

**계통운영분야에 확률론적 신뢰도 평가 적용 가능성에 관한 연구**

최흥석\*송태용\*여현근\* 전동훈\*\*곽노홍\*\* 최재석, 정상현, 권중지, 박정제\*\*\* 윤용태, 이호철\*\*\*\* 차준민\*\*\*\*\*  
 한국전력거래소\* 한전전력연구원\*\* 경상대학교 \*\*\* 서울대학교\*\*\*\* 대전대학교\*\*\*\*\*

**The feasibility study of the application of PRA(probabilistic reliability assessment) at the practical operational planning task.**

H.S. Choi\* T.Y Song\*, H.K Ryu\* D.H Jeon\*\*N.H Kyak\*\* J.S. Choi, S.H Jeong, J.J. Kwon, J.J Park\*\*\* Y.T Yoon, H.C Lee\*\*\*\* J.M. Cha\*\*\*\*\*  
 KPX\* KEPRI\*\* Gyeongsang National University\*\*\* Seoul National University\*\*\*\* Daejin University\*\*\*\*\*

**Abstract** - 과거 단일 회사로 구성된 전력산업 체제하에서의 신뢰도에 대한 인식과 중요성들이 전력시장과 경쟁이 도입된 다각화된 이해 주체들이 존재하는 현행의 국내 전력산업 구조에서는 서로 다른 양상을 띠고 변화하고 있다. 전원 및 송·변전 시설계획에서부터 계통운영 계획 및 실시간 급전에 이르기까지 연속선상의 계통운영 업무에 있어 전력공급의 안정성 확보와 더불어 보다 합리적이고 효율적인 또는 경제적인 계획과 운영에 대한 요구(Needs)가 기존의 결정론적인 신뢰도 평가의 다각적 접근 즉, 확률론적인 신뢰도평가 기법을 개발하게 하였으며, 이에 미국 전력중앙연구소(EPRI)의 PRA(Probabilistic Reliability Assessment) S/W를 도입하여 실제 계통운영의 단위업무와 접목하여 리스크를 고려한 계통안전도평가 구현의 잠재적 가능성과 극복해야 할 한계를 파악하였다.

**1. 서 론**

전력계통에 대한 기술적 진단을 확률론적인 관점에서 바라보고자 한 시도는 1960년대 말 발전계통을 중심으로 시작되었으며, 전제조건으로 송·배전계통을 이상적이라고 가정하고 전원계획을 목적으로 하는 확률론적인 신뢰도 평가지수 및 해석기법 이론이 개발되어왔다. 그러나 초창기 입력변수의 방대함과 사회적 공감대 부족으로 응용 및 활용수준은 미흡하였으며, 이는 전자계산기의 발전 및 전력시장의 도래 등 내·외부적인 환경변화에 따라 이론의 적용을 가시화시키는 촉진제로 작용하게 된다. 국내의 경우 전원계획 신뢰도 평가에서 확률론적인 신뢰도 지수인 공급지장 발생기간 기대치인 LOLE(Loss of Load Expectation)의 적용은 이미 현 업무에서 정착되어 활용되고 있다. 또한 송·변전 시설계획 분야에 확률론적인 기법을 적용하기 위한 시도 역시 관련 Tool 활용 연구가 추진되고 있다. 그러나 전력계통 운영분야 즉 운영계획(Operational Planning)수립 분야와 실시간 계통운영(Real-Time Operation)분야에서의 확률론적인 기법에 대해서는 전통적으로 다음과 같은 어려움으로 인하여 연구가 지연되었으며, 현재 시점에서는 지난 '04년도에 착수된 관련 Tool 도입 연구과제가 최우선이다.

첫째, 업무수행 시간 축 상에서 확률적인 고려값(parameter)이 실 적용에 있어 검토 고려대상에 포함하기 어려울 정도로 매우 적게 나타난다. 이는 제3차 전력수급기본계획(2006~2020년) 즉 향후 약 15년까지의 장기 전원계획수립 시 LOLE(일/년)를 0.5일/년으로 하는 경우 이를 계통운영 계획업무 수립의 적용기간인 1년, 6개월, 1개월, 1일 및 수 시간에 대해 절대적인 값이 실시간에 가까울수록 줄어들고 이는 실제로 발생할 가능성(확률)이 무시 할 정도로 인식되는 경향이 있다.

