

변전소 자동화를 위한 상태감시 시스템에 관한 연구

(Study on the Supervisory Monitoring System for Substation Automation)

이흥재* · 이은재**

(Heung-Jae Lee · Eun-Jae Lee)

Abstract

This paper introduces the application of supervisory monitoring system for substation automation based on IEC 61850. The objective of proposed system is detection of such a malfunction or degradation of devices. The supervisory monitoring procedure consists of a two step - topology processor and state estimation. The topology processor using artificial intelligence is a preprocessing step of state estimation. Topology processor identifies the topology structure of switches in substation and detects an error of ON/OFF state data. The state estimation is an algorithm that minimizes an error between optimal estimation values and real values. The proposed system is applied to standard digital substation based on IEC 61850 for performance verification..

Key Words : Substation Automation, Topology Processor, State Estimation, State Monitoring System

1. 서 론

스마트그리드 시대의 개막과 함께 변전분야에서는 IEC 61850 Protocol을 적용한 변전소 자동화 시스템에 대한 연구 및 개발이 활발하게 진행되고 있다. 변전소 무인 자동화의 운영은 첨단 기술이 접목된 복잡한 설비들이 융합된 시스템이 대상이므로 이들의 건전성

확보를 목적으로 하는 변전소 상태감시 시스템을 갖추기 위한 연구개발 또한 세계 각국에서 지대한 노력을 경주하고 있는 부분이다.

그러나 컴퓨터와 네트워크 기술의 비약적인 발달과 함께 다양한 센서 및 장비들의 성능이 크게 개선되었음에도 불구하고 아직도 여전히 전력시스템에서 자동적으로 구성 설비들의 고장이나 성능의 저하상태를 인식하는 것은 매우 어려운 일이다. 본 논문에서는 이러한 설비들의 고장 및 성능저하 상태를 실시간으로 인지하고 신속한 조치를 통해 변전소 운영의 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 하는 61850 프로토콜 기반의 실시간 상태감시 시스템을 제안하고자 한다.

본 연구에서 제시하는 이중모선 구조의 변전소는 우리나라 154kV급 배전변전소의 표준이며 인구가 밀집한 중국과 일본의 대도시에서는 많이 사용되지만 일

* 주저자 : 광운대학교 공대 전기공학과 교수
** 교신저자 : LS산전(주) HVDC 연구팀
* Main author : Professor, Dept. of EE,
Kwangwoon University
** Corresponding author : HVDC research team, LS
Industrial Systems Corporation
Tel : 02-940-5147, Fax : 031-450-7788
E-mail : hjlee@kw.ac.kr
접수일자 : 2013년 11월 13일
1차심사 : 2013년 11월 19일, 2차심사 : 2013년 12월 13일
심사완료 : 2013년 12월 17일

