

한국형 EMS를 위한 상태추정기 개발 I

김홍래*, 장한성*, 김병호*, 권형석*, 문영현**, 민경일**, 이효상#, 김선구#, 허성일#, 이육화###, 윤상운###, 조운성##
 *순천향대학교, **연세대학교, #전력거래소, ##LS산전

State Estimator for Korean EMS I

Hongrae Kim*, Han Sung Jang*, Byoung Ho Kim*, Hyung-Seok Kwon*, Young-Hyun Moon**, Kyung-II Min**,
 Hyo-Sang Lee#, Seon-Gu Kim#, Seong-II Hur#, Wook-Hwa Lee##, Sang-Yun Yun##, Yoon-Sung Cho##
 *Soonchunhyang Univ., **Yonsei Univ., #Korea Power Exchange, ##LS Industrial Systems

Abstract - 계통의 정확한 상태추정을 위해서는 현재 확보된 데이터를 이용하여 계통의 가관측성을 확인하여야 한다. 실제 계통에서는 통신장애, 계기의 고장 등과 같은 이유로 전체 계통에 대한 상태추정이 불가능한 경우가 있으며, 이러한 경우 계통은 가관측성을 확보하지 못하였다고 한다. 건설한 상태추정을 위해서는, 전체 계통의 가관측성을 확보하였는지 판단하고, island가 발생한 경우 의사측정데이터를 추가하여 계통의 가관측성을 확보하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 수치해석법을 이용한 가관측성 해석 알고리즘을 이용하여 전체 시스템의 가관측성을 판별하고, 필요한 경우 의사측정데이터를 추가하는 프로그램을 개발하였다. IEEE 14모선 시험계통을 이용하여 가관측성 확보에 대한 타당성을 검증하였다.

$$P_b = C \Theta \quad (1)$$

여기서, P_b : vector of branch flows
 C : branch-bus incidence matrix
 Θ : vector of bus voltage phase angles

모든 측정데이터가 0이라면, 완전히 가관측한 시스템의 선로조류는 모두 0이 된다. 선로조류 중에 0이 아닌 값을 찾는 것이 있다면, 그 선로는 가관측하지 않다.

분할된 선형 측정 모델 $H_{AA}\Theta = z_A$ 를 사용하면, Θ 에 대한 WLS(Weighted Least Square) 상태추정 값은 다음 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\Theta} = (H_{AA}^T H_{AA})^{-1} H_{AA}^T z_A \quad (2)$$

$H_{AA}\hat{\Theta} = 0$ 이고 $P_b = C\hat{\Theta} \neq 0$ 이면, $\hat{\Theta}$ 는 가관측하지 않은 상태라 한다. 어떤 선로 i 에서 $P_b(i) \neq 0$ 이면, 그 선로는 가관측하지 않은 선로라 한다.

가관측하지 않은 선로의 결정에 대하여 자세히 설명하면 아래와 같다. 다음 식 (3)과 같은 선형 분할 모델을 고려해 보자.

$$\begin{aligned} (H_{AA}^T H_{AA})\hat{\Theta} &= 0 \\ G_{AA}\hat{\Theta} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

G_{AA} 가 정칙행렬(nonsingular matrix)이면, 시스템은 완전히 가관측하다. 그러나, G_{AA} 가 비정칙행렬(singular matrix)이면, 행과 열의 치환으로 다음 식(4)와 같은 행렬로 바꿀 수 있다.

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\Theta}_a \\ \hat{\Theta}_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 G_{11} 은 정칙행렬이고, $\hat{\Theta}_b$ 에 임의의 값을 지정한 $\overline{\Theta}_b$ 를 이용하려면 여러 개의 가능해 중 하나인 $\hat{\Theta}_a$ 를 다음 식(5)와 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\Theta}_a = -G_{11}^{-1} G_{12} \overline{\Theta}_b \quad (5)$$

이렇게 구해진 해 $(\hat{\Theta}_a, \overline{\Theta}_b) = \hat{\Theta}^*$ 에 대응되는 선로조류는 다음 식(6)과 같이 계산된다.

$$C\hat{\Theta}^* = I_b \quad (6)$$

$P_b^*(i) \neq 0$ 인 i 번 선로는 가관측하지 않은 선로로 판별된다.

이상의 내용을 기반으로 한 가관측성해석 프로그램의 흐름도는 다음 그림 1과 같다.

