2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

변전소 자동화를 위한 지능형 솔루션 개발에 대한 연구

고윤석
남서울대학교

A Study on the Development of Intelligent Solution for Distribution Substation Automation

Yun-Seok Ko
Namseoul University

Abstract - 배전 변전소 무인화는 변전소 자동화 기술을 기반으로 하기 때문에 변전소 운영의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 변전소내의 각 설비들이 원격감시제어, 자율제어 그리고 사고를 사전에 방지하거나 인지하기 위한 설비진단을 지원할 수 있는 디지털 지능형 전력설비(IED)로 진화돼야 한다. 따라서 본 연구에서는 변전소내의 각 설비 IED드로부터 제공되는 데이터 정보로부터 무인화 변전소 운영의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 지원하는 무인화 변전소 운전지원 지능형 솔루션을 설계하고, 디지털 수배전반의 지능형 제어모듈의 추론 메카니즘, 상위 감시 제어 시스템과의 자유로운 데이터 교환을 위한 통신기법을 설계한다.

1. 서 론

최근, 전력산업의 구조개편 속에서 전력회사들은 경영의 합리화를 기하기 위해 배전 변전소들에 대한 점진적 무인화를 추진하고 있다. 변전소 무인화는 변전소 자동화 기술을 기반으로 하는데, 기존의 계획기반 감시제어 전략은 사고를 사전에 인지하거나 예측하는 것이 현실적으로 어려우며, 기존의 계획기반 유지보수 전략은 높은 유지보수 비용에도 불구하고 전력설비의 가동률을 낮추고 예측하지 못한 사고발생을 가져오기 때문에 엄청난 사고파급효과를 경험할 수 있다.

전력회사들은 무인화 된 변전소 운영환경 하에서 경제적인 유지보수 비용으로 전력공급의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해서 최근 급속한 발전을 이루고 있는 센서기술, 디지털화 기술, 정보통신 기술을 접목하여 원격 감시제어 명령 수행, 자율제어 수행 그리고 예방, 예지 진단 기능과 이를 기반으로 하는 신뢰도 기반의 전력설비 유지보수계획(RCM)의 지원이 가능한 센서내장형 디지털 지능형전력설비(IED)의 개발 및 도입에 많은 노력을 기울이고 있다. 배전 변전소내 전력설비들은 주변압기, 차단기, 단로기, 모선, 계전기, 수배전반 그리고 피뢰기 등으로 구성되는데, 수배전반은 송전선, 배전선로들에 대한 시간대별 유효전력(kW), 무효전력(kVAR), 선로전류(A), 전압(A), 역률, 주파수 그리고 계전기 동작상태등을 표시한다. 이들 전력설비들에 대한 IED는 사고파급의 중요성 및 시급성 그리고 경제성 등을 고려하여 차단기, 주변압기, 수배전반, 단로기 등의 순으로 진행되고 있다. 특히, 수배전반의 경우는 시간대별 기록기능은 물론 계전기능을 통합한 디지털 지능형 수배전반으로 진화되고 있다.

따라서 본 연구에서는 변전소 IED들로부터 제공되는 데이터 정보로부터 무인화 변전소 운영의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 지원하는 무인화 변전소 운전지원 지능형 솔루션을 설계하는 것을 목표로 한다. 먼저, 각 IED의 데이터 요구조건을 분석하고 변전소 운전의 상태를 레벨별로 구분, 대응하는 데이터 레벨을 결정한다. 그리고 디지털 수배전반의 지능형 제어모듈의 추론 메카니즘, 상위 감시 제어 시스템과의 자유로운 데이터 교환을 위한 통신기법을 설계한다.

2. 배전변전소 구조 분석

배전 변전소는 송전선으로부터 154KV를 수전한 후, 주변압기를 통해 22.9KV로 강압하여 수용가 지역을 경유하는 배전선로들을 통해 일반 수용가들에 직접적으로 전력을 공급한다. 그런데, 변전소내 22.9KV 모선은 154KV 수전단과는 달리 병렬운전을 배제하고 단독운전에 기반한 수지상 구조로 운전되기 때문에 주변압기 사고시 속된 모든 일반 수용가들이 정전을 경험하는 대규모 정전문제를 발생시킬 수 있다.

