

# 水資源管理에 있어서 專門家시스템 應用에 관한 研究

尹東煥\* 李舜鏞\*\*

## 1. 서론

수자원시스템의 계획 및 관리에 있어서는 복잡한 의사결정 과정이 요구되고 있으며, 이를 위해서는 방대한 양의 정보와 이를 분석할 수 있는 도구, 그리고 이러한 과정을 손쉽게 수행할 수 있도록 지원하는 통합적인 전문가시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

최근 연구동향으로는 Brazil et al(1994)은 수자원의 효율적인 배분과 재이용을 위한 수자원 시스템 최적 운영 및 신규 수자원 시스템의 건설, 수질관리를 위한 Colorado River Decision Support System(CRDSS)의 연구를 발표한 바 있다. 그리고 Jamison et al(1995) 등이 개발한 Eureka EU487시스템은 유럽 연합의 합작 사업으로써 현재도 일부 개발이 진행 중에 있다. 한편 우리 나라에서는 임상준(1991)이 전문가시스템을 이용한 관개용 저수지 조작을 발표하였고, 심순보 등(1992, 1993)이 충주댐의 최적운영을 위한 DSS를 개발한 바 있다. 현재 CLIPS 6.0, UNIK, MYCIN, PRO SPECTOR, OWLS, MATLAB 등이 시스템 개발도구로 사용되고 있다. 따라서 이와 같은 시스템을 개발하는데 있어서는 그 시스템이 포괄적인 자료를 취급하면서 동시에 지역적인 특성과 여건, 그리고 관련 분야에 따라 쉽게 선택적으로 재구성이 가능하도록 유연성은 가지며 모듈화가 되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 낙동강 수계 안동댐의 운영을 위해서 전문가시스템을 적용시켰다. 그 동안 다목적댐의 경험지식과 전문지식을 축적해온 영남대 이순탁 교수를 해당전문가로 선정하여 댐운영에 적절한 규칙을 구축하였고, 추론과정을 통해 복잡한 댐운영에 효율적인 의사결정을 할 수 있도록 전문가시스템을 구축하고자하는데 연구의 목적을 두고 있다.

## 2. 전문가시스템의 기본이론

전문가시스템은 Knowledge Base에 전문가의 지식(사실/규칙)을 넣어 추론기관을 거쳐 추론된 결과를 관계형 데이터 베이스에서 저장 가공하고 사용자가 원하는 Graphic형식을 사용하였으며 원하는 결과물을 얻도록 구성되어 있다.

전문가 시스템은 데이터 대신에 지식을 이용하고 경험적 기법을 사용한다. 전문가 시스템은 질문 및 응답위주의 대화형 시스템이며, 추론엔진과 지식베이스로 크게 분류할 수 있다. 그러나 전체적 전문가 시스템의 구성은 지식베이스모듈, 추론엔진모듈, 지식획득모듈, 설명모듈 그리고 사용자 인터페이스모듈의 5가지로 구성되며, 전문가시스템의 구성도는 그림 1과 같고 화살표는 구성요소 상호간의 관계를 나타낸 것이다.

---

\* 영남대학교 대학원 박사과정

\*\* 영남대학교 교수

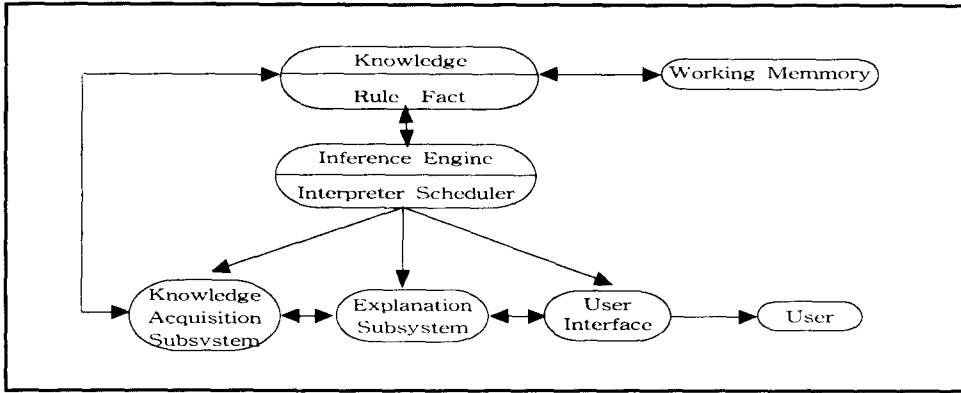


그림 1 전문가시스템의 구조

### 3. 시스템의 적용

#### 3.1 지식기반 설정

다목적저수지 운영을 위해 지식기반을 살펴보면 유입량, 방류량, 저류량, 공급량 등 실제 발생한 사실과 전문가의 경험지식에서 축적된 규칙으로 분류할 수 있다. 또 이런 경험지식은 의사결정과정 등의 규칙들로 구성되며 함수의 형태로 표현될 수 있다.

지식획득의 과정은 맴 운영 관련 부서 실무자와 저수지 최적 운영 모형 운영자 및 개발자로부터 전문가로서의 경험적 지식과 판단 지식으로부터 도출되었다. 저수지 운영 실적으로부터 저수지 운영에 관한 자료들을 구할 수 있으며, 본 논문에서는 저수지 운영을 위한 자료로서 안동댐의 1988년 ~ 1992년의 유입량과 월별 저수위 자료(다목적댐 용수공급능력 평가 방법의 개선, 한국건설기술연구원, 1994. 12)를 이용하였다. 월별 저수위 자료에서 안동댐의 저수위-저수용량의 상관관계를 전문가시스템에 적용시킨 결과 관계식 (1)을 유도하여 월별 저수량을 산정하였고, 추론된 저수량의 결과는 표 1에 수록하였다. 저수위 121m부터 145m에서는  $R^2 = 0.9927$  이었고, 146m ~ 165m에서는  $R^2=0.9978$ 로 실제 저수량과 유사한 경향을 보였다.

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.4321X^2 - 95.3944X + 5334.9 \quad (121 \leq EL \leq 145) \\
 Y &= 0.6054X^2 - 142.44X + 8515.5 \quad (146 \leq EL \leq 165)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

(Y: 저수량, X: 저수위)

#### 3.2 구축도구

본 연구에서는 전문가시스템의 구축도구로 MATLAB 4.2C 소프트웨어를 사용하였으며, 사실 및 규칙으로 이루어진 지식기반과 추론기관을 구현할 수 있다. 저수지 공급량 결정을 위한 지식과 관련 데이터들의 사실과 규칙을 MATLAB 프로그램으로 함수화하여 지식기반을 구축하였고 대화시스템을 통하여 사실과 규칙에 일치하는 상황을 검색하기 위하여 사용자에게 입력 값들에 대한 질의·응답을 요구하며, 설명시스템은 이런 질의와 응답을 통해 저수지운영에 대한 이해를 도와주고 입력오류 등을 파악하여 수정을 요하는 기능을 가지고 있다. 대화시스템을 통하여 지식기반으로부터 사실과 규칙에 의해 추론해 나가면서 결론을 도출해 내는 방법으로 문제해결과 의사결정을 하도록 시스템을 구축하였다.

표 1 대화시스템에 의한 월별 저수량

(단위 :  $10^6 \text{ m}^3$ )

Year Month	Storage				
	1988	1989	1990	1991	1992
1	625.34	658.20	722.97	744.25	684.82
2	554.71	641.29	679.73	659.62	590.37
3	497.18	610.96	716.59	594.88	529.85
4	476.52	664.97	744.64	596.99	507.30
5	470.44	607.91	744.25	593.97	499.36
6	432.51	509.50	718.08	564.89	410.27
7	532.96	470.70	826.63	632.93	328.76
8	765.53	717.71	784.79	893.99	377.85
9	721.09	841.42	898.71	973.46	483.97
10	691.76	873.12	961.80	975.71	574.00
11	651.12	863.48	912.08	876.96	568.41
12	600.92	795.52	845.97	778.86	529.57

본 연구에서는 시스템 사용자에게 년, 월에 해당하는 안동댐 현재 저수위 및 유입량 등을 질의하도록 되어 있으며, 시스템의 운영은 사용자와 대화를 통해 댐 운영 규칙을 시스템으로부터 제공받도록 설계하였다. 시스템의 추론결과는 댐 운영에 필요한 의사결정을 수행하도록 하였다. 시스템의 조작은 조작자와의 질문에 대한 응답을 통해서 문제해결과 의사결정을 하도록 되어 있으며, 그림 2(a) 및 그림 2(b)는 MATLAB 프로그램에서의 스크린 메뉴를 보여준 것이다.

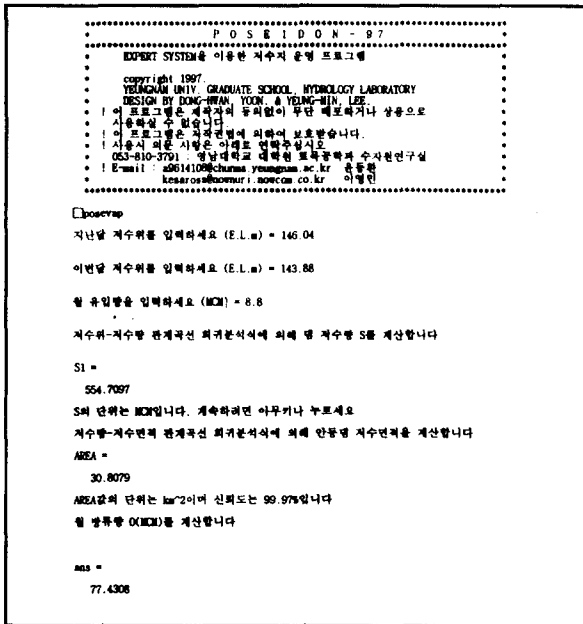


그림 2(a) 대화시스템에 의한 주메뉴

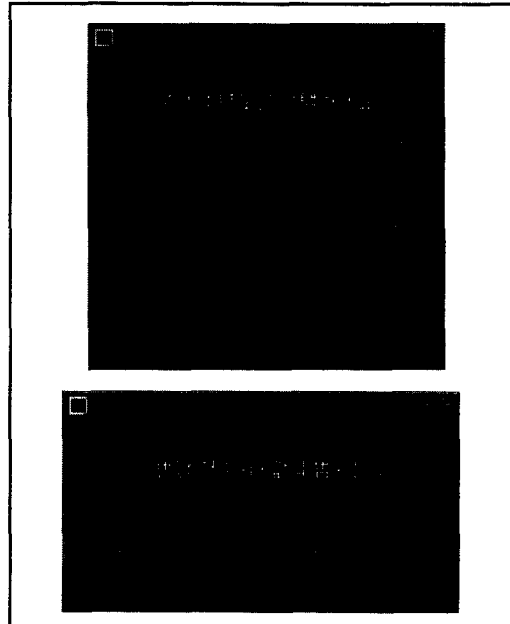


그림 2(b) 스크린 메뉴

### 3.3 지식표현 방법

저수지 운영은 입력과 출력을 통한 일종의 물수지 분석이며, 입력에는 유입량과 수면 강수량 등이 있으며, 출력에는 방류량, 증발량 및 기타 손실량이 포함된다. 본 논문에서는 저수지 수면 강수량과 기타 손실량은 무시하여 저수지 상태를 나타내는 식(2)와 같은 물수지 방정식을 저수지 운영의 기본이론으로 하여 저수지 의사결정에 도움이 되도록 하였다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t - O_t - E_t \quad (2)$$

( $S_t$  : t 시점에서의 저수량     $S_{t-1}$  : t-1 시점에서의 저수량     $I_t$  : t 시점에서의 유입량     $E_t$  : t 시점에서의 증발량)

윗 식(2)에서 보는 바와 같이 If ~ Then 구조를 갖도록 지식기반을 함수화하여 시스템에 구축하였으며, 유입량 자료와 저수량 자료를 통해 t 기간의 방류량을 질의와 응답을 통해 결정할 수 있도록 설계하였다.

저수지 운영에 있어서 통상 시간단위로는 월 단위를 사용하는 것이 일반적이며, 저수량 S는 유효 저수량과 최저 저수량 사이의 범위에 있어야 한다는 제약조건과 저수지 운영률을 고려하여 저수량에 따른 공급량의 제한을 줄 수 있다. 저수지 운영분석은 비교적 간단히 저수지의 저류량 상태의 변화를 명확하게 볼 수 있다. 저수지 조작과 같은 문제를 해결하기 위해서는 많은 양의 지식이 필요하며, 이러한 지식들은 추론에 이용될 수 있도록 적절한 방법으로 표현된다.

### 3.4 용수공급

용수공급 현황은 실제 안동댐에서 공급하는 생·공용수, 하천유지용수로 구분되며 생·공용수와 하천유지용수는 각각 14.3 CMS, 5.6 CMS로 유지하는 것으로 계획되어 있다.

공급량에 대한 효과적인 의사결정을 수행하기 위해서 안동댐 유입량자료의 기록기간에 대해서 선형계획 프로그램인 LINDO에 의해서 보장공급량을 산정하였다. 그리고 연간 계획 공급량 자료를 기준으로 월별 계획 공급량과의 관계를 식(3)으로 함수화하여 시스템에 입력하여 전문가 시스템에 의한 공급량을 결정하였다.

$$O_t = C_t \times Q, \quad Q = \sum_{i=1}^k (W_i + q_i), \quad D_i = (\overline{A_i + S_i}), \quad F = \sum_{i=1}^k D_i, \quad C_i = D_i / F \quad (3)$$

여기서,  $O_t$ 는 공급량,  $C_t$ 는 월별 공급계수,  $W_t$ 는 LINDO 프로그램에 의해서 계산된 보장공급량,  $q_t$ 는 보장공급량 이외의 공급량이고  $Q$ 는 연간 최적 공급량을 의미한다.  $A_i$ 는 각 시점에서 실제 방류량이고  $S_i$ 는 안동댐의 월별로 계획된 공급량이다. 표 2에서는 1988~92년에 적용시킨 결과를 보여주고 있으며,  $C_t$ 값은 10월부터 4월까지 전반적으로 작은 값을 보여주고 있으며, 농업용수를 필요로 하는 5월부터 강우량이 많은 하절기와 태풍으로 홍수조절용량을 필요로 하는 9월까지의 전자보다 대략 두 배의 값으로 나타나고 있다. 표 3에서 식(3)으로부터 얻어낸  $C_t$ 값을 이용하여 연도별 공급량을 산정한 결과는 표 4와 같다. 안동댐 계획공급량은 10월부터 4월까지 용수수요가 적은 동절기에서의 실제 방류량보다 적게 나타났으며, 용수수요가 많은 5월에서 9월까지의 각 연도별로 댐으로 유입되는 유입량과 강우량의 변화로 인해서 차이는 있으나 실제 방류량보다 많이 공급하는 것으로 판단되었다. 전문가 시스템에 의한 공급량은 그림 3에서와 같이 연도별로 안동댐 계획공급량의 월별 변화특성을 고려해 볼 때에 실제 방류량에 가까운 값으로 나타났으며, 전문가 시스템을 안동댐 운영에 적용시켜 효율적인 의사결정을 할 수 있는 것으로 판단되었다.

최근 각종 용수수요는 급격한 증가추세를 보이고 있는 것이 현실이며, 실제 안동댐에서도 공급할 수 있는 용수량을 초과하는 공급량도 발생할 수 있으며, 이 기간동안 공급이 가능한 수준으로 용수공급을 계획하는 것은 이용측면에서 타당하지 못하다고 판단된다. 용수공급계획을 축소하여 공급한다면 공급의 신뢰성은 만족될 수 있으나 수자원의 이용효율은 감소할 것이며, 공급계획을 확대한다면 이용효율은 충족시킬 수 있지만 신뢰성은 떨어진다.

따라서 안동댐의 용수공급은 용수공급계획의 수립에 필요한 용수공급의 수준과 용수공급의 타당성에 따른 의사결정을 수행해야 한다.

표 2 전문가시스템에 의한 공급량 계수

Year Month	공급 계수(C <sub>i</sub> )					
	88~92	1988	1989	1990	1991	1992
1	0.0693	0.0780	0.0566	0.0545	0.0738	0.0874
2	0.0648	0.0723	0.0451	0.0566	0.0703	0.0815
3	0.0635	0.0669	0.0453	0.0605	0.0680	0.0778
4	0.0604	0.0517	0.0575	0.0615	0.0627	0.0671
5	0.0968	0.0851	0.1189	0.0862	0.0971	0.0990
6	0.1262	0.1135	0.1379	0.1244	0.0999	0.1576
7	0.1045	0.0848	0.0952	0.1464	0.0725	0.1135
8	0.1146	0.1565	0.0894	0.1283	0.1037	0.0962
9	0.0919	0.0987	0.0921	0.1011	0.1033	0.0610
10	0.0675	0.0675	0.0854	0.0551	0.0884	0.0421
11	0.0640	0.0599	0.0867	0.0533	0.0801	0.0410
12	0.0766	0.0657	0.0898	0.0719	0.0799	0.0757

표 3 전문가시스템에 의한 월별 공급량

Year Month	공급량(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )					
	88~92	1988	1989	1990	1991	1992
1	65.635	58.041	59.659	78.209	102.314	77.675
2	61.379	53.750	47.492	88.543	100.155	72.409
3	60.155	49.154	47.697	92.673	89.994	69.128
4	57.228	38.454	60.584	94.608	78.278	59.594
5	91.746	63.265	125.242	117.581	114.367	87.999
6	119.549	84.447	145.262	172.368	82.684	140.007
7	98.984	63.110	100.227	244.806	44.461	100.813
8	108.623	116.397	94.113	175.167	84.102	85.442
9	87.093	73.415	97.036	149.817	123.380	54.225
10	63.937	50.227	89.926	74.192	127.491	37.443
11	60.643	44.592	91.313	76.982	117.158	36.499
12	72.571	48.904	94.569	120.26	115.107	67.243

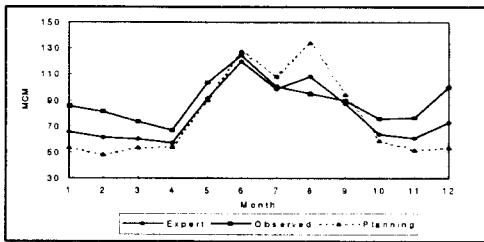


그림 3(a) 시스템에 의한 월별 공급량 변화 (1988~1992)

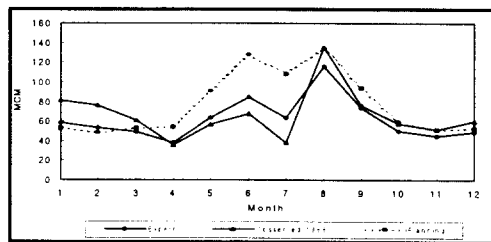


그림 3(b) 시스템에 의한 월별 공급량 변화 (1988)

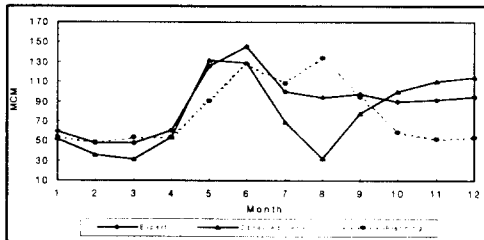


그림 3(c) 시스템에 의한 월별 공급량 변화 (1989)

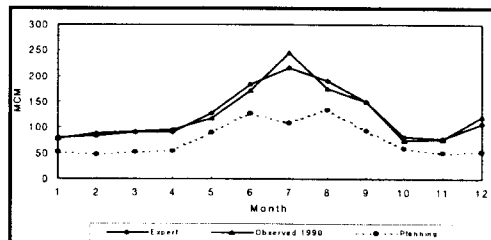


그림 3(d) 시스템에 의한 월별 공급량 변화 (1990)

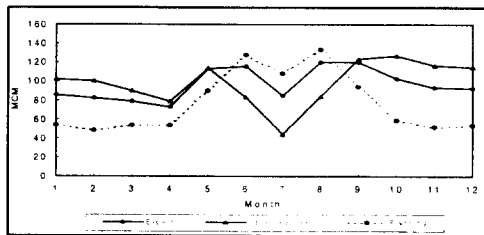


그림 3(e) 시스템에 의한 월별 공급량 변화 (1991)

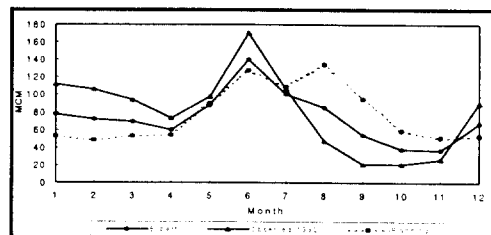


그림 3(f) 시스템에 의한 월별 공급량 변화 (1992)

## 5. 결 론

본 연구에서는 전문가 시스템을 응용하여 1988~92년 기간 동안의 실제 안동댐 자료를 이용하여 시스템에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

안동댐 운영을 위한 전문가 시스템을 지식기반으로 기존자료의 사실과 규칙 등을 이용하여 저수위와 저수량의 상관관계를 시스템에 적용하여 1988~92년 동안의 월별 저수량을 질의 응답과정을 수행함으로써 저수량을 산정할 수 있었다. 그 결과 저수위 따라 각각  $R^2=0.9927$ ,  $R^2=0.9978$ 로 실제 저수량과 거의 비슷한 경향을 보였다.

안동댐의 유입량 자료, 중발량 자료 및 결정된 저수량 자료를 물수지방정식에 적용하여 시스템을 조작한 결과, 최적화 시스템인 선형계획법을 이용하여 연도별 보강공급량을 산정하였으며, 전문가의 조언과 실무자의 경험을 바탕으로 월별 용수공급계획에 대한 규칙을 전문가 시스템에 입력하여 1989~92년 동안의 월별 공급량을 결정하였다.

전문가 시스템에 의해서 결정된 공급량을 안동댐 월별 계획공급량과 실제 방류량을 비교한 결과, 계획공급량의 월별특성이 반영되었고, 실제 방류량과는 잘 일치하여 전문가시스템에 의한 공급량 결정은 일단 그 절차 및 과정에 있어서 타당성이 있는 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. Michael C. FU, Caroline C. Hayes and E. William East, "SEDAR : Expert Critiquing System for Flat Low-Slope Roof Design and Review" ASCE Computing in Civil Engineering, 1/1997.
2. MATLAB 4.2C, The MATH WORKS Inc., Reference Guide, 1992.
3. 이순탁, "수자원 시스템에 있어서의 Bayesian 의사결정론적 해석", 한국대댐학회창립 10주년 기념 제 6회 댐건설 및 관리기술세미나 논문집, 1982. 10.
4. 심순보 외 다수, "가뭄시 충주 및 소양강댐 저수지 연계운전을 위한 경험지식기반 전문가시스템 개발", 대한토목학회논문집 제 17권 제Ⅱ-4호, 1997. 7, pp. 347-357.
5. 김양일·고덕구., "다목적댐의 이수 및 치수 관리를 위한 의사 결정 지원 시스템 개발", 대한토목학회지 제25권 제 1호, 1992. 3.
6. 이재규·최형림 외 다수, "전문가시스템 : 원리와 개발", 법영사, 1996.
7. 임상준, "전문가시스템을 이용한 관개용 저수지 조작", 서울대학교 대학원 농공학과 석사학위논문, 1991.
8. 다목적댐 용수공급능력 평가방법의 개선, 한국건설기술연구원, 1994. 12
9. 영천댐 도수로 도수에 따른 안동댐 및 임하댐 연계운영방안, 건설부 한국수자원공사, 1991. 4
10. 다목적댐 운영 실무편람, 한국수자원공사, 1996.
11. 윤동환, "수자원 관리에 있어서 전문가시스템 응용에 관한 연구", 영남대학교 대학원 토목공학과, 석사학위논문, 1997