

퍼지제어모형을 이용한 다목적 댐의 홍수조절모형(I)

- 단일댐의 운영모형 개발 -

Multipurpose Dam Operation Models for Flood Control Using Fuzzy Control Technique (I)

- Development of Single Dam Operation Models -

심재현* / 김지태** / 허준행*** / 김진영****

Shim, Jae Hyun / Kim, Jitae / Heo, Jun-Haeng / Kim, Jin Young

Abstract

The objective of this study is to develop single dam operation models for flood control using Fuzzy control technique, which can improve flood controllability. We set control rules by water level and inflow, and developed three models Fuzzy I, II, III according to rule to decide outflow. Fuzzy I model consists of six rules considering only flood control and Fuzzy II model considers the effect of water use by increasing water level at the end of flood control period as well as flood control during the same period. Finally, Fuzzy III is an adaptive model designed to perform multipurpose dam operation for both flood control and water use simultaneously based on a control rules.

Key words : flood control, dam operation, Fuzzy control

요 지

본 연구에서는 치수방재 효과를 향상시키기 위한 단일댐운영 모형을 개발하였으며, 제어기법은 퍼지제어 기법을 사용하였다. 본 모형은 저수지 수위와 유입량을 기준으로 제어규칙을 설정하였으며 방류량을 결정하는 제어기준에 따라 Fuzzy I, II, III의 세가지 모형을 개발하였다.

Fuzzy I 모형은 6개의 제어규칙에 의해 홍수조절만을 고려한 것이고, Fuzzy II 모형은 I 모형의 치수효과를 가지면서도 홍수후의 저수위를 상승시켜 이수적인 효과도 얻기 위한 모형이며, Fuzzy III 모형은 적응제어모형으로 제어규칙을 9개로 세분화하여 치수효과와 이수효과를 동시에 거둘 수 있도록 한 모형이다.

핵심용어 : 홍수조절, 댐운영모형, 퍼지제어

I. 서 론

우리 나라는 연평균 강수량 1,274mm의 2/3가 하절기 3개월 정도에 집중되고 나머지 기간에 1/3이 분포되어 발생하기 때문에 홍수와 갈수라는 두 가지 자연재해를 해마다 겪고 있는 실정이다. 이러한 홍수재해와 가뭄재해를 적절하게 대처할 수 있는 방안은 상류유역에 저수지를 건설하여 홍수시 이를 저류하였다가 평상시 저류된 수량을 각종 용수로 사용하는 방안이 가장

적절한 것으로 알려지고 있다. 그러나 저수지의 방류량 조절은 이수적인 측면에서는 저수지에서 많은 수량을 확보하여야 한다는 점과 치수적인 측면에서 하류부 침수피해와 이상호우에 의한 댐 유입량 증가에 대처하기 위해 홍수발생 이전의 저수량이 작아야 한다는 상반된 조건을 가지는 교호관계(trade-off relationship)에 있어 이를 동시에 만족하거나 절충하는 적정 운영을 어려울 수 밖에 없다.

일반적으로 댐의 운영방법에는 모의조작기법(simula-

* 국립방재연구소 토목연구관

** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사수료

*** 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 토목전공 교수

**** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정, 행정자치부 지역균형발전과장

tion technique)과 최적화기법(optimization technique)이 있으며, 댐의 장기적인 운영방안에 관해서는 선형계획법(Linear Programming), 동적계획법(Dynamic Programming) 등의 최적화기법이 많이 적용, 연구되어 왔다. 그러나 홍수시 댐 운영에 있어서는 그 제약조건이 매우 많고 또한 복잡하기 때문에 최적화기법을 적용하기가 매우 어려우며, 이산화된 시간 단위의 길이가 짧은 시간별 운영문제에 있어서는 더욱 그렇다. 더욱이 하도를 포함하고 있는 댐 군의 운영에 있어서는 최적화기법의 적용은 매우 어려운 문제로써 현재까지 연구되어 온 결과가 매우 희소하다. 반면 모의조작기법은 일반적으로 최적해를 얻기는 어려우나 섬세하고 복잡한 문제 및 불확실성(uncertainty)이나 가변성(variability)을 포함한 문제를 다루기에 적합한 방법이다(김양수, 1994).

