

# 에너지관리, 제어 시스템(EMS) 개발

이지영·최양석 /신철균/ 정해춘  
현대중공업 /컨설턴트/ 온타리오전력공사

## Development of Energy Management System

J.Y.Lee, Y.S.Choi /C.G.Shin/ H.C.Chung  
Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd. /Consultant/ Ontario Hydro Inc.

**Abstract** - 에너지관리, 제어 시스템(EMS)은 전력계통의 실시간 제어 및 총체적인 관리를 최적화하기 위하여 컴퓨터 및 통신 시스템으로 구축된 제어시스템이다. 본 EMS의 주요특성은, 첫째 상당히 빠른 속도로 발전되는 컴퓨터 및 통신 기술들을 수시로 수용할 수 있는 기능, 둘째 상대적으로 지속적이며 오래토록 사용되는 수학적인 알고리즘 및 Business Rule들을 처리하는 소프트웨어를 급변하는 Computing 환경에서 적용해 갈 수 있는 기능, 셋째 Heterogenous한 시스템에 접속시킬 수 있는 Database를 갖추었다. 끝으로, 대형 전력계통의 Modeling과 이에 부합하는 실시간 Data로 자동화된 전력계통 실시간 운영상의 결과들을 해석 및 검증하였다.

생산비용 절감, 3)운전 조건의 최적화, 4)설치된 기기의 유용성을 최대화. 이러한 효과를 감지하기 위하여 실시간 전력계통 적용시험을 하였다. 제3장에서는 실시간 시험대상 전력계통 설명, 또한 제4장에서는 실시간 시험결과를 해석하였다. 끝으로 제5장에서는 이 개발의 주요성과를 요약하였다.

이것은 EMS개발의 완료가 아니고, 분산개방형구조에 의한 단계적 개발에서 주요 기능들의 완성이다. 최고의 완성을 위해서 보다 더 많은 개발을 계속할 것이다.

### 1. 서론

EMS는 고도의 Algorithm, 소프트웨어 및 하드웨어 기술을 집약적으로 요하는 분야이다. 기술적으로 EMS는 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)에 Advanced 응용 소프트웨어를 부과하여 기존의 SCADA 기능을 대량 확장한 것이다.

컴퓨터 및 통신의 발전으로 90년대초부터 분산 개방형 EMS가 생기게 되었으며 그 기능들은 더욱 다양해지면서 기존의 기능 (전력시스템 운영의 안정성과 경제성을 위한 제어 및 관리) 이외에 Distribution Automation, Demand Side Management, Graphic Information System, Automatic Mapping과 Facility Management System, 전력공급 Bidding과 Trading 등이 개발되었고 이러한 기능들이 전력시스템에 활발히 이용되게 되었다. 근래에는 대전력회사 이외에 중, 소전력회사, IPP (Independent Power Producer; 민자발전), 와 Industry (산업, 공공, 소비) 전력시스템 운영자들도 경제성 및 안전성을 높이기 위하여 EMS를 도입하여 사용하고 있다. 전력시장 개방은 새로운 구조와 기능을 갖춘 EMS를 요구 한다. 제2장에서는 이러한 추이에 기초한 본 EMS구조, 개방형 Platform 및 Application에 대해 설명하였다.

EMS는 전력계통 급전소의 운전요원들에게 다음과 같은 기능을 제공한다. 1)계통감시 및 제어, 2)계통망 운영 및 관리, 3)안전성 해석 및 평가, 4)운전 계획, 5)경제운전, 6)계통해석, 7)부하관리, 8)발전 및 연료공급 계획, 9) 전력 매매, 10)에너지, 연료회계 및 가격, 11)시스템 성능 감시, 12)운전자 교육. 이러한 기능들을 효과적으로 전력계통 실시간 운전에서 적용함으로써 얻는 이득을 요약하면 다음과 같다. 1)안전성 및 신뢰도 향상, 2)운전 및

### 2. 현대중공업 EMS

본 EMS의 구조는 Client-Server Architecture에 기초한 분산형이며, Platform은 Object Oriented Programming Technique에 기초한 개방형으로 설계, 제작 되었다. 또한 시장경쟁의 원칙에 의해 변경하는 환경하에서도 적합한 전력계통 Application들을 개발하였다.

