

한강홍수특성을 고려한 내배수 처리기법

A Technique of Inland Drainage Control Considering Flood Characteristics of the Han River

이 원 환*
Lee, Won Hwan

.....

Abstract

Rapid changes of urban hydrologic events need new management operation rule of detention reservoir which is essential outflow control system in urban area.

Therefore, this study is to develop the outflow management method of Seoul city considering the Han river flood characteristics, to analyze the inundation of detention reservoir according to variation of design storm patterns, and to examine the safety of gate due to design flood water level.

From this study, new operation rule is presented. The design storm patterns are determined by instantaneous intensity method and Huff's quartile method. And the inflow hydrograph of detention reservoir is obtained by applying ILLUDAS model and RRL method.

The operation rule of existing drainage pump is designed to have linear relation between storage and pumping discharge. But in this study, it is effective for preventing inundation when the operation rule of drainage pump have Gaussian function which is combined the storage of detention reservoir with its inflow according to increasing or decreasing of inflow hydrograph.

.....

요 지

도시화에 의한 도시수문사상의 급격한 변화는 도시지역의 주요한 내배수 처리시설인 우수지의 새로운 운영조작기준을 요구하고 있다. 따라서 본 연구는 한강 홍수 특성을 고려한 서울시 지역의 내배수처리 기법을 개발하기 위한 것으로서 설계강우양상의 변화에 따른 기존 우수지의 침수여부를 분석하고 한강의 계획홍수위에 대한 우수지의 수문안전도를 검토하였으며, 이를 통하여 우수지 운영조작기준을 새롭게 제시하였다.

순간강우강도법과 Huff의 4분위법에 의하여 설계강우양상이 결정되었으며, 우수지의 유입수문곡선은 ILLUDAS모형과 RRL법을 적용하여 얻어졌다. 기존의 우수지 배수펌프 운영조작기준은 우수지의 저류

*정희원 · 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

량과 펌프유출량이 선형적인 관계를 갖도록 되어 있으나 본 연구 결과 유입량의 증감여부에 따라 우수지의 저류량과 유입량을 조합한 Gauss함수형태의 배수펌프 운영조작기준이 우수지의 침수방지에 효과적인 것으로 나타났다.

1. 서 론

서울시^①에는 1989년 현재 191개(307문)의 배수시설이 있으며, 각 배수시설의 설계빈도는 10~30년이고, 설계강우 지속기간은 120분으로 되어 있다. 그러나 설계 당시와는 달리 최근에는 도시화가 급속하게 진행됨에 따라 도시수문 사상이 변화되어 침투유출량이 증가하고 도달시간이 빨라져서 같은 강우상황에서도 점점 더 큰 피해가 발생되고 있다. 따라서 도시지역의 내수침수를 방지하기 위한 내배수처리시설인 기존 우수지의 운영조각 기준도 도시수문사상 변화에 부응하도록 개선이 요망되고 있으며 외수위에 따른 우수지 수문상자의 안전을 검토할 필요가 있다.

일반적으로 유출해석에 있어 기존에는 합리식이 많이 사용되어 왔으나 이는 침투유출량만을 알수 있을 뿐 유출의 시간적 분포를 아는 데는 부적당하다. 따라서 본 연구에서는 최근들어 도시지역의 유출해석에 많이 사용되고 있고 포장지역과 비포장지역 모두를 고려하여 유출을 해석하는 ILLUDAS^②(Illinois Urban Drainage Area Simulator)모형과 배수시스템에 직접 연결된 포장지역의 유출만을 고려하는 RRL^③법(British Road Research Laboratory Method)을 망원우수지와 신정1, 2 우수지 배수유역에 적용하였다. 우수지에서는 수정 Puls법에 의해 저수지 홍수추적을 행하여 우수지 유출수문곡선을 만들고 이에 의해 우수지 만수위의 초과여부를 판단하였다.

우수지에서는 두가지 측면 즉, 제내지측의 침수방지와 수문상자의 안전성이 보장되어야 한다. 본 연구에서는 최악의 상황인 한강이 계획홍수량에 도달해 펌프에 의한 강제배수 만으로 유입량을 배제하며 수문상자에도 가장 큰 수압이 걸리는 상황에 대하여 우수지 운영관리기법을 검토한다. 본 연구를 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

①외수위가 한강의 계획홍수위에 도달해 우수지로 부터의 자연배수는 없다.

②각 우수지의 배수는 배수펌프 운영기준에 따른다.

③각 유역의 유출수문곡선은 우수지로의 유입수문곡선이 된다.

④우수지는 만수위를 초과하더라도 일정한 비율로 증가하는 기상의 제적을 갖는다.

2 우수지의 설계수문량

2.1 설계강우

어떤 지역의 유출을 해석하는데 있어서 가장 중요한 수문특성 인자는 그 지역에 내린 강우자료라고 할 수 있다. 강우의 총량 및 시간적 분포는 그 지역의 피복 조건과 더불어 유출특성에 결정적인 역할을 하게되며 이는 기왕의 실적 강우를 대상으로 하여 해석하는 경우도 있으나 어떤 수공 구조물을 설계하는데 있어서는 I-D-F관계를 이용하여 설계우량을 구한다. 강우 강도식은 일반적으로 식(1)과 같은 형태로 표시가 가능한 것으로 알려져 있으며 우리나라에서도 이 식을 사용하고 있다.

$$I = \frac{C}{T_d^c + f} \quad (1)$$

여기서, I : 강우강도(mm/hr)

T_d : 강우 지속기간(min)

c, e, f : 상수

서울지역의 강우강도식은 식(1)과 같은 형태를 나타내고 있으며 기본자료의 장단에 따라 건설부, 서울시, 건설기술연구원, 이원환등 여러가지 식이 제안되어 있다. 본 연구에서는 재현기간 10년, 20년, 30년 및 50년에 대한 이원환^④의 강우강도식을

표 1. 서울지방에 대한 식(1)의 상수 값

재현기간 계수	10년	20년	30년	50년
c	485.0	569.0	610.0	660.0
e	0.5	0.5	0.5	0.5
f	0.15	0.11	0.09	0.05

사용하였으며 식(1)의 각 계수 값은 표1과 같다.