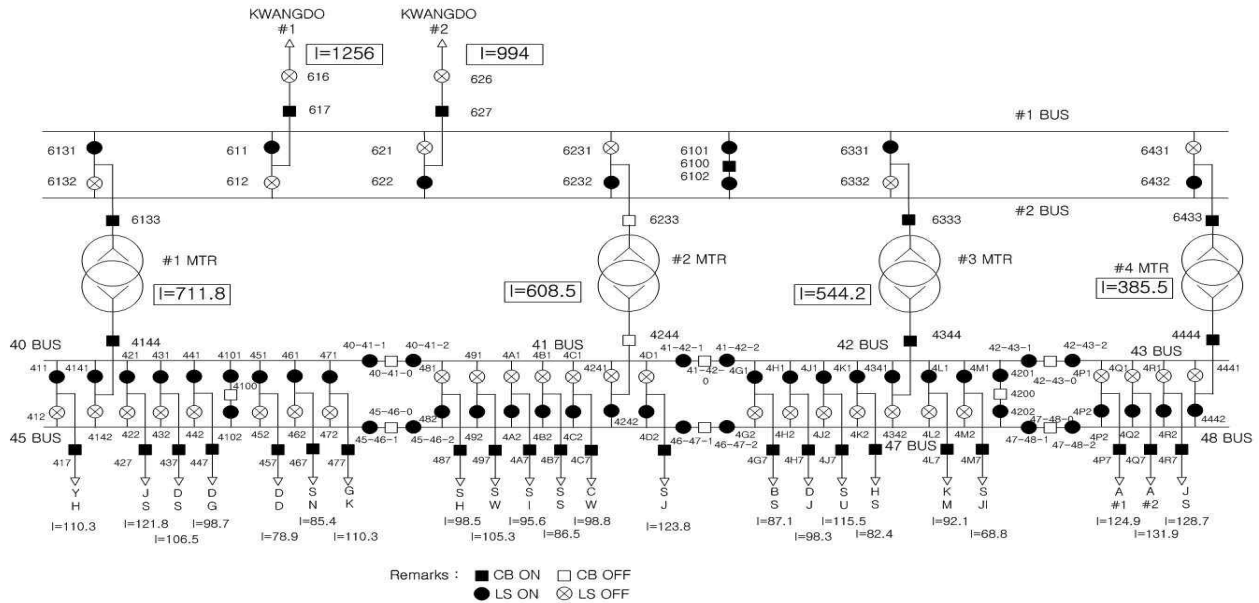


그림 1. 사례연구를 진행한 변전소의 위상구조
 Fig. 1. Topology structure of substation for case study

적부터 민영화가 이루어진 미국이나 유럽의 경우 설비와 유지보수비용의 측면에서 단모선 변전소를 사용하기 때문에 현재까지 본 논문에서 제시한 연구는 발표된 바 없으며 일본과 중국에서도 이중모선 변전소의 고장진단의 연구결과는 다수 발표되었지만[1-3] 상태추정을 기반으로 한 상태감시 시스템이 발표된 바는 없다. 그러나 변전스카다의 성능이 비약적으로 향상되고 있는 만큼 앞으로 스마트그리드의 확대 적용과 함께 우리나라 변전계통 운영의 신뢰성증대에 크게 기여할 것으로 본다.

이중모선 변전소에서 측정하는 데이터에는 전압, 전류 및 유효전력, 무효전력 등의 측정값을 기반으로 하는 아날로그 데이터와 스위치나 차단기의 상태정보를 기반으로 하는 디지털 데이터가 있다. 상태추정은 아날로그 데이터의 불량만을 검출하므로, 스위치의 상태 정보가 잘못되어도 상태추정으로는 이를 인식할 수 없기 때문에 스위치의 실시간 개폐 상태에 따른 위상구조를 먼저 인식한 후에 수행되어야 한다. 또한 실시간으로 입력되는 스위치 개폐 상태 데이터의 오류로 인해 발생하는 위상구조 오류가 상존하고 있으며, 이

러한 오류를 보정하지 않을 경우 상태추정 결과에 막대한 영향을 미치게 된다. 따라서 스위치 개폐 상태 데이터의 오류를 인식하는 기능도 상태추정에 있어서 필수적으로 갖추어야 하는 요소이다.

본 시스템은 크게 위상구조 처리 프로세싱과 상태추정 두 단계로 구성되어 있다. 인공지능을 이용한 위상구조 처리 프로세서는 차단기, 단로기 등의 스위치 개폐 상태를 실시간으로 입력받아 탐색과정을 통하여 변전소의 위상구조를 인식하고 스위치 상태 데이터의 오류를 보정하여 이를 기반으로 시스템 매트릭스(H Matrix)를 생성하는 방법으로써, 상태추정의 전처리 단계에 적용된다. 시스템 매트릭스는 상태 방정식을 나타내며 상태추정에 있어서 매우 중요한 전처리 과정이다. 상태추정을 위해서는 상태변수와 실제 상태와의 오차를 최소화 하는 가중최소자승법을 사용하였으며 아날로그 불량데이터의 유무를 판별하기 위해 카이스퀘어 이론을 적용하였다. 개발된 변전소 상태감시 시스템은 성능검증을 위해 IEC 61850 기반의 표준형 디지털 변전소에 적용하여 보았으며 실계통에 적용 가능성을 확인하였다.

