

TRELSS를 이용한 우리나라의 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구 - V

전동훈*, 김태균*, 차승태*, 추진부*
*전력연구원

트란트롱 퐁**, 이상식**, 최재석**
**경상대학교

Probabilistic Reliability Evaluation of KEPCO System using TRELSS - V

D. Jeon*, T. Kim*, S. Cha*, J. Choo*
*KEPRI

T. Tran**, S. Lee**, J. Choi**
**Gyeongsang National University

Abstract - In recent, the importance and necessity of some studies on reliability evaluation of grid comes from the recent black-out accidents occurred in the world. The quantity evaluation of transmission system reliability is very important under competitive electricity environment. The reason is that the successful operation of electric power under the deregulated electricity market depends on transmission system reliability management. This paper introduces features and operation modes of the Transmission Reliability Evaluation for Large-Scale Systems(TRELSS) Version 6.2, a program made in EPRI, for assessing reliability indices of composite power system. The package accesses not only bulk but also buses indices for reliability evaluation of composite powers system. The characteristics of the TRELSS program are illustrated by the case studies using the KEPCO system.

1. 서 론

근래 전력시장의 자유경쟁체제화 및 지방자치화로 말미암아 전력계통의 신뢰도에 대한 관심이 그 어느 때보다 높아지고 있다. 특히 송전망의 신뢰도 및 각 지역별 신뢰도에 대한 객관적인 수치는 전력에너지의 수용가들에 의하여 계속적으로 요청될 전망이다. 그러나 이의 정확한 평가는 매우 어려운 작업이며 특히 불확실성을 고려하는 확률론적인 신뢰도평가는 입력자료의 확보에 상당한 노력이 필요하며 지속으로 관심을 갖고 접근하여야 될 문제이다. 우리나라에서도 이를 위하여 미국 EPRI가 주관하고 조지아주의 아틀란타에 위치한 Southern Co. Services 사가 개발한 TRELSS라는 송전계통의 확률론적 신뢰도 평가를 위한 전문상용프로그램을 구입하여 이를 이용하여 우리나라 실계통 적용 가능성을 확인하는데 성공하였다[1]. 그러나 이의 실계통에 대한 실제 적용 및 활용을 위해서는 수많은 입력변수들에 대한 특성의 파악이 필요하다. 본 연구에서는 TRELSS를 이용하여 우리나라 한전 실계통을 대상으로 몇 가지 사례연구를 실시하여 보고 이의 입력자료의 특성을 파악하였다.

2. TRELSS의 구성 및, 특징, 응용 및 입력자료

2.1 프로그램 구성

TRELSS는 다음과 같은 네 개의 부 프로그램으로 구성되어 있다.

- (1) 파일 생성 부프로그램(File Preparation Subprogram): 사용자가 계통사고자료를 준비하는데 도움을 주며 그리고 선택사항으로 된 차단기 위치로부터 계통 PCG들을 인식하기 위하여 계통추적 자료를 형성하는데 도움을 주는 보조프로그램이다.

- (2) 계산 부프로그램(Computation Subprogram): 열거법에 의한 상정사고, 조류계산을 이용한 해석 그리고 선택사항인 교정행위를 실시하고 그 결과물들을 저장하는 프로그램이다.
- (3) 신뢰도 부프로그램(Reliability Subprogram): 위의 계산 부프로그램에서 산정된 결과에 의거하여 신뢰도를 산출하며 그 결과물들을 저장하는 프로그램이다.
- (4) 보고서 부프로그램(Reports Subprogram): 상정사고해석 결과와 신뢰도지수의 보고서를 출력하여주는 프로그램이다.

2.2 TRELSS를 이용한 접근법

TRELSS는 AC 및 DC 조류계산 네트워크모델을 사용하여 다음과 같은 세 가지 계통분석 및 신뢰도평가를 실시가능도록 하고있다.