#### 2.1 EMS 구조

분산개방형으로 개발된 본 EMS의 구조 및 기능은 수요자의 필요에 따라 확장, 축소 혹은 변경을 수시로 처리할 수 있도록 Module화 되어 있다. 소프트웨어간의 Communication은 Hardware Location과 관계없이 이루어질 수 있다. 하지만 Software들이 기능에 따른 Group들로 이루어져야 하기 때문에 Configuration 종류나 구성은 한정될 수 있다. 이 Software Group들은 각기 다른 Hardware 혹은 몇 개씩 묶여 적은 수의 Hardware에서 운영될 수 있다. LAN (Local Area Network) 설계는 성능에 크게 좌우된다. 소규모 시스템은 모든 Hardware가 Single System LAN 으로 Communication할 수 있으며, 대규모 시스템은 여러개의 LAN들로 구성하여 특정한 기능의 Performance를 위해 전용 LAN으로 나누는 것이 필요하다. 현대중공업의 EMS 구조는 그림1에 요약되어 있다.

그림1을 설명하면 다음과 같다. Real-Time Node는 실시간 제어 Application들로 구성되어 있으며, Data Acquisition 및 전력 계통 Control Action들을 관리하는 기능이 있다. Data Link Node는 Inter Control Center, IPP 및 Regional SCADA 시스템과의Data 통신을 수행한다. Security Assessment Node는 Network Application들로 전력계통 상태 추정, 상정사고해석, 안정성 분석 등을 수행하고 있다. Supply Node는 발전 Scheduling, 부하 Forecasting 등의 역할을 담당하고 있

다. Spare Node는 Redundant Hardware로 다른 Node들의 사고에 대비한 것이다. Printer Terminal Node는 Peripheral Device Control을 위한 것이다. Historical Data Information Server는 Historical and Future Data를 관리하기 위한 것이다. Power System Database Node는 Relational Database를 운영 관리하기 위한 것이다. 특히 Data Validation기능과 Database Generation, Maintenance 및 Update를 자동적이며, 조직적으로 할 수 있는 기능이 있다. Study Node는 운영 요원들이 전력 계통상의 문제점을 조사하기 위해 Simulation하는 것이 있고, 문제가 복잡할 때는 Engineer Station으로 옮겨 조사케 한다. 이것은 On-Line Operation에 부담을 주지 않기 위한 조치이다. Development Node는 Engineer 혹은 Programmer들이 Software를 수정, 보완하는 작업을 수행한다.

## 2.2 EMS PLATFORM

본 논문에서 Platform은 실시간(Real Time) Database, Middleware(UNIX의 CORBA 혹은 NT의 DCOM)와 Graphic User Interface가 총체적으로 Integration되어진 것을 의미한다. 개념적으로 개방분산형 기술은 a)Portability (Migration from Platform to Platform), b)Scalability (Platform Upgrade), c)Expandability (Modular Additions), d) Interoperability(Interfacing with Other Programs), e)Compatibility (Release Upgrades), f)Consistency (User Interactions), g) Openness (Third Party Off-The-Shelf Products)를 갖춘 시스템이다. 하지만 EMS업체들의 산업경쟁성 때문에 개념적인 것을 충실히 구현하는 것은 현실성이 없으며, 업체마다 각기 그 충족조건 정도가 매우 다르다.

개방분산형 Software Architecture로 본 EMS Platform의 특성을 설명하겠다. EMS 기능들의 Algorithm 혹은 상업적인 업무를 실행하는 Software들은 FORTRAN으로 되어있으며 상대적으로 안정되어 있기 때문에, 급변하는 Software기술들을 수시로 수용할 수 있도록, 그림2에 보여지는것과 같이, C++로 만들어진 "Shell"을 통해서 Platform에 연결되었다. 그러므로 제3자 즉 다른업체들의 Product 또한 대학교 혹은 연구소들이 개발한 새로운 Algorithm들을 비교적 쉽게 Integration할 수 있으며 또한 Real-Time-Data와 연결을 할 수 있는 개방분산형 Platform을 갖추고 있다.

