

절연구간 통과시 전기철도 차량에 유입되는 전력 품질 분석

이봉이*, 김재철*, 문종필**, 한성호***, 이수길***

*숭실대학교, **기초전력공학공동연구소, ***한국철도기술연구원

An analysis of the power quality problem at an electric train according to dead section

Bong Yi-Lee*, Jae-Chul Kim*, Jong-Fil Moon***

*Soongsil Univ., **EESRI, ***KRRI

Abstract - At the railway feeding system, a role of dead section is very important. Because, dead section is essential installation that AC feeding system meets DC feeding system or phase is changed between AC feeding systems. But, in dead section it is possible that an electric train meets interruption. In Korea, a study on the dead section isn't yet accomplished in depth. Accordingly, in this paper, when electric train is in dead-section power quality problem on electric train was dealt. Modeling and simulation using PSCAD/EMTDC was accomplished to analyze.

AC 25,000[V]를 사용한다. 따라서 지하철과 국철, 전기 철도 등이 만나는 지점에 이를 전기적으로 구분시켜 주는 장치가 필요하고, 이를 교류/직류 구분용 절연장치라고 한다. 그림 1은 교류/직류 구분용 절연장치의 일레이 다.

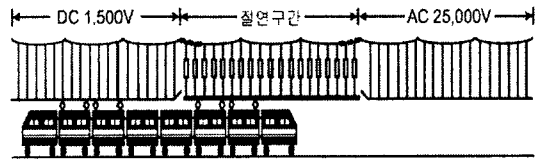


그림 1. 교류/직류 구분용 절연구간

1. 서 론

철도차량을 절연 열화시키는 요인에는 전기적 요인, 기계적 요인, 환경적 요인, 열적 요인 등 여러 가지가 있다. 이 중 전기적 요인으로 전압 썩지, 과전류, 판토틀라프와 급전선 사이의 아크, 비정상적인 절연구간 통과 등을 들 수 있는데, 본 논문에서는 절연구간 통과시의 전력 품질 저하에 관하여 연구하였다[1].

절연구간이란 전기철도 급전계통에서 교류와 직류가 서로 만날 때 직/교류 단락 방지를 위해, 또는 서로 다른 위상의 교류 급전 계통을 연결할 때 이상 단락 방지를 위해 설치되는 구간으로 전기철도 시스템을 구성하는 매우 중요한 요소이다. 철도 차량이 절연구간을 통과할 때 열차는 반드시 타행운전 모드로 관성에 의해 통과하여야 한다. 하지만, 어떠한 요인에 의해 역행운전 상태에서 절연구간을 통과하게 되면 철도 차량에 순간정전 현상과 같은 영향을 미치게 된다. 따라서 비정상적 절차에 의한 사구간 통과를 순간정전으로 모의하여 이 때의 전력 품질을 분석하였다.

모델링 및 시뮬레이션에 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하였으며, 결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 절연 구간 통과시 문제점

2.1.1 절연 구간

절연구간은 사구간 또는 dead section 이라고도 하며, 교류/직류 구분용 절연구간과 교류 이상 구분용 절연구간의 두 가지로 나뉘어 진다. 교류/직류 절연구간은 직류급전계통과 교류 급전 계통과 같이 서로 다른 급전 방식의 접속 개소에 설치된다[2].

우리나라에서는 지하철 구간에서는 DC 1,500[V]를 사용하고, 국철 및 일반 전기철도, 고속철도 구간에서는

철도의 교류 급전 계통은 3상 전원을 사용하는 일반 전력계통과 달리 단상 전원을 사용한다. 따라서 3상으로 공급되는 전원을 단상으로 변환시켜주는 특별한 도구가 필요하고, 이를 위해 우리나라 철도 계통에서는 그림 2와 같은 Scott 결선 변압기를 이용한다. Scott 결선 변압기는 A, B, C 상의 3상 전원을 M상과 T상의 단상 전원으로 변환시키는 역할을 하는데, M상과 T상 사이에는 90°의 위상차가 있어, 급전시 두 위상을 가진 전력이 만나는 곳에 양 쪽을 전기적으로 분리시켜줄 장치가 하나다. 따라서, 이를 위해 교류 이상 구분용 절연장치가 교류 전철화 구간 변전소의 급전 인출구 및 그 중간의 급전 구분소 등에 설치된다.

