

송전계통망의 장기확충계획수립을 위한 METRIS를 이용한 신뢰도 평가에 관한 기초연구

강성록\* 트란트롱 틴\* 최재석\* 차준민\*\* 추진부\*\*\* 전동훈\*\*\* 문승필\*\*\*  
 \*경상대학교 \*\*대진대학교 \*\*\*전력연구원

A Basic Study on Reliability Evaluation using METRIS for Long Term Expansion Planning of Transmission System

Sungrok Kang\* Tran Trung Tinh\* Jaeseok Choi\* Junmin Cha\*\* Jinbo Choo\*\*\* Donghun Jeon\*\*\* Seungpil Moon\*\*\*  
 \*Gyeongsang National University \*\*Daejin University \*\*\*Korea Electric Power Research Inst.

**Abstract** - The paper presents a basic study on reliability evaluation using METRIS for long term expansion planning of transmission system. The main frame of methodology of the reliability evaluation of a transmission system in the METRIS is based on evaluation philosophy that the reliability level of a transmission system is equal to difference between the reliability level of HLII and that of HLI. While basic general theory of probabilistic reliability evaluation of transmission system has been presented, the GUI characteristics of input/out data system of METRIS have been demonstrated by the RBTS case study on METRIS.

난 후의  $k$ 부하지점의 복합전력계통의 유효부하지속곡선  $k\Phi_i(x_e)$ 를 이용하여 관측기간동안의 평균전력부족시간으로 정해지는 신뢰도 지수인 전력부족시간대치(Loss of load expected : LOLE)는 식(1)과 같이 나타낼수가 있다.

$$LOLE_{ik} = k\Phi_i(x) |_{x=AP_{ik}} \quad (1)$$

표 1.복합전력계통 및 송전계통망 신뢰도평가 프로그램명

Name	System	Methodology	Maker or User	Remark
METRIS	Composite Power System	Monte Carlo	EDF (France)	Commercial & Educational
ITPLAN	Transmission System	Monte Carlo & simulation	Power Technology Inc. (USA)	Commercial & Educational
SICREY	Composite Power System	Monte Carlo	ENEL (Italy)	Commercial
CONFIRA	Composite Power System	Monte Carlo	CEPEL (Brazil)	Commercial
PACOS	Composite Power System	Monte Carlo	(Brazil)	Commercial
CREAM	Composite Power System	Monte Carlo	EPRI (USA)	Educational
COMREL	Composite Power System	Enumeration	University of Saskatchewan (Canada)	Educational
GATOR	Transmission System	Enumeration	Florida Power Corporation (USA)	Commercial
PHOCOSE	Composite Power System	Enumeration	Ontario Hydro (Canada)	Commercial
REPLACES	Transmission System	Enumeration	University of Manchester Institute of Science and Technology(UK)	Educational
SYREL	Transmission System	Enumeration	Electric Power Research Institute/Power Technology Inc. (USA)	Commercial & Educational
SYREL	Transmission System	Enumeration	Sherwinigan Lavalin (Canada)	Educational
TRANREL	Transmission System	Enumeration & Monte Carlo	GENU (Korea)	Educational
COMREL	Composite Power System	Enumeration & Monte Carlo	GENU (Korea)	Educational

1. 서 론

송전계통망의 신뢰도평가 및 기준설정에 관한 기술은 그 문제 특성상 전력경제이론, 전력계통신뢰도이론, 최적화이론 및 전력계통운용 및 계획에 대한 전반적인 개념을 요구하기 때문에 전력계통공학의 종합적이고도 고도의 기술이라 할 수 있으며 계통망을 성공적인 운용을 수행하기 위해서는 규제완화조건에서 합리적인 계통계획을 수립할 수 있는 평가방법에 대한 이론적 및 실제적 검토를 실시하여 하루빨리 우리 나라 계통에 합당한 평가기법을 개발할 필요가 있다. 특히 송전선로, 변전소 주요 기기 등의 사고율을 고려한 확률론적 계통계획기법을 적용하기 위해서는 외국 선진국의 사례연구 및 확률론적 계통계획기준에 대한 적절한 이론적 검토가 선행되어야 하고 차후 우리 나라 실정에 맞는 기법의 개발도 절실히 필요한 시점에 도달해있다고 판단된다.