- (1) 계통문제접근(System Problem Approach): 프로그램 운전자의 초기지정조작에 의한 영향은 배제하고 오직 계통상에 일어나는 확률 및 평균, 빈도수, 지속시간 및 공급지장의 심각도와 같은 문제에 초점을 맞춘 접근.
- (2) 용량접근(Capability Approach): 사용자 지정입력 값을 완전히 고려하여 공급지장측면에서의 신뢰도평가를 정략적으로 실시하는 접근. 여기서도 확률 및 평균, 빈도수, 지속시간 및 공급지장의 심각도에 초점을 맞춘다.
- (3) 모의접근(Simulation Approach): 사용자가 지정한 특별한 사고들에 대하여 실패가 어떻게 연쇄적으로 발생하는가를 살펴볼 때 필요한 접근법. 신뢰도지수는 중요하지 않다.
- (4) 상정스크리닝접근(Contingency Screening Approach): 앞서의 계통문제접근법과 유사하며 단지 계통문제접근법에서는 첫 번 실패에서 상정사고를 위한 열거를 정지하나 여기서는 더 깊은 실패상태도 모의한다. 얻어지는 결과는 계통문제에서의 지수와 같다.

2.3 TRELSS의 고급응용

TRELSS는 계통의 확충계획과 관련한 다음과 같은 전반적인 문제에 응용될 수 있다.

- 계통문제접근법을 이용하여 계통을 분석하고 위반사항에 대한 순위작성
- 계통위반에 대한 선택적 해를 평가하는 것
- 일시적 및 영구적 고장에 기인한 PCG 사고의 분석
- 투자비정책결정에 도움을 줌
- 단기운영상황에 대한 과정을 결정함.

2.4 전통적인 상정사고해석용

교정행위의 고려유무와 함께 다음의 상정사고를 시험하기 위한 전통적인 상정사고해석도구로서도 이용가능하다.

- (1) 자동적으로 생성되는 상정사고들
 - 보호 및 제어그룹(PCG; Protection and Control Groups)
 - 독립적인 상정사고(Independent contingencies)
- (2) 사용자지정상정사고(User specified contingencies)
 - 무조건적 상정사고(Must-run contingencies)
 - 동시모드 상정사고(Common-mode contingencies)

2.5 전력설비 계획연구

- (1) 설비 선택 결정: 계통보강을 위하여 전력설비의 선택 시에 보강 전후의 계통 신뢰도를 평가함으로써 어떤 기기가 더 유리한가를 판단 할 수 있음.
- (2) 스크리닝의 도구: 본 프로그램은 상정사고 깊이(depth)의 다양한 조합으로 보다 깊은 분석을 수행할 수 있으며 또한 전반적으로 살펴볼 수 있도록 매우 높은 확률 또는 매우 낮은 확률의 상황도 분석가능하다. 더불어, 평가되어 얻어지는 지수인 공급지장전력량(MW-hours) 지수를 이용하여 연구의 우선순위를 파악할 수 있다.
- (3) 비용/이윤 분석: 본 프로그램은 공급지장전력량(MW-hours) 및 또 다른 수송가 서비스 지수를 얻을 수 있다. 그러므로 계통증진에 따른 \$/MW-hour 값을 얻을 수 있다. 환언하면, 공급지장비[MW-hours]의 금전[dollars]으로의 환산은 다른 요인들과 조합하여 \$/\$의 형태로 된 어떤 비율의 값을(예로서, 손실의 감소 등) 산정할 수 있다.

2.6 운용측면에서의 연구

TRELSS의 큰 특징 중 하나는 본 프로그램을 운용환경을 위하여도 사용가능하다는 것이다. PCG 사고의 평가가능, 발전기 4대 및 송전계통 요소 2개까지의 상정사고를 고려한 동시에 발생한 독립적인 요소의 사고들, 가장 가혹한 다음 상정사고를 탐색하는 알고리즘과의 결합 및 심각한 상정사고의 효과를 최소화하기위한 교정행위의 수립 등은 본 프로그램이 다음의 것을 가능케 한다.

- 가장 가혹한 상정사고를 인지하는 것.
- 일시적 및 영구적 고장에 기인한 PCG사고의 계통신뢰도 영향분석을 수행함.
- 사고들의 분석.
- 그 효과들을 정량적으로 비교분석하는 것.
- 상정사고에 대하여 효과적인 교정행위를 인지하는 것.
- 차세대 해석도구로 사용가능

2.7 수송가 공급서비스예측

TRELSS는 수송가 서비스 자료를 제공 및 측정 하기위한 다양한 도구로 사용될 수 있다. 예로서 다음과 같다.

