

소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기 적용시 리클로저-퓨즈 협조 분석

논 문
59-3-3

Analysis on Recloser-Fuse Coordination in a Power Distribution System linked Small Scale Cogeneration System with Superconducting Fault Current Limiter

김명후* · 김진석** · 문종필*** · 임성훈§ · 김재철† · 이준규§§
(Myoung-Hoo Kim · Jin-Seok Kim · Jong-Fil Moon · Sung-Hun Lim ·
Jae-Chul Kim · Joon-Kyu Lee)

Abstract - This paper analyzed that the coordination of recloser-fuse when a superconducting fault current limiter (SFCL) is installed to a power distribution system linked small scale cogeneration system. As a rule, the recloser to properly protect against both permanent and temporary fault is installed to upstream of fuse. Therefore, in a power distribution system linked small scale cogeneration system, the fault current is increased by adding fault current of small scale Cogeneration system when a permanent fault occurs, and the fuse could melt during the first fast operation of the recloser because of more sufficient heat from the increased current. However, when SFCLs are applied into a power distribution system linked small scale cogeneration system, the coordination of recloser-fuse could be accomplished due to decreased fault current as the effect of the impedance value of the SFCL. Therefore, to solve these problems, we analysed the operation of recloser-fuse coordination in a power distribution system linked small scale cogeneration system with SFCL using PSCAD/EMTDC.

Key Words : Cogeneration, Recloser-Fuse coordination, Superconducting fault current limiter, Power distribution system

1. 서 론

현재 전력수요는 지역적 특성상 산업이 발전함에 따라 제약된 공간에서 수용가의 증가, 그에 따라 전력수요가 밀집되어 증가되는 특징을 보이고 있다. 이로인한 분산형 전원을 통한 전력공급의 요구가 증대되고 있는 실정이다. 이와 더불어 다양한 분산형 전원 중, 특히 CO₂ 저감에 대한 관심으로 청정연료인 천연가스를 이용한 열병합발전 시스템은 전기와 열을 동시에 활용함으로써 에너지효율이 높을 뿐만 아니라 대규모 발전소 설치에 따른 공사기간의 장기화, 막대한 자금, 환경적 문제를 해결하고 에너지 수요변화에 따른 대처 속도가 빠르고 계절별 가스 및 전기의 수급불균형을 완화할 수 있기 때문에, 전 세계적으로 발전용량을 확대하는 추세이다. 이러한 추세는 우리나라에도 영향을 미쳐 2012년 700 [MW], 2017년 2700 [MW] 보급 확대 예정이다[1]. 그러나 이러한 분산형 전원의 연계가 증가되면서 고장발생시 고장 전류가 증가하는 문제점을 안고 있다. 또한 이것은 기존의 보호기기들의 차단용량을 초과하여 더 큰 사고를 야기 시킬

수 있다. 그에 따라 기존의 전력설비 및 보호설비들을 대응량 기기로 교체해야 하나 이것은 경제적인 부담이 크며, 고임피던스 전력기기 및 기존 한류기는 전력손실의 증가 및 전력공급의 신뢰성을 떨어뜨릴 가능성이 높다[2-3].

이러한 문제에 대해 제시된 대안으로 초전도 전류제한기(SFCL)를 적용하는 방안이 연구되어 왔고, 이것은 전력설비 및 차단기 전체를 교체하는 비용보다 경제적이고 효율적이다. 이러한 초전도 전류제한기의 특징은 고장 전의 상태, 즉 초전도 상태에서는 영 저항으로 계통에 부담을 주지 않고, 고장이 발생하면 저항이 발생하여 고장전류를 제한하는 특징을 갖고 있다. 그러나 저감된 고장전류가 보호기기의 정정범위를 하회하여 보호협조 문제를 일으킬 가능성이 있다[4-6].

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 분석하기 위하여 소형 열병합발전 시스템, 초전도 전류제한기, 리클로저와 퓨즈, 배전계통을 모델링하였다. 또한 배전계통에 소형 열병합발전 시스템 연계 전·후에 대하여 발생 가능한 리클로저와 퓨즈의 보호협조 문제를 분석하였으며, 초전도 전류제한기 적용시 보호협조 방법을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분석하였다.

