

## 신뢰도 민감도 지수를 이용한 복합배전계통 내 초전도한류기의 최적 위치에 관한 연구

(An Optimal Location of Superconducting Fault Current Limiter in Distribution Network with Distributed Generation Using an Index of Distribution Reliability Sensitivity)

김성열 · 김옥원 · 배인수 · 김진오\*\*

(Sung-Yul Kim · Wook-Won Kim · In-Su Bae · Jin-O Kim)

### 요 약

지속적인 전력수요 증가에 따라 대단위 발전설비가 증설되고 있다. 특히, 국제적인 친환경 기조에 따라 배전계통 내에 신재생 에너지를 기반으로 하는 분산전원이 급속히 확산되고 있다. 또한, 전력공급의 신뢰도 향상 및 계통 운영의 유연성을 위해서 배전계통이 망상 형태로 점점 복잡해지고 있는 실정이다. 이러한 변화는 사고시의 고장전류 크기를 증가시킨다. 따라서, 앞으로 고장전류는 현재 설치된 차단기의 차단 한계용량을 넘어설 것으로 예상된다. 이를 위한 해결책으로 보호설비의 교체나 용량증대 등을 들 수 있다. 하지만, 기술적·경제적인 측면을 고려해 볼 때 초전도한류기가 그 대안이 될 수 있다.

본 논문에서는 초전도한류기의 최적 위치를 선정하는 기법을 제안한다. 최적 위치는 초전도한류기의 복합배전계통 내 설치 위치에 따른 설비별 고장전류의 저감에 기초해 설비별 고장율을 재산정하고 이를 통한 수용가별 신뢰도 향상을 신뢰도 민감도 지수를 이용하여 산정한다. 또한, 수지형 계통 및 망상형 계통에 제안한 초전도한류기의 최적 위치 기법을 적용함으로써 그 타당성을 입증하였다.

### Abstract

As electric power demand of customers is constantly increasing, more bulk power systems are needed to install in a network. By development of renewable energies and high-efficient facilities and deregulated electricity market, moreover, the amount of distributed resource is considerably increasing in distribution network consequently. Also, distribution network has become more and more complex as mesh network to improve the distribution system reliability and increase the flexibility and agility of network operation. These changes make fault current increase. Therefore, the fault current will exceed a circuit breaker capacity. In order to solve this problem, replacing breaker, changing operation mode of system and rectifying transformer parameters can be taken into account. The SFCL(Superconducting Fault Current Limiter) is one of the most promising power apparatus.

This paper proposes a methodology for an optimal location of SFCL. This place is defined as considering the decrement of fault current by component type and the increment of reliability by customer type according to an location of SFCL in a distribution network connected with DG(Distributed Generation). With case studies on method of determining optimal location for SFCL applied to a radial network and a mesh network respectively, we proved that the proposed method is feasible.

Key Words : Superconducting Fault Current Limiter, Optimal Location, Reliability Sensitivity

\*\* 교신저자 : 한양대학교 전기공학과 교수

Tel : 02-2220-0347, Fax : 02-2220-1856, E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

접수일자 : 2010년 1월 21일, 1차심사 : 2010년 1월 22일, 2차심사 : 2010년 3월 3일, 심사완료 : 2010년 3월 25일

## 1. 서 론

배전계통은 전력공급의 신뢰도 향상 및 계통 운영의 유연성을 위하여 망상구조를 갖는다. 그러나 지속적인 전력 수요 증가에 따른 설비 증설로 인해 배전계통이 저임피던스화되면서 고장전류 문제가 발생하게 되었다. 또한, 수용가의 고품질 전력 요구, 국제적 환경 기조 등에 따른 분산전원의 도입 확산은 고장전류 문제를 더욱 가속화시킬 전망이다[1]. 이에 따른 고장전류 저감대책으로서 보호설비의 교체나 용량증대, 직렬 리액터 적용, 고임피던스 변압기 채용 등의 방안이 검토되고 있다. 그러나, 기술적·경제적 측면을 고려하여 초전도한류기가 그 대안이 되고 있다.

