

Probabilistic Approach to Time Varying Available Transfer Capability Calculation

申東峻* · 金圭浩† · 金鎮吾**
(Dong-Jun Shin · Kyu-Ho Kim · Jin-O Kim)

Abstract - According to NERC definition, Available Transfer Capability (ATC) is a measure of the transfer capability remaining in the physical transmission network for the future commercial activity. To calculate Available Transfer Capability, accurate and defensible Total Transfer Capability, Capacity Benefit Margin and Transmission Reliability Margin should be calculated in advance. This paper proposes a method to quantify time varying Available Transfer Capability based on probabilistic approach. The uncertainties of power system and market are considered as complex random variables. Total Transfer Capability is determined by optimization technique such as SQP(Sequential Quadratic Programming). Transmission Reliability Margin with the desired probabilistic margin is calculated based on Probabilistic Load Flow analysis, and Capacity Benefit Margin is evaluated using LOLE of the system. Suggested Available Transfer Capability quantification method is verified using IEEE RTS with 72 bus. The proposed method shows efficiency and flexibility for the quantification of Available Transfer Capability.

Key Words : Available Transfer Capability(ATC), Total Transfer Capability(TTC), Probabilistic Approach, SQP

1. 서 론

성공적인 전력시장의 운영을 위해서는 정확하고 빠른 계통의 가용송전용량(Available Transfer Capability : ATC) 계산이 요구된다. 양방향 시장에서 가용송전용량은 송전 권리(Transmission Right) 분배를 위한 예비 용량으로 사용되며 풀 시장에서는 입찰 정보와 함께 송전 혼잡 해결을 위해 사용된다[1].

북미 신뢰도 협의회(North American Electric Reliability Council : NERC)의 정의에 의하면, 가용송전용량 계산시 고려하여야 할 요소는 총송전용량(Total Transfer Capability : TTC), 송전신뢰도여유(Transmission Reliability Margin : TRM), 그리고 설비편의 여유용량(Capacity Benefit Margin : CBM)이 있다[2, 3]. 송전신뢰도여유와 설비편의 여유용량은 계통의 불확실성 및 공급부족에 대비한 여유용량이며 계산시 반드시 불확실성 및 사고에 대한 고려가 요구된다. 기존의 결정론적인 가용송전용량 계산 기법은 총송전용량을 계산하는데 있어 RPF(Repeat Power Flow)나 CPF(Continuation Power Flow) 방법을 이용하므로 계산시간이 많이 걸리며, 특히 계통 및 시장의 불확실성을 고려하는데 효과적이지 못하였으며 가용송전용량 예측 기간에 따른 변

화를 반영하지 못한다는 단점을 보였다[4]. 이러한 결정론적 기법의 단점을 보완하기 위한 확률적 가용송전용량 계산 기법에 관한 연구가 최근 진행 중이다[5,6]. 특히, 부하를 정규 분포로 가정한 송전신뢰도여유용량 계산 기법을 제시하였으며, 송전신뢰도 계산시 부하의 변동만을 확률적으로 고려하고 계통의 사고는 대용량 발전기의 탈락만을 고려하는 한계가 있다[5]. RPF와 Monte Carlo 시뮬레이션 기법을 결합한 기법도 제안되었다[6]. 여기에서 제안한 기법은 발생 가능한 계통의 상태를 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 분석하여 정밀한 송전용량의 누적확률분포를 보여줄 수 있는 장점이 있으나 반복적인 Monte Carlo 시뮬레이션과 RPF를 적용하므로 계산시간이 과도하게 소요되는 단점을 보인다.

본 연구는 전력시장의 운영 체계를 고려한 확률론적 기법을 이용한 가용송전용량 계산 기법을 제안하였다. 확률론적 기법을 이용한 가용송전용량 계산 방식은 계통 및 시장의 불확실성이 큰 계획 단계에 적용하기 적합하다. 또한, 최적화기법을 이용하여 총송전용량(TTC)을 계산하였으며, 확률론적 조류계산 및 Monte Carlo 기법을 함께 이용한 계산 기법을 제시하였다. 많은 계산 시간을 요구하는 Monte Carlo 기법은 CBM 계산 과정에만 적용하여 전체 계산시간을 감소시켰으며 TRM 계산과정에 확률론적 조류계산에 기반을 둔 기법을 제안하여 부하 탈락 및 발전기, 선로 고장을 모두 고려할 수 있음을 보였다. 계통 및 시장의 불확실성은 가용송전용량 예측 기간에 따라 달라지는 시변적 특성을 보이며 예측 기간이 길어질수록 불확실성은 증가하게 된다. 계통의 상정사고 등을 고려하여 계통 구성요소에 가해지는 조류 및 전압의 변화 범위를 분석할 수 있는 확률론적 조류계산을 이용하여 송전신뢰도여유를 계산하는 기법을 제안하