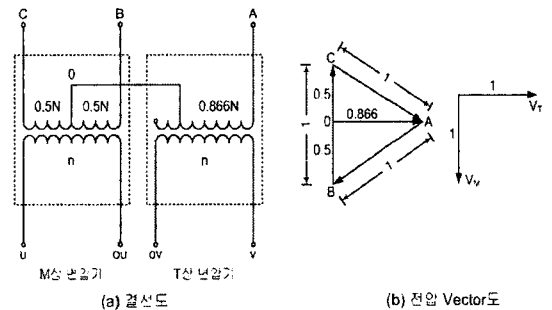


그림 2. Scott 결선 변압기의 결선도

2.1.2 전기철도 설비의 절연구간 통과 절차

전기철도가 절연구간을 통과할 때는 차량이 절연구간을 통과함으로써 인해 받는 영향이 최소화 될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 따라서, 정해진 절차에 의해 정확하게 기기가 동작되어 절연구간을 통과하여야만 계통으로부터 오는 전력 품질에 영향을 미치지 않을 수 있다. 본

논문에서는 교류/교류 절연구간을 연구대상으로 하며, 절연구간 통과시의 철도 설비의 동작은 다음과 같다.

절연구간 통과 이전에 열차는 타행으로 절연구간을 통과할 수 있을 만한 속도로 속력을 높인다. 차량이 절연구간의 100~160[m] 이전에 설치된 절연구간 표지에 다다르게 되어 인지 신호를 수신하면, 차량은 인버터에서부터 주회로 차단기의 순으로 차단기를 OFF 한다. 이 때 인버터부터 전원을 내리는 이유는 인버터가 전력 전자소자로 구성되어 있어 안좋은 품질의 전력 유입에 의한 영향이 가장 크기 때문이다. 차단기가 완전히 OFF되어 차량에 전원이 차단된 상태에서 열차는 절연구간 통과하게 된다[3,4].

2.1.3 절연구간 통과시 차단기 투입 불량 발생 원인

열차가 절연구간을 통과할 때 열차는 기관사의 운전 에 의한 동작과 기기의 자동 조작에 의한 동작의 두 가지 동작을 모두 한다. 차단기 투입 불량 원인을 살펴보면, 절연구간 통과후 가압구간에 진입한 팬터그래프와 절연구분 장치를 통해 후속 차량의 팬터그래프에 전압이 인가될 수 있다. 이 때 전압이 0.2[sec] 이상 지속될 경우 전압 검지 계전기가 동작하여 주회로 차단기가 투입될 수 있는데, 인가전압이 소멸되면 주회로 차단기는 다시 차단되고 이 동작 이후엔 가압구간에 진입한다고 해도 다시 차단기의 투입이 안되는 문제가 발생한다. 또한, 고속철도 서울-천안 사이에 있는 22m의 절연구간에서는 열차의 속도에 비해 구간이 너무 짧아 역행운전 중에 절연구간을 그대로 통과하는 경우도 많다.

2.2 절연구간에서의 변압기 돌입전류

2.2.1 변압기 돌입전류

변압기의 돌입전류는 변압기의 2차측에 부하를 걸지 않고, 1차측에 정격전압을 가했을 때 변압기의 주 자속을 만들기 위해 전원에서 1차 권선으로 유입되는 전류를 말한다. 돌입전류의 크기는 정상상태의 경우에는 무시될 수 있을 정도로 그 값이 작지만, 이 과도전류가 전원 투입시에 철심 내부에 발생하는 과도 자속에 기인하는 것이기 때문에 전원 투입시의 전원 위상에 따라 그 크기가 크게 좌우된다. 과도자속과 여자 전류와의 관계는 그림 3과 같다[5].

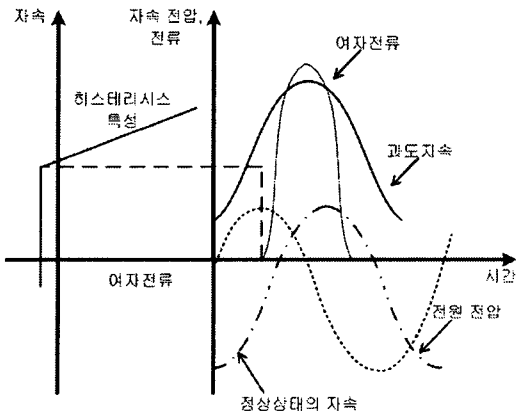


그림 3. 과도자속과 여자전류와의 관계

돌입전류는 그림 3과 같이 전압의 투입 위상에 따라 변압기의 철심이 과도적으로 포화되어 변압기 권선이 리액턴스가 낮은 공심 리액터가 됨으로써 발생하는 것이

