

# 01 한국표준형 에너지관리시스템(K-EMS) 개발을 성공적으로 마무리하면서...

이효상 | 한국전력거래소

## 1. 개발 배경

에너지관리시스템은 첨단 IT 기술과 전력계통 운영기술이 통합된 복합기술의 총아로서 1,000만kW 이상의 대규모 전력계통 운영을 위한 필수 설비이다. 세계적으로도 미국, 독일, 프랑스, 일본 등 일부 선진국의 메이저 제작사만이 제품을 출시하고 있으며, 이들 소수의 제작사가 세계시장을 독식하고 있는 실정이다.

에너지관리시스템 기술은 개발에 장기간이 소요되고 국내의 수요가 전력거래소와 한국전력 등 특정 업체만 사용하는 등 개발 리스크가 커서 국내 기술 개발이 부진한 상태였다. 그래서 해외 제작사의 에너지관리시스템을 도입하다보니 해외 제작사가 핵심기술의 이전을 기피하여 핵심기술의 해외 의존도가 심화될 뿐만 아니라 도입 이후에도 막대한 비용의 유지보수 비용을 요구하는 등 폐해가 끊이지 않았음에도 불구하고 외국 제품을 계속 도입해야만 하는 문제점이 있었다.

이러한 문제점을 해결함과 동시에 지능형 전력망(Smart Grid) 등 전력산업 정책변화에 유연하고 신속하게 대응할 수 있는 체제를 구축하고 국내 전력 IT 기술력 향상을 통한 유관산업 발전을 촉진하기 위하여 한국형 에너지관리시스템의 연구개발 필요성이 인정되어 2005년도 국가 전략과제로서 정부와

민간기업이 공동으로 투자하고 전력거래소를 주관 기관으로 하여 산학연 공동 연구체제로 개발을 추진하게 되었다.

## 2. 개발 추진

### (가) 개발 목표

한국형 에너지관리시스템(K-EMS)의 개발 목표는 국가 전력계통의 안전성과 경제성을 확보하기 위한 종합 IT 기반 구축으로 에너지관리시스템을 국내 기술로 개발하는 것으로서 에너지관리시스템의 표준기능 외에 최적화급전계획과 전력시장 연계기능을 포함시킨 첨단형 에너지관리시스템을 개발하는 것이다. 주요 기능은 원방감시제어 및 자료취득, 발전제어 및 발전계획, 전력계통해석 및 급전원훈련 시뮬레이터로 구성되어 있다.

### (나) 연구개발 조직

한국형EMS 개발은 5개 세부과제로 나누어 개발을 추진하였고 9개 참여기업 및 6개 위탁기관으로 연구진을 구성하였으며 전력거래소가 총괄주관기관이며 한국전력공사, 한국전기연구원, 한전KDN(주) 및 LS산전 등의 참여기업과 서울대학교 등 국내 유수의 대학이 참여하는 산학연 협동 연구개발 체계를 구축하였다.