† 交信著者, 正會員 : 安山工科大学 電氣科 副教授 · 工博,
E-mail : kyuh@act.ac.kr

* 正會員 : 전기연구원 선임연구원 · 工博,

** 正會員 : 漢陽大 電氣工學科 正教授 · 工博,

接受日字 : 2005年 8月 26日

最終完了 : 2005年 10月 14日

었다. 또한, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 계통의 LOLE를 계산하여 설비편의 여유용량을 계산 할 수 있음을 보였다.

2. 확률론적 조류계산을 이용한 가용송전용량 계산

2.1 가용송전용량의 정의

가용송전용량의 개념은 FERC에 의해 1995년 'Notice of Proposed Rulemaking'이란 문서에서 처음 사용되었다. 이때 FERC는 기존에 사용되고 있는 송전선로 용량에 추가적인 송전 서비스를 지원하기위해 상호 연계된 송전망의 실제 사용한 송전능력의 나타내는 값으로 가용송전용량이란 개념을 정의하였다[2].

가용송전용량을 계산하기 위해서는 총송전용량(TTC), 송전신뢰도 여유용량(TRM)과 설비편의 여유용량(CBM)의 계산이 우선되어야 하는데, 이중 총송전용량은 임의의 두 지역, 혹은 두 지점 간에 송전할 수 있는 총 송전 용량으로 정의되며 제일 상정사고 총 송전용량(First Contingency Total Transfer Capability : FCTTC)과 같은 개념이라 볼 수 있다[3].

총송전용량은 다음과 같은 조건을 만족시키며 전력을 신뢰성 있게 송전할 수 있는 전력의 크기로 정의된다[2].

- 현재의 전력계통은 정상 운전상태에서 모든 전력설비의 부하 및 전압이 규정 범위 안에 있어야 한다.
- 대상 전력계통은 하나의 설비의 탈락으로 발생하는 상정사고에 대하여 계통 상태의 천이를 흡수할 수 있어야 하며 안정상태로 복귀하여야 한다.
- 하나의 전력설비의 탈락으로 발생한 상정사고 후에 모든 송전설비에 걸리는 부하 및 전압은 비상 한계값 이내에 있어야 한다.
- 첫 번째 조건과 관련하여 상정사고 이전에 걸리는 부하가 정격에 달하는 송전 환경에서 어떠한 단일 상정사고가 송전 한계에 이르게 하며 이러한 송전량을 송전용량이라 정의 한다.

이러한 총송전용량 결정은 고려한 제약조건으로 인하여 송전량이 제약되는 제약 한계치로 결정되며, 가용송전용량은 총송전용량에서 송전신뢰도 여유용량과 설비편의 여유용량을 뺀 값으로 계산되므로 다음의 식(1)과 같이 정의할 수 있다[4].

$$ATC = TTC - TRM - CBM \quad (1)$$

일반적인 결정론적 조류계산은 특정 상태에 있는 계통의 정적 시뮬레이션이라고 할 수 있다. 기존의 결정론적 조류계산 기법은 입력 정보에 따라 하나의 결과만을 얻을 수 있으며 만일 계통 상태에 변화가 생긴다면 조류계산을 다시 수행하여야 한다.

계통의 운영자의 입장에서는 일정 범위의 부하나 발전기 출력 변화에 따라 모선의 전압이나 선로의 조류 변화를 평

가할 수 있기 원하며 이를 위해 확률론적 조류계산(Probabilistic Load Flow : PLF) 기법이 도입되었다. 확률론적 조류계산은 확률변수를 이용하여 조류계산을 수행하며 결과적으로 부하 모선의 전압, 선로 조류 등의 변화 범위를 해당하는 확률값과 함께 결과로 출력하게 된다.

확률론적 기법을 이용한 가용 송전용량 계산과정은 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 총송전용량을 계산하기 위하여 최적화 기법의 하나인 SQP(Sequential Quadratic Programming) 방법을 이용하였다[7]. 두 번째 단계는 확률론적 조류계산 기법을 이용한 송전신뢰도 여유용량 계산하였고, 세 번째 단계는 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 설비편의 여유용량을 계산하였다.

