

PRA를 이용한 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구

권중지* 트란트롱틴* 정상현* 시보* 최재석* 차준민*² 윤용태*³ 최홍석*⁴ 전동훈*⁵
 경성대학교* 대전대학교*² 서울대학교*³ 한국전력거래소*⁴ 한전전력연구원*⁵

A Study on Probabilistic Reliability Evaluation by Using PRA

J.J Kwon* T.T. Tran* S.H Jeong* Shi Bo* J.S. Choi* J.M Cha*² Y.T Yoon*³ H.S. Choi*⁴ D.H.Jeon*⁵
 Gyeongsang National University* Daejin University*² Seoul National University*³ KPX*⁴ KEPRI*⁵

Abstract - This paper deals with the application of the concept of POM to analysis of power system behavior and describes a practical method of PRA for KEPCO system. This paper presents not only marginal power flow evaluation of KEPCO system in view point of physical and operation mode by using Physical and Operational Margins (POM Ver.2.2), which is developed by V&R Energy System Research, but also by using Probabilistic Reliability Assessment (PRA Ver.3.1), which is developed by EPRI. The ability of the method to provide insights on root causes, weak points and regional causes and effects was shown. The approach offers fast and accurate determination of bottlenecks in the transmission network and optimal mitigation measures to alleviate the identified violations.

영향을 미치는 계통사고를 의미하며, 우측하반부는 사건 발생확률은 높으나 그 영향은 매미 미미한 계통사고를 의미한다. 한편, 중간상측부분영역은 높은 발생확률과 높은 영향을 미치는 사고발생을 의미한다[2]. 본 연구의 목표 중 하나는 이와 같은 임의의 사건이 과연 어떠한 영향을 갖는지 또는 충격도는 얼마인지를 계산해 내고 그에 해당하는 지수를 제시함으로써 높은 발생확률과 높은 영향을 미치는 사건을 찾아내어 전력계통의 운영측면에서 더욱 더 안정적으로 계통운영을 할 수 있도록 하는 것이다.

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. 급속한 경제성장과 함께 전력수요의 급격한 증가와 수요예측의 불확실성 증가로 전력에 대한 의존도 또한 급속히 증가하고 있어 보다 높은 전력공급의 신뢰성을 요구하고 있다[1]. 그 중 송전망 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 신뢰도 평가 프로그램 중 V&R Energy System Research에서 개발한 POM과 EPRI에서 개발한 PRA를 이용하여 한전계통을 적용하여 모의실험 하였고 그 결과들을 분석하여 보았다. 또한 사례연구를 통하여 나온 결과들을 바탕으로 하여 PRI(Probabilistic Reliability Index)를 도출하였고 차후 연구 방향을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 사고의 확률과 충격도의 연관성

일반적으로 거의 모든 시스템에서는 임의의 사건이 발생할 확률과 그 사건이 시스템에 미치는 충격과의 상관관계를 살펴보면 아래 그림과 같다. 즉, 좌측상반부의 영역은 발생확률은 낮으나 한번 발생하면 매우 심각한

