

전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발

박시우, 윤용범, 남재현, 안양근
전력연구원

Development of the Integrated System for Power System Operational Planning and Analysis

Si-Woo Park, Yong-Beum Yoon, Jae-Hyun Nam, Yang-Keun Ahn
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The main purpose of HITES(Highly Integrate Total Energy System) is to build and develop an integrated energy system for power system operational planning and analysis which consists of load forecast, economic generation schedule, stability analysis and relational database system. The integrated energy system can be utilized to supply a stable electric power and operate KEPCO power system facilities economically. This system will be put into operation in 1999.

This paper describes the main feature of the HITES, system main functions, numerical methods adopted this system, and network configuration.

1. 서 론

연간 약 2조원의 에너지 비용을 다루는 전력수급 및 운용업무는 전력사업의 주체인 한전의 경영과 정책방향 결정 뿐만 아니라 국가경제에 미치는 영향력이 대단히 크다. 이러한 전력수급 및 운용업무는 다양하고 복합적인 여러 가지 업무로 구성되어 있으며, 상호간에 매우 밀접하고 보완적 유기적 특성을 보유하고 있다. 그러나, 현재의 세분화된 전력수급 및 운용업무로는 비록 담당부서 상호간에 정보교환이 이루어지고 있다고 하여도 이를 종합화할 수 있는 소프트웨어가 없고, 공통으로 사용하는 종합 데이터베이스가 구축되지 못하여 종합적이고 체계적인 전력수급 및 운용을 기대할 수 없는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하고 전력수급 및 운용의 안정성과 경제성을 극대화시키기 위해 현재 일부 수작업에 의한 전력수급 업무를 전산화하고, 관련 업무수행을 위한 각종 소프트웨어를 개선, 종합화를 기하여, 전력수급계획과 계통운용해석을 포함한 전력수급 종합시스템을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 전력수급 종합시스템 구성

전력수급종합시스템(HITES : Highly Integrated Total Energy System)은 전력수급업무의 성격에 따라 수요예측, 전력수급계획, 계통운용해석, 종합데이터베이스의 4개의 시스템과 각 시스템별 수개의 단위 프로그램으로 구성된다. 각 시스템은 종합 데이터베이스 시스템을 중심으로 클라이언트/서버 구조로 구성되며, LAN을 통하여 데이터베이스를 공유하게 된다. 본 시스템은 관리 책임부서에 서버를 설치하고 클라이언트에 단위시스템의 응용프로그램을 탑재하여 해당부서에서 운용함으로써 업무효율을 높이며, 네트워크 환경을 이용하여 각종 시뮬레이션 결과를 교환하고 갱신한 자료를 서버에 구축할 수 있도록 설계되었다.

본 전력수급 종합시스템의 구조는 다음 그림1과 같다.

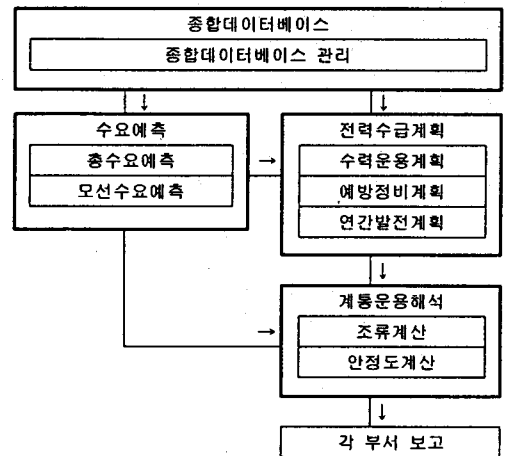


그림 1. 전력수급계획 종합시스템의 구조
Fig 1. Structure of HITES

2.2 단위 시스템별 기능

전력수급종합시스템은 앞서 기술된 4개의 시스템과 8. 개의 단위 프로그램으로 구성된다. 각각의 단위 프로그램들은 업무 성격에 따라 4개의 시스템으로 분류되어 각 시스템에서 운용되며, 각 시스템에는 다음과 같은 기능을 갖는 단위 프로그램이 설치된다.

