

전차선-팬터그래프 사이의 이선현상에 따른 전원의란이 보조전원장치에 미치는 영향

김재문*, 김양수*, 장진영*, 김운명**

*한국철도대학, **단국대학교

Effect of power line disturbance on loss of contact between contact wire and pantograph

JaeMoon Kim*, Yangsoo Kim*, JinYoung Jang*, YoonMyoung Gimm**

*Korea national Railroad College, **Dankook University

Abstract - In this study, the dynamic characteristic of a contact wire and pantograph supplying electrical power to high-speed trains are investigated. The analysis of the loss of contact based on Power Simulator program software is performed to develop power line disturbance model suitable for high speed operation. It is confirmed that a contact wire and pantograph model are necessary for studying the dynamic behavior of the pantograph system.

1. 서 론

고속전철에서 집전 시스템은 크게 전기를 공급하는 전차선(Contact wire)과 전력을 공급받는 장치인 팬터그래프(Pantograph)로 구성된다. 고속전철의 고속화에 따른 연구개발이 철도선진국을 중심으로 급속히 이루어지고 있다. 그러나 고속전철의 고속화됨에 따라 대두되는 문제들 중의 하나는 안정된 집전 능력을 확보하는 것이다. 즉, 고속전철의 속도 성능향상은 팬터그래프 시스템이 고속에서도 안정된 집전 능력을 갖추어야 하는 선행 과제가 해결되어야 한다.

기존 연구결과에 의하면, 고속전철의 운행 속도가 증가함에 따라 팬터그래프와 가선사이에 진동도 증가하게 된다. 그 결과로 팬터그래프와 가선 사이의 접촉력 변화가 커지고 이로 인한 이선과 그에 따른 아크가 발생하고 가선과 팬터그래프 집전과의 손상을 초래한다. 이러한 현상은 고속전철의 고속화에 어려움을 주고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 연구가 이루어지고 있는 다. 고속에 적합한 가선으로 대체하거나 팬터그래프 자체를 개량하여 동적인 움직임이 최소가 되도록 한다. 그리고 보다 안정된 집전 성능 능력을 확보하기 위해 접촉력을 해석하여 능동적으로 제어하는 방법 등이 이루어지고 있다. 그러나 대부분이 기계적 관점에서 연구가 이루어지는 것이 있으나, 이선현상에 따라 아크가 발생하고 이로 인해 차량내의 전력변환장치 등 전장품에 악영향을 초래하고 있다. 즉, 고속전철 운행시 전차선과 팬터그래프 사이가 이선될 때 이는 동력 전달을 중단시킬 뿐 아니라, 이선현상일 발생할 경우 아크를 발생시켜 아크의 높은 전류와 매우 큰 di/dt 혹은 dv/dt 로 인해 전기철도 차량 주회로 및 제어회로에 손상을 줄 수 있다.[1-5]

따라서 본 논문에서는 고속전철 운행시 이선현상에 따른 전원의란이 전력변환장치에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 전원의란현상에 따른 EMI

일반적으로 전자파장해(EMI)현상은 잡음원(Source 또는 Victim)라는 3가지 요소가 존재하는데 전달매체는 자유공간으로부터의 전자파복사에 의한 전달(Radiated

Emission)과 기기 내부부 신호 혹은 전원선을 통한 전달(Conducted Emission)으로 구분한다, 거의 대부분의 전기·전자기기는 상용 전원선을 통해 전력을 공급받고 있기 때문에 전원선의 대부분은 기기 및 시스템의 불요전기신호 전달매체로 작용하고 있다. 이러한 전원선을 매체로 전달되는 잡음은 전원선이 갖고 있는 고유 잡음과 유입되는 잡음이 더해진 외란현상(Disturbance)으로 이것을 전원의란 현상(Power Line Disturbance ; PLD)이라 하며 EMI/EMC의 가장 근본적인 문제로 취급한다. PLD현상은 전력신호의 미소 전압변동을 비롯하여 주파수변동, 고조파성분의 존재여부 및 과도현상, 외부로부터의 불필요한 신호유입에 이르기까지 전원에 영향을 미치는 모든 외란현상을 의미한다.[3]

따라서 동적부하라고 할 수 있는 고속전철은 전력 및 통신시스템, 차량내의 각종 설비 등이 복합적으로 인터페이스가 이루어져 있기 때문에 정적부하에 비해 전원의란 현상이 항상 존재한다. 이로 인하여 고속전철 급전시스템의 전차선과 팬터그래프 사이의 접촉력이 불안정하에 아크가 발생하게 되는데, 아크현상은 전력을 차량에 공급하는 전차선과 팬터그래프 사이가 이선되는 경우와 역행 운행시 고속전철이 절연구간을 통과하는 경우에 발생한다.

