에너지불변특성을 이용한 Mixture of Cumulants Approximation 방법에 의한 발전시뮬레이션에 관한 연구
- 수요예측의 오차를 고려한 경우 -

송 길 영 * 김 용 하 * 오 광 해 ◉ 오 기 봉 **
* 고려대학교 전기공학과
** 국립서울산업대학

A STUDY ON THE GENERATION SIMULATION USING ENERGY INVARIANCE PROPERTY BY MIXTURE OF CUMULANTS APPROXIMATION METHOD WITH CONSIDERING THE LOAD FORECASTING UNCERTAINTY

K.Y. SONG * Y.H. KIM * K.H. OH * K.B. OH **
* Department of Electrical Engineering Korea Univ.
** Seoul National Polytechnic Univ.

ABSTRACT

This paper describes an effective algorithm for evaluating the reliability indices and calculating the production cost for generation system with thermal, hydro and pumped storage plants. Using the Energy Invariance property, this algorithm doesn't need deconvolution process which gives large burden in computing time.

In order to consider an adaptable load model, we consider the system load with forecasting uncertainty.

The proposed algorithm is applied to the KEPCO system and its result shows high accuracy and less computing time.

1. 서론

전력계통의 발전시뮬레이션이란 상호 독립적인 불확실성을 갖는 부하, 발전기 설비용량, 에너지제약 및 발전비용의 4가지 요소로서 계통의 발전비용 및 여러가지 신뢰도지수를 계산하는 작업이다. 이때 발전시뮬레이션의 효율성은 계산결과치의 정확성 및 계산의 신속성으로 판단되어지나 일반적으로 이들은 상호배타적인 특성을 지니고 있는 것으로 알려져 있다.[1] 그러므로 정확성 및 신속성 양자를 만족하는 효율적인 발전시뮬레이션 앨거리듬 개발의 필요성이 요구되는 바 연구자들은 앞서 Mixture of Cumulants Approximation법을 제안하고 그 유용성을 입증한 바 있다.[2]

한편, 실계통에는 사용가능한 에너지가 제약되어 있는 수력기 및 양수기가 운전되고 있는데 발전시뮬레이션에 있어서는 이러한 발전기들은 일반적으로 화력기, 수력기 및 양수기의 순서로 운전모의되고 있다.[1] 이와같은 수력기 및 양수기를 운전모의하기 위해서는 유효부하지속곡선의 상승적분 및 역상승적분 과정이 반복적으로 계산되어야 하는바, 발전시뮬레이션에 있어서는 이러한 상승적분 및 역상승적분에 기인해서 계산소요시간이 증대하게 된다. 계산소요시간의 단축을 위하여 에너지 불변성(Energy Invariance Property)을 이용하여 역상승적분의 과정없이 수력기 운전모의 할 수 있는 새로운 앨고리듬을 제안하고 이를 PG&E 계통에 적용하여 이의 정확성 및 신속성을 입증한 바 있다.[3] 그러나 계통에는 수력기뿐만 아니라 양수기도 함께 운전되고 있으므로, 본 연구에서는 이러한 에너지불변특성을 양수기의 운전모의까지 확장하여 수력기 및 양수기의 운전모의를 화력기의 운전모의와 함께 단 한번에 운전모의할 수 있는 보다 효율적인 발전시뮬이션 앨거리듬을 제안하였다.

또한, 장래의 수요를 예측함에 있어서 예측된 수요는 불확실성을 내포하게 되는데 이러한 수요예측의 오차는 발전시뮬레이션의 결과에 중대한 영향을 끼치게 된다. 그러므로 본 연구에서는 수요예측의 오차를 고려한 부하의 확률모형을 도입하여 보다 탄력성 있는 계통의 정보를 도출하도록 하였다.

본 연구에서 제안한 방법을 한국전력계통에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

2. 발전시뮬레이션의 정식화(수요예측의 오차를 고려한 경우)

수요예측의 불확실성을 발전시뮬레이션에 반영시키기 위하여 사고용량누적확률법이 제안된 바 있으나[4] 이 방법에서는 발생가능한 사고용량과 그 발생확률을 모두 구해야 하므로 많은 계산소요시간 및 기억용량이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 다음과 같은 새로운 방법으로 부하 모델을 고려하도록 하였다.

