

# 총체적인 확률론적 신뢰도 평가 방법에 관한 전망

■ 박 종 근 / 서울대학교 전기공학부 교수  
■ 장 광 수 / 서울대학교 공학연구소 Post Doc.

## 1. 확률론적 신뢰도 평가의 필요성

전력계통이 점차 대규모화되고 복잡해지고 경쟁체제가 전력산업에 도입됨에 따라 점차 계통의 불확실성 요소가 증가하고 있다. 이와 같은 불확실성을 전력계통의 신뢰도 평가에 보다 효과적으로 반영하기 위해서는 결정론적인 방법보다 확률론적인 방법이 유리하며, 외국에서는 그에 대한 연구도 현재 대단히 진척된 상태에 있다.

주지하다시피, 전통적인 신뢰도 평가에 있어서는 결정론적인 방법론이 사용되어 온 것이 사실이다. 결정론적 방법론을 사용하는 주된 이유는, '최선의 계통 신뢰도를 위해 최악의 상정사고를 고려하겠다.' 는 의도가 담겨 있다.

그러나 이와 같은 결정론적인 방법론은 전력산업 자유화 추세에 따른 다음과 같은 단점을 안고 있다.

- 최악의 상정사고를 고려한 계통 계획은 자유경쟁체제 하에서는 과투자자의 위협이 있다. 달리 말해 계통의 unreliability에 대한 과대 평가의 소지를 다분히 안고 있다고 말할 수 있다.
- 결정론적인 방법론에서 사용되는 '최악의 상정사고 고려' 는 발전기 최근단(最近端)에서의 선로 사고, 최대 용량 발전기의 사고 등 극히 제한된 경우의 상정사고만을 고려한다. 이것은 불확실성을 다양한 측면으로 고려할 수 있는 확률론 방법론

에 비해 고려될 수 있는 상정사고의 수가 극히 제한되어 있다고 말할 수 있다. 즉, '경직된 방법론' 이다.

이러한 확률론적인 신뢰도 평가에 대한 연구는 주로 캐나다 Saskatchewan 대학의 Billinton교수에 의해서 그 방법론이 부각되면서 지금까지도 확률론적인 신뢰도 평가에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다 [1-4]. 또한 그 영역도 적정성(Adequacy)에 대한 평가뿐만이 아니라, 안전도(Security)의 다양한 항목 평가 즉, 송전선 용량, 전압 제약 조건, 발전기의 무효전력 한계치, 전압안정도는 물론 동적인 영역인 과도 안정도까지 아우르고 있다.

## 2. 확률론과 결정론의 절충론

결정론적인 신뢰도 평가방법이 주류를 이루는 현장에서는 아직도 1절에서 기술한 확률론적인 신뢰도 평가방법에 대한 회의(懷疑)가 짙은 것이 사실이다. 즉, 확률론에 대한 회의론자들의 주된 반론의 한 예는 '확률론적인 평가방법에서 최악의 상정사고에 확률을 부여한다는 것은, 실제로는 최악의 상정사고가 고려되지 않을 수 있다는 의미이고, 그렇게 되면 실제로 그것이 일어났을 경우에 대한 대책이 어떻게 되는가' 로 대략적으로 요약될 수 있겠다.

즉, 전술(前述)하였듯이 확률론적인 신뢰도 평가방법

이 계통의 unreliability에 대한 과대 평가를 방지하지만, 결정론의 기준을 피함으로써, 오히려 계통의 unreliability를 과소평가할 수도 있지 않겠느냐는 것이다.

아래 그림 1에서 보여지는 R. Billinton이 제시한 well-being index는 이러한 반론에 대한 가장 적절한 대답이라 보여진다 [5-8].

즉, Well-being index란 계통에 확률론적인 신뢰도 평가 방법을 적용하되, 모든 상정사고에 최대 용량 발전기의 outage라는 결정론적인 신뢰도 criterion을 항상 default로 고려하는 것이다. 즉 확률론에서 고려되는 상정사고의 경우, 계통이 만족스러운 performance를 보인다 할지라도, 덧붙여 고려되는 결정론적인 기준(그림에서는 최대 용량 발전기의 outage)을 충족시켜야 Healthy state로 인정이 되고 그렇지 않으면 Marginal state에 머무르게 된다. 이러한 well-being index는 신뢰도 평가 방법에서 확률론과 결정론을 절충한 방법론이며, 확률론적인 방법이 현장에서 좀 더 설득력을 가지기 위한 방안이 되리라

본다.

