

IED를 기반으로 하는 디지털 수배전반의 지적추론기반 운전제어 솔루션 설계

論 文

55A-9-1

The Design of Operation and Control Solution with Intelligent Inference Capability for IED based Digital Switchgear Panel

高 銳 錫[†]
(Yun-Seok Ko)

Abstract - In this paper, DSPOCS(Digital Switchgear Panel Operation and Control Solution) is designed, which is the intelligent inference based operation and control solution to obtain the safety and reliability of electric power supply in substation based on IED. DSPOCS is designed as a scheduled monitoring and control task and a real-time alarm inference task, and is interlinked with BRES(Bus Reconfiguration Expert System) in the required case. The intelligent alarm inference task consists of the alarm knowledge generation part and the real-time pattern matching part. The alarm knowledge generation part generates automatically alarm knowledge from DB and saves it in alarm knowledge base. On the other hand, the pattern matching part infers the real-time event by comparing the real-time event information furnished from IEDs of substation with the patterns of the saved alarm knowledge base. Especially, alarm knowledge base includes the knowledge patterns related with fault alarm, the overload alarm and the diagnosis alarm. In order to design the database independently in substation structure, busbar is represented as a connectivity node which makes the more generalized graph theory possible. Finally, DSPOCS is implemented in MS Visual C++, MFC, the effectiveness and accuracy of the design is verified by simulation study to the typical distribution substation.

Key Words : Digital Switchgear Panel, Substation Automation, MA(Multi-Agent), IED(Intelligent Electric Device)

1. 서 론

전력 시스템은 전력에너지를 수송하는 제반설비로써 이들
에 대한 안정성과 경제성은 국가산업발전과 경쟁력 제고에 심
대한 영향을 미친다. 따라서 각 국은 국가산업의 경쟁력 확보
를 위해 전력 시스템의 안정성과 경제성을 확보할 수 있는 시
스템 실현에 많은 노력을 기울이고 있는데, 그 대표적인 것이,
예측하지 못한 사고로부터 사고 파급효과를 최소화할 수 있는
보호제어 시스템과 그 사고의 발생횟수를 획기적으로 줄일 수
있는 유지보수 시스템에 대한 연구개발 노력이다.

전력회사 및 관련회사들은 기존 보호계전 체계 하에서 전
력 시스템의 자동화를 추진하여 왔으며, 계획기반의 유지보수
체계하에서 전력설비들의 상태를 주기적으로 점검, 수리교체
업무를 실시하여 왔다. 그러나 전력 시스템 규모가 점차 거대
화되어 기존 유지보수 체계가 높은 비용에 비해 설비 가동율
을 낮추고 예기치 못한 고장을 허용하며, 기존의 보호제어 체
계가 낮은 신뢰도의 고장 검출율과 시스템 상호간의 정보교류
부족으로 인한 협조체계 미비로, 고장을 효과적으로 차단하지
못함으로써 심각한 사고를 경험할 수 있음은 물론, 파급효과
가 우려되고 있다. 따라서 최근 급속한 발전을 이루고 있는

센서기술, 디지털 기술, 정보통신 기술 그리고 인터넷을 기
반으로 한 유비쿼터스 지향의 네트워크 환경을 바탕으로 전력
시스템의 사고파급효과를 최소화할 수 있도록 자율분산제어에
근거한 멀티 에이전트 기반 보호제어 개념, 유지보수 비용을
줄이면서 전력설비의 신뢰도를 크게 높일 수 있는 신뢰도 기
반의 유지보수기법(RCM)을 효과적으로 지원할 수 있는 IED
및 그 적용연구가 활발하게 이루어지고 있다[1-2]. 특히, 최근
전력공급 측면에서 중요한 역할을 하며, 변압기, 차단기 등 주
요 전력설비가 집중되어 있는 변전소 및 변전실에 IED를 적
용하고자 하는 노력이 집중되고 있어[3-7], 이러한 IED를 기
반으로 하는 변전소에서 IED로부터 제공되는 운전 및 상태정
보를 효과적으로 활용하여 전력공급의 안정성과 신뢰성을 크
게 개선할 수 있는 디지털 수배전반 운전제어 솔루션 개발의
필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 IED를 기반으로 하는 변전소(실)에
서 전력공급의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 지적 추론
기반의 디지털 수배전반 운전제어 솔루션(DSPOCS:Digital
Switchgear Panel Operation and Control Solution)을 설계한
다. DSPOCS는 계획기반 감시제어 TASK, 실시간 지능형 경
보추론 TASK 체계로 설계되며, 필요시 실시간 모션 재구성
전문가 시스템(BRES)[8]과 연동되도록 한다. 지능형 경보추론
TASK는 지식 생성부와 패턴 매칭부로 구성되는데, 지식 생
성부는 DB로부터 경보지식을 자동, 생성하여 지식베이스에
저장하며, 반면에 패턴매칭부는 변전소(실)내의 IED들로부터
제공되는 실시간 이벤트를 저장된 지식베이스내의 지식패턴과
비교하여 경보 이벤트를 확인할 수 있도록 설계한다. 특히, 경

[†] 교신저자, 正會員 : 남서울大學 電子情報通信工學部 副教授 ·
工博

E-mail : ysko@nsu.ac.kr

接受日字 : 2006年 2月 13日

最終完了 : 2006年 5月 15日

보 지식베이스는 고장경보, 과부하경보, 진단정보를 포함하도록 설계 한다. 데이터베이스는 부스바를 연결성 노드로 표시하여 일반화된 그래프 이론을 적용, 변전소 구조에 가급적 독립적인 프로그램이 되도록 한다.

2. 디지털 수배전반 구성

디지털 수배전반은 변압기나 차단기 등의 설비를 적층하여 설비공간을 최소화하는 설비 적층기술과 고조파 등 전력품질 정보를 원격에서 관리하도록 하는 원격 전력품질 감시기술 분야에서 상당한 성과를 거두어, 일부 고압수용가 변전실에 도입, 운영되고 있다. 그러나 전력설비들의 내부상태나 고장정보에 대한 예측이 불가능해 RCM이나 MA 개념의 적용을 통한 전력공급의 안정성이나 신뢰성을 기대하기는 어려운 실정이다. 이러한 문제를 해소하기 위해 변전소(실)내의 주변압기, 차단기 등 전력기기들에 자율적인 상태감시, 분산 자율제어, 진단 능력을 부여하기 위한 센서내장형 지능형 전력설비(IED)들이 개발되고 있다. 궁극적으로 디지털 수배전반은 이들 IED들과 네트워크를 기반으로 연동되는 운전제어 체계로 구성되며, 각 IED들은 상호간에 자유로운 정보교환이 가능하도록 설계될 것이다.