2.1 부하의 확률모형

수요예측의 오차를 발전시뮬레이션에 반영하기 위해서는 과거의 충분한 데이타로 부터 예측의 오차를 나타낼 수 있는 오차의 분포함수를 결정하여야 하는데 일반적으로 이러한 분포는 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다[4][5]. 그러므로 예측된 부하 X [MW] 는 평균이 μ [MW] 이고, 분산이 수요예측의 오차인 식 (2.1) 와 같은 확률밀도함수 P(X)를 갖는 정규분포로 표현된다.

$$P(X) = \exp\{ -(X-\mu)^2/2\sigma^2 \} / \sqrt{(2\pi)}\sigma \qquad (2.1)$$

단, μ : 예측된 부하의 평균
σ : 예측된 부하의 표준편차

이와같은 부하모형을 발전시뮬레이션에 반영하기 위하여 P(X) 는 이산화되어야 한다.

여기서 계급의 구간을 $\pm 3\sigma$ 까지 고려하여 확률값을 99.7 % 의 정확도를 유지하도록한 경우, P(X) 를 ND개의 부분으로 이산화시킨 각 부분에 대한 존재확률은 P(X)를 구간별로 적분하여 구할 수 있다. 그러므로 수요예측의 오차를 ε % 라 하고 수요예측의 오차를 나타내는 정규분포를 ND 개의 구간 대표값으로 이산화시킨 각 구간의 확률값을 PROB(·) 라고 하면 X_L [MW] 부하는 식 (2.2)와 같이 각 구간부하 $X_L{}^K$로 표현된다.

$$X_L{}^K = \begin{cases} X_L - K\cdot[3/\{(ND-1)\cdot 2\}]\cdot 0.01\cdot\varepsilon\cdot X_L & ;1\le K\le (ND-1)/2 \\ X_L & ;K=(ND+1)/2 \\ X_L + K\cdot[3/\{(ND-1)\cdot 2\}]\cdot 0.01\cdot\varepsilon\cdot X_L & ;(ND+3)/2\le K\le ND \end{cases} \qquad \cdots\cdots (2.2)$$

2.2 발전기의 확률모형

발전기모형을 Markov 확률과정에 의해 가동과 정지라는 2개 상태로 모델링한 경우의 발전기 사고용량에 대한 확률분포함수는 식 (2.3)과 같이 표현된다.

$$f_{oi}(X_{oi}) = \begin{cases} p_i & (X_{oi} = 0) \\ q_i & (X_{oi} = C_i) \end{cases} \qquad (2.3)$$

단, $f_{oi}(X_{oi})$: i번째 발전기의 사고용량 확률분포
C_i : i번째 발전기의 용량 [MW]
p_i : i번째 발전기의 가동율
q_i : i번째 발전기의 사고율 (Forced Outage Rate)

2.3 등가부하지속곡선의 구성

부하 및 발전기의 확률모형으로 부터 계통의 부하에 발전기의 사고를 표시하는 가상부하를 더한 유효부하는 각구간별로 식 (2.4)와 같이 구해진다.

$$X_{Le}{}^K = X_L{}^K + \sum_i X_{oi} \qquad (2.4)$$

단, $X_{Le}{}^K$: K번째 부하구간의 유효부하
$X_L{}^K$: K번째 부하구간의 계통부하
X_{oi} : i번째 발전기의 확률적사고를 표시하는 부하

그러므로 i 번째 발전기까지의 사고용량이 포함된 각 구간부

하에 대한 유효부하 확률분포곡선 $\mathcal{Z}_i^K(X_{L_0}K)$는 발전기 및 부하의 확률분포를 상승적분하여 식(2.5)와 같이 구해진다.

$$\mathcal{Z}_i^K(X_{L_0}K) = \sum_{X_{oi}} \mathcal{Z}_{i-1}^K(X_{L_0}K - X_{oi}) f_{oi}(X_{oi}) \qquad (2.5)$$