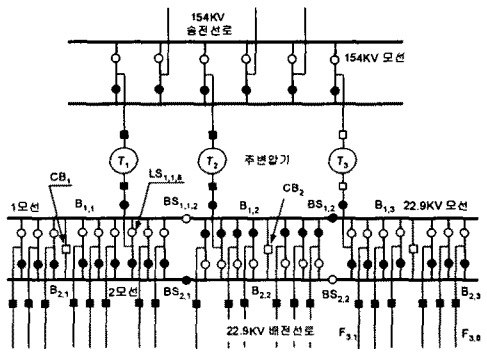

그림 1 배전 변전소 결선도
Fig. 1 Distribution substation diagram

따라서 주변압기 사고시 사고파급효과를 최소화하기 위해 22.9KV 모선은 2중으로 설계되며 모선상에는 CB나 섹션 스위치 그리고 라인스위치들이 설치된다. 그림 1은 대표적인 154[KV]급 배전 변전소의 결선도를 보인다[8]. 배전 변전소의 모선은 그림 1에 보인바와 같이 부하절체가 가능하도록 2중화된 구조로 구성되는데, 전위에 위치하는 $B_{1,j}$를 1모선, 후위에 위치하는 B_{2j}를 2모선이라 한다. 그리고 1, 2모선간에는 이벤트 발생시 피더 부하들을 1모선 또는 2모선에서 교차 모선 즉, 2모선 또는 1모선으로 절체하기 위한 라인 스위치를 $LS_{i,j,k}$가 설치되며 모선구간들 사이에는 모선구간간 단로기들 $BS_{i,j,k}$가 설치된다. 또한 필요시 신속한 모선간 부하절체를 위해 모선타이 CB_i가 설치된다. 여기서 $B_{j,k}$는 j모선 k모선구간, $LS_{i,j,k}$는 i모선 j모선구간 k번 라인 스위치를 나타낸다. 그리고 $BS_{i,j,k}$는 i모선 j와 k모선구간사이의 섹션 스위치를, CB_j는 j모선간 차단기를 표시한다. ■, □는 차단기의 투입, 개방된 상태를, 반면에 ●, ○는 섹션 스위치나 라인 스위치의 투입, 개방 상태를 표시한다. 그림 1은 대표적

인 배전 변전소 결선도를 보이는데 설비상태나 부하조건에 따라서 다양한 모선구성으로 운전이 가능한다.

3. 배전변전소 운전제어 솔루션 설계

배전변전소의 지능형 운전제어 솔루션은 변전소내의 각 설비 IED로부터 제공되는 설비운전 이력 데이터를 변전소 이력 DB에 저장, 신뢰도 지수에 근거하여 전력설비의 상태진단 및 수명을 예지, 일별 전력설비 유지보수계획을 수립하는 RCM기반 전력설비 유지보수계획 수립기능과 예기치 못한 사고발생시 그 사고 파급효과를 최소화하기 위한 실시간 모선 재구성 전략 수립기능으로 구성된다.

3.1 배전 변전소 전력설비 IED 분석

배전변전소내의 전력설비 IED에 대한 데이터 요구조건을 분석한 결과는 표 1과 같다

표 1 배전변전소 전력설비 IED 데이터 조건 분석
Table 1 Power facility IED data requirements

IED	데이터 요구조건	비고
주변압기	유중가스, 온도, 압력	
차단기	가스압력, 유면레벨, 온도, 압력	
수배전반	전압, 전류, 위상, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 유효전력량, 무효전력량, 주파수, 역률, 전압고조파, 전류고조파, 유효전력 및 무효전력 디지털 계전기 기능	

3.2 배전 변전소 자동화 솔루션 설계

배전변전소의 운전제어 솔루션을 설계한 결과는 그림 2와 같다. 변전소 자동화 솔루션은 기본적으로 계획기반 감시제어 명령에 의해서 일정 주기별로 주변압기, 차단기, 디지털 수배전반 그리고 피뢰기 등의 IED들에 감시제어 요구를 명령하며 또한, IED들의 자율적인 진단정보를 전송받는다.

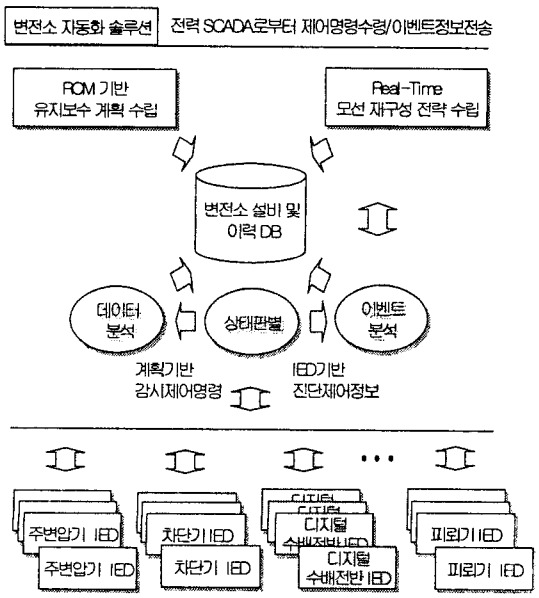

그림 2. 변전소 자동화를 위한 지능형 솔루션 설계
Fig. 2 Intelligent Solution for substation automation

