

특정지역 신뢰도평가 방안

문승필* 백두현* 장병훈* 전동훈* 윤종수* 김수열* 최재석**
KEPRI* 경상대**

Reliability Evaluation for A Specific Area

Seungpil Moon* Doohyun Baek* Byunghoon jang* Donghoon Jeon * Jongsu Yoon* Sooyeol Kim* Jaeseok Choi**
KEPRI* GSNU**

Abstract -Due to the pressure of opening electric power market, the transmission system reliability evaluation is being more important. This paper presents a reliability evaluation method for a specific area using the elastic power system frequency decline characteristic. The practicality and effectiveness of this methodology is illustrated by a case study.

1. 서 론

전력계통의 운용목적은 신뢰성 있는 전력을 경제적으로 공급하는 것이다. 그러나 신뢰성과 경제성은 상호 배타적인 성격이 있어 높은 신뢰도를 유지하기 위해서는 중분 투자비가 급격히 증가하여 경제성이 떨어지게 된다. 현대사회에서의 전력에 대한 의존도는 날이 높아지고 있는 실정이므로 정전에 대한 전력소비자들의 손실은 예전에 비해 상당히 커지고 있는 현실이다. 그러므로 경제성을 감안한 적절한 공급여유력과 신뢰도에 관한 전력회사의 관심은 커지고 있으며 적정 신뢰도에 대한 기준설정과 경제성을 감안한 공급신뢰도 수준을 유지하기 위한 지속적인 노력이 필요하다.

전력계통의 신뢰도해석 문제들은 전력계통의 확률계획 등에서 반드시 고려되어야 할 정도로 중요한 부분을 차지하고 있다. 확률론적 평가지수는 계통의 신뢰성 평가시 내재되어 있는 계통조건 불확실성을 반영할 수 있으며 계통의 신뢰성에 영향을 미치는 파라미터들과의 정성적인 관계를 반영하고 있다. 따라서 확률론적인 평가지수는 계통의 신뢰성에 영향을 미치는 파라미터들을 고려함으로써 계획안들의 적정성에 대한 상대적인 비교가능함과 동시에 임의 계통의 신뢰도에 대한 정량적인 평가가 가능하다.

확률론적 신뢰도평가 방법에는 사고확률을 고려하기 위해 상태열거법과 Monte Carlo시뮬레이션법을 이용한다. 그리고 공급지장전력을 산정하기 위하여 유량법, 조류계산, 최적조류계산 등을 이용한다. 이러한 방법들은 전력계통의 신뢰도평가에 있어 유용하게 사용되고 있다. 그러나 복잡해지고 전력의존도가 높아지고 있는 현대의 전력계통에서는 보호계전기 동작으로 인한 공급지장전력을 보다 엄밀히 예측할 필요가 있다.

본 연구에서는 계통의 주파수특성을 고려하여 특정지역의 신뢰도 평가방법을 제안하여 보다 실질적인 신뢰도 평가방법을 제안한다.

2. 전력계통의 신뢰도 평가

복합전력계통 또는 송전계통의 확률론적 신뢰도평가

는 1960년대부터 유럽과 북미를 중심으로 이루어져 왔다. 이러한 연구들은 해석적 방법과 시뮬레이션방법으로 크게 구별 될 수 있으며 초창기에는 전자는 북미를 중심으로 후자는 프랑스와 이탈리아를 중심으로 발전되어져 왔으나 근래에는 전자계산기의 급속한 발달에 힘입어 두 방법 모두가 적극 사용되고 있다. 지금까지 개발된 프로그램 패키지들 중 해석적인 방법을 이용한 것으로는 EPRI의 TRELSS 및 SYREL, Florida Power Corporation의 GATOR, Hydro Quebec의 PREFIAPT & FIAPT, Shawinigan Consultant의 SYREL, Saskatchewan대학교의 COMREL, Georgia Power and Georgia Inst. of Tech.의 RECS 등이 있다. 그리고 몬테카르로 시뮬레이션 기법을 이용하는 것으로는 ENEL의 SICRET, EDF의 METRIS, CEPEL의 CONFTRA 그리고 근래 Saskatchewan대학교 및 BC Hydro사의 합작으로 만들어진 MECORE 등이 있다.

