

배전변전소에 대용량변압기로 교체 적용시 보호협조를 위한 초전도 전류제한기의 임피던스 분석

논문
58-8-4

Analysis on SFCL's Impedance for Protective Coordination in Large Transformer installed in Distribution Substation

김진석* · 김명후** · 류일경** · 문종필*** · 임성훈*** · 김재철† · 안재민§
(Jin-Seok Kim · Myoung-Hoo Kim · Il-Kyoung You · Jong-Fil Moon · Sung-Hun Lim · Jae-Chul Kim · Jae-Min Ahn)

Abstract - The introduction of the large transformer due to the large power demand has increased the fault current in power distribution system. The increased fault current can exceed the cut-off ratings of the circuit breaker. As the methods to solve this problem, the superconducting fault current limiter(SFCL) has been notified. However, the limited fault current by SFCL affects the operational characteristics of the protective device such as overcurrent relay. Therefore, the selection of the proper impedance for the SFCL is required to keep overcurrent relay's protective coordination with the SFCL when a large transformer is introduced into the distribution system. In this paper, the SFCL's impedance for protective coordination was investigated in that a large transformer is introduced.

Key Words : Superconducting Fault Current Limiter, Power System, Large Transformer, Protective Coordination

1. 서론

전력기기의 사용 확대와 용량 증가로 전력수요가 증가하고 집중화 되어가면서 계통에 설치되어 있는 변압기의 용량이 포화되어 계통의 안정성에 영향을 미치게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 변전소의 신설 및 증설이 있지만, 지역적인 제약으로 변압기를 대용량으로 교체하는 방안이 모색되고 있다. 이 방안에 의해 대용량 변압기로 교체하면 기기가 가지는 임피던스가 작아지고 고장전류는 증가하게 된다. 이로 인해 기존에 설치된 차단기 및 보호기기의 차단용량 초과나 동작특성이 달라진다[1].

따라서, 대용량 변압기의 교체로 발생하는 차단기 및 보호기기의 문제를 해결하기 위해 이 기기들을 교체하거나 재정정을 할 필요가 있다. 그러나 이러한 방안은 많은 비용과 시간이 필요하므로, 보다 효과적이고 저렴한 방안으로 한류기를 도입하는 방안이 있다. 즉, 한류기의 설치로 고장전류를 제한하고, 이로 인해 기존 차단기를 사용할 수 있게 된다. 하지만 일반적인 한류기를 설치하면 정상시에 전력손실을 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 초전도 전류제한기를 설치하는 방안이 연구되고 있다. 초전도 전류제한기의 특징으로는 초전도 상태로 전력손실이 없고, 고장발생시 고장전류를 빠르게 감지 및 제한함으로써 기존에 설치된 보호기기의 부담을 감소시켜 줄 뿐만 아니라 계

통의 안정도를 향상시킬 수 있다[2, 3].

초전도 전류제한기는 초전도 소자의 저항에 따라 제한되는 고장전류의 크기가 달라지며, 고장전류의 크기에 따라 보호기기의 동작특성도 달라진다. 초전도 소자의 저항이 너무 작으면 고장전류 제한효과가 약하고, 너무 크면 부하전류와 고장전류의 판단이 어려움으로 저항 크기를 결정해야 하는 문제가 발생하고, 제한된 고장전류에 대해 보호기기를 재정정해야 한다[4-5].

따라서 본 논문에서는 대용량 변압기의 교체 및 초전도 전류제한기의 적용시 보호기기의 보호협조가 가능한 초전도 소자의 임피던스 크기를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분석하였다.

2. 초전도 전류제한기 및 배전계통 모델링

2.1 초전도 전류제한기 모델링

배전계통에 고장발생시 크게 증가하는 고장전류를 제한하기 위해 임피던스형, 유도형, 브릿지형, 하이브리드형 등의 초전도 전류제한기가 제안되어왔다[6-8]. 본 논문에서는 가장 기본적이고 가장 광범위하게 사용되는 저항형 초전도 전류제한기를 사용하여, 초전도 소자가 고장 감지 및 제한을 시작하고 일정시간 뒤에는 한류소자로 고장전류를 제한하는 특징을 갖는 그림 1과 같은 하이브리드 모델을 사용하였다. 또한, PSCAD/EMTDC를 이용하여 그림 2와 같이 임피던스 발생과 고장전류의 변화의 동작 특성을 갖도록 모델링하였다.

