

변전소 보호 제어 시스템 개발

효성중공업(주)
기술연구소
책임연구원 조경래

1. 서론

현대의 전력 계통은 단순한 전력 에너지 전송 기능 외에 고도화된 기능을 갖추어 양질의 전력을 공급할 수 있어야 한다. 이를 위해 전력 설비들을 늘 안전하고 효율적으로 운용하여야 한다. 따라서 전력 설비를 보호하고 제어하는 시스템은 설비 안전 면에서나 전력공급 신뢰도 면에서 매우 중요한 역할이 요구 되고 있다. 전력 수요의 증가에 따라 전력 계통은 대용량화 되어 가고 있으며, FACTS (Flexible AC Transmission System) 기기의 도입이 이루어질 것으로 예견되어 계통의 고장 현상도 보다 다양하고 복잡해질 것이다. 따라서 신속하고 정확한 고장 검출 그리고 다량의 정보를 빠르고 신뢰성 있게 처리할 수 있는 능력을 가진 시스템이 필요하다.

'90년대 초반에 디지털 보호 계전기가 국내에 도입되기 시작하였으며, 지금은 대부분의 변전소에 디지털 보호 계전기 및 감시 제어반이 설치되었으며 중앙 집중적인 변전소의 감시 제어가 가능해졌다. 그렇지만 현재 변전소에 적용되어 있는 감시 제어 시스템은 RTU(Remote Terminal

Unit)를 통해서 현장에 설치되어 있는 보호 계전기 및 각종 설비의 운전 정보를 제공받아 처리하므로 다양한 정보를 처리할 수 없으며 다른 목적으로 개발된 시스템에 적용하는데 따른 전문성과 효율성이 떨어지는 단점을 지니고 있다. 또한 변전소에 설치되어 있는 디지털 보호 계전기는 대부분 선진 외국 제품이며, 보호 기능이 국내 계통 상황에 맞지 않는 경우도 있다. 더우기 제조 회사마다 통신 방식이 다르기 때문에 국내에서 제작된 감시 제어반과 연결하는데 어려움이 따르며, 계전기가 저장하고 있는 계통의 정보들을 감시 제어반에서 쉽게 취득하기 어렵다.

국내에서는 1980년대 후반 한전 전력 연구원을 주관으로 이루어진 배전용 보호 계전기 개발을 시작으로 하여 디지털 보호 계전기 연구가 출발하였다. 이후 154kV 송전선 보호 계전기 및 변전소의 보호 제어를 위한 디지털 시스템 개발등이 한전 전력 연구원과 학계에 의해 수행되었다. 이를 바탕으로 1992년 이후 고저항 사고 검출 기능을 가진 배전용 DR이 많은 산업체에서 상품화되었다. 이와 더불어 변전소 종합 보호 제어 시스템 (IDPACS : Integrated Digital Protection and

Control System) 개발이 한전 전력 연구원 주관 하에 효성중공업, LG 산전 및 광명제어의 참여로 수행하였다. 이에 따라 기존의 변전소 보호 및 감시 제어 시스템이 가지는 신뢰성면과 운용 보수면에서의 장점을 유지하면서, 다량의 정보 취득이 쉬우며, 타 시스템과 정보 연계를 강화하여 다기능적인 변전소 보호 제어 시스템의 제작 기술을 습득할 수 있었다.

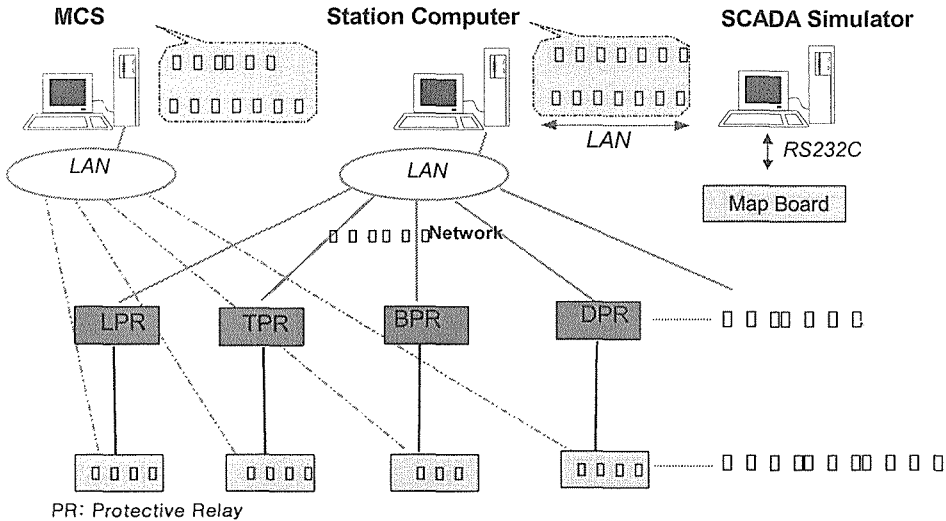
현재 당사는 배전용 디지털 보호 계전기 및 IDPACS 개발을 통해 얻은 기술 및 경험을 기반으로 하여 변전소 보호 제어 시스템의 상품화를 추진하고 있다. 본 글에서는 변전소의 자동화 및 무인화를 위해 개발중인 각종 디지털 보호 계전기와 중앙 집중 감시 제어 보호반인 SU(Station Unit) 그리고 시스템 시험 및 향후에 운전 지원

