

절연구간 무접점 자동 전원절체 통과시스템 기술개발

Technology development on automatic changeover system in neutral section with energized condition of electric railway catenary system

홍현표† 한문섭* 서명석** 신명철*** 윤용한**** 김재철*****
Hyun-pyo Hong Moon-seob Han Myung-seok Seo Myong-cheol-Shin Yong-han Yoon Jae-chul Kim

ABSTRACT

The neutral section was installed in order to prevent conflict with different phase angle source in electric railway catenary system. The speed of electric train reduced due to coasting operation by notch off when it passed the neutral section. And, the catenary wire was damaged and the accident might be happened because of the arc generation when the electric train passed the neutral section with notch on condition.

This project has a goal to develop the automatic changeover system using by noncontactless semiconductor device in neutral section of catenary system so that the train pass as notch-on condition.

In this first year, we obtain as following results such as domestic and international systems applications and completion requirements, development and analysis of stability for automatic changeover system, design of static switching device on automatic changeover system in neutral section and drawing up interface design and specifications according to equipment.

1. 서론

최근 전세계적으로 철도의 경쟁력 확보를 위한 속도향상 방안이 폭 넓게 진행중으로 절연구간 Notch-on 통과 시스템도 이에 편승하여 확산되는 추세이다. 일본의 경우 기중개폐기를 이용하여 신간선 및 재래선에 절연구간 Notch-on 통과 시스템을 운영중이며, 2007년 현재 싸이리스터(반도체)를 이용한 기술개발 연구가 진행중이다.

유럽의 경우 아직 개발된 사례나 발표된 사례는 알려진바 없으나 일본의 사례를 이용하여 싸이리스터(반도체) 소자를 활용하는 방안의 연구개발 진행중이며 최근 일본, 프랑스, 중국 등

† 비회원, 한국철도공사, 연구원
E-mail : hhp2810@korail.com
TEL : (042)615-4710 FAX : (02)361-8542
* 정회원 한국철도기술연구원
** 비회원 산일전기(주)
*** 비회원 삼도산업전기(주)
**** 정회원 d2엔지니어링
***** 비회원 숭실대학교

해외 철도에서도 극도의 보안 속에 싸이리스터(반도체)를 활용한 Notch-On 통과 시스템이 경쟁적으로 개발되고 있어 가까운 미래에 상업화되어 각광 받을 것으로 예상된다. 국내의 경우 지난 2006년 6월 철연구간 Notch-on 통과 시스템의 핵심소자인 싸이리스터(반도체) 스위칭 소자가 개발되어 시스템 구축의 기반 확보된 상태이다.

본 연구에서는 전기차량이 전차선로 철연구간을 Notch-On 상태로 운행할 수 있도록 전차선로 급전전원을 자동으로 절체하는 시스템을 개발하는 것을 목표로 삼고 있다. 이를 위하여 국외 기술개발 사례조사 및 요구사항 완성, 전차선로 통과시스템 시뮬레이션 모델 개발 및 안전성 분석, 무점점 자동 전원절체 개폐장치 설계, 장치별 인터페이스 설계 및 상세 사양 작성 등을 수행하였다.

2. 본론

2.1. 철연구간 자동 전원절체 통과장치 등가모델

자동 전원절체 통과장치의 동작 순서를 열차의 위치 및 개폐장치 스위치의 상태에 따라 5단계로 구분한다.

