

電力系統의 測定 시스템 研究動向

文 永 鉉

(延世大學 工學 教授)

차 례

1. 緒 言
2. 測定 시스템의 構成要素
3. 外國의 研究動向
4. 最適測定點選定에 의한 測定시스템 設計
 - 4.1 評價函數의 定式化
 - 4.2 測定感度解析
 - 4.3 最高測定計器選定 알고리즘
5. 샘플系統에 대한 測定시스템 設計의 例示
6. 結 言
參考文獻

1. 緒 言

現代의 대규모 電力系統에서는 系統의 安全 運轉과 經濟的 運轉을 기하기 위하여 系統制御 센터에 컴퓨터設備을 도입하여 運用하고 있으며 系統運轉의 安全性 確保의 중요성은 날이 갈 수록 더 높아지고 있다.

電力系統에는 갑작스런 負荷變化나, 發電機, 送電線路에의 故障發生으로 인하여 系統攪亂 (system disturbance)이 빈번히 발생하고 있으며, 電力系統運轉은 이러한 攪亂의 발생에도 불구하고 수요에 따른 전력공급을 원활히 행할 수 있어야 하며 系統安全性向上을 위한 이러한 문제는 電力系統計劃과 系統運轉 兩面에서 고려되고 있다. 주 系統計劃에 있어서 발생 빈도가 높은 系統攪亂에 대해서는 특별한 조치 없이도 系統이 攪亂을 극복할 수 있도록 튼튼(robust)한 系統을 構成한다면 系統의 安全性은 向上될 수 있다. 그러나 系統에 중대한 故障이 發生한 경우에는 系統運轉상 특별한 조치를 취하지 않으면 系統붕괴 또는 電力供給에 중대한 차질이 생길 우려가 있다. 이러한 系統상의 위험을 줄이기 위한 제반조치를 安全制御(security control)라 한다.

이상에서 언급한 系統安全制御는 測定計器와 通信網을 이용하여 測定한 實時間測定데이터에 기반을 두고 있으며, 安全制御對策을 컴퓨터로 계산하여 實時間制御에 適用하고 있다. 따라서, 精確한 安全制御를 행하기 위해서는 충분한 량의 양질의 測定데이터를 온라인으로 中央制御 컴퓨터에 입력시켜야 한다. 그리고 입력된 測定데이터는 현재의 系統狀態를 파악하는데 쓰이며, 이 측정데이터로부터 系統의 精確한 狀態를 추정할 수 있어야만 精確한 安全對策을 계산할 수 있다. 현재 널리 사용되고 있는 狀態推定 프로그램은 궁극적으로 精確한 安全制御對策을 계산할 수 있도록 系統狀態에 관한 精確한 데이터 베이스(data base)를 제공하는 것을 목적으로 한

다. 이러한 연유로 정확한 측정데이터수집은 電力系統運轉을 위한 必要要件이 되었으며, 현재 널리 사용되고 있는 SCADA시스템은 測定計器로 測定된 자료를 通信網을 이용하여 온라인으로 傳送하는 온라인 實時間遠隔測定을 주목적으로 설치된 시스템이다.

한편, 系統의 測定은 오래 전부터 간단한 전류 전압 및 전력의 測定이 행해져 왔으며 필요하다고 생각되는 곳에 測定計器를 設置하는 외의 별다른 관심을 끌지 못하였다. 그러나, 최근 系統運用상 測定의 중요성이 높아지고 遠隔測定시스템이 도입됨에 따라 測定系統이 하나의 시스템을 이루고 있으며, 이에 대한 막대한 액수의 設備投資費와 運用費를 지출하지 않을 수 없게 되었으며, 區美 各國에서는 보다 경제적이고 효율적인 測定시스템을 구성하고자 測定시스템설계에 관한 研究가 다각적으로 행해지고 있다.

2. 測定시스템의 構成要素

測定시스템은 系統의 物理量을 測定하기 위한 測定計器들과, 이 計器에 의하여 測定된 자료들을 처리하여 전송하는 遠隔所端末裝置, 그리 데이터 데이터 轉送에 이용되는 通信線路 및 通信裝置들로 구성되어 있다. 測定計器에서 測定된 모든 데이터는 通信網을 통하여 中央制御컴퓨터로 보내어져 기억되며 各種 制御對策計算에 필요한 資料를 제공한다.

