

# 가관측성을 고려한 전력계통 상태추정을 위한 측정점선정 알고리즘에 관한 연구

이 태 식\*, 이 응 혁, 노 테 훈, 홍 효 식, 국 현 중, 문 영 현  
연세대학교 전기공학과

## A Study on Measurement Selection Algorithm for Power System State Estimation Under the Consideration of Observability

T. S. LEE, E. H. LEE, T. H. RHO, H. S. HONG, H. J. KUK, Y. H. MOON  
YONSEI UNIVERSITY ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT

### ABSTRACT

This paper presents an improved algorithm of optimal measurement system design with a reliability evaluation method for a large power system. The proposed algorithm is developed to consider the observability and to achieve highest accuracy of the state estimator as well with the limited investment cost. When the effect on these dummy bus measurements is considered in the proposed algorithm, the other errors in the power system is also detected and then analyzed until to achieve the limited values. By taking advantage of the matrix sparsity and the optimal bus ordering the memory and the time are successfully reduced in the P/C's and workstation's model. The improved program is successfully tested for IEEE sample system and KEPCO system with PSS/E lineflow calculated data package.

### 1. 서 론

본 연구는 전력계통 상태추정을 위한 측정점 선정 알고리즘의 가관측성을 보장하고 오류들을 개선하여 수렴성을 향상시킨 연구로서 기존의 방법[1]에서 다양한 오류들을 프로그램 수행 중 발견하고 진단함으로써 수렴성을 향상할 수 있게 하였다.

상태추정을 위한 시스템 설계시 가관측성을 보장하기 위한 접근 방식에 대하여는 네트워크의 측면에서 많은 연구 논문들이 나온 바 있으며 그 후 네트워크의 오류로 인하여 안전성 보장에 있어 문제를 보여 왔다. 이에 대하여 K. A. Clements[2]와 A. Simos Costa[3] 등은 위상학적인 분석으로서 오류를 분석하고 새로이 다양한 네트워크 구성상의 문제를 해결하고자 연구를 한 바 있다. 이에 대한 수치적인 접근방식으로서 상태추정을 위한 신뢰성있는 시스템 설계[4]에 대하여 Y.H. Moon의 측정이론에 의한 접근 방식으로 위상학적 오류 경우에 대한 연구 고찰이 필요로 하게 되었다.

상태추정을 위한 측정점 선정 알고리즘에서 Wu[5]등이 상태추정에서 더미모션의 영향을 반영한 것을 이전 연구[1]에서 반영한 바 있으며 이 연구 중 발생하는 다른 종류의 오류를 해결하여 수렴성이 우수한 알고리즘이 되도록 설계하였다.

개발된 상태추정 알고리즘과 측정점 선정을 위한 전산프로그램에서는 행렬의 스파시티(sparsity)를 고려함으로써 일차원 배열을 통한 메모리 절감과 계산시간 단축을 기할 수 있으며 MUST-RTU 와 MUST-METER 개념을 도입하여 알고리즘에 반영시킴으로써 반복계산횟수를 대폭 절감시켰다. 한편 제시된 전산프로그램은 메모리 최소 사용 기법을 사용함으로써 P/C 모듈화가 가능하게 되어 프로그램의 활용성과 편의성을 크게 향상시켰으며, PSS/E 조류 계산 데이터 패키지과 간접적으로

연계가 가능하도록 하였고, 이에 따라 별도의 데이터 작업없이 프로그램 수행이 가능하게 함으로써 작업 능력을 향상시켰다.

본 연구에서는 실험적 고찰을 통하여 더미모션의 문제와 측정점 제거시 나타나는 관측불능의 문제를 완전히 해결함으로써 그 동안 측정시스템의 안정화와 상태추정치의 수렴성의 걸림돌인 알고리즘의 관측불능을 해결하기 위하여 오류를 제거하였고 이를 입증하기 위하여 IEEE 샘플 시스템들과 한국의 KEPCO 시스템에 대하여 적용하여 원하는 결과를 정확히 얻어낼 수 있음을 보였다.

