

전차선 섹션 보호장치에 관한 연구 (Apparatus for section of electric automobile)

박지수* 신동남** 안승갑*** 이종우****
Park, Ji-Soo Shin, Dong-Nam An, Seung-gab Lee, Jong-woo

ABSTRACT

For constant operation, Electric Railway System has many electrically divided parts of the trolley lines to avoid error spreading.

FRP-Section have a role to divide Catenary trolley lines electrically. If one electric train approach to the section at the same time with partial power failure, the pantograph of train can make a short circuit with supplied part to failure part. Electric arc induced with this switching effect, can break FRP-section, and there are such error cases.

In this study, we propose one method to prevent FRP-section breakdown from these reason, with detecting sensor at the sectional position.

1. 서론

전차선로는 전기철도설비의 주체가 되는 것으로, 전기차에 전력을 직접적으로 공급하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 최근 전기차가 고속화, 대용량화, 운전시간 단축으로 대량운전화됨에 따라 전차선로의 성능, 신뢰도, 보안도 향상의 필요성이 요구되고 있다.

본 연구는 전기차에 전기를 공급하는 전차선 구분장치(Sectioning Device)의 보호장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 특히 직류구간에서 섹션 양단의 전차선에 전원을 공급하는 차단기 중 한쪽 차단기가 트립(TRIP)된 경우, 전기차가 섹션구간을 진입함으로써 차단기가 투입되어 있는 구간에서 트립된 구간으로 전기차의 집전장치(PANTOGRAPH : 전기차-전기기관차 등의 집전장치(集電裝置)를 말함)에 의해 전류가 흐르는 경우, 진행되는 전기차의 집전장치에 의해 대전류의 공급과 차단이 반복됨으로 인한 아크방전에 의해 구분장치가 소손되는 것을 방지하기 위한 센서와 시한장치 등으로 구성된 보호장치에 관한 것이다

구분장치(Sectioning Device)는 전차선의 급전계통을 구분하여 전차선의 일부분에 사고가 발생하는 경우 또는 일상의 보수작업을 위하여 정전작업의 필요가 있을 경우 등에 급전 정지구간을 한정하고, 다른 구간의 열차 운전 확보를 목적으로 한 설비이다. 그 종류에는 AIR 섹션, FRP수지제 섹션, 애자(碼子)제 섹션 등이 있으며, 직류구간에서는 특히 FRP수지제 섹션의 사용빈도가 높다.

전기차가 구분구간을 지날 때, 전류의 변화가 없으면 문제가 되지 않으나, 구분구간에 전력을 공급하는 급전계통에 고장이 발생하거나 기타의 원인에 의해 인접한 하나의 구분구간의 차단기가 트립된 경우 전기차의 집전장치가 섹션을 통과하게 되면, 전류의 급격한 변화로 인해 아크가 발생한다. 이렇게 아크방전이 발생하면, 구분장치가 손상되고 나아가 화재 발생의 우려가 있다.

특히 전기차의 일상정비를 위해 운영되고 있는 차량기지 내의 선로가 겹치는 구간의 구분장치는 잦은 섹션오버에 의한 아크방전으로 구분장치가 소손되는 사례가 많아 보수작업에 비용과 시간이 많이 소요

* 서울메트로 제1전기사무소, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 석사과정, 종신회원

E-mail : seaofme@seoulmetro.co.kr

TEL : (02)2647-1817 FAX (02) 2645-3858

** 서울메트로 제1전기사무소 변전차장, 정회원

*** 서울메트로 제1전기사무소 소장

**** 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 교수

되는 문제점이 있다. 그러나 단순히 구분장치를 보수하고 교체하는 비용상, 시간상 등의 문제점을 떠나 역구내 가까이 설치되어 있는 구분장치는 승객의 안전을 위협할 수 있으며, 또한 구분장치의 소손은 전동차 운행중단 사태를 불러올 수 있다.

이러한 문제점을 지니고 있는 구분장치에 대한 종래의 기술은 별도의 보호회로나 제어장치 없이 구분장치 자체의 물리적 특성에만 의존하고 있어 섹션오버가 발생할 경우 아크방전으로 인한 구분장치 소손 방지에 대한 필요성이 대두되어 연구를 시작하게 되었다.