이때 상태판단 모듈은 감시 또는 진단 정보로부터 운정상태를 판별하여 이상상태시 이벤트 분석 모듈을 분석한다. 이벤트 분석모듈은 이벤트 유형과 설비를 확인하여 실시간 모션 재구성 전략 수립 모듈을 구동시켜 모선재구성 전략을 수립한다. 또한 그 이벤트 정보를 분석하여 이벤트 이력으로 재생한 다음 변전소 설비이력 DB에 기록한다. 반면에, 정상상태인 경우 데이터 정보를 분석하여 필요정보를 변전소 설비이력 DB에 저장한다. 그리고 필요에 따라 전력 SCADA 시스템에 이벤트 정보를 전송하며 또한 전력 SCADA 시스템으로부터 제어명령을 수령한다.

4. 디지털 수배전반 IED 설계

디지털 수배전반 IED는 기존 수배전반에 설치되는 전압계, 전류계, 역률계, 전력량계, 계전기 등 다양한 아날로그 계측기들의 기능을 디지털화하여 통합하고 동시에 상위감시 제어 시스템이나 전력설비간에 자유롭게 데이터 교환이 이루어질 수 있도록 설계된다.

4.1 디지털 수배전반 IED의 H/W 설계

디지털 수배전반 추론모듈의 하드웨어는 리눅스 내장형 CPU를 기반으로 설계된다. 그림 3은 디지털 수배전반 지능제어 모듈을 보인다.

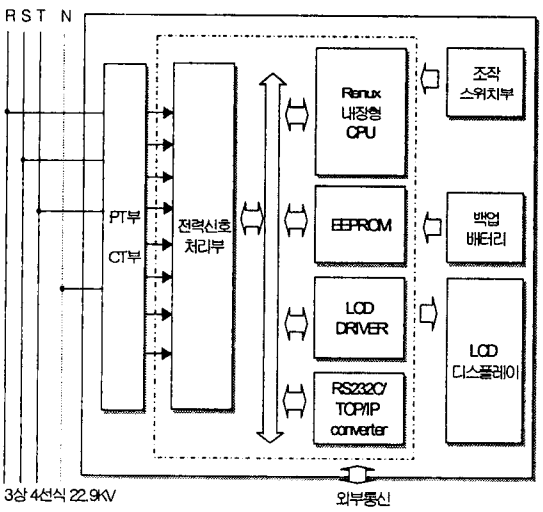

그림 3 디지털 수배전반 지능제어 모듈
Fig. 3 Digital panel intelligent control module

디지털 수배전반은 3상 전원으로부터 PT와 CT부를 통해 각상의 전압, 전류 신호채널을 구성한다. 전력신호처리부는 실효치 전압, 실효치 전류, 순시치 전압, 순시치 전류, 에너지 데이터를 계산, 지정된 레지스터에 저장한다. 그리고 리눅스 내장형 마이크로 프로세서는 전력신호처리부와의 통신을 통해 시간대별로 전압, 전류, 역률, 주피수 무효전력, 유효전력은 물론 사고시 이벤트 정보를 EEPROM에 기록하도록 설계된다. 또한 LCD는 사용자의 설정에 따라 EEPROM에 기록된 다양한 데이터를 표시하며 필요에 따라서는 전력신호 처리부로부터 제공되는 순시 데이터를 표시한다. 또한 조작 스위치를 통해 기본 설정 데이터를 변경하도록 설계된다.

4.2 디지털 수배전반 IED의 S/W 설계

디지털 수배전반은 내부에서 제공되는 데이터를 이용

하여 운전상태를 진단, 운전상태에 따라 자율제어를 실행하거나 단순히 운정정보를 상위 운전제어 솔루션이나 타 디지털 수배전반에 제공하도록 설계된다. 또한 상위 감시제어 시스템으로부터의 제어명령에 대해 현재의 운전상태를 고려하여 실행여부를 판단, 제어명령을 실행하게 된다. 따라서 데이터로부터 운정상태를 추론하기 우한 추론방법과 제어명령으로부터 제어실행 여부를 결정하기 위한 추론방법이 요구된다[4-6]. 이때 추론 방법은 깊이 우선 탐색법과 너비우선 탐색법이 가능한다.

4.2.1 데이터구동 추론 메커니즘

데이터 구동 추론 메커니즘은 데이터 상태들로부터 조건의 만족여부를 검사하여 순차적으로 목적으로 추론, 최종적으로 전력설비의 운전상태를 추론하기 위해 채택되어 설계된다. 그림 4는 너비우선 탐색법에 기반한 데이터 구동방식의 추론 메커니즘을 보인다.

