

IED기반 디지털 수배전반의 운전제어 솔루션 설계

고운석
남서울대학교

A Study on the Design of Operation and Control Solution for IED based Digital Switchgear Panel

Yun-Seok Ko
Namseoul University

Abstract - In this paper, DSPOCS(Digital Switchgear Panel Operation and Control Solution) is designed, which is the intelligent inference operation and control solution of 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 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 KB. 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.

1. 서 론

최근 급속한 발전을 이루고 있는 센서기술, 디지털 기술, 정보통신 기술 그리고 인터넷을 기반으로 한 유비쿼터스 지향의 네트워크 환경을 바탕으로 멀티 에이전트 기반 보호제어 개념, 신뢰도 기반의 유지보수기법(RCM)을 효과적으로 지원할 수 있는 IED 및 그 적용 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1-2]. 특히, 최근 변압기, 차단기 등 주요 전력설비가 집중되어 있는 변전소 및 변전실에 IED를 적용하고자 하는 노력이 집중되고 있어, IED로부터 제공되는 정보를 활용하여 전력공급의 안정성과 신뢰성을 개선할 수 있는 디지털 수배전반 운전제어 솔루션 개발의 필요성이 새롭게 제기되고 있다[3-7].

본 연구에서는 IED를 기반으로 하는 변전소(실)에서 전력공급의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 지적 추론 기반의 디지털 수배전반 운전제어 솔루션(DSPOCS:Digital Switchgear Panel Operation and Control Solution)을 설계한다. DSPOCS는 기존의 접근법이 SCADA에 의해서 변전소내 차단기나 변압기 부하를 시간대별로 감시함으로써, 실시간 이벤트 처리가 어려워 파급효과가 확대될 수 있는 단점을 보완하기 위해 계획기반 감시제어 타스크는 물론, 실시간 지능형 경보추론 타스크 체계로 설계된다. 지능형 실시간 경보 처리 타스크는 IED로부터 자율적, 실시간적으로 제공되는 이벤트 정보를 기록하는 이벤트 기록 스페이스를 감시, 실시간으로 이벤트를 처리함으로써 사고 파급효과를 최소화한다. 또한 DSPOCS는 최근 IED의 기술개발 추세를 반영하여 IED들로부터 제공되는 정보로부터 변전소 사고 경보, 파급효과 경보, 설비 진단 경보 등을 종합적으로 처리할 수 있도록 설계한다. 특히, 지능형 경보처리 지식베이스를 변전소 구조와 관계없이 자동으로 생성하고 저장할 수 있도록 경보처리 지식 베이스 자동 생성기와 지식베이스를 설계하며, 필요시 실시간 모션 재구성 전문가 시스템(BRES)[8]과 연동되도록 한다.

2. 디지털 수배전반 구성

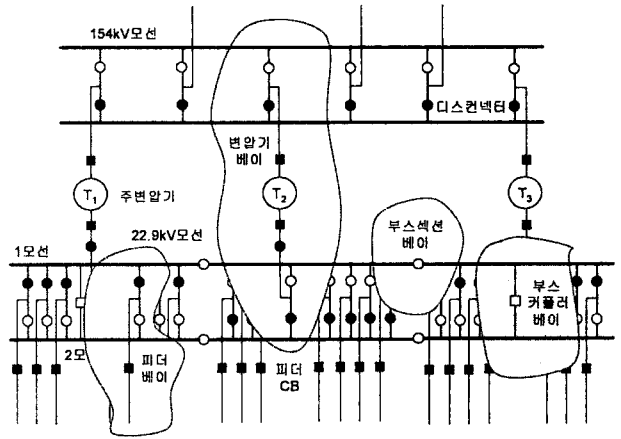
2.1 변전소 베이 정의

변전소는 그림 1에 보인바와 같이, 구조적으로 공통적 기능을 기반으로 한 밀집성에 따라 변압기 베이, 피더 베이, 모션 컷플러 베이 그리고 모션 섹션 스위치 베이로 정의된다. 이들 베이들은 해당 부분에 속하는 차단기와 이와 관련되는 계기용 변류기(CT), 계기용 변압기(VT), 단로기 등 부속 장비들을 포함하며, 베이 제어기(bay controller)나 베이 보호기(bay protection)라는 디바이스들에 의해서 관리된다.

2.2 시스템 상태 정의

변전소 운전상태는 각 설비 및 계통상태를 직접적으로 나타내는 변전기나 차단기 상태, 변압기 온도, 압력, 가스밀도, 부하전류 크기 등 시스템 다이나믹스들을 기반으로 전력 시스템 운용의 안정성과 신뢰성이 얻어질 수 있도록 4개 상태로 분류한다. 표 1은 시스템 상태분류를 보인다. 전력계통/전력설비의 운전레벨을 직접적으로 확인하는 데 필요한 운전 다이나믹스들은 일반적으로 유사한 정도 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.