상전도 상태의 어떤 물질이 임계온도 이하에서 전기저항이 급속히 감소하여 0이 되는 현상을 초전도 현상이라 하며 이런 물질을 초전도체라 한다. 초전도한류기는 이러한 초전도체의 특성을 이용하여 과전류가 흐를 때 저항을 발생시키는 신개념의 기기이다. 별도의 부가장치 없이 고장전류에 대한 초고속 감지가 가능하고, quench되면서 발생하는 고임피던스를 통해 사고전류를 제한한다. 또한, 고장전류가 유입되지 않는 정상운전시 초전도한류기는 임피던스 0인 상태를 유지하므로 계통에 영향을 주지 않는 무손실 운영이 가능하다는 장점이 있다. 반면, 초전도한류기의 크기, 가격 경쟁력 및 계통 보호기기 협조와 같은 문제점이 있는 것도 사실이다 [2-3].

본 논문에서는 초전도한류기를 배전계통에 연계할 경우 설비의 고장전류 저감뿐 아니라 기존 계통의 신뢰도 향상을 고려한 최적의 위치 선정을 목표로 한다.

## 2. 초전도한류기의 특성 및 최적 위치

### 2.1 초전도한류기의 특성

복합배전계통에서 외부요인에 의한 계통 사고시, 고장전류의 빠른 차단 및 초전도성 회복은 초전도한류기의 중요한 역할이다. 초전도한류기는 quenching 시

저항을 발생시키는 방법에 따라 저항형, 유도형, 정류형으로 나누어진다. 본 논문에서는 초전도체가 사고 감지 및 한류를 같이 수행하며, 간단한 원리 및 소형화가 유리한 저항형 초전도한류기의 특성에 대해서 알아 보았다.

저항형 초전도한류기의 quenching 및 회복 특성을 그림 1과 식 (1)로 나타낼 수 있다[4].

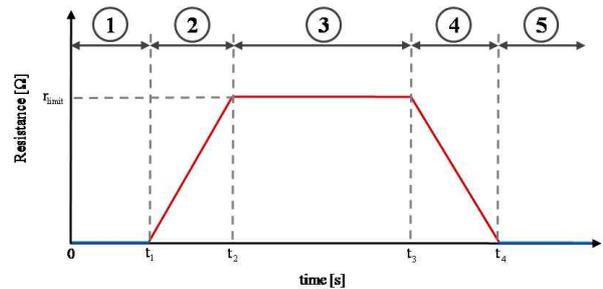


그림 1. 저항형 초전도한류기의 동작 특성  
Fig. 1. The resistive characteristics of SFCL

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t < t_1, t \geq t_4) \\ r_{\text{limit}} \cdot (1 - e^{-k_1 t}) & (t_1 \leq t < t_2) \\ r_{\text{limit}} & (t_2 \leq t < t_3) \\ r_{\text{limit}} \cdot e^{-k_2 t} & (t_3 \leq t < t_4) \end{cases} \quad (1)$$

구간 ②는 계통에 사고가 발생하여 사고전류가 유입될 경우, 초전도체가 임계특성범위를 벗어나면서 초전도한류기가 quenching 하는 구간이다. 이 때, quenching 시간은 짧을수록 최종 한류전류에 빠르게 수렴하며, 이는 기울기 계수  $k_1$ 에 의해 결정된다. 구간 ③은 초전도한류기가 사고전류를 한류하는 구간으로서, 계통에서의 최대 고장전류를 고려하여 결정하게 된다. 구간 ④는 초전도한류기의 회복특성을 나타낸다. 회복 시간은 짧을수록 한류기 제거 후 과도시간을 최소화할 수 있으며, 이는 기울기 계수  $k_2$ 에 의해 결정된다. ①, ④, ⑤는 고장전류가 계통에 유입되지 않는 정상상태를 나타내며, ②와 ③은 사고로 인해 고장전류가 계통에 유입된 상태를 나타낸다.

### 2.2 초전도한류기 최적 위치

초전도한류기는 단순히 배전계통 내 고장전류 저감만을 고려할 경우 변압기 2차측, 모선 및 main feeder 상단에 설치하는 것이 일반적이다. 또한, 분산전원이 연계된 복합배전계통에서는 분산전원 출력단이 추가적으로 초전도한류기가 설치 가능한 위치로 고려되어야 한다. 그러나 단순히 고장전류의 저감만을 고려한 초전도한류기의 위치 선정은 근본적으로 기존 배전계통 설비 및 수용가의 신뢰도 향상을 고려할 수 없다는 단점을 지니고 있다. 이에 본 논문에서는 설비별 고장전류 저감에 따른 고장율을 재산정하고, 이를 이용하여 초전도한류기의 최적 위치 산정을 위한 수용가별 신뢰도 민감도 지수를 제안한다.