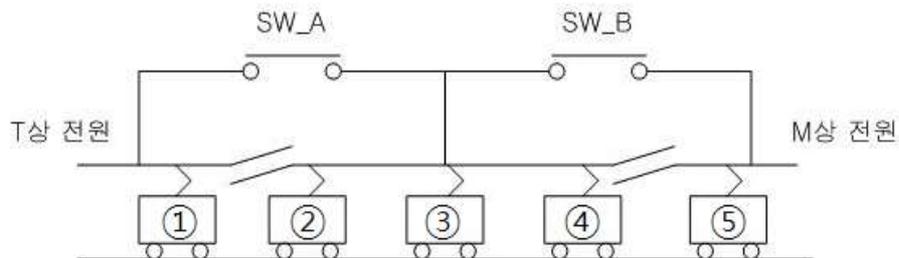


그림 1. 철연구간 통과시 열차의 위치

- 단계 1 : 열차가 자동절체 통과 시스템 진입 시도(SW_A : ON, SW_B : OFF)
- 단계 2 : 열차가 자동절체 통과 시스템 내 진입 완료(SW_A : ON, SW_B : OFF)
- 단계 3 : 열차에 전원 공급이 안 되는 상태(SW_A : OFF, SW_B : OFF)
- 단계 4 : 열차의 전력을 공급하는 전원이 M상으로 바뀜 (SW_A : OFF, SW_B : ON)
- 단계 5 : 열차가 M상 전원으로부터 전력을 공급받으면서 상 전환이 완료됨
(SW_A : OFF, SW_B : ON)

- 앞에서 분류한 통과장치의 상태 5단계를 그림 1과 같은 신호로 표현된다.

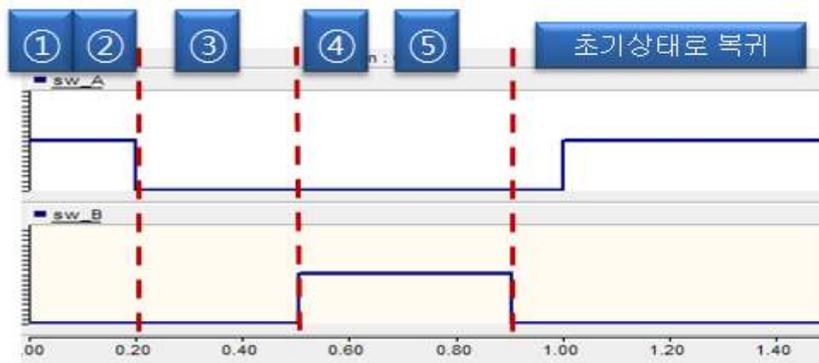


그림 2. 절체 스위치의 ON/OFF 파형

- 절체 장치의 개폐장치 스위치는 2단계에서 3단계로 넘어가면서 SW_A가 OFF가 되고, 약 0.3초의 시간 후 SW_B가 ON 되면서 4단계에 진입하게 된다.

2.2. 자동전원 절체장치 기본 구성

자동전원 절체장치의 기본 구성은 사고시를 고려하여 절체장치를 이중화 하였고 유지보수를 위하여 예비 절체장치를 두어 상하선에서 공통으로 사용하도록 구성하였다.

싸이리스터 개폐기와 진공 고속도차단기 각 2조를 1set으로 구성된다. 동작은 싸이리스터 개폐기가 주 절체장치로 작동되고 고장시 싸이리스터 개폐기를 개방시키고 보조 절체장치로 진공 고속도차단기를 사용한다.

절체장치는 상하선 각각 1set씩로 설치되며 Maintenance 또는 고장에 의한 유지보수 목적으로 예비 절체장치 1set를 상하선에 병렬로 구성하여 상하선 공히 사용하도록 한다. 각 절체장치 1set와 전차선의 두상과 절연구간을 연결하는데 있어서 유지보수와 사고 또는 고장시 연결을 끊기 위해 연결 스위치를 3개를 구성한다.

그림에서 차량이 진행하고 있는 싸이리스터 개폐기가 투입된 위치만 다른뿐 상하선이 동일한 구성을 갖고 있다. 주 절체장치의 구성은 연결 스위치 3개를 투입한 상태에서 차량 진행방향의 첫 번째 싸이리스터 스위치를 투입하고 두 번째는 개방한다.

차량운행중 싸이리스터 개폐기 고장시 첫 번째 싸이리스터 개폐기를 개방하고 진공 고속도차단기를 이용한 보조 절체장치를 사용한다.

예비 절체장치의 사용은 주 절체장치의 연결 스위치 3개를 개방한 후 예비절체장치의 연결스위치를 투입하여 주 절체장치와 동일하게 사용할 수 있다.