2.2 팬터그래프와 전차선 사이의 아크현상

전력을 공급하는 전차선과 차량내에 전력을 유입하는 팬터그래프 사이에 그림 1과 같이 이선현상이 나타나는데, 소이선, 중이선, 대이선으로 나눈다. 소이선인 경우 팬터그래프 습동판의 미세 진동에 의해 발생하는 것으로 이선시간은 수십 분의 1초 정도이고, 중이선은 일반적으로 팬터그래프가 전차선의 경점에 의해 충격을 받을 때 발생하는 것으로 이선시간은 수 분의 1초 정도이다.

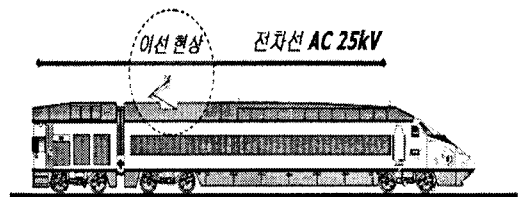


그림 1. 전차선과 팬터그래프 사이의 이선현상

대이선은 전차선의 지지점 통과 직후 팬터그래프 자체가 도약하여 발생하는 현상으로 이선시간은 1~2초에 이른다. 고속전철이 역행시에 이선이 발생하게 되면 이선 개소의 시점부 및 종단부는 아크 및 충격에 의해 국부적으로 전차선의 마모가 촉진되어 단선될 가능성이 높아진다. 또한 이선현상이 발생하는 동안 역행에 따른 집

전이 중지되고, 무선 잡음 장애가 발생하며, 심한 경우 고속전철의 견인전동기 혹은 전력변환장치의 반도체 소자를 비롯한 전장품이나 보호기기류가 섬락에 의해 파괴되기 쉽다.

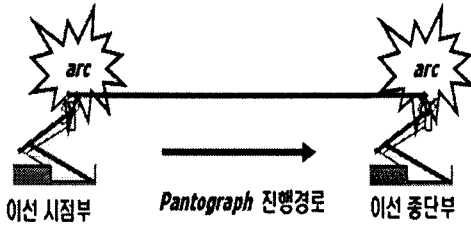


그림 2. 이선현상에 따른 아크발생

한편 그림 3과 같이 고속전철 급전계통시스템은 전기적으로 절연역할을 하는 사구간 또는 dead section이 존재하는데, 전원의 접속개소에서 아크현상이 발생한다. 즉 고속전철이 절연구간을 통과할 때, 예기치 않은 상황에서 가압구간에서 무가압 구간으로 보호 절차없이 진입하게 되면 고속전철의 팬터그래프와 전차선 사이에 아크 발생 확률이 높다. 뿐만 아니라 절연구간을 통과할 때 무가압 구간에서 바로 가압구간으로 진입하게 되면 아크가 발생하기 쉽다.

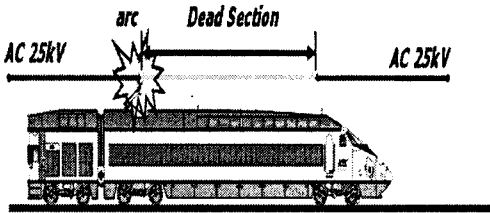


그림 3. 사구간 통과시의 아크현상 일례

2.3 고속전철차량에서의 PLD현상에 따른 EMI 경로
일반적으로 고속전철차량은 팬터그래프를 통해 전차선 전력을 공급받아 역행한다. 이것은 주변압기를 통해 보조전원장치 및 추진제어장치 등 각종 전기를 필요로 하는 설비로 공급된다. 일반적으로 그림 4와 같이 전기차량의 전력변환부는 주변압기는 전차선으로부터 AC 25kV의 전압을 받아 이것을 2차측에서 변압한 후 Converter/Inverter 등 전력변환장치를 거쳐 추진제어장치인 경우 견인전동기를 구동하게 되고, 보조전원장치인 경우 고속전철차량내의 차량을 구동시키는 것 이외의 냉난방 장치, 또는 조명장치 등 전원설비로서 사용된다.