고장의 형태에는 3상 고장 같은 평형 고장과 1선 지락, 2선 지락, 선간 단락 같은 불평형 고장으로 나눌 수 있다. 이중 3상 고장은 매우 드문 형태이지만 일단 발생하면 불평형 고장으로 인한 고장 전류보다 큰 고장 전류가 흐르기 때문에 차단기 용량의 결정, 보호 계전기의 정정, 기기에 가해지는 전자력을 추정하는데 필요한 값이다. 또한, 3상 고장은 평형 고장이기 때문에 고장회로를 간단하게 단상 형태로 등가화 시켜서 계산할 수 있다[7].

### 2.2.1 신뢰도 민감도 지수

신뢰도 민감도 지수는 초전도한류기 설치 위치에 따른 수용가의 신뢰도 변화를 알아보기 위해 본 논문에서 제안한 지수이다. 신뢰도 민감도 지수를 통해 배전계통 신뢰도 개선을 고려한 초전도한류기의 최적 위치를 선정할 수 있다.

$$I^{RS} = [I_0^{RS} \ I_1^{RS} \ \dots \ I_{i-1}^{RS} \ I_i^{RS}] \quad (2)$$

$$I_i^{RS} = \sum_{k=1}^K \Delta WLRI_{i,k} \quad (3)$$

$$\Delta WLRI_{i,k} = w_k \cdot (WLRI_{o,k} - WLRI_{i,k}) \quad (4)$$

$i$ 는 초전도한류기가 설치되는 선로의 위치를 나타내며,  $i=0$ 은 초전도한류기가 설치되기 이전의 상태를 나

타낸다.  $I_i^{RS}$ 는 초전도한류기가 선로  $i$ 에 설치되었을 경우 신뢰도 민감도 지수를 나타낸다.  $\Delta WLRI_{i,k}$ 는 본 논문에서 제안한 신뢰도 지수로서, 선로  $i$ 에 초전도한류기 설치 전/후 부하별 가중 신뢰도 지수를 의미한다. 이 때,  $k$ 는 수용가를 의미하며,  $w_k$ 는 각 수용가별 CIC(Customer Interruption Cost)[9]를 고려한 가중치를 나타낸다. 초전도한류기의 설치 위치에 따른 신뢰도 민감도 지수,  $I_i^{RS}$  값 중 가장 큰 값을 갖는 선로  $i$ 가 수용가의 신뢰도 측면에서 초전도한류기 설치의 최적점을 의미한다.

### 2.2.2 초전도한류기 설치 위치에 따른 수용가 신뢰도

배전계통의 신뢰도는 SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASUI 등 다양한 관점의 지수를 통해 평가된다. 그러나 기존의 한 지수만을 통해서 배전계통의 신뢰도 특성을 모두 파악하기는 어려운 일이다. 이에, 본 논문에서는 기존 배전계통에서 주요하게 사용되는 신뢰도 지수[5-8]를 통합한 형태의 새로운 신뢰도 지수, WLRI (Weighted-Load Reliability Index)를 다음 식 (5), (6)과 같이 제안한다.

$$WLRI_{i,k} = \sum_{m=1}^3 w_m \cdot R(m,i,k) \quad (5)$$

$$R(m,i,k) = \begin{cases} \frac{\sum_{e \in \forall \text{ interruption events}} \lambda_{i,k,e} N_k}{\sum_{k=1}^K N_k} & (m=1) \\ \frac{\sum_{e \in \forall \text{ interruption events}} r_{i,k,e} N_k}{8760 \cdot \sum_{k=1}^K N_k} & (m=2) \\ \frac{\sum_{e \in \forall \text{ interruption events}} r_{i,k,e} L_k}{\sum_{k=1}^K N_k} & (m=3) \end{cases} \quad (6)$$

$w_m$ 은 WLRI에서  $m$ 개의 상이한 지수값 보정을 위한 인자를 나타낸다.  $e$ 는 계통 고장의 원인이 되는 사건(event)을 의미하며,  $\lambda_{i,k,e}$ ,  $r_{i,k,e}$ ,  $N_k$ ,  $L_k$ 는 각각 고장율,

수리시간, 수용가수, 부하량을 나타낸다. 특정 배전계통 신뢰도 지수만을 고려하여 신뢰도를 평가하는 것이 아니라, System Average Interruption Frequency Index(SAIFI), Average Service Unavailability Index(ASUI)와 Average Energy Not Supplied(AENS)를 동시에 고려함으로써 다양한 각도에서 신뢰도를 평가할 수 있는 방안을 제시한다.

