

## PSCAD/EMTDC 를 이용한 직류전기철도 급전계통 모델링

### Modeling for power feeding system of DC electric railway using the PSCAD/EMTDC

정현기\*†

Hyun-Ki Jung\*†

**초 록** 직류전기철도는 DC 1,500V 전차선로 등 급전계통에서 단락 또는 지락사고 발생시 DC over current relay(76i)와 DC under voltage relay(mid-point relay, 80A)를 사용하는 계전 시스템으로 급전선로를 보호하거나, 또는 DC fault selective relay(50F)를 사용하여 보호하는 계전시스템을 주로 적용하고 있다. 본 논문은 이러한 직류전기철도에 적용하는 급전계통의 보호계전시스템에 대한 동작특성을 비교 분석하기 위해 전력계통 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC 를 이용하여 직류전기철도의 복선 급전계통을 모델링 하였으며, 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, DC fault selective relay(50F)를 적용하는 보호계전시스템의 유용성도 검증하였다.

**주요어** : 직류전기철도, 급전계통, 보호계전시스템, PSCAD/EMTDC, 80A, 50F

## 1. 서 론

직류전기철도로 건설된 도시철도에서는 DC 1,500V 전차선로 등의 급전계통에서 단락 또는 지락 사고가 발생할 경우, 전력시스템을 보호하기 위해서 예전에는 DC over current relay(76i) 와 DC under voltage relay(mid-point relay, 80A)를 사용하였으나, 근래에는 DC fault selective relay(50F)를 사용하여 보호하는 계전시스템을 적용하고 있다.

본 논문은 이러한 도시철도의 DC 1,500V 급전계통에 적용되고 있는 보호계전시스템에 대하여 신뢰성 확보 및 계통 안정화를 위하여 전력계통 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 직류전기철도의 급전계통을 모델링하고, 각 Case별로 단락전류 및 사고지점의 전압에 대한 시뮬레이션을 통해 보호계전시스템의 동작특성을 비교 분석하고, 나아가 DC fault selective relay(50F)를 적용하는 보호시스템의 유용성을 검증하고자 한다.

† 교신저자: 서울메트로 기술본부(hyunki@seoulmetro.co.kr)

\* 서울메트로 기술본부

## 2. 본 론

### 2.1 직류급전계통 모델링

직류급전 도시철도에서 사용하고 있는 50F(고장선택계전기)와 Midpoint Relay 80A(직류저전압계전기)의 동작특성 분석 및 검증을 위하여 전력계통 해석프로그램(PSCAD/EMTDC)을 이용하여 직류급전계통을 모델링 하였다.

여기서 직류급전계통은 전력사업자로부터 3상 22.9kV를 수전하여 도시철도 변전소에서  $\Delta$ - $\Delta$ ,  $\Delta$ -Y 변압기 결선을 통해 590[Vac]로 변전하고, 정류기로 정류하여 DC 1,500V(무부하시 1,620V)를 급전선로에 공급하는 것으로 복선계통을 모의하기 위해 변압기 용량은 10[MVA]로 설정하고 정류기는 실리콘 다이오드 정류기로 구성하였으며 급전선로는 상하행선의 복선 병렬 회로로 구성하였으며 전체 시스템 구성은 그림 1과 같다.