따라서 본 연구는 모의조작기법의 하나로서 홍수시 수문조작의 적정 운영을 통해 방류량을 조절하여 댐의 안전도 확보뿐만 아니라 하류부 홍수피해를 최소화하는 방류량 제어모형을 제시하는데 목적이 있으며, 이를 위해 퍼지제어기법(Fuzzy Control Technique)을 적용하였다. 즉, 본 연구의 최종 목표는 홍수시 댐 안전성 확보와 하류부 피해 경감이라는 조건을 동시에 만족하는 방안 개발이라고 할 수 있다.

지금까지 저수지 운영에 관련한 최근의 국내외 연구 중 홍수시 저수지 운영방안으로는 Technical ROM 기법을 사용한 소양강댐 및 화천댐의 최적운영방안을 제시한 이길성과 전경수(1986)의 연구, 댐으로의 유입량을 사전에 예측하여 제한수위를 가변적으로 변경, 운영하는 기법을 제안한 권오익과 심명필(1997)의 연구, 홍수시 실시간 저수지 운영을 위한 의사결정 지원시스템을 제안한 심순보 등(1997)의 연구가 있으며, 비홍수시 저수지 운영방안에 대해서는 양적추계학적 동적계획법을 사용한 고석구 등(1997)의 연구가 있다.

퍼지제어기법을 사용한 외국의 저수지 운영기법 개발 연구로는 小尻利治(1987)의 연구와 長谷部雅彦과 中山泰利(1996)의 연구가 있다.

2. 모형이론

2.1 퍼지제어이론

인간의 생활이나 자연현상 속에는 항상 정확하게 판단할 수 없는 애매모호함이 존재한다. 저수지 운영의 문제에 있어서는 “상류 유역의 강수량이 많이 발생하였다”, “현재 댐 수위가 적당하다” 등의 개념도 마찬가지로 애매모호한 판단에 의하여 결정되는 명제라고 할 수 있다. 이와 같이 일반적으로 애매한 판단과 언어를

사용하고 있으나 지금까지 이를 수학이나 컴퓨터를 통해 어떠한 판단기준으로 사용하기가 곤란하였다.

이는 대부분의 판단기준은 그렇다(yes) 혹은 아니다(no)의 이치논리(二值論理 : bivalent logic)에 근거하였기 때문이며, 본 과업에서 다루고자 하는 저수지 운영과 같이 인명이나 재산을 다루는 중요한 결정을 애매한 상황 속에서 해야 할 경우에는 기존의 이치논리에 의한 판단은 곤란하게 된다.

이러한 애매함을 수치적으로 정량화하여 좀 더 인간의 애매모호한 개념을 논리적으로 나타내려는 것이 퍼지이론(Fuzzy theory)이며, 미국의 Zadeh 교수(1965)가 인간의 주관적인 사고와 판단을 모형화하여 이를 정량적으로 취급하는 퍼지집합이론(Fuzzy set theory)을 제창한 이후 인공지능(Artificial Intelligence), 전문가 시스템(Expert System), Kalman Filtering, 최적화(optimization) 등의 다양한 분야에서 적용, 발전되어 오고 있다.

즉, 퍼지이론은 어느 정도에 속하는가를 결정하는 이론이라 할 수 있다. 따라서 퍼지이론은 참(1) 혹은 거짓(0)의 이치논리와 참도 거짓도 아닌 참과 거짓사이의 애매함을 정량화하려는 이론이라고 정의할 수 있으며, 수학적으로는 다치논리(多值論理 : multivalent logic)에 해당된다(심재현, 1993).

1965년 Zadeh 교수는 “Fuzzy Sets” 라는 논문을 발표하면서 이치논리에 근거하는 특성함수(characteristic function)와 다치논리에 근거하는 구성함수(membership function)를 다음과 같이 정의하였다.

$$C_A(x) = \begin{cases} 1 & (x \in A) \\ 0 & (x \notin A) \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 $C_A(x)$ 를 이치논리의 특성함수라 하며, x 라는 원소가 집합 A 에 속하는가, 속하지 않는가에 따라 1, 0의 진리값을 갖게 된다.

