

# 다목적 저수지의 최적 운영을 위한 Hybrid 전문가시스템

심순보<sup>1)</sup>, 심규철<sup>2)</sup>, 고덕구<sup>3)</sup>, 김만식<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

다목적저수지의 역할은 풍부한 양의 수자원을 용수공급 및 전력공급을 할 뿐만아니라 다양한 물수요에 대처, 홍수조절, 내륙주운 그리고 위락시설 등을 제공하는 공공의 역할을 한다. 그러나 한정된 수자원을 잘 활용하기 위해서는 다목적저수지를 최적 운영할 수 있는 시스템 개발이 절실히 요구되고 있다.

이러한 개발 요구에 의해 훌륭한 모델을 개발했음에도 불구하고 사용자가 개발된 모델의 특성이나 성질을 파악하지 못하여 모델을 잘 운영하지 못하였다. 이 이유는 그 모델에 관련된 자료들을 조작·관리·유지하기가 어렵기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 모든 문제점을 해결하기 위한 Hybrid Expert System에 대하여 기술하였다.

## 2. 전문가시스템 이론

### 2.1. Expert System 의 정의

Expert System은 인공지능 기술에 의해 특정영역에 대한 인간의 전문지식 도출 기법을 응용하여 충고 또는 조언을 제공하기 위한 컴퓨터 시스템으로 정의할 수 있다. 전문가시스템은 문제점을 문제점을 해결하기 위한 과정을 기존의 축적된 자료(data), 사실(fact) 그리고 정보 등 지식기반(Knowledge Base)과 각종 모델을 통해 도출된 법칙기반(Rule Base)을 이용하여 제어할 수 있도록 개발된 시스템이다. 사용되는 지식은 경험적(Heuristic)인 성격을 가지며 알고리즘(Algorithmic)적 방법보다 적은 비용으로 빠르게 안정된 해를 제공한다.

Hybrid Expert System은 지식 또는 법칙의 표현기법을 최소화 한 Expert System의 한 분류로서 경험적(Heuristic)지식을 습득하기 위해 직접적인 방법으로 결론을 도출하는 것이 아니라 어떤 문제점을 탐색하고, 학습하고, 계산하고, 판단하는 과정이 반복된다. 이 개념들을 Fig.1.에 나타내었다.

- 1 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
- 2 미국 콜로라도주립대학교 대학원 토목공학과 박사과정
- 3 충북대학교 수자원·수질연구센터 연구조교수
- 4 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

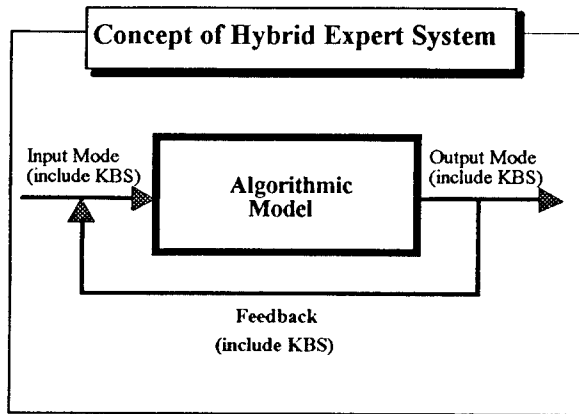


Fig. 1 The concept of the hybrid expert system

## 2.2. Hybrid Expert System 구성

이러한 특성을 가지는 Hybrid Expert System을 본 연구에서는 입력모듈, 출력모듈, feedback모듈과 알고리즘모듈, 이 네가지 모듈로 구성된다. 이 Hybrid Expert System에서 입력모듈에 있는 다이얼로그모듈에는 질의와 응답모듈로 운영되고 각 알고리즘 모듈의 입력자료 화일을 선택하여 update 할 수 있다. 출력모듈에서는 Graphical Display System을 통해 분석결과를 제시함으로써 의사결정 도구의 역할을 한다. 실제로, feedback과정에서 사용자는 경험적(Heuristic) 지식에 의해 결과를 판단할 수 있다. 이러한 추론과정을 통해 Dynamic Program 인 CSUDP모델의 목적 함수에 대한 최적해를 구하여 최적 운영규칙을 결정할 수 있다. 이 최적 운영규칙은 Heuristic 지식기반으로 구축되고, 다른 대상과 어드레싱에 의해 운영규칙을 수정할 수 있다. 저수지 최적운영 규칙을 구하는 과정을 Fig.2.에 나타내었다.