大規模系統에서는 測定데이터 轉送을 위한 SCADA시스템을 도입하여 운용하고 있으며 中間階層에 RCC (Regional Control Center, 中間 계층원격조정센터)를, 그리고 시스템 末端에 RTU (Remote Terminal Unit 또는 Remote Telemetry Unit)를 설치하고 있다. 末端에 설치되어 있는 RTU에서는 각 測定計器에서 측정된 자료를 수집하여 디지털 신호로 변환한 다음 通信線路를 통하여 RCC로 보낸다. RCC에서는 관할지역 내의 여러개의 RTU로 부터 각종 자료를 전송받고 전송받은 신호를 증폭 또는 통신매체를 무선통신, 광통신등으로 변

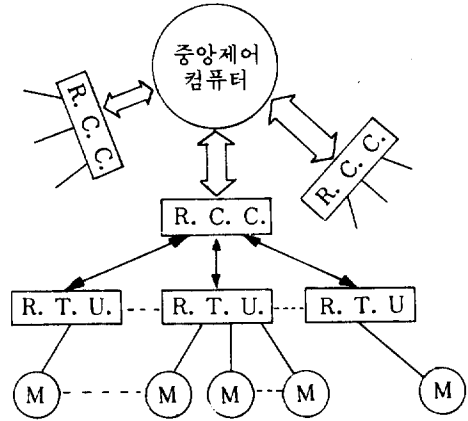


그림 1. 전력계통 측정시스템 구성도

환하여 중앙제어컴퓨터로 보낸다.

測定시스템의 構成을 그림으로 표시하면 그림 1과 같다.

電力系統에서 測定計器는 母線電壓測定, 母線에서의 有効·無効電力 및 線路의 有効·無効 潮流測定을 위하여 설치되며, RTU는 일반적으로 電力系統의 모든 母線에 설치하는 것이 일반적인 경향이다.

3. 外國의 研究動向

文獻에 조사된 바에 의하면 電力系統測定시스템設計에 관하여 최초로 연구를 시작한 학자는 獨逸의 Koglin教授로서 1975년에 발표한 그의 論文에서 測定計器의 設置位置에 따른 狀態推定正確度를 분석하고 測定點選定方法으로 소위 Koglin 알고리즘을 提示한 바 있다. 美國에서는 狀態推定時의 可觀測性에 관한 研究가 進行되어 왔으며, 이 분야에 권위있는 학자로는 Clements, Krumpolz, Davis, Wu 등이 있고 이들은 測定시스템의 信賴度向上을 위해서 測定計器 또는 RTU등에 故障가 발생할 경우에도 항상 系統의 可觀測性(observability)를 유지할 수 있도록 튼튼한 測定시스템(robust measurement system)을 設計하는 방안에 관하여 研究를 진행하고 있으며 4, 5편의 相關論文을 받

표하고 있다.

한편, 노르웨이聯邦電力시스템(Norway State Power System)에서는 最近에 Koglin 알고리즘을 개선하여 적용함으로써 系統의 測定시스템을 設計한 事例가 있으며, 研究結果는 IEEE 報告書에 報告된 바 있다.

日本에서는 明治大學의 森教授, 와세다 大學의 岩本, 西人, 北内, 長田教授등이 이 분야에 관한 研究를 行하고 있으며 現在까지는 모델 系統에 대한 解析을 중심으로 理論的인 研究를 해왔으나 알고리즘개선을 통하여 裝置 實系統에 대한 測定시스템설계에의 實際適用을 시도하고 있다.

오스트레일리아의 phua 및 Dillon은 測定미터의 位置와 狀態推定正確도와의 關係를 entropy 개념을 도입하여 해석을 시도하였으며, 測定投資費用을 고려한 測定시스템의 設計알고리즘을 발표한 바 있으며 測定시스템設計에 經濟性을 考慮한 그의 공적은 높이 인정받고 있다.