식(1)을 이용하여 강우량을 구하면 설계강우의 양적인 문제는 해결되나 강우의 시간적인 분포는 알 수 없다. 본 연구에서 강우의 시간적 분포는 침투강우가 발생하는 위치에 따라 4가지로 구분한 통계적 방법인 Huff⁽¹⁰⁾의 4분위법과 침투우량의 위치를 r 값에 따라 임의로 선택하여 IDF관계로부터 강우양상을 결정하는 순간강우강도법⁽⁹⁾(Instantaneous Intensity Method)을 적용하여 결정하였다. 설계강우 분포의 예는 그림 1(a), (b)와 같다. 순간 강우강도법에서 r 값은 0.25, 0.5, 0.75를 각각 고려하였다. 한국건설기술연구원⁽⁶⁾의 연구에 의하면 우리나라에서 r 값은 0.42~0.55로 분포한다.

2.2 유입 수문곡선

유수지의 유입수문곡선은 배수구역의 강우-유출해석을 통하여 얻어질 수 있으며, 본 연구에서는 최근 많이 사용되고 있는 도시유출 모형 중에서 ILLUDAS 와 RRL법을 이용하여 유출 수문곡선

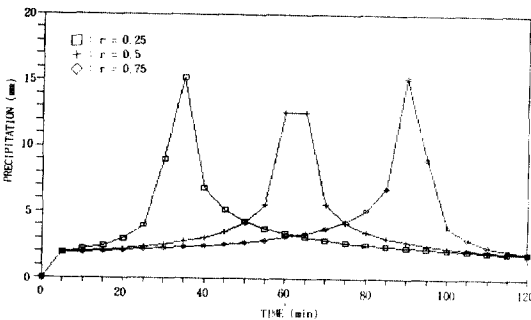


그림 1. (a)서울지방의 설계강우분포(순간강우강도법, I_0)

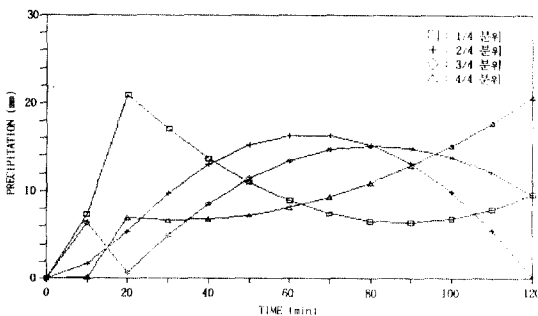


그림 1. (b) 서울지방의 설계강우분포(Huff, I_{60})

을 작성하고 이를 유수지의 유입 수문곡선으로 하여 유수지의 상황을 판단하기로 한다. 도시유출 모형에 필요한 입력 자료로는 강우 이외에도 배수구역에 대한 자료(배수면적, 포장 지역의 비율, 흙의 분류 등)와 하수관거에 대한 자료(하수관거의 길이, 폭(직경), 관의 경사, Manning의 n 값)등이며 이를 기초로 하여 그 지역의 유출 수문곡선을 작성한다.

3. 유수지 운영관리 기법개발

3.1 실태 및 문제점

현재 서울시 관내 유수지들의 설계빈도는 대부분 재현기간이 10년인 설계강우강도를 채택하고 있으며, 기존의 하수관거가 통수용량이 부족하여 부분적으로 침수나 지체현상이 일어날 우려가 있는 곳에는 배수펌프장을 설치하여 운영하고 있다. 그러나 유수지의 저류용량이 충분하지 못한 곳이 많고 용량이 충분하다 하더라도 배수펌프의 운영조작 기준이 대부분 유수지 저류량에 따라 선형적으로 결정되어 있어, 홍수시 유입량의 비선형적인 급격한 변화에 적절하게 대처하지 못하고 있다. 또한 운영조작기준을 정확하게 따르지 않고 관리자의 경험에 의해 조작되는 경우도 있어 1984년과 같은 대홍수뿐만 아니라 재현기간 10년의 홍수에도 운영조작이 적절치 못했던 경우가 많았다. 유수지 침수방지 및 수문상자의 안전도 측면에서 볼 때, 기존의 유수지가 안고있는 문제점들을 요약하면 다음과 같다.

