

## 능동 데이터베이스를 이용한 중앙전력감시시스템

(A Centralized Monitoring System for Factory Electrical Installation Using Active Database)

최상열\* · 문현호 · 이종주\*\*

(Sang-Yule Choi · Hyun-Ho Moon · Jong-Joo Lee)

### 요 약

중앙전력감시시스템은 공장 부하 설비 상황을 감시반에서 감시 및 신속한 제어를 수행함으로써 공장 부하 설비의 관리와 운영의 효율화를 극대화 하는 것이다. 이러한 시스템의 주된 특징은 공장 부하 설비의 운전상태 계측, Data 처리, PLC(Power Line Communication), 조명 제어 등의 감시 제어, 전력운용에 필요한 프로그램을 내장하여 효율적으로 계통을 관리하는 것이다. 본 연구에서는 능동데이터베이스를 이용하여 중앙전력감시시스템을 구현하는 방안을 제시함으로써, 공장 부하의 사고 징후를 사전에 파악하고, 사고 발생 시 이에 대한 대처를 데이터베이스 스스로 수행하도록 함으로써 인위에 의한 실수를 최소화 할 수 있도록 했으며, 그리고 제시된 시스템을 서로 다른 특징을 갖는 5개의 부하로 이루어진 공장 부하에 적용하여 그 유용성을 입증하였다.

### Abstract

The main purpose of centralized monitoring system is to manage factory electrical installation efficiently by on-line data acquisition and supervisory control. The existing centralized system is only able to be managed by operator whenever electrical installation's faults are detected. Therefore, it may be possible for propagating the installation's faults when operator make the unexpected mistakes. To overcome the unexpected mistakes, in this paper, the author presents a centralized monitoring system for factory electrical installation using active database. by using active database production rule, stated system can minimize unexpected mistake and can operate centralized monitoring system efficiently. Test results on the five factory electrical installations show that performance is efficient and robust.

Key Words : Centralized Monitoring System, Active Database, Production Rule

\* 주저자 : 인덕대학 정보메카트로닉스학과 조교수  
\*\* 교신저자 : 한국전기연구원 위촉선임연구원  
Tel : 02-950-7427, Fax : 02-950-7439  
E-mail : ppk99@induk.ac.kr  
접수일자 : 2010년 3월 2일  
1차심사 : 2010년 3월 5일  
심사완료 : 2010년 3월 25일

### 1. 서 론

중앙전력 감시시스템은 공장 부하 전력설비의 상황을 감시 및 제어하여 사고시 신속히 처리함으로써 공장 부하설비의 관리와 운영을 효율화하도록 하는 것

이다. 이러한 시스템의 기능은 수변전설비의 운전상태 및 계측 Data 처리, PLC, 조명 제어 등의 감시 제어, 전력운용에 필요한 프로그램을 내장하여 효율적으로 계통을 관리하는 것이다.

이와 관련되어 하드웨어적인 계측 분야에 관한 연구는 많은 성과를 이루었으나, 감시시스템이 수·배전 부하로부터 계측하여 획득한 데이터를 효율적으로 저장 관리하고 이용하기 위한 데이터베이스 적용 분야에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

본 논문과 관련하여 현재까지 전력계통의 데이터베이스 구축에 관한 연구 동향은 데이터베이스의 데이터 탐색효율을 향상시키는 방법[1], 데이터베이스 효율적 구축 방안[2-3]등이 제시되었다. 그러나 [1-3]과 같이 적용된 데이터베이스는 수동적인 구조를 갖는 데이터베이스로, 데이터베이스상의 무결성 위반이나, 예상치 않은 사고 발생 시 이를 해결하기 위해서 시스템을 중단시키고 사용자의 개입이 필요한 방식이다. 따라서 이와 같은 방식을 중앙전력감시시스템에 적용할 경우 예상치 않은 수배전 설비사고 징후 또는 사고의 발생 시 이에 대한 대처가 사용자의 작동에 의해서 수행되게 되어 숙련된 사용자에도 많은 부담으로 작용할 뿐만 아니라 예상치 않은 인위에 의한 실수로 인한 오동작 발생 또는 사고 과급의 우려가 있다. 이에 반하여 능동형 데이터베이스는 사용자의 개입없이 자동적인 상태에서 무결성 제약조건 방지 및 사고에 대한 대처를 데이터베이스 스스로 해결할 수 있으며, 이에 따라 이러한 능동형 특징을 이용한 배전자동화 시스템 구현에 관한 연구가 시도되었다[4-5].

