

도시유역에서 지체저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구 A Study on the Hydrologic Design of Detention Storage Ponds in Urbanized Area

이 정 식* · 이 재 준** · 김 규 호*** · 오 석 호****
Lee, Jung-Sik · Lee, Jae-Joon · Kim, Kyu-Ho · Oh, Suk-Ho

Abstract

This study is to develop the suitable hydrologic models for determination of the size and location of detention storage facilities to restrain stormwater runoff in urban areas. Fictitious areas of two levels are considered to seize the hydrologic response characteristics. A one-square-kilometer area is selected for the catchment level, and a 10-square-kilometer area consisting of 10 catchments is adapted at the watershed level as representative of urban drainage area. In this analysis, different rainfall frequencies, land uses, drainage patterns, basin shapes and detention storage policies are considered. Flow reduction effect of detention storage facilities is deduced from storage ratio and detention basin factor. A substantial saving in detention storage volumes is achieved when the detention storage is planned at the watershed level than the catchment level. For the application of real watersheds, two watersheds in Seoul metropolitan area-Jamshil 2, Seongnae 1-are selected on the basis of hydrologic response characteristics. Through the regression analysis between dimensionless detention storage volume, dimensionless upstream area ratio and reduction rate of storage ratio, the regression equations to determine the size and location of detention storage facilities are presented.

요 지

본 연구는 도시화로 인해 야기되는 도시유역의 홍수재해를 경감시키기 위하여 우수유출억제대책으로 유역내의 일부에 지체저류시설을 설치하는 방안을 검토하는 것으로서, 도시화의 진전상태에 따라 도시유역의 수문 응답특성을 파악하고 적정 지체저류시설의 위치와 크기를 결정하기 위해 유역면적이 각각 1km², 10km²인 가상의 소유역 및 전유역과 실제 도시유역을 대상으로 해석하였다. 강우빈도, 토지이용단계, 배수패턴, 허용방류량의 규모에 대해 도시화의 진전상태에 따른 수문응답특성을 파악하였으며, 실유역으로는 서울특별시의 잠실 2 및 성내 1 유수지 배수구역을 선정하여 지체저류시설의 크기와 위치를 나타내는 회귀식을 유도하여 제시하였다.

-
- * 금오공과대학교 토목공학과 부교수
 - ** 금오공과대학교 토목공학과 조교수
 - *** 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원
 - **** 삼안건설기술공사 상하수도부

1. 서 론

고도경제성장과 더불어 도시로 인구가 집중하게 되고, 급격한 도시팽창에 의해 도시하천은 어느 정도의 큰 비가 아니더라도 수해를 입게 되었다. 즉 보수, 저류기능을 가졌던 구릉, 계곡이 절취되고, 아파트 단지 및 도로의 포장 등과 같이 불투수층으로 지표가 덮이게 됨으로써 강우의 지하침투가 감소하고, 유출량이 증대하게 되어 강우에 의한 홍수 피해가 증가하게 되었으며, 도시의 잠배수 유입에 의해 수질은 오염되고 그 악취로 하천환경을 악화시키고 있다. 또 강우의 지하침투 감소는 증소하천의 수원을 고갈시키며, 저지에서의 지반침하 등을 야기하므로 하천을 천천천화시키고 있다. 이와 같은 재해는 주로 유역의 변모와 고도 경제성장에 의한 변화로서 공해라고도 할 수 있으며, 그 대책이 요구되고 있다.

특히, 서울특별시와 같은 대도시의 경우, 급격한 인구의 증가와 도시의 팽창으로 하천연변 저지대가 택지화됨으로서 내수침수피해가 날로 증가되고 있으나, 기존의 배수시설은 유출율의 증가, 도달시간의 단축 등 도시수문사상의 변화에 적응하지 못하고 있다. 이와 같이 도시지역의 불침투지역 면적의 확대나 배수로망의 정비는 강우-유출기구의 변화를 통하여 유량 증가라는 현상으로 나타나게 된다. 이 유량 증가에 대한 기초배수시스템의 대응이 곤란할 경우, 침수대책으로서 우수유출억제라는 고려방안이 필요하게 된다. 최근에 도시지역의 홍수조절을 위한 관리대안으로 고려되고 있는 것이 호우유출수를 일시 저류하여 개발전과 같은 유출율로 방류하는 지체저류시설(detention storage facilities)이다.

따라서 본 연구에서는 도시화로 인한 도시재해의 한 유형인 내수침수피해를 방지하고 그 피해규모를 경감시키기 위하여, 유역내 지체저류시설의 설치에 따른 유역내의 유출특성변화를 검토하고 대도시 지역에서의 합리적인 내배수처리 시스템 설계를 위한 지체저류시설의 크기와 위치를 결정하는 해석적 모형을 연구개발함에 그 목적이 있다.

본 연구에서는 도시화의 진전상태에 따라 도시유

역의 수문응답특성을 파악하고 적정 지체저류시설의 위치와 크기를 결정하기 위해 가상의 소유역 및 전유역과 실제 도시유역을 대상으로 하고자 한다. 소유역 수준의 해석에 있어서는 길이 1.4km, 폭 0.715km, 면적 1km²인 직사각형 형상인 가상의 단위소유역을, 전유역수준의 해석에 있어서는 10개의 단위소유역으로 구성된 면적 10km²인 가상의 지역을 전형적인 도시배수유역의 대표형으로서 채택하여 검토한 후 서울특별시 관내의 실유역을 대상으로 그 적용성 등을 알아보기로 한다.

2. 도시유역에서의 수문응답

수문응답은 자연적 요인들에 의해 영향을 받고 있으나, 그 중의 몇가지는 주로 도시발전에 따라 변화되며 유역의 자연적인 물수지를 변경시키게 된다.

이와 같이 도시화는 일반적으로 유출의 총용적과 첨두유량을 증대시키고 첨두도달시간을 단축시키므로 본 연구에서는 도시유역의 형상과 개발정도 및 지체저류시설 설치에 따른 수문응답특성을 분석하기로 한다.

2.1 유역의 형상에 따른 영향

유역의 형상은 수문응답에 영향을 미치기 때문에 소유역 및 전유역 수준 해석시 유역의 대표형상을 선정하기 위해 형상해석을 실시한다.

Eagleson(1970)은 기하학적 형상계수를 $SF = A/L^2$ [A:유역면적(km²), L:본류의 길이(km)]로 정의하였으며, 실제유역의 자료로부터 면적이 증가함에 따라 형상계수는 감소한다는 것을 보였는데 이는 유역이 커짐에 따라서 길게 늘어지는 형상인 세장형의 경향이 있음을 뜻한다.

본 연구에서는 대상 도시지역인 서울특별시의 63개 우수지 배수구역의 형상계수를 구하였으며, 도시화된 유역의 수문응답특성을 분석하기 위해 가상의 단위소유역의 형상계수로써 실유역의 평균형상계수(SF=0.51)를 사용하기로 한다(서울특별시, 1991).