가. 도시지역 수문사상의 변화에 따른 문제

- 1) 도달시간의 단축
- 2) 침투유출량 증가
- 3) 총유출량의 증가

나. 유수지 운영관리상의 문제

- 1) 유수지 유효저류용량의 감소(토사퇴적, 배수펌프의 효율저하)
- 2) 배수펌프의 시설용량 부족
- 3) 수문상자의 안전성을 고려한 유수지 운영의 미숙
- 4) 유수지 운영조작에 관한 조사연구 부족

3.2 유수지의 운영관리 모형

3.2.1 침수방지

유수지는 홍수시 제내지에 내린 강우의 유출에 따른 제내지침수를 방지하기 위한 저류 및 배수시

설을 일컫는다. 따라서, 유수지의 주된 기능은 제내지층의 침수방지에 목적이 있는 것이다. 제내지층의 수위가 높을 때에는 수문을 열어 자연배수에 의존하게 되며 제외지층의 수위가 높을 때에는 수문을 닫고 펌프 등에 의한 강제배수를 실시하게 된다. 서울시 배수시설의 경우 대부분 10년 빈도에 해당하는 규모로 계획되었으며 강우 지속기간은 120분을 기준으로 하고 있다. 계획년수를 너무 크게 잡으면 과대설계가 되어 비경제적이며 너무 작게 잡으면 침수에 의한 피해가 발생하게 되어 이의 손익을 맞추는 것이 계획강우 설정에 중요한 요인으로 작용하게 된다. 그러나 최근의 급속한 도시화와 산업화가 진행됨에 따라 일단 침수가 한번 발생하게 되면 그 피해액이 엄청나게 증가하는 것을 고려한다면, 서울 지방의 경우 설계빈도를 30년 내지 50년으로 잡는 것이 타당할 것이다.

3.2.2 수문상자의 안전도

수문상자는 제외지층에 설치되는 경우, 제내지층에 설치되는 경우, 제방 중앙에 설치되는 경우가 있으나 제외지층이나 중앙에 설치되는 것이 도피의 안전도 면에서는 가장 좋다. 망원동 유수지와 같이 제내지층으로 이설하게 되는 경우에는 외수위의 수압에 따른 수문상자의 안전에 만전을 기해야 할 것이다. 수문상자의 안전도를 분석할 때에는 제외지층의 수위를 한강의 계획 홍수위로 잡고 제내지층은 물이 없는 것으로 보아 최대의 수위차가 발생하는 최악의 상태를 해석하여야 한다. 따라서 수문상자 자체의 안전도 만으로 볼 때에는 제내지층에 어느 정도의 물이 차 있어서 수위차가 적게 걸리는 것이 좋다. 또한 수문상자에 작용하는 힘으로는 수위차에 의한 수압 뿐만 아니라 양압력에 의한 sliding도 필수적으로 고려해야 할 것이다.

3.2.3 제외지의 홍수위

제외지의 홍수위는 최악의 상황을 해석하기 위해 한강의 계획 홍수량에 해당하는 수위를 수위-유량 관계곡선에 의해 결정하게 된다. 인도교 지점의 기왕의 최대홍수위는 12.26El.m이고 유량은 34,400m³/sec로 기록되었으며, 계획 홍수량은 37,000m³/sec이다. 제외층의 수위를 계획 홍수위로 설정하여 수문상자에 최대한의 수압이 작용할 경우 수문상자의 도피 등에 의한 파괴가 일어나지 않도록 유수지 배수펌프를 운영하여야 할 것이다.

3.2.4 새로운 조작기준의 제안

기존의 유수지 배수펌프조작은 유수지 유입량의 저류되는 용량을 수위로 판단하여 수위에 따라 펌프대수를 결정하는 기준을 따르고 있다. 이 방법은 유입수문곡선의 급격한 변화에 신속하게 대처할 수 없는 시스템 자체의 모순을 포함하고 있다. 실제 강우에 의한 과거의 조작상황을 보아도 이러한 모순이 현저하게 나타나고 있어 새로운 운영조작 기준이 요망되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 유수지 유입수문곡선의 증감에 따라 두가지 경우로 구분하여 배수펌프를 운영하는 새로운 조작기준을 제안하고자 한다.

경우 : 증수기간-유입량에 따른 배수펌프 운영조작

경우 : 감수기간-유수지 수위에 따른 배수펌프 운영조작

위와 같은 2가지 경우를 조합하여 나타내면 다음 식(2)와 같이 Gauss함수로 표시될 수 있다.

$$Q_p = C_{1p} \{ [Q_{in}/D_p] + 1 \} + C_{0p} (a + bH_s) \quad (2)$$

여기서, Q_p : 펌프에 의한 배수량(CMS)

C_{1p} : 유입수문곡선 증수부 정수(= 0, 1)

P : 배수펌프 1대의 용량(CMS)

Q_{in} : 유수지 유입유량(CMS)

D_p : 배수펌프 1대가 담당하는 유입량(CMS)

C_{0p} : 유입수문곡선 감수부 정수(= 0, 1)

ab : 계수

H_s : 유수지의 수위($El.m > H_s$)

H_c : 배수펌프 가동을 위한 유수지 한계최저수위(El.m)

[]: Gauss함수

식(2)에서 유입수문곡선이 증수부인 경우에 $C_{1p} = 1$, $C_{0p} = 0$ 이고 감수부인 경우에는 $C_{1p} = 0$, $C_{0p} = 1$ 이다. 또한 계수 a, b 는 기존 배수펌프 가동기준의 유수지 수위와 배수펌프강간의 관계를 나타내는 계수이다. 망원 및 신정 1, 2유수지에 대한 식(2)의 관계는 표 2와 같다. 유입량이 펌프의 시설용량을 초과하는 경우에 Q_p 는 배수펌프의 시설용량과 같고, H_s 는 배수펌프 가동을 위한 최저수위보다 큰 유수지수위를 나타낸다.

