

# 效果的인 不良情報除去法에 의한 電力系統 에서의 狀態推定에 관한 研究

論 文  
33~9~5

State Estimation in Power System by Efficient Elimination Method of Bad Data

金 俊 鉉\* · 李 鍾 範\*\*  
(Joon-Hyun Kim · Jong-Bum Lee)

## Abstract

This paper describes a method for the state estimation in electric power system.

The state values are estimated through the weighted least square method considering the bad data. Then, the bad data are identified by using sensitivity coefficients of power system after being detected the bad data through the distribution of T.

This method was applied to the model power system, and, the results of test for proposed method are given.

推定하기 위한 기본적인 과제라 하겠다.

本 論文에서는 時系列데이터를 이용한 高感度이며, 計算量이 적은 不良情報檢出法인 T分布의 統計的方法과 系統의 感度係數를 이용함으로써 測定値가 負荷變動에 의해서인지, 아니면, 不良情報에 의해서인지 보다 精確히 檢出, 識別할 수 있으며,<sup>7)</sup> 이로부터 識別된 不良情報는 測定値의 殘差成分을 이용하여 새로운 測定値를 구한 후 이를 入力시키도록 하였다. 또한, 狀態值의 共分散行列은 三角分解法<sup>8)</sup>을 적용시켰으며, 이를 바탕으로 加重最小自乘法을 이용하여 모델系統에 적용하므로써 그 效用性을 評價하였다.

그런데, 本 論文에서 제안하는 방법을 中央計算機만으로 전체의 情報處理를 하고 있는 系統에 적용시키면, 時系列데이터의 蓄의때문에 計算機에 대한 과도한 記憶容量의 부담을 주게 된다. 따라서 情報收集과 處理의 階層化가 추진되는 경우 직접 測定値를 수집하는 電氣所에서 미니컴퓨터를 설치하여 本 論文에서 제안한 것을 이용하여 不良情報를 檢出, 識別하고, 그 結果를 中央計算機에서 최종으로 情報處理를 하도록 하는 階層的 情報處理시스템에 效果的으로 이용할 수 있다.<sup>9)~13)</sup>

## 1. 序 論

巨大化, 複雜化되어 가고 있는 電力系統의 狀態를 적절히 파악하는 것은 電方系統을 안정하게 運用 및 制御하는데 있어서 매우 중요하다. 따라서 制御系統을 最適化하고, 精確한 情報를 抽出, 提供하는 狀態推定理論이 電力系統에 도입되었으며, 이를 이용하여 信賴度制御 등 여러가지의 實系統制御를 위한 情報傳送方式과, 不良情報의 檢出 및 識別 등을 고려한 高精度의 狀態推定信를 공급하기 위한 많은 研究가 행하여지고 있다.<sup>1)~3)</sup>

이러한 電力系統에서의 狀態推定은 靜的과 動的의 狀態推定으로 대별되는데 時間的인 推移를 追跡하는 경우에 있어서 靜的狀態推定은 斷面計算이 되므로 時變系統의 數學的 모델을 이용한 動的狀態推定도 활발히 연구되고 있다.<sup>4),5)</sup>

電力系統에서 收集한 情報중에는 A - D 變換器, 測定器, 通信回線 등의 고장 및 性能不良 등에 의해 발생하는 不良情報를 推定을 위한 데이터로 오인하면, 推定結果에 큰 誤差가 발생하므로 Merrill, Schweppe 등에 의해 제안된 不良情報除去法 등 不良情報의 除去에 의한 몇가지 推定法이 제안되고 있으며,<sup>6)</sup> 이를 精確히 檢出, 除去하는 것이 系統狀態를 精確히

## 2. 測定 모델

電力系統의 效果的인 運用 및 制御에 有用한 情報를 제공하는 變數들 중에 가장 중요한 것은 각 母線

\*正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授  
\*\*正 會 員 : 漢陽大 大學院 電氣工學科 博士課程  
接受日字 : 1984年 7月 23日

電壓의 크기와 位相角이다. 이들은 다른要素와 함께 母線의 流入出力, 線路潮流의 演算 및 기타 필요한 情報을 제공해 주는데, 電力系統에서 狀態推定을 위해 필요한 測定値는 각 母線의 注入電力, 線路潮流, 母線電壓등이며, 이들 情報를 時系列의으로 볼 때, 무수한 負荷의 불규칙한 變動의 합이라고 생각할 수 있다. 또한 測定誤差도 Gauss 分布에 따른다고 할 수 있으며, 이러한 경우 測定모델은 다음과 같다.

