

배전계통에서 리클로저-퓨즈 협조동작시 초전도한류기 적용에 의한 순간전압강하 분석에 관한 연구

Analysis of Bus Voltage Sag Caused by Recloser-Fuse Coordination in a Power Distribution System with SFCL

김명후¹, 김진석², 유일경¹, 왕순욱¹, 문종필⁴, 임성훈³, 김제철^{3,*}

Myoung-Hoo Kim¹, Jin-Seok Kim², Il-Kyoung You¹, Soon-Wook Wang¹,
Jong-Fil Moon⁴, Sung-Hun Lim³, Jae-Chul Kim^{3,*}

Abstract: This paper analyzed bus voltage sag caused by recloser-fuse coordination in a power distribution system with SFCL. Generally, the recloser is installed to upstream of fuse to clear against both permanent and temporary faults appropriately, when the fault happened and to block expansion of the fault area. Furthermore, when the fault occurred, bus voltage sag is caused by increased fault currents. However, in a power distribution system with SFCL, the fault current could be decreased by the effect of the impedance value of the SFCL and place to install one as long as it could improve bus voltage sag. Therefore, to analyze the effect of the improvement of bus voltage sag caused by recloser-fuse coordination in a power distribution system with SFCL, we used PSCAD/EMTDC about a permanent fault at the place behind the fuse.

Key Words: Recloser-Fuse coordination, voltage sag, power distribution system, superconducting fault current limiter.

1. 서 론

우리나라의 전력수요는 수도권을 중심으로 증가되는 특징을 보이고 있으며, 이러한 전력수요의 증가는 전력계통의 단락용량을 증가시키는 문제점을 안고 있다. 이것은 고장발생시 기존 보호기기의 단락용량을 초과하여 보호기기가 고장전류를 차단하지 못해, 고장범위 확대로 인한 피해가 커질 가능성이 있다[1]. 이러한 문제점에 대해, 증가된 고장전류를 차단할 수 있는 다양한 방법들이 연구 되어왔다. 그 방법으로는 기존의 보호설비들을 차단용량이 큰 기기로 교체하는 방법, 또

는 고임피던스 전력기기 및 한류기를 사용하여 차단기의 정격단락용량 이하로 고장전류를 저감 시키는 방법이 있다. 그러나 이런 기존 방안은 기기 교체로 인한 경제적인 부담과 평상시 전력손실로 인하여 전력공급의 신뢰성을 떨어뜨릴 가능성이 있다.

이러한 문제를 해결하고자 초전도한류기(SFCL)를 적용하는 방안이 연구되어 왔고, 실제계에 적용하기 위하여 많은 연구가 진행되었다[2,3]. 초전도한류기는 고장 전 상태, 즉 초전도 상태에서는 저항이 zero로 계통에 부담을 주지 않고, 고장발생시 수 [msec] 이내에 저항이 발생하여 고장전류를 신속하게 제한하는 특징을 갖고 있다. 또 다른 특징으로 초전도한류기 설치 위치에 따라 고장발생지역 인근선로의 순간전압강하가 개선되는 효과를 볼 수 있다[4]. 순간전압강하는 고장 발생시 배전계통에 설치된 재폐로 보호기기의 재폐로 동작에 의하여 발생하며, 보호기기의 동작순서에 따라 고장선로에서는 순간정전을 경험하게 된다. 특히 순간전압강하는 고장 선로뿐만 아니라 인근선로에 영향을 미쳐 수용가에 피해를 줄 수 있다.

따라서 본 논문에서는 고장발생시 순간전압강하가 초전도한류기의 다양한 조건에 따라서 개선되는 효과를 분석하였으며, 이를 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 보호기기(퓨즈, 리클로저), 모의 배전계통, 초전도한류기를 모델링하였다. 초전도 한류기 모델은 기 개발한 저항형 모델[5]을 사용했다.

