大韓土木學會論文集
第12卷 第3號 · 1992年 9月
pp. 107~114

水 工 學

퍼지제어기법을 사용한 우수배제 펌프의 조작기법 개발

A New Control Technique of Drainage Pump Based on Fuzzy Control

이원환* · 조원철** · 심재현***
Lee, Won Hwan · Cho, Won Cheol · Shim, Jae Hyun

Abstract

With the increasing of impervious area and shortening of travel time, the risk of flooding in urban area becomes a serious problem in Seoul metropolitan area, and its alternatives are needed. In this study, one of urban flood alternatives, a fuzzy control technique is applied in pumping station to test its drainage capacity of inland inflow, and compared with existing pumping criteria (controled by water level). Three design rainfalls(10, 30, and 50 year) are applied to ILLUDAS model to calculate inflow in detention reservoir. To check the efficiency of fuzzy control, two fuzzy rules are used in the operation of pumping station. In these results, fuzzy control rules, based on the experiences of experts, show applicability in practice and effectiveness in inland flooding prevention.

요 지

불투수성 면적의 증가로 인한 유출량의 증가와 홍수도달시간의 단축은 도시홍수에 의한 피해를 가중시키고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 도시홍수의 방재대책중 하나로 우수배제펌프의 조작기법으로 퍼지제어기법을 적용하여 내수배제능력을 검토하였으며, 기존의 수위기준에 의한 펌프조작기준과 비교하였다. 유수지의 유입량을 산출하기 위해 재현기간 10, 30, 50년의 설계호우를 ILLUDAS 모형에 적용하였다. 퍼지제어규칙의 효용성을 검토하기 위해 퍼지제어규칙 1, 2를 설정하여 가상조작한 결과 조작자의 경험이 포함된 퍼지제어규칙에 의한 펌프제어가 실용적인 면을 보였으며, 내수방재면에서 효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

1. 서 론

도시의 계속되는 발전에 따라 건물과 포장도로와 같은 불투수성 지역이 급격하게 증가하게 되고, 도시로의 인구집중으로 인해 하천 연변의 저지대에까지 택지가 조성되어 지고 있는 것이 수도 서울의 실정이다. 따라서 예전에 비해 적은 양의 강우에 대해서도 홍수피해는 커가고 있으며, 계속되는 하수관거의 확충 및 도시홍수 방지대책의 수립에도 불구하고 매년 크고 작은 홍수에 의해 많은 인명과 재산피해가 생긴다.[4]

* 정회원 · 연세대학교 토목공학과 교수
** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 부교수
*** 정회원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

한강은 상류의 댐군에 의해 홍수량이 조절되어 천재에 가까운 홍수를 제외하고는 외수위가 제방을 넘는 사태가 거의 일어나지 않을 것으로 사료되나 서울특별시 관내 하천연변의 저지대에서 강우로 인해 발생되는 제내지측의 우수유출량에 의한 내수배제는 이미 한강의 외수위가 높아져 자연방류가 불가능하게 되는 것이 오늘날 한강의 홍수특성이라 할 수 있다. 따라서 이러한 제내지측의 우수유출량을 처리하기 위해 설치된 수공구조물이 유수지와 우수배제 펌프장이다. 유수지는 저류에 의해, 우수배제펌프장은 펌프토출량으로 제내지측의 홍수에 대처하게 된다. 저류에 의한 홍수저감대책은 이후 발생되는 홍수사상에 대한 적극적인 대처가 될 수 없는 반면에 홍수량의 변화에 대해 펌프토출량을 증감시켜 홍수에 대처하는 것은 적극적인 대처가 가능하므로, 펌프에 의한 홍수조절은 1차적인 대처방안이고, 유수지에 의한 홍수처리는 2차적인 대처방안이라 볼 수 있다.[3,5]

현재 서울특별시 관내 대부분의 유수지는 우수배제 펌프장과 연결되어 있으며, 펌프의 조절은 유수지내 수위를 기준으로 하여 펌프조작자의 경험에 의한 조작을 병행하고 있다. 이원환의 연구결과[3,5,6]에 의하면 수위기준에 의한 펌프조작은 펌프조작시각의 유입량에 대한 정보와 이후 유입량에 대한 정보가 전혀 고려되지 않아 급변하는 유입량의 변화에 대한 신속한 대처가 불가능하여 침수위험성이 매우 높다는 것을 수치적으로 파악한 바 있다. 그러나 연구결과 내수침수의 위험성이 매우 높은 것으로 나타난 유수지도 수년간 침수가 되지 않았던 것은 실제 펌프조작자가 수위만을 기준으로 한 조작을 하지 않고, 다년간의 경험에 의한 조작으로 내수유입량을 적절하게 배제시킨 결과라는 사실을 현장조사를 통해 알게 되었다.