다. 따라서, 전압의 투입 위상에 따라 그 크기의 차이가 매우 크며, 전원의 위상이 90°일 때 즉, 전압이 최대인 위상에서 변압기가 투입된다면, 특별히 큰 돌입전류는 흐르지 않지만, 전원이 제로인 시점에서 변압기가 투입된다면, 돌입전류가 최대가 되어 그 영향이 매우 크다. 열차가 절연구간을 통과할 때 타행운전 상태가 아닌 역행운전 상태에서 통과를 하게 된다면, 변압기가 차단되고 투입되는 시점이 차단기 동작에 의한 것이 아니라 순간정전과 같이 위상과는 상관없이 전원이 차단 투입되는 문제가 발생한다. 따라서 변압기가 투입되는 시점의 위상각을 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 통해 열차가 절연구간을 통과할 때의 변압기의 전력 품질을 분석하였다.

2.2.2 변압기 모델링

모델로 사용된 전기철도 계통은 그림 4와 같이 1차측에는 판토그래프를 통한 급전선로와 연결되어 있고, 2차측은 다섯 개의 부분으로 나누어져 있다. 다섯 부분의 2차측 중 네 부분은 Main C/I부와 연결되어 실제로 열차를 구동하는데 이용되며, 나머지 한 부분은 전동, 냉난방 등 소내용 전원으로 이용된다[6].

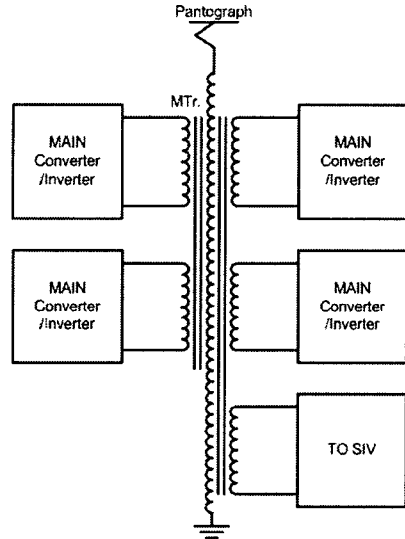


그림 4. 전기철도 시스템 모델

본 논문에서 시뮬레이션 한 부분은 열차의 운행과 관계된 부분으로 열차를 구동하는 네 대의 변압기가 동일하므로 이 중 하나를 모델링 하였으며, 모델링 회로는 그림 5와 같다.

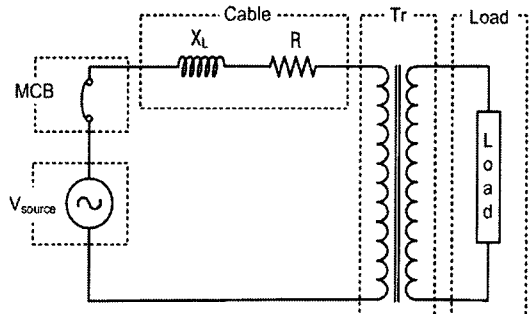


그림 5. 변압기 돌입전류 모의 모델

그림 5에서와 같이 전원은 단상 교류 전원으로 등가화하였고, 전원과 케이블 사이에 주회로 차단기를 연결하여 전압의 위상에 따라 차단기의 투입 시점을 달리 하였다. 케이블은 WEP8-6모델로, 굵기 60[mm²], 길이 15[m]의 케이블을 R과 L로 등가화하여 나타내었다. 변압기 용량은 표 1과 같고, 부하는 정 임피던스 모델을 사용하여 간략하게 표현하였다.

표 1. 변압기 시뮬레이션 데이터

항 목	입력 데이터	
전원	25[kV]	
CABLE (WEP8-6)	저항	0.0264[Ω]
	인덕턴스	0.00053975[H]
변압기	용량	2.5[MVA]
	1차측 전압	25[kV]
	2차측 전압	1.04[kV]
Inrush Decay time	0.1[sec]	
부하	6.1645[Ω]	

2.2.3 시뮬레이션

변압기가 투입되는 시점에 따른 돌입전류의 크기와 주파수 변화를 보기 위하여 변압기의 위상을 30°씩 변화시켜 가면서 시뮬레이션 하였고, 이 때의 변압기 1차측 전류를 측정된 결과 중 가장 돌입전류가 크게 발생하는 변압기 투입시점의 위상각이 0°인 경우와 돌입전류의 영향이 거의 없는 변압기 투입시점의 위상각이 90°인 경우를 그림 6~7에 나타내었다. 차단기의 투입 시점은 0.1[sec]이다.