2. 본 론

2.1. 보호기기 동작 특성

배전선로의 대표적인 보호기기중 리클로저는 재폐로 동작을 통하여 순간고장과 영구고장을 구분하여 고장을 제거하는 장치이다. 동작방법은 리클로저의 제어장치를 통하여 입력전류가 정정치보다 크면 미리 설정된 시간-전류 특성 곡선에 의하여 동작한다. 본 논문에서는 리클로저 제어 장치의 시간-전류 곡선 식 (1)을 이용하여 리클로저를 모델링 하였다.

$$T_{trip} = \left(\frac{A}{M^P - 1} + B \right) \times TD \tag{1}$$

$$M = \frac{I_{input}}{I_{pickup}}$$

¹학생회원 : 숭실대 공대 전기공학부 석사과정

²정 회 원 : 숭실대 공대 전기공학부 박사과정

³정 회 원 : 숭실대 공대 전기공학부 교수

⁴정 회 원 : 충주대 첨단산업대 전기공학과 교수

*교신저자 : jckim@ssu.ac.kr

원고접수 : 2009년 09월 24일

심사완료 : 2010년 03월 17일

게재확정 : 2010년 03월 17일

여기서, T_{trip} 는 제어장치의 입력전류에 대한 트립시간, TD는 레버, M은 입력전류/정정치의 비를 의미한다. 상수 A, B, P는 리클로저의 특성상수를 의미한다. 특성상수는 리클로저의 형태와 제조사 및 설치지역의 특징에 따라 다르며, 리클로저의 순시 및 지연 동작에 대한 동작변수를 갖는다. 그림 1은 리클로저의 동작파형을 보여준다. 리클로저의 설정된 동작순서는 2F1D로 설정하였으며, 여기서 2F는 2번의 순시동작을 의미하며, 1D는 1번의 지연동작을 의미한다. 순시동작은 5 [cycle] 이내, 지연동작은 순시동작 시간을 초과하여 동작한다. 또한 본 논문에서는 리클로저의 재폐로 시간을 순시동작 사이를 0.3초, 순시동작과 지연동작사이를 0.5초로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

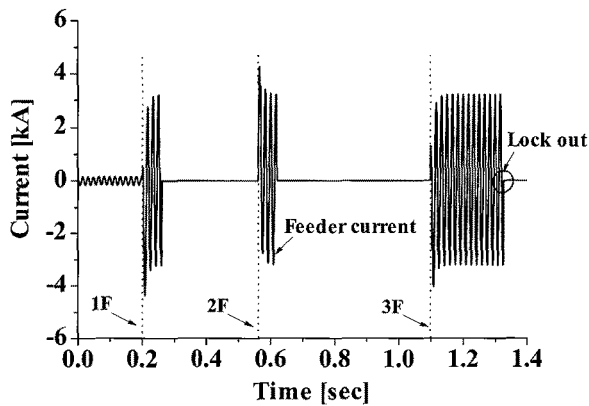


Fig. 1. Waveform of recloser's operation.

퓨즈는 고장발생시 전류의 I^2R 열에너지에 의해 용융되어 전류를 차단하는 동작특성을 갖고 있으며, 퓨즈의 정격은 퓨즈자체 물질의 특성에 따라 측정된 전류에 대해 용융되는 전류 값에 의해 결정된다. 표 1은 Fuse 140K의 정격을 나타낸다[6-7]. 본 논문에서는 표 1에 나타난 퓨즈의 정격에 대한 3개의 응용점을 이용하여 지수 보간법, 수식 (2)로 퓨즈의 시간-전류 특성 곡선(TCC)을 하였으며, 고장발생시 퓨즈가 TCC 곡선에 의하여 동작하도록 설정하였다[8].

$$T_{melting} = ke^{-mI} \quad (2)$$

여기서, $T_{melting}$ 는 입력 전류에 대한 용융시간, I는 입력전류, 그리고 상수 k, m은 특성상수를 의미한다. 특성상수는 퓨즈의 정격에 대한 변수이다.

Table 1. Rating of fuse.

TYPE	600초 용융전류	10초 용융전류	0.1초 용융전류
140 K	310 [A]	430 [A]	2470 [A]

2.2. 모의 배전계통 구성

그림 2는 본 논문에서 사용한 모의 배전계통 구성도를 나타낸다. 초전도한류기는 Case 1일 때 주변압기 2차측에 설치하였고, Case 2일 때는 피더 인출점에 설치하였다. 리클로저는 첫번째 피더 부하 중심점에 설치하였으며, 퓨즈는 첫번째 피더에서 분기된 500 [KVA]의 단상분기회로를 보호하도록 설치하였다. 고장은 퓨즈가 설치된 단상분기회로에서 모의하였고, 고

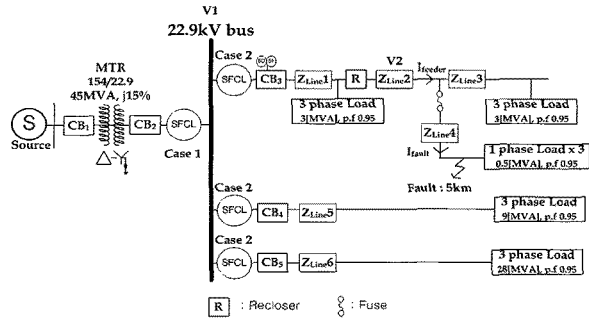


Fig. 2. Configuration of power distribution system.