2.1.1 계통 구성요소의 모델링

확률론적 가용 송전용량 계산을 위하여 본 논문에서는 발전기 출력, 선로 사고 및 전력 거래의 취소를 복소 확률 변수로 취급하여 계통 및 시장의 불확실성을 고려하였다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 발전기, 송전선로, 그리고 전력거래 계약은 설비 용량 및 계약 용량이 전부 반영된 On 상태와 계통에서 탈락된 Off 상태로 모의하는 2-state 모델로 모델링 되었다.

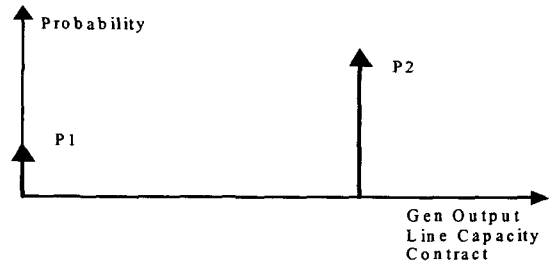


그림 1 발전기, 선로, 전력계약의 모델링

Fig. 1 Modeling of Generator Line and Power Contract

위의 그림과 같은 복소 확률변수의 확률밀도 함수(Probability Density Function : PDF)의 계산을 위하여 본 논문에서는 확률변수의 모멘트를 이용하였으며 이때 확률변수의 t 차 2-state 모멘트 m_t 는 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$m_t = E[Z^t] = \sum_{i=1}^2 Z_i^t P_i \quad (2)$$

이 식에서

- $E[.]$: 확률변수의 기대치
- Z_i^t : 복소확률변수 Z 의 i 번째 요소의 t 승
- P_i : 복소확률변수 Z 의 i 번째 요소의 확률

확률변수의 큐물런트는 모멘트와 큐물런트간의 변환 관계

를 이용하여 계산할 수 있다. 모멘트와 큐물런트의 변환 관계식은 아래와 같이 정리된다.

큐물런트 k_t 는 모멘트를 이용하여 식 (3)과 같이 계산할 수 있다[8].

$$k_1 = m_1$$

$$k_j = m_j - \sum_{r=1}^{j-1} \binom{j-1}{r} k_{j-r} m_r, \quad j \geq 2 \quad (3)$$

이와 같이 모멘트역시 큐물런트를 이용하여 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$m_1 = k_1$$

$$m_j = k_j + \sum_{r=1}^{j-1} \binom{j-1}{r} k_{j-r} m_r, \quad j \geq 2 \quad (4)$$

2.2 송전신뢰도여유 계산을 위한 PLF 기법 적용

본 논문에서는 조류 계산을 위한 변수는 복소 확률변수를 이용하였으며 조류 계산은 모멘트 도메인에서 수행되었다. 모멘트를 이용하여 확률 변수의 상승적분(Convolution)을 계산하였으며 Gram-Charlier expansion을 이용하여 모멘트를 PDF(Probability Density Function)로 변환하였다.

모멘트를 이용한 PLF 계산의 첫 번째 단계는 모선별로 각 부하와 발전기의 수요 및 출력의 PDF의 상승적분을 계산하여 각 모선의 총 입력 전력을 구하는 것이다. 각 모선의 총 입력 전력을 구한 후 전압 계산을 위하여 Y-bus 요소의 모멘트를 계산한다. 각 모선 전압의 모멘트는 반복법을 이용해 계산하며 $(n+1)$ 번째 전압의 모멘트는 식 (5)와 같이 계산된다.

$$m_i(V_{k(n+1)}^r) = (1/m_i Y_{kk}^{(r)}) m_i [S_k^* / (V_{k(n)}^{(r)})^* - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{ki}^{(r)} V_{i(n+1)}^{(r)} - \sum_{i=k+1}^n Y_{ki}^{(r)} V_{i(n)}^{(r)}] \quad (5)$$

이때 Y_{ki} : 모선 k 와 i 사이의 어드미턴스

$V_{k(n)}$: n 번째 반복시 모선 k 의 전압

전압 계산을 위한 반복은 모선 전압의 크기변화가 일정 값 이하로 수렴할 때까지 반복된다. 전압 계산후 선로 전류와 전력의 모멘트를 전류 방정식을 이용 계산한다.

