

전력수급 종합시스템 현장적용

박시우, 윤용범, 남재현, 추진부
한전 전력연구원

최봉수, 이호상, 김준환, 류성호, 한승구, 백용기
한국전력공사

Implementation of Highly Integrated Total Energy System

Si-Woo Park, Yong-Beum Yoon, Jae-Hyun Nam, Jin-Boo Choo
Bong-Soo Choi, Hyo-Sang Lee, Joon-Hwan Kim, Sung-Ho Lyu, Seung-Goo Han, Woong-Korea Electric Power Research Institute, Korea Electric Power Corporation

Abstract - The main purpose of HITES(Highly Integrated 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 HITES can be utilized to supply a stable electric power and operate KEPCO's power system facilities economically. This system was put into operation in 1999.

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

1. 서 론

적정 전원개발에 의한 건설비용의 절감과 전원설비를 운용하는데 필요한 운전비용을 최적화 하는 것은 전력사업의 기본이 되고 있다. 따라서, 기 건설된 전원설비를 운용하기 위하여 안정성과 경제성을 고려한 전력수급계획을 작성한다는 것은 국가산업의 경제성장과 국제 경쟁력을 제고하는데 필수적인 과제가 되고 있다.

이를 위해 해외 전력회사에서는 장기 전력수급계획(10개년)을 8760시간 기준으로 연간발전계획을 수립하여 전원개발을 시도하고 있으며, 계통운용을 위한 단기(2~3년) 전력수급계획도 매년 8760시간 기준으로 모의계산 가능한 프로그램을 개발하여 국가차원에서 경제적인 에너지 운용계획을 수립하고 있다[1].

미국의 경우, 1970년대부터 POWRSYM이 개발되어 연간 수급계획을 모의계산 하여 왔으며 그후, WESCUGER와 같은 주간 수급계획 프로그램을 개발하여 주간발전계획의 최적화를 기함으로써 전력회사의 경영개선에 기여하고 있다[2~3]. 또한, 일본의 중부전력에서 개발된 단기(2~3년간) 전력수급계획은 상기 POWRSYM과 WESCUGER를 선별 채택하여 작성된 프로그램으로서 이 결과를 경영진과 대관청 보고용으로 사용하고 있다[4~5].

한편, 한전에서라도 매년 전력수급계획을 전산화하여 대관청 보고하고 있으나, 미국이나 일본과 같이 8760시간 기준으로 수행한 경제급전논리(ELD : Economic Load Dispatch)로 계산된 것이 아니고 발전기별로 이용률을 지정한 계산방법이므로 현재, 경제급전논리로 운전되고 있는 EMS 운전실적과는 편차가 발생되고 있다.

따라서, 우리 나라도 현재 사용중인 EMS 운전모드나 해외 전력회사와 같은 모의방법을 선별 채택하여 한전 고유의 전력제통에 적합한 전력수급 종합시스템을 개발하여 미래에 대한 합리적인 에너지계획을 수립하여야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고, 경제급전에 의해 개발되어 운용중인 전력수급 종합시스템의 구성, 설계, 알고리즘, 네트워크 등에 대하여 기술하였다

[6].

2. 본 론

2.1 전력수급 종합시스템의 구성

전력수급 종합시스템(HITES : Highly Integrated Total Energy System)은 전력수급업무의 성격에 따라 수요예측, 전력수급계획, 계통운용해석, 종합 데이터베이스의 4개 시스템과 각 시스템별 수 개의 단위 프로그램으로 구성된다. 각 시스템은 종합 데이터베이스 시스템을 중심으로 클라이언트/서버 구조로 구성되며, LAN을 통하여 중앙의 종합 데이터베이스를 공유하게 된다. 즉, 본 시스템은 관리 책임 부서에 데이터베이스 서버가 설치되며, 클라이언트에 단위시스템 및 해당 단위 프로그램들을 탑재하여 해당 업무 부서에서 운용함으로써 업무 효율을 높이며, 네트워크 환경을 이용하여 각종 시뮬레이션 결과를 교환하고, 갱신된 최신 자료를 서버의 데이터베이스에 구축할 수 있도록 구성되었다.

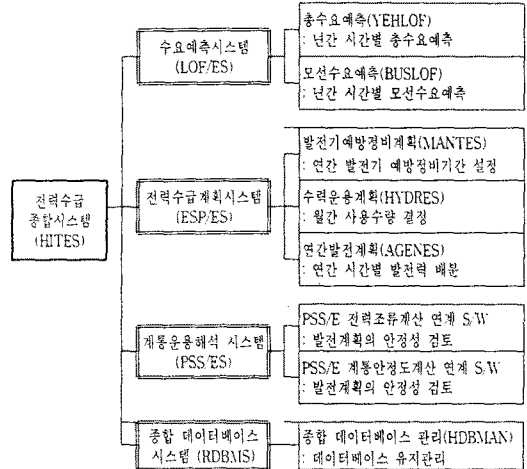


그림 1. 전력수급 종합시스템 구성

2.2 단위 시스템의 기능

2.2.1 수요예측 시스템(LOF/ES)

수요예측 시스템(LOF/ES : Load Forecasting Engineering/Expert System)은 연간 8760시간의 총수요를 예측하는 총수요예측(YEHLOF : Yearly Hourly Load Forecasting)과 연간 모선별 수요를 예측하는 모선수요예측(BUSLOF : Bus Load Forecasting) 프로그램으로 구성된다. 각 프로그램별 기능은 다음과 같다.

· 총수요예측(YEHLOF)

수급계획은 대상기간에 따라 연간계획, 월간계획, 주간계획, 일일계획 등으로 이루어지므로, 수요예측도 연간예측, 월간예측, 주간예측 및 일일예측으로 분류할 수 있다. 보통 일일~주간예측을 단기예측, 월~연간예측을 중기예측이라고 부르며, 대상기간이 10년 또는 그 이상이면 장기예측이라 부른다.

본 시스템의 단위 프로그램으로서 총수요예측 프로그램의 목적은 기본적으로 미래 3년간, 연 8760시간대의 발전단 총수요를 예측하는데 있다. 수급계획시 대상기간의 최소주기는 시간단위이며, 수요패턴이 하루(24시간)의 주기성을 가지므로 총수요예측은 연간 일부하곡선(365개 패턴)을 추정하는 것으로 요약할 수 있다.

