

## EMS 데이터베이스 구축을 위한 측정데이터 보정 연구

김병호\*, 김홍래\*, 문영현\*\*  
순천향대\*, 연세대\*\*

### Measurement Calibration for Building Reliable EMS Database

Byoung-Ho Kim\*, Hongrae Kim\*, Young-Hyun Moon\*\*  
SoonChunHyang University\*, Yonsei University\*\*

**Abstract** - 전력계통 내에는 수많은 측정장비가 사용되며, 그들로부터 측정된 데이터들은 중앙으로 전송되어 계통의 해석과 제어에 사용된다. EMS에서 사용하는 각종 응용 프로그램은 이와 같은 입력데이터의 정확도에 많은 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 상태추정 기법을 이용하여 EMS 데이터베이스에 사용하는 측정데이터를 보정(calibration)하는 방법을 소개한다. 보정에러는 정확하게 조정되지 않은 계기에 의해 측정데이터에 포함된 일정한 크기의 측정 바이어스로 가정하였다. 본 논문에서는 상태추정을 이용하여 측정데이터를 보정하는 방법을 사용함으로써 현장에서 많은 시간과 비용을 들여 측정장비를 조정하는 것보다 훨씬 효율적으로 데이터를 관리할 수 있다. 제주도의 실제 계통 데이터를 이용하여 사례연구를 수행함으로써 제안된 방법의 타당성을 검증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 불량데이터

전력계통 내에서 측정되어 중앙급전소로 전송되는 각종 데이터는 다음과 같은 다양한 이유로 인하여 오류를 포함하게 된다.

- i. 측정함수 또는 네트워크 모델 오류
- ii. 아날로그/ 디지털 변환 에러
- iii. 계기 고장, 오동작, 설치 오류 등에 의한 데이터 측정오류
- iv. 계기의 조정 불량
- v. 선로정수( $\pi$  등가회로) 오차
- vi. 차단기 상태 오류로 인한 토폴로지 에러(topology error)

선로정수 에러와 토폴로지 에러는 단순 불량 측정데이터나 계기 오차 등에 비해 계통해석에 미치는 영향이 더 크고 광범위하다. 따라서 상태추정 등의 결과를 부정확하게 하거나 심한 경우 수렴이 되지 않는 경우도 있다. 그러나, 현재까지 이들 에러를 일반적인 상태추정 연산 과정에서 처리할 수 있는 방법은 개발되지 않았다. 선로정수를 상태변수로 추가하여 직접 추정을 시도하거나, 상태추정 수렴 후 후처리를 통해 계통의 토폴로지를 확정하는 방법 등이 발표되었다.

근사화된 모델을 이용하거나 변환 에러가 있는 경우에는 작은 오차가 발생하지만, 계기의 고장이나 잘못된 계기 보정은 크기가 큰 불량데이터를 생성하는 것이 일반적이다. iii의 경우에 해당하는 불량데이터와는 달리 iv의 경우에는 계기의 측정값이 일정한 편향을 보이게 되며, 이를 흔히 바이어스라고 한다. 본 논문에서는 여러 번의 상태추정을 통하여 계기에서 발생한 측정 바이어스를 판단하고, 이를 상태추정 과정에서 고려함으로써 측정데이터를 온라인으로 보정하는 기법을 제안한다.

### 2.2 상태추정을 이용한 측정 바이어스 계산

전력계통의 상태추정은 아래 식 (1)과 같은 측정방정식에 기초하여 수행된다.

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

여기서,  $z$  : 측정벡터  
 $h(x)$  : 비선형 측정함수  
 $x$  : 상태벡터  
 $e$  : 측정잡음 벡터.