2.2 도시개발정도에 따른 영향

도시유역의 개발 정도를 5단계의 유출계수($C=0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8$)로 고려하였으며, 수문모형을 이용하여 강우빈도별 및 토지이용단계별로 수문 응답을 파악하기로 한다.

2.3 지체저류시설에 의한 영향

지체저류시설에 의한 수문응답을 파악하기 위한 강우-유출해석은 수문곡선의 저수지 및 수로 추적에 바탕을 두고 있다. 본 연구에서는 저수지에 대해서는 수문학적 추적, 수로에 대해서는 수문곡선의 시간을 이동시키는 정상류 추적(steady flow routing)을 사용하기로 한다.

단위소유역 수준의 해석에서는 몇개의 강우빈도, 토지이용단계, 배수패턴, 허용방류량의 규모에 대해 1km²의 면적을 시뮬레이트 할 대상으로 고려하고, 방류관의 직경과 수심이 변화하는 경우에 대한 지체저류용량을 결정하기 위한 모형을 개발하여 사용하기로 한다. 이 때 6개의 홍수빈도(5, 10, 20, 30, 50, 100년)와 6개의 허용방류량 규모를 조합한 총 36개의 경우를 완전히 개발된 조건하에서 지체저류시설에 의한 수문응답 시뮬레이션을 수행하기로 한다.

전유역 수준의 해석에서는 유역면적이 각각 10 km²인 3가지 유역형상(세장형, 중간형, 집중형)을 구성하기 위해 10개의 단위소유역을 조합하여 대상유역으로 사용하고, 홍수빈도, 개발상태 등에 따라 3가지 유역형상에 대한 전유역 수준의 수문응답 분석을 실시하기로 한다.

3. 단일 지체저류시설의 설계

지체저류시설의 가장 간단한 경우는 유출수문곡선이 인접하는 소구역과 어떠한 동적인 상호작용이 없이 유출율이 독립적으로 결정되는 단일 저류지(single detention basin)이다. 이러한 지체저류시설의 설계목적은 주어진 방류기준에 대해 소요되는 단일 저류지의 크기와 부지를 설계하기 위한 절차와 수문학적 개념을 제공하는데 있으므로 지체저류

시설의 설계에는 먼저 최대 허용방류량에 대한 저류지의 소요 면적과 깊이가 결정될 필요가 있다. 지체저류시설의 용량은 일반적으로 특정한 방류기준에 대해서는 일정하나, 소요되는 부지는 활용가능한 유출구 깊이에 따라 변하게 된다.

3.1 단일 저류지의 허용방류량

현재 고려되고 있는 도시화 현상에 따른 도시지역의 홍수관리 제어기술은 상류지역에 설치되는 지체저류시설의 도움으로 기존 수로의 통수능력까지 침투유량을 억제하는 것이다. 이러한 방법은 하류의 침투유량 증대를 억제하기 위해 상류지역의 모든 신규개발은 침투유량을 지연시키고 개발전과 같은 유출율로 방류되도록 일시적으로 호우유출수를 지체시켜야만 함을 뜻하고 있다.

본 연구에서는 허용방류량을 개발전의 침투유량으로 정하여 해석하였으며, 허용방류량의 규모에 따라 단일 저류지의 깊이 및 소요부지가 달라지므로 몇개의 개발전 확률홍수량을 허용방류량으로 설정하여 분석하기로 한다.

확률홍수량의 결정은 개발전 상태의 유역상황에 계획강우를 입력으로 한 강우-유출해석을 통해 얻어진 홍수량을 확률홍수량으로 가정하여 사용하였으며, 재현기간 5, 10, 20, 30, 50, 100년의 서울지역의 계획강우로부터 강우-유출해석을 통해 확률홍수량을 산정하고 이를 허용방류량으로 사용하기로 한다.

3.2 단일 저류지의 크기(깊이 및 소요부지면적)

강우빈도별로 소유역의 지체저류시설 용량과 소요부지를 결정하기 위한 모형을 개발하여 사용하기로 한다.

저류지의 깊이는 방류가 이루어지는 수용천(receiving stream)의 깊이에 의해 구속된다. 즉, 수로의 깊이가 큰 간선 수로로 배수되는 지역은 보다 작은 규모의 수용천으로 배수되는 경우에 대한 것보다 지체저류용적에 있어 훨씬 작은 면적을 필요로 한다. 본 연구에서는 홍수빈도별로 유역내의 지체저류시설 소요 부지를 결정하기 위해 몇개의 저

류지 깊이를 분석한다.

3.3 단일 저류지의 위치

지체저류시설은 효과적인 호우유출수 조절방법이지만 무작위적이거나 무계획적으로 배치될 경우에는 그것의 효율성을 상당히 감소시킬 수도 있으며, 어떤 경우에는 잠재적인 홍수재해를 악화시킬 수도 있다. 또한 실제 상황에서 토지는 유역내의 어디서라도 활용이 불가능할 경우가 있다. 따라서 저류지의 배치는 때때로 침투유출의 경감에는 가장 효과적이 되지 않는 부지의 활용이 가능한 위치로 제약받기도 한다. 유역내에 단지 하나의 저류지를 설치할 경우의 위치 분석은 최소의 비용과 보다 적은 저류용량을 필요로 하는 지점에 도달할 때까지의 몇개의 위치를 검토하기 위해 모든 배수라인에 대해 시행하기로 하며, 세장형과 중간형의 유역형상에 대해 위치 분석을 실시한다. 이 때 사용할 기본적인 기준으로는 임의의 저류지 위치에 대해 방류구에서의 침투유량은 동일한 것으로 한다.

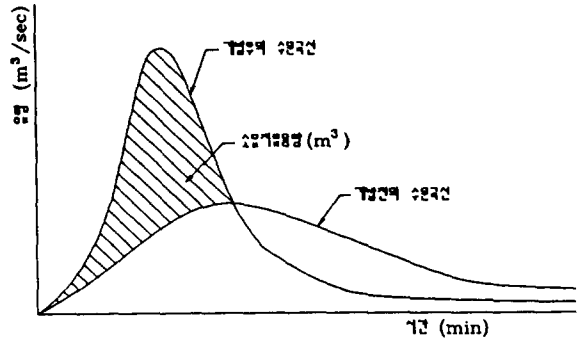


그림 1. 개발 전후의 유출수문곡선

표 1. 저류방침에 따른 저류용량

저류방침(년)	저류용량(m³)
5	48,268
10	61,106
20	69,195
30	75,345
50	83,797
100	100,465

4. 가상의 소유역 및 전유역에서의 해석결과

4.1 가상 소유역에서의 해석결과

계획강우는 수공구조물의 설계시 강우-유출모형의 입력자료로 제공되는 인위적인 강우사상으로서 서울지방의 확률강우강도식은 그동안 10개 이상이 제안되어 있지만 본 연구에서는 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서(1991)의 강우강도식을 사용하였다.