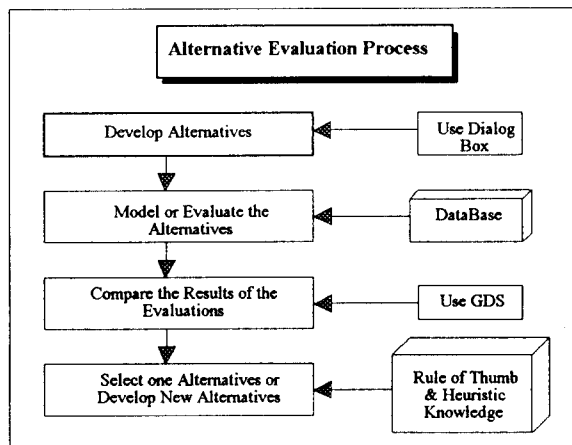


Fig. 2 Alternative evaluation process for a reservoir operation rule

### 3. 저수지 운영을 위한 Hybrid Expert System 개발

#### 3.1. 알고리즘 모델

CJDP모델 : CSUDP모델로 구성된 충주저수지의 최적화 실행파일

SODP모델 : CSUDP모델로 구성된 소양저수지의 최적화 실행파일

SOCJDP모델 : CSUDP모델로 구성된 소양 및 충주저수지의 연계운영을 위한  
최적화 실행파일

실행하는데 필요한 각 DP모델에 입력파일은 다음과 같다.

filename.dat : 각 DP 모델의 ASCII 입력파일로서 CSUDP모델에 필요한 상태변수와 결정변수의 범위 등을 포함한 DP모델을 운영하는데 필요한 모든 입력자료.

filename.add : 각 DP 모델의 ASCII 입력파일로서 각 시스템의 물리적 정보, 즉 유입량, 발전량, 시간 등이 포함되어 있다.

DP 모델로 부터 생성된 출력파일은 다음과 같다..

filename.out : CSUDP 모델의 출력형태로 저장된 ASCII 파일로서 DP문제의 최적해에 대한 정보가 있다.

filemane.res : 사용자에게 의해 개발되어 전형적인 출력형태로 표현된 각 시스템의 최적운영정보가 포함되어 있는 각 DP 모델의 ASCII 파일.

이 파일은 첫번째로 계산하기 위해 사용하고, 두번째로 각 시스템의 시나리오를 선택한다.

#### 3.2. 지식기반 구축

본 논문에서는 저수지 최적운영의 지식기반을 구축하기 위해 시뮬레이션모델을 사용하여 최적운영 규칙을 도출하여 최적운영 지식기반을 구축한다. 이것은 곧 경험적 규칙들로서 경험적(Heuristic) 지식기반을 구축할 수 있다. 저수지 최적운영에서 가장 중요한 문제를 찾기위해 최적화 알고리즘을 사용하면 어떠한 경우라도 규

칙을 얻을 수 있다. 예를들어, 제일 중요한 것이 최소 하류방류량이라면 시뮬레이션 모델의 최적해를 사용하여 운영규칙(방류 또는 저류)을 구할 수 있고, 최적 운영지식을 획득한 후에 지식기반의 규칙으로 사용한다. 사용자가 이상적인 요구량(최소방류량)이 90%가 안전하다고 판단한다면 지식기반의 규칙으로 찾을 수 있다. 추론과정을 통하여 시뮬레이션모델의 목적함수에 대한 최적해를 구하여 최적 운영규칙(저류/방류)을 결정할 수 있다. 이 최적운영규칙으로 지식기반을 구축할 수 있으며, 다른 대상과 연결되어 운영규칙을 수정할 수 있다. 전형적인 판단규칙은 :

If month is = October, and  
 minimum downstream flow is =350 MCM, and  
 required power generation hour of main Dam is = 2.6 Hr, and  
 required power generation hour of R/R Dam is = 24 Hr, and  
 initial storage of the main Dam is = 2134 MCM, and  
 final storage of the main Dam is = 1900 MCM, and  
 pattern of inflow is = Wet Flow, and  
 Shortage = 0.0  
 Then Release is =343.5 MCM

위의 규칙과 같이 유입량패턴과 부족량을 구할 수 있다. Table.2.에는 유입량 패턴에 따른 방류량을 나타내었다.