### 2.2.3 고장전류 경로에 따른 설비신뢰도

계통의 신뢰도 측면에서 새로운 설비의 기존 계통 연계는 일반적으로 계통 신뢰도를 악화시킬 수 있다. 그러나 초전도한류기의 경우, 계통 연계로 인해 기존의 설비들의 고장원인을 저감시키는 효과를 지니고 있으므로 오히려 계통 신뢰도 측면에서 향상되는 효과를 기대할 수 있다[12]. 고장전류 크기에 따른 설비의 고장 확률은 다음 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

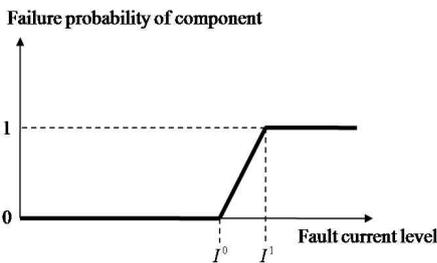


그림 2. 고장전류 크기에 따른 설비의 고장 확률  
Fig. 2. Failure probability of component vs. fault current level

x, y축은 각각 고장전류량과 설비의 고장율을 나타낸다. 여기서  $I^1, I^0$ 는 각각 계통 설비의 상/하한 고장 허용 전류를 나타낸다. 다시 말해, 고장전류 크기가  $I^0$ 보다 작을 경우 계통 설비는 정상 동작하지만,  $I^1$ 보다 클 경우 계통 설비는 기준 이상의 고장전류로 인해 고장이 발생하는 것을 의미한다.

초전도한류기의 설치 위치에 따라 기존 배전계통 설비의 고장전류 저감 효과는 상이하다. 또한, 각 설비별 고장의 원인 중 고장전류로 인한 고장율 또한 상이하다. 초전도한류기가 계통 내 유입될 경우 설비의 고장전류는 저감될 것이므로 이로 인해 설비별 고장율은

개선될 것이다. 이 때 초전도한류기의 설치 위치에 따라 설비별 고장전류 저감효과가 각각 다르게 나타나므로, 설비별 고장율 또한 초전도한류기의 설치 위치에 따라 다르게 나타날 것이다.

$$\lambda_{o,k,e} = \lambda_{o,k,e}^{\text{fault current}} + \lambda_{o,k,e}^{\text{degraded operation}} + \lambda_{o,k,e}^{\text{worn}} + \lambda_{o,k,e}^{\text{arcing}} \dots \quad (7)$$

$$\lambda_{i,k,e} = (1 - \lambda_{o,k,e}^{\text{fault current}} \cdot \eta_{i,k,e}) \cdot \lambda_{o,k,e} \quad (8)$$

식 (7), (8)은 각각 초전도한류기가 계통에 설치되기 이전, k번째 수용가에서의 고장 e에 의한 고장율과 초전도한류기가 선로 i에 설치되었을 경우 k번째 수용가에서 고장 e의 고장율을 나타낸다.  $\lambda_{o,k,e}^{\text{fault current}}$ 는 다양한 고장의 원인 중 고장전류에 의한 고장만을 고려한 고장율을 나타낸다. 또한,  $\eta_{i,k,e}$ 는 초전도한류기 설치 시 고장전류에 의한 고장원인 저감율을 나타낸다.

