

전력계통 운영측면에서의 신뢰도 평가 Tool의 비교분석

최재석\* 권중지\* 트란트퉁틴\*  
경상대학교 전기공학과\*

전동훈\*\* 박윤석\*\*  
한전전력연구원\*\*

최홍석\*\*\*  
한국전력거래소\*\*\*

윤용태\*\*\*\*  
서울대학교\*\*\*\*

차준민\*\*\*\*\*  
대진대학교\*\*\*\*\*

A Comparison of Reliability Evaluation Tools for Power System Operation

J.S. Choi\* J.J. Kwon\* T.T. Tran\* D.H. Jeon\*\* Y.S. Park\*\*  
Gyeongsang National University\* KEPRI\*\*

H.S. Choi\*\*\* Y.T. Yoon\*\*\*\* J.M. Cha\*\*\*\*\*  
KPX\*\*\* Seoul National University\*\*\*\* Daejin University\*\*\*\*\*

**Abstract** - This paper illustrates the program features of reliability evaluation on operation mode (operational planning and operating) of power systems. The eighty eight relative reports and papers with seventeen kinds of reliability programs were investigated in this paper. Two programs, PRA and ASSESS, were focused on the operation mode reliability evaluation program and the comparisons of the two program features are introduced.

인 기준의 확보가 취약하다. 그러므로 운영측면에서의 신뢰도 기준도 N-1 또는 N-2와 같은 N-x형의(x는 정수) 결정론적인 상정사고기준을 실제로 사용하여 오고있다.

본 연구는 계획분야에 도입된 S/W에 대한 기술을 기반으로 하여 송변전설비의 중단기계획 및 계통운영분야의 신뢰도 평가 Tool 도입 및 해석 기술체계를 구축하고자 하는데 목적을 두고 이를 위하여 현재 개발된 운영계획 측면에서의 상용화된 확률론적 신뢰도 프로그램의 특징을 분석비교하여 봄으로써 차후 우리나라 실정에 맞는 프로그램의 도입내지 개발을 위한 토대로 삼고자한다.

1. 서 론

1960년대 말, 발전계통을 중심으로 한 확률론적 신뢰도 평가지수 및 해석기법에 대한 이론이 개발되었으나 입력변수의 방대함과 사회적 공감대 형성 부족으로 응용 및 활용에는 매우 미흡하였다. 그러나 근래 전자계산기의 급속한 개발 및 필요성의 대두로 말미암아 선진제국을 중심으로 확률론적 신뢰도 해석기법 및 시스템을 개발하여 실무에 적용하고 있다. 프랑스(EDF), 미국(EPRI, PTI) 및 캐나다(Ontario Hydro)등에서 Monte Carlo기법 또는 Enumeration기법의 알고리즘을 적용한 S/W가 개발되어 상용화 되어있으며 국내적으로도 발전계통을 대상으로 결정론적 신뢰도 평가에 관한 연구가 수행된 적이 있다. 최근 전력산업연구개발 사업 "METRIS 를 이용한 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가체계 구축에 관한 연구"(개발기간: '02. 9~'04. 2)을 통하여 송전계통 계획분야의 확률론적 신뢰도 평가 S/W 도입연구가 수행되어, 우리나라 전력계통을 대상으로 한 계획분야의 확률론적 신뢰도 평가기술의 활용가능성이 확인된 바 있다. 다음은 현재까지 이와 관련한 국내 연구상황을 보면 아래와 같다.