2.4 발전량기대치 및 신뢰도지수의 계산

식(2.5)의 유효부하 확률분포곡선으로 부터 수요예측의 오차를 고려한 경우의 각 발전기의 발전량기대치 및 신뢰도지수는 식 (2.2)의 각 구간부하를 이용하여 각 부하에 의한 발전량기대치 및 신뢰도지수에 이산화된 각 구간의 확률값 PROB(·) 를 곱한 기대치로써 식 (2.6) 및 (2.7)과 같이 구하여진다.

$$ESS_i = \sum_{K=1}^{ND} \left[P_i \cdot T \cdot \int_{C_{i-1}}^{C_i} \mathcal{Z}_{i-1}^K(x)dx \cdot PROB(K) \right] \qquad (2.6)$$

$$LOLP = \sum_{K=1}^{ND} \left[Prob\{ \mathcal{Z}_N^K(Cn) > Cn \} \cdot PROB(K) \right] \qquad (2.7)$$

단, T : 시뮬레이션 시간수 [Hour]
Cn : 계통 설비 용량 [Mw]

3. 에너지불변성에 의한 발전시뮬레이션

3.1 에너지불변성

계통에 NG대의 발전기가 투입될 경우 발전기의 투입순서가 바뀌면 개개발전기의 발전량기대치는 발전기의 투입순서에 따라 달라지지만 계통 전체의 발전량기대치의 총합계는 발전기의 투입 순서와 관계없이 항상 일정하다는것, 즉 계통부하가 일정한 경우 계통전체의 발생에너지는 일정하다는 식(3.1)과 같은 에너지불변성이 성립한다.

$$\forall x \in U \ , \ \sum_{X} E(x) = 일정 \qquad (3.1)$$

단, U : $_{ng}P_{ng}$ = ng! 개의 발전기 투입순서를 달리한 발전기 투입순서의 전체집합
E(x): x의 투입순서에 따른 각 발전기의 발전량기대치

3.2 에너지제약을 갖는 발전기의 운전모의

기존의 발전시뮬레이션에서 에너지제약을 갖는 수력기 및 양수기의 운전모의는 화력기를 운전모의한 후, 수력기를 운전모의하고 이의 결과로써 양수기를 다시 운전모의하는 순서로 고려되고 있다.[1] 그러나 이와 같은 방법은 수력기 및 양수기의 사고율을 발전시뮬레이션에 반영하기 위하여 상승적분 및 역상승적분과정을 반복계산 하여야만 하므로 많은 기억 용량 및 계산 시간이 소요된다는 단점을 지니게 된다.

그러므로 본 논문은 이러한 단점을 개선하기 위하여, 화력기 운전모의시에 수력기의 운전에 의한 화력기의 가능감발량과 양수기의 운전에 의한 화력기의 가능감발량 및 예상최대양수동력공급량을 계산할 수 있는 기본적인 양을 미리 계산하여 화력기, 수력기, 양수기의 운전모의를 한번에 행할 수 있는 다음과 같은 알거리듬을 제안한다.

우선 수력기의 운전에 의한 화력기의 가능감발에너지는 수력기가 화력기를 완전감발시켰을 경우의 에너지에 해당하므로, i번째 화력기의 가능감발에너지(DEGEN$_{hyd}$(i))는 i번 화력기의 발전량기대치에서 i번 화력기 이전에 수력기가 투입된 경우의 i번 화력기의 발전량기대치를 빼준 식(3.2)로 계산되어 진다.

$$DEGEN_{hyd}(i) = T \cdot P_i \cdot \int_{U^{i-1}}^{U^{i-1}+C_i} G_i(x)dx - T \cdot P_i \cdot \int_{U^{i-1}+C_h}^{U^{i-1}+C_h+C_i} [P_h \cdot G_i(x) + Q_h \cdot G_i(x-C_h)]dx \qquad (3.2)$$