본 총수요예측은 실용화를 전제로 개발하는 것이므로 예측과정이 체계적이고 단순하여야 한다. 또한, 정확도 면에서는 예측 대상기간의 평균예측오차는 물론, 최대수요가 일어나는 시점의 예측오차를 감소하는 것이 중요하다. 이런 점에서 총수요예측은 추정된 연최대수요를 이용하여 고찰구간으로 하향(Top-Down) 전개하여 가는 시계열 분석모형으로 연 8760시간의 수요를 예측한다. 구체적으로는 연최대수요를 추정(또는 입력)한 후 월최대~주최대-일최대 수요의 순으로 예측을 하며, 시간별 수요는 일최대수요와 미리 추정된 해당일의 일수요패턴모형을 이용하여 추정된다. 매 주간의 요일별 최대수요와 특수일의 최대수요는 평상일 대비 상대계수(Relative coefficients) 모형을 이용하여 추정을 하며, 평상일 대비 상대계수는 과거의 수요실적을 분석하여 계산한다.

다음 그림 2는 총수요예측을 수행하기 위해 과거실적으로부터 예측모형을 구성하는 흐름도이다.

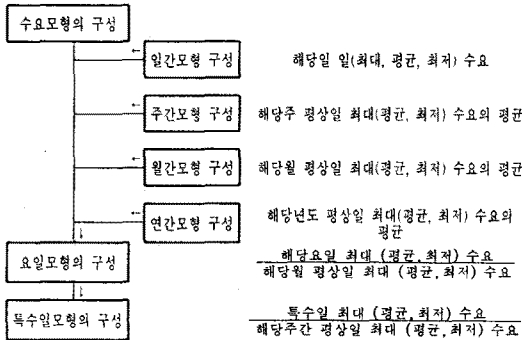


그림 2. 총수요예측 모형구성 흐름도

앞서 구성된 예측모형으로부터 총수요를 예측하기 위한 흐름도는 다음 그림 3과 같으며, 그림 4는 개발된 총수요예측 프로그램의 화면 예이다.

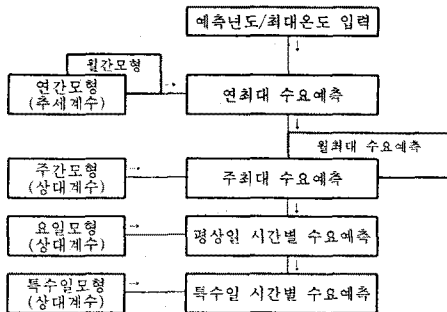


그림 3. 총수요예측 흐름도

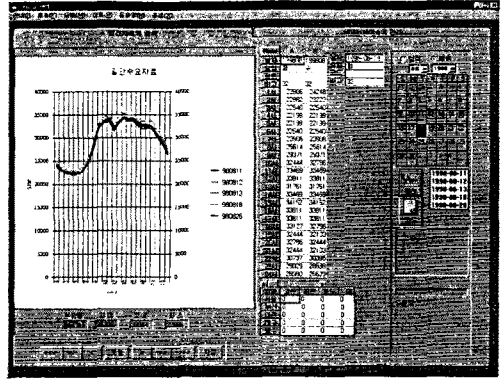


그림 4. 총수요예측 프로그램 화면 예 (일별 수요예측결과 검색 및 분석)

개발된 총수요예측 프로그램의 예측성능을 평가해 보기 위하여 최근 3년간의 수요실적자료를 대상으로 예측 정확도를 평가해 보았다. 평가를 위한 예측오차는 시간대별 예측오차 절대치의 합을 평균한 백분율 오차[%]로 정의하였다.

$$\text{예측오차율} = \frac{|\text{실적값} - \text{예측값}|}{\text{실적값}} \times 100[\%] \quad (1)$$

평가결과, 평상일은 2~3[%], 주말은 3~4[%], 특수일은 4~8[%]의 비교적 양호한 예측오차를 나타내었다. 표 1은 '95~'97년의 연평균 예측오차를 정리한 것이다.

표 1. 총수요예측 오차[%] ('95~'97)

년	평일		주말		특수일		일수	비고
	평균	최대	평균	최대	평균	최대		
95	2.69	3.08	3.33	3.50	4.59	4.63	175-134-56	33°C/28,436[MW]
96	2.58	3.03	3.71	3.46	4.27	4.06	169-142-55	33°C/31,769[MW]
97	2.45	2.51	4.02	3.63	7.66	6.90	160-134-71	32°C/34,208[MW]

· 모선수요예측(BUSLOF)

총수요예측에 의해 전력수급계획 시스템에서 산출되는 결과는 경제급전논리의 발전계획이므로 전력계통의 회로망 관점에서 안정성을 검토할 필요가 있다. 이를 위해, 모선수요예측에서는 계통해석용 PSS/E 프로그램에 모선수요를 제공하는 역할을 하게된다.

미래의 정밀한 모선수요예측을 위해서는 방대한 자료와 복잡한 모형이 요구될 수 있으나, 본 연구의 주요관심은 수급계획이며, 계획된 수급상황을 계통 회로망의 입장에서 검토한다는 점이므로 보다 적은 양의 자료로 손쉽게 모선수요를 예측할 수 있는 예측모형을 개발할 필요가 있다.

이런 배경에서, 모선수요예측도 총수요예측과 체계성을 가질 수 있도록 총수요예측결과와 모선수요실적 시계열을 이용하여 하향전개(Top-Down)하는 시계열 분석모형으로 예측한다. 즉, 대상 시간대의 시스템 총수요로부터 지역-모선수요의 순으로 예측수행하므로, 예측모형은 해당영역의 상위영역에 대한 구성비 계수의 형태를 가진다.

다음 그림 5는 모선수요예측을 수행하기전 모형구성을 위한 흐름도이다.

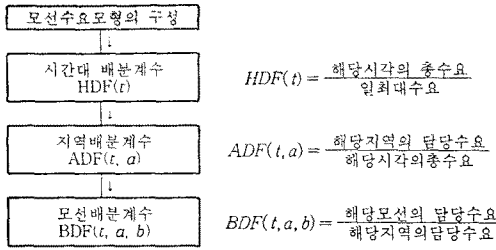


그림 5. 모선수요예측 모형구성 흐름도

앞서 구성된 예측모형을 이용하여 모선수요를 예측하기 위한 흐름도는 그림 6과 같으며, 그림 7은 개발된 모선수요예측 프로그램의 화면 예이다.

