

우수배제 펌프의 조작기준에 따른 서울시 유수지의 안전검토

A Safety Evaluation of Detention Reservoirs at Seoul by New Pumping Criteria

이원환* · 박상덕** · 심재현***

Lee, Won Hwan · Park, Sang Deog · Shim, Jae Hyun

Abstract

Rapid change of urban area become a serious cause of disaster in existing drainage systems, and the practical alternatives in that situations are needed. The purpose of this study is to evaluate safety, one of drainage systems, detention reservoir and pumping station by new pumping criteria. New drainage pumping criteria, divided into two parts (rising limb and falling limb), which used in reservoir routing, shows more efficient flood prevention effect than existing criteria (based on the reservoir water level). To obtain the optimal range of flood prevention, sensitivity analysis of each inflow v.s. pumping capacity is tested.

As a results, using 10 year design rainfall, 60% of detention reservoir and drainage pumping stations in Seoul are safe. In this results, there must be a fundamental and powerful counterplans to prevent inland flooding in Seoul metropolitan area.

요지

급격한 도시화로 인해 기존의 배수체계에 의한 내수배제에 문제가 발생하게 되고, 이에 따른 홍수 발생시의 내수침수 피해가 도시지역 홍수의 새로운 문제로 대두되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존의 배수체계중 유수지 및 우수배제 펌프장의 안전도를 검토하였다. 펌프조작에 있어서는 증수부와 감수부에 따라 우수배제 펌프를 조작하는 기준이 기존 펌프보유대수로도 홍수대처능력을 현재보다 월등하게 증가시킬 수 있음을 수치적으로 확인하였다. 또한 유수지내 유입량과 펌프조작에 대한 민감도 분석을 실시하여 펌프 한대가 담당하는 적정 유입량의 범위를 검토하였다. 연구결과 서울특별시 관내 57개소의 유수지 및 우수배제 펌프장중 10년 빈도의 설계호우에 대해서도 60% 정도만이 안전한 것으로 나타나 이에 대한 근본적 대책이 시급한 것으로 판명되었다.

* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 교수

** 정희원 · 연세대학교 산업기술연구소 선임연구원

*** 정희원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 서 론

1960년대 이후로 인구의 도시집중 현상은 급진적인 도시화를 초래하게 되었고, 이에 대한 도시지역에서의 내배수처리 문제가 심각한 과제로 대두되고 있다. 신종홍수라 할 수 있는 도시형 홍수는 내배수처리 불량에 기인하고 있으며, 이는 도시화의 진전에 따른 저지대의 개발과 지가의 상승으로 그 피해규모가 확대일로에 있다. 따라서 도시 홍수재해 방지를 위한 종합치수대책의 수립이 시급을 요하는 과제가 되고 있다.⁽⁵⁾

도시홍수를 방지하기 위해 설치되는 수공구조물로는 유수지, 배수문 및 배수관거와 우수배체펌프장이 있으며, 서울특별시의 경우 대부분의 유수지가 우수배체펌프장과 연계운영되고 있다. 유수지와 배수문 및 배수관거에 의한 내수대처방식은 저류 및 개폐에 의한 수동적 대처라 할 수 있으며, 우수배체펌프는 임의상황에 대한 대처가 가능한 능동적 대처라 할 수 있다. 또한 배수문 및 배수관거는 제내지측 저지대의 침수를 막기 위해 폐쇄하여 내수를 유수지로 유도시킨다.⁽²⁾

유수지와 우수배체 펌프장은 주로 지반이 낮은 지역에서 외수의 상승 때문에 자연유하에 의해 우수를 배제할 수 없을 때 배수구역내의 우수를 펌프로 강제배수하고, 외수위가 낮아지면 자연유하로 우수를 배제하는 시설이다. 그러므로 배수펌프장은 하천의 하류에 위치하는 경우가 많고, 지세가 가장 불리한 지역에 위치하므로 관거경사가 완만하다. 따라서 관거내 저류는 별로 기대할 수 없으며 국지침수를 유발할 수도 있어 계획우수량을 관거내에 저류하는 것은 고려하지 않고 전량배제하는 것을 원칙으로 한다. 서울특별시에 설치 및 계획중인 유수지는 모두가 우수배체 펌프장과 연결되어 있고, 유수지의 저류용량과 펌프용량이 해당 배수구역에 대한 홍수대처능력이라고 할 수 있다.⁽³⁾