본 연구에서는 송전계통의 확률론적 신뢰도평가방법에 관한 국내의 자료조사 및 분석을 통한 확률론적 공급신뢰도 평가개념을 정립하고 나아가 우리나라 계통 특성에 맞는 송전계통의 확률론적 공급신뢰도를 평가할 수 있는 방안을 수립하며 더불어 공급신뢰도와 투자비와의 상관관계를 도출등에 관한 연구를 수행함으로써 현재 진행되고있는 경쟁적 전력시장 환경 하에서의 최적의 중장기 송변전 설비계획 수립체계의 구축을 위한 초석을 마련하고자함을 궁극적인 연구목표로한다. 복합 전력계통 및 송전계통망의 신뢰도평가를 위하여 현재 개발된 각종 프로그램을 살펴보면 표 1과 같다.여기서는 그 출발점으로 송전계통망의 확률론적 신뢰도평가를 위하여 프랑스 전력회사(EDF)에서 개발한 장송전계통계획수립용 신뢰도평가 프로그램인 METRIS의 운용체계에 관한 특성, 입출력형식 그리고 METRIS의 전신인 MEXICO와의 차이점에 관하여 분석하여 보았다.

2. 송전계통의 신뢰도평가 기초이론

2.1 복합전력계통의 유효부하지속곡선을 이용한 신뢰도 지수산정

본 연구에서 개발한 발전기 #1부터 #까지 투입되고

또한, 공급저장전력량의 기대치(Expected energy not supplied: EENS)는 단위시간에 걸쳐 공급되지 못한 총 전력량의 기대치로 신뢰도 기준을 정한다. 이러한 공급저장전력량의 기대치는 고장 등으로 인한 전원설비의 부족과 전력공급부족에 의해 발생한다. 복합전력계통에서 각 부하지점의 공급저장전력량의 기대치는 식(2)처럼 구할 수 있다. 따라서, 그림 1는 발전기 #1부터 #까지 투입되고 난 후의  $k$ 부하지점의 CMELDC( $k\Phi_i(x_e)$ )와 신뢰도 지수인 전력부족시간 기대치(LOLE)와 공급저장전력량의 기대치(EENS)를 나타내고 있으며 그림에서  $L_{ik}$ 와  $AP_{ik}$ 는 각각 발전기 #1부터 #까지 투입되고 난 후의  $k$ 부하지점의 최대부하와 최고도달전력을 나타내고 있다.

$$EENS_k = \int_{AP_k}^{AP_k + L_k} \Phi_k(x) dx \quad (2)$$

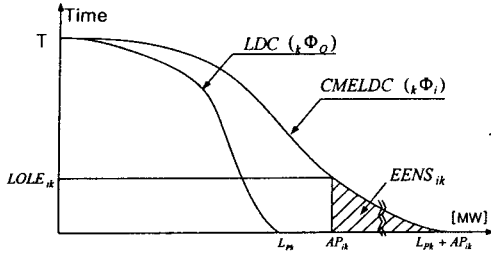


그림 2 부하지점 k에서의 신뢰도지수 및 ELDC

## 2.2 Bulk계통의 신뢰도 지수산정

HLII까지의 Bulk 계통의 신뢰도 지수 중 공급지장전력량의 기대치( $EENS_{HLII}$ )는 식 (3)처럼 앞서의 각 부하지점별 신뢰도 지수중 각 부하지점별 공급지장전력량의 기대치( $EENS_k$ )를 합하면 구할 수 있다. 그러나 Bulk 계통의 전력부족확률( $LOLP_{HLII}$ )은 그렇게 구할 수 없다. 그러므로 식 (4)과 같이 구하도록 한다.

$$EENS_{HLII} = \sum_{k=1}^{NL} EENS_k \quad [\text{MWh/day}] \quad (3)$$

$$LOLP_{HLII} = EENS_{HLII} / ELC_{HLII} \quad [\text{pu}] \quad (4)$$

단,  $NL$  : 부하지점의 수

$$ELC_{HLII} : \sum_{k=1}^{NL} ELC_k$$

$$ELC_k = EENS_k / LOLE_k \quad [\text{MW/cur} \cdot \text{day}]$$

## 2.3 송전계통의 신뢰도지수

전력계통은 발전계통, 송전계통 및 배전계통으로 이루어져 있으며 신뢰도 평가에는 이들을 그림 2와 같은 계층구조로 부합하여 해석하고 있다.