2. 위상구조 처리 프로세서

2.1 위상구조 인식

이중 모선 구조를 채택하고 있는 일반적인 변전소의 위상구조를 예시하면 다음 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 변전소는 송전선, 154kV 모선(이하 HBUS 라고 표현), 주변압기, 22.9kV, 모선(하위모선: 이하 LBUS라고 표현), 배전선 등의 변전기와 차단기, 단로기 등의 스위칭 기기로 구성되어 있다.

변전소의 실시간 위상구조는 각 변전기 사이에 설치된 스위치의 개폐상태에 따라 결정된다. 변전기와 변전소의 위상구조는 인공지능용 언어인 PROLOG를 이용하여 정의하였다. 변전기의 정의에 의한 데이터베이스는 어느 주어진 시점에서 개폐기 정보를 포함하여 단지 변전소 전체의 설비를 나타내고 있을 뿐 변전소의 실시간 위상구조는 표현하지 못하고 있다. 따라서 스위치의 개폐를 기반으로 탐색에 의하여 변전소의 실시간 위상구조를 인식하는 연결구조를 정의해야 하고[4] 이같은 지능형 데이터베이스를 기반으로 상태감시의 문제는 지능형 탐색문제로 귀결된다.

탐색 전략은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 논문에서는 이중화 탐색 전략을 사용하였다[5].

2.2 위상구조 오류의 인식

위치에 대한 정보가 잘못되었거나, 변화된 스위치의 정보가 데이터베이스에 기록되지 않는다면 계통 전체의 네트워크는 실제와 달라질 것이고 이를 위상구조 오류(Topology error)라고 정의한다. 이러한 위상구조 오류로 인한 전체 네트워크 연결구조의 잘못된 인식은 잘못된 상태 벡터, 아날로그 불량 데이터의 잘못된 검출, 한계치 초과 경보의 오류, 신뢰할 수 없는 네트워크 모델 등과 같은 심각한 문제를 유발시킨다.

상태추정은 위와 같은 문제들을 유발시킬 수 있는 위상구조 오류를 인식할 수 없기 때문에 이러한 오류를 보정하지 않을 경우 상태추정 결과에 막대한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 위상구조 오류를 보정하기

위하여 본 논문에서는 Rule-based 알고리즘을 사용하였다[4].

사례연구를 위해 그림 1에서 두 개의 스위치에서 오류가 발생한 경우를 모의하였다. 그림에서 보는 바와 같이 6233, 4244번 차단기가 OFF되어 있고 변압기에 608.5A의 전류가 흐르고 있는 경우이다. 변압기와 배전 부하에 전류가 흐르고 변압기 1차측 스위치가 OFF이면 스위치 데이터의 오류이므로 6233번 차단기 데이터 오류로 추론하고 스위치 상태를 ON으로 보정한다. 또한 변압기가 가압된 상태이고 배전 부하에 전류가 흐르면 OFF인 변압기 2차측 스위치 정보 오류이다. 따라서 4244번 스위치 데이터 오류로 추론하고 스위치 상태를 ON으로 보정한다. 다음은 변전소 위상구조 데이터 오류 검출 소프트웨어의 텍스트 출력 결과이고 다음 그림 2는 Rule-based 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

- Topological Error Device : CB 6233
- Current Status : OFF
- Correction Status : ON
- Topological Error Device : CB 4244
- Current Status : OFF
- Correction Status : ON