2.1 전력계통의 확률론적 신뢰도 평가를 위한 상태공간모형

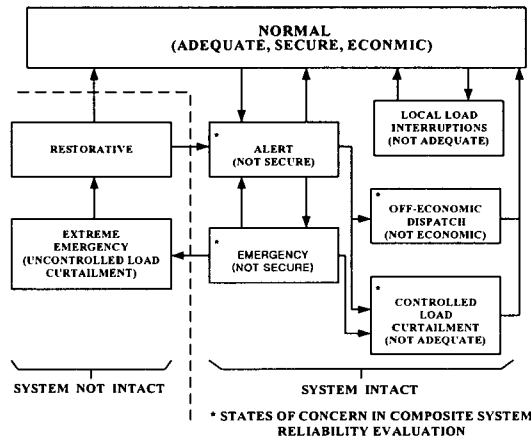


Fig 1. System Operating States to Recognize Local load Interruptions, Controlled Load Curtailment and Off-Economic Dispatch.

(1) 상태공간모형

전력계통의 운전상태는 전력계통내의 적정도와 안정도 제약에 만족하는 정도에 따라 정의된다. 운전상태의 분류에는 정상(normal), 경계(alert), 비상(emergency), 초비상(extreme emergency), 회복(restorative)의 다섯 상태와 경계와 비상상태에서 초비상상태로 가는 것을 피하기 위한 교정상태가 있다. 여기에는 비경제급전 및 송전

(off-economic dispatch)과 제어된 부하차단(controlled load curtailment)이 있다. 그림 1은 본래의 다섯 상태와 교정 상태 그리고 배전설비의 사고에 의한 국부적인 부하차단 상태들로 구성되는 전력계통의 운전상태모형을 나타낸 것이다. 제어된 부하차단(controlled load curtailment) 상태는 부하차단 작용을 통해 경제상태를 정상상태로 이동시키키며, 비상상태를 완화시켜 주는 역할을 한다.

(2) 송전망 신뢰도 평가를 위한 집합이론

발전기 및 송전선로의 사고확률을 고려할 경우에는 필연적으로 계통이 수용가 부하를 만족시키지 못하게 할 수도 있는 사건을 발생시킨다. 이는 계통의 상태 공간 내에서 한 사건의 집합을 형성하며, 이 사건을 ‘공급지장(Loss of Load)사건’ 이라고 부른다. 이 공급지장사고 전체집합에 속하는 상태들을 L 이라고 하면 식 (1)처럼 표현된다.

$$L = G + T + C \quad (1)$$

여기서,

G : 유효한 총발전량이 전체 수용가부하보다 적은 계통의 상태들.

T : 모든 발전기가 유효할지라도 계통부하가 공급될 수 없는 계통 상태들.

C : G 및 T 에 포함되지 않으면서 시스템 사고정지를 유발하는 상태 ($C = \bar{G} \cap \bar{T} \cap L$)

그림 2는 이들 집합을 알기 쉽게 나타낸 것이다.

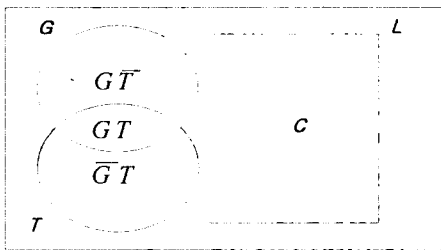


Fig 2. Venn diagram about loss of load

그러므로 송전망만에 의한 공급지장을 일으키는 상태들은 식 (2)처럼 계산될 수 있으며 이들 상태에 의한 확률 기대치값 또는 공급지장전력량기대치값 등이 신뢰도 지수가 된다.

$$T = L - (G + C) \quad (2)$$

그러나 실제통에서는 C 가 G 및 T 에 비하여 매우 미소하므로 $T = L - G$ 로 하여 통상 계산하고 있다.