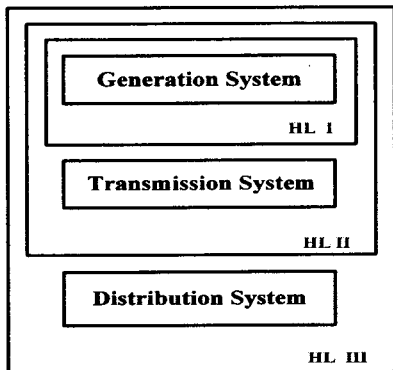


그림 3 전력계통의 계층구조

그러므로 송전계통의 신뢰도 수준은 복합계통(HLII)에서 발전계통(HL I)의 신뢰도 수준을 차감시킴으로써 얻을 수 있다.

(1) 송전계통만의  $LOLP_{TS}$

$$LOLP_{TS} = LOLP_{HLII} - LOLP_{HLI} [\text{pu}] \quad (5)$$

(2) 송전계통만의  $EENS_{TS}$

$$EENS_{TS} = EENS_{HLII} - EENS_{HLI} [\text{MWh}] \quad (6)$$

(3) 평균공급부족전력  $AEDNS$ (Average Expected Demand Not Served)

$$AEDNS_{TS} = EENS_{TS} / T \quad [\text{MW/pu.yr}] \quad (7)$$

단,  $T$ : 연구대상기간

(4) 공급부족전력  $ELC$ (Expected Load Curtailments)

$$ELC_{TS} = EENS_{TS} / LOLP_{TS} \quad [\text{MW/pu.cur.yr}] \quad (8)$$

## 3. METRIS 사례연구

### 3.1 METRIS/QUINTET

METRIS/QUINTET는 프랑스 EDF사에 의하여 개발되어 전 전력계통의 신뢰도평가 프로그램으로서 표 2는 관련 S/W를 비교한것이다.

표 2. ORELIA, MEXICO 및 METRIS의 비교

비교항목	ORELIA	MEXICO	METRIS
기	<ul style="list-style-type: none"> <li>계통계획을 위한 기술적 가능성을 판단하고, 경제적인 계통확장에 대한 윤곽을 파악</li> <li>MEXICO 결과를 이용, 최적 투자안을 마련</li> <li>발전소 및 선로의 확률적 사고를 고려한</li> <li>중성 송전용량</li> <li>임지선정(건설지점)</li> <li>원별 설비투자량 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ORELIA에서 검토한 계통확장 윤곽(안)에 대해 계통운전 측면에서 만족할만한 신뢰도 및 운전상태 수준에 위치하고 있는가를 검토</li> <li>계통의 확률적 사고를 고려하여</li> <li>신뢰도 지수</li> <li>연간 공급지장비</li> <li>연간 발전연료비 계산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ORELIA + MEXICO (컴퓨터 문제해결)</li> <li>경쟁적 전력시장 환경에서의 회사(지역)간 전력거래를 고려한 모델사용</li> <li>전력거래 관련기능(입력/모델/출력) 추가</li> <li>사용자 편의성 보강 (GUI, DB)</li> </ul>
운용환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용중단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DOCS 운영</li> <li>단일 급전지역</li> <li>N-1 상정사고</li> <li>200모선, 600선로</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Window NT 운영(GUI)</li> <li>복수 급전지역</li> <li>N-2 상정사고</li> <li>800모선, 1500선로</li> </ul>
해석기법	몬테카를로 시뮬레이션		
목적함수		발전소 운전비용 + 연간 수력계획문을 제외한 비상수력 가동비용 + 공급지장비용	MEXICO + Exchanged Power
제약조건		<ul style="list-style-type: none"> <li>화력기의 발전출력 제약</li> <li>수력기의 연간 수력운전계획상의 제약</li> <li>모선별 수요제약</li> <li>모선별 유효전력 출력 방정식</li> <li>모선별 전력수급 균형 방정식</li> <li>송전선로의 유효용량 제약</li> </ul>	
고려사항		<ul style="list-style-type: none"> <li>발전설비의 정확실정(고장정지율, 발전출력)</li> <li>송전설비의 정확실정(고장율)</li> <li>부하예측의 정확실정(예측오차, 환경변동)</li> </ul>	