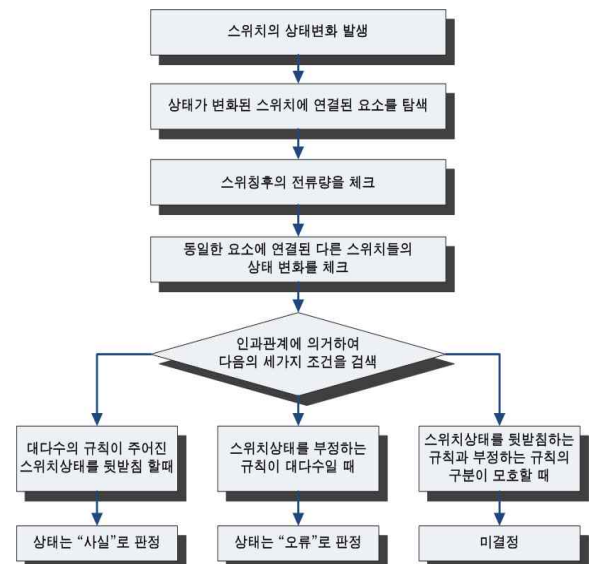


그림 2. Rule based 알고리즘의 흐름도
Fig. 2. Flow chart of rule based algorithm

3. 시스템 매트릭스 구성

시스템 매트릭스(H matrix)의 구성은 상태추정에 있어서 매우 중요한 전처리 과정이다. 시스템 매트릭스 구성은 변전소의 위상구조를 인식하고 상태추정을 수행할 변전기와 상태변수를 결정한 후에 진행되어야 한다. 변전소의 위상구조는 스위치의 개폐상태에 따라 다양하게 변화하기 때문에 위상구조 인식은 전처리 과정의 핵심이라 할 수 있으며, 시스템 매트릭스는 위상구조 표현방법과 이중화 탐색 전략을 이용하여 구성된다. 계통에서 분리된 변전기에 대해서는 상태추정을 진행할 필요가 없으므로 위상구조 인식 과정에서 계통에서 분리된 것으로 판단된 변전기는 추정 기기에서 제외시켜야 한다. 다음 그림 3은 시스템 매트릭스 구성 절차의 흐름도 이다.

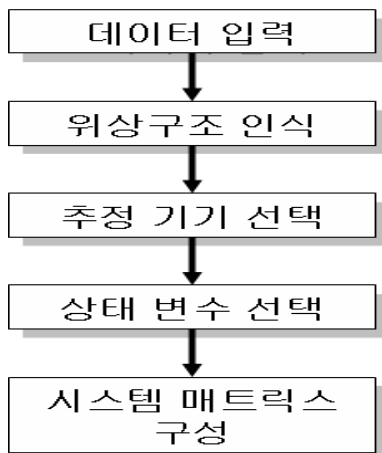


그림 3. 시스템 매트릭스 구성 절차
Fig. 3. Configuration procedures of system matrix

위상구조 처리 및 시스템 매트릭스 생성의 효율성을 검증하기 위하여 샘플 변전소를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 변전소의 위상구조는 위의 그림 3과 같으며, 상위모선의 부스타이를 투입하고, #2MTR과 DL#7 및 DL#10을 계통에서 분리한 상태로 운전하고 있는 상태이다.

그림 1의 위상구조를 가진 변전소의 상태추정을 위한 방정식은 다음과 같으며, 이 방정식을 이용하여 오프라인으로 시스템 매트릭스를 구성할 수 있다.

$$TL1+TL2+TL3+TL4=0.148(MTR1+MTR3+MTR4)$$

$$MTR1=DL1+DL2+DL3+DL4$$

$$MTR3=DL9+DL10+DL11$$

$$MTR4=DL12+DL13$$

$$TL1+TL2+TL3+TL4=0.148(DL1+DL2+DL3+DL4+DL5+DL6+DL8+DL9+DL11+DL12+DL13)$$

위상구조 처리 프로세싱을 이용하여 생성된 시스템 매트릭스를 다음 표 1에 제시하였다.

표 1에서 행은 상태추정을 수행한 변전기를 표시하고 있으며, 열은 상태추정 과정에서 이용한 상태변수를 나타내고 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 방정식을 이용하여 오프라인으로 생성한 시스템 매트릭스와 일치하는 결과를 보였다. 그리고 추론과정에서 계통에서 분리된 변전기는 상태추정 기기 및 상태변수에서 제거된 것을 확인할 수 있다.