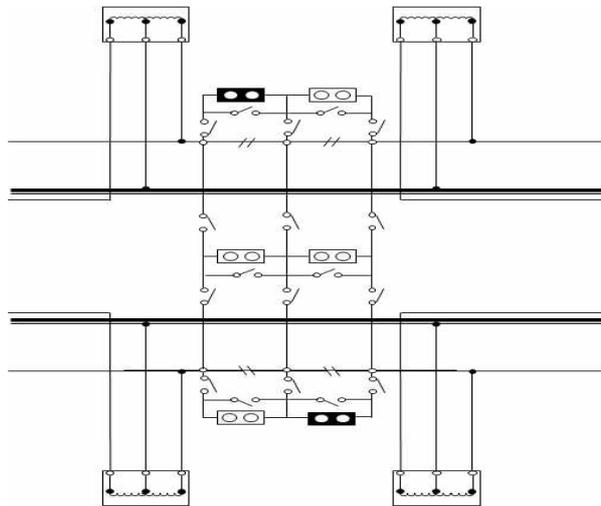


그림 3. 자동절체장치 시스템 구성

2.3. 정지형 개폐장치 구성

개폐장치는 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데, 모든 연산 및 통신 등의 제어를 담당하는 제어부와 제어부에서 출력되는 신호에 따라 구동하는 Stack부로 구분할 수 있다.

제어부는 Main control unit(A), Interface unit(B)을 가리키며, 주요 기능은 외부로부터 절체신호(전기차 위치신호)를 받아서 Stack(C)의 구동을 위한 Gate Pulse를 내보내고, 스택부의 에러신호를 받아서 Gate Pulse를 OFF시키는 주요한 동작을 수행하며, 현재의 동작상태와 에러상태를 표시장치에 표시하며, 통신을 통해 외부 인터페이스에 전압, 전류값을 내보낸다.

스택부는 제어부로부터의 Gate ON/OFF 신호를 받은 스택을 ON/OFF시켜 주회로의 전류를 통전시키는 기능을 하며, 직렬로 구성된 Thyristor의 각각에 과전압이 발생 시 에러신호를 발생시켜 제어부로 전송하는 기능을 한다.

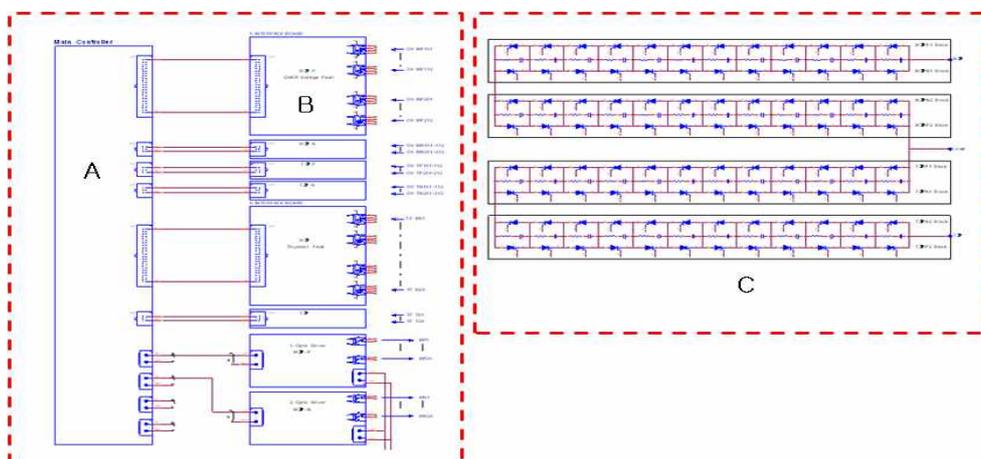


그림 5. 개폐장치 Block Diagram

Stack은 정격 표준전압을 바탕으로 고압에 대한 절연내력(내압)을 확보할 수 있도록 소자를 직렬구조로 설계하였다. 직렬접속에서는 Thyristor소자에 걸리는 전압이 동작시에 각 점에 균등하게 분압되어, 일부의 소자에 과대하게 인가되지 않도록 하였으며, Turn-On 전류시의 과도 동작상태에 있어서도 소자의 정격내의 동작 책무에 있을 필요가 있다.