4. 最適測定點選定에 의한 測定시스템 設計

測定시스템은 系統狀態推定을 위한 測定資料를 提供하는 것을 목적으로 하며 이때의 狀態推定の 結果는 사용되는 測定데이터의 직접적인 影響을 받는다. 따라서, 系統運用상 요구되는 일정치 이상의 狀態推定 正確도와 信賴度를 유지하기 위해서는 충분한 量의 양질의 測定 데이터를 확보해야 한다. 한편, 系統의 測定시스템은 많은 수의 測定裝置와 복잡한 通信系統으로 이루어져 있기 때문에 각종 測定裝置 또는 通信設備중 어느 하나에 故障이 發生할 확율은 상당히 높다. 測定시스템이 충분한 量의 測定데이터를 확보할 수 있도록 설계되어 있지 않으면 測定設備 또는 通信系統의 故障으로 인하여 系統이 觀測不可能(unobservable) 또는 惡條件(ill-conditioned) 狀態로 되어 信賴性있는 狀態推定結果를 얻을 수 없게 된다. 한편으로, 測定데이터量을 늘리면 狀態推定 正確도와 信賴度는 向上되나, 이 경우는 많은 수의 測定計器의 設置

가 요구되므로 測定設備投資費가 증가한다.

따라서, 測定시스템設計는 經濟性을 유지하면서 狀態推定 信賴도와 正確度를 向上시킬 수 있도록 行하여야 한다.

4.1 評價函數의 定式化

最適測定點選定문제는 對象시스템의 제약조건(system constraints) 하에서 評價函數를 最小化하는 문제에 귀착된다. 따라서, 測定시스템의 最適設計를 위하여는 먼저 評價函數를 設定해야 하며, 測定시스템에 대한 評價函數는 일반적으로 最小自乘誤差推定法에 의한 狀態推定誤差로 주어진다.

系統의 測定데이터는 母線電壓絶對值, 線路의 有効·無効電力潮流 및 母線有効·無効電力으로 구성되며, 測定데이터에 대한 測定方程式은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$z = h(x) + v \tag{1}$$

단 $E[v] = 0$

$E[vv^T] = R$: 測定雜音共分散行列

상기 式에서 x 는 상태변수로서 母線電壓의 絶對值와 電壓位相角을 나타낸다. v 는 測定雜音を 표시하며 각 測定計器에 들어오는 雜音은 독립된 것으로 생각할 수 있다. 그리고 상태변수 x 는 N 모선계통에 대하여 N 개의 母線電壓벡터(x_ω)와 $(N-1)$ 개의 電壓位相角벡터(x_θ)로 구성되며, z 는 M 개 測定值벡터이다. 또한 $h(x)$ 는 非線形測定函數로 구성된 벡터이다.

上記의 式(1)의 測定모델은 다음과 같이 분할된 線形모델로 近似化될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} z_p \\ z_q \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_p & 0 \\ 0 & H_{q,v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\omega \\ x_\theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_p \\ v_q \\ v_v \end{bmatrix} \tag{2}$$

- 단, z_p : 有効電力測定벡터
- z_q : 無効電力測定벡터
- z_v : 母線電壓크기 測定벡터
- H_p : 有効電力에 대한 Jacobian 行列
- $H_{q,v}$: 無効電力과 電壓크기에 대한 Jacobian 行列

- \underline{y}_p : 有効電力 測定誤差벡터
- \underline{y}_q : 無効電力 測定誤差벡터
- \underline{y}_v : 電壓크기 測定誤差벡터

상기의 分割線形測定모델에서 보면, $[P-\delta]$ 모델과 $\langle Q-V \rangle$ 모델이 결합된 형태이며, 測定行列 H_p 는 $(N-1)$ 개의 獨立測定值를 가져야 하며, H_{qv} 는 N 개의 獨立測定值를 가져야만 狀態推定이 가능해진다.

式(2)에 주어진 測定데이터를 사용하면 다음과 같은 상태추정결과를 얻을 수 있다.

$$\hat{x} = (H^t R^{-1} H)^{-1} H^t R^{-1} z \quad (3)$$

$$\text{단, } H = \frac{\partial h(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} H_p & 0 \\ 0 & H_{qv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ H_{qv} \end{bmatrix}$$

그리고 狀態推定誤差 \tilde{x} 는 다음 같이 주어지며,

$$\begin{aligned} \tilde{x} &\triangleq x - \hat{x} \\ &= x - (H^t R^{-1} H)^{-1} H^t R^{-1} z \\ &= x - (H^t R^{-1} H)^{-1} H^t R^{-1} (Hx + y) \\ &= - (H^t R^{-1} H)^{-1} H^t R^{-1} y \end{aligned} \quad (4)$$