표 1. 시스템 매트릭스 생성 결과
Table 1. The result of system matrix

	TL 1	TL 2	TL 3	DL 1	DL 2	DL 3	DL 4	DL 5	DL 6	DL 8	DL 9	DL 11	DL 12	DL 13
TL1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL4	-1	-1	-1	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148
M1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
DL1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DL2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DL3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
DL4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
DL5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
DL6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
DL8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
DL9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
DL11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
DL12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
DL13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

4. 상태추정 시스템

4.1 변전소 상태추정

상태추정은 상태변수에 의한 최적의 추정치를 계산하는 절차로 노이즈가 섞인 측정 데이터로부터 계통의 상태변수를 실제 상태에 가깝도록 계산하기 위하여 실제 상태와의 오차를 최소화 하는 알고리즘이다. 상태추정을 위하여 가중최소자승법을 적용하였으며, 계측기의 오차함수를 최소화하기 위한 최적조건은 다음 식 (1)과 같다.

$$\nabla J(X) = -2[H]^T[R^{-1}]Z^{meas} + 2[H]^T[R^{-1}][H] X = 0 \quad (1)$$

상태추정 소프트웨어의 개발 툴은 Visual C++을 사용하였으며 역행렬 연산은 Gauss-Jordan Elimination 알고리즘을 이용하였다. 변전소 상태추정 소프트웨어는 계측기의 측정값, 계측기의 허용 오차범위, 상태방정식으로부터 획득한 시스템 매트릭스를 입력으로 받아 상태추정을 수행하고, 추정값과 오차를 출력한다. 다음 그림 4는 흐름도를 나타낸다.

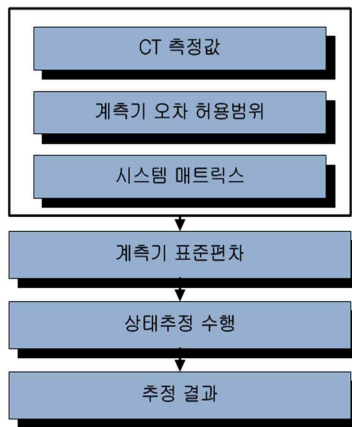


그림 4. 상태추정 흐름도
Fig. 4. Flow chart of state estimation

변전소 상태추정 소프트웨어의 성능검증을 위한 사례연구는 국내 154kV급 이중 모선 구조의 송포 변전소를 대상으로 하였다. 송포 변전소의 구성 세부 내역은 다음과 같다.

- 154kV 송전선로 - 4 line
- 22.9kV 배전선로 - 17 line
- 주 변압기(45/60MVA) - 3기
- 계측기용 CT 용량 - 송전선로 : 800/5
- 주변압기 : 2000/5
- 배전선로 : 600/5

표 2에서는 송포 변전소의 각 계측기의 측정값과 추정값과의 차이를 확인 수 있다.

표 2. 상태추정 결과
Table 2. The result of state estimation

계측기 No	측정값(A)	추정값 (A)	오차 (A)	측정값 (A)	추정값 (A)	오차 (A)
1	-162	-166.99	-4.99	-158	-161.69	-3.69
2	-159	-163.99	-4.99	-157	-160.69	-3.69
3	75	70.01	-4.99	64	60.31	-3.69
4	72	67.01	-4.99	60	56.31	-3.69
5	429	428.85	-0.15	450	449.77	-0.23
6	353	349.70	-3.30	381	369.59	-11.41
7	530	531.85	1.85	564	570.90	6.90
8	23	22.41	-0.59	26	25.68	-0.32
9	111	110.41	-0.59	112	111.68	-0.32
10	125	127.57	2.57	117	127.86	10.86
11	114	113.41	-0.59	120	119.68	-0.32
12	92	94.57	2.57	99	109.86	10.86
13	93	92.41	-0.59	99	98.68	-0.32
14	8	7.41	-0.59	8	7.68	-0.32
15	42	41.41	-0.59	47	46.68	-0.32
16	42	41.41	-0.59	40	39.68	-0.32
17	125	127.57	2.57	121	131.86	10.86
18	42	39.41	-2.59	49	41.56	-7.44
19	75	72.41	-2.59	84	76.56	-7.44
20	76	73.41	-2.59	81	73.56	-7.44
21	72	69.41	-2.59	83	75.56	-7.44
22	98	95.41	-2.59	111	103.56	-7.44
23	86	83.41	-2.59	110	102.56	-7.44
24	101	98.41	-2.59	105	97.56	-7.44

