

변전소 자동화를 위한 위상구조 처리에 관한 연구

이흥재* 왕인수* 강현재* 이수길* 홍준호* 김도진* 강민찬*
광운대학교 전기공학과*

임찬호**
경주대학교 전자컴퓨터공학부**

A Study on Topology Processor for Substation Automation

H.J. Lee*, I.S. Wang*, H.J. Kang*, S.G. Lee*, J.H. Hong*, D.J. Kim*, M.C. Kang*
Dept. of E. E, Kwangwoon University*

C.H. Lim**

School of E&CE, Kyongju University**

Abstract - Topology processing is indispensable basic function as it generate a real-time BUS-BRANCH model in Energy Management Systems because most application softwares such as state estimation, power flow, etc., require BUS-BRANCH circuit data. This paper propose an expert system to generate BUS-BRANCH circuit model using Artificial Intelligence technology and it is applied to 154kV distribution substations.

1. 서 론

전력은 현대 산업사회를 지탱하는 원동력이며, 국가의 기간산업이다. 전력계통은 경제와 사회의 발전과 함께 지속적인 전력 수요 증가에 따라 계속 성장하고 있고 이에 따라, 세계 각국은 전력 시스템의 대규모화와 더불어 전력 공급의 신뢰도 향상과 안정성을 확보하기 위하여 지대한 노력을 경주하고 있다. 기술적인 측면에서 새천년과 함께 찾아온 큰 변화의 하나는 컴퓨터와 통신망의 비약적인 발달과 자동화로 인한 가격 인하로 인하여 모든 분야에서 거대규모의 센서-네트워크 체계를 구축하고 이를 융합하고자 하는 과정이 진행되고 있는데, 전력계통 분야에서도 전술한 안정성과 신뢰성의 향상을 도모하기 위하여 여러 가지 감시 및 제어 설비들의 연구개발과 도입이 활발하게 진행되고 있고, 최근 산업자 원부에서는 차세대 성장동력 산업의 하나로 전력IT를 지정, 9대 과제가 출범한 바 있다. 이 사업의 하나인 디지털 기반의 차세대 변전시스템 개발과제는 디지털 보호계전기와 IEC61850 기반의 통신망 구축 및 이를 운용하기 위한 디지털 변전소 종합 운영 시스템을 개발하는 것인데, 이 운영 시스템에는 측정 데이터의 정확성 및 신뢰성 향상을 위한 상태추정 시스템이 개발되어 탑재될 예정으로 있다.

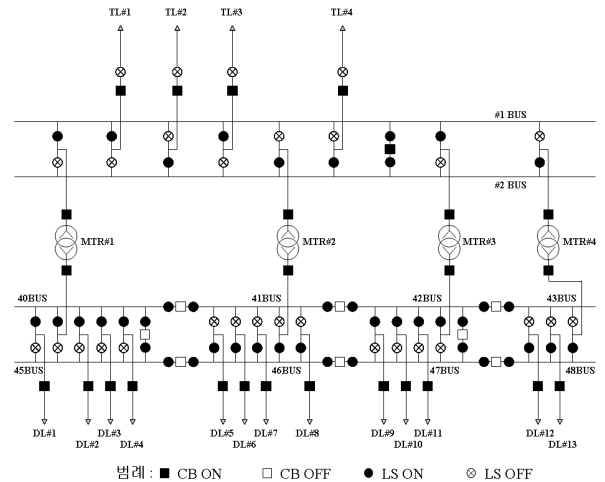
상태추정은 주로 EMS(Energy Management System)에서 측정되는 아날로그 데이터의 오차보정을 위한 방법이지만[2] 디지털변전소에서는 대규모 센서네트워크상에서 각 구성요소들의 건전성을 점검하는 장치로 사용할 수 있으며, 이러한 상태추정은 변전소의 위상구조를 인식하고, 시스템 매트릭스(H matrix)를 구성함으로써 수행될 수 있다. 그러나 변전소의 위상구조는 스위치의 개폐 상태에 따라 다양하게 변화되므로, 따라서 스위치의 실시간 개폐 상태에 따른 위상구조를 인식하여 시스템 매트릭스를 자동으로 생성하기 위한 기능은 EMS와 마찬가지로 변전소의 상태추정에 있어서도 필수적으로 갖추어야 한다.[3]