단, T : 고려대상 기간 [hour]
P_i : i번 화력기의 가동율
Q_i : i번 화력기의 사고율 ($Q_i = 1 - P_i$)
C_i : i번 화력기의 용량 [MW]
Q_h : 수력기의 사고율 ($Q_h = 1 - P_h$)
P_h : 수력기의 가동율
C_h : 수력기의 용량 [MW]

$$U^{i-1} = \sum_{k=1}^{i-1} C_k$$

$G_i(x)$: i-1번 발전기까지 투입된 부하지속곡선

그런데 식(3.2)에서 i번 화력기 이전에 수력기가 투입된 경우의 i번 화력기의 발전량기대치를 계산하기 위해서는 $G_i(x)$에 수력기의 사고율을 다시 한 번 상승적분시키는 과정이 필요하므로 결국 $G_i(x)$ 및 $G_i(x-C_h)$로부터 발전량기대치를 계산하게 된다. 그러나 식(3.2)에서 $G_i(x-C_h)$는 결국 $G_i(x)$를 평행이동시킨 결과이므로 $G_i(x)$로부터 $G_i(x-C_h)$의 적분치에 해당하는 에너지를 적분구간을 달리하여 직접 구할 수 있다. 식(3.3)은 이의 계산결과를 보인 것이며 여기서 수력기에 의한 화력기의 가능감발에너지는 오직 화력기만으로 구성된 등가부하지속곡선 $G_i(x)$만을 이용하여 계산하게 된다.

$$DEGEN_{hyd}(i) = T \cdot P_i \cdot P_h \left[\underbrace{\int_{U^{i-1}}^{U^{i-1}+C_i} G_i(x)dx}_{①} - \underbrace{\int_{U^{i-1}+C_h}^{U^{i-1}+C_h+C_i} G_i(x)dx}_{②} \right] \qquad (3.3)$$

한편 양수기가 계통에 병입된 경우 양수기의 운전에 의한 i번 화력기의 가능감발에너지(DEGEN$_{pump}$(i))는 수력기의 운전에 의해 감발된 화력기의 발전량기대치에서 수력기 및 양수기가 모두 운전된 경우의 화력기의 발전량기대치를 빼준 식(3.4)로 계산된다.

$$DEGEN_{pump}(i) = T \cdot P_i \cdot \int_{U^{i-1}+C_h}^{U^{i-1}+C_h+C_i} [P_h \cdot G_i(x) + Q_h \cdot G_i(x-C_h)]dx - T \cdot P_i \cdot \int_{U^{i-1}+C_h+C_p}^{U^{i-1}+C_h+C_p+C_i} [P_p \cdot \{P_h \cdot G_i(x) + Q_h \cdot G_i(x-C_h)\} + Q_p \cdot \{P_h \cdot G_i(x-C_p) + Q_h \cdot G_i(x-C_h-C_p)\}]dx \qquad (3.4)$$

식(3.4)를 수력기의 운전모의에 의한 화력기의 가능감발에너지를 계산할 때와 같은 이유로서 적분구간을 달리한 $G_i(x)$만의 관계로 정리하면 식(3.5)와 같다.

$$DEGEN_{pump}(i) = T \cdot P_i \cdot P_p \cdot \left[P_h \cdot \left[\underbrace{\int_{U^{i-1}+C_h}^{U^{i-1}+C_h+C_i} G_i(x)dx}_{②} - \underbrace{\int_{U^{i-1}+C_h+C_p}^{U^{i-1}+C_h+C_p+C_i} G_i(x)dx}_{④} \right] - Q_h \cdot \left[\underbrace{\int_{U^{i-1}}^{U^{i-1}+C_i} G_i(x)dx}_{①} - \underbrace{\int_{U^{i-1}+C_p}^{U^{i-1}+C_p+C_i} G_i(x)dx}_{③} \right] \right] \qquad (3.5)$$

단, P_p : 양수기의 가동율
Q_p : 양수기의 사고율 ($Q_p = 1 - P_p$)
C_p : 양수기의 용량

한편, 양수기의 운전에 의한 예상최대 양수공급에너지를 계산하기 위해서 양수기는 양수기의 가동률 만큼의 출현 확률을 가진 부하로써 고려된다. 그러므로 i번 화력기의 예상최대 양수동력공급에너지(REGEN$_{pump}$(i))는 양수로 인한 추가부하를 고려한 등가부하지속곡선상에서의 에너지와 이를 고려치않은 경우와의 에너지차이로써 식(3.6)으로 계산된다.