### 3.2 METRIS의 입출력 현황

본 연구팀에서는 교육용 버전 3.1을 이용하였으며 METRIS에 RBTS계통의 데이터를 적용시켜 보았다. 초기 화면과 네트워크의 입력의 그림 3 및 그림 4와 같으며 각 창의 명칭을 VP(View Point)라 부른다.

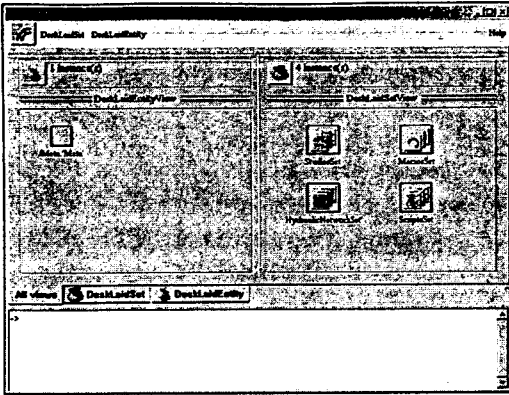


그림 3. 초기화면 VP

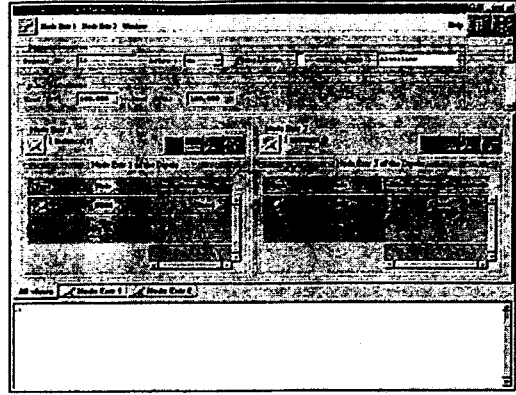


그림 6. 송전선로데이터 입력형식 VP

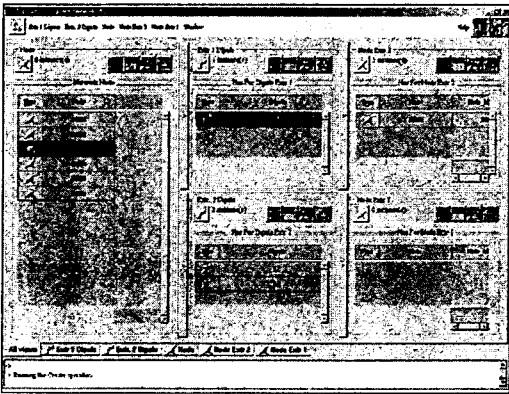


그림 4. 네트워크 생성 VP

그림 7은 노드에 삽입하고자하는 요소, 부하나 발전기 들을 정하는 VP로서 만약 발전기를 삽입하고자 한다면 먼저 삽입하고자하는 노드를 결정한 후 발전기 데이터를 입력할 수 있게된다. 그림 8은 발전기데이터 입력 VP를 나타낸것이다. 그림 9의 VP는 RBTS계통의 데이터를 이용하여 METRIS를 통하여 나타낸것이다.