2.2 공급지장전력 산정

어떤 임의의 부하지점에서 각 상태별 공급지장전력을 계산할 경우 가능해가 여러개 존재하게 된다. 그러므로 복합계통의 신뢰도 해석시 각 상태별로 어떤 목적하는 바에 따라 목적함수를 설정하여 조류계산을 실시하고 이의 결과에 준하여 각 부하지점별로 공급지장전력을 산정하여야 한다. 일반적으로 선형계획법을 이용하여 공급지장전력을 산정하고 식 (3), 식 (4)와 같은 목적함수와 제약조건들을 사용하고 있다.

$$\min \sum_{i \in NC} C_i$$

subject to

$$T(S^j) = A(S^j)(PG + C - PD)$$

$$\sum_{i \in NG} PG_i + \sum_{i \in NC} C_i = \sum_{i \in NC} PD_i$$

$$PG^{\min} \leq PG \leq PG^{\max}$$

$$0 \leq C \leq PD$$

$$|T(S^j)| \leq T^{\max}$$

(3)

$$\min \sum_{i \in NC} (W_i \sum_{j=1}^{MS} \beta_j C_{ij})$$

subject to

$$T(S^j) = \sum_{k=1}^M A(S^j)(PG_k + \sum_{j=1}^{MS} C_{kj} - PD_k)$$

(4)

$$\sum_{i \in NG} PG_i + \sum_{i \in NC, j=1}^{MS} C_{ij} = \sum_{i \in NC} PD_i$$

$$PG^{\min} \leq PG \leq PG^{\max}$$

$$0 \leq C_{ij} \leq \alpha_j PD_i \quad (i \in NC, j = 1, 2, \dots, MS)$$

$$0 \leq C \leq PD$$

$$|T(S^j)| \leq T^{\max}$$

2.3 복합전력계통 신뢰도

부하지점별로 각 상태에 대한 상태확률 및 공급지장전력을 구하여 공급지장전력에 따른 사고용량 확률분포함수를 작성하고 이를 부하지속곡선과 상승적분함으로써 복합계통에 대한 유효부하지속곡선을 작성할 수 있다. 구해진 유효부하지속곡선을 이용해서 각종 신뢰도 지수를 구한다.

3. 계통 주파수 특성을 고려한 특정지역 신뢰도평가

일반적으로 계통주파수는 광역적인 특성이 있어 전 계통의 주파수는 일정하다고 간주한다. 그러나 발전기 탈락 등의 계통 왜란이 발생하면 왜란발생지역의 주파수 저하속도와 멀리 떨어진 지역의 주파수 저하속도는 차이가 있다. 그러므로 저주파수차단기 (UFR : Under Frequency Relay) 등의 보호계전기 동작으로 인한 공급지장전력은 지역별로 다르게 나타난다.

3.1 계통 주파수특성

전력계통은 항상 수급밸런스를 유지하여 적절한 주파수로 운용되어야 한다. 대용량 발전기 탈락 등의 계통왜란이 발생하면 주파수가 떨어지고 계통은 붕괴될 수 있다. 이러한 위험으로부터 계통을 보호하기 위하여 저주파 부하차단 정책(UFLS: Under Frequency Load Shedding)을 계통에 채택하고 있다.

소규모 단일 계통의 주파수 감쇄

대형발전기 탈락으로 인한 계통 주파수 감쇄는 계통과 제어파라미터들에 따라 변한다. 단일 소규모계통의 주파수 감쇄는 식(5)과 같다.

$$f(t) = f_0 + \frac{\Delta P}{K} (1 + c_f e^{\xi \omega_n \sin(\omega_0 t + \phi)}) \quad (5)$$

단, f_0 : rate frequency

ΔP : size of disturbance

K : system stiffness

c_f : constant of inertia

ξ : constant of gain

ϕ : load damping coefficient

연계계통의 주파수 감쇄

지역간 연계선로를 갖는 계통에서 발전력 탈락으로 인한 계통 주파수 감쇄는 그림 3과 같이 왜란 발생지역에서는 왜란발생 직후 심한 감쇄를 보인 후 완만해지는 반면, 왜란이 발생하지 않은 지역에서의 초기 주파수감쇄 정도는 완만하다. 간단한 두 계통의 연계시 지역간 주파수 감쇄는 식 (6) ~ (8)과 같다.

