

철도 고압배전계통의 보호시스템 최적화 방안 연구

Optimization of protection System on the Railway High Voltage power System

조웅기* 창상훈** 한성호*** 김왕곤****
Cho, Woong-Ki, Chang, Sang-Hoon, Han, Seong-Ho Kim, Wang-Gon

ABSTRACT

In case the fault occurs in railway high voltage power supply network, protective relaying system must selectively detect 1 wire ground fault of grounding or non-grounding system.

And this study presents railway high voltage power supply system model using PSCAD/EMTDC Ver 3.08 for circuit analysis and fault studies.

In this paper, we propose protection method of non-grounding system of railway high voltage power supply system. The result shows its usefulness.

1. 서 론

철도 고압배전선로는 1942년 7월 경부선 서울-대전간 전용선로가 신설된 이후 현재까지 총 2,224.5km에 달하는 고압배전선로가 시설되어 있으며, 역사조명, 신호, 동력설비 등에 전력을 공급하는 설비로 열차의 안전운행과 서비스 향상 측면에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

또한 각종 대상 기기의 전자화 및 다양화와 정보화시대의 요구에 맞추어 안정된 전원에 대한 수요 요구도 증대되고 있어 양질의 전력 공급과 높은 신뢰도가 필히 확보되어야 한다. 따라서 전차선로의 급전계통과 마찬가지로 고압배전계통의 보호의 신뢰성 확보도 중요한 문제로 부각되고 있다. 그러나 고압 배전계통의 보호는 (i) 교류전차선 전압으로부터 정전유도를 방지해야 하며, (ii) 고압배전선 단선 등에 의한 전차선과의 혼촉시에 보호를 용이하게 하는 보호설비를 구성해야 하는 등 일반 전력계통과는 특이한 형태의 보호방식을 필요로 하여 철도 고압배전계통의 특성에 부합하는 최적의 보호계전 알고리즘의 개발이 시급한 실정이다.

철도고압배전계통의 특징은 교류급전계통의 1선 직접접지 계통에 비해서 비접지 계통 또는 중성점 저항접지 계통이다. 따라서, 가장 많이 발생하는 1선 지락고장에 대해서는 고장전류가 작고 보호검출이 어려운 면이 있다. 또한 비접지 계통의 경우 배전선로의 대지에 대한 커패시턴스가 존재하고 있기 때문에 보호가 상당히 어려워진다.

비접지 계통에 있어서의 1선 지락보호에는 미소전류까지 검출할 수 있는 지락방향계전기 등이 개발되고 섬세하고 민감(delicate)한 보호방식을 적용하고 있기 때문에 때로는 계전기의 불필요한 동작을 초래하여 계통운용에 혼란을 가져오는 경우가 있다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 학생회원
** 한국철도기술연구원 책임연구원. 정회원
*** 한국철도기술연구원 선임연구원. 정회원
**** 서울산업대학교 교수

본 논문에서는 비접지계통과 중성점 접지계통에 대하여 1선 지락시의 현상 검토와 시뮬레이션을 통해 고장전류 및 과도전압에 대하여 분석하고, 이를 토대로 고압배전계통 보호에 대한 최적방안을 제시하고자 한다.

2. 철도 고압배전계통 보호특성(접지방식 기준)

철도고압배전계통의 특징은 교류급전계통의 1선 직접접지 계통에 비해서 비접지 계통 또는 중성점 저항접지 계통이다. 따라서, 가장 많이 발생하는 1선 지락고장에 대해서는 고장전류가 작고 보호검출이 어려운 면에 있다. 또한 비접지 계통의 경우 배전선로의 대지에 대한 커패시턴스가 존재하고 있기 때문에 보호가 상당히 어려워진다.

비접지 계통에 있어서의 1선 지락보호에는 미소전류까지 검출할 수 있는 지락방향계전기 등이 개발되고 섬세하고 민감한 보호방식을 적용하고 있기 때문에 때로는 계전기의 불필요한 동작을 초래하여 계통운용에 혼란을 가져오는 경우가 있다. 본 장에서는 비접지계통과 접지계통에서의 보호방식에 대해 검토한다.

