

EMS/MOS 상태추정 개선에 대한 제언

전재룡, 여현근, 송태용, 박봉용
한국전력거래소

A Proposal about EMS/MOS State Estimation Improvement

Jeon Jae Ryong, Ryu Hyun Keun, Song Tae Yong, Park Bong Yong
KPX(Korea Power eXchange)

Abstract - 전력계통이 커지고 더욱 복잡해짐에 따라 전력계통을 안정적이고 경제적으로 운영하는데 EMS의 역할이 더욱 커지고 있다. EMS에서 계통상태를 정확하게 파악하는데 상태추정을 사용한다. 상태추정 결과는 다른 분석 프로그램에 대한 기초 자료가 되기 때문에 정확한 상태추정 결과를 얻는 것이 계통운영에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 한국전력거래소에서 계통을 운영하는데 사용하는 EMS와 MOS 상태추정의 파라미터를 분석하고 의미를 파악하였으며 공통점을 파악하고 차이점을 비교하였다. 이를 바탕으로 앞으로의 개선방향을 제시하였다.

1. 서 론

산업의 발달과 생활수준의 향상으로 전력수요는 지속적으로 증가하고 있으며 이에 따라 우리나라 전력계통의 규모는 계속해서 커지고 있으며 더욱 복잡해지고 있다. 이렇게 대규모, 복잡화하고 있는 전력계통을 안정적이고 경제적으로 운영하기 위하여 EMS(Energy Management System)를 사용하고 있다. EMS에서 전압, 조류 등을 감시하는 것이 중요한데, 통신설비에서 발생하는 잡음(noise)과 측정 장치의 정확도 한계에 기인한 오차가 발생한다.

현재 전력계통 상태추정에는 가중최소자승법(Weighted Least Square, WLS)이 가장 많이 사용되고 있는데, 이 방법은 측정값과 추정값의 차이(잔차)의 제곱의 합을 최소화하는 방법이다. 잔차에 가중치를 부여하여 작은 오차는 가중치를 변경하여 영향을 줄이고 큰 오차는 에러 위치를 찾아 알려주며 통신 장애시나 측정값을 사용할 수 없을 때에는 의사측정값(pseudo measurements)을 사용한다.

한국전력거래소는 전력시장을 운영하는데 ABB에서 제작한 MOS(시장운영시스템)를 이용하고 있으며 전력계통을 운영하는데 Alstom Escra(현 Areva)에서 제작한 EMS를 이용하고 있다. EMS와 MOS는 상태추정의 알고리즘이 서로 다르며, 여러 면에서 차이가 있다. 파라미터의 종류와 파라미터 튜닝방법 등에도 차이가 있다.

본 논문에서는 EMS와 MOS 상태추정의 차이점을 비교분석하고 앞으로의 개선방향을 제시하였다.

2. 전력계통의 상태추정

2.1 전력계통의 상태추정의 일반적 기능

스카다에서 취득한 측정값은 조류, 모선 전압, 선로 전류, 발전기 출력, 부하, 차단기 상태 정보, 변압기 탭 위치, 커패시터 값을 포함하고 있다. 이 데이터와 측정값을 바탕으로 상태추정기에서 측정값의 잡음을 필터링하고 에러를 검출한다. 상태추정의 해는 사용가능한 측정값과 계통 모델을 바탕으로 계통 상태의 최적화된 추정값을

제시한다. 이 값은 상정고장, AGC, 수요예측, OPF 등의 EMS 응용 프로그램의 기본 데이터가 된다. 상태추정은 일반적으로 다음 기능을 포함한다.

- 토폴로지 처리: 차단기와 스위치의 상태 데이터를 바탕으로 계통의 연결도를 파악한다.
- 관측성 분석: 상태추정 해를 가능한 측정값을 사용하여 계산할 수 있는지를 결정한다.
- 상태추정 해: 전력계통의 최적 상태를 추정한다. 이는 계통 모델과 측정값에 기초하여 전체 전력계통의 모선 전압으로 구성된다. 또한 선로 조류, 부하, 변압기 탭, 발전기 출력의 최적값 추정을 포함한다.
- 불량 데이터 검출: 측정값의 에러를 측정하고 불량 데이터(bad data)를 검출하여 제거한다.
- 파라미터와 에러 처리: 다양한 계통 파라미터를 추정하고 계통 구성의 구조적 에러를 검출한다.

