

### 논리 결합에 의한 변전소 오류 데이터 처리 알고리즘 개발

진보건\* 현승호\*\* 이승재\*  
명지대학교 차세대 전력기술연구센터\*, 울산대학교\*\*

## Logic Based Bad Data Processing Algorithm in Substations

B.G.Jin\*, S.H.Hyun\*\*, S.J.Lee\*  
Myungji University NPTC\*, Ulsan University\*\*

**Abstract** - It is important to identify and correct bad data for maintaining the security and the reliability of data acquisition and management in a substation. This paper presents a bad data processing method based on rules acquired by analysis of cause and effect of bad data. The proposed method verified by the case study in a typical substation model.

### 1. 서 론

변전소가 자동화되고 기기들이 IED화됨에 따라 데이터가 방대해지고 있으며 데이터의 신뢰도의 중요성도 날로 높아지고 있다. 변전소에서 중요한 역할을 하는 S/W가 증가하고 이러한 S/W들이 신뢰성 있는 데이터를 요구하고 있어 BDP(Bad Data Processing)의 필요성이 증가하고 있다. 이전의 BDP에서는 수치해석적인 방법이 주로 사용되었으며 이는 연산량이 많고 그 방법 또한 어려움이 커 사용하기 어려우며, 이러한 단점을 극복하기 위하여 계통을 축약하는 방법 등에 관한 많은 연구들이 진행되었다[1-4]. 변전소 내의 계통의 축약 및 수학적 계산의 특징을 이용하여 문제를 좀 더 간단하게 하는 방법들도 연구되었다[5][6]. 또한 IED를 염두에 둔 미래의 변전소에서 오류 데이터 검출을 위한 방법도 연구되었다[7].

변전소내에서 취득되고 관리되는 데이터는 계통의 각 측정점에서 측정되는 전압, 전류값과 같은 Analog 데이터와 변전소의 구성정보인 Digital 데이터로 나눌 수 있으며 이러한 데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 Bad Data Processing (BDP)이 필요하며 그 방법에는 크게 수학적 계산에 의한 방법과 논리결합에 의한 방법으로 나눌 수 있다.

본 논문에서는 수학적 계산이 아닌 논리결합에 의한 방법을 제시하였으며 Analog Data Processing (ADP)에서 추출방법은 오류 데이터 발생과 증상에 대한 관계 tree에 관한 분석과 계층적인 구조를 갖는 변전소의 특성을 이용하여 Module개념을 적용하여 틀을 추출한다. ADP의 판단 방법은 보수적 추론을 통하여 모든 데이터를 신뢰할 수 없다는 전제하에서 완벽히 신뢰할 수 있는 데이터만을 Good data로 판단하여 제외시켜 bad data를 판단하였다.

Digital Data Processing (DDP)에서 판단물은 각 측정값의 존재유무와 측정점에서의 전원단, 부하단의 연결 유무와의 관계를 이용하여 추출하였다. DDP의 판단 방법은 현재의 측정값과 구성정보와의 관계에서 위배되는 스위치를 선택하여 지지도를 부여하게 되고 최

종적으로 모든 측정점에서 판단이 이루어지면 실제 bad

data는 가장 많은 지지도를 받게 되어 bad data를 판단할 수 있게 된다. 제시한 이론의 검증은 위하여 변전소 모델에서의 두 가지 사례연구를 통하여 그 타당성을 제시하였다.

### 2. 본 론

ADP에서는 변전소 구성정보에 오류가 없다는 가정하에서 실행하였으며 DDP에서는 측정된 데이터에 오류가 없다는 가정하에서 오류데이터를 검출하였다.

오류데이터 검출방법은 Rule-based system으로 구성하였으며 Rule의 추출을 위하여 데이터의 오류 시 그 현상을 파악하여 인과 tree를 구성하고 이를 이용하여 Rule을 추출하였다.

판단은 Module 단위로 오류데이터를 검출하였다. 최상위 측정점을 이용하여 'Basic Module'을 구성하고 하위로 이동하면서 'Basic Module'을 확장하며 오류데이터를 검출하였다.

마지막으로 오류데이터 검증부분에서 Good Data임에도 Bad Data로 검출된 데이터를 제거하게 된다.