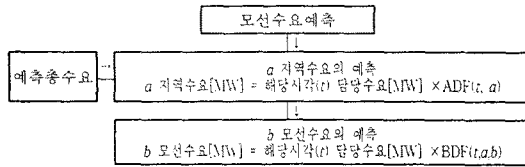


그림 6. 모선수요예측 흐름도

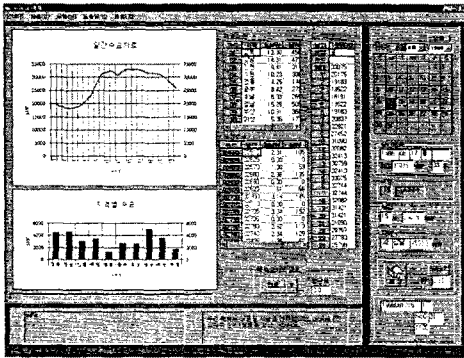


그림 7. 모선수요예측 프로그램 화면 예 (일의 날짜에 대한 모선수요예측)

개발된 모선수요예측 프로그램의 예측성능을 다음과 같이 평가하였다. 모선수요예측의 데이터베이스에는 과거 실적으로 '96년도의 대표적인 시간대의 자료가 구축되어 있으므로, '96년도의 실적자료로 예측모형을 구성하여 각 모선수요를 예측하였다. 그러나, 예측결과를 비교해야 할 모선별 시간대별 수요실적 위축이 쉽지 않으므로, 예측된 모선별 수요를 합한 총수요와 총수요예측 데이터베이스에 구축된 '96년도 총수요실적을 비교 분석하였으며, 이 때 예측오차는 다음 식과 같이 정의하였다.

$$\text{예측오차율} = \frac{|\text{실적값} - \text{예측값}|}{\text{실적값}} \times 100[\%] \quad (2)$$

평가결과, 평균예측오차는 10[%] 정도로 정상일은 5~10[%], 주말과 특수일은 10~20[%]의 예측오차를 나타내었다. 이러한 예측오차는 수요실적을 추가로 구축함에 따라 상당히 개선될 것으로 판단된다.

2.2.2 전력수급계획 시스템(ESP/ES)

전력수급계획 시스템(ESP/ES) : Energy Supply Planning Engineering/Expert System)은 발전기들의 예방정비계획 기간을 적절히 결정하여 연간 적정 공급예비

율이 확보되도록 하는 발전기 예방정비계획(MANTES : Generator Maintenance Scheduling), 수력발전소의 월간 사용수량을 예측하는 수력운용계획(HYDRES : Hydro Energy Scheduling), 시간대별 총수요에 따른 적정예비력이 확보된 기동정지계획(Unit Commitment)과 이들 발전기 조합으로 배분된 경제급전계획을 결정하는 연간발전계획(AGENES : Annual Generating Energy Scheduling) 프로그램으로 구성된다. 각 프로그램별 기능은 다음과 같다.

· 발전기 예방정비계획(MANTES)

연간 발전기의 예방정비계획이란 주어진 계획기간동안, 각종 제약조건을 만족하면서 각 발전기의 예방정비시기를 결정하는 다변수 최적화문제이다. 예방정비계획에서 이용되는 목적함수는 신뢰도 목적함수와 경제비용 목적함수가 있는데 일반적으로 경제비용(발전비용) 목적함수는 예방정비계획의 변동에 대한 민감도가 매우 적은 것으로 알려져 있어서 통상, 신뢰도 목적함수를 고려한다. 신뢰도 목적함수는 계통의 돌발적 상황(발전기의 고장정지 등)을 고려하는 확률적 신뢰도 목적함수와 그러한 상황을 고려치 않은 결정론적 신뢰도 목적함수로 구분되는데, 결정론적 신뢰도 지수를 이용하는 목적함수는 이해하기 쉽고 복잡한 확률적 시뮬레이션 과정을 거치지 않으므로 계산 시간이 상대적으로 빠르지만 전력계통의 확률적인 상황을 고려하기 힘들다는 단점이 있다. 반대로 확률적 지수를 이용하는 목적함수는 발전기의 고장정지율 같은 전력계통의 확률적 상황을 고려할 수 있지만 결정론적 지수를 이용한 목적함수에 비해 상대적으로 이해하기 어렵고 계산시간도 상대적으로 느리다. 근래에는 차원이 다른 여러 속성들을 함께 고려하는 다속성 목적함수에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 발전기 예방정비계획 프로그램에서는 다음 식(3), (4)와 같이 공급예비율의 분산값을 목적함수로 하여 공급예비율을 평활화하거나 연간 공급지장확률(LOLP : Loss of load probability)을 목적함수로 하여 발전기별 예방정비계획안을 탐색하는 기능이 있으며, 또한 결정된 예방정비안에 대하여 푸리에법에 의한 발전시뮬레이션을 통해 연간 확률적 발전연료비를 계산할 수 있는 기능이 포함되어 있다.

공급예비율 평활화

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J \left[\frac{1}{J} \sum_{k=1}^K \left(\frac{C_k - L_k}{L_k} \right) - \left(\frac{C_j - L_j}{L_j} \right) \right]^2 \quad (3)$$

여기서,

J : 검토기간 수 (365일)

C_j : j 일의 가용설비용량 (설비용량-예방정비용량-수위저하 등)

L_j : j 일의 최대수요

$$\frac{C_j - L_j}{L_j} : j \text{ 일의 공급예비율}$$

공급지장확률(LOLP) 최소화

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J \text{LOLP}_j \quad (4)$$

여기서,

J : 검토기간 수 (주간 : 52)

LOLP_j : j 주에서 각 대안의 LOLP 값

이와 같은 목적함수를 갖는 예방정비계획 문제의 해법으로는 정수계획법(Integer programming)[11], 동적계획법(Dynamic programming) 등이 있으나 실제 적용시에는 그 대안의 수가 무한대가 되어 적용이 매우 어려우므로, 이를 해결하기 위하여 연속 근사 동적계획법(Successive approximation dynamic programming)[12] 등과 같은 근사화된 최적화기법을 적용하여 준최적해를

도출하여 사용하고 있는 실정이다.

본 발전기 예방정비계획에서는 준최적해를 고속으로 탐색할 수 있는 분지한정법(Branch and bound method)에 다변수 벡터 최적화기법인 변수완화법(Relaxation method)을 포함시킨 변수완화 및 분지한정법을 적용하였다.