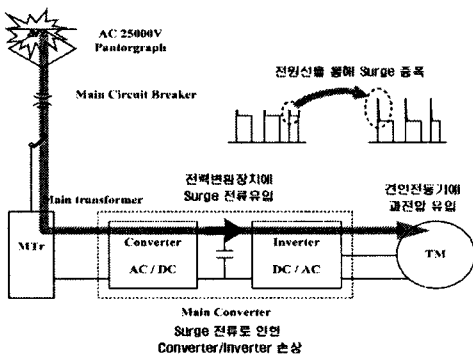


그림 4. 고속전철 차량내부의 EMI 경로

그림 4에서 이선현상 등으로 인하여 아크가 발생한 경우 전원선을 통해 아크에 따른 노이즈 성분이 주변압기를 거쳐 전력용 반도체소자로 고속스위칭을 하는 전력변환장치인 컨버터와 3상 인버터로 유입되는 아크의 진행 경로를 보여준다. 이것은 스위칭 소자의 On/Off 동작시 과도한 서지를 유발하게 될 뿐만 아니라 전력변환장치의 제어시스템을 교란시키고 지령값을 제어하는데 어려움이 따른다.

3. 시뮬레이션

최고속도 400km/h인 차세대 분산형 고속철도에 대한 이선현상에 따른 전력변환장치가 미치는 영향을 분석하기 위해 현재까지 진행된 시스템 요구사항(안)에 근거하여 보조전원장치를 시뮬레이션을 하였다.[6] 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용된 파라미터는 입력전압 25kV, 주변압기 2차측 380V, 컨버터 제어전압 670V, 3상 인버터 출력전압 440V이다. 그림 5는 그림 4에서 컨버터가 일정 전압으로 제어될 때, 이선현상이 발생하지 않을 때의 파형들이다. 각각 입력전압 25kV, 주변압기 2차측 380V에 대한 순시파형, 주변압기 1차측 전류파형, 컨버터를 단위 역률로 제어함에 따라 정현파와 유사한 컨버터 입력단 전류파형, 한 개의 스위칭 소자의 동작상태에 따른 스위치 양단의 전압파형을 보여준다.