### 2. 측정점 선정 이론

상태추정이란 잡음이 섞여 있는 측정치로부터 실제상태에 가장 가까운 상태변수값을 계산하는 것 즉, 실제상태와의 오차를 최소로 하는 상태변수 값을 추정하는 것이다. 상태추정을 위하여 계통 각 요소로부터 측정되어 들어온 측정치는 실제상태에 의한 함수 값에 잡음등에 의한 오차가 포함되어 있는 것으로 볼 수 있다.

$$z = h(x) + v \quad (1)$$

$$E[v] = 0$$

$$E[v v^T] = R$$

단,  $h(x)$ : 상태변수와 측정치와의 관계를 나타내는 함수 (m 차원 벡터)

$v$ : 측정치에 포함된 오차를 나타내는 확률 변수(m 차원 벡터)

$x$ : 시스템의 상태변수(n 차원 벡터); (n-1)개의 모션 전압의 위상각과 n 개의 모션전압 절대로 이루어짐.

$R$ : 오차  $v$  의 공분산 행렬 (covariance matrix)

상기 식에서 측정치에 포함된 오차  $v$  는 알 수 없으며, 다만 오차의 통계적 성질을 알 수 있을 뿐이다. 측정오차  $v$  는 일반적으로 가우시안(Gaussian) 통계분포를 가지며 평균치와 공분산(covariance)에 의하여 통계적 성질을 나타낼 수 있다. 오차의 평균은 영(zero)이므로  $E[v]=0$  이며 오차의 공분산은 실험적으로 구해 질 수 있으며, 각 측정오차에 포함된 오차가 독립적(independent)이면 대각선 행렬(diagonal matrix)로 주어진다.

더미모션의 오류를 고려한 식의 최종식은 다음과 같다.[1]

$$P_n = P - P \begin{bmatrix} h_{dp}^T & h_{dq}^T \end{bmatrix} \left[ \begin{bmatrix} h_{dp} \\ h_{dq} \end{bmatrix} P \begin{bmatrix} h_{dp} & h_{dq} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} h_{dp} \\ h_{dq} \end{bmatrix} P \quad (2)$$

위의 공식에 따라 더미모션을 고려한 측정점 세트를 위하여

상태추정 공분산 행렬을 수정할 수 있다.

실계통 적용시 더미모션은 초기에 결정되며 더미모션의 의사 측정치는 절대적으로 정확한 측정치이므로 이러한 의사측정치는 제거할 수 없는 must-meter로 설정한다. 그리고 이러한 의사측정치는 RTU나 미터 제거 또는 추가시 매 단계마다 고려할 필요는 없으며 초기의 계통 측정세트에 대한 상태추정 공분산 행렬 계산시에 한번만 고려하면 된다. 이상의 이론에 따라 본 연구에서는 더미모션을 고려할 수 있도록 측정점 선정 알고리즘을 제시하였다.

알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

- i) 입력을 한전의 PSS/E 조류계산 데이터로부터 받아 들어서 지역별로 분류 저장하며, 프로그램에 필요한 형태로 변환시키는 작업을 자동으로 행한다.
- ii) 최적모선배열(optimal bus ordering)을 효율향상을 위하여 행한다. 방법은 모선에 연결된 선로의 수가 적은 것을 1번으로 하여 차례로 임의의 번호를 준다. 그리고 선로양단에 연결된 모선의 번호를 임의 번호로 바꾼다.
- iii) 각 계기별로 가격을 정하여 주고, 주어진 측정계기의 정확도에 의한 오차공분산을 계산한다.
- iv) 계통에 대한 측정 여유도 및 정확도의 한정치들 조건으로써 입력한다.
- v) 행렬의 스파시티(sparsity)를 고려하여  $Y_{bus}$ 와 자코비안 행렬을 계산하고 1차원 1차원배열로 저장한다.
- vi) RTU 제거전에 더미모션을 우선적으로 고려한다.
- vii) RTU 제거단계로서, COST를 고려한 RTU 감도계산을 하여, 최저감도 RTU를 갖는 모션을 제외하고, 감도가  $\infty$ 인 경우 MUST-RTU 모션으로 지정한다. 이 경우에 제거과정을 수행중 RTU 제거시 네트워크가 관측불능상태로 빠져서 모든 RTU가 MUST-RTU로 선정되는 경우를 겪게 되어서 이 경우에는 RTU를 제거하면 안되므로 해당 RTU를 MUST-RTU로 선정하게 됨으로서 최적 측정점 선정을 계속 수행할 수 있음을 발견하였으며 이를 적용함으로써 알고리즘의 가관측성 확보에 강건성을 보장하게 된다.
- viii) 관측가능여부와 신뢰도의 제한치와 측정여유도를 만족하면 vi)를 계속 수행한다.
- ix) METER 제거단계로서, COST를 고려한 METER 감도계산을 하여, 최저감도 METER를 제거한다. 이 경우에도 제거과정을 수행중 METER 제거시 네트워크가 관측 불능상태로 빠져서 모든 METER가 MUST-METER로 선정되는 경우를 겪게 되어서 이 경우에는 METER를 제거하면 안되므로 해당 METER를 MUST-METER로 선정하게 됨으로서 최적 측정점 선정을 계속 수행할 수 있음을 발견하였으며 이를 적용함으로써 알고리즘의 가관측성 확보에 강건성을 보장하게 된다.
- x) 관측가능여부와 신뢰도의 제한치와 측정여유도를 만족하면 viii)를 계속 수행한다.
- xi) 더미모션을 고려하여 RTU 및 측정계기 제거순서를 출력하여 실계통에 적용가능나가 판단한다.