4.2 카이스퀘어 테스트 및 불량데이터 검출

측정값을 기반으로 하는 상태추정에서 허용치 이상

의 오차를 포함한 일부 값에 의하여 상태추정의 전반적인 신뢰도가 저하될 수 있다. 본 논문에서는 상태추정 값의 신뢰도를 향상시키기 위하여 부정확한 측정값의 검출을 위한 대표적인 방법인 카이스퀘어 테스트에 관한 연구를 수행하였다. 다음 그림 5는 불량데이터 검정 알고리즘의 흐름도이다.

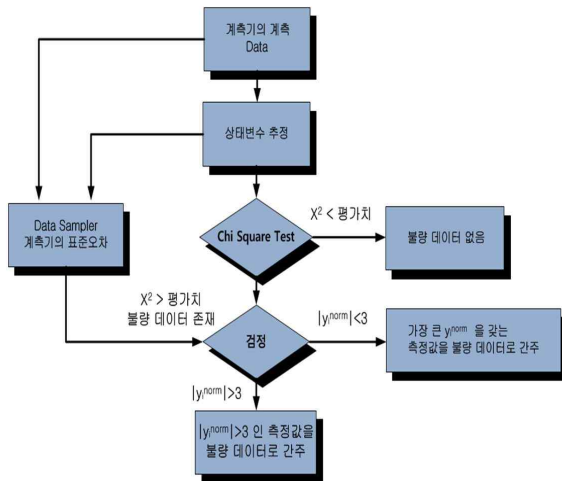


그림 5. 불량데이터 검출 절차
Fig. 5. Detection procedure of erroneous data

식 (2)는 불량데이터를 검증하기 위하여 표준화된 오차를 구하는 과정이다[6].

$$y^{norm} = \frac{z_i^{meas} - f_i^{est}}{\sigma_{yi}} \quad (2)$$

여기서

y_i^{norm} : 표준화된 오차

f_i^{est} : 상태변수의 추정 결과치

σ_{yi} : 표준편차

카이스퀘어 테스트를 이용하여 아날로그 불량데이터 오류 검출 소프트웨어를 개발하였으며, 송포 변전소를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 사용된 데이터는 송포 변전소의 실제 데이터이며, 계측기의 표준편차를 구하기 위해 9개의 연속된 데이터를 설정하였다. 표 3은 대상 데이터 중 불량데이터의 검출을 나타

낸다. 표에서 명암이 들어간 부분이 검출된 불량데이터이다. 확률적으로 표준화된 편차가 절대값 3을 넘었을 경우에 측정값을 불량 데이터로 간주하지만, 본 사례연구의 경우처럼 표준화된 오차가 절대값 3이 아니며, 대상 데이터의 $J(x)$ 값이 평가치를 넘는 경우에는 가장 큰 표준화된 오차를 갖는 측정값을 불량데이터로 간주한다.

다음은 개발된 아날로그 데이터 오류 검출 소프트웨어의 텍스트 출력 결과로서 표 3과 동일함을 알 수 있다.