### 2.2.4 수용가별 공급지장비용을 고려한 신뢰도 가중치

전력 계통에서 적정도(adequacy), 안전도(security)와 전력품질(power quality)을 기준으로 정확한 시간과 장소에 전력을 공급하는 능력은 일반적으로 다양한 신뢰도 지수로 표현 가능하다. 이러한 전력 계통 신뢰도는 크게 수용가의 특성을 반영하는 지수와 공급 지역 또는 계통의 전반적인 특성을 반영하는 지수로 나눌 수 있다. 이 중, 수용가의 관점에서 신뢰도에 영향을 주는 요소로는 고장을 경험한 회수, 고장 시간 및 고장으로 인한 경제적 손실을 들 수 있다. 고장 회수와 고장 시간의 경우 신뢰도 지수를 계산하는 과정에서 포함되고, 고장으로 인한 경제적 손실의 경우 공급지장비용 등을 이용하여 산출된다[13-14]. 그러나 고장으로 인한 경제적 손실은 각 수용가의 특성에 따라 단위 시간당 파급효과가 상이하므로, 각 수용가별 공급지장비용을 비율로 재산정하여 신뢰도 지수에 포함할 경우 보다 합리적인 신뢰도 지수를 산출할 수 있을 것이다. 따라서 이 점에 착안하여 본 논문에서는 제안한 신뢰도 지수, WLRI를 이용해 초전도한류기의 신뢰도 민감도 지수 산정 시 수용가별 신뢰도 가중치

를 추가하여 수용가별 공급지장비용 특성을 반영하였다. 이 때 공급지장비용은 거시적 접근 방법 중 산업별 추정법을 이용하여 산출하였다.

### 3. 사례연구

최근 배전계통의 분산전원 유입을 고려하여 RBTS 2 bus를 수정한 모의계통을 구성하였다[10-11]. 모의 배전계통에 보호설비로 선로차단기, 선로스위치, 퓨즈를 설치하였다.

계통 내 초전도한류기 유입시 고장전류 저감에 의해 고장율이 개선되는 설비로는 변압기, 선로차단기, 선로스위치를 고려하였으며, 퓨즈는 고장전류 유입시 정상 작동된다고 가정하였으므로 퓨즈의 고장을 개선은 고려하지 않았다. 또한, 초전도한류기의 저항은 1pu라고 가정한다. 계통 내 설비 도입에 따른 영향을 평가하기 위해 빈도수는 낮지만, 큰 파급 효과로 인해 일반적으로 계통 평가 시 고려되는 3상 평형 고장을 계통의 모든 선로에 대하여 모의하였다. 변압기 데이터 및 선로 데이터는 [15]를 참조하였다.

#### 3.1 Case I : 간단한 수지형 복합배전계통

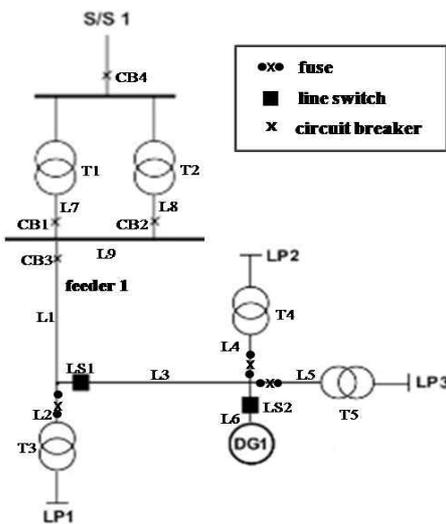


그림 3. Case I : 수정된 RBTS 2 bus  
Fig. 3. Case I : modified RBTS 2 bus

사례연구 I에서는 그림 3과 같은 비교적 간단한 형태의 복합배전계통을 구성하여, 초전도한류기 유입시 그 최적의 위치를 선정하는 기법을 모의하였다. Case I의 모의계통이 수지형 구조를 가지므로, 조류계산은 DLF 기법을 이용하여 산출하였다[16-17]. 수용가 데이터, 배전계통 보호설비 데이터 및 분산전원의 발전량은 다음 표 1~3과 같다.

표 1. Case I : 수용가 데이터  
Table 1. Case I : customer data

k	load	type	peak load		number of customers	w <sub>k</sub>
			[kW]	[kVAR]		
1	LP1	residential	932	450	250	0.7
2	LP2	residential	874.2	400	200	0.7
3	LP3	residential	918.4	450	240	0.8

표 2. Case I,II : 설비 신뢰도 데이터  
Table 2. Case I,II : reliability and system data

component	failure rate	repair time	switching time
154/22.9[kV]	0.015 [f/yr]	15	
22.9/0.230[kV]	0.015 [f/yr]	10	
22.9[kV] bus	0.001 [f/yr]	2	
22.9[kV] line	0.065 [f/km yr]	5	
circuit breaker	0.006 [f/yr]	4	1
line switch	0.01 [f/yr]	3	0.5