대부분의 도시홍수상황은 급격한 수문곡선의 변화를 보이고 있고, 서울시와 같이 지가가 매우 높은 지역에서 유수지의 저류용량을 충분하게 확보하기가 곤란하므로 우수 배체펌프의 조작시간에 따른 적절한 배제와 충분한 용량확보가 요구된다. 또한 내수침수는 엄청난 인명과 재산의 피해와 직결되므로 현

상태에 대한 안전도 검토는 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

현재 우리나라에서 발표된 유수지 및 우수배체펌프장에 관한 연구로는 고재웅의 연구⁽¹⁾ 외에 소수의 연구논문이 발표된 바 있으며, 이원환(1991)은 우수 배체펌프장의 조작기준을 개선하여 홍수대처능력을 향상시키는 기법⁽²⁾과 배수펌프 최대가동수위의 결정에 관한 연구⁽⁷⁾를 발표한 바 있다.

본 연구에서는 도시지역 내배수 처리계통 중 유수지 및 우수배체 펌프장의 치수안전도를 검토하여 치수대책 수립의 기본자료를 제공하고자 한다. 대상은 1991년 현재 서울특별시에서 사용하고 있거나 계획중인 총 61개소의 유수지 및 우수배체 펌프장중 자료확보가 가능한 57개소를 검토대상으로 선정하였다.

본 연구에서는 최악의 상황에 대해 제내지 침수가 방지되어야 가장 안전할 것이라는 생각으로 외수위인 한강수위가 계획홍수량에 도달하여 펌프에 의한 강제배수만으로 유수지 유입량을 배제하는 경우를 기준으로 안전도를 검토하였다.⁽²⁾

또한 유입량에 대한 적정 펌프가동기준을 파악하고자 각 유수지가 보유하고 있는 펌프의 홍수대처능력에 대한 민감도 분석을 실시하였다.

2. 안전도 분석 기준

2.1 배수펌프 운영기법

현재 서울시에서 운영하고 있는 배수펌프장의 수위에 의한 펌프조작기준은 단시간의 급작스런 유입량의 증가에 대한 대처가 미흡하고, 펌프를 가동할 수 있는 수위와 내수배제를 위한 최적수위가 서로 상이하고, 지역적인 강우강도에 따라 유입량의 시간적 변화가 크며, 한강 외수위 및 방류하천의 수위에 따라 가동기준이 변하기 때문에 각 펌프장마다 설정되어 있는 가동수위는 그 효과가 모호하다고 생각된다.

본 연구에서는 이러한 상황에 대해 기존의 보유 펌프용량으로도 홍수의 적절한 대처를 위해 기존의 조작기준⁽³⁾과 이원환의 새로운 조작기법의 개선효과를 파악하였다. 이원환의 새로운 조작기법의 특성을 이론적으로 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다.⁽⁶⁾

(1) 유입수문곡선의 증수부

유입량이 증가하고 있는 경우로서 조작기준시각 이전의 유수지 유입량에 비해 조작기준시각의 유입량이 많은 위험시기이다. 이 시기에서의 조작기준은 유입되는 양을 보유하고 있는 펌프대수로 전량배제 한다는 방침하에 펌프를 조작하는 것이다.

(2) 유입수문곡선의 감수부

이 시기는 증수부에 비해 위험성이 적은 시기로서 유수지 유입량에 대한 전량배제 보다는 유수지 또는 집수정에 저류되어 있는 저류량을 배제시키는 것을 목표로 배수펌프를 조작하는 시기이다.

새로운 조작기준은 유수지 유입 수문곡선의 증수부와 감수부의 두 가지 경우에 따라 펌프조작을 달리하면서 유입상황에 따라 신축성있는 대처가 가능하고, 기존의 펌프용량으로도 더 많은 우수를 배제시킬 수 있어 기존의 조작기준에 비해 매우 우월한 홍수대처능력을 갖는다고 볼 수 있다.

새로운 조작기준을 수식으로 표시하면 다음의 식 (1)과 같다.

$$Q_p = C_l P \{ [Q_{in}/D_p] + 1 \} + C_d (a + bH_s) \quad (1)$$

Q_p : 펌프에 의한 배수량(CMS)

C_l : 유입수문곡선 증수부 정수($=1$)

P : 배수펌프 1대의 용량(CMS)

Q_{in} : 유수지 유입유량(CMS)

D_p : 배수펌프 1대가 담당하는 유입량의 범위 (CMS)

C_d : 유입수문곡선 감수부 정수($=1$)

a, b : 계수

H_s : 유수지의 수위(EL, m, $\geq H_{sc}$)

