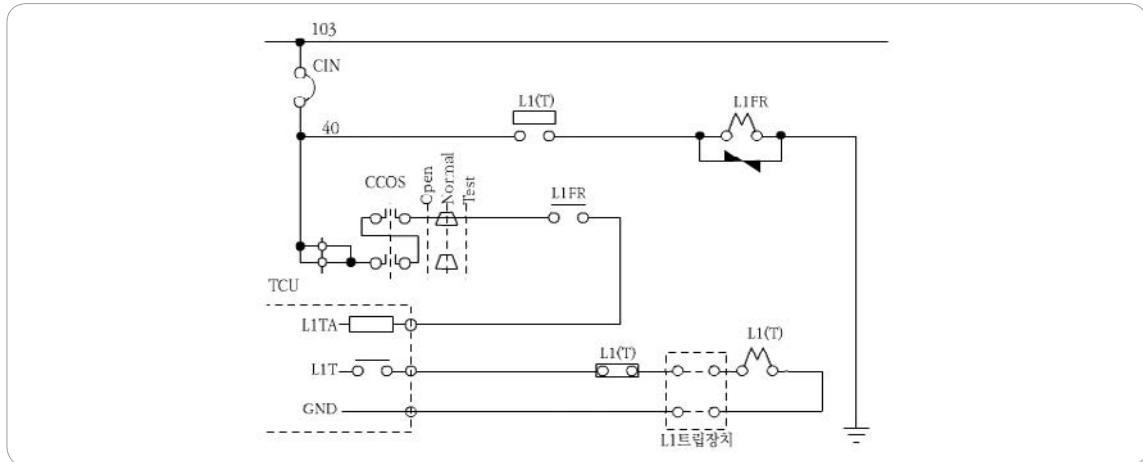
◆ 103-CIN-CCOS(Normal)-RSR(b)-L1(T)(a)-L1 여자

따라서 L1 트립 코일의 여자로 주접촉부가 끊어져 견인 회로는 차단되지만 L1 계전기에 의해 제어되는 보조 접점 L1(C)는 a연동이 붙어 있는 상태로, 보조 접점 L1(T)도 a연동이 붙게 되므로 보조 접점은 L1(C)와 L1(T) 모두 a연동이 붙어 있는 상태가 된다.

16) 차단기가 계전기 등에 의해 전기 회로를 차단하는 것.

TCU에서 L1 트립 신호를 보내면 [그림 3-61]에서

- ◆ TCU L1T-L1T(b)-L1 트립 장치-L1(T) 여자
 - ◆ 103-CIN-L1T(a)-L1FR 여자
 - ◆ 103-CIN-CCOS(N)-L1FR(a)-TCU-L1TA
로 L1이 트립 되었다는 신호가 TCU에 입력된다.



[그림 3-61] L1(T)와 L1FR 여자회로

L1 트립 시 나타나는 현상은 모니터에 “L1차단 동작”이라 표시되고, L1FR 여자에 의해 운전실 표시등에 ‘FAULT등’ 및 ‘HSCB등’이 점등되면서, 고장 차의 차축등(ASiLP1,2-백색)에 점등이 된다 ([그림 3-59]).

한편 L1의 트립으로 견인 회로가 차단되면 M차는 주 변환장치의 인버터만 정지되지만, M'차는 인버터의 정지와 함께 해당 유닛(Unit)의 SIV까지도 정지된다.