TABLE 2  
 RELEASE DEPENDS ON THE INFLOWS ANS OTHER CONDITIONS

Inflow Type	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Wet	328.6	344.9	334.5	201.9	578.6	1071.	1840.	1024.	946.6	343.5	353.0	689.2
Avg	357.1	346.0	300.9	359.8	376.8	342.9	424.4	1511.	110.5	288.0	319.1	344.5
Dry	261.6	249.0	251.8	256.8	257.5	242.1	196.5	84.0	228.9	249.1	251.1	255.3
P=0.990	317.5	336.6	292.9	285.2	328.6	313.4	148.5	256.3	115.5	119.5	150.9	164.9
P=0.975	352.4	308.8	299.2	306.0	338.7	341.8	288.4	270.2	143.7	129.4	151.0	156.7
P=0.950	354.4	1229.	46.0	198.7	185.1	183.2	174.2	186.5	106.7	216.3	202.7	221.6
P=0.900	279.1	336.3	293.4	305.3	353.5	338.6	384.8	243.0	208.7	213.6	224.7	236.7
P=0.800	353.9	364.8	353.3	350.8	262.3	369.0	960.6	196.2	209.5	203.9	214.8	211.7
P=0.700	348.2	318.4	349.2	253.3	249.7	290.9	212.6	379.0	484.6	247.9	313.5	368.6
P=0.600	363.8	361.9	339.3	349.5	353.0	348.9	629.2	604.1	590.2	283.8	308.6	315.3
P=0.500	309.0	312.6	308.3	317.0	331.0	318.8	623.5	574.2	597.3	312.6	332.6	355.3

### 3.3. GUI 구축

#### 3.3.1. 각종 Module

HES.WB1 : QuattroPro 윈도우 버전 5.0 으로 프로그래밍한 Graphical User Interface 로서 25 페이지, 그래픽, 초기메뉴시스템, GDS, User Interface Dialog Box들로 구성되어 있다.

HES 프로그램의 주 메뉴시스템 구조는 Fig.3에 나타내었다.

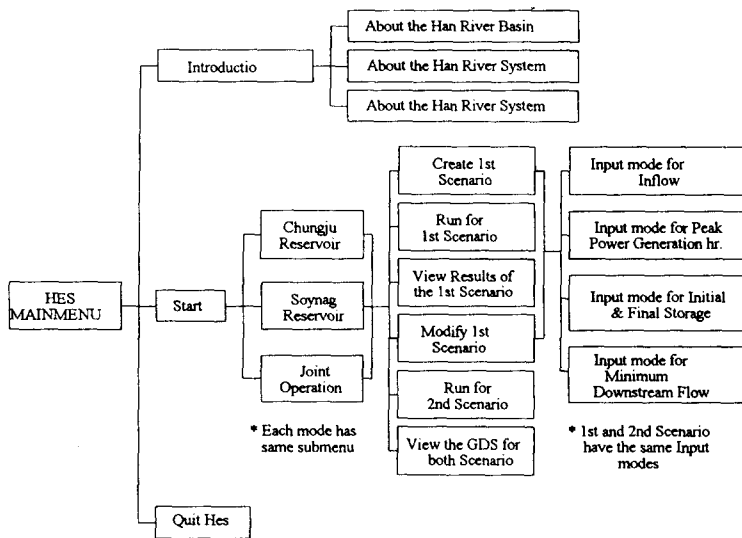


Fig. 3 Structure of the Graphical User Interface Menu System

GUI에서는 DP 모델에서 나온 결과를 그래프로 나타내 준다. 각 모델으로 부터 INFLOW, STORAGE, WATER LEVEL, ENERGY GENERATION, RELEASE, TARGET & SHORTAGES, FIRM POWER, FIRM WATER, AND FIRM ENERGY 를 그래프로 나타낸다. 저수지시스템의 GUI에 주 메뉴의 화면은 Fig.4에 나타내었다.