2. 전차선 섹션 보호장치

2.1 개요

본 연구는 전기차의 집전장치에 의한 섹션오버의 문제점을 해결하고자 하는 것으로, 전기차의 진입을 감지할 수 있는 소정의 위치에 센서를 설치하고, 타이머(ON, OFF)를 이용하여 시한설정을 갖도록 하여 구분장치 양단에 인접하는 구분구간 중 어느 하나가 트립되고 구분장치 설치지점에 전기차가 진입했거나 진입하는 경우, 트립되지 않은 나머지 한 쪽 차단기도 자동으로 트립시켜 전기차의 집전장치에 의해 섹션이 소손되는 것을 방지할 수 있는 전차선 섹션보호장치를 제공하는데 있다. 그림1은 섹션오버에 의한 아크로 인해 FRP수지제 섹션의 소손된 모습을 보여주고 있다.

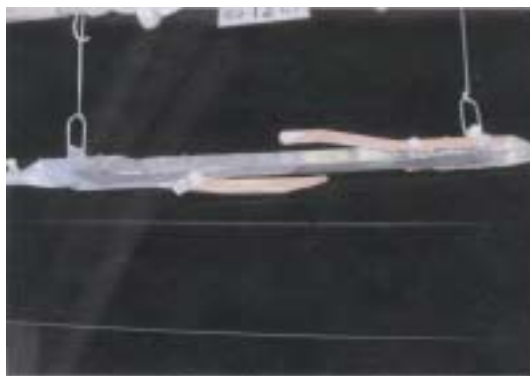


그림 1. FRP수지제 SECTION 소손

전차선 섹션보호장치의 구성은 제1구분구간과 제2구분구간을 구분하는 구분장치내에 전기차 진입을 감지하기 위한 센서를 포함하여 이루어지는 센서부를 이용하여 전동차 진입을 감지하는 제1과정, 전동차의 구분장치 통과시간을 고려하여 센서부의 동작에 시한을 부여하여 전동차가 센서를 완전히 통과할 때까지 센서부의 동작이 유지될 수 있도록 센서부와 연동하여 동작하는 타이머부를 이용하여 차량진입 상태신호를 발생시키는 제2과정 및 제1구분구간 및 전동차가 진행함에 따라 진입하는 제2구분구간의 전원공급상태를 확인하여 차단기 Trip 발생 여부를 확인하는 Trip발생확인부 및 센서부와 센서부와 연동되는 타이머부로부터의 전동차 진입여부 상태 및 Trip발생확인부로부터의 Trip발생 상태를 이용하여 제1구분구간 및 제2구분구간의 전원차단기를 제어하는 전원공급제어부를 이용하여 전원차단기를 제어하는 제3과정 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

2.2 섹션보호장치 구성

구분구간이란 섹션에 의해 구별되는 구간으로 각각 독립적으로 변전소의 차단기로부터 전력을 공급받는 구간을 말하며, 전기차의 운행에 지장이 없도록 설정된 구간을 말한다. 본 연구에서는 설명의 편의상을 제1구분구간 및 제2구분구간으로 나누는데, 제1구분구간이란 변전소 차단기로부터 독립적으로 전원을 공급받고 양단이 구분장치에 의해 구분되며 전기차의 집전장치로 전기를 공급하는 전차선 중 전기차가 진입한 구간을 말하며, 제2구분구간이란 전기차가 진행함에 따라 진입할 구간을 말한다. 이는 전차선을 따라 반복적으로 연속됨을 알 수 있다.