전통적으로 대부분의 전력회사에서 사용하고 있는 가중최소자승법을 이용할 경우 상세한 상태추정 과정은 참고문헌 [4, 5] 등을 참조할 수 있다. 추정된 상태벡터  $\hat{x}$ 를 이용한  $i$ 번째 측정데이터의 측정잉여오차(measurement residual)  $r_i$ 는 다음과 같다.

$$r_i = z_i - h_i(\hat{x}) \tag{2}$$

상태추정을 여러 번 반복하여 측정오차  $r_i$ 의 평균을 구하면 상태추정의 가정에 따라 0으로 수렴하게 된다. 만약 평균이 0이 되지 않고, 특정한 값으로 수렴하게 되면 이는 그 측정데이터가 적절하게 조정되지 않아서 측정데이터에 바이어스를 포함하게 된 것으로 판단할 수 있다. 그러므로 바이어스 값  $c_i$ 를 항상 해당 측정데이터에 더하여 데이터를 보정한 후 연산에 사용함으로써 정확한 상태추정 결과를 얻을 수 있다.

### 2.3 사례연구

그림 1과 같은 제주도 전력계통을 이용하여 사례연구를 수행하였다. 측정데이터는 평균이 0인 랜덤에러를 포함하고 있는 것으로 가정하므로,

## 1. 서 론

전력계통의 운용 상황을 파악하고 계통의 안전도 해석 등을 수행하기 위해서는 현재 계통의 상태를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 현대의 전력회사에서는 이를 위해 EMS(energy management system)와 SCADA(supervisory control and data acquisition) 시스템을 사용하는 것이 일반화되었다. EMS에서 사용되는 여러 응용 프로그램들 중에서 중요한 하나의 기능이 상태추정(state estimation)이다. 상태추정은 SCADA를 통해 전송된 측정데이터를 연산에 사용하며, 적당한 불량데이터 처리(bad data processing) 기법을 채택함으로써 측정데이터에 포함된 랜덤에러는 물론 이상점(outlier) 혹은 불량데이터라고 불리는 오류데이터를 제거하는 기능을 한다.

이러한 불량데이터는 측정된 데이터를 급전소(control center)까지 변환하고 전송하는 과정에서 나타나게 된다. 각종 변환기(transducers), 통신 장비 등이 이러한 오류를 발생하게 하는 원인이 될 수 있다. 가장 보편적인 상태추정기법인 가중최소자승법(WLS: weighted least square)을 포함하여 모든 전력계통 상태추정 기능은 측정데이터가 평균이 0인 랜덤에러만을 포함하고 있다는 가정을 하며, 상태추정 과정에서 이 랜덤에러는 제거된다. 하지만, 측정에러와 같은 systematic error는 상태추정 수렴 후 처리과정이나 기타 불량데이터에 강건한 추정 기법을 사용하여 제거한다.

이러한 불량데이터 처리를 위해서는 적절한 측정여유도(measurement redundancy)가 확보되어야 하며, 대다수의 측정데이터는 불량데이터가 아니어야 한다. 또한 측정데이터는 계기의 적절한 조정(scaling)을 통해 systematic error가 최소한으로 유지될 수 있도록 보정(calibration)되어야 한다[1, 2]. 하지만 모든 변전소에서 수동으로 계기를 검사하고 보정하는 것은 많은 노력과 비용이 소요되며, 더욱이 데이터를 변환하고 전송하기 위해 몇 단계를 거치는 경우 systematic error의 원인을 찾는 것은 쉬운 일이 아니다.

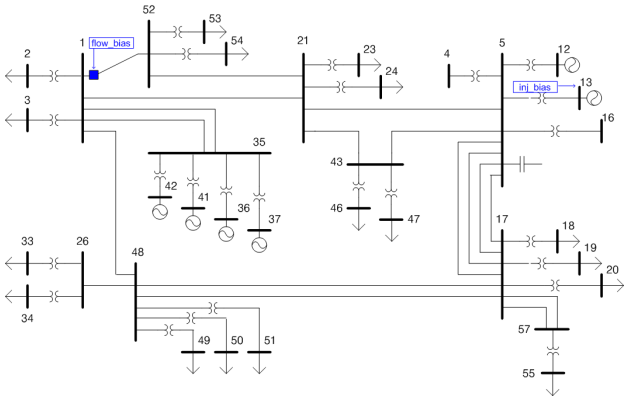
원격으로 측정데이터를 보정하는 방법은 Adibi 등이 처음 제안하였으며, 이들은 아날로그 측정데이터의 오차를 최소화하기 위하여 변전소별 보정 작업을 수행하였다[3]. Mili 등이 전 계통에 적용할 수 있는 보정 기법을 고안하였으나[1], 이 방법은 에러를 전혀 포함하지 않은 기준(reference) 측정데이터 군이 필요하다. 실제 계통에서 이러한 측정데이터를 이용한다는 것은 현실적으로 어려우며, 기존의 상태추정 프로그램 외에 변전소에서 측정데이터 보정에 사용할 별도의 프로그램으로 개발하여야 한다는 단점도 있다.