기존의 측정점 선정 프로그램은 대형전산 시스템에서 개발되었으며 이에 따라 실계통 적용시 많은 소요 기억용량을 필요로 하는 단점이 있고 실제 한전계통에 적용하는 경우 중형 이상의 컴퓨터를 사용하여야만 프로그램 수행이 가능하였다. 본 연구에서는 측정점 선정 프로그램을 P/C에 적용할 수 있도록 하기 위한 메모리 절감을 시도하여 많은 메모리를 필요로 하는 측정 자코비안 행렬과  $Y_{bus}$  행렬을 1차원 배열 하였고 전산프로그램을 작업 모듈별로 분리함으로써 전체 소요기억용량을 대폭

줄일 수 있었으며 이에 따라 한전계통을 7개지역으로 분할하여 개발된 프로그램이 수행될 수 있을 뿐만아니라 전계통에 대하여도 프로그램 수행이 가능하게 되었다.

본 연구에서는 전력계통의 상태추정의 정확도와 신뢰도를 향상시키기 위하여 입수한 데이터로부터 양질의 데이터를 선정하기 위한 지식베이스와 다양한 오류들을 고려한 프로그램 기법을 도입하여 이로부터 선정된 양질의 데이터로 최적의 측정점 세트를 결정하고자 한다.

### 3. 최적 측정점 선정 사례연구

에너지 시스템의 각 모션의 용량은 크기가 다양하며 경제적인 측면과 위상학적인 위치에 따라서 선로의 연결수가 차이를 보이고 있다. 모선의 번호는 편의상 나열된 번호이어서 측정점 선정을 위하여는 모선의 특징별로 새로이 모션번호를 구성하는 것이 시스템의 최적응용에 있어서 효율적이라고 할 수 있다.

그림 1에서는 6모션 시스템의 구조를 보여주고 있으며 여기에는 모든 모션에 유효전력, 무효전력 측정계기와 선로 양단 각각에 설치된 유효 전력 조류 측정계기와 무효전력 조류 측정계기와 모선에 설치된 모션 전압 측정계기등을 모든 모션에 설치하였다고 보자.

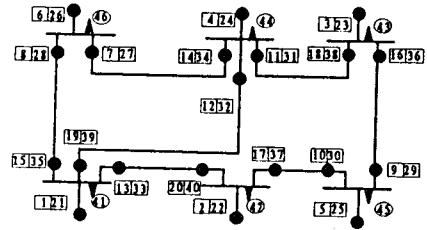


그림 1 IEEE 6 모션 시스템

측정감도는 측정치 제거과정에서 유효전력 측정계기와 무효전력 측정계기를 쌍으로 제거하며 제거 알고리즘은 모든 측정치 후보에 측정계기가 연결되어 있는 것으로 보고 알고리즘을 수행한다. 이차원인 경우 모든 후보 측정에 대한 시스템은 평균 추정 오차 공분산의 값이  $3.50 \times 10^{-4}$  이나 동일한 데이터를 부여한 경우 일차원 배열을 이용하여 개발된 알고리즘에서는  $2.41 \times 10^{-4}$  이어서 더욱 정확한 상황에서 알고리즘을 수행할 수 있다. 이 측정 시스템은 상태추정에 충분한 정확도를 가지고 있으므로 가장 작은 측정감도를 갖는 측정치를 제거하는 과정을 수행할 것이다. 예를 들면 (7,27) 인 유효전력과 무효전력 측정치가 함께 설치된 선로 조류 측정계기를 제거하고 상태추정 정확도를 다시 계산하면  $2.55 \times 10^{-4}$  인 추정오차 공분산 평균을 갖게 될 것이다. 이 계산된 측정 감도는 정하여 놓은 제한치 보다 높기 때문에 계속하여 제거과정을 수행하게 될 것이다.

