

# 퍼지제어기법을 이용한 치수목적의 저수지 운영기법

## A Study on the Reservoir Operation for Flood Control using Fuzzy Control Technique

○심재현\*, 김지태\*\*, 조원철\*\*\*, 허준행\*\*\*\*

### 1. 서 론

우리나라는 강수량의 계절적 편중현상에 의해 홍수와 갈수라는 두 가지 자연재해를 해마다 겪고 있는 실정이다. 이러한 홍수피해와 가뭄피해를 적절하게 대처할 수 있는 방안은 식재를 통한 보수능력 확충방안과 상류유역의 저수지를 이용하여 홍수시 저류하였다가 평상시 저류량을 각종 용수로 사용하는 방안 등이 가장 적절한 것으로 알려지고 있다.

특히 한강 하류부에는 수도 서울 뿐만 아니라 중요한 국가사회 기반시설들이 집중되어 있기 때문에 홍수시 상류 저수지 조절의 영향은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 한강유역내 상류 홍수조절기능을 하는 기존의 화천, 소양강, 충주댐의 홍수조절효과를 제고시키기 위해 Fuzzy Control Technique을 사용한 저수지 운영기법을 개발하였다.

개발된 모형의 적용성을 검증하기 위해 과거 홍수사상중 최근에 발생한 1984, 1990, 1995년 대 홍수시 각 홍수조절용 댐의 실적 운영결과와 개발된 저수지 운영기법의 가상운영결과를 비교하여 개발된 모형의 치수조절효과를 파악하였다.

### 2. 퍼지제어 모형

퍼지이론은 어느 정도에 속하는가를 결정하는 이론으로서 참(1) 혹은 거짓(0)의 이치논리(二值論理 : bivalent logic)와 참도 거짓도 아닌 참과 거짓사이의 애매함을 정량화하려는 이론이라고 정의할 수 있으며, 수학적으로는 다치논리(多值論理 : multivalent logic)에 해당된다.

본 연구에서는 단일 댐 저수지의 방류량을 제어하기 위해 유입 수문곡선, 저류량, 유입량 자료를 사용하였으며 저수지 운영에 사용한 제어방식으로 퍼지연상기억장치(FAM : Fuzzy Associative Memory)에 제어규칙을 입력하고 이를 각 상황에 따라 출력결과로 추론해 가는 방식을 사용하였다.(Kosko, 1992, 1997) 또한 퍼지변수에 의한 추론결과를 정량화된 방류제어량으로 변환하기 위한 비퍼지화(defuzzification)를 위한 기준치로서 저수위 또는 저수량에 대해서는 제한수위를 0, 계획홍수위를 6, 유입량에 0cms를 0, 계획홍수량을 6으로 설정하였다. 그리고 7개의 퍼지변수에 대한 각 조건의 수치는 다음의 표 1과 같이 가정하였다.

본 모형은 해당 시각에서의 저수지 수위와 유입량을 기준으로 제어규칙을 설정하였다. 이러한 2개의 입력 퍼지정보량에 의하여 제어출력을 결정하기 위해 각 입력정보량을 7개의 퍼지변수로 구분하고, 각 정보량의 상황에 의하여 출력량 역시 적정 퍼지변수로 결정하는 과정이 제어규칙의 설정이다. 각 입력정보량의 상황에 따라 출력량의 상황을 6개로 구분하였으며 이들을 각각 제어규칙 1~6라 명명하였다.