도시화에 따른 수문곡선의 변화양상은 그림 1과 같으며, 유출수문곡선은 도시화 전과 비교하여 침투유량이 증가하고 침투시간이 빨라지게 된다. 지체저류시설은 도시화에 의한 영향을 상쇄시키기 위한 방안으로서 침투유량을 도시개발전과 같이 감소시키고, 침투도달시간을 지연시키므로써 홍수위험을 경감시키게 된다. 이때 지체저류시설의 소요저류용량은 식 (1)과 같은 저류방정식에 의해 결정할 수 있다.

$$V = \int_0^{t_0} (Q_a - Q_b) dt \quad (1)$$

여기서, V; 소요저류용량 (m³)

t_0 ; 개발전 유출수문곡선과 개발후 유출수문곡선 감수부의 교차시간 (min)

Q_b ; 개발전의 유출량 (m³/sec)

Q_a ; 개발후의 유출량 (m³/sec)

본 연구에서는 각각의 홍수빈도에 대하여 개발된 지역에서의 침투유출량을 개발이전과 동일 수준으로 감소시키는데 요구되는 저류지 용적을 저류방침으로 정의하였으며, 표 1은 저류방침에 따른 저류용량을 나타낸 것이다.

본 연구에서 저류지의 방류시설은 웨어와 오리피스로 이루어져 있으며, 일정수심 이하에서는 지름 1,000mm인 2개의 원형관 오리피스로 방류되고, 수심이 더 증가하게 되면 월류부 길이 100m인 웨어로 월류된다고 가정하였다.

개발전 침투유량과 완전 개발 되었을 때의 침투유량, 침투발생시간 및 홍수빈도에 대한 저류량의

표 2. 단위소유역에서 저류방침에 따른 침투유량과 발생시간의 변화

토지이용상태	홍수빈도와 강우깊이					
	5년 87.0mm	10년 102.3mm	20년 116.4mm	30년 124.3mm	50년 134.2mm	100년 147.3mm
개발 전	11.8cms 115min	15.8cms 110min	19.6cms 110min	22.2cms 110min	25.1cms 110min	28.9cms 110min
완전 개발 (지체시설무)	23.9cms 110min	28.6cms 110min	32.6cms 110min	35.2cms 110min	38.0cms 110min	41.8cms 110min
완전 개발 후 5년 저류방침 (0.048m ³ /m ²)	11.0cms 125min	24.2cms 115min	31.9cms 110min	34.1cms 110min	37.7cms 110min	41.1cms 110min
완전 개발 후 10년 저류방침 (0.061m ³ /m ²)	5.5cms 125min	12.3cms 125min	23.3cms 120min	30.2cms 115min	34.9cms 110min	39.9cms 110min
완전 개발 후 20년 저류방침 (0.069m ³ /m ²)	5.1cms 130min	5.8cms 130min	16.7cms 120min	24.7cms 120min	31.4cms 115min	36.9cms 110min
완전 개발 후 30년 저류방침 (0.075m ³ /m ²)	4.9cms 130min	5.5cms 130min	11.7cms 125min	19.3cms 120min	26.6cms 120min	35.0cms 115min
완전 개발 후 50년 저류방침 (0.084m ³ /m ²)	4.6cms 130min	5.2cms 130min	5.8cms 130min	12.0cms 125min	19.6cms 120min	29.2cms 120min
완전 개발 후 100년 저류방침 (0.100m ³ /m ²)	4.1cms 130min	4.7cms 125min	5.2cms 130min	5.5cms 130min	5.8cms 130min	15.5cms 125min

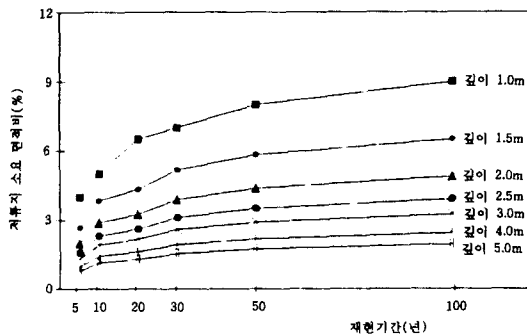


그림 2. 저류지 수심에 따른 저류지 소요면적비 (저류방침 20년)

효과를 표 2에 수록하였다. 표 2에서 보면, 개발전의 침투유량에 대한 개발후의 침투유량 비는 5년 강우빈도에 대하여 2.03으로 나타났으며, 100년 강우빈도에 대해서는 1.45로 나타나는 등 재현기간의 증대에 따라 침투유출량의 변화는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 개발이전의 침투유출량으로 되돌리는데 요구되는 지체저류량을 단위면적당 용적량으로 나타내면 저류방침 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 100년에 대하여 각각 0.048, 0.061, 0.069, 0.075, 0.084, 0.100(m³/m²) 정도로 나타났다.

저류지 수심의 변화에 따라 달라지게 되는 지체저류시설에 요구되는 부지의 면적은 식 (1)을 사용하여 저류용량을 구하고, 수심에 따른 저류지 면적을 구하였으며, 구역면적에 대한 저류지 면적의

비를 저류방침 20년에 대해 도시하면 그림 2와 같다.

6개의 저류방침별로 분석한 결과를 통해 대체로 저류지 수심 1m에서 지체저류시설을 위해 필요한 소요 면적비는 8% 이상이며, 저류지 수심 5m에서는 소요 면적비가 1.5% 이하로 감소됨을 알 수 있다.

첨두유출량과 저류량은 지체저류방침과 홍수빈도에 관련되어 있으며, 이것으로부터 두 변수를 비교하기 위해 저류비(Runoff Fraction Stored : RFS)와 첨두감소비(Peak Reduction Factor : PRF)를 식 (2) 및 식 (3)과 같이 정의하고, 두 변수를 기준으로 우수유출억제효과를 파악하기로 한다.

$$RFS = \frac{V_r}{V_t} \quad (2)$$

여기서, RFS; 저류비(Runoff Fraction Stored)

V_r ; 저류지에 저류되는 용적 (m^3)

V_t ; 입력강우로 인해 유입되는 총유입용적(m^3)

$$PRF = 1 - \frac{Q_{po}}{Q_{pi}} = \frac{Q_{pi} - Q_{po}}{Q_{pi}} \quad (3)$$

$$PRF = \frac{V_r}{V_t} = \frac{V_t - V_0}{V_t} = 1 - \frac{V_0}{V_t} = f(PRF) \quad (4)$$

여기서, PRF; 첨두감소비(Peak Reduction Factor)

Q_{pi} ; 유입수문곡선의 첨두유입량(m^3/sec)

Q_{po} ; 유출수문곡선의 첨두유출량(m^3/sec)

V_0 ; 유출수문곡선의 유출용적(m^3)

식 (3)은 하류로 방류되지 못하고 저류지에 저류되는 저류분을 의미하며 식 (2)와 식 (3)을 조합시키면 저류지계수(Detention Basin Factor ; DBF)를 얻을 수 있다.

