

변전소 측정기기의 검·교정 알고리즘에 관한 연구

이홍재* 박성민* 김용한** 김종구**
 광운대학교 전기공학과* 현대중공업 기전연구소**

A Study on the Substation for the Bad Measuring Devices Detection and Correction

H. J. Lee* S. M. Park* Y. H. Kim** J. K. Kim**
 *KwangWoon Univ. **HHI CO.,LTD.

Abstract - The power system automation, especially the substation automation is a major issue, so it has been widely studied each country in the world. Since the substation system includes lots of measuring devices, a lot of data and system information are transmitted to operators. The measured values usually have the error that results from the communication process, and it can degrade the reliability of estimated values. So, the detection and correction of measured values at a substation are important factors for substation automation.

In this paper, we study the detection and cor of measured values at the domestic 154kV/2 distribution substation of double bus structure study will be useful for expected economic dispatch, measuring device's inspection and corr management by SCADA system operation, substation automation.

1. 서 론

현대사회의 전력시스템은 사회의 발전에 따라 급격하게 대규모화 되어가고 있으며 고객의 수요에 의해 다양한 형태로 발전하고 있다. 이러한 상황에서 에너지의 확보, 전력시스템의 안정한 운용과 효율성을 위하여 여러 가지 제반 설비들이 증가하고 있으며, 대규모화된 전력계통의 안정적 운용 및 관리를 위하여 자동화 시스템의 적용이 필연적이라 할 수 있다. 또한 세계 각국에서는 전력시스템의 원활하고 안정적인 운용을 위해 자동화 시스템의 구현에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 전력시스템의 자동화를 위해 다각적으로 연구를 수행하고 있다. 특히 변전소는 전력시스템의 계층 구조 중에서 최하층 부분으로서 계통의 원활한 운용을 위하여 우선적으로 자동화가 진행되어야 할 부분이다. 이러한 전력 자동화 시스템에 있어서 획득되는 데이터의 정확성과 측정기기의 신뢰성은 중요한 요건이다. 계통에서의 측정값은 측정기기 자체의 오차와 측정값의 전송 과정에서 발생하는 오차 등을 내포하고 있으며, 이러한 오차는 전력계통의 안정적이고 효율적인 운용을 위한 여러 자동화 시스템의 기능을 저하시킨다. 이와 같은 상황에서 계속되는 데이터의 정확성과 신뢰성을 높이기 위하여 측정값으로부터 오차를 여과하는 동시에 계통의 상태를 추정함으로써, 현재 계통에 대한 정확한 데이터베이스를 구축하는 기법인 상태추정에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있으며, 이러한 연구들은 송전 계통을 시작으로 하여, 90년대에 들어서는 배전 계통의 전력조류 상태추정^[1], 3상 불평형 배전 계통에서의 상태추정^[2,3] 등 배전 계통에서의 연구가 발표되었다.

향후 전력계통 산업시설의 규제완화가 진행된다면, 전력 시설의 설치, 운용, 유지에 소요되는 비용을 줄이고자

하는 요구가 증가될 것이며, 이는 변전소 무인자동화 실현을 위한 정확도가 높은 데이터 획득의 필요성을 더욱 배가시킬 것이다.

이러한 상태추정의 성능은 측정값의 정확도에 크게 좌우된다. 대상 계통에서 측정값의 오차가 허용치를 넘는 경우, 이러한 종류의 오차가 전체 상태추정 값의 신뢰도를 저하시키므로^[4] 부정확한 측정값 및 고장 측정기기의 검정을 위한 절차가 필요하게 된다. 송전계통에 있어 불량 데이터의 검정은 제안되었으며^[5,6], 배전 변전소 자체에 대한 검정 알고리즘이 최근 발표된 바 있다^[7,8].