- (1) 송전모선 공급서비스 자료: TRELSS는 모선에서의 빈도 및 지속시간의 기대치를 계산할 수 있다.
- (2) 부하 차단율: 본 프로그램은 부하가 차단되는 정도를 모델 한다. 그러므로 부하공급차단 빈도수 및 지속시간의 기대치 등을 계산한다.
- (3) 확실한 그리고 극한의 부하 차단: 이러한 종류의 부하도 역시 모델 된다. 이들 종류의부하에 대한 기대빈도수 및 지속시간도 계산이 가능하다.
- (4) 계통 수준 지수: 본 프로그램은 다양한 계통수준의 지수를 산정한다. 예로서, "계통전력공급중단지수(Bulk Power

Interruption Index)", "계통전력량공급중단지수(Bulk Power Energy Curtailment Index)" 및 "계통공급가용지수(System Service Availability Indices)" 등이다.

2.8 TRELSS v6.2 의 입력 자료

TRELSS의 입력자료는 프로그램 운영자의 실행 절차상 크게 다음 세 가지로 나누어진다.

- (1) TRELSS의 입력자료 자동발생 선행프로그램 (FPP; File Preparation Program) 용 입력자료: 파일 3개
 - 본 프로그램 입력자료 자동발생 선행 프로그램(FPP) 제어 입력자료
 - 차단기 위치 입력자료
 - 기본 조류계산 자료
- (2) TRELSS 본 프로그램 입력자료: 파일 12개
 - 기본 조류계산 자료
 - 계통 및 PCG 사고율 자료: FPP 실행 후 자동생성
 - 발전기 사고율 자료: FPP 실행 후 자동생성
 - 모선 특성자료: FPP 실행 후 자동생성
 - 차단용 shunt 자료: FPP 실행 후 자동생성
 - 발전기 특성자료: FPP 실행 후 자동생성
 - 상시운전 기기(발전기, 송전선로, 변압기 및 차단기 등) 상정사고자료
 - Common mode 기기 상정사고자료
 - 모의 상정사고자료
 - 연계계통자료
 - 계통 차단 상태 자료
 - 년부하곡선자료 (8760 hours)
- (3) 프로그램 제어 입력자료: 파일 1개

3. 사례연구

TRELSS v.6.2를 이용하여 모선 약 1,000개 송전선로 약 2,000개인 한전계통에 적용하여보았다.

3.1 입력자료

TRELSS는 IEE PSADD, PTI 및 IEEE 라는 세 가지 입력방식 과 호환하고있다. 본 연구에서는 현재 한전에서 사용하고 있는 PTI의 PSS/E 입력방식에 따라 자료를 입력하기로 한다.

- (1) 발전기 및 송전계통자료
모선이 953개 이며 송전계통의 요소가 1901개인 우리나라 2004년도 계통을 대상으로 하였다.
- (2) 부하곡선
부하곡선으로는 그림 1과 같은 2003년도부하를 규정화한 부하변동곡선(Scaled load variation curve)(2003)을 그대로 이용하기로 한다.

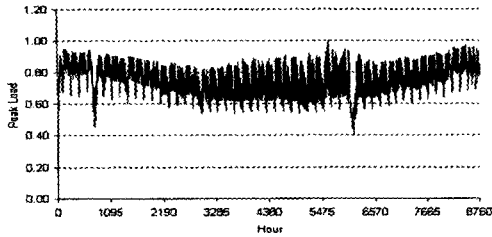


그림 1 2003년도의 규정화한 부하변동곡선
Fig.1 Normalized Load Variation Curve of 2003

본 연구에서는 사고 시 운영자가 그 사고를 교정하는 교정행위(RA)를 고려하지 않고

3.2 송전선로의 사고확률의 변동에 따른 결과

본 연구에서는 계통운영자의 사고 시의 교정행위를 고려하지 않고 각종 변구들의 변동에 따른 신뢰도지수를 살펴보았다.

표 1 본 연구에서 채택한 각 경우별 사고확률 입력자료
Table 1 Input data of FOR for the case study (NG-1 and NC-1)

경우		사고확률 (FOR)	사고지속시간 (D)[Hours]
Case 1	발전기	0.01	10
	선로	0.001	2.5
Case 2	발전기	0.01	10
	선로	0.0005	2.5
Case 3	발전기	0.01	10
	선로	0.0001	2.5

표 2 각 경우의 비교
Table 2 Comparisons of cases studies (NG-1 and NC-1)

경우	LOLE [hours/year]	EENS [MWh/year]	비고 (사고확률)
Case 1	1.064	31.084	고
Case 2	0.533	15.892	중
Case 3	0.107	3.484	저

