

發電시스템의 發電에너지期待值 및 信賴度 計算에 關한 研究

論 文
30~2~2

A New Approach to Calculations of the Expected Energy and Reliability Indices in the Generating System

朴 永 文* · 徐 輔 赫** · 朴 俊 灝**
(Young-Moon Park, Bo-Hyeok Seo, June-Ho Park)

Abstract

This paper derives two new algorithms to calculate the expected energy generated and the reliability indices of a generating system when the loading order of the generating units and the load data of the system are given.

These algorithms use the probabilistic simulation model considering the two-block system, and can be easily extended to the three or more block system if necessary.

Suggested model I is a more improved algorithm from the conventional ones, in which the load duration curve is used as is in any other conventional algorithms.

And model II, by using the newly developed "ENERGY CURVE", remarkably saves the computing time with reducing the computational errors.

Case studies were carried out for the actual load data of Korea Electric Company.

I. 序 論

一般的으로 發電시스템의 發電費用은 施設費, 運轉費 및 failure charge의 합으로 表現할 수 있으며, 이 中에서도 主로 發電에너지量에 比例하는 燃料費 즉 運轉費用에 依해 決定된다고 볼 수 있다. 따라서 運轉費用의 正確, 迅速한 計算알고리즘은 長期電源開發計劃의 樹立 또는 이와 關聯된 分野에서 매우 重要한 要素로 利用될 것으로 믿어진다.

現在까지 使用되고 있는 알고리즘에서는 負荷데이터로부터 最小自乘誤差近似法(Least Squares Error Approximating Method)을 使用하여 最大近似負荷曲線(Load Duration Curve; LDC)을 구하고 있으며, 다시 計算의 便利를 위하여 이의 橫軸과 縱軸을 바꾼 逆負荷曲線(Inverted Load Duration Curve; ILDC)을 구하고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

負荷曲線으로 부터 逆負荷曲線을 구하기 위해서는 現在로써는 ฟู리에급수(Fourier Series)를 利用한 Curve fitting이 가장 많이 쓰이고 있으나, 이렇게 구해진 逆負荷曲線은 ฟู리에급수의 性質上 peak負荷附近에서 振動하는 曲線이 되어 主로 이 附近에서 行하게 되는 信賴度의 計算에서는 根本的으로 解決하기 어려운 問題點을 內包하고 있으며 實際報告된 바로도 매우 不正確하여 거의 믿을수 없는 값으로 되고 있다.⁽²⁾

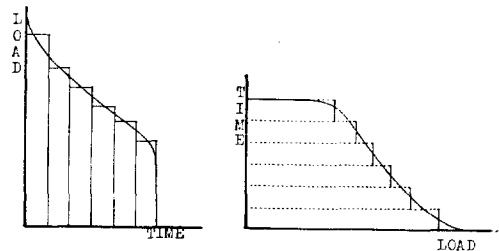


그림 1. 負荷曲線 및 逆負荷曲線
Fig. 1. LDC and ILDC

* 正會員 : 서울大 工大 電氣工學科 教授 · 工博(當學會調查理事)

** 正會員 : 서울大 工大 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 1980年 11月 25日

하여간 適切한 方法에 依해 逆負荷曲線 $L(X)$ 가 구 렵진다면, 이 曲線上의 適當한 區間을 積分함으로써 該當 發電 Unit의 發電에너지 E_i 를 다음과 같이 구할 수 있다.

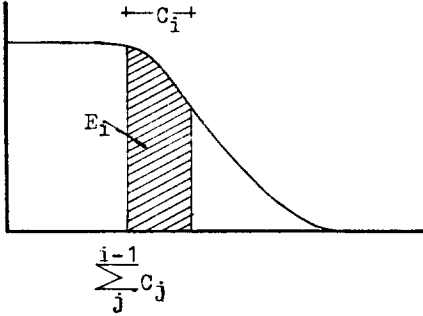


그림 2. 에너지 E_i 의 計算
Fig. 2. Calculation of Energy E_i

$$E_i = T \cdot \int_{a_i}^{b_i} L(X) dX, \quad i=1, 2, 3, \dots, ng \quad (1)$$

여기서,

- i ; 發電Unit의 投入順序
- $L(X)$; 逆負荷曲線 (ILDC)
- T ; $L(X)$ 가 나타내는 週期
- a_i ; $\sum_{k=1}^{i-1} C_k$
- b_i ; $a_i + C_i$
- C_k ; Unit $_k$ 의 發電容量
- ng ; 系內의 發電Unit의 數