본 논문에서는 수배전 부하를 신뢰성 있고, 안정적으로 감시하고 관련된 데이터를 효율적으로 관리하기 위해 능동데이터베이스 기반 중앙전력감시시스템을 제시한다.

제시된 시스템은 공장부하 설비로부터 전송된 데이터를 통하여 현재 부하의 상태를 항상 감시하고, 그에 상응하는 일련의 행동들을 능동 규칙에 의해 수행하도록 되어 있다. 이러한 능동 규칙으로 인하여 데이터의 삽입, 삭제 및 수정이 발생시 사용자의 개입 없이 양전력 감시반 스스로 설비사고 징후를 파악하고 이에 대한 대처를 스스로 수행하는 것이 가능하다. 본

논문의 유용성을 입증하기 위해 저항성 부하, 유도성 부하, 용량성 부하, 모터부하 그리고 고조파 부하 등 총 5개의 서로 다른 공장 대표 부하를 모델링하여 제시된 시스템에 적용하였다.

## 2. 능동 데이터베이스 기반 중앙 전력 감시 시스템

### 2.1 능동 데이터베이스 [6]

능동 데이터베이스는 사용자의 개입이 없더라도 데이터베이스에 입력되는 고장 감시 장치의 상태 데이터 변화 유무만을 감시하여 정의된 능동 규칙을 이용함으로써 자동적으로 고장에 대한 감시 및 복구 방안을 수행한다.

#### ○ 능동 규칙

능동 데이터베이스의 능동 규칙은 전문가 시스템에서 이용하는 것과 유사한 생성 규칙(production rule)으로 표현되며, 이와 같은 규칙들은 데이터베이스 내에서 정의되어 저장, 관리된다. 데이터베이스 시스템의 관리를 능동적으로 수행하기 위한 능동 규칙으로는 크게 무결성 제약조건(integrity constraints)과 생성 규칙으로 분류될 수 있다. 무결성 제약조건과 생성 규칙은 사건-조건-행동(E-C-A : Event-Condition-Action)으로 표현되며 일반적인 형태는 다음과 같다.

Event : external\_operation

Condition : condition

Action : action

#### ◎ 사건(Event)

명시된 능동규칙을 트리거(trigger)할 수 있도록 한다. 즉 능동 규칙 행동의 원인 행위로 데이터베이스 연산(update(갱신), insert(삽입), delete(삭제)), DBMS(DataBase Management System)의 외부 응용프로그램(감시 프로그램)으로 부터의 신호이다.

#### ◎ 조건(Condition)

사건 발생에 따른 행동의 선행 조건으로, 데이터베이스에 대한 질의를 포함한 상태가 참(TRUE)으로 평가되면 행동을 수행하고 만약 거짓(FALSE)으로 평가되면 행동은 수행되지 않는다.

◎ 행동(Action)

사건 발생의 결과로 수행되도록 기술된, 본래 사건과 별개의 작업순서로, 조건의 만족을 전제로 수행되며 수행되는 행동은 새로운 데이터베이스 연산을 발생시키거나 또는 외부 응용프로그램을 동작시키도록 한다.

능동 데이터베이스 기반 직접부하제어 시스템에서 적용되는 능동 규칙의 예는 다음과 같다.

- ① Event : 갱신 to 설비 전압
- ② condition : 설비 전압 < 기준전압\*0.9
- ③ action : 설비 운전 중지

①의 event는 수배전 설비의 전압이 데이터베이스 상에서 갱신되었음을 의미한다.

②의 condition은 갱신된 설비전압이 데이터베이스에 설정된 기준전압의 90[%] 이하임을 의미한다.

③의 action은 condition이 TRUE일 경우 해당 설비의 운전을 중지 제어 신호를 발생시킨다.

**2.2 능동 데이터베이스 구축을 위한 데이터 요구분석**

중앙전력감시시스템 구축을 위해 요구되는 데이터 테이블 및 속성은 다음과 같다.