마지막으로 Gram-Charlier expansion을 이용하여 각 결과치의 모멘트를 PDF로 변환하며 이 PDF를 이용하여 송전신뢰도여유를 계산한다. Gram-Charlier expansion을 적용할 경우 표준 확률변수 Z 와 이의 정규 확률분포함수 $N(z)$ 를

이용하여 확률변수 X 를 확률밀도함수 $f(z)$ 로 표현한다면 다음 식 (6)과 같이 표현된다.

$$f(z) = N(z)$$

$$f^{(i)}(z) = (-1)^i H_i(z) f(z), \quad i = 0, \dots, r \quad (6)$$

이때 $z = (x - \mu) / \sigma$

$$H_r(x) = \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{r}{2} \rfloor} A(r, i) x^{r-2i}$$

2.3 PDF를 이용한 송전신뢰도여유 계산

PLF를 이용한 송전신뢰도여유 계산 기법의 첫 단계는 기존의 최적화기법인 SQP를 이용하여 전력 전송 용량을 제한하는 요소(The Most Limiting Element)를 찾는 것이다. 그 결과 base case TTC를 결정할 수 있으며 이때 제약에 걸리는 제한요소도 결정된다. base case TTC를 통해 제한요소에 최대 부담이 걸리는 상태를 파악할 수 있으며 이 상태를 입력 자료로 이용하여 PLF 계산을 수행한다. PLF 분석을 통하여 그림 2와 같은 제한요소의 PDF $f(z)$ 를 얻을 수 있다.

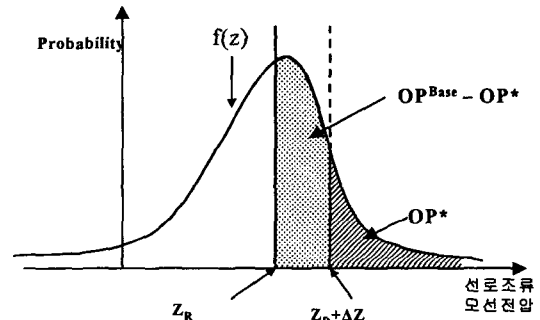


그림 2 제한요소의 PDF 및 정격조정
Fig. 2 PDF of Limiting Element and Rating Variation

이때 제한요소의 정격을 Z_R 에서 ΔZ 만큼 증가시킨다면 이때 사고확률은 base case TTC의 사고확률 OP^{Base} 에서 OP^* 로 감소하며 이때 얻을 수 있는 계통의 상정사고에 대한 확률적 여유 PM(Probabilistic Margin)은 식 (7)과 같이 계산된다.

$$PM = \frac{OP^*}{OP^{Base}} \times 100 [\%] \quad (7)$$

제한요소 정격의 물리적 증가로 얻을 수 있는 PM은 TTC를 줄여 제한요소의 부담을 같은 양만큼 감소시켜도 얻을 수 있으며 이때 확률적 여유는 계통운영자의 의도대로 결정할 수 있다.

지금까지 제안한 확률론적 조류계산을 이용한 송전신뢰도 여유용량 계산 과정을 그림 3에 정리하였다.

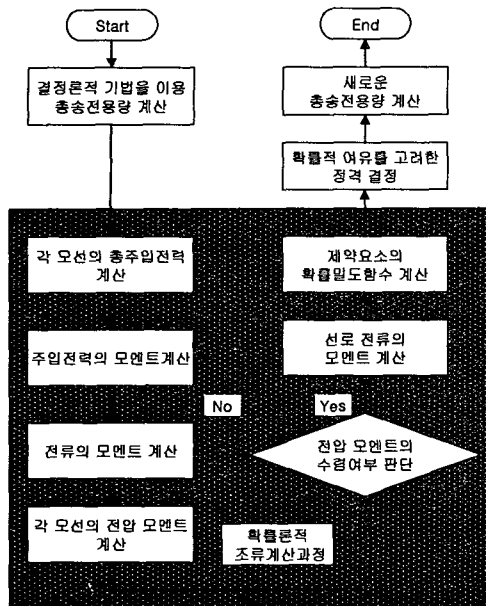


그림 3 송전신뢰도 여유용량 계산과정
Fig. 3 Process of TRM calculation

2.4 Monte Carlo Simulation을 이용한 설비편의 여유용량 계산

본 논문에서는 설비편의 여유용량 계산을 위하여 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하였다. 본 논문에서는 계통의 LOLE(Loss of Load Expectation)를 평가하기 위하여 발전기의 2 state 모델을 적용하였으며 부하의 불확실성은 고려하지 않았다. 발전기의 random sampling을 기반으로 총 발전량을 평가하였으며 발전기 상태의 지속시간 또한 고려하지 않았다. 이는 전력거래가 이루어지는 시점의 발전상태를 평가하여야 하기 때문이며 전력거래는 일반적으로 1시간에서 30분 단위로 이루어져 고장으로 탈락한 발전기의 수리여부는 고려하지 않아도 되기 때문이다.