표 3. Case I : 분산전원의 발전량  
Table 3. Case I : the output of DG

DG	capacity	
	[kW]	[kVAR]
DG1	1000	700

선로차단기, 선로스위치, 154/22.9[kV] 변압기의 고장율 중 고장전류에 의한 고장율은 각각 0.0018, 0.002, 0.00525라고 가정한다. 모든 선로의 3상 고장을 모의하여 초전도한류기 설치 위치에 따른 각 설비별 고장전류 저감량을 분석하고 이에 따른 설비별 고장율을 재산정한다. 논문에서 제안한 부하별 가중 신뢰도 지

수를 이용한 신뢰도 민감도 지수를 산출하면 다음 표와 같이 나타난다.

표 4. Case I : 초전도한류기 설치 위치에 따른 신뢰도 민감도

Table 4. Case I : reliability sensitivity for location of SFCL

$i$	location of SFCL	$I^{RS}$
1	L1	0.00840970
2	L3	0.00559263
3	L6	0.00248238
4	L7	0.00450170
5	L8	0.00450170
6	L9	0.00450173

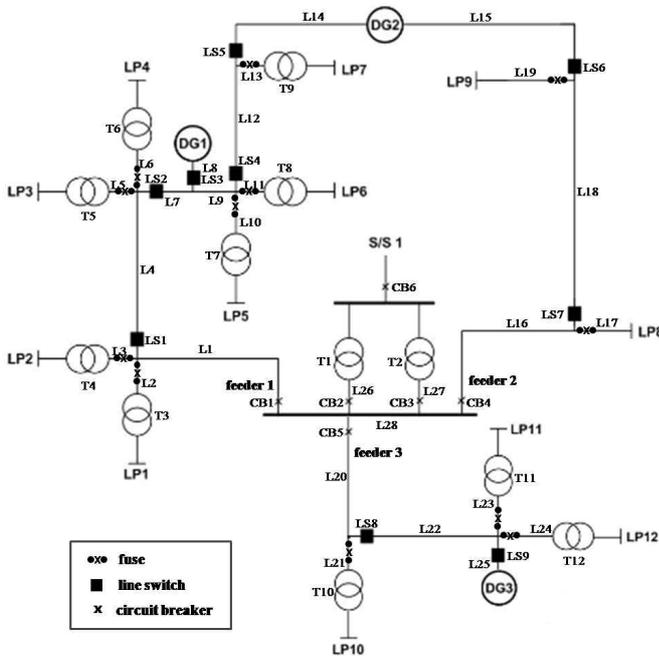


그림 4. Case II : 수정된 RBTS 2 bus  
Fig. 4. Case II : modified RBTS 2 bus

배전계통에 분산전원이 없을 경우, 고장전류는 변압기 2차측을 통해 고장지점으로 주로 흐르므로 초전도한류기의 위치는 일반적으로 변압기 2차측, 모선 또는 feeder에 설치된다. 그러나 분산전원이 연계될 경우, 고장전류는 변압기 2차측 및 분산전원으로부터 고장

지점으로 유입되므로 고장전류 저감효과와 수용가의 신뢰도를 모두 고려할 경우 Case I의 결과와 같이 선로 L1지점 즉, feeder에 설치하는 것이 최적점임을 확인할 수 있다.

### 3.2 Case II : 망상형 복합배전계통

앞의 사례연구에서는 비교적 간단한 수지형 복합배전계통에서 초전도한류기 최적 위치를 모의하였다. Case II에서는 최근 배전계통의 망상화를 고려한 복합배전계통에 대해 본 논문에서 제안한 신뢰도를 고려한 초전도한류기의 최적 위치 선정 기법을 적용한다. 모의계통이 망상형 구조를 가지므로 일반적인 조류계산 기법인 Newton-Raphson 기법을 이용하였다.

수용가 데이터는 다음 표 5와 같고, 배전계통 보호설비는 Case I의 표 2와 동일하다.