$$DBF = \frac{1 - Q_{po}/Q_{pi}}{V_r/V_t} = \frac{PRF}{RFS} \quad (5)$$

이 저류지계수(DBF)가 1이면 하류로 방류되지 못하는 유량분과 저류지에 저류되는 저류분이 같음

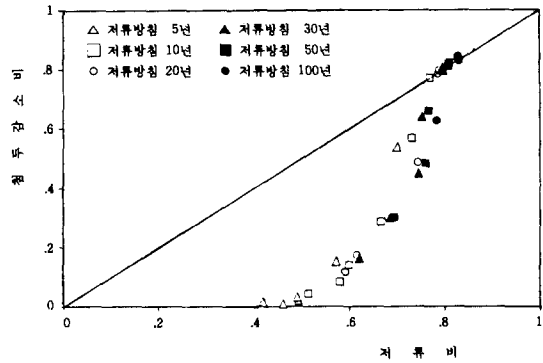


그림 3. 저류방침에 따른 저류지계수(DBF)

을 의미하고, 1보다 클 경우, 예를들어 1.5라고 하면 하류로 방류되지 못하는 유량분의 1.5배에 해당하는 저류기능이 증가함을 의미하며, 1보다 작은 경우에는 저류기능이 감소됨을 의미하므로 저류지계수가 1보다 커질수록 하류부는 안전측에 가깝게 된다.

그림 3은 첨두감소비와 저류비를 도시한 것으로서, 저류비의 유출억제효과를 달성하기 위해서는 계획강우의 빈도 보다 큰 저류방침을 갖는 저류시설을 시설해야 함을 알 수 있다. 그림 3으로 부터 첨두감소비와 저류비 사이의 관계가 직선이 아니라는 것을 알 수 있으며, 그림에서 직선은 50%의 유출을 감소시키기 위해서는 50%의 저류가 필요함을 나타내고 있다. 직선 위쪽의 값은 특정한 첨두유출을 감소시키기 위해서 적은 양의 저류가 필요함을 나타내며, 직선 아래의 값은 특정한 첨두유출을 감소시키는 데 있어 더 많은 저류가 필요하다는 것을 나타낸다.

곡선의 기울기를 저류지계수(DBF)라 부르며, DBF가 1 보다 클 때 지체저류량은 배수면적에 대하여 더 효과적이다. 따라서, 저류지 설계에 있어서 저류지계수가 1 보다 작을 경우 지체저류량은 비효과적이라 할 수 있다.

4.2 가상 전유역에서의 해석결과

주어진 홍수빈도에 대하여 지체저류시설의 크기

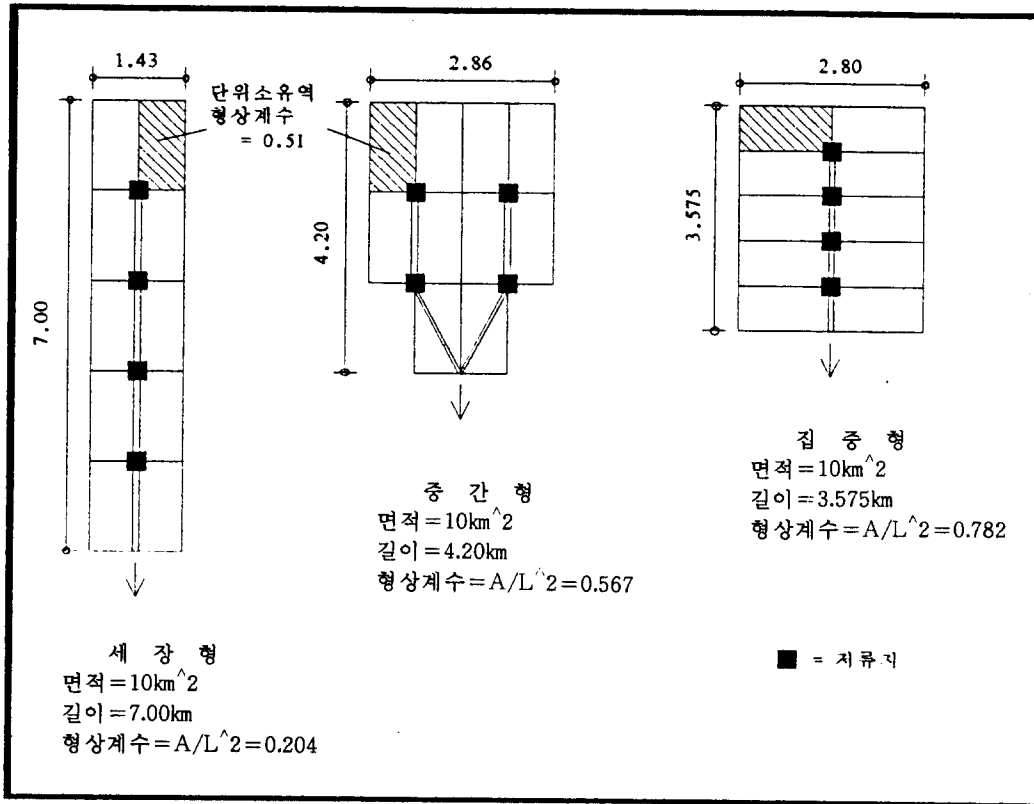


그림 4. 가상 전유역의 형상

표 3. 가상 전유역에서의 유역형상별 개발상태에 따른 수문응답 결과

재현기간 (년)	개발전 침투유량(cms) 및 발생시간(min)			개발후 침투유량(cms) 및 발생시간(min)			개발후 침투유량 개발전 침투유량		
	세장형	중간형	집중형	세장형	중간형	집중형	세장형	중간형	집중형
5	52.1	76.8	86.3	128.5	171.1	186.9	2.47	2.23	2.16
	155	135	130	145	130	125			
10	71.6	104.4	116.5	154.0	204.2	223.0	2.15	1.96	1.91
	150	130	130	145	130	125			
20	91.0	131.6	146.4	177.4	234.4	255.8	1.95	1.78	1.75
	150	130	125	145	130	125			
30	104.5	150.2	166.8	192.8	253.7	276.7	1.85	1.69	1.66
	150	130	125	145	130	125			
50	119.1	170.3	188.8	209.1	274.3	299.2	1.76	1.61	1.58
	150	130	125	145	130	125			
100	138.7	197.2	218.2	230.7	302.0	329.0	1.66	1.53	1.51
	150	130	125	145	130	125			

표 4. 가상 전유역에서의 유역형상별 소요 저류용량 및 소요 저류지 면적

재현기간 (년)	소요 저류 용량(m ³)			소요 저류지 면적(m ²)		
	세장형	중간형	집중형	세장형	중간형	집중형
5	225,064	212,920	228,539	77,235	77,229	77,235
	0.023m	0.021m	0.023m	0.77%	0.77%	0.77%
10	286,319	270,578	291,036	97,753	97,752	97,762
	0.029m	0.027m	0.029m	0.98%	0.98%	0.98%
20	331,940	313,312	337,087	110,721	110,711	110,702
	0.033m	0.031m	0.034m	1.11%	1.11%	1.11%
30	365,183	344,660	370,849	120,562	120,553	120,562
	0.037m	0.034m	0.037m	1.21%	1.21%	1.21%
50	407,085	383,588	413,017	134,086	134,075	134,053
	0.041m	0.038m	0.041m	1.34%	1.34%	1.34%
100	480,622	449,036	488,096	160,743	160,714	160,716
	0.048m	0.045m	0.049m	1.61%	1.61%	1.61%

와 위치를 결정하기 위하여 면적이 10km²인 세가지 형태의 유역에 대해 가상의 소유역에서 적용한 바와 같은 해석을 실시하였다. 세장형(SF=0.204), 중간형(SF=0.567), 집중형(SF=0.782) 등의 서로 다른 유역형태를 구성하기 위해 10개의 단위소유역의 배치를 조정하여 조합하였으며, 얻어진 유역 형태는 그림 4와 같다.