2.1 변전소 베이(Bay) 정의

변전소는 그림 1에 보인바와 같이, 구조적으로 공통적 기능을 기반으로 한 밀접성에 따라 변압기 베이, 피더 베이, 모선 커플러 베이 그리고 모선 섹션 스위치 베이로 정의된다.

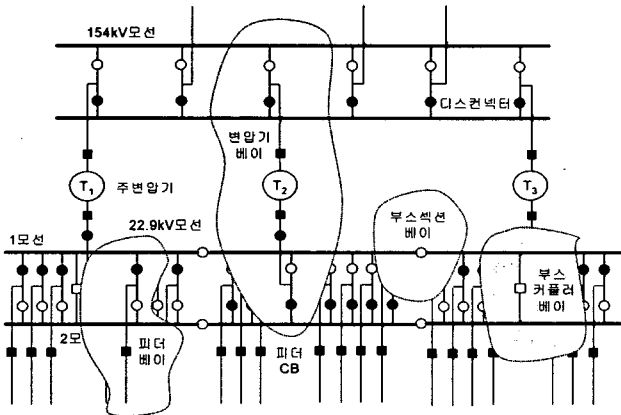


그림 1. 배전 변전소 베이(bay) 유닛들

Fig. 1 Distribution substation bay units

이들 베이들은 해당 부분에 속하는 차단기와 이와 관련되는 계기용 변류기(CT), 계기용 변압기(VT), 단로기 등 부속장비들을 포함하며, 베이 제어기(bay controller)나 베이 보호기(bay protection)라는 디바이스들에 의해서 관리된다.

2.2 통신체계 구성

디지털 수배전반은 높은 가용성을 보장하기 위해 IEC61850을 적용하여 베이별로 하나의 프로세스 버스와 전압레벨별 스테이션 버스들로 구성되는 통신 시스템을 가지는 분산된 IED 시스템 구조로 설계될 수 있다. 이 구성은 임의의 베이에

서 고장이 발생한 경우 다른 베이에 대한 완전한 가용성을 허용한다. 스테이션 레벨은 하나의 광 이더넷 루프로 구성하여 임의의 싱글 결함에 대해 여분 스테이션 버스에 대한 스테이션 레벨 통신을 보장하며, 프로세스 버스에 대해서는 광 이더넷 스위치를 기반으로 하는 통신 시스템을 구성할 수 있다. 그림 1의 배전 변전소는 베이의 정의에 따라 3개의 변압기 베이(TB_i), 21개의 피더 베이(FB_i), 3개의 부스 커플러 베이(BCB_i), 그리고 4개의 부스섹션 베이(BSB_i)를 포함한다.

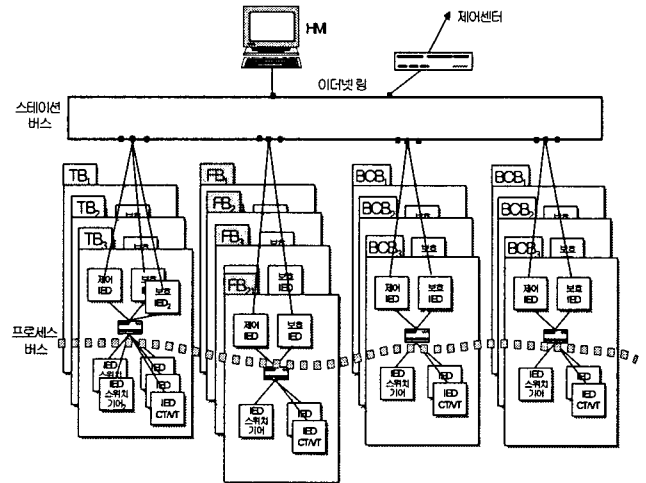


그림 2. 디지털 수배전반 통신체계 설계

Fig. 2 Communication system for digital switchgear panel

따라서 그림 1에 대한 통신 체계 구성은 각 베이별로 프로세스 버스를 가짐으로써 그림 2와 같이 구성할 수 있다. 여기서, TB_i, FB_i, BCB_i 그리고 BSB_i는 각각 i번째 주변압기 베이, 피더베이, 부스커플러 베이 그리고 부스섹션 베이를 의미한다. 그림에서 HMI는 각각의 IED들과 클라이언트/서버 관계를 지원한다. 반면에 IED는 전력공급의 안전도와 신뢰도를 제고할 수 있도록 하기 위해 마이크로 프로세서를 기반으로 IED간 데이터 교환이 가능하도록 설계된다. 즉, IED는 서버의 역할을 담당하면서 필요에 따라 클라이언트의 역할을 수행하는 PtP(Peer to Peer) 통신방식을 지원하도록 설계된다. 그림 2는 디지털 수배전반 통신체계 설계를 보인다.

2.3 시스템 상태 정의

운전상태는 각 설비 및 계통상태를 직접적으로 나타내는 계전기나 차단기 상태, 변압기 온도, 압력, 가스밀도, 부하전류 크기 등 시스템 다이내믹들을 기반으로 전력 시스템 운용의 안정성과 신뢰성이 얻어질 수 있도록 4개 상태로 분류한다. 표 1은 시스템 상태분류를 보인다.

