

## 우수유출저감을 위한 공원녹지의 배치기법 분석\*

송혜정\*\* · 김학열\*\*\*

### Spatial Arrangements of Parks and Green Spaces Effective on Urban Runoff Reduction\*

Hye Jung Song\*\* · Hag-Yeol Kim\*\*\*

**요약 :** 이 연구는 전통적으로 홍수조절기능을 담당하지 않았던 공원녹지를 활용하여 도시지역의 배수구 역 내 빗물유출저감을 효과적으로 수행할 수 있는 배치기법을 분석하고자 하였다. 이를 위하여 가상의 유역에 일반적인 수지형 관망, 방사형 관망을 구성하고, 관망별 다양한 공원녹지 배치 시나리오를 XP-SWMM을 활용하여 모사하였다. 수지형 관망에서는 공원녹지의 수를 늘려가며 배치하는 점증배치 시나리오(3개)와 공원녹지 5개소를 상류/중류/하류에 각각 집중배치하는 일괄배치 시나리오(14개)를 구축하였다. 방사형 관망에서는 일괄배치 시나리오(7개)를 구축하여 모사하였다. 수지형 관망의 경우, 상류에서 하류로 점증배치하는 것이 빗물유출을 저감하는 데 효과가 가장 큰 것으로 분석되었다. 또한 다수의 공원녹지를 한꺼번에 배치한다면 수지형 관망의 본선에 배치할 시 상류부에 집중배치하는 것이 유출저감 효과가 뛰어나고, 지선에 배치할 경우는 상류/중류/하류에 골고루 배치하는 것이 높은 유출저감효과가 있는 것으로 분석되었다. 반면 방사형 관망의 지선에 공원녹지를 일괄배치한다면, 상하류에 치중하여 배치하면서 Damage Center에 근접하게 배치하는 것이 빗물유출저감효과에 뛰어난 것으로 분석되었다. 따라서 상류부에 빗물유출저감형 공원녹지를 배치하는 것이 유역 전체적으로 첨두유출을 저감시키는 데 유리하며, 가능한 Damage Center 근처에 공원녹지를 설치하는 것이 유출저감에 효과적이라는 결과를 얻을 수 있었다.

**주제어 :** 우수유출저감, 입지분석, 도시계획시설, 공원녹지

**ABSTRACT :** This paper analyzes the effective arrangements of park and green areas to reduce urban runoffs by changing locations of parks and green areas which have not been identified as traditional flooding mitigation facilities. A trellis-type drainage system(T system) and a parallel-type drainage system(P system) are constructed on two artificial urban basins. Various scenarios for locating parks and greenery spaces on the two areas are made and are then simulated by using the XP-SWMM software. As for the T system, 3 cases are designed as scenarios which gradually increase the number of parks(GI Scenarios) and 14 cases are developed as scenarios that locate all of 5 parks at a time on each of upper-/middle-/lower-basin area(LA Scenarios). As for the P system, 7 cases are constructed as LA Scenarios. As for the T system, the case that gradually installs green areas from its upper-to lower-basin area is analyzed as the most effective one to reduce urban runoffs among GI Scenarios.

\* 이 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업 「도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발(11첨단도시G09)」에 의해 수행되었습니다. 이 연구의 SWMM 시뮬레이션은 주식회사 삼안의 협조에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

\*\* 서경대학교 도시과학연구소 연구원(Researcher, Research Institute of Urban System, Seokyeong University)

\*\*\* 서경대학교 도시공학과 부교수(Associate Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Seokyeong University),  
교신저자(E-mail: hagkim@skuniv.ac.kr, Tel: 02-940-7783)

In the scenarios of locating them at the main line of T system, it is the best case that places them centered at the upper-basin area so as to reduce runoffs. In the scenarios of locating them at the branch lines of T system, it is the best case that distributes them at branches of upper-/middle-/lower-basin area in a balanced way. Meanwhile, as for the P system, in the scenarios of locating them at the branch lines of the P system, it is the best case that arranges them close to damage centers at both branches upper- and lower-basin area. The result implies that (1) locating green spaces which have runoff reducing capability at upper-basin areas is a desirable way to reduce peak-time runoffs (2) placing them adjacent to damage centers is the effective way to do as well.