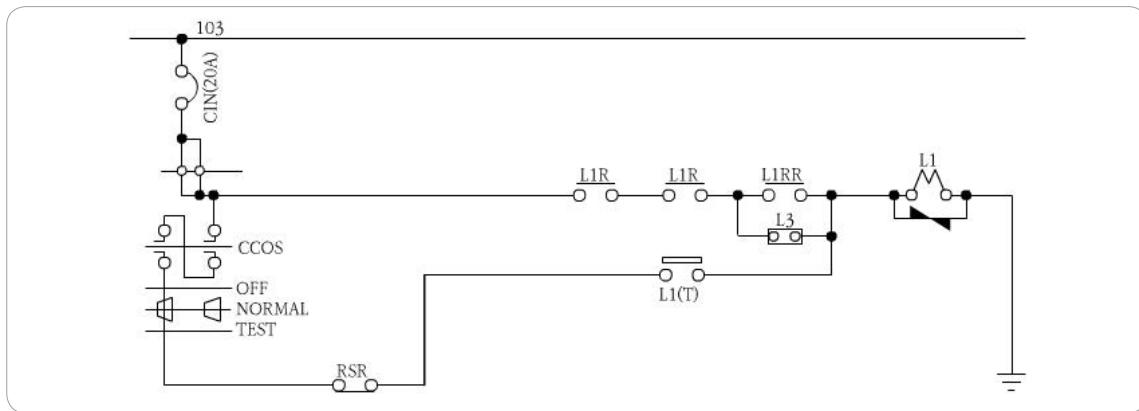
3.4.2.2 L1 트립 복귀

L1이 트립 되었을 때는 고장 차를 확인한 다음 운전실의 RS를 취급한다. RS의 취급은 MCB를 먼저 차단한 다음 취급하고, RS를 취급한 후 TCU가 초기 설정을 할 수 있도록 여유 시간(약 3초)을 둔 다음 MCB를 재투입하도록 한다.

[그림 3-60]에서 RSR이 여자 되면 TCU에도 복귀 신호(TCU-RST)가 입력된다.

RSR이 여자 되면 [그림 3-62] 회로와 같이 RSR(b) 연동이 끊어지므로 L1이 무여자 되어 L1이 투입되기 전의 평상 상태로 돌아온다.

따라서 L1이 트립 작동으로 차단된 경우에는 RS를 취급해 주어야 L1이 정상으로 복귀된다.



[그림 3-62] L1 복귀 회로

RS 취급으로 복귀되지 않으면 기동을 정지시켜 TCU를 완전 초기화한 다음 재(再)기동을 해 본다. 이와 같은 방법으로도 복귀되지 않으면 전력변환 소자의 소손이 원인일 수 있으므로 전력변환 소자의 소손이 원인일 수 있으므로 VCOS를 취급하여 고장차를 차단하고 M'차는 연장급전을 한다. 그래도 복귀되지 않으면 해당 유닛을 완전 부동 취급한 후 연장 급전 조치를 한다.

3.4.3 MCB 차단계전기에 의한 보호 작용과 복귀

3.4.3.1 보호 작용

MCB 차단계전기(MCBOR, 이하 MCBOR이라 한다)는 교류 구간에서 주 변환장치를 보호하는 역할을 한다. 주 변환장치가 정상일 때는 TCU의 신호(MCBO-Normal Close)에 의해 MCBOR은 여자 상태를 유지한다.

MCBOR은 주 변환장치에 다음과 같은 중(重)고장이 발생하면 무여자 되어 MCB를 차단한다.

- ⓐ 주변압기 2차 측 과부하
- ⓑ 주변압기 2차 측 접지
- ⓒ 주 변환장치 전력변환 소자 소손

여기서 주변압기의 2차 측은 컨버터 입력 측이 된다.

MCBOR이 무여자 되는 고장이 발생하면 CIFR도 함께 여자 되어 MCB 차단과 함께 해당 차 FAULT등과 차측등(백색)이 점등된다.

3.4.3.2 고장 복귀(Reset)

고장이 발생한 후 장치의 복귀 취급은 RS를 누르면 [그림 3-60] 회로에 의해 보호 작용의 복귀 신호(RST)가 TCU에 전달되어 고장이 복귀되면서, FAULT등과 차측등(백색)이 소등된다. 이후 MCB를 투입하면 다시 견인회로를 구성하여, 컨버터가 작동하여 운전이 가능하게 된다.

그런데, RS를 누르고 시간이 지나도 고장 표시등이 꺼지지 않고 복귀되지 않으면 차량차단스위치(VCOS, 이하 VCOS라 한다)를 조작하여 고장 차를 차단하며, M'차일 경우에는 연장 급전도 하여야 한다.

3.4.4 송풍 전동기 고장계전기(BMFR)에 의한 보호 작용과 복귀

3.4.4.1 보호 작용

(1) 송풍 전동기 고장

주변환장치와 필터리액터에서 발생하는 열은 각 송풍 전동기에 의한 강제 송풍으로 냉각된다.