표 1. 시스템 상태분류

Table 1. System status classification

레벨	상태	표시	시스템 운영자	비고
1	정상상태	D	주의 불필요	
2	주의상태	C	일정주기감시	
3	경보상태	B	실시간감시/제어실시	감시제어
4	비상상태	A	운전불가능/제어실시	자율제어

전력계통/전력설비의 운전레벨을 직접적으로 확인하는 데 필요한 운전 다이내믹스들은 일반적으로 유사한 점도 있으나 IED별로 약간의 차이를 보인다. 일반적으로 주변압기의 경우 온도, 압력 그리고 유중 가스농도 등으로 정의할 수 있다. 그러나 차단기의 경우는 기중차단기, 유입차단기 그리고 진공차단기 등 다양한 종류가 있으며 유입차단기의 경우는 유면레벨, 유중 가스농도 등이, 반면에 가스차단기의 경우는 가스밀도 등을 포함할 수 있다.

3. 추론기반 운전제어 솔루션 설계

디지털 수배전반은 기본적으로 변전소 자동화 기반의 로컬 제어와 SCADA 기반의 원격 감시제어가 가능하도록 설계된다. 디지털 수배전반을 위한 운전제어 솔루션은 시간대별 감시제어 모듈, 실시간 데이터로부터 경보추론을 위한 실시간 경보추론 모듈(IAP), 변전소 데이터베이스, 실시간 DB, 경보 지식 베이스 그리고 모션 재구성 모듈(BRES)[8]로 구성한다. 시간대별 감시제어 모듈은 주기별로 CB에 관련된 IED들로부터 운전 다이내믹스들을 읽어들이어 실시간 DB에 저장한다.

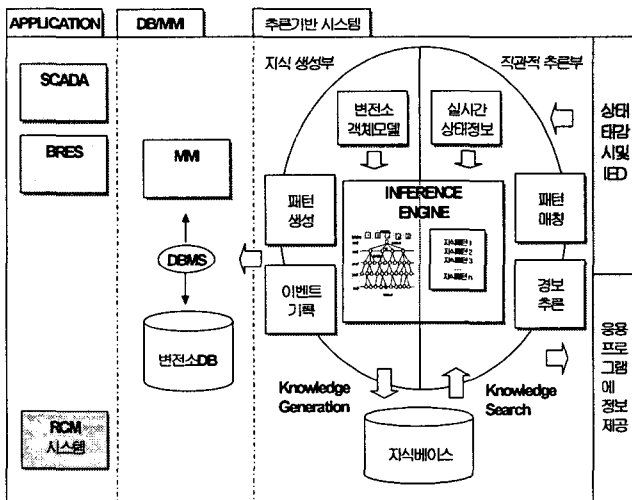


그림 3. 디지털 수배전반 운전제어 솔루션 구성
Fig. 3 Operation and control solution for digital switchgear panel

추론기반 시스템은 정의된 변전소 객체모델 데이터로부터 연결성을 추적하여 변전소에 요구되는 경보추론 지식베이스를 생성, 지식베이스에 저장한다. 다음 이 경보지식베이스를 기반으로 구축된 실시간 DB에 근거하여 실시간 데이터들로부터 패턴매칭 메커니즘에 의해서 이벤트를 추론한다. 즉, 실시간 DB의 데이터나 IED의 이벤트 데이터로부터 신속하게 고장원인이나 위치를 확인하고 이벤트 유형에 따라 대응하는 전략을 전략을 수립할 수 있도록 지원한다. 만약 주변압기나 모선에 관련된 영구고장으로 판명되는 경우, 모션 재구성 전문가 시스템(BRES)에 이벤트 정보를 제공하여 BRES로 하여금 모션 재구성 전략을 수립하도록 함으로써, 사고 파급효과를 최소화할 수 있도록 한다. 그림 3은 변전소 운전제어 솔루션의 구성을 보인다. 감시제어 기능은 스케줄러를 기반으로 DBMS를 활용하여 앞에서 언급된 IED로부터 제공되는 운전 다이내믹

스들을 기록함은 물론, 이벤트 발생시 IED들로부터 이벤트 정보를 제공받아 기록한다. 이때, DB에 저장된 이들 데이터들은 신뢰도 기반 전력설비 유지보수 시스템(RCM 시스템)이 고장 이력과 운전 다이내믹스 트렌드를 분석, 설비 상태에 대한 진단이나 예지를 실행함으로써 경제적 비용하에서 예기치 못한 사고를 최소화할 수 있도록 결정하는 데 있어 중요 정보로 활용될 수 있다. 추론기반 운전제어 시스템은 기본적으로 DBMS를 이용하여 변전소 데이터베이스로부터 검색되어 구축되는 변전소 객체 모델을 기반으로 전기적 연결성을 추적하여 고장구간 지식패턴을 자동으로 생성하는 패턴 생성부와 실시간 상태정보를 생성, 저장된 지식 베이스의 패턴들과 비교하여 이벤트 유형을 확인하고 고장영역을 확인하는 패턴 매칭부로 구성된다.

3.1 경보지식 생성부

지식 생성부는 변전소의 동적모델로부터 연결성을 추적하여 탐색트리를 발생시키며, 이 탐색트리를 제안된 탐색전략에 근거하여 순차적으로 탐사하면서 고장확인을 위한 패턴들을 생성, 지식베이스에 저장하게 된다.