모든 측정치 K 에 대한 추정오차는  $\sigma_k^2 = 10^{-2}$  이며 여기서의 고려하는 양은 상태변수이고 하중 행렬(weighting matrix)은 정치 행렬(identity matrix)로 간주하여 계산한 이전 연구에 측정오차에 반영할 수 있는 하중행렬의 구체화를 위하여 표에서와 같이 가격별 표준편차 오차 공분산 계산시 RTU 및 미터기의 특별조건표를 제시하게 되었다. 이는 사례 연구 C 에 고려되어 있다.

표 1 가격별 표준편차 오차 공분산 계산시 RTU 및 미터기의 특별조건표

에너지 시스템에 설치된 측정기기명	설치비용 (기기별)	측정오차	표준편차
RTU			
모선전력 측정기기	유효전력 1 (154 Kv)	± 0.5%	$(0.0025 \times \text{유효전력 측정치})^2$
	무효전력 2 (345 Kv)		
신로조류 전력 측정기기	유효전력 1 (154 Kv)	± 0.5%	$(0.0025 \times \text{무효전력 측정치})^2$
	무효전력 2 (345 Kv)		
전압 측정기기	유효전력 2	± 1%	$(0.006 \times \text{PLN})^2$
	무효전력 2	± 1%	$(0.006 \times \text{QLN})^2$
	전압 측정기기 1	± 0.5%	$(0.0025)^2$

표 2 측정치 제거과정 비교

(A. 기존의 기법, B. Must-meter 기법 적용시  
C. Must-meter 기법 + 정확한 오차를 반영 + 최적모션배열시)

측정치 제거 순서	제거된 측정기기 (유효전력, 무효전력)			평균 오차 공분산			투자비용			여유도 비율		
	A	B	C	A ( $\times 10^{-3}$ )	B ( $\times 10^{-3}$ )	C ( $\times 10^{-3}$ )	A	B	C	A	B	C
초기값				3.50	2.41	1.96	46	46	46	4.18	4.18	4.18
1	(18,38)	(7,27)	41	3.68	2.55	2.00	44	44	45	4.00	4.00	4.09
2	(16,36)	(15,35)	42	3.90	2.71	2.05	42	42	44	3.82	3.82	4.00
3	(14,34)	(9,29)	45	4.15	2.89	2.09	40	40	43	3.64	3.64	3.91
4	(15,35)	(18,38)	44	4.44	3.10	2.14	38	38	42	3.45	3.45	3.82
5	(19,39)	44	46	4.75	3.27	2.20	36	37	41	3.27	3.36	3.73
6	(17,37)	(10,30)	(1,21)	5.13	3.54	2.41	34	35	39	3.09	3.18	3.55
7	(11,31)	(16,36)	(15,35)	5.56	3.86	2.54	32	33	37	2.91	3.00	3.37
8	(9,29)	(6,26)	(8,28)	6.06	4.29	2.68	30	31	35	2.73	2.82	3.19
9	(8,28)	(2,22)	(17,37)	6.68	4.74	2.84	28	29	33	2.55	2.64	3.01
10	(7,27)	43	(10,30)	7.44	5.11	3.03	26	28	31	2.36	2.55	2.83
11	(2,22)	(8,28)	(19,39)	8.33	5.77	3.24	24	26	29	2.18	2.36	2.56
12	(12,32)	(14,34)	(12,32)	9.44	6.65	3.48	22	24	27	2.00	2.18	2.38
13	(20,40)	(17,37)	(7,27)	11.73	7.75	3.75	20	22	25	1.82	2.00	2.20
14	46	(3,23)	(14,34)	12.81	9.14	4.08	19	20	23	1.73	1.82	2.02
15	(10,30)	(20,40)	(20,40)	15.09	10.91	4.47	17	18	21	1.55	1.64	1.84
16	41	46	(13,33)	17.72	12.50	4.94	16	17	19	1.45	1.55	1.66
17	44	(19,39)	(5,25)	21.82	15.66	5.52	15	15	17	1.36	1.36	1.48
18	42	42	(4,24)	30.69	19.61	6.32	14	14	15	1.27	1.27	1.30
19	41	41	(3,23)	26.23	17.40	5.81	13	13	13	1.18	1.12	1.12
20	45	45	43	44.80	8.11	12	12	12	1.09	1.03	1.03	