먼저, 狀態變數를  $X$ 라 할때 기술한 바와같이 全母線의 電壓크기  $V$  및 位相角  $\theta$ 로서  $N$ 母線系統에서 基準母線을 1이라 한다면,  $X$ 는  $n = (2N - 1)$ 次元의 벡터로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = [V_1, V_2, \dots, V_N, \theta_2, \dots, \theta_N]^T \quad (1)$$

또한, 測定變數를  $Z$ 라 할 때  $Z$ 는  $m$ 次元벡터로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = [T_{ij}, U_{ij}, K_i, L_i, V_i, \text{etc.}]^T \quad (2)$$

여기서,  $T_{ij}, U_{ij}$ 는 母線  $i$ 에서  $j$ 로 흐르는 有効無効電力潮流이며,  $K_i, L_i$ 는 母線  $i$ 의 有効無効注入電力이다.

이때, 測定벡터는 다음 식과 같이 된다.

$$Z_k = h_k(X_k) + V_k \quad (3)$$

$$E\{V_k V_k^T\} = R_k \quad (4)$$

여기서,

$Z_k$  :  $m \times 1$  測定벡터

$X_k$  :  $n \times 1$  狀態벡터

$V_k$  :  $m \times 1, N(0, \sigma_k^2)$ 의 測定誤差벡터

$h_k(X_k)$  :  $m \times 1$  非線型벡터函數

$E(\cdot)$  : 期待值演算子

$R_k$  : 測定分散  $\sigma_k^2$ 을 對角要素로 하는  $V_k$ 의 共分散行列

時系列의으로 얻어진  $M$ 개의 測定데이터  $Z(k-j)$  ( $j = 1 \sim M$ )는 모두 正規母集團  $N(\mu_k, \sigma^2)$ 으로 부터의 正常데이터로 가정하고, 測定值  $Z(k)$ 가 時系列데이터  $Z(k-j)$ 와 동일한  $N(\mu_k, \sigma^2)$ 의 實現值인가 아닌가를 假說檢定을 통하여 채택하였다.

즉 歸無假說  $H_0$ 와 對立假說  $H_1$ 을 정하고

$$H_0 : Z(k) \in N(\mu_k, \sigma^2)$$

$$H_1 : Z(k) \notin N(\mu_k, \sigma^2)$$

으로 하며, 歸無假說  $H_0$ 를 미리 갖고 결정된 有意水準  $\alpha$ 로 棄却檢定을 하여 推定에 응용하도록 하였고, 이때의 檢定基準方法은  $T$ 分布의 統計的方法으로 하였다.

### 3. T 分布에 의한 不良情報 除去

正規母集團으로부터  $t - 1$  時點에서 過去데이터

順으로  $M$ 개를 抽出하여 平均值  $\bar{Z}_k$ 와 標本分散  $V_k^2$ 을 구하면 다음과 같다.

$$\bar{Z}_k = 1/M \sum_{j=1}^M Z_k(t-j) \quad (5)$$

$$V_k^2 = 1/M \sum_{j=1}^M \{Z_k(t-j) - \bar{Z}_k\}^2 \quad (6)$$

여기서,

$M$  : 데이터 수

이 때, 여기서 구한  $V_k^2$ 은 不偏標本分散이 아니며, 標準化變數  $T$ 는 식 (7)과 같이 된다.

$$T = \sqrt{\frac{M-1}{M+1}} \frac{Z_k(t) - \bar{Z}_k}{V_k} \quad (7)$$

自由度  $n = M - 1$ 의  $T$ 分布로서 有意水準을  $\alpha$ 라 하면, 이 때  $T$ 分布의 棄却限界表로부터 식 (7)에서 구한  $T$ 값과 비교하여 棄却 및 採択으로 不良情報를 1차 처리한다. 이 때의 確率과 有意水準과의 관계는 다음과 같다.