본 논문에서는 이미 개발되어 있는 기존의 상태추정을 사용하여 측정데이터를 보정하는 방법을 소개한다. 현재 사용되고 있는 대부분의 상태추정기는 동시에 측정된 데이터(snapshot)를 사용하는 정적(static) 상태추정이므로 보정에러를 직접 추정하는 것은 불가능하다. 본 논문에서는 여러 번의 연속적인 상태추정 결과를 이용하여 측정데이터의 바이어스(bias)를 구하는 방법을 사용하였다. 개발된 방법은 제주도 계통을 사용하여 사례연구를 수행함으로써 그 효율을 검증하였다. 측정데이터는 랜덤에러를 포함하고, 일부 데이터에 보정에러를 포함하도록 구성하였다.

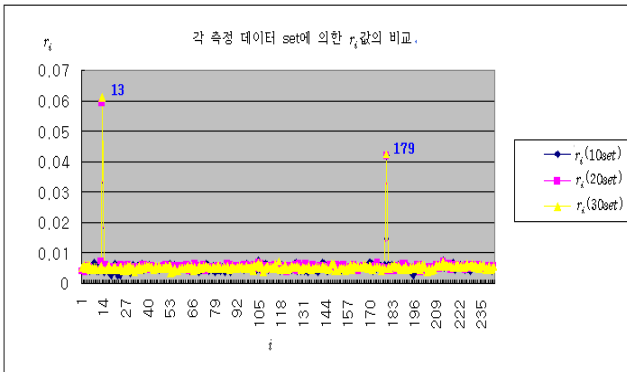
정확한 조류계산 데이터에 Gaussian noise를 인위적으로 추가하여 상태 추정 연산에 사용하였다.

표 1은 1번과 52번 모선간 선로조류와 13번 모선의 주입전력에 바이어스를 추가한 후, 상태추정을 수행한 후 측정 잉여오차를 계산한 결과이다. 측정 잉여오차를 평균하여 바이어스를 구하는데 몇 번의 상태추정 결과를 이용하는 것이 타당한지 판별하기 위하여 몇 가지 경우를 시험하였다. 상태추정 10회, 20회, 30회의 결과를 평균하여 비교한 결과는 그림 2와 같다. 세 경우 모두 비슷한 결과를 보였으며, 따라서 10회 정도의 상태추정 결과를 평균하는 것으로 측정 바이어스를 구하는데 충분한 것으로 보인다.

상태추정 결과를 이용하여 구한 측정 바이어스를 측정데이터에 합산하여 상태추정을 수행한 결과를 비교하여 표 2에 정리하였다. 측정값에는 잡음이 포함되었으며, 이들 데이터를 이용한 상태추정 결과는 훌륭한 수렴성과 정확성을 보여 주었다.



〈그림 1〉 제주도 전력계통



〈그림 2〉 측정 바이어스 계산결과

### 3. 결 론

측정데이터의 보정 작업은 상당한 시간과 노력을 요하는 작업이다. 본 논문에서는 상태추정의 결과를 이용하여 측정데이터를 보정하는 방법을 소개하였다. 이 방법은 여러 번의 상태추정 결과를 off-line으로 계산하여 측정데이터의 바이어스를 계산하는 것이다. 그러나 일단 초기 바이어스 값이 결정된 후에는 상태추정을 수행할 때마다 업데이트하는 방식을 취함으로써 on-line 운용이 가능하다. 사례연구의 결과가 본 논문에서 제안하는 방법의 효용을 보여주고 있으며, 합리적인 바이어스 업데이트 방안을 연구 중이다.

#### [감사의 글]

본 논문은 지식경제부에서 시행한 전력산업연구개발사업 (R-2005-1-398-004-01)의 지원으로 수행되었습니다.