표 5. Case II : 수용가 데이터  
Table 5. Case II : customer data

$k$	load	type	peak load		number of customers	$w_k$
			[kW]	[kVAR]		
1	LP1	residential	866.8	400	210	0.5
2	LP2	residential	920.4	450	210	0.5
3	LP3	residential	824.2	400	210	0.6
4	LP4	commercial	750	300	10	1.5
5	LP5	commercial	690	300	10	1.2
6	LP6	commercial	814	400	10	1.0
7	LP7	commercial	740	370	10	1.5
8	LP8	large user	1627.9	800	1	1.6
9	LP9	large user	1872.1	900	1	1.7
10	LP10	residential	932	450	250	0.7
11	LP11	residential	874.2	400	200	0.7
12	LP12	residential	918.4	450	240	0.8

연계되는 분산전원은 출력 특성이 간헐적인 신재생 에너지 형태가 아닌 출력량의 제어가 가능한 형태로 서, 분산전원별 발전량은 표 6으로 가정한다.

표 6. Case II : 분산전원의 발전량  
Table 6. Case II : the output of DGs

DG	capacity	
	[kW]	[kVAR]
DG1	800	600
DG2	1200	800
DG3	1000	700

선로차단기, 선로스위치, 154/22.9[kV] 변압기의 고장을 중 고장전류에 의한 고장은 Case I과 동일하다고 가정하며, 고장형태는 3상 고장을 고려한다. 초전도한류기의 설치 위치에 따른 신뢰도 민감도 지수는 아래 표와 같다.

표 7. Case II : 초전도한류기 설치 위치에 따른 신뢰도 민감도  
Table 7. Case II : reliability sensitivity for location of SFCL

$i$	location of SFCL	$I^{RS}$
1	L1	0.0315
2	L4	0.0284
3	L7	0.0252
4	L8	0.0085
5	L9	0.0177
6	L12	0.0142
7	L14	0.0090
8	L15	0.0061
9	L16	0.0135
10	L18	0.0104
11	L20	0.0134
12	L22	0.0135
13	L25	0.0041
14	L26	0.0310
15	L27	0.0310
16	L28	0.0373

초전도한류기가 계통에 연계되기 이전( $i=0$ )에 배전계통의 신뢰도를 기준으로 초전도한류기의 계통 연계점에 따른 신뢰도의 변화 추이를 도식하면 다음과 같다.

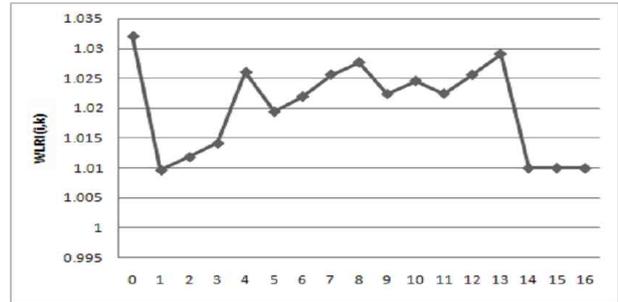


그림 5. Case II : 초전도한류기 설치 위치에 따른 신뢰도 민감도

Fig. 5. Case II : reliability sensitivity for location of SFCL

여기서, x축은 초전도한류기의 계통 내 연계점( $i$ )을 나타내며, y축은 본 논문에서 제안한 가중 부하 신뢰도, WLR을 나타낸다.

고장전류의 저감만을 고려할 경우, 수지형 구조를 갖는 feeder 3에 초전도한류기를 설치하는 것이 환상 구조인 feeder 1, feeder 2 보다 저감효과가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 feeder 1과 feeder 2는 서로 연결되어 있어 계통 내 고장 발생시 고장전류가 분산되는 효과를 가져오기 때문이다. 그러나 본 논문에서 제안한 신뢰도 민감도를 적용할 경우, 변압기의 2차측 모선에 초전도한류기를 설치하는 것이 수용가의 신뢰도 향상에 가장 크게 기여하는 것을 확인할 수 있다. 이는 초전도한류기의 설치 위치에 따라 고장전류 저감량의 변화에 따른 설비별 고장율의 개선을 고려하여 배전계통 신뢰도에 반영한 결과이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 최근 활발한 개발이 진행중인 초전도체의 특성을 이용한 전력 설비 중, 계통 내에서 실용화 단계에 도달한 초전도한류기의 최적 위치 선정에 관한 기법을 제안하였다. 배전계통 내 분산전원의 유입은 계통 구조를 더욱 복잡하게 할 뿐 아니라, 고장전류를 증가시키는 요인으로 작용한다. 이에 본 연구에서는 초전도한류기의 위치 선정 시 설비별 고장전류 저감량의 변화에 따라 고장율을 재산정하고 이를 반영하여 배전계통 신뢰도를 재평가하였다. 또한 수용가