만일 모든 發電機의 運轉中 故障發生率이 零이라면 式(1)에서 各 Unit의 發電에너지는 正確히 求해지겠 으나, 實際에 있어서 모든 發電Unit는 豫測할 수 없는 故障의 發生確率(FOR)을 갖고 있으므로 이를 確率의 見地에서 다루어야 할 것이다. 지금 Unit $_i$ 의 FOR을 q_i 라 하고 그 availability를 p_i 라 하면 發電Unit $_i$ 의 投入으로 因해 變化된 等價負荷 曲線(Effective ILDC; ELDC)은 다음과 같이 recursive한 式으로 表現된다. [1, 2]

$$p_i + q_i = 1 \quad (2)$$

$$EL_i(X) = p_i \cdot EL_{i-1}(X) + q_i \cdot EL_{i-1}(X - C_i), \quad (3)$$

$$EL_0(X) = L(X) \quad (3)$$

또한 이때 Unit $_i$ 가 發電할 에너지의 期待值 E_i 는

$$E_i = T \cdot p_i \cdot \int_{a_i}^{b_i} EL_{i-1}(X) dX, \quad (4)$$

$$a_i = \sum_{k=1}^{i-1} C_k, \quad b_i = a_i + C_i$$

로 表現되고, 順序에 따라 모든 發電Unit가 投入된 後 즉 Unit ng 가 投入된 다음 曲線 $EL_{ng}(X)$ 로부터 發電系統의 信賴度인덱스로서 LOLP (Loss of Load

Probability) 또는 ENS (Energy demand Not Served) 를 구할 수 있다. [1]

$$LOLP = EL_{ng}(IC) \quad (5)$$

$$ENS = \int_{IC}^{\infty} EL_{ng}(X) dX \quad (6)$$

여기서

IC; Installed Capacity ($\sum_{k=1}^{ng} C_k$)

LOLP; 負荷가 IC를 초과할 確率, 停電率

ENS; 需要는 있으나 供給치 못할 것으로 期待 되는 電力에너지量

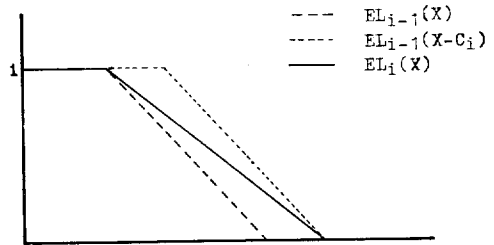


그림 3. 等價負荷曲線
Fig. 3. Effective Load Duration Curve

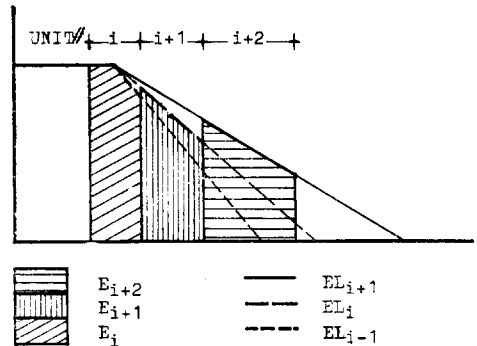


그림 4. 等價負荷曲線과 發電에너지
Fig. 4. Effective Load Duration Curve and Energy

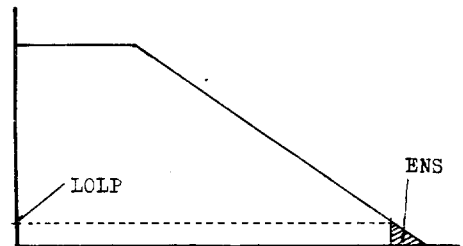


그림 5. 信賴度인덱스의 計算
Fig. 5. Calculation of Reliability Indices

現在 널리 사용되고 있는 알고리즘의 輪廓은 대략 上記한 바와 같다.

그러나 一般的으로 電力系統工學에 關聯된 問題에 있어서는 그 計算量이 매우 龐大해 지기 마련이므로 加급적 計算의 簡略化와 計算時間의 短縮, 아울러 計算의 正確度의 向上이 요구된다.

上記한 既存의 알고리즘에는 最小한 4個所에서 誤差 發生을 甘受하고 있으며 이를 整理하여 보면 다음과 같다.

- i) 負荷데이터로 부터 最大近似多項式을 樹立하는 過程
- ii) 逆負荷曲線을 誘導하는 過程
- iii) 프리에급수의 性質에 起因하는 誤差
- iv) 各 Unit의 에너지 計算을 위해 反復 使用되는 數值積分

이 論文에서는 두 가지의 模型을 通하여 이의 解決을 企하고 있다.