---

\* 국립방재연구소 방재연구관  
\*\* 연세대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\* 연세대학교 토목공학과 교수  
\*\*\*\* 연세대학교 토목공학과 부교수

표 1 저수량과 유입량을 고려한 제어규칙

구 분	피지대표값						
	Very Small	Small	More or less Small	Medium	More or less Big	Big	Very Big
저 수 량 (제한수위)	0% FS(1)	17% FS(2)	34% FS(3)	50% FS(4)	66% FS(5)	83% FS(6)	100% FS(7)
유 입 량 (설계홍수량)	0% FQI(1)	17% FQI(2)	34% FQI(3)	50% FQI(4)	66% FQI(5)	83% FQI(6)	100% FQI(7)

### 3. 과거 홍수시 저수지 운영현황분석

본 연구에서 구상한 모형은 예측 유입량 정보를 무시하고 수문조작 시각에서의 정보량인 저수지 수위와 유입량을 기준으로 방류량을 결정하도록 계획하였다. 또한 각 모형에 의해 결정된 방류량은 하류부 피해를 최소화하고 이수적인 측면에서 저수량의 확보를 고려하기 위해 예비방류량의 최대치를 최대방류량의 기준으로 우선 설정하였다. 그러나 이러한 방류량의 최소화 조건을 만족하지 못하는 경우에는 최대방류량인 설계방류량을 고려하여 가상 저수지 운영을 수행하였다.

과거 홍수사상중 1984, 1990, 1995년 홍수에 대하여 실제 운영상황과 본 과업에서 개발한 모형들을 적용, 각 저수지 운영모형의 적용성을 검토하였으며 각 홍수사상별, 개발 모형별 적용결과를 비교하면 다음과 같다.

#### 1) 1984년 홍수

제어규칙 1~6까지 6개 경우를 포함하였으며, 최대방류량을 한계방류량에서 설계홍수량에 이르기까지 조건을 변화시켜가며 가상운영하였다.

##### ① 화천댐

8월 30일부터 9월 6일까지의 대홍수시 화천댐은 초기수위가 174.84 EL.m로 홍수시 제한수위 175.0 EL.m를 초과하지 않았으나 실제 운영시 최대방류량은 설계시 최대방류량 5,428cms를 초과하는 6,668cms로 나타나 하류부 피해를 가중시켰던 것으로 파악된다.

이에 반해 본 과업에서 제시한 각 모형은 최대 방류량을 계획방류량을 유지하면서 운영할 수 있었다. 아래의 표와 그림은 이와 같이 각 경우를 모형에 적용하여 찾은 적정 제어모형의 적용결과이다.

##### ② 소양강댐

1984년 8월 30일부터 9월 6일까지 소양강 댐의 실제 운영결과와 본 과업에서 개발된 모형에 의한 가상운영결과를 비교하면 아래의 표와 같다.

당시 소양강댐의 초기수위는 홍수시 제한수위인 191.0EL.m보다 훨씬 낮은 181.8 EL.m에서 저수지 운영을 하였다. 그러나 그림 4에서도 알 수 있는 바와 같이 12,000 cms에 육박하는 설계홍수량을 초과하는 홍수가 짧은 간격에서 두차례나 발생하였기 때문에 계획홍수위를 초과할 만한 상황이 발생하였다.

이러한 상황을 본 과업에서 개발한 모형에 적용한 결과 표 2와 그림3, 4에서 알 수 있는 바와 같이 최대 홍수위가 계획홍수위 198.0EL.m를 초과하지 않고 있으며, 최대방류량이 3,600cms이하로서 실제 경우인 11,994cms보다 매우 작았고, 최종 방류량 역시 실제운영의 15억 3900톤에 비해 10억톤 미만으로 나타나 이수와 치수효과를 모두 거둘 수 있는 것으로 나타났다.

그럼에도 실제로는 계획홍수위에 육박하였다는 사실은 1984년 홍수이전의 가뭄이 심각함을 고려하여 저류위주로 저수지를 운영하였기 때문이었던 것으로 사료되며, 이는 아래의 수문곡선에서 9월 2일 새벽부터 방류량이 급격하게 증가하였던 것으로도 쉽게 알 수 있다.