시스템 개발에 사용할 축소형 모의 변전소 제작에 관한 내용을 기술하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 개요

변전소 자동화를 위해 개발중인 시스템은 크게 보호계전기, 축소형 모의 변전소, SC(Station Computer), SCADA Simulator, MCS(Main Control System)으로 나눌수 있으며, (그림 1)에서 보는 바와 같이 LAN(Local Area Network)으로 연결되어 있다. 이중에서 축소형 모의 변전소는 154kV 표준 변전소와 등가적으로 일치하게 제작되며, 각 모형별로 고장 발생장치를 가지고 있어



(그림 1) 시스템 구성도

변전소 종합 보호 제어 시스템과 운전 지원 전문가 시스템의 개발 및 성능 시험에 사용된다. 한편

MCS는 임의 또는 주어진 시나리오에 따라 축소형 모의 변전소의 배전선 부하 조정, 고장 발생 및

차단기 부동작등을 주관하게 된다.

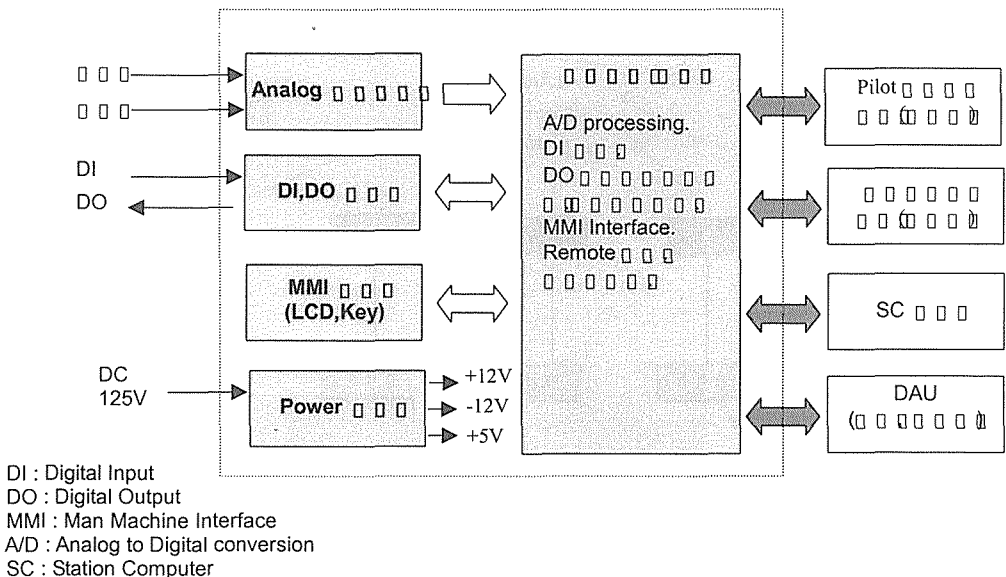
보호 계전기는 보호 기능의 계측 및 차단기 및 단로기 제어기능을 가지며, 통신을 통해 수집한 운전 정보와 고장 정보를 SU로 전송한다. SU는 집중 보호 제어 감시반으로 보호 계전기를 통해 변전소의 운전 정보 및 고장 정보를 취득하며, 통신을 통해 보호 계전기의 계전 정정 및 차단기와 단로기 열림/닫힘 제어를 할 수 있다. SCADA Simulator는 기존의 SCADA와 거의 동일한 기능을 가지며, 변전소에 설치된 SC로부터 변전소의 운전 상태 정보를 취득하며 이를 MapBoard에 나타낸다. 또한 가상의 변전소의 운전 상태를 시뮬레이션할 수 있는 기능을 포함한다.

