

확률기반 신뢰도 평가시스템 설계 및 개발

김태현, 오태규, 이상호, 민상원, 이정호
한국전기연구원

Design and Development of Probabilistic Reliability Assessment Tool

T. Kim, T.K. Oh, S.H. Lee, S.W.Min, J.H. Lee
KERI

Abstract - 본 논문에서는 전력계통의 신뢰도를 확률적인 관점에서 접근하고 평가 할 수 있는 신뢰도평가 시스템의 기본 개념과 설계를 소개한다. 확률기반 신뢰도 평가시스템은 Enumeration 기반, Cumulant 기반, Monte-Carlo 시뮬레이션 기반의 세 가지 기법을 사용하여 신뢰도를 평가하도록 설계하였다.

표현하면 아래와 같다.

$$\mu = \frac{1}{D}$$

$$\lambda = \frac{F}{1 - F \cdot D}$$

$$m = \frac{1 - F \cdot D}{F}$$

1. 서 론

기존의 전력계통에서의 신뢰도평가는 결정론적인 관점에서 평가 되어 왔다. 대부분의 결정론적 접근법은 시스템의 가장 심각한 상황을 고려하여 이 경우의 시스템의 신뢰도를 평가하였다. 그러나 이는 계통에서 가장 심각한 상황이 무엇인지 선정하는 것의 당위성 및 이로 인하여 계통에 인가되는 적은 발생가능성에 근거한 보수적인 제약 조건을 생성하는 단점이 있다. 이는 계통에 필요 이상의 과부하를 야기 할 수 있다. 더하여, 현재 진행되고 있는 전력산업 개편 관점에서 결정론적인 방법은 경제적인 면을 고려에 있어서 여러 가지 단점을 포함하고 있다. 그럼에도 불구하고 결정론적인 접근법은 구현 및 실 적용 시의 편의성 그리고 이해하기 쉬운 접근법 등의 장점을 가지고 있다.

확률적인 접근법은 이상 상황의 확률, 발생빈도, 지속시간, 등의 계통의 신뢰도를 계량적으로 평가 할 수 있는 여러 가지 지수 산정이 가능하며 이에 근거한 경제적인 계통계획의 기반을 마련하여 주고 있다. 이런 장점에도 불구하고 확률적 신뢰도 평가는 계통 구성 기기의 고장 확률 데이터 확보의 미흡, 결정론적에 비하여 복잡한 평가 방법 등에 근거하여 널리 이용되고 있지는 않다. 그러나 최근 추세에 의하면 확률론적 신뢰도 평가는 점차 적용이 증가하고 있는 추세이며 한국 계통에도 적용하기 위한 여러 연구들이 진행되고 있다.

본 논문에서는 확률론적 신뢰도 평가시스템의 기본 개념과 이에 따라서 설계 및 제작 중인 확률기반 신뢰도 평가시스템을 소개하고자 한다. 본 논문은 확률신뢰도 평가를 위하여 채택한 세가지 기법을 소개하고 이에 따라 설계된 확률기반 신뢰도 평가 시스템을 소개한다.

이런 확률 입력을 가지고 계통의 신뢰도를 평가하는 절차를 아래 그림 2는 보여주고 있다. Enumeration 기법 신뢰도평가는 기존의 결정론적인 방법과 그 유사성을 보이고 있다. 먼저 고려하는 계통의 Base Case를 선택하고 이 상태에서 고려하는 상정고장, 고려하는 제약 조건, 관심 지역, 고려하는 상정 고장의 정도 등을 (예, N-1, N-2 등) 선정한다. 이에 따라 각 고장에 의한 계통 구성에 대하여 조류 계산을 통하여 계통 상태를 평가하고 문제점이 발생하는 경우에 이를 결과 분리한다. 이를 기존에 입력된 고장통계를 이용하여 문제점의 발생 확률/빈도, 지속 시간 등을 산출하여 신뢰도평가 지수로 제시하는 절차를 밟는다. 이 기법은 앞에서 언급한 바와 같이 기존의 결정론적 신뢰도평가와 평가 절차가 대부분 동일하나 상정고장의 통계를 이용하여 신뢰도 지수를 산출하는 것이 가장 큰 차이점이다. 기존의 결정론적 신뢰도 평가 역시 내재적으로는 확률론에 근거하여 평가한다고 볼 수 있다. 이는 결정론적 평가가 주로 상정고장의 정도에 제한을 두어 (예, N-1 만 고려 등) 신뢰도를 평가하고 있는데 이는 N-1이 가장 일어날 확률이 높다는 가정 하에서 이루어진다고 할 수 있다. 그러므로 고장통계를 이용한 신뢰도 평가는 결정론적 신뢰도 평가에 비하여 정량화된 계산 결과를 보여준다고 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 Enumeration 기법

Enumeration 기법은 이산 상태의 확률에 근거하여 신뢰도를 평가하는 방법이다. 이 기법은 송전 및 발전의 고정 확률을 이용하여 이런 상태가 야기하는 계통의 문제점을 평가하고 이를 확률을 이용하여 계량화 하는 기법이다. 이 기법은 크게 Markov chain 기법과 Frequency/Duration 기법에 근거한 것으로 나누어진다. 각 기법의 자세한 사항은 참고문헌 [1]에서 발견 할 수 있다. 후자의 경우는 그림 1과 같이 Binary State Model을 고려하고 이에 근거하여 계통 구성 기기의 확률 기반을 Frequency 및 Duration의 두 가지 값으로 표현 가능하다.