이에 반해 다치논리에 의한 구성함수는 다음과 같이 정의하였다.

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

여기에서, $\mu_A(x)$ 를 구성함수라 하며 x 라는 원소가 A 라는 퍼지집합에 속하는 정도로 $[0, 1]$ 사이의 모든 실수 값을 진리값으로 가질 수 있다.

다시 말하자면, $\mu_A(x)$ 가 0에 가까울수록 x 가 A 에 속할 가능성이 없는 것을 의미하고, 1에 가까울수록 x 가 A 에 속할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

애매성과 무작위성(fuzziness and randomness)은 개념적, 이론적으로 그 의미가 다르다. 애매성이란 사건 자체의 애매성을 의미한다. 애매성을 관측하는 것은 해당사건이 일어날 것인가를 관측하는 것이 아니라 그 사건이 일어나는 정도를 수치화하는 반면에, 무작위성을 관측하는 것은 해당사건의 발생에 대한 불확실성을 수치화하는 것이다. 집합론적으로 살펴보면 $AUAc = 1$ 인 공간을 취급하는 것이 무작위성이라면, $AUAc \neq 1$ 인 공간까지도 취급하는 것이 애매성을 다루는 퍼지 이론인 것이다.

구성함수는 애매한 퍼지정보량을 정량화시켜주는 함수로서 본 연구에서는 그림 1과 같은 삼각형 함수를 사용하였다.

구성함수가 결정된 후에 이루어져야 할 사항은 각 정보량의 상태를 결정해 주는 퍼지변수의 개수이다. 퍼지변수의 개수는 각 정보량이 퍼지변수로는 어느 정도에 속하는가(grade of membership)를 나타내는 무차원의 값을 정하는 기준이 된다. 따라서 한계가 존재하는 것은 자명한 사실이지만 퍼지변수의 개수가 많을수록 퍼지제어 정보량의 미세한 변화를 잘 표현해 줄 수 있다고 하겠다. 일반적으로 하나의 정보량을 5~7개의 퍼지변수에 의해 나타내며, 본 과업에서는 전후사항을 고려하여 7개의 퍼지변수를 사용하였다. 본 과업에서 사용한 구성함수의 형태와 퍼지변수의 개수를 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

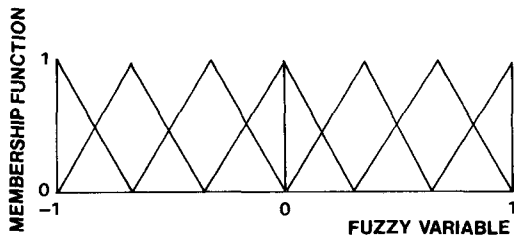


그림 1. 삼각형 구성함수

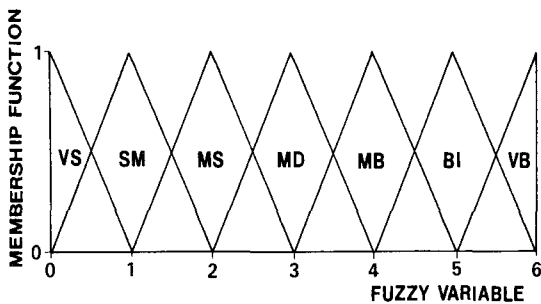


그림 2. 본 연구서 사용한 구성함수와 퍼지변수

그림에서 알 수 있는 바와 같이 x축은 각 정보량을

퍼지화(fuzzification)시켰을 때 퍼지변수의 크기를 나타내며, y축은 각 퍼지변수가 속하는 정도를 나타내는 구성함수 값이다. 또한 7개의 퍼지변수는 VS(very small), SM(small), MS(more or less small), MD (medium), MB(more or less big), BI(big), VB(very big)의 상태를 의미한다.