#### [참고 문헌]

[1] L. Mili and A. Ghasseman, "Robust Remote Measurement Calibration in Power Systems," Proc. of IEEE PES Summer Meeting, Vol. 1, pp. 439-441, 2001.  
 [2] W. Hubbi, "Computational Method for Remote Meter Calibration

in Power Systems," IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No. 5, pp. 393-398, 1996.

[3] M. Adibi, D. Throne, "Remote Measurement Calibration," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWR5-1, No. 2, pp. 194-203, 1986.  
 [4] 권형석, 장한성, 김홍래, "시각동기 위상측정데이터를 이용한 전력계통 상태추정", 대한전기학회 논문지, 55A-9, pp. 359-364, 2006.  
 [5] A. Abur and A. Exposito, Power System State Estimation, Marcel Dekker Inc., 2004.

〈표 1〉 Measurement Residuals

No.	측정위치	측정값	추정값	$r_i$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11	Pf 1-48	1.10012	1.09169	0.00843
12	Pf 48-1	-1.06980	-1.07890	0.00910
13	<b>Pf 1-52</b>	0.60301	0.54475	<b>0.05827</b>
14	Pf 52-1	-0.53934	-0.54209	0.00275
15	Pf 5-4	0.00587	0.00288	0.00299
16	Pf 4-5	0.00282	-0.00288	0.00570
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
177	Pi 5	0.00695	0.00040	0.00655
178	Pi 12	0.41454	0.40735	0.00718
179	<b>Pi 13</b>	0.41370	0.37408	<b>0.03962</b>
180	Pi 16	0.00354	0.00183	0.00171
181	Pi 17	0.00326	-0.00104	0.00429
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

〈표 2〉 상태추정 결과

Bus No.	참값		측정값	추정값	
	V	$\theta$	V	V	$\theta$
1	1.0430	-3.92	1.04601	1.0458	-3.89
2	1.0341	-5.84	1.04221	1.0374	-5.84
3	1.0338	-6.97	1.03464	1.0360	-6.91
4	1.0553	-6.90	1.05818	1.0581	-6.87
5	1.0553	-6.90	1.06122	1.0580	-6.86
12	0.9755	-4.09	0.97724	0.9778	-4.07
13	0.9748	3.02	0.97637	0.9771	3.03
16	1.0352	-6.90	1.03939	1.0380	-6.85
17	1.0538	-6.99	1.05881	1.0566	-6.96
18	1.0263	-12.66	1.02965	1.0284	-12.63
19	1.0297	-11.30	1.03015	1.0325	-11.24
20	1.0419	-10.04	1.05013	1.0441	-10.01
21	1.0420	-5.98	1.04760	1.0447	-5.95
23	1.0173	-9.77	1.01910	1.0205	-9.69
24	1.0245	-8.88	1.03258	1.0281	-8.85
26	1.0358	-7.70	1.04179	1.0388	-7.66
33	1.0179	-10.80	1.02137	1.0205	-10.70
34	1.0189	-10.45	1.02737	1.0221	-10.39
35	1.0420	-3.45	1.05012	1.0447	-3.43
36	1.0291	0.83	1.03063	1.0317	0.84
37	1.0298	0.70	1.03204	1.0322	0.75
41	0.9762	0.00	0.97673	0.9789	0.00
42	0.9891	-3.45	0.99324	0.9917	-3.43
43	1.0387	-7.44	1.04023	1.0414	-7.40
46	1.0119	-11.23	1.01309	1.0149	-11.14
47	0.9988	-12.64	1.00529	1.0015	-12.63
48	1.0455	-6.81	1.04623	1.0483	-6.77
49	1.0307	-10.50	1.03920	1.0333	-10.47
50	1.0327	-11.55	1.03494	1.0350	-11.50
51	1.0340	-10.34	1.04357	1.0372	-10.25
52	1.0411	-5.23	1.04225	1.0439	-5.20
53	1.0355	-7.39	1.04495	1.0382	-7.35
54	1.0373	-7.21	1.03997	1.0394	-7.18
55	1.0341	-10.61	1.04177	1.0364	-10.55
57	1.0538	-7.02	1.05593	1.0566	-6.99