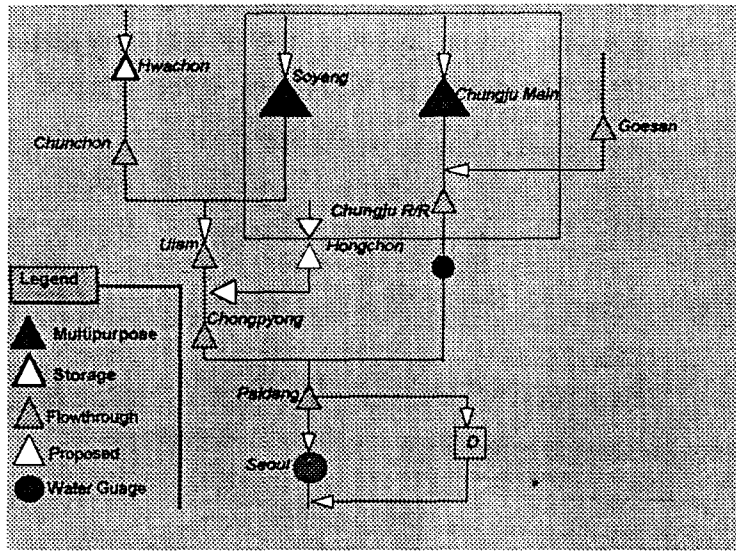


Fig. 4 HES Main Menu

### 3.3.2. Feedback 모듈

어떤 문제를 해결하기 위한 추론과정을 통해 성공 및 실패했다는 것을 알때까지 순환적 전진 또는 후진 연결과정을 통하여 증가된 지식을 해당 영역의 지식 또는 규칙에 있는 변수들과 비교 일치됨을 탐색하여 기준에 만족하는 것을 선택함으로써 결정된다. 전형적으로 추론과정은 사용자와 대화를 통하여 규칙의 연결과정을 완성하기 위해 필요한 입력 파라메타를 제공받으면서 수행된다.

## 4. 적 용

본 연구에서 개발된 Hybrid Expert System을 검증하고 보정하기 위해 적용대상 저수지는 한강유역의 충주와 소양다목적저수지로 하였다. 최적운영 규칙을 도출하기 위해 사용한 각 모델은 저수지운영의 실제현상을 시뮬레이션하는데 사용하였다.

충주모델에서 초기조건은 부족량을 산정하기 위해서 첫번째 시나리오를 사용하였고, 두번째 시나리오는 부족량문제에 해를 주기 위해서 사용되었다. 이때 사용자 에게 결과를 그래프로 보여줌으로서 분석을 용이하게 하였다.

충주저수지의 월별 최소 저수량이 350MCM이고, 본댐과 R/R댐에서의 발전시간이 각각 2.6시간과 24시간이며, 초기와 최종저류량이 2134MCM 과 1900MCM이라 하면 월별 저류량은 매월 유입량패턴에 의해 결정된다. 이것은 Hybrid Expert System을 운영함으로써 만족할 만한 운영규칙을 쉽게 도출할 수 있고 최적운영 결과를 구할 수 있다.

Fig.5 는 유입량패턴이 갈수기(dry season) 일때의 결과를 보여주고 있다. 그 시기에 부족량은 매달 생겨났다. 그러나, 사용자가 유입량 패턴을 습윤기(wet season)로 변형시켰더니 부족량문제를 해결할 수 있었다. 이 결과는 Fig.6.에 보여주고 있다.