模型 I에서는 可及的 既存의 알고리즘을 따르되 負荷데이터로 부터 直接 逆負荷曲線을 얻어내며 또한 全 시스템을 離散系(Discrete System)로 變換하여 不必要한 計算을 最小로 抑制하며 two-block system을 위한 알고리즘을 開發함으로써 計算의 正確度와 速度를 向上시키고 있다.

또한 模型 II에서는 逆負荷曲線 대신 에너지曲線(Energy Curve)을 使用함으로써 計算을 全過程에 걸쳐 大幅的으로 改善하였으며 計算結果를 模型 I과 比較함으로써 새로운 提示한 에너지曲線의 有用性을 立證하였다.

II. 提示模型 I

II-1. 逆負荷曲線(Inverted Load Duration Curve)

負荷데이터를 크기順으로 羅列하여 橫軸을 負荷 [MW], 縱軸을 持續時間[HOURL]으로 그린 것이 그림 1이다. 여기에 最大近似되는 曲線을 구할 경우 實際에 있어서 이들 데이터는 [MW]로 記錄된 것이 아니라 時間當의 負荷에너지 즉 [MWH/H]의 記錄值이므로 어떤 데이터 X_j 는 그 縱軸에서 나타나는 時間隔 $T_j \sim T_{j+1}$ 間에서 어떠한 形態로인가 分散되어 있다고 생각되며, 또한 이런 觀點에서 볼 때, 逆負荷曲線은 1時間에 比하여 매우 작은 單位의 時間率 까지도 表現하여야 하므로 記錄에는 남아있지 않는 負荷의 分散까지도 再生해 내어야 하며, 當然히 데이터상의 最大 또는 最小 負荷值 보다도 크거나 작은 實際의 Peak 및 Base 負荷值(Reasonable Peak and Base Load)를 考慮하여

야만 할 것이다. 이 값들을 각각 X_p, X_b 라 한다면 주어진 負荷데이터를 크기에 따라 $X_1, X_2, \dots, X_T (X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_T)$ 라 할 때 X_p 및 X_b 는 여러가지 方法으로 推定해낼 수 있다.

이들을 各其

$$X_b = X_1 - (X_T - X_{T-1})/2 \tag{7}$$

$$X_p = X_T + (X_T - X_{T-1})/2 \tag{8}$$

로 定義한다면 구하여야할 函數 $T(X)$ 는

$$T(X) = \sum_{j=0}^m \text{COEF}_j \cdot X^j \tag{9}$$

但, m 은 多項式 $T(X)$ 의 最高次項의 次數의 形態가 되며 다음과 같은 制約條件들을 滿足하여야 한다.

$$i) T(X_b) = T \text{ 또는 } 1, T(X_p) = 0 \tag{10}$$

$$ii) \text{에너지條件}; \int_{X_b}^{X_p} T(X) dX + X_b \cdot T = \sum_{j=1}^T X_j \tag{11}$$

$$iii) \text{單調減少條件}; \frac{dT(X)}{dX} \leq 0, X_b \leq X \leq X_p \tag{12}$$

다만 實際에 있어서는 適切한 Weighting Matrix를 適用할 境遇 ii), iii)은 별 무리 없이 滿足되므로 條件 i)만 考慮키로 한다. 이를 위하여 $T(X)$ 를 다시

$$T(X) = \sum_{j=0}^m \text{COEF}_j \cdot (X - X_b)^j \tag{13}$$

로 定義하면, 式 10으로 부터,

$$\text{COEF}_0 = T \tag{14}$$

$$\text{COEF}_1 = - \left\{ T + \sum_{j=2}^m \text{COEF}_j \cdot (X_p - X_b)^j \right\} / (X_p - X_b) \tag{15}$$

로 되고, 따라서 式 (13)은 Matrix form으로 表現하면 다음과 같이 된다.