표 2 식(2)의 유수지 별 각 변수값

유수지	P(CMS)	D _p (CMS)	H _L (Elm)	a	b
신정1	8.9	10.0	3.8	-169.630	46.297
신정2	4.1666	5.0	5.5	-33.008	6.598
망원	7.476	8.0	5.4	-358.200	68.300

3.2.5 모형의 흐름도

제내지의 침수방지, 수문상자의 안전도 및 제외지의 홍수위 등을 고려한 유수지 운영조작모형의 흐름도는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 유수지 운영조작 모형은 강우-유출해석에 의한 유수지 유입수문곡선을 추정하고, 한강외수위와 유수지 수위의 상황에 따른 수문상자의 안전율을 계산한다. 수문상자가 안전하고 유수지내 수위가 배수펌프가동기준수위 이상이 되는 경우, 유수지 유입수문곡선이 증수부인지 감수부인지를 고려하여 배수펌프를 가동하도록 본 모형이 구성되었다.

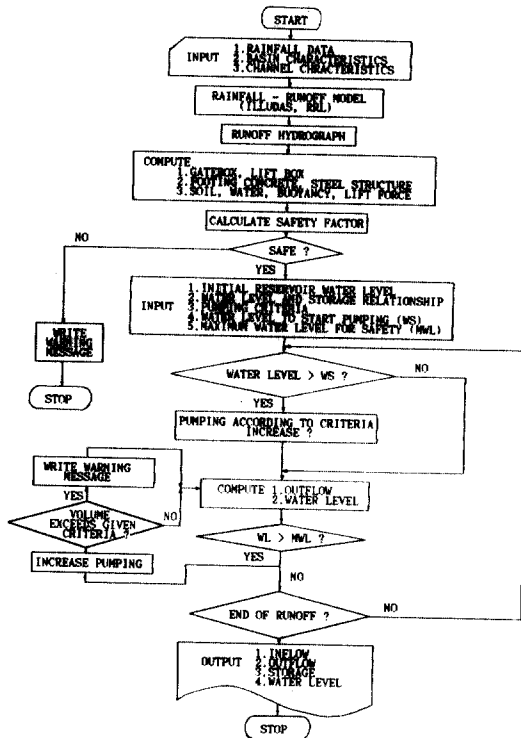


그림 2 유수지 운영관리모형의 흐름도

4. 모형의 적용

4.1 기존의 조작기준을 사용한 경우

강우파형의 변화에 따른 유수지 수문곡선을 추정하기 위하여 ILLUDAS 모형과 RRL방법을 표3과 같은 제원⁽²⁾을 갖는 망원 및 신정 1, 2유수지의 배수유역에 각각 적용하였다. 재현기간이 10년, 20년, 30년 및 50년인 설계강우가 이 유역 전반에 걸쳐 발생할 경우 유수지의 유입수문곡선과 기존의 유수지 배수펌프 조작기준을 사용하여 구한 유출수문곡선은 그림3-(a), (b), (c)에 나타낸 바와 같다. 이 유출수문곡선은 저수지 홍수추적방법 중의 하나인 수정 Puls법에 의하여 얻어진 것이다. 그림3(a), (b)에서 볼 수 있는 바와 같이 새로운 유수지 배수펌프 운영조작기준에 의한 방류량곡선에서 방류량이 급강하 했다가 다시 상승하는 형태를 나타내는 것은 유입수문곡선이 증수부에서 감수부로 변화된 결과에 따른 것이다. 즉 유입수문곡선의 증수부에서 배수펌프는 유입유량에 따라 가동되다가, 유입수문곡선이 감수부로 바뀌면서 유수지 수위에 따라 가동되기 때문이다. 따라서 감소된 펌프량 만큼 유수지 수위의 증가를 초래하므로 방류량은 유수지 수위가 감소될 때까지 펌프의 최대용량에 이르도록 증가한다. 망원 및 신정 1, 2 유수지의 배수펌프 운영기준은 표4와⁽³⁾ 같다. 1989년에 망원 유수지 배수유역에 시설용량 1,800m³/min인 제2 유수지를 건설하였으며, 이는 저류기능이 없으므로 본 연구에서는 제1 유수지에 시설용량이 증설된 것으로 보았다.

표 5에서 알 수 있는 바와 같이 강우-유출 모형이 ILLUDAS인 경우 신정1 유수지에서 재현기간 30년이상, 신정2 유수지에서 재현기간 20년이상, 망원 유수지에서 전 재현기간에 대하여 유수지 수위가 만수위를 초과하고 있다. RRL의 경우에는 설계강우 양상이 순간 강우강도법에 의한 것인지 혹은 Huff법에 의한 것인지에 따라 차이가 많다. 즉 순간강우강도법인 경우에는 재현기간 10년의 경우를 제외한 대부분에서 유수지 수위가 만수위를 초과하고 있고 Huff법의 경우에는 30년 이상에서 대부분 만수위를 초과한다.