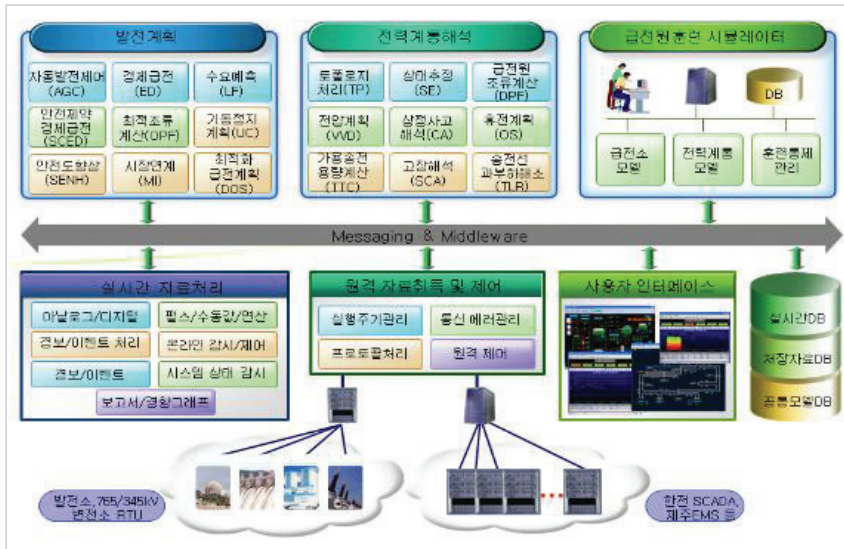


그림 1 | 한국형EMS 기능 구성도

(다) 개발 일정

한국형EMS 개발은 2005년 11월부터 2010년 10월까지 5년간 3단계에 걸쳐 단계적으로 개발하였다. 1단계에서는 약 30개월에 걸쳐 EMS의 기본기능을 구현한 Baseline EMS를 개발하였고, 2단계에서는 약 44개월에 걸쳐 Baseline EMS의 바탕 위에 중급 난이도의 EMS 기능을 구현한 Prototype EMS를 개발하였으며, 3단계에서는 약 60개월에 걸쳐 Prototype EMS의 기반 위에 고급 난이도의 EMS 기능을 구현한 Full-Scale EMS를 개발함으로써 한국형 에너지관리시스템의 개발을 완료하였다.

3. 주요 개발 성과

한국형EMS는 하드웨어 플랫폼 및 통합형 DB를 기반으로 원방감시제어 및 자료취득 기능, 발전계획 및 발전제어 기능, 전력계통해석 기능 및 급전원혼련 시뮬레이터로 구성되어 있다. 아래 [그림 1]에 한국형EMS의 기능 구성도를 나타내었다.

(가) 한국형EMS 하드웨어

한국형EMS 하드웨어는 서버, 네트워크, 통신장비 및 제3자 소프트웨어 등으로 구성되어 있으며 한국형EMS 응용소프트웨어의 시험을 위한 테스트베드로서의 기능도 수행하였다. 한국형EMS의 개발 단계인 Baseline, Prototype, Fullscale 개발 일정에 맞추어 응용소프트웨어를 시험하는데 필요로 하는 테스트베드도 3단계에 걸쳐 구축하였다.

(나) 한국형EMS 데이터베이스

EMS는 일반적으로 현재의 전력계통 모델을 기반으로 실시간 자료처리를 하게 되며 이를 위해 한국형EMS의 데이터베이스는 Offline 데이터베이스, Realtime 데이터베이스 및 Historical 데이터베이스로 구성하였다.

Offline 데이터베이스는 Offline 환경의 서버에서 전력계통 모델링 및 변경작업용으로 사용된다. Offline 데이터베이스는 IEC 61970 CIM(Common Information Model)을 바탕으로 일부 데이터 모델

을 추가, 조정하여 구성하였으며 데이터베이스 관리의 편리성과 유연성을 위해 상용 RDBMS를 적용하였다.

Realtime 데이터베이스는 Offline 데이터베이스를 통해 구축된 전력계통 모델을 모든 한국형EMS 기능들이 사용할 수 있도록 Host내에 구성된 데이터베이스이다. Realtime 데이터베이스는 논리적으로 실시간 감시제어 및 자료취득 기능에 적합하도록 설계된 SCADA 데이터베이스와 발전계획 응용소프트웨어 및 계통해석 응용소프트웨어의 수행에 최적화된 구조를 가지도록 설계된 ACM(Application Common Model) 데이터베이스로 분류된다.

EMS에서 처리되는 데이터의 장기보관을 위해 Host와 별개의 서버에 상용 RDBMS 기반의 Historical 데이터베이스를 구성하여 Realtime 데이터베이스를 주기적으로 검색하여 자체 데이터베이스에 운영자료를 저장하도록 하였다.

#### (다) SCADA 기능

한국형EMS의 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 기능은 자료취득, 자료처리, 계통감시 및 원격제어로 구성되어 있다.