본 연구에서는 국내의 154kV/22.9kV 배전 변전소를 반으로 한 변전소 측정기기의 검·교정 알고리즘에 관한 연구 사례를 검토하였으며, 발표된 알고리즘의 개선을 위한 기법을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 상태변수 추정 및 불량데이터 검정 모델링

다수의 측정기기에 대한 가중최소자승법을 이용한 상태변수 추정은 다음의 식으로 정의된다.

$$\min_x J(x) = \sum_{i=1}^N \frac{(z_i^{max} - f_i(x))^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

여기서, $f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \vdots \\ f_{N_s}(x) \end{bmatrix} = [H]x$,

$$z^{max} = \begin{bmatrix} z_1^{max} \\ z_2^{max} \\ \vdots \\ z_{N_s}^{max} \end{bmatrix}$$

$$[R] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & \\ & \sigma_2^2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_{N_s}^2 \end{bmatrix}$$

식(1)의 오차함수의 최적조건은 다음과 같다.

$$\nabla J(x) = -2[H]^T [R^{-1}]z^{max} + 2[H]^T [R^{-1}][H]x = 0 \quad (2)$$

식(2)를 만족하는 x 를 x^{est} (추정값)이라 한다.

여기서, f_i : 해당 측정기기의 측정함수,
 σ_i^2 : 해당 측정기기 오차의 분산,
 $J(x)$: 측정기기 오차함수.

N_m : 측정기기의 개수,
 z_i^{meas} : 해당 측정기기 측정값

또한 실제 변전소의 모델링은 그림 1과 같은 국내 154kV급 이층 모선 구조의 송포 변전소를 대상으로 시행하였다.

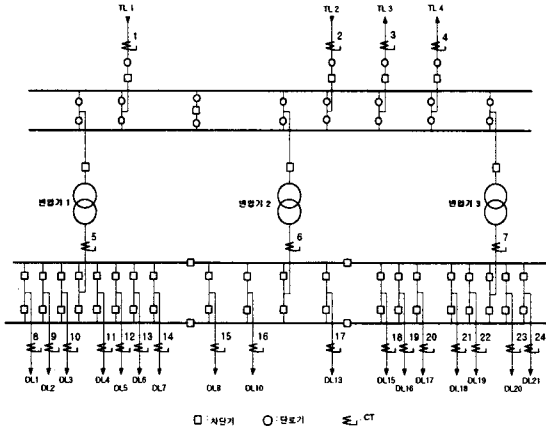


그림 1 대상 변전소의 단선결선도

측정값의 오차가 Random하고 모든 오차가 각각 표준 밀도 함수로 표현된다고 가정하면, $J(x)$ 는 카이스퀘어 분포라고 하는 확률 밀도 함수를 갖게된다. 그리고 카이스퀘어 테스트 적용 결과, 대상 시스템의 $\chi^2(K)$ 값이 평가치를 넘을 경우, 가설 검정 이론을 근거로 하여 측정값 중 불량 데이터가 존재한다는 것을 알 수 있다.

$$probability (J(x) > \chi_a^2 | J(x) \text{ is a chi-squared}) = \alpha \text{ with } K \text{ degrees of freedom} \quad ()$$

여기서,

$K(= N_m - N_s)$: 카이스퀘어 분포의 자유도,

N_m : 측정값의 개수,

N_s : 상태변수의 개수,

α : 유의수준. 보통 0.005에서 0.1,

χ_a^2 : 평가치. 대상집단의 자유도와 검정의 유의수준으로부터 나온 χ^2 값

상기의 카이스퀘어 테스트는 표준화된 오차를 이용하여 불량 데이터를 검정하는 과정이 필요하다.

$$y_i^{norm} = \frac{z_i^{meas} - f_i^{est}}{\sigma_{y_i}} \quad (4)$$

여기서,

y_i^{norm} : 표준화된 오차,

f_i^{est} : 상태변수 추정 결과치,

σ_{y_i} : 표준편차

σ_{y_i} 를 구하기 위해서 임의의 표본 데이터를 사용하며, 각 표본에 있어 24개의 측정값을 Z_i 로, 추정값을 F_i 로 표현함으로써, 24개의 σ_{y_i} 를 다음과 같이 구한다.

$$\sigma_{y_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (Z_i - F_i)^2}{4}} \quad (5)$$

식(5)에서 확률적으로 $|y_i^{norm}| > 3$ 인 측정값을 불량 데이터로 간주하지만, $|y_i^{norm}| < 3$ 인 대상 데이터의 $J(x)$ 값이 평가치를 넘는 경우, 가장 큰 y_i^{norm} 을 갖는 측정값을 불량 데이터로 간주한다.