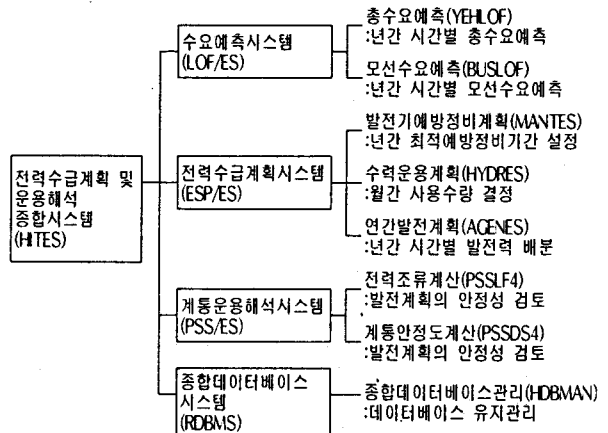


그림 2. 전력수급 종합시스템 단위프로그램 종류 및 역할
Fig 2. Summary of programs installed HITES

2.2.1 수요예측 시스템

수요예측 시스템(LOF/ES : Load Forecasting Engineering / Expert System)은 총수요예측(YEHLOF : Yearly Hourly Load Forecasting) 프로그램과 모선수

요예측(BUSLOF : Bus Load Forecasting) 프로그램으로 구성된다. 본 총수요예측 및 모선수요예측 프로그램은 시스템은 과거 수개월간의 시간별 수요를 연간기준이 되는 수요(연평균전력 : 8월 최대 3일 평균 또는 11월 수요)에 대한 상대계수로 정리한 것이며 2~3년후의 경제지표나 수요성장률이 주어질 때 년최대수요를 예측한 후, Top-Down 방식에 의해 월, 주, 평상일 및 특수일의 8760시간별 수요를 예측한다. 물론, 여기에는 과거의 평일, 휴일, 특수부하 및 하절기 온도특성이 반영된다.

2.2.2 전력수급계획 시스템

전력수급계획 시스템(ESP/ES : Energy Supply Planning Engineering/Expert System)은 발전기 예방정비계획(MANTES : Maintenance Scheduling), 수력운용계획(HYDRES : Hydro Energy Scheduling), 연간발전계획(AGENES : Annual Generating Energy Scheduling) 프로그램으로 구성된다. 수요예측시스템에 의해 연간 시간별 수요가 예측되면 발전기 예방정비계획 프로그램에 의해 공급예비율 평균화 또는 공급지장확률(LOLP : Loss of Load Probability)을 최소화하는 발전기 예방정비계획과 수력운용계획 프로그램에 의해 산출된 월간 계획사용수량으로부터, 연간발전계획 프로그램에 의해 시간대별 수요에 따른 적정예비력(온라인예비력)이 확보된 기동정지계획(Unit Commitment)과 이들 발전기 조합으로 배분된 경제발전계획이 작성됨으로서 EMS의 결과와 유사한 발전계획이 수립된다. 이와 같은 발전계획은 수력, 양수, LNG 등의 다양한 발전원의 에너지 제약 뿐만 아니라, 제주-해남간 HVDC 연계에 따른 송전선 조류한계도 고려된다.

2.2.3 계통운용해석 시스템

계통운용해석 시스템(PSS/ES : Power System Simulation Engineering/Expert System)은 전력조류계산(PSSLF4 : PSS Load Flow)와 계통안정도계산(PSSDS4 : PSS Dynamic Stability)로 구성된다. 본 시스템은 전술한 발전계획이 경제성 위주의 발전계획이 될 것이므로 전력계통운용상 안정도 제약조건을 위배하는 문제점이 발생할 수 있어 대전력계통의 안정운용상 저해요인이 된다. 이를 방지하기 위하여 현재 우리나라에 보급되어 있는 PSS/E 프로그램을 발전계획과 접목시켜 전력수급 종합시스템으로 종합화하게 된다.

2.2.4 종합 데이터베이스 시스템

종합 데이터베이스 시스템(RDBMS : Relational Data Base Management System)은 종합데이터베이스 관리(HDBMAN : Hites Data Base Manager)프로그램으로 구성된다. 전력수급 종합시스템은 각 시스템 및 단위 프로그램에 의해서 데이터를 공유하게 된다. 그러나, 각 프로그램에서 사용되는 데이터는 그 양이 매우 방대하므로 적절한 유지관리가 요구되며 또한, 데이터의 표준화, 공유성, 연계성, 보안이 필요하다. 이를 위하여 상용화된 관계형 데이터베이스 시스템을 이용하여 전력수급 종합 데이터베이스를 구성하였다.

2.3 주요 개발 내용

전력수급 종합시스템을 구성하는 각 단위프로그램에 적용된 알고리즘 과 종합시스템 네트워크 구성은 다음과 같다.