○ 부하

부하번호, 부하군 번호, 용량, 저항, 인덕턴스, 커패시턴스, 유효전력, 무효전력

○ 시스템 정보

식별번호, Alarm, 데이터 샘플링 타임, 기준 전압 Value, 기준 전압 주파수, 기준 전압 THD(Total

Harmonic Distortion), 기준 전압 DC Value, 기준 전류 Value, 기준 전류 주파수, 기준 전류 THD, 기준 전류 DC Value, 기준 위상각, 과도 상태(과도 : 1, 정상 : 0), 고장 상태(고장 : 1, 정상 : 0), 차단기 허용 전류 값

○ 전압

부하 번호, 전압 id(A상 : 1, B상 : 2, C상 : 3), 전압 Value, 전압 주파수, 전압THD, 전압 DC Value

○ 전류

부하 번호, 전류 id(A상 : 1, B상 : 2, C상 : 3), 전류 value, 전류 주파수, 전류 THD, 전류 DC Value, 위상각

**2.3 능동 규칙**

중앙감시제어시스템과 연결된 부하들 간의 통신으로 각 부하의 전압, 전류 값이 중앙감시제어시스템의 데이터베이스로 갱신되면, 중앙감시제어시스템은 전압, 전류 표본화 신호를 이용하여 실효값과 위상각을 계산하고, 계산된 위상각을 이용하여 유효전력과 무효전력을 계산한다. 그리고 주파수는 신호의 위상을 추정하는 DFT(Discret Fourier Algorithm)알고리즘을 이용하여 계산한다.

본 연구에서는 제시되는 능동 규칙을 수·배전 시스템의 과도현상 검출 능동 규칙과 고장 검출 능동 규칙으로 분류하여 연구하였다.

2.3.1 과도현상 검출 능동 규칙

중앙감시제어시스템과 연결된 공장 전력 부하와의 통신으로 데이터베이스상의 부하, 시스템정보, 전압, 전류 테이블의 데이터속성 들이 갱신된다. 이때 데이터속성 값의 변화로 수배전 부하의 상태를 감지할 수 있으므로 감지된 조건을 검사하여 과도현상을 검출한다.

데이터속성 값의 변화로 과도현상을 검출하기 위한 능동 규칙은 다음과 같다.

Rule 1) 갱신된 부하 전압이 기준 전압 대비 5~10 [%] 사이 증감이 이루어진 경우 과도현상이 발생된 것으로 판별한다.

R1 :

Event : update to 전압. 전압 value

Condition : 시스템정보. 기준전압\*1.05=<전압. 전압 value < 시스템정보. 기준전압\*1.1

Action : update to 시스템정보. 과도현상=1 && 시스템정보. Alram = 과도 현상

Rule 2) 갱신된 부하 전압 THD가 기준 전압 THD 대비 200~400[%] 사이 증감이 이루어진 경우 과도현상이 발생된 것으로 판별한다.

R2 :

Event : update to 전압. 전압 THD

Condition : 시스템정보. 전압THD\*2 <전압. 전압 THD< 시스템정보. 전압THD\*4

Action : update to 시스템정보. 과도현상=1 && 시스템정보. Alram = 과도 현상

Rule 3) 갱신된 부하 전류 위상각이 기준 대비 10~20[%] 경우 과도현상이 발생된 것으로 판별한다.

R3 :

Event : update to 전류. 위상각

Condition : 시스템정보. 기준위상각\*1.1=<전. 위상각< 시스템정보. 기준위상각\*1.2

Action : update to 시스템정보. 과도현상=1 && 시스템정보. Alram = 과도 현상

### 2.3.2 고장 판별 능동규칙

고장 판별 능동규칙의 목적은 수배전 부하에 지락사고 또는 단락 사고가 발생된 경우, 이것을 데이터베이스 상에서 검출 및 판별하기 위한 것이다. 고장 판별 능동 규칙은 다음과 같다.

Rule 4) 갱신된 부하 전압이 기준 전압 대비 10[%] 초과된 경우 고장이 발생된 것으로 판별한다.

R4 :

Event : update to 전압. 전압 value

Condition : 시스템정보. 기준전압\*1.1<전압. 전압 value

Action : update to 시스템정보. 고장상태=1 && 시스템정보. Alram = 고장 유형

Rule 5) 갱신된 부하 전압 THD가 기준 대비 400 [%] 초과된 경우 고장이 발생된 것으로 판별한다.

