

자기 조정력을 가진 퍼지제어기법에 의한 우수배제펌프의 적응제어

An Adaptive Control of Inland Pumping Station using Self-Tuning of Fuzzy Control Technique

심 재현* 조 원철** 이 원환***

1. 서론

가속되는 도시화에 따라 불투수성 지역이 급격하게 증가하게 되고, 도시로의 인구집중으로 인해 하천 연변의 저지대에 까지 택지가 조성되어 지고 있어, 홍수피해의 위험성이 가중되고 있는 것이 수도 서울의 실정이다.^{1,2,3)} 따라서 점차 많은 곳에 내수배제를 위한 우수지 및 우수배제펌프장이 계획, 설치되고 있다. 그러나 시설용량 확충에 비해 기존의 시설용량의 적절한 사용에 대한 연구는 미흡한 편이다^{3,6,7)}. 따라서 본 연구에서는 우수배제펌프장의 기존 시설용량으로 적절하게 홍수에 대처하기 위한 펌프제어기법을 개발하기 위해 퍼지제어기법을 사용하였으며⁷⁾, 퍼지제어에서 선행되는 초기가정의 오류로 인한 제어의 착오를 막기 위해 수위가 증가할 때에는 유입량을 모두 배수시킨다는 방침을 기저 제어량 (auxiliary control) 으로 가정하고, 이를 근거로 각 제어시각 마다 우수지 수위와 유입량의 정보량에 따라 제어규칙을 재조정하는 self-tuning control 기법을 사용하였다.

2. 퍼지제어이론

2.1 구성함수

1965 년 Zadeh 교수는 "Fuzzy Sets" 라는 논문을 발표하면서 이치논리에 근거하는 특성함수 (characteristic function) 와 다치논리에 근거하는 구성함수 (membership unction) 를 다음과 같이 정의하였다.^{9,11)}

* 연세대학교 토목공학과 박사과정

** 연세대학교 토목공학과 부 교수

*** 연세대학교 토목공학과 교수

$$C_A(x) = \begin{cases} 1 & (x \in A) \\ 0 & (x \notin A) \end{cases} \quad (2.1)$$

여기에서 $C_A(x)$ 를 특성함수라 하며, x 라는 원소가 집합 A 에 속하는 가, 속하지는가에 따라 1, 0 의 진리값을 갖게 된다.

이에 반해 다치논리에 의한 구성함수는 다음과 같이 정의하였다.

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.2)$$

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 0 에 가까울 수록 x 가 A 에 속할 가능성이 없는 것을 의미하고, 1 에 가까울 수록 x 가 A 에 속할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

2.2 퍼지추론

일반적인 삼단논법을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{array}{l} \text{전제 1. : If } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B \\ \text{전제 2. : If } y \text{ is } B \text{ then } z \text{ is } C \\ \hline \text{결론 : If } x \text{ is } A \text{ then } z \text{ is } C \end{array} \quad (2.3)$$

여기에서 A, B, C 는 각각 전체집합 U, V, W 의 퍼지집합이다. 식 (2.3) 을 추론의 합성규칙을 사용하면 다음 식으로 나타낼 수 있다. ^{10, 12, 15)}

$$R = (A \rightarrow B) \cdot (B \rightarrow C) \quad (2.4)$$

이를 max-min 합성을 사용하여 얻은 결과를 구성함수로 나타내면 다음과 같다.

$$\mu_{(A \rightarrow B) \cdot (B \rightarrow C)}(u, w) = \max_v \{ \mu_{(A \rightarrow B)}(u, v) \wedge \mu_{(B \rightarrow C)}(v, w) \} \quad (2.5)$$

이를 Mamdani의 추론법 R_M 의 경우에 대입하면,

$$R_M = (A \times B) \cdot (B \times C) \quad (2.6)$$

B 가 정규라고 가정하면 식 (2.6)은 다음과 같이 전개된다.

$$\mu_{(A \rightarrow B) \cdot (B \rightarrow C)}(u, w) = \max_v \{ [\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)] \wedge \mu_C(w) \}$$

$$\begin{aligned}
 &= \mu_A(u) \wedge \mu_C(w) \wedge [\max_v \mu_B(v)] \\
 &= \mu_A(u) \wedge \mu_C(w) = \mu_{(A \rightarrow C)}(u, w)
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

식 (2.7)에서 알 수 있듯이 Mamdani의 추론법은 식(2.3)의 삼단논법의 결과와 일치한다.