2.3.1 수요예측 시스템

가. 총수요예측(YEHLOF)
총수요예측은 전력수급계획에 있어서 최초단계로서 예측 정확도가 높고, 사용자가 이해하기 쉽도록 예측과정이 체계적이고 단순하여야 한다. 또한, 정확도 면에서는 예측대상기간의 평균예측오차보다도 최대수요가 일어

나는 시점의 예측오차를 감소시키는 것이 중요하기 때문에, 본 수요예측 시스템에 적용된 총수요예측 알고리즘은 이런 점에서 최대수요를 추정한 후, 이 값을 이용하여 하향전개(Top Down)해가는 절차로 연 8760시간의 수요를 예측하는 방식이다. 즉, 연 최대수요를 추정 또는, 사용자 선택에 따라 입력받은 후 월최대-주최대-일 최대 수요의 순으로 예측을 하며, 시간별 수요는 일 최대 수요와 미리 추정된 해당일의 일수요패턴을 이용하여 예측한다. 매 주간의 요일별 최대수요와 특수일의 최대수요는 평상일 대비 상대계수를 이용하여 추정을 하며, 평상일 대비 상대계수는 과거의 수요실적을 분석하여 산출하게 된다. 그림 3은 총수요예측프로그램의 화면에이다.

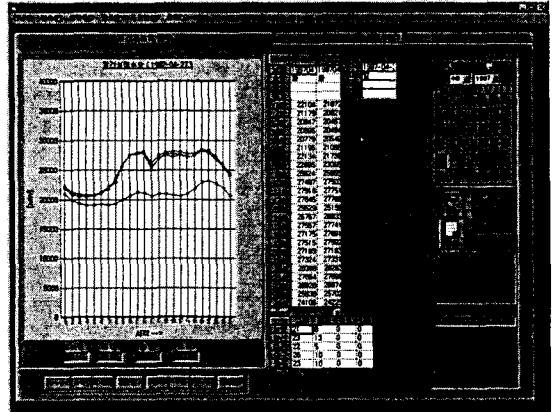


그림 3. 총수요예측 화면에
Fig 3. Example of YEHLOF

나. 모선수요예측(BUSLOF)

모선수요예측은 전력수급계획 후, 발전계획의 안정성 판별을 위해 조류계산에 입력될 모선별 부하를 예측하여 산출하는 것으로 총수요예측과의 체계성을 가질 수 있도록 모선수요실적 시계열을 이용하는 하향전개 접근방법을 채택하였다. 즉, 총수요예측에서 산출되는 해당시간의 총수요로부터 출발하여 지역 및 모선별 수요를 예측한다. 그림 4는 모선수요예측 프로그램의 화면에이다.

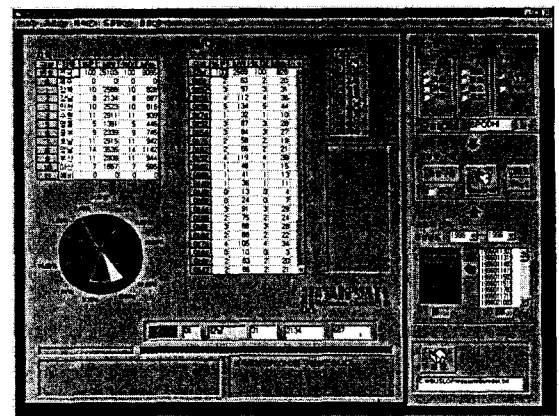


그림 4. 모선수요예측 화면에
Fig 4. Example of BUSLOF

2.3.2 전력수급계획 시스템

가. 발전기예방정비계획(MANTES)
발전기예방정비계획은 특정 연도에 있어서 각 발전기의 예방정비 시기 및 기간을 결정하는 것이다. 즉, 총수요예측으로부터 산출된 예측수요로부터 계획연간의 모든

기간에서 예비율을 평준화 또는 LOLP를 최소화 시키면서 적절한 예방정비를 통하여 결과적으로, 연간 총 발전비용의 감소에 목적을 두고 있다. 본 발전기 예방정비계획은 다변수 최적화문제(Multidimensional optimization problem)로서, 실제계의 경우, 그 대안의 수가 무한대에 이르므로, 기존의 정수계획법 또는 동적계획법의 적용은 불가능하다. 그러므로, 본 발전기 예방정비계획에서는 기존 방법에 비해 고속으로 해를 탐색할 수 있는 분지한정법(Branch and Bound method)과 다변수 벡터 최적화 기법인 변수완화법(Relaxation method)을 적용하였다. 또한, 발전연료비 및 LOLP 계산을 위한 등가부하지속곡선의 계산과정인 발전시물레이션의 수행에 있어서는 정밀도가 높은 푸리에법을 이용하였다. 그림 5는 발전기 예방정비계획 프로그램의 화면예이다.