狀態推定誤差共分散行列 P 는 다음과 같이 計算된다.

$$\begin{aligned} P &= E[(x - \hat{x})(x - \hat{x})^t] = E[\tilde{x}\tilde{x}^t] \\ &= (H^t R^{-1} H)^{-1} H^t R^{-1} E[y y^t] R^{-1} H (H^t R^{-1} H)^{-1} \\ &= (H^t R^{-1} H)^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

測定시스템設計에 있어서는 狀態推定誤차가 評價函數로 정의되어 중요한 역할을 하며 이 狀態推定誤차는 式(5)의 狀態推定共分散行列 P 를 사용하면 쉽게 計算될 수 있다.

$$\begin{aligned} ERR &= E[(x - \hat{x})^t (x - \hat{x})] \\ &= \text{Trace } E[(x - \hat{x})(x - \hat{x})^t] \\ &= \text{Trace } P \end{aligned} \quad (6)$$

上記式의 狀態推定誤차를 評價函數로 設定하여 測定選定을 행할 수 있다. 그러나, 電力系統에서 예를 들면 電力系統運用上 시스템의 狀態變數값 뿐만 아니라 連系線(tie line)의 線路潮流 등이 중요한 의미를 가지고 있으며 이들을 關心量으로 정의하여 이 關心量의 推定誤차가 測定시스템設計에 반영되도록 하는 것이 바람직하다.

주어진 系統에 대하여 關心量(interesting quantity)이 設定될 수 있으며 이들 關心量이 다음과 같이 표현된다고 하자

$$\text{關心量} : y = f(x) \quad (7)$$

위의 關心量벡터 y 에는 狀態變數도 포함시킬 수 있다.

그러면, 關心量벡터 y 에 대한 狀態推定誤차는 다음과 같이 計算된다.

$$\begin{aligned} J &= E[(y - \hat{y})^t W (y - \hat{y})] \\ &= E[(F_x - F_{\hat{x}})^t W (F_x - F_{\hat{x}})] \\ &= \text{Trace } GPG^t \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{단, } F = \partial f / \partial x$$

$$G = W^{1/2} F$$

W : 加重值行列 (weighting matrix)

여기서, 狀態推定信賴도를 고려하기 위해 測定設備 혹은 情報傳送과정에서 발생될지도 모르는 故障確률을 測定시스템設計시 고려함으로써 狀態推定信賴도를 向上시킬 수 있다. 測定設備의 故障를 고려한 評價函數는 式(8)에 주어진 關心量추정오차의 期待值로서 設定할 수 있으며 새로운 목적함수 (\hat{J})는 다음과 같이 평가될 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{J} &= E[\text{Trace } GPG^t] \\ &= \sum_{E_k \in \Omega} \text{Prob}(E_k) \text{Trace } GP_{E_k}G^t \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{단, } P_{E_k} = [(H_{E_k})^t R_{E_k} H_{E_k}]^{-1}$$

E_k : 測定設備 / 轉送시스템 故障

Ω : 모든 故障種類의 全體세트

$\text{Prob}(E_k)$: 故障 E_k 가 發生할 確率

H_{E_k} : 故障 E_k 發生때 測定可能세트에 해당하는 Jacobian 行列

R_{E_k} : 測定可能세트에 해당하는 測定誤差共分散行列

상기 式의 評價函數 \hat{J} 값을 충분히 적은 값으로 유지한다면 狀態推定 正確도와 信賴도를 동시에 보장받을 수 있다. 電力系統運用상의 경험에 의하여 測定計器를 설치할 후보지를 선정할 수 있으며, 이 후보測定點集합을 M_c 로 표시하고 실제 計器를 설치할 測定點集합을 M 으로 표

시하면, 測定點集合 M은 候補測定點集合 M_c의 副集合(subset)가 된다. 그리고 設備投資費는 測定點集合 M에 의하여 결정된다.

$$\text{測定設備投資費 } C(M) = \sum_{i=1}^m C_i \quad (10)$$

C_i: 測定點 i에 대한 設備投資費

m: 測定點數

그러면, 最適測定點選定問題는 다음과 같이定式化된다.

$$\text{Minimize } C(M) \quad (11)$$

MCM_c

제약조건: J=E[Trace GPG'] ≤ J_{sp}

단, J_{sp}: 계통에서 요구되는 상태 추정오차 한계.