$$REGEN_{pump}(i) = T \cdot P_i \cdot \left[\int_{U^{i-1}}^{U^{i-1}+C_i} [Q_p \cdot G_i(x) + P_p \cdot G_i(x-C_p)]dx - \int_{U^{i-1}}^{U^{i-1}+C_i} G_i(x)dx \right] \qquad (3.6)$$

앞서와 마찬가지로 식(3.6)을 적분구간을 달리한 $G_i(x)$만의 관계로 정리하면 식(3.7)과 같다.

$$REGEN_{pump}(i) = T \cdot P_i \cdot P_p \cdot \left[\underbrace{\int_{U^{i-1}-C_p}^{U^{i-1}+C_i-C_p} G_i(x)dx}_{⑤} - \underbrace{\int_{U^{i-1}}^{U^{i-1}+C_i} G_i(x)dx}_{①} \right] \qquad (3.7)$$

식(3.3), 식(3.5), 식(3.7)에서와 같이 수력기의 운전에 의한 화력기의 가능감발에너지와 양수기의 운전에 의한 화력기의 가능감발에너지 및 예상최대양수동력공급량을 계산하는 데는 화력기만을 차례로 계통에 투입하며 구하게 되는 등가부하지속곡선만으로 계산 가능 하며 수력기 및 양수기의 운전모의를 위한 상승적분 및 역상승적분의 과정의 반복계산절차는 불필요하다. 즉 화력기를 우선 순위법에 의해 계통에 병입시키면서 동일한 등가부하지속곡선의 적분구간만을 달리한 ①~⑤항만 계산해 놓으면 이들을 이용하여 식(3.3), (3.5) 및 식(3.7)

로써 수력기 및 양수기의 운전모의에 의한 증발에너지 및 감발에너지를 구할 수 있으므로 기억용량 및 계산소요시간을 대폭 감축시킬 수 있다.

이와 같은 결과를 사용하여 수력기를 운전모의할 경우에는 수력기의 에너지 제약에 때문에 완전히 감발되지 못하고 부분적으로만 감발되는 불완전감발 화력기만을 찾으면 된다. 이러한 불완전 감발화력기K는 수력기의 에너지 제약을 이용한 식(3.8)로써 쉽게 구할 수 있으며

$$\sum_{i=K-1}^{ng} DEGEN_{hyd}(i) \le E_h^* \le \sum_{i=K}^{ng} DEGEN_{hyd}(i) \qquad (3.8)$$

단, K : 수력기에 의해 불완전 감발 되는 화력기
E_h^* = (수력기의 에너지 제약) - (수력기를 모든 화력기 다음에 투입시킨 경우의 발전량 기대치)
ng : 화력기의 대수

식(3.8)에 의해 결정된 불완전 감발되는 화력기K의 부분감발 에너지는 에너지불변성을 이용하여 식(3.9)로 계산된다.

$$\text{화력기K의 부분감발량} = E_h^* - \sum_{i=K+1}^{ng} DEGEN_{hyd}(i) \qquad (3.9)$$

그러므로 그림(1)와 식(3.8),(3.9)로부터 화력기와 수력기의 운전모의시의 각 화력기의 발전량기대치 및 수력기의 투입위치는 식(3.10)으로 결정된다.

$$GETH(i) = \begin{cases} GET(i) & i=1,,k-1 \\ GET(i)-E_h^*+\sum_{i=K+1}^{NG} DEGEN_{hyd}(i) & i=k \\ GET(i)-DEGEN_{hyd}(i) & i=k+1,,NG \end{cases} \qquad (3.10)$$

단, GET(i) :화력기만의 운전모의시, 화력기i의 발전량기대치
GETH(i) :화력기 및 수력기 운전모의시, 화력기i의 발전량기대치

또한 양수기까지 고려된 화력기의 발전량기대치를 계산함에 있어서는 식(3.5), 식(3.7)로 미리 계산된 양수기에 의한 각 화력기의 가능감발량 및 예상최대양수동력공급량을 사용한다.