본 프로그램에 적용된 변수완화법은 빠른시간내에 준최적해를 근사적으로 구하는 경우 많이 사용되는 방법으로, 변수완화법에 대한 수학적 최적화 과정을 표시하면 다음과 같다. 목적함수가 Minimize $f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 로 주어졌다고 할 때, 풀이 과정은 일반적으로 다음과 같은 과정을 거친다.

- ① X_1 (혹은, X_1, X_2, \dots, X_k) 만큼의 변수는 풀어 놓고, 나머지 변수들은 일반적으로 초기치로 둔다.
- ② $f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 를 최적화하는 X_1 (혹은 X_1, X_2, \dots, X_k)의 값을 구한다.
- ③ 고정된 X_1^* 에 대하여 $f(X_1^*, X_2, \dots, X_N)$ 를 최적화하는 X_2 (혹은 X_2, X_3, \dots, X_{k+1})의 값을 구한다. 이때, 나머지 변수들은 일반적으로 초기치로 고정하여 둔다.
- ④ 모든 변수에 대하여 ①~③의 과정을 반복한다.
- ⑤ 주어진 반복계산 횟수만큼 ①~④의 과정을 반복한다.

위의 변수완화법에서 변수를 두 개 이상으로 풀어 놓을 때(즉, X_1, X_2, \dots, X_k), 효율적인 탐색을 위하여 본 프로그램에서는 분지한정법을 적용하였다. 이러한 변수완화 및 분지한정법은 이상적인 최적해를 찾는다는 보장은 없지만, 대규모 실계통 최적화 문제에서 국부 최적해를 빠른 시간안에 찾을 수 있는 장점이 있다. 변수완화법을 예방정비계획 문제에 적용하였을 때의 흐름도는 다음 그림 8과 같다.

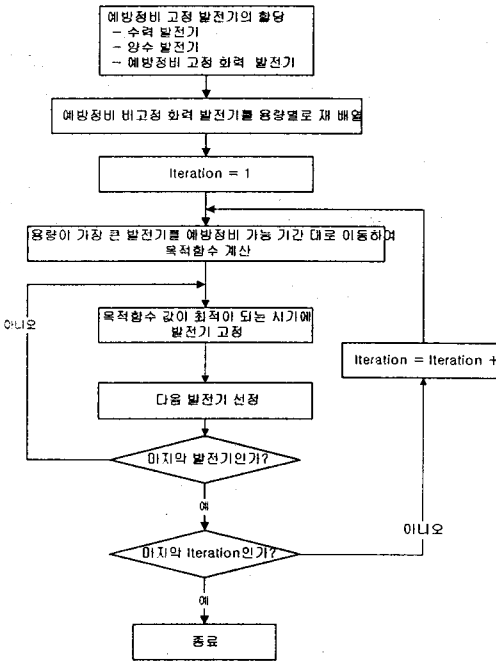


그림 8. 변수완화법에 의한 발전기 예방정비계획

다음 그림 9는 개발된 발전기 예방정비계획 프로그램의 화면 예이다.

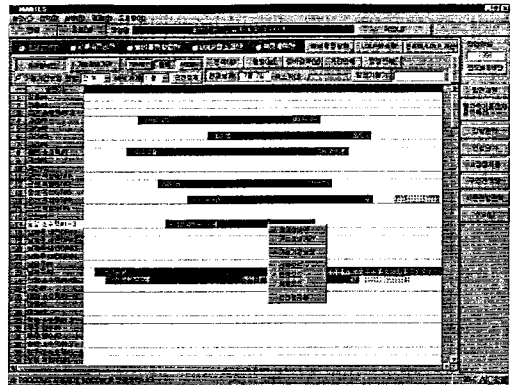


그림 9. 발전기 예방정비계획 화면 예 (예방정비 기간의 설정)

본 프로그램의 효용성을 검증하기 위해 1998년에 수립된 1999년 투용자용 예방정비안을 초기정비안으로 설정하고 이에 대하여 예방정비 가능기간을 임의로 확장하여 예비율평화안 및 LOLP최소화안을 제안된 알고리즘에 의해 수행 및 분석하였다.

예방정비 가능기간은 초기정비안의 기간이 15일 이하의 경우는 앞으로 15일 뒤로 한달, 15일 초과인 경우는 앞으로 한달 뒤로 두달로 가능기간을 확장하였으며, 또한, 수요는 연최대수요를 35273MW로 가정하여 총수요예측 프로그램에서 예측된 결과를 이용하였다. 가능정비기간 내에서 탐색되어진 예비율평화안과 초기정비안을 비교하면 표 2와 같이 예비율의 분산값이 감소됨을 확인할 수 있다.

표 2. 대안별 결과 비교

정비안	최대예비율	최소예비율	평균예비율	분산값
초기정비안	103.4	12.2	33.51	590.53
예비율평화안	99.7	13.9	33.78	556.01

또한, 초기정비안을 위와 같은 방법으로 예방정비 가능기간을 확장한 후, LOLP최소화안을 수행한 결과 초기정비안의 연간 LOLP값이 0.07057이었던 것에 비해 탐색된 LOLP최소화안의 연간 LOLP값은 0.0674로 감소됨을 확인할 수 있었다.

· 수력운용계획(HYDRES)

전력수급계획 중 수력운용계획의 목적은 주어진 전력수요에 대응하여, 제한된 수자원을 합리적으로 사용하여 전력의 안정공급과 경제적 운용을 도모하기 위한 것이다. 최근 우리 나라의 전력수요가 지속적으로 증가함에 따라서 전력계통 또한 대형화 및 복잡화 되어가고 있다. 그 중에서도 수화력 병용계통에 있어서 경제급전문제를 풀기 위해서는 γ 법, 경사법, 동적계획법 등이 사용되고 있는데, 이러한 수화력협조 문제를 풀기 위해서는 각 수력발전소별 사용수량을 제공해 주어야 한다. 본 수력운용계획은 일정기간(월단위)내 각 수력발전소 사용수량을 결정하고, 결정된 사용수량을 연간발전계획의 사용수량 제약으로 제공하여, 해당기간에서의 화력발전소의 연료비를 최소화하는데 그 목적이 있다.