2.2. 상태변수 추정 및 검정 시뮬레이터

전술한 상태추정 및 검정 알고리즘에 대한 전체 흐름도는 그림 2와 같다.

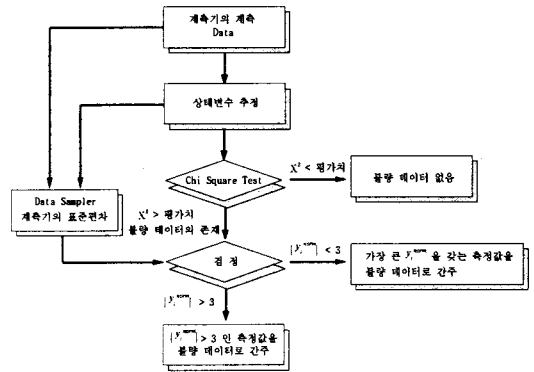


그림 2 본 시뮬레이터에 적용된 검증 절차

그림 3의 검정 시뮬레이터는 부 시스템으로부터 전송된 계측기의 데이터를 실시간으로 상태 추정한 후 이를 기반으로 고장진단 결과 및 계측값과 추정값을 자동적으로 출력한다. 또한 각각의 계측기 불량데이터 내포 상태에 따라 색상을 지정하여 표현함으로써 사용자가 시뮬레이터의 고장진단 결과를 쉽게 이해할 수 있다.

그림 3의 시뮬레이터는 송포 변전소의 실제 데이터 적용하였으며, 다음의 그림 4의 화면은 계측기의 고장 진단을 나타내고 있다. 그림 2의 흐름도와 같이 확률적으로 표준화된 편차가 절대값 3을 넘었을 경우를 측정값을 불량 데이터로 간주하지만, 아래의 경우처럼 표준화된 오차가 절대값 3이하이며, 대상 데이터의 $J(x)$ 값이 평가치를 넘는 경우는 가장 큰 표준화된 오차를 갖는 측정값을 불량데이터로 간주한다.

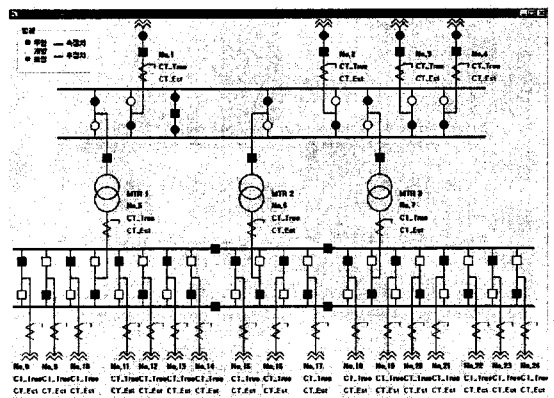


그림 3 계측기 검정 시뮬레이터의 초기화면

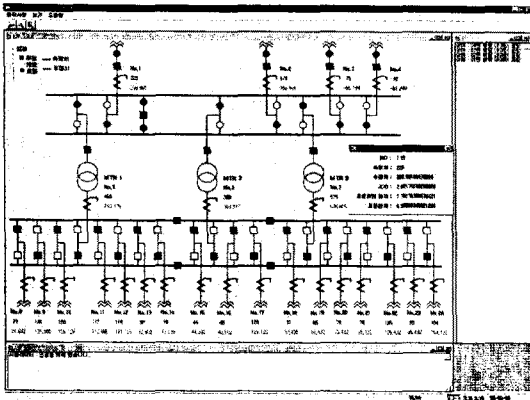


그림 4 시뮬레이터의 고장 진단 결과

2.3 상태변수 추정 및 검정 알고리즘의 개선

변전소 상태변수 추정 및 고장 데이터 검정 알고리즘은 변전소 모델링에 있어 상위 모선의 개폐 동작에 대해 고려가 되지 않았다. 운전 중 부하 수요나 자체 사정에 의해 상위모선의 개폐 구조가 변경될 경우, 식(1)의 f_i 합수가 변경되어야 하나 현재의 시뮬레이터의 경우 구조변경에 따라 식(1)의 H matrix를 변경하고 다시 상태 추정해야하는 문제를 가지고 있으므로 시뮬레이터를 실제 변전소에 적용할 경우 오류의 결과를 operator에게 제시하게 된다.