H_{sc} : 배수펌프 가동을 위한 유수지 한계 최저 수위(EL, m)

[] : Gauss 함수

홍수상황시 유수지 유입량이 증가하면 C_l 은 1이고, C_d 는 0이 된다. $[Q_{in}/D_p]$ 는 증가되는 유수지 유입량에 대해 가동해야 할 펌프의 대수가 되어 $C_l P \{ [Q_{in}/D_p] + 1 \}$ 가 조작기준 시각에서의 펌프 배출량이 된다. 만약 유입량이 감소하게 되면 C_l 은 0이 되고 C_d 는 1이 되어 유입량이 증가할 때의 조작기준과는 달리 유수지 수위에 따른 조작기준으로 변하게 된다. 식에서 a, b 는 유수지 수위와 펌프용량과의 회귀식

에서의 상수로 유수지의 수위와 펌프용량에 따라 달라지는 고유특성계수이다. 다시 말하자면 유입량이 감소되는 상황에서 배제되는 우수량은 $C_d(a + bH_s)$ 가 되는 것이다.

유수지 유입량이 증가하는 추세에 있으면 배수펌프 가동대수를 고정시킬 경우 유수지 수위가 급격하게 증가할 수 있으므로 치수상 안전도는 떨어지게 될 것이다. 그러나 유수지 유입량이 감소하는 추세에 있으면 배수펌프 가동대수를 고정시킨다 하더라도 유수지 수위의 급격한 증가는 발생치 않을 것이므로 치수상 안전도는 증가하게 될 것이다. 따라서 유수지의 안전도와 배수펌프 가동의 경제성을 고려해 볼 때 유입수문곡선의 증수부에서는 유입량에 따라 즉각적으로 대처할 필요가 있고, 감수부에서는 유수지의 저류기능을 충분히 활용하여 배수펌프 가공대수를 줄임으로써 전력사용량을 절감시킬 필요가 있다.⁽²⁾ 그러므로 본 연구의 배수펌프 운영조작 기준은 치수안전도와 경제성 측면에서 합리적인 것으로 판단된다.

2.2 계획강우와 유출모형

2.2.1 재현기간

일반적으로 도시 수문사상은 10년의 재현기간을 기준으로 채택하고 있으며, 현재 서울시 유수지의 설계빈도는 대부분 10~20년을 사용하고 있다. 그러나 저지대의 주택단지 조성과 포장면적의 증가에 의한 유출특성 변화 등을 고려하면 앞으로 계획, 신설되는 유수지와 배수펌프장의 설계빈도는 30년 이상으로 상향조정되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 현 상태에 대한 안전도 검토와 더불어 최악의 상황에 대한 검토까지 병행하기 위해 재현 기간을 10, 30, 50년의 경우로 나누어 분석하였다. 또한 강우지속기간은 서울특별시 도시수문해석에서 일반적으로 사용되고 있는 120분을 사용하였다.

2.2.2 확률강우강도식

서울지방에 적용된 기왕의 확률강우강도식은 10개 이상 제안되어 있으나, 서울특별시에서 채택하여 수공구조물의 설계에 사용된 것은 1988년 이전에는 이원환이 1967년에 유도제시한 강우강도식이고, 1988년 이후에는 한국건설기술연구원에서 1987년에 제시한 식이다.

본 연구에서는 1954~1990년 까지의 지속기간별 매년 최대치 강우량 자료⁽⁸⁾로부터 10개의 확률분포형에 적합시켜 유도된 식 (1)~(3)과 같은 확률강우 강도식⁽²⁾을 사용하였다.