R5 :

Event : update to 전압. 전압 THD

Condition : 시스템정보. 기준 전압THD \*4 <전압. 전압 THD

Action : update to 시스템정보. 고장상태=1 && 시스템정보. Alram = 고장 유형

Rule 6) 갱신된 부하 전압 DC value가 기준 전압 DC value를 50[%] 초과하는 경우 고장이 발생된 것으로 판별한다.

R6 :

Event : update to 전압. 전압 DC value

Condition : 시스템정보. 기준 전압 DC value \*1.5 <전압. 전압 DC value

Action : update to 시스템정보. 고장상태=1 && 시스템정보. Alram = 고장 유형

Rule 7) 갱신된 부하 전류 DC value가 기준 전류 DC value를 100[%] 초과하는 경우 고장이 발생된 것으로 판별한다.

R7 :

Event : update to 전류. 전류 DC Value

Condition : 시스템정보. 기준 전류 DC value\*2 <전류. 전류 DC value

Action : update to 시스템정보. 고장상태=1 && 시스템정보. Alram = 고장 유형

Rule 8) 갱신된 부하 전류 위상각이 기준 전류 위상각을 20[%] 초과 하는 경우 고장이 발생된

것으로 판별한다.

R8 :

Event : update to 전류, 위상각

Condition : 시스템정보, 기준 전류 위상각\*1.2 < 전류, 전류 위상각

Action : update to 시스템정보, 고장상태=1 && 시스템정보, Alram = 고장 유형

### 2.3.3 전체 흐름도

그림 1은 지금까지 제시된 능동 데이터베이스 기반 중앙전력감시시스템 동작에 관한 전체적인 Flow Chart를 나타내며, 각 단계별 세부적인 설명은 다음과 같다.

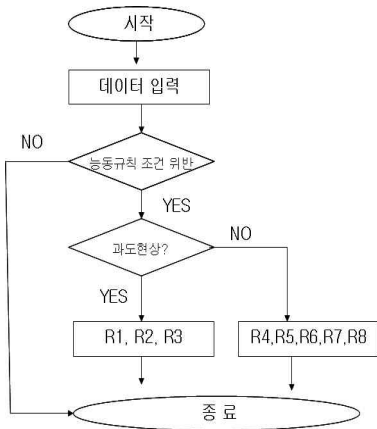


그림 1. 시스템 동작 흐름도

Fig. 1. Flow chart for the proposed monitoring system

(step 1) : 수배전 부하설비에 연결된 부하가 급격히 증가하면 수배전 장치에 설치된 감시장치가 이러한 변경사항을 감시하고 데이터베이스의 각 테이블의 속성값을 변경 시킨다.

(step 2) : 갱신된 데이터테이블의 속성 값이 능동 규칙에서 정의된 조건에 부합되는지 여부를 검사한다.

(step 3) : 조건에 부합될 경우, 과도현상인 경우는 능동 규칙 R1, R2, R3가 수행되고 고장현상일 경우 R4, R5, R6, R7, R8이 수행된다.

## 3. 사례연구 및 구현

### 3.1 적용 모델 수배전 계통

본 연구의 타당성을 입증하기 위해 서로 다른 대표적 특징을 갖는 다른 5개의 공장 전력 부하를 모델링하여 제시된 능동 규칙을 적용하였다. 즉 제시하여 모델링된 부하는 실제의 공장 전력 부하 특성과의 유사성을 고려하여, 저항성 부하, 유도성 부하, 용량성 부하, 모터부하 그리고 고조파 부하로 나누어 모델링을 수행하였다. 각 부하별로 설비특징 및 부하 식별자는 아래 그림 2와 같이 단선도로 표현하였다.