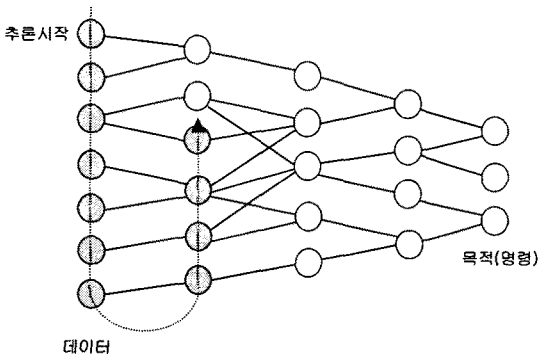

그림 4 데이터 구동방식의 추론 메커니즘
Fig. 4 Data driven inference mechanism

4.2.2 목적구동 추론 메커니즘

목적구동 추론 메커니즘은 목적(제어명령)으로부터 데이터 조건의 만족여부를 순차적으로 검사하여 운전상태를 판단, 실행가능성을 결정하기 위해 채택, 설계된다. 그림 5는 깊이 우선 탐색법에 기반한 목적 구동방식의 추론 메커니즘을 보인다.

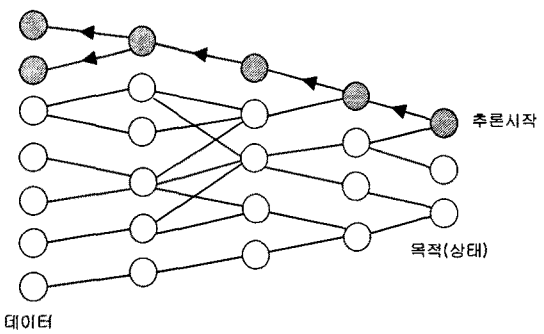

그림 5 목적 구동방식의 추론 메커니즘
Fig. 5 Goal driven inference mechanism

4.2.3 데이터교환 메커니즘

디지털 수배전반 IED는 전력공급의 안정성과 신뢰성을 보장하기 위해 상위 감시제어 시스템과는 물론 필요시 설비간에 운전정보에 관한 자유로운 데이터 교환이 가능하도록 설계돼야 한다. 본 연구에서는 인터넷 통신에서 Markup 기능을 이용한 문서정보 구조화를 통해 자유롭고 효율적인 데이터 교환이 가능한 XML 언어를 이용해 통신모듈을 설계, 구현한다. XML은 기존의 HTML 언어에 비해 문서의 구조화가 가능함으로써 대용량 문서 데이터로부터 필요한 데이터를 신속하게 검색할 수 있다[7,8].

5. 결 론

본 연구에서는 변전소 IED들로부터 제공되는 데이터 정보로부터 무인화 변전소 운영의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 지원하는 무인화 변전소 운전지원 지능형 솔루션을 설계하였다. 또한, 각 IED의 데이터 요구조건을 분석하고 변전소 운전의 상태를 레벨별로 구분하였으며, 대응하는 데이터 레벨을 결정하였다. 그리고 끝으로, 디지털 수배전반의 지능형 제어모듈의 추론 메커니즘을 설계하였으며. 상위 감시 제어 시스템과의 자유로운 데이터 교환을 위한 통신기법을 설계, 연구하였다. 그러나 디지털 수배전반의 완전한 IED 개발을 위해 추론 메카니즘의 구현 및 데이터 교환기술에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-B-16)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

[1] 久保田 만 外 1, "豫防保全技術 現狀 展望", 富社時報, Vol. 69, pp.95-98, 1996.
[2] 松葉 義行 外 2, "受變電所 監視支援", 富社時報, Vol. 69, pp.105-109, 1996.
[3] S.K.Ryu, "A study on the Multi Hierarchial Maintenance System of Electrical Facilities in Building Intelligent", 97Proc. of 36th SICE Annual Conf., 1997.7
[4] Carl Townsend and Dennis Feucht, DESIGNING and PROGRAMING PERSONAL EXPERT SYSTEM, TAB Books Inc.,
[5] Luger, G.F. and Stubblefield, W.A. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE DESIGN OF EXPERT SYSTEM. the Beniman/Cummings Publishing Company, Inc.
[6] Patterson,Dan W, INTRODUCTION TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EXPERT SYSTEMS, Prentice-Hall International Inc.
[7] David Schemas, Begining XML 2nd Edition, 정보문화사.
[8] 아이버 호튼, Begining Java 2 SDK 1.4 Edition, 정보문화사.
[9] 남창현, 이창준 외 6, 변압기 내부이상 진단용 가스 감시 시스템 개발, 한전 전력연구원 보고서