

# 도시철도차량 절연구간 통과시 안전성 향상방안 연구 Study on the Safety Improvement of EMU Passing Through Dead-section

\*정종덕<sup>1</sup>, #편장식<sup>1</sup>

\*J. D. Chung<sup>1</sup>, #J. S. Pyun(jspyun@krri.re.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단

Key words : AC/DC dead-section, EMU(Electric Multiple Unit)

## 1. 서론

절연구간은 사구간(dead section)이라고도 하며, 교류 급전계통에서 이상 전원의 접속개소 또는 교류 급전계통과 직류 급전계통의 접속 개소에 설치되어 두 구간을 전기적으로 절연시키는 역할을 한다. 즉 전동차에 공급되는 전기방식 교류와 직류방식간의 연결부이나 교류방식에서 전기 공급변전소가 다른 경우 또는 변전소와 변전소간 및 동일변전소에서 공급되는 이상(異相)의 전기를 구분하기 위하여 전자선에 일정한 구간을 전기가 통하지 않게 절연체(FRP)로 구분하는 구간을 말한다.

국내에서는 지하철구간의 DC급전 계통과 국철, 일반 전기 철도, 고속철도 등의 AC급전 계통 두 가지를 모두 사용하고 있다. 전자장에 의한 통신선 유도 장애 등의 문제에 영향을 많이 받을 수 있는 수도권 지역에는 DC급전 계통이 유리하여 지하철 구간에 이를 사용하고, 고전압 송전이 가능하여 송전손실이 적어 장거리 급전에 유리한 AC 급전계통은 거리가 긴 구간인 국철이나 일반 전기 철도, 고속철도 등에서 사용하는 것이다.

절연구간에서는 전동차가 통과할 때 동력이 없는 상태에서 타력으로 운행하여야 하기 때문에 타행운전을 위해 적절한 위치를 고려하여야 한다. 열차의 속도가 낮아 관성력이 부족해질 경우 전동차가 절연구간 사이에 멈출 가능성이 있기 때문에 이에 대한 사항도 고려되어야 한다. 본 논문에서는 도시철도차량이 절연구간 통과시 차량의 시스템에 미치는 영향 등을 검토하고, 이를 근거로 교/직류 전동차의 절연구간 통과시 안전성을 높이고, 신뢰성 있는 방안에 대해 검토하고자 한다.

## 2. 절연구간 현황

국내 절연 구분장치는 교류/교류 절연구분장치와 교류/직류 절연구분장치가 모두 있다. 절연구분장치는 FRP 절연봉과 전자선, 애자형 섹션의 조합에 의해 구성되며, 일반적으로 다음과 같은 유형으로 분류되며, Table 1은 국내 도시철도 절연구간 설치 현황이다.

- 형태1:FRP 22[m] : 교/교
- 형태2:FRP 22[m]+전자선 66[m]+FRP 22[m] : 교/교
- 형태3:FRP 8[m]+전자선 24[m]+FRP 8[m] : 교/교
- 형태4:애자형 섹션+전자선 40[m]+애자형 섹션 : 교/교
- 형태5:FRP 66[m] : 교/직
- 형태6:FRP 22[m] + 전자선 66[m] + FRP 22[m] : 교/직

Table 1 Present possession of dead-section

Installation Point	Section	Formation	Remark
구로SS	영등포-시흥	22m	AC/AC
	구로-오류	22m	AC/AC
군포SS	군포-부곡	22m	AC/AC
안양SS	안양-금정	22m	AC/AC
부개SP	송내-부개	22m	AC/AC
주안SS	주안-동인천	22m	AC/AC
금정SP	산본-대야미	22m	AC/AC
선바위SSP	선바위-남태령	66m	AC/DC
용산SP	용산-서빙고	22m+66m+22m	AC/AC
	노량진-서빙고	22m+66m+22m	AC/AC
의정부SS	도봉산-의정부	22m	AC/AC
모란SS	모란-야탑	22m	AC/AC
서울	서울역구내	22m+66m+22m	AC/DC
청량리	청량리역구내	22m+66m+22m	AC/DC