그림 2에서 고장발생 전 초전도 전류제한기에는 임계전류 이하의 부하전류가 흐르다가 고장이 발생하여 임계전류 이상의 고장전류가 흐르면 초전도 전류제한기의 초전도 소자는 켜치되어 저항이 발생하기 시작한다. 그리고 일정시간이 지나면 스위치의 동작으로 병렬회로로 구성된 한류소자에 전류가 흐르게 되고, 이 한류소자의 임피던스에 의해 고장전류가 제한된다. 이때 초전도 소자는 회복을 시작하며 2번의

† 교신저자, 펠로우회원 : 송실대 공대 전기공학부 교수 · 공박
E-mail : jckim@ssu.ac.kr

* 정 회 원 : 송실대 공대 전기공학부 박사과정

** 준 회 원 : 송실대 공대 전기공학부 석사과정

*** 정 회 원 : 송실대 공대 전기공학부 교수 · 공박

§ 정 회 원 : 한국전기안전공사 연구원 · 공석

접수일자 : 2009년 4월 14일

최종완료 : 2009년 5월 26일

회복단계를 거쳐서 초전도 상태가 된다[9].

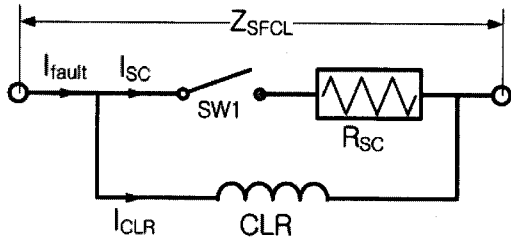


그림 1 초전도 전류제한기 구조
Fig. 1 Configuration of SFCL

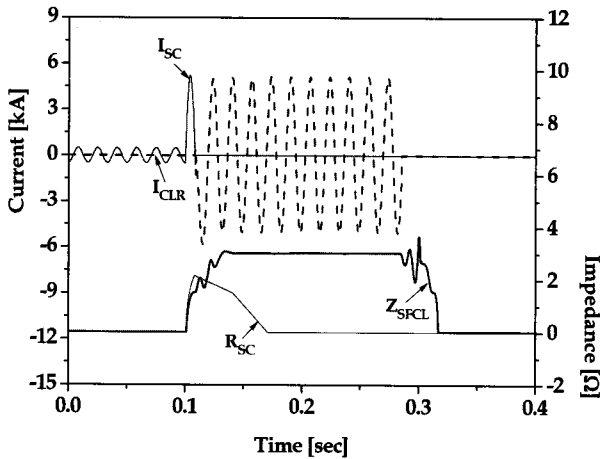


그림 2 초전도 전류제한기 동작 특성.
Fig. 2 Characteristics of SFCL as fault current.

2.2 모의 배전계통 모델링

그림 3은 대용량 변압기를 적용하기 위한 모의 배전계통의 구성도이다. 이 모의 배전계통의 데이터는 표 1과 같다. 여기서 차단기를 동작시키기 위해 설치된 보호기기는 과전류계전기이며, 동작특성은 45 [MVA] 용량의 변압기가 설치되었을 때 정정되었다. 이 정정값은 표 2와 같다. 부하는 임피던스 부하로 구성하였으며, 10 [MVA], 9 [MVA]의 일반적인 피더와 여러 피더를 하나의 피더로 증가화하여 26 [MVA]로 3개의 피더로 구성하였다.

본 논문에서 분석하고자 하는 초전도 전류제한기의 임피던스 크기를 위해 45 [MVA], j15 [%]의 용량을 가지는 변압기로 구성된 모의 배전계통에 대용량 변압기로 선택한 100 [MVA] 용량, j20 [%] 임피던스를 갖는 변압기로 교체하였다.