$$I_{10} = \frac{595.5}{\sqrt{t+0.693}} \quad (2)$$

$$I_{30} = \frac{708.7}{\sqrt{t+0.449}} \quad (3)$$

$$I_{50} = \frac{757.9}{\sqrt{t+0.340}} \quad (4)$$

2.2.3 강우의 시간적 분포

도시지역의 수공구조물의 설계시에는 단일 강우 사상에 의한 첨두유출량 뿐만 아니라 도달시간, 총

유출량 등의 변화를 고려해야 하기 때문에 설계강우의 시간적 분포, 즉 계획강우의 과정 결정이 중요한 사항이 된다.⁽¹³⁾

강우사상의 시간적 분포에 대해서는 첨두강우가 발생되는 위치에 따라 4가지로 구분하는 Huff의 4분위법^(4,9,12)과 첨두우량의 위치를 임의로 선택하여 IDF 관계로부터 강우분포양상을 결정하는 순간강우강도법⁽¹¹⁾을 적용·분석하였다. 이에 따른 설계강우분포는 그림 1(a), (b)와 같다. 여기서 설계강우량은 지속기간 120분에 대하여 (1)~(3)의 단시간 강우강도식을 사용하여 5분 간격으로 산정된 것이다. 또한 한국건설기술연구원에서 발표한 연구⁽⁹⁾에 따르면 서울지방의 강우분포형은 Huff의 4분위법에서 대체적으로 제2분위에 속하고, 순간강우강도법에서 첨두의 위치를 나타내는 계수 r 값은 약 0.46 이므로 이를 설계강우파형에 고려하였다. 시간적 분포모형을 비교해 보면 그림에서 알 수 있는 바와 같이 순간강우강도법이 Huff의 모형에 비해 첨두시각 주변의 우량이 매우 큰 결과를 보여주고 있고, 나머지 부분에서는 Huff 모형에 비해 작은 값을 보여주고 있다.

또한 과거 강우자료의 통계치로부터 얻어지는 Huff의 모형을 도시한 그림 1(b)에서 초기에 강우가 갑자기 증가하다가 감소하는 것은 서울지방의 강우 특성이라 할 수 있다.

2.2.4 유출모형 및 유수지 추적

본 연구에서는 RRL 모형과 ILLUDAS 모형을 사용하였다. RRL 모형은 배수체계에 직접 연결되어 있지 않은 투수성, 불투수성 지역을 고려하지 않기 때문에 첨두유량의 계산값에 비해 실측값이 크게 나타난다는 단점이 있으나 입력자료가 매우 간단하고, 컴퓨터의 계산시간이 극히 짧아 대량적인 유역의 특성을 파악하는데 유용하고, ILLUDAS 모형은 RRL의 단점을 개선할 수 있고, 그 결과가 실제상황을 잘 재현해 주어 상호보완적인 요소들을 갖고 있어 대표 유출모형으로 선정하였다.^(15,16,17)

유수지 추적에 사용된 방법은 Storage Indication Method로 수정 puls 법이라고도 불리우며, 연속방정식의 유한차분형태인 다음의 식으로 표현할 수 있다.⁽¹⁰⁾

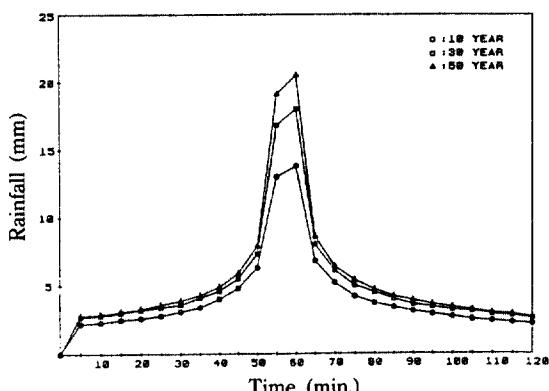


그림 1(a). 순간강우강도법에 의한 서울지방 설계강우의 시간적 분포형 ($r=0.46$)

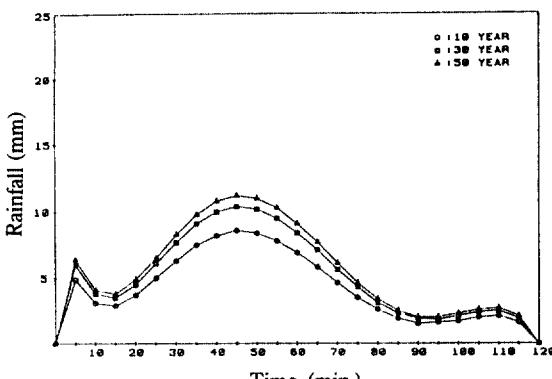


그림 1(b). Huff 법에 의한 서울지방 설계강우의 시간적 분포형 (제 2분위)

$$(I_n + I_{n+1}) + \left(\frac{2S_n}{\Delta t} - O_n \right) = \left(\frac{2S_{n+1}}{\Delta t} + O_{n+1} \right) \quad (5)$$

여기서, I_n 은 n 시각에서의 유입량, O_n 은 방류량, S_n 은 저류량을 나타낸다.

조작시각이 $n+1$ 일 때 미지값은 S_{n+1} 과 O_{n+1} 이며, O_{n+1} 은 우수배제펌프의 조작에 의한 방류량이므로 조작기준에 의해 결정되는 값이며, S_{n+1} 은 방류량이 결정되면 유수지 수위와 저류량의 관계로 부터 구할 수 있는 값이 되어, 전체 유출지속기간에 대해 각 조작시각의 유출량, 방류량, 저류량이 결정된다.