그림2에서 보는 바와 같이, 제1구분구간 및 제2구분구간은 각각 독립적으로 제1전원차단기 및 제2전원차단기로부터 전원을 공급받는다. 우선 섹션보호장치가 동작할 필요가 없는 경우를 살펴보면, 1)상기 어떠한 구분구간에도 Trip상태가 발생하지 아니한 상태(이하 '정상상태'라 한다)에서 전기차가 제1구분구간과 제2구분구간을 구분하는 구분장치내에 진입한 경우나, 2)구분구간이 정상상태이고 전기차가 구분장치 섹션내에 미진입한 경우, 3)제1구분구간 및 제2구분구간 중 어느 하나의 구분구간에 Trip상태가 발생하더라도 전기차가 구분장치내에 아직 진입하지 않은 경우에는 섹션오버현상에 의해 섹션이 손상될 염려가 없으므로 섹션보호장치를 동작시키지 않도록 하여 변전소로부터 제1구분구간 및 제2구분구간의 전원공급을 차단하지 않는다.

그리고 특별한 경우로서 4)구분구간이 정상상태이고 섹션내에 전기차가 진입한 후 센서에 맞물린 경우(이는 센서를 차륜을 감지하도록 설치하는 경우는 차륜이 센서에 맞물리는 경우)도 정상상태이므로 전차선 보호장치는 동작하지 않는다.

그러나, 상기의 경우와 달리 전차선 섹션보호장치가 동작할 필요가 있는 경우를 살펴보면, 5)제1구분구간과 제2구분구간을 구분하는 구분장치내에 전기차가 진입시 제1구분구간 또는 제2구분구간에 Trip상태가 발생한 상태인 경우(이는 전기차가 먼저 진입하고 차단기가 동작한 경우 또는 차단기가 동작한 후 전기차가 진입하는 경우 모두 포함하는 개념임)에는 전기차가 제2구분구간으로 진행하는 순간 구분장치에서 아크방전이 발생할 염려가 있으므로 섹션보호장치를 동작시켜 변전소로부터 제1구분구간 및 제2구분구간의 전원공급을 차단한다.

이렇게 Trip상태가 발생하면 섹션보호장치에 의해 제1구분구간 및 제2구분구간은 동시에 전원 공급이 차단된 상태가 되는데, 그 후에 전원공급은 원격감시제어부(지하철의 경우 종합관제센터)에서 차단기를 투입하여 전원을 공급한다. 따라서 어느 정도의 시간이 지난 다음 자동으로 투입하는 것은 본 연구의 범위 내에 포함되어 검토될 수 있을 것이다.

그리고 특별한 경우로서 Trip상태에서 구분장치내에 전기차가 진입한 후 센서에 맞물린 경우에는 보호장치의 동작으로 인하여 차단기가 계속하여 차단상태가 유지되어 차단기를 투입할 수 없으므로 이를 보완할 필요가 있다. 즉 어느 정도 시간이 지난 다음에는 차단기가 투입될 수 있도록 보호장치의 동작을 해제한다.