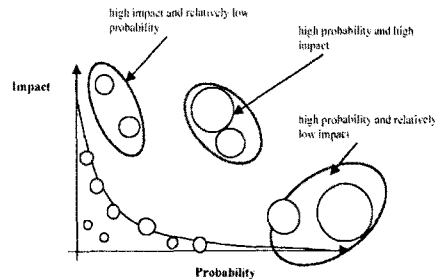


그림 1 계통사고의 확률과 충격도의 연관성

2.2 Physical and Operational Margins(POM)

Physical and Operational Margins(POM)은 미국 V&R Energy System Research에서 개발되었으며 전력계통의 운영시 사고가 없는 정상적인 상태 및 임의의 상정사고에 대하여 전력 공급을 얼마나 더 이상 할 수 있는가 하는 여유력을 평가할 수 있으며 POM은 다양한 상정사고 상태에 대하여 그 계통이 전압안정도 및 선로의 열적한계 내에서 전력공급의 여유력을 분석할 수 있는 프로그램이다. POM의 장점은 빠르고 간단한 조류 해석 및 시각적으로 결과를 표현하여 주는 데 있다. POM에 내장되어 있는 그래픽화된 기능들은 운영자들로 하여금 전력계통을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 도와주며 전반적인 계통의 분석을 할 때 유연성을 제공한다. 또한 POM은 각각의 계산 과정에서 확인되어지는 제약조건들의 특성에 의한 전력계통 요소들의 운영에 대한 이해를 할 수 있게 해준다. 효율적인 계산 프로그램들은 거대한 전력계통 모델에서 많은 상정사고 분석을 사용자가 할 수 있게끔 해준다. 이러한 의미에서 POM은 사용자 정의에 의한 명령어를 통해 계통운영 및 계획에서 좀 더 확장적인 의미의 옵션들을 제공하여 계통분석을 쉽게, 더 자세하게 할 수 있다.

2.2.1 POM에서 상정사고 분석

POM에서는 N-1 상정사고와 N-2 상정사고 그리고 복합 상정사고 등 세 가지의 상정사고 분석이 가능하다. 먼저 N-1 상정사고는 단일사고로써 발전기나 부하의 발전력의 변화 또는 전력계통 요소들의 제거 또는 복구에 관련된 사고를 말하여 이의 결과가 상정사고 목록에 기록된다. 그리고 N-2 상정사고는 두 개의 조합으로 된 상정사고로써 이는 N-1 상정사고들의 결합으로 구성된다. 또한 POM에서는 발전기와 선로의 사고가 동시에 일어날 수 있는 복합 상정사고들을 분석할 수 있으며 프로그램에서는 N-1 상정사고로 취급하게 된다. 이러한 상정사고들은 선택사양에서 선택을 할 수 있으며 자동으로 생성할 수 있는 방법과 사용자 정의에 의한 방법으로 나뉘게 된다.

2.3 Probabilistic Reliability Assessment(PRA)

Probabilistic Reliability Assessment(PRA)는 확률론적 신뢰도 평가 프로그램으로써 핵발전소의 운영에서 risk, 즉 위험도를 측정하는데 효과적인 프로그램으로 사용되어졌고 하지만 이러한 방법론을 전력계통에 적용시켰을 때 송전선로의 원하지 않은 사고의 가능성이라든지 확률의 결정을 위한 능력들을 제공할 수 있다. 결정론적인 측면에서 상정사고는 그것들의 엄격도에 따라서 결정되어 지지만 이러한 접근법은 위반사항 즉 violation에 대해 계통의 가능성을 고려하지 않는다. 하지만 확률론적 접근법은 Probabilistic Reliability Index(PRI)라고 불리어 지는 지수들에 의해 엄격성을 고려할 수가 있고 가장 심각한 상정사고들을 위한 신뢰도의 좀 더 정확한 검토를 제공할 수 있는 프로그램이다.

이 PRA를 사용하게 되면 먼저 구조 개편된 환경하에서의 의미있는 데이터를 제공해 줄 수 있으며, 전반적인 신뢰도에 대한 접근과, 믿음만한 운영의 마진과 함께 계통사고의 원인과 취약 지점을 결정할 수 있으며 적절한 완충 계획의 결정을 가능하게 해준다. 그리고 복잡한 데이터를 효과적으로 표현가능하며 좀 더 발전된 방법론을 제공하면서 계통의 계획과 운영을 통합할 수 있는 방법론을 제공하게 된다[3].

2.3.1 PRA에서 신뢰도 계산

PRA에서는 Probability Reliability Index(PRI)라고 하는 지수를 사용하며 이 지수들의 구성으로는 전력계통 요소들의 확률과 시스템에 영향을 미치는 정도를 나타내는 영향도로 구성되어 있다. 이러한 지수들은 아래의 그림과 같은 순서로 계산되어진다.