변전소의 상위모선 구조 변경에 관계없이 적용 가능한 상태추정의 기법을 제시하거나, 상위모선의 구조 변경에 대한 각각의 해당 H matrix 모델을 포함시켜 그림 2의 상태추정의 이전 단계에서 operator가 실제 모델을 선택할 수 있는 과정을 도입 해야한다.

본 연구에서는 개선하고자 하는 변전소의 상태추정 및 고장데이터 검정의 알고리즘은 측정값의 상태추정 후 카이스퀘어 테스트에 의해 대상 시스템의 $\chi^2(K)$ 값이 평균치를 넘어설 경우 가설 검정 이론을 근거로 하여 측정값 중 불량 데이터만을 확인한다. 불량데이터가 존재하는 해당시간의 상태추정값은 신뢰성을 잃게되며, 측정값과 고장데이터만이 존재한다. 즉, 고장데이터 확인 후 고장데이터를 제외한 나머지 요소에 대해 추정값의 교정 작업이 필요하다.

이러한 상태추정 및 검정은 변전소 CT에서 측정되는 전류를 파라미터로 한다. 변전소 구조는 상위 버스와 CB에 의해 분할되어 있는 각 하위 버스를 통해 방사형으로 형성되어 있고, 각 상·하위 버스를 기점으로 측정값의 개수가 상태변수의 개수보다 한 개가 많다. 고장데이터에 대한 교정 작업시 불량데이터로 추정되는 측정값을 제거하면 측정값과 상태변수의 개수가 같아져 방정식의 형태가 되므로, 이 경우 그림 2의 알고리즘이 검·교정을 반복할 경우 상태추정을 적용할 수 없다. 실제 변전소에서는 유효전력, 무효전력, 전압, 전류 등의 값을 측정하여 시스템을 운용하고 있으므로 적용 가능한 측정값을 변수로 하여 서로의 관계들을 고려한다면, 비선형방정식이 필요하게 되며, 이를 통해 제시한 문제점을 해결하고 보다 신뢰성 있는 추정값을 얻을 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 국내의 154kV/22.9kV 배전 변전소를 반으로 한 변전소 측정기기의 검·교정 알고리즘에 관한 연구 사례를 검토하였으며, 발표된 알고리즘의 개선을 위한 기법을 제안하였다.

변전소의 상위모선 구조 변경에 관계없이 적용 가능한 H matrix 모델에 관한 연구와 실제 변전소에서는 P, Q, V, I 등을 측정하여 서로의 관계들을 고려한 변수에 의한 상태추정은 본문에서 제시한 문제점을 해결하고 보다 신뢰성 있는 추정값을 얻을 수 있으며, 이러한 교정 알고리즘을 추가시킴으로써, 측정기의 고장 판별 및 불량 데이터의 검정 관리, 변전소의 자동화에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. P. Sakis, Fan Zhang, "Multiphase Power Flow and State Estimation for Power Distribution Systems", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 11, No. 2, pp. 939-946, May 1996
- [2] Ke Li, "State Estimation for Power Distribution System and Measurement Impact", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 11, No. 2, pp. 911-916, May 1996
- [3] C. N. Lu, J. H. Teng, et al., "Distribution System State Estimation", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 10, No. 1, pp. 229-240, Feb. 1995
- [4] J. F. Dopazo, O. A. Klitin, A. M. Sasson, "State Estimation for Power Systems: Detection and Identification of Gross Measurement Errors", Proceedings 8th PICA Conference, Minneapolis, June 1973
- [5] R. L. Lugtu, D. F. Hackett, K. C. Liu, D. D. Might, "Power System State Estimation: Detection Of Topological Errors", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-99, No. 6, Nov/Dec, 1980
- [6] W. H. Edwin Liu, Swee-Lian Lim, "Parameter Error Identification and Estimation in Power System State Estimation", IEEE Trans. on PWRs, vol. 10, No. 1, Feb 1995
- [7] 이홍재, 박성민, 김용한, 강현재, "변전소 상태추정 고장 측정기기의 검정에 관한 연구", 2000년도 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 5-7
- [8] 이홍재, 왕인수, 김용한, 박성민, 강현재, "변전소 상태추정 및 고장 측정기기의 검정 시뮬레이터에 관한 연구", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 116-118