$$B = A \cdot C \tag{16}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0.5 + T \cdot S_1 / S_p \\ 1.5 + T \cdot S_2 / S_p \\ \vdots \\ T - 0.5 + T \cdot S_T / S_p \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} (S_1 - S_p)S_1 & (S_1^2 - S_p^2)S_1 & \dots & (S_1^{m-1} - S_p^{m-1})S_1 \\ (S_2 - S_p)S_2 & (S_2^2 - S_p^2)S_2 & \dots & (S_2^{m-1} - S_p^{m-1})S_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (S_T - S_p)S_T & (S_T^2 - S_p^2)S_T & \dots & (S_T^{m-1} - S_p^{m-1})S_T \end{pmatrix}$$

$$C = [\text{COEF}_2; \text{COEF}_3; \dots; \text{COEF}_m]$$

$$S_k \triangleq X_k - X_b$$

$$S_p \triangleq X_p - X_b$$

따라서 이때 係數 vector C 는

$$C = (A^T W A)^{-1} A^T W B \tag{17}$$

但, W 는 適當한 Weighting Matrix로 구해지고 다시 式 13의 X 代身 適當한 等間隔의 $Z_k (Z_k = X_b + (k-1) \cdot \tau)$ 를 代入함으로써 離散逆負荷曲線(discrete ILDC) ($Z_k, T(Z_k)$)를 얻게 된다.

이때 週期 T 동안의 離散逆負荷曲線 $EL_0(Z_k)$ 는 X_B , X_P 를 境界로 다음과 같이 되며,

$$\left. \begin{aligned} EL_0(X) &= T, X \leq Z_1 \\ EL_0(Z_k) &= T(Z_k), k=1, 2, \dots, lmt \\ EL_0(X) &= 0, X \geq X_P \\ lmt; Z_{lmt-1} &< X_P \leq Z_{lmt} \end{aligned} \right\} (18)$$

各 發電 Unit를 投入해 按따라 等價負荷曲線 (descrete ELDC)은 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} EL_i(X) &= T, X \leq Z_i \\ EL_i(Z_k) &= p_i \cdot EL_{i-1}(Z_k) + q_i \cdot EL_{i-1}(Z_k'), \\ & k=1, 2, \dots, lmt \\ EL_{i-1}(X) &= 0, X \geq SSC_i \\ Z_k' &= Z_k - C_i \\ SSC_i &= X_P + \sum_{j=1}^i C_j \\ lmt; Z_{lmt-1} &< SSC_i \leq Z_{lmt} \end{aligned} \right\} (19)$$

또한 各 에너지期待值 및 信賴度인덱스는 式 4, 5, 6으로 부터 쉽게 다음과 같이 구해진다.

$$\left. \begin{aligned} E_i &= p_i \cdot \frac{\tau}{2} \cdot \sum_{j=0}^{i-1} \{EL_{i-1}(Z_{k-j}) + EL_{i-1}(Z_k)\}, \\ Z_{i\alpha} &= \sum_{j=1}^{i-1} C_j + \tau, Z_{i\beta} = Z_{i\alpha} + C_i \\ LOLP &= EL_{n\tau}(Z_{i,n\tau}) / T \\ ENS &= \sum_{j=1}^{lmt} \{EL_{n\tau}(Z_j) + EL_{n\tau}(Z_{j+1})\} \cdot \frac{\tau}{2} \\ Z_{i,n\tau} &= IC \end{aligned} \right\} (20)$$

II-2. 2블록시스템(Two-Block System)

實際에 있어서 各 發電機의 運用은 定해진 出力을 繼續的으로 내기 보다는 오히려 주어진 一定 範圍內에서 變動하게 되므로 이를 보다 充實히 反映하려면 各 發電機를 여러개의 發電單價가 다른 Unit의 合體로 보는 것이 보다 合理的이다. 그러나 일단 two-block system을 위한 技法이 定해지면 2 이상의 block system에 對해서는 同一한 方法을 反復適用할 수 있으므로 이에 關하여만 論기로 한다.

지금 어떤 發電機를 그 容量을 C_k 와 C_l 로 나누어, 各其 Unit $_k$, Unit $_l$ 로 보고 Unit $_k$ 가 base負荷部分을, Unit $_l$ 이 peak負荷部分을 擔當토록 投入順序를 定하였다면, Unit $_k$ 는 앞서 投入된 다른 Unit들과는 獨立的인 關係에 있으므로 $EL_{k-1}(X)$ 로 부터 에너지 E_k 를 구할 수가 있다. 그러나 Unit $_l$ 이 投入된 段階에서 보면 發電 Unit $_l$ 은 Unit $_k$ 와 實際 한 發電機로써 다만 出力의 增加만을 意味하므로 獨立的으로 C_l 만큼을 發電할 수는 없다. 그러나 다음 (1), (2)와 같은 關係가 成立하므로 負荷曲線 $EL_{l-1}(X)$ 로 부터 base block인 Unit $_k$ 를 deconvolve한 式 $EL_{l-1}(X)$ 를 구할 수 있다면 이

曲線에 다시 Unit $_k$ 와 Unit $_l$ 을 同時에 投入시켜 ($C_k + C_l$) 여기서 Unit $_l$ 에 該當되는 에너지 E_l 을 구할 수가 있다.