- 最適 長期 送電系統計劃 模型 및 프로그램 패키지 確立에 관한 研究, 1985
- 송전계통의 신뢰도 산정기법에 관한 기초이론연구, 1987
- 최적 장기 송전계통 계획모형 및 Program Package 확립에 관한 연구, 1989
- 대전력계통 공급신뢰도 평가 방안 및 Data Base구축 연구, 1992
- TRELSS를 이용한 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가체계 구축에 관한 연구, 2002

그러나 이들 대부분은 계통의 중장기계획용으로서 현재 운영측면에서의 신뢰도 평가가 경쟁적 전력시장 환경 하에서 전력사업자들의 큰 요구사항중 하나로 되고 있으나 현실적인 구현 방법이 개발중에 있는바 이의 기술적

2. 신뢰도 관련 자료 수집 현황

2.1 수집된 프로그램

이번에 조사된 전력계통의 확률론적 신뢰도 프로그램은 ASSESS:2건, COMREL:2, CONFTRA:2건, CREAM:3건, GATOR:1건, LARA:1건, MAPS:1건, MAREL:1건, MARS:30건, MECORE:1건, PRA:12건, PROCOSE:2건, RECS:2건, SICRET:1건, STAREL:1건, TPLAN:11건, TRELSS:15건 등 총 17종, 88건이며 이들의 특성을 비교하면 아래표와 같다.

표 1 조사된 전력계통의 확률론적 신뢰도 프로그램의 특성비교

Code	A/S	Power flow	Operation/Load	Approach	System
COMREL	A	AC/DC	Linear/Sensitivity	Enumeration	CPS
STAREL	A				
MECORE	A	DC	Linearized power flow	Monte Carlo	CPS
TRELSS	A	AC/DC	Linearized power flow	Enumeration	CPS
CREAM	A	DC	Linear/Sensitivity	Monte Carlo	CPS
PRA	A/S	AC	Non-linear power flow	Enumeration	CPS
MARS	A/S	AC/DC	Optimization	Monte Carlo	CPS
METRIS	A	AC/DC		Monte Carlo	CPS
ASSESS	A/S	AC/DC	Optimization	Enumeration	CPS
LARA	A				
MAREL					GEP
SYREL	A	AC	Non-linear power flow	Enumeration	CPS
TPLAN	A	AC/DC	Linear power flow	Monte Carlo	CPS
SICRET	A/S	AC/DC		Monte Carlo	CPS
CONFTRA	A	AC/DC	Linearized power flow	Monte Carlo	CPS
MEXICO	A				
GATOR	A	AC	Non-linear power flow	Enumeration	TS
PROCOSE	A	DC	Linearized power flow	Enumeration	CPS
REPLACE	A	AC/DC	Linearized power flow	Enumeration	TS
GENH	A	AC	Probability load flow	Monte Carlo	
GRIP					
NARP	A	DC	Linearized power flow	Monte Carlo	TS

3. 확률론적 신뢰도 지수의 확률과 충격도의 관계성

일반적으로 거의 모든 시스템에서는 임의의 사건이 발생할 확률과 그사건이 시스템에 미치는 충격과의 상관관계를 살펴보면 아래 그림과 같다. 즉, 좌측상반부의 영역은 발생확률은 낮으나 한번 발생하면 매우 심각한 영향을 미치는 계통사고를 의미하며, 우측하반부는 사건 발생확률은 높으나 그영향은 매우 미미한 계통사고를 의미한다. 한편, 중간상측부분영역은 높은 발생확률과 높은 영향을 미치는 사고발생을 의미한다. 본 연구목표중 하나는 이와같은 임의의 사건이 과연 어떠한 영향을 갖는가를 검증하여내고 나아가 높은 발생확률과 높은 영향을 미치는 사건을 찾아내는 프로그램을 개발내지 도입하여 전력계통의 운영측면에서 확률론적 신뢰도 평가기술의 기초를 확립하여 더욱 안정적인 전력공급을 함에 있다고 하겠다.

