ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65, No. 7, pp. 1121~1127, 2016
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.7.1121

국내 교류 전기철도 급전계통 보호용 과전류 계전기 모델링 및 과부하 보호 협조에 관한 연구

A Study on the Overcurrent Relay Modeling and Protective Coordination for Overload in Domestic AC Electrical Railway System

김 현 동* · 조 규 정* · 허 승 훈* · 김 철 환†
(Hyun-Dong Kim · Gyu-Jung Cho · Seung-Hoon Huh · Chul-Hwan Kim)

Abstract - In this paper, modeling of overcurrent relay(OCR) to protect domestic AC electric railway Auto Transformer(AT) feeding system and operation characteristic analysis on overload condition are described. The target system of this paper is actual site where overload trip of circuit breaker occurs frequently. Because this AT feeding system is made of parallel single track which had a load(electric train) respectively, and is connected with only T phase of Scott Transformer. In addition, this system has been feeding 66kV voltage by KEPCO, not 154kV. We focus on protective coordination of Scott Transformer primary side and secondary side OCR for Korea single track AC electrical railway system in operation currently. We modeled single track AT feeding system and OCR. Also we performed faults and overload analysis for verification of OCR's setting values and system modeling. To analyze above mentioned research, we used PSCAD/EMTDC software tool.

Key Words : AT feeding system, OCR, Scott transformer, PSCAD/EMTDC

1. 서 론

국내의 교류 전기철도 계통은 산업선을 제외하고는 단권 변압기(Auto Transformer, AT)를 사용하여 철도차량에 전력을 공급하는 AT 급전계통 방식으로 구성되어 있다. AT 급전계통 방식은 직접 급전방식(direct feeding system)과 흡상변압기 급전방식(booster transformer, BT)보다 장거리 급전과 유도장해 측면에서 유리하여 유럽, 일본, 중국 등 대다수의 나라에서 운행 중에 있다[1, 2]. 국내의 AT 급전방식은 주로 일본에서 사용하는 방식과 유사하게 66kV 또는 154kV를 받아 스코트 변압기로 전압을 강압시켜 각각 T상, M상에서 상하행선으로 급전시킨다[3]. 이 급전전압은 AT(고압과 저압 권선비 2:1)를 통해 강압되어 전차선로에 인가된다.

국내의 교류 전기철도 계통에서 스코트 변압기 보호용 계전기로 비율 차동 계전기(87)와 과전류 계전기(50, 51)가 사용된다. 비율 차동 계전기는 스코트 변압기의 내부고장에 대한 보호를 담당하고, 스코트 변압기 1차 측과 2차측 과전류 계전기는 과부하나 고장으로 인해 발생하는 과전류에 대한 보호를 담당하고 있다[4]. 여기서 스코트 변압기 1차측 및 2차측 한시 과전류 계전기(51)는 과부하 보호를 주 보호로 담당하며, 고장 보호를 후비 보호로 담당한다. 또한 순시 과전류 계전기(50)는 고장 보호만을 주 보호로 담당하고 있다[1, 2]. 1차측 및 2차측 과전류 계전기는 서로 간 협조체계를 통해 주 변압기 보호를 하고 있고, 이들의 보호범위를 벗어난 더 큰 고장의 경우에는 수전점 과전류 계전기 또한 동작하여 변압기의 소손을 방지하고 있다[4].

본 논문에서는 연구 수행을 위하여 국내에서 실제로 과부하로 인한 과전류 계전기 동작이 빈번하게 발생하는 A 변전소를 파악하였다. A 변전소는 낮은 수전단 전압 때문에 2차측 한시 과전류 계전기 뿐만 아니라 1차측 한시 과전류 계전기 또한 과부하로 인해 동작하고 있다. 기존 연구에서는 과부하의 원인과 이로 인한 스코트변압기 2차측 한시 과전류 계전기의 동작을 시뮬레이션을 통해서 검증하였다. 본 연구에서는 해당 지역의 과부하 보호를 위한 1차측 및 2차측 한시 과전류 계전기 정정치와 보정계수를 제시하였고, 이를 검증하기 위해 고장시 및 과부하시 한시 동작 특성을 전력계통 과도현상 시뮬레이션 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC(Power system Computer Aided Design/ElectroMagnetic Transients including DC)를 사용하여 확인하였다.