이때 계통의 운전비용을 줄이기 위하여 양수동력을 추가로 공급하는 발전단가가 낮은 화력발전기의 양수동력공급증분비용과 양수발전에 의해 감발되는 화력발전기의 경제성을 식(3.11)로 비교한다. 물론 이때에 감발 에너지의 합, 즉 양수기의 발전량이 주어진 양수에너지보다 커지지 않는다는 에너지제약식(3.12)도 함께 고려하게 된다.

$$\lambda(m) / \lambda(k) \le \eta_p\eta_g \qquad (3.11)$$

단, $\lambda(m)$: m 발전기의 양수동력 공급증분비용
$\lambda(k)$: 발전감소되는 k 발전기의 발전증분비용
m = 1, 2, ····
k = ng, ng-1, ····
$\eta_p\eta_g$: 양수기의 종합효율

$$\sum_{k\in\{PG_{max}\}} GEP(k) \le ENER_P \qquad (3.12)$$

PG_{max} : 발전감소되는 발전기의 집합
$ENER_P$: 양수의 에너지제약

양수기 운전모의의 구체적인 절차는, 식(3.11) 및 식(3.12)에 m은 우선순위법, k는 역우선순위법에 의하여 차례로 발전기를 투입시키며 (3.11)의 경제성평가식과 (3.12)의 에너지제약식을 모두 만족시키는 m과 k로 부터 구해질 발전량기대치는 식(3.13)과 같게 된다.

$$\left.\begin{aligned} GETHP(k) &= GETH(k) - \sum_m \Delta_{mk} * \eta_p\eta_g \\ GETHP(m) &= GETH(m) + \sum_k \Delta_{mk} \end{aligned}\right\} \qquad (3.13)$$

단, GETHP(·) :수력기 및 양수기 운전모의후, 각화력기의 발전량기대치
GETH(·) :수력기 운전모의후, 각화력기의 발전량기대치
Δ_{mk} : 화력기k의 감발에너지를 담당하는 m번화력기의 양수동력공급량

$$\left(0 \le \sum_m \Delta_{mk} * \eta_p\eta_g \le DEGEN_{pump}(k) \right)$$

$$\left(0 \le \sum_k \Delta_{mk} \le REGEN_{pump}(m) \right)$$

만약 m과 k가 (3.11)의 경제성평가식과 (3.12)의 에너지제약식중 어느 하나라도 만족시키지 못하면, 더이상 양수운전을 해야 할 경제성이 없고 에너지제약에 저촉되기 때문에 양수운전 모의는 종료된다.

4. 사례연구

4.1 시험계통의 특성자료

본 연구에서 제시한 에너지불변성을 사용한 MOCA법에 의한 발전시뮬레이션 앨거리듬을 한국전력계통에 적용하여 그 결과를 수력기 및 양수기의 운전모의를 상승적분 및 역상승적분의 과정을 통하여 행한 기존의 방법에 의한 결과와 비교하여 제안한 앨거리듬의 유용성을 검증하였다. 시험계통의 특성자료는 표 1과 같다.

표.1 한국전력계통의 특성자료 (1991 년도)

화력기	총설비용량 [MW] 총발전기수 사고율	19434 54 0 - 0.2924
수력기	용량 [MW] 사고율 에너지제약 [GWH]	1499 0.04297 2626248
양수기	용량 [MW] 사고율 에너지제약 [GWH] 종합효율	1000 0.0001 235000 0.70
부하	최대부하 [MW] 최소부하 [MW] 부하율	17567 7930 0.691759

4.2 적용결과

우선 본 연구에서 제안한 앨거리듬의 정확성을 검토하기 위하여 제안한 앨거리듬에 의한 결과(제안한 방법)와 역상승적분과정으로써 수력기 및 양수기의 운전모의를 행한결과(기존의 방법)를 수요예측의 오차를 0%로 하여 화력기, 수력기 및 양수기가 차례로 투입된 경우의 각 발전기의 발전량기대치오차로 비교하였다. 여기서 발전기의 상승적분과정은 두 방법 모두 연구자들이 앞서 그 정확성을 검증한 바 있는 Mixture of Cumulants Approximation 방법을 사용하였다.[2]