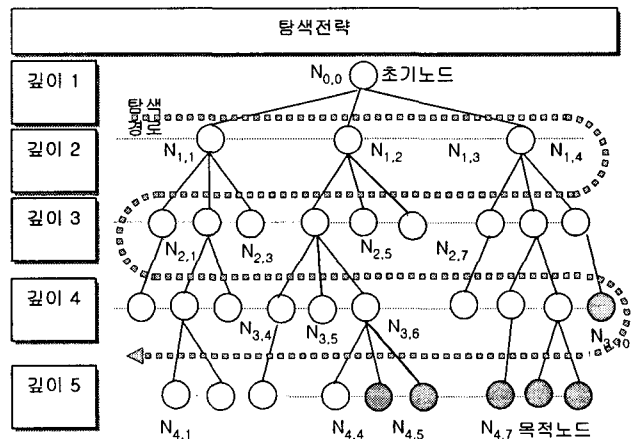


그림 4. 너비우선 탐색법
Fig. 4 Breadth-first search method

탐색트리에서 노드는 기본적으로 연결성을 표시하며 브랜치는 CB나 변압기 등 전기설비들을 표시한다. 특히 초기노드는 현재의 모션구조상에서 송전선(TL)로 한다. 그림 4는 지식 패턴 탐색을 위한 탐색트리를 보이는데, ○는 탐색노드, ●는 목표노드(배전선로)를 나타낸다. 지식 생성부는 먼저 초기노드로부터 출발한다. 즉, 현재의 TL로부터 변전소 연결성을 추적하여 깊이 1의 브랜치들을 확장하게 된다. 여기서 브랜치들은 TCB(송전선 보호용 CB)들이다. 154변전소에서 3개의 TCB가 존재하므로 {N_{1,1}, N_{1,2}, N_{1,3}}로 확장이 가능하다. 먼저 깊이 1의 N_{1,1}에 대해 브랜치 규칙을 적용하여 지식패턴 생성 여부를 확인한 후, 지식생성 조건을 만족하는 경우 지식패턴을 생성, 지식베이스에 저장하게 된다. 그리고 노드 N_{1,1}은 깊이 2의 노드들 {N_{2,1}, N_{2,2}, N_{2,3}}로 확장된다. 이때 깊이 2의 노드들에 대한 확장 브랜치들은 주변압기 보호용 CB가 된다. 다음, N_{1,2}에 대해서 동일한 규칙을 적용, 지식생성 여부를 확인한 후 지식을 생성하게 되며, 깊이 2의 노드들로 브랜치가 확장된다.

이 과정은 깊이 1의 마지막 브랜치인 $N_{1,3}$ 에 대해서 반복된다. 깊이 1의 모든 노드들이 탐색되면, 그림에 보인 순서대로 깊이 2의 노드들에 대한 브랜치들을 탐색하여 새로운 지식패턴을 생성하게 되며 이 과정은 목적노드(배전선로)나 데드엔드 노드를 만나게 되면 종료하게 된다. 이러한 탐색법을 너비우선 탐색법이라 하며, 이 탐색법은 깊이 우선 탐색법이 계층적 관계의 고장패턴 지식을 생성하는데 반해 동일한 고장패턴을 같이 그룹핑할 수 있는 장점을 가진다.

3.2 직관적 추론부

직관적 추론부는 규칙기반 생성 시스템으로 설계되는데, 이때 규칙기반 생성 시스템의 규칙은 식 (1), (2), (3)과 같은 가장 간단한 형태로 표시된다. 식 (1)은 고장확인을 위한 추론 규칙을 보인다. 즉, 만약 k 번째 CB의 정상상태가 "On", 현재 상태가 "Off" 이고 CB_k 에 속하는 계전기들 중 임의의 계전기 상태 $CRelay_k$ 가 "Triped" 상태이면 $Action_k$ 를 결론으로 추론하게 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{If } N_Status_CB_k = \text{On and} \\
 & C_Status_CB_k = \text{Off and} \\
 & CRelay_{i \in \alpha} = \text{Triped Then } Action_k \quad (1)
 \end{aligned}$$

이때, $Action_k$ 는 고장 추론정보와 대응하는 부하절체 전략을 표시한다. 즉 고장유형과 고장설비, 그리고 대응하는 부하절체 전략 방안 등을 표시한다. 과부하 판별을 위한 규칙은 식 (2)로 표시된다. 특히 식 (2)는 주변압기 과부하 상태를 판별하기 위한 규칙이다. 변압기나 배전선로의 실제부하 R_KVA 가 가용용량 Av_KVA 의 어느 정도에 해당하는지를 판별하여 과부하 상태레벨을 진단하고 대응전략을 수립하도록 한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{If } Av_KVA_L_k < R_KVA_A \leq Av_KVA_H_k \text{ or} \\
 & Av_KVA_L_k < R_KVA_B \leq Av_KVA_H_k \text{ or} \\
 & Av_KVA_L_k < R_KVA_C \leq Av_KVA_H_k \text{ Then } Action_k \quad (2)
 \end{aligned}$$

만약, 주변압기나 배전선로의 A, B, C 상의 실제부하 $R_KVA_A, R_KVA_B, R_KVA_C$ 중 임의의 한 상 이상의 실제부하가 가용용량을 기준으로 정해진 $Av_KVA_L_k$ 보다 크고 $Av_KVA_H_k$ 미만이면 $Action_k$ 의 상태를 추론한다. $Action_k$ 는 과부하의 상태레벨을 표시한다. 만약, 주변압기의 경우 실제부하 Av_KVA 가 가용용량의 0.9이내인 경우 "정상[D]" 상태, 0.9보다 크고 1.0 이내인 경우 "주의[C]" 상태, 1.0을 초과하고 1.1이내인 경우 "경고[B]" 상태, 그리고 1.1을 초과하는 경우 비상상태[A]로 규정한다. 식 (3)은 변압기 상태를 진단하기 위한 추론규칙을 설명한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{If } Temp_L_k < T_Temp \leq Temp_H_k \text{ or} \\
 & Level_L_k < T_Oil_L \leq Level_H_k \text{ or} \\
 & W_Per_L_k < T_Oil_W \leq W_Per_H_k \text{ or} \\
 & H_Per_L_k < T_Oil_H \leq H_Per_H_k \text{ Then } Action_k \quad (3)
 \end{aligned}$$

변압기의 온도나 유면레벨, 유중 가스농도 그리고 가스압력이 정해진 범위내에 있는 경우 $Action_k$ 를 추론한다. $Action_k$ 는 변압기 설비상태를 나타내는데, 만약 변압기유 중 수분함량

T_Oil_W 이 $W_Per_L_k$ 보다 크고 $W_Per_H_k$ 미만인 경우, 또는 변압기 수소성분 T_Oil_H 가 $H_Per_L_k$ 보다 크고 $H_Per_H_k$ 미만인 경우 $Action_k$ 의 상태를 추론한다. 예를들면 변압기의 수분함량이 0-50[ppm]이하인 경우 "정상[D]" 상태, 50-60[ppm]인 경우 "주의[C]" 상태, 60-70[ppm]인 경우 "경고[B]" 상태, 그리고 70[ppm]을 초과하는 경우 "비상[A]" 상태를 표시한다. 반면에 차단기의 경우 타입에 따라 다양한 기준값이 있을 수 있는데, 기중차단기나 가스 차단기를 모델링하면, 압력을 기준 조건으로 하여 식 (4)로 표시한다.