**Key Words :** Runoff Reduction, Location Analysis, Infrastructure, Green Space

## I. 서론

최근 들어 이상기후에 따른 도시지역의 집중호우로 인한 대규모 자연재해가 발생됨으로써 과거에 경험하지 못한 많은 인명과 재산 피해가 일어나고 있다. 그 대표적인 예로, 지난 2011년 7월 26일~7월 28일간 서울시에서 발생된 계릴라성 집중호우는 사상 유례가 없는 막대한 피해를 입혔으며, 이 사건은 서울지역도 더 이상 재해로부터 안전한 도시가 아니라는 인식을 심어주게 되었다. 이에 서울시 및 중앙정부는 폭우에 따른 도시지역의 피해 저감을 위한 각종 대응책 마련에 고심하고 있다.

지금까지의 도시지역 내 방재대책은 전통적인 물리적·구조적 대책인 방재시설 및 배수시설의 설치·보완 등을 중심으로 이루어져 왔다. 그러나 시설의 설계기준, 방재성능을 초과하는 호우발생으로 인하여 방재시설과 배수시설만으로 감당하기에는 한계에 이르렀다. 더욱이 이미 도시화가 이루어진 도시지역에서는 각종 배수시설, 방재시설들의 성능을 향상시키기에는 경제적·공간적으로 실현 가능하지 않은 상황이다. 따라서 도시 내 방재성능을 보완·향상시킬 수 있는 비물적(非物的)·비구조적 방재대책을 적극적으로 도입하고자 하

는 노력이 요구되고 있다. 이에 최근에는 도시방재력 강화를 위한 방안으로서 도시계획시설을 활용하려는 기술개발과 정책이 심도 있게 검토되고 있다(권영상 외, 2013). 2013년 국토교통부에서는 도시 내 자연 물순환 회복 및 수해방지를 위하여 도시군계획시설을 계획할 때 투수성포장으로 계획하거나 식생도랑, 저류·침투조 등 빗물관리시설을 설치하도록 관련 규칙을 개정한 바 있다. 이러한 상황에서, 방재시설을 제외한 도시군계획시설을 수자원관리에 적극적으로 이용하면, 기존 방재시설 성능을 초과하는 강우사상에 대하여 보다 효율적으로 대처할 수 있는 것으로 연구되고 있다(강상준·권태정, 2013).

특히 공원녹지는 유치권을 고려해야 하는 배치 규정과 일정규모 이상의 면적을 확보해야 하는 규정 등으로 인하여 방재시설을 제외한 도시군계획시설 중 방재기능을 수행하기에 적합한 시설이라고 인식되고 있다. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 따르면, 공원녹지는 쾌적한 도시환경을 조성하고 시민의 휴식과 정서함양에 이바지하는 공간 또는 시설로 정의되고 있다. 또한 공원녹지는 화재·폭발 등과 같은 재해 발생 시 피해의 확산을 방지하는 완충공간, 우수유출저감 역할 등에 기여하는 방재거점으로서의 역할 가능성을 인정

받고 있다(이재준 외, 2008).

이에 국토교통부에서는 일반공원에 대해 도시 침수 방어력을 강화하는 정책결정으로서, 도시공원 중 소공원 및 어린이공원까지도 저류시설의 설치가 가능하도록 시행규칙을 개정하는 등의 법제 정비를 실시한 바가 있다(2011년 8월 개정). 그러나 도시지역에서 방재기능 향상을 위하여 새로운 공원녹지를 계획·설치하는 것은 도시공간, 재정여건 등 여러 가지 제약 상황이 존재한다. 아울러 재해발생 이력 및 주변여건과 관계없이 모든 공원녹지에 일괄적으로 방재기능을 추가하는 것도 비효율적인 도시방재대책이 될 우려가 있다. 따라서 도시지역 내 적절한 위치의 공원녹지에 방재기능을 추가하는 것이 고려되어야 한다.

그간 저류시설의 적정위치와 배치방식에 관한 여러 연구가 진행되어왔다. 이 가운데 저류시설의 크기 및 적정위치에 관한 연구로는 Bennett and Mays(1985), Wang et al.(1990), 이정식 외(1995), 이재웅·위희상(2001), 이재준·김호년(2008) 등이 있으며, 배치방식 및 분담처리에 관한 연구로는 김지태 외(2006), Endreny and Collins(2009) 등이 있다.