표 3 최종 측정 세트 결과 비교

모선 유입 유효전력 및 무효전력 측정기기	A	(1,21), (3,23), (4,24), (5,25), (6,26)
	B	(4,24), (5,25)
	C	(2,21), (3,23), (4,24), (5,25), (6,26)
신로 조류 유효전력 및 무효전력 측정기기	A	(10,30), (13,33)
	B	(11,31), (12,32), (13,33), (19,39)
	C	(9,29), (11,31), (13,33), (16,36), (18,38), (20,40)
전압 측정기기	A	41, 42, 43, 44, 45
	B	41, 42, 45, 46
	C	43
총 측정기기 설치수	A	12 SETS
	B	10 SETS
	C	12 SETS

(진한 글자: Must-meter 임.)

표 4 모션 전압과 위상각 비교(IEEE 14 모션 시스템)

모션 번호	전압		위상각	
	초기치 (여유도: 4.519)	측정점 선정시 (여유도: 2.741)	초기치 (여유도: 4.519)	측정점 선정시 (여유도: 2.741)
1	1.060000	1.066178	0.000000	-5.998E-11
2	1.045000	1.045000	-4.980000	-4.980000
3	1.010000	1.009951	-12.720000	-12.720000
4	1.019000	1.028319	-10.330000	-10.330010
5	1.020000	1.029166	-8.780000	-8.780025
6	1.070000	1.078712	-14.220000	-14.220120
7	1.062000	1.070983	-13.370000	-13.370010
8	1.090000	1.096178	-13.360000	-13.360000
9	1.056000	1.064754	-14.940000	-14.940010
10	1.051000	1.051000	-15.100000	-15.100000
11	1.057000	1.057000	-14.790000	-14.790000
12	1.055000	1.063443	-18.070000	-18.070100
13	1.050000	1.059381	-15.160000	-15.160000
14	1.030000	1.036000	-16.040000	-16.040000

위의 결과들을 고찰하여 보면 미터제거시 한 모션의 미터인 유효, 무효 유입전력 측정기와 선로 조류 유효, 무효 전력 측정기와 모션 전압 측정기기가 모두 제거되어도 상태추정을 실시하는데는 주변 모션값을 파악할 수 있다면 계통의 특성인 어드미턴스 행렬과 자코비안 행렬을 이용하여 해당모션의 값을 구할 수 있다.

이로써 상태추정시 측정기기의 하나제거시 마다 수행하게 되는 자코비안 행렬의 재구성과 신뢰도가 좋지 않은 기기를 제거하는 모든 과정이 해당모션에 설치된 측정기기를 모두 제거하는 효과인 원격단말기기의 제거로서 시간적인 측면에서 상당한 효과를 보임을 연구고찰을 통하여 입증하였다.

이 수치적인 분석인 알고리즘에서 위상학적으로 일부분이 관측불능 (unobservable) 임을 나타내게 되는 것은 신뢰도 분석 행렬 구성시 한 행 또는 열이 영 (singular) 가 됨으로서 알 수 있고 이때 이 측정기기의 제거를 중단하고 다음으로 신뢰도가 낮은 측정기기를 제거함으로써 관측불능의 상태를 방지하면서 원하는 결과를 얻을 수 있다.

이 현상은 미터 제거시 뿐만 아니라 원격단말기기 제거시에도 나타나는 것이 실제 적용상에서 나타났으며 이러한 경우를 고려한 알고리즘을 제시하여 원하는 방향으로 측정기기를 결정할 수 있도록 진단하여, 우선적으로 원격단말기기에 대한 측정치 제거를 실시하고 이 알고리즘 실행시 관측불능 지역이 나타날 경우에는 원격단말기기의 제거를 중단하고 측정기기의 개별 제거를 진행하여 주어진 시스템의 특성을 고려한 측정여유도를 만족하는 경우에 미터제거를 마치도록 알고리즘을 구성하였다.