2. 보호기기 모델링

2.1 리클로저(Recloser) 모델링

리클로저는 배전계통의 대표적인 보호기기로서 순간고장과 영구고장을 구분하여 고장을 제거하는 자동 재폐로 장치

* 준 회원 : 숭실대 공대 전기공학부 석사과정
** 정 회원 : 숭실대 공대 전기공학부 박사과정
*** 정 회원 : 충주대 첨단산업대 전기공학과 교수 · 공박
§ 정 회원 : 숭실대 공대 전기공학부 교수 · 공박
§§ 정 회원 : SH공사 환경에너지사업단장
† 교신저자, 펠로우회원 : 숭실대 공대 전기공학부 교수 · 공박
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
접수일자 : 2009년 11월 16일
최종완료 : 2010년 1월 29일

이다. 리클로저의 동작은 고장 발생시 과전류 계전기를 통하여 입력전류가 정정치보다 크면 미리 설정된 시간-전류 특성 곡선에 의하여 동작한다. 본 논문에서 설정된 동작 순서는 2Fast-1Delay (2F1D)로 설정하였다. 여기서 2F는 2번의 순시동작, 1D는 1번의 지연동작을 의미한다. 순시는 3~5 [cycle], 지연은 10~15 [cycle] 내에 차단(trip)동작을 한다. 본 논문에서는 리클로저의 재폐로 시간을 순시동작 사이 0.3 [sec], 순시와 지연 동작사이 0.5 [sec]로 설정하였다.

2.2 퓨즈(Fuse) 모델링

퓨즈는 고장 발생시 고장전류의 열에너지에 의해 용융되어, 고장전류를 차단하는 동작특성을 갖고 있으며, 퓨즈의 정격은 퓨즈 소자(element) 특성에 따라 용융되는 전류 값에 의해 결정된다. 표 1은 퓨즈 100K, 140K의 정격을 나타낸다[7-8]. 본 논문에서는 표 1에 나타난 퓨즈의 정격에 대해 지수 보간법을 이용하여 퓨즈의 시간-전류 특성곡선(TCC)을 모델링 하였으며, 그림 1과 같이 나타내었다. 또한 퓨즈 동작은 고장 발생시 퓨즈가 TCC 곡선에 의하여 동작하도록 설정하였다.

표 1 Fuse의 정격

Table 1 Rating of fuse

TYPE	300/600초 용융전류	10초 용융전류	0.1초 용융전류
100 K	310 [A]	430 [A]	2,470 [A]
140 K	255 [A]	344 [A]	1,995 [A]

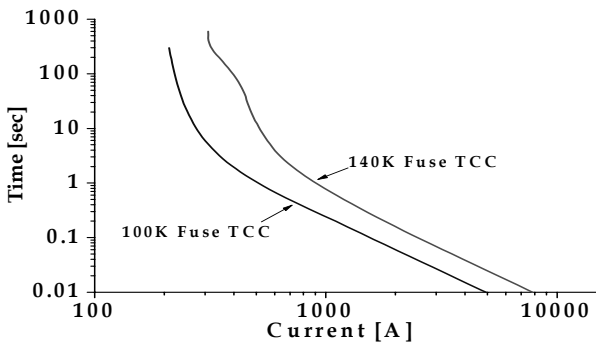


그림 1 Fuse 시간-전류 특성 곡선

Fig. 1 Time-current characteristics curve of fuse

3. 배전계통의 리클로저-퓨즈 협조

3.1 배전계통의 구성

그림 2는 초전도 전류제한기 적용시 리클로저-퓨즈 협조 분석을 위한 모의 배전계통을 나타낸다. 본 논문에서는 초전도 전류제한기를 주변압기(MTR) 2차측에 설치하였으며, 변압기보호를 위한 차단기와 각 피더를 보호하기 위해 피더 인출점마다 차단기를 설치하였다. 리클로저는 첫번째 피더

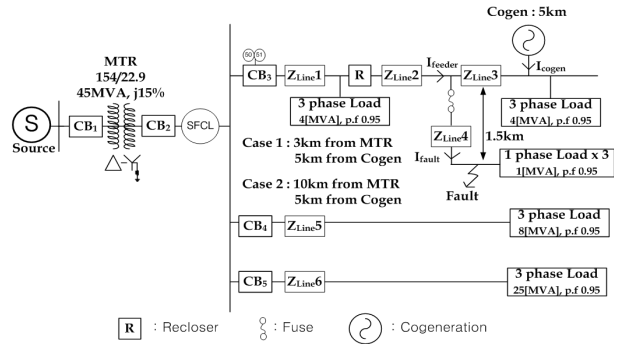


그림 2 배전계통 구성

Fig. 2 Configuration of power distribution system

부하중심점에 설치하였으며, 퓨즈는 첫번째 피더에서 분기된 1 [MVA]의 단상분기회로를 보호하도록 설치하였다. 단상분기회로에 설치된 퓨즈의 정격은 고장전류와 단상분기회로의 부하전류, 리클로저와의 협조동작을 고려하여 선정하였다[9]. 또한 소형 열병합발전 시스템은 첫번째 피더의 5 [km] 지점에 설치하였다. 고장은 1선 지락고장으로 퓨즈가 설치된 단상 분기회로에서 모의하였고, 단상 분기지점부터 고장지점의 거리는 고정하고 피더와 분기점 사이의 거리를 조절하여 소형 열병합발전 시스템의 전·후 3.5 [km]의 두 지점에 대하여 Case1, Case2의 고장을 모의하여, 리클로저-퓨즈 협조관계를 분석 하였다.