2.3 조건 및 제한사항

대부분의 유수지는 홍수의 초기 상황에서 자연방류를 하며, 외수위가 높아지면 수문을 닫고 펌프로 강제배수하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 최악의 상황에 대해 안전성이 확보되어야만 설계빈도에 해당하는 호우가 발생할 때 인명 및 재산피해를 피할 수 있고, 안전을 확보할 수 있으므로 본 연구에서는 한강이 계획홍수위에 도달해 펌프에 의한 강제배수만으로 유입량을 배제해야 하는 상황에 대해서 유수지의 안전도를 검토하였다. 또한 유수지의 제원에 대한 가정으로는 표고에 따른 유수지의 면적자료가 전무하기 때문에 유수지의 대표면적과 표고로 이루어지는 직육면체로 유수지의 형태를 가정하였다. 그리고 유수지의 조작은 기존의 수위에 따른 조작과 이원환의 기법으로 나누어서 두 기법을 비교하였으며, 후자의 기법을 기준으로 하여 조작할 경우에 대한 유수지의 침수 여부로 안전도를 평가하였다. 안전과 불안전의 판단은 2개의 유출모형과 2개의 강우분포모형에 의한 4개의 모의결과중 2개의 경우가 침수되지 않을 경우로 기준을 정했으며, 유출모형중 RRL 모형에 비해 실제 유역상황을 잘 나타내는 ILLUDAS 모형에 우선을 두었고, 강우분포모형에 있어서는 같은 빈도의 설계우량과 지속기간에서 실제상황보다 강우가 집중되는 순간강우강도법을 Huff 법에 비해 우선을 두었다. 다시 말하자면 모의결과가 RRL 모형과 Huff 법에 의한 결과만이 안전하다고 나타나면 그 결과는 안전하지 못하다고 판단하였다.

3. 서울시 유수지의 안전도 평가

3.1 유수지 및 배수펌프장의 실태

현재 서울시 관내에서 운영, 계획되고 있는 유수지들의 설계빈도는 대부분 10년 빈도의 설계강우량을 채택하고 있으며, 1980년대 이후 대규모 택지개발사업 등으로 인해 유출율이 증가하여 기존의 하수관거가 통수용량이 부족하고 홍수도달시간이 단축되어 내수침수의 위험성이 매우 크다. 또한 유수지내의 토사퇴적과 배수펌프의 효율저하, 펌프장 관리인의 경험적인 조작과 수위기준에 의한 조작⁽¹⁴⁾ 등으로 인해 피할 수도 있는 홍수피해의 위험성까지 가중되어 기존에 비해 적은 양의 강우에 의해서도 커다란 홍수피해를 입을 가능성이 내재되어 있는 실정이다.

3.2 적용결과

재현기간 10, 30, 50년에 해당하는 설계강우를 전술한 바와 같은 순간강우강도법과 Huff 법에 의해 5분 간격으로 분포시키고, 이를 ILLUDAS 모형과 RRL 모형에 입력시켜 유수지로의 유입량을 구해 유수지 추적을 하였다. 우수배제펌프의 조작기준은 기존의 방법과 이원환의 기법으로 나누어 각 조작기준에 의해 내수침수 여부를 재현기간별, 강우분포모형별, 유출모형별로 나누어 나타낸 것이 표 1이다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 재현기간에 대한 추적결과가 각 유출모형, 강우분포모형에 따라서 상이한 결과를 보여주고 있다. 또한 서울특별시 관내 어느 한 지점도 홍수시 실측 유량자료가 있지도 않은 상황에서 어느 모형이 더 타당하다고 판단하기는 어렵다. 그러나 유출모형의 특성상 전체 유역의 상황을 입력자료로 많이 요구하는 ILLUDAS 모형이 RRL 모형에 비해 더 합당하다고 생각되며, 강우분포모형에서는 Huff 모형에 비해 첨두발생위치 주변에 많은 우량이 집중되는 순간강우강도법이 같은 빈도의 우량에 대해서 더 위험한 상황을 보이므로, 이를 고려하여 설계 및 유수지 조작에 적용하는 것이 더 안전할 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용한 두 가지 유수지 조작기준에 의한 결과를 비교해 보면 이원환의 새로운 조작기