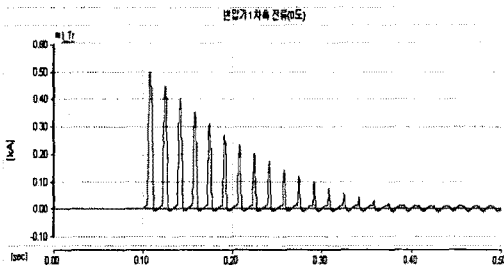


그림 6. 전압 위상이 0°일 때 변압기 1차측 전류

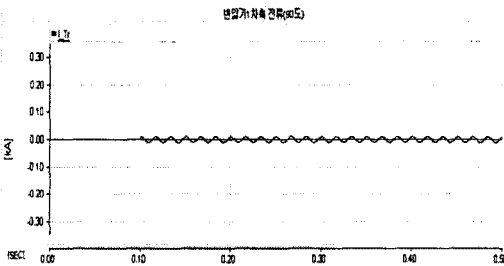


그림 7. 전압 위상이 90°일 때 변압기 1차측 전류

그림 6에서와 같이 전압의 위상이 0°일 때 변압기의 돌입전류가 최대 20배가 넘게 발생하는 것을 볼 수 있고, 이 때의 고조파 역시 THD가 12.8[%]로 측정되어 가장 높은 수치를 나타내었다. 그림 7은 전원 투입시점의 전압 위상이 90°일 때를 나타내는 것으로 돌입전류의 양이 거의 없고, THD 또한 2.3[%]로 매우 적은 수치를 보였다. 이는 앞서 설명한 과도자속과 돌입전류와의 관계에

따른 것으로 볼 수 있다. 표 2는 변압기의 투입 위상별 변압기 1차측 THD를 분석한 결과이다.

표 2. 변압기 전류의 THD 분석 결과

차단기 투입시점의 전압 위상	변압기 1차측 전류의 THD[p.u.]
0°	1.28
30°	1.16
60°	0.36
90°	0.032
120°	0.38
150°	1.13
180°	1.28
210°	1.16
240°	0.36
270°	0.032
300°	0.38
330°	1.13

3. 결 론

절연구간은 AC급전계통과 DC급전계통의 접속개소 또는 AC급전계통간의 서로 다른 위상의 접속 개소에 설치되어 두 구간을 전기적으로 구분시켜 주는 역할을 한다. 따라서 전기철도 급전계통에서 절연구간의 역할은 매우 중요하다. 하지만 절연구간은 전기 철도 계통에서는 기계적 전기적으로 매우 취약한 부분이며, 우리나라에서는 아직 절연구간의 전기적 특성에 대한 연구가 미진한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 절연구간 통과시 전력 품질 변화에 대해 연구하였다.

만일 절연구간 통과시 정상적인 절차를 거치지 않고 차단기가 절제되지 않은 상태에서 절연구간을 통과하게 되면, 철도에는 순간정전이 발생한 것과 같은 현상이 나타나게 된다. 특히 철도 차량을 구성하는 중요한 설비 중 하나인 변압기의 경우 변압기를 투입하는 시점의 전압의 위상에 따라 돌입전류의 크기에 매우 큰 차이가 있기 때문에, 열차에 순간정전이 발생할 경우 돌입전류의 크기와 고조파 양에 많은 영향이 있다. 따라서 본 논문에서는 변압기가 투입되는 시점의 위상각을 달리하여 PSCAD/EMTDC를 이용해 모의하였으며, THD의 측정을 통해 고조파를 분석하였다.

감사의 글

본 연구는 철도기술연구개발사업에서 지원된 사구간 통과에 따른 차량주회로 과도특성에 관한 연구 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 왕종배, 전한준, "철도용 전기기기의 고장요인 및 절연열화 분석", 한국전기전자재료학회 2001년도 하계학술대회 논문집
- [2] 최규형, 이기원, "Closed Type 절연구분장치 적용에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.498-502, 2002
- [3] 최규형, "전기철도 교/직 절연구분장치의 절연열화 현상", 대한전기학회 52B-1-3
- [4] 백광선, 김명룡, "도시철도차량 교차 사구간 MCB 투입 현상 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1279-1281, 2003
- [5] "배전용 변압기", 효성중공업, 2001.6
- [6] (주)우신산전, 추진제어장치 실용기술개발, pp.182-190, 2004. 7