

국내 345kV 변전소 하위 154kV 계통 연계지점 SFCL 적용방안에 관한 연구

이 승 열 김 종 율 윤 재 영  
한국전기연구원

A study on SFCL application for 154kV power system interconnection of 345kV S/S in Korean power system

Seung Ryul Lee Jong Yul Kim Jae Young Yoon  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - This paper is for studying the feasibility of SFCL application for the interconnection operation of 154kV power systems under 345kV S/S in Korean power system. All Korean 154kV power systems are constructed as loop systems in downtown. However, the present 154kV systems are operated with separated systems around 345kV S/S because of fault current and overload problems. In this study, we investigate the structure and operation of 154kV power system in Seoul and study the feasibility of interconnection operation of 154kV systems under 345kV systmes by applying SFCLs to 154kV bus-tie.

달라지지는 않을 것으로 판단되어 미래계통운전 데이터와 본 데이터를 동일하다는 가정 하에 기본검토를 수행하였다. 2010년 peak 계통을 확인한 결과, 아래와 같이 선로개방 또는 모선분리 운전을 하는 선로와 변전소가 일부 존재하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 국내 대도시의 154kV 계통은 전체계통이 루프구성으로 되어있기는 하지만, 고장전류 및 과부하문제로 인해서 선로개방 및 모선분리를 통해서 345kV 변전소를 중심으로 지역구분이 되어 있으며 각 지역 간의 154kV 선로를 통한 연계운전은 하지 않는 것으로 나타났다. 여기서 AREA는 345kV 변전소 하위 154kV 계통간의 연계여부에 따라 편의상 구분한 것이다.

1. 서 론

현재 국내에서 부하증가에 따라서 고장전류 문제가 심화되고 있다. 이러한 문제는 특히 대도시 지역의 부하밀집지역에서 두드러지고 있으며, 국내에서는 이에 대한 대책으로서 345kV 변전소간 154kV 연계선로 분리, 모선분리 등 다양한 방법을 고려하고 있다[1][2]. 그러나 이러한 방안들은 각각 공급신뢰도 저하 등의 계통관점에서 단점을 갖는다. 반면에 최근 초전도한류기가 고장전류 저감방안으로서 유력한 대안으로서 주목받고 있는데 [3-5], 정상상태에서는 계통에 전혀 영향을 주지 않으므로 기타 대안에 비하여 문제점이 작을 것으로 평가되고 있다[6]. 따라서 국내에서도 초전도한류기의 개발 및 계통적용에 관한 연구가 수행 중에 있다[7-11]. 국내 대도시 내의 154kV 계통은 고장전류 문제와 조류편중(과부하) 문제 등으로 인해서 국부적으로 선로개방 및 모선분리운전을 하고 있다. 실제 계통 운전시의 계통구성은 운전시점에 따라서 변화되며, 초전도한류기를 적용하기 위해서는 이러한 실제계의 운영패턴을 고려한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 2010년 peak 계통에서 서울지역의 선로개방 및 모선분리 지역을 확인한 후, 계통구성을 고려한 초전도한류기 적용가능성에 대해서 검토한다. 즉, 본 연구에서는 국내 계통에서의 초전도한류기 적용방안에 관한 연구의 일환으로, 345kV 변전소 하위 154kV 계통간 분리운전되고 있는 현재 국내계통에 대하여 초전도한류기를 도입하여 새로운 계통구성을 통한 보다 신뢰성 높은 계통운영방안을 제시하는 것을 목표로 한다.

2. 선로개방 및 모선분리 운전 현황

현재 국내에서 개발 중에 있는 154kV 초전도한류기는 2010년 이후 적용될 것으로 예상되는 바, 본 연구에서는 2010년 peak 계통에 대한 기본검토를 수행하였다. 본 연구에서 사용한 데이터는 계획데이터이므로 실제 운전과는 다소 차이가 있을 수 있지만 계통구성 전체가 크게

- 모선분리 운전 변전소
  - 삼각지/삼각지S ( AREA 4 - AREA 5 )
  - 당인리/당인리S ( AREA 5 - AREA 7 )
  - 봉천/봉천S ( AREA 8 - AREA 9 )