전유역내에 지체저류시설이 없는 경우와 지체저류시설을 그림 4와 같이 시설하였을 경우에 대한 개발전후의 수문학적 응답에 있어서 형태학적인 효과의 결과를 표 3에 나타내었다.

유역형상별 개발 상태에 따른 수문응답 결과를 보면, 침투 발생시간의 단축은 세장형이 홍수빈도 5년에서 10분 그 이외의 경우는 5분으로 동일하게 나타났으며, 중간형과 집중형은 낮은 홍수빈도(5년, 10년)에서는 5분정도 감소하고 있으나, 다른 홍수빈도에서는 침투시간의 변화가 없는 것으로 나타났다.

집중형은 침투시간이 가장 짧기 때문에 최대침투유량을 보이고 있다. 세장형의 경우 개발전에 대한 개발후의 침투유량의 비는 5년 빈도에서 약 2.5배 증가하며, 100년 빈도에서 약 1.7배로 감소하고 있으며, 집중형은 5년 빈도에서 약 2.2배 증가하며, 100년 빈도에서는 1.5배로 감소하고 있다. 중간형은 세장형과 집중형의 중간 값을 나타내고 있

다.

표 3과 단위소유역에서의 결과인 표 2를 비교해 보면, 전유역에서의 개발 전후의 침투유량비가 소유역에서의 경우보다 더 큼을 알 수 있다. 이는 유역의 크기가 커질수록 도시화에 따른 수문응답(침투유량)이 커짐을 의미하고 있다.

표 4는 각 유역형태와 홍수빈도에 대한 소요저류용량과 단위면적당 용적량 및 소요저류지면적과 그 점유율을 나타낸 것으로서, 침투유량에서 최대 값을 보이는 집중형이 세장형과 중간형 보다 더 많은 저류량이 요구되는 것으로 나타났다. 20년 홍수빈도에 대하여 집중형은 단위면적당 지체저류량이 0.034m³/m², 저류지 깊이 2.5m에서 소요저류지 면적은 전체 유역면적의 1.11%를 유지해야 하며, 세장형은 단위면적당 지체저류량은 0.033m³/m², 소요저류지면적은 1.11%를 유지해야 하는 것으로 나타났다. 표 4와 표 2를 비교해 보면, 소유역에서 20년 홍수빈도의 침투유량을 자연적인 수준으로 감소시키기 위해서는 0.069m³/m²가 요구되지만, 전유역 수준에서는 단지 0.034m³/m²가 요구되는 것으로 나타나므로, 단위면적당 지체저류량은 소유역보다는 전유역에서의 지체저류량으로 계획함이 유리한 것으로 나타났다.

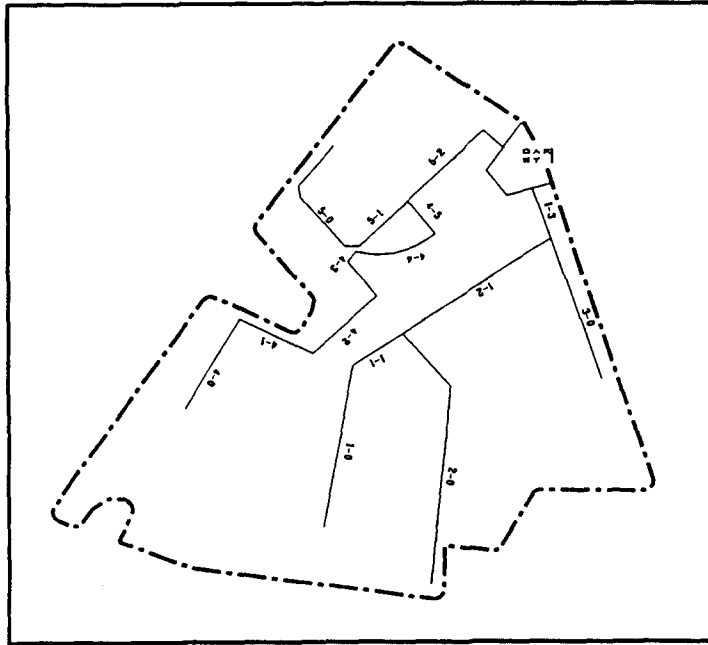


그림 5(a). 잠실 2 유수지 배수구역의 하수관망도

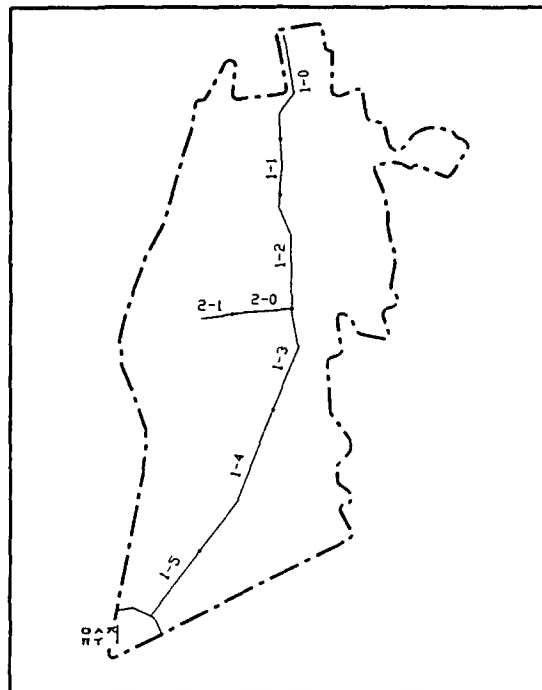


그림 5(b). 성내 1 유수지 배수구역의 하수관망도

표 5. 잠실 2 유수지 배수구역내의 저류지 설치 가능 부지

부지명	폭(m)	길이(m)	면적(m ²)	비고(관거)
방이중	130	170	22,100	1-0
방이국	105	165	17,325	2-0
잠실국	135	120	16,200	1-2, 3-0
잠실중	90	150	13,500	5-1
잠실고	115	170	19,500	1-3

표 6. 성내 1 유수지 배수구역의 유역특성

관거번호	배수구역면적(ha)	배수구간길이(m)	관거번호	배수구역면적(ha)	배수구간길이(m)
1-0	23.1	235	2-1	4.2	246
1-1	33.7	268	1-3	32.9	614
1-2	34.3	449	1-4	50.7	702
2-0	26.5	271	1-5	14.5	307

5. 실유역에서의 저류지의 효과분석

가상의 소유역과 전유역에 대한 도시수문응답 특성 결과를 고려하여 실유역에 대한 저류지의 효과를 분석하기 위하여 서울시 관내의 잠실 2 와 성내 1 유수지 배수구역을 대상으로 저류지가 설치되었을 때의 유출억제효과를 수문학적 해석을 통하여 분석하며, 저류지는 소배수구역의 유입부 지점에 위치하는 것으로 가정하여 해석을 진행하였다.