- 계측기 1 아날로그 불량데이터 검출
- 계측기 2 아날로그 불량데이터 검출
- 계측기 3 아날로그 불량데이터 검출
- 계측기 4 아날로그 불량데이터 검출

표 3. 대상 데이터 중 불량데이터의 검출
Table 3. Erroneous data detection among targeted data

계측기 No	측정값(A)	추정값(A)	σ_{yi}	y_i^{norm}
1	220	208.80	6.28	1.78
2	178	166.80	6.28	1.78
3	-75	-86.20	6.28	1.78
4	-70	-81.20	6.28	1.78
5	460	460.95	0.26	-1.72
6	369	369.49	1.69	-0.29
7	575	576.20	0.91	-1.33
8	21	21.71	0.21	-1.38
9	131	131.71	0.21	-1.38
10	128	129.16	1.81	-0.64
11	112	112.71	0.21	-1.38
12	110	111.16	1.81	-0.64
13	92	92.71	0.21	-1.38
14	16	16.71	0.21	-1.38
15	44	44.71	0.21	-1.38
16	40	40.71	0.21	-1.38
17	128	129.16	1.81	-0.64
18	37	37.46	0.61	-0.75
19	85	85.46	0.61	-0.75
20	79	79.46	0.61	-0.75
21	78	78.46	0.61	-0.75
22	105	105.46	0.61	-0.75
23	85	85.46	0.61	-0.75
24	104	104.46	0.61	-0.75

5. 상위 운영시스템과 데이터 인터페이스

본 논문에서 제시된 위상구조 오류검출 프로그램 및 상태추정 시스템을 개발 중인 상위 운영 HMI의 일부분으로 “운영 솔루션”에 탑재하여 어플리케이션으로써 시스템의 상태를 추정하도록 하였다.

이 프로그램은 각 포인트의 유효전력, 무효전력, 전압, 전류 및 개폐기 및 차단기의 ON, OFF상태를 입력 받아서 상태추정치와 오류검출에 대한 결과를 HMI에 표시한다.

다음 그림 6은 상위 HMI 프로그램과의 알고리즘 프로그램의 데이터의 흐름도를 나타내며 알고리즘 구동 후 상위 HMI에 출력된 결과는 다음 그림 7과 같다. 또한 이벤트처리의 결과는 그림 8과 같이 표시된다.

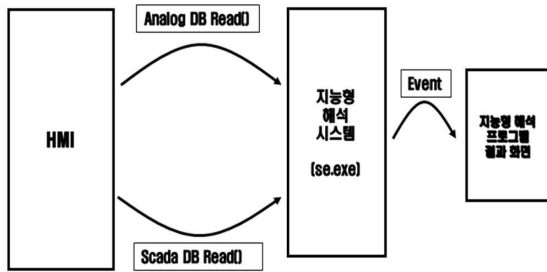


그림 6. 상위 HMI와의 데이터인터페이스 흐름도
Fig. 6. Flow chart of data interface with higher HMI

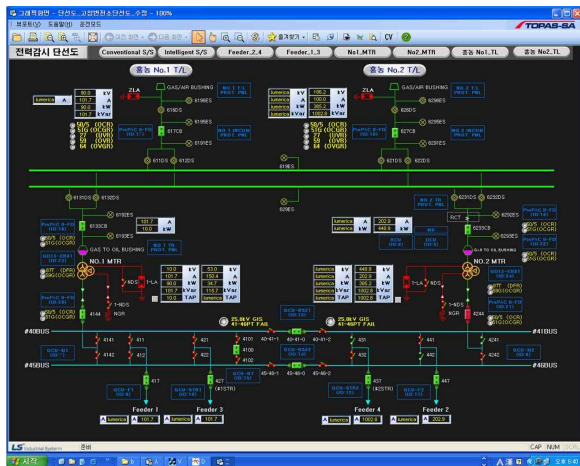


그림 7. 상위 HMI와의 데이터인터페이스 단선도 화면
Fig. 7. Single line diagram of data interface with higher HMI

#	발생시각	알림내용
1	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 피다19의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
2	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 피다49의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
3	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 피다19의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
4	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 피다19의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
5	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 29의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
6	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 19의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
7	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 송봉19의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
8	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 송봉19의 상태를 확인 오류: 시그미값(UMIT)
9	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 05(417)가 05(417)의 임플을 확인 오류
10	2008-08-20 18:38:12	Cat@kme 05(417)가 05(417)의 임플을 확인 오류
11	2008-08-20 18:38:11	002err0 Port@kme general (18로 제어상용 Kosole - User

그림 8. 상위 HMI와의 데이터 인터페이스 이벤트화면
Fig. 8. Event display of data interface with higher HMI

6. 결론

본 논문에서는 IEC 61850 기반의 디지털 변전소를 위한 위상구조 처리 프로세싱 기반의 상태감시 시스템을 제시하였다.

