

확률 기반의 신뢰도평가 기법 개발: Monte-Carlo 접근법

김태현, 정구형, 오태규  
한국전기연구원

Monte-Carlo Approach to Develop Probabilistic Reliability Assessment Program

Taihyun Kim, Koo-Hyung Chung, Tae-Kyoo Oh  
KERI

**Abstract** - 본 논문에서는 전력계통의 신뢰도를 평가하는 새로운 패러다임인 확률론에 근거한 신뢰도 평가에 대하여 살펴보았다. 확률론 신뢰도 평가 기법의 적용을 통하여 기존 결정론 접근법에서 다루지 못하였던 전력계통에서 발생하는 여러 가지 불확실성을 고려한 신뢰도 평가가 가능 하였으며 확률 신뢰도 평가 기법 중 시뮬레이션 기반 Monte-Carlo 기법을 적용하여 발전 및 부하의 불확실성까지 고려한 통합적인 신뢰도 평가 틀을 개발하였다. 더하여 개발된 신뢰도 평가 틀을 시험 계통에 적용하여 검증을 수행하였다.

1. 서 론

현재까지의 전력계통의 송전망 신뢰도 평가는 결정론 기법에 근거한 신뢰도 평가가 주를 이루고 있다. 결정론 기법의 신뢰도 평가는 먼저 임의의 베이스 케이스를 선정하고(가상의 발전 및 부하패턴을 가지는 스넵 샷 형태의 계통 상태) 이 상태에서 송전망을 구성하는 계통 기기 요소의 고장을(상정고장) 고려하여 상정 고장 후 계통의 강건성을 검증하는 방법으로 진행 된다. 이런 결정론 신뢰도 평가의 단점으로는 베이스케이스로 선정되는 상태가 최대 부하 시점인 경우가 많아서 신뢰도 평가에 있어서 보수적인 결과를 제시하며 계통의 신뢰도가 안정 혹은 불안정이라는 이분법적인 평가로 제시되어 계통 신뢰도에 대한 정량적인 지수를 제시하지 못한다는 점을 들 수 있다. 더하여 제한적인 베이스케이스 선정, 전력계통에서 발생하는 여러 가지 문제점 등 다양한 불확실성을 고려하지 못하는 단점이 있다.[1]

전력계통은 전력시장의 도입, 수요 패턴의 다양화, 부하의 다양화 등 여러 가지 불확실성이 나날이 증가하고 있다. 이런 문제점을 다루기 위하여 신뢰도 평가 기법에서는 확률론을 적용한 신뢰도 평가가 제안 되었으며 확률론 기반 신뢰도 평가는 결정론과 달리 계통 신뢰도에 대한 정량적인 지수를 제시하며 계통을 구성하는 요소의 여러 가지 불확실성을(발전, 부하, 송전망 등) 고려 할 수 있도록 하여 준다. 확률론 기반 신뢰도 평가는 많은 연구자에 의하여 연구가 진행되어 왔으며 이런 연구의 결과로 연구 단계에서 벗어나 산업계로 적용 단계에[2] 들어서고 있다.

현재 우리나라에서도 이런 연구 흐름에 동참하여 다양한 확률기반 신뢰도 연구가 진행되고 있으며[3] 이에 따른 국산 신뢰도 평가 틀 개발이 요구 되고 있는 시점이다.

본 논문에서는 한국전기연구원에서 개발하고 있는 신뢰도 평가 틀 중 확률기반 신뢰도 평가 틀에 대하여 살펴보려고 한다. 본 논문은 신뢰도 평가의 개론 및 현황을 살펴본 서론과 확률기반 신뢰도 평가에 대한 간략한 소개, 개발된 Monte-Carlo 기법 기반의 확률신뢰도 평가에 대한 소개 및 이를 시험 계통에 적용한 결과를 기술한 본문 그리고 결론으로 구성되어 있다.

2. 본 론

2.1 확률론 기반 신뢰도 평가

결정론 신뢰도에서는 서론에 간략히 기술한 바와 같이 정해진 베이스케이스에서 상정고장을 고려하여 전력계통의 신뢰도를 평가하며 동시에 고려하는 상정고장의 수에 따라 N-1, N-2, 혹은 N-k로 구분한다. 일반적인 경우 N-1 혹은 N-2 정도의 상정고장으로 신뢰도를 평가하고 있다. 이는 동시에 고장이 발생 할 확률이 N-2 이상인 경우에는 매우 낮다는 이유에 근거하고 있다. 이를 통하여 결정론 신뢰도평가의 근간에 확률의 개념이 도입되어 있는 것을 알 수 있으며 이는 확률 기반 신뢰도평가의 필요성을 보여준다.