각 지역의 LOLE를 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 계산한 후 미리 설정된 기준치와 LOLE값을 비교하여 기준에 미치지 못하는 지역이 있는지 판별한다. 만일 LOLE 기준에 미치지 못하는 지역이 존재할 경우 발전량을 증가시킨 후 LOLE를 계산하며 이를 LOLE 기준을 만족시킬 때까지 반복한다. 이때 증가된 발전량이 LOLE 기준을 만족시키지 못하는 지역이 연계 지역으로부터 받아야 하는 예비력 용량이며 이 용량이 이 지역의 설비편의 여유용량으로 결정된다.

3. 사례 연구

연계계통간의 가용송전용량 결정을 모의하기 위한 모델로

3개의 IEEE RTS 24모선 계통을 상호 연계한 24x3 모선 계통을 이용하였다[9]. 연계 계통 모델을 그림 4에 나타내었으며 모델은 지역 10, 20, 30의 3개 지역으로 구분되어 총 5개의 연계선로로 연계되어 있다. 전체 계통은 총 72개의 모선과 96기의 발전기, 그리고 119개의 선로로 이루어져 있다.

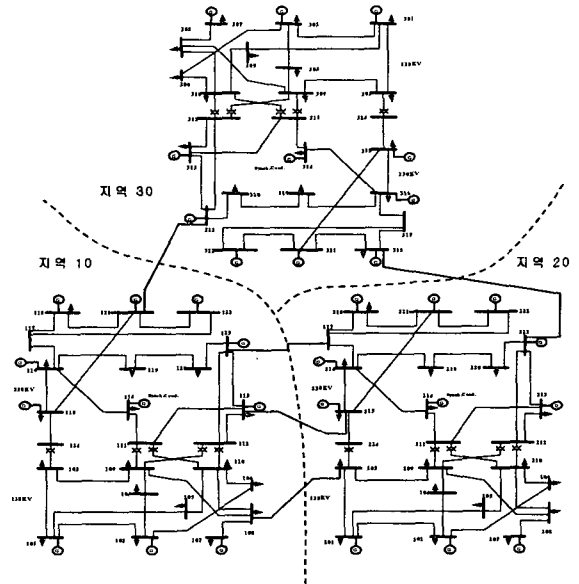


그림 4 연계계통 모델 - IEEE RTS 24모선 X3 계통
Fig. 4. Multi area model - IEEE RTS 24x3

3.1 송전신뢰도여유 계산

송전신뢰도여유를 계산하기위한 확률론적 조류계산은 Base case 총송전용량이 결정된 순간의 계통상태, 즉 지역 30에서 지역10으로 1203.31MW의 송전이 이루어지며, 121-324 선로에 최대 부하가 걸리는 시점의 데이터를 이용하여 계산하였다.

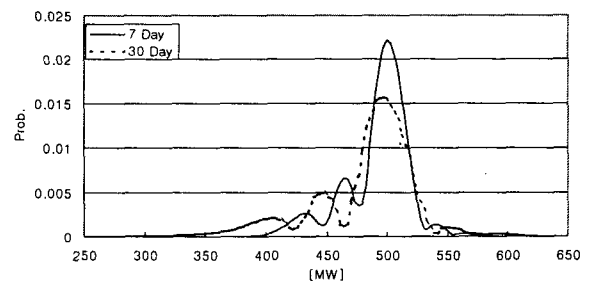


그림 5 121-324 선로 조류의 확률분포함수
Fig. 5 PDF of line flow at line 121-324

확률론적 조류계산의 결과 얻어진 121-324번 선로 조류의 확률분포함수를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 실선은 7일 후의 조류 확률분포함수이며 점선은 30일 후의 조류 확

률분포함수이다.

그림 5의 확률분포함수를 이용하여 선로 정격 조절에 따른 송전신뢰도여유 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 실선은 7일 후의 가용송전용량의 확률적 여유이며 점선은 30일 후의 확률적 여유를 보이고 있다. 선로 용량 정격을 기준인 500MW에서 줄여갈수록 상정사고시 변화하는 선로 조류에 대한 여유 마진이 증가하여 PM이 증가함을 볼 수 있다. 또한 30일 후의 조류 확률분포함수가 더 큰 분산을 보이기 때문에 같은 확률적 여유를 확보하기 위해서는 선로 정격을 더 줄여야 함을 알 수 있다.