표 2 1984년 홍수에 대한 개발모형의 가상운영결과

구분 댐	침두수위 (EL.m)		침두방류량 (cms)		총방류량 (×10 <sup>6</sup> 톤)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
화 천	182.11	182.87	6,668	5,428	1,122.92	1,262.55
소양강	197.79	196.90	11,994	3,600	1,539.36	811.64
비 고	○ 화 천 댐 : 적정 제어규칙은 Rule 3이며, 최대방류량은 5,428cms 적용 ○ 소양강댐 : 적정 제어규칙은 Rule 2이며, 최대방류량은 3,600cms 적용					

2) 1990년 홍수

① 화천댐

1990년 9월 10일 13시부터 13일 24시까지의 홍수에 대해서 초기수위는 제한수위175.0 EL.m를 훨씬 초과하는 177.24 EL.m이었다.

실제 운영결과와 가상운영결과를 비교하면 침두수위는 개발된 모형 모두 실제운영결과에 비해 유사하거나 높았으나 최대방류량은 한계방류량인 3,000cms로 실제 3,300cms에 비해 낮아 하류부 피해를 줄일 수 있는 것으로 판단되었으며, 총방류량 또한 실제 방류량보다 낮아 이수적인 효과가 개선될 수 있는 것으로 나타났다.

② 소양강댐

1990년 9월 10일 13시부터 13일 24시까지의 홍수에 대해서 초기수위는 제한수위를 약간 초과하는 191.56 EL.m이었다.

③ 충주댐

당시 저수지의 초기수위는 제한수위 138.0 EL.m보다 낮은 135.79 EL.m였으며, 아래의 표에서와 같이 모형에서의 가상운영결과가 실제운영결과에 비해 치수효과가 높은 것으로 나타났다.

표 3 1990년 홍수에 대한 개발모형의 가상운영결과

구분 댐	침두수위 (EL.m)		침두방류량 (cms)		총방류량 (×10 <sup>6</sup> 톤)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
화 천	179.87	182.37	3,300	3,000	538.03	479.13
소양강	197.99	197.83	5,675	3,600	613.17	759.34
충 주	146.04	144.39	14,000	11,900	1,842.35	2,100.32
비 고	○ 화 천 댐 : 적정 제어규칙은 Rule 1이며, 최대방류량은 3,000cms 적용 ○ 소양강댐 : 적정 제어규칙은 Rule 4이며, 최대방류량은 3,600cms 적용 ○ 충 주 댐 : 적정 제어규칙은 Rule 4이며, 최대방류량은 11,900cms 적용					

3) 1995년 홍수

① 화천댐

홍수가 시작될 때 화천댐의 초기수위는 제한수위를 1.49m 초과하는 176.49 EL.m이었다. 실제 운영결과와 가상운영결과를 비교하면 모두 계획홍수위를 초과하지 않았으며, 침두방류량은 하류부의 피해를 주지 않는 범위내에서 운영이 가능하였다.

② 소양강댐

홍수시 초기수위는 제한수위보다 4.5m 낮은 186.50 EL.m이었으며, 최대수위가 실제 수위에 비해 낮은 것으로 나타났다. 또한 최대방류량도 실제 방류량보다 낮아 치수효과측면에서 모형의 우

수성을 입증하는 것으로 나타났다. 그러나 총방류량의 측면에서는 실제 방류상황보다 크게 우수하지 않은 것으로 나타났다.

### ③ 충주댐

당시 초기수위는 제한수위보다 3.21m 낮은 134.79 EL.m이었으며, 아래의 표와 같이 실제 운영 상황에 비해 침투수위가 높은 것으로 나타났으나 이는 최대방류량을 실제운영상황보다 낮은 상태에서의 결과이기 때문에 모형의 우수성을 입증할 수 있는 결과로 판단된다.