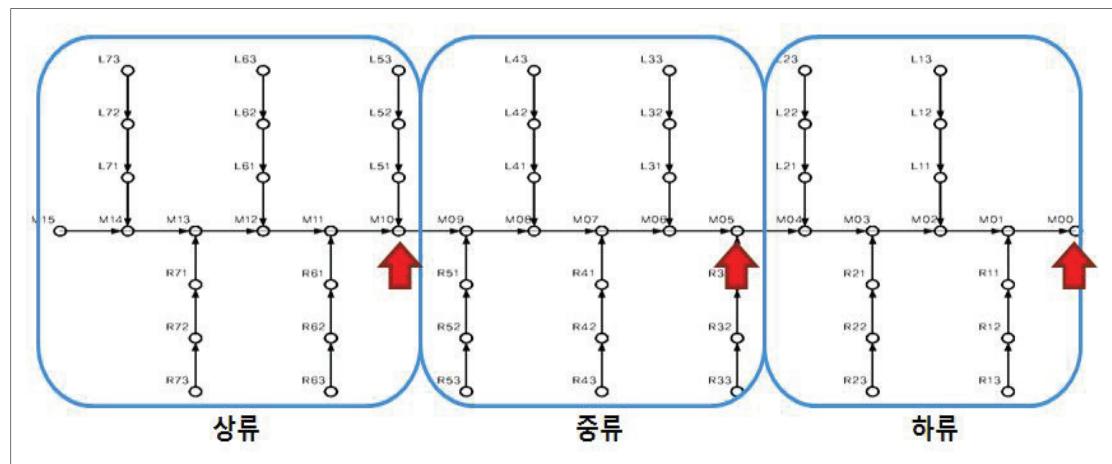
도시지역 내 저류시설의 적정 위치에 관한 이정식 외(1995)의 연구는 유역 내 지체저류시설의 적정 위치와 크기를 결정하는 회귀식을 유도하여 제시하였다. 이재준·김호년(2008)은 도시유역 내의 저류지 설치에 대한 유출저감효과를 분석하였으며 유역 내 임의의 지점에 저류지를 설치하였을 경우 유출저감효과를 분석하여 저류지의 위치를 결정하는 기준을 제시하였다. 여기에서는 유역 형상을 세장형, 집중형, 중간형으로 구분하여 유출저감효과를 분석하였으며 세장형 유역에서 그 효과가 다소 우수함을 나타냈다. 또한 저류지의 위

치 관련 변수의 관계식을 제시하고, 이를 검증하여 저류지의 개략적인 위치선정 기준을 제안하였다.