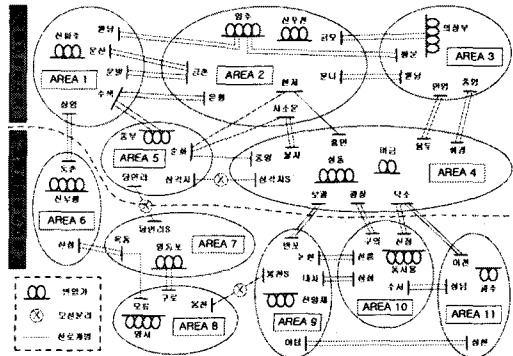


그림 1. 서울지역 선로개방/모선분리운전전망(2010년)

3. 과부하 및 고장전류 기본검토

앞에서 확인한 바와 같이 2010년 계통은 일부 선로개방 및 모선분리 운전이 예상되는데, 일반적으로 이렇게 선로개방과 모선분리 운전을 하는 이유는 고장전류 및 과부하 문제 때문이다. 여기서는 대상 계통인 2010년 계통에서의 상기와 같이 운전하는 원인을 정확히 파악하기 위해서 서울(서울/남서울 전력관리처)지역 내의 모든 개방선로를 투입하고, 모선분리된 변전소 역시 단일모선으로 운전하는 경우를 상정하여 과부하선로 및 고장전류 결과를 확인하였다.

3.1 과부하선로 개략검토

우선, 과부하선로에 의한 영향을 파악하기 위해서 서울지역 내 모든 개방선로를 투입한 후 과부하선로를 확인하였다. 여기서 정상상태에서 과부하선로 기준은 (선로조류 > 선로용량 100%)을 적용하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 서울전력관리처 내에서는 과부하선로가 없었으며, 남서울전력관리처 내에는 새로운 과부하선로가 발생하였다. 즉, 각 AREA 간의 연계선로의 개방여부가 과부하에 일부 영향을 줄을 알 수 있다.

표 1. 모든 개방선로 투입 후 과부하선로 결과

과부하선로	회선	조류 (MVA)	용량 (MVA)	과부하율 (%)	비고
영서 1 - 오류	1	117.4	108.0	108.7	AREA 8
영서 1 - 오류	2	117.4	108.0	108.7	
영동포 1 - 여의	1	148.8	127.0	117.2	AREA 7

### 3.2 과부하관련 세부검토 (서울지역)

과부하에 영향을 주는 개방선로 및 모선분리 변전소를 조금 더 상세히 확인하기 위해서 본 절에서 세부검토를 하였다. AREA 7과 8에서 과부하선로가 발생하였으므로 AREA 7 및 8과 관련된 지역간 연계선로들을 차례로 투입하여 과부하선로를 확인하였다.

표 2. 검토조건별 과부하선로 결과

검토조건	연계지역	과부하선로 발생여부
(당인리/당인리S) 단일모선 운전	AREA 5 - 7	발생
(봉천/봉천S) 단일모선 운전	AREA 8 - 9	미 발생
(목동 - 오류) 선로투입 운전	AREA 7 - 8	미 발생
(영동포 구로) 선로투입 운전	AREA 7 - 8	미 발생
(신정 - 북동) 선로투입 운전	AREA 6 - 7	미 발생

표 2의 결과를 분석한 결과, 당인리/당인리S 모선분리 및 신정 - 목동 선로개방 운전원인 중 일부는 과부하 문제라고 판단된다. 즉, AREA 7에서 AREA 5와 6으로 전력조류가 흐름으로써 과부하문제가 발생하는 것으로 보인다. 결론적으로, AREA 5 - AREA 7 및 AREA 6 - AREA 7의 연계지점인 당인리/당인리S 변전소와 신정 - 목동 선로는 고장전류문제를 해소시킨다고 하더라도, 과부하문제로 인해서 모선분리와 선로개방 운전을 하거나 기타 과부하문제를 해결하기 위한 대책이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 상기 대상선로와 변전소에 대해서 아래와 같이 선로개방 및 모선분리운전을 하는 것을 기본으로 하여 검토한다.