(1) $EL_{k-1}(X)$ 에 Unit k, l, m 의 順序로 投入한 경우와 Unit m, k, l 의 順序로 投入한 경우에 있어서 Unit $_l$ 이 投入된 以後의 負荷曲線 $EL_l(X)$ 는 항상 同一하다. 但, Unit $_k, Unit_l$ 은 同一 發電機의 base 및 peak block.

(證明) 投入順序가 k, l, m 인 경우

$$\begin{aligned} EL_k(X) &= p_k \cdot EL_{k-1}(X) + q_k \cdot EL_{k-1}(X - C_k) \\ EL_m(X) &= p_m \cdot EL_k(X) + q_m \cdot EL_k(X - C_m) \\ EL_l(X) &= p_l \cdot EL_m(X) + q_l \cdot EL_m(X - C_l) \\ &= (p_k \cap p_m \cap p_l) \cdot EL_{k-1}(X) + (p_k \cap p_m \cap q_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_l) + (p_k \cap q_m \cap p_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_m) + (q_k \cap p_m \cap p_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_k) + (p_k \cap q_m \cap q_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_m - C_l) + (q_k \cap p_m \cap q_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_k - C_l) + (q_k \cap q_m \cap p_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_k - C_m) + (q_k \cap q_m \cap q_l) \cdot \\ & \quad \cdot EL_{k-1}(X - C_k - C_m - C_l) \\ &= p_k \cdot p_m \cdot EL_{k-1}(X) \\ & \quad + p_k \cdot q_m \cdot EL_{k-1}(X - C_m) \\ & \quad + q_k \cdot p_m \cdot EL_{k-1}(X - C_k - C_l) \\ & \quad + q_k \cdot q_m \cdot EL_{k-1}(X - C_k - C_l - C_m) \end{aligned} (21)$$

$$(p_k = p_l = (p_k \cap p_l), (p_k \cap q_l) = (q_k \cap p_l) = 0)$$

한편 Unit m, k, l 의 順序로 投入할 경우의 $EL_l(X)$ 는

$$EL_l(X) = p_l \cdot EL_k(X) + q_l \cdot EL_k(X - C_l) (22)$$

이를 같은 方法으로 展開하면 式 21과 同一한 式을 얻게 된다. 즉 이 結果式에는 順序에 關聯된 項이 包含되어 있지 않다. 따라서 一般的으로 여러개의 Unit로 構成된 發電機群에 對하여서도 위와같이 그 投入順序에 關係없이 항상 同一한 結果式을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

(2) 한 發電機를 두개의 Unit, Unit $_k$ 와 Unit $_l$ 로 分離하여 C_k 를 投入하고나서 C_l 을 연달아 投入하는 경우와 $C_k + C_l$ 을, 즉 發電機 全體를 한번에 投入하는 경우는 結果에 있어서는 同一하다.

(證明)

$$\begin{aligned} EL_k(X) &= p_k \cdot EL_{k-1}(X) + q_k \cdot EL_{k-1}(X - C_k) \\ EL_l(X) &= p_l \cdot EL_k(X) + q_l \cdot EL_k(X - C_l) \\ &= p_k \cdot EL_{k-1}(X) + q_k \cdot EL_{k-1}(X - C_k - C_l) \end{aligned} (23)$$

한편, $EL_l(X)$ 로 부터 Unit $_k$ 가 deconvolve된 ELDC: $EL_{l-1}(X)$ 를 구하는 것은 式 19로 부터 얻어지며

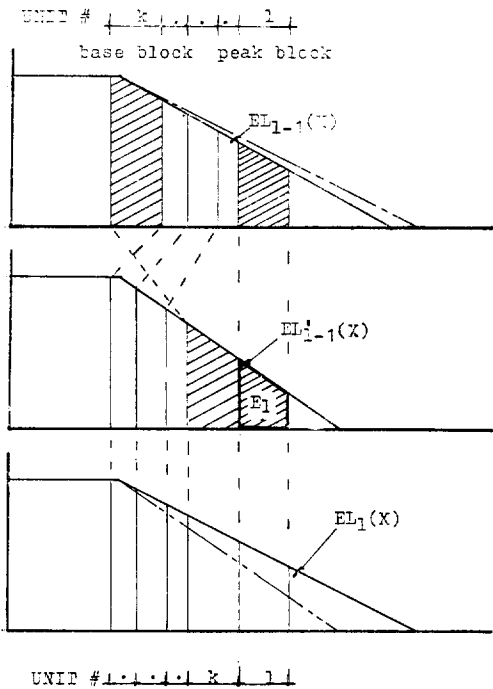


그림 6. 두블록시스템에서 피크블록의 에너지計算
 Fig. 6. Calculating the Energy of a Peak Block in Two-block System

