

계통계획측면에서의 우리나라 전력계통에 대한 PRA활용연구

정상현*, 권중지*, 사박*, 박정제*, 최재석*, 윤용태**, 이호철**, 차준민***, 전동훈+, 최홍석++, 송태용++, 여현근++
 경상대학교*, 서울대학교**, 대전대학교***, 한국전력연구원+, 한국전력거래소++

A Study on Application of PRA for Korea Power System in Planning Mode

S.H Jeong*, J.J Kwon*, Bo Shi*, J.J Park*, J.S Choi*, Y.T Yoon**, H.C Lee**, J.M Cha*** D.H Jeon+, H.S Choi++, T.Y Song++, H.K Rju++
 Gyeongsang National University* Seoul National University** Daejin University*** KEPRI+ KPX++

Abstract - 본 논문은 전력계통의 보다 합리적인 신뢰도 운영을 실시하고자 근래 V&R Energy System Research에서 개발한 신뢰도 평가 프로그램인 POM과 EPRI에서 개발한 PRA를 이용하여 우리나라계통에 적용하여 성공적으로 얻은 다양한 사례연구 결과를 소개한다. 여기서는 PRA 프로그램을 우리나라 전력계통의 계획측면에서 활용방안을 모색하기로 하고 다음과 같은 몇 가지 사례연구에 주안점을 두고 실시하였다. 2008년도 우리나라 계통의 병입되는 당진화력 7,8호기의 신설에 따른 계통영향에 대한 신뢰도 지수 비교 분석과 2007년부터 2012년까지의 향후 6년간에 걸친 장기계통계획에 대한 우리나라계통의 신뢰도 지수의 변화를 비교 분석하는 등 계통계획측면에서의 활용방안의 타당성에 관하여 검토하였다.

1. 서 론

전력계통은 전기의 생산에서 최종 사용에 이르기까지 전 과정을 의미한다. 이는 살아있는 생명체와도 같이 움직이고 있는 하나의 거대한 시스템이며 외부의 환경변화나 충격, 내부의 설비고장 등 불시고장이 발생되면 스스로 회복되거나 또는 전 계통이 일시 정지될 수 있다. 또한 이러한 전력계통의 기본임무는 수요자에게 양질의 전기에너지를 정전사고 없이 높은 수준의 신뢰도로 공급하는 것이다. 지속적인 경제성장과 정밀한 기기의 증대로 말미암아 전력수요의 증가와 수요예측의 불확실성 증가로 전력에 대한 의존도 또한 급속히 증가하고 있어 보다 높은 전력공급의 신뢰성을 요구하고 있다[1]. 그 중 송전 계통의 운영은 전력계통 설비들의 과부하를 예방하고 계통전압이 적정하게 유지되도록 송전망에 흐르는 전력조류를 적절하게 분석하여 미리 사고들에 대한 대비를 철저히 해야 한다. 이 때 이러한 사전대비를 하기 위해서는 전력설비의 고장이나 휴전에 대비하여 고장계산, 전력조류 계산, 안정도 분석과 휴전계획 등의 조정, 고장파급 방지 시스템 등의 안정적인 계획을 수립하여야 한다.

본 논문에서는 부하의 한 시점에 대하여 신뢰도 평가를 실시할 수 있는 V&R Energy System Research에서 개발한 POM과 EPRI에서 개발한 PRA를 이용하여 2008년도 우리나라 계통의 병입되는 당진화력 7,8호기의 신설에 따른 계통영향에 대한 신뢰도 지수 비교 분석과 2007년부터 2012년까지의 향후 6년간에 걸친 장기계통계획에 대한 우리나라계통의 신뢰도 지수의 변화를 비교 분석하였다.

2. POM과 PRA프로그램

2.1 Physical and Operational Margins(POM)

Physical and Operational Margins(POM)[2]는 미국 V&R Energy System Research에서 개발되었으며 전력계통의 운영시 사고가 없는 정상적인 상태 및 임의의 상정사고에 대하여 전력 공급을 얼마나 더 이상할 수 있는가 하는 여유력을 평가할 수 있으며 POM은 다양한 상정사고 상태에 대하여 그 계통이 전압안정도, 모선의 저전압위반 및 선로의 열적한계 내에서 전력공급의 여유력을 분석할 수 있는 프로그램이다. 이를 분석한 출력이 PRA 프로그램의 입력파일로 들어가 확률론적 신뢰도 지수를 나타내어준다.