### 3. 신뢰도 평가 항목으로서의 안정도

안정도와 신뢰도는 마치 별개의 영역인 듯 간주되는 경향이 있다. 그러나 전술하였다시피, 어떤 고정된 영역이 있는 것이 아니고 어떤 항목이든 적절한 방법론만 마련된다면 안정도도 신뢰도의 평가항목 중 하나가 될 수 있으며, 이미 그에 대한 다양한 연구가 진척된 상태이다.

신뢰도의 평가항목에 포함되는 안정도를 필자는 신뢰도 평가에서의 모의 방법에 따라 다음과 같이 크게 2가지로 나누고자 한다.

- 시간 영역에서의 모의가 필요한 안정도: 과도 안정도
- 시간 영역에서의 모의가 필요하지 않은 안정도: 전압 안정도, 소신호 안정도

즉, 후자는 조류계산으로 대표되는 '하나의 운전점'에서 평가될 수 있으며, 전자는 그렇지 않은 경우라고 하겠다. 이중 전압안정도는 [8]에서 이미 사용되었으며, 굳이 전압안정도 지수를 사용하지 않더라도 조류계산의 수렴여부로서 이를 대체할 수 있다고 본다.

이중 특히, 신뢰도 지수로서의 과도 안정도와 소신호 안정도는 다음과 같이 확률론적 과도 안정도 평가와 확률론적인 소신호 안정도 평가 연구로 크게 대변될 수 있겠다.

- 확률론적 과도 안정도 평가: 에너지 함수를 이용한 방법, Circuit Breaker의 Clearing time에 대한 확률분포 가정[8]
- 확률론적 소신호 안정도 평가: 확률 조류계산을 이용한 해석적 방법[9], Monte Carlo simulation을 이용한 실험적 방법[10]

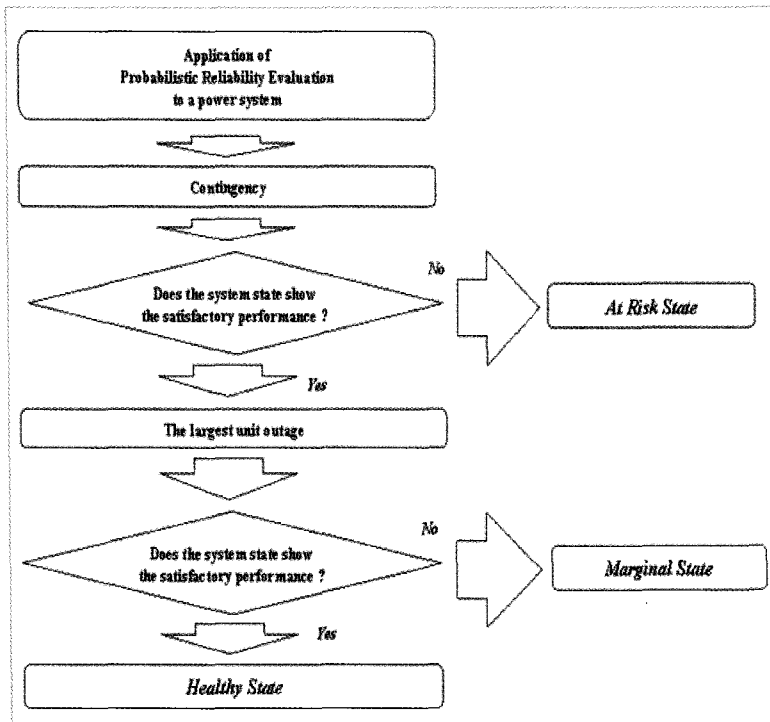


그림 1 Well-Being Index

위의 2가지 항목들이 신뢰도 평가에 포함될 경우, 이는 동적인 안전도 조건이며, 전압안정도는 정적인 안전도 조건에 포함시켜야 할 것이다.

결국 적정성과 정적인 안전도 조건들, 그리고 본 절에서 논의한 동적인 안전도 조건 항목들을 고려한 총체적인 신뢰도 평가의 필요성이 대두되게 된다.

#### 4. 총체적인 신뢰도 평가의 전망

이미 외국에서는 확률론적 신뢰도 평가 방법에 대한 다양한 방법론이 제시되었음은 물론 PRA, TRELSS 등 신뢰도 평가 소프트웨어도 상당한 수준에 올라 있다.

또한 발전과 송전이 합쳐져서 신뢰도가 평가되고, 안정도를 신뢰도 평가 항목에 포함시키는 등 신뢰도 평가기술은 많은 연구분야들이 점점 convergence하는 방향으로 가고 있다.

