

MIXTURE OF CUMULANTS APPROXIMATION 법에 의한 발전시뮬레이션에 관한 연구

송길영* 김용하^② 차준민*

* : 고려대학교

A STUDY ON THE PROBABILISTIC PRODUCTION COST SIMULATION BY THE MIXTURE OF CUMULANTS APPROXIMATION

K.Y. SONG* Y.H. KIM* J.M. CHA*

* : Korea University

ABSTRACT : This paper describes a new method of calculating expected energy generation and loss of load probability (L.O.L.P) for electric power system operation and expansion planning. The method represents an equivalent load duration curve (E.L.D.C) as a mixture of cumulants approximation (M.O.C.A), which is the general case of mixture of normals approximation (M.O.N.A). By regarding a load distribution as many normal distributions—rather than one normal distribution—and representing each of them in terms of Gram-Charlier expansion, we could improve the accuracy of results. We developed an algorithm which automatically determines the number of distribution and demarcation points. In modelling of a supply system, we made subsets of generators according to the number of generator outage: since the calculation of each subset's moment needs to be processed rapidly, we further developed specific recursive formulae. The method is applied to the test systems and the results are compared with those of cumulant, M.O.N.A and Booth-Baleriaux method. It is verified that the M.O.C.A method is faster and more accurate than any other methods.

1. 서론

근래에 전력계통의 구성이 복잡, 다양해지고 그 규모가 대형화됨에 따라 계통의 발전비용 및 신뢰도지수를 제공해주는 발전시뮬레이션의 역할은 더욱 중대되고 있다. 이러한 발전시뮬레이션에 있어서 중요한 관심사는 계산결과치의 정확성 및 계산시간의 신속성이므로 이의 개선을 위하여 발전기 및 부하의 상승적분절차와 등가부하지속곡선의 표현을 달리한 다각적인 연구가 진행되고 있다. 이들은 E.L.D.C 의 표현방법에 따라 크게 Exact 법 및 Approximate 법으로 구분지을 수 있다.

Exact 법이란 부하의 확률분포와 발전기의 사고용량분포를 직접 수치적으로 상승적분함으로써 계통의 E.L.D.C 를 구하는 방법으로서 계산의 결과치는 아주 정확하나 계통의 규모가 커짐에 따라 소요시간이 지수함수적으로 증가하는 단점을 갖게된다.⁽¹⁾

Approximate 방법이란 계통의 E.L.D.C 를 여러가지 변환 (Transformation) 이나 급수 (Series) 를 사용하여 해석적으로 구하는 방법으로서 이 방법은 Exact 법에 비해 계산 소요시간은 바르나 결과치의 정확성이 떨어진다.⁽²⁾ Approximate 방법중 Cumulant 법이 계산속도가 빠르고 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있으므로 근래에 많이 사용되고 있으나, 이 방법에서 중앙극한처리는 모집단 표본의 갯수가

충분히 큰 경우에 적용이 가능하며 Edgeworth, Gram-charlier Expansion 은 정규분포를 가정하고 있으므로 계통의 규모가 작거나 사고율이 낮은 발전기를 포함하고 있는 계통에서는 결과치가 부정확하며 Cumulant 의 차수를 추가하여도 반드시 결과치의 정확성을 개선시키지 못하는 단점을 내포하고 있다.^(2,6)

이러한 Cumulant 법의 단점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 부하의 분포를 하나의 분포로 취급하지 않고 부하의 multi-modal 특성을 고려한 여러개의 분포로 취급하며, 발전기 또한 계통에 발전기가 투입될때마다 발전기 사고대수에 따른 subset 의 분포로 구하여 이들의 혼합으로써 E.L.D.C 를 표현하는 Mixture of Cumulants Approximation (M.O.C.A) 법을 제안하였다.⁽³⁾ 또한 부하분포의 갯수 및 경계점을 최소화법을 사용하여 자동적으로 결정하는 열거리법을 제안하였으며, 발전기 subset 의 갯수를 결정할 수 있는 지표물 시뮬레이션을 통해 제시하였다.⁽⁴⁾