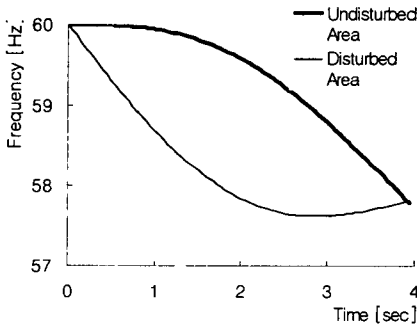


Fig. 3. Frequency falls in an elastic 2-Area Network.

$$f_1(t) = f_{ave}(t) + \frac{\Delta P_C \sin \omega_0 t}{2\pi \omega_0 M_2 (1+m)} \quad (6)$$

$$f_2(t) = f_{ave}(t) - \frac{m \Delta P_C \sin \omega_0 t}{2\pi \omega_0 M_2 (1+m)} \quad (7)$$

$$f_{ave}(t) = f_0 + \frac{\Delta P_C}{2\pi (M_1 + M_2)} t \quad (8)$$

단, f_{ave} : the average system frequency

M_1 : the composite inertia coefficient of Area 1

M_2 : the composite inertia coefficient of Area 2

m : M_1/M_2

본 연구의 효율성을 살펴보기 위해서 Area 1과 Area 2가 연계된 계통을 가정하였고 각 지역별 발전용량은 표 1과 같다. 각 지역의 송전망은 고려치 않았다. 지역별 최대 부하는 각각 400MW, 1200MW로, 최소부하는 최대부하의 60%로 가정하였다. 저주파수 계전기 동작에 따른 부하차단량은 58.8Hz, 58.4Hz, 57Hz에서 각각 20%, 20%, 30%인 것으로 가정하였다.

표1. 지역별 발전 및 부하구성

구 분	용량 [MW]	사고율	
Area 1	G1	500	0.1
	G2	500	0.1
Area 2	G3	700	0.05
	G4	300	0.08

계통 주파수 감쇄 특성을 고려한 지역별 신뢰도를 평가한 결과 신뢰도 지수는 표 2와 같다. PLC(Probability of Load Curtailments)는 Area 2에서 상대적으로 높은 반면 LOLP(Loss of Load Probability)는 Area 2에서 상대적으로 낮다. 발전기 및 연계선로의 불시 탈락으로 인한 지역별 주파수 변동특성과 저주파수 부하차단 정책이 잘 반영된 결과다.

표2. 계통 주파수 특성을 고려한 지역별 신뢰도 지수

신뢰도지수	Area 1	Area 2
PLC [pu]	0.1657	0.2215
LOLP[pu]	0.1614	0.1124
ENDS[MW]	25.8257	53.9475

4. 결 론

전력계통의 주파수특성과 보호계전기 동작을 고려한 공급지장전력을 산정하여 보다 실제에 가까운 신뢰도 평가 방법을 제시하였다. 계통축약기술을 응용하여 계산 속도를 향상시키면 운용단계의 전력계통 신뢰도평가가 가능하다. 지역신뢰도평가를 통해 특정지역 신뢰도 향상 방안마련이 가능하게 되므로 보다 경제적인 계통계획 및 운용이 가능하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강성록, 김근호, 트란트롱 텅, 최재석, 이용태, 문승필, 추진부, "송전계통의 확률론적 신뢰도 평가에 관한 연구", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문, 2003년 7월.
- [2] 문승필, 최재석, 신흥교, 이순영, 송길영; "Monte Carlo법에 의한 복합전력계통의 유효부하지속곡선 작성법 개발 및 신뢰도해석" 대한전기학회 논문지, 1999년 5월, Vol. 48A, No. 5, pp. 508-515.
- [3] Roy Billinton and Wenyuan Li, Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods, Plenum Press, 1994
- [4] D.Prasetijo, W.R.Lachs, D.Sutanto, "A New Load Shedding Scheme for Limiting Underfrequency", IEEE Trans.on Power System, Vol 9, No.3, pp. 1371-1378, August 1994
- [5] Roy Billinton and Ronald N. Allan. Reliability Evaluation of Power Systems, Second Edition, Plenum Press. 1996