이러한 상황에서 결국 적정성과 정적·동적인 안전도 조건들을 고려한 총체적인 신뢰도 평가의 필요성이 대두되게 된다.

필자는 이러한 필요성에 부응하여 적정성 및 정적인 안전도 즉, 송전선 용량, 전압 제약 조건, 발전기의 유효무효전력 한계치, 전압안정도, 그리고 마지막으로 소신호 안정도까지 고려한 총체적인 확률론적 신뢰도 평가 방안을 박사논문으로 제출한 바 있다[10].

앞으로 여기에 과도 안정도 평가 항목까지 추가하는 알고리즘을 개발하는 것이 아직 과제로 남아 있으며, 만약 이것이 완성된다면 계통의 전반을 아우르는 총체적인 신뢰도 평가 지수의 개발로 이어질 것이다.

그러나 이러한 신뢰도 지수에 관한 연구가 자유 경쟁 시장에서 충분한 경제적인 의미를 가질 수 있으려면 신뢰도 가치 지수 평가가 이루어져야 하며, 이를 위해서 거쳐야 할 수학적 테크닉들이 있는데, 고유치를 고려한 최적 조류계산(OPF)의 해법, 과도안정도를 고려한 OPF의 해법 등이 그것이다.

즉, 소신호 안정도, 과도 안정도 항목 등이 포함된 신뢰도 가치 지수 평가에는 load curtailment계산이 필요하게 되며 load curtailment계산을 위해 OPF를 풀게 된다. 바로 OPF에 각각 고유치 제약 조건, 에너지 합수

제약 조건 등이 포함되게 된다는 것이며, 여기에 대해 먼저 충분한 연구가 이루어져야 할 것으로 본다.

#### 감사의 글

본 기획시리즈는 산업자원부 지정 '전력신뢰도/품질 연구센터'에서의 개정적인 지원을 받아 진행되었습니다. 본 센터에는 경상대, 서울대, 숭실대, 전북대, 한양대의 교수들과 대학원생들이 연구원으로 참여하고 있습니다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Billinton, A. Sankarakrishnan, "A comparison of Monte Carlo simulation techniques for composite power system reliability assessment", IEEE WESCANEX 95. Communications, Power, and Computing Conference Proceedings, Volume 1, 15-16 May 1995 Pages 145 - 150
- [2] A. Sankarakrishnan, R. Billinton, "Effective techniques for reliability worth assessment in composite power system networks using Monte Carlo simulation", IEEE Transactions on Power Systems, Volume 11, Issue 3, Aug. 1996 Pages 1255 - 1261
- [3] C. Singh, J. Mitra, "Monte Carlo simulation for reliability analysis of emergency and standby power systems", IEEE Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS '95., Conference Record of the 1995 IEEE, Volume 3, 8-12 Oct. 1995 Pages 2290 - 2295
- [4] R. Billinton, J. Satish, "Reliability cost/reliability worth assessment of station configurations", IEEE WESCANEX 95. Communications, Power and Computing, Conference Proceedings, Volume 1, 15-16 May 1995 Pages 175 - 180
- [5] A. Abdulwhab, R. Billinton, "A. Generating system wellbeing index evaluation", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 26, Issue 3, March

2004, Pages 221-229

[6] R. Billinton, R. Kark, "Application of Monte Carlo 모의 to generating system well-being analysis", Power Systems, IEEE Transactions on Volume 14, Issue 3, Aug. 1999 Page 1172 - 1177

[7] L. S. Low, L. Goel, "Incorporating deterministic criteria in the probabilistic framework for composite generation and transmission systems", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, Volume 4, 16-20 July 2000 Pages 2069 - 2074

[8] S. Aboreshaid, R. Billinton, "A Framework for incorporating voltage and transient stability considerations in well-being evaluation of composite powr systems", Power Engineering Society Summer Meeting, 1999. IEEE, 18-22 July 1999 Page 219 - 224 vol.1

[9] C. Y. Chung, K. W. Wang, C. T. Tse, X. Y. Bian, A. K. David, "Probabilistic eigenvalue sensitivity analysis and PSS design in multimachine systems", Power Systems, IEEE Transactions on Volume 18, Issue 4, Nov. 2003 Pages 1439 - 1445

[10] 장 광 수, "소신호 안정도를 고려한 새로운 확률론적 전력계통 신뢰도 평가 기법에 대한 연구- A New Probabilistic Reliability Analysis of Electric Power Systems Considering Small Signal Stability", 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부, 2007.2 박사 학위 논문