표 2는 모의 배전계통에 사용된 데이터를 나타낸다.

표 2 배전계통 데이터

Table 2 Data of distribution system

구분	데이터 (Base 100 [MVA], 22.9 [kV])
전원	154 [kV], j1.778 [%]
변압기	154/22.9 [kV], j33 [%]
선로임피던스 (ACSR 160[mm ²])	3.86+j7.42 [%/km] (정상)
	9.87+j22.68 [%/km] (영상)
부하	피더1 : 3ø 8 [MVA], p.f 0.95 lag 1ø 1 [MVA], p.f 0.95 lag
	피더2 : 3ø 8 [MVA], p.f 0.95 lag
	피더3 : 3ø 28 [MVA], p.f 0.95 lag

3.2 리클로저-퓨즈 협조

리클로저-퓨즈 협조시 퓨즈는 리클로저의 설정되어있는 모든 순시동작(F) 완료 후 첫번째 지연동작(D)이 완료되기 전에 동작하도록 설정해야한다. 본 논문에서는 리클로저 동작을 2F1D로 설정하였으며, 퓨즈는 2F동작 완료 후 1D동작 중간에 동작하도록 설정하였다. 여기서 퓨즈는 퓨즈가 설치된 곳의 고장전류와 다른 보호기기와의 협조관계를 바탕으로 Case1, 2의 설치된 퓨즈정격을 달리 적용하였다.

그림 3은 그림 2의 Case 1 지점에 고장발생시 리클로저와 퓨즈의 동작과형을 나타낸다. Case 1 일 때 퓨즈는 140K를 적용하였으며 (a)는 리클로저-퓨즈 협조과형, (b)는 퓨즈가 설치되어있는 단상분기점의 전압과형을 나타낸다.

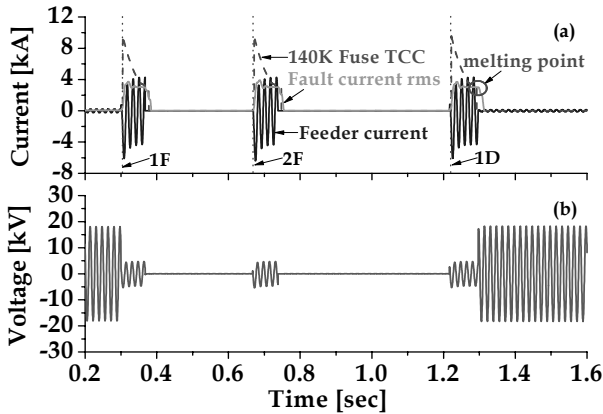


그림 3 Case 1 고장시
 (a) 리클로저-퓨즈(140K) 동작 파형
 (b) 전압 파형
 Fig. 3 Fault for Case 1
 (a) Waveform of recloser-fuse operation
 (b) Waveform of bus voltage

여기서 퓨즈는 리클로저 2F 동작 완료 후, 1D 동작 중간 퓨즈가 용융점(melting point)에서 녹아 고장이 발생한 단상 분기회로를 차단하여 고장전류가 차단된 것을 보여주며, 그 후 정상적인 피더전류가 흐르는 것을 볼 수 있다. 또한 전압파형을 보면, 리클로저의 2F·1D 동작 중에는 고장에 의한 전압강하가 나타나고, trip 동작시에는 선로가 개방되어 전압이 영인 것을 나타낸다. 그리고 리클로저 1D 동작 중에는 퓨즈동작으로 고장이 제거된 후 고장발생 전과 같은 정상적인 전압파형이 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 Case 2 지점에 고장발생시 리클로저-퓨즈 동작 파형을 나타낸다.

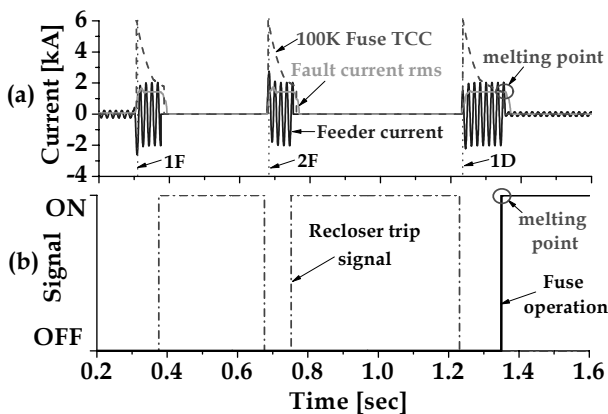


그림 4 Case 2 고장시
 (a) 리클로저-퓨즈(100K) 동작 파형
 (b) 리클로저-퓨즈(100K) 동작 신호 파형
 Fig. 4 Fault for Case 2
 (a) Waveform of recloser-fuse Operation
 (b) Waveform of operating signal