2.2 보호 계전기(Protective Relay)

보호 계전기는 전압, 전류 정보로부터 전력 설비의 이상 유무를 판단하여, 고장으로부터 전력

계통을 보호하는 역할을 수행한다. 본 글에서 제시하고 있는 보호 계전기는 보호 역할 외에도 전력 설비들의 운전 상태 정보를 취득할 수 있으며, 차단기 및 단로기 열림/닫힘 제어가 가능하다. 보호 계전기가 가지고 있는 여러 정보들을 LAN을 통하여 SU로 전송할 수 있으며, SU의 명령을 받아 계전 정정과 차단기 및 단로기등의 열림/닫힘 등을 수행할 수도 있다.

보호 계전기는 감시, 제어하려는 전력 설비에 따라서 여러가지 종류가 있다. 그중에서 송전선 보호계전기, 변압기 보호계전기, 모선 보호계전기, 배전선 보호계전기를 개발하고 있다. 각 계전기에 공통으로 사용되는 기능들이 (그림 2)에 나타나 있다. 변압기 및 모선 보호 계전기는 많은 양의 아날로그 입력과 차단기 및 단로기 정보를 처리해야 하므로 별도의 DAU(Data Acquisition Unit)를 사용하여 이들 정보를 받아들인다.



(그림 2) 계전기의 구조

2.2.1 송전선 보호 계전기(Transmission Line Protection Relay)

송전선 보호 계전기는 주보호 후비보호 일체형이며, 각각 분리 사용도 가능하다. 주보호는 전류 차동 계전 방식이며, 후비 보호로 거리 계전 방식

을 채택하였으며, 상대단 거리 계전기와 협조하여 Pilot 계전도 가능하다. 3상 일괄 및 단상 재폐로가 가능하며, 동기 탈조 감시 및 동기 탈조 트립 기능도 구비하였다.

〈표 1〉 송전선 보호 계전기의 기능

구 분	기 능
보 호 방 식	주 보 호 : 전류차동계전방식(Current Differential Carrier Relay) 후비보호 : 거리계전방식(Distance Relay)
기 타 보 호 기 능	동기탈조검출, 방향과전류계전, 저주파계전, 단선사고검출, 자동재폐로, 차단실패보호
계 측	각 상의 전류페이서, 전압페이서, 유효전력, 무효전력, 주파수, 역률, 및 각 상의 차 전류
제 어	차단기, 단로기의 열림/닫힘 제어, 모든 제어 상태의 기록, 투입조건 감시, Lockout 설정 및 해제
M M I	프론트 PNL의 표시와 제어, 정정 기능
입 출 력	입력 : 송전선 전압 및 전류 출력 : 차단기 Trip, Close접점

2.2.2 변압기 보호 계전기(Transformer Protection Relay)

3권선까지 보호가 가능하며 주보호는 전류 비율 차동 계전 방식을 사용한다. 여자돌입전류에 의한 오동작을 방지하기 위한 고조파 억제 요소, CT 포화시 부동작을 방지하기 위한 단순 차동 요소를 구비하였다. 차단기와 단로기의 열림/닫힘 제어가 가능하며, 더불어 ULTC의 TAP 위치를 변경하

는 기능도 가지고 있다.

2.2.3 모선 보호 계전기(Bus Protection Relay)

2중모선 및 단모선 보호가 가능하며, DAU통해 모선 보호에 필요한 송전선의 전류 및 변압기 1차 측 전류를 측정한다. 외부 고장시 CT 포화에 의한 오동작 방지 기능을 구비한다.