본 수력운용계획에서의 월간 사용수량 산출방법은 과거실적으로부터 유황곡선을 산출하고 5개 출수시점별로 산출하는 통계적인 방법[13]과 한강 연접수계의 유입량, 사용수량, 방류량 등의 관계를 이용해 산출하는 방법의 두가지를 적용하였다. 통계적 산출방법은 과거 수 개년의 실적을 기준으로 산출하므로 그 산출결과가 매우 안

정적이거나, 계산시간이 상대적으로 오래 걸리며, 저수저식 법인 화천법의 수위운용을 위한 기준수위곡선(Rule curve), 한강수계 운용상 발생하는 제약조건 즉, 상수도 수질관리를 위한 팔당의 사용수량 평준화, 책임방류량 등의 제약을 고려하지 못하는 단점이 있다. 반면 한강 연접수계의 유량 관계를 이용해 산출하는 방법은 화천법의 기준수위곡선을 만족시키면서 하류법의 운용상 발생하는 다양한 제약조건을 고려할 수 있으며, 계산량이 통계적인 방법보다 상대적으로 적은 장점이 있다.

먼저, 과거실적으로부터 통계적인 방법으로 사용수량을 산출하는 방법은 다음과 같다. 병렬 사용수량 또는 유입량을 산출하기 위한 지표로는 출수시점을 사용하게 되는데 이것은 유황곡선을 작성하여 얻을 수 있다. 유황곡선에는 직렬(Series)유황곡선 및 병렬(Parallel)유황곡선이 있으며 직렬유황곡선은 특정 월에 대하여 N개년간 매일의 수량을 크기 순으로 나열한 곡선을 말하며 이 곡선으로부터 상위 5×N개를 평균하고 하위 5×N개를 평균하여 각각 q_{SH5} 와 q_{SL5} 를 구한다. 또한 병렬유황곡선은 특정 월에 대하여 한 해씩 크기 순으로 나열된 N개년의 N개 곡선들을 병렬로 배열하고 상위 5×N개를 평균하고 하위 5×N개를 평균하여 각각 q_{PH5} 와 q_{PL5} 를 구한다. 이를 도식적으로 나타내면 그림 10과 같이 나타낼 수 있다.

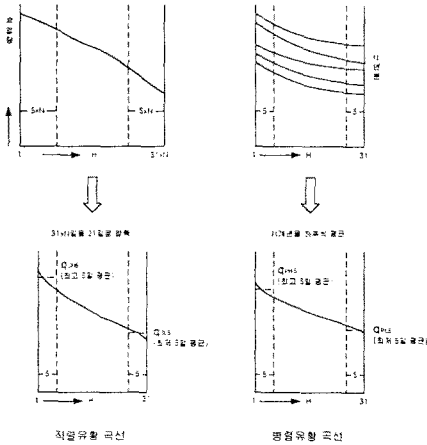


그림 10. 직렬과 병렬유황 곡선

이와 같이 직렬, 병렬 유황곡선으로부터 구한 수량들은 직렬 유황곡선의 경우 풍갈수가 극단으로 표현되는 경향이 있고 병렬 유황곡선의 경우는 풍갈수가 고르게 표현되는 경향이 있다. 따라서 이들의 관계는 일반적으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$q_{SH5} > q_{PH5} > \text{평균} > q_{PL5} > q_{SL5}$$

출수시점은 직렬 병렬 유황곡선을 바탕으로 5가지의 지표로 구할 수 있는데, 수량이 가장 많은 최풍수와 가장 적은 최갈수 사이에 풍수, 평균, 갈수를 두어 수량의 정도를 구한 것이다. 이에 대한 산출식은 표 3과 같다.

표 3. 출수시점별 수량의 계산

출수시점	산출식	비고
최풍수	$(q_{SH5} + q_{PH5})/2$	q_{SH5} : 직렬 유황곡선의 최고 5일 평균
풍수	q_{SH5}	q_{PH5} : 병렬 유황곡선의 최고 5일 평균
평균수	평균치	q_{SL5} : 직렬 유황곡선의 최저 5일 평균
갈수	q_{PH5}	q_{PL5} : 병렬 유황곡선의 최저 5일 평균
최갈수	$(q_{SL5} + q_{PL5})/2$	

단독수계의 수력발전소는 앞서 전술된 과거 사용수량 실적으로부터 유황곡선을 작성한 후 출수시점별 사용수량을 산출하여 사용하게 된다. 한강 연접수계의 경우에도 물론 통계적 산출방법을 사용할 수도 있으나, 화천법의 수위운용을 위한 기준수위곡선(Rule-curve), 팔당의 수질관리를 위한 연초 사용수량 평준화, 광역상수도 취수량, 책임방류량 등의 다양한 제약조건을 고려하기 위해서는 한강 연접수계의 병렬 유량관계를 이용하여 사용수량을 적절히 산출해야 한다. 그림 11은 한강 연접수계에서의 사용수량 계산 흐름도이며, 그림 12는 개발된 수력운용계획 프로그램의 화면 예이다.

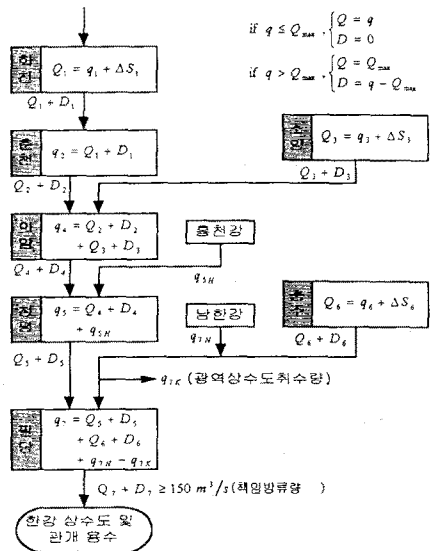


그림 11. 한강연접수계 법의 사용수량 계산 흐름도

표 4. 사용수량 계산을 위한 기호 정의

법명	유입량 [m³/sec]	수위 [m]	사용수량 [m³/sec]	수문 방류량 [m³/sec]
화천법	Q_1	H_1	Q_1	D_1
출천법	Q_2	H_2	Q_2	D_2
소양법	Q_3	H_3	Q_3	D_3
의암법	Q_4	H_4	Q_4	D_4
홍천장	Q_{SH}	-	-	-
정평법	Q_5	H_5	Q_5	D_5
중주법	Q_6	H_6	Q_6	D_6
남한강	Q_{7N}	-	-	-
광역 상수도 취수량	Q_{7C}	-	-	-
관당법	Q_7	H_7	Q_7	D_7