$$\text{If } Press_L_k < SW_Press \leq Press_H_k \text{ Then } Action_k \quad (4)$$

식 (4)는 만약 차단기의 가스압력 SW_Press 가 $Rress_L_k$ 보다 크고 $Press_H_k$ 미만이면 $Action_k$ 를 추론한다. 예를들면, 가스압력이 0.6[Mpa]이상이면 "정상[D]" 상태, 0.5[Mpa]이상이고 0.6[Mpa]미만이면 "주의[C]" 상태, 0.4[Mpa]이상이고 0.5[Mpa]미만이면 "경고[B]" 상태, 그리고 0.4[Mpa]미만이면 "비상[A]" 상태를 추론한다. 이와 같이 추론기관은 실시간 패턴을 지식 베이스내의 조건부와 비교하여 일치하는 경우 그 실행부를 해로하여 대응하는 전략을 수립하게 된다. 반면에 실패하는 경우 만족하는 경우가 발생할 때까지 다음 규칙들의 조건부와 비교검사를 반복하게 된다.

3.3 지식베이스 설계

추론기반 시스템의 지식베이스는 고장정보 KB와 과부하정보 KB 그리고 진단정보 KB로 설계된다. 고장정보 KB는 베이별로 구분된다.

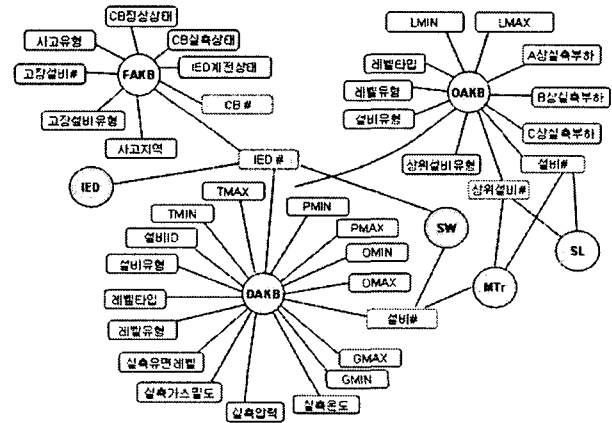


그림 5. 경보 지식 베이스 설계
Fig. 5 Alarm knowledge base design

CB는 정상상태와 현재의 상태를 표시한다. 반면에 릴레이 상태는 IED의 과전류 계전기(OCR1), 과전류 지락 계전기(OCGR1)등 해당 CB에 영향을 미치는 모든 계전기의 트립여부가 표시된다. 반면에 과부하 KB는 과부하 판별을 위한 지식 및 데이터 정보를 표시한다. 실제부하가 가용용량을 기본으로 결정되는 부하범위 최소값 $LMIN$ 과 최대값 $LMAX$ 범위내에 드는 경우 과부하 상태는 대응하는 필드의 상태레벨에 해당한다. 과부하 상태는 과부하 정도에 따라 레벨 D, C, B, A로 표시되는데 각각 정상, 주의, 경고, 비상상태의 레벨유형

을 표시한다. 진단정보 KB는 주변압기나 차단기 데이터베이스로부터 상태진단 추론을 위해 요구되는 최대 온도, 압력, 유면레벨 그리고 가스밀도 정보를 포함한다. 또한 IED로부터 제공되는 실측 온도, 압력, 유면레벨 그리고 가스밀도 등 설비 내부 데이터를 표시한다. 그림 5는 경보 지식베이스의 구성을 보인다.

3.4 운전제어 전략

디지털 수배전반 운전제어 솔루션의 운전제어 전략은 그림 6에 보이바와 같이 데이터베이스 구축으로부터 시작해서 8단계로 구성된다.

단계 1] IED기반 디지털 수배전반을 적용하고자 하는 변전소(실)의 단선 결선도로부터 데이터베이스 설계 원칙에 따라 변전소를 모델링한 후, 데이터베이스를 구축한다.

단계 2] 변전소 데이터베이스내에서 변압기, 개폐기, 배전선로, 송전선로, 연결성, IED 등의 고정 데이터 등을 실시간 DB내에 정의된 공간에 정의된 구조에 맞게 저장한다.

단계 3] 구축된 실시간 DB내의 변전소 객체모델을 기반으로 연결성을 추적하면서 너비반복 탐색전략 및 경보작성규칙에 근거하여 고장경보, 과부하 경보, 내부상태 진단 경보 패턴을 생성, 경보지식 베이스에 저장한다.

단계 5] 서버모듈은 경보 시뮬레이터나 IED로부터 이벤트가 제공되는 경우 실시간 이벤트를 정의된 공간에 저장한다.

단계 6] 지식기반 추론 시스템의 직관적 추론부하에서 실시간 DB나 실시간 이벤트 공간을 탐색하여 이벤트 정보를 확인한 후 고장, 과부하 및 진단 규칙을 고장경보 KB, 과부하경보 KB 그리고 진단 경보 KB에 적용하여 고장, 과부하, 또는 설비상태를 판단하거나 진단한다. 그리고 그 진단 결과를 필요에 따라 제고한다. 만약 주변압기나 모선 사고의 경우 BRES에 이벤트 정보를 전송한다. 단계 7] BRES를 통하여 모선재구성 전략을 수립한다. 만약 그 외의 이벤트인 경우 배전 SCADA시스템의 협조제어를 실행한다.

단계 8] 프로그램을 종료하거나 원래대로 복구하여 주기적인 감시 업무를 실행하면서 실시간 IED 이벤트에 대기한다.

4. 시뮬레이션 평가

본 연구에서는 IED에 기반한 디지털 수배전반을 설계하였으며, 그 운전제어전략을 제안하였다. 따라서 그림 8에 도입된 154KV 배전변전소에 대해 제안된 운전제어전략의 유효성을 검증한다. 제안된 방법의 유효성을 검증하기 위해서 추론기반 디지털 수배전반 운전제어 전략을 비주얼 C++ 언어를 이용하여 설계, 모의하였다.