2.1 비접지계통의 보호

비접지계통에서의 지락전류는 선로충전전류 뿐이므로 지락과전류계전기(OCGR)로는 검출이 불가능하기 때문에 영상CT(ZCT)와 GPT를 결합한 선택지락계전기(SGR)를 사용한다.

이는 사고시 영상전압과 영상전류의 적으로 동작하는 전력형 방향계전기이며, 사고회선을 선택 차단한다. 그림1과 같이 GPT의 3차를 open delta 결선하고 제한저항 R을 삽입하며 계전기 동작 유효 전류를 흘리고 제3고조파를 억제하는 효과가 있다. 고압배전선 1선지락시의 고장전류와 영상전압의 크기는 정상, 역상임피던스와 선로의 누설저항(r)은 무시할 수 있을 정도이므로 그림2의 등가회로에서 계산할 수 있다.

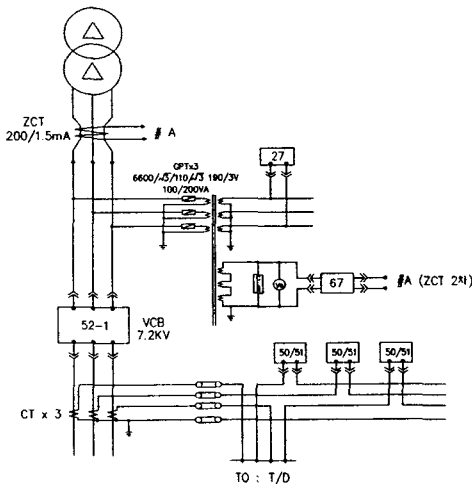
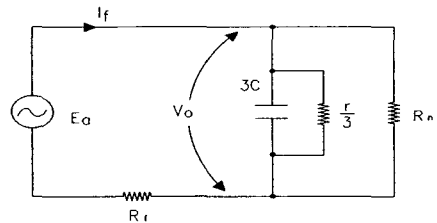


그림1. 비접지계통의 보호계통 결선도



R_n : 제한저항의 1차환산치

$$R_n = \left(\frac{n}{3}\right)^2 \cdot R$$

C : 선로의 3중전용량(1선당)

R_f : 고장점 저항

E_a : 상전압

n : GPT의 변성비

그림2. 비접지 고압배전계통 등가회로

고장전류 I_f 는

$$I_f = \frac{E}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{R_f + \frac{1}{\frac{1}{R_n} + \beta w c}} = \frac{E}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{R_f + \frac{1}{\frac{9}{n^2 R_1} + \beta w c}} \quad (2.1)$$

영상전압 V_o 는

$$V_o = \frac{E}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_n} + \beta w c}}{R_f + \frac{1}{\frac{1}{R_n} + \beta w c}} = \frac{E}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + R_f(\frac{9}{n^2 R_1} + \beta w c)} \quad (2.2)$$

2.2 접지계통의 보호

접지방식에는 직접접지방식, 저항접지방식, 소호리액터 접지방식이 있으며, 철도 고압배전 계통은 Δ 결선을 이용한 전력공급방식이므로, 변압기의 중성점은 저항을 통하여 접지하여 고장 전류를 제한하는 방식을 적용하고 있으며, 일반적으로 100~200(A)의 고장전류이면 보호계전기가 충분히 동작한다. 그림3은 저항접지방식의 보호계통 결선도를 나타낸 것이며, 이때의 1선지락 현상은 그림4와 같다.