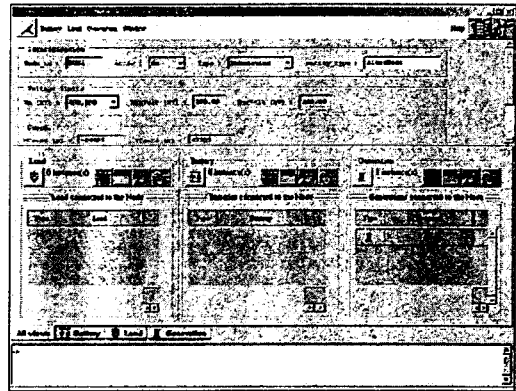


그림 7. 삽입요소 선택

네트워크가 생성다음에는 노드의 제한전압과 같은 각 노드의 데이터를 입력하게되며 그 과정 및 형식은 그림 5, 6과 같다.

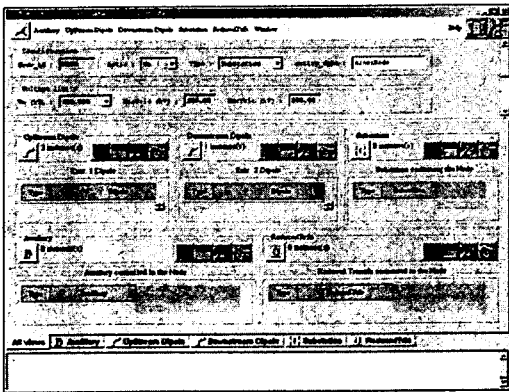


그림 5. 노드데이터 입력형식 VP

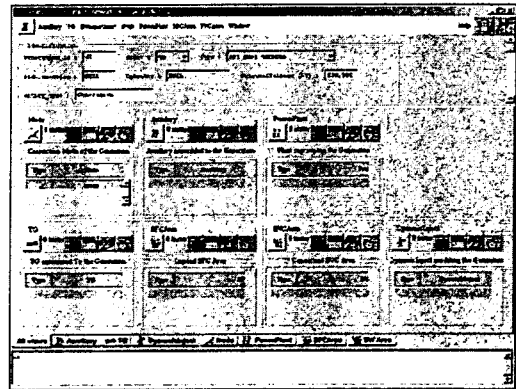


그림 8. 발전기 데이터 입력 VP

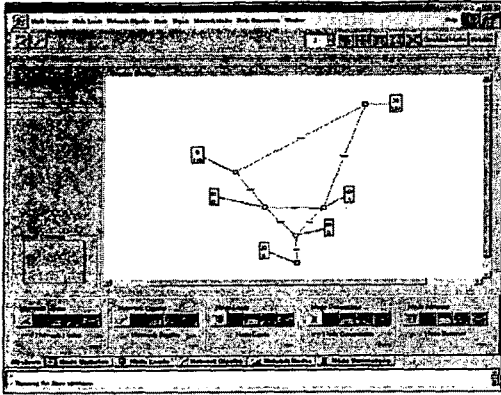


그림 9. METRIS로 나타낸 RBTS 계통

## 5. 결론

본 연구에서 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가를 위한 기초연구로서 프랑스전력회사(EDF)에서 개발한 장기 송전계통계획수립용 신뢰도평가 S/W인 METRIS의 작동 O/S 체계분석 및 응용가능성에 대하여 분석하여 보았다. METRIS의 OS체계는 기본적으로 NT4.0 서비스팩 3 이상과 네트워크 카드(LAN CARD) 요구하고 있으나 같은 NT 기반이라 볼 수 있는 WINDOWS 2000 및 XP 상에서도 작동이 가능하다. 또한 네트워크 카드는 있으나 랜에 연결이 안되어 있는 경우에는 MS loop card 라는 드라이버를 이용하면 사용가능함을 확인하였다.

무엇보다도 METRIS의 주목할점은 복합전력계통의 적합도 측정이 가능하다는 것이다. 또한 METRIS는 계통설비의 불확실성을 고려한 Monte Carlo 기법을 사용하고 있기도 하다. 다음은 주어진 시간대에 대해 METRIS가 수행할 수 있는 기능중 몇가지를 나타낸 것이다.