2.2 전력계통의 상태추정 수식

전력계통의 상태추정은 상태변수(전압 크기와 전압 위상각)에 대하여 측정값과 추정값의 차이인 잔차의 합을 최소화하는 최적화 문제이다. 이 문제를 푸는데 가중최소자승법(Weighted Least Square, WLS)을 사용하고 있으며 목적함수는 다음과 같다.

$$\min J(X) = \frac{1}{2} [Z - f(X)]^T [R^{-1}] [Z - f(X)] \tag{1}$$

여기에서 $R^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} \\ \frac{1}{\sigma_2^2} \\ \dots \\ \frac{1}{\sigma_N^2} \end{bmatrix}$

3. 상태추정 파라미터

상태추정에서 파라미터는 SE 알고리즘의 제어기준(값), 수렴기준(threshold), 불량 데이터 검출 기준 등을 설정하는데 사용된다. 파라미터 설정에는 특별히 정해진 기준은 없으며 사용자가 제작사 권장값을 바탕으로 반복 시행에 의해 최적값을 도출한다.

3.1 EMS 상태추정 파라미터

EMS 상태추정 파라미터는 제어기준, 프로세스, 정확도 등급으로 나뉘어 있다.

제어기준 파라미터에서는 EMS 상태추정의 실행조건 등을 설정할 수 있다.

프로세스 관련 파라미터는 모델들의 통계치를 유지하기 위한 모델 모니터링, 비선형 네트워크의 반복적인 해

를 풀기 위해 제어 요소를 제어하고 측정하는 파라미터를 설정하는 수렴, 상태해 분석시 사용하는 가중치 변화 방법을 제어하는 데 사용되는 파라미터인 여러 처리, 기타로 나뉘어 MOS 상태 추정에 비해 파라미터를 비교적 상세하게 설정할 수 있다.

정확도 등급 파라미터는 Modeler에서 지정한 측정값의 정확도 등급(accuracy class)을 나타내며 전압계와 전류계의 최대 가능 여러 값과 표준편차 등을 수동으로 입력할 수 있다. break point에서는 표준편차의 배수 내에 추정값과 측정값의 차이가 존재하도록 수치를 입력할 수 있는데, EMS에서는 3배로 설정되었다.

3.2 MOS 상태추정 파라미터

MOS 상태추정 파라미터는 사용자가 화면에서 바로 변경가능한 파라미터와 AQL을 사용하여 DB에 접근하여 확인하고 변경할 수 있는 파라미터로 나눌 수 있다.

상태추정 결과에는 다음을 뜻하는 문자 코드가 첨부되어 있다.

- O - 관측가능 해(observable solution)가 계산한 값
- U - 관측불가능 해(unobservable solution)가 계산한 값
- D - 설비가 가압상태가 아니다.

실행 관련 제어 파라미터에서는 상태추정 실행 주기, 수행 모드, 자동/수동을 설정할 수 있다. 불량 토폴로지 검출 파라미터에서는 측정값 여러 검출, 모션 유효/무효 전력 불일치 검출, 모션 불일치 검출 등을 설정할 수 있다. 이상의 파라미터는 사용자가 화면에서 바로 확인하고 변경할 수 있다.

하지만 위상각, 전압의 수렴 범위 등을 설정할 수 있는 수렴 관련 파라미터는 AQL을 사용하여 별도 명령어로 DB에 접근하여 확인하고 변경할 수 있어서 파라미터를 확인하고 변경하는 작업이 화면에서 바로 확인하고 변경할 수 있는 EMS와 달리 용이하지 않다. 표1에 MOS 상태추정 수렴 관련 파라미터 중 일부를 나타내었다.

변수명	권장값	설명
SEPARMA_DIVRGAM	-5.0	발산 최소 위상각
SEPARMA_DIVRGAX	5.0	발산 최대 위상각
SEPARMA_DIVRGVM	0.2	발산 최소 전압
SEPARMA_DIVRGVX	2.5	발산 최대 전압

<표 1> MOS 상태추정 수렴 관련 파라미터

3.3 EMS/MOS 상태추정 파라미터 비교

EMS/MOS 상태추정 파라미터는 다음과 같은 공통점과 차이점이 있다.