이때, 변압기 교체로 고장전류는 증가하게 되고, 고장전류에 동작하는 과전류계전기의 동작특성은 달라진다. 여기에 각 피더 인출점에 초전도 전류제한기를 적용할 경우 과전류계전기의 동작이 가능하도록 하는 초전도 전류제한기의 임피던스 크기를 선정하고자 한다.

이를 위해 변전소 인출점인 Fault 1에서 과전류계전기의 순시동작 및 차단기의 차단용량에 의한 초전도 전류제한기의 최소 임피던스 및 과전류계전기의 정정지침에 의한 최대 임피던스를 선정하였다.

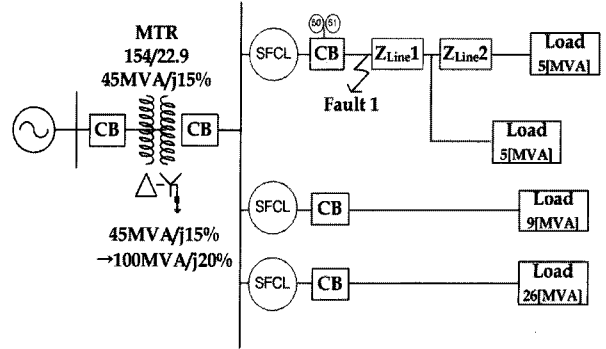


그림 3 모의 배전계통 구성도
Fig. 3 Configuration of power distribution system

표 1 모의 배전계통 데이터

Table 1 Data for distribution system

항목	데이터
전원임피던스	154[kV] / 1.75[%]
교체 전·후 변압기	154/22.9[kV], 45[MVA] / j15[%]
	154/22.9[kV], 100[MVA] / j20[%]
선로임피던스 (ALOC 160mm)	$Z_0 = 8.68 + j22.86$ [%] / 100[MVA]
	$Z_1=Z_2= 3.48 + j7.44$ [%] / 100[MVA]
부하	피더1 : 10[MVA] / p.f 95[%] 지상
	피더2 : 9[MVA] / p.f 95[%] 지상
	피더3 : 26[MVA] / p.f 95[%] 지상

표 2 한국전력공사에서 적용하고 있는 변전소용 차단기 표준사양

Table 2 Specification of circuit breaker from KEPCO in distribution substation

공칭전압 [kV]	정격전압 [kV]	정격 차단전류 [kA _{rms}]	정격 투입전류 [kA _{Peak}]	정격전류 [A _{rms}]	정격차단용량 [GVA]
22.9	25.8	12.5	31.5	600	1.0
				1,200	
				2,000	
				3,000	

3. 초전도 전류제한기 임피던스 선정

3.1 초전도 전류제한기 임피던스 선정의 필요성

저항형 초전도 소자로 구성된 초전도 전류제한기는 정상 운전 상태에서는 임피던스가 거의 영(0)이지만, 임계전류 이상의 고장전류가 흐르면 시정수에 따라서 초전도 소자는 저항이 발생하고, 일정 시간 뒤에 병렬 한류소자에 의해 고장전류를 일정 수준 이하로 제한하는 특성을 가진다. 이때 초전도 전류제한기의 임피던스 크기는 계통내 보호기기가 동작 가능하도록 선정되어야 한다. 그 이유는 임피던스가 너무 작으면 고장전류의 저감효과가 미약하고, 반대로 임피던스가 지나치게 크면 고장전류를 감소하는 효과는 커지지만,

고장전류와 부하전류를 구분할 수 없으므로 보호계전기가 부동작 할 우려가 있기 때문이다. 따라서 초전도 전류제한기의 한류소자의 임피던스는 보호기기 및 계통 임피던스를 감안하여 선정되어야 한다[10].