본 연구에서는 다년간의 경험에 의한 조작기법을 이론적으로 전개하기 위해 퍼지제어이론(fuzzy control theory) 을 적용하여 우수배제펌프의 가상조작을 함으로서 내수유입량을 적절하게 배수할 수 있는 지 여부를 검토하였다.

현재 우리나라에서 발표된 유수지 운영에 관한 연구로는 유수지와 우수배제펌프장의 전반적인 문제점을 다룬 고재웅의 연구[1]와 1987년 실제강우와 설계강우에 대한 유수지와 우수배제펌프의 상황을 검토한 수해백서[2] 등이 있으며, 우수배제펌프의 조작에 대한 연구로는 유수지 유입량을 수문곡선상에서 증수부와 감수부로 나누어 기존의 펌프용량으로 홍수대처능력을 향상시키는 기법[5]과 이 기준을 기초로 한 배수펌프의 가동수위 결정에 대한 연구[6] 및 서울특별시 관내 전 유수지에 대해 설계강우량에 따른 침수여부를 조사하고, 안전도를 검토한 보고서[3] 등이 있다. 또한 외국의 경우를 살펴보면 寺野[9]는 가상의 유수지에 대해서 퍼지이론을 도입하여 펌프조작을 시도한 바 있는 데, 이 연구에서는 약간의 수위 상승에도 안전하다고 판단되는 상황과 일본지역의 특성을 고려해 태풍시의 경우로 이분하여 가중치에 따른 적응제어를 시도하였다.

본 연구에서는 서울시 관내 기존의 우수배제 펌프장에 대해 퍼지제어이론의 적용 가능성을 검토하고, 기존의 수위기준 조작과 조작자의 경험적인 지식을 함께 고려하여 홍수대처능력을 향상시킬 수 있는 기법을 개발하는 데 그 목적이 있다. 현재 서울특별시 관내 모든 유수지 및 우수배제펌프장에 대해 퍼지제어기법을 적용하기에는 많은 자료와 시간이 필요하여 본 연구에서는 도림 1 유수지와 한남 유수지에 대해서만 한정하여 적용하였다. 또한 한강의 홍수특성상 자연방류가 없이 홍수 초기부터 펌프의 강제토출량에 의해서만 유입량을 배제하는 경우를 기준으로 택하였다.[3,5,6]

2. 퍼지이론(Fuzzy Theory)

2.1 퍼지집합(Fuzzy Set)

인간의 주관적인 판단에 의한 애매한 의미를 정량적으로 해석하기 위해 Zadeh에 의해 제안된 퍼지집합은 멤버쉽 함수(membership function)에 의해 다음과 같이 정의할 수 있다.[13]

전체 집합 X에서 퍼지부분집합(fuzzy subset) A는 $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$로 정의되는 멤버쉽 함수 μ_A에 의해 특성지워지는 집합으로, $\mu_A(x)$는 x가 A에 속하는 정도(grade of membership)를 나타낸다. 다시 말하자면 $\mu_A(x)$가 1에 가까울 수록 x가 A에 속할 정도가 높고, $\mu_A(x)$가 0에 근사할수록 x가 A에 속할 정도가 낮은 것을 의미한다.

즉 일반적인 집합, 즉 크리스프(crisp) 집합론은 0 또는 1의 이치논리(bivalent logic)에 근거한다면,

퍼지집합은 0 부터 1 까지 사이의 모든 실수 값을 취할 수 있는 다치논리(multivalent logic)에 근거를 두고 있다.[19]

2.1.1 특성함수와 멤버쉽 함수(Characteristic Function and Membership Function)

퍼지부분집합 A는 원소 x와 멤버쉽 함수 $\mu_A(x)$에 의한 집합으로서 다음과 같이 표시할 수가 있다.

$$A=\{(x,\ \mu_A(x))\,|\,x\in X\} \tag{1}$$

여기서 $\mu_A(x)$가 0 또는 1인 경우는 통상의 집합에서 "x가 A의 부분집합이 아니다 또는 부분집합이다"의 논리에 해당하는 경우로서, 다음과 같은 특성함수(characteristic function) 로 표시할 수 있다.[11]

$$C_A(x)=\begin{cases}1 & (x\in A)\\ 0 & (x\notin A)\end{cases} \tag{2}$$

위와 같이 멤버쉽함수는 특성함수를 [0,1]의 모든 실수에 대해 일반화한 것이라 할 수 있다.