본 논문에서는 인공지능을 이용하여 스위치 개폐 상태의 변화에 따라 상태추정을 위한 시스템 매트릭스를 자동으로 생성할 수 있는 실시간 위상구조 처리시스템을 소개하고자 하며, 이 시스템은 상태추정의 전처리 단계의 핵심 부분으로서 개폐기 데이터의 오류를 검증할 수 있는 위상구조 오류인식 전문가 시스템과 함께 디지털 변전소 종합운영시스템에 탑재되어 시험운용될 예정이다. 본 논문에서 제시하는 위상구조 처리 방안은 지면의 제약상 상세하게 기술하기는 어렵지만, 개념적으로 약술하면 차단기, 단로기 등의 스위치 개폐 상태를 실시간으로 입력받아 인공지능 상태공간에서의 탐색과정을 통하여 변전소의 위상구조를 인식하고, 이를 바탕으로 시스템 매트릭스를 자동으로 생성하도록 하는 방법으로써, 제시된 위상구조 처리 방안은 향후 상태추정 시스템과 연동하여 디지털 변전소의 신뢰도 향상에 기여할 것으로 본다.

2. 변전소의 위상구조

2.1 위상구조 표현

이중 모션 구조를 채택하고 있는 일반적인 변전소의 위상구조를 예시하면 다음 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 변전소는 송전선, 154kV 모선(상위모선:HBUS), 주변압기, 22.9kV 모선(하위모선:LBUS), 배전선 등의 변전기와 차단기, 단로기 등의 스위칭 기기로 구성되어 있다. 그리고 변전소의 실시간 위상구조는 각 변전기 기 사이에 설치된 스위치의 개폐상태에 따라 결정된다.



<그림 1> 변전소 위상 구조

본 논문에서는 변전기와 변전소의 위상구조를 다음과 같이 정의하였다.

```
tl_hbus(name, ls_no, cb_no, ls_no_list)
hbus(name, ls_no_list)
hbus_tr(name, cb_no, ls_no_list)
tr_hbus(name, cb_no_list)
lbus(name, cb_no_list)
dl(name, cb_no_list)
```

여기서, ls_no_list는 변전기에 연결된 단로기의 집합이고, cb_no_list는 변전기에 연결된 차단기의 집합이다.

이러한 정의는 단지 모든 가능한 위상구조의 표현일 뿐 실시간 위상구조는 스위치의 개폐 상태에 따라 결정되므로 스위칭 설비도 표현되어야 한다. 본 논문에서는 다음과 같이 상위모선과 하위모선에 연결된 부스타이 및 스위칭 설비를 표현하였다.

```
hbus_tie(cb_no, ls_no_list)
lbus_tie(name, name, cb_no)
cb(name, status)
ls(name, status)
```

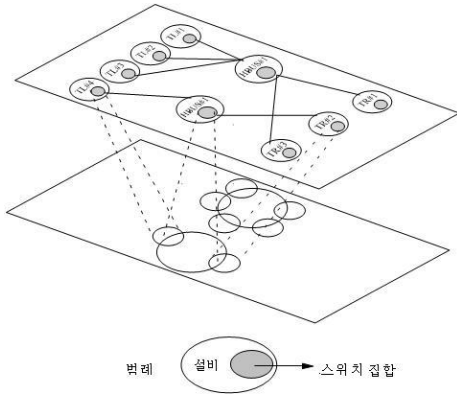
여기서, status는 스위치의 ON/OFF 상태를 나타낸다.

2.2 위상구조 인식.

전술한 위상구조의 표현은 각 시점에서의 개폐기 정보를 포함하여 단지 변전소 전체의 설비를 나타내고 있을 뿐 변전소의 실시간 위상구조를 표현하지 못하고 있다. 따라서 위상구조는 스위치의 개폐를 기반으로 탐색에 의하여 인식하여야 한다.

탐색 전략은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 논문에서는 이중화 탐색 전략을 사용하였다. 이중화 탐색 전략은 먼저 변전기를 탐색하고, 변전기의 연결구조는 내부 스위치 그룹의 탐색 문제로 이원화 한 기법이다.

다음 그림 2는 본 논문에서 사용한 이중화 탐색 전략의 개념도이다.



<그림 2> 변전소 위상 구조

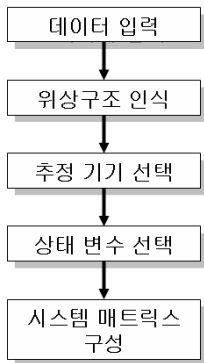
그림 2에서 보는 바와 같이 윗면은 스위치를 포함한 변전기기를 표시하고 있으며, 스위치의 상태에 따른 변전기기의 연결 관계는 밑면에 표시된 바와 같이 스위치 사이의 교집합으로 나타난다.