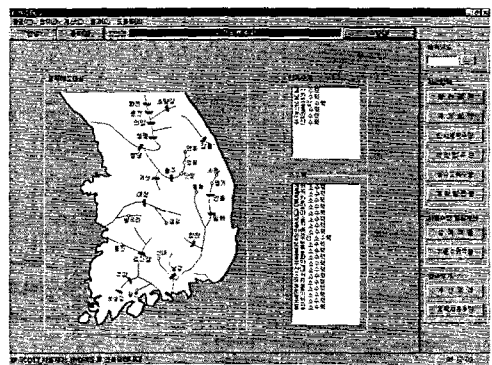


그림 12. 수력운용계획 프로그램 화면 예 (지도상의 수력발전소를 선택하여 사용수량계산)

다음 표 5, 6은 수력운용계획 프로그램을 이용하여 산출한 화천댐과 섬진강댐의 월별 사용수량을 “수력발전소 운용자료집(’96)”의 결과와 비교한 결과로 아주 적은 오차를 보여주고 있음을 알 수 있다.

표 5. 화천댐 월별 사용수량 비교(제3출수지점) [단위 : m³/sec]

사용수량	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
산정값		36.0	38.6	47.2	68.1	76.1	91.9	111.3	111.2	71.0	33.7	43.7	33.3	762.1
수력발전소 운용자료집		35.9	38.4	47.3	68.0	76.0	92.0	111.1	111.2	71.1	34.0	43.7	33.2	761.9
오차(%)		0.28	0.52	0.21	0.15	1.32	0.11	0.18	0	0.14	0.88	0	0.30	0.03

표 6. 섬진강댐 월별 사용수량 비교(제3출수지점) [단위 : m³/sec]

사용수량	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
산정값		4.0	2.7	4.2	18.9	20.6	14.2	11.7	17.4	14.4	9.6	6.1	6.6	130.4
수력발전소 운용자료집		3.5	2.7	4.2	19.0	20.4	14.4	11.8	17.4	14.4	9.6	6.1	6.6	130.1
오차(%)		14.3	0	0	0.53	0.98	1.39	0.85	0	0	0	0	0	0.23

· 연안발전계획(AGENES)

발전계획은 계획기간동안 적정예비력을 유지하면서 예측된 수요를 최소의 비용으로 공급할 수 있도록 각 발전기의 기동정지계획과 경제급전계획을 수립하는 것이다. 우리 나라의 전원설비를 살펴보면 수력, LNG, 국내탄 화력과 같이 에너지 사용량의 제약을 받는 발전기와 부하추중에 경직성을 갖는 원자력, 석탄 발전기 등 다양한 발전기로 구성되어 있다. 이러한 발전기의 다양성과 운전특성을 고려하면서 가장 안정적이고 경제적인 발전계획이 산출되어야 하며, 이를 바탕으로 하여 연료 수급계획을 작성하게 된다.

전력회사의 생산계획이라 할 수 있는 발전계획을 수립하기 위해서는 우선 각 발전기에 대한 연간 예방정비계획을 작성하게 된다. 예방정비계획에 따라 계통에 참여할 수 있는 발전기가 확정되면 전력수요를 충족하기 위한 발전기의 기동정지계획과 발전량 배분이 이루어지는데 이때의 의사결정기준은 일정한 공급신뢰도를 유지하면서 발전연료비의 합을 최소로 하는데 있다.

다음 단계로서 수요변화에 대응하여 발전기를 어떤 조합으로 발전에 참가시킬 것인가를 결정하는 기동정지계획(Unit commitment schedule)과 이에 따라 운전될 발전기별 출력을 어떻게 배분할 것인가를 결정하는 경제급전계획(Economic load dispatch schedule)의 과정이 수행되는데, 이러한 발전기의 기동정지계획의 의사결정은 발전기별 기동정지비용(Startup and shutdown cost)과 연료비용(Fuel cost)의 합인 운전유지비의 최소화해 있다.

개발된 연안발전계획은 기본 계산단위가 168시간의 주간계산을 기준으로 하여, 각 발전기별로 8760시간의 시간대별 발전량을 계산하는 형식으로, 연간 수요자료와 예방정비계획 및 수력기의 사용수량 등의 데이터를 타 시스템으로부터 제공받아 경제적인 연안발전계획을 산출하게 된다. 그림 13은 간략한 연안발전계획 흐름도이며, 블록별 개략적인 의미는 다음과 같다.

- 데이터 입력
 - DB로부터 연안발전계획에 필요한 입력데이터를 읽어 들인다.
- 입력데이터 오류 체크
 - 데이터의 미입력 항목이나 비합리적인 값들을 검색하고 메시지 출력
- 소수력 및 도서처리
 - 소수력, 열병합 발전소 열공급량, 도서, 수력발전소 조정지 출력 등은 고정발전력 처리.
- 연간자료의 주간 배분

그림 13. 연안발전계획 전체 흐름도

- 연간, 월간 자료로 주어지는 제약조건들을 주간단위로 적용가능 하도록 주별 배분
- 중간정비 및 사고정지 결정
 - 원자력처리, 정비일자 및 사고일자 지정
- 국내탄 처리
 - 발전기별 주간 책임사용량 결정
- 화력기 우선순위 결정
 - 화력기 우선순위 계산 및 결정
- 데이터 초기화
 - 주간단위 발전계획 수행을 위한 부하, 발전설비 등 주간 데이터 초기화
- 초기수력 배분
 - 피크-셰이빙법(Peak shaving method) 이용
- 화력기 기동정지
 - 화력 및 복합 발전기 기동정지 결정
- 국내탄 주별 처리
 - 국내탄 발전기 출력 결정
- 수력 재배분
 - 화력기의 발전비용이 높은 시간대부터 수력기 재배분
- 양수 처리
 - 양수발전소 출력 결정
- 결과 출력
 - 시간별 출력으로부터 월간 연료사용량 등 출력 생성 및 계산

그림 14는 개발된 연안발전계획 프로그램의 화면 예이다.

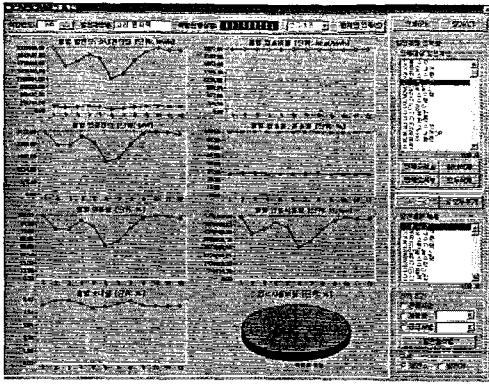


그림 14. 연간발전계획 프로그램 화면 예
(발전기/발전소별 월별 발전출력 그래프)

개발된 연간발전계획을 검증하기 위하여 '99년도 시행 계획 데이터를 이용하여 연간발전계획 프로그램을 수행 하였다. 그림 15는 3월 21일부터 3월 27일까지의 일주일 기간동안 발전원별 발전량을 나타낸 그래프로 각각의 발전원별 발전기들이 경제급전 원리에 의해 출력 배분이 되고 있음을 알 수 있다.

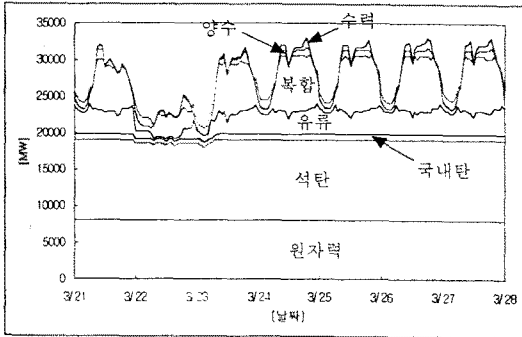


그림 15. 발전원별 발전량

2.2.3 계통운용해석 시스템

계통 운용 해석 시스템(PSS/ES : Power System Simulation Engineering/Expert System)은 상용화된 전력계통 해석용인 PSS E 프로그램과 이를 전력수급 종합 시스템과 연결 해주는 PSS E 연계 프로그램들로 구성된다.

· PSS/E 연계 S/W

전력수급 종합시스템에 의해 수립되는 연간발전계획은 경제급전 논리로 수립된 경제성 위주의 발전계획으로 전력계통 운용상 송전선 조류제한 또는 안정도조건을 위배하는 문제점이 발생할 수 있어 전력계통의 안정운용상 저해요인이 될 수 있다. 이를 방지하기 위하여 높은 신뢰성 및 안정성을 갖추고 있으며, 현재 한전에 많이 보급되어 있는 상용 PSS E(Power System Simulator for Engineering) 프로그램을 전력수급 종합시스템에 연계하여 수립된 연간발전계획의 안정성을 검토하게 된다.

PSS/E를 이용해 연간발전계획의 안정성을 검토하기 위해서는 그 결과를 운용자가 직접 PSS/E용 데이터파일로 작성해야만 한다. 그러나, 8760시간의 연간발전계획 결과 중에서 안정성 검토를 원하는 특정일 특정시간의 PSS/E용 입력데이터를 일일이 수작업으로 작성하여 조류계산, 안정도해석을 수행하는 것은 실제적으로 불가능

하기 때문에 발전계획의 결과를 원하는 PSS/E 입력데이터로 생성해주는 PSS/E 연계 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 PSS/E 조류계산을 위해 PSS/E 조류계산 입력데이터(선로정수, 부하모선의 유,무효전력, 발전모선의 발전량 등)를 생성해주는 PSS/E 조류계산 연계 프로그램과 안정도계산에 필요한 입력데이터(발전기, 여자기, 조속기, PSS 정수 등)를 생성해주는 PSS/E 안정도계산 연계 프로그램으로 구성된다.

그림 16, 17은 각각 PSS/E 조류계산연계, 안정도계산 연계 프로그램의 화면 예이다.

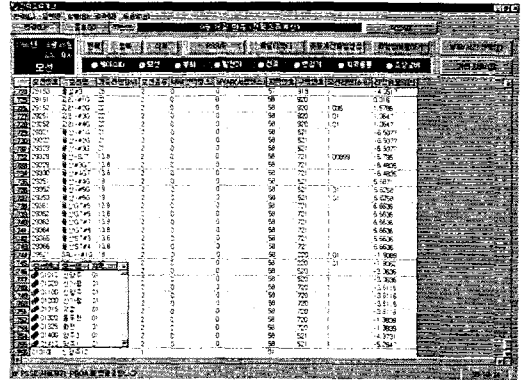


그림 16. PSS/E 조류계산연계 프로그램
(입력 데이터로 생성할 PSS/E 모션데이터 검색)

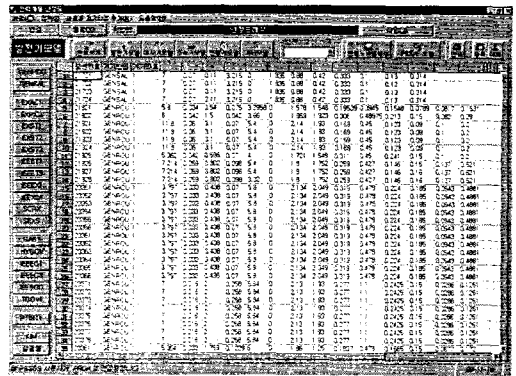


그림 17. PSS/E 안정도계산연계 프로그램
(입력 데이터로 생성할 PSS/E 발전기데이터 검색)

2.2.4 종합 데이터베이스 시스템

종합 데이터베이스 시스템(RDBMS : Relational Database Management System)은 종합 데이터베이스 관리 프로그램으로 구성된다.

· 종합 데이터베이스 관리(HDBMAN)

종합 데이터베이스 관리 프로그램은 운용자가 오라클 데이터베이스 시스템의 관리를 원활하게 사용할 수 있도록 개발된 프로그램으로 계정관리, 패스워드부여, 연결상태, 계서관리, 데이터베이스의 성장여부를 감시할 수 있도록 되어 있다. 또한, 본 시스템의 최초 설치시 손쉽게 데이터베이스를 구축할 수 있는 기능이 포함되어 있다. 그림 18은 종합 데이터베이스 관리 프로그램의 화면 예이다.