주변환장치 송풍전동기(CIBM, 이하 CIBM이라 한다)와 필터리액터 송풍전동기(FLBFM, 이하 FLBFM이라 한다)의 구동은 SIV의 교류 440V의 전원을 받아 구동한다.

따라서 SIV가 멈추면 송풍기의 구동도 정지 된다. 또한 CIBMN이 차단되거나 FLBFM 구동 회로에 있는 M차의 FLBMN, FLBMKN과 M'차의 MTBMN이 차단되면 송풍 전동기의 구동이 멈춘다. 이같이 송풍 전동기의 구동이 멈추면 송풍전동기 고장계전기(BMFR, 이하 BMFR이라 한다)를 여자 시킨다.

(2) TCU에 송풍 전동기 고장 신호(BMF)의 입력과 보호

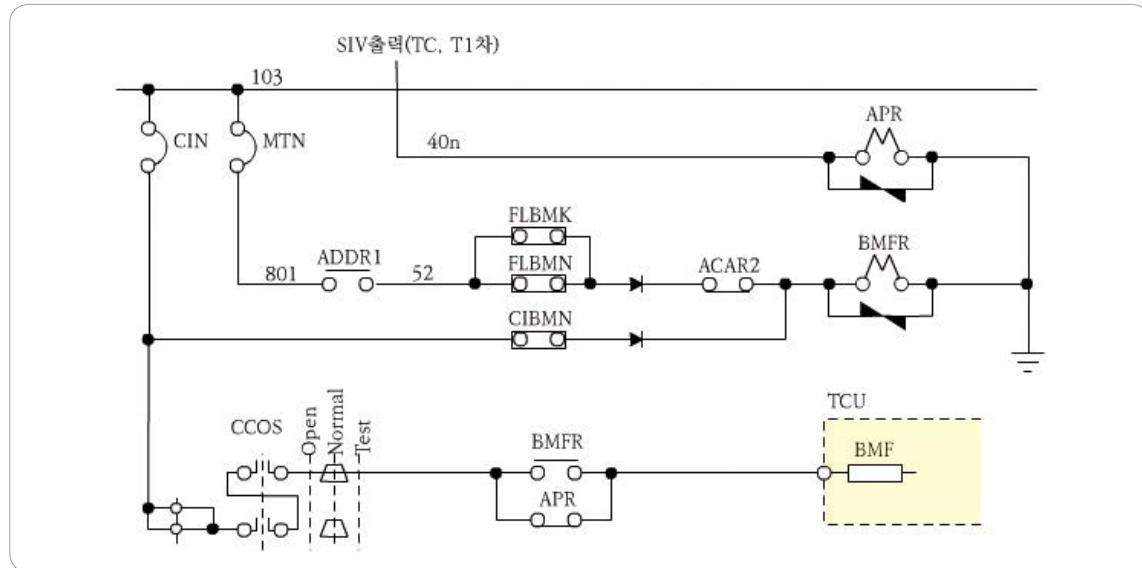
TCU에 송풍 전동기 고장 신호(BMF, 이하 BMF라 한다)가 입력되는 경우는 다음과 같다([그림 3-63]).

- ① M, M'차 CIBMN, M차 FLBMN, FLBMKN, M'차 MTBMN 차단으로 BMFR이 여자
- ② SIV의 정지로 보조 전원 계전기(APR : Auxiliary Power Relay) 무여자

TCU에 BMF가 입력되면, TCU는 20초 후에 주 변환장치의 전력변환 소자를 OFF 하여 주 변환장치를 정지시켜 장치를 보호한다.

SIV정지로 APR이 무여자 된 경우에는 모든 송풍전동기와 주변환장치가 정지되므로 교류 구간에

서는 MTOM도 정지되어 주변압기 냉각유가 순환되지 않으므로 60초 후 MTAR의 여자로 MCB도 차단된다.



[그림 3-63] BMFR 여자회로

3.4.4.2 고장 복귀

TCU에 BMF 신호가 입력되어 주 변환장치가 정지되는 원인은 필터리액터와 CI 송풍전동기와 관련된 회로차단기가 차단된 경우와 SIV의 기동정지로 출력이 나오지 않아 APR이 무여자 된 경우이다.