3.2 차단기의 차단동작을 고려한 최저 임피던스 크기 선정

본 논문에서 그림 3에서 각 피더 인출점 위치에 초전도 전류제한기를 설치하였을 경우 임피던스 크기를 선정하는 방법에 대해 검토하였다. 차단기의 차단용량에 대한 고장전류 및 과전류계전기의 순시동작을 고려하여 최대고장전류가 발생하는 변전소 인출점인 fault 1 점에서 고장을 발생 시켰다. 그림 4는 변압기 교체 전·후에 대한 고장전류를 나타내고 있다. 그 결과, 표 2를 참고하여 배전계통의 차단기 용량을 비교하면, 45 [MVA] 변압기가 적용되면 차단기의 차단용량에 적합하여 사용이 가능하지만, 100 [MVA]의 대용량 변압기로 교체하면 두 변압기가 가지는 임피던스에 차이가 발생하여 배전계통의 임피던스가 작아져 고장전류는 증가하는 점을 보여준다. 그 결과 100 [MVA] 변압기 적용시 차단기가 정확히 동작할 수 있는 정격 투입전류의 크기에서 벗어나 차단기의 용량을 증가시키거나 고장전류를 저감해야 하는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위한 방안으로 초전도 전류제한기를 설치할 때, 기존 차단기를 사용할 수 있게 고장전류를 저감하는 임피던스 크기를 초전도 전류제한기의 최소값으로 선정할 수 있다.

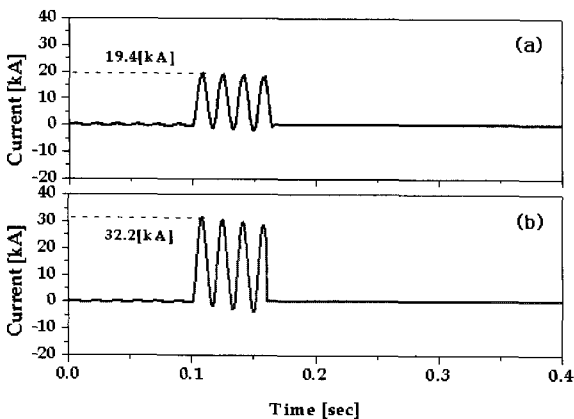


그림 4 고장전류 파형.

- (a) 45 [MVA] 변압기 적용시.
- (b) 100 [MVA] 변압기 적용시.

Fig. 4 Waveform of Fault Current.

- (a) 45 [MVA] Transformer Installed.
- (b) 100 [MVA] Transformer Installed.

식 (1)은 고장전류를 직류분과 교류분으로 나타낸 것으로 V_m 은 계통의 최대전압, Z 는 계통 전체 임피던스, α 는 고장 발생 시점(각), R, L 은 Z 의 성분이며, θ 는 Z 가 가지는 위상 각이다. 여기서 α 와 선로임피던스가 영(0) 일 때, 최대 고장전류 값을 가진다.

$$i(t)_f = \frac{V_m}{Z} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \theta) - \frac{V_m}{Z} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin(\alpha - \theta) \dots\dots (1)$$

$$(Z = Z_s + Z_{Tr} + Z_{SFCL})$$

이때, 차단기의 동작을 위한 정격 투입전류 크기인 최대 고장전류가 31.5 [kA]이하가 되려면 계통 전체의 임피던스 Z 는 약 $j1.18 [\Omega]$ 이상을 가져야 한다. 여기서 Z 값 중 전원 임피던스와 대용량 변압기의 임피던스가 $j1.14 [\Omega]$ 임을 알고 있으므로 초전도 전류제한기는 약 $j0.04 [\Omega]$ 이상의 임피던스를 가져야 고장전류 문제를 해결하여 기존 설치되어있는 차단기를 사용할 수 있게 된다.

3.3 과전류계전기 정정지침을 고려한 최대 임피던스 크기 선정

제한되는 고장전류는 설치된 차단기의 차단동작과 과전류계전기의 순시동작을 고려할 뿐만 아니라 순시동작과 협조를 이루는 한시동작의 정정지침에 적합하도록 하여야 한다. 따라서 제한되는 고장전류는 초전도 전류제한기의 임피던스에 의해 달라지므로, 정정지침을 따르면 최대값을 선정할 수 있다.

