

## 초전도 한류기를 적용한 한전미래계통의 확률론적 신뢰도 평가

### A Probabilistic Reliability Assessment of KEPCO Future System with Applied HTS-FCL

권중지<sup>1</sup>, 이승렬<sup>1</sup>, 윤재영<sup>1\*</sup>, 최재석<sup>2</sup>

Jung-Ji Kwon<sup>1</sup>, Seung-Ryul Lee<sup>1</sup>, Jae-Young Yoon<sup>1\*</sup>, Jae-Seok Choi<sup>2</sup>

**Abstract:** The power systems should be improved to reduce the number of black-out events occurring throughout the world. Quantitative evaluation of composite power system reliability is very important in a competitive electricity environment. The reason is that the successful operation of electric power systems under a deregulated electricity market depends on transmission system reliability management. This paper presents sensitivity analysis of probabilistic reliability indices of Korea power systems with checking application of HTS-FCL.

**Key Words:** reliability, superconductor, HTS-FCL, transmission system, TRELSS.

#### 1. 서 론

전력계통의 기본임무는 수요자에게 양질의 전기에너지를 정전사고 없이 높은 수준의 신뢰도로 공급하는 것이다. 최근 급속한 경제성장과 함께 전력수요가 급격한 증가하고 수요예측의 불확실성 증가로 인해 전력공급에 대한 높은 신뢰성을 요구하고 있다[1].

국내 계통은 점차 수요가 증가하여 대형화, 복잡화되고 있으며 수도권 지역은 부하밀집 정도가 심각하며 지속적인 전력수요의 증가에 따라 고장전류 역시 점점 더 증가할 것으로 판단된다. 이에 따라 고장전류 문제나 공급신뢰도 등의 문제가 계속적으로 발생하고 있고 추후에도 더욱 심해질 것이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 일부 154kV 계통(수도권)은 단락용량을 억제하기 위해 345kV 변전소 지역내에서 그룹으로 연결해 운전하고 있다. 즉, 일부 154kV 계통이 환상망 형태의 2~3개 그룹으로 구성되어 345kV의 하위계통으로 운전되고 있음을 의미한다.

본 논문에서는 장기적인 계획관점에서 초전도 기기들 중 하나인 초전도한류기가 개발완료 되는 예정시점인 2010년, 초전도한류기가 154kV 변전소에 적용된다고 가정했을 경우 국내계통의 신뢰도가 어떻게 달라지는가에 대해 연구하였다.

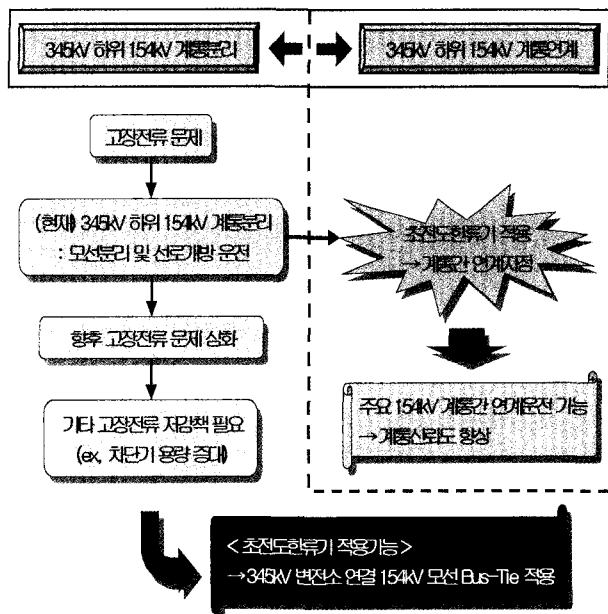
계통의 신뢰도 분석을 위해 미국 전력 중앙 연구소

(EPRI)와 Southern Company Services 가 공동으로 개발한 TRELSS(Transmission Reliability Evaluation Large-Scale Systems)를 이용하여 국내계통의 확률론적인 신뢰도 평가를 실시하였으며 계통구성에 따른 초전도 한류기의 효과를 확인하였다.

#### 2. 신뢰도평가를 위한 초전도한류기 적용

##### 2.1. 초전도한류기 적용 필요성

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 국내계통은 부하의 집중과 지속적인 부하의 증가로 인해 앞으로도 고장전류의 문제는 계속적으로 발생할 것으로 판단된다. 이를 해소하기 위한 여러 방안들이 강구되고 있으며 그 한 예로써, 선로개방, 모선분리, 직렬리액터 적용, 차단용량 증가 등의 방안들이 있다. 하지만 이러한 방법들은 전력공급의 신뢰도 저하라든지 안정도 문제, 과부하 문제 등을 유발할 수 있기에 비용문제와 함께 계통관점에서 여러 문제점을 수반하고 있다[2]. 이렇게 언급되어진 고장전류의 억제, 계통 안정도 및 공급신뢰도 확보, 전력기기의 경제적 효율성 등의 문제를 해결하기 위한 방안으로써 초전도 한류기의 도입이 제기되었다[2].