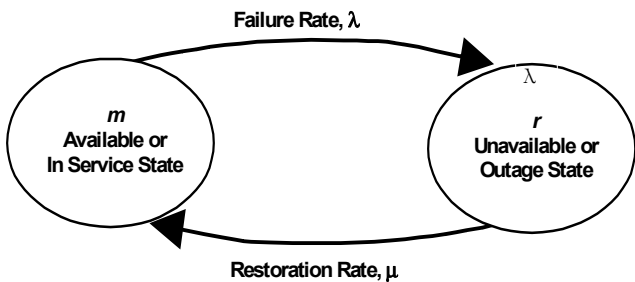


그림 1. Binary State Model

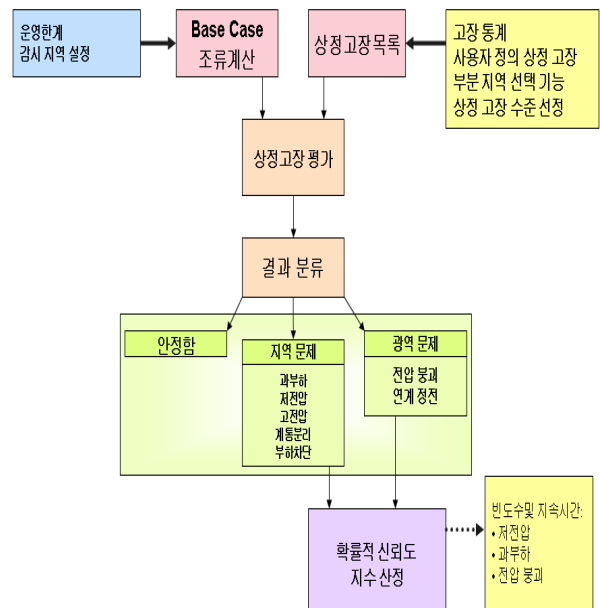


그림 2. Enumeration 기반 신뢰도 평가 순서도

Frequency(F) 및 Duration(D)을 이용하여 관심 대상인 확률을 수식으로

2.2 Cumulant 기반

Cumulant 기반 신뢰도 평가시스템은 확률 조류계산의(Probabilistic Load Flow)를 계산하는 방법 중에 하나인 Cumulant 기반 접근법을 이용하여 신뢰도를 산출 방법이다.

먼저 Cumulant에 대하여 간단히 살펴보자. 확률 변수의 평균 값은 이산 합구 및 연속함수 경우 아래와 같이 정의된다.

$$m_r = \sum_i p_i x^{r_i}$$

$$m_r = E(\zeta^r) = \int_{-\infty}^{\infty} x^r dF(x)$$

확률변수의 characteristic function은 아래 식과 같이 정의되며

$$\psi = \int_{-\infty}^{\infty} e^{x\zeta} dF(x)$$

이 함수를 작은 값의 t에 대한 MacLauren 시리즈를 구하면 아래와 같으며 계수 k_i 를 Cumulant라 한다.

$$\ln(\psi) = \sum_{r=1}^s \frac{k_r}{r!} (t^r) + o(t^s)$$

Cumulant와 평균은 다음과 같은 관계식을 가지고 있다.

$$k_1 = m_1$$

$$k_{r+1} = m_{r+1} - \sum_{j=1}^r C_r^j m_j k_{r-j+1}$$

이런 관계식을 이용하여 Gram-Charlier Expansion을 적용하면 CDF(cumulative distribution)과 PDF(probabilistic density function)은 Cumulant 계수와 평균 값이 0이고 분산이 1인 정규분포 함수의 CDF(Φ)와 PDF(ϕ)를 이용하여 아래 같이 표현된다.

$$F(x) = \Phi(x) + \frac{c_1}{1!} \phi'(x) + \frac{c_2}{2!} \phi''(x) + \dots$$

$$f(x) = \phi(x) + \frac{c_1}{1!} \phi'(x) + \frac{c_2}{2!} \phi''(x) + \dots$$

아래 그림 3은 DC Load Flow를 이용하여 각 선로에 흐르는 조류의 CDF 혹은 PDF를 산출하는 절차를 보여주고 있다.