그림 1는 수력기 및 양수기가 차례로 투입된 경우, 수력의 첨두부하삭감운전에 의한 각 화력기의 감발량 및 수력기가 투입된 상태에서 양수기의 운전에 의한 화력기의 감발량 및 양수동력공급량을 계산한 결과이다.

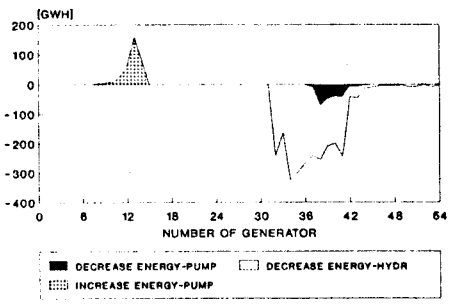

그림 1. 수력 및 양수에 의한 화력기의 감발량 및 증발량

그림 1에서 제안된 방법, 기존의 방법 모두에서 수력기의 운전모의에 의한 화력기의 감발은 #32에서 #54까지로 수력기의 에너지제약인 2626248 [Mwh]만큼 이루어지고 있으며, 양수기의 운전모의에 의해 증발되는 화력발전기는 #7에서 #14, 재감발되는 화력기는 #37에서 #54으로 증발량은 양수기의 에너지제약을 종합효율로 나눈 335714 [Mwh]로 정확히 이루어짐을 알 수 있다.

그림 2는 Method2에 의한 결과를 기준으로 한 경우 각 발전기의 발전량기대치의 오차를 보인것이며, 발전량기대치의 오차는 식(4.1)로 계산하였다.

$$ERROR(i) = \frac{GE_{METHOD1}(i) - GE_{METHOD2}(i)}{GE_{METHOD2}(i)} \times 100 \qquad (4.1)$$

단, $GE_{METHOD1}(i)$: 제안된 방법으로 구한 화력기 i의 발전량기대치

$GE_{METHOD2}(i)$: 기존의 방법으로 구한 화력기 i의 발전량기대치

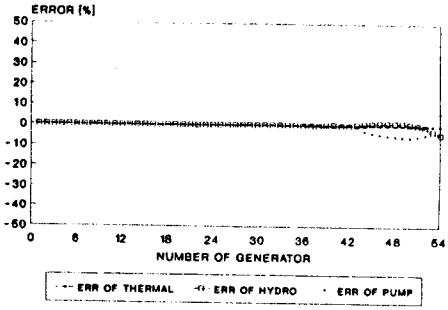

그림 2. 발전량기대치 오차의 비교

또한 이때의 계산 시간은 표 2와 같다. 표 2에서 제안된 방법의 계산소요시간은 기존의 방법의 계산소요시간을 기준으로 한 상대시간으로 비교하였다.

표.2 한국전력계통의 계산소요시간의 비교

	부하의 수요 예측 오차	
	고려하지 않은 경우	고려한 경우
기존의 방법	1*	2.4
제안된 방법	0.45	1.6

(* : 계산소요시간의 기준)

그림 1 및 그림 2에서 보는 바와 같이 제안한 방법에 의한 발전량기대치를 기존의 방법에 의한 결과와 비교해 볼 때 화력기만 운전모의한 경우에는 그 결과가 두 방법에서 완전히 일치하고 있으며 수력기까지 운전모의한 경우에는 첨두부하를 담당하는 발전기에서 최대 약 4 %, 양수기까지 운전모의한 경우에는 최대 약 ±6 % 의 오차만을 보이고 있음을 알 수 있는 바 이는 제안한 앨거리듬에 의한 결과의 정확성을 입증하고 있다.