표 4 1995년 홍수에 대한 개발모형의 가상운영결과

구분 댐	침투수위 (EL.m)		침투방류량 (CMS)		총방류량 (×106톤)	
	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영	실제운영	모의운영
화 천	179.27	182.28	3,742	3,000	977.13	869.94
소양강	194.66	196.21	3,532	2,587.68	680.32	588.47
충 주	141.95	144.15	8,526	7,593.71	1,550.62	1,405.67
비 고	○ 화 천 댐 : 적정 제어규칙은 Rule 1이며, 최대방류량은 3,000cms 적용				3,000cms 적용	
	○ 소양강댐 : 적정 제어규칙은 Rule 1이며, 최대방류량은 3,600cms 적용				3,600cms 적용	
	○ 충 주 댐 : 적정 제어규칙은 Rule 1이며, 최대방류량은 11,900cms 적용				11,900cms 적용	

## 4. 결 론

본 연구에서는 Fuzzy 제어법을 이용한 저수지 운영기법을 개발하고 이를 검증하기 위해 과거 홍수사상중 최근에 발생한 1984, 1990, 1995년 대홍수시 화천, 소양, 충주댐의 실적 운영결과와 개발된 저수지 운영기법의 가상운영결과를 비교하여 개발된 모형의 치수조절효과를 파악하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) Fuzzy 모형을 이용한 가상운영결과가 홍수시 실적 운영보다 각 저수지의 한계방류량을 초과하지 않는 범위에서도 저수위를 낮추면서도 침투방류량을 줄이는 결과를 보였다.
- 2) 각 홍수사상에 대하여 최대방류량을 낮출 수 있는 모형의 적정 제어규칙을 선정하였다.
- 3) Fuzzy 모형을 적용한 가상운영결과를 살펴보면 예비방류의 효과를 통해 침투수위를 낮추는 효과가 있기 때문에 실제 운영결과에 비해 하류부에 미치는 영향도 적을 것으로 판단된다.
- 4) 향후 하류부 댐과의 연계운영 방안과 이수효과를 고려하는 방안이 고려될 경우 실질적인 저수지 운영모형으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

- 건설부 한강홍수통제소, 한강홍수예경보, 1984., 1990.  
 건설교통부 한강홍수통제소, 한강홍수예경보, 1995.  
 심재현, 유수지 배수펌프장의 적정 운용을 위한 퍼지제어모형에 관한 연구, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1993. 2.  
 이길성, 전경수 "홍수시 소양강댐 및 화천댐의 최적운영을 위한 시뮬레이션", 한국수문학회 논문집, 제6권 제1호, pp.13~24, 1986.  
 古田 均外 5人 共著, ファジィ理論の土木工學への應用, 森北出版株式會社, 1992.  
 小尻利治 外 2名, "ファジィ制御によるダム貯水池の實時間操作に関する研究", 京都大學防災研究所年報, 第30號 B-2, pp. 323~339, 1987.  
 Hasebe, M. and Nagayama, Y., "Application of fuzzy set theory and neural networks to the control system of reservoir operation from the viewpoint of water resource", Stochastic Hydraulics '96, A.A. Balkema, pp.95~102, 1996.  
 Hunt, K. J., Stochastic Optimal Control Theory with Applications in Self-Tuning Control, Lecture Notes in Control and Information Sciences No.117, Springer -Verlag, pp.154~202, 1989.  
 Kosko, B., Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall, pp. 1~11, pp. 299~338, 1992.

6. Fuzzy 모형에 의한 저수지 운영 수문곡선비교  
1) 1984년 홍수

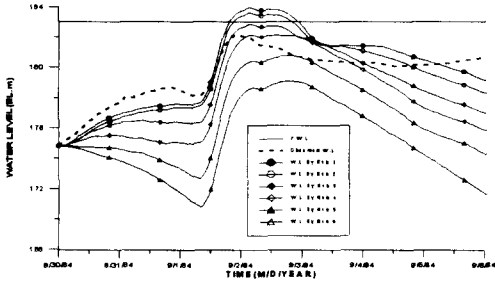


그림 1 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선(화천)

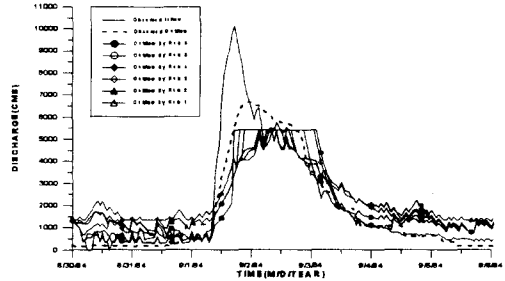


그림 2 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선(화천)