2. AT 급전계통 모델링 및 검증

2.1 교류 AT 급전계통의 구성

국내 교류 전기철도 계통의 대부분을 차지하고 있는 AT 급전

† Corresponding Author : College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea
E-mail : hwmkim@hanmail.net
* College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea
Received : April 15, 2016; Accepted : June 12, 2016

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

방식은 급전선로의 전압 강하율을 감소시켜 대전력의 장거리 송전에 유리하기 때문에 전기철도 변전소와 각 구분소들 사이의 간격을 넓게 할 수 있다[1]. 그림 1은 단선 AT 급전계통의 회로도를 나타낸다.

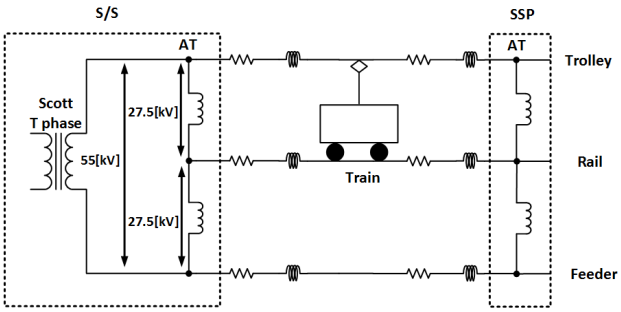

그림 1 교류 단선 AT 급전계통의 회로도
Fig. 1 Circuit diagram of AC single track AT feeding system

그림 1에서, Sub Station(S/S), Sub Sectioning post(SSP)는 각각 전기철도 변전소, 보조 급전 구분소를 나타낸다. 각 변전소와 구분소에는 AT가 설치되어 있으며 전차선과 급전선에 전압을 공급한다. 각 AT는 전차선 및 급전선에 연결되며, AT의 중성점은 레일에 연결된다. 철도차량은 전압을 공급받아 상하행선 구분에 따라 레일 위를 이동하며, 레일 위를 이동함에 따라 변전소로부터 차량 위치까지의 임피던스가 달라지고 그로 인해 부하전류의 크기도 변하게 된다. 실제 계통에는 보호선, 조가선과 같은 도체들이 분리되어 가선되어 있지만 해석의 용이함을 위하여 상기 3개의 도체군으로 등가화 시켜 해석한다[1, 2].

2.2 급전계통 모델링 및 검증

그림 2는 연구대상인 국내 A 변전소의 단선 급전계통을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링 한 결과를 나타낸다. 스코트 변압기 T상에 병렬로 각각 다른 방향으로 진행하는 두 선로와 연결되어 있으며, 각 구간별로 실제 운행하는 SP와 SSP를 파악하였다. SS-SSP, SSP-SP 간 거리는 10km로 가정하였고, 연장급전을 위해 각 SSP와 SP마다 AT를 연결하였다. 전원 임피던스, 변압기 임피던스, 선로 임피던스 등은 해당 계통의 실제 수치들을 참조하여 모델링을 수행하였다[1].

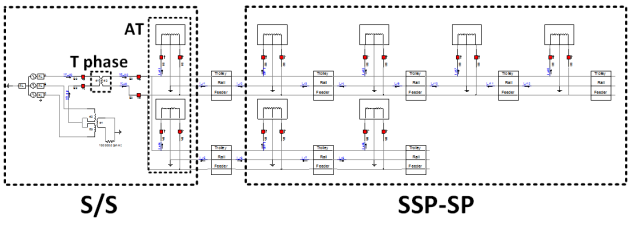

그림 2 A변전소의 급전계통 모델링
Fig. 2 Feeding system modeling of A substation

그림 2의 A 변전소는 국내 및 해외 대다수의 교류철도 계통에서 수전 받는 154kV의 전압에 비해 낮은 전압을 공급받고 있다[7]. 한국전력공사에서 100MVA 용량의 66kV의 전압을 수전받아 스코트 변압기를 거쳐 55kV의 전압을 급전하고 AT를 통하여 전차선에 27.5kV의 전압을 공급한다. 모델링 계통의 임피던스가 잘 반영된 것을 검증하기 위해 계통의 고장전류를 분석하여 수 계산과 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 다음 표 1은 고장 종류에 따른 고장 전류값의 계산을 나타낸다.