2.1.2 합집합, 공통집합, 및 여집합

전술한 바와 같이 퍼지집합은 멤버쉽함수에 의해 정의되며, 크리스프 집합과의 차이를 비교해 보면 다음과 같다.[10,14]

1) 공통집합(intersection)

두개의 퍼지집합 A, B 의 공통집합은 A∩B라고 쓰며 다음 과 같이 정의된다.

$$A\cap B\longleftrightarrow\mu_{A\cap B}(x)=\min(\mu_A(x),\ \mu_B(x)) \tag{3}$$

2) 합집합(union)

두개의 퍼지집합 A, B의 합집합은 A∪B라고 쓰며 다음과 같이 정의된다.

$$A\cup B\longleftrightarrow\mu_{A\cup B}(x)=\max(\mu_A(x),\ \mu_B(x)) \tag{4}$$

3) 여집합(complement)

한 개의 퍼지집합 A의 여집합은 $\bar{A}$라고 쓰며 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{A}\longleftrightarrow\mu_{\bar{A}}(x)=1-\mu_A(x) \tag{5}$$

2.2 퍼지추론(fuzzy inference)

n 개의 퍼지규칙 R^n이 식 (6)과 같이 OR 결합으로 이루어 질 때 이들을 합성하여 전체 규칙을 만드는 Mamdani 의 추론을 정리하면 다음과 같다.[8]

$$\begin{array}{lllll}
R^1: \text{if } x \text{ is } A_1 & \text{and } y \text{ is } B_1 & \text{then } z \text{ is } C_1\\
R^2: \text{if } x \text{ is } A_2 & \text{and } y \text{ is } B_2 & \text{then } z \text{ is } C_2\\
\vdots \quad\quad \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\
R^i: \text{if } x \text{ is } A_i & \text{and } y \text{ is } B_i & \text{then } z \text{ is } C_i\\
\vdots \quad\quad \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\
R^n: \text{if } x \text{ is } A_n & \text{and } y \text{ is } B_n & \text{then } z \text{ is } C_n
\end{array} \tag{6}$$

여기에서 x,y,z 의 공간을 U,V,W 라 할 때 i번째 규칙 R^i는 U×V×W에 대한 퍼지변수 x,y,z의 합성에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R^i(A_i,\ B_i;\ C_i)=(A_i\times B_i)\times C_i \tag{7}$$

여기에서 R^1, R^2,…, R^n의 OR 결합에 의해 n 개의 제어규칙은 전체적으로 나타내면 다음과 같다.

$$R=R^1\cup R^2\cup\cdots\cup R^n=\bigcup_{i=1}^{n}R^i \tag{8}$$

2.3 퍼지제어(fuzzy control)

퍼지제어는 식 (6)과 같이 제어하고자 하는 공정의 상태에 대한 정보 x, y와 공정의 조작량 z의 애매한 관계를 퍼지추론에 의해 결정된 규칙의 합성에 의해 결정하는 방법이다. 식 (6)에서 if... 부분을 前件部, then... 부분을 後件部라 하며, 입력변수 x, y와 출력변수 z는 퍼지집합에 의해 정의된다.[15,18,20]

퍼지변수는 크게 연속형과 이산형으로 나누어 지며, 연속형의 경우는 그림 1, 2와 같이 종형과 삼각형의 멤버쉽 함수로 정의되는 것이 일반적이다.[13]

종형의 퍼지변수는 통계학에서 가장 많이 사용되는 정규분포의 함수형태와 유사하여 자연현상을 재현할 때 적절하므로 애매한 정보량을 구현하는 데 적합한 것으로 사료되나 컴퓨터 프로그램 구성이 복잡하고, 蕾野 등의 연구결과에서도 알 수 있듯이 종형과 삼각형의 멤버쉽 함수 사용에 따른 제어효과가 큰 차이가 없어 대부분이 삼각형의 퍼지변수를 사용하고 있다.[7,11,12,13]

삼각형 멤버쉽함수로 가정하고 퍼지입력변수를 X, Y라 할 때, 이를 합성하여 퍼지출력변수 Z를 구하는 과정을 그림으로 나타낸 것이 그림 3이다.