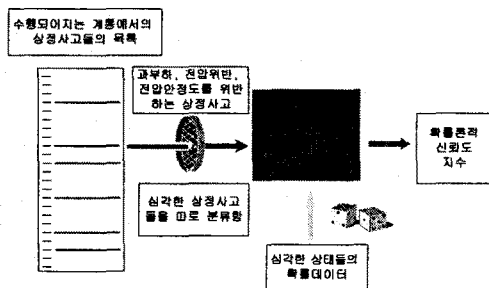


그림 2 PRA에서 신뢰도 계산 방법

2.3.2 PRA의 지수들

아래는 PRA에서 사용되는 지수들을 수식화 한 것이다.

$$A_PRI = \sum_{i \in \text{ulated_Situations}} probability_i \times Aimpact_i \quad (1)$$

$$V_PRI = \sum_{i \in \text{ulated_Situations}} probability_i \times Vimpact_i \quad (2)$$

$$VS_PRI = \sum_{i \in \text{Simulated_Situations}} probability_i \times VSimpact_i \quad (3)$$

$$LL_PRI = \sum_{i \in \text{Simulated_Situations}} probability_i \times LLimpact_i \quad (4)$$

3. 사례 연구

본 연구에서는 POM과 PRA를 사용하여 그림과 같은 1,119개의 모선과 2,205개의 송전선로들로 구성되어 있는 2006년도의 한전계통(KEPCO system)에 대하여 사례연구를 실시하여 보았다. 한국의 계통은 다른 계통과 연계되어 있지 않은 단일계통(Island System)으로써 현재 송전계통망의 초고압화 및 신기술 도입에 의한 복잡하고도 고도화 되어있다. 과거 70년대에는 154kV, 80년대에는 345kV, 2000년대에는 765kV 및 98년 제주계통과 육지계통의 연계로 HVDC로 운전한 것들이 그 예이다.

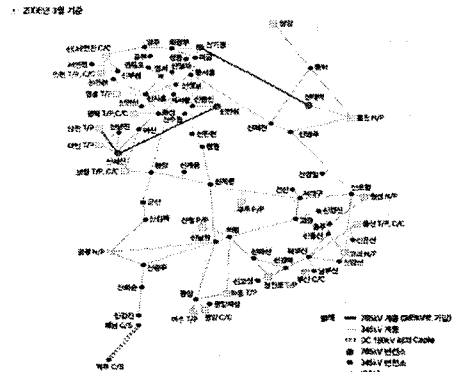


그림 3 한전계통도

PRA를 운용하기에 앞서 POM과 PSS/E의 각 데이터들의 전반적인 구성도는 아래 그림과 같다.

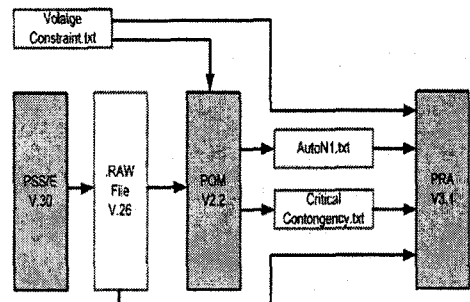


그림 4 전반적인 PRA의 구성도

3.1 한전계통의 분석 결과

PRA에서는 다섯 가지의 분석이 가능하며 각각의 결과들을 그래픽컬하게 보여줌으로써 사용자가 좀 더 이해하기 쉽고 빠르게 결과를 나타낸다. 아래의 그림들은 2006년도 한전계통을 모의 실험하여 얻은 결과들이다.