한편, 표 2에서 계산소요시간을 비교해 볼 때 수요예측의 오차를 고려하지 않은 경우 제안된 방법이 기존의 방법에 비해 약 2.2 배 정도 신속함을 알 수 있다. 반면에 수요예측의 오차를 고려한 경우에는 수요예측의 오차량에 관계없이 수요예측의 오차를 고려하지 않은 경우에 비해 약 3.56 배의 계산소요시간이 증가하고 있다. 그림 1, 그림 2 및 표 2로부터 제안한 앨거리듬은 발전시뮬레이션에서 요구하고 있는 계산결과의 정확성 및 계산시간의 신속성 양자를 모두 만족시키고 있음을 알 수 있다.

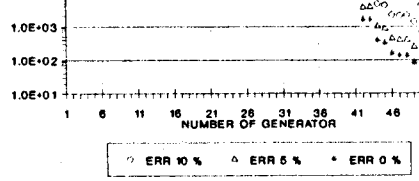

그림 3. 화력기 수력기 및 양수기 운전모의 후 각 화력기의 발전량기대치

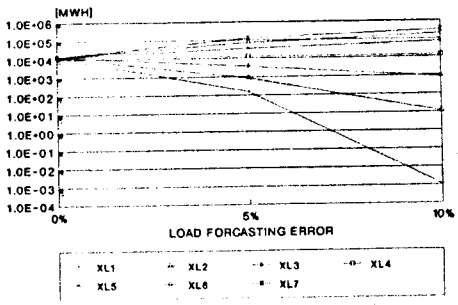

그림 4. 첨두부하 담당 발전기의 각 구간부하에 대한 발전량기대치

또한, 수요예측의 오차를 각각 0%, 5%, 10%로 한 경우 화력기 수력기 및 양수기가 운전모의 된 후의 각발전기의 발전량기대치는 그림 3과 같으며 이때 수요예측의 오차에 따른 첨두부하담당용발전기의 각구간 부하에 대한 발전량기대치는 그림 4와 같다.

5. 결 론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 계통의 부하분포 및 발전기 사고용량확률분포를 Mixture of Cumulants 로 표현하는 Mixture of Cumulants Approximation 방법을 사용하여 실계통을 운전모의 할 수 있는 종합적이고, 효율적인 확률론적 발전시뮬레이션 기법을 개발하였다.

(2) 특히, 에너지불변특성을 양수기의 운전모의에까지 확장하여 역상승절차 없이 수력기 및 양수기의 운전모의를 화력기의 운전모의와 함께 고려하도록하여 계산소요시간을 대폭 절감시킬 수 있었다.

(3) 수요예측의 오차를 고려한 경우의 부하모형에 대한 발전시뮬레이션의 계산절차를 정식화하고, 이에대한 발전량기대치를 산정함으로써 보다 유연한 계통정보를 도출할수 있도록 하였다.

(4) 차후, 수력기 및 양수기의 개별특성을 반영할 수 있는 모형의 개발이 요구되며, 아울러 최근 활발히 연구가 진행되고 있는 에너지저장설비까지 고려한 발전시뮬레이션 앨거리듬의 개발이 연구과제라 생각된다.

6. 참고 문헌

[1] 한국전력공사 전원계획부 : " 발전연료비 계획기법 및 모형개발(KECOSIM) ", 한국전력공사 연구보고서, 1982, 12.

[2] 송 길영, 김 용하 : " Mixture of Cumulants Approximation 법에 의한 발전시뮬레이션에 관한 연구 ", 대한전기학회논문지, 40-1-1, pp.1-9, 1991, 1.

[3] K.Y. Song, Y.H. Kim : " A study on the Probabilistic Production Cost Simulation by the Mixture of Cumulants Approximation ', 일본전력기술연구회, PE-90-118, pp. 11-21, 1990, 7.

[4] R. Billinton ; 'Power System Reliability Evaluation', Gordon and Breach, Science Publishers. pp.92-109.

[5] R.N. Allan, R. Billinton and N.M.K. Abdel-Gawad; 'The IEEE Reliability Test Systems - Extensions to and Evaluation of the Generating System', IEEE Transactions on Power Systems, Vol.PWRS-1, NO.4 November 1986.