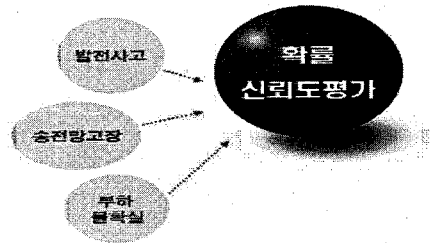


그림2-1. 확률 신뢰도 평가 불확실성

전력계통의 신뢰도평가에서 확률 기법을 이용하여 고려하여야 하는 불확실성은 부하 불확실성, 송전망 고장, 발전기 고장의 세 가지로 크게 나누어진다. (그림 2-1) 각각의 불확실성을 살펴보면 송전망 고장과 발전기 사고의 경우는 이산 확률로 표기가능하며 (즉, 고장 혹은 비고장) 부하확률은 연속 분포를 가지는 확률로 표현이 가능하다. (예로, 정규분포) 부하 분포를 표현하는 또다른 방법으로 계통의 부하지속곡선율(Load Duration Curve) 이용 할 수 있다.

이런 확률 정보를 가지고 계통의 신뢰도를 평가는 방법은 크게 아래의 3가지로 구분이 가능하다.

- Enumeration 접근법
- Cumulants 접근법
- Monte-Carlo 접근법

먼저, Enumeration의 경우는 주로 송전망 고장만을 고려하며 기존 결정론 신뢰도 평가의 결과에 확률 정보를 이용하여 신뢰도를 산출하는 기법이다. 신뢰도 지수는 전압, 열용량, 전압붕괴 등의 산출 등을 아래 수식을 이용하는 산출한다.

$$\sum_{i=\text{상정고장}} \text{고장확률} \cdot \text{기준위반값} \quad (1)$$

Cumulant 기법의 경우는 해석적인 기법을 이용하여 주어진 확률의 cumulant를 계통의 조류 방정식에 대입하여 각 선로 조류의 cumulant를 산출하고 이를 이용하여 선로의 조류 확률분포를(Probabilistic load flow) 구하는 기법이다. 이 기법은 이산 분포인 상정고장 적용의 어려움, 계통의 비선형성에 따른 제약 등의 문제점을 가지고 있으나 이후에 소개 할 Monte-Carlo 시뮬레이션 기법에 비하여 계산 수행의 부담이 매우 적다. 이 기법에 기반 하여 PLF를 구하는 방법은 여러 가지가 있으며 자세한 사항은 [4]에서 언급된 참고문헌을 참조하기 바란다.

마지막의 Monte-Carlo의 경우는 계통을 상태 변수와 선로 조류의 확률 분포를 얻기 위하여 먼저 입력 변수의 확률 분포에서 입력변수를 샘플링하고 이를 결정론과 같은 조류해석을 통하여 출력을 산출하며 이런 시뮬레이션의 반복을 통하여 최종적으로 원하는 확률 분포를 얻는 기법이다. 많은 계산량을 요구하는 단점이 있으나 실제에 근접한 계통 모의를 통하여 확률 분포를 얻는다는 점에서 Cumulant 기법에 비하여 정확성의 우위에 있으며 Enumeration 기법의 제한적인 확률 접근에 비하여 모든 계통의 불확실성을 고려 할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

### 2.2 Monte-Carlo 기법의 신뢰도 평가

본 절에서는 개발된 신뢰도 평가 틀에서 채택한 Monte-Carlo 기법에 대하여 자세히 기술하고자 한다. 앞 절에서 살펴 본 바와 같이 전력계통을 구성하는 요소 중 불확실성을 가장 정확히 반영 할 수 있는 장점을 지닌 Monte-Carlo 기법의 확률 신뢰도 평가를 아래 그림 2-2 순서도에 따라 구현하였다.

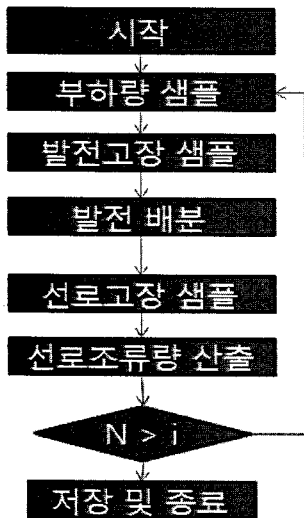


그림 2-2. MC 시뮬레이션 순서도

위 그림에서 알 수 있듯이 먼저 부하량의 샘플이 이루어진다. 이후에 발전 고장 샘플에 따라 가능한 발전기 목록을 산출 하며 부하량에 따른 발전기 급전이 이루어진다. 이후 선로 고장 샘플에 따라 계통망을 구성하게 되며 조류계산을 통하여 각 선로에 흐르는 조류 량을 산출하게되며 최종적으로 정해진 시뮬레이션 횟수를 만족하면 이를 저장하고 신뢰도평가가 루틴을 종료하게 된다.