$$\left. \begin{aligned} EL_{i-1}(X) &= T, \quad X \leq Z_i \\ EL_{i-1}(Z_k) &= \frac{EL_i(Z_k) - q_i \cdot EL_{i-1}(Z_k')}{p_i} \\ Z_k' &= Z_k - C_i \\ EL_{i-1}(X) &= 0, \quad X \geq SSC_{i-1} \\ SSC_{i-1} &= SSC_i - C_i \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

물론 이 식은 엄밀한 解析的 數式은 아니지만 ILDC의 特殊한 關係를 初期值로 하여 反復計算함으로써 $EL_{i-1}(Z_k)$ 의 모든 값을 알 수 있다. 즉 식 24 中の 두 식

$$\left. \begin{aligned} EL_{i-1}(Z_k') &= 0, \quad Z_k' \geq SSC_{i-1} \\ \text{또는 } EL_{i-1}(Z_k') &= T, \quad Z_k' \leq X_B \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

을 初期值로 使用하면 曲線 $EL_{i-1}(X)$ 의 全體를 完全히 再生시킬 수 있다.

III. 提示모델 II

앞서 論述한 바 있으나 記錄된 負荷데이터는 그 本質에 있어서 에너지의 記錄量이며 이를 그래프상에서는 階段形으로 밖에 表現할 수가 없다. 이런 不明確한

狀態下에서 LDC 또는 ILDC를 구하는 過程에서는 이들을 무리하게 [MW]로 取扱함으로서 이에 基因하는 誤差는 甘受할 수 밖에 없다. 그러나 이性質을 그대로 살릴경우 式 26과 같은 에너지曲線을 얻어낼 수 있으며 이 點들 $(X_i, EE(X_i))$ 에는 LDC 또는 ILDC를 구할 때와 같은 源泉의인 誤差는 一切 包含되어 있지 않다.

$$\left. \begin{aligned} EE(X_B) &= X_B \cdot T \\ EE(X_i) &= EE(X_B) + (X_i - X_B) \cdot (T - 0.25) \\ EE(X_i) &= EE(X_{i-1}) + (X_i - X_{i-1}) \\ &\quad \cdot (T - i + 1), \quad i = 2, 3, \dots, T \\ EE(X_p) &= EE(X_T) + (X_p - X_T) / 4 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

이렇게 구해진 點들 $EE(X_i)$ 에 對해 最小自乘誤差多項式을 구하여 Z_k 를 代入하거나 또는 直接 補間法(Interpolation)에 의하여 Discrete Energy Curve $EE_i(Z_k)$ 를 얻게된다.

위에서 얻은 初期 에너지 曲線 $EE(X_i)$ 使用의 長點中の 하나는 curve fitting이 매우 손쉽다는 것으로 實際 6次~15次 까지 구해본 結果 그 誤差는 데이터로부터 負荷曲線 또는 逆負荷曲線을 구한 경우의 誤差에 비해 약 1/100 정도로 減少되며 더우기 weighting matrix의 考慮등은 전연 不必要하다는 것은 特記할만 하다.

또한 Unit이 投入된 後의 變化된 等價에너지커브 (Effective Energy Duration Curve) $EE_i(X)$ 는 式 3을 積分함으로써 다음과 같이 구할 수 있으며,

$$\begin{aligned} EE_i(X) &= \int_0^X EL_i(X) dX \\ &= \int_0^{Z_i} p_i \cdot EL_{i-1}(X) dX + \int_0^{Z_i} q_i \\ &\quad \cdot EL_{i-1}(X - C_i) dX \\ &= p_i \cdot EE_{i-1}(X) + q_i \cdot \int_0^X EL_{i-1}(X - C_i) dX \\ &= p_i \cdot EE_{i-1}(X) + q_i \cdot (EE_{i-1}(X - C_i) \\ &\quad + C_i \cdot T) \end{aligned} \quad (26)$$

이는 discrete인 경우 다음과 같다.