표 1 고장 전류값의 수 계산
Table 1 Hand calculation of fault current

구분	수 계산 값
T-F 선간 단락 고장	$I_s = \frac{55\times1000}{2\times(0.7725+j5.474)+j20.1667} = 1823.6074[A]$
2선 지락 고장	상동
전차선 지락 고장	$I_s = \frac{27.5\times1000}{2\times(0.1932+j1.3687)+j5.0417+j0.45} = 3338.1888[A]$

다음 식 (1)은 모델링 검증을 위한 예로 전차선 지락 고장 전류의 계산식이다.

$$I_s = \frac{E}{2Z_1+Z_T+Z_{AT}+l\times Z_{Trolley}} = \frac{27.5\times1000}{2\times(0.1932+j1.3687)+j5.0417+j0.45} = 3338.1888[A] \quad (1)$$

여기서, I_S는 고장 전류, E는 전차선 전압, Z_1은 전원 임피던스, Z_T는 스코트 변압기 자기용량 기준 임피던스, Z_{AT}는 단권변압기 임피던스, l은 전차선로 길이, $Z_{Trolley}$는 전차선로 임피던스 값이다. 다음 그림 3은 모델링한 계통의 전차선 지락 고장 전류 파형 시뮬레이션 결과이다.

작은 오차가 존재하지만 위의 식 (1)과 같이 수 계산으로 계산된 값과 유사한 결과 값을 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통

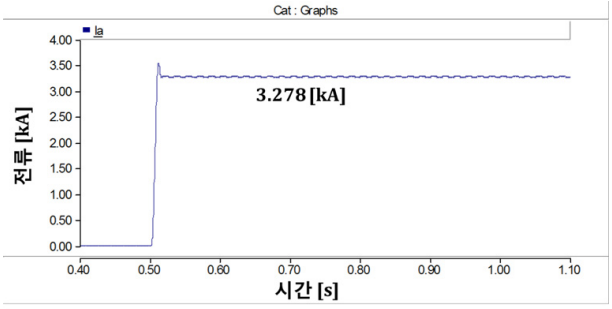

그림 3 고장 지점의 전차선 지락 고장 전류
Fig. 3 Trolley Ground fault current of Fault point

해 66kV 전원에 맞게 환산된 전원 임피던스, 변압기 자기용량 기준 임피던스, 전차선로 임피던스 값 등이 적절히 모델링 되었다는 것을 검증하였다.

3. 과전류 계전기 모델링

3.1 과전류 계전기 구성

그림 4는 스코트 변압기 1, 2차측 과전류 계전기의 결선도를 나타낸다[1].

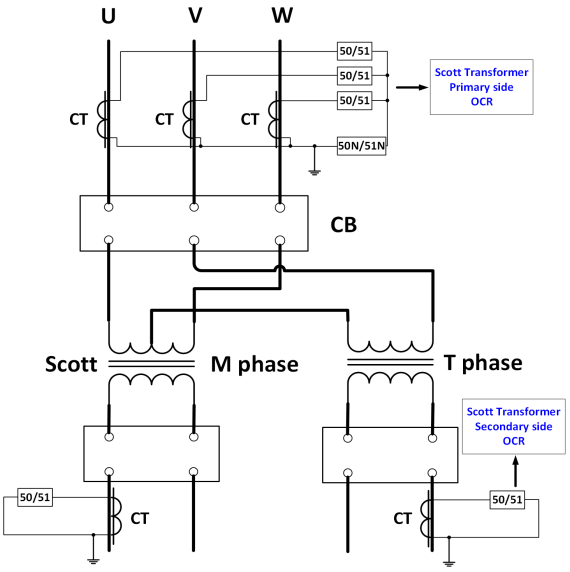

그림 4 A 변전소의 스코트 변압기 과전류 계전기 결선도
Fig. 4 Overcurrent relay wiring diagram of A substation Scott transformer

본 논문의 연구배경인 국내 A 변전소의 급전계통은 T상 단독 급전방식으로 M상은 사용하지 않는 단선 계통이다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 과전류 계전기 동작을 확인을 위해 스코트 변압기 T상 1, 2차측 OCR의 동작 특성을 확인하였다. 스코트 변압기 T상은 1차 측 V상과 연결되므로 V상의 CT로서 1차측 전류를 측정하고 3상을 일괄하여 정정하는 3상용 과전류 계전기를 적용하며, 2차 측은 단상용 과전류 계전기를 적용한다[1].

3.2 한시 계전기 모델링

그림 5는 PSCAD/EMTDC를 이용한 스코트 변압기 1, 2차측 한시 과전류 계전기를 모델링한 결과이다. T상 변압기 1차측 계전기의 입력전류는 V상에 흐르는 전류이고, 2차측 계전기의 입력전류는 T상 2차측으로 환산된 전류이다[1]. 입력된 전류가 정정값보다 큰 값을 가지게 되면 계전기 동작시간 이후에 1차, 2차측 차단기를 개방시킨다.