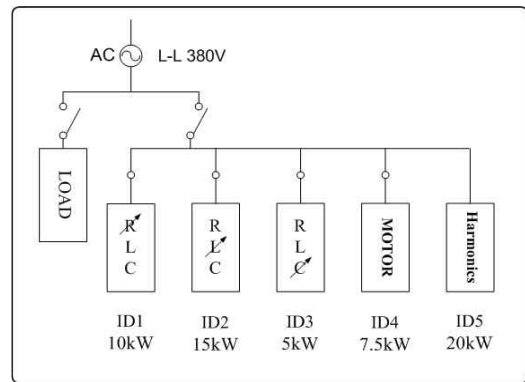


그림 2. 부하 모델링 단선도

Fig. 2. One line diagram for load modeling

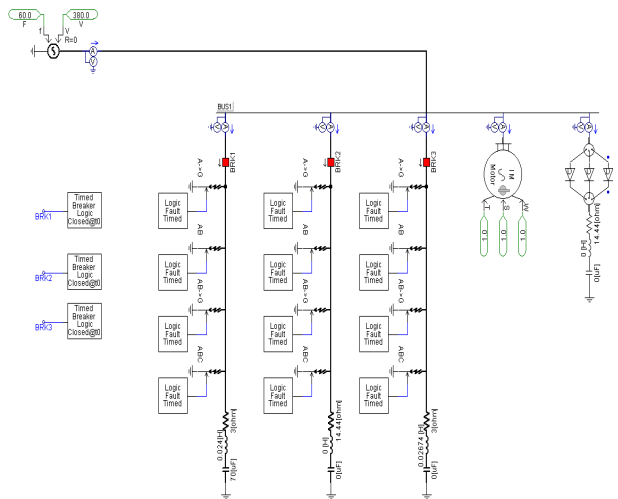


그림 3. PSCAD/EMTDC 모델 계통

Fig. 3. Load modeling for PSCAD/EMTDC

데이터베이스에 저장되어야 하는 각 수변전 설비의 전압, 전류 등의 데이터는 PSCAD/EMTDC 사용하여 모의로 획득하였다. 아래의 그림 3은 PSCAD/EMTDC 이용하여 구성된 계통도이다.

운영전압은 380V(L-L), 주파수는 60[Hz]이며, 모터부하는 모터의 구동 시 나타나는 구동전류 중심으로 특성을 모의하였다. 그리고 고조파부하의 경우, 수배전계통내에서 고조파를 발생의 주요 원인으로 작용하는 다이오드 구동 시 나타나는 특성을 모의하였다.

### 3.2 중앙전력감시시스템의 구현

능동 데이터베이스 기반 중앙전력 감시시스템의 MMI(Man Machine Interface)는 Labview를 이용하여 구현하였다. 각 부하의 전압, 전류 신호가 중앙전력 감시시스템에 저장되면, DTF를 이용하여, 실효값과 위상각, 주파수 등을 계산한다. 그리고 계산된 위상값 및 위상차를 이용하여 유효, 무효, 피상전력 등을 계산하여 데이터베이스에 저장한다.

다음의 그림 [4, 5, 6]은 Labview로 구성된 프로그램의 블록 다이어그램이며 세부적인 설명은 다음과 같다.

그림 4는 공장 전력 부하의 전압, 전류 신호를 입력 받아, DC Value와 RMS 값 등의 값을 추출해 내기 위한 이산 신호 계산 블록 다이어그램이다.

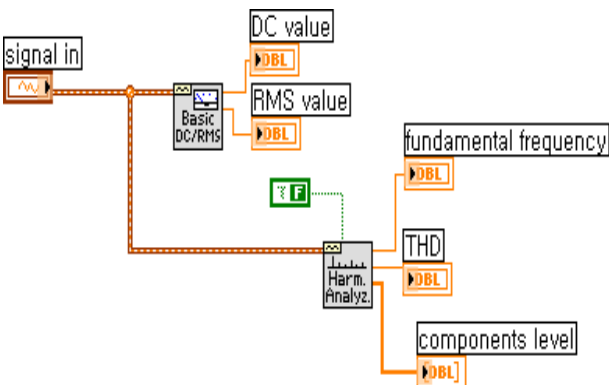


그림 4. 이산 신호 계산 블록 다이어그램  
Fig. 4. Labview block diagram for discrete signal calculation

그림 5는 전력신호(전압, 전류)신호의 스펙트럼과 각 주파수에 해당하는 신호의 크기를 연산하는 블록 도이다.