2. 정식화

확률론적 발전시뮬레이션에 있어서, 고려 대상기간 동안의 부하는 random variable(r.v) L 로써 표현되어지며 이의 누적분포함수, 즉 부하지속곡선 $F_L(X)$ 는 식(2.1)과 같다.

$$F_L(X) = 1 - G(X) \quad (2.1)$$

단, $G(X)$ 는 식(2.2)로 정의되어지는 잔치분

부하지속곡선이다.

$$G(X) = \text{Prob} \{ L > X \} \quad (2.2)$$

계통의 발전기또한 사고용량 r.v 로써 모델링되어진다. C_i 를 i발전기의 용량이라하고 A_i 를 i발전기의 가동용량이라 하면 k번째 발전기까지 투입원후의 유효부하 L_k 는 식(2.3)과 같다.

$$L_k = L + \sum_{i=1}^k (C_i - A_i) \quad (2.3)$$

그러므로 계통의 E.L.D.C인 $L_k(X)$ 는 식(2.4)로써 구하여진다.

$$L_k(X) = \text{Prob} \{ L_k > X \} \quad (2.4)$$

이로부터 K발전기의 발전량 기대치(Expected Energy Served:EES) 계통의 공급부족 전력량 (Expected Unserved Energy:EUE)및 공급부족 지장확률(Loss of Load Probability:LOLP)을 식(2.5)(2.6)(2.7)과 같이 구할수있다.

$$EES_k = T \int_{C_k}^{C_k} L_{k-1}(X) dx \quad (2.5)$$

$$EUE = T \int_{C_N}^{\infty} L_N(X) dx \quad (2.6)$$

$$LOLP = \text{Prob} \{ L_N(X) > C_N \} \quad (2.7)$$

단, $C_k = \sum_{i=1}^k C_i$

T : 부하의 총 지속시간
N : 계통의 총 발전기수

3. MIXTURE OF CUMULANTS APPROXIMATION 법

M.O.C.A 법에 의한 발전시물레이션의 계산은 다음과같은 3단계로 행하여진다. 첫째로, 계통의 부하를 부하의 특성에 따라 여러개의 부하집단으로 구분하여 각 부하집단에 대한 Cumulant 를 계산하며 둘째로, 계통에 발전기가 투입될때마다 발전기사고대수에 따른 subset 를 구성하여 사고용량에 대한 Cumulant 를 계산한후 마지막으로 각 부하집단 및 발전기 subset 에 대한 Cumulant 의 혼합으로써 계통의 등가 부하지속곡선을 표현한다. 본 연구에서는 E.L.D.C 를 4차 Cumulant 의 Gram-charlier A-Type Expansion으로 표현하였으며, 발전기는 기동과 정지의 2개상태로써 모델링하였다.

3.1 계통부하의 표현

고려대상기간 동안의 부하지속곡선이란 시간부하를 크기순으로 나열한것이므로 이를 침투부하, 중량부하 및 기저부하 등의 부하집단으로 구분할 수 있다. 이때 부하집단을 각각 하나의 본포로 취급함으로써 부하의 multi-modal 특성을 고려할 수 있으며 그러므로 정확한 L.D.C 및 E.L.D.C 값을 얻을 수 있다. 특히, 계통의 신뢰도지수를 계산하게되는 E.L.D.C 의 tail 부분에서의 ripple 을 제거함으로써 정확한 신뢰도지수값을 산정할 수있다. 그림. 1 의 (a) 는 IEEE R.T.S 의 L.D.C 를 나타낸것이며 (b) 는 multi-modal 본포의 예를 보인것이다.