$$P\{|T| \geq T_n(\alpha)\} = \alpha \quad (8)$$

$$P\{|T| < T_n(\alpha)\} = 1 - \alpha \quad (9)$$

따라서,  $T_n(\alpha)$ 에 의해 이루어지는 棄却域  $B_t$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$B_t = \{T : |T| \geq T_n(\alpha)\} \quad (10)$$

### 4. 感度解析에 의한 負荷變動과 不良情報의 檢出

不良情報로 判定하는데는 負荷急變에 의한 경우를 不良情報로 判定할 경우가 있으므로 적절한 方法으로 이를 識別해야 한다. 따라서, 이 때는 系統의 感度係數를 적용하므로써 效果의으로 不良情報를 檢出, 識別할 수 있으며, 각 測定値의 변동분배에 관계되는 感度係數는 電力潮流의 近似모델에 의하여 算定하였다.

#### 4.1 電力潮流計算의 近似모델

潮流計算에 있어서 近似모델은 아래와 같은 가정에 이루어진다.

i) 線路의 直列抵抗은 무시했으며, 充電容量은 그림 1과 같이 兩端의 node에 等分하였다.

ii) 母線電壓間의 位相角은 작다. 즉

$$\sin(\theta_i - \theta_k) \approx \theta_i - \theta_k, \cos(\theta_i - \theta_k) \approx 1$$

iii) 각母線電壓은 1.0 pu의 값으로 하였다.

이로부터 母線의 注入電力 및 線路潮流는 다음과 같이 구해진다.

i) 母線의 注入電力을  $S_i$ 라 하면,  $N$ 母線系統에서

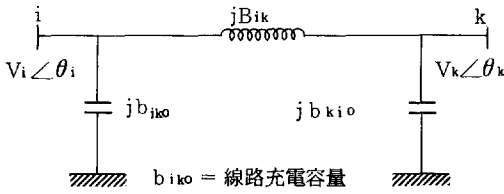


그림 1. 直流모델圖

Fig. 1. A diagram to illustrate the linear power flow model

$$\begin{aligned}
 S_i &= P_i + jQ_i \\
 &= \sum_{k=1}^N V_i V_k (-j B_{ik}) \varepsilon^{j(\theta_i - \theta_k)} + V_i^2 (-j B_{ii}) \\
 &\approx \sum_{k=1}^N B_{ik} (\theta_i - \theta_k) + j \left[ \sum_{k=1}^N B_{ik} (V_i - V_k) - b_{i0} \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

여기서,  $b_{i0} = \sum_{k=1}^N b_{iko}$  이며,  $i, k$  線路의 潮流를  $S_{ik}$  라 하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 S_{ik} &= P_{ik} + jQ_{ik} \\
 &= V_i V_k (-j B_{ik}) \varepsilon^{j(\theta_i - \theta_k)} - j V_i^2 b_{iko} + j V_i^2 B_{ik} \\
 &\approx B_{ik} (\theta_i - \theta_k) + j [ B_{ik} (V_i - V_k) - b_{iko} (2V_i - 1) ] \quad (12)
 \end{aligned}$$

여기서,  $B_{ik}$ : 쉐넨턴스行列  $i, k$  요소

#### 4.2 系統의 感度係數 算定

測定値는 狀態벡터  $X$  와 기타變數에 관계되어 구해지는 값이므로, 어떤 測定値의 변동은 系統關係로부터 正常的인한 連系된 部分의 測定値에 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 관계는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \Delta Z_{i(k)} &= S_{ik} \cdot \Delta Z_{k(k)} \\
 &= \left( \sum_{j=1}^n \frac{\partial Z_{i(k)}}{\partial X_j} \cdot \frac{\partial X_j}{\partial Z_{k(k)}} \right) \Delta Z_{k(k)} \\
 &\quad ; i \neq k \quad (13)
 \end{aligned}$$

여기서,

$S_{ik}$ : 感度係數

$\Delta Z_{k(k)}$ :  $k$  側의 測定値  $Z_{k(k)}$  의 變化分

$\Delta Z_{i(k)}$ :  $\Delta Z_{k(k)}$  가  $i$  側의 測定値  $Z_{i(k)}$  에 미치는 영향

식 (13) 으로부터 感度係數를 算定하면 표 1과 같이 된다.