둘째, 계획의 경우 특히 장기계획으로 갈수록 실제 구체화되기까지의 불확실성과 관련된 변수가 커지게 되며, 이는 해당 확률적인 변수가 미치는 기어도와 영향이 상대적으로 줄어든다. 이는 새로운 기법의 적용에 있어 이에 해당하는 리스크와 상응하는 것으로, 실시간 계통운영에 가까울수록 확률론적인 기법의 적용에 있어서의 리스크도 커지게 된다.

그러나 상기의 장애요인에 대한 또 다른 긍정적인 관점에서의 해석에는 첫 번째 사항에 대하여 운영분야 확률론적인 지수에 대한 계획분야와는 상이한 상대적 가중치 적용 및 이에 대한 계량화로 확률 가치가 재산정이 될 수 있으며, 두 번째 고려사항은 실 계통운영 적용에 리스크가 큰 만큼 이에 해당하는 효과(Benefit)도 커진다는 사항이 고려될 수 있다는 것이다.

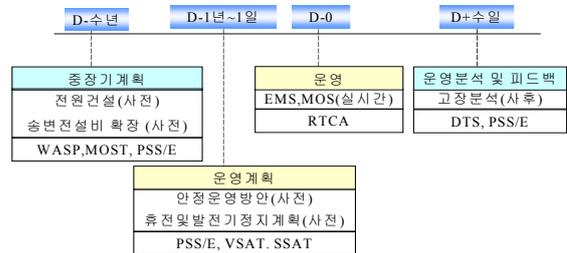
따라서 계통운영분야에의 확률론적인 신뢰도 평가기법 적용은 향후에도 많은 제반연구와 시간이 소요될 것이며, 본 고에서는 미국 전력중앙연구소(EPRI)의 PRA(Probabilistic Reliability Assessment) S/W를 이용하여 실제 계통운영의 단위업무들과 접목하여 궁극적인 리스크를 고려한 신뢰도평가의 장애요인과 가능성을 검토하였다.

**2. 본 론**

**2.1 신뢰도 평가**

신뢰도 평가(Probabilistic Reliability Assessment)란 물리적 전력계통에 대한 기술적 진단으로 규정할 수 있으며, 목적에 따라 검토시기와 사용 Tool이 상이하며, 일반적으로 사전(事前) 평가를 말한다.

- 사전 : 전력수급기본계획 및 계통안정운영방안 수립
- 실시간 : 모니터링 및 시뮬레이션(EMS/MOS 등)
- 사 후 : 고장분석 및 모의



**<그림 1> 시간대별 신뢰도 평가업무 및 Tool**

또한, 실무적으로 계통운영부문과 관련된 신뢰도 평가에는 다음과 같은 시간에 따른 범위로 분류될 수 있으며, 이에 적용되기 위한 기술적인 요구사항은 서로 다르다.

가. 실시간운영(Real-Time Operation) : 계통운영의 각 상태에 따른 계통운영원의 신속한 판단과 적절한 조치에 도움을 줄 수 있는 정보를 제공함을 목적으로 하며, 실시간 자료(State Estimator)의 입력, 빠른 연산 속도, 직관적이고 가시적인 결과 처리가 요구된다.

나. 운영계획(Operational Planning) : 실시간 운영에 대한 사전검토 단계로써 문제점 해결을 위한 다수 안에 대한 최적 방안 선정을 목적으로 하며, 사전 예측자료의 입력, 검토 시간의 확보 및 평가 결과에 따른 대책방안들에 대한 다각적 측면에서의 효과분석이 필요하다.

본 고에서는 PRA등의 관련 제반 기술적 수준과 상기 요구사항에 부합되는 운영계획분야에 대한 사례 검토 연구를 수행하였다.