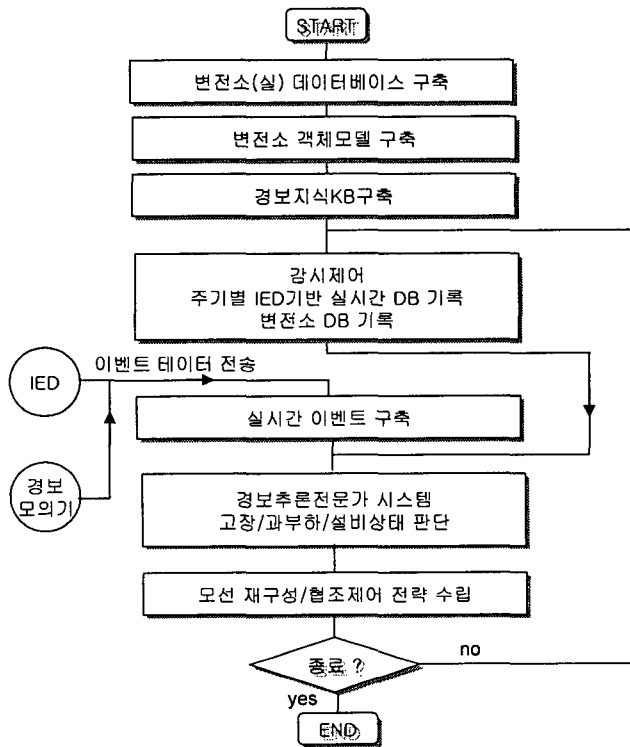


그림 6. 운전제어 전략 설계
Fig. 6 Operation and control strategy design

단계 4] 감시제어 모듈은 단계 3]에서 저장된 경보 지식 베이스를 검색하여 실시간 DB내의 정의된 공간에 저장한다. 다음 주기적으로 데이터를 감시하여 고장경보 KB, 과부하 경보 KB 그리고 진단 경보 KB 등으로 구분된 경보 KB에 저장한다. 또한 필요시 감시된 데이터를 변전소(실) 데이터베이스에 기록한다.

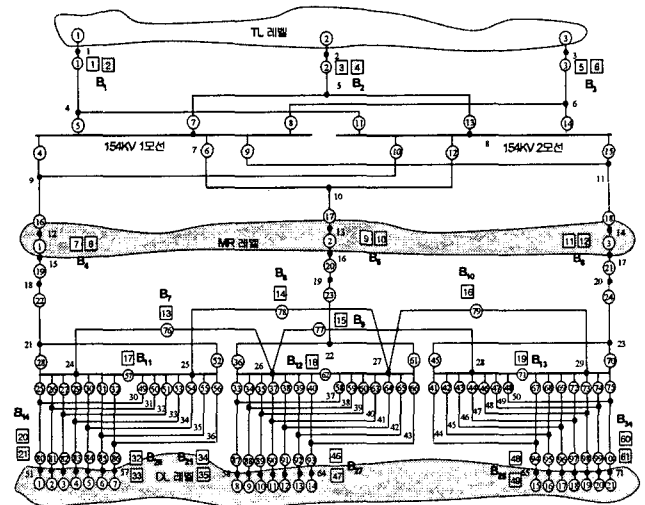


그림 7. 변전소 객체 모델링
Fig. 7 distribution substation modelling

그림 7은 그림 1에 보인 배전변전소의 모델링을 보이는데, BB를 전기적 연결성을 노드로 표시하였으며, 송전선(TL), 주변압기(MR), 차단기(CB), 배전선(DL)을 브랜치로 표시하였다. 또한 TL과 BB, BB와 DL사이에 가상의 연결성 노드를 표시한다. ○안의 숫자는 브랜치 번호, □안의 숫자는 IED 번호, Bi는 i번째 베이를 표시한다.

4.1 변전소 DB 구축

먼저, 그림 8의 모델에 대해 디지털 수배전반 데이터베이스를 구축한다. 배전 변전소 모델은 3개의 변압기 베이, 21개의 피더 베이, 3개의 부스 커플러 베이 그리고 4개의 무스 섹션 베이로 구성된다. 데이터베이스 입력은 주변압기, 연결성, 개

폐기, 배전선로, 송전선로 그리고 IED등에 대해서 입력된다. 그 중 연결성 노드 입력 화면을 보인다.

그림 8. 연결성 표시 입력화면
Fig. 8 Connectivity input windows view

먼저, 그림 8은 연결성 데이터베이스 입력화면을 보인다. 그림에서 BUS_KIND는 연결성 노드의 종류를 표시하는데 "BB"는 부스바를, "BL"은 일반 연결성 노드를 표시한다. 또한 SWk는 k번째 브랜치(설비) 번호를, TYPEk는 k번째 브랜치의 타입을 표시한다. "D", "M", "S", "T"는 각각 배전선, 주변압기, 개폐기 그리고 송전선을 표시한다.

4.2 지식베이스 구축

추론기반 시스템의 지식 생성부는 구축된 변전소 DB로부터 얻어진 변전소 객체모델을 기반으로 연결성을 추적하면서 너비반복 탐색전략에 근거하여 지식 베이스를 구축한다. 이때, 연결성은 네트워크 형태를 유지하기 때문에 무한루프에 들 수 있다.

그림 9. 고장 경보 지식베이스 화면
Fig. 9 Fault alarm knowledge base window view

따라서 탐색된 경로를 확인하기 위해 탐색된 설비나 노드를 매번 지정된 공간에 저장하고 탐색시 참조할 수 있도록 하였다. 경보추론 모듈은 고장경보, 과부하경보 그리고 진단경보 판별을 위한 실시간 KB로 구성된다. 그림 10은 경보추론 모듈에 위해서 구축된 지식베이스 중 고장경보 지식베이스 화면을 보인다. 다음 이들 추론결과들은 변전소 데이터베이스내의 데이터베이스 파일로 저장된다.