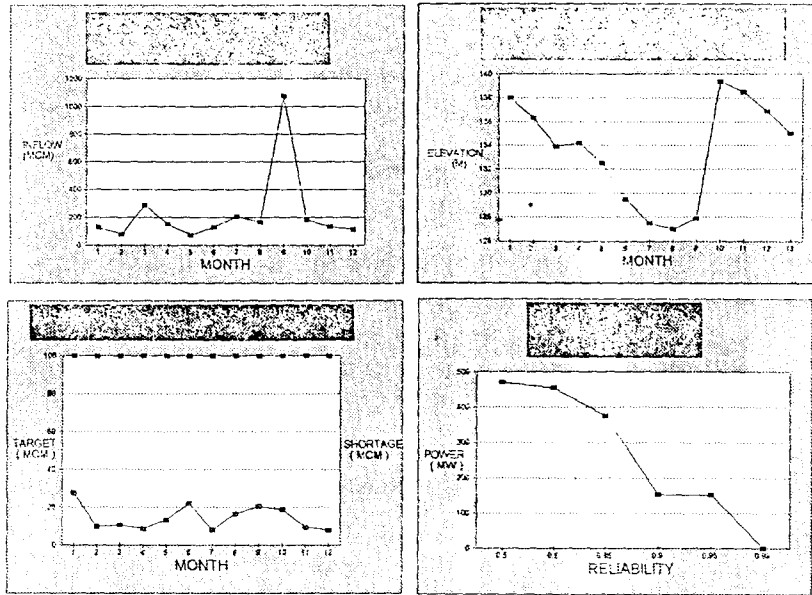


Fig. 5 Results of Model Running for Scenario 1 of Chungju Reservoir Operation

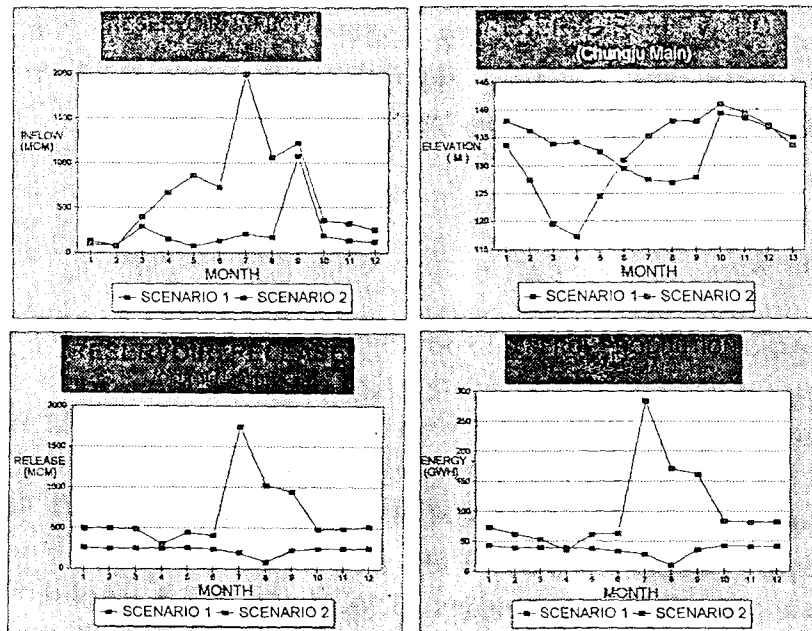


Fig. 6 Results of Model Running for Both Scenario of Chungju Reservoir Operation

## 5. 결 론

Hybrid Expert System은 database, modelbase, knowledge-base모듈로 구성하였고, 사용자와 모델간의 interface 하고, 결과를 Graphic 지원을 위해 GUI 시스템을 구축하였다. Hybrid Expert System을 사용하여 비전문가도 높은 수준의 경험과 지식을 가진 전문가수준으로 모델을 운영할 수 있도록 하였다. 만약 사용자가 저수지 운영에 미숙하고, 정확하지 알지 못하고, 개발된 모델에 전체 입력자료를 처음 시작할지라도 Hybrid Expert System을 이용하여 단지 메뉴와 필요로 하는 질의에 응답할 수 있는 기능들로서 전문가 같이 모델을 사용할 수 있다. 충주저수지, 소양저수지, 그리고 충주와 소양저수지 연계운영을 위한 Hybrid Expert System과 GUI 시스템은 적용한 결과에 따라 검증과 타당성이 증명되었다.

## REFERENCES

1. Shim, Soon-Bo, and Darrell G. Fontane, Prototype Decision Support System for the Chungju Reservoir System : Technical and Software Description, CWRQM-CBUN, 1991.
2. Soon-Bo, Shim, and et.al., "Role of Expert System in Decision Support System for Integrated Management of Water Quantity and Quality", in Proceedings of Korea-Japan Joint Symposium of Expert System, Seoul, Korea, 1993.
3. Munir Ahmed Bhatti, Hybrid Expert System and Optimization Model for Multipurpose Reservoir Operation, Colorado State University, Spring 1991.
4. Giarratano & Riley, "Expert Systems-principles and programming", PWS-KENT, 1989.
5. David P. Ewing, Using Quattro Pro 5.0 for Windows Special Edition, Que Corporation, 1993.
6. Efraim Turban, "Decision Support and Expert Systems-Management Support Systems", Macmillan, 1993.
7. John Durkin, "Expert Systems-Design and Development", Macmillan, 1994.
8. 김영렬 외 4인, 인공지능 개론, 지성출판사, 1995.