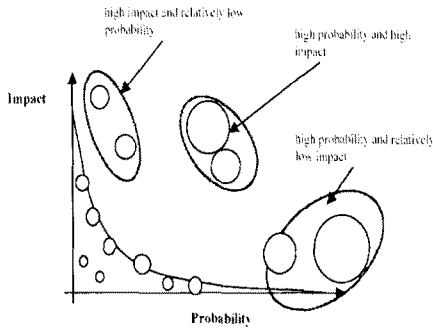


그림 1 확률론적 신뢰도 지수의 확률과 충격도의 관계성

#### 4. 프로그램들의 발전계통과 송전계통의 특성의 편향도

한편, 현재까지 개발된 복합전력계통의 신뢰도 평가 상용 프로그램은 실제 그 목적하는바에 따라서 발전계통과 송전계통을 고려한 정도가 다르다. 다음 그림은 현재 세계적으로 사용되고 있는 복합전력계통의 신뢰도 평가 사용 프로그램의 모델 편향도를 보인 것이다. 여기서 보는 바와 같이 TRELSS, TPLAN 등은 발전계통보다 송전계통을 보다 상세하게 고려하고 있다. 이는 발전회사보다 송전회사에 보다 유리한 전력계통해석용 프로그램으로 사용될 수 있으며, 반면에 발전계통을 보다 상세히 고려하는 GRIP 등은 발전회사에 더욱 효과적으로 사용될 수 있다. 나아가 MARS, PRA, ASSESS 등은 발전계통과 송전계통의 모델의 고려정도가 중립을 지키고 있으므로 이는 발전계통과 송전계통회사의 입장을 상대적으로 동일하게 고려해야하는 전력거래소나 ISO 입장에 부합된다고 할 수 있다. 그러므로 이는 본 연구의 목표에 맞는 프로그램의 대상으로 고려할 수 있다.

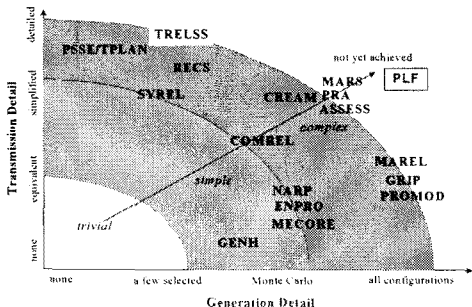


그림 2 발전계통과 송전계통의 특성의 편향도

#### 5. PRA 와 ASSESS 특성 비교 분석

위에서 언급한 바와 같이 본 연구의 목표에 부합되는 프로그램은 현재 우리기술로 개발하기에는 매우 부족하므로 일단 도입합이 적합하다고 판단되며 이에 적합한 프로그램으로는 PRA와 ASSESS으로 축약된다. 이들의 프로그램의 기술적 특성을 분석비교하면 아래와 같았다.

표 2 ASSESS와 PRA의 기술적 특성비교

Program application consideration	Program	Program features							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Contingency enumeration method	ASSESS	Y	N	N	Y	N	N		
	PRA	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
AC network solution features	ASSESS	Y	Y	N	Y	Y	N	N	
	PRA	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
System problems	ASSESS	-	-	-	-	Y			
	PRA	Y	Y	Y	Y	Y			
Probabilistic reliability index	ASSESS	N	N	N	N				
	PRA	Y	Y	Y	Y				
Ability	ASSESS	N	N	N	Y	Y			
	PRA	Y	Y	Y	N	Y	N		
Application	ASSESS	-	-	-	-	-	-	-	-
	PRA	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

위의 표에서 비교분석하고자 하는 각 프로그램의 평가분야별 특성항목(Program feature)은 다음을 의미한다.

##### Contingency enumeration method

- Contingency depth
- Identifies critical contingencies
- Voltage stability, voltage and thermal constraints
- Monitors all buses and branches
- Computes voltage stability margin
- Monitors flow-gates

##### AC network solution features

- MW dispatch
- MVAR dispatch
- Capacitor and reactor switching
- Transformer tap change
- Line switching
- Load curtailment
- Defined operating procedures
- Capacitor placement

##### System problems

- Interaction analysis
- Situation analysis
- Root cause analysis
- Weak point analysis
- Probabilistic margin analysis

##### Probabilistic reliability index

- Frequency of interruption
- Probability of interruption
- MW interruption per year
- MWh interrupted per year (EUE)

##### Ability

- Identify bottleneck of grid
- Evaluation their impact
- Recommend effective mitigation alternatives
- The boundary between secure and insecure
- Steady-state
- Dynamic state