<표 2>

변압기 보호 계전기의 기능

구 분	기 능
보 호 방 식	전류비율차동계전방식(Current Ratio Differential)
기 타 보 호 기 능	단락과전류계전, 지락과전류계전, 변압기 2차 지락과전압계전(64), 차단실패보호(Break Failure Protection)를 위한 점점 구비, 고조파억제 요소와 내부 사고시 CT 포화에 의한 부동작을 막기 위해 단순차동요소, 내부지락사고 보호계전
계 측	각 상의 전류페이서, 전압페이서, 유효전력, 무효전력, 주파수, 역률 및 각 상의 차전류
제 어	차단기, 단로기의 열림/닫힘 제어, 모든 제어 상태의 기록, 투입조건 감시, Lockout설정 및 해제, ULTC 제어
M M I	프론트 PNL에서 표시와 제어, 정정 기능
입 출 력	입력 : 1,2차 전압 및 전류, Tap 위치 출력 : 차단기 및 단로기 Trip, Close점점, Tap제어신호

<표 3>

모선 보호 계전기의 기능

구 분	기 능
보 호 방 식	전류차동계전방식(Current Differential)
기 타 보 호 기 능	외부 고장시 CT 포화에 의한 오동작방지기능, 고장검출용 저전 압계전요소 구비 저전압계전, 일괄보호용 모선보호계전, 분할모선용 보호계전의 AND 조건에 의한 차단기동작, 차단실패를 보호하기 위한 차단 실패시 Retrip, Backup 신호출력, 상대단차단기 Trip을 위한 송신기능
계 측	3상 차전류와 모선별 전압
제 어	차단기, 단로기의 열림/닫힘 제어, 모든 제어상태의 기록, 투입조건 감시, Lockout 설정 및 해제
M M I	프론트 PNL에서 표시와 제어, 정정 기능
입 출 력	입력 : 모선전압, 송전선전류, 변압기 1차전류 출력 : 차단기Trip, Close점점

2.2.4 배전선 보호 계전기(Distribution Line Protection Relay)

배전선 보호를 위해 과전류 계전 및 지락 과전류 계전 방식을 사용하며, 순시 및 한시 트립이 가능

하다. 그의 부족 전압 계전 및 과전압 계전 기능도 쉽게 추가 할 수 있다. 기존의 배전용 디지털 계전기들이 포함하였던 고저항 지락 계전 방식은 이론적인 근거 및 실증이 미흡하여 포함시키지 않았다.

<표 4>

배전선 보호 계전기의 기능

구 분	기 능
보 호 방 식	단락과전류계전 : 3상 및 2상 과전류계전, 순시 및 한시 동작 지락과전류계전 : 지락과전류 계전, 순시 및 한시 동작
계 측	전류페이서 및 전압페이서
제 어	차단기 및 단로기의 열림/닫힘 제어
M M I	프론트 PNL에서 표시와 제어, 정정 기능
입 출 력	입력 : 3상 전압, 전류 출력 : 차단기Trip, Close접점

2.3 Station Computer(SC) 및 SCADA Simulator

보호하며 고장기록 및 운전 보고서를 작성하는 기능 등을 종합하여 구현한다.

종래의 시스템이 개별적이고 기능 확장에 제한적이었다면 본 글에서 설명하는 SC는 종합적이고 통합적인 특징을 가지고 있다. 즉, 송·변·배전 설비를 계측, 제어할 수 있고, 전력 설비를 감시,

특히, 시스템 내의 고장 사고시 고장 정보를 SC에 전송해 주며 사용자는 고장 정보를 확인해서 차단기, 단로기 등의 스위치를 직접 제어할 수 있다. <표 5>는 기존 시스템과 SC와의 비교를 보여준다.