Case 2 일 때 퓨즈는 Case 1과 달리 100K를 적용 했으며 (a)는 리클로저-퓨즈 협조파형, (b)는 리클로저와 퓨즈의 동작신호 파형을 나타낸다. 여기서 100K 퓨즈는 설치지점이 MTR로부터 떨어진 거리가 Case 1 보다 Case 2가 더 멀어, 그에 따라 선로임피던스 증가로 인한 고장전류가 Case 1보다 작은 것을 고려하여 Case 2에 100K 퓨즈를 적용하였다. (a)는 Case 1 와 같이 리클로저의 2F 이후 1D 동작완료 전에 퓨즈가 동작하여 고장이 제거된 후 정상적인 피더전류가 흐르는 것을 볼 수 있다. 이것을 (b)에서 리클로저 2F trip 신호 후 1D trip 신호가 발생하기 전 퓨즈의 동작신호가 발생한 것으로 확인할 수 있다.

위 내용을 바탕으로 Case 1과 Case 2의 리클로저-퓨즈 협조 범위를 나타내면, 140K 퓨즈 일 때 3,222 ~ 1,798 [A], 100K 퓨즈 일 때 1,821 ~ 1,288 [A] 에서 협조가 가능하다.

4. 소형 열병합발전 시스템 연계시 리클로저-퓨즈 협조

4.1 소형 열병합발전 시스템 구성

소형 열병합발전 시스템은 열적 모델 및 전기적 모델로 구분하여 모델링이 가능하다. 본 논문에서는 소형 열병합발전 시스템의 고장전류 크기에 따른 리클로저-퓨즈 협조동작을 해석하고자 전기적 모델링 중심으로 모델링 하였으며, 발전기 형태는 동기발전기를 모델링 하였다. 또한 소형 열병합발전 시스템은 계통에 고장발생시 분산전원 연계 기준에 의하여 0.5 [sec] 이내 계통과 분리해야 한다. 0.5 [sec]는 리클로저의 1F 동작과 2F 동작 사이의 시간이며, 본 논문에서는 고장발생시 리클로저의 1F 동작 이후 2F 동작 전에 소형 열병합발전 시스템이 계통과 분리되도록 시뮬레이션 하였다[10-11].

표 3은 동기발전기로 구성된 소형 열병합발전 시스템의 입력 데이터와 발전 용량을 나타낸다.

표 3 소형 열병합발전 시스템 파라미터

Table 3 Parameters of cogeneration system

정격용량	1 / 2 / 3 [MW]
정격전압	3.3 [kV]
변압기(연계승압)	3.3/22.9 [kV], j6.25 [%]
	1 / 2 / 3 [MVA]
$x_d'' : 20.1$ [%], $x_d' : 26.4$ [%], $x_d : 238$ [%] $x_q'' : 37.6$ [%], $x_q : 110$ [%]	

4.2 소형 열병합발전 시스템 연계시 리클로저-퓨즈 협조

모의 배전계통에 연계된 소형 열병합발전 시스템 용량은 1, 2, 3 [MW]로 구성하여 각각 적용하였다. 그림 5는 그림 2에서 첫 번째 피더에 2 [MW]의 소형 열병합발전 시스템을 연계 후 Case 1 지점에 고장발생시 리클로저-퓨즈 동작파형을 나타낸다. 그 결과 그림 3과 같이 소형 열병합발전 시스템이 연계되기 전에는 리클로저-퓨즈 협조동작이 이루어졌으나, 연계 후에는 소형 열병합발전 시스템에 의한 고장전류

증가로 리클로저가 (a)와 같이 순시동작이 완료되기 전에 퓨즈가 용융점(melting point)에서 먼저 동작하여 협조동작을 이루지 못한 것을 볼 수 있다. (b)는 리클로저와 퓨즈의 동작신호 파형을 나타낸다. 고장발생 후 리클로저의 동작신호가 보호기기 동작지점인 "ON"지점에 도달하기 전 퓨즈의 동작신호가 먼저 도달한 것으로 나타내었으며, 이에 따라 리클로저-퓨즈 협조동작을 이루지 못한 것을 나타낸다.

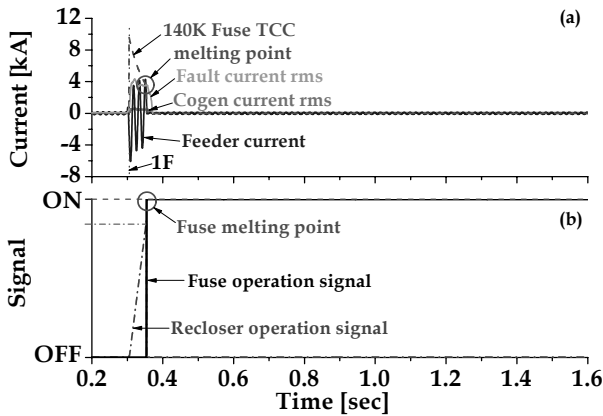


그림 5 열병합발전 시스템이 연계된 선로 Case 1 고장시 (a) 리클로저-퓨즈(140K) 동작 파형 (b) 리클로저-퓨즈(140K) 동작 신호 파형

Fig. 5 Fault for case 1 with cogeneration system (a) Waveform of recloser-fuse operation (b) Waveform of operating signal

그림 6은 2 [MW] 소형 열병합발전 시스템을 연계 후 Case 2 지점에 고장발생시 리클로저-퓨즈 동작파형을 나타낸다.