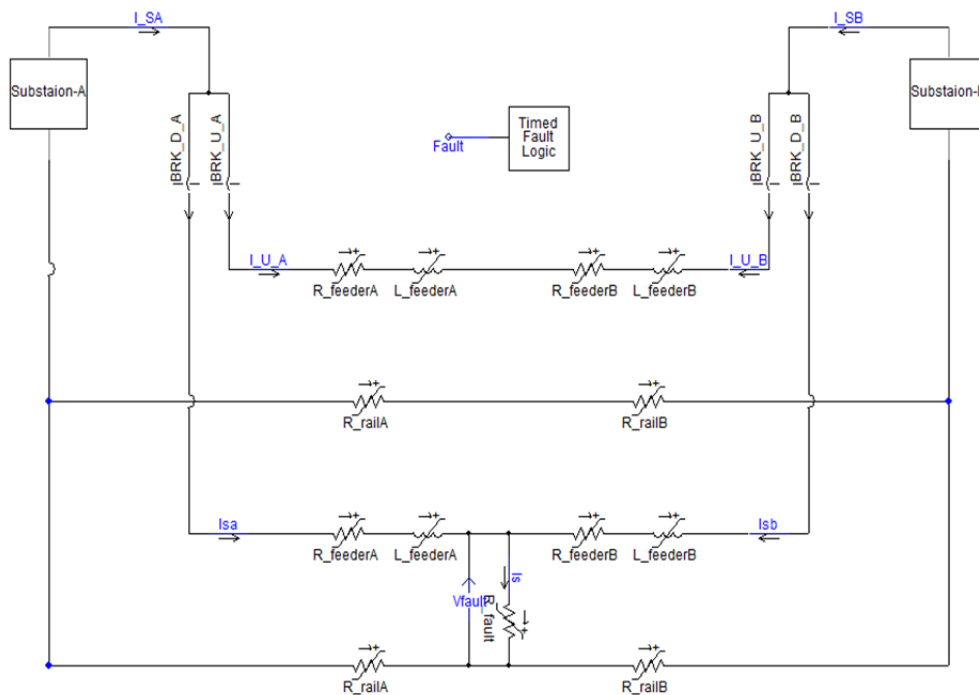


Fig. 1 Modeling for power feeding system of DC electric railway (double track)

### 2.2 단락 시뮬레이션

직류전기철도의 급전계통에서 단락사고가 발생하였을 경우, 50F와 80A의 동작 유무를 분석하기 위해 급전구간 중앙에서 급전선과 레일이 단락 되는 사고를 모의하였다. 실제 급전사고와 같은 상황을 모의하기 위해 변전소의 간격(L)과 고장저항( $R_f$ ) 값을 변경하여 다음과 같은 경우를 Case A, B로 정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

- 1) Case A : 변전소 간격(L = 4 km), 고장저항( $R_f = 0[\Omega], 0.1[\Omega]$ ) 일 경우
- 2) Case B : 변전소 간격(L = 5 km), 고장저항( $R_f = 0[\Omega], 0.1[\Omega]$ ) 일 경우

### 2.2.1 Case A 시뮬레이션 결과

변전소 간격이 4 km 일 경우로 모의하여 선로의 고장저항( $0[\Omega]$ ,  $0.1[\Omega]$ )을 변경하여 시뮬레이션 하였다. 단락사고는 0.2 초 시점에 발생시켰으며, 모의시험 결과, 각 Case 별 단락전류와 사고지점의 전압과형은 표 1 과 같다.

**Table 1** Simulation results of the short-circuit current and accidents voltage due to accident resistance change

Accident resistance ( $R_f$ )	Short-circuit current ( $I_s, I_{sa}, I_{sb}$ )	Accidents voltage ( $V_{fault}$ )
0 [ $\Omega$ ]		
0.1 [ $\Omega$ ]		

고장저항이 Zero 상태인 완전 단락사고( $R_f = 0[\Omega]$ )를 모의 시험한 결과, 변압기 및 정류기 용량, 변전소 내부 임피던스, 선로 및 레일 임피던스에 따라 총 단락전류  $I_s$ 는 13.75 [kA]이고 한 변전소에서 고장지점으로 흐르는 전류는 6.88 [kA]로 나타났다. 또한 완전 단락사고 시 사고지점의 전압은 매우 크게 발생하므로 80A 가 동작하기에 충분한 것으로 나타났다. 하지만 고장저항( $R_f$ )이 증가할수록 사고지점의 전압은 점점 낮게 발생하며, 80A 의 동작 값을 850[V]로 설정할 경우 고장저항이 0.1[ $\Omega$ ]보다 큰 단락사고 발생시에는 고장이 감지되지 않은 것으로 나타났다.

또한, 50F 의 동작을 유무를 확인하기 위해 50F 의 동작전류 값을 2 [kA],  $\Delta t$  값을 10 ms 로 설정하여  $\Delta I$  을 측정하였으며, 이 경우 고장 저항이 큰 단락사고의 경우에도 고장을 감지하는 것으로 나타났다. 표 2 는 사고저항의 변화에 따른  $\Delta I$  값과 사고지점의 전압을 나타내며, 그에 대한 50F 및 80A 의 동작여부를 나타낸다.