1. 서 론

현대의 전력시스템에서 EMS (Energy Management System)는 계통 운영에 필수적이고, 관련 산업에의 연관효과도 매우 크다. 국내의 경우 전력계통 및 전력시장 운영시스템의 시장규모가 적어, 자체개발보다는 외국제품을 도입, 설치 운영해 왔다. 이와 같이 시스템에 구축, 운영 및 유지보수 기술의 해외 의존도 심화로 인한 외화 유출을 방지하고, 전력산업의 정책변화에 신속히 대응할 수 있는 체계구축 및 전력 IT분야 전문 인력 양성과 유관 전력 IT산업 발전을 촉진하기 위해 한국형 EMS의 연구개발이 필요하게 되었다[1].

상태추정기는 EMS의 기능 중 한 부분으로서 계통의 상태를 파악하고, 전체 응용 프로그램에 데이터를 제공하는 중요한 역할을 한다. 이러한 이유로 신속·정확한 상태추정을 위해 실제 설비의 특성을 정확히 반영할 수 있도록 정확한 모델링의 필요성, 측정 데이터의 정도 개선 및 가관측성의 확보, 최대한 정확하고 효율적인 행렬 연산 기법의 도입을 중요하게 고려해야 한다.

본 논문에서는 한국형 EMS에 포함될 상태추정기를 위한 가관측성 해석 문제를 정리하고, 시험계통을 이용하여 타당성을 검증한다.

2. 본 론

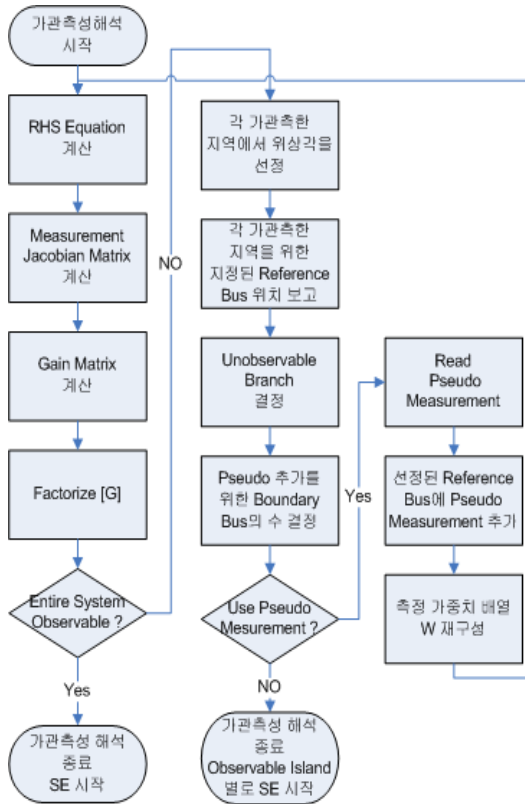
2.1 가관측성 이론

가관측성 해석은 시스템의 가관측성을 결정하고, 시스템이 가관측하지 않을 경우, 관측할 수 없는 선로와 관측 가능한 지역을 판별한다. 또한 적당한 위치에 의사측정데이터(pseudo-measurement)를 추가하여 전체 시스템의 가관측성을 확보한다.

전통적으로 계통의 가관측성 해석을 위해 topological method와 numerical method를 사용해 왔다. Topological method는 계통의 연결 상태, 즉 토폴로지를 탐색함으로써 그 계통이 관측가능 여부를 판별한다. Numerical method는 자코비안 행렬로부터 얻어지는 이득행렬(gain matrix)의 factorization을 수행하는 과정에서 그 pivot들이 0의 값을 가지게 되는지를 판별하여 가관측성을 결정한다[3].

2.2 Numerical method

시스템의 가관측성은 선로정수 또는 계통의 운영 상태와는 별개의 문제이다. 따라서 모든 선로의 임피던스를 $j1.0$ p.u., 모든 모선의 전압의 크기를 1.0 p.u.로 가정하고 가관측성 해석을 수행할 수 있다. 그렇게 하면 계통 내 선로를 호르는 직류 전력 조류를 다음 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.[2]