#### 기본 검토조건

- 당인리/당인리S : 모선분리운전
- 신정 - 북동 (2회선) : 선로개방운전

### 3.3 고장전류 확인

고장전류에 의한 영향을 확인하기 위해서 기본검토를 수행한 결과를 표 3에 나타내었다. AREA간 연계선로를 투입하는 경우, 계통구성이 더욱 복잡해지고 계통인피턴스 영향으로 인해서 고장전류가 차단기 용량인 50kA를 초과하는 모선의 수가 급격히 증가한다. 따라서, 각 AREA간 연계선로의 개방운전에 고장전류 문제가 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 검토결과, 잠정적으로 서울지역(서울/남서울 전력관리처) 내의 선로개방 및 모선분리 운전은 과부하 및 고장전류 문제가 복합적인 원인으로 작용하는 것으로 사료된다. 특히, 과부하문제에 비

해서 고장전류 문제는 매우 심각한 영향을 줄을 알 수 있다. 본 연구에서는 각 AREA간 연계선로 개방운전 및 모선분리 운전의 가장 큰 원인이 고장전류 문제라는 잠정결론 하에 기본검토를 수행하였다.

표 3. 서울지역 내 고장전류 50kA 이상 모선 수 비교

계통구성	서울지역 내 고장전류 50kA 이상 모선 수
기본 계통구성 (AREA간 연계선로 개방 및 일부 모선분리)	7 개 모선
AREA간 연계선로 투입 및 분리모선 단일운전시	158 개 모선

## 4. 154kV 초전도한류기 투입방안

### 4.1 345kV 하위 154kV 계통분리 운전시 고장전류 문제 해소방안

현 계통구성 내에서의 고장전류 문제 해소방안에 관한 연구(154kV 초전도한류기 적용 기본검토)는 기 수행하였으며[6][11], 연구결과에 따르면 성동 모선에 Bus-Tie 방식으로 적용하는 경우가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 본 검토결과는 상기의 AREA 중에서 AREA 4의 고장전류 문제를 해결하는 방안이라고 볼 수 있다. 즉, 345kV 변전소를 중심으로 154kV 송전계통이 루프화되어 있으며, 인근 345kV 변전소 하위계통과의 연계선로를 개방운전함에도 불구하고 고장전류 문제가 발생하는 경우, 상기 방안과 같이 초전도한류기를 적용함으로써 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

표 4. 초전도한류기 성동1 Bus-Tie 적용효과

고장 위치	고장전류 [kA]	SFCL 적용 전		SFCL 적용 후	
		적용 전	적용 후	적용 전	적용 후
AREA 4 (서울전력관리처)	성동1	53.4 kA	37.1 kA	53.4 kA	37.1 kA
	성동1S	-	37.7 kA	-	37.7 kA
	왕십리	52.7 kA	37.3 kA	52.7 kA	37.3 kA
	마장	52.4 kA	36.6 kA	52.4 kA	36.6 kA
	미금1	50.8 kA	40.8 kA	50.8 kA	40.8 kA
	D미금1	50.8 kA	40.8 kA	50.8 kA	40.8 kA
휘경	50.7 kA	38.8 kA	50.7 kA	38.8 kA	

### 4.2 AREA간 연계운전 및 초전도한류기 적용 가능성 검토

국내 대도시 내의 154kV 송전계통은 상기에서 검토한 바와 같이 345kV 변전소를 중심으로 한 154kV 루프계통으로 되어있다. 그러나 현재 345kV 변전소간 154kV 연계선로를 개방운전하거나 일부 154kV 모선은 분리운전하고 있다. 이러한 계통구성 및 송전선로 운용의 가장 큰 이유는 고장전류 문제이다. 대도시내에서 가장 이상적인 계통운영방안은 모든 154kV 계통을 루프화하여 공급신뢰도가 높은 계통구성을 이루는 것이다. 그러나, 고장전류 문제로 인해서 이는 불가능한 실정이다. 본 연구에서는 초전도한류기를 적용함으로써 이러한 345kV 변전소 하위 154kV 계통간 연계운전이 가능한 대안을 모색하였다. 우선, 서울지역의 중심지역이라고 할 수 있는 서울전력관리처 내의 AREA 4, 5와 남서울전력관리처의 AREA 9, 10의 연계가능성에 대해서 중점적으로 검토하였다. 여기서, AREA 4의 고장전류 문제가 해결된 상태, 즉 성동1에 초전도한류기를 적용한 사례를 기본으로 하여 검토하였다.