上記의 最適化問題에서 測定方程式 $z = h(x) + y$ 는 測定集合M에 의하여 결정되며, 이 測定方程式으로 부터 Jacobian 행렬H가 계산되고 상태 추정공분행렬P가 계산된다.

測定集合M의 구성상태에 따라 상태 추정오차 J와 設備投資費가 算出되므로 상기 最適化問題의 解가 존재함을 알 수 있다. 그러나 最適解를 직접 계산하는 것은 測定計器의 가능한 모든 集合에 대하여 評價函數를 계산하여야 하므로 實系統에 대하여서는 그 計算量이 실로 엄청나게 때문에 간접적으로 最適解를 탐색하는 方法이 일반적으로 채용되고 있다.

4.2 測定感度解析

測定感度(measurement sensitivity)는 最適測定點選定을 위해 어떤 測定計器를 除去 혹은 追加할 것인가를 결정하는 척도로써, 하나의 測定計器가 追加 또는 除去되었을 경우 評價函數의 변화정도를 나타내는 係數로 定義된다. 이 測定感度計算에는 測定計器 상호간의 관계, 測定設備상에 발생할 수 있는 故障의 確率的인 영향, 設備投資費등이 총괄적으로 고려되어야 한다.

먼저 測定시스템M에 새로운 測定計器를 追加할 때의 評價函數 \hat{J} 의 변화를 고찰해보면, 새로운 測定計器 하나가 추가된 시스템에 대한 評價函數 \hat{J} 는 式(9)에 의한 計算이 원리적으로 가

능하다. 그러나 式(9)에 의한 計算은 많은 計算量이 수반되므로 實系統適用時에는 보다 효과적인 方法이 제시되어 있으며 계산속도도 빠른 것으로 나타나 있다. 자세한 내용은 참고문헌^{11,12}를 참고하기 바람이며 그에 대한 기술은 생략하기로 한다.

여기서, 測定計器가 追加된 시스템에 대한 새로운 評價函數 값을 \hat{J}' 라 하고 새로운 設備投資費를 C'라 하자. 그러면 새로운 測定計器 $z_i = h_i(x) + y_i$ 의 追加에 대한 測定感度は 다음과 같이 정의된다.

$$K_a \triangleq \frac{\Delta \hat{J}}{\Delta C} = \frac{(\hat{J}' - \hat{J}) / C_i}{= [\text{Prob}(\phi) \Delta J_i + \sum_{j=1}^m \text{Prob}(j) \Delta J_{ij}] / C_i} \quad (12)$$

단, C_i: 測定計器 i의 設置費用

$$\Delta C = C' - C = C_i$$

$$\Delta J = \hat{J}' - \hat{J}$$

j는 故障發生測定點

한편 여러개의 測定計器를 동시에 추가하는 경우는 추가되는 測定計器가 $z_a = \{z_{a1}, z_{a2}, \dots, z_{ad}\}$ 라고 하면 이에 대한 測定感度は 다음과 같이 계산된다.

$$K_a = (\hat{J}' - \hat{J}) / \left(\sum_{i=1}^d C_i \right) \quad (13)$$

測定計器 ν 개를 동시에 제거할 경우도 제거되는 測定計器群이 $z_\nu = \{z_{\nu 1}, z_{\nu 2}, \dots, z_{\nu \nu}\}$ 이라고 하면 이에 대한 感度係數는 測定點追加의 경우와 같은 방법으로 다음과 같이 계산된다.

$$K_e = \frac{(\hat{J}' - \hat{J}) / \left(\sum_{i=1}^{\nu} C_i \right)}{\sum_{i=1}^{\nu} C_i} = \frac{[\text{Prob}(\phi) \Delta \hat{J}_k + \sum_{j=1}^m \text{Prob}(j) \Delta \hat{J}_{kj}] / \left(\sum_{i=1}^{\nu} C_i \right)}{\sum_{i=1}^{\nu} C_i}$$

단, k는 제거될 測定點

j는 故障發生 測定點

이상에서의 測定感度は 測定計器設置에 投資된 單位費用에 대한 效果를 나타내는 것으로, 追加過程에서는 항상 음의 수치를 나타내고, 除去過程에서는 항상 양의 값을 갖는다.

