

피크 부하의 불확실성을 고려한 전력계통의 신뢰도 산출

김동민*, 김진오**
 한양대학교*, 한양대학교**

Reliability Evaluation considering Fuzzy-based Uncertainty of Peak Load Forecast

Dong-Min Kim*, Jin-O Kim**
 Hanyang University*, Hanyang University**

Abstract - Although two types of uncertainty such as randomness and fuzziness simultaneously exist in power systems, yet they have been treated as distinct fields to evaluate the power system reliability. Thus, this paper presents a reliability assessment method based on a combined concept of fuzzy and probability. To reflect the two-fold uncertainty, a modified load duration curve(MLDC) is proposed using the probability distribution of historical load data in which a fuzzy model for the peak load forecast is embedded. IEEE RTS system was used to demonstrate the usefulness and applicability of the proposed method, and the reliability indices were obtained using the proposed MLDC. The results show a wider insight into impact of load fuzziness on uncertainties of reliability indices for power systems.

1. 서 론

전력계통의 신뢰도를 평가하기 위해 고려해야 할 불확실 요소는 객관적인 자료를 근거로 확률적 모델링이 가능한 것과 전문가의 주관적 의견에 의존하는 퍼지 특성을 갖는 두 가지 유형이 함께 존재 한다. 그 중 수요의 일반적인 소비 패턴이나 기상요소와 관련된 부하 변화, 설비의 고장이력에 따른 고장률(Forced Outage Rate)등 확률통계 기법으로 모델링이 가능한 요소들은 일반적인 신뢰도 지수(Index) 계산에 포함되어 왔으나[1-2], 부하의 위치, 용도에 따른 피크 예측의 불확실성 등 퍼지 특성을 갖는 요소들은 별개의 영역으로 연구되어왔다[3].

이에 본 논문은 두 형태의 불확실성이 함께 내재된 신뢰도 지수를 산출하고자, 기존의 확률론적 지수 산정 과정에 피크 부하 예측의 퍼지 특성을 결합하여 표현하는 방법을 제안한다. 전통적인 확률론적 요소들은 몬테카를로 모의(Monte-Carlo Simulation; MCS)법을 이용하였으며, 부하 모델은 퍼지 특성의 불확실성을 결합하여 개선된 부하지속곡선(Modified Load Duration Curve; MLDC)을 제안하고, 이를 통해 산정된 신뢰도 지수의 결과를 분석한다.

2. 본 론

2.1 신뢰도 지수 산정

본 논문에서는 발전시스템(Hierarchical Level 1; HL I)의 대표적인 지수인 LOLP 및 LOLE 그리고 LOEE를 산정하기 위해 몬테카를로 모의(Monte-Carlo Simulation; MCS)의 한 방법인 상태 샘플링 법(State Sampling Method)을 사용한다.

시스템의 전력 부족 확률 LOLP는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$LOLP = \text{Probability}(L_k > P_k) = \frac{N(L_k > P_k)}{N_{total}} \quad (1)$$

- L_k ; k 번째 샘플에서의 시스템 부하량
- P_k ; 시스템의 공급 가능 발전량
- N_{total} ; 총 모의 횟수
- $N(L_k > P_k)$; 시스템의 부하량이 공급가능 발전량을 넘어선 횟수

식 (1)에서 공급 가능 발전량 P_k 는 다음과 같이 계산 된다.

$$P_k = \sum_{i=1}^n \{G_i \times H(U_i - FOR_i)\} \quad (2)$$

- G_i ; i 발전기의 정격 용량
- FOR_i ; i 발전기의 고장률(Forced Outage Rate)
- U_i ; 상태 샘플링을 위한 0과 1사이의 난수

여기서 H 는 단위 계단 함수로 $H(U_i - FOR_i)$ 가 1이면 발전기가 운전 상태임을 의미한다.

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

결국 샘플 k 의 기간을 동일하다고 가정하면, 전력 부족 기대치 LOLE [hour/year]와 에너지 부족 기대치 LOEE [MWh/year]는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$LOLE = \frac{8760}{N_{total}} \times \sum_{k=1}^{N_{tot}} H(L_k - P_k) \quad (4)$$

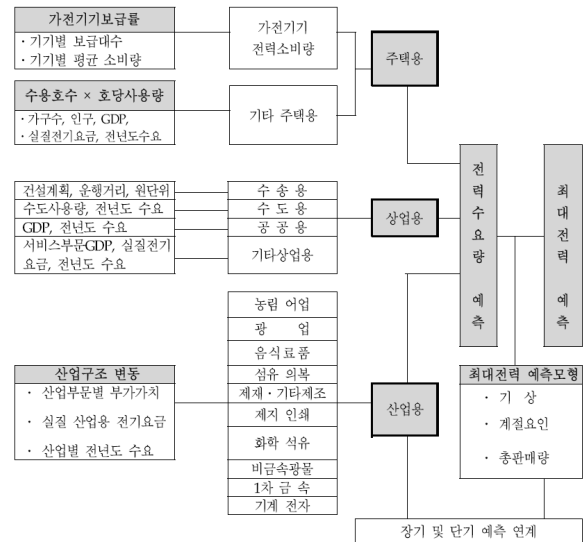
$$LOEE = \frac{8760}{N_{total}} \times \sum_{k=1}^{N_{tot}} \{(L_k - P_k) \times H(L_k - P_k)\} \quad (5)$$

본 논문에서는 식 (1), (4), (5)의 시스템 부하량 L_k 를 단일 값이 아닌 퍼지 정보를 포함한 변수로 표현하며, 이는 다음절에서 구체적으로 논의 한다.