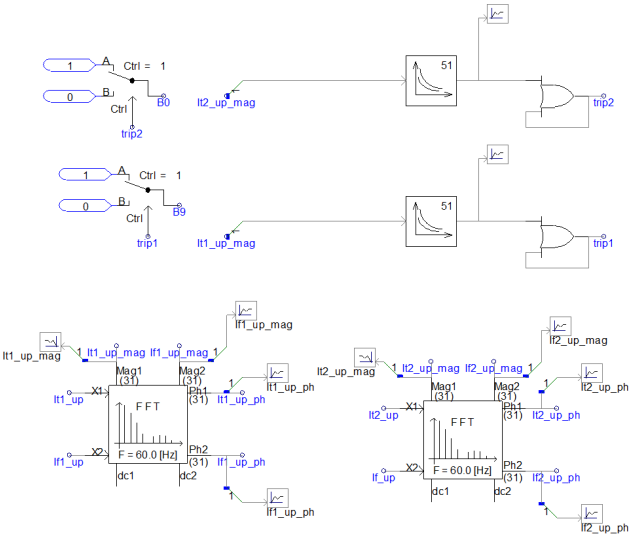

그림 5 PSCAD/EMTDC를 이용한 과전류 계전기 모델링
Fig. 5 Overcurrent relay modeling using PSCAD/EMTDC

AT 급전계통 스코트 변압기 보호용으로 과부하를 담당하는 계전기는 1차, 2차측 모두 한시 과전류 계전기가 담당한다[4]. 스코트 변압기 1차 측 한시 보호정정에 있어서 한국전력공사의 제한 조건과 철도 규정에서 정한 변압기 300% 과부하 내량을 만족시켜야 한다. 이를 위해 과부하 시 전류 레벨에서 조금 더 지연시간이 긴 초반한시 특성으로 하는 것이 유리하지만, 한국전력공사의 보호 협조와 관례에 따라 강반한시 특성으로 채택하였고, 2차 측 계전기는 일반 반한시 특성을 채택하여 모델링을 수행하였다[1, 4].

3.3 과전류 계전기 한시 정정

과부하 시 스코트 변압기 보호용으로 1차, 2차측 모두 한시 과전류 계전기가 주 보호를 담당한다. 1차측 한시 과전류 계전기는 강반한시 특성을 적용하고, 2차측 한시 과전류 계전기는 일반 반한시 특성을 적용하였다. 시간 정정을 위한 한시 과전류 계전기 동작 특성식과 계수는 IEC-60255-151 표준에 추천되고 있는 동작 시간 계산식을 참조하였다. 다음 식 (2)는 IEC 표준에서 추천하고 있는 계전기 동작 시간 계산식을 나타낸다[5].

$$t(G) = TMS \times [\frac{k}{(\frac{G}{G_s})^{\alpha} - 1}] + c \tag{2}$$

여기서, $t(G)$는 계전기의 동작 시간, G는 계전기에 흐르는 전류, G_s는 계전기 정정 전류를 나타내며, TMS (time multiplier setting)는 계전기 정정지침에 설명되어 있는 국내 동작 시간 규정 조건을 만족시키기 위해서 곱하여 주는 계수 값이다[5]. 표 2는 본 논문에서 적용한 반한시 정정 계수 값이다.

이 계통은 수전단 전압이 낮아 스코트 변압기 1차, 2차측 간 전압 차이가 크지 않기 때문에 전류의 차이 또한 크지 않다. 또

표 2 과전류 계전기 반한시(inverse) 정정 계수
Table 2 Inverse setting value of overcurrent relay

계수	일반 반한시	강반한시
c	0	0
k	0.14	13.5
α	0.02	1
TMS (time multiplier)	조건 부 계산	조건 부 계산

한 T상이 단독으로 두 선로를 부담하고 있으며, 각 선로에 동시에 차량이 존재할 시 과부하가 발생하게 된다. 이로 인해 스코트 변압기 2차측 뿐만 아니라 1차측의 전류 크기 또한 증가하게 되어 양측 모두 한시 계전기의 동작이 발생한다. 실제로 해당 지역은 이와 같이 과부하로 인한 계전기 동작이 빈번하게 발생하고 있기 때문에 과전류 계전기 정정치를 계통 상황에 맞게 산정하는 것이 중요하다. 식 (3)은 1차측 한시 전류 정정 값, 식 (4)는 2차측 정정 값을 나타낸다.

$$I_s = \frac{15000}{66} \times \frac{2}{\sqrt{3}} \times 2 \times K_1 \tag{3}$$

식 (3)에서 K_1은 스코트 변압기 1차측 OCR의 보정계수 값을 나타내고,

$$I_s = \frac{15000}{55} \times 1.75 \times K_2 \tag{4}$$

식 (4)에서 K_2는 2차 측 보정계수 값을 나타낸다. 다음 표 3은 본 논문에서 제시한 보정계수 값이다.