5.1 기본자료

유출해석모형으로는 ILLUDAS 모형을 사용하였으며, 기존 하수관거의 용량부족으로 인한 지체 현상을 배제하기 위하여 ILLUDAS 모형의 설계모드를 이용하였다. 대상 강우는 재현기간 5, 10, 20, 30, 50, 100년의 계획강우를 Huff의 4가지 강우패턴으로 분포시켜 사용하였다.

그림 5는 저류지의 유출억제효과를 분석하기 위한 대상유역으로 선정된 잠실 2 와 성내 1 유수지 배수구역의 배수구역도와 하수관망을 도시한 것이다.

5.2. 저류지 유무에 따른 저류비 분석

도시유역에 있어서 홍수조절을 할 수 있는 넓은

유휴저지는 성토에 의한 택지화가 현저히 진행됨으로서 차츰 적어지고 있으며, 그 용지의 확보가 어렵고 많은 공사비를 필요로 한다. 따라서 공공용지 등의 유효이용이 우선적으로 생각되며, 학교, 연구소 등과 같은 공공시설의 이전적지나 기존의 도시공원 부지의 이용도 고려할 수 있다.

잠실 2 유수지 배수구역의 토지이용 상태를 고려하여 우수유출억제시설을 설치할 수 있는 장소로 선정된 공간은 표 5와 같다.

잠실2 유수지 배수구역은 표 5에 나타난 것과 같이 일시적으로 우수를 저류할 수 있는 저류지 가능 부지 면적은 대체로 20,000m² 이하로, 저류지의 유지수심을 약 1m로 한다고 가정하였을 때 총 저류용량은 약 20,000m³ 이하가 됨을 알 수 있다. 그러나 저류지의 영향을 파악해보기 위하여 저류지의 용량을 5,000m³, 10,000m³, 20,000m³, 50,000m³ 의 4가지 경우로 설정하고 설치위치는 표 5에 나타난 지점에 교대로 단일 저류지를 설치하여 유수지에서의 유입수문곡선의 변화를 분석하였다.

성내 1 유수지 배수구역의 경우는 우수유출억제시설을 설치할 적절한 부지의 선택이 어려운 상황이므로 각 관로에 가상의 부지가 있는 것으로 간주하여 저류지를 설치하였을 때 저류지의 영향을 파악하였으며, 유역특성은 표 6에 나타난 바와 같다.

저류지 설치에 따른 저류비 변화율은 식 (6)에 의하여 구하였다.

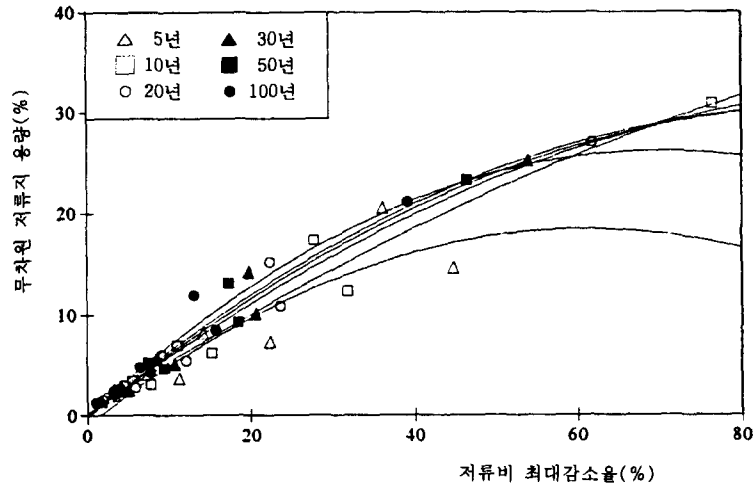


그림 6. 무차원 저류지 용량과 저류비 최대변화율의 관계 (Huff's 3rd Quartile)

$$DS_s = \frac{RFS_a - RFS_b}{RFS_b} \times 100 \quad (6)$$

여기서, DS_s ; 저류비 변화율(%)

RFS_a ; 저류지 설치 후 저류비

RFS_b ; 저류지 설치 전 저류비

따라서, 배수구역의 임의 지점에 어떤 규모의 저류지가 설치 되었을 경우에 저류지의 기능을 저류비와 저류지 계수를 통해 분석하면 저류지의 우수 유출억제효과를 파악할 수 있다.

저류비와 저류지계수 및 저류비 변화율에 관한 본 연구에서의 결과로 미루어 볼때, 저류지의 용량이 커질 수록 대체로 우수지로 부터 원거리에 저류지가 위치할 때 유출억제효과가 가장 좋은 것으로 나타났으며, 또한 재현기간이 커짐에 따라서는 유출억제효과가 감소하였고 강우의 시간적 패턴에 대해서는 후방집중형 강우에 대한 저류효과가 가장 좋은 것으로 나타났다.

5.3 저류지 용량과 저류비 최대변화율간의 관계 해석

저류지의 설치에 따라 유역 말단에 위치하는 우수지의 저류부하는 일반적으로 경감될 것이다. 그러나 시설되는 저류지의 용량과 입력강우의 규모에 따라 그 경감 효과가 달라지게 될 것이다. 따라서 시설되는 저류지의 용량에 따른 우수지에서의 저류

부하 경감효과를 알아보기 위하여 저류지를 배수구역의 임의 지점에 시설하였을 때의 저류비 변화를 구하고, 우수지에서 최대의 저류비 감소효과를 가져오게 하는 저류지 용량을 발췌하여 저류지 용량과 저류비 최대변화율간의 관계를 분석하였다.

그러나 잠실 2 와 성내 1 우수지 배수분구는 유역면적 및 유출특성이 다르므로 저류지 용량에 의한 상대적인 값을 파악하기 위해 본 연구에서는 유출총용적에 대한 저류지 용량의 비인 무차원 저류지 용량을 사용하였다.

무차원 저류지 용량과 우수지의 최대저류비 변화율간의 관계 일부를 도시하면 그림 6과 같다. 그림 6에서 보면, 저류지의 용량이 증대함에 따라 저류비 변화율은 크게 감소하고 있고, 저류비 변화율은 재현기간이 커짐에 따라 감소하고 있으며, 입력강우에 의한 영향은 후방집중형인 Huff's 4th Quartile이 저류비 변화율이 가장 컸으나 그 차이는 미미함을 알 수 있다.