2.2 부하 모델링

2.2.1 피크 부하를 위한 퍼지 모델

그림 1은 전력 계통의 운영 및 계획을 위해 최대 전력 즉 피크 부하의 예측과정을 간략히 도식한 것이다.

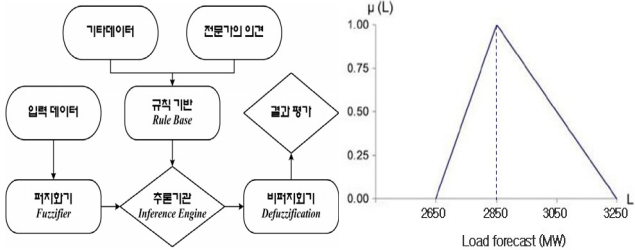


〈그림 1〉 우리나라의 전력 수요 예측 과정

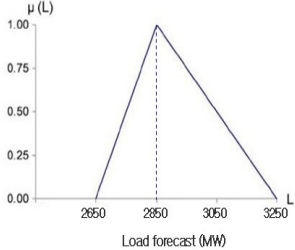
우리나라의 경우, 부하를 주택용(2개), 상업용(4개), 산업용(10개) 부분으로 구분하고, 향후 경제 성장, 산업구조의 변화, 전력수요추세 등을 반영하여 전력수요량 [MWh]을 예측하고, 이에 계절요인, 기상, 판매량에 대한 최대전력 탄력성 변화 등을 고려하여 최대전력[MW]을 산출한다[4]. 이 과정에는 확률 통계적 모델이 불가능한 부분에 대해 관련전문의자문과 같은 주관적인 요소가 개입되며, 따라서 피크 부하의 예측은 전력수요 성장에 대한 불확실성을 고려하여, 일반적으로 상한 및 하한

수요를 예측하여 발표한다. 이는 퍼지 개념을 통해 주관적인 요소를 정량화한다면 좀 더 객관적인 예측 값의 도출이 가능함을 시사한다. 즉 그림 2의 과정을 따르는 퍼지전문가시스템(Fuzzy Expert System)을 이용하여 피크부하의 불확실성을 단일 예측치와 예측의 상, 하한 값 기준의 적당한 소속함수(Membership Function)로 표현하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 그림 3과 같이 예측된 피크부하의 퍼지 특성을 삼각소속함수(Triangle Membership Function) $\mu(L_{peak})$ 로 가정한다. 이는 부하의 위치와 용도 비율에 따라 다른 모양이 되며, 그림3은 2850 [MW]의 피크가 예측되고 하한 값 2650 [MW] 및 상한 값 3250 [MW]을 갖는 정보를 나타낸 예제이다.



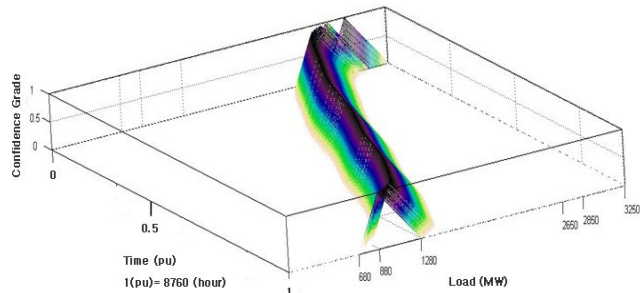
〈그림 2〉 퍼지전문가 시스템



〈그림 3〉 피크부하의 소속함수

2.2.2 개선된 부하지속곡선

부하지속곡선(Load Duration Curve; LDC) 모델은 부하를 1시간 단위로 나타내는 방식으로, 각 부하값은 1시간 동안의 부하 중 피크치를 나타낸다. 시간에 따라 부하를 열거하는 대신 부하의 크기에 따라 내림차순으로 다시 정렬한다. 이는 부하의 누적분포함수의 보수(Complement of Cumulative Distribution Function)로 정의 된다. 본 논문에서는 시간 단위로 부하를 표현할 수 있는 LDC를 기반으로, 그림 4와 같이 피크부하의 퍼지 모델을 결합한 개선된 부하지속곡선(Modified Load Duration Curve; MLDC)을 이용하여 어느 한 시점의 시스템 부하량을 결정한다.