#### 표 1. 感度係數

Table 1. Sensitivity coefficients ( $Z_i = S_{ik} \cdot Z_k$ )

$Z_i \backslash Z_k$	$Q_k$	$Q_{ki}$	$V_k$
$Q_k$	$\frac{B_{ii} + b_{i0}}{b_{k0} - B_{kk}}$	$\frac{B_{ii} - b_{i0}}{B_{ki}}$	$-B_{ik}$
$Q_{ik}$	$\frac{B_{ik} - 2b_{iko}}{B_{kk} - b_{k0}}$	$\frac{B_{ik} - 2b_{iko}}{B_{ki}}$	$-B_{ik}$
$V_i$	$-\frac{1}{B_{ik}}$	$-\frac{1}{B_{ki}}$	$\frac{2b_{kio} - B_{ki}}{B_{ki}}$

$Z_i \backslash Z_k$	$Q_i$	$Q_{ik}$	$V_i$
$Q_i$		$\frac{B_{ii} - b_{i0}}{2b_{iko} - B_{ik}}$	$b_{i0} - B_{ii}$
$Q_{ik}$	$\frac{2b_{iko} - B_{ik}}{B_{ii} - b_{i0}}$		$B_{ik} - 2b_{iko}$
$V_i$	$\frac{1}{b_{i0} - B_{ii}}$	$\frac{1}{B_{ik} - 2b_{iko}}$	

$Z_i \backslash Z_k$	$P_k$	$P_{ki}$
$P_i$	$\frac{B_{ii} - b_{i0}}{b_{k0} - B_{kk}}$	$\frac{B_{ii} - b_{i0}}{B_{ki}}$
$P_k$		$\frac{b_{k0} - B_{kk}}{B_{ki}}$
$P_{ik}$	$\frac{B_{ik}}{B_{kk} - b_{k0}}$	$-1$
$P_{ki}$	$\frac{B_{ki}}{b_{k0} - B_{kk}}$	

#### 4.3 測定値 變動의 評價

$Z_{i(k)}$  가 不良情報로 T 分布에 의하여 判定되었을 때,  $Z_{i(k)}$  의 實際變化量  $\Delta Z_{i(k)}^{actual} = Z_{i(k)} - Z_{i(k-1)}$  이 부하변동에 의한 것인가, 아니면 不良情報에 의한 것인가를 위의 感度係數를 이용하여 다음과 같이 判定할 수 있다.

i)  $\Delta Z_{i(k)}^{actual}$  이 부하변동때문이면 인접 系統의  $Z_{k(k)}$  에도  $\Delta Z_{k(k)}^{actual}$  이 발생된다.

ii) 感度係數로부터 推定變化量  $\Delta Z_{i(k)}^{estimation} = S_{ik} \cdot \Delta Z_{k(k)}^{actual}$  이며, 이  $\Delta Z_{i(k)}^{estimation}$  은  $\Delta Z_{i(k)}^{actual}$  과 거의 같은 變化량이 된다.

그리고, 이때의 評價基準을  $E_0$  라 하면,

$$E_0 = \Delta Z_{i(k)}^{actual} / \Delta Z_{i(k)}^{estimation} \quad (14)$$

와 같이 되며, 이  $E_0$  에 의하여 測定値의 變化가 不良情報에 의한 것인가, 부하변동에 의한 것인가를 判定하게 된다.

### 5. 加重最小自乘法에 의한 狀態推定

狀態推定에는 각 推定所의 測定値에 雜音이나 誤差의 加重을 附加한 加重行列을 사용하는 加重最小自乘法을 적용하였다.