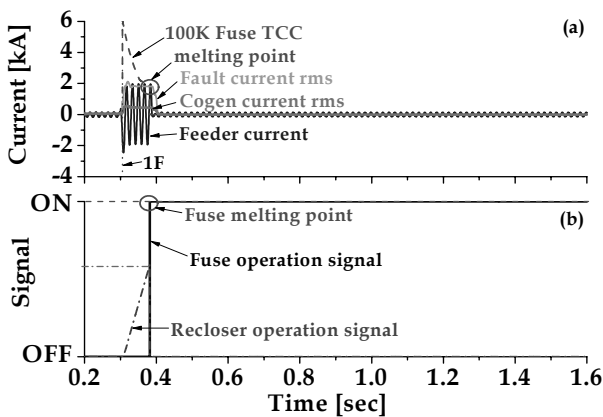


그림 6 열병합발전 시스템이 연계된 선로 Case 2 고장시 (a) 리클로저-퓨즈(100K) 동작 파형 (b) 리클로저-퓨즈(100K) 동작 신호 파형

Fig. 6 Fault for case 2 with cogeneration system (a) Waveform of recloser-fuse operation (b) Waveform of operating signal

그림 4에서 소형 열병합발전 시스템이 연계되기 전에는 리클로저-퓨즈 협조동작이 이루어졌으나, 연계 후에는 Case 2 지점 고장발생시 그림 6과 같이 소형 열병합발전 시스템에 의한 고장전류 증가로 리클로저가 동작하기 전에 퓨즈가 먼저 동작한 것을 나타낸다.

5. 초전도 전류제한기 적용시 리클로저-퓨즈 협조분석

5.1 소형 열병합발전 시스템 용량에 따른 초전도 전류제한기의 리클로저-퓨즈 협조 임피던스 범위 선정

그림 7은 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기 적용시 Case별 고장전류 흐름을 나타낸다. 앞서 Case 1과 2에서 소형 열병합발전 시스템이 도입되면 그에 따라 고장전류도 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 리클로저-퓨즈 협조동작이 이루어지지 않은 것을 확인하였다.

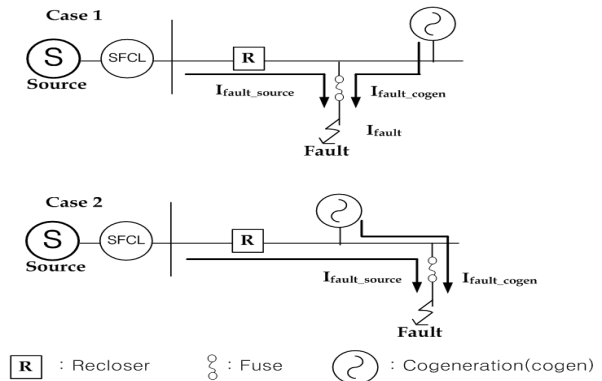


그림 7 소형 열병합발전 시스템 적용시 고장전류 흐름도 Fig. 7 Flow of fault current with cogeneration system

식 (1)은 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기 적용시 단상분기회로의 1선 지락고장 전류를 P.U법으로 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 I_{fault} &= \frac{3}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \times I_n \\
 &= \frac{3}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \times I_{n_source} + \frac{3}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \times I_{n_cogen} \quad (1) \\
 &= I_{fault_source} + I_{fault_cogen}
 \end{aligned}$$

여기서, Z_0 는 영상 임피던스, Z_1 는 정상 임피던스, Z_2 는 역상 임피던스, Z_f 는 고장 임피던스를 [P.U]로 나타내었다. 또한 I_n 은 SOURCE와 COGEN의 부하전류를 각각 나타낸다.

그림 7과 같이 고장전류는 I_{fault_source} 와 I_{fault_cogen} 의 합으로 나타나며, 식 (1)과 같이 계산되어진다. 그러나 초전도 전류제한기를 MTR 2차측에 설치하였을 때, I_{fault_source} 는 초전도 전류제한기 상전도 임피던스에 따라 그 크기가 제한되어짐으로써 1선 지락고장 전류는 식 (2), (3)과 같다.

$$I_{fault_source} = I_f(Z_{SFCL_SOURCE}) \quad (2)$$

$$I_{fault} = I_f(Z_{SFCL_SOURCE}) + I_{fault_cogen} \quad (3)$$

표 4는 식 (1)~(3)을 기본으로 소형 열병합발전 시스템의 용량에 따라 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 초전도 전류제한기의 임피던스를 나타낸다.