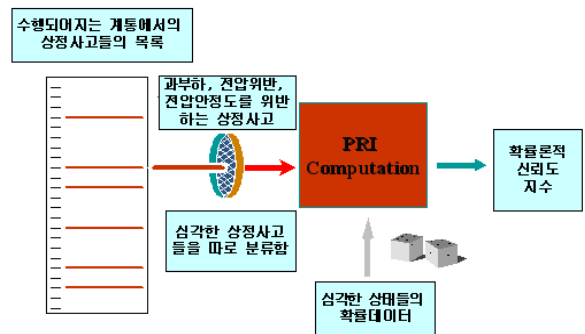
2.2 Probabilistic Reliability Assessment(PRA)

Probabilistic Reliability Assessment(PRA)프로그램은 확률론적 신뢰도 평가 프로그램으로서 핵발전소의 운영에서 위험도(Risk)를 측정하는데 효과적인 프로그램으로 사용되어졌다. 하지만 이러한 방법론을 전력계통에 접목시켰을 때 송전선로의 원하지 않은 사고의 가능성이라든지 확률의 결정을 위한 능력들을 제공할 수 있다. 이 PRA를 사용하게 되면 먼저 구조 개편된 환경 하에서 의미 있는 데이터를 제공해 줄 수 있으며, 전반적인 신뢰도에 대한 분석(Overall Analysis)과, 믿음만한 운영의 전력 공급 여유력과 함께 계통사고의 원인과 취약 지점을 결정할 수 있으며 적절한 완충계획의 결정을 가능하게 해준다. 그리고 복잡한 데이

터를 효과적으로 표현가능하며 좀 더 발전된 방법론을 제공하면서 계통의 계획과 운영을 통합할 수 있는 방법론을 제공하게 된다[3][4].

2.3 확률론적 신뢰도 지수 계산방법

위의 POM프로그램과 PRA프로그램을 이용하여 아래 그림1과 같은 과정을 거쳐 확률론적 신뢰도 지수를 구할 수 있다.



<그림 1> 확률론적 신뢰도 지수 계산방법

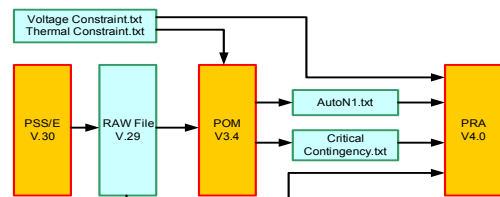
2.4 확률론적 신뢰도 지수(PRI)

PRA 프로그램에서 제공하는 확률론적 신뢰도 지수(PRI) 4가지가 있다. 첫째로 과부하 지수는 선로의 열적제한 한계량을 초과한 과부하량의 합으로 계산되어진다. 둘째로 전압 신뢰도 지수는 전압제한의 상, 하한 값을 위한 전압차의 합으로 계산되어진다. 셋째로 전압 안정도 지수는 전압안정도 위반이 발생하였을 경우 건수로 계산되어진다. 마지막으로 부하손실 신뢰도 지수는 각 모선의 부하손실의 합으로 계산되어진다. PRI는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 1) \ A_PRI &= \sum_{i \in \text{ulated_Situations}} \text{probability}_i \times \text{Aimpact}_i \\
 2) \ V_PRI &= \sum_{i \in \text{ulated_Situations}} \text{probability}_i \times \text{Vimpact}_i \\
 3) \ VS_PRI &= \sum_{i \in \text{Simulated_Situations}} \text{probability}_i \times \text{VSimpact}_i \\
 4) \ LL_PRI &= \sum_{i \in \text{Simulated_Situations}} \text{probability}_i \times \text{LLimpact}_i
 \end{aligned}$$

2.5 전반적인 PRA프로그램의 구성

내 PRA프로그램을 운영하기 위해서는 우선 3가지 프로그램이 있어야 한다. 첫째로 PSS/E 프로그램을 이용하여 조류계산 데이터를 확보해야 한다. 둘째로 이 조류계산 데이터를 바탕으로 POM 프로그램을 사용하여 전압안정도, 모선저전압, 선로의 과부하등의 제약조건을 통해PRA프로그램의 입력데이터를 추출해야 한다. 마지막으로 이 입력데이터를 가지고 PRA 프로그램을 이용하여 확률론적 신뢰도 평가가 이루어진다. PRA프로그램의 전반적인 구성은 아래 그림과 같다[5].