따라서, 도시화 현상 등으로 인한 유출량 증대에 대처하기 위해 배수구역내에 저류지를 설치하고자 할 때, 우수지의 저류부하를 임의로 설정하게 되면 그 효과를 얻기 위해 소요되는 조절지의 용량을 그림 6으로 부터 구할 수 있다. 표 7은 그림 6의 최적회귀식을 수록한 것으로서, 이 식으로 부터 소요 저류비 변화율에 대응하는 저류지의 필요용량을 구할 수가 있다.

표 7. 무차원 저류지 용량과 저류비 최대변화율간의 관계식

강우패턴	빈도(년)	최 적 회 귀 식				상관계수	
Huff's 1	5	$V_p = -.16916$	+	$.51786 DS_r$	-	$.00245 DS_r^2$	.91084
	10	$V_p = .26409$	+	$.53164 DS_r$	-	$.00172 DS_r^2$	.97907
	20	$V_p = .50756$	+	$.56294 DS_r$	-	$.00206 DS_r^2$	.97304
	30	$V_p = .50617$	+	$.61570 DS_r$	-	$.00249 DS_r^2$	.97360
	50	$V_p = 1.0487$	+	$.63188 DS_r$	-	$.00336 DS_r^2$	.94788
	100	$V_p = 1.4684$	+	$.61571 DS_r$	-	$.00321 DS_r^2$	.94198
Huff's 2	5	$V_p = -1.2769$	+	$.66348 DS_r$	-	$.00557 DS_r^2$	.90229
	10	$V_p = .31345$	+	$.51376 DS_r$	-	$.00158 DS_r^2$	.97793
	20	$V_p = .03616$	+	$.61814 DS_r$	-	$.00268 DS_r^2$	.97694
	30	$V_p = .12610$	+	$.64485 DS_r$	-	$.00294 DS_r^2$	.97592
	50	$V_p = .23598$	+	$.68877 DS_r$	-	$.00412 DS_r^2$	.97381
	100	$V_p = .82565$	+	$.69136 DS_r$	-	$.00452 DS_r^2$	.95304
Huff's 3	5	$V_p = -.98076$	+	$.64120 DS_r$	-	$.00526 DS_r^2$	.89763
	10	$V_p = .19723$	+	$.52601 DS_r$	-	$.00163 DS_r^2$	.97859
	20	$V_p = -.05674$	+	$.61743 DS_r$	-	$.00290 DS_r^2$	.98361
	30	$V_p = -1.6579$	+	$.66036 DS_r$	-	$.00341 DS_r^2$	.98470
	50	$V_p = .03276$	+	$.67100 DS_r$	-	$.00364 DS_r^2$	.98372
	100	$V_p = .04112$	+	$.74845 DS_r$	-	$.00533 DS_r^2$	.97671
Huff's 4	5	$V_p = -1.1185$	+	$.60853 DS_r$	-	$.00543 DS_r^2$	.87631
	10	$V_p = .39210$	+	$.46128 DS_r$	-	$.00111 DS_r^2$	.97576
	20	$V_p = .21125$	+	$.53417 DS_r$	-	$.00206 DS_r^2$	.97846
	30	$V_p = .12676$	+	$.57143 DS_r$	-	$.00257 DS_r^2$	.97925
	50	$V_p = .19036$	+	$.59154 DS_r$	-	$.00286 DS_r^2$	.98007
	100	$V_p = .03801$	+	$.69161 DS_r$	-	$.00476 DS_r^2$	.97644

주) V_p ; 무차원 저류지 용량(%) DS_r ; 저류비 변화율(%)

표 8(a). 저류지 설치지점의 상류 배수구역 면적 및 DUAR-잠실 2

설치지점	상류배수구역 면적(ha)	DUAR(%)	설치지점	상류배수구역 면적(ha)	DUAR(%)
1-3	385.91	98.951	5-1	30.00	7.692
1-2	191.60	49.128	2-0	44.60	11.436
3-0	16.80	4.308	1-0	124.00	31.795

표 8(b). 저류지 설치지점의 상류 배수구역 면적 및 DUAR-성내 1

설치지점	상류배수구역 면적(ha)	DUAR(%)	설치지점	상류배수구역 면적(ha)	DUAR(%)
1-0	23.1	10.500	1-4	205.4	93.364
1-1	56.8	25.818	1-5	220.0	100
1-2	91.1	41.409	2-0	26.5	12.045
1-3	154.7	70.318	1-0	30.7	13.955

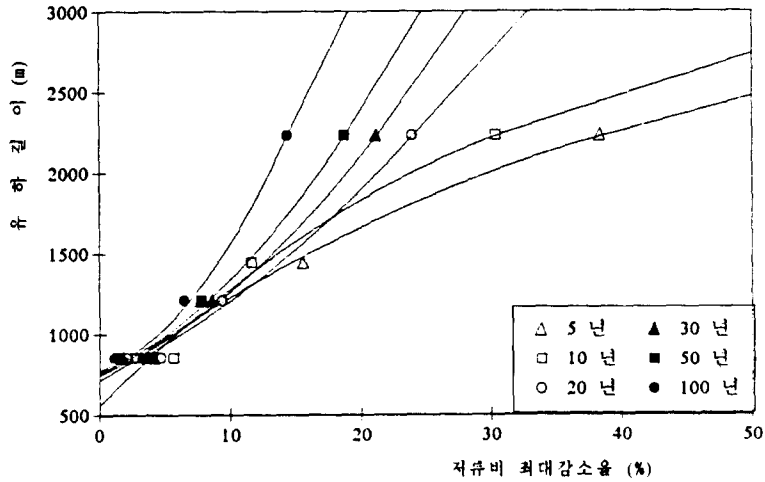


그림 7. 무차원 상류배수구역 면적비와 저류비 최대변화율의 관계(Huff's 4th Quartile)

5.4 저류지 위치와 저류비 변화율간의 관계 해석

배수구역내에 시설할 저류지의 용량이 결정되면 우수지 지점에 가장 부하를 적게 하는 위치에 저류지를 시설하여야 한다.

도시하천 배수구역과 같이 유역면적이 작고 유로연장이 짧은 지역에서는 off-site 저류지를 설치하였을 때의 침투유량 도달시간은 저류지 설치 전과 거의 차이가 없었으며, 다만 침투유량의 감소와 저류비 감소 효과를 보여주고 있다. 이는 저류지의 용량이 총유출용적에 비해 아주 작은 값이기 때문인 것으로 보여지며, 위치별로 보면 본류지역 보다는 각 지류의 최상류 지역에 저류지가 위치하였을 때 저류비 변화율이 최대가 되어 우수지의 부하를 경감시켜주고 있음을 알 수 있었다.