표 4 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 초전도 전류제한기의 임피던스

Table 4 Impedance of recloser-fuse coordination for resistive SFCL

Case 1	140K					Cogen		
	Coordination range : 3,222 ~ 1,798 [A]					[MW]		
	SFCL[Ω]	Cogen [MW]	Current [A]				1	2
I_{fault_source}			I_{fault_cogen}	$I_f(Z_{SFCL_SOURCE})$	I_{fault}			
0	0	3,031	0	3,031	3,031			
1.2	1	3,031	344	2,797	3,141	■		
1.7	2	3,031	479	2,658	3,137	■	■	
1.9	3	3,031	552	2,605	3,157	■	■	■
Case 2	100K					Cogen		
	Coordination range : 1,821 ~ 1,288 [A]					[MW]		
	SFCL[Ω]	Cogen [MW]	Current [A]				1	2
I_{fault_source}			I_{fault_cogen}	$I_f(Z_{SFCL_SOURCE})$	I_{fault}			
0	0	1,379	0	1,379	1,379			
0	1	1,379	344	1,379	1,723	■		
3.8	2	1,379	479	1,172	1,651	■	■	
5.4	3	1,379	552	1,067	1,619	■	■	■

각각의 전류는 고장 발생시, MTR 2차측에 초전도 전류 제한기를 적용하기 전 주 전원에 의한 고장전류 I_{fault_source} , 소형 열병합발전 시스템에 의한 고장전류 I_{fault_cogen} , MTR 2차측에 초전도 전류제한기를 적용한 후 제한되는 고장전류 $I_f(Z_{SFCL_SOURCE})$, 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기가 적용된 후 흐르는 고장전류의 합 I_{fault} 를 나타낸다. 또한 Coordination range는 퓨즈 정격에 따른 리클로저-퓨즈 협조 전류범위를 나타낸다. Case 1일 때, I_{fault_source} 는 3,031 [A]로 Coordination range 범위에 포함되는 것을 볼 수 있으나, 소형 열병합발전 시스템이 연계된 후 발전 용량에 따라 I_{fault_cogen} 의 증가로 I_{fault_source} 와 I_{fault_cogen} 의 합이 Coordination range를 벗어나는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 MTR 2차측에 초전도 전류제한기를 적용함으로써 상전도 임피던스에 따른 $I_f(Z_{SFCL_SOURCE})$ 가 적용되어, 고장 전류의 합 I_{fault} 는 Coordination range에 포함되는 것을 볼 수 있다. 따라서 Case 1 일 때, 소형 열병합발전 시스템 용량이 1 [MW]로 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스를 최소 1.2 [Ω] 적용하면 리클로저-퓨즈(140K) 협조 동작 가능한 범위 내에 들어가는 것을 나타내었으며, Case 2 일 때, 또한 확인하였다. 이것은 기존의 배전계통에 소형 열병합발전 시스템을 추가 연계하여도 보호기간 설정된 정정지침을 바꾸지 않고 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스에 의하여 리클로저-퓨즈 협조동작이 가능한 결과를 보여준다.

그림 8은 표 4에서 나타낸 소형 열병합발전 시스템의 용량에 따른 초전도 전류제한기의 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 임피던스를 Case 1과 2를 구분하여 그래프로 나타내었다.

다. Range라고 구분된 부분은 현재 제작되어 실증 실험중인 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스 2 [Ω]으로 그에 대한 실증적인 적용범위를 용량에 따라 구분하였다[12-13]. Case 1 일 때는 소형 열병합발전 시스템의 용량이 3 [MW] 이내에서 실증 적용이 가능 한 것으로 나타내어지며, Case 2 일 때는 소형 열병합발전 시스템의 용량이 1.5 [MW] 이하 연계 시 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 것으로 나타내어진다. 또한 초기에 설정된 퓨즈 정격에 대해 리클로저와 협조 여유 정도에 따라 초전도 전류제한기의 적용 임피던스는 소형 열병합발전 시스템의 용량에 대해 차이가 발생하는 것을 확인하였다.