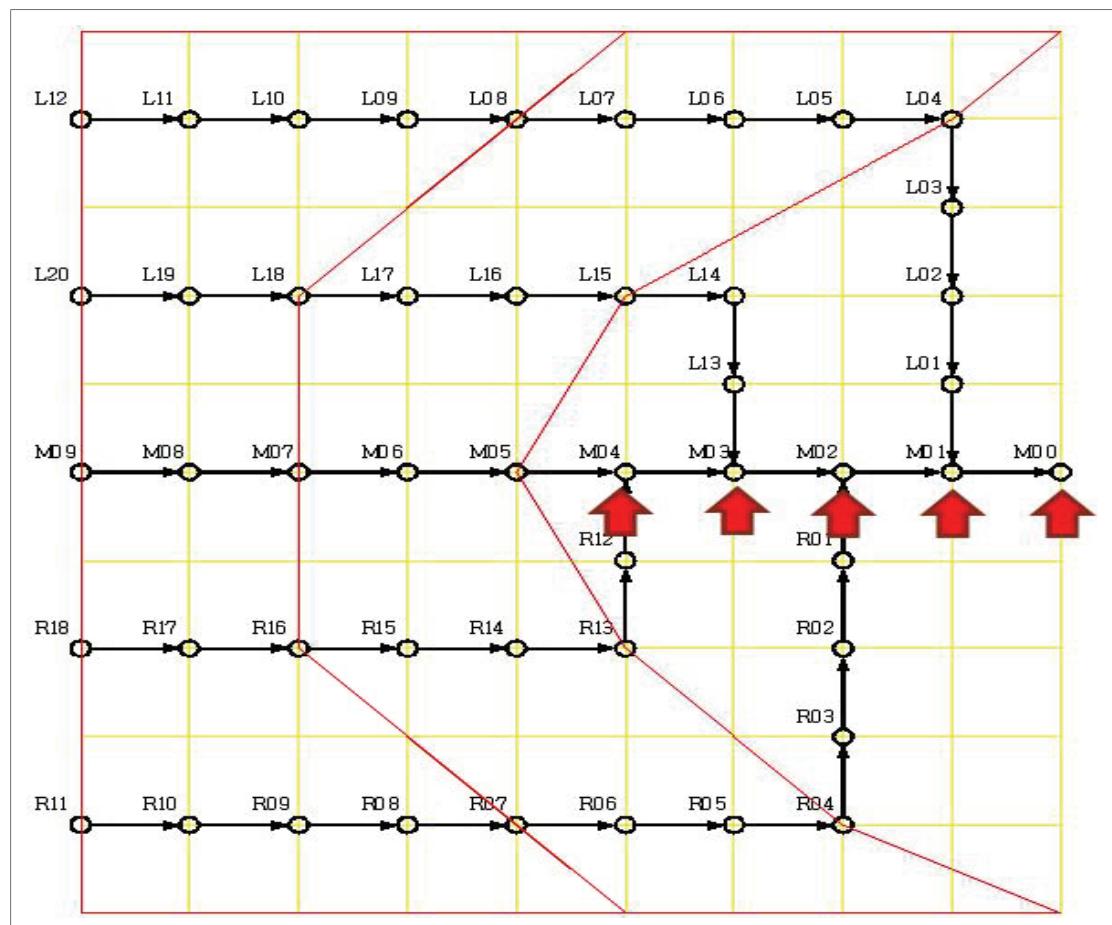
한무영 외(2012)는 수원 상습침수지역을 대상으로 빗물저류조의 설치에 따른 첨두유출저감효과를 확인하였다. 이를 위하여 빗물저류조의 설치 개수, 배치유형(설치위치)을 다르게 적용하여 첨두유출저감효과를 분석하였다. 그 결과 단일 저류지보다는 6개의 빗물저류조를 설치하였을 경우가 첨두유출저감효과가 우수하고, 상류지역에 비중 있게 설치하는 형태에서 그 저감효과가 가장 우수하다는 결론을 내렸다.

그러나 상기 선행연구는 방재기능으로서의 공원녹지시설을 고려한 사례는 찾아보기 어렵다. 국외 연구로는 Yao et al.(2015)의 연구가 있으나 이는 SC-SCN방법을 사용한 연구로서, 녹지를 통해서 얻을 수 있는 총량적 유출저감량 효과만을 도출하였다는 한계점이 존재한다. 또한, 그간의 관련 선행연구는 빗물저류조의 분산배치에 따른 첨두유출저감효과, 저류지 위치에 따른 유출저감효과 등을 분석하였을 뿐, 관망형상에 따라 다양한 배치 시나리오를 고려하거나, 저류지의 개수를 점증적으로 증가함에 따른 저감효과를 연구한 사례는 전무하다.

이에 이 연구는 도시지역의 배수구역 내에서 우수유출저감을 위한 시설로서 공원녹지를 활용하였을 경우, 관망형태별로 다양한 공원녹지 배치 시나리오를 구축하여 분석함으로써, 유출저감기능을 분담할 수 있는 가장 효과적인 공원녹지의 배치방법을 도출하고자 한다.



〈그림 1〉 수지형 관망의 구성과 Damage Center(↑)



〈그림 2〉 방사형 관망의 구성과 Damage Center(↑)

## II. 연구과정

연구수행을 위해서는, 우선 가상유역과 가상관망을 설정한다. 가상관망은 수지형(<그림 1>), 방사형(<그림 2>)으로 구분하여 구축한다. 주요 지점별 유출저감 효과를 분석하기 위하여, ‘저류지 상류부 면적비’(DUAR: Dimensionless Upstream Area Ratio)를 고려하여 이 가상관망에 침수보호지점 혹은 빗물유출로부터 보호가 필요한 지점(Damage Center)을 지정한다. 다음으로는 관망별 공원배치에 관한 배치 시나리오를 바탕으로 유출저감효과를 분석한다. 이때 사용한 시나리오는 크게 2가지로 나누어 구성한다. 첫째 5개의 공원을 점진적으로 늘려가며 설치하는 기법(점증배치기법), 둘째 5개의 공원의 전체적인 배치형태를 다르게 배치하는 기법(일괄배치기법)으로 나누고, 그 아래에 각기 세부적인 시나리오들을 구성한다. 다양한 시나리오를 통한 유출모형 시뮬레이션으로 유역 내 공원녹지의 적정 위치와 적정 배치방법 및 설치순서를 분석한다. 유출저감효과의 정량적 분석에는 도시지역 유출량 산정모형인 SWMM(Storm Water Management Model)을 이용하는데, 이때 관망별로 설정된 Damage Center와 유역출구점을 중심으로 유출저감효과를 분석한다. 최종적으로는 각 관망의 배치기법별 유출저감효과를 비교 분석함으로써 가장 우수한 배치기법을 제시한다.