따라서, 여기서 표 5, 6과 같은 부지를 대상으로 저류지를 설치하였을 때의 우수지에서의 저류부하(저류비 변화율)을 저류지 설치지점의 상류 배수구역의 면적과 관련시켜 분석해 보았다. 이때 면적의 상대적인 값을 알아 보기 위하여 총배수구역 면적과의 비인 무차원 상류 배수구역 면적비를 사용하였다.

$$DUAR = \frac{A_u}{A} \quad (7)$$

여기서, DUAR; 무차원 상류 배수구역 면적비 (%) (Dimensionless Upstream Area Ratio)

A_u ; 저류지 상류의 배수구역 면적(ha)

A ; 총배수구역 면적(ha)

표 8은 저류지 상류의 배수구역 면적과 무차원 상류 배수구역 면적비를 수록한 것이다.

입력강우의 재현기간별 및 시간적 분포패턴별로 저류지의 설치위치(무차원 상류 배수구역 면적비)에 따른 저류비 변화율을 보면, 무차원 상류 배수구역 면적비와 저류비 변화율은 저류지의 용량이 증대됨에 따라 일정한 형태를 보이고 있으며, 일반적으로 저류지의 용량이 증대될 수록 최대 저류비 변화율을 보이는 무차원 상류 배수구역 면적비가 증대되다가 무차원 상류 배수구역 면적비가 40% 이상이 되면 최대 저류비 변화율이 감소되고 있음을 알 수 있다. 이는 저류지의 용량이 크면 저류지를 중류에 설치하여도 된다는 것을 의미하며, 소규모의 용량일 경우에는 본.지류에 관계없이 비교적 상류지역에 시설되어야 한다는 것을 의미한다.

이러한 사항을 고려하여 저류지의 각 용량별 최대저류비 변화율을 보이는 값들을 무차원 상류 배수구역 면적비와 함께 도시하면 그림 7과 같으며 이를 회귀분석한 결과는 표 9에 나타내었다.

표 9의 회귀식은 소구역 배수면적의 개념으로 저류지의 설치 위치를 선정할 수 있으므로 저류지

표 9. 무차원 상류 배수구역 면적비와 저류비 최대변화율간의 관계식

강우패턴	빈도(년)	최 적 회 귀 식			상관계수
Huff's 1	5	DUAR = .32243	+ .98943 DS _i	- .00157 DS _i ²	.98402
	10	DUAR = .91399	+ 1.0517 DS _i	- .00427 DS _i ²	.98687
	20	DUAR = .98808	+ 1.2337 DS _i	- .00517 DS _i ²	.97250
	30	DUAR = .70065	+ 1.5760 DS _i	- .01509 DS _i ²	.93856
	50	DUAR = 5.0513	+ .95368 DS _i	- .00390 DS _i ²	.83999
	100	DUAR = 6.2740	+ .01469 DS _i	+ .28738 DS _i ²	.98320
Huff's 2	5	DUAR = 4.2452	+ .01704 DS _i	+ .31408 DS _i ²	.99345
	10	DUAR = -2.6503	+ 1.5518 DS _i	- .01012 DS _i ²	.98680
	20	DUAR = -.18621	+ 1.4092 DS _i	- .00751 DS _i ²	.98136
	30	DUAR = -.45482	+ 1.7554 DS _i	- .01827 DS _i ²	.95978
	50	DUAR = .00711	+ 1.9390 DS _i	- .02248 DS _i ²	.94899
	100	DUAR = 5.3977	+ 1.0824 DS _i	- .00454 DS _i ²	.83700
Huff's 3	5	DUAR = .37345	+ 1.0854 DS _i	- .00422 DS _i ²	.98578
	10	DUAR = -2.1553	+ 1.6866 DS _i	- .01204 DS _i ²	.98678
	20	DUAR = -3.8277	+ 2.0320 DS _i	- .01698 DS _i ²	.97291
	30	DUAR = -.51117	+ 1.5491 DS _i	- .00908 DS _i ²	.98318
	50	DUAR = 1.8933	+ 1.2795 DS _i	- .00920 DS _i ²	.91409
	100	DUAR = 1.5870	+ 1.7809 DS _i	- .02979 DS _i ²	.80241
Huff's 4	5	DUAR = 3.7328	+ .01106 DS _i	+ .43129 DS _i ²	.98778
	10	DUAR = -.37100	+ 1.2940 DS _i	- .00416 DS _i ²	.99413
	20	DUAR = -3.5760	+ 1.8233 DS _i	- .01373 DS _i ²	.97748
	30	DUAR = -.10763	+ 1.3739 DS _i	- .00711 DS _i ²	.98212
	50	DUAR = .23416	+ 1.5190 DS _i	- .00845 DS _i ²	.98098
	100	DUAR = 1.9280	+ 1.4083 DS _i	- .01161 DS _i ²	.89981

주) DUAR; 무차원 상류배수구역 면적비(%) DS_i; 저류비 변화율(%)

계획에 표 7을 이용하여 저류지의 크기를 정하고, 표 9의 소구역 배수면적의 개념으로 저류지의 위치를 선정할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 우수의 저류를 말단에서 집중적으로 처리하고 있는 현재 국내의 내수처리 개념을 배수구역에서의 토지이용상태를 적절히 활용하여 저류를 효과적으로 분산 배치함으로써 홍수의 집중화를 완화시켜 말단에서의 우수지 및 펌프장의 용량을 줄일 수 있도록 도모하고, 지하수 함양 등의 도시하천 환경개선의 근본적인 대책으로서 효과적인 저류시설의 분산개념을 도입하여 모형화 하였다.

유역면적이 각각 1km², 10km²인 가상의 소유역 및 전유역을 대상으로 강우빈도, 토지이용단계, 배수패턴, 허용방류량의 규모에 대해 도시화의 진전상태에 따른 수문응답특성을 파악하였으며, 실유역으로는 서울특별시의 잠실 2 및 성내 1 우수지 배수구역을 선정하여 지체저류시설의 크기와 위치를 나타내는 회귀식을 유도하여 제시하였다.

본 연구에서 얻어진 표 7, 표 9는 저류지를 시설하고자 할 때 저류지의 크기 및 위치를 용이하게 설정해 줄 수 있는 식으로서 실무에 활용될 수 있는 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 1993년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비(자유공모)에 의하여 연구되었으며, 지원기관에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서 (1991). 서울특별시.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). "유수지 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간 : 서울지역을 중심으로." 한국수문학회지, 제26권, 제1호, pp. 115-124.
- Bedient, P.B. et al. (1982). "Evaluation of Effects of Stormwater Detention in Urban Areas. Dept. of Environmental Science and Engineering, Rice Univ., Huston, Texas.

- Eagleson, P.S. (1970). *Dynamic hydrology*. McGraw-Hill.
- James, W.P., Bell, J.F., and Leslie, D.L. (1987). "Size and location of detentcon storage." *Jr. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 113, No. 1, pp. 15-28.
- McCuen, R.H. (1979). "Downstream effects of stormwater management basins." *Jr. of Hydraulics Div., ASCE*, Vol. 105, No. HY11, pp. 1343-1356.
- Terstriep, M.L., and Stall, J.B. (1974). "*The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*." State Water Survey Division, Urbana Champaign.
- Wanielista, M.P., and Yousef, Y.A. (1993). *Stormwater management*. John Wiley & Sons.
- (접수 : 1995년 2월 10일)