## 3. 절연구간의 운전패턴

교류전용구간 차량 주회로의 시스템에서는 가선의 AC 25kV를 주변환장치 및 보조전원장치에 전압을 변환하기 위한 주변압기가 필요하다. 주변압기의 권선은 판타그래프로 부터 전원을 공급받는 일차권선, 견인전동기에 전원을 공급해주는 2차권선, 보조전원장치와 주변압기용 윌 펌프와 냉각송풍기에 전원을 공급하는 3, 4차 권선으로 구성된다. 변압기의 형태는 추진시스템의 구성방식에 따라 결정되므로 전력변환방식, 견인전동기의 종류 등에 따라 상당한 차이가 있을 수 있다.

교류/직류 사구간 통과시에는 안전운행을 위하여 열차의 주회로 차단기(MCB)를 OFF한 상태로 통과하므로 교류/교류 사구간 통과시와 같이 썬지 전압이 유지되지 않으나, 주회로 차단기를 차단, 교직절환을 하고 타행으로 운전하지 않을 경우 사고가 발생된다. 열차는 사구간을 통과하기 전 150-200[m] 이전에 사구간 예고 표지를 통과하게 된다. 이 표지의 통과 이후부터 열차 속도를 타력에 의해 사구간을 통과할 수 있는 속도로 높이고, 회생제동을 체결중이면 제동을 완해하고 통과할 수 있는 속도로 조절한다. 타행표지가 현시되면 주간제어기를 0 위치로 놓는다. 만일, 제동 중 사구간 표지가 현시되면 사구간을 진입하기 전에 주회로 차단기를 OFF 한다. 사구간 종단 표지가 현시되면 총괄 제어시 제어받는 차량까지 해제표지를 완전히 통과한 후 주회로 차단기를 조작하고, 견인전동기 송풍기 고장지시등이 소등될 때까지 주간제어기 취급을 중단한다. Fig. 1은 전동차의 교/직 절연구간 통과 예이다.

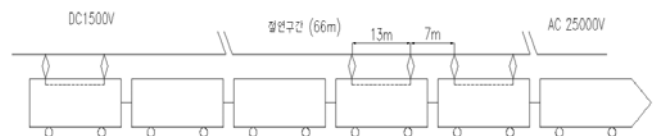


Fig. 1 EMU passing through dead-section

교류/직류 절연구간 통과시와 동일한 방식에 의하여 부저가 울려 주간제어기를 조작하여 타력으로 이구간을 통과한다. 여기서는 보조전원장치는 계속 동작한다. MCBTR과 ACVRTR이 시간지연을 갖고 있으므로 MCB는 개방되지 않는다. 역행 표지를 통과한 후 주간제어기를 ON으로 한다. 교/직 사구간에서는 안전운행을 위하여 주회로 차단기(MCB)를 OFF하여 절연구간을 통과하므로 차량의 입력단에는 썬지 전압이 발생하지 않으나, 교류/교류 절연구간 통과 시에는 판타그래프 상승, 주회로 차단기 ON 상태로 타행으로 열차가 통과한다.

## 4. 절연구간 사용시스템

### 4.1 교/직 절연구간 차상 ADS 자동전환 장치

서울메트로에서는 1999년도에 기존의 수동으로 조작하여 교/직 전환 하던 것을 신호장치의 신호를 이용하여 자동으로 전환할 수 있는 장치를 과천선 일부 차량(41편성: 410량)에 취부하여 사용하고 있다. 과천선에 설치된 안전장치는 전동차가 절연구간 진입 150-200m 전방에 설치된 ATS 지상자의 Loop Coil을 통과시 지상장치로부터 발진된 68kHz의 주파수를 감지, 그 주파수에 해당되는 계전기 (DFDR)가 동작되고, 계전기 연동 접점에 의하여 “열차가 사구간에 진입하고 있습니다.” 라는 안내방송이 운전실

에 설치된 Multi-Buzzer로부터 1분간 (1호선의 경 20초, ADS 전환시 방송 중단) 계속적으로 실시하여 승무원의 미조작 또는 미조작을 방지하고 있으며 스위치 취급 시에는 경고멘트가 없어 지는 시스템으로 구성되어 있다.