4.3 지능형 경보추론 시스템 성능평가

먼저, 추론기반 시스템의 감시제어 모듈을 구동시켜 주기적으로 변전소내의 IED들로부터 데이터를 감시하여 실시간 DB에 기록하도록 한다. 이때, 감시주기는 1초, 10초, 10분, 30분 그리고 60분 중에서 선택될 수 있는데, 시뮬레이션에서는 10초를 감시제어 주기로 설정하였다. 다음, 실시간 경보추론 모듈을 구동시켜 IED로부터의 고장 이벤트를 감시, 패턴 매칭 메카니즘에 의해 경보내용을 추론하는데, 감시주기는 실시간성을 고려하여 1초로 설정하였다. 만약, IED로부터 이벤트 정보가 제공되면 서버가 이를 확인하여 이벤트 플래그를 갱신하기 때문에, 실시간 경보 추론기는 경보 업데이트 플래그를 검사한 후, 플래그가 셋 상태이면 실시간 이벤트를 체크하여 고장경보를 추론하게 된다. 경보추론 타스크 화면에서 이벤트 접수내용은 IED로부터 제공되는 IED번호, 개폐기 상태, 계전기 상태, 온도, 압력, 유면레벨, 가스밀도, A상 부하전류, B상 부하전류, C상 부하전류 등 이벤트 정보를 표시한다. 반면에 우측 화면은 경보추론 결과를 보이는데, 이벤트 유형, 이벤트 설비 번호 등을 표시한다. 기본적으로, 이벤트 제공은 IED로부터 제공되는데, 본 연구에서는 개발된 경보 시뮬레이터를 이용하여 다양한 고장 경보를 임의적으로 모의하도록 하였다. 그림 10은 감시제어 타스크, 지능형 경보추론 타스크 그리고 경보 시뮬레이터의 화면을 보인다.

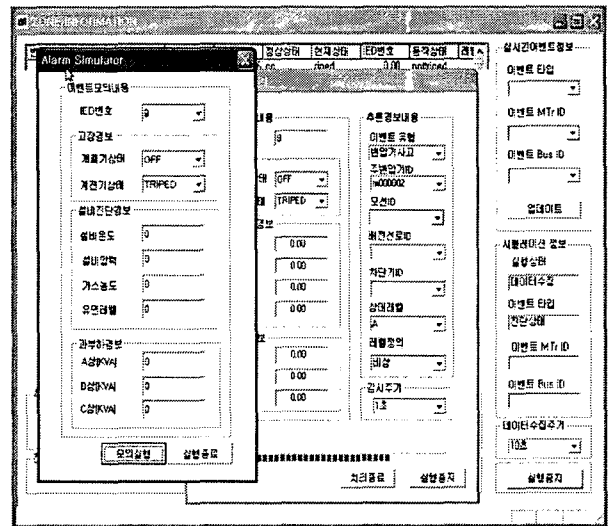


그림 10. IED9/주변압기2사고 모의 경보 시뮬레이터 화면
Fig. 10 IED9/MTR2 fault simulation windows view

경보 시뮬레이터는 그림에 보인바와 같이 경보추론 타스크의 우측 화면과 동일하게 설계되었다. 먼저 경보 시뮬레이터에서 9번 IED를 통해 주변압기 2번의 사고가 모의된다. 이 이

벤트 정보는 바로 우측의 실시간 경보처리 타스크에 접수되었음을 확인할 수 있으며, 그림 11은 주변압기 2번(m000002)의 사고가 정확히 추론되었음을 보인다.

표 2. 고장경보 모의결과

Table 2. Fault alarm simulation results

#	모의 데이터		모의사고		추론결과		
	IED#	개폐기 상태	계전기 상태	고장 유형	고장 설비번호	고장 유형	고장 설비번호
1	7	off	on	MF	1	MF	1
2	9	off	on	MF	2	MF	2
3	11	off	on	MF	3	MF	3
6	5	off	on	BF	8	BF	8
7	7	off	on	BF	24	BF	24
8	9	off	on	BF	27	BF	27
9	11	off	on	BF	28	BF	28
10	20	off	on	DF	1	DF	1
11	22	off	on	DF	2	DF	2
12	24	off	on	DF	3	DF	3
13	26	off	on	DF	4	DF	4
14	28	off	on	DF	5	DF	5

표 3. 과부하경보 모의결과

Table 3. Overload alarm simulation results

#	IED #	모의 데이터 [KVA]			모의 과부하			추론결과			
		A상 부하	B상 부하	C상 부하	과부하 유형	설비번호	상태	과부하 유형	설비번호	상태	레벨 유형
1	7	35000	-	-	MO	1	C A	MO	1	C	주의
2	9	65000	-	-	MO	2	B A	MO	2	B	경고
3	11	48000	-	-	MO	3	A A	MO	3	A	비상
4	20	2000	2000	2000	DO	1	D A	DO	1	D	정상
5	22	2000	3160	2000	DO	2	C B	DO	2	C	주의
6	32	2000	2000	3500	DO	7	B C	DO	7	B	경고
7	34	2000	3840	3840	DO	8	A D	DO	8	A	비상
8	36	2000	2000	2000	DO	9	D A	DO	9	D	정상
9	38	2000	3160	2000	DO	10	C B	DO	10	C	주의
10	40	2000	2000	3500	DO	11	B C	DO	11	B	경고
11	42	3840	2000	3840	DO	12	A D	DO	12	A	비상

표 4. 진단경보 모의결과

Table 4. Diagnosis alarm simulation results

#	IED #	모의 데이터				모의 과부하				추론결과				
		압도	압력	유량	가스	압력	유량	온도	압력	유량	온도	압력	레벨 유형	
1	7				55	MD	1	가스	C	MD	19	온도	C	주의
2	9				65	MD	2	가스	B	MD	20	압력	B	경고
3	11				75	MD	3	가스	A	MD	21	가스	A	비상
4	20	0.7				CD	1	압력	D	CD	80	온도	D	정상
5	22	0.6				CD	2	압력	C	CD	81	압력	C	주의
6	24	0.5				CD	3	압력	B	CD	82	가스	B	경고
7	26	0.4				CD	4	압력	A	CD	83	유면	A	비상
8	28	0.7				CD	5	압력	D	CD	84	온도	D	정상
9	30	0.6				CD	6	압력	C	CD	85	압력	C	주의
10	32	0.5				CD	7	압력	B	CD	86	가스	B	경고
11	34	0.4				CD	8	압력	A	CD	87	유면	A	비상
12	36	0.7				CD	9	압력	D	CD	88	온도	D	정상

표 2, 3, 4는 각각 이와 같은 방법을 통해서 얻어진 고장 경보, 과부하 경보 그리고 진단 모의결과를 보인다. 주변압기의 용량은 각각 40[MVA], 60[MVA], 40[MVA]이며 배전선은

10000[KVA]를 최대 정격용량으로 하였다. 진단결과에서 단위는 변압기 권선온도[°C], 유중 수분함량[ppm], 가스압력 [MPa], 유면레벨[cm]이다. 표에 보이바와 같이 추론결과가 모의고장, 모의과부하, 모의진단 결과와 정확하게 일치함으로써 제안전략의 유효성을 확인할 수 있다.