따라서 이 같은 송풍기가 정지되는 고장은 물리적인 회로차단기의 차단과 SIV의 정지가 원인이므로 회로차단기를 복귀시켜야 하고, SIV가 정지된 경우에는 SIV의 정지 원인을 제거하고 SIV를 기동시켜야 복귀된다.

3.4.5 과전압 방전 사이리스터(OVCRf)에 의한 보호 작용과 복귀

OVCRf는 주 변환장치의 직류 중간 전압, 즉 FC의 전압이 설정치를 초과할 경우와 전력변환 소자의 제어 전원 이상 검지 시 등에 작동하여 FC의 전하를 방전시켜 주 변환장치를 보호하는 장치이다.

3.4.5.1 보호 작용

OVCRf에 의한 보호 작용은 다음과 같은 경우에 발생한다.

(1) 회생제동 시 직류 과전압으로 FC 전압 상승

회생제동 시 직류 과전압이 발생하면 즉시 인버터의 제어로 전기제동력을 줄여서 회생 전력을 줄이지만, 그래도 설정치를 초과하는 경우에는 주 변환장치를 OFF 시키고, OVCRf가 작동하여 FC의 전하를 과전압 저항기(OVRe)로 방전시켜 주 변환장치를 보호한다.

(2) 주 변환장치 전력변환 소자의 제어 전원 이상

전력변환 소자를 제어하는 전원이 저하되면 전력변환 소자의 스위칭이 불가능하고 소자의 파괴 등으로 이어질 수 있다. 이때 즉시 소자를 OFF 하고 OVCRf를 작동시켜 FC의 전하를 과전압 저항기(OVRe)로 방전하여 보호 작용을 한다.

3.4.5.2 OVCRf 작동 후 복귀

OVCRf가 작동된 경우의 복귀 취급은 동력핸들을 OFF 위치로 하고, RS를 누른다. RS의 취급은 전체 MCB를 먼저 차단하고 RS 취급을 한 다음 전체 MCB를 투입시킨다. RS의 취급으로 TCU에 복귀 신호가 입력되면 TCU의 신호로 주 변환장치를 복귀시킨다.