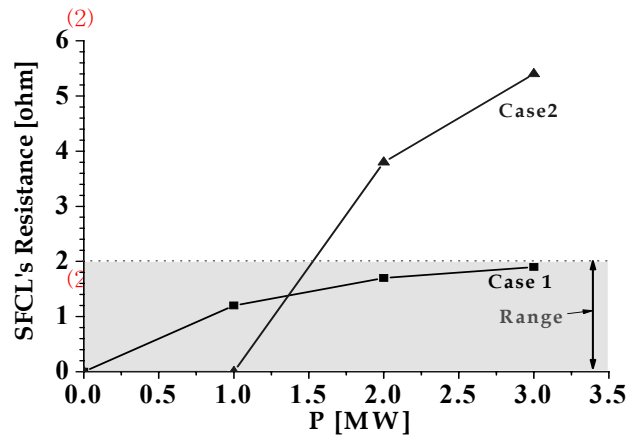


그림 8 초전도 전류제한기의 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 임피던스 그래프

Fig. 8 Graph of resistive SFCLs for recloser-fuse coordination impedance

5.2 초전도 전류제한기 적용시 리클로저-퓨즈 협조

그림 9는 2 [MW] 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기 적용 후 Case 1에서 고장발생시 리클로저-퓨즈(140K) 협조동작 파형을 나타낸다.

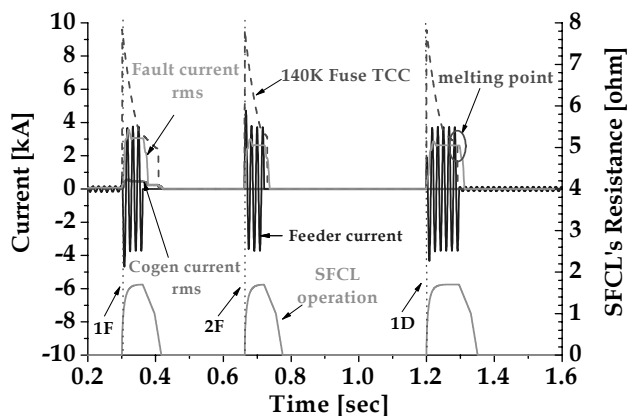


그림 9 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기 적용시 Case 1 고장 리클로저-퓨즈 (140K) 동작 파형

Fig. 9 Waveform of recloser-fuse of case 1 in a power distribution system linked cogen with SFCL

초전도 전류제한기의 상전도 임피던스는 표 4에 의하여 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 1.7 [Ω]을 적용하였으며, 그에 따라 고장 발생시 리클로저의 2F 동작 완료 후 1D 동작 중간에 퓨즈가 동작하여 보호기기간 협조동작이 가능한 것을 볼 수 있다. 이것은 퓨즈동작 후 리클로저가 설치된 피더를 통하여 정상적인 피더전류가 흐르는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 그림 9의 1FP의 리클로저-퓨즈(140K) 동작과 형태를 나타낸다. 1FP는 리클로저의 1F동작 구간이다. 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에 초전도 전류제한기를 적용하기 전 고장발생시 리클로저-퓨즈 협조동작은 퓨즈가 점 a에서 리클로저보다 먼저 동작해 협조동작이 이루어지지 않은 것을 볼 수 있었다. 반면에 초전도 전류제한기 적용시 저감된 고장전류에 의하여 용융점은 점 a에서 점 b로 이동하여 퓨즈가 동작해야하지만, 두 용융점 a, b 사이에 리클로저 trip 동작 시점이 존재해 고장전류가 퓨즈 TCC 곡선의 점 b에 도착하기 전, 퓨즈의 TCC 곡선과 고장전류사이 c영역만큼 차이가 생겨 용융점과 만나지 않는다. 따라서 퓨즈 TCC 곡선이 그대로 통과하여 리클로저가 우선 동작하도록 시간적 여유를 만들어 리클로저-퓨즈 협조동작을 가능하게 한 것을 나타낸다.

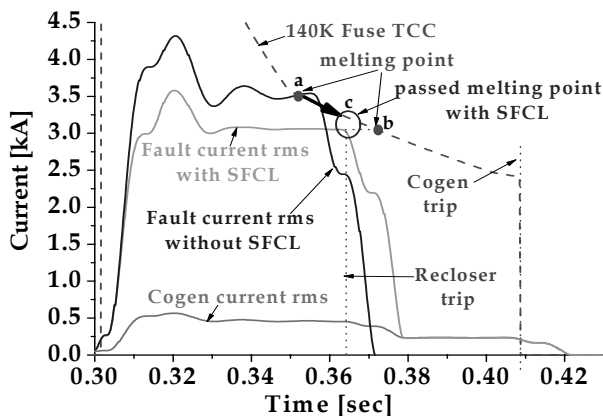


그림 10 1FP의 리클로저-퓨즈(140K) 동작 파형
Fig. 10 Waveform of recloser-fuse for 1 Fast-Part

또한 리클로저 동작 후 소형 열병합발전 시스템의 영향으로 고장전류가 지속적으로 공급되어 퓨즈는 분산전원 연계 규정에 의하여 계통과 분리되기 전까지 TCC 곡선을 유지하며, 계통과 분리된 후 퓨즈의 TCC 동작이 멈추는 것을 나타낸다. 그 후로 소형 열병합발전 시스템의 영향이 없으므로, 정상적인 리클로저-퓨즈 동작을 나타낸다. 또한 Case 2도 위와 같이 확인한 결과 리클로저-퓨즈 협조가 가능한 것을 확인 하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 소형 열병합발전 시스템이 연계된 배전계통에서 초전도 전류제한기를 적용하기 전과 후 리클로저-퓨즈의 보호협조 관계를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분석하였다.