4.2 개선된 조작기준을 적용한 경우

본 연구에서 제시한 유수지 배수펌프 운영조작기

표 3. 각 유수지의 제원 및 특성

	신정 1	신정 2	망 원
유출 면적	0.68	0.61	0.63
저수위	12.79km ²	5.77km ²	6.28km ²
만수위	3.0ELm	5.0ELm	4.5ELm
유효저수용량	6.0ELm	9.5ELm	7.5ELm
펌프대수	258,000m ³	162,000m ³	162,000m ³
총배수펌프용량	16대	7대	7대
	5,340m ³ /min	1,750m ³ /min	3,140m ³ /min

표 4. 유수지 배수펌프의 운영조작기준

단위 : Elm

가동대수 \ 수위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
신정 1	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6
신정 2	5.5	6.3	7.0	7.6	8.2	8.8	9.3	—	—	—
망 원	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	—	—	—

준에 관한 식(2)에 따라서 망원 및 신정1, 2유수지에 적용한 결과는 표5의 괄호안에 있는 바와 같다. 기존의 운영조작기준과 본 연구에서 제시한 배수펌프 운영조작기준을 적용한 예를 나타내면 그림4 (a), (b), (c)와 같다. 표 5에서 각 설계강우에 대한 유수지 최대수위를 비교해 보면 강우-유출모형이 ILLUDAS인 경우 신정 1 유수지에서는 재현기간 50년 빈도에서 대부분 만수위를 초과하고 신정 2 유수지에서는 순간강우강도법일 때 재현기간 30년 이상, Huff법 일 때 재현기간 50년 빈도에서 만수위를 초과하며, 망원 유수지는 대부분 만수위를 초과하는 것을 알 수 있다. 강우-유출 모형이 RRL인 경우에는 순간강우강도법에 의한 강우양상에 대하여만 재현기간 50년일 경우 유수지의 수위가 만수위를 초과하고 있다. 기존의 유수지 배수펌프 운영조작기준과 비교하여 볼 때 본 연구에서는 제시한 기준이 유수지 최대수위를 크게 저하시킬 수 있는 것을 알 수 있으며 망원의 ILLUDAS인 경우를 제외하면 침수방지 효과가 큰 것으로 확인되었다.

5. 비교고찰

기존의 유수지 운영조작기준으로 배수펌프를 운용할 때 모형의 적용을 통하여 알 수 있는 바와 같이 설계빈도 30년인 신정유수지의 경우 지속기간

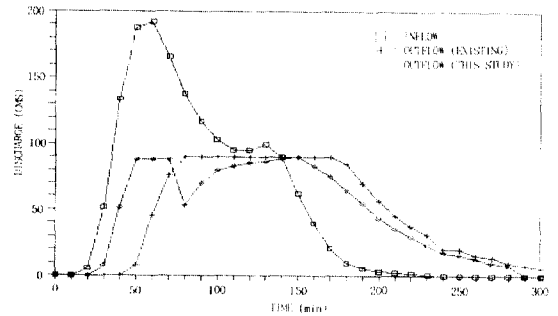


그림 3. (a)신정 제1유수지(ILLUDAS, HUFF1/4분위, b)

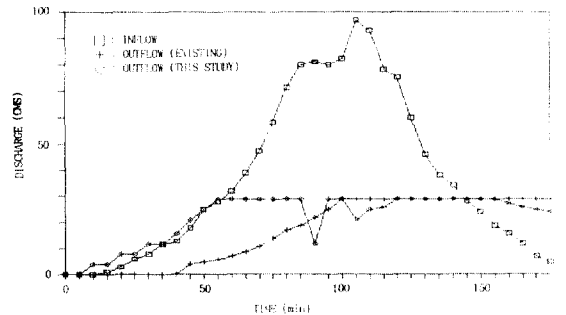


그림 3. (b)신정 제2유수지(RFL, 순간강우강도법 r=0.5, b)

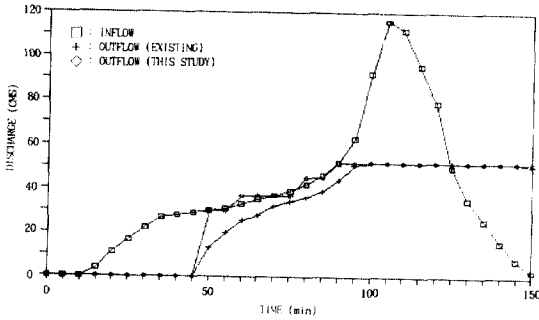


그림 3.(C) 망원 유수지(RRL, 순간강우강도법 $r=0.75, t_0$)

120분, 재현기간 30년 강우에도 유수지 수위가 만수위를 초과하고 있으며, 설계빈도 10년인 망원 유수지의 경우에는 RRL의 경우를 제외하면 10년 빈도 이상의 강우에서 유수지 수위가 만수위를 초과하는 것으로 나타났다. 신정유수지의 경우 30년 빈도로 설계되어 있으나, 30년 빈도의 강우에 대해서도 만수위를 초과한다는 것은 설계당시와 현재 상황에 많은 차이가 있다는 것을 의미한다. 물론, 수문상자에 가장 위험한 상황이 발생하는 외수위가 내수위보다 높은 극한의 상황을 고려하여 유수지로부터 자연배수가 없는 것으로 가정하였기 때문에 유수지 운영조작의 모의 결과가 실제 상황보다 큰 수위를 나타낼 수 있으나 이는 유수지의 안전성 검토라는 측면에서 합리적인 것으로 판단된다. 유수지가 과소 설계되었거나 또는 유역 수문사상의 급격한 변화에 기인하여 유수지 만수위를 초과하는 경우에 저류용량의 확장은 현실적으로 불가능하므로 배수시설 운영조작 기준을 현실에 맞게 조정해 주어야 할 것으로 사료된다.