표 3 제안한 보정계수 값
Table 3 modification factor proposed in this paper

보정 계수	값
K_1	$\frac{7}{4}$
K_2	$\frac{12}{7}$

이 계통은 앞서 설명한 여러 제한 조건 때문에 과부하 시 흐르는 전차선 전류의 크기가 국내 다수의 급전계통에 비해 크다. 또한 스코트 변압기 용량이 작아 고장 전류의 크기는 크지 않다. 이로 인해 고장 시와 과부하 시 흐르는 전류의 크기 차이가 크지 않다. 따라서 고장 및 과부하 시를 구분하며 철도시설공단 지침에도 만족시키는 보정계수 값을 제시하였다[4].

4. PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션 검증

4.1 고장 모의 조건

과전류 계전기 모델링과 정정 값의 적절성을 검증하기 위해 고장 기간은 0초부터 3초까지 모의하였다. 본 논문에서는 제안한 정정 값에 따른 한시 과전류 계전기의 동작 특성을 분석하였다. 표 4는 스코트 변압기 2차측 고장 모의 조건을 나타낸다.

표 4 고장 시뮬레이션 조건
Table 4 Fault simulation conditions

구분	고장 조건	부하 위치
Case 1	T-F 선간 단락 고장	S/S-SSP
Case 2	2선 지락 고장	S/S-SSP
Case 3	전차선 지락 고장	S/S-SSP

시뮬레이션을 위한 차량 임피던스 값은 국내 철도차량 중 100MVA 급 용량의 차량 임피던스 값을 반영하였다[1]. 그림 6은 모의 구성도를 나타낸다.

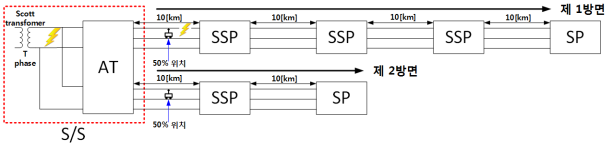

그림 6 고장 모의 구성도
Fig. 6 Block diagram for fault simulation

스코트 변압기 T상 2차측에 T-F 선간 단락 고장, 2선 지락 고장, S/S-SSP 사이에 전차선 지락 고장을 모의하였다. 상기의 고장 조건에 따라 모델링 된 스코트 변압기 1차, 2차측 과전류 계전기의 동작 특성을 분석하였다. 그림 7은 Case 1의 대한 결과 파형을 나타낸다.

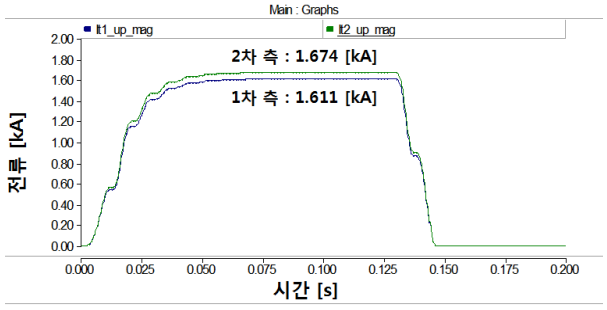

그림 7 T-F 선간 단락 고장 시 전차선 전류 (Case 1)
Fig. 7 Trolley current on T-F L to L fault (Case 1)

스코트 변압기 1차측 및 2차측의 전압이 66kV/55kV로 그 차이가 크지 않기 때문에 2차측 선간 단락 고장 시에도 전류 크기의 차이는 크지 않다. T-F선간 단락 고장 시 한시 과전류 계전기는 보호 협조를 통해 2차 측한시 계전기가 먼저 동작을 하고 1차측 한시 계전기가 순차적으로 동작하게 된다. 그림 8의 경우에는 2차 측한시 계전기가 먼저 동작을 하여 차단기가 개방되어 전류의 흐름이 차단되는 파형이다. 1차, 2차측 한시 계전기 동작 시간 정정은 국내 기준에 맞춰 수행하였다[1, 4]. 그림 8은 Case