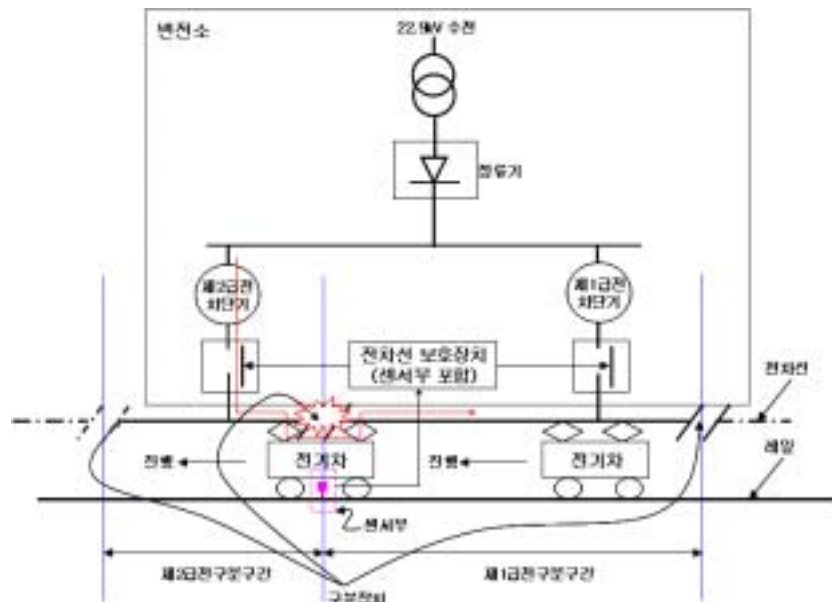


그림 2. 전차선 섹션보호장치 구성도

2.3 섹션보호장치의 블록도

그림3은 전차선 섹션보호장치의 블록도로 각 부분을 살펴보면, 센서부의 센서는 하나만을 사용하여도 무방하나, 적어도 두 개 이상 설치하여 어느 하나가 고장이 날 경우에도 다른 센서가 동작할 수 있도록 한다. 또한 센서가 고정되는 위치는 섹션에 대응되는 하단부의 레일에 구비된 침묵부에 설치하고, 전기

차의 차륜을 향해 근접하게 설치하여 이물질이 끼는 것을 최대한 방지한다.

그리고 상기 센서는 광전형 근접스위치 방식 또는 초음파형 근접스위치 방식을 사용하는 것이 바람직하며, 그 특성은 동작범위가 300 ~ 700mm이내에서 동작하는 것이 좋다.

타이머부는 전기차의 구분장치 통과시간을 고려하여 센서부의 동작에 시한을 부여하여 전기차가 센서를 완전히 통과할 때까지 센서부의 동작이 유지될 수 있도록 센서부와 연동하여 동작한다.

타이머부는 다시 제1타이머(OFF타이머)와 제2타이머(ON타이머)로 나눌 수 있는데, 제1타이머는 센서에 의해 입력전압이 가해진 후 온(ON)되어 전원이 차단된 순간부터 설정시한 후 오프동작을 하는 OFF타이머이고, 제2타이머는 오프(OFF)상태에서 제1타이머에 의한 입력전압이 가해진 후 설정시한 후 온(ON)동작을 하는 ON타이머이다.

제1타이머는 만약 설정시한 이내에 다시 전원이 공급된 후 차단되면 차단순간부터 다시 설정시한을 가진다. 제1타이머가 사용되는 이유는 센서부의 센서는 시한이 없는 장치이므로 전기차의 진입을 감지하면 동작하나, 전기차의 차륜과 차륜사이의 빈 공간에서는 센서가 동작하지 않으므로 전기차가 진입된 상태임을 지속적으로 감지하여 신호를 발생시킬 수 없으므로 강제적으로 진입된 상태임을 유지할 수 있도록 시한을 설정하기 위함이다.

여기서 제1타이머의 시한설정은 바람직하게는 2초 내지 5초의 시한 설정을 두는데, 이는 센서는 시한이 없는 소자로서 차륜과의 사이에서 끊김 현상이 발생하는데, 이렇게 되면 전기차가 진입하여 계속하여 섹션구간을 통과하고 있는 것을 감지할 수 없으므로, 전기차의 일 량의 차륜이 한쪽 측면에서 볼 때 통상 4개로 구성되어 있어 첫 번째 차륜과 두 번째 차륜간의 거리 및 두 번째 차륜과 세 번째 차륜의 거리와 차량의 속도를 감안하여 전동차(4량 내지 10량으로 구성)의 마지막 차륜이 센서를 모두 통과할 때까지 전기차가 진입되어 있음을 연속적으로 감지하기 위해 요구된다.

보호장치는 차단기를 차단하는 것만으로도 그 목적을 달성할 수 있지만, 근본적인 측면에서는 전기차의 안전운행에 기여하고자함을 목적으로 하므로 Trip상태가 해제된 후에는 전기차의 운행을 재개해야 하므로 차단기를 투입해야 할 필요가 있다.

이때 제2타이머가 사용될 필요가 있는 것이다. 만약 보호장치가 동작하는 시점에서 전기차(또는 전기차의 차륜)가 센서의 작동범위 내에 정지하게 된 경우, 전차선 섹션보호장치가 동작하여 전원을 공급할 수가 없으므로(수동으로 차단기를 투입하는 경우 보호장치의 동작으로 다시 차단되는 결과가 발생), 이를 방지하고자 설정시한 후 전차선 섹션보호장치의 동작을 해제하기 위해 제2타이머가 이용된다. 제2타이머의 대략 25초 내지 60초로 두는데, 이는 제1타이머에 의해 전기차가 센서부를 통과하는 데 소요되는 시한보다 큰 시한을 가지도록 하기 위함이다.