자료취득은 전력계통 운영의 기본이 되는 전력설비 운영자료를 자동으로 취득하는 기능이다. 전국 발전소, 변전소에 설치되어 있는 원격단말장치(RTU ; Remote Terminal Unit) 또는 전력관리처(RCC ; Regional Control Center) SCADA 시스템과의 데이터 연계를 통하여 주기적으로 데이터를 취득하며 취득 주기는 발전기 출력, 차단기 상태와 같은 주요 자료는 2초, 기타 자료는 용도에 따라 4초 또는 10초 주기로 취득한다. 자료취득을 위한 프로토콜은 RTU는 DNP, RCC는 ICCP를 적용하였다.

자료처리는 RTU 및 RCC를 통해 취득된 자료를

공학단위로 변환하고 데이터의 정상상태와 유효성을 검증하는 기능이다. 처리된 결과는 데이터의 신뢰성을 표시하는 Quality 플래그로 표시된다.

계통감시는 자료처리 과정을 통하여 변환된 자료를 기본으로 전력계통의 운영 상태를 감시하는 기능이다. Analog 자료는 단계별로 설정되어 있는 운영한계값과 비교하여 과부하 등의 운영 상태를 감시하고, 차단기와 단로기의 개방, 투입 자료를 바탕으로 전력설비의 연결 상태를 분석하여 계통분리, 전력설비의 운전 및 정지 상태를 감시하는 기능이다.

원격제어는 차단기 등의 전력설비를 원격단말장치 또는 현장 정보시스템을 통하여 원격으로 제어하거나 중앙급전 발전기를 자동발전제어 기능에서 산정한 출력 목표값을 기준으로 발전기 출력을 자동으로 제어하는 기능이다.

#### (라) 발전계획 응용프로그램

한국형EMS 발전계획 응용프로그램은 자동발전제어(AGC; Automatic Generation Control), 경제급전(ED; Economic Dispatch), 예비력감시(RC; Reserve Computations), 발전비용계산(PCM; Production Cost Monitor), 수요예측(LF; Load Forecasting), 최적조류계산(OPF; Optimal Power Flow), 안전 제약경계 급전(SCED; Security Constrained Economic Dispatch), 기동정지계획(UC; Unit Commitment), 안전도향상(SEN; Security Enhancement), 최적화급전계획(DOS; Dispatch Optimal Scheduling) 및 전력시장연계(MIS; Market Interface System) 등으로 구성된다.

자동발전제어(AGC; Automatic Generation Control)는 계통주파수를 목표주파수로 제어하기 위해 제어오차(ACE; Area Control Error)가 0이 되도록 각 발전기 출력을 2초~10초 주기로 자동 조

정하는 실시간 제어기능이다. 자동발전제어는 부하 추종 주파수제어(LFC; Load Frequency Control) 기능과 경제급전 실행주기 사이에 매 2초마다 실행되는 추종급전(TED; Tracking ED)으로 구성된다. LFC는 주파수 측정에 의한 ACE 계산 처리, 발전기 출력 목표값 산정 및 제어신호 전송 등을 수행하며 TED는 경제급전 실행 이후 AGC 실행시각까지의 부하 변동분( $\Delta MW$ )을 발전기별 경제급전 참여율에 따라 재배분하여 실시간 부하 경제배분을 도모한다.

경제급전(ED; Economic Dispatch)은 발전비용 최소화를 목적으로 발전기별 증분비용 및 송전손실을 고려하여 발전기별 경제적 배분값을 1분 주기로 계산한다. 다구간 선형 데이터로 구성된 증분비용곡선(ICC; Incremental Cost Curve)을 이용하는 등 증분연료비법에 의한 Lambda Iteration으로 발전기별 기준값과 경제급전 참여율을 계산한다.

예비력감시(RC; Reserve Computations)은 주파수조정예비력, 대기예비력 및 대체예비력 등의 예비력 종류별로 확보량을 실시간으로 계산하는 기능이며 발전비용계산(PCM; Production Cost Monitor)는 발전기별 연료비를 기반으로 각 발전기의 발전비용을 계산하는 기능으로 발전비용 차이, 발전원별 발전비용 등의 정보를 운영자에 제공한다.