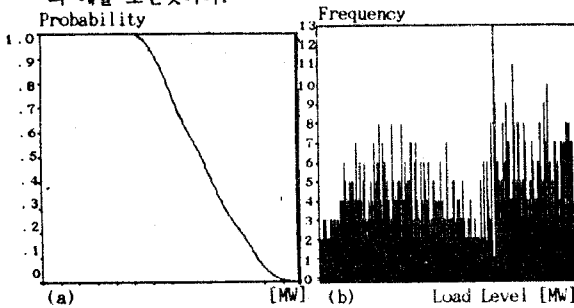


그림. 1 multi-modal 본포의 개념도

계통의 부하는 식 (3.1) 로써 구하여진다.

$$f^*(X) = \sum_{k=1}^K \alpha_k [1 - G.C.E] \quad (3.1)$$

단, K : 부하집단의 갯수

α_k : k 번째

G.C.E = Gram-Charlier A-Type Expansion.

$$= \int_{-\infty}^{\infty} N(Z_k) dZ_k - G_{1k} N^{(2)}(Z_k) / 6 + G_{2k} N^{(3)}(Z_k) / 24 + G_{1k}^2 N^{(5)}(Z_k) / 72$$

$$N(Z_k) = \exp(-Z_k^2/2) / \sqrt{2\pi}$$

Z_k : k번째 부하집단의 표준화 변수
 $= (X - \mu_k) / \sigma_k$

μ_k : k번째 부하집단의 평균

σ_k^2 : k번째 부하집단의 분산

G_{1k} : k번째 부하집단의 표준화 비대칭도

G_{2k} : k번째 부하집단의 표준화 첨예도

$N^{(r)}$: 정규분포의 r차 미분

$$N^{(1)}(Z_k) = -Z_k N(Z)$$

$$N^{(2)}(Z_k) = (Z_k^2 - 1) N(Z_k)$$

$$N^{(r)}(Z_k) = -(r-1)N^{(r-2)}(Z_k) - Z_k N^{(r-1)}(Z_k) \quad (r = 3, 4, 5, \dots)$$

식 (3.1) 은 계통의 L.D.C 를 여러개본포의 혼합으로 나타내고 있으며, 이의 구체적인 계산절차는 다음과같다.

단계. 1 계통의 부하를 k 개의 부하집단으로 구분한다. 이때 부하경계점은 다음과같이 자동으로 선정되어진다.

(1) 계통의 부하를 등간격의 segment 로 나누고 각 segment 마다 부하지속시간 및 부하크기에 대한 first moment 를 식 (3.2) 로써 계산한다.

$$m_1^k = \frac{K \text{ 번째 segment 의 부하지속시간의 합}}{K \text{ 번째 segment 의 부하갯수의 합}} \quad (3.2)$$

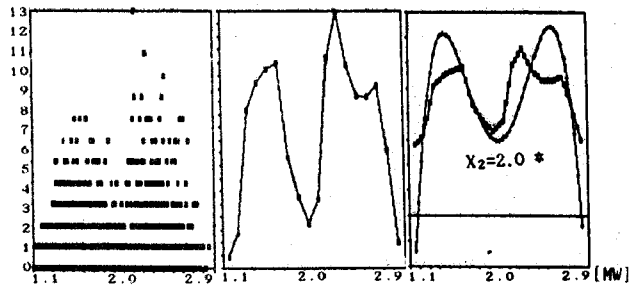
$$m_2^k = \frac{K \text{ 번째 segment 의 부하크기의 합}}{K \text{ 번째 segment 의 부하갯수의 합}}$$

(K = 1, 2, ... NS)

단, NS ; Segment의 갯수

(2) (1)에서 계산된 m_1^k 및 m_2^k 를 각각 독립변수 및 종속변수로하여 이들의 함수관계를 최소자승법으로 구한다. 이때 원래의 부하형태를 정확히 표현하기위하여 주어진 자료 사이에 내삽을 한다. 본 연구에서는 일반적인 회귀분석방법인 normal equation 법은 normal equation 이 약조건에 있을 경우 결과가 부정확하므로 Chebyshev 법을 사용하였으며 내삽법으로는 Lagrangian 법을 사용하였다.

(3) (2)에서 구해진 다항식을 미분하여 대수방정식을 풀어 극값 ($x_1=1.4, x_2=2.0, x_3=2.0$) 을 구한다. (2)에서 구해진 다항식의 최고차항의 계수는 음이며 최고차항의 차수는 짝수이므로 극값중 극값 ($x_2=2.0^*$) 이 부하경계점이 된다. 그림. 2 는 상술한 계산절차의 한 예로써 IEEE R.T.S 에 대한 결과를 보인것이다.