2.2 적용을 위한 입력요소 설정

홍수시 댐 방류량 조절을 위한 수문 제어에 퍼지제어기법을 적용하기 위하여 수문조작자가 홍수상황시 고려하는 정보와 상식적으로 고려할 수 있는 정보량들로는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 수문조작시각에서의 저수지 수위
- ② 수문조작시각에서 저수지로 유입되는 유입량
- ③ 홍수도달시간에 해당하는 수문조작 이전 시각에서의 강우량
- ④ 수문조작시각과 이전 시각에서의 유입량의 차
- ⑤ 수문조작 이전시각에서의 댐 방류량

이러한 다섯가지 정보량중 본 과업에서는 단일 댐 저수지의 방류량을 제어하기 위한 조작 퍼지공간으로 유입 수문곡선, 저류량, 유입량 자료를 사용하였다. 이는 현재 상황에서 개발모형의 적용성을 확보하기 위한 것으로 방류량 제어의 효율성을 증가시켜 줄 수 있는 강우의 실시간 예보, 강우-유출모형의 개선 등에 대한 입력정보량은 제외하였다.

일반적으로 전문가 시스템과 퍼지제어에 의한 실시간 저수지 조작은 다음과 같은 사항이 선행되어야 가능하다고 볼 수 있다.

- ① 과거의 수문자료, 관리기록, 관리자의 경험을 종합한 data base
- ② 얻어진 정보를 처리하여 조작에 필요한 형태로 보존하는 지식 base
- ③ 실시간적으로 댐관리 정보량이 입력되면 최적 방류량을 계산할 수 있는 추론기구
- ④ 관리자에게 구체적인 방류량을 제시, 설명시켜 줄 수 있는 interface 장치

이러한 내용을 근거로 하여 본 과업에서 저수지 운영에 사용한 제어방식은 퍼지연상기억장치(FAM : fuzzy associative memory)에 제어규칙을 입력하고 이를 각 상황에 따라 출력결과로 추론해 가는 방식을 사용하였다 (Kosko, 1992). 이러한 FAM 방식의 제어는 아래의 그림과 같은 패치(patch)형식을 가지는데 유입량을 단계별로 구분하여 이에 따라 방류량을 결정하게 된다.

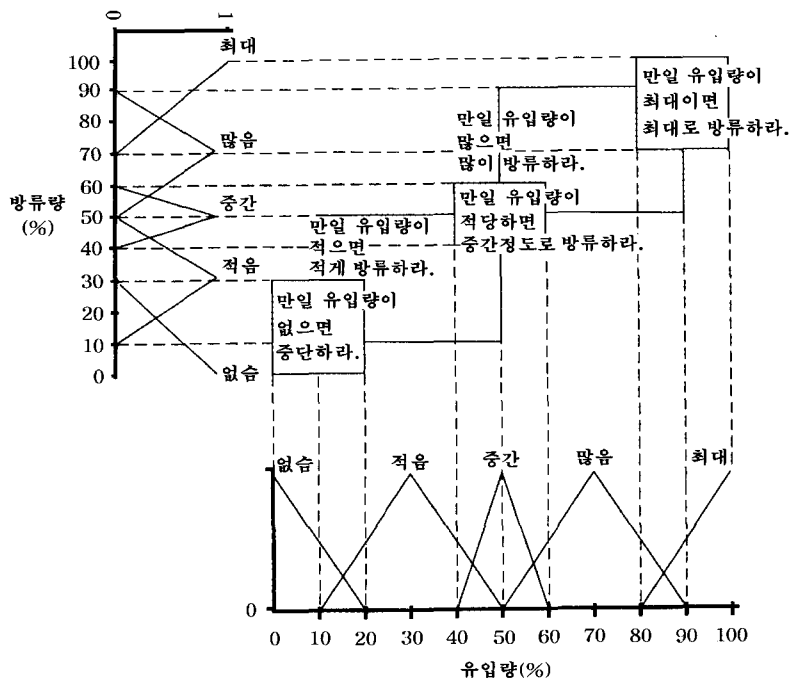


그림 3. FAM에 의한 제어방식의 사례

표 1. 저수량과 유입량을 고려한 제어규칙

구 분	퍼지대표값						
	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)

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.