수요예측(LF; Load Forecasting)은 기상실적, 5분 수요실적, 시간별 수요실적 등을 바탕으로 전력계통 부하의 5분예측, 30분예측, 일간예측, 주간예측을 수행한다. 예측의 정확도 향상을 위하여 전력수요와 기상자료의 민감도를 구하여 데이터베이스로 구축하여 과거 수요실적과 기상변수의 관련성을 분석하고 월별, 요일별, 주별, 특수일별 수요-기상 모형 테이블을 구축하여 수요예측에 반영하도록 하였다.

최적조류계산(OPF; Optimal Power Flow)은 운

영자가 정의하는 계통모델, 제어요소, 목적함수, 제약요소를 기반으로 전력계통을 해석하여 계통운영 한계값의 위반을 제거하거나 최소화하고 전력계통의 안정성을 향상시키며 유효전력 손실 최소화, 연료비용 최소화 및 다른 비용함수를 최소화하는 해를 생성하고 계통운영 상의 주요 제어 및 비용권고 사항 등을 제시하는 기능으로 해의 정확성을 위해 비선형계획법을 적용하였다.

안전 제약 경제급전(SCED; Security Constrained Economic Dispatch)은 상태추정 결과로부터 발전기 및 송전망 데이터를 수신하여 전력계통의 안전도 제약조건(송전제약, 발전기 운전제약 및 예비력 제약)을 고려하여 급전대상 발전기에 대한 경제급전 상, 하한값을 계산하여 경제급전(ED) 기능에 제공하는 기능이다.

기동정지계획(UC; Unit Commitment)은 예측수요, 발전기의 기술적 특성정보 및 제약조건(복상조류 한계 또는 수력기의 사용수량 제약 등)을 바탕으로 기동비용 및 연료비를 최소화하는 발전기 기동정지 계획을 작성하는 기능이다. 30분 단위 36시간의 일간 기동정지계획 및 1시간 단위 168시간의 주간 기동정지계획 작성이 가능하며 최적화 기법은 혼합정수법(MIP; Mixed Integer Programming)을 적용하였다.

안전도개선(SEN; Security Enhancement)은 송전선로 과부하 해소를 위한 발전기 출력 재배분 및 제어기기의 최적 설정치를 운영자에게 권고사항으로 제시하는 기능이다. 현재 계통 상태 및 상정고장계통의 예방을 고려한 해를 제공함으로써 급전원의 계통운영 능력을 향상시킬 수 있도록 지원하며 선로조류 및 전압제한값 등의 제약 위반사항을 제시(Security Assessment)하고, 위반사항을 정정할 수 있는 조치사항의 제시(Corrective Action) 및 안

전도를 고려한 최적 운영방안을 제시(Optimal Corrective Action)하게 된다.

최적화급전계획(DOS; Dispatch Optimal Scheduling)은 전력시장 참여자들로부터 제출된 발전 및 수요 입찰자료를 전력시장연계시스템으로부터 받아 전력계통 전체의 경제적 이득을 최적화하는 급전계획 및 예비력 급전계획을 수립하는 기능이다. 급전계획 수립을 위한 주요 데이터로는 입찰자료, 예측수요, 예비력 요구조건, 예비력 계약사항 및 가격, 계통데이터, 휴전계획, 상정고장목록 과 송전손실계수 등이다. 최적화급전계획은 비계약선행급전계획, 제약선행급전계획, 비계약5분급전계획 및 계약5분급전계획으로 구성되어 있다.

전력시장연계(MIS: Market Interface System)는 시장운영시스템의 발전입찰 및 발전기 기술적 특성자료 등을 한국형EMS에서 사용할 수 있는 데이터 형태로 변환하여 전달하거나, 한국형EMS의 급전계획 결과를 정보공개시스템에서 사용할 수 있는 데이터 형태로 변환하여 전달하는 등의 한국형EMS와 시장운영시스템 간의 데이터를 교환하는 기능을 수행한다.