정정지침에 따라 기존 45 [MVA] 변압기 적용시 모의 배전계통의 과전류계전기를 정정하면 표 3과 같다.

여기에 대용량 변압기로 교체하면 고장전류가 증가하게 되고, 이를 저감하고자 초전도 전류제한기를 적용할 때 초전도 전류제한기의 임피던스에 따라 고장전류가 변하고, 고장전류에 의해 동작하는 과전류계전기의 동작특성이 달라지므로 재정정이 필요하다. 이때 초전도 전류제한기의 임피던스가 너무 크면 정정지침을 벗어나므로 최대값을 선정하여 임피던스 크기를 제한하여야 한다.

표 3 45 [MVA] 변압기 적용시 과전류계전기 정정표.
Table 3 Setting table of overcurrent relay at 45 [MVA] Tr.

항목	과전류계전기		
	피더 1	피더 2	피더 3
부하전류	252.1 [A]	252.1 [A]	655 [A]
최대부하전류	302.5 [A]	302.5 [A]	806 [A]
정정치(한시)	450 [A]	450 [A]	1210 [A]
정정치(순시)	6.86 [kA]	6.86 [kA]	9.26 [kA]
레버	3	3	2

초전도 전류제한기의 최대 임피던스를 선정하기 위해 과전류계전기의 동작특성인 식 (2)를 사용하여 정정지침에 적합하도록 선정할 수 있다.

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

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

$$\left\{ \begin{array}{l} A : 39.85 \quad B : 1.084 \\ p : 1.95 \quad TD : 4 \end{array} \right. \dots\dots (2)$$

A, B, p는 과전류계전기의 동작특성 상수이며, M은 과전

류계전기의 동작 정정값(I_{pickup})에 대한 고장전류인 입력값(I_{input})의 비율, TD는 정정지침인 변전소 인출점 3상 단락고장전류에 0.5 [sec] 이내 동작하도록 하는 상수이다. 식 (2)에 제시된 A, B, p는 배전계통에서 사용하는 한국전력공사의 강반한시의 특성상수이다.

여기서 정정되어있는 상태에서 정정지침(변전소 인출점 3상 단락고장시 0.5 [sec]이내 동작[5])에 적합한 고장전류(I_{input})는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = 1.95 \sqrt{\frac{39.85}{0.5/TD - 1.084} + 1} \dots\dots\dots (3)$$

이 결과 M값 중 정정되어 있는 값인 I_{pickup} 을 알고 있으므로, I_{input} 인 고장전류를 알 수 있다. 이 고장전류를 알면, 100 [MVA] 기준에서 고장전류를 계산하는 방법인 식 (4)에 의해 계통 전체 임피던스를 구할 수 있고, 적용할 수 있는 초전도 전류제한기의 최대 임피던스를 선정할 수 있다.

$$I_f = \frac{100}{(Z_s + Z_{Tr} + Z_{SFCL})[\%]} \times 2521.18[A] \dots\dots\dots (4)$$

위의 방법으로 각 피더에 대해서 계산을 하면 표 4와 같이 결과를 얻을 수 있다. 피더 1과 피더 2는 동일한 동작특성의 과전류계전기를 사용하여 동일한 값의 최대 임피던스가 선정되었다.

이 결과를 PSCAD/EMTDC를 사용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 표 5와 같이 초전도 전류제한기가 가지는 임피던스에 따른 과전류계전기 동작시간의 결과를 얻었다. 이 결과를 통하여 기존 45 [MVA] 변압기 설치시 정정한 과전류계전기가 정정지침이내에 동작할 수 있는 최대 임피던스를 선정하였다. 따라서 규정인 0.5 [sec] 이내 동작하는 최대 임피던스를 찾아보면, 동일한 정정값이 적용된 피더 1과 피더 2에서는 2.15~2.20 [Ω]으로 최대 임피던스가 약 j2.2 [Ω], 피더 3은 j0.79~j0.84 [Ω] 사이로 약 j0.8 [Ω]임을 확인하였다.