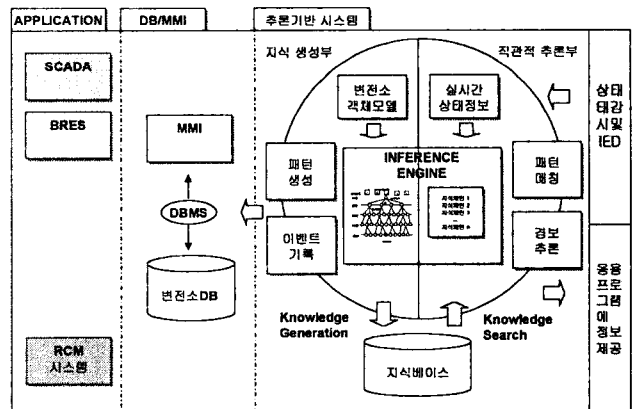
<그림 1> 배전 변전소 베이(bay) 유니트들

<표 1> 시스템 상태분류

| 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 | 자동제어 |

3. 추론기반 운전제어 솔루션 설계

디지털 수배전반은 기본적으로 변전소 자동화기반의 로컬제어와 SCADA 기반의 원격 감시제어가 가능하도록 설계된다.



<그림 2> 디지털 수배전반 운전제어 솔루션 구성

디지털 수배전반을 위한 운전제어 솔루션은 감시제어 모듈, 실시간 데이터로부터 경보추론을 위한 추론기반 모듈(IAP), 변전소 데이터

베이스, 실시간 DB, 고장지식 베이스 그리고 모션 재구성 모듈(BRES)로 구성한다. 감시제어 모듈은 주기별로 CB에 관련된 IED들로부터 온 전 디아나믹스들을 읽어들이 실시간 DB에 저장한다. 추론기반 시스템은 정의된 변전소 객체모델 데이터로부터 연결성을 추적하여 변전소에 요구되는 정보추론 지식베이스를 생성, 지식베이스에 저장한다. 다음 이 정보지식베이스를 기반으로 구축된 실시간 DB에 근거하여 실시간 데이터들로부터 패턴매칭 메카니즘에 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 주 변압기나 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.

3.1 IAP 지식 생성부

IAP 지식 생성부는 변전소의 동적모델로부터 연결성을 추적하여 탐색트리를 발생시키며, 이 탐색트리를 제안된 탐색전략에 근거하여 순차적으로 탐사하면서 고장확인을 위한 패턴들을 생성, 지식베이스에 저장하게 된다. 탐색트리에서 노드는 기본적으로 연결성을 표시하며 브랜치는 CB나 변압기 등 전기설비들을 표시한다. 특히 초기 노드는 현재의 모션구조상에서 송전선(TL)로 한다.

3.2 직관적 추론부

직관적 추론부는 규칙기반 생성 시스템으로 설계되는데, 이때 규칙기반 생성 시스템의 규칙은 식 (1)-(4)와 같은 가장 간단한 형태로 표시된다. 식 (1)은 고장확인을 위한 추론규칙을 보인다. 즉, 만약 k번째 CB의 정상상태가 "ON", 현재상태가 "OFF" 이고 CB_k에 속하는 계전기들 중 임의의 계전기 상태 RELAY_i가 "Tripped" 상태이면 Action_k를 결론으로 추론하게 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{IF } CB_{k_N_STATUS} = \text{"On"} \ \& \\
 & \text{CB}_{k_C_STATUS} = \text{"Off"} \ \& \\
 & \text{RELAY}_i \in \text{CB}_k = \text{"Tripped"} \ \text{THEN } \text{Action}_k \quad (1)
 \end{aligned}$$

4. 시뮬레이션 평가

본 연구에서는 도입된 154KV 배전변전소에 대해 제안된 운전제어 전략의 유효성을 검증한다.