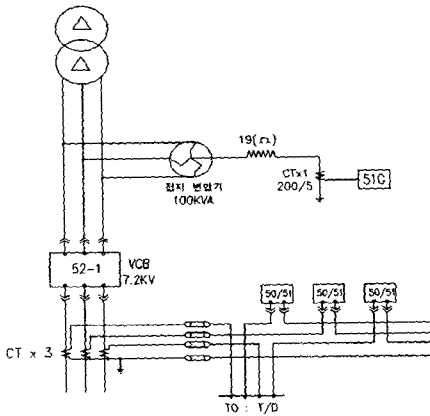


그림3. 저항접지계통의 보호계통 결선도

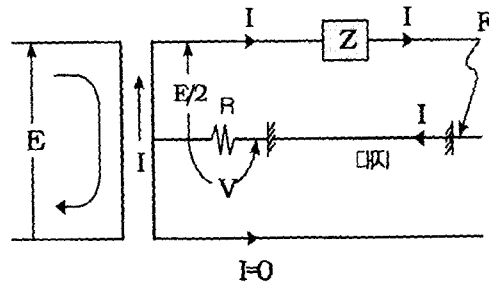


그림4. 저항접지계통의 1선지락 현상

3. 접지방식별 고압배전계통 1선지락시 과도특성 해석

3.1 모델링

철도고압배전 설비중 접지계통과 비접지계통에 대해서 사고시 전압강하가 발생 여부와, 사고를 제거하기 위해 차단기를 동작시켰을 때의 서지전압에 의한 과도특성을 알아보고자 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 접지계통과 비접지계통 모델링은 그림5, 6과 같다.

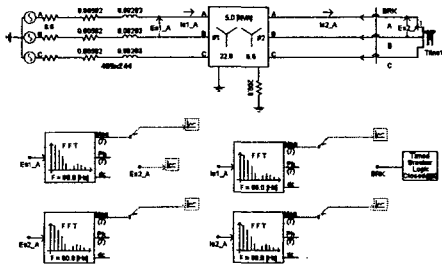


그림5. 해석모델(접지계통)

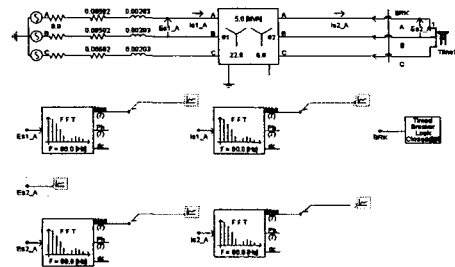


그림6. 해석모델(비접지계통)

3.2 사고모의 해석

시뮬레이션 조건은 0.2초에 사고가 발생하고, 사고 발생 0.2초 후에 차단기가 동작하는 것으로 모의하였다. 그림7~10은 접지방식별/배전전압별 고압배전계통에 대한 사고모의 결과를 나타낸 것이다.