##### Application

- Provides meaning full data in a restructured environment
- Assess overall reliability
- Assesses margins of reliable operation
- Determines root causes and weak points
- Enables determination of effectively mitigation plans

- 6 \_\_\_Presents complex data effectively
- 7 \_\_\_Offers a mature methodology

아래에 이들을 가격면, 사후관리면 등에 대하여 종합적으로 비교 요약한 표를 보인다. 여기서 미국의 EPRI가 개발한 PRA가 프랑스 EDF의 R&D에서 개발한 ASSESS 보다 상대적으로 유리함을 알 수 있다.

표 3 PRA와 ASSESS의 종합비교

	PRA (Probabilistic Reliability Assessment)	ASSESS
제작사	EPRI (USA)	EDF (France)
프로그램 구조	POM/OPM/BOR + PRI	TRE+EUROSTAG
상정사고특성	Enumeration with (N-limit) ACA(automatic contingency analysis)	Enumeration with (N-limit)
주목적	송전계통방 운영계획 신뢰도평가	송전계통방 운영계획 신뢰도평가
입출력방식	GUI	GUI
주요입력자료	발전기, 변압기 및 송전선로의 용량, 사고확률 및 임피던스 * PSS/E 입력방식 채택	발전기, 변압기 및 송전선로의 용량, 사고확률 및 임피던스
주요계통분석특성	-Interaction analysis -Situation analysis -Root cause analysis -Weak point analysis -Probabilistic margin analysis	단지 Probabilistic margin analysis 만 가능함
활용측면에서의 프로그램 특성	-Identify bottleneck of grid -Evaluation their impact -Recommend effective mitigation alternatives -Steady-state	-The boundary between secure and insecure -Steady-state -Dynamic state
기존의 확률론적 신뢰도 지수출력	-Frequency of interruption -Probability of interruption -MW interruption per year -MWh interrupted per year	-Frequency of interruption -Probability of interruption -MW interruption per year -MWh interrupted per year
가능모선수	최소 100,000	-
조류계산방법	Decoupled AC 및 DC 조류법 (MWdispatch, MVAR dispatch, Capacitor and reactor switching, Transformer tap change, Line switching, Load curtailment, Defined operating procedures, Capacitor placement)	Decoupled AC 및 DC 조류법 (MW dispatch, MVAR dispatch, Transformer tap change, Line switching, Load curtailment) 그러나 Capacitor and reactor switching, Defined operating procedures, Capacitor placement를 고려하지 못함.
Computer for Installation	Window NT 95 RAM 32MB, 133MHz Pentium	
Training Course	Possible	Possible
Add-on Modules	1. Man-Machine Grid Expansion Planning 2. ATC 3. ELD considering Security 4. Substation Reliability Evaluation	-----
A/S	100%	30%-50%
Price	US\$30,000/licence	US\$50,000-100,000/Licence
Remarks	annual fee : 5k-30k	

## 6. 결 론

본문에서 그 특성을 분석한 결과 본 연구과제의 목표와 부합되는 프로그램으로는 미국 EPRI 개발한 PRA를 도입함이 좋다고 사료된다. 그 이유는 다음과 같다.

- 상정사고를 N-unlimit 까지 고려하여 추정된 위반사항을 추출한 결과를 이용하므로 안전도를 상당히 깊게 있게 고려하고 있으며 전력계통 운영계획용 신뢰도 평가프로그램으로 적합하다.
- 매우 뛰어난 GUI 프로그램으로 사용자가 매우 편

하게 graph을 통하여 현재의 계통의 신뢰도 상태를 파악하도록 제강하여 주고 있다.