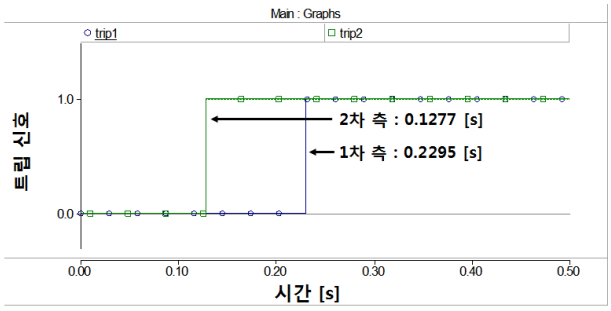

그림 9 2선 지락 고장 시 전차선 전류 (Case 2)
Fig. 9 Trolley current on two line ground fault (Case 2)

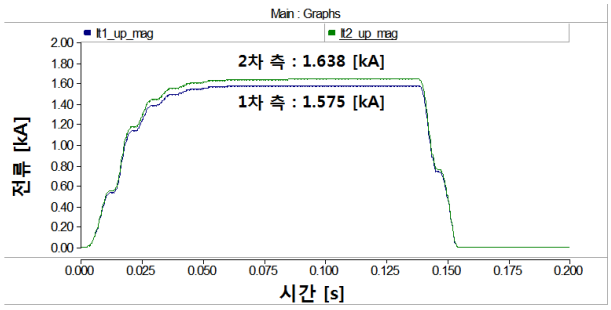

그림 10 전차선 지락 고장 시 전차선 전류 (Case 3)
Fig. 10 Trolley current on trolley ground fault (Case 3)

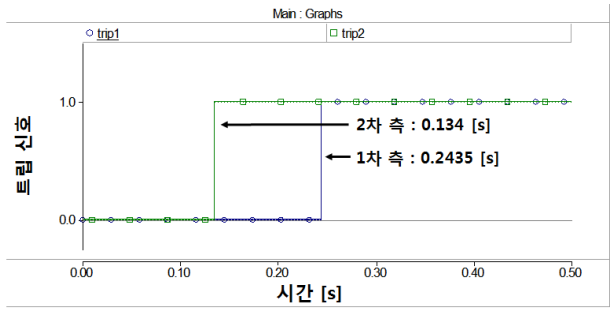

그림 11 전차선 지락 고장 시 계전기 트립 신호 (Case 3)
Fig. 11 Trip signal on Trolley line ground fault (Case 3)

1의 T-F 선간 단락 고장 시 한시 과전류 계전기의 트립 신호 파형이다.

AT 급전계통 특성상 스코트 변압기 2차측에서 2선 지락 고장을 모의하면 상기 표 1에서와 같이 Case 1과 동일한 결과를 나타낸다. Case 2의 경우에도 정정 전류와 계수 값에 의해 계산된 시간이 규정 조건에 부합하고, 계전기 트립 신호 또한 상기 그림 8과 같은 시간에 동작하는 것을 확인하였다. 다음 그림 10은 Case 3의 결과 파형을 나타낸다.

스코트 변압기 1차, 2차측 계전기로 입력되는 전류의 크기는 상기의 그림 10과 같이 각각 고장 모의 Case들 중 최소 고장전류 값을 가진다. 다음 그림 11은 Case 3의 전차선 지락 고장 시 트립 신호 파형을 나타내고 표 5는 Case 별 모의한 고장 조건에

표 5 고장 시뮬레이션 결과
Table 5 Fault simulation results

구분	고장 조건	부하 위치	계전기 동작	
			1차	2차
Case 1	T-F 선간 단락	S/S-SSP	○	○
Case 2	2선 지락	S/S-SSP	○	○
Case 3	전차선 지락	S/S-SSP	○	○

표 6 부하 시뮬레이션 조건
Table 6 Load simulation conditions

구분	전차 위치	차량 대수
Case 4	SSP-SP 75% (선로 말단)	1대
Case 5	SS-SSP 10% (변전소 인근)	1대
Case 6	SSP-SP 75% (선로 말단)	2대 (각 선로 1대)
Case 7	SSP-SP 10% (변전소 인근)	2대 (각 선로 1대)

따라 계전기 동작 결과를 나타낸다.

Case 1과 Case 2의 경우 동일한 시간에서 계전기의 동작이 발생하는 것을 확인하였고, Case 3의 경우에는선간 Case 1과 Case 2의 고장으로 인한 계전기 동작 시간보다 느리게 동작하는 것을 확인하였다.