4.4 BRES 연동시험

여기에서는 대표적인 하나의 주변압기 사고경우를 이용하여 BRES와의 연동기능을 평가한다. 먼저 고장 시뮬레이터를 이용하여 IED 9번 소속 CB상태가 off인 경우를 모의한다.

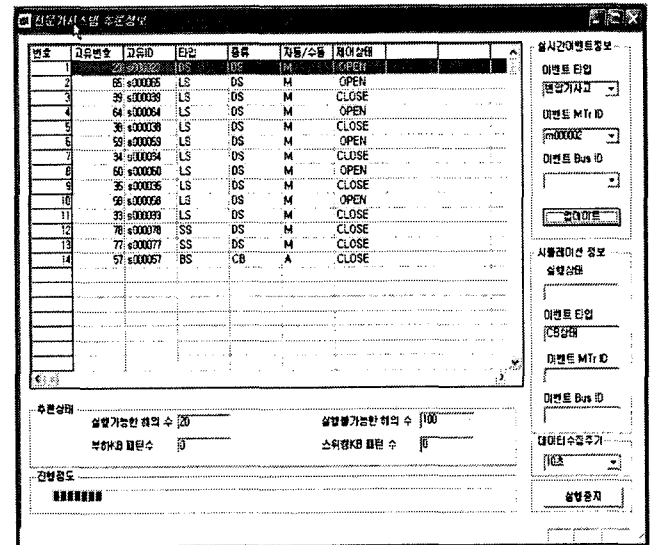


그림 11. 모션 재구성 결과

Fig. 11 Bus reconfiguration results

이때 경보내용은 바로 경보추론 타스크로부터 BRES의 실시간 이벤트 정보로 제공된다. BRES는 제공된 이벤트 정보에 근거하여 모션재구성 전략을 수립한다. 그림 11은 추론된 모션 재구성 전략을 보이는데, 너비제한 탐색법에 근거하여 100 번의 반복횟수 범위내에서 부하를 2대의 변압기에 분담하도록 제안한다. 이와같이 설계, 구현된 DSPOCS가 실시간 이벤트로부터 정확하고 신속하게 경보를 추론받은 물론, BRES와 효과적으로 연동될 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 전략과 개발된 프로그램이 디지털 수배전반을 위한 운전제어 솔루션으로 효과적으로 적용될 수 있음을 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 IED를 기반으로 하는 변전소(실)에서 전력 공급의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 지적 추론 기반의 디지털 수배전반 운전제어 솔루션(DSPOCS: Digital Switch gear Panel Operation and Control Solution)을 설계하였다. DSPOCS는 계획기반 감시제어 타스크, 실시간 지능형 경보추론 타스크 체계로 설계되었으며, 필요시 실시간 모션 재구성 전문가 시스템(BRES)과 연동되도록 하였다. 지능형 경보추론 타스크는 지식 생성부와 패턴 매칭부로 구성되는데, 지식 생성부는 DB로부터 경보지식을 자동, 생성하여 지식베이스에 저장하며, 반면에 패턴매칭부는 변전소(실)내의 IED들로부터

제공되는 실시간 이벤트를 저장된 지식베이스내의 지식패턴과 비교하여 경보 이벤트를 확인할 수 있도록 하였다. 특히, 경보 지식베이스는 고장경보, 과부하경보, 진단경보를 포함하도록 설계 하였다. MS Visual C++과 MFC를 이용하여 DSPOCS를 구현하였으며, 대표적인 배전 변전소에 대한 시뮬레이션 연구를 통해 설계의 유용성과 정확성을 검증하였다. 모의결과에서 DSPOCS는 고장, 과부하 그리고 진단에 관계된 다양한 이벤트 모의들에 대해서 정확하고 신속한 추론결과를 보임으로써 IED를 기반으로 하는 디지털 수배전반 운전제어 솔루션으로 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-B-116) 주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

[1] SIMENS, IEC61850을 적용한 변전소 자동화 파일럿 프로젝트.

[2] SAT Automation, IEC61850 기반 변전소 자동화 솔루션.

[3] Yantai DONGFANG 전자통신, IEC61850기반 변전소 감시 제어 시스템(DF3000 시리즈).

[4] Erich W. Gunther, "A Practical Application of the IEC61850 Communication Standards", EnerMex Corporation.

[5] IEC61850 Standards

[6] Lars Andersson, K. P. Brand, Wolfgang Wimmer, "The Communication Standard IEC61840 Supports Flexible and Optimized Substation Automation Architectures", 2nd International Conference INTEGRATED PROTECTION CONTROL AND COMMUNICATION EXPERIENCE BENEFITS AND TRENDS, IV17-23, October 2001.

[7] Lars Andersson, Klaus-Peter Brand, Wolfgang Wimmer, "Some Aspects of Migration from Present Solutions to SA Systems based on the Communication Standard EC61850", 2nd International Conference INTEGRATED PROTECTION. CONTROL AND COMMUNICATION EXPERIENCE BENEFITS AND TRENDS, IV24-31, October 2001.

[8] 고윤석, 강태규, "고도화된 자동화 변전소의 사고복구지원을 위한 지식학습능력을 가지는 전문가 시스템의 개발", 전기학회논문지, Vol. 53, No. 12 pp.637-644, 2004년 12월.

저 자 소 개



고 윤 석 (高 銳 錫)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986년 3월~1996년 3월 한국전기연구소 선임연구원. 1996년 4월~1997년 2월 포스코 경영연구소 연구위원. 1997년 3월~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 부교수.