침투강우의 발생시각을 나타내는 r 값이 0.25, 0.50, 0.75로 변화함에 따라서 유출상황이 크게 달라져서, r 값이 0.25일때 보다는 0.50, 0.75로 변화함에 따라서 유출량이 커져서 유수지의 수위가 크게 높아지는 것으로 나타났다. 이같은 상황은 Huff의 4분위법에서도 마찬가지로 나타나 제 1/4분위의 경우 동일한 강우량에 대해서도 유수지의 만수위를 초과하지 않는 경우가 발생하였다. 이와 같이 r 값에 따라 유출상황이 민감한 반응을 나타내는 것으로 보아 같은 설계빈도를 갖는다 하더라도 유수지 안

전성 검토라는 측면에서 볼때 유수지 수위가 가장 높은 상황이 되도록 r 값을 선정함으로써 그 유역에 적절한 강우파형을 결정하여 유출을 해석하는 것이 바람직하다고 하겠다.

또한 소유역의 경우에는 5분정도 간격으로 설계 강우를 배분하는 것이 적당하나 본 연구에 적용된 이근후⁽⁹⁾의 연구에 의하면 서울지방에 대한 Huff⁽¹⁰⁾의 4분위법은 강우의 분포형을 3차함수로 나타내고 있으므로 지속기간을 5분으로 할 경우에 강우량이 음의 값이 되는 경우가 발생하여 강우지속기간을 10분 간격으로 하였다.

ILLUDAS모형과 RRL법 사이에는 같은 형태의 강우가 발생하더라도 유출상황이 현저하게 달라짐을 알 수 있다. 어떤 모형이 더 우수하다고 극단적으로 말할 수 없으나 ILLUDAS모형의 경우 녹지와 배수계통에 직접 연결되지 않은 포장된 지역에서도 유출해석을 실시하므로 RRL법 보다는 더 정확하다고 할 수 있겠다. 도시화가 급속히 진행되어 가고 있는 서울시의 경우 일단 내수피해가 발생하면 그 피해액이 엄청나다는 점을 감안할때 서울시의 모든 유수지와 배수시설에 대해서도 안전도와 침수여부를 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

그림 4(a), (b), (c)에서 볼 수 있는 바와 같이 유입수문곡선의 증감여부에 따라 유수지 유입량과 수위를 조합하여 배수펌프를 운영조작하는 식(2)의 새로운 조작기준은 유수지 수위와 배수펌프량이 선형적인 관계를 갖는 기존의 기준에 의한 배수펌프 운영조작에 비하여 초기의 증가유입량을 신속하게 배수시키므로 현재 보유펌프대수로도 만족할 만한 운영이 가능하다. 이 방법을 실무에 적용하기 위해선 유입구 부근에 유량을 측정할 수 있는 기구를 설치해야 한다는 경제적인 부담이 있으나 펌프용량을 확장시키는 것에 비해 저렴하고 홍수시 기존의 펌프용량으로 침수에 원활하게 대처할 수 있어 반드시 시행되어야 할 것으로 본다.

본 연구에서 제시한 배수펌프 운영조작기준이 되는 식(2)의 적용성을 검토하기 위하여 복합적인 강우파형에 적용한 결과는 그림5-(a), (b)와 같으며 여기서 알 수 있는 바와 같이 복합강우 파형에 식(2)를 적용하면 기존의 배수펌프 운영조작기준보다 유수지 수위를 크게 저하시킬 수 있으므로 그 적용성이 인정되고 있는 것으로 사료된다.