2.3 퍼지규칙

본 연구에서는 우수지 수위와 우수지로의 유입량을 입력퍼지정보량으로 정하였으며 제어출력을 결정하기 위해 각 입력정보량을 7개의 퍼지변수로 구분하였다.^{7,16)} 즉 매우 적다 (VS), 적다 (SM), 조금 적다 (AS), 보통이다 (ME), 조금 크다 (AB), 크다 (BI), 매우 크다 (VB)로 설정하였다. 각 정보량의 상황에 의해 출력량 역시 적정 퍼지변수로 결정하는 과정을 제어규칙의 설정이라 할 수 있다. 각 입력정보량의 상황에 따라 출력량의 상황을 합리적으로 표현하면 다음과 같은 6개 정도로 나열할 수 있다.¹⁶⁾ 이들을 각각 제어규칙 1~6이라 명명하였는데 이중 제어규칙1과 제어규칙6을 표로 나타내면 다음과 같다. 표에서 공백으로 나타난 부분은 출력제어량이 없음을 의미한다. 각 제어규칙간의 관계는 각 입력상황에 대해 출력상황을 한 단계씩 증가시켜 제어규칙1에서부터 제어규칙6까지 이루어진 것이다.

표 2.1 제어규칙 1

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

표 2.2 제어규칙 6

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

3. 우수지로의 유입량 산출

본 연구에서는 설계강우량을 10년, 30년, 50년의 3가지로 선정하였다. 또한 각 재현기간에 해당하는 확률강우량을 구하기 위해 1954~1990년 까지 서울지방 매년 최대치 강우계열로부터 얻어진 확률강우강도식을 사용하였다.^{3,5,6)} 또한 결정된 강우지속기간내에 설계강우량을 분포시키는 기법으로는 순간강우강도법 (Instantaneous Intensity Method) 과 Huff의 방법을 택하여 5분 간격

으로 설계강우량을 분포시켰다.^{4, 8, 14)} 결정된 설계강우가 해당유역에 발생할 경우유출사상을 모의 발생시키기 위해 사용된 유출모형은 RRL (Road Research Laboratory) 모형과 ILLUDAS (Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형으로 선정하였다.¹⁷⁾

4. 적응제어

선정된 유출모형에 의해 나타나는 유출사상에 의해 유수지내로 유입되는 유입량을 기존의 시설로 적절하게 배수시키기 위해 본 연구에서는 유입량이 증가하는 상황에서는 유입량 전체를 방류시킨다는 방침을 세우고, 그 이외의 상황에 대해서는 설정된 퍼지제어규칙에 의해 펌프의 대수를 조절한다는 펌프조작 규칙을 기저제어량으로 가정하였다. 다시 말하자면 유입량이 증가하는 경우 전술한 6 개 퍼지제어규칙에 의한 출력량중 기저제어량을 비교하여 가장 적절한 퍼지제어규칙을 선정하고, 선정된 퍼지규칙에 의해 펌프대수를 조절해 가는 방법을 채택하였다.