(1) 계통부하 (2) segment 부하 (3) 내삽 및 회귀분석

Fig. 2 부하경계점선정의 계산절차

단계. 2 식 (3.3) 으로서 각 부하집단에 대한 Cumulant 를 계산한다.

$$LK_1^k = LM_1^k \quad (3.3)$$

$$LK_2^k = LM_2^k - (LM_1^k)^2$$

$$LK_3^k = LM_3^k - 3 LM_2^k LM_1^k + 2 (LM_1^k)^3$$

$$LK_4^k = LM_4^k + 6 LM_2^k (LM_1^k)^2 - 4 LM_3^k LM_1^k - 3 (LM_1^k)^4 - 3 (LK_2^k)^2$$

단, LK_i^k : k 번째 부하집단의 i 번째 Cumulant

LM_i^k : k 번째 부하집단의 i 번째 Moment

$$LM_i^k = (1/T^k) \sum_{i=1}^{N^k} (L_i^k)^i$$

i = 1, 2, 3, 4

N^k : k 번째 부하집단의 부하의 수

T^k : k 번째 부하집단의 부하지속시간

L_i^k : 시간 t 에서의 k 번째 부하집단의 시간부하

단계. 3 각 부하집단에 대한 α_k 를 계산한다. 여기서 α_k 는 부하가 k번째 부하집단에 속할 확률값으로 계산되는

부하집단의 가중치로서 식 (3.4) 로써 계산되어진다.

$$\alpha_k = \frac{k \text{ 번째 부하집단의 총부하지속시간}}{\text{고려대상기간동안의 총부하지속시간}} \quad (3.4)$$

단, $\sum_{k=1}^k \alpha_k = 1$, $\alpha_k \geq 0$

3.2 발전계통의 표현

계통에 발전기가 투입될때마다 발전기고장대수에 따라 각 발전기 subset 을 구성하고 각 subset 에 대한 moment 를 계산한다. 또한 발전기 subset 의 가중치는 식 (3.5) 로써 계산되어진다. 여기서 $\beta_{n,j}$ 는 n대의 발전기가 계통에 투입되었을때 j대의 발전기가 고장날 확률값으로 계산되어지는 j subset의 가중치이다.

$$\beta_{n,0} = \beta_{n-1,0} \times P_n \quad (3.5)$$

$$\beta_{n,j} = \beta_{n-1,j} \times P_n + \beta_{n-1,j-1} \times q_n, \quad 0 < j < r$$

$$\beta_{n,r} = \beta_{n-1,r-1} \times q_n$$

단, P_n : n 번째 발전기의 가동률
 q_n : n 번째 발전기의 사고률
 $r = n+1$.

그런데 계통의 규모가 커지면 발전기고장대수에 따른 발전기 subset 수가 증가하며 이에따라 각 subset 의 moment 를 계산하기위한 소요시간이 증대하게 된다. 또한 이때 여러대의 발전기가 동시에 고장날 확률은 아주 작으므로 본 논문에서는 계산소요시간의 단축을 위하여 r 대 이상의 발전기가 고장날 경우를 1개의 subset 로 aggregation 하도록 하였다. 이때 각 subset 에 대한 Cumulant 는 식 (3.7) 과 같이 계산된다.

$$GC1_{n,j} = \mu_{n,j} \quad (3.7)$$

$$GC2_{n,j} = \sigma^2_{n,j} - (\mu_{n,j})^2$$

$$GC3_{n,j} = \nu_{n,j} - 3 \sigma^2_{n,j} \mu_{n,j} + 2 (\mu_{n,j})^3$$

$$GC4_{n,j} = \kappa_{n,j} + 6 \sigma^2_{n,j} (\mu_{n,j})^2 - 4 \nu_{n,j} - 3 (\mu_{n,j})^4 - 3 (GC2_{n,j})^2$$