3.3.1 공통점

① 실행 관련 파라미터에서 주기적 동작, 이벤트 발생 시 동작 설정 가능, 수동으로 실행 가능 여부를 설정할 수 있다. ② bias 통계를 0으로 리셋할 수 있다.

3.3.2 차이점

① MOS는 SEO(SE Observable Solution, 관측가능해)와 SEU(SE Unobservable Solution, 관측 불가능해)에 대한 파라미터를 별도로 지정한다. ② EMS는 계산과정에서 계산반복 횟수를 설정하는 것이 가능하다. ③ MOS는 수렴 관련 파라미터는 AQL을 통하여 확인, 변경할 수 있다. 따라서 사용자가 화면에서 변경할 수 있는 EMS에 비해 접근성이 떨어지며 파라미터를 변경하는데 어려움이 있다. ④ EMS에서는 상태추정 결과를 고

상계산, 상정고장 등의 오프라인 검토용 프로그램에서 사용하는 데 반해 MOS에서는 5분 급전계획을 수립하기 위한 계통 데이터로서 실시간으로 활용된다. ⑤ EMS/MOS 상태추정은 실행주기가 모두 5분이나, MOS 상태추정은 1분 간격으로 실행하도록 설정되어 있다. 실제 활용은 5분 간격으로 수행한 값만 사용한다. 1분 간격으로 수행하는 이유는 짧은 수행주기를 설정함으로써 에러를 조기에 검출하기 위해서이다.

3.4 상태추정 파라미터 변경 검토 시기

상태추정 파라미터는 최초 도입시 초기 설정을 한다.

초기 설정을 마친 이후 파라미터 변경을 검토하는 시기는 ① 상태추정 수렴율(정도)의 변화가 감지될 경우, ② 전력계통의 큰 변화가 있을 경우, ③ cost 값 등 간접적인 상태추정 정도 판단수치에 변화가 있을 경우, ④ 불량 데이터 값이나 포인트 수가 증가할 경우에 파라미터 변경을 검토한다.

3.5 파라미터 변경시 주안점

시그마(표준편차) 값 설정시 주안점이 있다. 이론상으로는 측정값의 정도가 높다고 여겨지는 측정설비의 가중치를 크게 하도록 되어 있다. 그러나 실제 파라미터 튜닝 시에는 이론대로 적용할 경우 잘 맞지 않는 경우가 발생한다.

정도가 낮다고 생각하는 부하 측의 가중치를 너무 작게 하면 수렴하지 않거나 부하 측의 상태추정 결과값의 오차가 과도하다. 가중치를 크게 설정한 발전기나 765kV 설비 등의 측정값의 정도가 떨어질 경우 상태추정 결과에 큰 영향을 미치므로 시그마 값 설정 시에는 신중하게 선택해야 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 EMS와 MOS 상태추정 파라미터를 분석하고 비교하였다. EMS 상태추정에서는 사용자가 설정할 수 있는 파라미터의 종류가 다양하고 계산의 반복횟수 등까지 비교적 자세하게 설정할 수 있다. 그러나 MOS 상태추정에서는 수렴 관련 파라미터는 사용자가 별도 프로그램 언어를 사용하여야 확인하고 변경할 수 있어서 EMS 상태추정에 비해 파라미터 변경이 용이하지 않다.

또한 EMS는 상태추정 결과를 오프라인 검토용 프로그램에서 이용하지만 MOS에서는 상태추정 결과를 실시간 급전계획에서 활용하기 때문에 MOS 상태추정 파라미터를 변경할 때는 매우 신중하게 해야 한다.

EMS와 MOS 상태추정의 파라미터의 개선은 지속적이고 점진적으로 이루어져야 한다. 특히 본 논문에서 제시한 상태추정 파라미터 변경 검토 시기에 해당하는 경우에 변경을 검토하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Allen J. Wood 외, "Power Generation, Operation, And Control", JOHN WILEY & SONS, INC.
- [2] Ali Abur 외, "Power System State Estimation", MARCEL DEKKER, INC.
- [3] AREVA, "EMS Functional Design Spec."
- [4] ABB, "MOS Functional Design Spec."