그림 3 상단의 4 개 그림은 하나의 정보에 의해

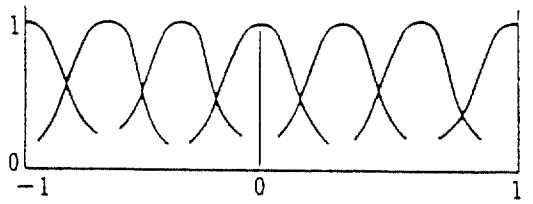

그림 1. 종형의 멤버쉽 함수 예

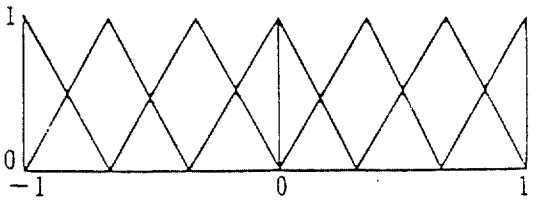

그림 2. 삼각형의 멤버쉽 함수 예

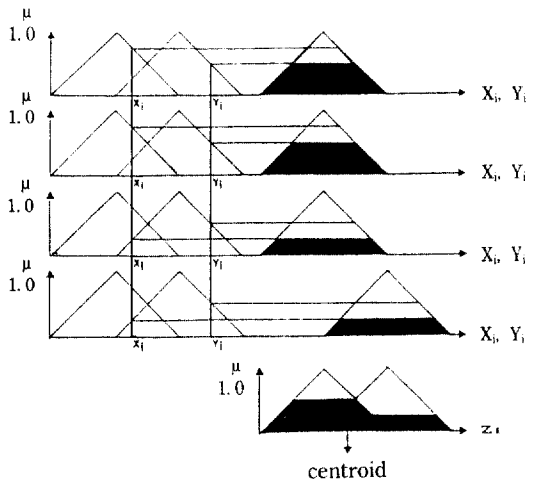

그림 3 제어규칙의 합성 예(Mamdani의 방법)

생기는 2 개의 멤버쉽함수와 X_i, Y_i의 2 개 입력정보량으로 이루어지는 총 4종류의 멤버쉽함수를 조합하는 과정을 보여주고 있으며, 그림 하단은 이들을 출력정보량 Z_i로 식 (4)의 연산을 통해 결정하는 과정을 보여주고 있다.

3. 강우-유출모형

도시수문사상은 10년을 설계기준으로 채택하는 것이 일반적이며, 현재 서울특별시 관내 유수지의

표 1. 순간강우강도법에 의한 재현기간별 강우의 시간적 분포 (단위 : mm)

시간(분) \ 재현기간	10년	30년	50년
5	1.8	2.1	2.3
10	1.9	2.2	2.4
15	2.0	2.4	2.6
20	2.2	2.6	2.8
25	2.3	2.8	3.0
30	2.5	3.0	3.3
35	2.8	3.4	3.7
40	3.2	3.9	4.2
45	3.8	4.7	5.2
50	5.0	6.5	7.1
55	8.1	11.4	12.3
60	19.9	24.7	27.2
65	5.1	6.5	7.1
70	3.9	5.0	5.4
75	3.4	4.1	4.5
80	3.0	3.6	3.9
85	2.7	3.3	3.5
90	2.5	3.0	3.2
95	2.3	2.8	3.0
100	2.2	2.6	2.8
105	2.1	2.4	2.6
110	2.0	2.3	2.5
115	1.9	2.2	2.4
120	1.8	2.1	2.3

설계빈도는 10~20년을 사용하고 있다. 그러나 불투수성 면적의 증가와 저지대의 택지조성 등에 의한 유출특성의 변화를 고려하면 설계빈도는 당연히 상향조정되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 현 상태와 이후의 변화를 고려하여 10, 30, 50년의 재현기간으로 설계빈도를 나누었으며, 강우의 지속시간은 도시수문해석에서 가장 일반적으로 통용되고 있는 120분을 기준으로 하였다. 또한 1954~1990년의 37년간의 강우자료로 부터 매년 최대치 계열을 10 개의 확률분포형에 적합시켜 유도된 식 (10)~(12)와 같은 확률강우강도식을 채택하였다.[3]

$$I_{10}=\frac{595.5}{\sqrt{t}+0.693} \tag{10}$$

$$I_{30}=\frac{708.7}{\sqrt{t}+0.449} \tag{11}$$

$$I_{50} = \frac{757.9}{\sqrt{t} + 0.340} \quad (12)$$

채택된 강우강도식으로 부터 얻은 설계강우량을 시간적으로 분포시키기 위해 강우의 시간적 분포모형중 첨두시각에서 우량이 집중되어 위험상황을 재현시킬 수 있는 순간강우강도법(instantaneous intensity method)를 사용하였다.[16] 또한 한국건설기술연구원의 연구결과 서울지방의 강우사상중 대표적인 첨두우량의 위치는 전 강우지속기간의 위치를 1로 가정할 때 0.46에 위치한 것으로 나타나 이를 설계강우파형으로 채택하였다. 각 재현기간별 순간강우강도법에 의한 강우의 시간적 분포를 표로 나타낸 것이 표 1이다.[3]