단, $GC1_{n,j}$: n 대의 발전기가 계통에 투입되었을 때 subset j 의 1 번째 Cumulant

3.3 E.L.D.C 계산 및 발전량, 신뢰도지수의 계산

계통부하와 발전기 사고용량 r.v 를 상충적본한 E.L.D.C 는 각 부하집단의 Cumulant 에 각 발전기 subset 의 Cumulant 를 각각 더하여 이들의 가중치를 각각 곱함으로써 식 (3.8) 과 같이 구할 수 있다.

$$E.L.D.C(n) = 1 - \sum_{k=1}^k \sum_{j=0}^r \alpha_k \beta_{n,j} \int_{-\infty}^{Z_n} N(Z_s) dZ_s + (G1^k_{n,j} / 3!) N^{(2)}(Z_s) - (G2^k_{n,j} / 4!) N^{(3)}(Z_s) - (10 / 6!) (G1^k_{n,j})^2 N^{(5)}(Z_s) \quad (3.8)$$

단, E.L.D.C (n) : n 대의 발전기가 계통에 투입되었을 때의 E.L.D.C

$$Z^k = \frac{X - \mu^k_{n,j}}{\sigma^k_{n,j}} = Z_s$$

$$N(Z) = (1/\sqrt{2\pi}) \times \exp(-Z^2/2)$$

$$N^{(N)}(z) = \text{정규분포의 N 차 미분}$$

E.L.D.C 계산을 위한 구체적인 계산절차는 다음과 같다.

단계 1. 각 부하집단의 Cumulant 에 발전기 subset 의 Cumulant 를 더하여 Equivalent Load Cumulant 를

계산한다.

$$ELK^k_{i,n,j} = LK^k_{i,j} + GC1_{n,j} \quad (3.9)$$

단, $i = 1, 2, 3, 4$
 $j = 0, 1, 2, \dots, r$
 $k = 1, 2, 3, \dots, K$

단계 2. Gram-Charlier expansion 의 계수를 구한다.

$$\mu^k_{n,j} = ELK1^k_{n,j};$$

$$\sigma^{2k}_{n,j} = ELK2^k_{n,j};$$

$$G1^k_{n,j} = ELK3^k_{n,j} / (\sigma^k_{n,j})^3;$$

$$G2^k_{n,j} = ELK4^k_{n,j} / (ELK2^k_{n,j})^2;$$

단계 3. E.L.D.C 를 계산한다.

각 발전기의 발전량 및 신뢰도지수를 식 (2.4), (2.5) 및 (2.6) 으로 계산한다.

4. 적용예

본연구에서 제안한 M.O.C.A법을 EPRI-D계통, IEEE-RTS 및 Texas Electric System에 적용하여 그결과를 Booth-Baleriaux, Cumulant 및 M.O.N.A.법과 비교하였다. 표 1. 은 이들 계통의 특성을 보인것이다.

표 1. 시험계통의 특성자료

	IEEE R.T.S	EPRI - D	TEXAS
Installed Cap.	3405	11420	4466
Peak Load	2850	8740	3350
No. of Units	32	60	27

그림 3.(a)는 각 부하집단 L.D.C의 중첩에 의한 IEEE RTS의 L.D.C를 보인것이며 이때 부하집단 경계점은 (b)와 같다.

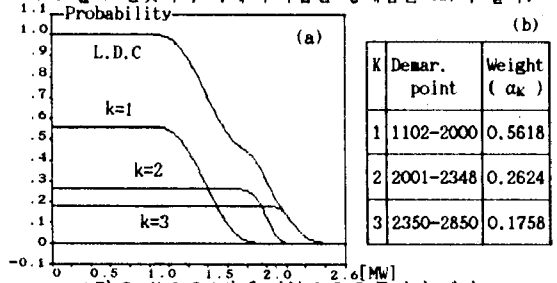


그림 3. M.O.C.A법에 의한 L.D.C 구성의 개념도

그림 3.에서 보는바와 같이 M.O.C.A법에 의한 계통의 L.D.C 는 부하집단 가중치 α_k 로써 각 부하집단의 L.D.C를 중첩시켜 구해진다. 이때 각 부하집단은 정규분포에 유사한 형태를 갖도록 구분되어지므로 M.O.C.A법에 의한 L.D.C는 Booth-Baleriaux법에 의한 L.D.C와 거의 일치하고 있다.