#### 2.1 ADP[8]

본 논문에서 대상으로 하는 측정데이터는 V, I 그리고 S이며 계통은 그림 1과 같다.

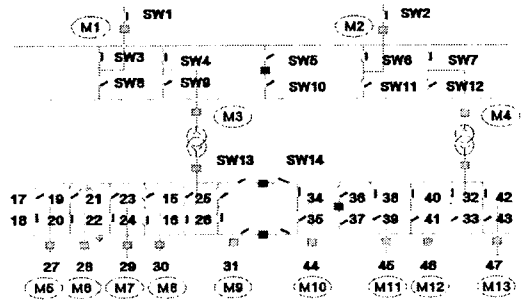


그림 1. 대상 변전소 계통

#### 2.1.3 판단 Rule

오류 데이터 판단시 기본적인 가정은 모든 데이터는 신뢰할 수 없다는 것이다.

이는 각각의 데이터를 평가하면서 완벽히 신뢰할 수 있는 데이터만을 good data로 판단함으로써 데이터의 신뢰도를 높일 수 있다.

본 논문에서 대상으로 하는 측정데이터의 오류를 크게 나누면 전달오류와 측정오류로 나눌 수 있으며 각각의 원인별로 6가지의 형태로 분류가 가능하다.

각 원인별 현상을 나열하고 원인파 결과에 대한 연관

관계를 연구하여 ADP의 Rule을 추출하였다.

판단 Rule은 If로 표현되는 조건부에서는 오류검사 대상과 오류검사방법이 제시되고 Then으로 표시되는 결론부에서는 조건에 맞는 결과를 제시한다.

ex) Rule 1  
 If (module내의 전압이 모두 같지 않다.)  
 then (module내의 V는 Bad Data)  
 Rule 9  
 If ( $VI^* = P + jQ$ 가 만족하지 않는다)  
 then (측정점의 T는 Bad Data)

각 측정점에 판단 데이터는 V, I, S, T이며 V는 전압, I는 전류, S는 전력, T는 통신오류를 각각 체크하게 된다.

판단은 Module별로 각 측정점에서 이루어지며 측정값에 따라 해당하는 Rule을 적용시켜 판단한다.

V와 S값은 참값을 알 수 있는 경우에는 오류데이터를 삭제하고 참값으로 변경한다.

최종적으로 해집합 검증을 통하여 오류데이터가 아닌 측정값을 제외시킨다.

### 2.1.4 판단 방법

ADP는 변전소 인입단의 측정 점에서 시작하여 인출단의 순서로 이루어진다. 이는 Module을 중심으로 이루어지며 그 순서는 다음 그림 2와 같다.

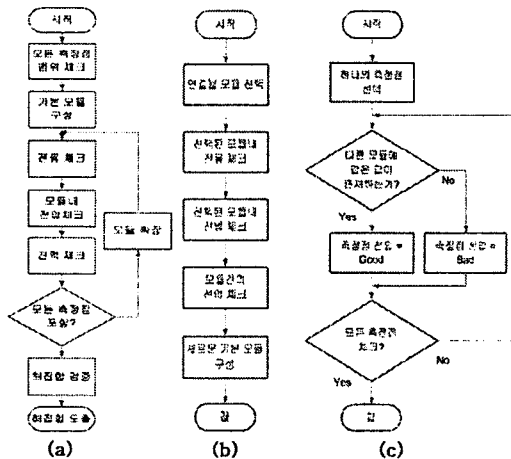


그림 2 (a) ADP 순서도, (b) ADP 모듈 확장 순서도  
(c) 모듈간의 전압 체크 순서도

이러한 순서로 모든 측정 점을 체크하게 되면 최종적으로 모든 데이터의 오류여부를 알 수 있게 된다.

그림 2(a)에서 모듈 확장은 (b), (c)와 같은 순서로 이루어진다.

해집합 검증은 하나의 측정점에서 하나의 오류만 존재하게 되면 이를 Good data로 판단한다. 그 이유는 실제 하나의 데이터에 오류가 발생하면 한 측정점에서 두 개 이상의 Bad data가 발생하기 때문이다.