현재 서울특별시 관내 어느 배수구역도 강우와 유출의 실측자료가 전무하고, 유출모형도 없는 실정이기 때문에 기존의 유출모형중 도시지역에서 가장 많이 사용되고 있는 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형으로 유출량을 계산하였다. 또한 유수지 추적에 사용한 수치모형은 연속방정식의 유한차분형태를 사용한 수정 puls 법을 사용하였다.[16,17,21]

4. 우수배제 펌프의 제어규칙 설정

펌프 조작자가 홍수상황에서 고려하는 정보와 반드시 고려되어야 할 정보중에서 유수지 및 우수배제 펌프장의 제어에 사용가능한 퍼지입력변수는 다음과 같다.

① 펌프조작시각에서의 유수지 수위
② 펌프조작시각에서의 유수지 유입량
③ 홍수도달시간에 해당하는 이전 시각에서의 강우량
④ 펌프조작시각과 이전 시각의 유입량의 증분
⑤ 이전 조작시각에서의 퍼지제어에 의한 토출량과 유입량의 차이
⑥ 펌프조작시각에서의 강우량

본 연구를 위해 위의 열거사항들을 검토해 본 결과, 이중 ①, ②를 제외한 나머지 정보량은 서울특별시 각 배수구역에 대한 연속적인 강우 및 실측 유입량 자료가 선행되고 이에 따른 정확한 유출모형이 실현되어야만 가능하고, 전체 유수지간의 전산망이 구축된 후에 실행가능한 사항이어서 펌프조작시각에서의 유수지 수위와 유입량의 2 가지 정보를 퍼지입력변수로 선정하였다. 퍼지변수는 상태를 표현해 주는 정도에 따라 일반적으로 5~7 개의 상태정보를 사용하며 본 연구에서는 유수지 수위와 유입량의 상태에 대한 정보를 상세히 퍼지제어엔진에 입력하기 위해 VS(very small), SM(small), AS (approximately small), ME(mean), AB(approximately big), BI(big), VB(very big) 의 7 개 퍼지변수를 사용하기로 한다. 또한 퍼지변수의 멤버쉽함수는 연속형 멤버쉽함수중 삼각형으로 가정하였다. 본 연구에서 가정한 7개의 삼각형의 퍼지변수에 대한 멤버쉽함수를 그림으로 표시하면 다음과 같다. 그림에서 세로축은 퍼지변수가 해당되는 정도(grade of membership) 을 나타내며, 가로축은 각 멤버쉽함수가 해당되는 무차원의 범위를 의미한다.

숙련된 펌프조작자의 경험을 토대로 합리적인 제어규칙을 설정하기 위해 현장조사를 한 결과, 홍수의 위험성이 없을 때에는 가급적 펌프의 가동시간을 적게 하면서 유수지 유입량을 배제시키고, 조작시각 이후에도 계속해서 유입량이 증가될 것이라고 생각

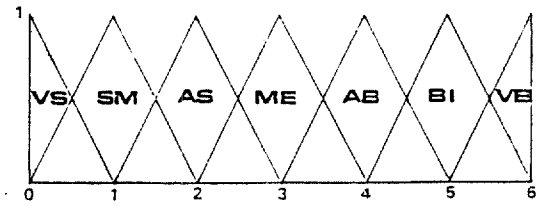

그림 4. 본 연구에서 정의된 퍼지변수의 멤버쉽 함수

표 2. 평상시 펌프 제어규칙(제어규칙 1)

X / Y	VS	SM	AS	ME	AB	BI	VB
VS	VS	VS	SM	SM	AS	AS	ME
SM	VS	SM	SM	AS	AS	ME	ME
AS	SM	SM	AS	AS	ME	ME	AB
ME	SM	AS	AS	ME	ME	AB	AB
AB	AS	AS	ME	ME	AB	AB	BI
BI	AS	ME	ME	AB	AB	BI	BI
VB	ME	ME	AB	AB	BI	BI	VB

표 3. 위험시 펌프 제어규칙(제어규칙 2)

X / Y	VS	SM	AS	ME	AB	BI	VB
VS	VS	SM	SM	AS	AS	ME	ME
SM	SM	SM	AS	AS	ME	ME	AB
AS	SM	AS	AS	ME	ME	AB	AB
ME	AS	AS	ME	ME	AB	AB	BI
AB	AS	ME	ME	AB	AB	BI	BI
BI	ME	ME	AB	AB	BI	BI	VB
VB	ME	AB	AB	BI	BI	VB	VB

되는 시점에서는 유입량의 전부를 배제시키고 있다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 전자의 경우를 평상시로 칭하고, 후자를 위험시라 칭하였으며, 각 경우가 퍼지제어규칙에 따라 어떤 조작결과의 변화를 나타내는 가를 파악하기 위해 2 가지 제어규칙(제어규칙 1, 제어규칙 2) 으로 나누었으며, 이를 2 개의 전건부 조건에 따라 표로 나타내었다. 즉 전건부의 2가지 정보량인 유수지 수위(퍼지변수 X)와 유입량(퍼지변수 Y)의 정보에 따라 결정되는 후건부에 해당하는 펌프배출량에 대한 멤버쉽함수로 나타낸 것이 표 2와 3이다.

5. 비교고찰

전술한 바와 같이 도림 1, 한남 유수지에 대해 기존의 수위기준에 의한 우수배제 펌프의 제어와 퍼지제어이론에 의한 펌프제어를 재현기간별로 가상의 호우에 의한 유입상황에 대해 실시하였으며 그 결과를 유수지별, 재현기간별 수위로 나타낸 것이 그림 5~10이고, 펌프가동시 최대수위만을 나타낸 것이 표 4이다.

그림과 표를 비교해 보면 기존의 수위기준에 의한 우수배제펌프의 제어에 비해 퍼지제어에 의한 결과가 수위를 더 많이 낮출 수 있는 것으로 나타났으며, 제어규칙 1에 비해 제어규칙 2가 양호한 결과를 보여주고 있어 퍼지제어이론이 우수배제펌프의 조작에 있어 적용가능하다는 사실을 나타내고 있다.

또한 그림에서 감수부를 보면 퍼지제어기법에 의한 수위가 후반부에 기존의 제어에 의한 수위보다 약간 높게 나타났는 데 이는 표 2, 3에서 알 수 있는

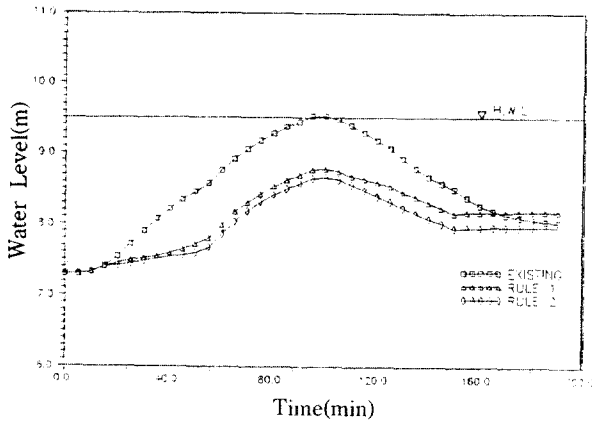

그림 5. 기존의 펌프제어와 퍼지제어에 의한 수위비교 (도림 1, 재현기간 10년)

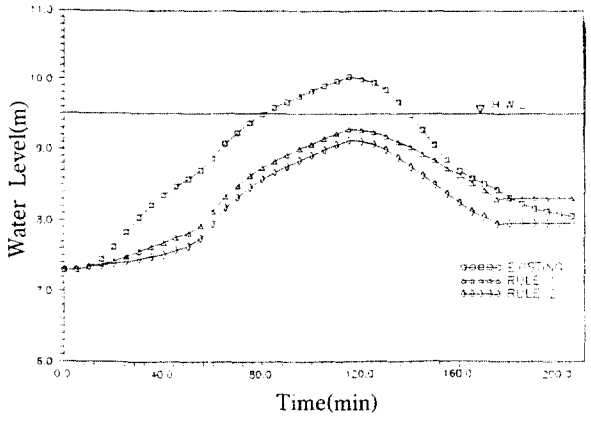

그림 6. 기존의 펌프제어와 퍼지제어에 의한 수위비교 (도림 1, 재현기간 30년)

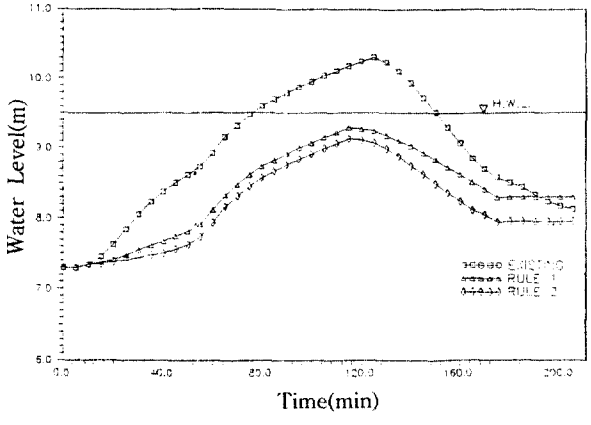

그림 7. 기존의 펌프제어와 퍼지제어에 의한 수위비교 (도림 1, 재현기간 50년)

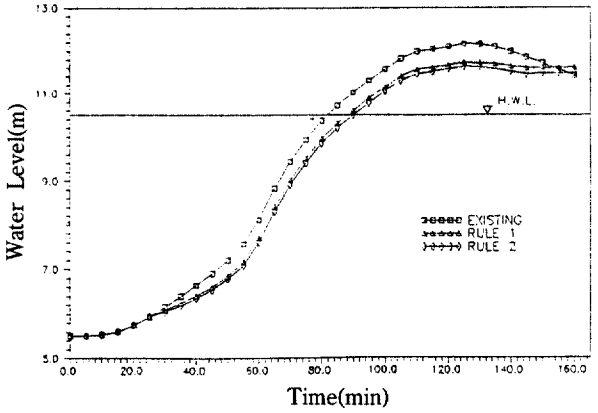

그림 8. 기존의 펌프제어와 퍼지제어에 의한 수위비교 (한남, 재현기간 10년)

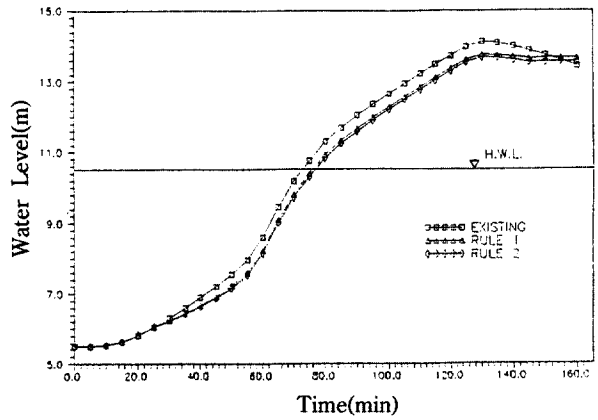

그림 9. 기존의 펌프제어와 퍼지제어에 의한 수위비교 (한남, 재현기간 30년)

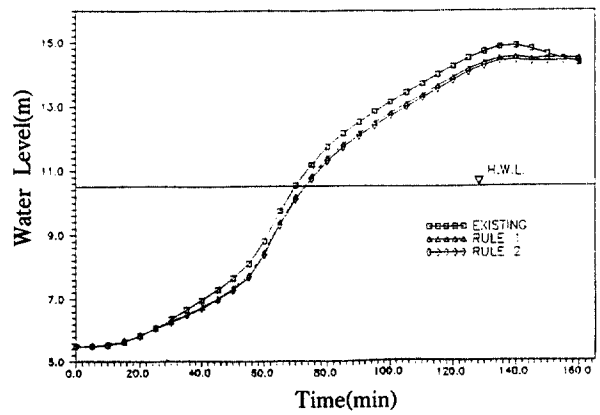

그림 10. 기존의 펌프제어와 퍼지제어에 의한 수위비교 (한남, 재현기간 50년)

표 4. 유수지별, 재현기간별 펌프가동시 최대수위 비교 (단위 : m)

구 분	도 림 1			한 남		
	10년	30년	50년	10년	30년	50년
기존제어	9.52	10.04	10.30	12.17	14.10	14.89
퍼지제어1	8.78	9.29	9.24	11.75	13.73	14.54
퍼지제어2	8.66	9.13	9.07	11.64	13.65	14.45

바와 같이 감수부에서는 이후에 유입량이 증가하더라도 충분히 배제시킬 수 있는 홍수대처능력이 있으므로 펌프가동에 필요한 에너지사용량을 가급적 적게하면서 가동하도록 제어규칙이 설정되었기 때문이며, 약간의 유입량이라도 계속 증가되어 일정수위에 도달하면 다시 펌프가 가동되므로 큰 문제는 발생하지 않을 것으로 사료된다.

寺野[9]의 연구결과와 본 연구의 결과를 비교해 보면 寺野의 연구는 유수지 수위와 수위차 및 강우량을 입력정보량으로 고려하여 출력량으로 우수배제 펌프의 토출량을 가상의 유수지에 대해 적용한 것으로, 이 연구에서는 해당유역의 도달시간을 알고 있다고 가정하여 강우량 정보를 5 개의 구성함수에 의한 입력정보량으로 사용하였으며, 가상의 유수지에 적용하였기 때문에 실제 유역에 적용하기 위해서는 유역의 홍수도달시간 산정 등의 수문학적 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구이후에 이루어 져야 할 과제로는 寺野의 연구에서와 같이 조작시각에서의 수위와 조작시각 이전의 수위차를 입력정보로 고려하는 연구가 필요할 것으로 사료되며, 유입량의 차에 대한 연구도 동반되어야 할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구의 결과를 종합해 볼 때 우수배제펌프의 조작에 있어 기존의 수위기준에 의한 제어보다는 퍼지제어규칙에 의한 펌프조작이 내수방지 측면에서 안전하다고 생각된다.

6. 결 론

가상의 설계호우에 의해 유수지의 내수유입량을 기존의 수위기준에 의한 펌프조작과 퍼지제어규칙에 의한 펌프조작을 실시하여 내수침수 여부를 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 퍼지제어규칙에 의한 우수배제펌프의 조작이 수위기준에 의한 펌프조작에 비해 유수지 수위를 더 많이 낮출 수 있어 도시홍수에 의한 내수침수 방재면에서 유리한 결과를 보여 주었다.

2) 퍼지제어규칙에 의해 설정된 제어규칙 1과 제어규칙 2를 비교해 볼 때 제어규칙 2에 의한 결과가 더 양호하게 나타났으나 전력사용량의 경제적 측면을 고려해 볼 때 평상시에는 제어규칙 1에 의해, 위급상황 발생시에만 제어규칙 2를 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

3) 실시간 우수배제 펌프의 조작을 위해서는 해당유역의 강우자료와 이에 따른 정확한 유출량의 예측이 선결되어야 할 것이며, 이러한 정보들을 고려한 퍼지제어규칙의 설정이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 고재웅, **"유수지 운영의 문제점과 개선방안"**, 1988년도 도시수문학 심포지움논문집, 한국수문학회, pp.6 16.
2. 서울특별시, 한국수문학회, **'87 수해백서 보고서**, 1987.
3. 서울특별시, **하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서**, 1991.
4. 이원환, **수문학**, 문운당, 1990.
5. 이원환, "한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법", **대한토목학회 논문집**, 제11권 제1호, pp.99 108, 1991.
6. 이원환, 박상덕, 최성열, 심재현, "내수침수 방지를 위한 배수펌프 가동수위의 결정", **수공학 논총**, 제33권, pp.207 212, 제33회 수공학 연구발표회 초록집, 1991.
7. 藤田睦博, "あいまい理論の流出豫測への應用", pp. 125 130, 第31回 水理講演會論文集, 1987.
8. 寺野壽郎, 淺居喜代治, 菅野道夫, ファジィシステム入門, オーム社, 1989.
9. 寺野壽郎, 淺居喜代治, 菅野道夫, 應用ファジィシステム入門, オーム社, 1989.
10. 西田俊夫, おはなしファジィ- あいまいさを科學する, 日本規格協會, 1991.
11. 水本雅晴, ファジィ理論とその應用, サイエンス社, 1988.
12. 天笠美知夫, システム構成論 -- ファジィ理論を基礎として, 森山書店, 1987.
13. 坂和正敏, ファジィ理論の基礎と應用, 森北出版株式會社, 1990.
14. 向殿政男, ファジィのはなし, 日刊工業新聞社, 1989.
15. 向殿政男, 本多中二, ファジィ- あいまいの科學, 岩波書店, 1990.
16. Bedient, P.B. and Huber, W.C., *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
17. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L. W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
18. Klir, G.J.and Folger, T.A., *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*, Prentice Hall, 1988.
19. Kosko, B., *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice Hall, 1992.
20. Negoita, C.V. and Ralescu, D., *Simulation, Knowledge-Based Computing, and Fuzzy Statistics*, Van Nostrand Reinhold Company, 1987.
21. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*, State Water Survey Division, Urbana Champaign, 1974.
22. Zimmermann, H.-J., *Fuzzy Set Theory - and Its Applications*, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.

(接受 : 1992. 2. 8)