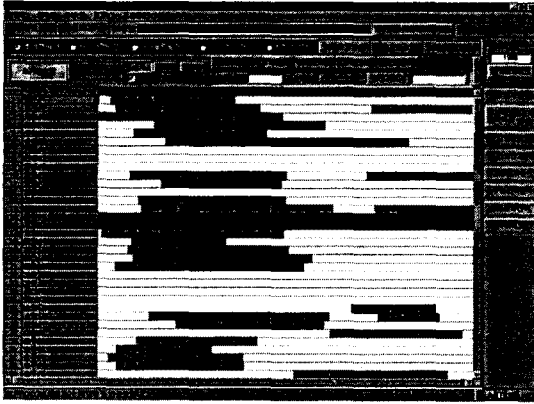


그림 5. 발전기 예방정비계획 화면예
Fig 5. Example of MANTES

나. 수력운용계획(HYDRES)

수력운용계획은 연간발전계획의 수화력협조시에 수력발전소별 월간 사용수량을 산출하는 프로그램이다. 수력운용계획은 과거 실적을 바탕으로 직렬 또는 병렬 유황곡선을 산출하여 5개 출수시점별로 사용수량을 산출하거나, 저수지식댐인 화천댐의 기준수위곡선(Rule Curve)을 산정한후, 각 댐별 제약조건(제한수위, 최대 방류량, 수위와 저수량과의 상관관계, 기준수위, 최대저장량 등)을 고려하여 화천 및 소양강 하류댐들의 사용수량을 결정할 수 있도록 하였다. 그림 6은 수력운용계획 프로그램의 화면예이다.

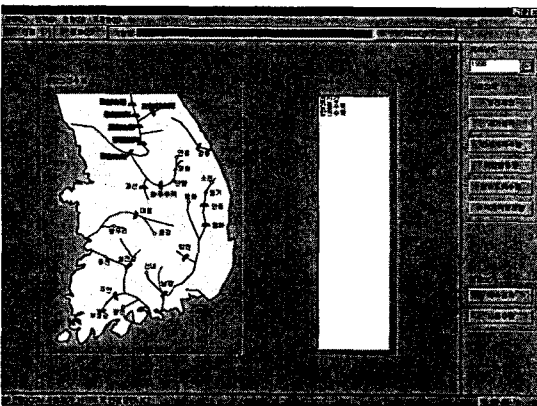


그림 6. 수력운용계획 화면예
Fig 6. Example of HYDRES

다. 연간발전계획(AGENES)

전력수급 종합시스템의 핵심 부분인 연간 발전계획은 수요예측시스템으로부터 산출된 총수요, 전력수급계획시스템으로 산출된 발전기별 예방정비기간, 수력발전소별 월간 사용수량을 입력으로 주어진 전원 설비로서 안정된 전력에너지를 최소의 비용으로 공급하도록 각 발전기별 발전계획을 산출하는 것이다. 본 연간발전계획은 기동정지계획, 경제급전계획 및 각종 제약조건을 고려하여 최적의 경제적인 출력을 결정함으로써 국가적인 에너지수급계획을 수립한다.

연간발전계획은 1년 즉, 8760시간별 발전기의 운전점을 결정하게 되는데 8760시간에 대한 일괄처리는 프로그램상 문제점이 많기 때문에 대안으로서 168시간을 기본계획으로 52주의 계획을 수립하게 된다.

연간발전계획의 기본단위인 주간단위 발전계획의 기본 알고리즘 흐름은 다음과 같다.

- ① 수력기 초기배분(Peak-Shaving 법)
- ② 화력기 기동정지(우선순위법)
- ③ 양수기 기동정지
(우선순위법 : 수급, 잉여, 경제양수로 구분)
- ④ 화력기 기동정지 수정
- ⑤ 수화력 배분($\lambda-\gamma$ 법)
- ⑥ 화력기 배분(λ 법)

그림 7은 연간발전계획 프로그램의 화면예이다.