測定計器를 追加할 때에는 測定感度係數가 가

장 적은 값, 즉 絶對值가 가장 큰 값을 갖는 測定計器를 追加하는 것이 單位費用 投資에 대하여 評價函數값을 가장 많이 감소시키므로 가장 좋은 測定計器追加方法이라 할 수 있다. 그리고 測定計器를 除去시키고자 할 때는 가장 적은 感度係數를 갖는 測定計器를 除去하는 것이 評價函數值를 가장 적게 증가시키므로 最適測定計器 除去方法이 된다. 이상을 종합하면 가장 효율적인 測定設備 投資方案은 測定시스템設計時 測定計器追加·除去결정의 각 단계마다 가장 적은 測定感度を 갖는 測定計器를 選定하는 것이다.

한편 기술적인 관점에서 볼 때, 개별적인 測定計器를 追加·除去하는 것 보다 母線注入電力 혹은 線路潮流의 有効 및 無効電力을 雙으로 追加·除去하는 것이 더 효과적이다. 따라서 電力測定에 있어서는 한 쌍의 有効·無効電力測定計器를 하나의 測定그룹으로 간주되어야 한다.

4.3 最適測定計器選定 알고리즘

最適測定計器選定알고리즘은 각 測定 미터가 評價函數에 미치는 영향을 반영하고 있는 測定感度解析을 기초로 하여 다음과 같은 3 가지 알고리즘이 사용되고 있다.

(1) 測定計器追加알고리즘.

본 알고리즘은 어떤 觀測可能한 測定시스템으로 부터 출발한다. 이 觀測可能한 시스템은 기존의 測定시스템으로 대체될 수 있다. 기존의 測定시스템 혹은 어떤 방법에 의하여 觀測可能한 測定시스템이 주어지면 매 단계마다 각 후보 측정계기에 대하여 測定感度を 계산하고 그 중 絶對값이 가장 큰 感度を 갖는 測定計器를 선정하여 추가설치하는 알고리즘으로써 이상의 測定計器追加를 反復하여 狀態推定誤差가 미리 지정된 값보다 적게 되었을 때 끝낸다.

(2) 測定計器除去알고리즘.

본 알고리즘에서는 먼저 測定시스템이 모든 設置可能한 測定計器들로 設計되어 있다고 가정하여, 이미 設置된 測定計器中에서 가장 效果가 적은 測定計器를 순차적으로 한번에 한개 혹은 몇 개를 동시에 제거하여 最適測定計器群을 결정하는 알고리즘이다.

(3) 結合알고리즘(追加 및 除去過程의 結合)

상기 두 알고리즘을 結合하여 追加過程과 除去過程을 교차 수행하는 알고리즘이다. 처음에는 狀態推定이 可能한 임의의 測定시스템을 初期測定시스템으로 設定한다. 그리고 그 결과로 남아 있는 測定시스템에 대하여 評價函數값을 계산하여 그 값이 지정된 임계치를 상회하면 測定計器追加알고리즘을 적용하여 測定計器를 追加하고 그렇지 않으면 測定計器除去 알고리즘을 適用하여 測定計器를 除去한다. 이상의 追加·除去알고리즘을 반복 수행하며 測定計器候補와 測定시스템내의 計器를 어떠한 방법으로 교체하여도 더 이상 狀態推定誤差가 개선되지 않을때 計算을 중단한다.