**2.2 전제조건**

확률론적인 기법 적용기반은 통계적 자료처리로부터 시작되며, 과거 고장통계자료의 정확도가 현재의 활용 가능한 수준에서의 신뢰성 기대치에 미흡함은 있으나, 이는 확보되어야 할 병행 제반사항으로 향후 리스크를 고려한 신뢰도 평가수행의 아래사항과 함께 지속적인 별도의 연구가 되어야 할 사항임을 전제하는 바이다.

- 신뢰성 있는 고장통계자료의 확보
- 적용 가능한 확률론적인 기준의 정립
- 계통운영 측면의 신뢰도 지수의 확보
- 통계적 처리기법의 유효성 및 기법개발
- 신뢰도 비용 등 가치산정에 대한 기반 확보

**2.3 PRA(Probabilistic Reliability Assessment) 성능**

여타 논문 등을 통해 PRA(美, EPRI)에 대한 구조, 성능에 대한 소개는 제시된 바 이에 대한사항은 최소로 논하고자 한다. 다만 기존 PSS/E(美, PTI)등과 같은 결정론적 신뢰도 평가 TOOL과 비교해 볼 때의 중요사항은 다음과 같다.

- 상태 상정사고열거법(State-Enumeration)에 의한 순차적 반복계산으로서, 기존 전원개발계획을 위한 확률론적인 평가 알고리즘과는 다른 계통운영분야 적용을 위한 EPRI의 개발 알고리즘을 채용하고 있음.
- 상태별 발생확률(Probability)과 물리적 한계를 벗어나는 정도(Impact)를 조합한 PRI(Probabilistic Reliability Index) 지수를 계산함.
- 이는 특정 순간 계통상태(Snap-Shot)단위의 평가로써 저전압(kV), 과부하(MVA), 공급지장(MW), 전압안정도(안정/불안정)지수(Index)를 결정론적인 방법과 확률론적인 방법으로 병행·분석하며, Bar 및 Map

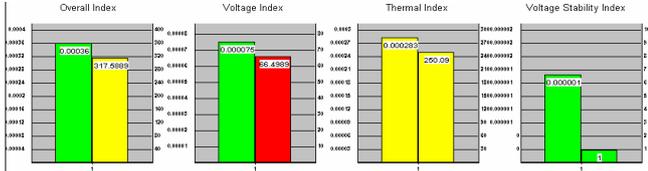
을 통해 결과를 가지화함.

■ 가능한 상정고장의 조합에 따라 가장 큰 영향(신뢰도 기준위반)을 유발시킨 취약설비(Weak Point Analysis)와 상정고장으로 인해 가장 많은 피해를 받는 설비(Root Cause Analysis)를 파악함.

**2.4 사례검토 1 : 주요 설비 계통 병입에 따른 영향 분석**

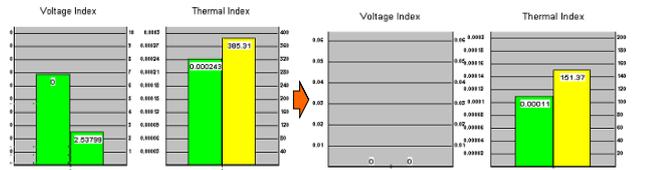
2002년 4월 765kV 선로의 최초 가압 등 주요 계통변화에 대한 영향을 거시적인 신뢰도 관점에서 파악하고자 할 목적으로 다음의 세 가지 세부사례로 구분하였다.

① 765kV 선로고장 발생시 수도권에 미치는 신뢰도 영향 분석



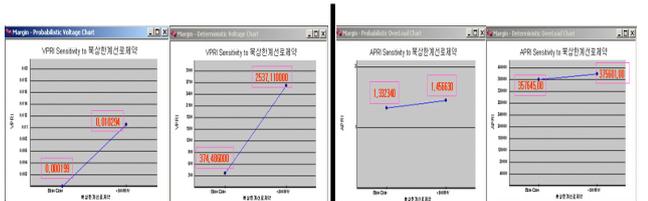
<그림 2> N-2고장, 고장파급방지시스템 고려

② 765kV 신대백T/L 추가 가압에 따른 수도권 부하차단 고장파급방지 시스템 설치 효과 분석



<그림 3> 부하차단 미적용시 ⇨ 부하차단 적용시

③ 765kV의 선로 보상조류 한계설정에 따른 수도권 신뢰도 효과 분석

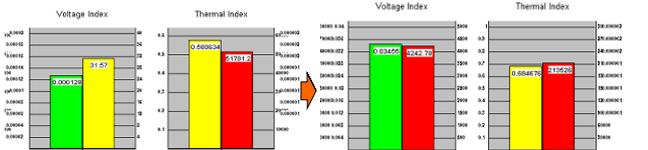


<그림 4> 제약설정 전/후 저전압(좌)&과부하(우) (확률론적 좌, 결정론적 우)