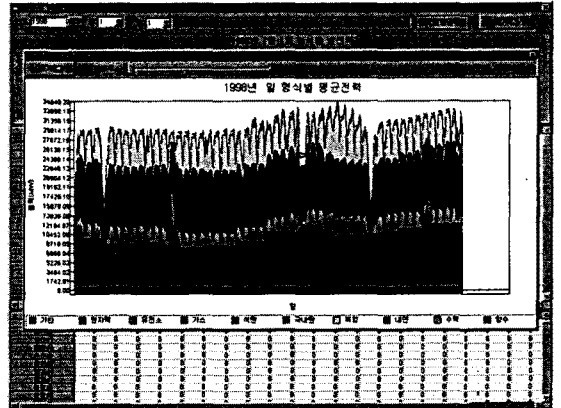


그림 7. 연간발전계획 화면예
Fig 7. Example of AGENES

2.3.3 계통운용해석 시스템

가. 전력조류계산(PSSLF4)

전력조류계산은 전력수급계획시스템의 연간발전계획으로부터 산출된 각 발전기별 시간별 발전량과 수요예측시스템의 모선수요예측으로부터 산출된 모선수요를 입력으로 PSS/E의 조류계산을 수행할 수 있는 입력데이터를 생성하는 기능을 갖는다. 이로부터 산출된 PSS/E 결과로부터 각 송전선 제약을 확인하여, 연간발전계획 결과의 적정성여부를 판정하게 된다. 또한, 본 프로그램은 이 기능 이외에 연간발전계획 결과로부터 송전손실이 발전비용에 미치는 영향을 표현해주는 페널티팩터(Penalty Factor) 계산기능을 포함하고 있으며, 이 결과는 연간발전계획에 피드백되거나, 송전선 제약조건을 위배하였을 경우, 제약조건 해소를 위한 발전력의 재조정 정보로 사용할 수 있다. 그림 8은 전력조류계산 프로그램의 화면예이다.

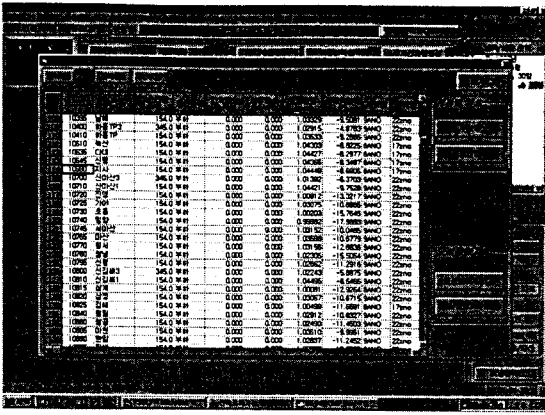


그림 8. 전력조류계산 화면예
Fig 8. Example of PSSLF4

나. 계통안정도계산(PSSDS4)

계통안정도계산 역시 전력조류계산과 마찬가지로, 각 모선에 연결된 발전기, 조속기, 여자기 등의 각종 데이터를 이용하여 PSS/E 안정도계산을 수행할 수 있는 입력 데이터 생성기능을 갖는다. 이로부터 산출된 PSS/E 결과로부터 발전기별 안정성여부를 판정하게 된다.

2.3.4 종합데이터베이스 시스템

전력수급 종합시스템의 기반이 되는 종합데이터베이스 시스템은 상용 데이터베이스 시스템인 오라클 데이터베이스를 사용하여 구성하였다. 종합데이터베이스 시스템을 관리하게 될 종합 데이터베이스 관리 프로그램은 전력수급종합 데이터베이스의 사용자 계정 관리, 자료관리, 데이터베이스 서버 유지관리, 백업 등의 기능을 수행하며, 부가기능으로서, 현재 사용자들의 작업여부 감시기능(Monitoring), 원활한 업무진행을 위한 게시판 관리 기능 등이 포함되어 있다. 그림 9는 종합데이터베이스 관리 프로그램(HDBMAN)의 화면예이다.