4.1 IAP 지식베이스 구축

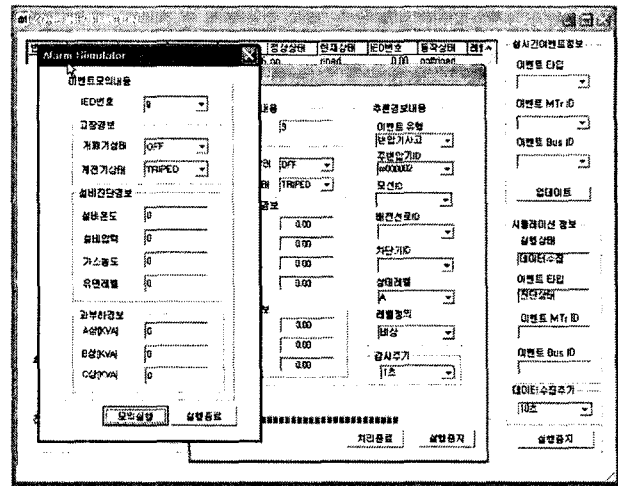
추론기반 시스템의 지식 생성부는 구축된 변전소 DB로부터 얻어진 변전소 객체모델을 기반으로 연결성을 추적하면서 너비반복 탐색전략에 근거하여 지식 베이스를 구축한다.

| 번호 | 이벤트명 | 설비번호 | 사건구분 | CB번호 | 장상상태 | 현재상태 | IED번호 | 동작상태 | 전압 | 실시간이벤트정보 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------|------------|----|------------|
| 1 | 부상입기 | 2 | 4 | 17 | on | on | 3 | nottripped | A | 이벤트 타입 |
| 2 | 부상입기 | 3 | 7 | 18 | on | on | 11 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 3 | 부상입기 | 8 | 2 | 1 | on | on | 1 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 4 | 부상입기 | 8 | 2 | 2 | on | on | 3 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 5 | 부상입기 | 8 | 2 | 3 | on | on | 5 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 6 | 부상입기 | 24 | 6 | 19 | on | on | 7 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 7 | 부상입기 | 27 | 9 | 20 | on | on | 9 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 8 | 부상입기 | 28 | 10 | 21 | on | on | 11 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 9 | 부상입기 | 1 | 11 | 80 | on | on | 20 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 10 | 부상입기 | 2 | 12 | 81 | on | on | 22 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 11 | 부상입기 | 3 | 13 | 82 | on | on | 24 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 12 | 부상입기 | 4 | 14 | 83 | on | on | 26 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 13 | 부상입기 | 5 | 15 | 84 | on | on | 28 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 14 | 부상입기 | 5 | 16 | 85 | on | on | 30 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 15 | 부상입기 | 7 | 17 | 86 | on | on | 32 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 16 | 부상입기 | 8 | 18 | 87 | on | on | 34 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 17 | 부상입기 | 9 | 19 | 88 | on | on | 36 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 18 | 부상입기 | 10 | 20 | 89 | on | on | 38 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |
| 19 | 부상입기 | 11 | 21 | 90 | on | on | 40 | nottripped | A | 이벤트 Bus ID |
| 20 | 부상입기 | 12 | 22 | 91 | on | on | 42 | nottripped | A | 이벤트 MTr ID |

〈그림 3〉 IAP 지식베이스 자동생성 화면

4.2 지능형 경보추론 시스템 성능평가

본 연구에서는 개발된 경보 시뮬레이터를 이용하여 다양한 고장 정보를 임의적으로 모의하도록 하였다. 그림 8은 감시제어 타스크, 지능형 경보추론 타스크 그리고 IAP 시뮬레이터의 화면을 보인다.



〈그림 4〉 IED9번/주변압기2사고 모의 IAP 시뮬레이터 화면

표 5는 그림 4의 IAP 시뮬레이터를 기반으로 한 시뮬레이션 결과 중 일부를 보이는데 제안된 솔루션의 유용성과 정확성을 확인할 수 있다.

〈표 5〉 고장경보 모의결과

| # | 모의 데이터 | | 모의사고 | | 추론결과 | | 비고 | |
|----|--------|--------|--------|-------|---------|-------|----|---------|
| | IED# | 계전기 상태 | 계전기 상태 | 고장 유형 | 고장 설비번호 | 고장 유형 | | 고장 설비번호 |
| 1 | 7 | off | on | MF | 1 | MF | 1 | |
| 6 | 5 | off | on | BF | 8 | BF | 8 | |
| 10 | 20 | off | on | DF | 1 | DF | 1 | |
| 11 | 22 | off | on | DF | 2 | DF | 2 | |

5. 결 론

본 연구에서는 IED를 기반으로 하는 변전소(실)에서 전력공급의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 지적 추론 기반의 디지털 수배전반 운전제어 솔루션(DSPOCS)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, 진단정보를 포함하도록 설계하였다. 또한 MS XML, MS SOAP을 기반으로 하는 보호협조 IED를 설계하였다. 끝으로, 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 솔루션 설계를 위한 기초기술로서 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

[참고 문헌]

- [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.