<sup>1</sup>정 회원 : 한국전기연구원 전력연구단

<sup>2</sup>비 회원 : 경상대학교 전기공학과

\*교신저자 : jyoon@keri.re.kr

원고접수 : 2008년 01월 10일

심사완료 : 2008년 07월 02일

게재확정 : 2008년 07월 02일

Fig. 1. Application of HTS-FCLs in 154kV System.

## 2.2. 신뢰도 평가

2010년 154kV급 초전도한류기가 개발 완료되어 현재 수도권 지역(선로개방지역)에 적용되었다고 가정했을 경우, 수도권 지역의 신뢰도 변화와 함께 국내계통의 신뢰도가 어떻게 변하는지에 대해 연구하였다. 복합전력계통 신뢰도 평가 프로그램인 TRELSS를 이용하여 여러 신뢰도 지수들 중 대표적인 3가지 지수 EDLC(Expected Duration of Load Curtailments), EENS(Expected Energy Not Supplied), EIR(Energy Index of Reliability)을 각각 산정하였다. 지수들을 살펴보면 다음과 같다.

### ■ EDLC (시간에 따른 부하손실의 기대치 값)

$$EDLC = PLC \times T \quad [\text{hours/year}] \quad (1)$$

PLC : 계통의 고장 확률

1년 동안에 해당하는 즉 시간에 따른 부하손실의 기대치 값으로 1년에 몇 시간 단위로 계산된다. 정전시간의 값이므로 작을수록 계통의 상태가 강건하다는 것을 의미한다.

### ■ EENS (공급되지 않은 에너지의 기대치 값)

$$EENS = \sum_{i \in S} T * C_i * P_i \quad [\text{MWh/year}] \quad (2)$$

T : 1년 즉, 8760시간

C : 부하 손실량[MW]

P : 확률값

1년 동안(8,760시간)에 해당하는 공급장치의 에너지로써 MWh 값으로 계산된다. 이는 계통의 크기(size)와 관련된 것으로 반드시 크다고 해서 계통의 상태가 좋지 않은 것은 아니다.

### ■ EIR (에너지 지수)

$$EIR = 1 - \frac{EENS}{\text{Annual Energy}} \quad [\text{pu}] \quad (3)$$

EIR은 신뢰도 평가에서의 에너지 지수로써 1에 가까울수록 계통이 완벽하다는 것을 의미한다.

위의 3가지 지수를 통해 초전도한류기를 적용함으로써 국내 계통의 신뢰도가 어떻게 변화하는지에 대해 검토해 보았다.

## 3. 신뢰도 평가 적용 계통

### 3.1. 국내계통 현황

154kV급 초전도한류기가 개발완료 되는 예정시점인 국내 2010년(Peak)의 수도권계통에 적용한다고 가정하여 수도권 지역과 전체적인 국내계통의 신뢰도를 평가하였다.

그림 2는 국내 전력계통도를 나타낸 것으로 국내계통은 지역적으로 남쪽에 위치한 발전소에서 발전한 전력이 북쪽에 위치한 수도권으로 전력이 집중되는, 소위 북상조류특성 경향을 크게 보이는 것처럼 총 수요의 42%에 해당하는 전력소모가 경인지역에서 이루어지는 만큼 초전도한류기가 적용될 때의 신뢰도 평가는 중요하다.

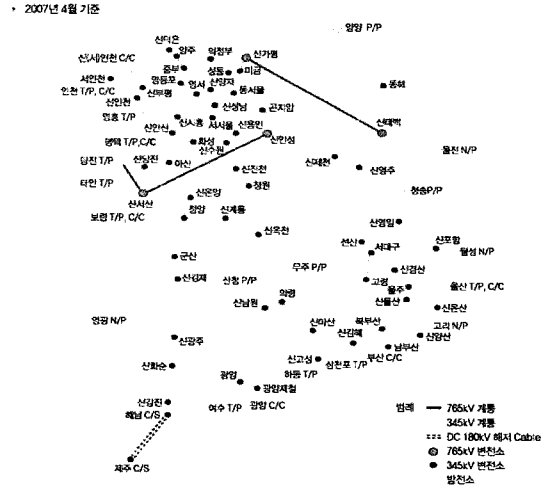


Fig. 2. KEPCO Power System.