또한 서지전압 등의 보호를 위한 스너버 회로와 각각의 Thyristor에 일정한 전압이 걸리도록 Balance 저항을 Thyristor와 병렬로 구성하여 설계하였다. 이 Thyristor의 손실에 의해 발생하는 Stack의 냉각을 위해 Heat-Pipe를 사용하였다.

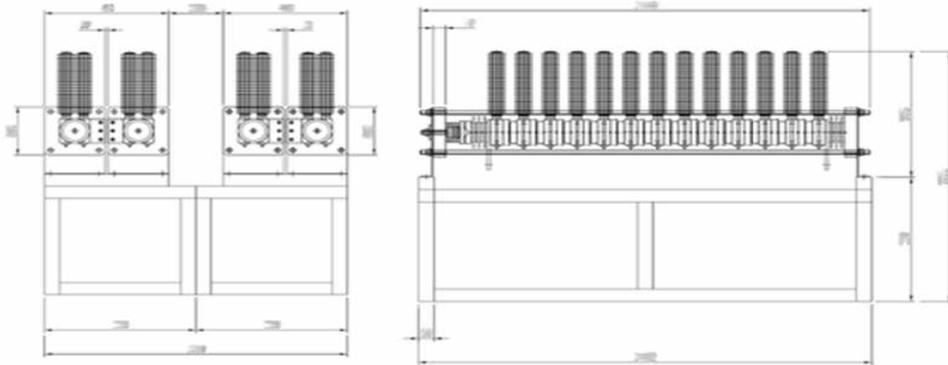


그림 6. Stack 외관 (1상)

Stack은 가로 방향으로 편제되어 있으며, 이는 열의 분산을 최대화하기 위한 방안으로 세로 방향으로 설치하는 경우에 발생하는 하부 Thyristor 열에 의해 상부의 Thyristor를 가열되는 현상을 억제할 수 있다.

2.4. 열차검지 최적화 방법

본 과제가 이룩하고자 하는 목표에 부합하기 위하여 열차 검지 장치는 열차가 설정한 검지구역을 점유하고 있는지, 열차의 선두가 검지구역을 통과했는지, 주행 중인 열차의 속도는 얼마이며, 열차 운행 방향이 어떠한지에 따라 점유와, 비점유를 표시한다.

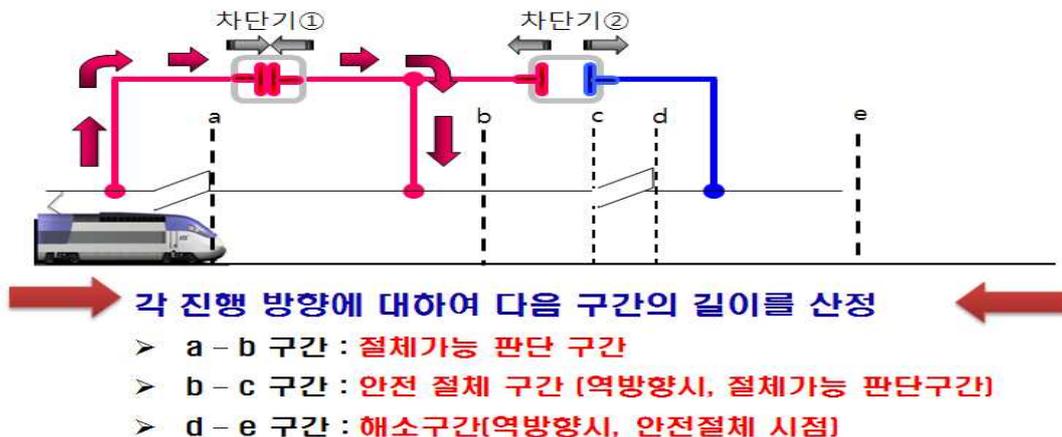


그림 7. 열차검지장치 위치 검토

각 구간별 검토사항은 다음과 같다.