### 2.2 DDP

Digital 데이터는 변전소의 구성정보를 변화시킬 수 있는 요소를 말하며 CB(Circuit Breaker), DS(Disconnection Switch)와 같은 Switch의 종류가 모두 이에 해당한다. 본 알고리즘에서는 Switch의 종류를 구분하지 않고 하나의 Switch로 생각한다.

Switch 값은 통신을 통하여 측정될 수도 있으며 운영자의 입력에 의해서만 변경되는 데이터도 존재한다.

그 판단은 측정점에서 전압과 전류값의 유무와 현재 구성정보를 이용한다. 오류데이터로 판단되면 현재 DB에 존재하는 Switch 데이터의 BD의 지도도를 증가시키면서 오류값을 추출한다.

마지막으로 해집합 검증을 통하여 오류데이터가 아닌 값을 제외시킴으로써 DDP를 완료하게 된다.

#### 2.2.1 각 데이터 상황과 증상

계통의 연결상태와 측정값과의 관계는 다음 표 1과 같다. 연결상태는 측정점이 전원측과 연결유무 그리고 부하측과의 연결유무 말한다.

표 1 오류의 종류에 따른 증상

Source	Load	V	I
O	O	O	O
O	X	O	X
X	O	X	X
X	X	X	X

표 1에서 Source : 측정점이 전원측과 연결되어 있으며 전원이 존재함.

Load : 측정점이 부하측과 연결되어 있으며 부하가 존재함

O : 값이 존재함, X : 값이 존재하지 않음

표 1과 같이 현재 측정값과 현재 가지고 있는 변전소 구성정보를 이용하여 그 관계를 파악하고 이를 이용하여 판단 Rule을 구성한다.

#### 2.2.2 판단 Rule

DDP도 ADP와 마찬가지로 Module단위로 판단이 이루어지게 된다.

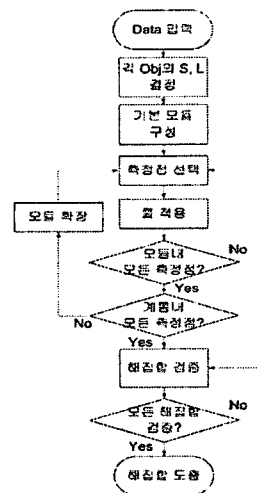


그림 3 DDP 순서도

그림 3은 DDP의 순서도를 나타내고 있다. 각 측정점의 S(Source), L(Load)을 결정 한 후 각 Module별로 판단하고 해집합 검증을 통하여 최종적인 오류데이터를 제시하게 된다.

판단 Rule은 다음과 같다.

ex) Rule 1

If (V=0, S=1) Then (S까지 존재하는 SW = Bad)

Rule 5

If (I=1, S=0, L=1) Then (SW가 closed 되면 측정점의 S가 1이 되는 SW = Bad)

각 측정점에서 위의 Rule을 적용하여 Bad로 판단되는 Switch는 지도도를 1 증가 시키게 된다.

현재 구성정보와 측정값사이의 관계가 일치하지 않을 경우 실제 오류데이터는 모든 측정값에서 판단시 Bad data로 판단되기 때문에 최종적으로 가장 높은 지도도를 가지게 된다.

### 2.2.3 해집합 검증

모든 측정점에서 DDP를 한 결과 나온 결과가 하나의 Switch가 아닌 경우에는 도출된 해를 검증해 하게 된다. 검증과정은 오류데이터로 판정된 Switch의 상태를 바꾸어 실제 측정값이 계통 구성의 변화로 인하여 예상되는 값과 동일함을 확인하게 된다.

그 값이 동일하게 나오지 않을 경우 해당하는 Switch를 제외시킨다.

모든 해를 검증 후 최종적인 해를 도출하게 된다.

## 2.3 사례연구

사례계통은 다음 그림4와 같은 변전소 계통에서 측정점은 총 13개이고 Switch는 총 47개이며 모든 데이터는 DB에 저장되어 있다. 각 측정점의 데이터는 V, I, S의 3가지 데이터를 측정한다.

사례연구 1은 M3에서 I의 통신오류와 M5, M6, M7, M8, M9에서 V의 측정오류가 발생한 경우를 상정하였고 예제 2는 SW31의 데이터가 오류가 존재하는 경우를 상정하여 제시한 BDP의 타당성을 검증하였다.