Trip발생확인부는 제1구분구간 및 전동차가 진행함에 따라 진입하는 제2구분구간의 전원공급상태를 확인하여 Trip발생 여부를 확인하는 기능을 한다.

이를 구체적으로 살펴보면, Trip발생확인부는 제1구분구간 및 제2구분구간의 차단기 Trip신호에 따라 각각 대응되게 동작되는 제1스위칭 수단 및 제2스위칭 수단을 가지며, 제1스위칭 수단 및 제2스위칭 수단은 정상상태에서 모두 OFF되고, Trip된 구분구간이 발생한 경우 해당되는 스위칭 수단은 ON되어, 전기차가 섹션으로 진입하는 경우 전원공급제어부를 동작시켜 상기 제1구분구간 및 제2구분구간의 전원차단기 모두를 OFF할 수 있도록 한다.

즉, 제1구분구간 및 제2구분구간으로 전원의 공급상태를 확인하여 역신호를 발생시켜 정상상태에서는 스위칭 수단 모두가 OFF되고, 제1구분구간 및 제2구분구간 중 어느 하나가 Trip된 경우에는 Trip된 구분구간에 연결된 스위칭 수단은 ON되어 전기차 진입신호와 논리곱으로 전원공급제어부에서 신호를 발생케 한다.

전원공급제어부는 센서부와 센서부와 연동되는 타이머부로부터의 전동차 진입여부 상태 및 트립발생 확인부로부터의 Trip발생 상태를 이용하여 제1구분구간 및 제2구분구간의 전원차단기를 제어하는 역할을 수행한다.

차단기 투입제어부는 보호장치가 동작한 상황에서 전기차가 센서에 맞물려 정지한 경우 제2타이머의 동작에 따라 전원공급제어부에 제어신호를 공급하여 전원차단기를 투입할 수 있도록 한다.

그리고 전차선 섹션보호장치는 마이컴 기능을 추가로 구비하여 데이터수집기를 통하여 섹션보호장치에서 발생하는 신호를 원격감시제어부로 전송하고 이를 데이터베이스화하여 이용할 수도 있다. 즉, 센서

부, 타이머부, 트립발생확인부, 전원공급제어부, 차단기투입제어부에서 발생하는 신호를 이용하여 각 구간별 데이터를 수시로 수집하여, 원격감시제어부로 전송하고, 취득된 데이터를 시간별, 날짜별 등으로 분류하고, 각 부분의 고장 여부를 체크하여 자동제어하는 방식으로 운영할 수 있다.

또한, 제1타이머에 의해 전기차가 섹션 하단부에 진입했음을 표시하는 전기차 진입상태 확인램프 및 전원공급제어부에 의해 동작하고 전차선 섹션 보호시스템이 동작하고 있음을 표시하는 보호장치 동작신호발생램프를 이용하여 육안으로 전기차 진입상태를 확인할 수 있게 하고, 또한 보호장치 동작 상태를 확인할 수 있게 한다. 또한, 이는 원격감시제어부로 신호를 제공하여 원격으로도 감시할 수 있도록 구성 가능할 것이다.

