

교류 급전시스템 보호를 위한 전차선로 고장특성 분석

정호성, 박영, 김주락, 권삼영, 박현준  
한국철도기술연구원

Analysis of fault characteristics in Catenary system for protection of AC feeding system

Hosung Jung, Young Park, Joorak Kim, Samyoung Kwon, Hyunjune Park  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - This paper analyzes impedance convergence characteristics and harmonics of electric locomotives operation and fault condition. To simulate the various fault and operation condition, AT feeding system and various locomotives are modeled using PSCAD/EMTDC. Analysis shows that impedance are converged into protection area in the case of short fault between catenary and rail or catenary and feeder line but in the case of disconnection fault, impedance is rater bigger so protective relay can't detect the fault. Therefore more analysis of overload and high impedance fault caused disconnection fault is needed.

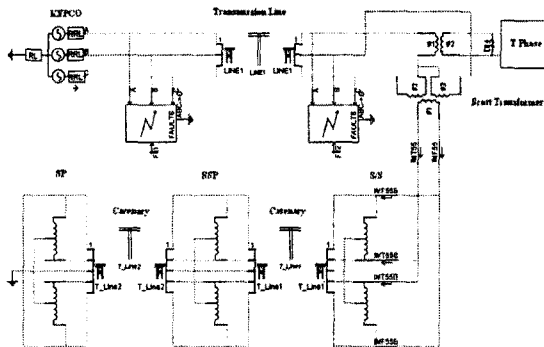
1. 서 론

고속철도 개통과 더불어 우리나라 철도시스템의 전철화는 비약적으로 증가되고 있다. 간선의 전철시스템은 단권변압기(AT)를 이용한 교류 급전시스템으로 전력회사로부터 수전한 3상 교류전력을 스코트 변압기를 이용하여 90° 위상차가 나는 2개의 단상 전력으로 변환하여 전력을 공급하고 있다. 전기철도차량의 경우에도 전력전자 기술 발전에 따라 사이리스터 위상 제어차량에서 PWM 제어차량으로 발전하고 있다. 이러한 교류 급전시스템에서의 고장은 차량 및 지상설비의 피해뿐만 아니라 열차운행 중단이나 인명 및 재산피해 등으로 파급되기 때문에 보다 신뢰성 있는 보호방식이 요구된다. 변전소에는 일반적으로 변전소에서 계속되는 임피던스 크기를 이용하는 거리계전기와 일정시간동안의 전류 변화량을 이용하는 Δ형 고장선택장치를 보호방식으로 사용하고 있다[1-20]. 하지만 여객 및 화물 수송량의 증가에 따라 동일 급전구간내에 열차 운행 횟수의 증가, 인버터 제어방식으로 인한 고조파 발생, 회생제동방식의 채택으로 인한 역행부하와 회생부하의 결합, 그리고 동일 급전 구간에 상이한 제어방식 차량의 운행 등으로 인해 계전기의 오동작 발생뿐만 아니라 단선고장 등과 같은 경우에는 고장 검출이 어려워진다[3-4]. 따라서 본 논문에서는 전력해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AT 교류 급전시스템과 전기철도차량을 모델링하였으며 다양한 운전조건에서의 고장상황을 시뮬레이션을 수행하여 고장검출을 위한 특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 AT 교류 급전시스템 모델링

철도용 교류급전시스템은 전력공급회사, 전철변전소, 급전구분소, 보조급전구분소 및 급전회로로 구성되어 있다. 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 그림 1과 같이 각 구성요소별로 모델링을 하였다[5-7].



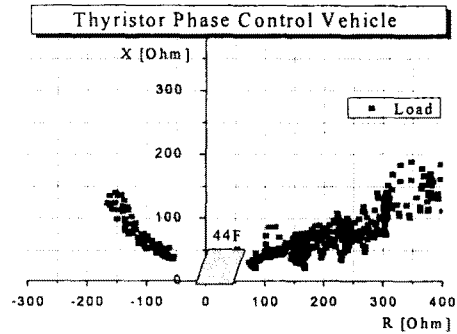
<그림 1> AT 교류급전시스템 모델링

전력공급회사로부터 3상 154kV전력을 송전선로로 통해 공급받아 전철변전소에서는 스코트 변압기를 이용하여 3상 154kV를 55kV 2개의 단상 전력으로 변환하고 AT 변압기를 이용하여 55kV를 27.5kV로 변환하여 전기차량에 전력을 공급하도록 모델링하였다. 급전구분소, 보조급전구분소는 AT 변압기를 모델링하여 상선과 하선에 27.5[kV]를 공급할 수 있도록 하였다. 또한 전차선로는 상, 하선 전차선로군, 상, 하선 급전선로군, 그리고 레일군으로 분류하여 모델링하였다.

2.2 차량운행 특성분석

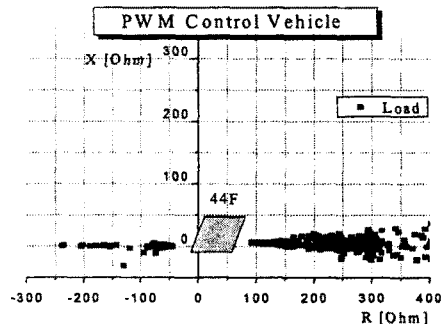
전력전자 소자의 기술개발에 따라 전기차량의 제어방식도 저항제어 방식에서 사이리스터 위상제어방식으로 그리고 PWM 제어방식으로 발전해 오고 있다. PSCAD/EMTDC를 이용하여 차량을 모델링하기 위해서 차량의 기동시부터 최고속도까지를 10단계로 나누어 속도별 유효, 무효전력의 크기를 임피던스로 변환하여 나타내었다. 또한 차량 운행시 발생하는 고조파 전류 크기를 모델링하기 위해서 각 차량별로 발생하는 고조파 전류의 각 차수별 최대값을 정전류원으로 변환하여 나타내었다.

사이리스터 위상제어차량은 전차선으로부터 인가된 교류전압을 세미브리지형 사이리스터와 다이오드가 복합된 정류기를 이용하여 사이리스터 위상을 제어하여 속도를 변화시키고 약계자제어에 의해 견인력을 변화시키는 방식으로 최대 역행시 변전소에서 본 역률이 0.7~0.8 정도이며, 회생시에는 -0.5정도이며 고조파 발생량이 비교적 크다. 그림 2는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 사이리스터 위상제어차량을 모델링하고 다양한 운전조건에서 역행, 회생되는 경우의 부하영역을 나타낸 것이다.



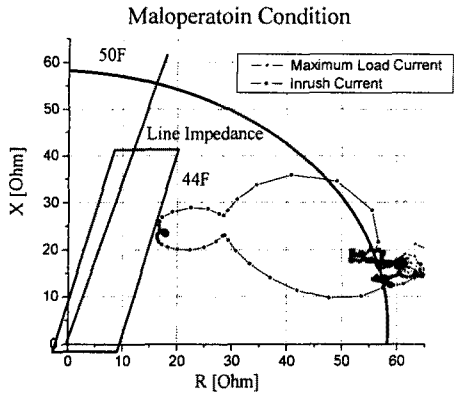
<그림 2> 사이리스터 위상제어차량의 부하영역

PWM 제어차량은 단상교류 상용주파수의 급전전압에서 직류 정전압으로 전력을 변환하고 전력변환기에서 발생하는 교류전압이 펄스전압으로 구성되어 펄스폭을 교류전압으로 변환하는 방식으로 교류입력전압이 거의 정현파에 가까워서 다른 방식에 비해 저차 고조파의 함유가 매우 작다. 또한 연속적으로 역행과 회생제어를 할 수 있으며 급전전압 및 견인전동기의 크기에 관계없이 차량에서의 역률이 항상 ±1이 되도록 제어된다. 그림 3은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 PWM제어차량을 모델링하고 다양한 운전조건에서 역행, 회생되는 경우의 부하영역을 나타낸 것으로 역률이 역행시에는 +1을, 회생시에는 -1이 됨을 알 수 있다.



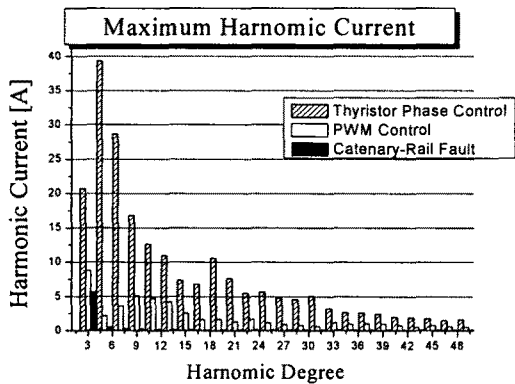
<그림 3> PWM 제어차량의 부하영역

부하의 일시적인 급증이나 무부하 변압기 여자돌입시에는 일시적인 전류 증가로 인해 고장영역으로 임피던스가 수렴할 수 있다. 그림 4는 변압기 여자돌입시 임피던스의 변화 특성을 나타낸 것으로 여자돌입순간에 일시적으로 보호영역 내로 임피던스가 수렴할 수 있음을 보여준다.



〈그림 4〉 여자돌입시의 임피던스 변화

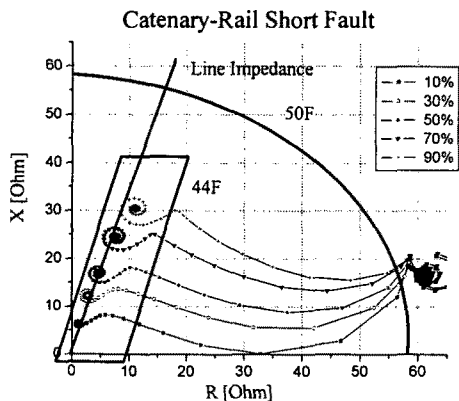
차량부하의 운행특성으로 인해 보호영역으로 수렴하는 경우에 보호계전기의 오동작을 방지하기 위해서 저차 고조파 억제기능이 활용하고 있다. 철도차량 운행시에는 고조파를 발생하는데 반해 고장시에는 고조파의 크기에 매우 작은 특성을 이용한다. 하지만 운행되는 차량에 따른 고조파 발생량의 크기를 따라 차량에 따른 고조파 발생량의 크기 분석이 요구된다. 그림 5는 사이리스터 위상제어 차량과 PWM 제어방식 차량의 역행시 발생하는 고조파 전류의 크기와 전차선과 레일간의 단락사고시의 고조파 크기를 비교한 것이다. 일반적으로 PWM제어방식 차량의 THD가 5% 이내인데 반해 사이리스터 위상제어 방식 차량의 경우에는 최대 15%정도로 발생하고 있으며 사고시에는 거의 고조파가 발생하지 않음을 알 수 있다.



〈그림 5〉 제어방식에 따른 고조파 전류 크기

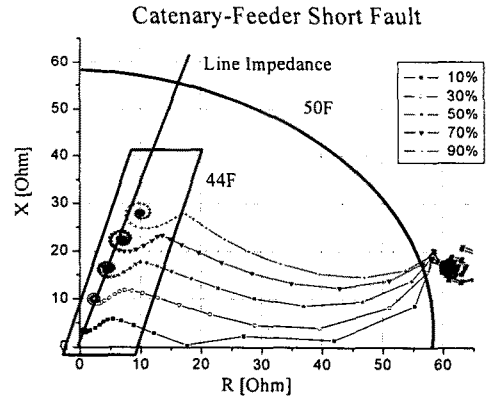
### 2.3 고장특성분석

고장발생시 고장 임피던스의 수렴특성을 분석하기 위해서 전차선과 레일간의 단락고장과 전차선과 급전선의 단락고장을 모의하였다. 그림 6은 전차선과 레일간의 단락고장을 시뮬레이션 한 것으로, 변전소로부터 급전구분소 내의 10%, 30%, 50%, 70% 그리고 90%지점에서 고장이 발생한 것을 나타내었다.



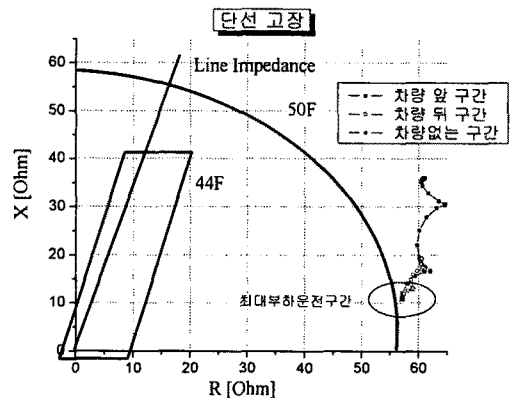
〈그림 6〉 임피던스 수렴(전차선-레일 단락고장)

그림 7은 전차선과 급전선간의 단락고장을 시뮬레이션 한 것으로, 변전소로부터 급전구분소내의 10%, 30%, 50%, 70% 그리고 90%지점에서 고장이 발생한 것을 나타낸 것이다.



〈그림 7〉 임피던스 수렴(전차선-급전선 단락고장)

전차선-레일, 전차선-급전선 단락고장에 대해서는 고장거리에 무관하게 고장을 검출할 수 있다. 하지만 전차선과 판트그래프간의 기계적인 접촉시의 순간적인 기계적 충격이나 장시간 과부하 및 수목 등의 접촉으로 발생하는 고저항 지락사고시에는 거리계전기를 이용한 고장검출이 어려워진다. 이러한 경우에는 과전류가 발생하고 이로 인한 단선사고가 발생할 수 있다. 그림 8은 최대부하로 역행중에 단선사고가 발생한 경우의 임피던스의 추이를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다.



〈그림 8〉 임피던스 수렴(단선사고)

단선사고 후에 끊어진 전차선이 레일이나 급전선에 접촉하지 않은 경우에는 차량운행 구간의 단선사고시 임피던스의 값이 오히려 커져 고장검출이 매우 어려워지며 이로 인한 사고과급이 우려된다. 따라서 단선사고를 유발할 수 있는 과부하 및 고저항 지락고장 등의 검출 기법이 요구된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전차선로 보호를 위해 차량운행과 고장상황에 따른 임피던스 수렴특성 및 고조파 크기를 분석하였다. 이를 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 교류 급전시스템과 차량부하를 모델링하였으며 다양한 부하 운행 상황에서의 고장을 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 이용하여 임피던스 수렴 특성 및 고조파 크기를 비교 분석함으로써 보호의 신뢰성을 향상시킬 수 있었다. 향후에는 보다 다양한 급전시스템 및 고장에 대한 모델링을 통해 다양한 현상에 대한 분석이 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 交流電氣鐵道における保護技術調査専門委員會, “交流電氣鐵道における保護技術”, 日本電氣學會, 1996
- [2] 한국철도기술연구원, “전차선로 회로정수 측정 및 보호회로 최적화 방안 연구”, 철도청, 1998
- [3] Gao Shibin, He Weijun, Chen Xiaochuan, “Study on Microprocessor-Based Adaptive Protective Relay for Heavy Duty Electric Traction System”, Developments in Power System Protection Conference Publication No. 434, pp319-322, 1997
- [4] Tefvik Sezi, Frank E. Menter, “Protection Scheme for a New AC Railway Traction Power System”, IEEE Transmission and Distribution Conference vol 1, pp388-393, 1999
- [5] Hanmin Lee, Kwanghae Oh, “Fault Analysis of AC Electric Railway System Mode by EMTDC”, Trans. KIEE vol. 52A, no.9, pp 1-7, 2003
- [6] PSCAD/EMTDC User's manual
- [7] Hosung Jung, “A study on relay setting for AT feeding system protection using PSCAD/EMTDC”, ICEE 2005, pp.A76-A76, 2005