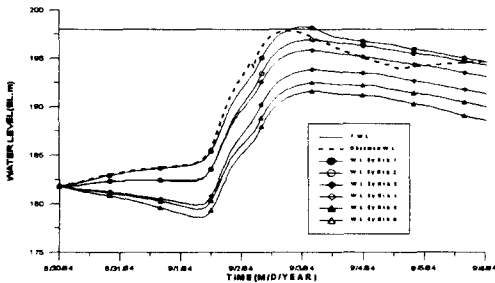


그림 3 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선(소양강)

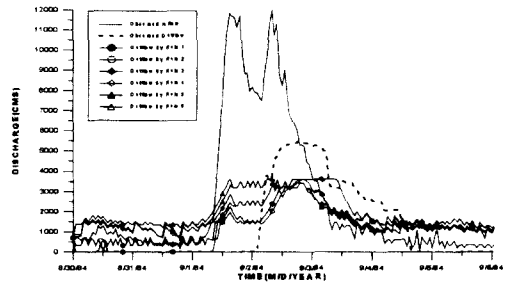


그림 4 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선(소양강)

2) 1990년 홍수

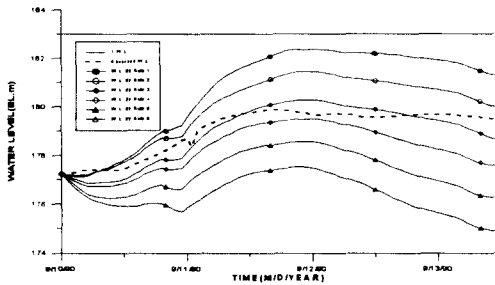


그림 5 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선(화천)

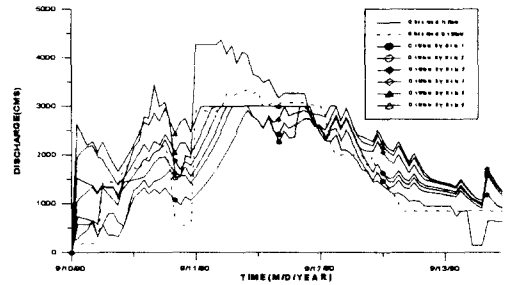


그림 6 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선비교(화천)

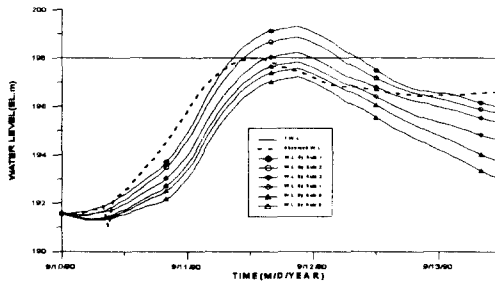


그림 7 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선비교(소양강)

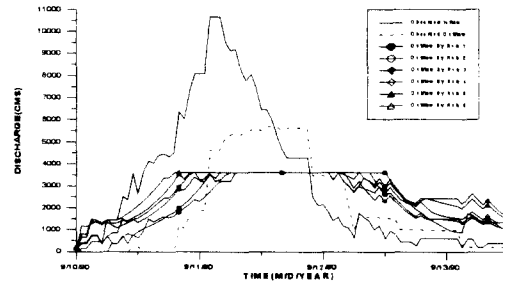


그림 8 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선(소양강)

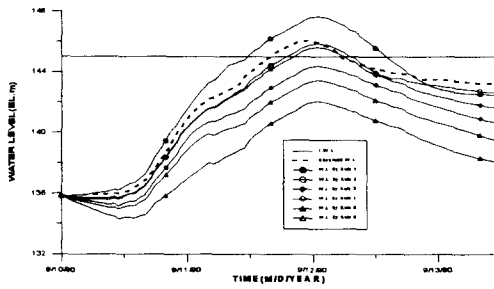


그림 9 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선(충주)