### 3.2. 수도권(서울) 154kV 계통 연계 운용

연구에 사용되던 데이터는 계획용 데이터이며 실제 운전과는 다소 차이가 있을 수 있지만 2010년의 계통 구성이 크게 달라지는 않을 것으로 판단하여 평가를 수행하였다. 그림 3은 초전도한류기용 지점을 나타낸 것으로 2 line 기준으로 최소 23개 이상의 한류기 적용을 전제로 하였다. 아래 그림의 모선들은 현재 선로 개방 또는 모선 분리된 상태이며 초전도한류기의 적용을 가정하여 계통을 운전한다고 했을 때, 수도권지역과 계통전체의 신뢰도 변화를 측정하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 서울지역의 154kV 계통은 전체계통이 환상망 루프(LOOP)형태로 운영되고 있다. 고장전류 및 과부하문제로 인해서 선로개방 및 모선분리를 통해서 345kV 변전소를 중심으로 지역구분이 되어 있고 각 지역 간의 154kV 선로를 통한 연계 운전은 하지 않는 것으로 나타났다. 여기서 AREA는 345kV 변전소 하위 154kV 계통간의 연계여부에 따른 편의상 구분한 것이다.

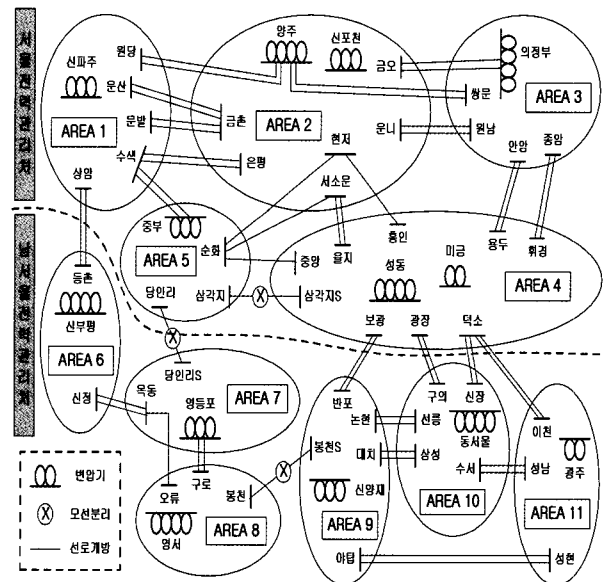


Fig. 3. Opened Transmission Lines in Seoul Area (2010).

4. 사례 연구

대도심 내에서 가장 이상적인 계통운영방안은 모든 154kV 계통을 연계하여 공급신뢰도가 높은 계통구성을 이루는 것이다. 하지만 고장전류 문제로 인해 현재로서는 불가능한 실정이다. 본 연구에서는 초전도한류기를 적용함으로써 이러한 345kV 변전소 하위 154kV 계통간 연계운전이 가능하다는 것을 가정하여 계통의 신뢰도를 비교분석 하였다.

먼저 서울과 남서울 전력관리처의 일부에 초전도한류기를 적용하기 전의 경우와 초전도한류기가 적용되었다고 가정한 경우의 신뢰도 평가 결과는 다음과 같이 분석되었다.

■ 초전도 한류기 적용 전

	EDLC [hrs/Year]	EENS [MWh/Year]	EIR [pu]
서울	4.842	162.237	0.99999683
남서울	3.315	143.121	0.99999667
KEPCO	123.336	3766.940	0.99999112

초전도한류기 적용 전의 수도권 지역의 EDLC, EENS, EIR은 상당히 신뢰성 있는 계통으로 판단되었다.

■ 초전도 한류기 적용 후

	EDLC [hrs/Year]	EENS [MWh/Year]	EIR [pu]
서울	4.618	153.475	0.99999700
남서울	3.125	142.324	0.99999669
KEPCO	122.163	3647.121	0.99999140

국내계통은 신뢰도 측면에서 강건한 구성이기에 초전도한류기 적용 전/후의 신뢰도 효과를 살펴보았을 때 아주 많이 좋아지진 않았지만 초전도한류기의 효과를 확인할 수 있었다.