#### 4. IEEE 57 모션 연구 고찰

57 모션 과 80 선로로 이루어진 네트워크 시스템인 IEEE 57 모션 시스템은 조상용량 콘덴서가 3개 그리고 무효전력을 제어할 수 있는 모션이 7개 존재하며 탭 변환은 17개 모션에서 이루어지는 시스템이다.

이 시스템에서도 주어진 여유도를 만족하도록 원방단말기기 (RTU: Remote Terminal Unit) 를 제거하는 사례를 보이고자 한다. 이 과정은 슬래모션과 더미모션과 발전기 모션을 고려한 것으로서 데이터중 이들의 공통적인 특징인 부하측의 유효전력과 무효전력의 데이터가 영임을 이용하여 행렬 계산시 관측불능 상태가 발생하지 않도록 마찬가지로 영에 가장 가까운 값인 0.1E-20 을 주고 계산하게 된다. 이 때 더미모션이 2개 파악되었으며 이는 모션번호 22번과 25번이다. 측정 여유도는 총 4.345 중 2.752에서 원방단말기기의 제거를 중지하도록 하였으며 오차 공분산의 값은 초기의 0.1204E-6 에 비교하여 0.1420E-6 으로 나타나 측정감도에는 이상이 없으며 측정기기 설비에 소요되는 총 투자비용도 1800에서 1241을 나타내고 있다. 이들 원방단말기기의 제거 순서대로 모션번호를 나열하면, 첫번째로 45번 모션, 35번, 4번, 47번, 5번, 23번, 8번, 26번, 44번, 38번, 14번, 57번, 43번, 18번, 33번, 42번, 27번, 20번, 28번, 16번, 25번, 10번, 31번, 그리고 23번째 마지막으로 31번 모션의 순서이다. 원방단말기기중 MUST-RTU로서 지정된 모션번호를 나열하면, 1번 모션(슬래모션), 7번(더미모션), 9번, 11번(더미모션), 12번, 13번, 15번, 21번, 22번(더미모션), 24번, 34번, 36번(더미모션), 37번(더미모션), 39번, 40번, 41번, 46번, 48번(더미모션), 49번, 마지막으로 56번 모션등이다.

#### 5. KEPCO 시스템

KEPCO 시스템 연구에서는 측정기기의 정확도를 만족하게 된 경우에 측정 여유도를 만족하는 최대 조건하에서 측정기기 제거과정을 마무리하였다.

표 5 지역별 상태추정 측정 여유도와 정확도표

지역 구분	측정 여유도		정확도		투자비용	
	초기 상태	최종 상태	초기 상태	최종 상태	초기 상태	최종 상태
서서울 지역	5.481	2.807	0.1075E-07	0.6859E-07	2316.00	1614.00
동서울 지역	5.519	2.815	0.1411E-06	0.3198E-06	1404.00	880.00
영동 지역	5.524	2.825	0.2798E-07	0.1406E-06	1110.00	717.00
중부 지역	5.324	2.810	0.2723E-07	0.8079E-07	1780.00	1118.00
호남 지역	5.254	2.814	0.2553E-07	0.4624E-07	1016.00	680.00
북영남 지역	5.518	2.812	-0.6875E+00	-0.7055E+00	1468.00	1051.00
남영남 지역	5.881	2.817	0.2354E-07	0.3470E-07	1922.00	1316.00

지역별 측정점 선정 결과를 보면 표 5와 표 6 과 같다. 본 결과에서는 해당지역과 연계된 모선에 대하여도 해당지역에 포함 시킴으로서 모선의 수가 기존의 해당지역 모선수보다 증가한 것이 특징이며 이중 남영남 지역에 대하여는 연계지역과 고립된 경우에대하여도 동일한 알고리즘이 적용되는가를 검토하여 보았으며 그 결과가 조건을 만족함을 결과에서 보이고자 한다.

표 6 측정점 선정 결과표

지역	구분	모선주입 전력	선로조류	모선전압	RTU	계
서서울 지역	총가능후보	136	268	68	68	540
	선정결과	18	158	44	44	264
동서울 지역	총가능후보	82	162	41	41	326
	선정결과	30	84	15	22	151
영동 지역	총가능후보	64	126	32	32	254
	선정결과	20	66	8	18	112
중부 지역	총가능후보	106	200	53	53	412
	선정결과	36	112	15	28	191
호남 지역	총가능후보	60	110	30	30	230
	선정결과	20	61	8	18	107
북영남 지역	총가능후보	86	170	43	43	342
	선정결과	62	102	43	29	236
남영남 지역	총가능후보	110	238	55	55	458
	선정결과	28	125	11	34	198

이 측정점 선정 알고리즘은 최소 설비투자로 상태추정의 충분한 정확성을 유지할 뿐아니라 모든 단일사고에 대해 전력계통의 가관측성(Observability) 을 보장하는 최적 측정시스템의 설계에 활용할 수 있다.