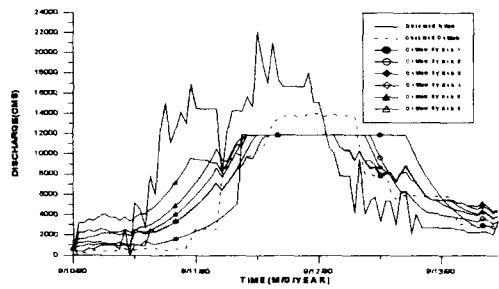


그림 10 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선비교(충주)

3) 1995년 홍수

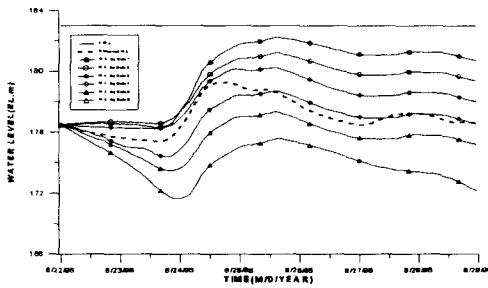


그림 11 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선(화천)

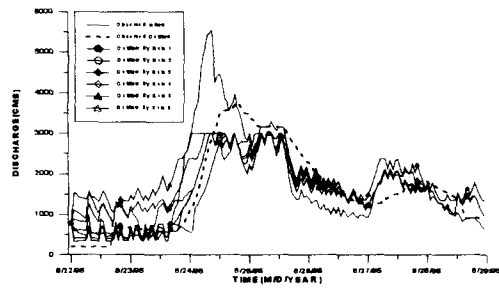


그림 12 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선비교(화천)

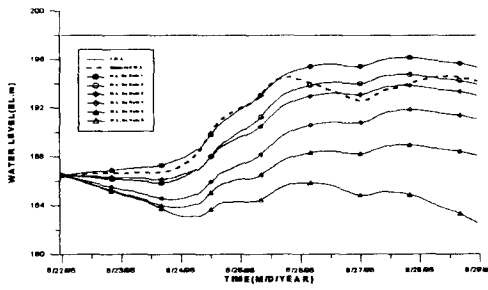


그림 13 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선비교(소양강)

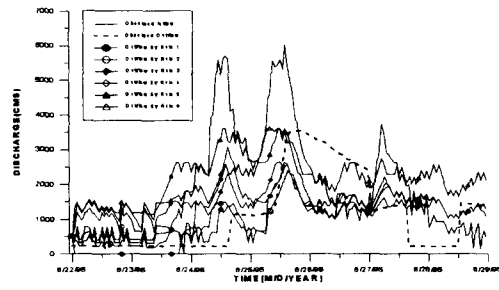


그림 14 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선비교(소양강)

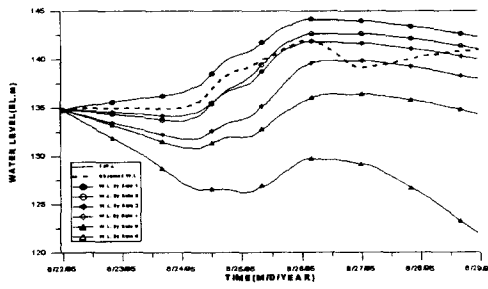


그림 15 Fuzzy 모형에 의한 수위수문곡선비교(충주)

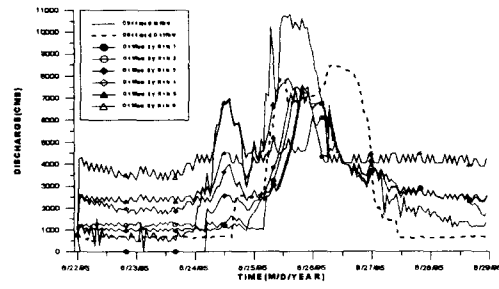


그림 16 Fuzzy 모형에 의한 유량수문곡선비교(충주)