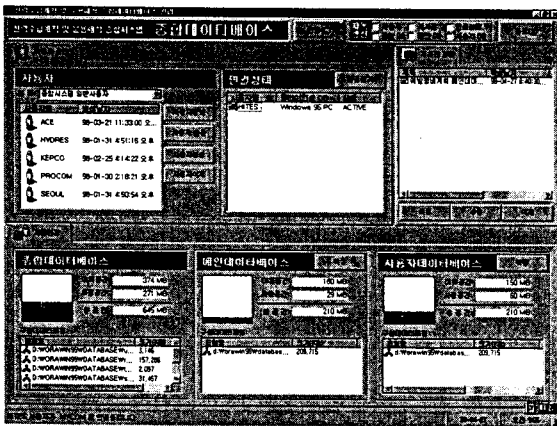


그림 9. 종합데이터베이스관리 화면예
Fig 9. Example of HDBMAN

2.3.5 전력수급 종합시스템 네트워크 및 클라이언트 서버 구조

가. 종합시스템 네트워크 구조

전력수급 종합시스템의 NOS(Network Operating System)는 Windows NT, 데이터베이스의 저장과 운용을 담당하는 DBMS(Data Base Management System)는 Oracle사의 Oracle7 Workgroup Server 7.3을 채택하였다. 각 단위 프로그램을 운용하는 클라이언트는 그 수가

많지 않고 트랜잭션 또한 적게 일어나므로 Unix를 기반으로 하지 않고 활용성이 좋은 Windows NT 기반의 클라이언트/서버 구조를 채택하였다. 따라서 전체 시스템의 네트워크는 Oracle Server에서 지원하는 네트워크구조로 설계하고 클라이언트의 운영체제는 Widnows 95를 사용하므로써 단위프로그램의 활용성 또한, 높일 수 있도록 하였다.

나. 종합시스템 클라이언트/서버 구조

전력수급 종합시스템은 원거리 데이터관리 모델을 갖는 클라이언트/서버 구조로 설계되었다. 즉, 입출력의 표준화, 공유성, 연계성, 보안, 유지관리를 고려하여 서버 상에 본 시스템의 기반인 종합데이터베이스가 존재하여, 각 단위 프로그램들은 독립적으로 자신의 기능을 수행하기 위하여 클라이언트 측에서 서버의 종합데이터베이스를 접근하는 방식으로 개발되었다.

그림 10은 종합시스템 네트워크 구성도이다.

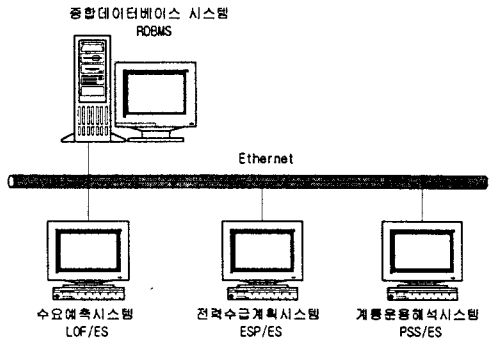


그림 10. 전력수급 종합시스템 네트워크 구성도
Fig 10. Network configuration of HITES

3. 결 론

본 연구는 전력사업의 기반이 되는 전력에너지 수급계획과 전력계통 운용해석을 종합화하고 전력공급의 안정과 전력설비의 경제적인 운용을 위하여 전력수요예측, 경제급전계획 및 전력계통 안정도 해석 프로그램을 종합 구축하려는데 목적이 있다. 전력수급 종합시스템은 이러한 목적을 충족시키고 전력수급 업무의 효율성을 높이기 위하여 중앙에서 관리되는 데이터베이스를 기반으로 클라이언트/서버 구조로 설계되었다. 본 시스템의 개발로 인하여, 전력수급업무의 신뢰성 및 신속성을 확보할 수 있으며, 전력계통의 경제적 운영 및 신뢰도 향상이 기대된다.

현재, 본 시스템은 실무부서에 설치되어 시험중이며, 1999년에 실무에 적용되어 운용될 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, "전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한 연구", 3차년도 중간보고서, '98.1
- [2] 추진부, 이철휴, 전동훈, 김성학, 윤상현, 김희철, "전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한 연구", '96대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.115~pp 118, '96.5
- [3] 추진부, 전동훈, 김성학, 윤상현, 김희철, "다양한 발전원 계통에서의 연간발전계획 전산화 시스템 개발(I)", '96대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 707~pp 710, '96.7
- [4] 추진부, 이철휴, 전동훈, 김성학, 황갑주, "연간수요예측시스템의 개발", '96대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 908~pp 911, '96.7
- [5] 안양근, 남재현, 전동훈, 박시우, "전력수급계획 및 운용해석 종합시스템을 위한 네트워크 및 데이터베이스 구조 설계에 관한 연구", '97대한전기학회 대전지부 학술대회 논문집, pp 64~pp 67, '97.11