- 진입열차의 최대속도(V_{max})
- 구간 운행 열차의 최대 편성 길이(l_{ab})
- 검지기의 검지 지연시간(t_{dw})
- 검지기와 검지 인터페이스 장치 간 지연시간(t_{di})
- 인터페이스 장치와 전원절체 장치 간 통신 지연시간(t_{ds})
- 전원 스위칭 지연시간(t_{dp})

가. a 방향에서 e 방향으로 열차 운행시

전차선 전원은 항상 전원 A가 급전되어 있는 상태이므로 차단기①은 ON 상태이며 진입하는 열차의 속도는 해당 노선에 편성되는 열차의 최대속도를 고려한다. 따라서, KTX 열차의 최고속도 300km/h이므로 $V_{max} = 300\text{km/h} = \text{약 } 84\text{m/s}$ 이다.

진입하는 열차의 길이는 해당 노선에 편성되는 열차의 최대길이를 고려한다. 따라서, KTX 열차의 최대길이는 388m이므로, 이 구간의 길이 $l_{ab} = \text{약 } 400\text{m}$ 로 한다.

열차가 a-b 구간에 존재한다는 것을 검지하기 위해 b 지점에 열차검지기①을 설치한다. b 지점에서 열차가 검지될 경우 차단기①을 OFF하고, 차단기②를 ON 하여 전원B로 전차선 급전을 실시한다. 열차가 d 지점을 통과한 후에는 다른 열차의 운행을 위해 차단기②를 OFF하고 차단기①을 ON하여야 한다. 따라서, 안전한 전차선 전원 절체를 위하여 d-e 구간은 편성되는 열차의 최대길이를 고려해야 하므로, 이 구간의 길이 $l_{de} = \text{약 } 400\text{m}$ 로 한다.

열차가 d-e 구간을 통과했다는 것을 검지하기 위하여 e 지점에 열차검지기②를 설치한다.

따라서 $l_{ab} = \text{약 } 400\text{m}$, $l_{de} = \text{약 } 400\text{m}$ 를 얻을 수 있다.

나. e 방향에서 a 방향으로 열차 운행시

전차선 전원은 항상 전원 A가 급전되어 있는 상태이므로 차단기①은 ON 상태로 유지되어 있다. 진입하는 열차가 e 구간을 통과할 때 절연구간은 전원 B가 급전되어야 하므로, e 지점에 설치한 검지기②가 열차를 검지했을 때 차단기①은 OFF, 차단기②는 ON 상태로 절환 되어야 한다. 이때, 절환은 a 에서 e 방향으로 운행시 얻어진 400m 동안 이루어져야 한다. 열차가 구간 c-b에 구간에 존재했을 때 절연구간은 전원 A가 급전되어야 하므로, b 지점에 설치한 검지기①이 열차를 검지했을 때 차단기②는 OFF, 차단기①은 ON 상태로 절환 되어야 한다. 따라서, 이 구간의 길이 $l_{bc} = \text{약 } 400\text{m}$ 이며 이때 절환은 구간 a-b의 거리 $l_{ab} = 400\text{m}$ 동안 이루어져야 한다. 열차가 b 지점을 완전히 벗어났을 경우에는 차단기①은 별도의 동작이 필요하지 않다.

다. 전송 지연시간

열차가 절연구간을 통과할 때, 열차검지기가 열차를 검지했을 때부터 전원절체 장치에서 그 정보를 받아 차단기를 동작할 때까지의 총 지연시간을 고려해야 한다.

총 지연시간은 시스템의 구성요소에 따라 차이가 많으므로 현장시험 후 실측하도록 한다. 일본의 신간선에서 현재 시험운영중인 시스템의 경우 다음의 정격을 갖는다.

표 1. 절환시스템 정격

항 목		정격/성능	
절환제어조건 인터페이스	시간특성	동작	0.76 +0.3sec / -0.3sec
		회복	1.06 +0.3sec / -0.25sec

이를 참고했을 때, 동작시간은 최소 0.46sec에서 최대 1.06sec이다. 이 시스템의 최대 1.5배인 1.5sec 이내로 총 지연시간을 구현한다면 절환 가능 시간 t_{SW} 은 다음과 같이 구해진다.

$$t_{SW} = \frac{l_{ab} - (V_{max} \times t_{DT})}{V_{max}}$$

여기서, 절체가능 시간 $t_{SW} = (400 - 84 \times 1.5) / 84 = \text{약 } 3.2\text{sec}$ 이다.