표 1. 각 유출모형별 재현기간별 침수여부 조사결과

재현기간	10년								30년								50년									
	IH		II		RH		RI		IH		II		RH		RI		IH		II		RH		RI			
	OLD	NEW																								
용산 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
용산 4	○	○	○	○	×	×	×	×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	○	×	○	×	×	×	×
한남	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
심원	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
독도	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
용답	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
자양	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
옥수	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
용봉	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
군자	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
송정	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
금호	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
용두	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
휘경	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
답십 4	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
면목	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
종화	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
마포	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
망원 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
합정 1	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
합정 2	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
성산	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
하수	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
망원 2	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
신정 1	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
신정 2	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
신정 3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
염창 1	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
염창 2	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
도림 2	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
독산	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
철산	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
시흥	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
개봉	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
구로 1	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
구로 2	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
구로 3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
양평 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
도림 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
도림 3	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
신길	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
문래	×	○	×	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
영동포	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
양평 2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(계속)

재현기간	10년								30년								50년							
	IH		II		RH		RI		IH		II		RH		RI		IH		II		RH		RI	
구 분	OLD	NEW																						
혹 석	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
분 등	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
반 포	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
서 초	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
임 재	×	○	×	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
침실 1	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
침실 2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
성내 1	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
성내 2	×	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
탄 천	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
암 사	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
전 농	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
장 안	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

주) OLD : 기존의 수위에 의한 조작, NEW : 이원환의 기법

○ : 침수 안됨, × : 침수됨

표 2. 유출모형별, 재현기간별로 안전한 유수지 갯수 및 개선율

재현기간	구 분	ILLUDAS 모형				RRL 모형			
		Huff 법		순간강우강도법		Huff 법		순간강우강도법	
		OLD	NEW	OLD	NEW	OLD	NEW	OLD	NEW
10년	개소	25	31	25	36	13	26	12	30
	개선율(%)	—	10.5	—	19.3	—	22.8	—	31.6
30년	개소	17	25	17	27	11	13	9	15
	개선율(%)	—	14.0	—	17.5	—	3.5	—	10.5
50년	개소	17	23	16	24	7	11	6	10
	개선율(%)	—	10.5	—	14.0	—	7.0	—	7.0

주) OLD: 기존의 조작기준, NEW: 이원환의 기법

준이 같은 펌프보유용량에 대해서도 수위를 많이 낮추는 효과를 확인할 수 있었다. 각 유출모형, 재현기간별 모의결과를 보면 침수되지 않아 안전한 유수지의 갯수를 기존의 조작기준과 이원환이 제안한 조작기준으로 구분하여 나타낸 결과가 표 2이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 이원환의 새로운 조작기준이 ILLUDAS 유출모형과 순간강우강도법을 사용한 경우, 재현기간 10년에서 11개소, 30년의 경우 10개소, 50년의 경우 8개의 유수지에 대해 침수를 방지하는 개선효과를 보였다.

3.3 민감도 분석

이원환의 기법에 의해 펌프를 조작할 때 유수지로

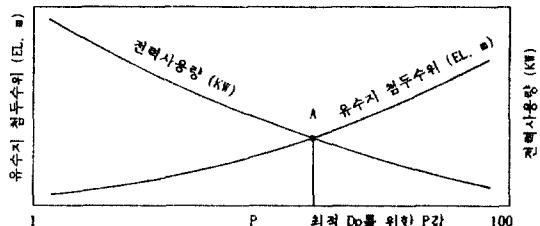


그림 2. P 값의 변화에 따른 유수지 첨두수위 및 배수펌프 가동을 위한 전력사용량의 관계

유입되는 유입량의 상황에 따라 배수펌프의 가동대수가 조절되며 이는 식 (1)의 D_p , 즉 펌프 한대가 담당하는 유입량의 범위를 어떻게 결정하느냐에 따라 결정된다. D_p 를 크게 하여 많은 유입량을 배출시키면 침수의 위험성은 작아 유수지는 안전하지만 펌프가동시간은 늘어나게 된다. D_p 는 배수펌프 한대의 용량과 두 대의 용량 사이의 크기를 갖게 될 것이며 D_p 의 크기는 유수지의 안전도와 경제성에 영향을 미치게 된다. D_p 에 따른 유수지 첨두수위와