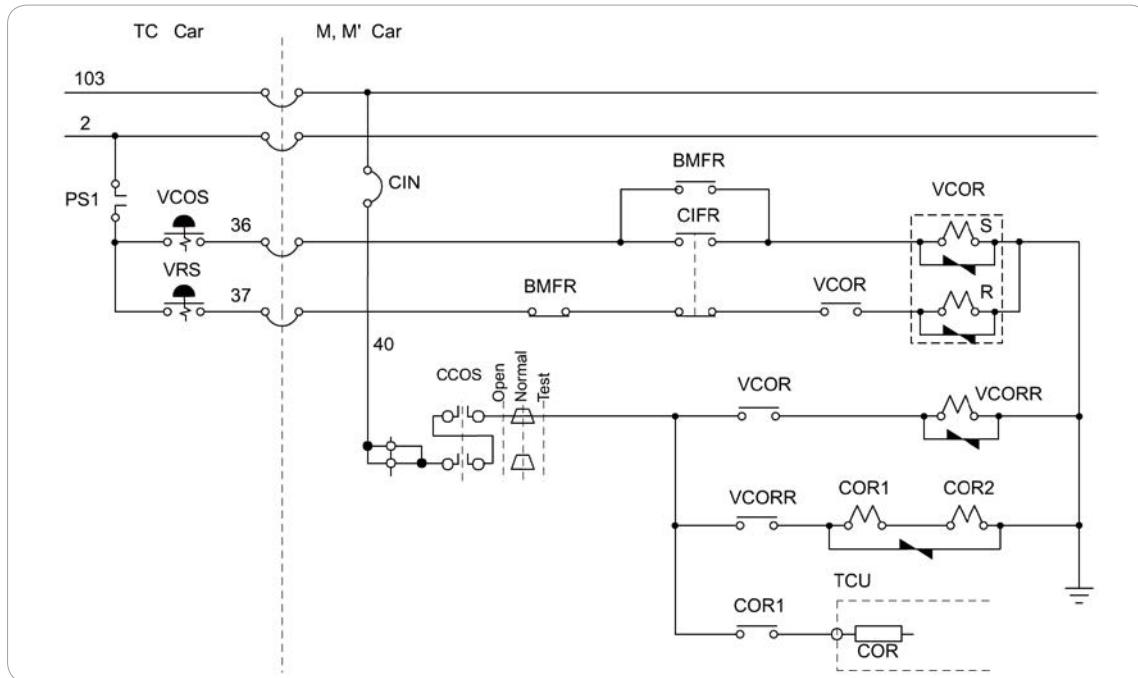
3.5 고장 차량의 차단 취급

고장 차량 차단(VCOS) 취급을 할 수 있는 고장은 다음과 같다.

- ④ CIFR 여자
- ⑤ BMFR 여자
- ⑥ MTAR 여자

3.5.1 CIFR, BMFR 여자 시의 고장 차 차단

FAULT등이 점등하고, RS를 조작하였음에도 불구하고 고장 표시등이 소등되지 않는 경우, VCOS를 눌러 고장 차를 차단한다.



[그림 3-64] 고장 차량 차단 및 차단 복귀 회로

[그림 3-64]에서 VCOS를 취급하면

- ◆ TC차 {2 → PS1 → VCOS → 36선}의 회로가 구성된다.

한편, 고장 차량에서는 CIFR 또는 BMFR의 a연동에 의해 VCOR-S가 여자 되어 VCOR-R이 여자되기 전까지 그 상태를 유지한다.

- ◆ M, M'차

CIN-40-CCOS(N)-VCOR(a)-VCORR 여자

└ VCORR(a)-COR1-COR2 여자

의 회로에서, COR1의 여자로 SqHR, SqAR이 작동하지 않게 되고, L1R의 무여자로 L1도 작동하지 않게 된다([그림 3-49], [그림 3-39]).

또한, COR1의 a접점의 접촉으로 TCU-COR로 TCU에 신호가 입력하여 차량의 차단을 알린다([그림 3-64]). [그림 3-59]의 FAUL등과 차축등(백색)은 COR2 b접점이 열리기 때문에 소등된다.

이상에 의해, 고장 차량이 차단되고, 동력신호와 전기제동신호가 주어져도, TCU는 AK, K, L3 및 L2의 투입신호를 출력하지 않게 되고, 만일 출력한 경우라도 SqAR, SqHR에 의해, AK, K, L3 및 L2는 투입되지 않는다.

차량 차단의 복귀는 고장 부분의 고장 원인을 제거한 다음 차량차단복귀스위치(VRS, 이하 VRS라

한다)를 조작하면 $2 \rightarrow PS1 \rightarrow VRS \rightarrow 37$ 선의 회로가 구성되어 M, M'차

- ◆ M, M'{BMFR(b)-CIFR(b)-VCOR(a)-VCOR-R 여자로

VCOR(a)접점을 끊어서 VCORR을 무여자 시킨다. VCORR의 무여자로 COR1, COR2가 무여자 되어, TCU로 가는 차량차단 신호가 소멸된다.