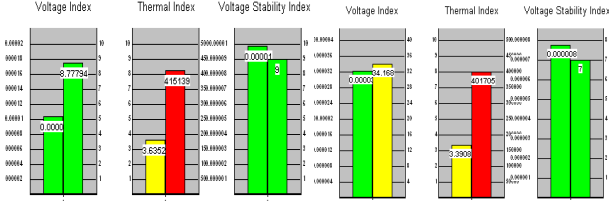


<그림 2> 전반적인 PRA 구성도

3. 사례 연구

3.1 당진화력 7,8호기의 병입에 따른 신뢰도 지수 비교

본 사례연구는 2008년 우리나라 전력계통에 병입될 당진화력 7,8호기의 병입에 따른 대전전력관리처에 속한 지역의 신뢰도 지수를 비교분석 하였다. 아래 그림은 그 결과 값을 보여준다. 크게 눈에 띄는 부분은 9건에서 7건으로 2건이 줄어든 전압안정도 지수이다. 그러나 줄어든 2건이 전압안정도가 해소됨으로써 전압위반지수와 과부하 지수에 영향을 주어 당진화력 7,8호기 병입전, 후의 지수의 변화가 크게 나타나지 않았다.



〈그림 3〉 당진화력 7,8호기의 병입 전 〈그림 4〉 당진화력 7,8호기의 병입 후

3.2 향후 6년간 우리나라 계통의 신뢰도 지수 비교

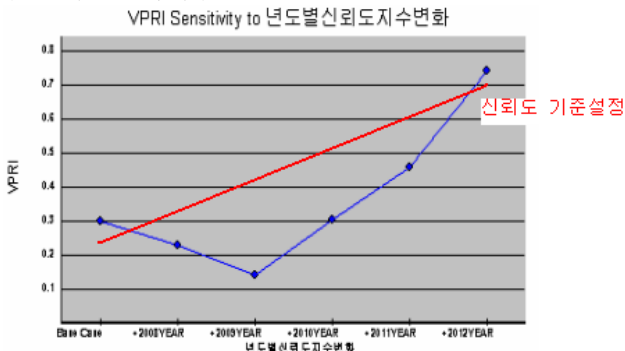
본 사례연구는 2007년부터 2012년까지의 계통계획 파일을 바탕으로 향후 6년간 확률론적 신뢰도 지수의 추이를 비교 분석 하였다.

〈표 1〉 향후 6년간 우리나라 계통의 부하용량

CASE	년 도	최대부하	심각한 상정사고 수	비고
CASE 1	2007년	56,260MW	21692	Base Case
CASE 2	2008년	57,847MW	25831	
CASE 3	2009년	59,278MW	26147	
CASE 4	2010년	60,643MW	29103	
CASE 5	2011년	61,928MW	26541	
CASE 6	2012년	63,148MW	29515	

사례연구 결과 저전압위반 지수는 2007년을 시작으로 2009년까지 조금씩 좋아진다. 그 후 저전압위반지수가 조금씩 증가한다는 것을 알 수 있다. 그리고 과부하 지수는 2007년에 가장 높은 것으로 나타났고 2008년에 지수가 많이 내려갔으며 2009년에 다시 증가 후 2010년에 다시 내려갔다. 그 후 2년 동안은 조금 증가하는 것으로 나타났다. 마지막으로 전압안정도 지수를 보면 2007년에서 2011년까지의 지수는 거의 변화가 없이 비슷하게 나타났으며 2012년에 지수가 많이 증가하는 것으로 나타났다[6].

아래 그림6에서 그림8은 2007년부터 2012년까지의 확률론적 전압위반 지수를 비교한 그림이다.



〈그림 5〉 확률론적 전압위반 지수 비교

위의 결과들에서 신뢰도지수가 우리나라 전력계통에서 어느 정도 수치 범위에 있어야 문제가 없는지를 기준을 정해져야 할 것으로 사료된다. 만약 우리나라의 적정 신뢰도지수가 정해지다면 계통수립에 활용이 가능하다고 여겨진다.

다음으로 년도별 저전압 취약지점과, 과부하 취약 지점을 분석하였다. 저전압 취약 지점으로는 2007년도 계통계획안은 영동화력 1,2호기 사고 시 안인_154(제천)모선으로 나타났고 2008년도부터 2012년도까지의 계통계획안 동해_영월_1 선로의 고장시 또는 영동화력 1호기 고장시 단양_154(제천)모선으로 나타났다.