이 방법은 價値函數를 설정하고 이를 最小化시키는 조건에서의 狀態値를 구하는 推定法으로서, 식 (3)으로부터의 測定値  $Z_k$ 가 가장 정확히 되는 狀態値  $X_k$ 를 구하기 위한 價値函數  $J(X_k)$ 는 다음과 같이 놓는다.

$$J(X_k) = V^T R_k^{-1} V \\ = [Z_k - h_k(X_k)]^T R_k^{-1} [Z_k - h_k(X_k)] \quad (15)$$

狀態推定値  $\hat{X}_k$ 는 이 때 價値函數  $J(X_k)$ 를 最小로 하는 最適條件에서의  $X_k$ 로 되며, 다음 식이 성립된다.

$$\frac{\partial J(X_k)}{\partial X_k} = -2H_k^T(X_k)R_k^{-1}\{Z_k - h(X_k)\} = 0 \quad (16)$$

여기서,  $H_k = \frac{\partial h_k(X_k)}{\partial X_k}$ 이며,  $m \times n$ 의 Estimator

Jacobian 行列이다.

식 (15)의 最適條件으로부터 狀態推定値  $\hat{X}_k$ 는  $n$ 개의 非線型方程式에 의하여 식 (17)과 같은 反復計算으로 구해진다.

$$X_{k(l+1)} = X_{k(l)} + [H_k^T R_k^{-1} H_k]^{-1} H_k^T R_k^{-1} [Z_k - h_k(X_{k(l)})] \quad (17)$$

여기서,  $l$ 은 反復回數이며,  $\epsilon$ 을 許容誤差라 할 때  $\max [X_{k(l+1)} - X_{k(l)}] \leq \epsilon$ 이 될 때까지 반복하여 구하고, 壯態推定値의 共分散行列  $\Sigma_x$ 는 다음과 같다.

$$\Sigma_x = [H_k^T R_k^{-1} H_k]^{-1} \quad (18)$$

이 때, 식 (17)은 이 共分散行列을 구하여야 하므로 이것은 다음과 같이 분해할 수 있다.

$$[H_k^T R_k^{-1} H_k] = L D U \quad (19)$$

여기서,  $L$ : 單位下三角行列

$D$ : 對稱行列

이와 같이 분해하여  $\Sigma_x$ 를 구하므로써 推定値  $X_k$ 를 効果的으로 구할 수 있다.

즉,  $G$ 를  $A$ 의 逆行列이라 하면 다음과 같이 된다.

$$A G = I \quad (20)$$

여기서,  $I$ : unit 行列

이것은 다시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(L D L^T) G = I \quad (21)$$

따라서, 다음과 같은 새로운 行列을 定義할 수 있다.

$$T = I - L^T, \quad W = D^{-1} L^{-1} \quad (22)$$

이로부터

$$A = L D L^T = L D (I - T) \quad (23)$$

가 되며, 또한

$$L D (I - T) G = I \quad (24)$$

$$G = W + T G \quad (25)$$

를 얻게 된다.

한편, 單位三角行列의 요소는 식 (2b), (27)로부터 구하여진다.

$$d_{ii} = (A_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik}^2 d_{kk}) / l_{ii}^2 \quad (26)$$

여기서,  $i = 1, 2, \dots, n$

$n$  = 行列數

$$l_{ij} = (A_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik} l_{jk} d_{kk}) / d_{jj} \quad (27)$$

여기서,  $i = 2, 3, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, n-1$

$i > j$

따라서, 이로부터 구한 요소에 의해 共分散行列  $\Sigma_x$ 를  $G$ 라 할 때  $G$ 는 다음과 같이 구할 수 있다. 즉,  $G_{ij} = G_{ji}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) 이므로

$$G_{ij} = W_{ii} + \sum_{k=i+1}^n t_{ik} G_{ki} \quad (i < k) \quad (28)$$

$$G_{ij} = \sum_{k=i+1}^n t_{ik} G_{ki} \quad (i < j, i < k) \quad (29)$$

와 같이 된다.

### 6. 不良情報 處理

感度係數로부터 識別된 不良情報은 測定値의 殘差成分으로부터 새로운 測定値를 구하고, 이를 入力시켜 狀態値를 推定하므로 보다 實際値에 접근하는 狀態量 및 非線型函數값을 구할 수 있다.