표 5. 각 설계강우에 대한 유수지 최대수위 비교

단위 : Em

구분	유수지 만 수 위	신정 1		신정 2		망 원	
		ILLUDAS	RRL	ILLUDAS	RRL	ILLUDAS	RRL
		6.0		9.5		7.5	
순간강우도법	$I_{30}, r=0.25$	4.70 (4.41)	5.60 (5.10)	9.15 (8.54)	8.94 (8.22)	8.62 (8.51)	6.80 (6.74)
	$I_{30}, r=0.50$	4.87 (4.32)	5.98 (5.04)	9.48 (8.53)	9.29 (8.17)	9.05 (8.62)	7.43 (7.24)
	$I_{30}, r=0.75$	5.01 (4.15)	6.14 (4.86)	9.60 (8.29)	9.51 (7.85)	8.88 (8.50)	7.05 (6.64)
	$I_{30}, r=0.25$	4.87 (4.56)	6.45 (5.66)	10.08 (9.25)	9.66 (8.84)	9.86 (9.85)	6.21 (6.07)
	$I_{30}, r=0.50$	5.09 (4.49)	6.60 (5.39)	10.46 (9.29)	10.08 (8.79)	10.14 (9.86)	7.63 (7.21)
	$I_{30}, r=0.75$	5.26 (4.35)	6.77 (5.26)	10.61 (9.05)	10.35 (8.57)	9.79 (9.36)	7.66 (7.33)
	$I_{30}, r=0.25$	6.51 (5.82)	6.57 (5.72)	10.73 (9.76)	10.30 (9.31)	10.75 (10.75)	7.78 (7.60)
	$I_{30}, r=0.50$	7.08 (5.90)	7.08 (5.75)	11.22 (9.96)	10.68 (9.30)	10.83 (10.65)	8.08 (7.74)
	$I_{30}, r=0.75$	7.21 (5.66)	7.18 (5.58)	11.29 (9.63)	10.92 (9.08)	10.37 (10.02)	7.51 (7.20)
	$I_{30}, r=0.25$	7.15 (6.43)	7.15 (6.26)	11.70 (10.73)	11.00 (9.95)	11.59 (11.38)	8.43 (8.29)
	$I_{30}, r=0.50$	7.64 (5.73)	7.69 (5.17)	12.15 (10.85)	11.47 (10.02)	11.53 (11.18)	8.71 (8.40)
	$I_{30}, r=0.75$	7.72 (6.21)	7.80 (6.15)	12.24 (10.57)	11.73 (9.90)	11.16 (10.66)	8.73 (8.30)
HUFF의 4분위법	$I_{30}, 1\ ST$	4.49 (4.29)	5.06 (4.78)	8.74 (8.10)	8.39 (7.39)	7.43 (7.41)	5.76 (5.42)
	$I_{30}, 2\ ND$	4.78 (4.19)	5.39 (4.72)	9.30 (8.17)	8.67 (7.49)	9.05 (9.03)	6.39 (6.18)
	$I_{30}, 3\ RD$	4.78 (4.08)	5.41 (4.63)	8.96 (7.77)	8.71 (7.54)	8.78 (8.50)	6.15 (6.09)
	$I_{30}, 4\ TH$	4.82 (3.94)	5.37 (4.57)	9.25 (7.89)	8.62 (7.22)	8.35 (8.05)	5.90 (5.64)
	$I_{30}, 1\ ST$	4.63 (4.41)	5.33 (4.98)	9.49 (8.70)	8.88 (7.80)	8.78 (8.74)	6.18 (5.81)
	$I_{30}, 2\ ND$	4.96 (4.39)	5.90 (5.03)	10.21 (8.95)	9.29 (8.07)	9.94 (9.59)	6.97 (6.78)
	$I_{30}, 3\ RD$	4.97 (4.22)	5.91 (4.92)	10.32 (8.96)	9.33 (8.06)	9.92 (9.82)	6.78 (6.44)
	$I_{30}, 4\ TH$	5.00 (4.05)	5.83 (4.82)	10.14 (8.58)	9.20 (7.82)	9.28 (9.11)	6.48 (6.04)
	$I_{30}, 1\ ST$	5.76 (5.22)	5.59 (5.11)	10.02 (9.08)	9.21 (8.09)	9.65 (9.63)	6.46 (6.15)
	$I_{30}, 2\ ND$	6.74 (5.73)	6.21 (5.17)	10.77 (9.47)	9.72 (8.37)	10.54 (10.27)	7.37 (7.25)
	$I_{30}, 3\ RD$	6.78 (5.59)	6.23 (5.11)	10.89 (9.49)	9.76 (8.42)	10.58 (10.54)	7.19 (6.87)
	$I_{30}, 4\ TH$	6.71 (5.23)	6.12 (4.96)	10.71 (9.05)	9.60 (8.17)	9.98 (9.90)	6.37 (5.93)
$I_{30}, 1\ ST$	6.48 (5.90)	6.19 (5.42)	11.05 (10.20)	9.94 (8.67)	11.25 (11.22)	7.00 (6.80)	
$I_{30}, 2\ ND$	7.36 (6.39)	6.83 (5.66)	11.64 (10.47)	10.56 (9.02)	11.29 (11.17)	8.19 (8.16)	
$I_{30}, 3\ RD$	7.45 (6.25)	6.90 (5.60)	12.04 (10.59)	10.63 (9.06)	11.42 (11.06)	7.96 (7.74)	
$I_{30}, 4\ TH$	7.33 (5.89)	6.73 (5.28)	11.81 (10.61)	10.38 (8.80)	11.00 (10.55)	7.50 (7.24)	

주) 괄호안의 값은 본 연구에서 제시한 조작기준에 의한 최대수위

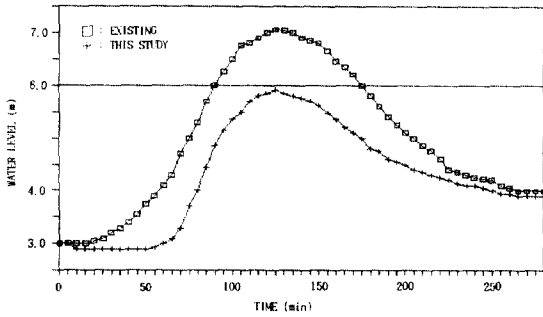


그림 4. (a) 기존 배수펌프 운영조작 기준과 본 연구의 운영조작 기준에 따른 신정 제1유수지 수위의 비교(ILLIDAS, 순간강우강도법 $r=0.5$, I_{30})

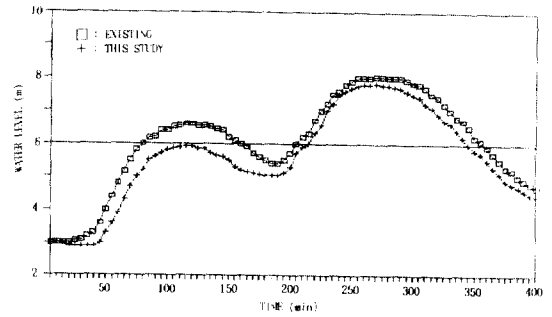


그림 5. (a) 복합강우파형에 대한 유수지 배수펌프 운영조작 기준의 적용결과 비교(Time Lag=150 Min., 신정 1)