라. 검파 검토

절연구간의 전차선 연장구간은 최소 800m는 확보해야 한다. 이것은 열차의 접근 방향을 두 방향으로 고려할 때 전차선 급전을 위해 펜터그래프의 위치에 관계없이 급전전원을 절체하기 위해 필요한 최소의 길이이다.

열차 검지기는 열차의 주운행 방향을 기준으로 하여 전차선 연장구간이 시작되는 지점으로부터 약 400m 지점에 1개소, 전차선 연장 구간이 끝나는 지점으로부터 약 400m를 확보한 지점에 1개소를 설치한다.

이 두 지점은 절연구간을 효율적으로 통과하기 위한 최적의 위치인 것으로 사려 된다. 열차 검지기에서 열차를 검지한 후 전원절체 동작이 일어날 때까지 총 지연시간을 1.5sec 이내를 만족하도록 구성요소를 결정해야 한다. 이것은 전원절체에 실패했을 경우 다음 전원절체 동작을 시도할 때까지의 충분한 소요시간을 얻기 위함이다.

반도체 패키징 기술이 진일보했으며, 구성 소자의 동작속도 또한 고속으로 변화하고 있기 때문에 이 시간의 달성은 충분히 가능하리라 사려 된다. 각 개소의 검지기는 서로 다른 검지방식을 사용하여 차륜 또는 차량을 검지할 수 있어야 한다. 이것은 열차검지의 성공여부가 전체 시스템의 동작 신뢰도와 밀접하게 관련되어 있기 때문에 적어도 2종류 이상의 검지기를 사용해야 할 것으로 사려 된다.

2.5. 무정전 통과 전차선로 절연구분장치 구성방안

본 연구에서는 최악의 경우를 상정하여 정상 상태로 복구하기 위한 방안으로 무정전 통과 절연구간 전차선로의 설계는 에어섹션 3개와 자동식 부하개폐기 2개를 설치하는 방안을 결정하였다. 부하개폐기는 사령에서 원격으로 조작이 가능하며 자동절체 시스템 이상시에 이중에어섹션 방식의 절연구분장치로 사용이 가능하도록 구성하였다.

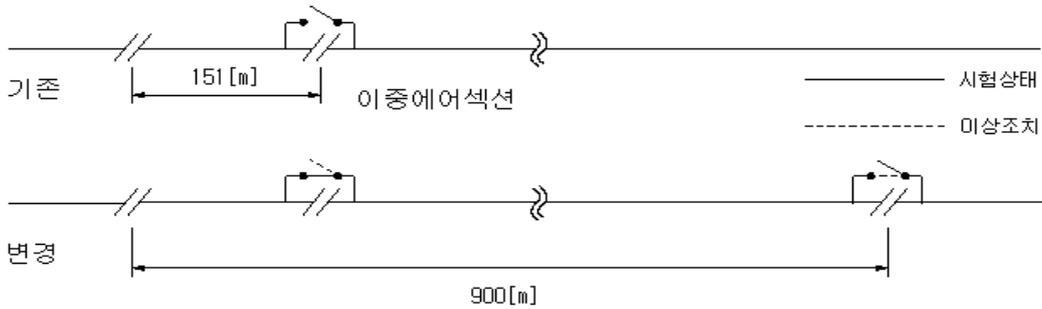


그림 8. 무정전 통과 전차선로 구성방안

3. 결론

본 연구의 절연구간 자동 전원절체 통과시스템은 다음과 같이 구성할 계획이다.