식 (3)의 測定方程式은 식 (30)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = Z_t + V + b \quad (30)$$

여기서,

$Z_t$ :  $Z$ 의 實際値

$V$ : 測定誤差벡터

$b$ : 總誤差벡터

이를 線型化시키므로써 狀態推定の 殘差成分  $r$ 은 식 (31)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = Z - \tilde{Z} = h(x) + V - h(\hat{x}) = S(V + b) \quad (31)$$

여기서,

$$S = I - H [H^T R^{-1} H]^{-1} H^{-1} R^{-1}$$

따라서 殘差成分  $r$ 의 共分散行列  $\tilde{A}$ 는 식 (32)에 의해서 구하여진다.

$$A = SR \quad (32)$$

그러므로, 식 (31)과 (32)로부터  $(V + b)$ 는 식 (33)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$V + b = \tilde{A}^{-1} R r \quad (33)$$

식 (30)의 測定方程式에 의하여 새로운 測定值  $Z_i^{new}$ 는 식 (34)와 같이 구하여 入力시키도록 하였다.

$$Z_i^{new} = Z_i^{bad} - \frac{\sigma_i^2}{\rho_{ii}} (Z_i^{bad} - Z_i^{estimated}) \quad (34)$$

여기서,

$\rho_{ii}$  :  $\tilde{A}$ 의  $(i, i)$ 번째 요소

$\sigma_i^2$  :  $R$ 의  $(i, i)$ 번째 요소

지금까지의 狀態推定에 대한 計算過程을 흐름도로 나타내면 그림 2와 같다.

### 7. 事例研究

그림 3과 같은 모델系統에서 각 測定所로부터 傳送되는 測定值를 이용하여 記述한 計算順序대로 각 母線에서의 電圧크기와 位相角을 구하고, 또한, 이로부터 母線에서의 注入電力및 線路潮流를 구하여 實際値와 推定値를 비교함으로써 狀態値의 誤差및 效用性을 評價하였다.

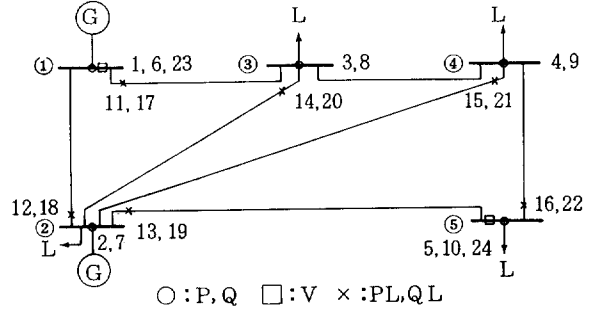


그림 3. 모델 電力系統  
Fig. 3. Model power system

모델系統에서의 測定所는 그림 3에 표시한 바와 같이 24개소로 구성되어 있고, 이로부터 傳送되는 測定值를 入力로  $2N - 1$ 개의 狀態量을 推定하였으며, 각 測定所의 測定에 따른 誤差의 標準偏差는 모두 0.01로 가정하였다. 또한, 여기에 入力로 사용된 값들은 100 [MVA]를 기준으로 하였으며,  $T$ 分布로 不良情報를 檢出할 경우 正常情報 및 不良情報를 서로 區分할 우려가 없도록 하기 위하여  $\alpha = 0.01$ ,  $M = 9$ 로 선정하였고, 이를 통하여 測定值를  $\alpha$ 로 檢定해 본 결과 그림 4와 같이 5, 7, 11, 16 測定所의 測定值가 棄却域에 존재하여 不良情報로 判明되었다.

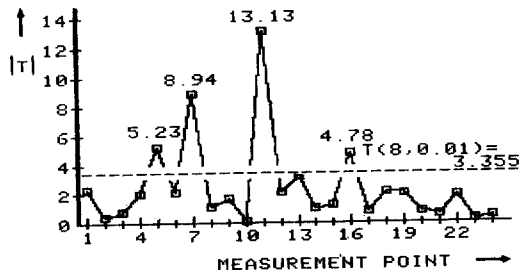


그림 4. T分布에 의한 不良情報 檢出結果  
Fig. 4. Bad data detection results by distribution of T

그림 2. 흐름도

Fig. 2. Flow chart for state estimation

표 2. 感 度 係 數

Table 2. Sensitivity coefficients (Zi -- Sik · Zk)