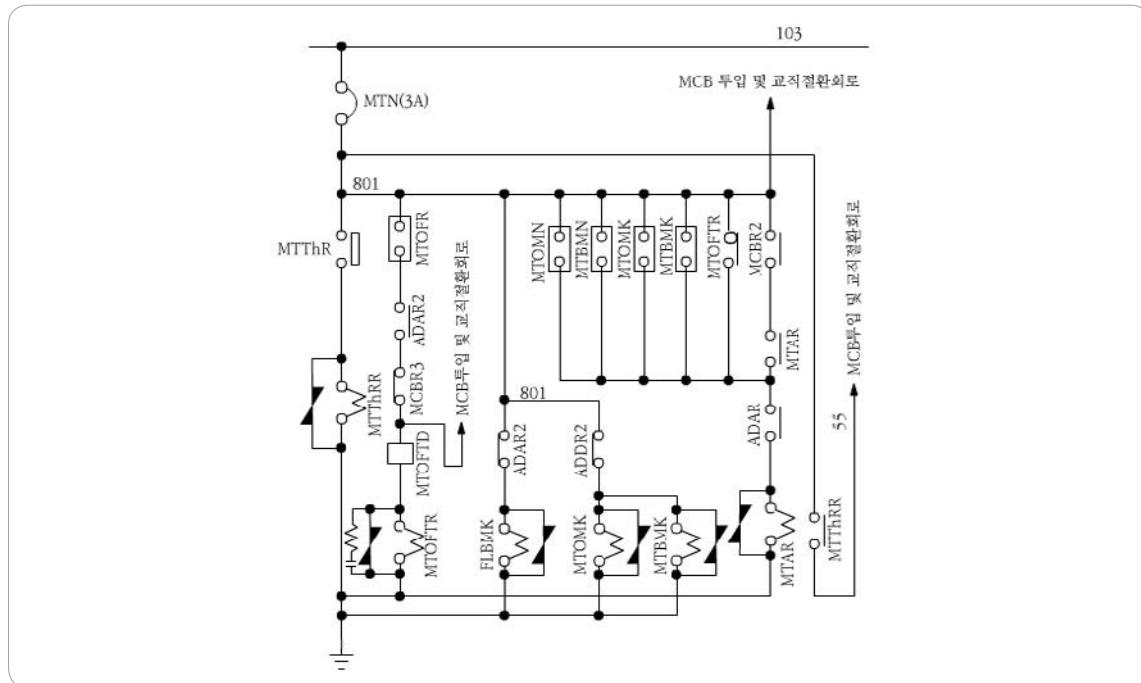
3.5.2 MTAR 여자 시의 고장 차 차단

주변압기 관련 고장의 경우, MTAR이 작동하여 특고압 제어회로의 MCBR1을 무여자 시켜 MCB를 차단하므로 MCBR3가 여자 된다.

MTAR의 작동으로 차량차단 조작 시에는 UCOR이 작동하고, 특고압 제어회로의 MCBR1 여자회로가 끊어져 MCB를 투입하지 못하게 된다.

MTAR이 여자 될 수 있는 조건은 다음과 같다([그림 3-65]).

- MTOMN, MTBMN 차단 시
- MTOMK, MTBMK 무여자 시
- MTOFTR 여자 시



[그림 3-65] MTAR여자 회로

MTOFTR은 MTOM(주변압기 오일펌프 모터)의 고장 등으로 주변압기를 냉각시키는 냉각유가 순환하지 않으면 MTOFR이 무여자 되고, 60초 후 주변압기 오일 순환(MTOF) 시한장치인 MTOFTD에 의해 여자 된다.

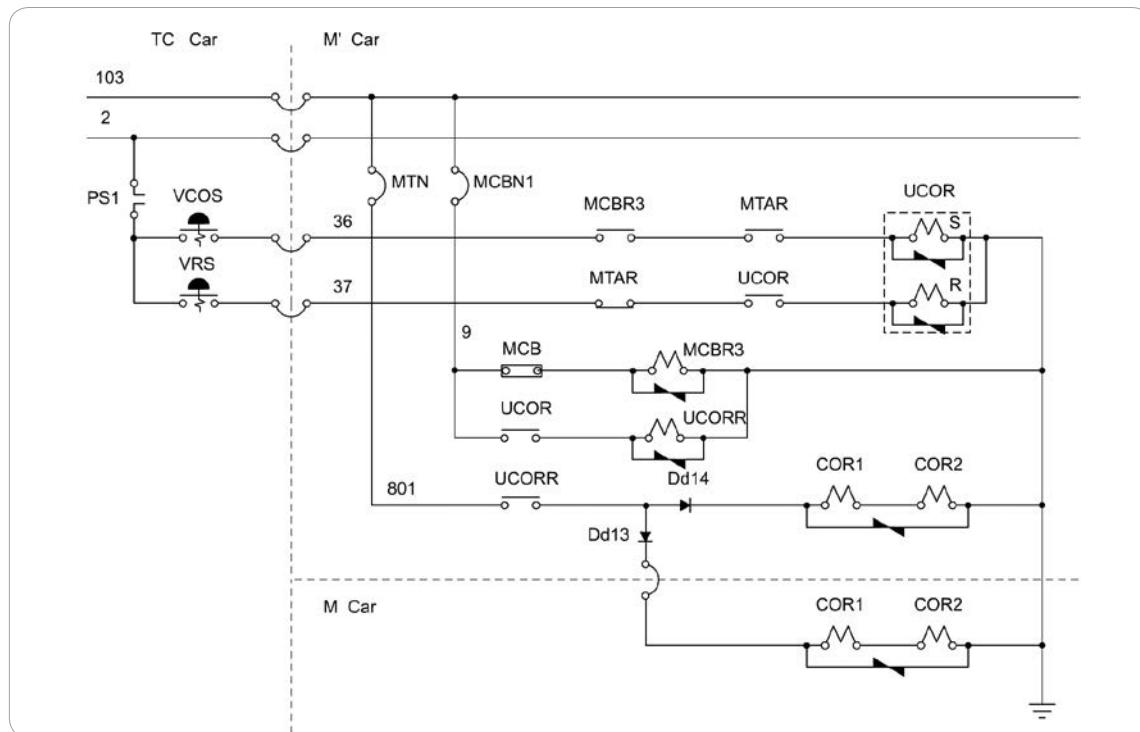
MTAR 여자로 고장 차 차단 스위치(VCOS)를 취급하면 [그림 3-66]에서