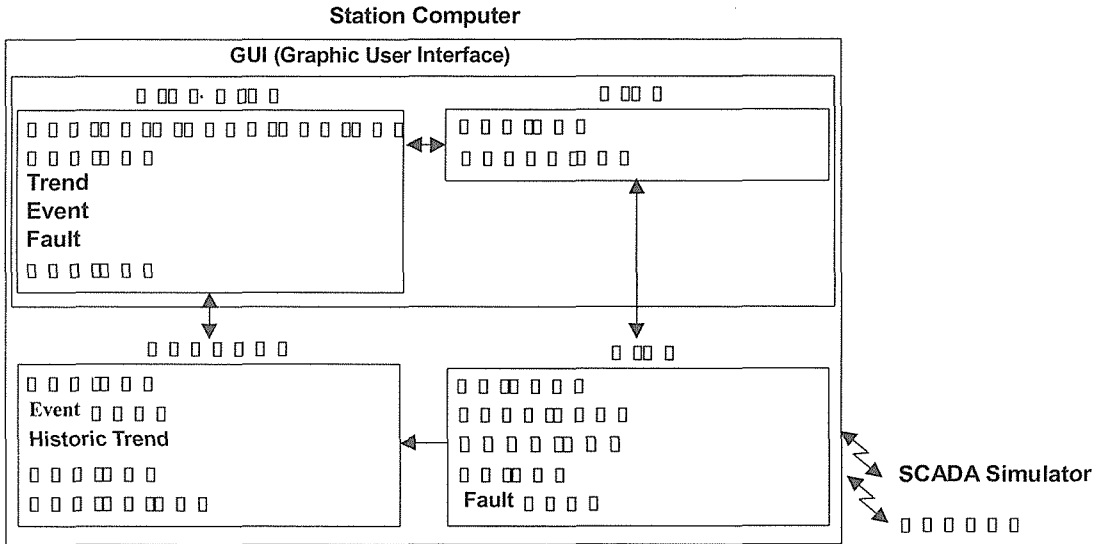
<표 5>

기존 감시제어 시스템과 SC와의 비교

구 분	감시제어 시스템 (기존)	Station Computer
데이터 처리	RTU	보호 계전기
취득 정보	차단기 및 단로기 정보 전압, 전류 실효치	차단기 및 단로기 정보 전압, 전류 실효치 고장시의 전압, 전류 순시값 고장 요소 동작 데이터
고장 해석	불가능	가능
운전 지원 시스템 확장	불가능	가능
지능적 계전 세팅	불가능	가능
페이지	접점별	보호 계전기별

(그림 3)은 SC를 크게 세 개의 모듈로 구분하여 SCADA Simulator 및 보호계전기를 통한 측

소형 모의변전소와 각각 정보를 교환하는 구성을 보여주고 있다.



(그림 3) Station Computer의 내부 구조

2.3.1 SC와 보호계전기

보호계전기는 축소형 모의변전소의 송전 선로, 고압 모선, 배전 모선, 변압기 등의 전압, 전류, 역률, 전력량 등의 아날로그 데이터와 차단기, 선로 스위치, 차단 스위치 등의 상태 데이터를 SC에 주기적(1초~5초)으로 전송한다. 이런 정보는 데이터베이스 모듈과 GUI 모듈에 전해져서 이용되는데, 데이터베이스 모듈에서는 각 측정치를 일정한 형식으로 저장하여 GUI 모듈에서 요청하거나 운전 보고서 작성시 사용한다. GUI 모듈에서는 단선도 화면을 이용해서 모의 변전소 전체의 구성도와 각 설비의 측정치를 표시하여 사용자가 실시간으로 확인할 수 있게 하며 필요시 축소형 모의변전소 내의 차단기, 선로 스위치 및 차단 스위치의 상태를 제어할 수 있게 해 준다.

2.3.2 SC와 SCADA Simulator

상위 단계인 SCADA Simulator은 모두 10개

의 모의 변전소로 구성되며 축소형 모의변전소는 그 중 하나를 차지한다. 따라서 SC에 전송된 축소형 모의변전소의 아날로그 데이터와 상태 데이터는 SC의 통신 모듈을 통해서 SCADA Simulator로 전송되고 각각의 값들은 Map Board에 보여지게 된다. 나머지 9개 변전소의 아날로그 데이터와 상태 데이터는 SCADA Simulator에서 모의하여 그 값들을 Map Board로 보낸다.

2.3.3 SC의 기능

SC의 기능은 크게 계측, 제어 및 기록의 세 기능으로 구성된다. 계측은 축소형 모의변전소의 전압, 전류, 역률, 전력량, 차단기, 선로 스위치, 차단 스위치에 관한 정보이며 이런 정보는 SC의 단선도 화면에 표시된다. 단선도 에디터는 모의 변전소 전체의 구성도를 편집, 저장할 수 있으며 편집된 단선도 화면은 실시간으로 계측 데이터를 표시한다. 또, 축소형 모의변전소의 아날로그 데이터

와 상태 데이터는 주기적으로 데이터베이스 모듈에 기록되어 계측량의 실시간 변화를 그래프로 표현한다. 데이터베이스 모듈에 저장된 아날로그 데이터와 상태 데이터는 시간에 대한 그래프로 표현되고 사용자가 그 변화를 볼 수 있으며 운전 보고서를 작성하는데 이용된다. 또, MCS를 이용한 축소형 모의변전소 내의 차단기, 선로 스위치, 차단 스위치 조작등에 대한 시스템의 변화 내용도 단선도 화면으로 보내지고 데이터베이스 모듈에 저장되어 고장기록 등에 이용된다. 제어는 단선도 화면을 통해서 실시간으로 축소형 모의변전소 내의 차단기, 선로 스위치, 차단 스위치의 상태를 조작할 수 있으며 시스템의 상태 변화는 데이터베이스 모듈에 저장되고 고장 기록 등에 이용된다. 기록은 언급한 바와 같이 축소형 모의변전소의 아날로그 데이터와 상태 데이터를 기록하여 주기적으로

운전 보고서를 작성하거나 시스템내의 상태 변화를 기록하는 고장 기록 등으로 구성된다.