전차선 지락 고장의 경우 계전기로 입력되는 고장전류 값은 전차선로에서 고장이 발생한 지점으로 흘러들어가는 전류를 스코트 변압기 1, 2차측으로 환산하여 계산하여야 한다. 전압 레벨을 고려하여 이를 환산하면, 상기 Case들 중 최소 고장전류 값을 가진다. 고장 모의를 통해 모델링 된 스코트 변압기 양측 한시 과전류 계전기가 상정한 고장들에 따라 모두 순차적으로 동작하는 것을 확인하였다.

4.2 부하 모의 조건

해당 A 변전소의 급전계통은 과전류로 인한 계전기 동작이 자주 발생한다. T상이 단독으로 양 선로의 부하를 동시에 부담하고 있는 것과 수전단 전압 또한 낮기 때문에 과전류가 흐르게 된다. 또한 철도차량의 위치에 따라 계산되는 임피던스 값이 달라지기 때문에 흐르는 부하전류의 크기도 다르다. 이러한 계통의 상황에 따라 부하조건을 모의하여 계전기 동작 특성을 확인하였다. 다음 표 6은 해당 계통의 부하 모의 조건을 나타낸다.

상기 표에서 Case 4, Case 6의 SSP-SP 구간 75% 지점은 AT 급전계통의 비선형적인 임피던스 특성에 따라 임피던스가 가장 크기 때문에 부하전류가 가장 작은 경우이다. 또한 Case 5, Case 7의 변전소 인근의 경우에 전차가 위치할 시 부하전류가 가장 큰 경우이다. 전류가 가장 큰 경우와 전류가 가장 작은 경우의 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 그림 12부터 15는 부하

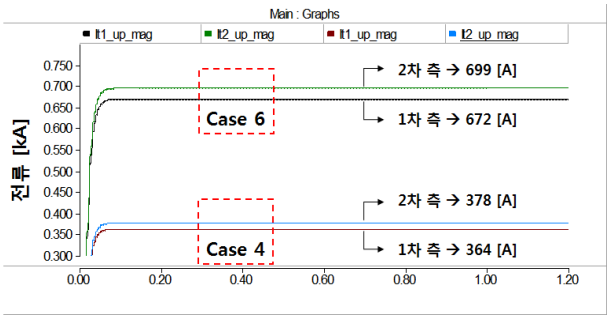

그림 12 Case 4와 Case 6의 전차선 전류
Fig. 12 Trolley current of Case 4 and Case 6

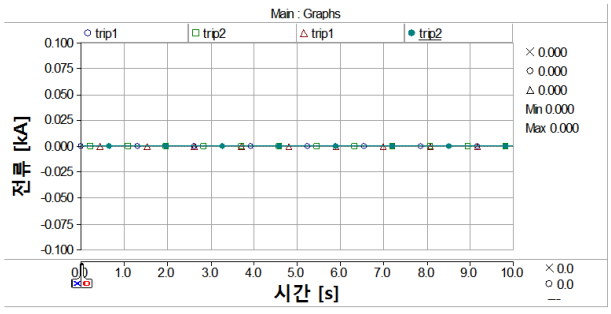

그림 13 Case 4와 Case 6의 계전기 트립 신호
Fig. 13 Relay trip signal of Case 4 and Case 6

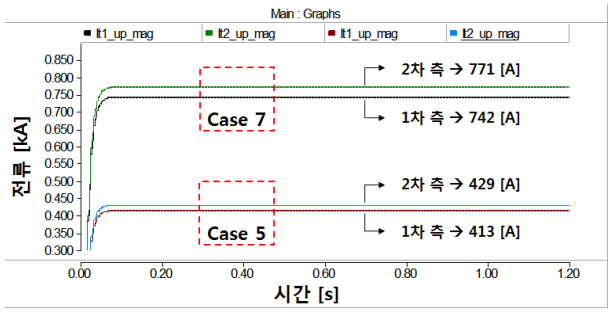

그림 14 Case 5와 Case 7의 전차선 전류
Fig. 14 Trolley current of Case 5 and Case 7

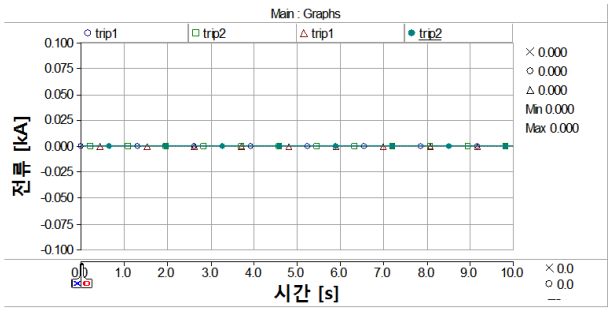

그림 15 Case 5와 Case 7의 계전기 트립 신호
Fig. 15 Relay trip signal of Case 5 and Case 7

모의 조건에 따른 시뮬레이션 결과이다.