기존의 설비들이 장기간에 걸쳐 구입되고 기기의 종류도 다양하여서 측정설비와 관련기기에 따라 정확도가 차이를 보이고 있다. 기기의 노후화에 따라 설비들이 계속 교체되고 있는 상황에서 이 알고리즘에 의한 결과는 시급히 교체되어야 하는 설비를 파악하고 기존에 설치된 기기중에서 측정 신뢰도가 좋은 측정설비를 택하여 전력계통의 상태를 파악할 수가 있으므로 기기의 교체없이도 시스템과 네트워크의 상태를 정확하게 추정할 수 있으며 설비투자가 많이드는 원방감시 기기를 우선적으로 제거하는 최적의 알고리즘을 제시함으로써 설비투자의 원가 절감 최적상태를 제공할 수 있다.

이 시스템의 데이터는 1991년도 KEPCO 시스템의 자료를 바탕으로 얻은 결과로서 기존에는 측정지역과 연결되어 있는 타 지역의 모선은 제외하고 자료를 검토하였으나 이 결과는 연계 지역의 모선도 포함하므로써 결과의 신뢰도를 높였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 가관측성을 고려한 전력계통 상태추정을 위한 측정점선정 알고리즘에 관한 연구로서 강건한 상태추정을 위한 데이터 베이스 분석 및 구축으로 새로운 상태추정 알고리즘을 개발하였고 이의 신뢰도를 크게 향상시켰으며 에너지 관리 시스템을 제어하기 위한 최적 상태추정 측정후보를 설계함으로써 시스템을 제어하는데 그 효용성이 보였다.

제안된 알고리즘을 적용하여 IEEE 샘플 계통과 KEPCO 전력 계통에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 행렬의 스파시티 기법을 도입하여 행렬 구성을 이차원 배열에서 일차원 배열로 바꿈으로서 어드미턴스 행렬과 자코비안 행렬 구성시 사용될 메모리 용량을 최소화하였다.
- 2) 측정 데이터에서 모선 배열을 최적화 함으로서 정보탐색시 소요되는 시간이 단축되었고 측정 정보는 중요성에 따라서 체계화되었다.
- 3) 오류인 더미모션을 알고리즘에 반영한 새로운 must-RTU 기법과 must-meter 기법 뿐만 아니라 그 이외의 오류에 대한 특성 행렬 분석 기법도 개발하여 알고리즘의 안전성을 보장하였다.
- 4) 개발된 알고리즘은 IEEE 샘플 계통에 적용하여 알고리즘의 강건성을 증명하였고 실제용인 KEPCO 시스템에 적용하여 최적의 측정점 후보 선정이 가능함을 보였다.
- 5) 이 알고리즘 응용시 장점은 에너지 관리 시스템에서 측정 기기나 RTU의 결손 시에도 측정 시스템을 효율적으로 관리할 수 있고 측정 시스템의 새로운 설계시 비용을 절감하면서 전력 시스템의 측정 신뢰도를 유지할 수 있다는 점이다.

## 참고 문헌

1. 문 영현, 이 대식, "DUMMY 모선을 고려한 상태추정 측정점 선정 알고리즘에 관한 연구". 대한전기학회 41권, 2호 pp 107-117, 1992년 2월
2. K. A. Clements and P.W. Davis, " Detection and identification of topology errors in the electric power systems". IEEE Trans. Power systems, Vol 8, No. 4 Nov. 1988 pp1748-1753
3. A. Simon Costa and J.A. Leao, " Identification of topology errors in the power system state estimation", IEEE Trans. Power systems, Vol 8, No. 4 Nov. 1993 pp1531-1538
4. Young Hyun Moon et. al., " Design of reliable system for state estimation", IEEE Trans. PS Vol. 3, No. 3, August 1988 pp 830-836
5. Felix F. Wu et. al., " Detection of Topological errors by state estimation", IEEE Trans. PS Vol. 4, No. 1, Feb. 1989 pp 176-183