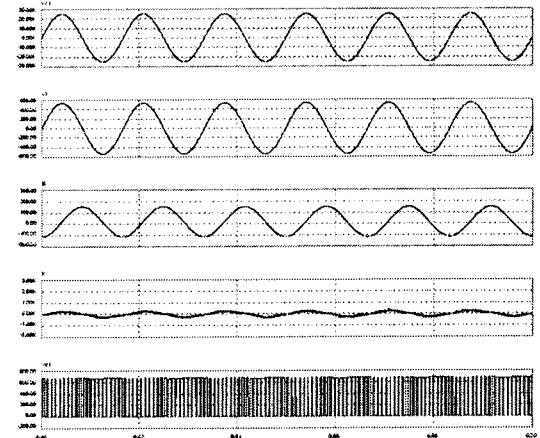


그림 5. 이선현상이 없을 경우 각부의 파형

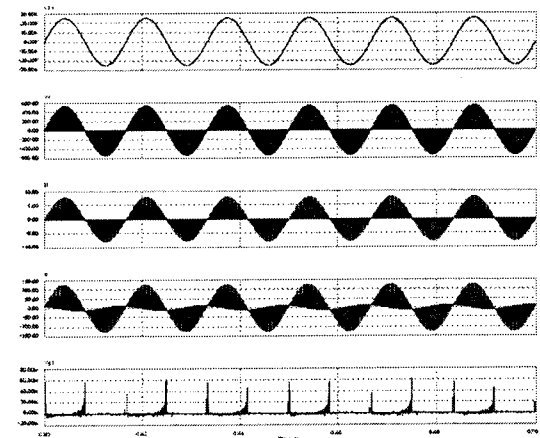


그림 6. 0.2[ms] 연속 이선현상에 따른 각부의 파형

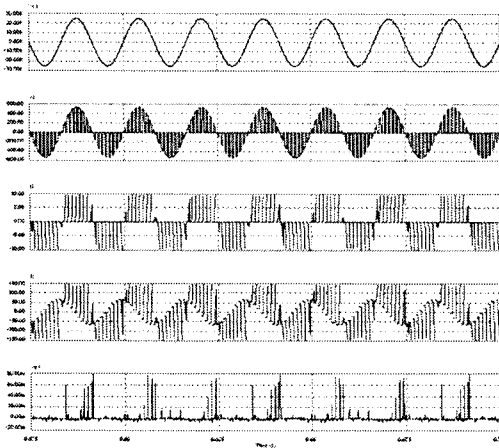


그림 7. 1[ms] 연속 이산 현상에 따른 각부의 파형

그림 6과 그림 7은 전차선과 팬터그래프 사이에 이선 현상이 발생할 경우의 각부 파형을 보여준다. 그림 6은 전차선과 팬터그래프 사이의 이선현상이 0.2[ms]를 간격으로 연속적으로 발생할 경우의 파형으로 전차선 전압이 교류 25kV 인가되고 있는 상황에서 이선현상으로 주변압기 2차측 전압 및 전류와 주변압기 1차측 전류가 초평하는 현상이 나타나고 있다. 또한 이때 전력변환장치의 스위칭 소자가 이선현상마다 서지가 발생함을 볼 수 있다. 그림 7은 1[ms]단위로 이선현상이 발생할 경우의 파형으로 스위칭 소자의 서지현상을 뚜렷하게 나타나고 있으며, 컨버터의 입력측에 흐르는 전류파형이 상당히 왜곡됨을 볼 수 있다.

4. 결 론

고속전철차량은 고속주행을 하는데 있어 안정된 집전 성능을 유지해야 차량의 신뢰성을 보장받는다. 그러나 상기에 언급했듯이 전기철도차량 역행시 이선현상이 발생되거나 절연구간을 가압상태에서 통과하게 될 경우, 전차선과 팬터그래프 사이에 아크현상이 발생한다. 이로 인하여 철도차량내의 주회로 시스템 및 제어회로에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 고속철도차량은 동적부하로서 전력을 공급하는 전차선과 전력을 집전하는 팬터그래프사이에 이선 현상이 수시로 발생하는데 이로 인하여 아크현상이 발생한다.
- (2) 이선현상에 따른 고속스위칭 동작을 하는 전력변환장치내의 반도체 소자에 서지가 발생하여 소손이 발생할 수 있다.
- (3) 뿐만 아니라 일정 전압을 제어하는 경우 컨버터 입력측에 흐르는 전류의 왜곡을 초래하여 고조파 전류가 많이 흐른다. 이로 인해 불필요한 신호장해가 발생하고 제어시스템이 오동작을 일으킨다.

본 논문에서는 PLD 현상에 따른 영향을 분석함으로써 향후 400km/h급 동력분산형 차세대 고속전철차량 시스템을 설계하는데 있어 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 추진제어장치부에 대해 시뮬레이션을 수행하여 상호 간 인터페이스에 따른 영향도 분석하고자 한다.

후 기

본 연구는 “차세대 고속철도 기술개발사업”의 일환으로 국토해양부의 연구지원으로 이루어졌습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이봉이 외 3인, “팬터그래프와 전차선 사이에서 발생하는 아크 특성에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, 페이지, pp367-370, 2005
- [2] 철도청, “전철구간에서 발생하는 고조파 현황 및 대책”, 1998
- [3] 한국전기연구원, “전원방해(PLD) 현상과 기술동향”, 2000
- [4] 김진우 외 4인, “고속전철용 가선-팬터그래프 시스템의 모델링 및 접촉력 해석”, 한국소음진동공학회 논문집 제 13권 제6호, pp.474~483, 2003
- [5] 김정수 외 1인, “주행중 발생하는 고속전철 집전 신호의 동적 해석”, 홍익대 과학기술연구논문집, 제14집, 2003
- [6] 한국철도기술연구원, “차세대 고속철도 기술개발사업 1차년도 Workshop”, 2008