3. 퍼지제어 모형의 설정

본 연구에서는 위에서 언급한 두 개의 입력요소로서 방류량을 결정하는 모형을 아래와 같은 3가지 모형으로 구성하였으며, 각 모형의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 Fuzzy I 모형

본 모형은 해당 시각에서의 저수지 수위와 유입량을 기준으로 제어규칙을 설정하였다. 이러한 2개의 입력 퍼지정보량에 의하여 제어출력을 결정하기 위해 각 입

력정보량을 7개의 퍼지변수로 구분하고, 각 정보량의 상황에 의하여 출력량 역시 적정 퍼지변수로 결정하는 과정이 제어규칙의 설정이다. 각 입력정보량의 상황에 따라 출력량의 상황을 합리적으로 표현하면 다음과 같은 6개로 나열할 수 있다. 이들을 각각 제어규칙 1~6이라 명명하였는데 이를 표로 나타내면 표 2~7과 같다. 표에서 공백으로 나타난 부분은 출력제어량이 없음을 의미한다.

퍼지제어공간(fuzzy control space)이란 초기정보량에 해당하는 입력량의 변화에 따라 설정된 제어규칙에 의하여 출력 퍼지변수가 변화하는 정도, 즉 설정된 제어규칙에 따른 출력량의 변화공간을 나타내는 것이다. 설정된 제어규칙 1~6에 의하여 출력되는 출력량의 퍼지화된 수치를 그림으로 나타내면 그림 4~9와 같다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 제어규칙의 수가 커질수록 같은 초기조건부(전건부)의 퍼지입력량에 대하여 출력되는 제어량이 커지고 있으며, 이는 후기조건부

(후건부)의 퍼지변수의 수치를 제어규칙상에서 크게 설정했기 때문인 것을 쉽게 알 수 있다. 즉, 상태가 위험해 질수록 제어규칙의 수치가 큰 제어규칙을 사용하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

표 2. 저수위와 유입량을 고려한 제어규칙 1

유입량 \ 저수위	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS				VS	VS	SM	SM
SM			VS	VS	SM	SM	MS
MS		VS	VS	SM	SM	MS	MS
MD	VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD
MB	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
BI	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
VB	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB

표 3. 저수위와 유입량을 고려한 제어규칙 2

유입량 \ 저수위	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS			VS	VS	SM	SM	MS
SM		VS	VS	SM	SM	MS	MS
MS	VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD
MD	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
MB	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
BI	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
VB	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI

표 4. 저수위와 유입량을 고려한 제어규칙 3

유입량 \ 저수위	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS		VS	VS	SM	SM	MS	MS
SM	VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD
MS	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
MD	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
MB	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
BI	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI
VB	MS	MD	MD	MB	MB	BI	BI

표 5. 저수위와 유입량을 고려한 제어규칙 4

유입량 \ 저수위	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS	VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD
SM	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
MS	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
MD	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
MB	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI
BI	MS	MD	MD	MB	MB	BI	BI
VB	MD	MD	MB	MB	BI	BI	VB

표 6. 저수위와 유입량을 고려한 제어규칙 5

저수위 \ 유입량	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
SM	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
MS	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
MD	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI
MB	MS	MD	MD	MB	MB	BI	BI
BI	MD	MD	MB	MB	BI	BI	VB
VB	MD	MB	MB	BI	BI	VB	VB

표 7. 저수위와 유입량을 고려한 제어규칙 6

저수위 \ 유입량	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
MS	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI
MD	MS	MD	MD	MB	MB	BI	BI
MB	MD	MD	MB	MB	BI	BI	VB
BI	MD	MB	MB	BI	BI	VB	VB
VB	MB	MB	BI	BI	VB	VB	VB