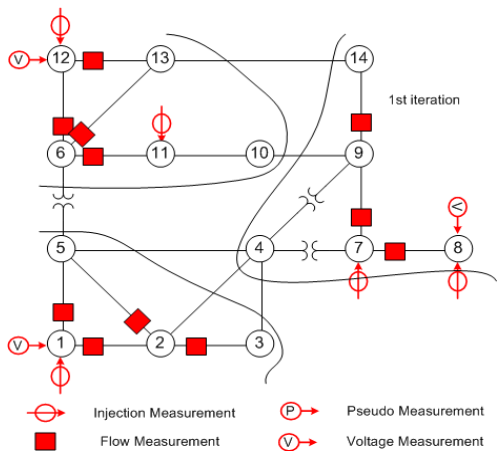
<그림1> 가관측성 해석 흐름도

2.3 사례연구

Numerical method를 이용하는 가관측성 해석의 타당성을 검증하기 위해 14모선 시험계통을 이용하였다. 측정데이터가 부족하여 island가 발생하고, 프로그램이 자동으로 이용 가능한 pseudo 측정데이터를 적용하여 island가 해소되는 과정을 모의하였다.

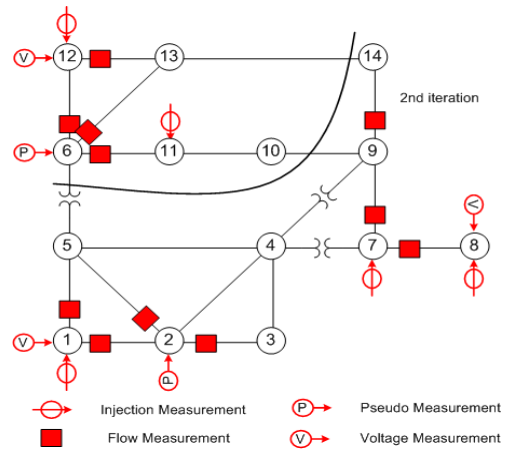
첫 번째 가관측성 해석 결과 그림 2와 같이 3개의 island가 발생한 것을 확인하였다. 프로그램은 자동으로 이용 가능한 의사측정데이터를 모선 2에 추가함으로써 그림3과 같이 하나의 island를 해소하였다.

계통은 여전히 측정데이터의 부족으로 인해 2개의 island로 구분되어 있으며, 이를 확인한 프로그램은 또 다른 의사측정데이터를 추가하여 island를 해소하였다. 최종적으로 그림 4와 같이 전체 계통의 가관측성을 확보하였다.

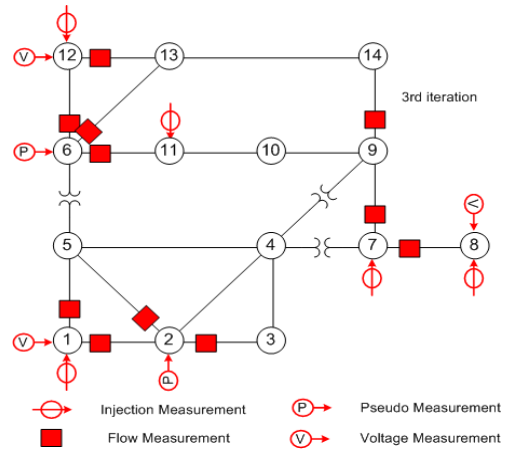


<그림2> 최초 가관측성 해석 결과

이상에서 보는 바와 같이 측정데이터의 부족으로 인한 전체 계통의 가관측성이 확보되지 않았을 때, 이용 가능한 의사측정데이터를 이용해 가관측성을 확보할 수 있음을 확인하였다.



<그림3> 1차 의사측정데이터 추가 경우



<그림4> 최종 가관측 계통

3. 결 론

본 논문에서는 한국형 EMS의 상태추정기를 위한 가관측성 해석 프로그램을 개발하고, 시험계통을 이용하여 검증하였다.

Numerical method를 적용하여 구분된 island들에 대해 의사측정데이터를 추가함으로써, 전체 계통의 가관측성을 확보하고 성공적으로 전체 계통에 대한 상태추정을 수행할 수 있음을 확인하였다.

개발된 상태추정기는 육지계통과 제주계통 같이 물리적으로 분할되어 있는 계통만 아니라, 물리적으로 연결되어 있으나 측정데이터의 부족으로 인한 island들에 대해서도 건설한 상태추정이 가능하다.

[감사의 글]

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업 (R-2005-1-398-004)으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송석하, "한국형 에너지관리시스템(K-EMS) 개발", Journal of Electrical World, 2006
- [2] A. Abur and A. Exposito, "Power System State Estimation, Marcel Dekker, Inc., 2004
- [3] B. Gou and A. Abur, "A Direct Numerical Method for Observability Analysis, IEEE, Vol. 14, NO. 2, MAY 2000
- [4] <http://www.ee.washington.edu/research/pscca>