데이터베이스 모듈은 모의 변전소내의 여러 보호 계전기들을 임의의 그룹으로 나누어 감시하며 축소형 모의변전소 내의 여러 계측치와 모의 변전소의 상태 변화 등을 저장하고 기록하는 역할을 한다. 데이터베이스 에디터를 이용해서 모의 변전소 내 보호 계전기들의 그룹은 수정, 저장 등이 가능하며 각각의 보호 계전기 또한 추가, 삭제 등의 편집이 가능하다.

2.4 축소형 모의변전소(Analog Miniature) 및 MCS(Main Control System)

본 글에서 축소형 모의변전소는 모의 변전 설비와 부속 시스템으로 구성된다. 모의 변전 설비는

〈표 6〉 모의 전력 설비

설비	특징
송전선로	• 3상 6회선
고압(154kV) 및 저압(23kV) 모선	• 2중 모선 구조
주 변압기	• 임피던스가 실계통 154변전소에 설치된 표준형 변압기(40/60MVA)와 등가적으로 최대한 일치 • 부속장치로 ULTC, 팬등을 구비함
차단기	• 점접형 속도성 계전기를 사용하며 3상일괄개폐형임. • Trip, Close의 개별적인 구동을 위해서 각각의 구동코일을 가지고있음.
선로스위치(LS) 및 차단스위치(DS)	• 무접점 또는 점접형 스위치로 LS, DS의 구분은 없음. • SC에 의해 원격으로 구동하며 실계통과 동일하게 제어 가능.
배전부하	• 원격 제어 가능한 아날로그 부하모형
가변부하	• MCS에서 제공되는 배전부하 곡선에 의하여 연속적으로 변화 • Load switching frequency: 50[Hz]-DC • 정격전압 : 선정된 배전전압과 동일 • 5 Channels output • 각 channel당 역률범위는 0.7-1.0

모두 PNL 내장형으로 제작하며 옥내형이다. 모의 변전설비는 송전선로, 고압모선, 주변압기, 배전모선, 배전부하와 가변 부하로 구성된다. 다음의 <표 6>은 축소형 변전소에 사용된 모의 전력 설비의 특징 및 기능을 설명한다.

MCS는 축소형 모의 변전소의 가변 부하 제어 및 각 전력 설비의 고장 발생기능을 수행한다. 또한 고장시 차단기가 계전기의 트립 명령을 받았을 때 부동작하는 기능을 수행하여 향후 고장 구간 진단 알고리즘 개발시 시험할 수 있도록 하였다.

<표 7> MCS의 기능

구 분	기 능
가 변 부 하 제 어	• 부하 곡선 수정 및 가변 부하에 전송
차 단 기 제 어	• 차단기 부동작 명령
고 장 모 의	<ul style="list-style-type: none"> • 송전선의 지락 및 단락고장 • 고압모선간 단락, 주변압기와 고압모선간 단락 • 주변압기 층간단락, 권선 지락 • 배전선 부하, 가변 부하에서의 단락 및 지락

3. 결 론

본 글에서는 변전소 종합 보호 제어 시스템으로 개발중인 디지털 보호 계전기, Station Computer와 이 시스템의 시험 적용 및 향후 변전소 자동화를 위한 운전 지원 전문가 시스템 개발을 위해 제작중인 축소형 모의 변전소 제작에 대해 기술하였다. 이 시스템은 다량의 정보 취득 및 타 시스템과

의 정보 연계기능이 강화되어, 기존의 시스템들이 할 수 없었던 정확한 고장 해석 및 원인 분석이 가능하므로 전력 공급의 신뢰도 향상에 기여할 것이다. 또한 이론적으로 많은 연구가 진행된 고장 구간 진단 및 고장 복구 전문가 시스템을 쉽게 적용할 수 있어, 변전소의 자동화 및 무인화 시스템을 구축하는데 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