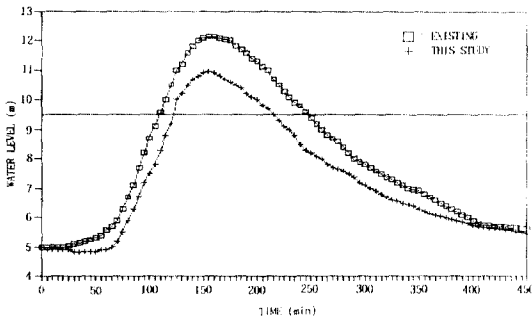


그림 4. (b) 기존 배수펌프 운영조작 기준과 본 연구의 운영조작 기준에 따른 신정 제2유수지 수위의 비교(ILLUDAS, 순간강우강도법 $r=0.5$, I_{50})

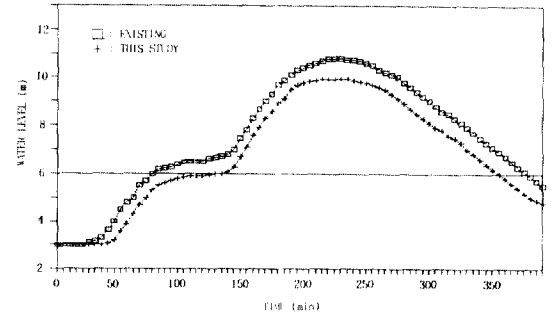


그림 5. (b) 복합강우파형에 대한 유수지 배수펌프 운영조작 기준의 적용결과 비교(Time Lag=100 Min., 신정 1)

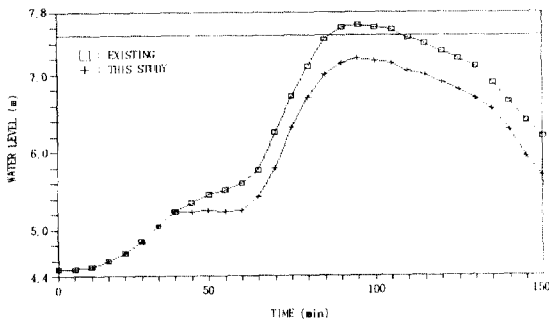


그림 4. (c) 기존 배수펌프 운영조작 기준과 본 연구의 운영조작 기준에 따른 망원 유수지 수위의 비교(RRL, 순간강우강도법 $r=0.5$, I_{60})

6. 결론

본 연구는 한강 홍수특성을 고려한 서울지역의 내배수처리시설에 대한 운영조작기법을 개발하기 위한 것으로서 도시지역의 급격한 수문 사상변화에 따른 새로운 유수지 운영조작기준을 제시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동일한 설계빈도와 지속기간을 갖는 설계강우파의 첨두강우 발생위치는 유수지 운영조작에 민감한 영향을 미치며, 순간강우강도법에서는 r 값이 클 경우 Huff법에 서는 제 3/4분위의 경우가 최대의 유수지수위를 나타냈다.

- 2) 망원 및 신정유수지는 기존의 배수펌프 운영 기준으로 운영될 경우 각각 설계빈도의 강우에 대해서도 만수위를 초과하는 경우가 대부분이다.
- 3) 유수지 수위에 따른 선형적인 배수펌프 운영 조작기준은 비합리적인 것으로 나타났으며, 유입수문곡선의 증감여부에 따른 유수지 유입량과 수위의 조합에 의한 실시간 배수펌프 운영조작 기준을 Gauss함수형태로 제시하였다. 또한 제외지의 홍수위에 따른 수문상자의 안전도를 고려한 유수지 운영관리모형을 구성하였다.
- 4) 같은 지역에서도 여러가지 형태의 강우강도식이 제안되고 있는 바 이를 통일하여 설계상의 혼란이 없도록 하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 연세대학교 대학원에서 지급한 학술연구비에 의하여 이루어졌으며 대학원 당국에 감사의 뜻을 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 고재웅, "유수지 운영의 문제점과 개선방안", 도시수문학 1988년도 도시수문학 심포지엄 논문집, 한국수문학회, pp.6~16.
2. 이원환, 수문학, 문운당, p.406, 1990.
3. 서울특별시, 한국수문학회, '87수해백서, 1987.
4. 손광익, "우리나라 확률강우량 산정에 관한 수문학적 연구", 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1981.
5. 이근후, "폭우의 시간적 분포에 관한 연구", 서울대

- 학교 대학원 박사학위논문, 1983.
6. 한국건설기술연구원, 지역별 설계강우의 시간적 분포, 건기연 89-WR- . 1989.12.
7. Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw Hill, 1988.
8. Keifer, C.J., and H. H. Chu, "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design", *J. Hyd. Div., ASCE*, vol. 83, no. HY4, pp.1~25, 1957.
9. Kibler, D.F., *Urban Stormwater hydrology, Water Resources Monograph 7*, AGU, Washington, D.C., 1982.
10. Huff, F. A., "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", *Water Resour. Res.*, vol.3, no.4, 1007~1019, 1967.
11. Yen, B. C., and V. T. Chow, "Design Hyetographs for Small Drainage Structures", *J. Hyd. Div., ASCE*, vol.106, no. HY6, pp.1055~1076, 1980.
12. Terstriep, M, L., and J. B. Stail, *The Illinois Urban Drainage Area Simulator*, ILLUDAS, State Water Survey Division, Urbana, 1974.
13. Viessman, W., J. W. Knapp, G. L. Lewis and T. E. Harbaugh, *Introduction to Hydrology*, 2nd Ed., IEP, A Dun-Donnelley Publisher, N.Y., 1977.
14. Watkins, L. H., *The Design of Urban Sewer Systems, Road Research Tech. Paper No.55*, Department of Scientific and Industrial Research (London : Her Majesty's Stationery Office, 1962).

(接受 : 1990. 10. 17)