#### (마) 전력계통해석 응용프로그램

한국형EMS 전력계통해석 응용프로그램은 토폴로지프로세서(TP; Topology Processor), 상태추정(SE; State Estimation), 급전원조류계산(DPF; Dispatcher Power Flow), 휴전계획(OS; Outage Scheduler), 상정사고해석(CA; Contingency Analysis), 전압계획(VS; Voltage Scheduler), 송전가능용량계산(TTC; Transmission Transfer Capability), 고장회로해석(SCA; Short Circuit Analysis), 송전선과부하해소(TLR; Transmission Loading Relief), PSS/E 인터페이스 등으로 구성

되어 있다.

토폴로지프로세서(TP; Topology Processor)는 발전, 변전소 개폐기(차단기 및 단로기)의 상태정보 취득데이터와 계통모델 데이터를 이용하여 실제계의 연결정보를 구성하는 기능으로 전력계통 설비모델링은 물리적 노드(Node) 기반으로 구성되어 있으나, 이를 계통해석에 적합한 전기적 모선(Bus) 기반으로 변경하게 된다.

상태추정(SE; State Estimation) 기능은 계통모델 데이터와 현장취득 데이터를 기반으로 취득값의 오류를 보정하고 누락된 데이터를 보완하여 전력계통의 모든 모선의 전압과 위상각, 전력설비의 부하, 발전력, 탭위치 및 조류를 계산하는 기능이다. 가중최소자승법(WLS; Weighted Least Squares)을 기반으로 상태 해를 추정하며 EMS 계통해석 기능의 근간(기준케이스)으로 상태추정 해의 정확도는 타 해석기능의 정확도에 직접적인 영향을 미치게 된다.

급전원조류계산(DPF; Dispatcher Power Flow)은 토폴로지, 부하, 발전력 등을 기반으로 임의 계통의 임의 조건하의 모선전압과 위상각, 부하, 발전력, 변압기 탭 위치, 송전선로 또는 변압기에 흐르는 전력의 상태(크기와 방향)를 계산하는 기능으로 계산 알고리즘은 Newton법을 적용하였다. 특정 시간에 주어진 조건에 대한 전력계통의 전압 및 조류를 계산하며 휴전 검토시에는 실제계통 상황이 반영된 상태 추정 결과를 이용하여 계통의 안전성을 검토할 수 있다.

휴전계획(OS; Outage Scheduler)은 전력계통의 안정적 운영에 영향을 미치는 주요 전력설비의 휴전계획을 종합적으로 관리하는 기능으로 신규 휴전계획 입력, 휴전정보 검색 및 수정, 휴전정보 Time Chart 보기, 월간 및 연간 통계 보기 등의 기능을 제공한다.

상정사고해석(CA; Contingency Analysis)은 주요 송전선로 등 전력설비의 고장을 상정하고 예상 고장발생시 타 모선, 선로, 변압기의 과부하, 저전압 등 이상 개소에 대한 정보를 실시간으로 제공하여 급전원이 예상되는 취약개소에 대한 사전대책을 강구할 수 있도록 지원하는 기능이다.

전압계획(VS; Voltage Scheduler)은 전력계통 운영시 공급전압이 기준치를 초과하거나 미달하는 모선의 전압을 보상하여 정격전압을 공급함으로써 전기품질을 향상시키고 전력손실을 최소화하고자 정격전압 유지를 위한 조상설비의 투입 및 개방, 동기조상기 운전량, 발전기 무효전력 출력, 변압기의 탭 위치 등을 계산하여 급전원에게 운영 권고안을 제시하고 무효전력 공급설비의 조작 횟수를 최소화하여 효율적인 설비운영 방안을 제시해 주는 기능이다.

송전가능용량계산(TTC; Transmission Transfer Capability)은 지역간 융통선로에 해당하는 주요 송전선로에 대해 상정사고를 가정한 최대 송전가능용량을 온라인으로 산정하는 기능으로, 계통의 안정적인 운영을 도모하기 위해 신뢰도 조건을 만족하도록 융통선로의 운전한계값을 제공한다.

고장회로해석(SCA; Short Circuit Analysis)은 단락고장 발생시 모선, 선로 등에서 고장전압과 고장전류를 계산하는 응용프로그램으로 휴전 검토회차단기의 차단용량 초과여부 산정 등에 활용한다.