Zi \ Zk	P1	P2	P3	P4	P5
P 13	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P 21	0.0000	0.4615	0.0000	0.0000	0.0000
P 25	0.0000	0.2308	0.0000	0.0000	0.0000
P 32	0.0000	0.0000	0.1290	0.0000	0.0000
P 42	0.0000	0.0000	0.0000	0.1290	0.0000
P 54	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3333

Zi \ Zk	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5
Q 13	0.1960	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Q 21	0.0000	0.4597	0.0000	0.0000	0.0000
Q 25	0.0000	0.2298	0.0000	0.0000	0.0000
Q 32	0.0000	0.0000	0.1280	0.0000	0.0000
Q 42	0.0000	0.0000	0.0000	0.1280	0.0000
Q 54	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3289
V 1	0.0533	- 0.0667	- 0.2667	0.0000	0.0000
V 2	- 0.0667	0.0308	- 0.2000	- 0.2000	- 0.1333
V 3	- 0.2667	- 0.2000	0.0258	- 0.0333	0.0000
V 4	0.0000	- 0.2000	- 0.0333	0.0258	- 0.2667
V 5	0.0000	- 0.1333	0.0000	- 0.2667	0.0889

Zi \ Zk	Q 13	Q 21	Q 25	Q 32	Q 42	Q 54
V 1	0.2020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
V 2	0.0000	0.0669	0.1339	0.0000	0.0000	0.0000
V 3	0.0000	0.0000	0.0000	0.2016	0.0000	0.0000
V 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2016	0.0000
V 5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2703

표 3. 感 度 係 數의 適 用 結 果

Table 3. Results by application of sensitivity coefficients

Measu. point	T	Zactual	Zestimation	Ev
5	5.23	0.034	0.030	1.133
7	8.94	0.074	0.022	3.364
11	13.13	- 0.071	- 0.012	5.917
16	4.78	0.010	0.011	0.909

모델系統에서 測定地點에 따른 표 1의 感 度 係 數를 구하면 표 2와 같으며, 이로부터 이미 얻어진 不良 情報를 이 感 度 係 數에 의한 評價基準으로 判定해 본 결과를 표 3과 같이 5, 16 測定所의 測定値는 負荷 急變에 의한 것이고, 7, 11 測定所의 測定値만이 不良 情報로 판명되었다.

여기서, 評價基準 Ev는 시뮬레이션 결과 0.5~2 이었으며, 이 때, 7, 11 測定所의 不良測定値는 狀

態推定後 이 不良測定値와 測定値의 殘差成分을 이 용한 식 (34)에 의해 새로운 測定値를 구한 후 이를 다시 入力시키도록 하였다.

이 때, 狀態推定은 初期值  $1 \angle 0^\circ$  으로부터 許容 誤差를  $|\Delta V| = 0.001pu$   $|\Delta \theta| = 0.001radians$  으로 정하고, 30회에 걸쳐 수행하여 본 결과 1회 수행에 거의 3회 反復計算으로 狀態量이 抽出되었으 며, 이 가운데 推定된 狀態量을 표 4, 5에 제시하였다.

五 4. 狀態推定結果

Table 4. Results of state estimation

Bus No	Voltage (mag.)		Error(%)
	True value	Estimated value	
1	1.06000	1.05582	0.3943
2	1.04877	1.04450	0.4071
3	1.02499	1.02094	0.3951
4	1.02453	1.02049	0.3943
5	1.02106	1.01707	0.3908

五 5. 狀態推定結果

Table 5. Results of state estimation

Bus No	Voltage (angle)		Error (%)
	True value	Estimated value	
1	0.00000	0.00000	0.0000
2	-0.04781	-0.04782	0.0209
3	-0.08632	-0.08666	0.3939
4	-0.09196	-0.09232	0.3915
5	-0.10196	-0.10207	0.1079

五 6. 實際値와 不良情報處理 前·後値와 比較

Table 6. Comparison of A, B, and C Component

Measu.	P1	P2	P3	P4	P5
A	1.2656	0.1923	-0.4549	-0.4150	-0.5451
B	1.2497	0.1914	-0.4464	-0.4107	-0.5410
C	1.2577	0.1941	-0.4536	-0.4150	-0.5402