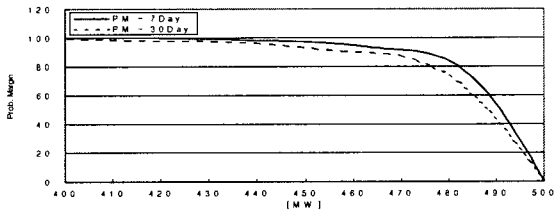


그림 6 선로 정격 조절에 따른 PM 변화
Fig. 6 Probabilistic Margin by adjusting line rating

그림 6을 보면 7일 후의 가용송전용량의 경우 선로 정격을 491MW로 9MW만 줄여도 50%의 상정사고에 대한 여유용량이 확보됨을 알 수 있다. 또한, 선로 정격을 461MW로 조절할 경우 7일 및 30일 후의 가용송전용량 모두 90%이상의 상정사고에 대비할 수 있다.

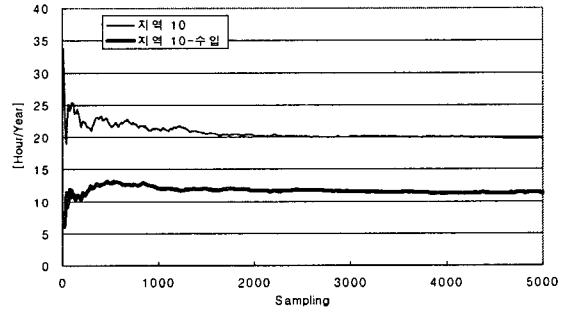
그림 6의 데이터를 이용하여 송전신뢰도여유를 계산하였다. 계통 운영자가 원하는 확률적 여유를 각각 50, 70, 90%로 설정하여 송전신뢰도여유를 계산하였으며 결과를 표 1에 정리하였다. 7일 후의 송전신뢰도여유와 30일 후의 송전신뢰도여유를 각각 구분하여 정리하였으며, 결과를 분석해보면 같은 확률적 여유를 확보하기 위해서는 30일 후의 송전신뢰도 여유용량을 더 크게 설정하여야 함을 알 수 있다. 이는 예측 기간이 길수록 불확실성이 증가하기 때문이며 이러한 불확실성에 대비하기 위하여 더 큰 여유용량이 요구되기 때문이다.

표 1 PM에 따른 TRM 변화
Table 1 TRM deviation by Probabilistic Margin

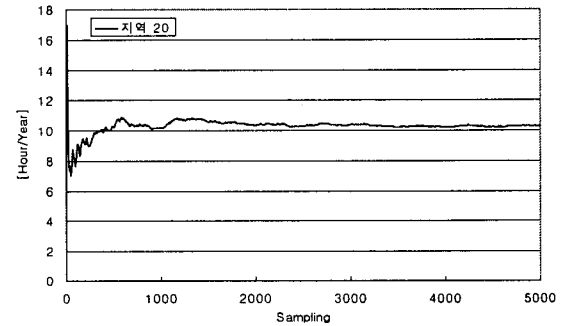
PM [%]	7일 후 Case		
	선로정격[MW]	TTC [MW]	TRM [MW]
50	491	1181.21	22.1
70	484	1160.80	42.51
90	473	1126.33	76.98
PM [%]	30일 후 Case		
	선로정격[MW]	TTC [MW]	TRM [MW]
50	488	1174.25	29.06
70	482	1152.99	50.32
90	461	1102.45	100.86

3.2 설비편의 여유용량 계산

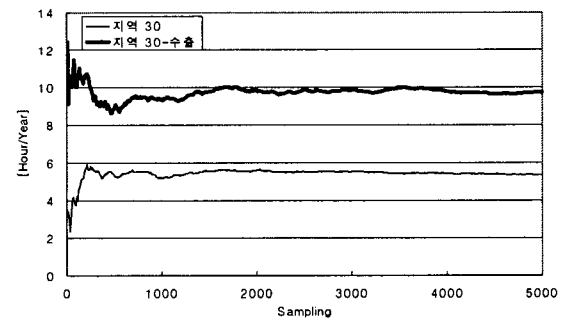
본 논문에서는 계통의 신뢰도 지수중 하나인 LOLE를 이용하여 LOLE가 0.5day/year 이하가 되도록 설비편의 여유용량을 계산하였다. 그림 7에 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용한 세 지역의 LOLE 계산 수렴 그래프를 나타내었으며 표 2에 결과를 정리하였다.