#### 4.2.1 AREA 4 - AREA 5 연계가능성

먼저 AREA 4 와 AREA 5의 연계운전 가능성을 위해서 삼각지/삼각지S 모선분리개소에 초전도한류기를 Bus-Tie 방식으로 적용한 후 조류해석 및 고장해석을 수행하였다. 조류해석 결과 과부하선로는 없는 것으로 나타났으며 고장해석 결과를 정리하면 표 5과 같다. 결과에서 삼각지/삼각지S에 초전도한류기를 적용하는 경우, 모선분리를 한 경우보다는 작지만, 충분한 고장전류 저감효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 상기 사례인 서울전력관리처 내 AREA 4 - AREA 5 사이의 삼각지/삼각지S에 초전도한류기를 적용함으로써, 신뢰도를 향상시키고 동시에 고장전류 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

표 5. 삼각지/삼각지S 초전도한류기 적용 전후의 고장전류 결과비교

고장 위치		고장전류 [kA]		
AREA	모선명	단일모선 운전	SFCL 적용 후	모선분리 (SFCL미적용)
AREA 4	성동1S	51.7 kA	40.5 kA	37.7 kA
	왕십리	51.0 kA	40.1 kA	37.3 kA
	미금1	50.9 kA	43.1 kA	40.8 kA
	D미금1	50.9 kA	43.1 kA	40.8 kA
	한남	50.3 kA	37.7 kA	34.8 kA
	휘경	50.2 kA	41.3 kA	38.8 kA

#### 4.2.1 AREA 9 - AREA 10 연계가능성

다음으로 서울내에서 가장 부하밀도가 높다고 할 수 있는 AREA 9와 AREA 10의 연계가능성에 대해서 검토하였다. 여기서는 삼성 모선에 그림 2와 같이 초전도한류기를 적용한 후 조류해석 및 고장해석을 수행하였다. 조류해석 결과 과부하선로는 없는 것으로 나타났으며 고장해석 결과를 정리하면 표 6 및 표 7과 같다.

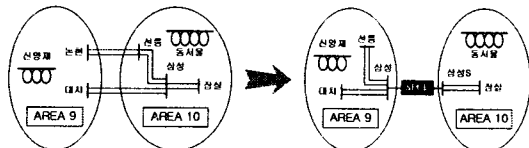


그림 2. 삼성/삼성S 초전도한류기 적용개념도

표 6. 삼성/삼성S 초전도한류기 적용 전후의 고장전류 결과비교

계통조건	고장전류 50 kA 이상 모선 수
선통 - 논현, 대치 - 삼성 선로투입	총 31개소 (AREA 9, 10)
삼성/삼성S 초전도한류기 적용	총 1개소 (신양재1 - AREA 9)

표 7. 삼성/삼성S 초전도한류기 적용 전후의 고장전류

고장위치		고장전류		
AREA	모선명	개방선로 투입	SFCL 적용	선로개방
AREA 9	신양재1	67.6 kA	50.2 kA	48.5 kA
	역삼	65.6 kA	47.7 kA	45.7 kA
	교대	62.6 kA	47.3 kA	45.8 kA
AREA 10	동서울1	67.2 kA	49.1 kA	48.0 kA
	D동서울1	67.2 kA	49.1 kA	48.0 kA

위의 결과에서 개방선로를 투입하여 AREA 9 - 10을 연계운전하는 경우, 고장전류가 50kA 이상되는 모선이 31개소이다. 이러한 경우 초전도한류기를 적용한 결과 고장전류 문제모선은 1개소(신양재1)로 감소하였으나, 고장전류 문제를 완전히 해소시키지는 못했다. 상기 지역에서는 기존 선로개방 운전시의 고장전류가 48kA 이상으로 매우 높기 때문에, 초전도한류기를 적용하더라도 고장전류가 높게 나타나는 것이다. 이러한 경우에는 345kV 변전소 2차측 154kV 모선과 두 지역의 연계지점에 모두 초전도한류기를 적용함으로써 고장전류 문제를 해소시킬 수 있다. 그 결과를 표 8에 나타내었으며, 표 5에서 CASE 분류는 다음과 같다.