## 2.3 EMS APPLICATIONS

주요 Application들은 제3장에 소개하는 전력회사에서 현재 전력계통 운전에서 쓰이고 있는 Application들을 Migration한, 기능을 향상 Reengineering한 그리고 새로이 개발한 Application들이다. 이 논문에서 발표하는 주요 EMS Application들 중 개발이 진행중인 것들은 각기 다른 완성도를 가지고 있다.

### 2.3.1 AGC

AGC는 실시간 제어를 통해서 발전이 전기Quality를 유지하며 부하를 최대한 경제적으로 운전하게 하는 기능을 보유하고 있다. AGC의 기능을 요약하면 다음과 같다: a)SCADA를 통해서 실시간 Measurement들을 축적한다; b)축적된 Data로 Area Control Error(ACE)를 계산하는

데 ACE의 제어 Mode와 Performance Criteria를 감안한다; c) ACE Value와 발전기의 Mode에 따라 원하는 발전량을 계산한다; d)원하는 발전량은 Economic Dispatch (ED)에 의해 조절되거나 혹은 그대로 쓰여진다; e)원하는 발전량은 제어 Signal로 발전기의 발전량을 제어하게 된다; f)발전기와 전력계통의 예비율도 계산하며, 예비율 Monitoring을 하게 한다. AGC의 주요 Function들은 Load Frequency Control (LFC)과 Economic Dispatch (ED)이다. 대부분의 기능은 LFC가 수행하며, ED는 경제적으로 계산된 발전기준들과 Economic Participation Factor들을 제공한다. ED의 Performance를 향상하기 위하여 실시간 Transmission Loss Penalty Factor Calculation 결과를 수용할 수 있게 하였다.

### 2.3.2 STATE ESTIMATOR

상태추정은 전력계통 Model의 전압 및 위상을 Telemetered Measurement 및 Scheduled (Default와 Calculated) Data에 의해서 해석한다. 정확한 추정을 신속하게 해석하기 위해서 다음과 같은 기능들을 보유하고 있다. a)Measurement Processing은 여러 종류의 Measurement들의 Make-up과 Arrangement를 포함한다; b)Build Jacobian Matrixes에서는 Observability test 또한 Voltage와 Lambda 값의 초기화도 실행한다; c)Gain Matrix Build와 Factor; d)SE Equation 해석; e)Normalized Residuals에 의한 Anomaly Detection; 만약 Anomaly가 Detect되면 Process를 다시 진행하고, 그렇지 않을 경우 상태추정 결과를 산출한다. 실시간 전력계통 모니터링 Performance를 최대화하기 위하여 Decoupled Algorithm Version도 개발하였다.

### 2.3.3 OPTIMAL POWER FLOW

OPF는 전력계통의 Steady-State운전 상태를 주어진 조건하에서 해석하며 최적화한다. 최적화 Objective Function 선택여부에 따라 다음과 같은 기능들을 가질 수 있다: a)Dispatcher Power Flow: 최적화 Objective Function 없이 Non-Linear방정식들은 Full Newton-Raphson이나 Fast Decoupled Algorithm으로 해석한다; b)Security 최적화: 유효와 무효전력들의 안전성을 최적화한다. Linear방정식에 의한 최적화 Algorithm을 쓰며, 전력계통의 Non-Linear방정식은 DPF가 해석한다. 이 최적화 Objective를 Customize한 기능이 Security Constrained Dispatch이다; c)Cost 최적화: 유효전력 생산가를 최적화하며, 또한 무효전력의 안전성을 최적화한다. 주요 Algorithm은 Security 최적화와 유사하다; d)Loss 최적화: 최적화 Object은 전력계통 기기들의 손실을 최적화하는 것이다. Linear 혹은 Newton's Method에 기초한 최적화 Algorithm을 쓴다. 이 최적화 Objective를 Base한 기능이 Voltage Scheduler이다. 이렇듯, 전력계통운전의 필요에 따라, OPF의 Object Function을 Combine하여 혹은 DPF를 이용하여, 새로운 Application을 주문제작도 한다.

### 2.3.4 GENERATION SCHEDULING

발전 Schedule을 최적화하는 것은 발전생산 Cost를 최적화하게 되며 이는 상당한 경제적인 효과가 있기 때문에 중요한 기능이다. 주요 기능들은 다음과 같다: a)Unit Commitment: 이 기능은 Available한 발전기들이 언제

Start하고 언제 Shut Down할 것인가를 Dynamic Programming에 기초한 Algorithm으로 결정한다. 미래의 전력계통의 실지상황을 Outage Scheduler, Load Forecast 및 운용계획에 의지해야 되기 때문에 주요 Schedule를 168시간 (일주일)로 한정한다; b)Economy-A: 매 시간대의 발전 Schedule를 최적화하기 위한 기능이다. 해석은 UC Solution에 기초하며 에너지 Transaction을 최적화하는 방법에 따라 Economy-B, 혹은 Economy-C Program을 생성하여 전력계통 운용에 쓰여지게 할 수 있다; c)Load Forecast: 부화예측은 UC에 가장 중요한 input data이다. 부화예측에 주요 Parameter들은 기상, 계절, 요일이기에 최고 4년간의 Historical Data를 이용할 수 있게 제작되었다.

특히 전력시장 개방에 따라 Generation Scheduling에 대한 종래의 개념이 급속히 변화되어가고 있다는 점이다. 크게 GS를 중앙급전소에서 통합 운용하는 방법과 GS의 책임이 발전소에 분산이관하는 방법이다. 본 EMS는 이러한 환경에 적용가능케 설계되었다.

### 2.3.5 DISPATCHER TRAINING SIMULATOR

DTS는 급전요원들의 전력계통 운전교육을 주요 목적으로 한 Application이다. 실제 Simulation을 위해서 EMS의 전력계통 Model에 부하 Behavior와 발전기 Dynamics를 추가하여야 한다. DTS 운전은 다음과 같다: a)교육자와 피교육자의 Console들이 따로 있다; b)시간에 맞추어 Schedule된 Event를 전력계통에 발생시킴으로써 Disturbance상태를 생성한다; 끝으로 c)제어를 통해서 Disturbance상태를 벗어난다. DTS의 기능들은 다음과 같다:a)복합적인 교육자 및 피교육자의 Console 제공;b)Graphic User Interface는 EMS와 같음;c)주요 Database는 EMS와 같음; d)복합적인 Fault와 Outage의 Simulation가능; e)전압, 전류 및 기타 Reley 수용; f)AGC 및 SCADA는 EMS와 유사; g)시스템 Restoration기능; h)저주파시 Load Shedding 수행; 또한 i)Multiple Island 및 사외 AGC system작동이다.

### 3. 실시간 시험대상 전력 계통

북미에 주요 전력회사 중 하나인 한 전력회사의 자체 EMS개발과 공동으로 본 개발을 진행하였다. 이 전력공사는 80개의 발전소들과 대부분이 송전계통인 130,000KM의 송,배전선들을 중앙급전소에서 EMS로 제어, 관리하고 있다. 현재 북미의 모든 전력회사들은 서로간의 전기를 사고 파는 업무를 매시간 실행하고있으며, 이 업무를 성공적으로 수행키 위해서는 EMS가 아주 중요한 역할을 하고 있다. 개발한 EMS를 실시간 시험하기 위하여 이 전력회사가 매시간 전력계통 운전을 위해서 쓰는 전력계통 Model을 사용했다. 이 Model은 대략 1100개의 Bus로 구축되어 있으며 대부분 500KV와 230KV Bus들이나 일부 변압기의 저압Bus들이 포함되어 있다. 대략 Bus중 1/3은 External (사외의 Bus) Model이다. 이는 앞서 명시한 바와 같이 이웃 전력회사들과의 Interconnection을 유지하기 위해서는 반드시 필요하기 때문이며, Real-Time-Simulation을 위하여 고도의 기술로 Network Reduction한 Model이다. 반면 Internal (사내의Bus) Model은 최소한의 Network Reduction을 하였다.

### 4. 실시간 시험결과

실시간 시험을 현재 운전중인 전력계통에 방해를 주지 않으며, 수시로 반복하여 시험할 수 있도록 Scan Simulator를 제작하였다. 실시간 Data를 Scanning하여 대략 3시간 분량을 Scan Simulator에 저장했으며, 이 Data를 가지고 시험한 결과이다.