표 4 적용 가능한 초전도 전류제한기의 최대 임피던스
Table 4 Maximum impedance of SFCL to applying as possible

구분	피더 1	피더 2	피더 3
정정치(한시)	450 [A]	450 [A]	1210 [A]
레버	3	3	2
0.5 [sec]동작 M값	8.79	8.79	5.63
고장전류	3958 [A]	3958 [A]	6820 [A]
최대 임피던스	j2.2 [Ω]	j2.2 [Ω]	j0.8 [Ω]

표 5 초전도 전류제한기 임피던스에 의한 과전류계전기 동작특성.

Table 5 Trip operation characteristics of OCR installed at each feeder by impedance of SFCL.

Reac tance 변압기 용량	Z[%] ($Z_s + Z_{Tr}$)	SFCL		Z[%] ($Z_s + Z_{Tr} + Z_{SFCL}$)	If [kArms]	OCR Trip Time [sec]	
		[%]	[Ω]			Feeder 1, 2	Feeder 3
45[MVA] /15[%]	35.05	0	0	35.05	7.2	0.379	0.471
		0	0	21.75	11.6	0.346	0.315
100[MVA] /20[%]	21.75	13	0.68	34.75	7.3	0.378	0.467
		14	0.73	35.75	7.1	0.381	0.482
		15	0.79	36.75	6.9	0.384	0.487
		16	0.84	37.75	6.7	0.388	0.512
		41	2.15	62.75	4.0	0.495	1.066
		42	2.20	63.75	3.9	0.502	1.096
		43	2.26	64.75	3.8	0.506	1.126

3.4 보호협조를 위한 적정 임피던스 크기 선정

앞 절의 결과에서 차단기의 차단동작을 고려하여 초전도 전류제한기의 최저 임피던스를 선정하였고, 과전류계전기의 한시 보호협조 특징에 의해 최대 임피던스를 결정하였다. 이렇게 결정된 임피던스는 보호협조를 위해 적용할 수 있는 범위이므로, 선정되는 임피던스에 따라 역시 과전류계전기를 재정정하여야 한다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 방안으로 변압기 교체로 증가된 고장전류를 변압기 교체 전 고장전류와 동일하게 제한한다면, 고장전류를 저감하는 동시에 고장전류의 크기로 동작하는 과전류계전기를 재정정하지 않고 사용할 수 있는 장점을 지니게 된다.

그림 5는 강반한시 과전류계전기의 동작곡선을 나타낸다. 45 [MVA] 변압기 적용시 정정값에서 약 10배의 고장전류 크기로 0.48 [sec]에 동작을 한다. 그러나 100 [MVA] 변압기로 교체되면, 임피던스가 작아지므로 고장전류는 증가한다. 따라서 기존 과전류계전기의 동작시간보다 더 빠른 시간(약 0.39 [sec])에 동작한다. 이렇게 변압기가 교체되면 한시동작 영역이었던 고장전류가 순시동작영역으로 동작영역이 이동하므로 보호협조 관계를 재검점할 필요가 있다.

그러나 여기에 초전도 전류제한기를 설치하여 증가된 고장전류를 기존 고장전류의 크기로 저감한다면 과전류계전기의 동작 역시 45 [MVA] 변압기 설치시와 같아지게 될 것이다.

고장전류는 계통에서 고장점까지의 임피던스에 의해 달라진다. 따라서 변압기 교체 전·후 임피던스를 비교하여 대응량 변압기 설치로 작아진 임피던스의 크기를 초전도 전류제한기를 추가하여 사용하면 고장전류가 동일하게 된다.