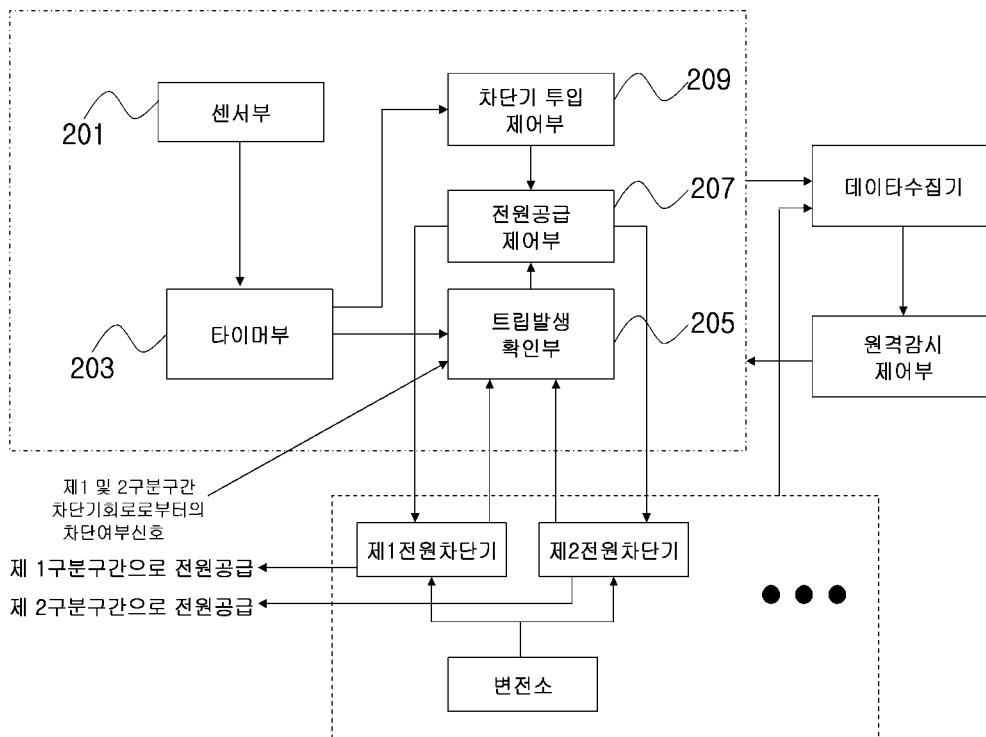


그림 3. 섹션보호시스템의 블록도

2.3 보호장치의 시스템 흐름도

그림4는 전차선 섹션 보호방법을 나타낸 흐름도이다. 자세한 동작설명을 이미 설명되었기에 개략적으로 보면, 도시된 바와 같이 변전소로부터 독립적으로 전원을 받는 제1구분구간과 제2구분구간을 구분하는 섹션내의 전기차 진입을 감지하기 위한 센서를 포함하여 이루어지는 센서부를 이용하여 차량 진입여부를 감지한다.

다음으로 전기차의 구분장치 통과시간을 고려하여 센서부의 동작에 시한을 부여하여 전기차가 센서를 완전히 통과할 때까지 센서부의 동작이 유지될 수 있도록 센서부와 연동하여 동작하는 타이머부를 이용하여 차량진입상태신호를 발생시킨다.

제1구분구간 및 전기차가 진행함에 따라 진입하는 제2구분구간의 전원공급상태를 확인하여 Trip발생 여부를 확인하는 Trip발생확인부 및 센서부와 센서부와 연동되는 타이머부로부터의 전기차 진입여부 상태 및 Trip발생확인부로부터의 Trip발생 상태를 이용하여 제1구분구간 및 제2구분구간의 전원차단기를 전원공급제어부를 이용하여 전원차단기를 제어한다.

부가적으로 전차선 섹션 보호방법은 제2타이머의 동작에 따라 전원차단기를 투입할 수 있도록 하는 차단기 투입제어부를 이용하여 전기차의 차륜이 센서에 맞물려서 정지한 경우에도 전원차단기 투입을 가능하게 한다.