표 3. 최대안전도 및 경제성을 갖는 P 값

유수지명	재 현 기 간			유수지명	재 현 기 간		
	10	30	50		10	30	50
용산 1	12	41	43	도림 2	2	18	33
용산 4	7	2	13	독 산	6	40	42
한 남	5	42	52	철 산	8	3	16
심 원	30	5	9	시 흥	10	12	13
뚝 도	6	8	3	개 봉	5	3	3
용 담	2	35	41	구로 1	14	17	5
자 양	100	100	100	구로 2	11	19	24
옥 수	57	73	76	구로 3	8	10	7
옹 봉	52	64	67	양평 1	34	24	3
군 자	14	19	19	도림 1	6	6	18
송 정	4	6	12	도림 3	2	1	9
금 호	15	18	32	신 길	9	10	1
용 두	12	16	17	문 래	6	3	3
회 경	5	22	23	영등포	28	36	38
답십 4	63	100	100	양평 2	18	9	10
면 목	12	2	7	흑 석	30	7	1
중 화	12	15	7	본 동	77	100	5
마 포	15	31	42	반 포	20	19	25
망원 1	13	8	1	서 초	11	6	9
합정 1	16	10	12	양 채	44	2	13
합정 2	43	78	85	잠실 1	14	7	19
성 산	78	97	100	잠실 2	9	11	12
하 수	5	3	7	성내 1	4	3	11
망원 2	3	3	3	성내 2	3	3	4
신정 1	4	4	3	탄 천	10	8	13
신정 2	22	8	24	암 사	28	23	33
신정 3	43	56	3	전 농	6	7	17
염창 1	23	39	40	장 안	17	4	32
염창 2	8	3	8				

전력량 사이에는 그림 2와 같은 관계를 나타낼 것이며 최적의 D_p 는 그림 2의 A점에서 얻어진다. 즉 A점은 최소전력량으로 유수지 첨두수위를 최소로 낮출 수 있는 P값을 의미한다. 따라서 본 연구에서 사용한 배수펌프 운영조작기준에 대하여 D_p 의 민감도 분석을 실시함으로써 최적 D_p 와 유수지 첨두수위, 그리고 배수펌프가동 시간의 관계는 분석될 수 있다. 유수지별로 용량이 다른 여러 대의 펌프가 설치되어 있는 경우가 있으므로 배수펌프를 한대부터 시작하여 한대씩 증가시키면서 각 펌프의 설계용량을 누적하고 펌프용량의 차이를 100등분으로 나누어 각 등분 P마다 펌프가동시간과 유수지 첨두수위를 계산하였다. 이들을 그림 2의 관계에서 A점에서 해당하는 P값을 구하여 정리하면 표 3과 같이 된다. 예를 들어 P가 50의 값이 나왔고 한대의 펌프 설계용량이 100 CMS인 펌프들로 구성되어 있다면 이 펌프가 담당하는 유입량의 범위는 50~150 CMS가 되는 것이다.

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 예상대로 재현기간이 큰 강우량에 의한 유입량에 대해 P값이 작아지는 경향을 보인 곳도 있었으나 변화가 없는 곳도 나타났다. 수치의 변화가 없다는 것은 유수지의 저류량이나 펌프용량이 부족한 곳이라고 볼 수 있으며, 한편으로는 일정한 유입수분곡선의 특성과 유수지 특성(지형 및 저류용량 등)과의 관계에 의한 것으로 생각된다. 이런 관점에서 다양한 유입수분곡선상에서 각 유수지와 우수배제펌프장이 최적의 홍수대처능력을 가질 수 있도록 P값을 결정하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 비교고찰

서울시 관내 유수지 57개소에 대해 안전여부를 검토한 결과를 나타낸 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 전체의 60%에 해당하는 34개의 유수지 및 우수배제 펌프장이 재현기간 10년의 설계강우에 대해서 안전하며, 30년의 설계강우에 대해서는 46%가 안전한 것으로 나타났으며, 50년의 설계강우에 대해서도 44%가 안전한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과는 초기가정이 외수위에 의해 수문을 닫고 유역내에 내리는 강우량에 의한 유출량을 모두 펌프에 의한 강제배수로 처리한다는 가정에 의한 결

과이기 때문에 현 상태에 더 많은 곳이 침수되는 결과를 보인 것으로서 전체적인 유수지 및 우수배제 펌프장의 안전도는 양호하다고 할 수 있다. 그러나 저수위에 수위가 머물러 있고, 배수펌프가 효율 100%를 항상 유지하고 있다는 유수지 추적모형의 초기가정을 고려해 볼 때 이러한 가상의 침수현상은 해마다 발생하는 크고 작은 홍수에 대한 대처를 위해 만반의 대책이 필요하다는 것을 시사한다.