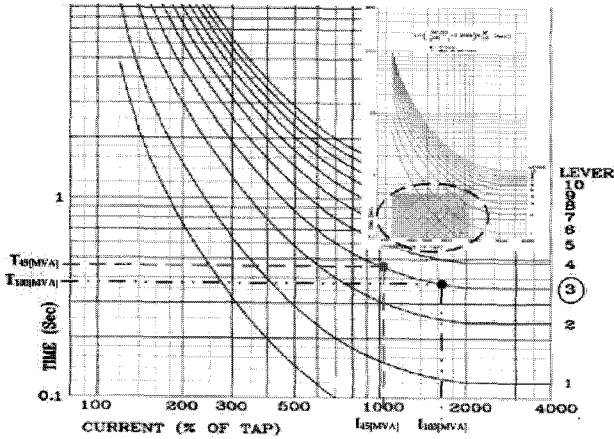


그림 5 강반한시 과전류계전기 동작특성
Fig. 5 Characteristics of very inverse overcurrent relay

변압기 교체 전·후의 임피던스는 다음 식 (5)와 같으며, Z_S 는 전원 임피던스, Z_{Tr} 은 변압기 임피던스, Z_{line} 은 선로 임피던스, Z_{SFCL} 은 초전도 전류제한기의 임피던스를 나타낸다.

$$\begin{aligned} Z_{45[MVA]}[\Omega] &= Z_S + Z_{Tr(45MVA)} + Z_{line}[\Omega] \quad \dots\dots\dots (5) \\ Z_{100[MVA]}[\Omega] &= Z_S + Z_{Tr(100MVA)} + Z_{line} + Z_{SFCL}[\Omega] \end{aligned}$$

식 (5)에 의해 두 임피던스를 비교하면, 전원 임피던스와 같은 고장점의 선로 임피던스는 동일하다. 따라서 45 [MVA] 변압기의 임피던스와 100 [MVA] 변압기 및 초전도 전류제한기의 임피던스가 동일하면 되므로, 초전도 전류제한기의 임피던스를 두 변압기의 임피던스 차이로 선정할 수 있다. 이렇게 임피던스를 선정하면, 45 [MVA] / 15[%]는 약 $j1.75 [\Omega]$, 100 [MVA] / 20 [%]는 약 $j1.05 [\Omega]$ 으로 초전도 전류제한기의 임피던스는 두 변압기의 임피던스 차이인 $j0.7 [\Omega]$ 으로 정할 수 있다.

그림 6은 앞에서 적정 임피던스로 선정된 $j0.7 [\Omega]$ 을 갖는 초전도 전류제한기를 각 피더에 적용하였을 때 고장전류를 나타낸다. 그 결과 45 [MVA] 변압기시의 고장전류가 대용량 변압기로 교체하였을 경우 고장전류가 증가하여 기존 변압기 설치시 과전류계전기의 동작보다 더 빠른 시간에 동작하여 전류가 차단된 점을 확인할 수 있다. 이때 고장전류를 제한하고자 각 피더 인출점에 초전도 전류제한기를 적용하여, 그 크기를 45 [MVA] 변압기의 고장전류와 동일하게 저감하면 고장전류의 크기에 영향을 받는 과전류계전기의 동작시간이 역시 기존 동작시간과 동일하게 됨을 확인할 수 있다.

앞에서 예상한 바와 같이 두 변압기의 임피던스 차이로 선정된 초전도 전류제한기의 적정 임피던스는 고장전류를 제한하면서 동시에 과전류계전기를 재조정하지 않아도 되는 장점을 가지는 점을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 배전시스템에 대용량 변압기의 설치와 초전도 전류제한기를 적용할 때의 영향에 대해서 분석하였다. 그 결과 초전도 전류제한기의 임피던스를 보호협조가 가능

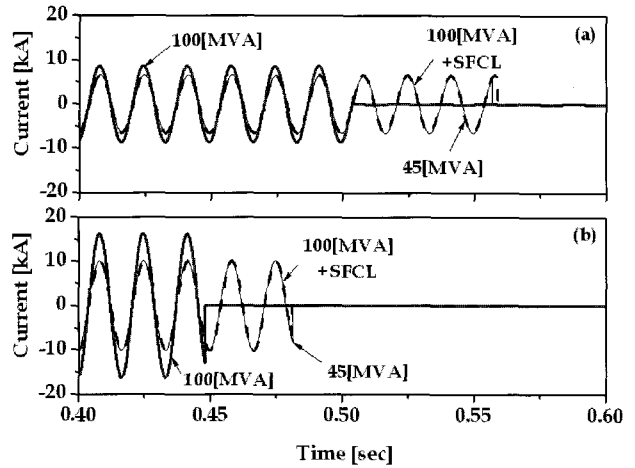


그림 6 $j0.7 [\Omega]$ 의 초전도 전류제한기 적용시 고장전류 파형.
(a) 피더 1과 피더 2.
(b) 피더 3.