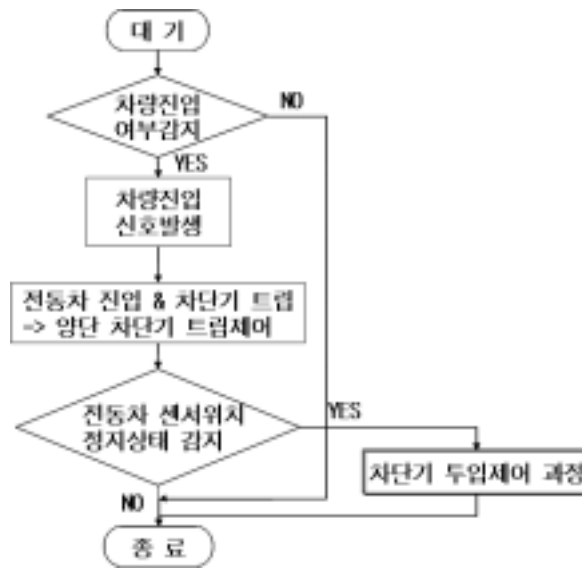


그림4. 보호장치의 동작 흐름도

3. 보호장치 현장 시범적용

3.1 설치일시 및 장소

- 일 시 : 2005년 05월 17일
- 장 소 :
 - 제어부 : 차량기지변전소 54C1 차단기반대
 - 센서부 : 차량기지내 FRP수지제 섹션(54C1과 54C2구간 구분) 하단부

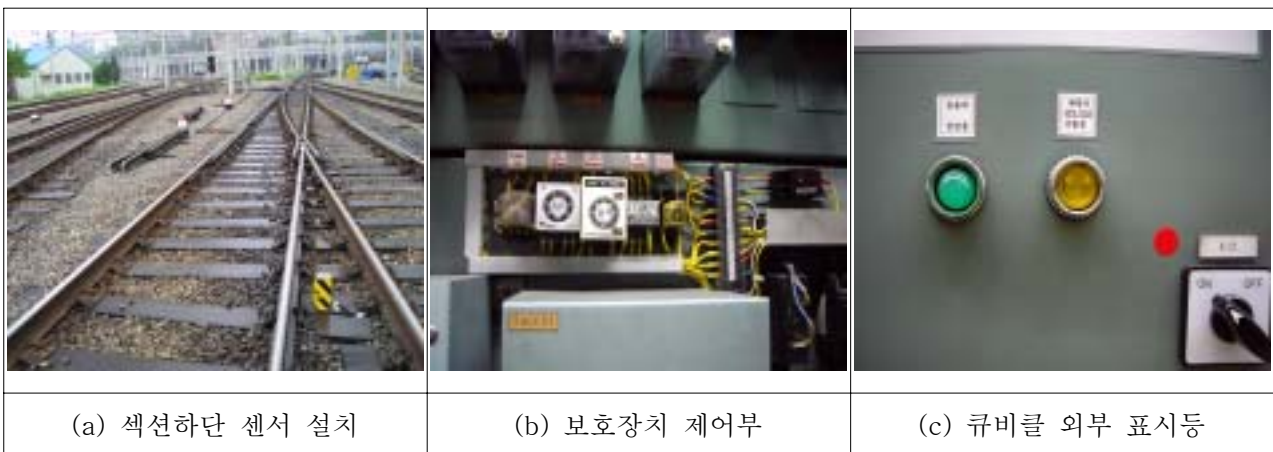


그림5. 전차선 섹션보호장치 시제품

3.2 현장 적용 도면

그림6은 상기 섹션보호장치의 현장 시범적용을 위한 제작도면으로서 차량기지 구내변전소에 적용하여 현재 운용 중에 있다. 차량기지 구내는 전기차의 일상점검 및 보수가 이루어지는 곳으로 기지구내에서 전기차가 운행중에도 차단기 Trip되는 경우가 많아 섹션구간에서의 섹션오버로 인한 사고의 개연성을 많이 내포하고 있다. 추후 차량기지구내 전체 구분장치에 대해 섹션보호장치를 확대 시행할 경우에는 PLC(Programmable Logic Controller)로 구성하여 안정성과 효율성을 기할 수 있을 것이다.