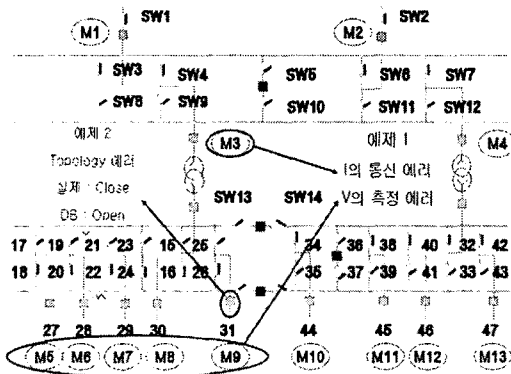


그림 4 예제 계통

### 2.3.1 예제 1

그림 4에서 'Basic Module'은 M1, M2, M3, M4로 구성된다. 여기서 각 측정점에서 룰을 적용하면 M1, M2, M3, M4의 I가 Bad data로 판정된다.

Module을 확장하면 추가될 Module은 M5, M6, M7, M8, M9가 되며 이때 모듈간의 전압체크를 통하여 M5 ~ M9까지의 전압오류가 검출되고 전압값을 참값으로 설정하게 된다.

Module확장을 통하여 'Basic Module'이 M1, M2, M4, M5 ~ M9가 되고 룰을 적용하여 판단하면 M3를 제외한 다른 측정점의 전류값은 모두 good으로 판단된다.

최종적으로 M3의 전류값은 Bad Data로 판정되고 M5 ~ M9까지의 전압데이터는 정정된다.

### 2.3.2 예제 2

그림 4에서 'Basic Module'은 M1, M2, M3, M4이며 여기에서 룰을 적용하면 SW3, SW5, SW6, SW27, SW28, SW29, SW30, SW31의 지도도가 1이 된다. Module확장 후 판단하면 SW4, SW31의 지도도가 2로 증가하게 되며 최종적으로 해집합 검증을 통하여 SW31이 최종해로 제시된다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 변전소에서의 Bad Data Processing을 이전의 수치해석적인 방법이 아닌 Rule-Based System을 이용하는 방안을 제시하였다. ADP와 DDP의 과정을 통하여 변전소 계통의 측정 오류 및 구성정보의 오류를 모두 찾아내는 것이 가능하다. 판단방법은 Module을 중심으로 하여 Module내의 측정점에서 Rule을 적용하여 판단해봄으로써 해서 그 측정값과 구성정보 데이터의 오류여부를 판단할 수 있다. 제시한 Rule-Based System을 사례연구를 통하여 검증하였다. 본 논문에서 제시한 방법은 앞으로 변전소자동화에 적용되어 데이터의 신뢰도를 높여 줄 것으로 기대된다.

### [감사의 글]

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

### [참고 문헌]

- [1] A.Monticelli, "Modeling circuit breakers in weighted least squares state estimation", IEEE Trans. power syst., 1993
- [2] A.Monticelli, A. Garcia, "Modeling zero impedance branches in power system state estimation", IEEE trans. power syst. 1991
- [3] A.Monticelli, "The impact of modeling short circuit branches in state estimation", IEEE Trans. power syst., 1993
- [4] L. O. Chua, C. A. Desoer, and E. S. Kuh, "Linear and Nonlinear circuit" New York: McGraw-Hill, 1987
- [5] A. Gomex-Exposito and A. de la Villa, "Reduced substation models for generalized state estimation", IEEE trans. power syst., 2001
- [6] August 2002, Antonio de la Villa Jaen and Antonio Gomez-Exposito, "Implicitly constrained substation model for state estimation", IEEE transactions on power system, Vol. 17, No.3
- [7] Sasa Jakovljevic, Mladen Kezunovic, "Advanced substation data collecting and processing for state estimation enhancement", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE, 201-206, Vol. 1, 21-25 July 2002.
- [8] 진보진, 최인선, 현승호, 이승재, "변전소내 Bad Data Processing에 관한 연구" 대한 전기학회 하계학술대회, p 406-408, 2004.7.