5. 비교고찰

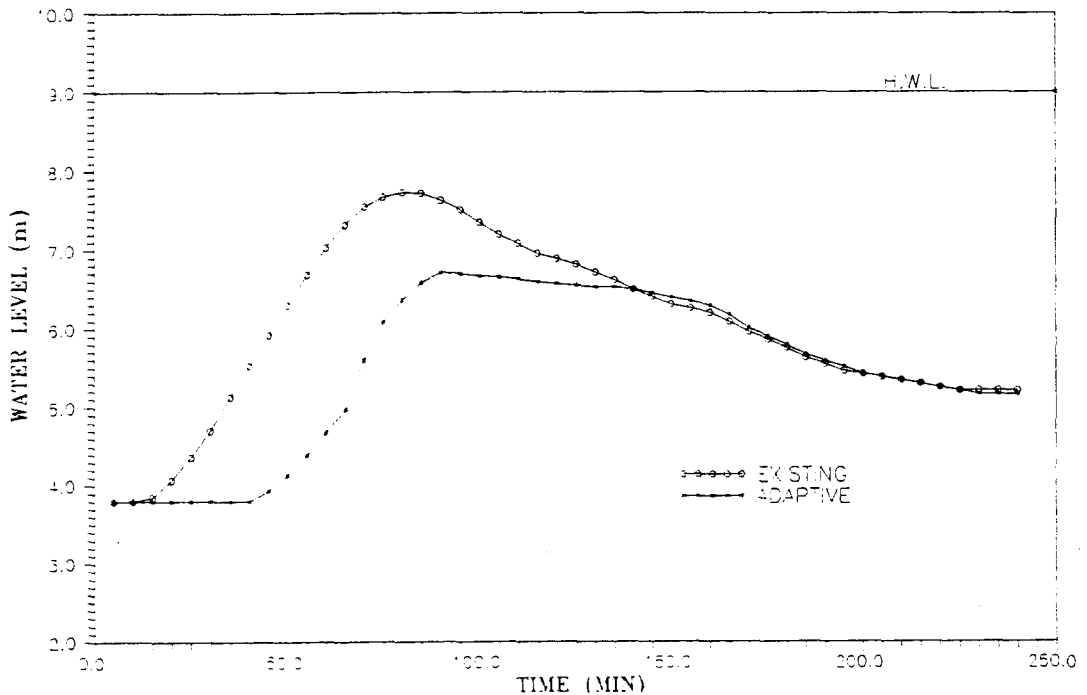


그림 5.1 재현기간 10년 의 설계강우에 대한 모의조작 결과 (양평 1, ILLUDAS, Huff)

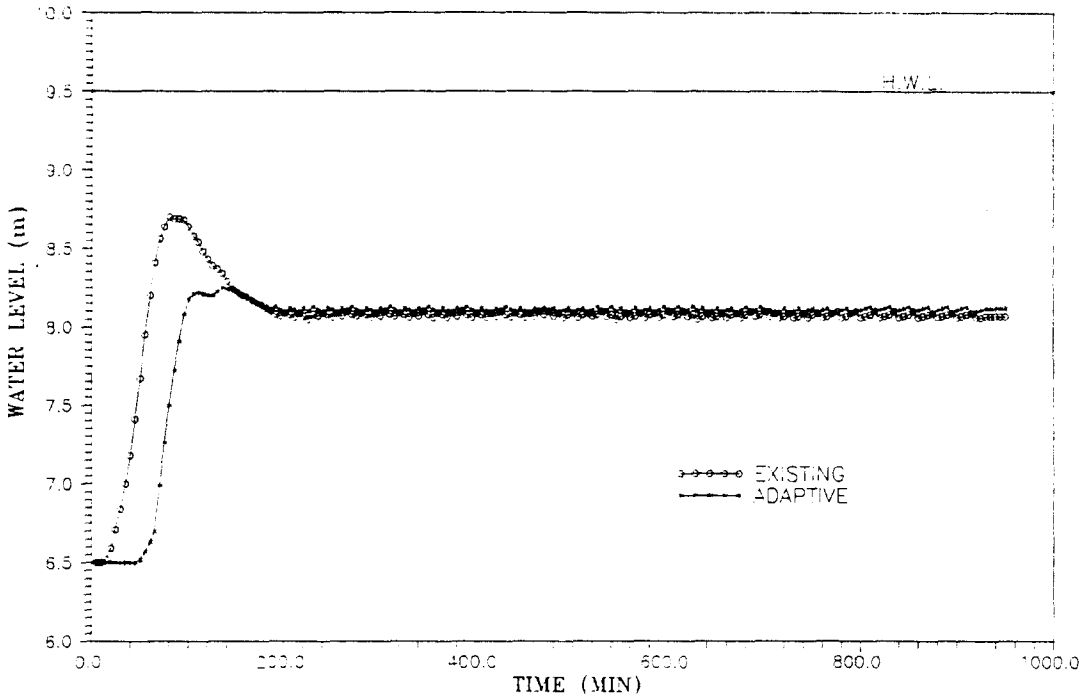


그림 5.2 재현기간 10년 의 설계강우에 대한 모의조작 결과 (도림 1, ILLUDAS, Huff)

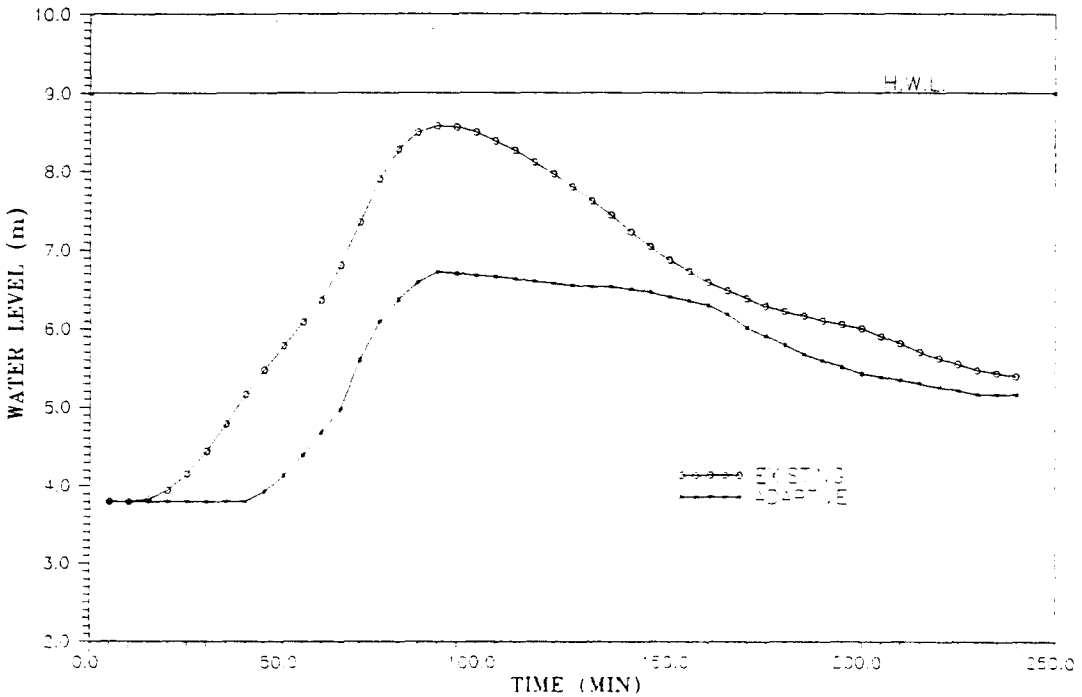


그림 5.3 재현기간 30년 의 설계강우에 대한 모의조작 결과 (양평 1, ILLUDAS, IIM)

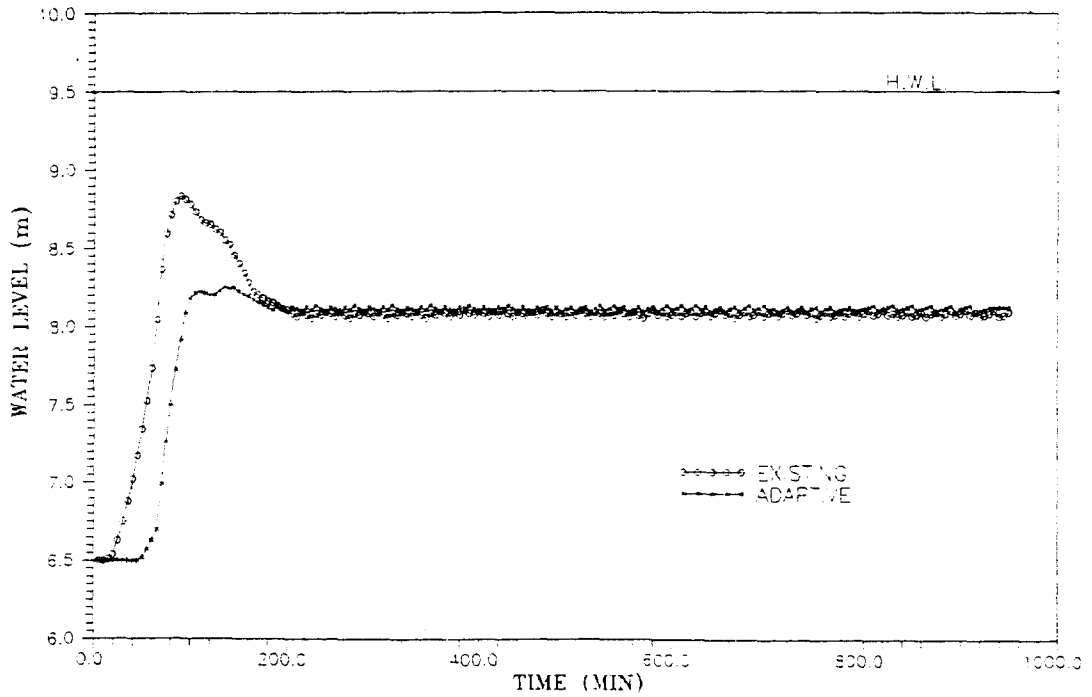


그림 5.4 재현기간 30년 의 설계강우에 대한 모의조작 결과 (도림 1, ILLUDAS, IIM)

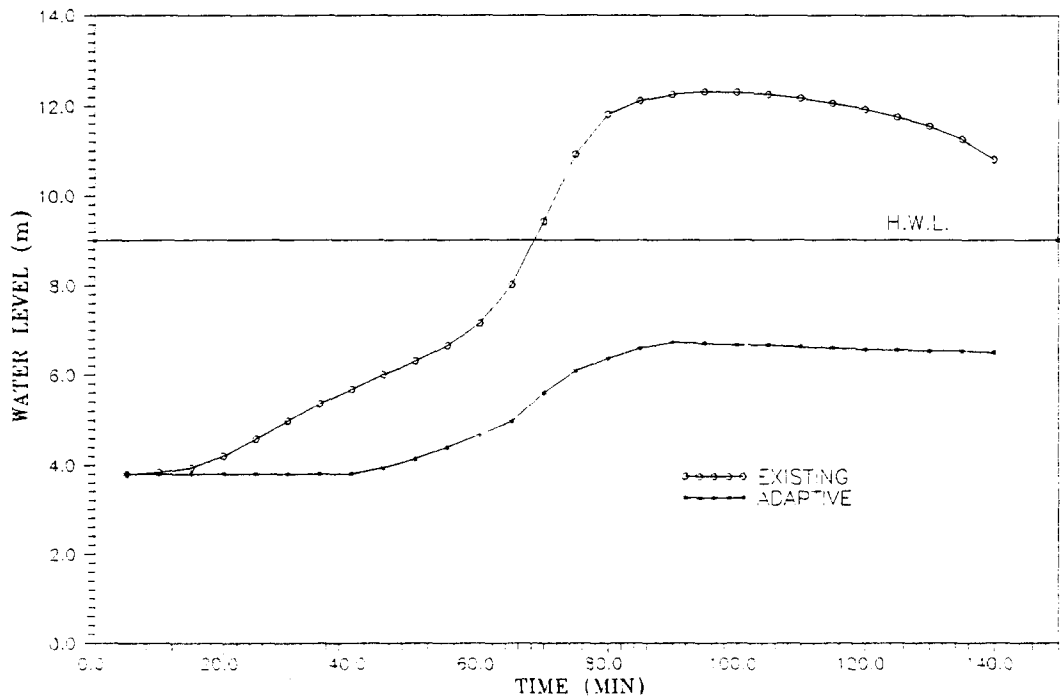


그림 5.5 재현기간 50년 의 설계강우에 대한 모의조작 결과 (양평 1, RRL, IIM)

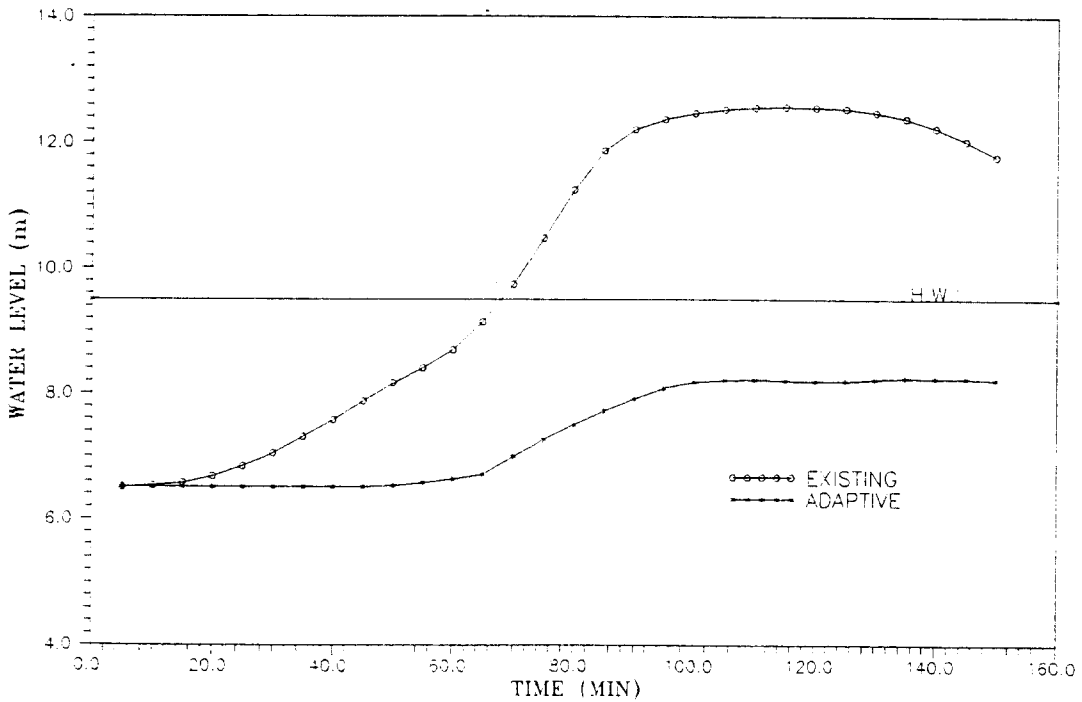


그림 5.6 재현기간 50년 의 설계강우에 대한 모의조작 결과 (도림 1, RRL, IIM) [IIM]

본 연구에서 설정한 적응제어기법의 우수성을 파악하기 위해 양평 1, 도림 1 유수지에 대해 전술한 설계강우에 대해 가상적으로 펌프조작을 시도하였고, 기존의 수위 기준에 의한 펌프조작에 조작결과와 비교하여 그림 5.1 ~ 5.6 으로 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 기존의 수위기준에 의한 펌프조작에 비해 자기조정 퍼지제어기법이 월등하게 유수지 수위를 낮출 수 있어 내수에 의한 제내지축의 침수방지에 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구는 퍼지제어규칙을 사용하여 우수배제펌프장의 펌프대수를 적절하게 조정하는 기법에 대한 연구로, 퍼지제어 규칙의 초기가정에서 생길 수 있는 오류를 방지하기 위해 기저제어량에 따라 각 조절시각마다 적정 퍼지규칙을 변형시켜 가는 자기조정방식을 택하였다. 본 연구에서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 기존의 수위기준에 의한 펌프대수의 조절보다는 퍼지제어에 의한 펌프대수 조절

이 수위를 많이 낮추는 효과를 나타내었다.

- 2) 자기조정방식에 의한 퍼지제어가 어떠한 유입량의 변화에 대해서도 적절한 대처가 가능하다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 다양한 유입량 정보에 대해 자기조정방식에 의한 제어를 시도할 수록 퍼지제어 규칙은 일정한 규칙으로 수렴해 가는 것을 알 수 있으며, 이를 위해서 차후에는 복합강우에 의한 유출사상에 대해서도 시도해 보아야 할 것이다.
- 4) 홍수시 내수침수를 방지하기 위해서는 강우-유출해석이 반드시 선행되어야 할 것이며, 정확하게 예측된 유출 정보량에 의해 실시간 펌프제어가 이루어 져야 할 것이다.
- 5) 유수지의 저류용량의 확충이나 펌프시설용량을 확충하기 보다는 기존의 펌프시설용량을 적절하게 제어하는 기법이 먼저 이루어 져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 고재웅, "유수지 운영의 문제점과 개선방안", 1988년도 도시수문학 심포지움 논문집, 한국수문학회, pp. 6~16.
2. 서울특별시, 한국수문학회, '87 수해백서 보고서, 1987.
3. 서울특별시, 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서, 1991.
4. 이근후, "폭우의 시간적 분포에 관한 연구", 서울대학교 농공학과 대학원 박사학위논문, 1983.
5. 이원환, "한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법", 대한토목학회 논문집, 제 11권 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. 조원철, 심재현, "Fuzzy 이론의 수문학에서의 응용 (I)", 한국수문학회지, 제 25권 제1호, pp. 59~63, 1992. 3.
8. 한국건설기술연구원, 지역별 계획강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, 전기연 89-WR-111, 1989.
9. 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.
10. 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.
11. 水本雅晴, ファジィ理論とその應用, サイエンス社, 1988.

12. 坂和正敏, ファジィ理論の基礎と應用, 森北出版株式会社, 1990.
13. Bedient, P.B. and Huber, W.C., *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
14. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L. W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
15. Klir, G. J. and Folger, T. A., *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*, Prentice-Hall, 1988.
16. Kosko, B., *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice Hall, 1992.
17. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*, State Water Survey Division, Urbana Champaign, 1974.