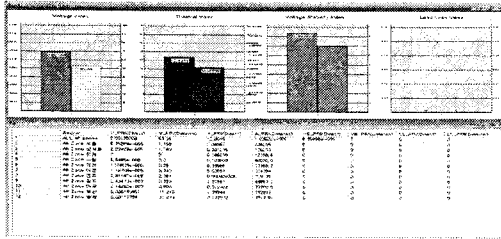


그림 5 한전계통의 전반적인 분석

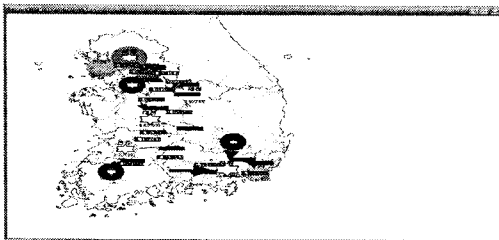


그림 6 한전계통의 상호작용 분석

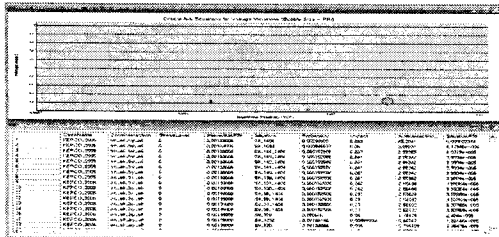


그림 7 한전계통의 상태 분석

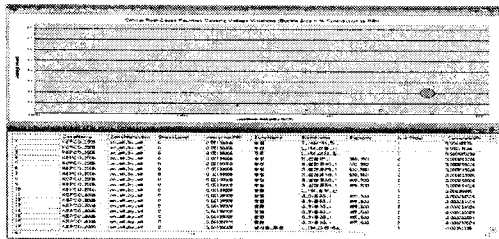


그림 8 한전계통의 근본원인 분석

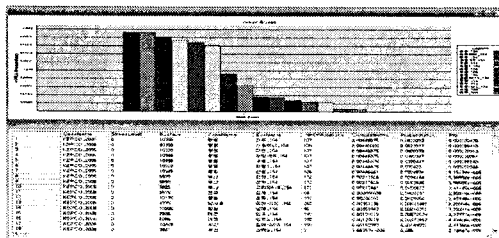


그림 9 한전계통의 취약지점 분석

4. 결 론

본 연구에서는 새롭게 도입된 POM(Physical and Operational Margins)과 PRA(Probabilistic Reliability Assessment)를 이용하여 한전계통의 신뢰도 평가를 실시하여 보았으며 기존의 신뢰도 지수들과는 다른 PRI(Probabilistic Reliability Index)를 계산해 보았다. 또한 계통의 상태가 양호 또는 위험한지에 대해 분석하기 위해 전압, 과부하, 전압안정도 이 세 가지의 제약조건으로 모의실험 하였다.

결론적으로 POM과 PRA를 통하여 KEPCO 계통에 대한 신뢰도 분석이 가능하다는 것을 확인하였으며 본 연구에서는 POM의 세부 기능 중 OPM/BOR(Optimal Mitigation Measures/Boundary of Operating Region)의 기능을 사용하지 않았다. 만약 이 두 모듈을 효과적으로 사용하면 보다 정확하고 신뢰성 있는 결과를 도출하여 계통분석 또는 해석에 많은 도움을 줄 것이라 판단되며 차후 각 프로그램들의 상세한 분석과 기능들 그리고 고장률에 관한 부분들이 해소된다면 한국형 신뢰도 모델을 구축하고 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

5. Acknowledgement

본 연구는 산업자원부의 지원하에 서울대 전력신뢰도 및 품질연구센터, 한전전력연구원 및 전력거래소와의 협력 아래 이루어졌으며 관련된 분들께 깊이 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] GYUGYI, L. 1992. Unified power-flow control concept for flexible AC transmission system, IEE Proc, C. vol. 139, no. 4, pp. 323-331
- [2] 최재석, 권중지, 트란트룽틴, 전동훈, 박윤석, 최홍석, 윤용태 차준민, "A Comparison of Reliability Evaluation Tools for Power System Operation", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp 198-200, 2005 KIEE
- [3] 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.
- [4] Assessment Methods and Operating Tools for Grid Reliability, EPRI, 1001408, An Executive Report on the Transmission Program of EPRI's Power Delivery Initiative, April 2001.
- [5] EPRI Report - "Application of Probabilistic Reliability Assessment to a Part of the AEP System", Reliability Initiative Publications, September 29, 2000.
- [6] EPRI Report - "Preliminary Application of Probabilistic Reliability Assessment to the U.S. Eastern Interconnection and ERCOT", Reliability Initiative Publications, January 2002.
- [7] Roy Billinton, March 1972. Bibliography on the application methods in power system reliability evaluation (before 1970). IEEE Transactions Power Apparatus System, Vol.91: 649-660
- [8] IEEE subcommittee on the application of probability methods power system engineering committee, Dec. 1978. Bibliography on the application of probability methods in power system reliability evaluation (1971-1977). IEEE Transactions Power Apparatus System, Vol.PAS-97: 2235-2242
- [9] R.N.Allan, R. Billinton, S.M.Shahidehpour, C. Singh, Nov. 1988. Bibliography on the application of probability methods in power system reliability evaluation (1982-1987). IEEE Transactions, Vol.3: 1555-1564