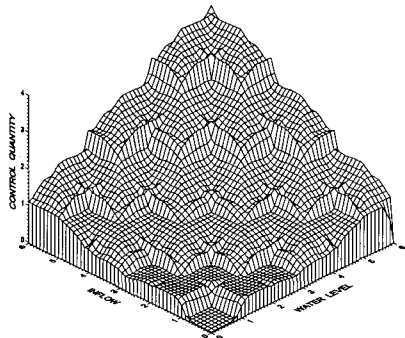


그림 4. 제어규칙 1의 퍼지제어공간

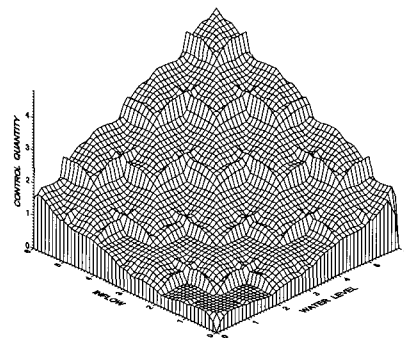


그림 5. 제어규칙 2의 퍼지제어공간

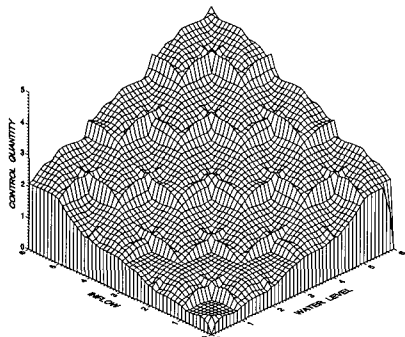


그림 6. 제어규칙 3의 퍼지제어공간

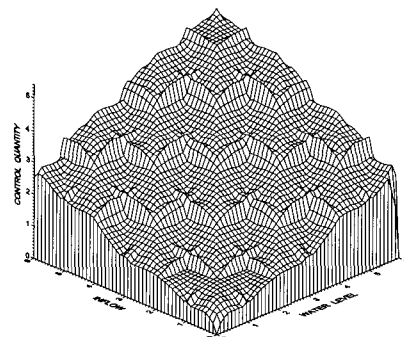


그림 7. 제어규칙 4의 퍼지제어공간

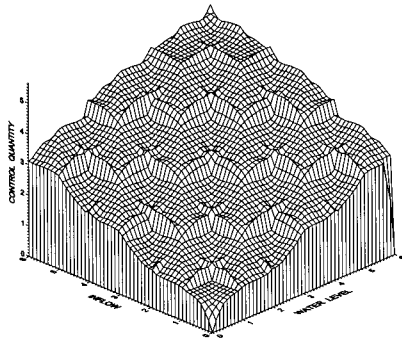


그림 8. 제어규칙 5의 퍼지제어공간

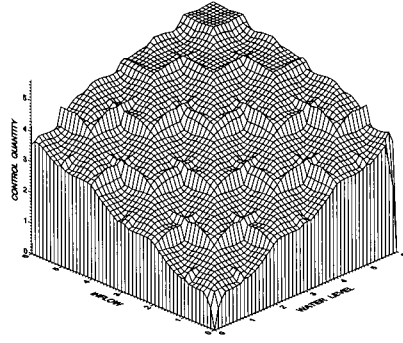


그림 9. 제어규칙 6의 퍼지제어공간

3.2 Fuzzy II 모형

본 모형에서는 Fuzzy I 모형과 같이 초기 정보량인 퍼지 입력량을 수문조작시각에서의 저수지 수위와 저수지로 유입되는 유입량이라는 두가지 변수를 사용하였다. 또한 애매한 정보량을 정량화 시켜주는 구성함수의 형태는 삼각형으로 선정하였고, 출력량을 조절해주는 제어규칙은 2가지로 가정하여 사용하였다.

본 모형은 간단한 적응모형(adaptive model)의 형태로서 사용한 제어규칙 두 가지는 저수지 조작 시각과

이전 시각과의 유입수문곡선의 변화를 고려하여 상승시와 하강시에 제어규칙을 변화시키기 위하여 사용하였다.

즉, Fuzzy I 모형의 치수효과를 가지면서도 홍수후의 저수위를 상승시켜 이수적인 효과도 얻기 위한 모형으로, 이러한 목적을 충족시키기 위해 유입량이 상승되는 경우의 제어규칙과 유입량이 하강하는 경우의 제어규칙을 변환시키는 방법을 선택하였다.