송전선과부하해소(TLR; Transmission Loading Relief)는 실제 계통구성 조건하에서 상정고장에 따른 과부하나 전압위반을 해소할 수 없는 경우 관련 모선 연결 차단기나 선로, 부하 차단기를 개방하여 해를 구할 수 있도록 스위칭 시나리오를 권고하는 기능이다.

PSS/E 인터페이스 기능은 전력계통 분석을 위해 많이 사용되고 있는 PSS/E 프로그램과의 연계를 위

해서 EMS 데이터를 PSS/E에서 사용 가능한 형식으로 변환하여 제공하는 기능이다.

#### (바) 급전원훈련 시뮬레이터

급전원훈련 시뮬레이터(DTS; Dispatcher Training Simulator)는 EMS와 동일한 환경에서 계통운영 조작, 계통사고 모의 및 계통사고 복구 모의 기능을 제공한다. 특히 한국형EMS DTS에는 전력계통 안정도해석 기능으로 전압안정도 해석기능과 과도안정도 해석기능을 구비하였다.

## 4. 기대효과 및 활용 계획

한국형EMS 개발은 우리나라 전력계통 운영 실정에 맞는 시스템과 응용프로그램을, 우리의 독자적 기술로 개발하는 것을 목표로 하여 국내 최초이자 세계 5번째 국가로 에너지관리시스템을 개발하는 쾌거를 달성하였다.

이로 인한 기대효과로는 1,000여억원의 외화 지출을 방지함은 물론 아시아인에게 적합하고 유럽 및 북미계통에도 효과적인 파워포인트 형태의 일괄 인지가 가능한 그래픽과 시각화 기능 대폭 보강하여 고장 발생시 급전원이 순간적으로 이를 쉽게 인지할 수 있도록 구성하였으며, 스마트그리드 체제 구축시 이를 수용할 EMS의 첨단기능에 대한 수정, 보강, 개선은 물론 재편성이 가능하도록 핵심기술을 국산하였다는 것이다. 특히, 화면상의 한글 구현을 그래픽 처리하던 과거 선진국의 제작사 형태를 벗어나 한글 OS를 채택함으로써 한글화가 자연스럽게 해소되었다. 물론 외국에 수출할 경우에는 해당국의 언어를 가진 OS를 채택함으로써 자국의 언어가 자연스러운 형태로 표출될 수 있도록 구성하였다.

향후의 활용계획은 2010년 11월부터 전력거래소

후비급전소에서 기존의 EMS와 병행 운영을 하면서 실계통 적용을 위한 각종 파라미터 튜닝과 기능개선 작업이 수행되며 기존 EMS의 수명연한 도래에 따른 교체시점(2012년 예상)부터는 전력거래소 후비급전소의 후비EMS를 한국형EMS로 대체하여 운영할 계획이다.

지금은 전력산업 분야의 패러다임을 바꿀 수 있는 지능형 전력망(Smart Grid)이 적극 추진되고 있다. 지능형 전력망은 전력기술과 정보통신 기술을 융합해 전력시스템을 디지털화, 지능화하는 것으로 이를 통해 전기공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환하여 에너지 소비 효율을 최적화하게 된다. 한국형EMS 개발을 통해 축적된 기술은 지능형

전력망 체제에서도 적용이 가능하다. EMS의 실시간 대용량 자료취득 및 처리기술, 실시간 발전력 제어기술 및 실시간 전력계통해석 기술들은 지능형 전력망의 요소 기술로서 활용될 것이며 전기의 생산 즉, 발전에서 소비에 이르기까지 국가의 에너지 생산과 소비를 일목요연하게 알 수 있는 각종 정보에 부가가치를 더해 지식화할 수 있는 EMS는 국가의 에너지 생산과 소비에 대한 모든 정보가 집결되는 정보의 집합체로서 지능형 전력망의 최고 정점에 위치하게 된다. 한국형EMS 개발을 통해 향후 전개될 지능형 전력망 체제의 핵심 기반기술을 동시에 확보하게 되는 효과도 예상된다.