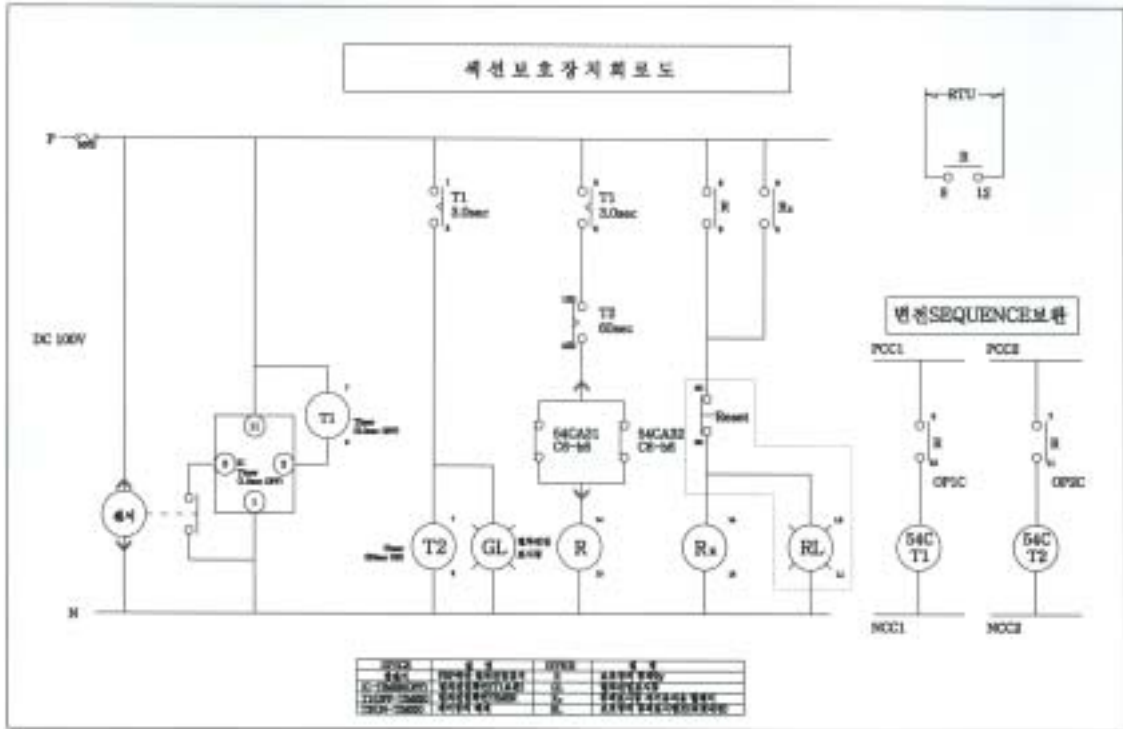


그림 6. 기지구내 전차선 섹션보호장치 적용 도면

4. 결 론

본 연구는 섹션 오버현상에 의한 구분장치가 소손되는 경우 교체 위주의 방법에서 전기적으로 미연에 구분장치의 소손을 방지할 수 있는 대안을 제시함으로써 구분장치가 소손되어 이를 교체하는 비용상, 시간상의 손실을 감소시킬 수 있는 효과가 있을 것으로 본다.

상기와 같은 구성에 따른 본 연구는 아직 미진한 점이 많다. 본 연구는 병렬급전을 하고 있는 본선과 달리 편단급전 방식을 취하고 있고, 보호장치의 오작동 현상이 발생하더라도 즉각적인 조치가 가능한 차량기지 구내에서 현장 적용 가능한 시스템으로 구성되어 있다. 본선의 영업구간에서의 적용은 본 연구를 바탕으로 좀 더 발전시켜야 할 것이다. 전기차를 감지하는 방법에서부터 보호장치의 정확한 동작과 종합관제센터와의 연계성 등 좀 더 철저한 검토가 요구된다.

앞으로 더욱 발전된 섹션보호장치가 나와 구분장치에서의 아크방전으로 인한 화재나 스파크에 의한 전기 불꽃 등으로부터 승객의 안전을 보호하고, 구분장치의 소손으로 인해 발생할 수 있는 전동차의 운행중단을 예방하여 지하철 정시 안전운행 확보라는 효과를 가져 올 수 있기를 기대한다.

참고문헌

1. 김양수, 유혜출(2005), “전기철도공학”, 동일출판사
2. 서울특별시지하철공사 기술조정팀(2002), “지하철 전기 용어 설명집”, 서울특별시지하철공사