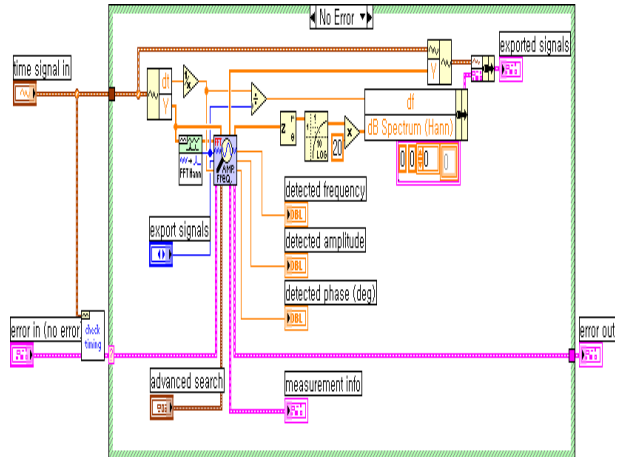


그림 5. 신호 크기 연산 블록 다이어그램  
Fig. 5. Labview block diagram for signal amplitude calculation.

아래의 그림 6은 전압과 전류신호의 위상값 및 그 위상차를 계산하여 유효전력과 무효전력을 계산하는 블록 다이어그램이다.

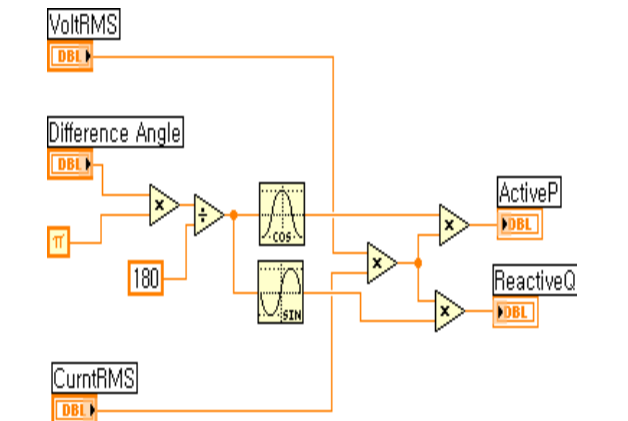


그림 6. 유효 무효전력 계산 블록 다이어그램  
Fig. 6. Labview block diagram for P, Q calculation

위와 같은 주요 기능을 갖는 프로그램의 블록 다이어그램을 이용하여 최종적으로 구성된 초기 MMI 화면은 그림 7과 같다.

### 3.3 능동 데이터베이스 적용 예

중앙전력감시시스템에 연결된 각기 다른 공장 전력 부하의 전압, 전류 데이터는 감시시스템의 데이터베이스로 전송된다. 이때 전송된 데이터 값이 정의된 과도 현상 검출 능동 규칙과 고장 판별 능동 규칙의 조건부를 만족하지 못하는 경우, 이러한 상태는 그림 7과 같이 정상상태로 판별되며, MMI의 화면상 ALARM은 Normal을 표시한다.

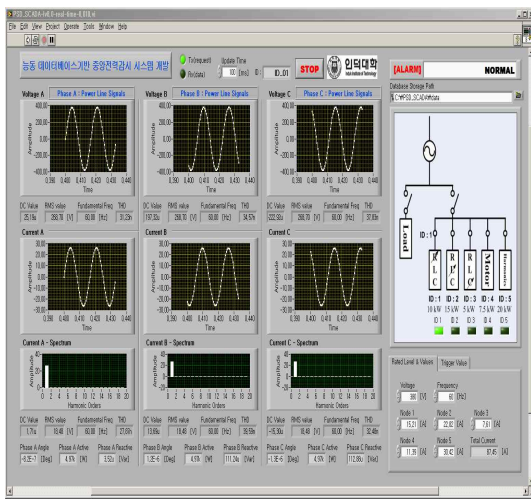


그림 7. 중앙전력감시반 중앙 판넬 MMI  
Fig. 7. MMI for the proposed system

만약 1번 부하에서 1선 지락 사고가 발생되는 이 발생하는 경우, 해당 상전류의 DC value 및 위상각, THD 값이 변화되어 이에 해당되는 고장 판별 능동 규칙을 동작시키게 되며, 이에 따라 MMI 화면 ALARM에 해당 지락사고(A상 지락 사고)가 아래의 그림 8과 같이 표시된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 능동 데이터베이스 기반 중앙전력감시시스템을 제안하고 구현하였다.