Case 6과 Case 7과 같이 T상 변압기에 서로 다른 방면으로 향하는 두 선로의 부하를 담당하게 되면 Case 4와 Case 5와 같은 일반적인 단선 급전계통에 비해 과전류가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 과부하로 인해 전류가 상승하게 되면 한시 계전기의 정정범위가 줄어들게 되고 중복보호영역이 많아지기 때문에 외란 시 불필요한 차단기 동작이 많이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 해당 계통과 같은 과부하 상황에 계전기가 동작하지 않도록 정정 값을 산정하여 Case 별 동작을 확인하였다. 표 7은 모의 조건에 따른 계전기 동작 결과를 나타낸다.

표 7 부하 시뮬레이션 결과
Table 7 Load simulation results

구분	전차 위치	전류 값 [A]		계전기 동작	
		1차	2차	1차	2차
Case 4	SSP-SP 75%	364	378	X	X
Case 5	SS-SSP 10%	413	429	X	X
Case 6	SSP-SP 75%	672	699	X	X
Case 7	SSP-SP 10%	742	771	X	X

계전기로 입력되는 전차선 전류의 크기가 모델링 된 계전기의 정정 전류의 크기보다 작고 이에 따라 평시부하전류에 의해서는 계전기가 동작하지 않음을 시뮬레이션을 통해 확인하였고, 제시한 보정계수의 값이 적절함을 검증하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 A 변전소의 단선 AT 급전계통 모델링 및 과전류 계전기 모델링을 수행하였다. 낮은 수전단 전압과 T상 단독급전방식으로 병렬선로를 부담하고 있기 때문에 스코트 변압기 1차측 및 2차측에 과전류가 흐르게 된다. 또한 각 선로에 차량이 동시에 위치할 시 전차선 전류의 크기가 크게 증가하고 이에 따라 과전류 계전기가 동작한다. 본 논문에서는 이 같은 부하상태가 지속적이고 자주 발생하는 상황이기 때문에 이 계통의 상시 부하라고 판단하여 계전기의 정정치 및 보정계수를 A 변전소의 계통에 맞게 제시하였다. 이를 검증하기 위해 고장 조건과과 부하 조건에 따라 시뮬레이션을 통해 수행하였고 특성을 분석하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 하여 과전류 계전기 보호협조 곡선을 도출하기 위한 추가적인 연구를 진행 중에 있다.

References

[1] Jung Cheol Kim, Analysis of power supply system and understanding of the Korean electric railway, Kidari, 2008.
[2] Baik Kim, "Electric railway power engineering", Kidari, 2005.

[3] T.Uzuka, Akira Horiguchi, Takemi Akita, "New type of feeding transformer for AC railway traction system", International Conference on Power Electronics Systems, pp800-805, Nov. 2009.
[4] Korea Rail Network Authority, “Railway design guideline KR E-02090", 2013.
[5] IEC standards, "IEC standard 60255-151 Measuring relays and protection equipment", 2009.
[6] Korea Electric Power Corporation, “Relay setting guideline of consumer”, 2012.
[7] Dong Woog Choo, Jae Chul Kim, Yong Chul Jung, Yong Ju Jun, Seong Jeong Lim, "A study on modified algorithm to operating train simulation of AT feeding systems", The Korean Institute of Electrical Engineers, 2001.

저 자 소 개

김 현 동 (Hyun-Dong Kim)

1991년 01월 21일생. 2015년 강원대 전기전자공학부 졸업. 2015년~현재 성균관대 정보통신대학 석사과정
Tel : 031-299-4630
Fax : 031-299-4137
E-mail : khdkhd121@naver.com

조 규 정 (Gyu-Jung Cho)

1986년 12월 20일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 성균관대 정보통신대학 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정
Tel : 031-299-4630
Fax : 031-299-4137
E-mail : thug1220@naver.com

허 승 훈 (Seung-Hun Heo)

1989년 5월 12일생. 2015년 한밭대학교 전자공학과 졸업. 2015년~현재 성균관대 정보통신대학 석사과정
Tel : 031-299-4630
Fax : 031-299-4137
E-mail : yesok2323@naver.com

김 철 환 (Chul-Hwan Kim)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신대학 교수, 전력IT인력양성센터 센터장
Tel : 031-290-7124
Fax : 031-299-4137
E-mail : hmwkim@hanmail.net