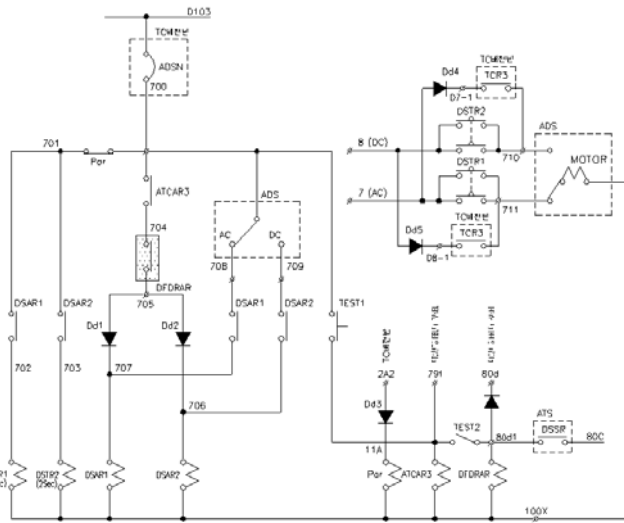


Fig. 2 ADS automatic transfer system

4.2 교/교 절연구간 KTX통과 방식

현재의 고속전철에서의 이중 전원간의 절연구분 구간에서의 전동차의 통과는 다음과 같은 방식으로 통과되고 있다. 고속철도 운행 안정규정 제 77-80조에 의하면 가선절연구간 예고표지는 가선절연구간 중앙에서 약 1,100미터 앞에 설치하여, 전방에 가선절연구간표지가 있음을 예고한다고 되어 있다. 이때 KTX기관사는 가선절연구간예고표지 설치 지점부터 동력을 감소시켜 타행운전을 개시할 준비를 한다. 타행표지는 가선절연구간 중앙에서 약 310m 앞에 설치하며, KTX기관사는 타행표지 설치지점부터 역행표지 설치지점까지는 타행운전을 한다. 다만, ATC에 의하여 자동 제어되는 경우에는 예외로 한다. 가선절연구간표지는 가선절연구간 중앙에서 약 110m 앞에 설치하여, 전차선로의 절연구간을 표시한다. KTX기관사는 가선절연구간표지 설치지점에서부터 역행표지 설치지점까지 동력차의 주회로차단기(VCB)를 개방하고 운행한다. 다만, ATC에 의하여 자동 제어되는 경우에는 예외로 한다. 역행표지 설치지점에서 주회로차단기(VCB)를 닫고 역행운전을 개시할 수 있다. 다만, ATC에 의하여 자동 제어되는 경우에는 주회로 차단기가 닫힌 것을 확인한 후 역행운전을 한다.

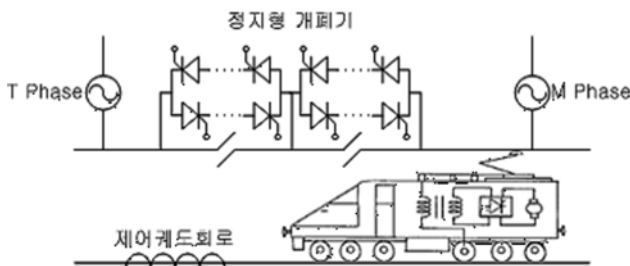


Fig. 3 Automatic passing system through dead-section

4.3 교/교 절연구간 자동통과 변전장치

절연구간 통과는 전기차 기관사에게 주요한 운전업무이며 특히 고속철도의 경우 변전소간의 거리가 50km라고 봤을 때 15분에 1번씩 통과하므로 막중한 업무라고 볼 수 있으며 이에 따른 사고가 발생하고 있다. 이 구간을 타행으로 통과하지 않고 역행 통과시 동해도 신간선의 경우 500km 구간에 210km로 주행하는데 있어 각 변전소당 30초를 앞당겨 15분의 운행시간 단축을

패할 수 있었다.