개발된 신뢰도 틀에 적용된 옵션을 자세히 살펴보면 먼저 부하의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 전체 계통 부하지속곡선(Load Duration Curve) 이용하는 방법과 각 부하 모션별 확률에 근거하여 부하량을 샘플하는 두 가지 기능을 제공하고 있다. 처음의 LDC를 이용

하는 경우에는 LDC에서 샘플되는 계통 총 부하를 각 부하 모션 별로 베이스케이스에서의 비율에 따라 분배한다. (즉, 샘플부하량\*베이스케이스모션부하/베이스케이스총부하) 고려하는 상정 고장에 있어서는 아래 세 가지 option을 제공하고 있다.

- 상정고장 고려안함.
- 송전선 고장 고려
- 송전선 및 발전선 상정고장 고려

첫 번째 옵션은 계통 계획에 있어서 송전망의 여유를 검증에 유용하며 두 번째 옵션은 일반적인 확률 신뢰도 평가 접근법이라고 할 수 있으며 마지막 옵션은 계통의 모든 불확실성을 고려하게 하여 준다.

다음으로 발전 배분의 경우에는 두 가지 옵션을 제공한다.

- 베이스케이스 내의 발전 비율 적용
- 경제급전

첫 번째는 앞의 부하 분배와 동일한 절차를 거치며 이 경우에 발전기 최대 값 제약을 고려하도록 하였다. 경제급전의 경우에는 한계발전비용곡선을 이용한  $\lambda$  iteration을 이용하여 구현되었다. 한계발전비용곡선은 보통 이차함수로 표현되는 발전기 비용곡선을 임의의 구간으로 나누어 각 구간의 처음과 마지막에서 이차 함수를 미분한 값을 받아들이도록 구현되었다.

아래 그림 2-3은 개발된 신뢰도평가 틀의 사용자 입력 창을 보여주고 있다.

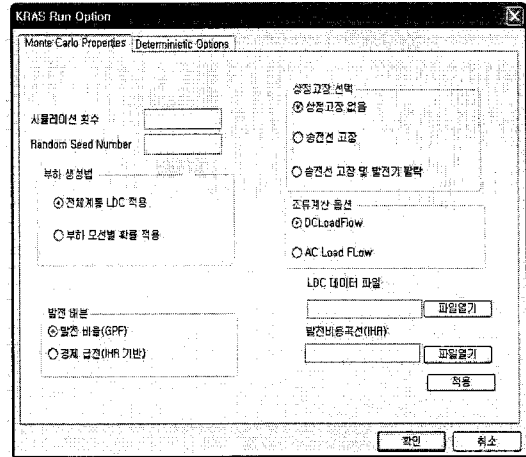


그림 2-3. Monte-Carlo Option 입력 창

### 2.3 예제

본 절에서는 개발된 확률신뢰도 평가 틀을 시험 계통에 적용하여 간단한 Monte-Carlo 시뮬레이션 수행 결과를 보여 주고자 한다.

먼저 고려한 계통은 한국계통 데이터이며 아래의 옵션을 적용하여 수행 하였다.

- LDC 부하 곡선 이용
- 발전비율에 따른 급전
- DC 조류계산
- 상정 고장 없음

아래 그림 2-4 특정 선로에 흐르는 조류량의 분포도를 보여 주고 있다.

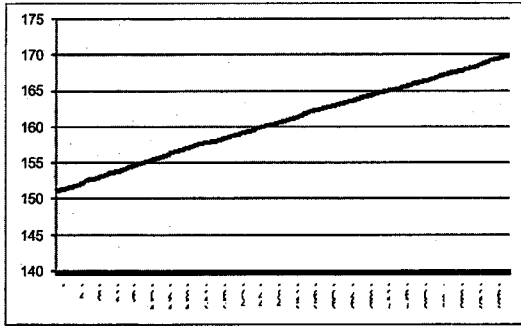


그림 2-4 선로 조류 분포도

### 3. 결 론

본 논문에서는 전력계통의 신뢰도를 평가하는 확률론에 근거한 신뢰도 평가에 대하여 개략적으로 살펴보았으며 Monte-Carlo 기법을 적용하여 개발한 확률론 신뢰도 평가 틀을 소개하였다. 전력계통의 불확실성이 나날이 증가하는 시점에서 확률을 고려한 신뢰도 평가의 필요성은 증가하고 있으며 본 논문에서 소개한 신뢰도 평가 기법과 틀은 이런 상황을 다룰 수 있는 기능을 제공하고 있음을 보여 주었다. 향후 전력시장이 도입되는 경우에는 시장에서의 신뢰도를 고려 할 수 있는 요구되며 이를 위한 기초 연구가 필요하다.[5]

#### [참 고 문 헌]

- [1] Roy Billington, Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1994.
- [2] "Probabilistic Transmission Planning", Report, Parsons Brinkerhoff Associates, 2004.
- [3] "전력 신뢰도 기술 동향", 기획시리즈, 전기의 세계, 2007년 4월, 19-55 pp.
- [4] 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, 2004, pp. 676-682
- [5] M. O. Buygi, G. Balzer, H. M. Shanechi, M. Shahidehpour, "Market Based Transmission Expansion Planning", IEEE Trans. on Power Systems, 2004, pp. 2060-2067.