표 8. 유입량이 상승할 때의 제어규칙

저수위 유입량	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS			VS	VS	SM	SM	MS
SM		VS	VS	SM	SM	MS	MS
MS	VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD
MD	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
MD	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
BI	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
VB	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI

표 9. 유입량이 하강할 때의 제어규칙

저수위 유입량	VS	SM	MS	MD	MB	BI	VB
VS	VS	SM	SM	MS	MS	MD	MD
SM	SM	SM	MS	MS	MD	MD	MB
MS	SM	MS	MS	MD	MD	MB	MB
MD	MS	MS	MD	MD	MB	MB	BI
MB	MS	MD	MD	MB	MB	BI	BI
BI	MD	MD	MB	MB	BI	BI	VB
VB	MD	MB	MB	BI	BI	VB	VB

제어 프로그램 상에서는 퍼지추론(fuzzy inference)이 이루어지기 이전인 감지부(sensory unit)에서 동일한 유입량과 수위조건에 대해서도 유입량이 제어시각 이전에 비해 증감되는 여부에 따라 제어규칙을 변경시키도록 구성하였다.

Fuzzy II 모형에서 적용한 제어규칙은 아래의 표 8, 9와 같다.

3.3 Fuzzy III 모형

본 모형에서는 Fuzzy II모형을 개선한 적응제어모형(adaptive control model)으로서 제어규칙을 9개로 세분화하였으며, 유입량의 상승과 하강에 따른 제어규칙 변화를 증가시켜 치수효과와 이수효과를 동시에 거둘 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 즉, 수문조작시각 이전의 유입량과 현재 시각의 유입량의 차에 대한 비율을 $\pm 10\sim 40\%$ 로 세분하여 수문곡선 상승시에는 치수효과를 높이기 위해 방류를 많이 하는 제어규칙으로 변환하고, 하강시에는 이수효과를 높이기 위해 제어규칙을 변화하여 방류를 적게 하도록 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 퍼지제어기법을 이용하여 단일댐의 홍수조절 모형을 개발하였으며 그 결과는 다음과 같다

- 1) 유입량과 저수위를 판단하여 방류량을 결정하는 제어기준에 따라 Fuzzy I, II, III의 세 가지 모형을 개발하였다.
- 2) Fuzzy I 모형은 입력정보량을 7개의 퍼지변수로 구분하여 각 입력정보량의 상황에 의해 1~6까지의 제어규칙으로 나누어 방류량을 결정하도록 하여 치수 위주로 구성하였다.

- 3) Fuzzy II 모형은 Fuzzy I 모형의 치수효과를 가지면서 홍수후의 저수위를 상승시켜 이수적인 효과도 얻기 위한 모형이며, Fuzzy III 모형은 Fuzzy II 모형을 개선한 적응제어모형으로서 유입량의 상승과 하강에 따른 제어규칙 변화를 증가시켜 치수효과와 이수효과를 동시에 거둘 수 있도록 구성하였다.

참 고 문 헌

- 고석구, 이광만, 이한구(1997). “양해 추계학적 동적계획법에 의한 저수지 운영률 개발.” **한국수자원학회 논문집**, 제30권 제3호, pp.257~268.
- 권오익, 심명필(1997). “다목적 댐의 홍수기중 가변제 한수위 결정 방안.” **한국수자원학회 논문집**, 제30권 제6호, pp.709~721
- 김양수(1994). “홍수시 저수지 운영방법의 고찰 -Technical ROM을 중심으로-.” **한국수문학회지**, 제27권 제4호, pp.14~18.
- 심재현(1993), **유수지 배수펌프장의 적정 운용을 위한 퍼지제어모형에 관한 연구**, 연세대학교 대학원 박사학위논문.
- 이길성, 전경수(1986). “홍수시 소양강댐 및 화천댐의 최적운영을 위한 시뮬레이션.” **한국수문학회 논문집**, 제6권 제1호, pp.13~24.
- 小尻利治 外 2 名(1987), “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.
- Kosko, B.(1992), **Neural Networks and Fuzzy Systems**, Prentice Hall, pp. 1~11, pp. 299~338.
- Zadeh, L. A.(1965), “Fuzzy sets”, **Information and Control**, vol. 8, pp. 338~353