Measu.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
A	-0.0926	0.2124	-0.1536	-0.0515	-0.0972
B	-0.0989	0.2432	-0.1614	-0.0588	-0.1023
C	-0.0901	0.2048	-0.1513	-0.0489	-0.0951

Measu.	P13	P21	P25	P32	P42	P54
A	0.4027	-0.8500	0.5112	-0.2462	-0.2767	-0.0436
B	0.3971	-0.8393	0.5068	-0.2427	-0.2732	-0.0439
C	0.4009	-0.8435	0.5076	-0.2458	-0.2762	-0.0423

Measu.	Q13	Q21	Q25	Q32	Q42	Q54
A	0.0092	0.0751	0.0683	-0.0699	-0.0609	-0.0261
B	0.0120	0.0849	0.0757	-0.0760	-0.0670	-0.0243
C	0.0088	0.0725	0.0663	-0.0681	-0.0590	-0.0261

Measu.	V1	V5
A	1.0600	1.0211
B	1.0520	1.0130
C	1.0558	1.0171

또한, 測定値의 實際値 (A)와 不良情報를 처리하기 前의 값 (B) 및 後의 값 (C) 들을 비교하면 표 6 과 같이 되며, 이 표에서 알 수 있는 바와같이 값 (C) 들이 實際値 (A) 에 훨씬 접근함을 알 수 있다.

8. 結論

電力系統의 on-line security control에 必要한 狀態推定을 記述한 方法을 통하여 모델系統에 적용해

본 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 時系列데이터를 이용한 T 分布의 統計의 方法으로 不良情報를 檢出하고 이를 다시 感度係數를 통하여 識別함으로써 보다 效果的으로 不良情報를 檢出, 識別할 수 있었다.

(2) 測定値의 殘差成分으로부터 구한 새로운 測定値를 入力시키므로서 精度높은 推定을 하였다.

(3) 三角分解法을 이용하여 狀態値의 共分散行列을 구하므로서 보다 効率的으로 狀態値를 計算하였다.

여기에 系統構成要素의 變動을 고려한 후, 系統을 分割하여 階層的으로 推定하는데 이용한다면, 더 좋은 結果가 나올 것으로 사료된다.

## 参 考 文 献

- 1) Schweppe F. C., et al. "Power system static state estimation, part I, II & III", IEEE Trans. Vol. PAS-89, 120, 1970.
- 2) Smith O. J. M.; "Power system state estimation", IEEE Trans. Vol. PAS-89, pp. 363-379, 1970.
- 3) 박영문, 유석한; "線路開閉狀態를 包含하는 電力系統 狀態推定 및 同定", 大韓電氣學會誌 vol. 28, No. 3 1979.
- 4) E. Handschin; "Real-Time control of electric power systems", Brown, Switzerland, 1971.
- 5)申明澈; "不良情報를 考慮한 電力系統의 온라인 狀態推定", 學位論文, 延世大學校, 1977.
- 6) E. Handschin, F. C. Schweppe, J. Kohlas, A. Fiechter; "Bad data analysis for power system state Estimation", IEEE Trans. Vol. PAS-94, No. 2, March/April, 1975.
- 7) 深尾 毅, 豊田淳一; "電力系統へのコンピュータの応用", 産業図書, 1972.
- 8) 高橋一弘; "電力システム工学", 1951.
- 9) C. W. Brice and R.K. Cavin; "Multiprocessor static state estimation", IEEE Trans. Vol. PAS-101, pp.302-308, Feb, 1982.
- 10) I. Zaborszky, K. W. Whang and K. V. Prasad; "Ultra fast state estimation for the large electric power system", IEEE Trans. Vol. AC-25, No. 4, Aug, 1980.
- 11) M. Kurzyn; "Real-time state estimation for large power system using multicomputer systems", Int. Journal on Computer and Electrical Engineering, Vol.8, pp.301-306, Decem, 1981.
- 12) T. Van Cutsem, J.L. Morward and M. Ribbens-Pavella; "A two-level static state estimator for electric power systems", IEEE Trans. Vol. PAS-100, pp. 3722-3731, Aug, 1981.
- 13) M. S. Kurzyn; "Real-time state estimation for large-scale power systems", IEEE Trans. Vol. PAS-102, pp. 2055-2063, July, 1983.