〈그림 4〉 퍼지특성이 결합된 부하지속 곡선(MLDC)

피크 부하 예측치와 그 값의 불확실성(Confidence Grade)이 주어지면, 그 시점의 시스템 부하량 L_k 는 다음과 같이 결정된다.

$$L_k = \mu^{-1}\{\mu(L_{peak})\} \times W_k \quad (6)$$

L_{peak} : 예측 피크 부하량
 W_k : k 번째 샘플의 피크 대비 부하 수준(Load Level)
 $\mu(L_{peak})$: 피크 부하 예측의 불확실 정도(Confidence Grade)

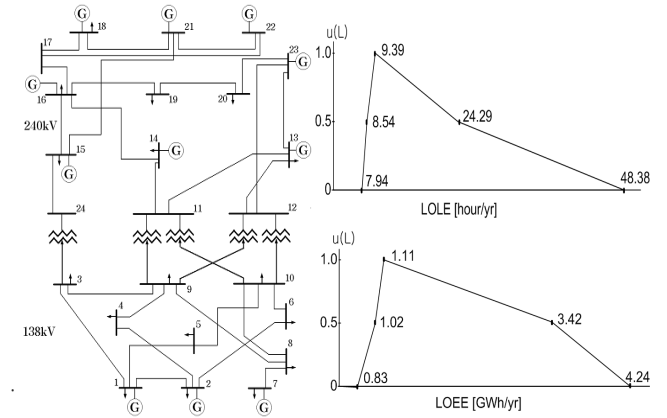
〈표 1〉 모선별 피크 부하와 부하 구성

Bus (Load)	Peak load [MW]	Load composite rate [pu]		
		Agriculture	Residual	Industry
1	108	0.4	0.3	0.3
2	97	0.4	0.3	0.3
3	180	0.4	0.3	0.3
4	74	0.5	0.3	0.2
5	71	0.5	0.3	0.2
6	136	0.4	0.3	0.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	128	0.2	0.3	0.5
Total	2850	-		

2.3 사례연구

제한한 방법의 유용성을 분석하기 위해 그림 4의 IEEE- RTS 24 bus 모의 계통을 이용하여 상업, 주택, 산업용 부하의 비율을 표 1과 같이 가정하고 각각의 불확실 특성을 표현하는 소속함수를 가정하여 신뢰도 지수를 산출하였다[5].

그림 5는 3가지(0, 0.5, 1.0) 피크부하의 불확실수준(Confidence Grade)을 고려하여 LOLE와 LOLP를 산정한 결과이다.



〈그림 4〉 IEEE- RTS 24

〈그림 5〉 LOLE 및 LOEE 산정결과

지수 산정의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 산정된 LOLE와 LOEE의 불확실성 범위는 각각 84 ~ 515 [%], 74 ~ 382[%]로, 피크부하 예측의 불확실성 범위 93 ~ 114 [%]보다 월등히 크다. 이는 피크 부하의 작은 오차도 계통 계획의 기준이 되는 신뢰도 지수의 결과에는 큰 변화를 초래함을 보여준다. 특히, 피크 부하가 기준 예측치보다 크게 발생할 경우, 즉 불확실성 함수의 우측면이 신뢰도 지수에 더욱 민감한 영향을 준다.
- 지수의 성격에 따라 불확실성을 표현하는 소속함수의 모양이 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이를 통해 단일 값으로 신뢰도 지수를 산정하는 기존의 방법에 비해 제안된 방법은 좀 더 세분화된 정보를 제공할 수 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 기존의 확률론적 지수 산정 과정에 피크 부하 예측의 퍼지 특성을 결합하여 두 형태의 불확실성이 함께 내재된 신뢰도 지수를 산정하였다. 사례연구를 통해 제안하는 방법에 의한 산정 결과들을 분석하였고, 이는 계통계획에 보다 넓은 시각을 제공할 수 있음을 확인하였다. 향후 퍼지 전문가 시스템을 통해 피크부하의 소속함수를 보다 합리적이고 정량적인 조사를 통해 결정하고, 퍼지 특성을 갖는 다른 불확실 요소들을 함께 모델링 하여 신뢰도 지수를 산정한다면 제안한 방법의 유용성은 더욱 클 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Billinton, R., Allan, R.N., "Reliability Evaluation of Power Systems", 2nd Edition, Plenum Press, New York, 1996.
- [2] R. N. Allan, R. Billinton, A. M. Breipoli, and C. H. Grigg, "Bibliography on the application of probability methods in power system reliability evaluation", IEEE Trans. Power Syst., vol. 9, pp. 41 - 49, Feb. 1994.
- [3] R. C. Bansal, "Bibliography on the Fuzzy Set Theory Applications in Power Systems (1994 - 2001)", IEEE Trans. Power Syst., Vol. 18, NO. 4, pp. 1291 - 1299, Nov. 2003.
- [4] "제 3차 전력수급기본계획", 산업자원부공고 제 2006-349호, 2006.
- [5] The IEEE Reliability Test System-1996, "A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3, pp. 1010-1020, 1996.