Fig. 6 Waveform of fault current in case that SFCL has impedance of $j0.7 [\Omega]$.
(a) Feeder 1 and Feeder 2.
(b) Feeder 3.

한 범위로 정하였으며, 대용량 변압기가 설치되면서 변화된 계통의 임피던스에 의해 증가한 고장전류 문제를 해결하고 동시에 기존 보호기기의 동작특성을 이용하고자 임피던스 크기를 선정하였다. 이의 확인을 위해 PSCAD/EMTDC를 사용하여 초전도 전류제한기, 보호기기, 모의 배전시스템을 모델링하였고, 그 결과 초전도 전류제한기의 임피던스 크기를 선정하고 기존 보호기기를 재조정 없이 사용할 수 있는 장점을 확인하였다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, pp.19-31, 1998
- [2] W. Paul and M. Chen, “Superconducting control for surge currents”, IEEE Spectrum, vol. 35, pp. 49-54, May 1998.
- [3] E. Thuries, V. D. Pham, Y. Laumond, T. Verhaege, A. Fevrier, M. Collet, and M. Bekhaled, “Toward the superconducting fault current limiter”, IEEE Transactions On Power Delivery, vol. 6, no. 2, pp. 801-808, April 1991.
- [4] 한국전기연구원, “초전도기기 모델링 및 초전도 기기보호 기술개발”, 2001년
- [5] 한국전력공사, “배전실무Ⅲ”, 2006년
- [6] T. Hara, T. Okuma, T. Yamamoto, D. Ito K. Tasaki,

- and K. Tsurunaga, "Development of a new 6.6kV/1500A class superconducting fault current limiter for electric power system," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 1, pp. 182-192, Jan. 1993.
- [7] B. Gromoll, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Krämer, P. kummeth, and H.-W. Neumüller, "Resistive current limiters with YBCO films," IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 7, no. 2, pp. 828-831, Jun. 1997.
- [8] W. Paul, Th. Baumann, J. Rhyner, and F. Platter, "Test of 100 kW high-Tc superconducting fault current limiter," IEEE Trans. Appl. superconduct., vol. 5, no. 1, pp. 1059-1062, June 1995.
- [9] IWAO SHIMIZU, YUJI NAITO, IWAO YAMAGUCHI, KATSUYUKI KAIHO, SATORU YANABU, "Application Study of a High-Temperature Superconducting Fault Current Limiter for Electric Power System," Electrical Engineering in Japan, vol. 155, no. 4, pp. 20-29, 2006
- [10] J. M. Ahn, J. S. Kim, J. F. Moon, S. H. Lim, J. C. Kim, "Analysis on the Protective Coordination in Power Distribution System with Superconducting Fault Current Limiter," Trans. KIEE. vol. 57, no. 5, pp. 755-760, May, 2008.

저 자 소 개



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@nate.com



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 : she0486@hanmail.net



류일경 (柳一慶)

1983년 2월 26일생, 2009년 숭실대 전기공학과 졸업, 2009년~현재 동대 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (02) 828-7268
 Fax : (02) 817-7961
 E-mail : wangkami7@ssu.ac.kr



문종필 (文鍾必)

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

Tel : (02) 828-7266
 Fax : (02) 817-0780
 E-mail : pichard@ssu.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) 817-0870
 E-mail : jckim@ssu.ac.kr



안재민 (安宰民)

1982년 1월 30일생, 2007년 안양대 전자공학과 졸업, 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 한국전기안전공사 안전연구원.

Tel : (031) 580-3075
 Fax : (031) 580-3070
 E-mail : ajm0130@kesco.or.kr