초전도한류기 적용 후의 수도권 지역의 EDLC와 EENS가 표와 그림에서 보이듯이 소폭 낮아졌는데 이것은 초전도한류기가 적용되어 계통이 연계됨에 따라 계통 신뢰도가 약간 상승한 것으로 판단되었다. 그리고 서울전력관리처와 남서울 전력관리처의 EDLC와 EENS의 값이 KEPCO SYSTEM에 비해 낮은 이유는 수도권지역이 현재 다른 지역들에 비해 계통구성이 튼튼하다는 것을 의미한다. 또한 EIR 값이 0.99999를 넘어서고 있기에 국내 계통은 선진국 수준에 위치해 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

현재 수도권 지역(서울) 내의 154kV 계통은 고장전류 문제와 과부하 문제 등으로 인해서 국부적으로 선로개방 및 모선 분리운전을 하고 있다. 그러한 문제들

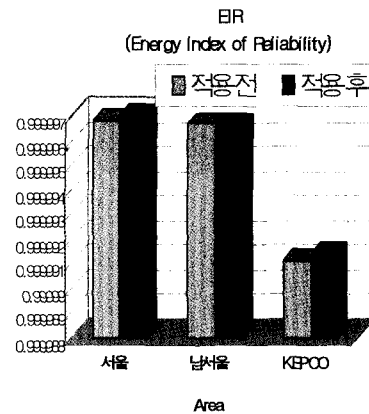
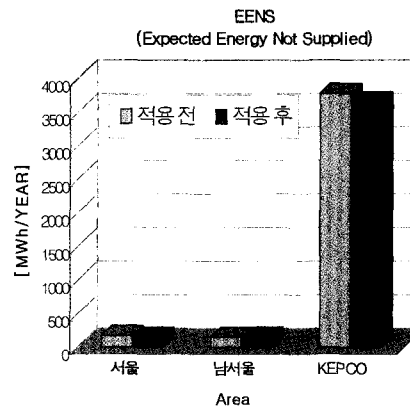
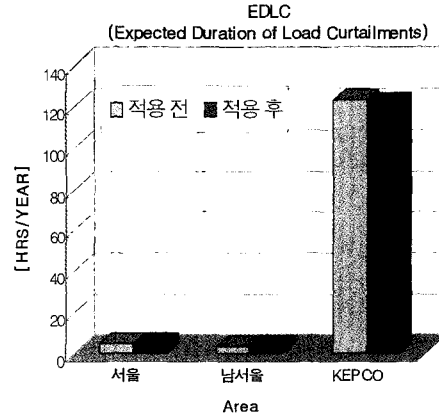


Fig. 4. EDLC, EENS, EIR of Area.

을 해결하기 위한 한 방법으로써 초전도한류기가 제시되었고, 본 논문에서는 2010년 국내계통을 모의대상으로 하여 고온초전도한류기(HTS-FCL)를 적용했을 경우에 서울, 남서울 전력관리처와 국내계통의 신뢰도 평가를 실시하였다. 이를 위해 복합전력계통의 신뢰도 평가 프로그램인 TRELSS (Transmission Reliability Evaluation Large-Scale Systems)를 이용하였으며 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 2010년 완성된 초전도한류기(154kV급)를 적용한다면 신뢰도 측면에서 향상된 결과를 가져다 줄 것으로 판단

- 일부 지역이 아닌 계통전반에 걸쳐 초전도한류기가 적용된다면 국내계통의 전반적인 신뢰도 향상이 있을 것으로 판단
- 국내계통의 신뢰도 기준이 명확하게 확립된다면 계통 신뢰도에 따른 경제적인 측면에서도 좋은 결과를 예상

또한 차후 과제으로써 초전도한류기 뿐만이 아닌 초전도케이블 변압기 등을 적용함으로써 계통의 신뢰도가 어떻게 변화하는지에 대해 연구해 봄과 동시에 최적의 효과를 낼 수 있는 적용지점에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

**감사의 글**

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

**참 고 문 헌**

[1] GYUGYI, L. 1992. Unified power-flow control concept for flexible AC transmission system, IEE Proc, C, vol. 139, no. 4, pp. 323-331.  
 [2] 한국전기연구원, 2001, 초전도기기 모델링 및 초전도기기 보호기술 개발, 최종보고서.  
 [3] 한국전기연구원, 2004, 초전도 전력기기 경제성 분석 및 계통도입방안 수립, 2단계 최종보고서.

**저 자 소 개**



**권중지(權重志)**  
 1979년 10월 17일생, 2005년 경상대학교 전기공학과 졸업, 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전기연구원전력연구단 전력기술팀.



**이승렬(李昇烈)**  
 1975년 9월 23일생, 1999년 고려대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2003년 동대학원 전기공학과 박사과정수료, 현재 한국전기연구원 전력연구단 전력기술팀.



**윤재영(尹在暎)**  
 1962년 7월 30일생, 1985년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1993년 기술사(발송배전), 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1987년~현재 한국전기연구원전력 연구단 전력기술팀.



**최재석(李昇烈)**  
 1958년 4월 29일생, 1981년 고려대학교 공대 전기공학과 졸업, 1984년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1990년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1996년~1997년 University of Saskatchewan 방문 교수, 1991년~현재 경상대학교 전기공학과 교수.