- CASE 1 : SFCL 1대 적용 (삼각지-삼각지S 1대)
- CASE 2 : SFCL 2대 적용 (신양재1, 삼각지-삼각지S 각각 1대)
- CASE 3 : SFCL 3대 적용 (신양재1, 동서울1, 삼성-삼성S 각각 1대)

따라서, 본 사례 역시 2대 이상의 초전도한류기를 적용함으로써 AREA 9 - AREA 10의 연계운전이 가능하다.

표 8. 삼성/삼성S 초전도한류기 적용 전후의 고장전류 결과비교

고장위치		고장전류		
AREA	모선명	CASE 1	CASE 2	CASE 3
AREA 9	신양재1	50.2 kA	33.9 kA	34.0 kA
	역삼	47.7 kA	34.6 kA	34.7 kA
	교대	47.3 kA	34.3 kA	34.4 kA
AREA 10	동서울1	49.1 kA	49.3 kA	38.6 kA
	D동서울1	49.1 kA	49.3 kA	27.0 kA

## 5. 결 론

본 논문은 국내 154kV 실계통에서의 초전도한류기 적용방안에 관한 연구이다. 현재 계통구성에서의 초전도한류기 적용함으로써 고장전류의 저감효과를 입증할 수 있었다. 즉, 고장전류 문제가 있는 지역에서 345kV 변전소에 연결된 154kV 모선에 bus-tie 방식으로 초전도한류기를 적용함으로써 345kV 하위의 154kV 계통의 고장전류 문제를 완전히 해결할 수 있다. 또한, 모선분리 및 선로개방 지점에 초전도한류기를 적용함으로써 345kV 하위 2 - 3개의 154kV 계통간 연계운전이 가능할 것으로 판단된다. 이렇게 계통연계운전이 가능한 경우, 새로운 계통구성을 통한 보다 신뢰성 높은 계통운영이 가능하다. 향후 초전도한류기를 실계통에 적용하기 위해서는, 도입시점의 실계통에 대해서 적용대상 선정 후 보다 상세한 검토가 필요할 것으로 보인다.

### 감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] KEPCO, "Long-term prospects for transmission system (2002 ~ 2015)", 2002. 12
- [2] Mocie, "The second basic plan of long-term electricity supply & demand", 2004. 12
- [3] M. Noe, B. R. Oswald, "Technical and economical benefits of superconducting fault current limiters in power systems," IEEE Transactions on applied superconductivity, 1999.6
- [4] M. Sjostrom, D. Politano, "Technical and Economical Impacts on a Power System by Introducing an HTS FCL", IEEE Trans on Applied Superconductivity Conference, Sept. 2000
- [5] Michael Steurer, Mathias Noe, Frank Breure, "Fault Current Limiters - R&D Status of Two Selected Projects and Emerging Utility Integration Issues", IEEE 2004 General meeting, June 2004
- [6] KERI, DAPAS project, "Modeling and protection superconducting devices", 2004. 7
- [7] M. Noe, O-B Ilyun, Y.-B. Yoon, and H. Jagels "Investigation of the Feasibility of Superconducting Fault Current Limiters in Seoul and Berlin", Pro. of EUCAS2003, 14-18 Sept. 2003, Sorrento, Italy
- [8] Hak-Man Kim, Jong-Yul Kim, "Feasibility Study of Superconducting Fault Current Limiter Application to Korean Power System", Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, Vol. 5, No. 1, 2003
- [9] Seung Ryul Lee, Jong Yul Kim, Jae Young Yoon, "A study on the application of HTS-FCL in Korean Customer Power System", Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, Vol. 6, No. 3, 2004. 9
- [10] Seung Ryul Lee, Jong Yul Kim, Heung Kwan Choi, Jae Young Yoon, "Feasibility study on the application of 154kV HTS-FCL in Korean power system", KIEE transaction on PE, Vol. 53A, No. 12, 2004. 12.
- [11] Seung Ryul Lee, Jong Yul Kim, Jae Young Yoon, "A study on SFCL systems for power system application" , Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, Vol. 1, No. 7, 2005. 3