(a) 지역 10의 LOLE 수렴 결과



(b) 지역 20의 LOLE 수렴 결과



(c) 지역 30의 LOLE 수렴 결과

그림 7 각 지역의 LOLE 수렴 결과
Fig. 7 Results of LOLE calculation

LOLE 계산 결과 지역 10의 LOLE가 기준을 초과하였기 때문에 가장 LOLE가 낮은 지역 30에서 지역 10으로 250MW의 예비력을 공급한 후 LOLE를 다시 계산하였다.

표 2 지역별 LOLE 계산 결과

Table 2 Result of Area LOLE calculation

	지역 10	지역 20	지역 30
초기 LOLE	19.753	10.339	5.363
예비력 거래량	250MW	0	-250MW
예비력 거래후 LOLE	11.355	10.339	9.757

LOLE를 재계산한 결과 세 지역 모두 LOLE가 설정치보다 낮아졌기 때문에 설비편의 여유용량은 지역 30에서 지역 10으로 250MW의 예비력을 송전할 수 있는 용량으로 결정되었다.

3.3 가용송전용량 계산

송전신뢰도여유와 설비편의 여유용량 계산 결과를 이용하여 가용송전용량을 계산하였다. 표 3에 정리된 결과에서 알 수 있듯이 가용송전용량 용량은 예측 기간과 PM에 따라 931.21MW에서 852.45MW까지 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 결과에서 가용송전용량 계산시 본 논문에서 제안한 확률론적 접근법을 적용할 경우 예측 기간에 따른 불확실성의 증가를 고려할 수 있으며 동시에 계통운영자가 계통 및 시장상태를 판단하여 적절한 수준의 확률적 여유용량을 선택할 수 있음을 알 수 있다.

표 3 예측 기간에 따른 ATC 계산 결과

Table 3 Result of ATC by forecasting time

TTC [MW]		1203.31		
CBM [MW]		250		
PM		50%	70%	90%
TRM [MW]	7일	22.1	42.51	76.98
	30일	29.06	50.32	100.86
7일 후 ATC [MW]		931.21	910.8	876.33
30일 후 ATC [MW]		924.25	902.99	852.45

본 논문에서 제안한 확률론적 조류계산을 이용한 송전신뢰도 여유용량 계산 기법의 유효성을 검증하기 위하여 확률론적 기법의 기본 비교 기법으로 널리 사용되는 Monte Carlo 시뮬레이션 기법을 이용하여 결과를 비교하여 보았다. 그림 8에는 121-323선로 조류의 누적 확률 분포를 나타내고 있다. 실선이 본 논문에서 이용한 모멘트를 이용한 확률론적 조류계산의 결과이며 점선은 Monte Carlo 시뮬레이션 기법을 이용한 결과이다. 두 그래프가 선로 용량 한계인 500MW 부분에서 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 9는 두 기법을 이용한 확률론적 여유를 계산한 그래프이다. 그래프 전 영역에 걸쳐 작은 오차를 보이고 있으며 표 4에 같은 선

로 정격일 경우 두 기법의 확률적 여유와 계산에 요구된 시간을 정리하였다. 표에서 볼 수 있듯이 결과에 있어서 5%이하의 오차를 보이는 반면 계산시간은 약 4.5%만 소요되어 제안한 기법의 효용을 알 수 있다.

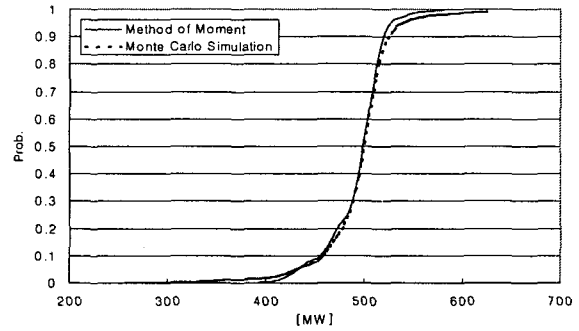


그림 8 모멘트 기법과 Monte Carlo 기법의 누적 확률 비교

Fig. 8 Comparison of Method of moment and Monte Carlo Simulation

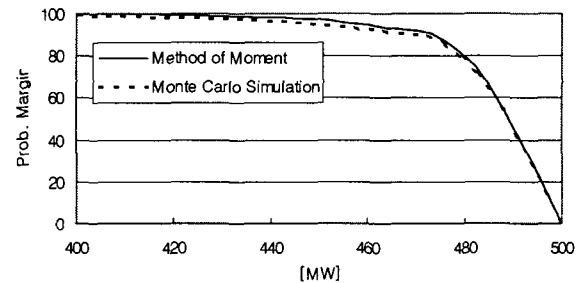


그림 9 모멘트 기법과 Monte Carlo 기법의 확률적 여유 비교

Fig. 9 Comparison of Method of moment and Monte Carlo Simulation

표 4 확률론적 조류계산과 Monte Carlo 기법의 결과

Table 4 Comparison of PLF and Monte Carlo method

선로정격 [MW]	확률적 여유[%]	
	확률론적 조류계산	Monte Carlo Simulation
488	54.87	54.71
479	81.9	80.1
473	90.37	88.85
467	92.68	90.72
계산시간	185.4[Sec.]	4,132[Sec.]