**2.5 사례검토 2 : 긴급한 계통여건 변화에 따른 신뢰도 영향 분석**

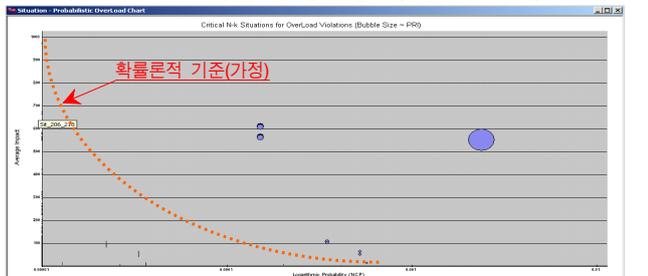
사전에 예정되지 않은 긴급한 계통운영상황의 변화에 따른 해당 지역의 신뢰도 변화에 대한 영향을 다음의 두 가지 세부사례로 구분하였다.

① 345kV 신성동T/L 화재 발생에 따른 서울 동북부지역 계통운영 여건 악화에 대한 신뢰도 지수 분석



<그림 5> 345kV 신성동T/L 화재 발생 전 후 (확률론적 좌측대결정론적 우측대)

② 345kV 아산T/L 긴급휴전에 따른 대전지역 계통여건 변화 비교분석



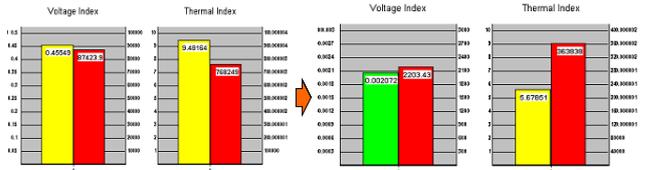
<그림 6> 대전지역 중요 상정고장시 확률론적 과부하 지수 분포

**2.6 사례검토 3 : 설비 신증설에 따른 특정지역 신뢰도 여건변화 분석**

강원지역은 최대피크가 여름보다 겨울에 발생되며, 특히 '06년에는 당초 예정되었던 송전선로 건설 일정이 민원으로 인하여 지체됨에 따라 고장파급방지시스템을 설치해야하는 어려운 계통운영여건에 접하게 된다. 이와 같이 건설지연의 역(逆)으로 조기준공에 따른 강원지역의 운영

여건에 대한 변화를 검토하였다.

① 154kV 곤지암~용문, 황계~평창T/L 건설지연에 따른 강원지역 동계운영의 계통여건 악화에 대한 신뢰도 지수비교



<그림 7> 송전선로 준공지연 ⇨ 작기준공 (확률론적 좌측대결정론적 우측대)

**2.4 PRA 확률론적 평가의 한계 및 가능성**

**2.4.1 가능성**

첫째, 종전의 방식들은 계통상황변화에 대해 추상적인 신뢰도의 개선(또는 악화)기대에 비해 가시적이고 계량화된 지수로써 보다 보편적이고 대중화된 이해의 수단을 제공하고 있다.

둘째, 사례 1의 ①에서 저전압지수의 경우 결정론적으로는 66.5kV이지만 확률적으로는 0.000075kV로 이는 매우 낮은 저전압의 절대량을 발생시키는 345kV선로 고장과도 비교할 때 상대적으로 매우 작은 기댓값으로 평가된다면, 수도권 북상제약 설정 등 안정운영방안 수립시 고려대상에 포함할지 여부의 평가근거로 삼을 수 있다. 즉 이는 수도권북상한계를 결정하는 선로로 영향만을 고려 시는 765kV 선로이나, 고장발생확률을 함께 고려한 기댓값으로 평가한다면, 345kV선로로 변경될 수 있으며 이는 북상한계량을 조절할 수 있으며, 그 조정량은 리스크에 해당하게 된다.