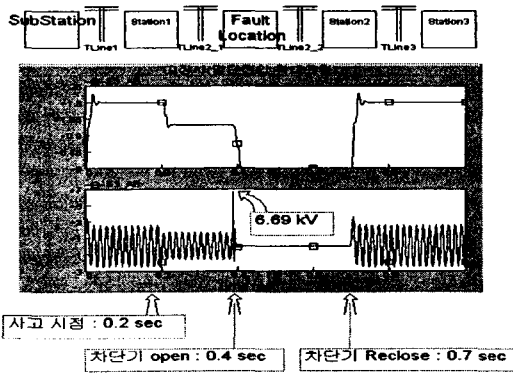


그림7. 6.6kV 접지계통 사고해석

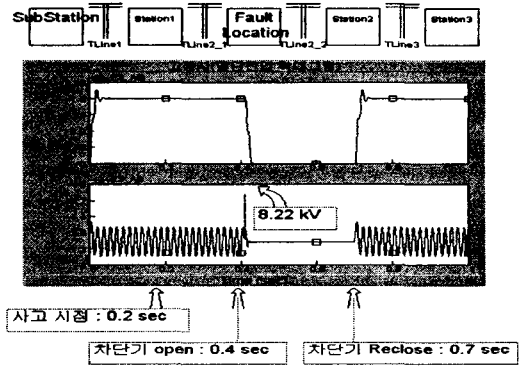


그림8. 6.6kV 비접지계통 사고해석

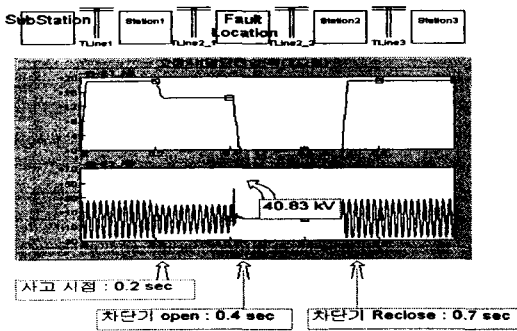


그림9. 22.9kV 접지계통 사고해석

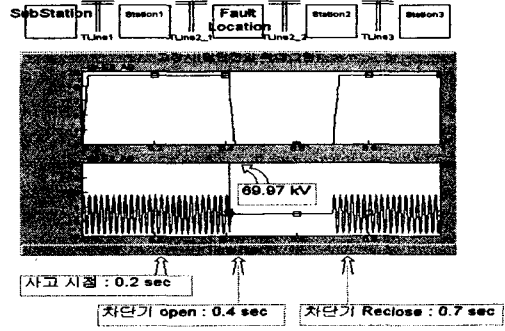


그림10. 22.9kV 비접지계통 사고해석

3.3 결과고찰

시뮬레이션 결과를 표 1에 정리하였다.

접지계통과 비접지계통의 시뮬레이션 결과를 분석해 보면, 사고가 발생하였을 때 접지계통은

전압강하가 일어나 사고가 발생했음을 알 수 있지만, 비접지 계통은 사고임에도 불구하고 전력을 강제로 송전하여 전압강하가 발생하지 않아 사고를 판단하기 곤란하다.

그리고 차단기 동작시 서지전압을 분석해 보면, 접지계통에 비해 비접지계통의 과도전압이 높음을 알 수 있다. 결국, 비접지계통은 사고 발생시 보호차단이 곤란하며, 사고시 과도특성으로 인한 2차적인 피해가 우려되므로 보호측면에서 직접접지 또는 간접접지(저항접지)방식의 도입을 적극적으로 검토할 필요가 있다.

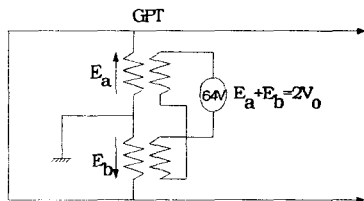
표 1. 배전전압별 접지, 비접지 계통에 따른 과도전압 특성

전압 레벨	구 분	과도 전압
6.6kV	접지 계통	6.69kV
	비접지 계통	8.22kV
22.9kV	접지 계통	40.83kV
	비접지 계통	69.97kV

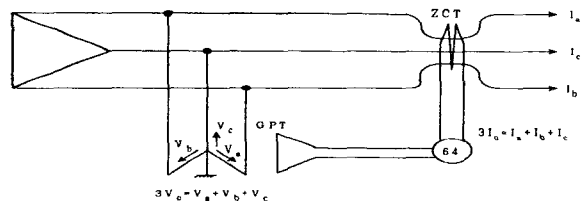
4. 비접지 고압배전계통 보호방안

3장의 시뮬레이션 결과 비접지방식 고압배전계통은 사고발생시 계통보호를 위한 방안이 필요한 것으로 분석되었다. 4장에서는 비접지 고압배전계통의 1선 지락사고시 보호방안에 대하여 검토하고 그 결과를 제시하였다.

그림11은 비접지 계통에 있어서의 1선 지락시, 보호방식으로서 영상전압, 영상전류를 이용하는 방식의 결선도를 나타낸 것이다. GPT (접지형 변압기)에 의해 각 상의 대지간 전압의 합을 만들면 영상전압 V_0 에 비례한 값을 얻을 수 있다. 또한, 3상계통의 경우에는 ZCT (영상변류기)에 의해 각 상 전류의 합을 만들어, 영상전류 I_0 에 비례한 값을 얻고, 동일 모선에서 다 회선에 분기하여 배전할 때에는 지락회선을 영상전압 V_0 과 영상전류 I_0 의 절대값과 벡터방향을 보고 검출하는 지락방향계전기(64)를 사용하여 지락회선의 한정보호를 실시하는 방안이다.



(a) 접지검출보호(단상계통)



(b) 지락방향계전기(3상계통)

그림 11. 비접지계통 배전선로의 1선지락 보호 방안

그림12는 저항접지계통에 있어서의 1선 지락보호 방식을 나타내는 것으로 이 방식은 부하전류와 고장전류의 경로가 다르기 때문에 고장선택은 비교적 간단하다. 우선, 부하전류 (I')은 a상에서 출발하여 부하를 통하여 b상에서 돌아온다. 그 전류는 값이 같고 방향은 반대가 된다.

또한 1선 지락의 고장전류는 a상 고장인 경우, a상에서 흐르기 시작하여 고장점 F에서 r_g 를 통하여 지하로 누설되어 변전소의 중성점 저항 R을 통하여 되돌아오기 때문에 b상을 통하지 않는다. 따라서, 1선 지락전류는 a상과 b상의 전류에 불평형을 일으키게 된다. 이 때문에 변전소에서

는 a상측과 b상측에 CT를 삽입하여, 그 전류차를 계전기 (64₁)에 입력하여 고장을 검출한다. (64₁)에 흐르는 전류는 부하전류를 포함하지 않기 때문에 고정밀도로 정정(整定)을 할 수 있고, 고저항 접지고장까지 검출할 수 있다. 또한, 중성점 저항 R의 단자사이에 6.6kV/110V 정격 PT를 삽입하고, 그 2차출력을 (64₂)에 입력하여 이 전압이 발생한 경우(R에 접지전류가 흐른다), 지락 고장을 검출하는 방식이다.

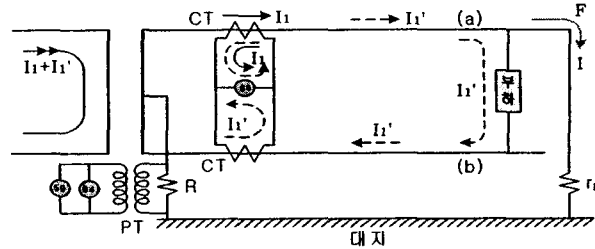


그림 12. 저항접지를 이용한 1선지락보호방식 개념도

5. 결론

고압배전계통의 접지방식은 비접지방식과 전차선 전압에서의 정전유도를 피하고 전차선과 고압 배전선과의 혼촉시 보호에 편리하도록 변전소의 배전용 변압기 2차측 중성점을 저항기를 통하여 접지하는 중성점 저항접지 계통이 적용되고 있다. 최근 배전계통이 지중선으로 케이블화 되고 있기 때문에 충전전류가 커져 지락사고 발생시 지락검출이 곤란한 문제점이 있다. 즉, GPT는 정상 운전상태에서는 정격전압에 적절한 여자전류만 흐르게 되지만 1선 지락사고가 발생하면 유효분 영상전류가 흐르게 되며, 이 영상전류의 크기는 지락저항 및 충전용량의 영향을 받게 된다. 충전용량이 클 경우 영상전압이 릴레이의 정정 최소값 보다 낮게 되므로 릴레이는 동작하지 않게 되어 사고의 확산 우려가 있다. 또한 비접지계통은 사고 발생시 보호차단이 곤란하며, 사고시 과도 특성으로 인한 2차적인 피해가 우려되므로 보호측면에서 직접접지 또는 간접접지(저항접지)방식의 도입을 적극적으로 검토할 필요가 있다. 본 논문에서는 이에 대한 대책으로 수전변전소에 접지변압기와 중성점 접지저항을 설치하는 방안을 검토하여 제시하였다.

참고문헌

1. S.H. Chang, H.M. Lee et al "Optimization of Protection System and Development of Diagnosis on the Electric Railway Equipment" pp.146~177, 2002. 3
2. 이봉용, "전력 전송공학" 문운당, pp. 121~148, 1999
3. 신대승, "보호계전 시스템 기술" 기다리, pp.239~243, 1993
4. 철도청 전기본부, "전기업무자료 9호" pp. 151~230, 2002
5. 日本電氣學會, "交流電氣鐵道における保護技術", 電氣學會技術報告 610號, pp.36~37, 1996. 10