4. 결 론

본 논문에서는 확률론적 기법을 이용한 가용송전용량 계산 기법을 제시하였다. 특히, 최적화기법인 SQP 방법을 이용하여 총송전용량을 계산하였으며, 확률적 조류계산(PLF)을 이용하여 원하는 PM을 갖는 송전신뢰도여유를 계산할 수 있는 기법을 제시하였고, 계통의 LOLE를 이용하여 설비편의 여유용량을 계산할 수 있음을 보였다.

확률론적 기법을 이용하여 가용송전용량을 계산할 경우 예측시간이 길어질수록 증가하는 계통 및 시장의 불확실성을 고려할 수 있었으며 제안한 확률론적 조류계산을 이용한 가용송전용량 계산 기법은 Monte Carlo 시뮬레이션 기법에 비하여 매우 빠른 계산시간에 5%이내의 오차를 보이는 결과를 얻을 수 있었다.

IEEE RTS 72모선을 사용한 사례연구를 통하여 제안한 확률론적 접근법을 이용할 경우 예측 기간에 따른 불확실성 변화를 가용송전용량 계산에 고려할 수 있음을 보였다. 또한 계통운영자가 계통 상태 및 시장 현황을 반영하는 PM을 선택하여 송전신뢰도여유 용량을 조절할 수 있음을 보였다. 하지만 실제 전력시장에 적용하기 위해서는 몇몇 개선사항이 요구된다고 생각된다. 대표적으로 동시 송전에 대한 고려가 요구되며 확률론적 가용송전용량 계산 기법의 경우 부하 변동에 대한 고려가 필요하다.

따라서 향후 연구방향으로 동시 송전 및 부하 변동에 대한 추가 연구가 요구되며 다양한 시장 환경에 대한 적용 가능성을 타진해보아야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초 전력연구원 주관으로 수행된 과제(R-2004-B-221)임.

참 고 문 헌

- [1] Steven Stoft, Power System Economics, Designing Markets for Electricity, John Wiley and Sons, 2002.
- [2] North American Electric Reliability Council, Transmission Transfer Capability, A Reference Document for Calculating and Reporting the Electric Power Transmission Capacity of Interconnected Electric System, May 1995.
- [3] Marija Ilic, Francisco Galianan and Lester Fink, Power Systems Restructuring - Engineering and Economics, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [4] Transmission Transfer Capability Task Force, Available Transfer Capability Definitions and Determination, North American Electric Reliability Council, Princeton, NJ, June, 1996.
- [5] Yan Ou, Chanan Singh, "Assessment of Available Transfer Capability and Margins", IEEE Trans. on PS, Vol. 17, No. 2, pp. 463-468, 2002.

- [5] Yan Ou, Chanan Singh, "Calculation of risk and statistical indices associated with available transfer capability", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. Vol. 150, No. 2, pp. 239-244, 2003.
- [7] 김규호, 신동준, 김진오, 김태균, "가용송전용량 계산을 위한 최적화기법 응용", 대한전기학회 하계학술대회 A 권, pp.183-185, 2004.
- [8] J. O. Kim and C. Singh, "A Frequency and Duration Approach for Generation Reliability Evaluation Using the Method of Stages", IEEE Trans. on PS, Vol. 8, No. 1, pp. 207-215, 1993.
- [9] Reliability Test System Task Force, "The IEEE Reliability Test System - 1996", IEEE Trans. on PS, Vol. 14, No. 3.

저 자 소 개



신 동 준(申東峻)

1972년 1월 28일생. 1998년 한양대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2004년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 한국전기연구원 전력산업연구그룹 선임연구원

Tel : (031) 420-6123

E-mail : shindj@keri.re.kr



김 규 호(金圭浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 안산공과대학 전기과 부교수

Tel : (031) 490-6058

E-mail : kyuh0@act.ac.kr



김 진 오(金鎭吾)

1956년 1월 17일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(공박). 현재 한양대학교 전자전기공학부 정교수.

Tel : (02)2220-0347

Fax : (02)2297-1569

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr