

# 상이한 제원특성을 가진 빗물펌프장에서의 퍼지제어모형 적용

## An Application of Fuzzy Control Models to Inland Drainage Pumping Stations with Different Characteristics for Protection of Inland Flooding

심재현\* · 이원환\*\* · 조원철\*\*\*

Shim, Jae Hyun · Lee, Won Hwan · Cho, Won Cheol

### Abstract

Continuous increasing of impervious area due to urbanization and rainfall quantity due to environmental changes aggravate flooding risk in low land area. Therefore, Seoul municipal authorities go on securing an ample budget for reinforcement and establishment of inner water and inland drainage pumping facilities. But, there is no investment for developing optimal operation rules for appropriate application of existing facilities. In this study, fuzzy control techniques are developed, and applied to 57 stations of inner water and inland drainage pump for model assessment. In these results, fuzzy models have more efficiency in the inland flooding protection than the existing pump operation rule by water level in the same conditions.

### 요 지

계속되는 도시화로 불투수성 면적이 증가되고, 환경변화에 의해 강우량이 증대되어 도시 저지대의 침수 우려가 더욱 가중되고 있는 실정이다. 따라서 서울특별시에서는 많은 예산을 들여 내수를 외수 쪽으로 강제배수시키는 빗물펌프장을 계속해서 보강 및 신설하고 있다. 그러나 상대적으로 경제적이라 할 수 있는 기존 빗물펌프장 시설의 적정 제어기법에 대한 연구나 투자는 전무한 상태라 할 수 있다. 본 연구는 퍼지제어기법을 적용하여 기존의 시설을 충분히 활용할 수 있는 기법을 개발하여 서울특별시 관내의 서로 다른 제원특성을 가진 57개의 유수지와 빗물펌프장에 적용하였다. 연구결과 현재의 펌프가동기준인 수위기준에 의한 펌프제어에 비하여 본 연구에서 적용한 퍼지제어기법이 전체 대상지점에 대하여 내수위를 같은 조건하에서도 충분히 낮출 수 있는 것으로 나타나 치수방재면에서 우수한 것으로 밝혀졌다.

### 1. 서 론

계속되는 도시로의 인구집중현상은 택지부족현상을 유발시켜 서울특별시의 경우 한강연변의 저지대

에까지 생활공간이 생겨나게 되었다. 도시화 현상은 수문학적으로 불투수성 면적의 증가, 홍수도달시간의 단축 및 침투유량의 증가와 같은 현상으로 나타나게 되어, 강수사상에 있어 환경변화에 따른 강우강도의 증대라는 현상과 함께 치수방재면에서 해마다 불리한 상황을 야기시키고 있는 실정이다.<sup>(1,10,20)</sup>

\* 정희원 · 한국지방행정연구원 방재연구실 책임연구원

\*\* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 부교수

홍수시 도시 저지대에서의 방재시설물은 재내지 측의 유출량을 저류시키는 유수지와 유수지내의 저류량을 외수측으로 자연방류시키는 배수문 및 강제 배수시키는 빗물펌프장 등과 같은 3개 시설로 대별될 수 있다. 그러나 이중 배수문은 홍수시 한강 상류측 댐군의 방류량이 함께 고려되어 한강 외수위가 상승하게 되므로 자연방류라는 원래의 목적보다는 방수문의 역할을 하게 된다.<sup>(2-4)</sup> 따라서 홍수 대처능력은 유수지와 빗물펌프장이 갖게 된다고 볼 수 있으며, 저류시설인 유수지에 비하여 강제배수시키는 빗물펌프장이 적극적인 홍수대처시설이라고 볼 수 있다.<sup>(11,12,22,23)</sup>

서울특별시에서는 홍수시 침수방지를 위해서 계속 유수지와 빗물펌프장을 신설, 확충하는 하드웨어적인 면에 막대한 예산을 사용하고 있으나 소프트웨어 측면인 빗물펌프장의 운영기준 개선에 대한 연구는 미흡하다고 생각된다.

현재 서울특별시에서 운영하고 있는 빗물펌프장의 운영은 수위기준에 의하고 있으며, 이는 펌프조작 시각을 기준으로 이전에 유수지로 유입되는 유입량과 펌핑량만을 고려하므로 펌프조작시각 이후에 급격하게 증가할 수 있는 유입량에 대해서는 대처가 어려운 기준이라고 생각된다.<sup>(2,6,7,11)</sup> 따라서 본 연구에서는 기존의 펌프운영기준에 비해 같은 시설용량으로도 홍수처리능력을 향상시킬 수 있는 기법을 개발하고자 퍼지제어기법을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 퍼지모형의 적용에 대한 객관성 여부를 판단하기 위하여 대상 유수지 및 빗물펌프장은 1991년을 기준으로 서울특별시에 설치, 운영중인 전체 61개소중 자료가 미비된 4개 지점을 제외한 57개 지점을 모두 선정하였다.<sup>(7,8,14)</sup>

## 2. 연구방법

유수지로 유입되는 유출량을 산정하기 위해 설정한 설계강우량의 재현기간은 기존 시설의 설계기준인 10년 및 홍수시 안전도를 고려하기 위해 30, 50년의 3개를 택하였다.<sup>(2,13,14)</sup> 본 연구에서 사용한 설계강우량의 확률강우강도식은 1954~1990년의 강우자료로부터 얻어진 식을 사용하였으며, 재현기간별 확률강우강도식은 다음과 같다.<sup>(2,13,15)</sup>

표 1. 본 연구에서 사용한 재현기간별 확률강우강도식

재현기간 (년) 계수	10	30	50	비 고	
c	595.5	708.7	757.9	$I = \frac{c}{T^e + f}$	I: 강우강도식 (mm/hr)
e	0.5	0.5	0.5		T: 강우지속시간 (min)
f	0.693	0.449	0.340		c, e, f: 계수

설계강우량의 시간적 분포모형은 기왕의 강우자료를 통계분석하여 회귀식으로 나타낸 Huff의 4분위법과 짧은 지속시간내에 높은 강우강도의 강우사상을 구현해 줄 수 있는 순간강우강도법을 사용하였다.<sup>(2,26)</sup> 또한 강우의 침두위치는 한국건설기술연구원 연구결과에 의하면 서울지방의 대표 강우사상은 강우종료시간을 1로 보았을 때 강우의 침두위치가 0.46에 위치하는 것으로 나타나 Huff의 4분위법에서는 제 2분위, 순간강우강도법에서는  $r=0.46$ 을 선정하였다.<sup>(8,9,18,29,30,42)</sup> 본 연구에서 사용한 강우의 시간적 분포를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

위와 같이 선정된 강우사상이 해당유역에 발생하였을 때 유수지로 유입되는 유출량을 산정하기 위해 ILLUDAS 모형과 RRL 모형을 사용하였다.<sup>(28,41)</sup> 따라서 3가지의 재현기간과 2가지의 강우분포모형 및 2가지의 유출모형을 통해 총 12개의 대표 유출계열을 선정하여 배수펌프장의 펌프운용에 적용하였다.

또한 일반적인 제어이론에서 결정되는 제어량은 연속적인 수치변화를 나타내지만 본 연구에서와 같

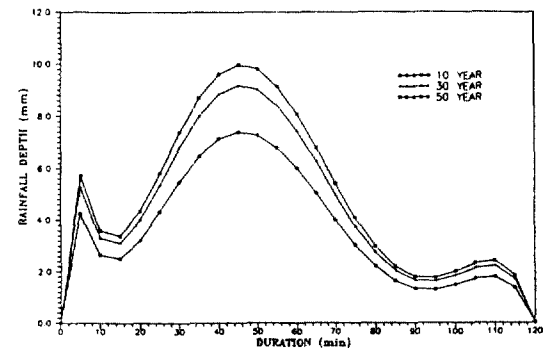


그림 1. Huff의 4분위법에 의한 강우의 시간적 분포

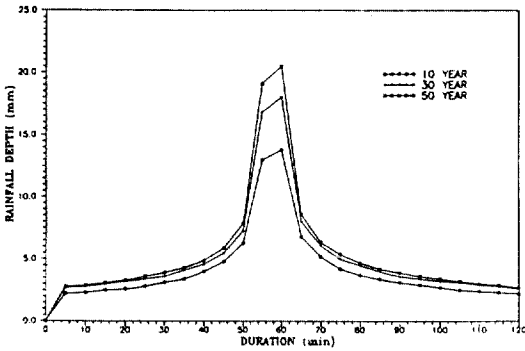


그림 2. 순간강우강도법에 의한 강우의 시간적 분포

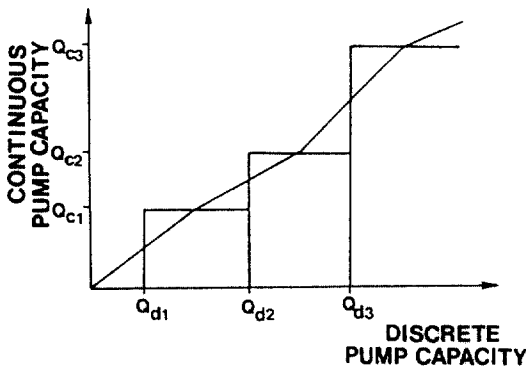


그림 3. 연속적인 펌프제어량의 이산적인 펌프대수화

은 펌프대수의 제어는 Gauss 함수의 형태처럼 이산적인 제어가 될 수 밖에 없다. 기존의 유수지 및 배수펌프장에 대한 국·내외의 연구를 살펴보면, 대부분이 이산적인 펌프용량을 고려하지 않고 연속적으로 제어가 가능하다고 전제하여 펌프제어를 하고 있다. 그러나 제어모형에 의하여 결정되는 연속적인 제어량을 이산적인 펌프대수로 변환시켜야만 실제 적용이나 이론적인 전개가 합리적이라고 생각되므로 본 연구에서는 연속적인 제어량을 이산적인 펌프대수로 변환하였다.

일반적인 제어량은 그림 3의 세로축에서와 같이 연속적인 제어량이 된다. 그림에서  $Q_{c1}$ ,  $Q_{c2}$ ,  $Q_{c3}$ 는 펌프 1, 2, 3의 펌프용량으로, 펌프 1을 가동시킬 때  $Q_{c1}$ , 펌프 1, 2를 가동시킬 때  $Q_{c2}$ , 펌프 1, 2, 3을 가동시킬 때  $Q_{c3}$ 의 펌프용량이 사용된다. 그러나 각 펌프용량 사이의 제어용량이 제어모형에 의하여 결정될 때는 그림에서 사선의 형태로 변환된다. 이를

이산적인 제어량으로 변환시킨 것이  $Q_{d1}$ ,  $Q_{d2}$ ,  $Q_{d3}$ 이다. 이는 사선의 면적과 이산적인 형태인 사각형의 면적이 같은 지점을  $Q_{d1}$ ,  $Q_{d2}$ ,  $Q_{d3}$ 로 정한 것이다.

### 3. 퍼지추론 및 제어

“A이면 B이다”라는 명제를 도식화하면 식 (1)과 같으며 이를 논리식으로 나타낸 것이 식 (2)이다.<sup>(19,24,32)</sup>

$$A \rightarrow B \quad (1)$$

$$\frac{A}{B} \quad (2)$$

((A→B) and A)→B

이와 마찬가지로 각 명제를 퍼지집합으로 나타내면 다음과 같은 형식이 된다.<sup>(34,35)</sup>

전제 1 : If x is A then y is B

전제 2 : x is A

---

결론 : y is B (3)

이를 퍼지집합 A와 퍼지조건문 A→B의 합성으로 나타내면 식 (4)와 같으며, 구성함수의 형태로 나타내면 식 (5)와 같다.<sup>(19,36)</sup>

$$B = A \circ (A \rightarrow B) \quad (4)$$

$$\mu_B(u) = \max_u \{ \mu_A(u) \wedge \mu_{A \rightarrow B}(u, v) \} \quad (5)$$

이에 따른 Mamdani의 추론법을 그림으로 나타내면 다음과 같다.<sup>(8,19)</sup>

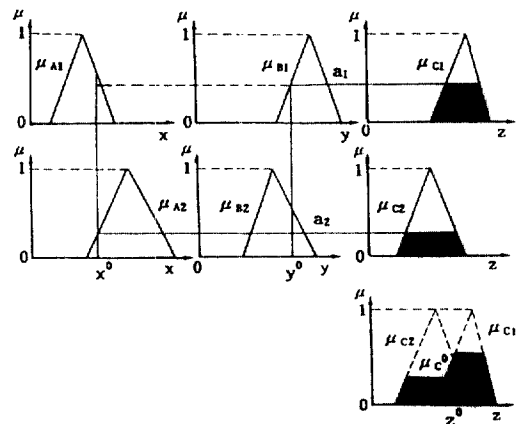


그림 4. Mamdani의 추론법

#### 4. 빗물펌프장에서의 퍼지제어모형

유수지와 빗물펌프장에서 퍼지제어기법을 적용하기 위해 펌프조작자가 홍수상황시 고려할 수 있는 정보는 다음과 같은 6가지로 요약할 수 있다.<sup>(8,12,13)</sup>

- ① 펌프조작시각에서의 유수지 수위
- ② 펌프조작시각에서 유수지로 유입되는 유입량
- ③ 홍수도달시간에 해당하는 이전시각에서의 강우량
- ④ 펌프조작시각과 이전시각에서의 유입량의 차
- ⑤ 펌프조작시각에서의 강우량
- ⑥ 펌프조작시각과 이전시각에서의 수위 차

본 연구에서는 이중 해당 배수유역에 대한 강우와 실측유량자료가 선행되어야 하는 조건을 제외한 ①, ②, ④, ⑥의 사항으로 다음과 같은 3가지 퍼지제어모형을 설정하였다.

첫번째 모형은 초기조건부의 입력정보량으로 펌프조작시각에서의 유수지 수위와 유입량을 고려한 모형이며, 두번째 모형은 펌프조작시각에서의 유수지 수위와 이전시각에서의 수위와의 차를 고려하는 모형이고, 세번째 모형은 첫번째 모형을 근거로 하여 설정된 제어규칙을 펌프조작시각마다 상황에 따라 조절해 가는 자체조정기법(self tuning control)을 사용한 모형이다.<sup>(7,8,21)</sup>

##### 4.1 구성함수의 설정

구성함수는 애매한 퍼지정보량을 정량화시켜주는 함수로 종형과 삼각형의 함수가 보편적으로 사용된다.<sup>(9,31)</sup> 종형함수는 자연현상을 잘 나타내어 주는 정규분포의 형태이지만 삼각형함수는 프로그램 구성상 간편하고 종형함수에 비해 제어효과가 별 차이를 나타내지 않으므로 본 연구에서는 삼각형 구성함수를 사용하였다. 또한 각 정보량의 상태를 나타내어 주는 퍼지변수의 갯수는 7개로 정하였는데 이를 그림으로 나타낸 것이 그림 5이다.<sup>(19,27,33)</sup>

여기서 퍼지변수의 상태에 따라 양적으로만 변하는 제어모형 1, 3과 제어모형 2와 같이 양, 음적으로 변하는 경우에 따라 7개의 퍼지변수의 상태는 다음과 같이 정의하였다.

##### 4.2 퍼지제어규칙과 퍼지제어공간

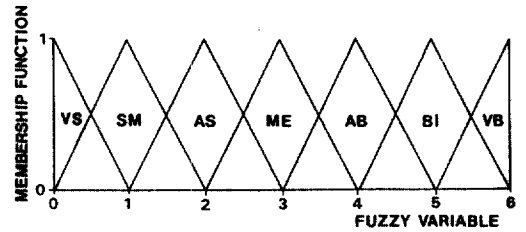


그림 5. 본 연구에서 사용한 삼각형 구성함수와 퍼지변수의 정의

표 2. 양적인 변화에 대한 퍼지변수의 상태

퍼지변수	변수의 정의
VS	매우 작다
SM	작다
AS	약간 작다
ME	보통이다
AB	약간 크다
BI	크다
VB	매우 크다

표 3. 양, 음적인 변화에 대한 퍼지변수의 상태

퍼지변수	변수의 정의
NB	음으로 차이가 많이 난다
NM	음으로 차이가 보통이다
NS	음으로 차이가 적은 편이다
ZO	차이가 0에 가깝다
PS	양으로 차이가 적은 편이다
PM	양으로 차이가 보통이다
PB	양으로 차이가 많이 난다

전술한 바와 같이 X, Y의 초기 정보량으로 Z라는 펌프제어량을 산출하기 위한 퍼지제어규칙은 다음의 표 4~9의 제어규칙 1~6과 같으며 이는 가장 보편적이라고 생각되는 제어규칙 3을 기준으로 펌프 제어량을 증가, 감소해 가며 확장한 것이다. 표에서 공란으로 나타난 것은 출력제어량이 없음을 의미한다. 또한 설정된 6개의 제어규칙에 따라 변해가는 제어량을 3차원 그래프화한 것이 그림 6~11이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 제어규칙의 수가 커질수록 같은 조건하에서도 제어량이 커짐을 알 수

표 4. 퍼지제어규칙 1

Y	X	VS	SM	AS	ME	AB	BI	VB
	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 7. 퍼지제어규칙 4

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

표 5. 퍼지제어규칙 2

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

표 8. 퍼지제어규칙 5

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

표 6. 퍼지제어규칙 3

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

표 9. 퍼지제어규칙 6

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

있다.<sup>(7,8)</sup>

## 5. 적정 구성함수의 형상과 제어규칙의 설정

### 5.1 적정 구성함수의 형상

본 절에서는 각 퍼지변수 구성함수의 형태가 제

어효과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 다음 그림과 같은 구성함수의 폭을 정의하였다.<sup>(8,37)</sup>

그림과 같이 정의된 폭을 0.05~0.5까지 변화시키면서 각 유수지별로 적용하여 유수지의 최고수위를 가장 낮출 수 있는 구성함수의 폭을 구성함수의 적정형상으로 설정하였다. 표 10은 10가지 폭의 변

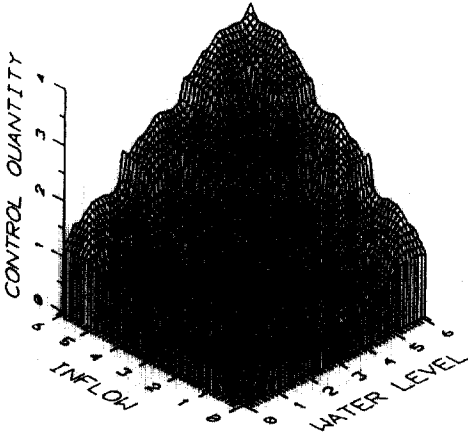


그림 6. 제어규칙 1에 의한 퍼지제어공간

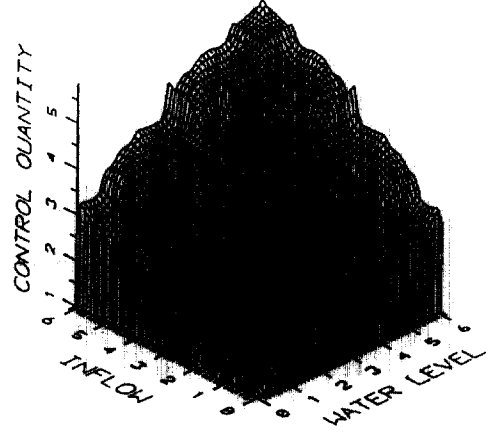


그림 9. 제어규칙 4에 의한 퍼지제어공간

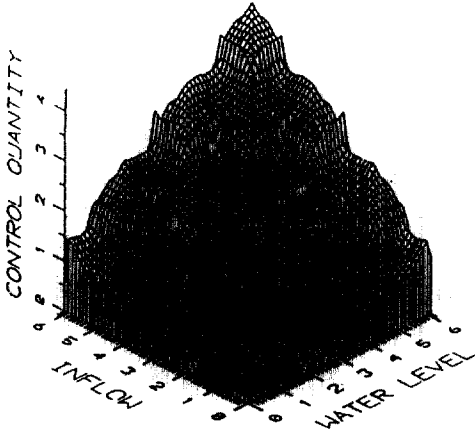


그림 7. 제어규칙 2에 의한 퍼지제어공간

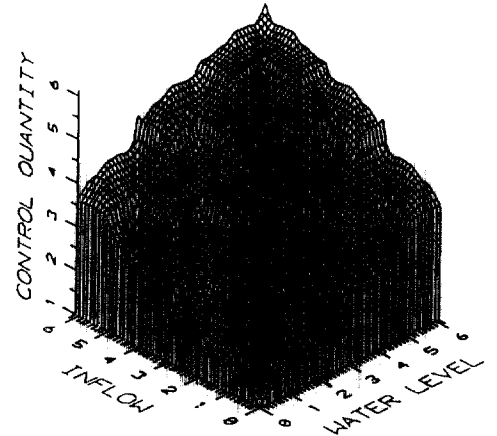


그림 10. 제어규칙 5에 의한 퍼지제어공간

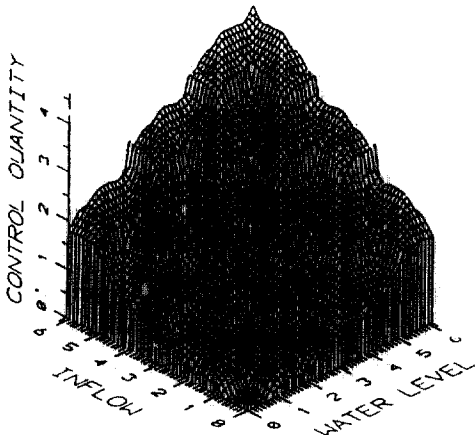


그림 8. 제어규칙 3에 의한 퍼지제어공간

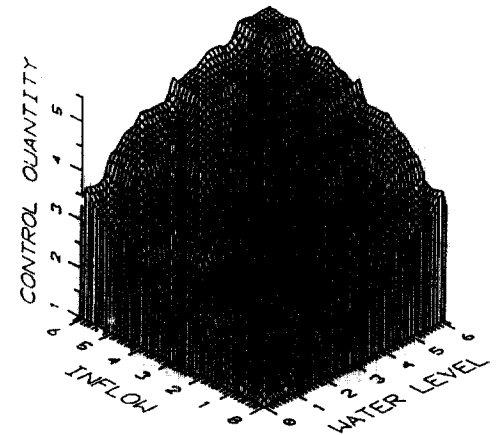


그림 11. 제어규칙 6에 의한 퍼지제어공간

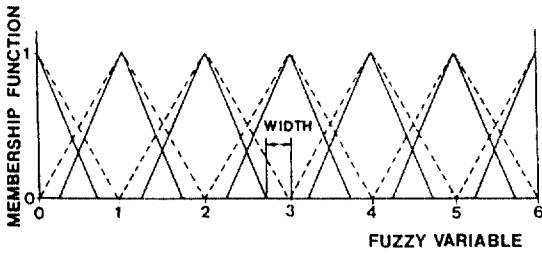


그림 12. 구성함수 폭의 정의

표 10. 각 유출계열의 평균값에 의한 우수지별 적정 구성함수 폭

우수지명	최저폭	우수지명	최적폭	우수지명	최적폭
용산 1	0.4458	합정 2	0.4222	신 길	0.4500
용산 4	0.4521	성산 1	0.2021	문 래	0.4125
한 남	0.4479	하 수	0.3792	영등포	0.2646
심 원	0.4042	망원 2	0.3917	양평 2	0.2104
뚝 도	0.4426	신정 1	0.4250	혹 석	0.4458
용 답	0.1520	신정 2	0.4273	본 동	0.2375
자 양	0.4063	신정 3	0.2417	반 포	0.4354
옥 수	0.4083	염창 1	0.3958	서 초	0.3472
응 봉	0.4588	염창 2	0.4167	방 배	0.3375
군 자	0.3750	도림 2	0.4313	양 재	0.4646
송 정	0.4229	독 산	0.4583	잠실 1	0.4167
금 호	0.3917	철 산	0.4141	잠실 2	0.4417
용 두	0.4021	시 흥	0.3646	성내 1	0.4323
휘 경	0.4406	개 봉	0.4667	성내 2	0.3770
답십 4	0.2417	구로 1	0.4321	탄 천	0.4333
면 목	0.1688	구로 2	0.4247	암 사	0.1479
중 화	0.4479	구로 3	0.1877	전 농	0.4438
마 포	0.4321	양 평	0.4278	장 안	0.4163
망 원	0.3851	도림 1	0.4382		
합정 1	0.3458	도림 3	0.4646		

화에 따른 유출계열별 우수지 만수위를 비교하여 수위를 최소로 하는 폭을 유출계열별로 구하고 이를 평균하여 얻은 적정 구성함수의 폭이 된다.<sup>(8)</sup>

## 5.2 적정 제어규칙

홍수시 만수위를 초과하지 않는 제어규칙과 안정하게 제어할 수 있는 제어규칙을 파악하기 위해

설정된 6개의 제어규칙을 각 유출모형별로 적용하였다. 표 11은 우수지 만수위를 초과하지 않는 적정 퍼지제어규칙을 우수지별로 나타낸 것이며, 표에서 X기호는 최대로 펌프를 조작해도 우수지가 침수되는 상황을 나타내며, 이는 해당 우수지 및 빗물펌프장의 홍수대처능력이 부족한 것을 의미한다.

## 6. 제어결과 비교

본 연구에서는 6개의 퍼지제어규칙을 사용하였고, 각 우수지별로 내수에 의한 최고수위를 최저로 낮출 수 있는 제어규칙과 구성함수의 폭을 결정하여 57개 우수지에 12개의 유출계열을 적용하여 펌프를 제어하였다. 퍼지제어모형 1, 2는 전술한 최적 구성함수의 폭과 제어규칙을 사용하였고, 퍼지제어모형 3은 구성함수의 폭만을 적용하여 각 펌프조작 시각마다 유입유출량과 가장 근접한 펌프용량을 찾아 제어하는 자체조정기법을 사용하였다. 또한 각 모형의 적정성 여부는 적용시 발생하는 최고수위가 만수위를 초과하는 지 여부를 기준으로 판단하였다. 표 12는 12개의 유출수문곡선중 하나인 ILLUDAS 유출모형과 순간강우강도법을 사용하여 펌프를 제어한 결과를 나타낸 것이며, 전반적인 제어결과와 표에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 우수지와 빗물펌프장에서 기존의 수위기준에 의한 펌프제어에 비하여 퍼지제어모형에 의한 펌프제어 결과가 우수지의 수위를 많이 낮추는 효과를 보였다. 이러한 결과는 나머지 11개의 수문곡선에서도 동일하게 나타났다. 특히 퍼지제어모형중에서는 자체조정 모형인 퍼지제어모형 3이 다른 퍼지제어모형에 비해 우수한 결과를 보였다. 또한 퍼지제어모형 1, 2에서 초기조건으로 필요한 적정 제어규칙의 설정 및 적정 구성함수의 기하학적 형상결정과 같은 선행작업을 제어모형 3에서는 생략할 수 있어 모형의 간편성에서도 우수하다고 판단된다.

표에서 몇개의 지점은 퍼지제어모형의 결과가 기존의 수위기준에 의한 제어보다 우수하지 못한 결과를 보인 지점이 있으나 이는 구성함수의 퍼지수치화 과정에서 최고제어수치를 만수위와 저수위차의 90%로 산정한 결과이므로 기존의 수위기준의 수치인 80%로 하향조정하면 더욱 양호한 결과를 보일 수 있어 제어모형의 적용에 큰 문제가 없을

표 11. 유출계열에 따른 적정 퍼지제어규칙

유수지명	유 출 계 열											
	IH10	IH30	IH50	II10	II30	II50	RH10	RH30	RH50	RI10	RI30	RI50
용산 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
용산 4	2	3	4	2	3	4	X	X	X	X	X	X
한남 3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
심원도 1	3	4	X	3	6	X	X	X	X	X	X	X
뚝도 1	4	4	3	1	4	3	4	X	X	3	X	X
용답양수 6	6	X	X	6	X	X	X	X	X	X	X	X
자양수봉 2	2	2	2	2	2	2	X	X	X	X	X	X
옥곡수봉 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
금곡수봉 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
송정호 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
송정호 6	X	X	X	6	X	X	X	X	X	X	X	X
용두경목 1	6	X	X	6	X	X	X	X	X	X	X	X
용두경목 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
중화포 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
망원정 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
합정정 1	5	X	X	6	X	X	6	X	X	X	X	X
합성정 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
합성정 2	2	2	2	2	2	2	3	X	X	4	X	X
하수정 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
망원정 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
신정정 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
신정정 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
신정정 3	2	2	3	2	3	3	2	2	3	2	3	3
신염정 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
염정 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
도립 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
독산 1	1	3	5	1	4	5	X	X	X	6	X	X
철산 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
시흥 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
개봉 1	1	1	2	1	1	2	5	X	X	4	X	X
구로 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
구로 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
구로 3	1	1	1	1	1	1	2	4	3	3	4	6
양평 1	1	2	3	1	3	3	5	X	X	4	X	X
양평 1	1	1	1	1	1	1	X	X	X	5	X	X
도립 3	X	X	X	6	X	X	X	X	X	X	X	X
신길 5	5	5	5	5	5	5	X	X	X	X	X	X
문래 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
영등포 1	1	1	1	1	1	1	3	4	X	4	X	X
양평 2	2	3	2	1	2	2	4	3	4	3	4	X
양평 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
혹석 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
반포 2	2	5	5	3	X	X	5	5	X	5	X	X
서재 1	1	X	X	1	X	X	1	3	X	1	3	X
잠실 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
잠실 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
성내 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
성내 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
탄천 1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	2	5
암사 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
전장 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
농안 2	2	4	5	2	5	5	X	X	X	X	X	X



표 12. ILLUDAS 모형과 순간강우강도법을 사용한 유출계열에 대한모형별 최고수위 비교(재현기간 30년)

유수지	만수위	기 존	모형 1	모형 2	모형 3	유수지	만수위	기 존	모형 1	모형 2	모형 3
용산 1	9.60	8.86	9.49	9.63	8.50	독 산	9.77	10.01	9.59	10.60	9.28
용산 4	9.70	9.74	10.55	10.87	8.96	철 산	8.00	9.39	9.12	10.56	9.02
한 남	10.50	14.10	13.31	14.87	12.26	시 흥	12.30	19.37	17.93	23.38	14.77
심 원	12.40	13.98	12.37	36.86	29.70	개 봉	9.20	8.28	9.20	9.43	7.92
떡 도	10.35	10.70	10.60	11.35	10.00	구로 1	8.25	9.43	8.95	10.79	8.52
용 답	9.75	9.83	9.64	9.94	9.59	구로 2	9.00	9.95	8.87	12.01	9.18
자 양	14.40	12.97	14.14	17.25	13.00	구로 3	9.50	6.96	8.51	6.82	6.93
옥 수	10.50	30.01	28.47	33.77	23.09	양평 1	9.00	8.58	8.31	10.20	6.72
용 봉	11.20	28.66	26.72	33.50	22.63	도림 1	9.50	8.83	8.94	8.83	8.25
군 자	13.00	30.22	29.31	35.17	27.25	도림 3	10.00	12.27	11.20	13.94	10.06
송 정	13.50	28.73	28.08	34.43	26.54	신 길	11.00	11.17	10.25	16.02	10.15
금 호	10.50	28.73	28.08	34.43	26.54	문 래	7.00	28.05	25.82	50.15	25.31
용 두	15.10	26.49	27.11	33.46	25.54	영등포	7.80	4.84	6.29	5.09	4.87
휘 경	16.50	18.58	17.74	20.70	16.97	양평 2	6.30	5.75	4.64	4.68	5.77
면 목	12.00	16.07	15.90	20.02	14.32	혹 석	10.70	15.27	13.34	19.81	14.42
중 화	12.50	40.49	39.60	56.93	41.50	반 포	9.00	8.23	8.57	8.74	7.67
마 포	7.00	14.21	14.42	19.13	13.27	서 초	10.40	13.65	11.44	30.01	6.96
망원 1	7.50	6.26	7.14	8.80	5.77	잠 원	11.30	8.30	8.40	36.36	23.89
합정 1	8.30	11.76	9.06	33.69	5.77	양 재	11.00	11.69	11.19	11.90	10.77
합정 2	7.50	22.64	21.82	27.44	19.73	잠실 1	13.00	14.95	14.37	16.05	13.36
성산 1	9.00	6.98	7.91	8.04	7.01	잠실 2	13.00	17.80	16.89	19.28	14.90
하 수	9.00	29.69	28.48	36.98	21.70	성내 1	13.00	17.34	16.12	20.31	15.06
신정 1	6.00	9.18	8.53	21.89	7.28	성내 2	12.00	13.98	13.55	14.61	13.21
신정 2	9.50	13.80	12.82	15.41	10.39	탄 천	11.60	10.38	10.60	10.69	10.04
신정 3	4.50	9.31	9.87	13.21	6.74	암 사	15.00	15.65	15.56	16.26	15.78
염창 1	7.80	12.79	11.91	17.51	12.87	전 농	11.50	9.86	10.54	10.49	9.61
도림 2	7.00	12.67	11.85	17.29	11.57	장 안	9.50	9.87	10.54	10.67	9.42

주) 기존 : 기존의 수위기준에 의한 제어

모형 1 : 수위와 유입량을 고려한 퍼지제어

모형 2 : 수위와 수위차를 고려한 퍼지제어

모형 3 : 수위와 유입량 및 유입량 차를 고려한 자체조정 퍼지제어

것으로 판단된다. 그림 13~16은 용산 1, 용답, 독산, 전농 유수지 및 빗물펌프장에 대하여 각 제어모형을 적용한 결과를 나타낸 것으로 퍼지제어모형의 우수성과 퍼지제어모형 3의 우수성을 입증해 주고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 수문곡선이 각 제어모형별로 말단부에서 거의 비슷한 수위를

보이고 있는 것은 총펌프사용 동력량이 비슷한 것을 의미하므로 본 연구에서 개발한 퍼지제어모형이 유수지 최고수위는 낮추면서도 동력사용량을 많이 필요로 하지 않아 경제적인 면에서도 우수한 모형임을 알 수 있다.

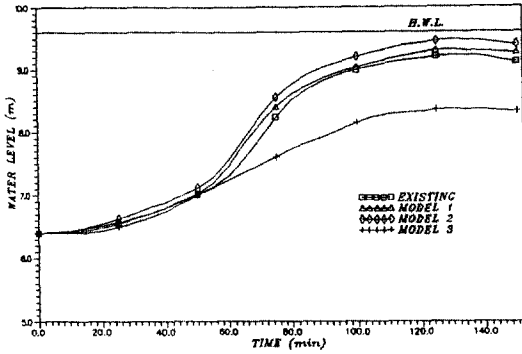


그림 13. RRL 유출모형과 순간강우강도법에 의한 수문곡선(용산 1, 재현기간 50년)

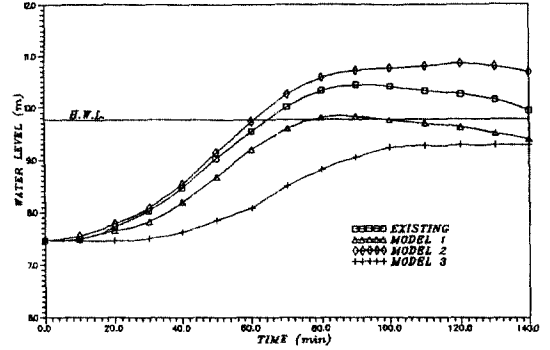


그림 15. RRL 유출모형과 Huff의 강우분포모형에 의한 수문곡선(독산, 재현기간 10년)

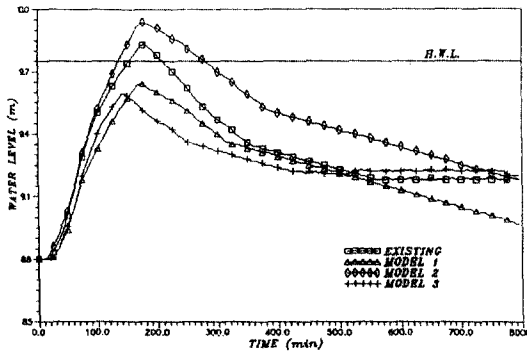


그림 14. ILLUDAS 유출모형과 순간강우강도법에 의한 수문곡선(용담, 재현기간 30년)

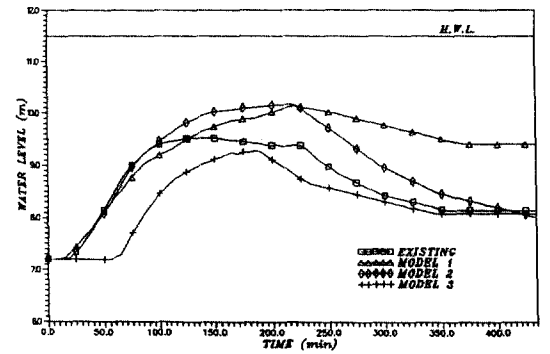


그림 16. ILLUDAS 유출모형과 Huff의 강우분포모형에 의한 수문곡선(전농, 재현기간 30년)

## 7. 결 론

본 연구는 퍼지제어모형을 사용하여 서울특별시 관내 57개 유수지 및 빗물펌프장을 운용시킨 결과를 기존의 수위기준에 의한 펌프가동에 의한 결과와 비교한 것으로 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 퍼지제어에 의한 펌프조작결과가 기존의 유수지 수위기준에 의한 펌프조작에 비하여 동일한 홍수대처능력(유수지 저류용량+배수펌프의 펌프용량)에 대해서도 유수지 수위를 낮출 수 있어 내수배제면 및 기존 시설의 활용면에서 양호한 것으로 파악되었다.

2) 3가지 퍼지제어모형중에서는 제어모형 3이 다른 제어모형에 비해 유수지수위를 가장 크게 낮출 수 있었으며, 제어모형 1, 2는 유수지별로 적정 제

어규칙을 설정하고, 구성함수의 적정 폭을 구해야 하는 선행절차가 필요한 반면, 제어모형 3은 이러한 과정을 생략할 수 있어 초기 입력조건이 간편하다는 장점이 있다.

3) 각 제어규칙에 따라 펌프를 운용한 수문곡선을 비교해 보면 첨두수위는 퍼지제어에 의한 결과(특히 제어모형 3의 결과)가 기존의 조작기준에 비해 낮으면서도 말단부에서의 수위가 비슷하게 나타난 것으로 나타나 퍼지제어가 비슷한 동력사용량을 사용하면서도 유수지 최고수위를 낮출 수 있는 경제적인 제어기법으로 판명되었다.

4) 현재 서울특별시에서 계속 수행하고 있는 유수지 및 빗물펌프장의 시설용량을 확충하지 않더라도 본 연구성과인 퍼지제어기법을 적용하면 내배수 처리의 효율을 상승시켜 적정운용을 기할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 고재웅, "유수지 운영의 문제점과 개선방안", 1988년도 도시수문학 심포지움 논문집, **한국수문학회**, pp. 6-16, 1988.
2. 서울특별시, 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서, pp. 37-97, 1991.
3. 서울특별시, 우수배제펌프장·수문 관리지침, pp. 63-90, 1991.
4. 서울특별시, 배수펌프장 시설기준, 1988.
5. 서울특별시, 하수도 정비 기본계획 보고서, 1984.
6. 서울특별시, 하수도 기본계획 재정비 보고서, 1991. 2.
7. 심재현, 조원철, 이원환, "자기조정력을 가진 퍼지 제어기법에 의한 우수배제펌프의 적응제어", 제 34회 수공학 연구발표회 논문집, **한국수문학회**, pp. 291-299, 1992. 7.
8. 심재현, "유수지 배수펌프장의 적정운용을 위한 퍼지제어모형에 관한 연구", 연세대학교 대학원 토목공학과 박사학위논문, 1992. 12.
9. 이근후, "폭우의 시간적 분포에 관한 연구", **서울대학교 농공학과 대학원 박사학위 논문**, pp. 18-22, 1983.
10. 이원환, "한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법", **대한토목학회 논문집**, 제 11권 제 1호, pp. 99-108, 1991.
11. 이원환, 박상덕, 최성열, 심재현, "내수침수 방지를 위한 배수펌프 가동수위의 결정", 수공학 논총, 제 33권, 제 33회 수공학 연구발표회 초록집, pp. 207-212, 1991.
12. 이원환, 박상덕, 심재현, "우수배제펌프의 조작기준에 따른 서울특별시 유수지의 안전검토", **대한토목학회 논문집**, 제 12권 제 1호, pp. 141-150, 1992. 3.
13. 이원환, 조원철, 심재현, "퍼지제어기법을 사용한 우수배제 펌프의 조작기법 개발", **대한토목학회 논문집**, 제 12권 제 3호, pp. 107-114, 1992. 9.
14. 이원환, 조원철, 심재현, "우수배제 펌프의 적정제어를 위한 퍼지제어모형의 개발", **대한토목학회 학술발표회 초록집**, pp. 203-206, 1992. 10.
15. 이원환, 최성열, 심재현, "치수등위험도선 이론에 의한 서울시 유수지의 안전도 평가", **대한토목학회 논문집**, 제 12권 제 2호, pp. 131-139, 1992. 6.
16. 조원철, 심재현, "Fuzzy 이론의 수문학에서의 응용 (I)", **한국수문학회지**, 제 25권 제 1호, pp. 59-63, 1992. 3.
17. 조원철, 심재현, "Fuzzy 이론의 수문학에서의 응용 (II)", **한국수문학회지**, 제 25권 제 3호, pp. 47-52, 1992. 9.
18. 한국건설기술연구원, 지역별 계획강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, 전기연 89-WR-111, pp. 103-108, 1989.
19. 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, pp. 102-155, 1989.
20. 新井 正, 新藤靜夫, 吉川 新, 吉越昭久, 都市の水文環境, 都市環境學シリーズ 2, 共立出版株式會社, pp. 37-72, 1988.
21. 前田幹夫, 村上周太, "自己調整ファジィコントローラ", 日本計測自動制御學會 論文集, 第 24卷 第 2號, pp. 85-91, 1987.
22. 村田恒雄, 佐藤 治, ポンプ場の設計と考え方, 鹿島出版會, pp. 205-224, 1974.
23. 熊谷純一郎, 原田幸雄, 雨水貯留施設の計劃と設計, 鹿島出版會, pp. 40-77, 1984.
24. 坂和正敏, ファジィ理論の基礎と應用, 森北出版株式會社, pp. 2-57, 1990.
25. Bollinger, J.G. and Duffie, N.A., *Computer Control of Machines and Processes*, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 15-20, 1989.
26. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, pp. 467-470, 1988.
27. Graham, B.P. and Newell, R.B., "Fuzzy Adaptive Control of a First-Order Process", *Fuzzy Set and Systems*, Vol. 31, pp. 47-65, 1989.
28. Han, J. and Delleur, J.W., *Development of an Extension of ILLUDAS Model for Continuous Simulation of Urban Runoff Quantity and Discrete Simulation of Runoff Quality*, Technical Report NO. 109, Purdue University Water Resources Research Center, pp. 39-76, 1979. 7.
29. Huff, F.A., "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019, 1967.
30. Keifer, C.J. and Chu, H.H., "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design", *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 83, NO. HY4, pp. 1-25, 1957.
31. Kim, M.K., "A New Control Strategy: Adaptive Fuzzy Control (AFC) in Machining", Dissertation of the Doctor of Philosophy, University of Illinois at Chicago, pp. 70-92, 1988.
32. Klir, G.J. and Folger, T.A., *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*, Prentice Hall, pp. 231-294, 1988.
33. Koh, K.C. et al., "Application of a Self-Organizing Fuzzy Control to the Joint Control of a PUMA-760 Robot, *IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems*, pp. 537-542, 1990.

34. Kosko, B., *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice Hall, pp. 1-11, pp. 299-338, 1992.
35. Kosko, B., *Neural Networks for Signal Processing*, Prentice Hall, pp. 161-188, 1992.
36. Kosko, B., "Foundations of Fuzzy Estimation Theory", Dissertation of the Doctor of Philosophy, University of California at Irvine, pp. 1-97, 1987.
37. Langari, G. and Tomizuka, M., "Self-Organizing Fuzzy Linguistic Control with Application to Arc Welding", IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp. 1007-1014, 1990.
38. Saridis, G. N., *Self-Organizing Control of Stochastic Systems*, Marcel Dekker Publishing Company, pp. 3-28, 1977.
39. Schilling, V.P., *Real Time Control of Urban Drainage Systems*, The State of the Art, Pergamon Press, pp. 37-65, 1987. 9.
40. Suzuki, K. et al., "Self-Tuning Fuzzy Control of a Mobile Robot", IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp. 108-114, 1989.
41. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*, State Water Survey Division, Urbana Champaign, pp. 1-88, 1974.
42. Yen, B.C. and Chow, V.T., Design Hyetographs for Small Drainage Structure", *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 106, NO. HY6, pp. 1055-1076, 1980.
43. Zimmermann, H.-J., *Fuzzy Set Theory- and Its Applications*, Kluwer-Nijhoff Publishing, pp. 193-234, 1985.