## III. 연구방법

### 1. 가상유역 및 가상관망 구성

#### 1) 가상유역의 구성

저류기능이 추가된 공원녹지의 배치를 위하여 총 유역면적 90ha의 가상유역을 구성하였다. 연구의 분석범위가 도시지역임을 감안하여 가상유역 내 불투수면적률은 0.9로 가정하였다. 이 가상유역 내에는 수지형 관망과 방사형 관망으로 구분하여 공원녹지를 배치시킬 가상관망을 각기 구성하였다.

#### 2) 수지형 관망

수지형 관망(<그림 1>)은 강우가 지선에서 본선으로 집중되어 상류에서 하류로 흐르는 형태이다. 이 수지형 관망에서의 본선구간은 M15 → M00으로 흐름이 이어지는 직선구간이며, 나머지 링크는 지선구간이다. 유역 내 구분은 전체 유역 면적에 대한 저류지 상류부 면적의 비인 DUAR (이재준·김호년, 2008)의 33%, 67%, 100%를 이용하여 유역을 상류/중류/하류로 구분하였다.

관망 내 유출저감효과를 분석하기 위한 지점인 Damage Center를 상류/중류/하류의 경계지점인 M10, M05와 유역 출구지점인 M00으로 설정하였다. 여기서 Damage Center는 유출저감효과 분석을 위한 수문곡선 및 첨두유출량 평가지점임과 동시에 홍수발생으로부터 보호가 필요한 주요시설을 의미한다.

#### 3) 방사형 관망

방사형 관망(<그림 2>)은 유역의 하류부에서 모든 지선이 합류되어 강우량이 집중되는 형태의 관망이다. 이 연구에서 구성한 방사형 관망에서의

본선 부분은 모든 지선이 합류된 후부터 유역의 출구지점까지인 M04~M00 구간이다. 본 관망에 서의 Damage Center는 본선구간과 동일한 5개의 지점 M00, M01, M02, M03, M04로 설정하였다.

## 2. 공원녹지 구성방법

시뮬레이션에 필요한 가상유역 내 배치될 공원녹지의 1개소당 면적, 배치개수, 1개소당 저류량은 다음과 같이 설정하였다.

공원녹지의 1개소당 면적은 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에서 정한 균린공원의 최소면적인  $10,000m^2$ 를 기준으로  $100m \times 100m$ 의 정방형으로 가정하였다. 현실과 유사한 시뮬레이션을 위해서, 공원녹지의 배치개수는 가상유역의 전체면적(90ha)에 서울시 빗물유출가능면적 대비 공원녹지면적 비율(6.4%)을 곱하고 그 값을 공원녹지 1개소당 면적( $10,000m^2$ )으로 나누어 결정하였다.

$$900,000m^2 \times 6.4\% = 57,600m^2$$

$$57,600m^2 / 10,000m^2 = 5.7(\text{개})$$

계산결과로 나온 값인 5.7(개)의 공원 개수를 공원설치가 어려운 도시지역의 여건을 감안해서 소수점 이하를 절사함으로써, 최종적으로 5개의 공원녹지 개수를 결정하였다.

마지막으로, 공원녹지 1개소당 저류량은 공원녹지 1개소당 면적인  $10,000m^2$ 에 균린공원의 평균 저류심인 0.15를 곱하여 나온 값인  $1,500m^3$ 로 설정하였다. 따라서 유역의 총 예상저류량은  $1,500m^3 \times 5(\text{개}) = 7,500m^3$ 이다. 이때 저류기능을 담당할 공원녹지의 저류방식은 하도 외 저류방식인 Off-Line 저류방식을 채택하여 모의하였다.