배전계통에 소형 열병합발전 시스템이 연계되기 전에는 리클로저-퓨즈 협조가 잘 이루어졌으나, 연계 후에는 증가된 고장전류로 인하여 퓨즈가 리클로저 첫번째 순시동작 중간에 동작하여 두 보호기기간 협조동작을 무너뜨렸다. 이것은 리클로저의 순간고장 제거시간을 확보하지 못하게 되는 결과를 나타낸다. 이에 따라 초전도 전류제한기를 적용한 후 리클로저-퓨즈 협조를 가능하게하기 위한 방법으로, 소형 열병합발전 시스템 용량에 따른 초전도 전류제한기의 리클로저-퓨즈 협조 가능한 임피던스를 도출해 내었다. 또한 이것은 기존의 배전계통에 소형 열병합발전 시스템 뿐만 아니라 다양한 종류의 분산형 전원이 연계되었을 시 보호기기간의 기존의 정정지침을 바꾸지 않아도 초전도전류제한기를 적용함으로써 보호기기간 협조동작을 가능하게 할 수 있는 결과를 나타내었다. 추가적으로 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스가 너무 크면 리클로저-퓨즈협조 뿐만이 아닌 다른 보호기기와의 협조관계를 무너뜨릴 수 있기 때문에 본 논문에 제시된 최소 상전도 임피던스를 기준으로 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스의 상한값에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구구원(R-2008-38) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] 한국에너지기술평가원, “그린에너지 전략 로드맵”, 2009. 4
- [2] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, pp. 19-31, 1998.
- [3] W. Paul and M. chen, “Superconducting control for surge currents”, IEEE Spectrum, vol. 35, pp. 49-54, May 1998.
- [4] S. R. Lee, J. Y. KIM, and J. Y. Yoon, “A study on SFCL systems for korean power system application”, IEEE PES T&D, 2005/2006.
- [5] R. F. Giese, M. Runde, “Assessment study of superconducting fault current limiters operation at 77K”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 3, pp. 1138-1147, July 1993.
- [6] L. Ye, L. Lin, and K. P. Juengst, “Application studies of superconducting fault current limiters in electric power system”, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 18, no. 2, pp. 624-627, June 2008.
- [7] 한전표준규격, “Fuse links for cut out switch”, 2006.
- [8] Cooper Industries, “Electrical Distribution - System Protection 3rd ed.”, Cooper Power System, 1990.
- [9] Turan Gönen, “Electric Power Distribution System Engineering-second edition”, pp. 506-512, 2008.
- [10] William B. Gish, “Small induction generation and synchronous generator constants for dsg isolation

studies", IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-1, no. 2, pp. 231-239, April 1986.

- [11] 한국전력공사, "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준", 2005.
- [12] O. B. Hyun, K. B. Park, J. Sim, H. R. Kim, S. W. Yim, I. S. Oh, "Introduction of a hybrid SFCL in KEPCO grid and local points at issue", IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 1946-1949, June 2009.
- [13] G. H. Lee, K. B. Park, J. W. Sim, Y. G. Kim, I. S. Oh, O. B. Hyun, B. W. Lee, "Hybrid Superconducting Fault Current Limiter of the First Half Cycle Non-Limiting Type", IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 1888-1891, June 2009.

저 자 소 개



김명후 (金明厚)

1982년 6월 5일생, 2009년 안양대 전기공학과 졸업, 2009년~현재 숭실대 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (02) 817-7966

Fax : (02) 817-0780

E-mail : kimmh@ssu.ac.kr



김진석 (金辰碩)

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

Tel : (02) 817-7966

Fax : (02) 817-0780

E-mail : redwolf832@ssu.ac.kr



문종필 (文鍾必)

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

Tel : (043) 841-5146

Fax : (043) 841-5140

E-mail : moon@cjnu.ac.kr



임성훈 (林成勳)

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

Tel : (02) 828-7268

Fax : (02) 817-7961

E-mail : superlsh73@ssu.ac.kr



김재철 (金載哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수.

Tel : (02) 817-0647

Fax : (02) 817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr



이준규 (李俊圭)

1953년 3월 17일생, 1992년 서울산업대 전기공학과 졸업, 2005년 한양대 공학대학원 졸업(석사), 2007년 숭실대 대학원 전기공학과 박사수료, 현재 SH공사 환경에너지사업단장.

Tel : (02) 3410-7606

Fax : (02) 3410-7584

E-mail : ljk1025@hanmail.net