- 상용프로그램의 핵심은 A/S에 매우 관련되어있는바 본 프로그램은 미국 EPRI가 보장하고 있으므로 차후에 upgrade 되는 면에서도 매우 양호하다고 판단된다.
- 현재 매우 탄탄한 사용자 그룹이 형성되어있으며 년 1회 이상의 사용자 회의를 통하여 적극적으로 수정보완하고 있다.
- 가격면에서 3,000만원 정도로서 상대적으로 비싸지 않다. (참고로 거의 모든 전력계통 상용 신뢰도평가 프로그램은 5천-1억을 형성하고 있음.)
- 이미 PRA의 핵심인 POM에 우리나라 실제통용 적용한 결과 적용가능성을 확보하였다. 그러므로 PRA의 적용가능성도 높다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부지원 전력산업 기술기반 조성사업에 의한 한국전력연구소활용 및 한전전력연구원 의 위탁연구사업으로 연구된 결과임.

## [참 고 문 헌]

- [1] Henry, S.; Pompee, J.; Devatine, L.; Bulot, M.; Bell, K.; "New trends for the assessment of power system security under uncertainty", *Power Systems Conference and Exposition*, 2004. IEEE PES
- [2] J.-P. Paul, K.R.W. Bell "A flexible and comprehensive approach to the assessment of large-scale power system security under uncertainty", *CIGRE 2002*, Paris
- [3] T. Van Cutsem, Y. Jacquemart, J.-N. Marquet, P. Pruvot; "A comprehensive analysis of mid-term voltage stability", *IEEE Trans.*, Vol. 10, August 1995, pp 1173-1181
- [4] D.S. Kirschen. K.R.W. Bell, D.P. Nedic, D. Jayaweera and R.N. Allan; "Computing the value of security", *IEE Proc.~Gener Transm Distrib.*, Vol 150.
- [5] C. Lebrevelec, Y. Schlumberger, M. de Pasquale; "An application of a risk based methodology for defining security rules against voltage collapse", *Power Engineering Society Summer Meeting*, 1999. IEEE.
- [6] Pei Zhang; Lee, S.T.; Sobajic, D.; "Moving toward probabilistic reliability assessment methods", *Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, 2004 International Conference on 12-16 Sept. 2004 pp:906-913.
- [7] Lockwood, S.; Navarro, R.; Bajrektarevic, E.; Burke, P.; Kang, S.; Ferron, P.; Kotecha, V.; Kolluri, S.; Nagle, M.; Lee, S.; Zhang, P.; Agarwal, S.K.; Papic, M.; Useldinger, J.; Patro, P.C.; Arnold, L.; Osborn, D.; Fan, L.; Hopkins, L.; Vaiman, M.Y.; Vaiman, M.M.; "Utility experience computing physical and operational margins. Part I. Basic Concept and " *Submitted to PSCE Conference*, 2004.
- [8] Lockwood, S.; Navarro, R.; Bajrektarevic, E.; Burke, P.; Kang, S.; Ferron, P.; Kotecha, V.; Kolluri, S.; Nagle, M.; Lee, S.; Zhang, P.; Agarwal, S.K.; Papic, M.; Useldinger, J.; Patro, P.C.; Arnold, L.; Osborn, D.; Fan, L.; Hopkins, L.; Vaiman, M.Y.; Vaiman, M.M.; "Utility experience computing physical and operational margins. Part II. Application to power system studies", *Power Systems Conference and Exposition*, 2004. IEEE PES, pp 1365 - 1371.
- [9] Pinheiro, J.M.S.; Domellas, C.R.R.; Schilling, M.Th.; Melo, A.C.G.; Mello, J.C.O.; "Probing the new IEEE Reliability Test System (RTS-96): HL-II assessment", *IEEE Transactions on Vol.13, Feb. 1998*, pp:171 - 176.
- [10] Agarwal, S.K.; Torre, W.V.; "Development of reliability targets for planning transmission facilities using probabilistic techniques-a utility approach", *IEEE Transactions on Vol.12, May 1997*, pp:704 - 709.
- [11] Beshir, M.J.; Cheng, T.C.; Farag, A.S.A.; "Comparison of two bulk power adequacy assessment programs: TRELSS and COMREL", *Transmission and Distribution Conference*, 1996. Proceedings, pp:431 - 437.