본 시스템을 구축하기 위해, 시스템 데이터베이스를 구축하기 위해 요구되는 데이터와 기능들을 분석하여 데이터테이블 및 속성을 정의하였고, 그 후 각 속성을 기초로 하는 과도 현상 검출과 고장 판별 능동 규칙을 모델링하여 제시하였다. 그리고 제안한 중앙 전력 감시 시스템의 감시 대상이 되는 공장 전력 부하를 저항 부하, 리액턴스 부하, 커패시턴스 부하, 고조파 부하, 모터 부하 등 5개의 대표부하를 선정, 모델링을 실시하고 PSCAD를 이용한 다양한 시뮬레이션을 통하여, 5개 대표 부하의 핵심 파라미터를 선정하여 능동 규칙에 적용함으로써 실제의 공장 전력 부하 적용이 가능하도록 하여, 제안된 시스템의 유용성을 입증하였다.

본 시스템을 적용함으로써 공장내 전력 부하 설비의 사고 또는 과도 현상이 발생되는 경우 이에 대한 검출 및 대처를 사용자의 개입 없이 데이터베이스 차원에서 스스로 해결이 가능하다.

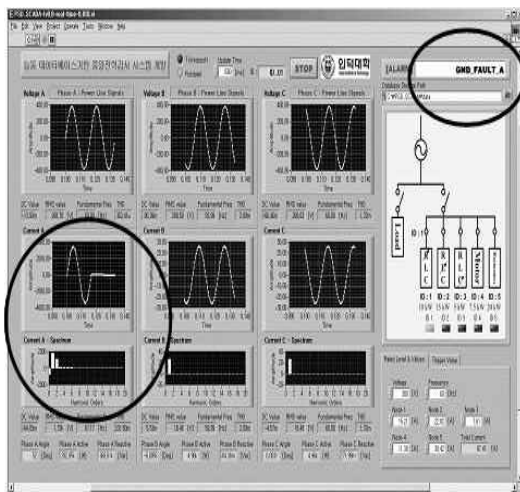


그림 8. 1번 노드 A상 지락사고 판별  
Fig. 8. MMI for line ground fault detection

#### 감사의 글

본 연구는 인덕대학의 학술연구지원에 의해서 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

#### References

- [1] S. H Kim, B. Y. Choi, Y. H. Moon, "An Expert System for Fault Restoration Using Tree Search Strategies in Distribution System", Trans. KIEE. Vol. 43, No. 3, MAR. 1994.

- [2] Y. T. Ahn et al "A Development of Power Transmission Protection Database for Korea Electric Power Company", Trans. KIEE. Vol. 48A, NO. 7, July, 1999.
- [3] S. Y. Choi, J. Y. Kim, M. C. Shin, E. M. Kim, and H. M. Kim, "Object-Oriented Application to EMS Database Design", International Conference on Electrical Engineering(ICEE), Kyungju, Vol. 2, pp. 353 - 356, 1998.
- [4] H. N. Park, U. M. Kim, J. P. Yoon, "Active Management for Distribution Automation Systems Using an Object-oriented Model", Trans. KIEE. Vol. 47, No. 11, NOV. 1998.
- [5] S. Y. Choi "An Feeder Automation System Using Active Database", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Engineers Vol. 17, No.5. pp.94 -102 Sep. 2003.
- [6] M. Karma, G. Lausen, and G. Saake, "Updates in a Rule-Based Language for Objects", in Proc, Int'l. Conf. on Very Large Databases, pp. 252 - 262, 1992.

◇ 저자소개 ◇



**최상열**(崔相烈)

1970년 8월 24일생. 1996년 성균관대 전기공학과 졸업. 2002년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학부 졸업(박사). 2002~2004년 안양대학교 디지털미디어 학부 전임강사. 2004년~현재 인덕대학 정보메카트로닉스학과 조교수.



**문연호**(文炫鎬)

1979년 9월 2일생. 2004년 한국산업기술 대학 제어계측학과 졸업. 2006년 성균관대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 성균관대학교 대학원 전자전기공학부 박사과정.



**이종주**(李種柱)

1975년 11월 27일생. 1999년 수원대학교 전기공학 졸업. 2008년 성균관대 대학원 정보통신공학부(박사). 2001~2004년 새턴정보통신(주) 개발팀장. 2008년~현재 한국전기연구원 전력시스템 연구본부 Smart Grid 연구센터 위촉선임연구원.