Table 2. Data of distribution system.

구분	데이터 (Base 100 [MVA], 22.9 [kV])
전원	154 [kV], $j1.778 [\Omega]$
변압기	154/22.9 [kV], $j33.3 [\%]$
선로임피던스	ACSR 160[mm ²] : $3.86+j7.46 [\%/\text{km}]$ (정상)
	ACSR 160[mm ²] : $10.8+j23.6 [\%/\text{km}]$ (영상)
선로길이 ([km])	피더1 : Line1 = 4, Line2 = 0.5, Line3 = 3, Line4 = 0.5
	피더2 : Line5 = 8
	피더3 : Line6 = 5
부하용량	피더1 : 3 / 0.5 / 3 [MVA], p.f 0.95 lag
	피더2 : 9 [MVA], p.f 0.95 lag
	피더3 : 28 [MVA], p.f 0.95 lag

장거리는 주변압기로부터 5 [km] 지점에서 모의하였다. 또한 정확한 계통해석을 위해서 계통구성도와 함께 전원, 선로 임피던스 데이터가 필요하다. 표 2는 고장해석을 위한 모의 배전계통 데이터를 나타내며, 기존 154kV 변전소 및 배전 계통의 대표적인 계통정수를 나타내었다[9]. 여기서 부하용량 중, 피더 3의 부하는 일반적인 부하를 하나의 부하처럼 등가화 시켜 28 [MVA]로 나타내었으며, 기존 배전계통의 전압강하와 동일한 효과를 나타내기 위하여 이 선로의 임피던스를 1/3 이하로 감소시켰다[10].

2.3. 배전계통에서의 순간전압강하

배전계통의 순간전압강하 원인은 수용가 기기 문제, 예를 들면 모터 기동이나 커패시터 스위칭 등에 의해서도 발생되지만, 배전계통에 고장발생시 고장전류에 의한 순간전압강하를 경험하게 되는 것이 일반적이다. 또한 순간전압강하 발생시, 모선(bus)전압 크기는 그림 2에서, 변전소 윗단을 등가전원($V_{source}=1$ [p.u.])으로 가정하면, 모선 전압 V_{bus} 는 다음 식 (3)과 같다[11].

$$V_{bus} = \frac{Z_L}{Z_{source} + Z_{Tr} + Z_L} \cdot V_{source} \quad (3)$$

여기서, Z_{source} 는 전원 임피던스, Z_{Tr} 은 변압기 임피던스, Z_L 은 선로 임피던스이다. 사고 발생시 고장점으로 유입되는 고장전류의 증가로 인하여 모선 전압 V_{bus} 는 작아지게 된다. 고장선로의 수용가에서는 V_{bus} [V]부터 0 [V] 까지 다양한 순간전압강하를 경험하며, 인근선로 또한 수용가의 위치에 따라 다양한 순간전압강하를 경험하게 된다.

2.4. 리클로저-퓨즈 협조동작시 순간전압강하 분석

일반적으로 배전계통의 고장은 영구고장과 순간고장으로 구분할 수 있다. 우리나라 배전계통의 특징은 3상 4선식 다중접지 방식으로 순간고장이 전체고장의 70-80 [%]를 차지한다. 따라서 순간고장과 영구고장을 구분 제거 할 수 있는 리클로저를 설치하여 정전구간을 최소화 시킨다. 또한 리클로저가 설치되어있는 파더에 단상분기회로를 보호하는 퓨즈를 설치하여 단상분기회로에서 고장발생시, 고장구간에 대한 정전범위를 퓨즈 동작으로 인하여 좁힐 수 있게 된다.

따라서 본 논문에서는 리클로저-퓨즈 협조동작시 순간전압강하를 분석하기 위하여 퓨즈가 설치되어있는 단상분기회로에 영구고장을 모의하였다. 또한 리클로저와 퓨즈가 협조동작 후 고장이 제거되어 정상운전되도록 모의하였으며, 그 전압의 크기는 모선의 상전압을 측정하여 분석하였다. 리클로저-퓨즈 협조동작시 퓨즈는 리클로저의 순시동작(F)이 완료된 후, 지연동작(D)이 완료되기 전에 동작하도록 설정해야 한다. 그로 인한 순간전압강하는 리클로저의 동작설정에 따라 경험하는 횟수가 정해지고, 퓨즈와 협조동작을 통하여 순간정전을 경험 할 수 있으며, 만약 협조가 실패했을 때 영구정전을 경험하게 된다. 본 논문에서는 리클로저 동작을 2FID로 설정하였고, 고장발생시 리클로저-퓨즈 협조동작으로 고장이 제거되며 순간전압강하는 3번, 순간정전은 2번을 경험하게 된다[12].

그림 3은 그림 2의 Fault 지점에 1선 지락고장 발생시 리클로저-퓨즈 협조동작 파형을 보여준다. 퓨즈 TCC 곡선의 동작시점을 고장발생 순간부터 적용시키기 위하여 x축을 시간, y축을 전류로 설정하였으며, 고장시 퓨즈 TCC 곡선에 의해 동작하도록 설정하였다 [13]. 여기서 퓨즈는 리클로저의 2F 동작 완료 후, 1D 동작 중간 리클로저가 영구개방 (Lock-out)하기 전에 용융점(melting point)에서 퓨즈가 녹아 고장이 발생한 단상 분기회로를 차단하여, 그 후 정상적인 피더전류가 흐르는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 그림 3에서 리클로저-퓨즈 협조동작시 전압파형을 나타낸다. (a)는 모선의 전압파형, (b)는 고장선로의 전압파형을 나타낸다. 여기서, 모선전압은 22.9kV 모선(bus)전압을 나타내며(V1 지점, 그림2 참조, 이하 모선전압), 고장선로전압은 Line 2 지점의 전압(V2 지점, 그림 2 참조, 이하 고장선로전압)을 의미한다. 단상 분기회로에서 0.2초에 영구고장을 모의하여 리클로저-퓨즈 협조동작에 따른 순간전압강하를 분석하였다. 모선전압은 리클로저-퓨즈 협조동작 동안 정해진 동작순서(2F1D)에 의하여 3번의 순간전압강하를 경험하며, 고장선로는 3번의 순간전압강하와 2번의 순간정전을 경험한 후 퓨즈동작으로 고장이 제거되어 정

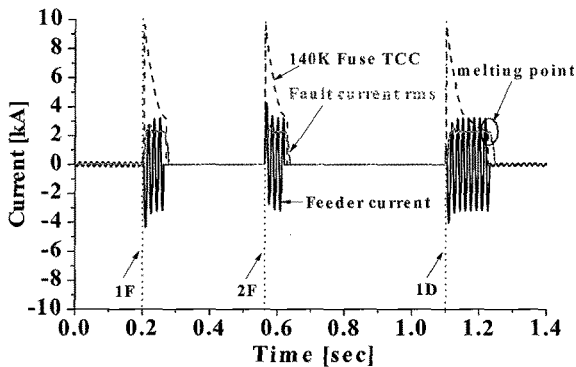


Fig. 3. Waveform of recloser-fuse operation.

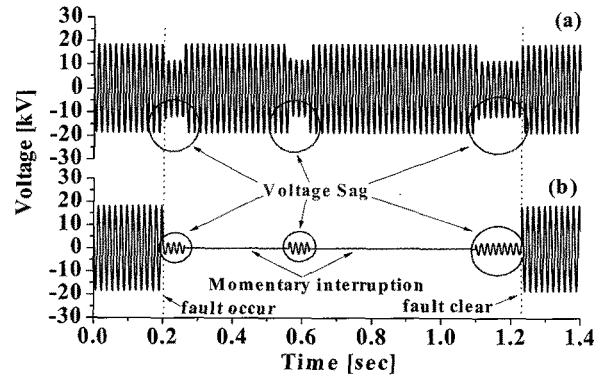


Fig. 4. Waveform of voltage for recloser-fuse operation. (a) bus voltage. (B) a fault feeder voltage.

상전압이 된 것을 나타낸다. 여기서 순간전압강하 발생 구간의 모선전압 크기는 0.63 [p.u.]이며, 고장선로의 전압 크기는 0.13 [p.u.]이다.

2.5. 초전도한류기 Case1 적용시 리클로저-퓨즈 협조동작에 따른 순간전압강하 분석

그림 5는 상전도 임피던스가 2 [Ω]인 저항형 초전도한류기를 Case 1, 주변압기 2차측에 적용시 리클로저-퓨즈 협조동작에 따른 순간전압강하 파형을 나타낸다. (a)는 모선의 전압파형, (b)는 고장선로의 전압파형을 나타낸다. 그림결과 2F 동작 완료 후 1D 동작 중간에 퓨즈가 동작하여 고장이 제거되어 정상전압이 흐르는 것을 나타낸다. 1D 동작시점을 기준으로 1D 동작 전에는 순간정전구간, 1D 동작 후에는 순간전압강하 구간, 그 후에는 퓨즈가 동작하여 정상적인 파형을 나타낸다. 순간전압강하 발생 구간의 모선전압 크기는 0.549 [p.u.]이며, 고장선로의 전압 크기는 0.113 [p.u.]이다. 초전도한류기를 적용하지 않은 그림 4와 비교해보면 모선의 순간전압강하는 0.081 [p.u.]만큼 더 발생했으며, 고장선로의 순간전압강하는 0.017 [p.u.]만큼 더 발생했다. 또한 저감된 고장전류에 의하여 순간전압강하 지속시간이 증가된 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 상전도 임피던스가 2 [Ω]인 유도형 초전도한류기를 Case 1, 주변압기 2차측에 적용시 리클로저-퓨즈 협조동작에 따른 순간전압강하 파형을 나타낸다. (a)는 모선의 전압파형, (b)는 고장선로의 전압파형을 나타낸다.

그림 5와 마찬가지로 1D 동작시점을 기준으로 1D 동작 전에는 순간정전 구간, 1D 동작 후에는 순간전압

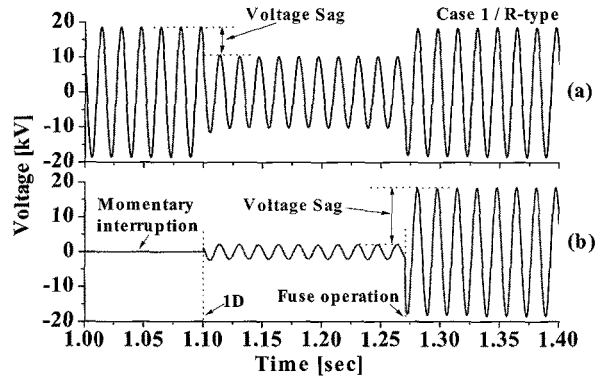


Fig. 5. Waveform of voltage for recloser-fuse operation with R-type SFCL in case 1.

(a) bus voltage. (B) a fault feeder voltage.

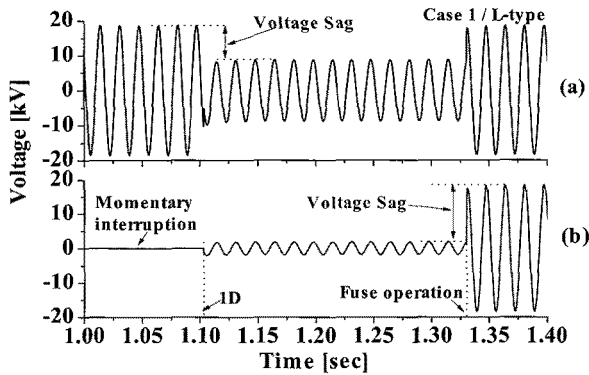


Fig. 6. Waveform of voltage for recloser-fuse operation with L-type SFCL in case 1.

강하 구간, 그 후에는 퓨즈가 동작하여 정상적인 파형을 나타낸다. 순간전압강하 발생 구간의 모선전압 크기는 0.472 [p.u.]이며, 고장선로의 전압 크기는 0.097 [p.u.]이다. 초전도한류기를 적용하지 않은 그림 4와 비교해보면 모선의 순간전압강하는 0.158 [p.u.] 만큼 더 증가했으며, 고장선로의 순간전압강하는 0.033 [p.u.] 더 증가한 것을 나타낸다. 또한 저항형 초전도한류기를 적용한 그림 5와 비교해 보면 모선의 순간전압강하 크기는 0.077 [p.u.] 만큼 증가, 고장선로의 순간전압강하 크기는 0.016 [p.u.] 만큼 증가한 것을 나타낸다.

2.6. 초전도한류기 Case 2 적용시 리클로저-퓨즈 협조 동작에 따른 순간전압강하 분석

그림 7은 상전도 임피던스가 2 [Ω]인 저항형 초전도한류기를 Case 2, 피더 인출점에 적용시 리클로저-퓨즈 협조동작에 따른 순간전압강하 파형을 나타낸다. (a)는 모선의 전압파형, (b)는 고장선로의 전압파형을 나타낸다.

이 그림은 리클로저의 2F 동작 완료 후 1D 동작 중간에 퓨즈가 동작하여 정상전압이 흐르는 것을 나타내며, 1D 동작시점을 기준으로 1D 동작 전에는 순간정전구간, 1D 동작 후에는 순간전압강하 구간, 그 후에는 퓨즈가 동작하여 정상적인 파형을 나타낸다. 순간전압강하 발생 구간의 모선전압 크기는 0.74 [p.u.]이며, 고장선로의 전압 크기는 0.113 [p.u.]이다. 초전도한류기를 적용하지 않은 그림 4와 비교해보면 모선의 순간전압강하는 0.11 [p.u.]만큼 적게 발생했으며, 고장선로의

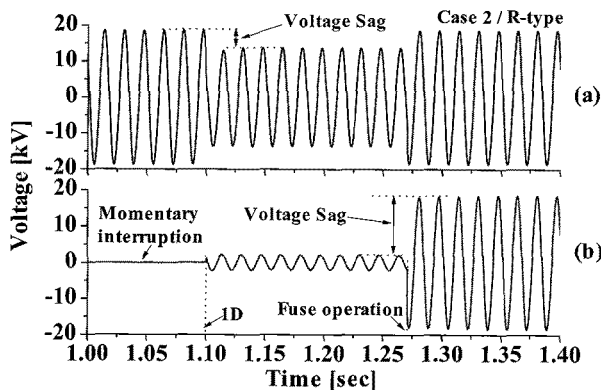


Fig. 7. Waveform of voltage for recloser-fuse operation with R-type SFCL in case 2. (a) bus voltage. (B) a fault feeder voltage.

순간전압강하는 0.017 [p.u.]만큼 더 발생했다.

그림 8은 상전도 임피던스가 2 [Ω]인 유도형 초전도한류기를 Case 2, 피더 인출점에 적용시 리클로저-퓨즈 동작에 따른 순간전압강하 파형을 나타낸다. (a)는 모선의 전압파형, (b)는 고장선로의 전압파형을 나타낸다.

여기서 리클로저의 2F 동작 완료 후 1D 동작 중간에 퓨즈가 동작하여 정상전압이 흐르는 것을 나타내며, 1D 동작시작을 기준으로 1D 동작 전에는 순간정전 구간, 1D 동작 후에는 순간전압강하 구간, 그 후에는 퓨즈가 동작하여 정상적인 파형을 나타낸다. 모선전압 크기는 0.718 [p.u.]이며, 고장선로의 전압 크기는 0.097 [p.u.]이다. 초전도한류기를 적용하지 않은 그림 4와 비교해보면 모선의 순간전압강하는 0.088 [p.u.]만큼 적게 발생하였으며, 고장선로의 순간전압강하는 0.033 [p.u.]만큼 더 발생했다.

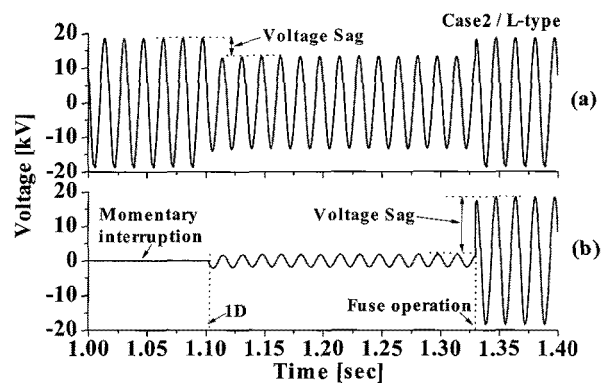


Fig. 8. Waveform of voltage for recloser-fuse operation with L-type SFCL in case 2. (a) bus voltage. (B) a fault feeder voltage.

2.7. 결과 및 분석

그림 9는 초전도한류기의 형태 및 적용위치, 임피던스 크기를 각각 구분하여 적용시 리클로저-퓨즈 협조동작에 따른 순간전압강하 발생 구간의 모선전압 크기를 나타낸다.

여기서, 순간전압강하 개선효과를 초전도한류기 위치별로 구분해보면, 초전도한류기를 Case 2, 즉 피더 인출점에 적용시 순간전압강하 개선효과가 가장 크게 나타났으며, 초전도한류기 형태별로 구분하면 저항형 초전도한류기가 순간전압강하의 개선효과가 큰 것으로

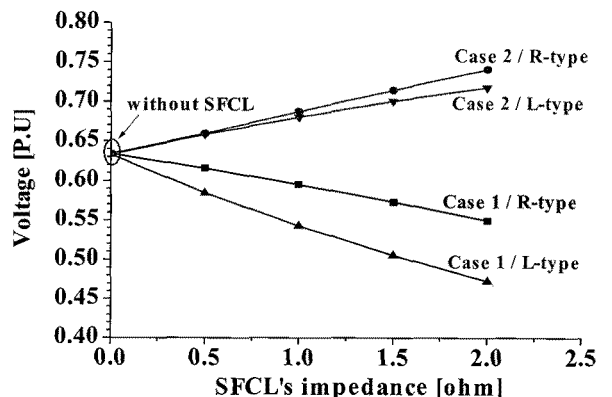


Fig. 9. Voltage sag for recloser-fuse operation with SFCL of R, L-type in case 1, 2 at bus.

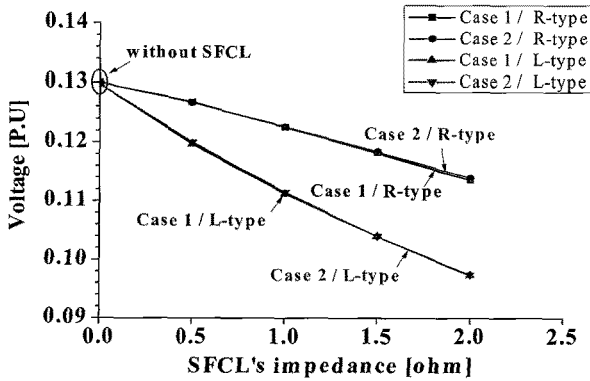


Fig. 10. Voltage sag for recloser-fuse operation with SFCL of R, L-type in case 1, 2 at fault feeder.

나타난다.

그림 10은 그림 9와 마찬가지로 초전도한류기의 형태 및 적용위치, 임피던스 크기를 각각 구분하여 순간전압강하 발생 구간의 고장 선로전압 크기를 나타내었다.

고장선로의 순간전압강하 크기는 초전도한류기를 적용하면 더 증가하며, 초전도한류기 형태별로는 유도형 초전도한류기 적용시 순간전압강하가 더 크게 나타났다.

표 3은 초전도한류기의 임피던스 2[Ω]을 적용하였을 때, 그림 9와 그림 10의 결과를 표로 정리하여 나타내었다.

Table 3. The result of voltage sag analysis with SFCL 2 [Ω] of R, L-type.

SFCL 2 [Ω]	Case 1		Case 2		without SFCL	
	Voltage [P.U.]		Voltage [P.U.]		Voltage [P.U.]	
	22.9kV bus(V1)	fault feeder(V2)	22.9kV bus(V1)	fault feeder(V2)	22.9kV bus(V1)	fault feeder(V2)
R type	0.549	0.113	0.740	0.113	0.630	0.130
L type	0.472	0.097	0.718	0.097		

3. 결 론

본 논문에서는 배전계통에 초전도한류기 적용시 리클로저-퓨즈 협조 동작에 따른 순간전압강하를 분석하였다.

초전도한류기를 적용하기 전의 순간전압강하 크기를 기준으로 초전도한류기를 각각 위치별, 형태별, 상전도 임피던스 크기별로 구분하여 분석하였다. 우선 초전도한류기 적용 위치별로 구분하여 주변압기(MTR) 2차측과 피더 인출점에 설치 했을때를 비교해 보면, 피더 인출점에 설치시 순간전압강하 개선효과가 가장 크게 나타났다. 초전도한류기를 형태별로 구분하면, 유도형보다 저항형이 순간전압강하 개선에 더 효과적이며, 상전도 임피던스 크기별로 구분하면, 초전도한류기의 상전도 임피던스 크기가 클수록 순간전압강하 개선 효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 상전도 임피던스가 큰 초전도한류기를 적용할수록 순간전압강하 지속시간이 더 길어짐을 확인할 수 있다.

이상을 정리하면 상전도 임피던스가 가능한 큰 저항형 초전도한류기를 피더 인출점에 설치시, 순간전압강하를 가장 크게 개선시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 김준환, 이광완, "전력계통, 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, pp. 19-31, 1998.
- [2] B. W. Lee, J. Sim, K. B. Park, I. S. Oh, S. W. Yim, H. R. Kim, O. B. Hyun, "Fabrication and Tests of the 24kV class Hybrid Superconduction Fault Current Limiter", Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, vol. 9, no. 4, pp. 32-36, 2007.
- [3] W. Paul and M. chen, "Superconducting control for surge currents", IEEE Spectrum, vol. 35, pp. 49-54, 1998.
- [4] 문종필, 임성훈, 김재철, 김진석, 김명후, 유일경, "배전계통에 초전도한류기 적용시 전압 Sag 분석", 2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 262-263, 2009.
- [5] 안재민, 김진석, 문종필, 임성훈, 김재철, 김철환, 현옥배, "배전계통에 초전도 전류 제한기 적용시 보호 협조 분석", 대한전기학회, vol. 57, no. 5, pp. 755-760, 2008.
- [6] Cooper Industries, "Electrical Distribution-System Protection 3rd ed.", Cooper Power System, 1990.
- [7] 한진표준규격, "Fuse links for cut out switch", 2006.
- [8] 김명후, 김진석, 유일경, 문종필, 임성훈, 김재철, "배전계통에 초전도전류제한기 적용시 Recloser-Fuse 협조 방법에 관한 연구", 대한전기학회, vol. 58, no. 10, pp. 1835-1841, 2009.
- [9] 한국전력공사, "배전보호기술서", 1995.
- [10] 김진석, 임성훈, 문종필, 김재철, 현옥배, "MTR 성점 접지에 초전도 전류제한기 적용시 지락과 전류계전기 동작 분석", 대한전기학회, vol. 58, no. 11, pp. 2089-2094, 2008.
- [11] 이희태, 문종필, 설규환, 윤상운, 김재철, "영구정전과 순간전압강하를 고려한 신뢰도 비용 평가" 한국조명·전기설비학회논문지, vol. 22, no. 5, pp. 13-20, 2008.
- [12] 임성정, 김재철, "배전시스템에서의 재폐로에 의한 수용가측 영향의 정량적 평가", 한국조명·전기설비학회논문지, vol. 12, no. 2, pp. 7-14, 1998.
- [13] 김명후, 김진석, 유일경, 문종필, 임성훈, 김재철, "배전계통에 초전도한류기 적용시 Recloser-Fuse 협조 방법", 2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 8-9, 2009.

저 자 소 개



김명후(金明厚)
1982년 6월 5일생, 2009년 안양대 공대 전기전자공학과 졸업, 2009년~현재 숭실대 대학원 전기공학과 석사과정.



김진석(金辰碩)
1983년 1월 26일생, 2007년 서울산업대 전기공학과 졸업, 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2009년~현재 동대 대학원 전기공학과 박사과정.



류일경(柳一慶)
1983년 2월 26일생, 2009년 숭실대 전기공학부 졸업, 2009년~현재 동대 대학원 전기공학과 석사과정.



왕순욱(王淳昱)
1987년 2월 1일생, 2010년 숭실대 전기공학부 졸업, 2010년~현재 동대 대학원 전기공학과 석사과정.



문종필(文鍾必)
1977년 5월 27일생, 2000년 숭실대 전기공학과 졸업, 2007년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공박), 2008년~2009년 숭실대 전기공학부 전임강사, 2009년~현재 충주대 전기공학과 전임강사.



임성훈(林成勳)
1973년 11월 1일생, 1996년 전북대 전기공학과 졸업, 2003년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공박), 2006년~현재 숭실대 전기공학과 교수.



김재철(金載哲)
1955년 7월 22일생, 1979년 숭실대 전기공학과 졸업, 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1987년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공박), 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수.