- ◆ 2-PS1-VCOS-36-M' MCBR3(a)-MTAR(a)-UCOR-S 여자
- ◆ M'{103-MCBN1-UCOR(a)-UCORR 여자

UCORR의 여자로 [그림 3-59]의 FAUL등과 차측등(백색)은 UCORR(b)접점이 열리기 때문에 소등된다. 그리고 [그림 3-66]에서 UCORR(a)접점에 의해

- ◆ M'{MTN-801-UCORR(a)-Dd14-COR1-COR2} 여자
 ＼Dd13-M{COR1-COR2} 여자

로 M, M'차 2량의 COR1, COR2가 여자되고, COR1의 여자로 [그림 3-49]에서 SqHR, SqAR이 작동하지 않게 된다. 또한, [그림 3-64]에서 COR1의 a접점의 접촉으로 TCU-COR로 TCU에 신호가 입력하여 차량의 차단을 알린다. 한편 UCOR의 여자로 UCORR이 여자 되면 특고압 제어회로의 MCBR1의 회로를 끊어 MCB를 투입하지 못하도록 한다.



[그림 3-66] MTAR 작동 시 유닛(Unit) 차단 회로

핵심정리

>>>

1. 전기의 기본 법칙

(1) 오른나사의 진행 방향과 염지손가락이 전류의 방향이면 나사의 회전 방향과 나머지 손가락이 자기장의 방향임을 나타내는 법칙이 ()이다.

(2) ()은 발전기의 원리로 N극과 S극 사이의 자기장 내에서 도체를 회전시킬 때 도체에 유도되는 전류의 방향을 나타내 주는 법칙이고, 원순법칙은 전동기의 원리를 설명해 준다.

(3) 자속을 변화시키면 전자 유도에 의한 유도기전력이 발생한다. 이 유도기전력의 방향을 구하는 것이 ()이다.

2. ()는 유도전동기, 주 변환장치, 제어장치 그리고 필터리액터와 차단기 및 기타 보호장치 등으로 구성되어 있다.

3. () 원판의 회전 원리는 자석의 자속이 회전하면 원판의 자속도 크기가 변화하므로 유도기전력이 발생하여 자석을 따라 원판이 회전하게 되는 원리이다.

4. 유도전동기의 회전수 제어방법은 전원 주파수를 올리면서 전압도 함께 올려 준다. 이를 () 제어라 한다.

5. 주 변환장치는 () 부분과 () 부분으로 구성되어 있다.

(1) ()는 단상 전압형 PWM 컨버터(Convertor)로 전력변환 소자를 이용한 전력변환장치이다.

(2) ()는 직류 전력을 3상의 교류 전력으로 변환하여 3상 유도전동기에 전력을 공급하고, 유도전동기의 회전수와 회전력을 제어하며, 회전 방향을 결정한다.

6. ()는 직류 구간에서 견인 및 고압회로의 고조파 성분과 전차선의 이상 충격전압 등을 흡수하여 주 변환장치의 입력부에 이상전압이 들어가는 것을 방지한다.

7. ()은 직류 구간을 운행 중 견인과 SIV 회로를 구성하고, 견인 회로에 이상이 있을 때 주접촉부를 차단하여 견인 회로를 보호한다.

8. 견인제어는 주 변환장치를 제어하여 운전 방향의 결정과 동력 운전 또는 전기제동을 선택하고, ()의 속도와 회전력을 제어하면서, 견인 장치를 보호하는 것 등이다.

(1) 운전실에서 전기동차의 견인을 제어하는 기기로 제어대의 ()와 제동제어기가 있다.

(2) ()는 견인 회로의 각 접촉기(AK, K, L2, L3 등)의 투입과 차단 및 컨버터와 인버터를 제어하여 전기동차의 속도를 제어하는 장치로 과전압, 과전류 등의 보호 작용도 한다.

9. 전기동차 견인 회로의 전력 공급

(1) 직류 구간에서 MCB가 투입되면 ()이 투입되어 SIV에 전력을 공급한다. 견인 회로의 전력은 전차선 → 팬터그래프 → MCB → 교직질환기 → L1, L2, L3 → 인버터 → 유도전동기의 순서로 공급된다.

핵심정리

>>>

(2) 교류 구간에서 견인 회로에 전력은 전차선 → 팬터그래프 → MCB → 교직절환기 → 교직절환기 → 주 퓨즈 → 컨버터 → 인버터 → 유도전동기의 순서로 공급되고, SIV의 구동을 위해 ()이 투입된다.

10. 전기동차의 기동과 동력 제어

(1) 직류 구간에서 기동은 Pan 상승 → MCB 투입 → () 투입 → SIV 기동 순서이다. 동력 제어는 SqHR 여자 → L3 투입 → L2 투입 → 인버터 기동 → 유도전동기의 동력 제어로 이루어진다.

(2) 교류 구간에서 기동은 Pan 상승 → MCB 투입 → () 개방 신호 소멸 → SqHR, SqAR 여자 → L3 투입(M'차 한) → L2 투입(M'차 한) → AK 투입 → () 투입 → AK 개방 → 컨버터 기동 → SIV 기동 순서이다. 동력 제어는 인버터 기동 → 유도전동기의 동력 제어로 이루어진다.

11. 전기제동은 ()제동에서만 작용한다. 전기제동 시 필요한 제동력의 제어는 제동 제어 신호와 차량의 공기스프링에 의해 검출된 () 신호를 EOD에서 합산하여 제동력의 크기를 결정하여 TCU에 보내 유도전동기를 제어한다.

12. 견인 회로의 보호 작용

(1) 직류 구간에서 보호 장치가 작동이 된 경우에 ()는 L2R과 L3R 신호를 끊어 L2, L3을 개방함과 동시에, 인버터의 기동을 정지시켜 동력을 차단한다.

(2) 직류 구간에서 직류 과전류에 의한 회로의 보호는 ()에서 한다.

(3) 교류 구간에서 견인 회로의 이상 등으로 보호 장치가 작동이 된 경우, TCU는 컨버터, 인버터의 기동을 중단하고, 상황에 따라 K, L2, L3의 개방된다. M'차의 ()가 정지되면 SIV도 정지된다.

(4) ()은 교류 구간에서 주 변환장치에 중(重)고장이 발생하면 무여자 되어 MCB를 차단하여 주 변환장치를 보호한다.

참고 문헌 •

1. 철도청, 과천/분당선 인버터제어 전동차 취급 및 정비 지침서, 1994.
2. 서울특별시 지하철공사교육원, 전기동차Ⅳ, 2005.
3. 한국철도공사 인재개발원, 제2종 운전면허 전기동차 구조 및 기능, 2018.
4. 한국철도공사 인재개발원, 전기동차 도면집, 2018.
5. 서울메트로 인재개발원, 제2종 운전면허 전기동차 구조 및 기능, 2014.
6. 한국교통대학교 철도차량운전면허센터, 제2종 전기 차량 기능 교육 안내서, 2020.