## 3. 공원녹지 배치기법 설정

### 1) 공원녹지 수를 점차적으로 증가시키는 배치기법

이 연구에서는 공원녹지의 개수를 1개부터 5개 까지 순차적으로 증가시키며 관망에 배치하는 방법(이하 ‘점증배치방법’)을 구상하였다. 이 점증배치방법은 관망 형태의 특성에 따라 수지형 관망의 본선에 배치하는 경우만을 한정하여 분석하였다.

이 방법 내 분석 시나리오는, 공원녹지의 개수를 증가시키되 가상유역의 상류/중류/하류부 각각에 공원녹지가 집중배치될 수 있도록 하는 3개의 배치 시나리오로 구성되어 있다(〈표 1〉).

### 2) 공원녹지의 전체적 배치형태를 다르게 배치하는 방법

상기의 ‘점증배치’와는 다른 공원녹지의 배치방법으로는, 정해진 5개의 공원녹지를 관망에 각기 다른 배치형태로 한꺼번에 배치하는 방법(이하 ‘일괄배치방법’)을 구상하였다. 이 배치방법은 균린공원의 법적인 유치거리를 감안하여 상/중/하류에 최소한 1개의 공원녹지를 배치하는 것을 기본으로 하였다.

수지형 관망과 방사형 관망에 공원녹지를 일괄 배치하는 경우, 본선과 지선에 배치하는 형태를 달리하여 각 관망에 7개씩의 배치 시나리오를 설정, 총 14개의 배치 시나리오를 구성하였다(〈표 2〉). 다만, 방사형 관망의 경우에 관망형상의 특성상 본선인 M00~M04에 공원녹지를 일괄 배치하는 경우는 한 가지 방법만 존재하므로, 지선에 배치하는 다양한 시나리오를 구성하여 모의하도록 계획하였다.

#### 4. 유출저감효과 분석방법

공원녹지의 배치순서 및 배치형태에 따른 유출저감효과는 공원녹지를 배치하기 전인 최초의 관망조건에서의 유출량과 배치 후 유출량을 비교함으로써 정량적으로 분석할 수 있다. 유출저감에 영향을 주는 요인은 유역 현황에 따라 다양하게 존재하지만 그 요인을 모두 고려하는 것은 매우 어려운 과정이므로, 이 연구에서는 공원녹지만이

유역 내 유출저감에 영향을 미치는 유일한 요인으로 가정하여 분석하였다.

이 연구에서는 저류기능이 추가된 공원녹지를 가상관망에 설치하였을 시 유출저감효과를 분석하기 위하여, ‘첨두유출률’과 ‘평균첨두유출률’을 정의하여 활용하였다. ‘첨두유출률’은 공원녹지 배치 Case별 첨두유출량과 공원녹지 설치 전의 첨두유출량에 대한 비율로 정의하였다. ‘평균첨두유출률’은 각 Case의 평가지점인 Damage Center에서

〈표 1〉 공원녹지의 점증배치방법 시나리오

Case 구분	내 용	점증배치 순서(노드 이름)				
		1번째	2번째	3번째	4번째	5번째
점증1	상류에서 하류로 5개의 공원을 점진적으로 배치, 상류에 집중배치되는 형태	M14	M13	M12	M11	M10
점증2	중류에서 상하류로 공원을 교차배치, 중류에 집중배치되는 형태	M07	M08	M06	M09	M05
점증3	하류에서 상류로 공원을 점진적으로 배치, 하류에 집중배치되는 형태	M01	M02	M03	M04	M05

〈표 2〉 공원녹지의 일괄배치방법 시나리오

구분		구성(개소)		
관망형태	Case 구분	Case 설명	상류부	중류부
수지형 (본선배치/ 지선배치로 구분)	수지(본/지)1	상류집중형	3	1
	수지(본/지)2	중류집중형	1	3
	수지(본/지)3	하류집중형	1	1
	수지(본/지)4	중상류치중형	2	2
	수지(본/지)5	중하류치중형	1	2
	수지(본/지)6	상하류치중형	2	1
	수지(본/지)7	균형배치형	2	2
방사형 (지선배치)	방사지1	상류집중형	3	1
	방사지2	중류집중형	1	3
	방사지3	하류집중형	1	1
	방사지4	중상류치중형	2	2
	방사지5	중하류치중형	1	2
	방사지6	상하류치중형1	2	1
	방사지7	상하류치중형2	2	1

의 첨두유출률을 평균한 것으로 정의하였다. 따라서 Case별 각 Damage Center의 수문곡선으로부터 첨두유출량과 첨두유출률을 구한다. 그 후 배치 Case별 각 Damage Center의 첨두유출률을 산술평균하여 평균첨두유출률을 계산하게 된다.