민감도 분석의 결과를 살펴보면 재현기간이 커짐에 따라 P값이 적은 값을 보이는 것이 예상되었으나 재현기간별, 유수지별로 반대의 현상을 보이는 곳도 많이 나타났다. 이는 유입량의 시간적 변화와 한대의 펌프의 용량 및 유수지 저류용량 등에 따라 복잡하게 변하는 특성에 의한 현상에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 우수배제 펌프용량도 해당유역의 유역특성과 저류용량 등을 고려하여 신중하게 설정하는 것이 바람직하다고 하겠다.

5. 결 론

본 연구는 우수배제 펌프의 조작기준에 따른 서울특별시 유수지의 안전도를 검토한 것으로서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 서울시 관내 57개소의 유수지 및 우수배제펌프장의 안전도를 검토해 본 결과, 10년 빈도에서 60%, 30년 빈도에서 46%, 50년 빈도에서 44%가 안전한 것으로 나타나 유수지 저류용량과 펌프의 용량확충이 필요한 것으로 나타났다.

2) 우수배제 펌프장의 조작기준을 기존의 수위에 의한 조작과 이원환이 제안한 새로운 조작기준으로 나누어 유수지 추적을 한 결과, 기존의 기준에 비해 이원환이 제안한 새로운 기준이 현재의 보유 펌프 용량으로도 월등한 홍수대처능력을 나타내었다.

3) 본 연구에서 사용한 2가지 강우의 시간적 분포모형 중 순간강우강도법에 의한 분포가 Huff의 4분위법에 의한 분포에 비해 첨두발생위치 주변에 강우가 집중되는 경향을 보여 안전율을 고려한 수공구조물의 설계에는 순간강우강도법을 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

4) 민감도 분석 결과 재현기간에 따라 한대의 펌프가 담당하는 양 P가 유수지별로 다양한 변화를

보이고 있었는데 이는 유수지마다 각 펌프대수, 펌프용량, 저류용량 등이 각기 달라 본 연구에서 재현기간별로 설정한 유입량에 대한 대응이 다르게 이루어졌기 때문으로 사료된다.

5) 해당유역의 정확한 유출량을 파악하기 위해서는 유역의 자세한 지형자료와 하수관거 자료가 필요하며 이를 바탕으로 하여 펌프조작시각 이후의 유수지 유입량을 고려한 실시간 펌프조작에 대한 연구가 내수침수 방지를 위해서는 반드시 이루어져야 할 과제라고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 서울특별시 치수과에서 발주한 학술용 역인 “하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구”의 연구결과에 의한 것으로써, 지원을 아끼지 않은 서울특별시에 감사한다.

참 고 문 헌

1. 고재웅, “유수지 운영의 문제점과 개선방안”, 1988년도 도시수문학 심포지엄논문집, 한국수문학회, pp.6-16, 1988.
2. 서울특별시, 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구보고서, 1991.
3. 서울특별시, 우수배제 펌프장·수문 관리지침, 1991.
4. 이근후, “폭우의 시간적 분포에 관한 연구”, 서울대학교 농과대학 박사학위논문, 1983.
5. 이원환, 수문학, 문운당, 1990.
6. 이원환, “한강 홍수특성을 고려한 내배수 처리기법”, 대한토목학회 논문집, 제11권 제1호, pp.99-108, 1991.
7. 이원환, 박상덕, 심재현, “내수침수 방지를 위한 배수펌프 가동수위의 결정”, 수공학 논총 제33권, pp.207-212, 제33회 수공학 연구발표회 초록집, 1991.
8. 중앙기상대, 기상연보, 1961-1990.
9. 한국건설기술연구원, 지역별 계획강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 연구보고서, pp.103-108, 건기연 89-WR-111, 1989.
10. Bedient, P.B. and W.C. Huber, *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
11. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.

12. Huff, F.A., "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", *Water Resources Research*, Vol.3, No.4, pp.1007-1019, 1967.
13. Keifer, C.J. and Chu, H.H., "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design", *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol.83, NO.HY4, pp.1-25, 1957.
14. Kibler, D.F., Urban Stormwater Hydrology, *Water Resources Monograph 7*, AGU, Washington, D.C., 1982.
15. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., *The Illinois Urban Drainage Area Simulator*, ILLUDAS, State Water Survey Division, Urbana Champaign, 1974.
16. Viessman, W., Knapp, J.W. and Lewis, G.L., *Introduction to Hydrology*, Third Edition, Harper & Row, Publishers, Inc., 1989.
17. 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：1992. 1. 7)