$$\begin{aligned} EE_i(Z_k) &= p_i \cdot EE_{i-1}(Z_k) + q_i \cdot (EE_{i-1}(Z_k') \\ &\quad + C_i \cdot T), \quad Z_k' = Z_k - C_i \end{aligned} \quad (27)$$

이때 發電에너지期待值 E_i 는 式 4로 부터, 式 28과 같이 얻어지며,

$$\begin{aligned} E_i &= p_i \cdot \int_{\sum_{j=1}^{i-1} C_j}^{\sum_{j=1}^i C_j} EL_{i-1}(X) dX \\ &= p_i \cdot (EE_{i-1}(\sum_{j=1}^i C_j) - EE_{i-1}(\sum_{j=1}^{i-1} C_j)) \\ &= p_i \cdot (EE_{i-1}(Z_k) - EE_{i-1}(Z_k')), \end{aligned}$$

$$Z_k = \sum_{j=1}^k C_j, \quad Z_{k'} = \sum_{j=1}^{k-1} C_j \quad (28)$$

當然한 結果이지만 既存 알고리즘에서는 數值積分에 의해 구하던 計算이 單純한 減算으로 되어 이는 計算의 大幅인 簡略化를 意味한다.

또한 式 3으로부터 base block을 deconvolve하는 式을 導出할 수 있으면 다음과 같이 된다.

$$EE_{i-1}(X) = \frac{1}{P_i} \cdot \{ EE_i(X) - q_i \cdot (EE_{i-1}(X - C_i) + C_i \cdot T) \} \quad (29)$$

또는

$$EE_{i-1}(Z_k) = \frac{1}{P_i} \cdot \{ EE_i(Z_k) - q_i \cdot (EE_{i-1}(Z_{k'}) + C_i \cdot T) \}, \quad Z_{k'} = Z_k - C_i \quad (30)$$

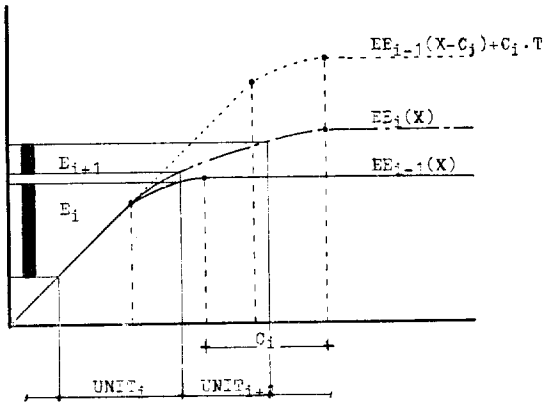


그림 7. 等價에너지曲線

Fig. 7. Effective Energy Duration Curve

系内の 모든 發電Unit가 投入된 後에는 역시 最後의 等價에너지曲線 $EE_{nr}(Z_k)$ 가 남게되며 이로부터 系の 信賴度를 計算하게 된다.

ENS는 供給 못하는 에너지량의 期待值이므로 各發電 유니트의 경우와 같이 簡單히 구해낼 수 있다.

$$ENS = EE_{nr}(Z_{lim}) - EE_{nr}(IC) \quad (31)$$

한편 LOLP는 點 $(IC, EE_{nr}(IC))$ 에서의 기울기에 該當되나 現在의 曲線에서는 이를 直接 구해낼 수는 없고 이點 兩則의 기울기에 適當한 比重(Weight)을 주어 다음과 같이 考慮하였다.

$$LOLP = (S_1 \cdot W_1 + S_2 \cdot W_2) / T \quad (32)$$

여기서

$$W_1 = X_p / (IC + X_p - X_B)$$

$$W_2 = (IC - X_B) / (IC + X_p - X_B)$$

$$S_1 = \{ EE_{nr}(Z_{inr}) - EE_{nr}(Z_{inr-1}) \} / \tau$$

$$S_2 = \{ EE_{nr}(Z_{inr+1}) - EE_{nr}(Z_{inr}) \} / \tau$$

$$Z_{inr} = IC$$

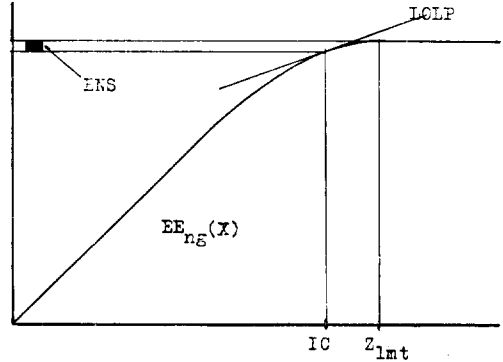


그림 8. 信賴度인덱스

Fig. 8. Reliability Indices

IV. 結 論

앞에서 論한 두 모델을 適用例로써 表 1과 같은 10개의 發電Unit(5-peak block, 5-base block)로 構成한 模擬發電系統에 168時間分의 實際 韓電의 電力負荷 데이터를 使用하여 適用시켜 보았다.