3. 시스템 매트릭스 구성

상태추정에 있어서 시스템 매트릭스(H matrix)의 구성은 매우 중요한 전처리 과정이다. 그리고 시스템 매트릭스 구성은 변전소의 위상구조를 인식하고 상태추정을 수행할 변전기기와 상태변수를 결정된 후에 진행되어야 한다. 변전소의 위상구조는 스위치의 개폐상태에 따라 다양하게 변화하기 때문에 위상구조 인식은 전처리 과정의 핵심이라 할 수 있으며 본 논문에서는 전술한 위상구조 표현방법과 이중화 탐색 전략을 이용하여 진행하도록 하였다.

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

4. 사례 연구

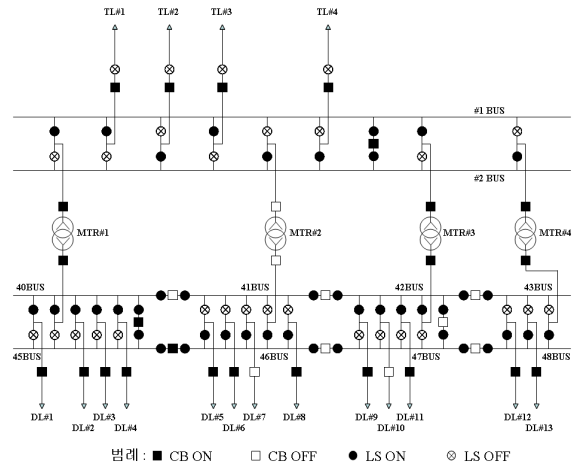
본 논문에서 제안한 위상구조 처리 및 시스템 매트릭스 생성의 효율성을 검증하기 위하여 사례 연구를 수행하였다.

사례 연구를 수행한 변전소의 위상구조는 다음 그림 4와 같으며, 상위 모선의 부스타이를 투입하고, #2MTR과 DL#7 및 DL#10을 계통에서 분리한 상태로 운전하고 있는 상태이다.

그림 4의 위상구조를 가진 변전소의 상태추정을 위한 방정식은 다음과 같으며, 이 방정식을 이용하여 오프라인으로 시스템 매트릭스를 구성할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 TL1+TL2+TL3+TL4 &= 0.148(MTR1+MTR3+MTR4) \\
 MTR1 &= DL1+DL2+DL3+DL4 \\
 MTR3 &= DL9+DL10+DL11 \\
 MTR4 &= DL12+DL13 \\
 TL1+TL2+TL3+TL4 &= 0.148(DL1+DL2+DL3+DL4+DL5+DL6+DL8+ \\
 &\quad DL9+DL11+DL12+DL13)
 \end{aligned}$$

본 논문에서 제시한 위상구조 처리방안을 이용하여 생성된 시스템 매트릭스를 다음 표 1에 제시하였다.



<그림 4> 모의 변전소의 위상구조

표 1에서 행은 상태추정을 수행한 변전기기를 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

	TL1	TL2	TL3	DL1	DL2	DL3	DL4	DL5	DL6	DL8	DL9	DL11	DL12	DL3
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

5. 결 론

본 논문에서는 상태추정의 전처리 단계로서, 변전소의 위상구조를 인식하고, 상태추정의 시스템 매트릭스를 생성하기 위한 실시간 위상구조 처리 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 위상구조 처리 방안은 효율적인 데이터 정의와 정의된 데이터의 효율적인 탐색을 위한 이중화 탐색 전략을 이용하였다.

사례 연구를 통하여 본 논문에서 제시하는 위상구조 처리 방안의 효율성을 검증해 보았으며, 이 결과는 현재 전력IT사업으로 진행되고 있는 디지털 변전소의 종합운영시스템에 탑재되어 사용될 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] William J. Ackerman, "Substation Automation and the EMS", Transmission and Distribution Conference, Vol. 1, pp. 274-279, 1999.
 [2] J. F. Dopazo, et al., State Estimation for Power Systems : Detection and Identification of Gross Measurement Errors", Proceeding 8th PICA Conference, Mineapolis, 1973.
 [3] M. Kezunovic, "Monitoring of Power System Topology in Real-Time", Symposium on Electric Power Systems Reliability, HICSS 39, January 2006