위상구조 처리 프로세싱은 변전소의 위상구조를 인식하여 시스템 매트릭스(H matrix)를 생성한다. 시스템 매트릭스는 상태추정에 있어서 매우 중요한 전처리 단계로, 변전소의 위상구조를 인식하고 상태추정을 수행할 변전기와 상태변수를 결정한 후에 구성된다. 상태추정 시스템은 개발된 상태추정 소프트웨어를 이용하여 상태방정식으로부터 획득한 시스템 매트릭스를 입력으로 받아 상태추정을 수행하고, 추정값과 오차를 출력한다. 또한 카이스퀘어 이론을 적용한 불량데이터 검정 소프트웨어를 이용하여 불량데이터를 검출함으로써 상태추정의 전반적인 신뢰도를 향상시켰다.

위상구조 처리 프로세싱의 성능검증을 위하여 샘플 변전소를 대상으로 사례연구를 수행하였고, 변전소의 위상구조를 효과적으로 인식하고 위상구조 오류가 발견되었을 시 보정이 가능함을 확인하였다. 송포 변전소를 대상으로 한 사례연구에서는 상태추정 시스템이 추정값과 오차 출력 및 불량데이터의 검출을 수행하

는 것을 확인하였다.

본 변전소 상태감시 시스템은 IEC 61850 기반의 디지털 표준형 변전소에 프로토타입 시스템으로의 적용이 수행되었다. 이를 통해 시스템의 성능을 검증하였다. 개발된 IEC 61850 기반의 상태감시 시스템은 변전소 복구에 대한 추가적인 연구가 필요하나 현재까지의 프로토타입 시스템의 데이터 검정 특성을 살펴볼 때, EMS 및 SCADA와 연계하여 실제 전력계통에 적용이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgments

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2013년 선정 기초연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임.(과제번호 : R13TA19)

References

- [1] Y. Fuzmoto, K. Ibuki, and S. Tada, "OperatiOn of an Online Substatl On Diagnosis System," IEEE T rans. on Power Dehvery, vol. 3, no. 4, pp. 1628-1634, October 1988.
- [2] S. Ito, 1. Hata, T. Hasegawa, M. Amano, and A Maruyama, "Advanced Operatlon Quldance System for 500KV Substation," Electrical Power & Energy Systems, vol. 14, no. 2/3 pp. 114-121, June 1992.
- [3] C. Fukui and J. Kawakami, "An Expert System for Fault Sectlon Estmation Using InformatlOn from Protective Relays and Clrcult Breakers," IEEE T rans. on Power Delivery, vol' 1, no. 4, pp. 83-90, October 1986.
- [4] Sungmin park, Eunjae Lee, Wonkun Yu, Heungjae Lee and Jeonghoon Shin, "State Estimation for Supervisory Monitoring of Substations," IEEE TRANSACTION ON SMART GRID, VOL. 4, NO. 1, March 2013.
- [5] H. J. Lee, I. S. Wang, H. J. Kang, S. G. Lee, D. J. Kim, M. C. Kang and C. H. Lim, "A Study on Topology Processor for Substation Automation," KIEE Summer Conference, July 2007.
- [6] H. J. Lee, I. S. Wang, Y. H. Kim, S. M. Park and H. J. Kang, "A Study on the State Estimation for Distribution Substations," IEEE Summer Conference, July 2000.

◇ 저자소개 ◇



이홍재(金李朴)

1958년 1월 28일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995~1996년 미국 워싱턴 주립대 방문교수. 현재 광운대 공대 전기공학과 교수.



이은재(李殷在)

1982년 4월 7일생. 2008년 광운대학교 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 석박통합과정 수료. 현재 LS산전(주) HVDC 연구팀 근무.