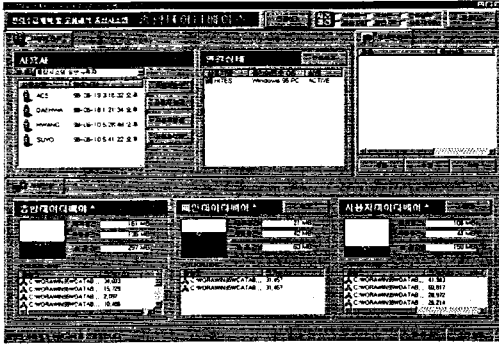


그림 18. 종합 데이터베이스 관리 프로그램 화면 예 (현재 사용자 및 데이터베이스 모니터링)

2.3 시스템 연계

앞서 기술된 각 시스템들은 종합 데이터베이스 시스템을 중심으로 각종 데이터를 서로 공유하게 된다. 예를 들면, 총수요예측 프로그램에서 산출된 시간별 예측총수요는 연간발전계획 프로그램 뿐만 아니라, 발전기 예방 정비계획 프로그램에 제공되어 그 결과로서 적정 예비율이 확보된 발전기 예방정비계획을 연간발전계획 프로그램에 제공하게되며, 수력운용계획 프로그램에서 산출되는 월간사용수량 또한, 연간발전계획에 제공되어 연간 시간대별 발전출력을 결정하게 되는 것이다. 이러한, 데이터 흐름을 기반으로 시스템 연계가 이루어지며 그림 19는 이러한 데이터의 흐름을 간략하게 표현한 것이다.

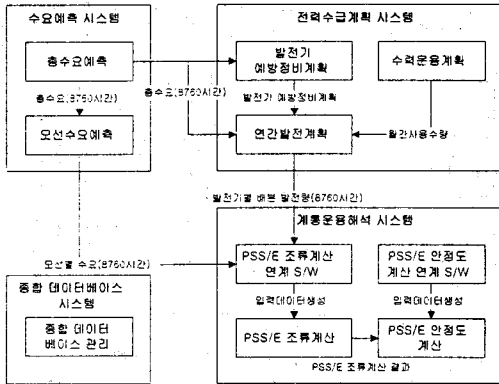


그림 19. 데이터 흐름도

2.4 네트워크 및 클라이언트/서버 구조

2.2.1 종합시스템 네트워크 구조

전력수급 종합시스템의 NOS(Network Operating System)는 Windows NT, 데이터베이스의 저장과 운용을 담당하는 DBMS(Database Management System)는 Oracle사의 Oracle7 Workgroup Server 7.3을 채택하였다. 각 단위 프로그램을 운영하는 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 네트워크 구조로 설계하고 클라이언트의 운영체제는 Windows 95를 사용함으로써 단위 프로그램의 활용성 또한, 높일 수 있도록 하였다.

2.2.2 종합시스템 클라이언트/서버 구조

전력수급 종합시스템은 원거리 데이터관리 모델을 갖는 클라이언트/서버 구조로 설계되었다. 즉, 입출력의 표준화, 공유성, 연계성, 보안, 유지관리를 고려하여 서버상에 본 시스템의 기반인 종합 데이터베이스가 존재하여, 각 단위 프로그램들은 독립적으로 자신의 기능을 수행하기 위하여 클라이언트 측에서 서버의 종합 데이터베이스를 접근하는 방식으로 개발되었다. 그림 20은 종합시스템 네트워크 구성도이다.

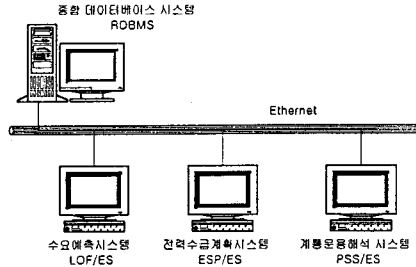


그림 20. 종합시스템 네트워크 구성도

3. 결 론

본 연구는 전력사업의 기본이 되는 전력에너지 수급계획과 전력계통 운용해석을 종합화하고 전력공급의 안정과 전력실비의 경제적인 운용을 위하여 전력수요예측, 경제발전계획 및 전력계통 안정도 해석 프로그램을 종합 구축하려는 데 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 운용 중이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 권태원, 이병하, 함만균, 이경재, "전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 설계에 관한 연구", 한국전력공사 기술연구원, 1993. 12
- [2] ABB, "Couger™ User's Manual Version 6.12", ABB Systems Control Energy Planning Center
- [3] 권영준, 최봉수, 유인우, 남재현, 이근준, "발전연료 계약을 고려한 주간발전계획 전산화 시스템 개발", 한국전력공사 계통운용처, 1991. 5
- [4] 土井 淳, 渡辺峰生, 福井伸太, 河野良之, "電力系統 運用 業務支援 システム", 三菱電機技報, Vol. 65, No. 3, 1991
- [5] 山田史朗, 村澤忠恒, 土井 淳, 井木和次, 熊野長次郎, "電力需給計劃 システムの 開發", 電氣學會 電力技術研究會資料, PE-92-139
- [6] 윤용범, 남재현, 박시우, 안양근, 정상진, 김정부, "전력수급 계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한 연구", 한국전력공사 전력연구원, 1998. 12
- [7] K. Y. Lee, Y. T. Cha and J. H. Park, "Short-term load forecasting using an artificial neural network", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 7, No. 1, pp.124-132, Feb. 1992
- [8] D. Srinivasan, C. S. Chang and A. C. Liew, "Demand forecasting using fuzzy neural computation with special emphasis on weekend and public holiday forecasting", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 10, No. 4, pp. 1897-1903, Nov. 1995
- [9] K. H. Kim, J. K. Park, K. J. Hwang and S. H. Kim, "Implementation of hybrid short-term load forecasting system using artificial neural networks and fuzzy expert

- systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 3, August 1995
- [10] "단기수요예측 전문가시스템 개발", 한국전력공사 계통운용처, No. 본사-93621, 1995
 - [11] J. F. Dopazo and H. M. Merrill, "Optimal generator maintenance scheduling using integer programming", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-94, No. 5, 1975. 9.
 - [12] H. H. Zurn and V. H. Quintana, "Generator maintenance scheduling via successive approximation dynamic programming", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-94, No. 2, 1975. 3
 - [13] 김영창, 정도영, 김종욱, 김광인, 김교홍, 오세일, 박종배, "일본의 전력공급계획 산정방법 해설", 한국전력공사, 전력경제처, 1994. 4
 - [14] X. Wang and J. R. McDonald, "Modern Power System Planning", McGraw-Hill Book Company. 1994
 - [15] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control", John Wiley & Sons, 1984