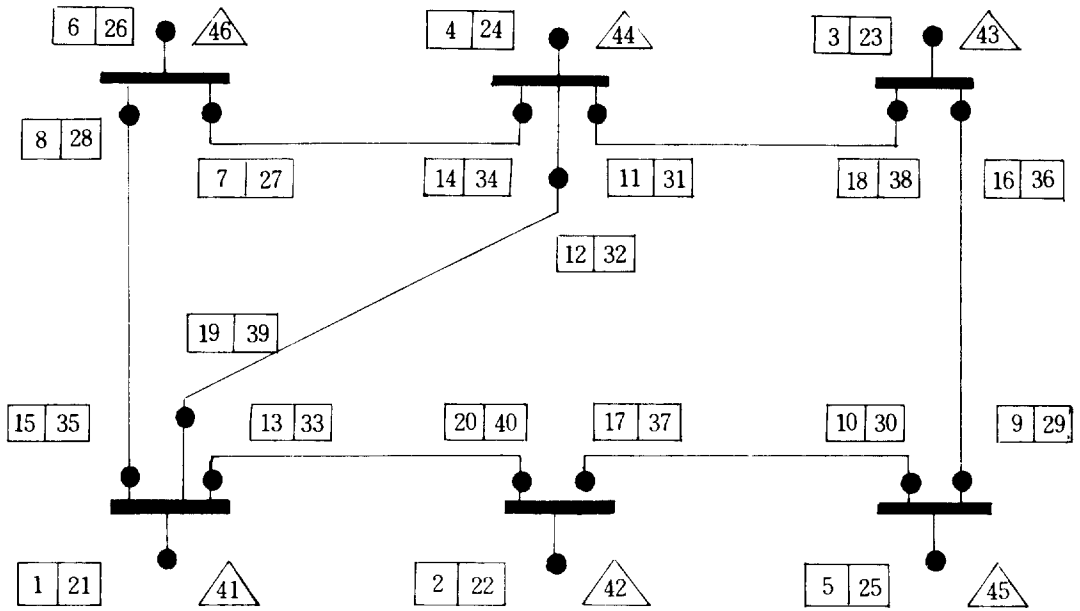
상기의 3가지 測定計器選定알고리즘은 測定感度を 사용하여 評價函數인 狀態推定誤差를 줄여가는 방향으로 最適測定計器가 選定되도록 구성되어 있다.

測定計器追加알고리즘과 除去알고리즘은 計算過程이 간단하고 計算量이 적다는 장점이 있다. 특히 前者는 測定候補計器가 많을 때 효과적인 방법이 된다. 그러나 이 두개의 알고리즘은 모두 絶對最適解를 기대하기 어려우며 그 이유는 測定計器 상호간의 作用이 전혀 고려되어 있지 않기 때문이다. 마지막의 結合알고리즘은 測定計器의 追加·除去를 반복함으로써 測定 상호간의 作用을 상당히 고려할 수 있기 때문에 前者의 두 알고리즘보다 더 좋은 解를 기대할 수 있다.

5. 샘플 시스템에 대한 測定시스템設計의 例示

測定시스템設計를 例示하기 위하여 그림 2에 주어진 6 母線 시스템에 대하여 考察해 본다.

6 母線 시스템에 대한 狀態變數는 $2N-1$ 즉 11개이며, 基準母線을 제외한 모선 位相角과 각 모선에서의 電壓絶對值로 주어진다. 그리고 設置可能한 測定計器候補의 數는 46개로서 12개의 母線注入 有効·無効電力測定計器, 28개의 有効·無効線路潮流測定計器, 그리고 6개의 母線電



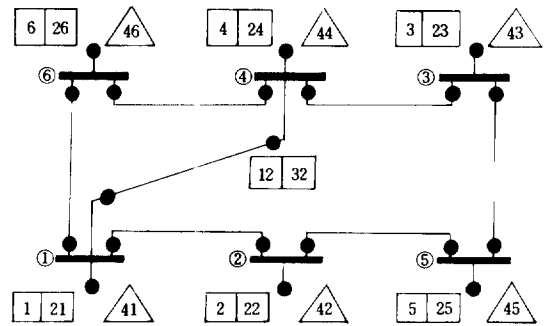
圖解例 △：電壓測定計器 □：한쌍의 有效·無効電力 測定計器

그림 2. 6-母線 測定系統構成圖

壓測定計器들로서 구성된다. 그림 2에 표시된 측정計器는 候補計器를 나타낸다.

모든 測定計器에 대한 測定誤差는 共分散이 $\sigma_k^2 = 10^{-2}$ 인 正規分布誤差로 가정하였다. 그리고 系統에 대한 關心量은 狀態變數로 간주하여 ($y = x$) 設計를 실시한다. 그리고 상태추정정확도의 요구조건은 $J_{sp} = 1.5 \times 10^{-3}$ 으로 취하였다.

각 測定計器에 대한 故障確率과 設置投資는 표 1과 같이 가정하였다. 設計方法으로는 가장 좋은 解를 기대할 수 있는 結合엘고리즘을 적용하여 最適測定計器를 選定하면 그 結果의 測定系統은 그림 3에 주어진 바와 같다.