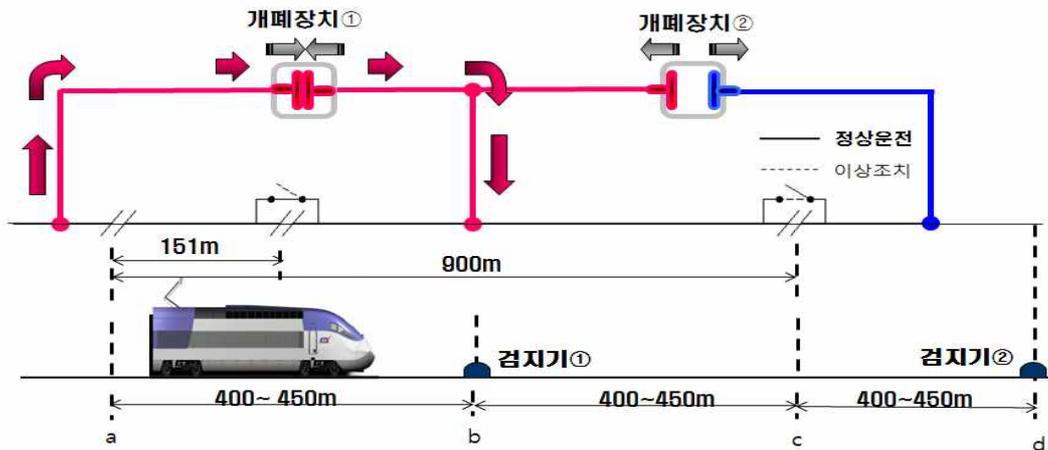


그림 9. 절연구간 자동 전원절체 통과시스템 구성 방안

자동 전원절체 통과시스템은 전차선로 연장구간의 최소길이는 800m 이상이며 가능하며 열차검지 정보를 차량검지기와 차륜검지기로 이중화하였으며 열차의 진출입으로 고려하여 a, d위치 2개소에 설치하는 것으로 검토되었다. 열차검지정보는 1.5[sec]이내에 개폐장치에 전송하게되며 개폐장치는 350[ms] 이내로 스위칭하게 된다.

앞으로 2차년도에 분야별 시험용 시제품을 제작하여 인터페이스 성능시험을 완료하고 3차년도에는 실증시험장을 구축하여 종합 성능시험을 거쳐 4차년도에 종합적으로 시스템 신뢰성 평가를 완료하는 것으로 계획삼고 있다.

본 연구 성과에 따라 절연 구분장치 및 무접점 전원자동절체통과시스템을 표준화하여 절연구간에서 고속운전 가능해져 속도향상이 기대되며 사고예방, 유지보수 비용 감소 등 운행 효율향상과 함께 전기철도 급전시스템 안정화에 기여할 것으로 기대 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하고 있는 미래 철도기술개발사업(R&D/09PRTD-C052096)의 지원으로 수행되었습니다. 이에 공동연구기관에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 스마트 열차제어시스템 기술연구, 이재호외 17, 한국철도기술연구원, 2006
2. 철도 건널목의 정시간 경보 제어에 관한 연구, 박재영, 석사학위논문, 1996
3. 한국철도공사, “절연구간 무접점 자동 전원절체 통과 시스템 기술개발”보고서, 2008.11
4. 산일전기 주식회사 “스위칭소자에 관한 구매조건부신제품개발사업 최종보고서”, 2006. 6. 27.
5. 정현수, “전기철도 급전시스템의 해석 및 전압강하 보상에 관한 연구”, 한양대학교 박사학위 논문, 2002년 12월
6. 숭실대학교 전기공학과, “전기철도 AT 급전계통의 고조파 해석에 관한 연구”, (주)PSDTC, 2004년 2월
7. 한문섭, “절연구간 자동통과장치”철도웹진 56호, 한국철도기술 2005년 11월, 12월호
8. 무절연 궤도회로의 ESJ 설계에 대한 연구, 김정열외 4인, 한국철도학회, 2009
9. 2차원 Magnetic Fluxgate 센서의 구현에 관한 연구, 박용우외 2인, 한국센서학회지 11권, 2002
10. ML TI21 AF Jointless Track Circuits - Set-up, Test and Certification, Australian Rail Track Corporation Ltd., 2005
12. S. G. Lee, “Study on design of main circuit diagram for electric tilting train,” KIEE autumn conf. of Chonbuk department, 2006
13. T. H. LEE, J. R. Kim, D. U. Jang, C. M. Lee, and C. K. Park, “Test of harmonic current for electric railway,” KIEE spring conf. of department of electric machine & energy conversion, 2006