별 가중 신뢰도 지수를 이용한 신뢰도 민감도 지수를 산출하는 기법을 제안함으로써, 배전계통 내 초전도한류기를 설치할 경우 기존의 고장전류 저감뿐 아니라 설비 및 수용가의 신뢰도 향상에도 가장 최적의 위치를 선정하는 기법을 제안한다. 사례연구로는 분산전원이 도입된 배전계통에서 초전도한류기의 최적 위치를 선정하기 위해 수지형 및 망상형 복합배전계통에서 초전도한류기의 최적 위치를 모의하였다. 이를 통해 초전도한류기의 설치 가능한 위치 중 기존 배전 설비의 고장전류 저감과 수용가의 신뢰도 향상에 가장 민감하게 반응하는 위치를 선정함으로써 본 논문에서 제안한 기법의 타당성을 검증하였다.

**감사의 글**

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

**References**

[1] 대한전기학회, “최신 배전시스템공학”, 북스힐, 2006.  
 [2] 이승렬, 김종율, 최흥관, 윤재영, “국내 실계통에서의 154kV 초전도한류기 계통적용 가능성 검토”, 대한전기학회논문지, vol. 53, no. 12, pp 661-669, 2004.  
 [3] 박동근, 석복열, 고태국, 강형구, “배전급 초전도한류기 및 전력 IT 응용을 위한 실시간 모니터링 시스템 개발”, 대한전기학회논문지, vol. 57, no. 3, pp 398-402, 2008.  
 [4] 이상봉, 김철환, 김규호, 김재철, 현옥배; “배전계통 초전도 한류기 동작특성에 따른 계통 영향 분석”, 대한전기학회논문지 vol. 57, no 7, pp 1135-1140, 2008.  
 [5] Roy Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Engineering Systems”, Plenum Press, 1992.  
 [6] Roy Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Power Systems”, Plenum Press, 1996.  
 [7] M. Soi, Inder, K.K. Aggarwal, “Modeling and analysis of distribution reliability indices Reliability”, IEEE Transactions on vol. R-30, Issue 5, pp 438-443, Dec. 1981.  
 [8] R. Billinton;] Billinton, “Distribution system reliability indices Power Delivery”, IEEE.  
 [9] A.A. Chowdhury, D.O. Koval, “Application of customer interruption costs in transmission network reliability planning” Industry Applications, IEEE Transactions on vol. 37, Issue 6, pp 1590-1596, Nov.-Dec. 2001.  
 [10] R.N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, K.S. So, “A reliability test system for educational purposes-basic distribution system data and results Power Systems”, IEEE Transactions on vol. 6, Issue 2, pp 813-820, May 1991.  
 [11] R. Billinton, Wang Peng “Teaching distribution system

reliability evaluation using Monte Carlo simulation” Power Systems, IEEE Transactions on vol. 14, Issue 2, pp 397-403, May 1999.  
 [12] Haghifam, MR.; Ghaderi, A.; Abapour, M; “Enhancement circuit breaker reliability by using fault current limiter” Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE pp 1 -5, July 2009.  
 [13] 한국전기연구소, “전압 및 정전시간 유지목표 설정에 관한 연구”, 한국전력공사 기술품질처, 1999.12.  
 [14] Kariuki, K.K.; Allan, R.N.; “Evaluation of reliability worth and value of lost load”, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, vol. 143, Issue 2, pp 171-180, March 1996.  
 [15] Hadi Saadat; “Power System Analysis”, Mc Graw Hill, 2004.  
 [16] Jen-Hao Teng; “A direct approach for distribution system load flow solutions”, Power Delivery, IEEE Transactions on vol. 18, Issue 3, pp 882-887, July 2003.  
 [17] Jen-Hao Teng; “Integration of distributed generators into distribution three-phase load flow analysis”, Power Tech, 2005 IEEE Russia, pp 1-6, June 2005.

◇ 저자소개 ◇



**김성열(金成烈)**

1980년 3월 23일생. 2007년 2월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2009년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 재학중.



**김옥원(金旭源)**

1981년 6월 6일생. 2008년 8월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정 재학중.



**배인수(裴引洙)**

1975년 2월 14일생. 1998년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 2003년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 강원대학교 전기제어공학부 전임 강사.



**김진오(金鎭吾)**

1956년 1월 7일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수.