圖解例

△：電壓測定計器

□：한쌍의 有效·無効電力 測定計器

그림 3. 6-모선 샘플시스템 배치도

표 1. 測定시스템設計條件

	설 계 조 건			결 과	
추정위치조건	모 선 (P, Q)	선로 (P, Q)	전 압 (V)	트레이스 (P) / 갯수	0.0011742
R	0.01	0.01	0.01	트레이스 (P)	0.0234832
고 장 확 율	0.05/년	0.05/년	0.05/년	최적수	20
투 자 비	0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0			선재가격	29.5
가 중 치	1.0	1.0	1.0	선로도	

6. 結 言

測定시스템은 電力系統運轉에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며 특히 系統의 安全運轉을 위해서는 必須的인 시스템이라고 할 수 있다. 즉 電力系統의 運轉을 자동차운전에 비유한다면 측정시스템은 운전사의 눈과 같은 역할을 한다. 좋은 측정설비에 의하여 系統狀態에 대한 정확한 정보를 입수하여야만 원활한 系統運轉을 행할 수 있으며 만약 그렇지 못하다면 자동차 운전사가 눈을 가리고 운전하는 것과 같이 電力系統運轉이 安全상 매우 위태로운 지경에 처하게 된다. 그럼에도 불구하고 測定시스템에 대한 關心度는 그동안 중요성에 크게 미치지 못하고 있었음이 사실이다. 필자는 본 稿를 통하여 測定시스템에 관한 당면과제를 소개할 수 있게 된 것을 다행으로 여기며, 앞으로 測定시스템에 관한 보다 많은 관심과 활발한 研究가 행해지기를 바라는 바이다.

參考文獻

- 1) 韓電技術研究所 報告書, "電力系統狀態推定을 위한 測定點選定에 관한 研究", 1986. 3.
- 2) Young-Moon Park, et al., "Optimal Meter Placement for State Estimation", IFAC Symposium, 1986. 8.
- 3) Young-Hyun Moon, et al., "Observable Island Identification for State Estimation Using Incidence Matrix", IPAC Symposium, 1986.8.
- 4) S. Aam, L. Holten and O. Gjerde, "Design of the Measurement System for State Estimation in The Norwegian High-Voltage

Transmission Network", IEEE Trans. Vol. PAS-10 2, No. 12, pp. 3769-3777, December 1983.

- 5) K. PHUA, T. S. Dillon, "Optimal Choice of Measurements for State Estimation", Power Industry Computer Applications Conference, pp. 431-441, 1977.
- 6) E. E. Fetzer, P. M. Anderson, "Observability in the State Estimation of Power Systems", IEEE Vol. PAS-94, No. 6 pp.1981-1988, Nov/Dec. 1975.
- 7) K. A. Clements, G. R. Krumpholz, P. W. Davis, "State Estimation Measurement System Reliability Evaluation—An Efficient algorithm Based on Topological Observability Theory", ibid, vol. PAS-101, No. 4, pp. 997-1004, April 1982.
- 8) G. R. Krumpholz, K. A. Clements and P. E. Davis, "Power System Observability: A Practical Algorithm Using Network Topology", IEEE, Vol. PAS-99, No. 4, pp. 1534-1542, July/Aug. 1980.
- 9) H. P. Horisberger, "Observability Analysis Power Systems with Measurement Deficiencies", IEEE Summer Meeting, pp. 51-58, Summer 1985.
- 10) A. Bargiela, M. R. Irving and M. J. H. Sterling, "Observability Determination in Power System State Estimation using a Network flow Technique", IEEE Summer Meeting, 85-SM 474-2, Summer 1985.
- 11) Th. Van Cusem, "Power System Observability and Related Functions: Derivation of Appropriate Strategies and Algorithms" IEEE Received: April 1984.

〈p. 41에서 계속〉

를 利用한 應用 분야에 많은 研究가 進展되어야 할 것으로 믿는다.

參考文獻

- 1) M. A. Laughton: Analysis of unbalanced poly-phase networks by the method of phase co-

ordinates part 1.

- 2) 同上 part 2.
- 3) 関根: 電力系統 過渡解析論(昭59) オーム社.
- 4) Pradipta K. Dash: Analysis of power system Faults by phase impedance matrix method
- 5) 同上 2 - Simultaneous unbalances and transient analysis.