**Table 2** Simulation results & whether of the protection relay operation

Accident resistance ( $R_f$ )	Short-circuit current & Accidents voltage ( $I_{sc}$ , $V_{faut}$ )	Accident before	Accident after	Whether of the protection relay operation	
				50F (2kA)	80A (850V)
0 [ $\Omega$ ]	$I_{sc}$	0 [kA]	5.094 [kA]	○	
	$V_{faut}$	1820 [V]	138 [V]		○
0.1 [ $\Omega$ ]	$I_{sc}$	0 [kA]	3.317 [kA]	○	
	$V_{faut}$	1820 [V]	906 [V]		×

**2.2.2 Case B 시뮬레이션 결과**

변전소 간격이 5 km일 경우로 모의하여 고장저항(0[ $\Omega$ ], 0.1[ $\Omega$ ])을 변경하여 시뮬레이션을 수행하였다. 단락사고는 0.2초 시점에 발생시켰으며 시뮬레이션 결과, 각 Case별 단락전류 및 사고지점의 전압파형은 표 3과 같다.

**Table 3** Simulation results of the short-circuit current and accidents voltage due to accident resistance change

Accident resistance ( $R_f$ )	Short-circuit current ( $I_s$ , $I_{sa}$ , $I_{sb}$ )	Accidents voltage ( $V_{faut}$ )
0 [ $\Omega$ ]		
0.1 [ $\Omega$ ]		

고장저항이 Zero상태인 완전 단락사고( $R_f = 0[\Omega]$ )의 경우를 모의 시험한 결과, 변압기 및 정류기 용량, 변전소 내부 임피던스, 선로 및 레일 임피던스에 따라 총 단락전류  $I_s$ 는 13.75 [kA]이고, 한 변전소에서 고장지점으로 흐르는 전류는 6.88 [kA]로 나타났다. 또한 완전 단락

사고 시 사고지점의 전압은 매우 크게 발생하므로 80A가 동작하기에 충분한 것으로 나타났다. 하지만 고장저항( $R_f$ )이 증가할수록 사고지점(mid point)의 전압은 점점 낮게 발생하며, 80A의 동작 값을 850[V]로 설정할 경우 고장저항이 0.1[Ω]보다 큰 단락사고 발생시에는 고장이 감지되지 않은 것으로 나타났다.

또한, 50F의 동작을 유무를 확인하기 위해 50F의 동작전류 값을 2 [kA],  $\Delta t$  값을 10 ms로 설정하여  $\Delta I$ 을 측정하였으며, 이 경우 고장 저항이 큰 단락사고의 경우에도 고장을 감지하는 것으로 나타났다. 표 4는 사고저항의 변화에 따른  $\Delta I$  값과 사고지점 전압을 나타내며, 그에 따른 50F 및 80A의 동작여부를 나타낸다.

**Table 4** Simulation results & whether of the protection relay operation

Accident resistance ( $R_f$ )	Short-circuit current & Accidents voltage ( $I_{sc}$ , $V_{faul}$ )	Accident before	Accident after	Whether of the protection relay operation	
				50F (2kA)	80A (850V)
0 [Ω]	$I_{sc}$	0 [kA]	4.382 [kA]	○	
	$V_{faul}$	1820 [V]	130 [V]		○
0.1 [Ω]	$I_{sc}$	0 [kA]	3.193[kA]	○	
	$V_{faul}$	1820 [V]	863 [V]		×

### 3. 결론

본 연구에서는 직류전기철도의 급전계통인 DC 1,500V 전차선로 양단의 고장선택계전기 50F와 Midpoint Relay 80A의 동작특성을 비교하기 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 연구분석 고찰한 결과, 80A를 사용하는 경우는 고장저항 크기와 관계가 있어 고장저항이 적을(0~0.08[Ω]) 경우에는 동작하였으나 0.1[Ω]이상이면 동작하지 않는 것으로 나타났다.

그러나 50F(고장선택계전기)의 경우는 고장저항의 크기나 선로 길이가 변하더라도 고장발생 시점에서 약 0.01[sec] 지나면 고장전류의 크기가 50F 동작설정 값보다 크게 되어 동작하였다. 따라서 80A와 50F의 동작특성만으로 단순 비교하면 50F의 보호성능이 우수하다고 판단된다.

### 참고문헌

- (1) 정현기, 정종진, 안태풍 (2008) “지하철 직류보호계전시스템의 동작특성에 관한 연구” , 한국철도학회 학술대회논문집, pp 499-463
- (2) JR교본연구회 (2003) “급전회로 보호시스템”
- (3) Myung-Hwan Min, Ho-Sung Jung (2010) “A Study on the Real Time Measuring Technique of Return Current in the DC railway System” , 16<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering