

# 타부탐색기법에 의한 홍수시 저수지 운영에 관한 연구

## Reservoir Operation by Tabu Search Method during Flood

정한우\* / 최승안\*\* / 김형수\*\*\* / 심명필\*\*\*\*

Jeong, Han Woo / Choi, Seung An / Kim, Hung Soo / Shim, Myung Phil

### 요 지

본 연구에서는 퍼지논리제어의 적용을 통해 홍수시 저수지의 방류량을 결정하는데 있어, 예측유입량 자료에 내재된 불확실성을 고려할 수 있는 저수지 운영 모형을 구성하고자 하였다. 제어규칙은 전문가들의 의견을 반영해 규칙기반을 설정하는데 이러한 일반적인 방법의 단점을 보완하고자 전역 최적화 기법인 타부탐색을 이용하여 제어규칙을 자동적으로 설정해 퍼지-타부탐색 모형을 구성하였다. 모형의 적용 결과, 첨두방류량이 감소되어 홍수조절율이 개선되었으며, 총 방류량도 감소되어 결과적으로 치수효과가 증대될 수 있음을 확인하였다. 또한 홍수 후에 가용할 수 있는 수자원의 양이 증가되어 이수적 차원에서 향상된 결과를 나타내었다.

**핵심용어:** 퍼지논리제어, 저수지운영, 타부탐색, 홍수조절, 이수

## 1. 서 론

일반적으로 홍수시 저수지 운영은 우선 강우발생모형을 이용하여 강우발생을 예측하고, 강우-유출모형으로 유입량을 예측한 다음, 다목적담 규정을 포함한 제약조건을 만족하는 방류량에 대해 하도추적을 수행하여 하류의 홍수피해를 최소화 하는 최적의 방류량을 결정하는 일련의 절차에 의해 이루어진다. 홍수시에는 긴박한 상황에서 수시로 변하는 수문자료들을 실시간으로 입력받아 매시간 입력되는 관측치와 새롭게 수정되는 예측치로부터 최적의 방류량을 결정하여야 한다(심명필 등, 1990). 하지만 강우 및 강우-유출모형 등의 불확실성으로 인하여 홍수시 최적의 방류량을 결정하는데 어려움이 많아 대부분의 저수지가 운영자의 주관적 판단에 따라 운영되고 있는 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 복잡하고 불확실한 입력을 가진 시스템에서 탁월한 성능을 발휘하는 것으로 알려진 퍼지논리제어(fuzzy logic control)의 적용을 통해 홍수시 저수지의 방류량을 결정하는데 있어 예측유입량 자료에 내재된 불확실성을 고려할 수 있는 저수지 운영 모형을 구성하고자 하였다. 그리고 전문가의 지식을 바탕으로 제어규칙을 설정하는 일반적인 퍼지논리제어 시스템과는 달리 타부탐색 알고리즘을 이용하여 홍수피해증가와 직결되는 방류량을 최소화하도록 제어규칙을 최적화하였고, 이로 인한 홍수후의 이수측면도 살펴보고자 하였다.

## 2. 퍼지이론과 타부탐색

### 2.1 퍼지이론

\* (주)삼안 수자원부 사원E-mail : gksdn77@naver.com  
\*\* 인하대학교 환경토목공학부 박사과정E-mail : sachoi@inha.ac.kr  
\*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 부교수E-mail : sookim@inha.ac.kr  
\*\*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 교수E-mail : shim@inha.ac.kr

Zadeh(1965)로부터 출발한 퍼지이론은 현상의 불확실한 상태와 인간의 언어, 의미, 사고, 측정 등에 본질적으로 포함되어 있는 애매모호함을 수학적으로 다룰 수 있도록 제안된 이론으로 고전적인 논리시스템보다 실제 세계의 근사적이고 부정확한 성질을 표현하는데 효과적이라고 알려져 있다.

퍼지논리제어(Fuzzy Logic Control, FLC)는 간단히 퍼지제어라고 하며, 이것은 조작자의 시스템 프로세스에 대한 지식과 경험에 기초한 인간판단 등의 애매성을 포함하는 제어 전문지식을 언어적 제어규칙으로 표현하고, 퍼지추론(또는 근사추론)을 이용해서 제어를 실행하는 것이다. 그림1과 같이 퍼지제어는 크게 퍼지화 단계, 지식기반 구축단계, 의사결정 단계, 비퍼지화 단계의 4가지 요소로 구성되어 있다.

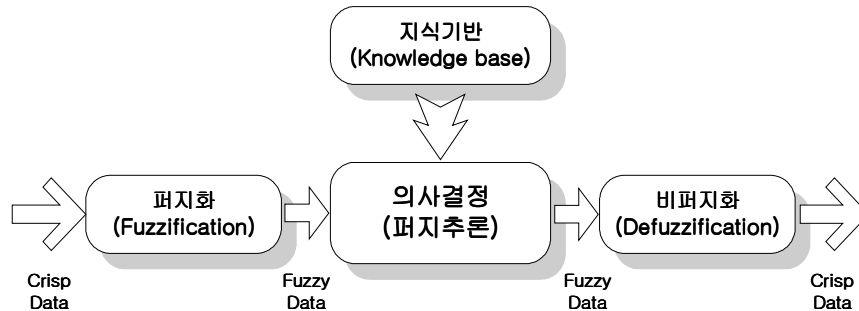


그림 1. 퍼지제어기(fuzzy control)의 구조

## 2.2 타부탐색

타부탐색은 1960년대 후반 Hansen에 의해 처음 제안된 후, Glover(1989, 1990)에 의해서 현재의 형태로 제시되고 있으며, 일반적으로 조합 최적화문제 해결에 사용되는 메타 휴리스틱(meta-heuristic)이다. 휴리스틱이란 반복적 개선에 기초하여 전역 최적화에 도달하는 방법으로, 타부탐색 이외에도 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing)과 유전자 알고리즘(genetic algorithm) 등이 있다. 타부탐색은 일반적으로 다음과 같은 특징이 있다 (김여근 등, 1997).

- ① 유연한 성질이 있는 기억구조를 사용한다. 이는 시뮬레이티드 어닐링과 같이 기억구조를 사용하지 않는 방법보다 더 자세하게 역사적 탐색정보와 기준개선을 이용하여 탐색한다.
- ② 기억구조를 사용하여 제약조건(타부상태)과 열망기준(aspiration criteria) 사이에서 자유롭게 탐색한다. 타부상태는 같은 해의 반복을 피하게 하고, 열망기준은 타부상태를 벗어나는데 사용된다.
- ③ 강화(intensification)와 다양화(diversification)전략을 사용한다. 강화전략은 탐색과정을 역사적으로 발견된 좋은 해의 장점을 이용하여 움직이게 하고, 다양화전략은 탐색하지 않은 새로운 영역으로 움직여 다양한 탐색을 수행한다.

## 2.3 타부탐색을 이용한 퍼지규칙의 학습

타부탐색의 기본적 요소인 움직임(move)들은  $i$ 번째 규칙의 결론부를 수정함으로써 수행되며, 본 논문에서는 식(1a) ~ (1d)와 같은 유형의 움직임을 사용하여 타부탐색을 수행하였으며, 그림2는 부호화를 통한 타부탐색의 퍼지규칙 학습과정을 보여주고 있다.

$$\mu_{11}(j) = \max(1, j - \lfloor m/2 \rfloor) : i \text{ 번째 규칙에 대한 결론부의 큰 감소} \quad (1a)$$

$$\mu_{12}(j) = \max(1, j - 1) \quad : i \text{ 번째 규칙에 대한 결론부의 작은 감소} \quad (1b)$$

$$\mu_{13}(j) = \min(m, j + 1) \quad : i \text{ 번째 규칙에 대한 결론부의 작은 증가} \quad (1c)$$

$$\mu_{14}(j) = \min(m, j + \lfloor m/2 \rfloor) \quad : i \text{ 번째 규칙에 대한 결론부의 큰 증가} \quad (1d)$$

여기서,  $j$  는 부호화된 결론부의 퍼지규칙이다.

### 3. 퍼지-타부탐색 모형의 적용 및 결과

본 논문에서는 충주 다목적댐의 과거 저수지 운영자료(1986년 1월 ~ 2003년 12월)를 검토한 후 비교적 큰 침투방류를 실시하였던 1990년의 홍수를 선정하고, 『충주댐 및 소양강댐유역 1990년 대홍수의 수문학적 분석 연구보고서(한국수자원공사, 1991)』에 수록된 예측유입량 자료를 바탕으로 타부탐색을 이용하여 퍼지 제어규칙을 최적화한 후, 실측유입량에 대해 저수지 모의운명을 실시하고 실제의 운영방법과 비교하였다. 규칙기반 설정을 위한 타부탐색의 목적함수는 식(2a)와 같이 구성하였으며, 표1은 본 논문에서 사용된 가중인자( $\omega$ )에 따른 목적함수를 나타내고 있다.

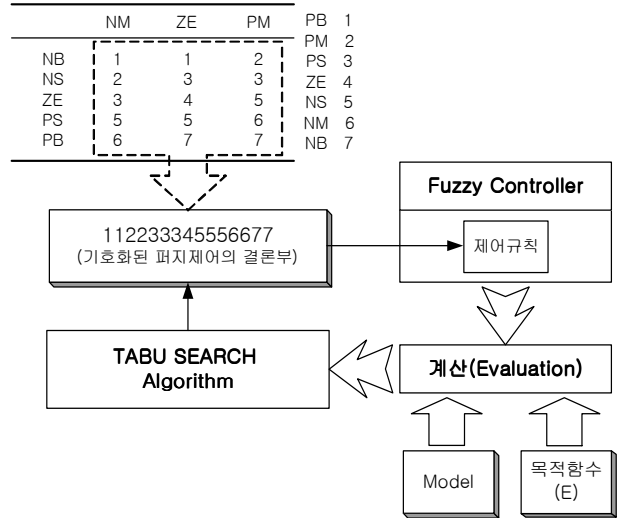


그림 2. 부호화를 통한 타부탐색의 퍼지규칙 학습과정

$$F = F_1 + \omega \cdot F_2 \quad (2a)$$

$$F_1 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [\text{홍수위 해당저류량} - \text{현 저류량} S(t)] \quad (2b)$$

$$F_2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [|\alpha(t+1) - \alpha(t)|] \quad (2c)$$

여기서,  $O$  : 방류량,  $\omega$  : 가중인자,  $N$  : 자료수

표 1. 본 논문에 적용된 목적함수

구 분	목 적 함 수
FTS0	$F = F_1$
FTS1	$F = F_1 + 0.2 F_2$
FTS2	$F = F_1 + 0.4 F_2$
FTS3	$F = F_1 + 0.6 F_2$
FTS4	$F = F_1 + F_2$

그림3에서부터 그림7까지는 각각의 목적함수에 따른 저수지 운영 결과를 나타내고 있다. FTS0, FTS2, FTS3 모형의 경우, 저수지 운영기간 중 일시적으로 급격한 방류량 변화를 나타내었다. 이것은 예측유입수문곡선에 의해 최적화된 모형이 예측유입량과 다른, 즉 실제유입량으로 인하여 그 상태에 해당하는 다른 제어규칙을 적용함에 따른 것으로, 퍼지제어 시스템의 불확실한 입력에 대한 적응성을 나타낸 결과라 할 수 있다.

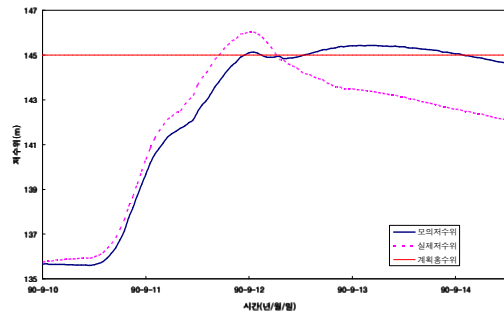
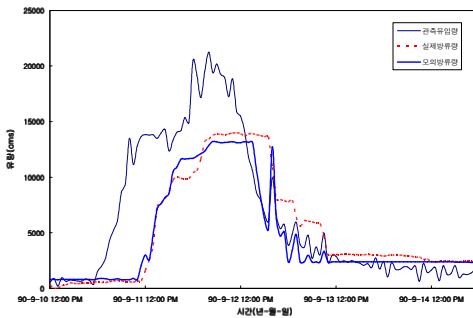


그림 3. FTS0 모형에 의한 저수지 운영 및 저수위 곡선

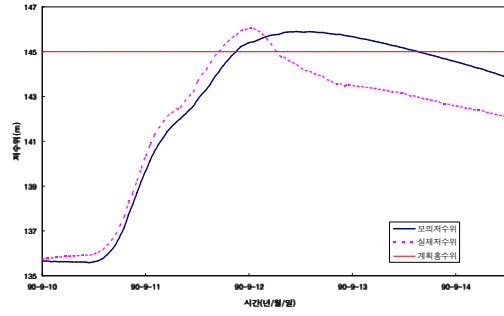
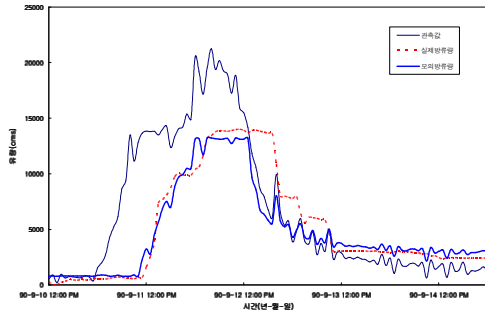


그림 4. FTS1 모형에 의한 저수지 운영 및 저수위 곡선

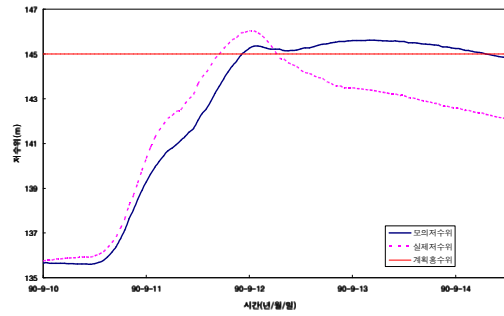
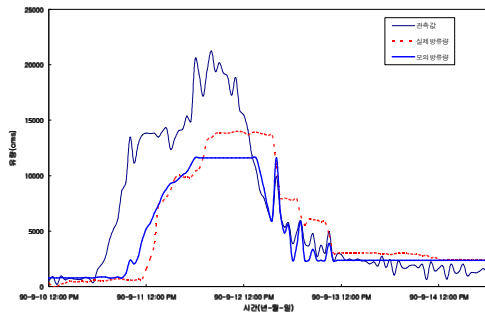


그림 5. FTS2 모형에 의한 저수지 운영 및 저수위 곡선

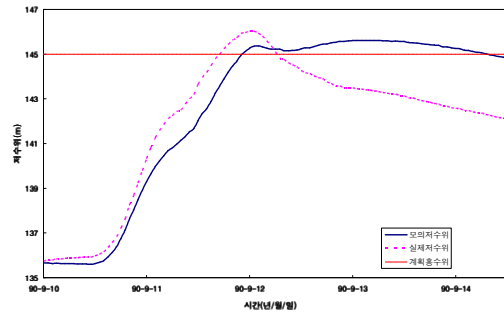
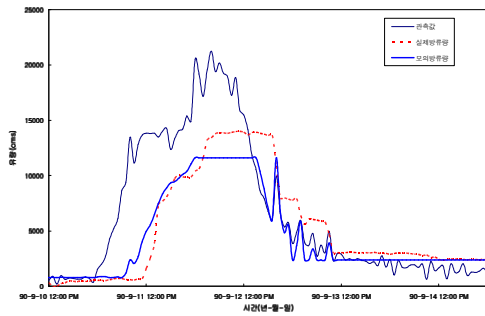


그림 6. FTS3 모형에 의한 저수지 운영 및 저수위 곡선

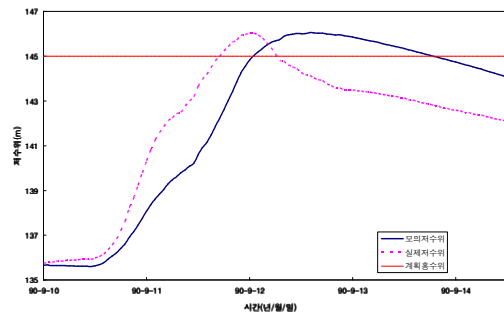
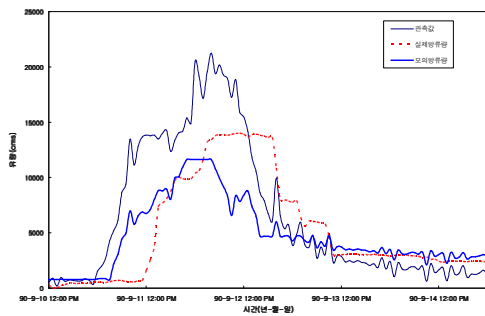


그림 7. FTS4 모형에 의한 저수지 운영 및 저수위 곡선

저수지 홍수조절효과의 평가를 위해 본 논문에서는 식(3)과 같은 홍수조절율을 사용하여 저수지의 홍수조절 효과를 살펴보았으며, 표3은 그 결과를 나타낸 것이다.

$$\text{홍수조절율} = \frac{\text{첨두유입량} - \text{첨두방류량}}{\text{첨두유입량}} \times 100\% \quad (3)$$

표 3. 1990년 홍수사상에 대한 모형별 홍수조절율 및 저수지 운영결과

모형	첨두유입량 ( $m^3/s$ )	첨두방류량 ( $m^3/s$ )		홍수조절율 (%)		첨두수위 (m)		홍수 후 수위 (m)		총방류량 ( $\times 10^6 m^3$ )	
		실제	모의	실제	모의	실제	모의	실제	모의	실제	모의
FTS0			13,206		37.83		145.43		144.63		1,827
FTS1			13,218		37.77		145.89		143.85		1,901
FTS2	21,241	14,000	11,620	34.09	45.29	146.03	145.61	142.09	144.81	2,064	1,810
FTS3			11,620		45.29		145.62		144.82		1,809
FTS4			11,620		45.29		146.06		144.06		1,881

## 5. 결 론

본 연구에서는 홍수시 저수지 운영 시스템의 방류량 결정에 필요한 예측정보의 불확실성을 고려하기 위해 퍼지제어 이론을 적용하고, 타부탐색을 통해 댐이 안전한 범위에서 홍수조절 효과를 극대화 시킬 수 있도록 제어규칙들을 최적화하여 저수지 운영에 적용한 결과, 첨두방류량이 감소되어 홍수조절율이 개선되었으며, 총 방류량 또한 감소되어 실제 운영방법에 비해 치수적 측면에 있어서 향상된 결과를 나타내었다. 그리고 홍수 후에는 가용한 수자원의 양이 증대되어 이수적 측면의 개선효과도 있었다. 하지만, 홍수기 중에는 댐의 홍수방어능력을 증대시킬 수 있도록 법적으로 제한수위를 유지하도록 되어있으므로, 연이어 다른 홍수가 예상될 때에는 예비방류 등의 방법으로 저수위를 낮추는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 김여근, 윤복식, 이상복 (1997). **메타 휴리스틱**, 영지문화사.
- 심명필, 박인보, 선우중호, 황만하 (1990). “홍수기중 실시간 저수지 운영(I) - 대청댐의 단일 저수지 운영 방안”, 한국수문학회지, 제23권, 제3호.
- Glover, F.(1989). “Tabu Search - Part I” ORSA Journal on Computing, Vol. 1, No. 3, pp. 190-206. First comprehensive description of tabu search.
- Glover, F.(1990). “Tabu Search - Part II” ORSA Journal on Computing, Vol. 2, No. 1, pp. 4-32. The second part of this comprehensive description of tabu search introduces additional mechanisms such as the reverse elimination method.
- Mamdani, E.H.(1974). “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant” in Proc. IEEE control and Science, Vol. 121, No. 12.
- Zadeh, L.A.(1965). “Fuzzy sets” Inform. Contr., Vol. 8, pp. 338-353.