모델 I의 適用에서는 最大近似多項式의 決定을 위하여 3次에서 18次까지 適用해본 結果 6次 및 11次에서 가장 近似한 曲線을 구할 수 있었으며 曲線의 形態를 修正하기 위하여 使用한 Weighting matrix는 다음과 같다.

$$W = \begin{pmatrix} w_1 & & & & \\ & w_2 & & 0 & \\ & & w_3 & & \\ & & & w_4 & \dots \\ & & & & & w_r \end{pmatrix}, \quad w_k = 1 / (T - k + 1.5)^2$$

모델 II에서는 weighting matrix의 適用없이 손쉽게 0.1% 誤差範圍內的 에너지커브 $EE_0(Z_k)$ 를 구할 수 있었고 더우기 補間法(interpolating)에 의해 計算한 경우에도 거의 同一한 結果를 얻을 수 있어 計算時間을 大幅 節約할 수 있었다.

두 모델의 計算結果를 표 1에 보였다.

이 結果로부터 에너지曲線의 우수성을 立證할 수 있으며 그 主要長點으로서는 처음의 目的한 바처럼 計算過程의 簡略化, 誤差의 減少, 特別히 計算時間의 大幅인 減少를 들 수 있다.

表 1.

GIVEN SYSTEM					RESULTS			
GENERATING UNITS					MODEL I		MODEL II	
UNIT NO.	BLOCK	CAPACITY	AVAIL. ABILITY	BASE UNIT	ESTIMATED ENERGY	ESTIMATED LOLP	ESTIMATED ENERGY	ESTIMATED LOLP
					$\times 10^9 \cdot \text{MWH}$		$\times 10^9 \cdot \text{MWH}$	
1	BASE	1.5	0.5		126.00	1.000	126.00	1.000
2	"	1.0	0.6		100.80	1.000	100.80	1.000
3	"	0.5	0.5		42.00	1.000	42.00	1.000
4	"	0.5	0.8		66.73	0.973	66.52	0.959
5	"	0.1	0.8		13.06	0.965	12.92	0.958
6	PEAK	1.0		1	65.44	0.573	65.88	0.565
7	"	0.5		2	30.57	0.555	31.40	0.553
8	"	0.4		3	21.70	0.619	21.43	0.615
9	"	0.3		4	25.37	0.598	26.08	0.628
10	"	0.2		5	16.41	0.598	16.60	0.584
TOTAL ENERGY					508.08 ($\times 10^9 \text{MWH}$)		509.63 ($\times 10^9 \text{MWH}$)	
COMPUTING TIME					636sec. in C.P.U.		343sec. in C.P.U.	

参 考 文 献

1. R.T. Jenkins and D.S. Joy; "Wien Automatic System Planning Package (WASP) an Electric Utility Optimal Generation Expansion Planning Code", Oak Ridge National Laboratory, pp. 11~65, 1974.
2. R.S. Sullivan; "Power System Planning", Mc Graw-Hill International Book Co., pp. 96~148, 1977.
3. Shans Kno; "Computer Applications of Numerical Methods", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., pp.242~325, 1969.
4. Brice Carnahan and H.A. Luther, James O. Wilkes; "Applied Numerical Methods", John and Wiley & Sons, Inc., pp. 2~140, 1969.
5. S.D. Conte, Carl de Boor; "Elementary Numerical Analysis", International Student

Edition, pp. 191~273, 1972.

6. R.R. Booth; "Optimal Generation Planning Considering Uncertainty IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-91, No. 1, pp. 70~77, Jan-Feb. 1972.
7. D.S. Joy and R.T. Jenkins; "A Probabilistic Model for Estimating the Operating Cost of an Electric Power Generating System", ORNL-TM-3549, Oct. 1979.
8. R.R. Booth; "Power System Simulation Model Based on Probabilisty Analysis", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, No. 1, pp.62~69, Jan-Feb. 1972.
9. M.A. Sager, R.J. Ringlee, and A.J. Wood; "A New Generation Production Cost Program to Recognize Forced Outages," IEEE. Trans on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, No. 5, pp. 2114~2124, Sep.-Oct. 1972.