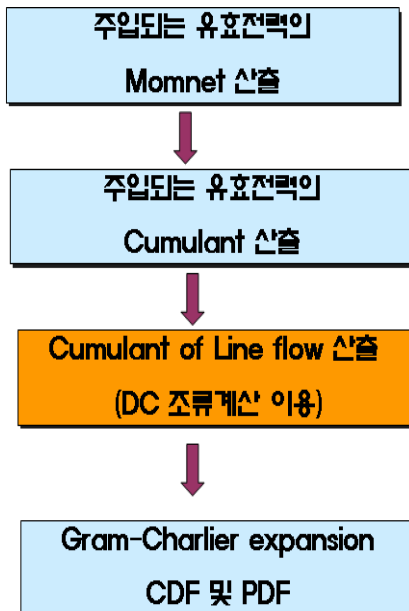


그림 3. Cumulant 기반 PLF 계산 절차도

위 그림에 알 수 있는 바와 같이 각 노드에 주입되는 유효전력의 moment를 먼저 산출한 다음 이의 cumulant를 구하고 이를 계통의 구성에 따라 직류 조류 계산을 이용하여 송전선 조류량의 cumulant 산출이 가능하다. 마지막으로 이를 이용하여 송전선 조류량의 CDF 혹은 PDF를 구하며 이 확률 분포를 이용하여 송전선의 과부하가 걸리는 (주어진

는 제약조건에 따라 다음) 확률을 산출 할 수 있으며 이를 통한 신뢰도 평가가 이루어지게 된다.

2.3 Monte-Carlo 기반

Monte-Carlo 시뮬레이션에 기반을 두는 신뢰도 평가는 주어진 부하 확률 분포에 근거하여 적절한 sampling 기법을(proper sampling) 통하여 부하 상태를 만들어 내고 역시 주어진 확률분포에 따라 발전기 가용용량을 (available capacity) 산출한다. 이 후에 각 전력회사의 급전 방식에 (일반적인 경우 경제 급전) 따라 발전기를 급전하게 되며 이후 조류계산을 통하여 각 선로에 흐르는 조류량을 계산하게 된다. 이런 절차를 반복하여 송전선 조류량의 확률 분포를 얻을 수 있다. Monte-Carlo 기법은 많은 시간을 요구하며 발생 빈도가 낮은 상정고장 시뮬레이션이 부족하다는 단점이 있으나 AC 조류계산을 통한 정확한 전력계통 반영 등의 장점을 지니고 있으며 Cumulant를 이용하여 산출된 확률 분포의 검증에도 사용 되고 있다. 앞서 말한 수행 시간 단점을 극복하기 위하여 선형화를 통한 근사법 등이 제시되고 있다. 아래 그림은 위에 언급한 절차를 그림으로 표현한 것이다.

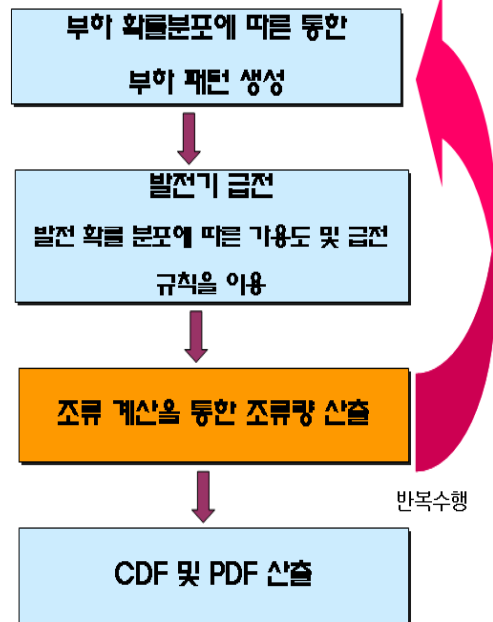


그림 4. Monte-Carlo 시뮬레이션 기반 확률 조류계산

2.4 확률기반 신뢰도 평가시스템 설계안

앞 절에서 언급한 바와 같은 세 가지 주요 기법에 근거하여 그림 5와 같이 확률 기반 신뢰도 평가 시스템을 설계 하였다. 이 세 가지 기법에 근거한 신뢰도평가시스템 개발을 위한 가장 핵심적인 사항은 계통의 특성 및 운영 환경 반영이 가능한 안정된 조류계산(AC/DC)의 확보, 산출한 지수에 근거한 다양한 분석, 사용자 편의를 반영한 시스템 개발 등을 들 수 있다. 개발 하고자 하는 확률기반 신뢰도 평가시스템은 이를 적극 시스템 설계에 주요 요소로 반영하였다.



그림 5. 확률기반 신뢰도 평가시스템

3. 결 론

본 논문에서는 현재 개발 중인 확률기반 신뢰도 평가 시스템에 대하여 소개하였다. 개발 중인 시스템은 세 가지의(enumeration, Cumulant, Monte-Carlo) 확률 신뢰도 평가기법을 제공하도록 설계하였으며 향후 MMI를 구축하여 사용자 편의를 도모하는 시스템을 개발하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Billiton and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", 2nd Edition, Plenum Press, 1996
- [2] P. Zhang and S. T. Lee, "Probabilistic load flow computation using the method of combined cumulants and Gram-Charlier Expansion", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19, 2003, pp 676-682
- [3] Z. Hu and X. Wang, "A Probabilistic load flow method considering branch outages", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 21, 2006, pp 507-514
- [4] A. M. Silva, S. M. P. Riberio, V. L. Arieni, R. N. Allan, and M. B. Do Coutto Filho, "Probabilistic load flow technique applied to power system expansion planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, 1990, pp 1047-1053