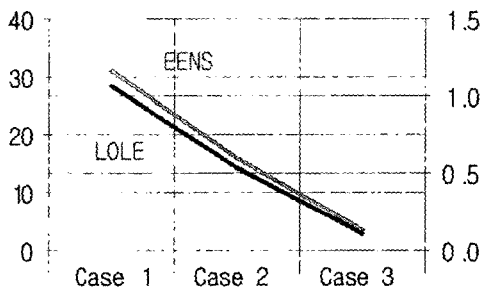


그림 2 송전선로사고확률변동에 따른 계통신뢰도 지수의 변화

3.3 발전기 또는 선로의 사고확률 고려여부에 따른 결과

이번에는 발전기와 선로의 사고를 각각 고려하는 여부에 따른 감도분석을 하여보았다. 표 3은 이를 위하여 적용한 입력자료이다. 표 4는 이의 결과이며 그림 3은 이의 특성을 알기 쉽게 파악코자 그림으로 보인 것이다. 여기서, 송전선로만의 사고확률을 고려한 경우4의 신뢰도지수는 모두의 사고확률을 고려한 경우1과 비슷한 신뢰도지수를 보이고 있으나 반면에 발전기만의 사고확률을 고려할 때는 모두의 사고확률을 고려하는 경우에 비하여 크게 차이를 보이고 있다. 이는 본 계통의 전체 신뢰도는 송전계통보다 발전계통에 더욱 좌우됨을 의미하는 것이며 이는 송전계통보다 상대적으로 발전계통의 신뢰도가 작음을 의미하는 것이라고 사료된다.

표 3 발전기 및 선로의 사고확률 고려여부

Table 3 Input data for considering FOR or not of the generator or lines

경우		사고확률 (FOR)	비고
Case 1	발전기	0.01	HLII
	선로	0.001	
Case 4	발전기	0.0	HLII-HLI
	선로	0.001	
Case 5	발전기	0.01	HLI
	선로	0.0	

표 4 경우4 및 경우5의 비교

Table 4 Comparisons of cases 4 and case 5

경우	LOLE [hours/year]	EENS [MWh/year]	비고
Case 1	1.064	31.384	HLII
Case 4	1.060	30.776	HLII-HLI
Case 5	0.000	0.000	HLI

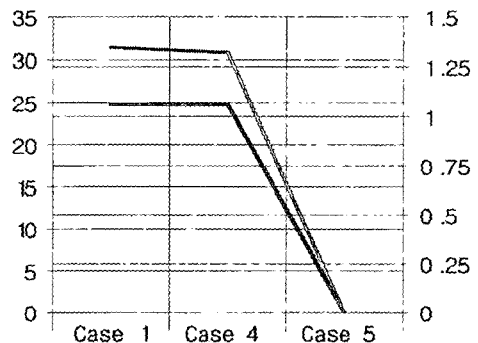


그림 3 발전기 및 선로의 사고확률 고려여부에 따른 결과
Fig. 3 Results for considering FOR or not of the generator or lines

3.4 상정사고 깊이변동에 따른 결과

다음으로는 경우1과 동일한 사고확률을 사용하여 상정사고 깊이에 따라 신뢰도를 평가하여보았다. 표 4는 이의 입력자료와 이때 얻어진 결과를 보인 것이다. 여기서 송전선로보다 발전기의 상정사고의 깊이에 대하여 신뢰도가 더욱

크게 변동함을 알 수 있었다. 즉, 한전계통에서는 발전기의 사고가 선로의 사고보다 더욱 크게 신뢰도에 영향을 주고 있다고 판단되며 이는 한전계통은 발전계통보다 송전계통이 상대적으로 튼튼함을 보여주고 있는 하나의 사례라고 사료된다.

표 5 상정사고깊이 변동여부에 따른 비교
Table 5 Comparison according to change of contingency depth

경우	상정사고 깊이	LOLE [hours/year]	EENS [MWh/year]	
Case 1	발전기	N-1	1.064	31.384
	선로	N-1		
Case 6	발전기	N-1	1.068	35.565
	선로	N-2		
Case 7	발전기	N-2	1.562	325.937
	선로	N-2		