신간선에서는 지상에 절연구간 자동통과장치를 설치하여, 절연구간에서 전기차가 역행으로 통과할 수 있도록 하여, 신간선의 고속성을 유지하는 구조로 되어 처음 적용되었다. 초기에는 진공 개폐기를 사용하였으나 동작횟수의 한계로 인해 사이리스터 소자를 이용한 정지형 개폐기 도입을 하였다. 동해도 신간선 이후에는 급전전압을 한층 높은 급전방식을 신간선에 도입하여 이에 대한 적용사례는 없었다. 최근에 프랑스 SNCF에서는 일본의 적용사례를 이용하여 고속철도에 적용하기 위해 일본으로부터 정지형 인버터 기술을 도입하여 프랑스에 적용하기 위한 시도를 하고 있다.

전기차가 제어케도회로에 들어오기 전에, 절연구간에서는 개폐기(우측)를 경유해서 열차진입 측(M좌 전원)부터 가압되어져 있다. 전기차가 제어케도회로에 들어오면 개폐기(우측)가 off가 되고 개폐기(좌측)가 on으로 된다. 그러면 절연구간에는 개폐기(좌측)를 경유해서 전기차 진출 측(T좌 전원)부터 가압된다. 또한 전기차가 진행하여 제어케도회로에서 나오면, 개폐기(좌측)가 off, 개폐기(우측)가 on이 되어, 전차가 통과하기 전의 상태로 돌아간다. 이와 같이 전기차는 전원의 위상에 관계없이 고속으로 절연구간을 통과하는 것이 가능하다.

5. 절연구간 통과시 안전성 향상방안 검토 및 결론

5.1 차상 자동교직절환장치[ADS] 설치

교/직 절연구간 통과시의 운행방식은 크게 두 가지 형태로 운행되고 있다.

신호장치(혹은 sensor)의 절연구간 자동 감지에 의한 자동 교/직 전환방식과 기관사에 의한 전환 방식의 두 가지가 있다. 기관사에 의한 전환 방식은 승무원의 실념 등으로 사고 발생의 가능성이 있고, 자동전환 방식은 신호장치의 사구간을 자동으로 감지하여 차단기를 자동으로 투입하는 방식으로 기관사에 의한 조작보다 훨씬 안정적이다.

교/직 절연구간에서 교류 또는 직류 전압구간으로 스위치를 전환하지 않고 운행하는 경우, 사고가 많이 발생하기 때문에 교/직 절연구간에서 설치된 절연구간 예고 지상장치를 이용하여 교/직전환기 자동 투입 방식을 적용하여 열차 운전의 안정성을 높이도록 한다. 현재 1호선, 과천선 교/직 절연구간을 운행하는 차량 중 과천선 구간을 운행하는 서울 메트로 차량 만 자동교직전환[ADS] 방식을 적용하고 있다. 따라서, 1호선 구간 및 과천선 교/직 절연구간을 운행하는 모든 차량에 대해서 교/직 자동 전환기를 차량에 설치하여 안정성을 도모하도록 한다.

5.2 주회로차단기[MCB] 자동개폐회로 추가

현행 교직 절연구간 통과시 기관사가 수동으로 주회로 차단기를 개폐하고 있으나, 5.1항의 자동교직전환방식과 동일하게 자동으로 주회로 차단기가 개폐되도록 변경한다. 절연구간 통과전 ATS 지상신호에 의해 주회로 차단기가 off되고, 절연구간 통과 후 주회로 차단기가 on이 되도록 자동개폐회로를 추가한다.

5.3 규정 속도 타행운전 준수

교직 절연구간 통과시 규정 속도보다 과속으로 인해 비상제동이 체결되는 사고가 발생됨으로 운전 속도를 60km/h로 타행운전을 준수하여 비상제동이 체결 되지 않도록 안전 운전한다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, "절연구간 자동 통과 장치 보고서", 2005. 56호
2. 유경제어, "전차선 절연구간 예고 지상장치 취급설명서"