본 연구에서 제안한 부하 경계점 선정 알고리즘의 유용성을 검증하기 위하여 부하집단의 갯수 및 부하집단의 경계점을 변화시켜 가며 에너지, Maximum error (err_{max}), Average error (err_{mean}) 및 Square average error (err_{s-mean})를 IEEE R.T.S 에 대해 계산한 결과가 표. 2와 같다. 표. 2에서 Case 1,2,3,4,5 는 off-line 으으로써 부하집단의 갯수 및 경계점을 선정한 경우이며, Case 6 은 본 연구에서 제안한 algorithm 으으로써 계산한 결과이다.

표 2.에서 err_{max} , err_{mean} , err_{s-mean} 은 식 (4.1), (4.2), (4.3) 으로 계산하였다.

$$err_i = err(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, I$$

$$err(x) = Z(x) - Z^b(x)$$

단, I : 자료의 갯수

$Z(x)$: x에서의 L.D.C 계산값

$Z^b(x)$: x에서의 L.D.C 계산값

표 2.에서 err_{max} , err_{mean} , err_{s-mean} 은 식 (4.1), (4.2), (4.3) 으로 계산하였다.

$$err_i = err(x_i), i = 1, 2, \dots, I$$

$$err(x) = \mathcal{L}(x) - \mathcal{L}^b(x)$$

단, I ; 자료의 갯수
 $\mathcal{L}(x)$; x에서의 L.D.C 계산값
 $\mathcal{L}^b(x)$; x에서의 L.D.C 계산값

$$err_{max} = \{ \text{Sign } err_i^{***} \} \hat{err}_{max} \quad (4.1)$$

단, $\hat{err}_{max} = \text{Max} \{ \text{Abs}(err_i) ; 1 \leq i \leq I \}$
 i^{***} ; err_i 가 최대인 지표값

$$err_{mean} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^{I-1} \frac{err_i + err_{i+1}}{2} \quad (\text{등간격의 경우}) \quad (4.2)$$

$$err_{s-mean} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^{I-1} \frac{err_i^2 + err_{i+1}^2}{2} \quad (\text{등간격의 경우}) \quad (4.3)$$

표 2.로부터 본 논문에서 제안한 방법에 의한 여러 지표값과 off-line 으로 계산된 값과는 거의 일치하고 있음을 알 수 있으며, 이로써 본 알고리즘의 유용성을 검증할 수 있었다.

표 2. IEEE R.T.S 계통에 대한 부하집단 및 경계점 선정의 영향

K	Weighting factor	Energy	err_{max}	err_{mean}	err_{s-m}
①	2 0.56, 0.44	4163695	-0.01608	-0.0054	.00061
②	0.82, 0.18	4163862	-0.01418	-0.0054	.00062
③	3 0.34, 0.28, 0.38	4163696	-0.01523	-0.0054	.00061
④	4 0.22, 0.24, 0.16, 0.38	4163698	-0.01510	-0.0054	.00061
⑤	0.56, 0.19, 0.13, 0.12	4163704	-0.01667	-0.0054	.00062
⑥	3 0.56, 0.26, 0.18	4163709	-0.01665	-0.0054	.00060

표 3.은 발전기 subset 의 갯수를 변화시키면서 Booth-Baleriaux 법에 의한 발전량을 기준으로 한 경우 각 발전기의 발전량 기대치 오차률 %로 나타낸 것이다.