그림 3 상정사고 깊이변동에 따른 계통신뢰도 지수의 변화

4. 결 론

본 연구에서는 이번에 한전의 송전망 신뢰도평가를 실시하기 위하여 도입한 TRELSS V6.2를 이용하여 실제 우리나라계통의 몇 가지 경우에 적용하여 얻어진 결과를 보인 것이다. 본 사례연구의 결과에서 얻어진바와 같이 한전계통의 신뢰도는 상대적으로 발전기와 송전선로의 상정사고의 깊이의 변화보다는 계통요소들의 사고확률에 따라 매우 민감하게 변함을 알 수 있었다. 이는 전력계통의 신뢰도관리에 사고확률, 즉, 고장율에 대한 관리의 중요성을 보인 것이라고 할 수 있었다. 그리고 송전선로만의 사고확률을 고려한 경우의 신뢰도는 발전기와 송전선로 모두의 사고확률을 고려한 경우와 비슷한 신뢰도를 보이고 있으나 반면에 발전기만의 사고확률을 고려한 신뢰도는 크게 차이를 보이는 본 계통의 신뢰도는 송전계통보다 발전계통에 상대적으로 크게 좌우됨을 의미하는 것이므로 발전계통에 비하여 송전계통이 보다 상대적으로 강하게 구성되어 있음을 의미하는 것이라고 사료된다. 또한 송전선로보다 발전기의 상정사고의 깊이에 대하여 신뢰도가 더욱 크게

변동함을 알 수 있었다. 즉, 한전계통에서는 발전기의 사고가 선로의 사고보다 더욱 크게 신뢰도에 영향을 주고 있다고 판단되며 이는 송전계통이 발전계통보다 상대적으로 튼튼함을 보여주고 있는 하나의 사례연구라고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의(과제번호:02230-05)지원에 의하여 전력연구원 주관으로 경상대학교에서 위탁하여 수행된 연구 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

- [1] 전동훈, 안재욱, 장의태, 이 선, 김발호 및 Ross Baldick, "전력산업 구조변화 및 전력탁송에 관한 연구" 한국전력공사 전원계획처 보고서, 1998, 3.
- [2] W.S Read, W.K. Newman, I.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman (December 1999). Reliability in the New Market Structure(Part1). IEEE Power Engineering Review, p.4-14.
- [3] W.S Read, W.K. Newman, I.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman (January 2000). Reliability in the New Market Structure(Part2). IEEE Power Engineering Review, p.10~16.
- [4] Tayyib A. Tayyib (Dec. 2000), "Transmission Reliability Evaluation for Large-Scale Systems(TRELSS) Version 5.1", EPRI.
- [5] 한국전력공사 기술연구원, "대전력계통 공급신뢰도 평가방안 및 Data Base 구축연구", 한국전력공사 기술연구원 보고서, 1991, 10.
- [6] S.P. Moon, J.B. Choo, D.H. Jeon, H.S. Kim, J.S. Choi and Roy Billinton; "Transmission System Reliability Evaluation of KEPCO System in Face of Deregulation", IEEE, PES, SM2002, July 21-25, 2002, Chicago, USA.
- [7] 강성록, 김근호, 트란트롱 퐁, 최재석, 전동훈, 문승필, 추진부, "송전계통의 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구" 2003년 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.42-45, 2003년 7월 21-23일, 용평. (KEPRI2003).
- [8] Sungrok Kang, Trungtin Tran, Jaeseok Choi, Junmin Cha, Daeseok Rho and Roy Billinton "The Best Line Choice for Transmission System Expansion Planning on the Side of the Highest Reliability Level", IFAC03, Sep. 16-18, 2003, Seoul, Korea.(KOSEF).
- [9] Roy Billinton and Ronald N. Allan (1996). Reliability Evaluation of Power Systems, Second Edition, Plenum Press.
- [10] M. P. Bhavaraju, R. Billinton, N. D. Reppen and P. F. Albrecht (Feb. 1988). Requirements for Composite System Reliability Evaluation Models. IEEE Trans., Vol. 3, No. 1, pp. 149-157.
- [11] Roy Billinton and Wenyuan Li. 1994. Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods. Plenum Press.
- [12] 강성록, 트란트롱 퐁, 최재석, 전동훈, 문승필, 추진부, "TRELSS를 이용한 전력계통의 확률론적 신뢰도 평가 I", 2004년 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.62-66, 2004년 11월 13-15일, 통영마리나리조트.
- [13] 트란트롱 퐁, 강성록, 최재석, 전동훈, 추진부, "TRELSS를 이용한 전력계통의 확률론적 신뢰도 평가 II- IEEE RTS 사례연구를 중심으로 -", 2004년 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.67-70, 2004년 11월 13-15일, 통영마리나리조트.