과부하 취약 지점으로는 년도별로 다르게 나타났으며 자세한 내용은 표 2와 같이 나타났다.

〈표 2〉 향후 6년간 우리나라 계통의 취약지점 분석

년도	저전압 취약지점	과부하 취약지점
2007년	안인_154(제천)	광양3_SK민자(광주)
2008년	단양_154(제천)	화성3_아산3 (수원~대전)
2009년	단양_154(제천)	광양3_SK민자(광주)
2010년	단양_154(제천)	서대구1_남인동_1(대구)
2011년	단양_154(제천)	서대구1_팔달_1(대구)
2012년	단양_154(제천)	서대구1_팔달_1(대구)

3. 결 론

본 연구에서는 POM(Physical and Operational Margins)프로그램과 PRA(Probabilistic Reliability Assessment)프로그램을 이용하여 계획 측정에서의 우리나라 전력계통에 활용코자 당진화력 7,8호기의 병입전,후의 신뢰도 지수비교와 향후 6년간의 우리나라 계통의 확률론적 신뢰도 평가를 수행하였다. 연구결과 당진화력 7,8호기 병입시 신뢰도 지수가 좋아지는 것을 확인할 수 있었으며 얼마만큼 신뢰도가 향상됨을 파악할 수 있는바 우리나라 전력계통에 발전기의 병입시 신뢰도 지수를 정량적으로 파악하는데 도움을 줄 것으로 사료된다. 한편 본 연구에서 사용한 PRA프로그램은 저전압위반, 과부하위반, 전압안정도 위반 측면에서 신뢰도 지수를 파악 할 수 있으며 각 년도 계통 계획안의 저전압 취약지점과 과부하 취약지점을 분석 할 수 있었다. 또한 이 PRA프로그램은 연간부하를 대상으로 하는 전형적인 신뢰도 평가 프로그램과는 달리 한 부하 시점을 대상으로 평가하는 snap-shot형태의 확률론적 신뢰도 분석 프로그램이다. 그러나 본 연구에서 살펴 본 바와 같이 장기 계통계획 수립용으로도 활용이 가능하다고 판단되며 앞으로 TRELSS와 같은 기존의 전형적인 신뢰도 평가프로그램과 연동하여 적극 활용함으로써 보다 합리적인 계통계획을 수립함에 도움을 줄 것으로 기대된다. 끝으로 우리나라 적정 신뢰도 기준이 선정과 고장률 데이터 확보를 위한 연구가 지속적으로 이루어지다면 우리나라의 확률론적 신뢰도 연구가 더욱 더 힘을 받아 우리나라 전력계통의 신뢰성에 크게 영향을 미칠 것이라고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원 하에 서울대 전력신뢰도 및 품질연구센터, 한국전력연구원 및 한국전력거래소와의 협력 아래 이루어졌으며 관련된 분들께 깊이 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] GYUGYI, L. "Unified power-flow control concept for flexible AC transmission system", IEE Proc, C. vol. 139, no. 4, pp. 323-331. 1992.
- [2] Lockwood, Navarro et al, "Utility Experience Computing Physical and Operational Margins : Part I and Part II", IEEE Power System Conference & Exposition, New York City, October 10-13, 2004.
- [3] EPRI Report - "Application of Probabilistic Reliability Assessment to a Part of the AEP System", Reliability Initiative Publications, September 29, 2000.
- [4] EPRI Report - "Preliminary Application of Probabilistic Reliability Assessment to the U.S. Eastern Interconnection and ERCOT", Reliability Initiative Publications, January 2002.
- [5] 권중지, 트란트롱틴, 정상현, 시보, 최재석, 차준민, 윤용태, 최홍석, 전동훈 "PRA를 이용한 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구" 2006년도 대한전기학회 전력기술부분회 추계학술대회 논문집. pp. 27-29. 2006.
- [6] 정상현, 권중지, 사박, 박정제, 최재석, 윤용태, 이호철, 차준민, 전동훈, 윤용범, 최홍석, 송태용, 여현근 "우리나라 계통에 대한 PRA의 활용방안연구" 2007년도 대한전기학회 전력기술부분회 추계학술대회 논문집. pp. 119-121. 2007.