셋째, 사례 2의 ②에서 345kV 아산 #2T/L 휴전시 저전압, 과부하에 대한 신뢰도 상태가 기존여건에서 몇 배수로 악화되는지 상대적으로 파악할 수 있다. 또한 확률론적으로 개별 상정고장들에 대한 확률상태공간에서의 임의의 기준이 마련된다면, 휴전 검토 시 모든 상정사고에 대하여 대비하지 않고, 또는 대비 수준을 낮추어서 리스크와 Trade-Off할 수도 있을 것이다. 이는 향후 Reliability Centered Operational Planning을 의미한다.

넷째, 사례 3에서 선로 준공에 따라 강원지역의 전압, 과부하가 모두 개선됨을 볼 수 있으나, 결정론적으로 404,411MVA(768,249-363,838 MVA)의 과부하 개선효과에 비해 확률을 고려 시는 3.8MVA(9,48164-5,67851MVA)로 미미한 개선량을 확인 할 수 있다. 그러나 이는 확률론적 평가에서의 1MVA는 결정론적 평가에서의 1MVA와 동일한 차원으로 고려할 수 없음을 입증하며 인식 가능한 정규화(normalize)가 필요함을 알 수 있다.

넷째, 그림 6은 계통의 다중고장(N-3 이상) 또는 지중선로에 N-2로 상정하는 경우 운영방안 검토에서 기준선 이상의 고장, 즉 고장시 영향과 확률이 어느 수준이상인 것에 대해서만 대응을 할 수 있다.

**2.4.2 한계**

신뢰도비용 미 고려 등 PRI 적합성, 계통운영 신뢰도지수로써의 유용성, 지수들 간의 가치치 부여방안, 적정성(Adequacy)에 대한 고려방안과 더불어 결과의 가시화(Bar, Map) 수준이 낮아 향후 지속적인 연구개선이 필요하다.

**2.5 기타 활용방안**

증장기 전원 및 계통계획 수립에 대한 신뢰도 유지 적정성 분석, 연도별 취약개소 선정을 통한 투자우선 순위 결정, '08년도 하절기 계통운영방안 수립의 개선 효과 분석, 고장파급방지시스템(SPS) 복구 설치방안 선정 및 효과 검토, EMS에서 SE결과로 추출된 PSS/E 데이터(매 5분) 이용한 실시간 계통 신뢰도 지수의 산출 및 제공, 배전사업부제에 따른 지역간 신뢰도지수 산출 및 상호영향 분석 등에 활용될 수 있다.

**3. 결론**

본 연구 성과물인 PRA로써 확률론적인 기법을 실제 업무에 당장 적용할 수는 없으나, 결정론적인 기법에 대한 가시적인 지수의 제공과 취약설비의 파악 등 기존 PSS/E의 기능을 보완하여 병행 사용할 수 있으며, 또한 장기적으로 한국계통의 확률론적인 관점에서의 적정수준 파악 및 기준 설정에 대한 기초적인 틀을 갖출 수 있다. 더불어 본 과제수행을 계기로 설비고장확률 산출을 위한 제반 정지관리기준이 정립되어 제반 기반이 확보되었으며, 공급지장비용, 신뢰도 지수 등에 대한 기반연구도 추가가 필요할 것이다. 향후 리스크를 기반으로 하는 신뢰도 평가 기법은 시장이 도입된 경쟁체제하에서의 계통운영의 필수불가결한 지향점이 될 것으로 본다.

**[참 고 문 헌]**

[1] EPRI, "PRA USER MANUAL v3.1", 2006년 3월  
 [2] 권중지, 트란트롱틴, 정상현, 시보, 최재석, 차준민, 윤용태, 최홍성, 전동훈 "PRA를 이용한 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구" 2006년도 대한전기학회 전력기술위원회 추계학술대회 논문집. pp. 27-29. 2006.