$$EES^*_{xerr} = (EES^* - EES^{*booth}) / EES^{*booth} \times 100 \quad (4.4)$$

표 3. 발전기 Subset 갯수의 영향

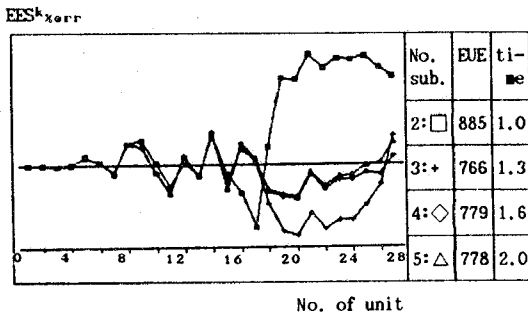


표 3.에서와 같이 발전기 subset 의 수를 변화시켜도 E.U.E 값에는 큰 차이가 없으나 계산소요시간은 subset 의 수에 비례하여 증가하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 발전기 subset 의 갯수를 각 발전기의 사고율로써 계산되어지는 가중치의 값이 10^{-5} 보다 작은 경우에는 하나의 subset 로 계산하여도 결과에 차이가 없음을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

마지막으로 각 시험계통에 대해 E.U.E값 및 L.O.L.P값을 비교한 결과는 표 4.와 같다.

표 4. 각 시험계통에 대한 E.U.E, L.O.L.P의 비교

METHOD	INDICES	IEEE R.T.S	EPRI - D	TEXAS	Time
Booth	EUE	831	742	3999	5.2
	LOLP	0.002894	0.000004	0.002099	
Cumulant	EUE	678	948	129243	1.0
	LOLP	0.002361	0.000014	0.005119	
M.O.N.A	EUE	1035	6766	4567	1.2
	LOLP	0.002607	0.000001	0.002021	
M.O.C.A	EUE	778	748	3597	1.3
	LOLP	0.002884	0.000003	0.002087	

표 4.에서 보는 바와 같이 Booth-Baleriaux법은 기준으로 한 경우 Cumulant법, M.O.N.A법에 의한 E.U.E, L.O.L.P값은 계통에 따라 부정확한 결과가 얻어지는 반면 M.O.C.A법에 의한 결과는 어떤 계통에서도 Booth-Baleriaux법에 의한 결과와 유사함을 알 수 있다. 계산소요시간면에서는 M.O.C.A법이 Cumulant법에 비해 약 1.3배 정도의 시간을 요하나 Booth-Baleriaux법보다는 약 4배정도가 빠름을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 제안한 M.O.C.A법에 의한 발전시뮬레이션의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

- 발전기 subset에 대한 moment계산식을 유도함으로써 Cumulant의 혼합으로 발전시뮬레이션을 행할수있는 알고리즘을 제안하였으며 발전기 subset을 Aggregation하여 계산량을 감소시켰다. 또한 부하집단의 갯수 및 경계점을 자동으로 선정할수있는 알고리즘을 개발하였다.
- 제안한 알고리즘을 여러가지 모델계통에 적용하여 M.O.C.A법의 안정성을 검토하였다.
- 이로써 M.O.C.A법이 정확성 및 신속성 모두를 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] R.R. Booth: 'Power System Simulation Model Based on Probability Analysis', IEEE, PAS-91, No.1, pp.62-69, 1972.
- [2] M.Mazumdar, etc:'Comparison of Algorithms for Computing Generating-System Reliability Indexes', EPRI EL-2874, Contract TPS 81-822, Feb, 1983.
- [3] K.F. Schenk, etc: 'A New Method for the Evaluation of Expected Energy Generation and Loss of Load Probability', IEEE, PAS-103, NO.2, pp.294-303, 1984.
- [4] R.T. Jenkins, D.S. Joy: 'Wien Automatic System Planning Package (WASP)- An Electric Utility Optimal Generation Planning Computer Code', ORNL-4945, July 1974.
- [5] J.P. Stremel: 'Production Costing for Long Range Generation Expansion Planning Studies', IEEE, PAS-101, NO.3, pp.562-536, 1982.
- [6] D.J. Levy and E.P. Kahn, 'Accuracy of the Edgeworth Expansion of LOLP Calculations in Small Power Systems', IEEE Trans. on Pow. App. & Syst., vol. PAS-101, pp.986-996, April 1982.
- [7] H. Cramer, 'Mathematical Methods of Statistics', Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1974.
- [8] McNutt, N.V.Garapic, 'The Mixture of Normals Approximation of Equivalent Load Duration Curves', EPRI EA/EL-4266, Final Report, Oct. 1985.