#### 4.1 AGC

AGC는 Closed-Loop제어 시스템이다. AGC 기능 및 성능은 Scan Simulator에 Data를 Scanning하는 같은 시간대에 현재 운전중인 AGC와 비교시험하였다.현 AGC보다 더 좋은 GUI로 운전에 기대된다.

#### 4.2 STATE ESTIMATOR

Internal과 External Bus를 포함한 현재 시스템의 실시간 전력계통 모니터링에 신뢰도는 99.96%이다. 오류지속 시간이 연간 5분이상은 1건도 없으며, 1-5분사이는 50건, 또한 0.08-1분은 150건이다. 또한, Telemetered Data와 상태추정결과 Data가 같은 화면에 10초 이내의 Data-Age로 작동됨이 확인되었다.

### 5. 결론

분산개방형 EMS의 Platform과 주요 EMS Application들을 Module별로 완성하였으며, 제4장에서 해석한 바와 같이 상당히 만족한 결과를 얻었다.

이 개발 Project가 달성한 주요 성과를 두가지로 분석해보겠다. 첫째, 실시간 Monitoring에서 Telemetered Data와 상태추정한 Data를 10초이내의 Data-Age로 한 화면에서 확인할 수 있게한 기능은 어느 기존의 EMS업체들도 제공하지 못하고 있는 기능임을 강조한다. 본 EMS는 분산개방형의 장점을 최대로 고려하여 개발한, Module별로 최상의 기능을 보유한 EMS임을 입증하였다. 둘째, 분산개방형 EMS를 개발하였다. 이 시스템은 a)단계적인 확장, b)Module별 기능 향상, c)복합적인 Hardware 및 Software의 공급처, 가격 및 성능 제공을 가능케 한다. 이로써 업체, 대학, 또한 연구소들의 무한경쟁을 유도할 것이다. 이러한 체제의 실질적인 출발점을 본 EMS개발 Project는 이루었다.

실시간 전력계통운전을 최적화하기 위한 특정 Application을 Upgrade나 Replace(구입 혹은 개발)를 수용할 수 있는 실용적이며 대규모 전력계통에서 실시간운전 적용시험으로 검증된 EMS이다.

### 참고 문헌

1. 이지영 외, EMS 개발 Project '제2차년도 보고서, 한국전력공사, 대전, 1997년 10월.
2. 이지영 외, 분산 개방형 EMS 설계, '97 대한전기학회 하계학술대회, 용평, 1997년 7월.
3. 이지영 외, EMS 개발 Project 제1차년도 보고서, 한국전력공사, 대전, 1996년 10월.

그림 1. EMS 구조

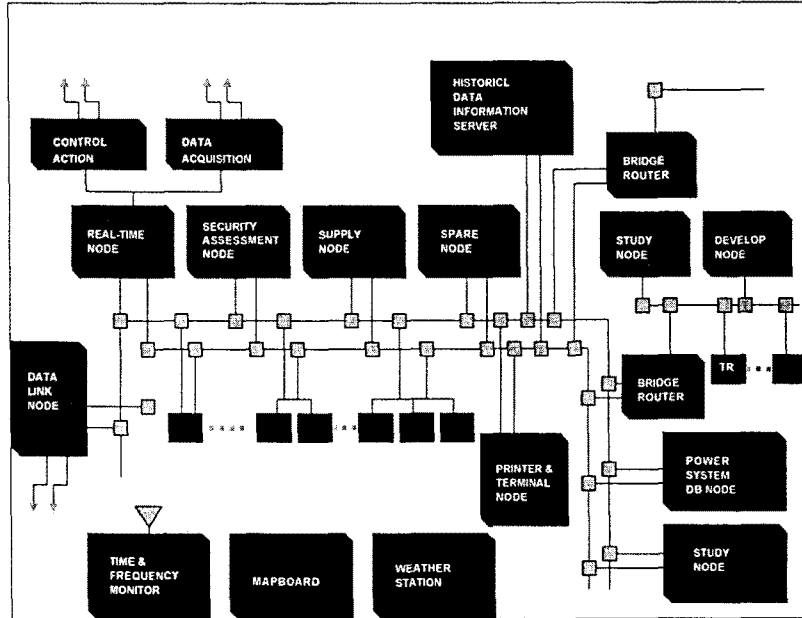


그림 2. EMS PLATFORM