- 지역별 운용비의 수학적 기대치
- 지역별 공급지장전력의 기대 및 표준편차
- 고장원인을 발전계통과 송전계통으로 구분지어주는 공급지장전력의 분포도
- 송전선로의 한계이득
- 10가지 가장 심각한 사고 경위의 유사성 분석

향후의 진행 할 연구방향은 현재까지METRIS분석을 통해 도출된 입출력자료 및 기법분석에 대한 연구를 지속 하는 한편 그 확보방안 및 활용방안을 수립할 것이며 또한 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가방안 수립을 위해 샘플계통(IEEE Reliability Test System)을 대상으로 하여 METRIS를 이용, 그 분석결과를 토대로 프로그램의 튜닝기법등을 확보 할 것이다.

## [참고문헌]

[1] W.S Read, W.K. Newman, I.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman, "Reliability in the New Market Structure (Part1)", IEEE Power Engineering Review, December, 1999, p.4~14.  
 [2] W.S Read, W.K. Newman, I.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman. "Reliability in the New Market Structure (Part2)", IEEE Power Engineering Review, January, 1999, p.10~16.  
 [3] M. Ilic, et al, "Power Systems Restructuring; Engineering and Economics", Kluwer Academic Pub., 1998.

[4] Roy Billinton and Wenyuan Li, "Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods", Plenum Press, 1994.  
 [5] Roy Billinton and Ronald N. Allan, "Reliability Assessment of Large Electric Power Systems", Kluwer Academic Pub., 1988.  
 [6] 문 승필, 최 재석, 신 흥교, 이 순영, 송 길영 "Monte Carlo법에 의한 복합전력계통의 유효부하지속곡선 작성법 개발 및 신뢰도해석", 대한전기학회 논문지, 1999년 5월, Vol. 48A, No. 5, pp. 508-515.  
 [7] EDF R&D E.B. "Exercices : METRIS/QUINTET", EDF R&D QUINTET & METRIS Training Courses book, Feb.6, 2001.  
 [8] EDF, "QUINTET Implementation Manual with Windows NT Operating system" QUINTET software Implementation Manual, March 21, 2000  
 [9] Emmanuel branche, "METRIS: Composite Adequacy & Operating Costs of Inter Connected Powersystems", EDF Reserch & Development/Power System Development, Training Course book.  
 [10] Jaeseok Choi, Hongsik Kim, Junmin Cha and Roy Billinton, "Nodal Probabilistic Congestion and Reliability Evaluations of a Transmission System under the Deregulated Electricity Market", IEEE Power Engineering Society 2001 Summer Meeting, Vol. 1, pp. 497-502, 2001, Vancouver, Canada  
 [11] Jaeseok Choi, Seungpil Moon, Hongsik Kim, Junmin Cha and Roy Billinton, "Development of the ELDC and Reliability Evaluation of Composite Power System Using Monte Carlo Method", IEEE Power Engineering Society 2000 Summer Meeting, Vol. 4, pp. 2063-2068, 2000, Seattle, USA.  
 [12] J. S. Choi, S. P. Moon, H. S. Kim, H. Y. Kim and Roy Billinton, "Development of an Analytical Method for Outage Cost Assessment in a Composite Power System", 2000 International Conference on Power System Technology(PowerCon2000), Vol. 3, pp. 1527-1532, 2000, Perth, Australia.  
 [13] Power Technologies a shaw group Company, "TPLAN Reliability Assessment Software Package Program Specifics".  
 [14] Y. Schlumberger, C. Lebrevelec and M. De Pasquale, "Power System Security Analysis New Approaches Used at EDF", IEEE summer meeting July 21, 1999, Edmonton, Canada.  
 [15] J. M. S. Pinheiro, C. R. R. Dornellas, M. Th. Schilling, A. C. G. Melo and J. C. O. Mello, "Probing The New IEEE Reliability Test System (RTS-96): HL-II Assessment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 1, February 1998.  
 [16] M. V. F. Pereira and L.M.V.G. Pinto, "A New Computational Tool For Composite Reliability Evaluation", Transactions on Power Systems, Vol. 7, No.1, May 1992.  
 [17] M.V.F. Pereira, L.M.V.G. Pinto and G.C.Oliveira, "Monte Carlo Based Composite Reliability Evaluation Modeling Aspects and Computational Results", Rio de Janeiro, Brazil.