그러므로 특정 시나리오의 평균첨두유출률의 값이 작다는 것은, 그 시나리오로 공원녹지를 배치할 때 유출량이 상대적으로 작음을 나타내는 것이며, 그 값이 작을수록 유출저감효과가 우수하다는 것을 의미한다. 이를 통해 배치기법별 유출저감효과를 분석할 수 있다.

## 5. 모의실험설계

이 연구의 모의실험은 공원녹지의 저류방식을 저류효과가 비교적 크고 설치하기가 쉬운 Off-Line 저류방식으로 채택하였다. 또한 가상유역 내로 유입된 강우유출수는 해당 유역 내에서 모두 저류되며 유역 외부로의 유출수 유입은 없는 것으로 가정하였다.

공원녹지 배치에 따른 유출저감효과를 분석함에 있어서 이 연구에서는 도시지역의 유출량을 정량적으로 분석하기 위해 미국 EPA(Environmental Protection Agency)의 SWMM모형을 사용하였다. SWMM모형은 도시유역의 유출량 산정, 우수관거 추적, 저수지 추적 등을 통하여 우수관거와 저류지 설계 등과 같은 분석에 널리 사용되는 종합적인 유출해석모형이다(윤용남·정종호, 2011).

이 연구에서는 XP-SWMM 프로그램에 다음과 같은 매개변수를 적용하여 유출저감효과를 분석하였다. 유출분석을 위한 강우자료로는 서울관측소 지점의 1960년~2011년까지의 지속기간 60분의 확률강우량을 사용하였다. 확률강우량 산정방

법과 강우분포는 ‘설계홍수량산정요령(국토해양부, 2012)’에서 권장하는 Gumbel분포형과 Huff의 3분위를 채택하여 산정하였으며 강우강도식의 형태는 ‘확률강우량도 개선 및 보완연구(국토해양부, 2011)’에서 제시한 전대수다항식을 채택하였다. 계획빈도는 10년으로 설정하였다.

〈표 3〉 XP-SWMM의 기본 매개변수

구 분	내 용
강우자료	서울관측소 지점의 지속기간 60분 확률강우량
확률강우량 산정방법	Gumbel분포형(국토해양부, 2012)
강우강도식	전대수다항식(국토해양부, 2011)
강우분포	Huff의 3분위(국토해양부, 2012)
계획빈도	10년
홍수량 산정	비선형저수지방법

홍수량 산정방법으로는, 유역의 특성을 반영하여 비선형저수지방법을 채택하였으며 이때의 매개변수는 〈표 4〉와 같다.

비선형저수지방법의 매개변수에 있어서 불투수면적비율의 경우, 미국SCS에서 제시한 불투수면적비율이 있지만 이것을 우리나라의 토지이용특성에 그대로 적용하기에는 무리가 있다고 판단하였다. 이에 가상유역이 대부분 도시화가 진행된 유역이라는 가정하에 불투수면적비율을 90%로 설정하였다. 가상유역의 토양피복은 NRCS 수문학적 토양그룹 분류기준에 따라, 유출률이 가장 크고 침투율이 가장 낮은 D type으로 설정하였다. D type은 토양의 최소침투능이 2.5이고 최대침투능은 76(전양근 외, 2003)으로 대부분 점토질로

이루어진 배수가 대단히 불량한 토양을 의미한다 (환경부, 2013).

유역 평균경사의 경우 가상유역의 관거경사인 2%를 그대로 적용하였으며 관거 조도계수의 경우 하수도시설기준(한국상하수도협회, 2011)에서 제시하고 있는 Manning공식에 따라 조도계수(0.013~0.015)를 채택하여 적용하였다.

또한 하수관거의 제원에 있어서는 유역 내에서 모든 유출수를 저류하고, 외부유출이 생기지 않는 값을 설정하였다. 가상설치될 원형관의 경우, 관경의 최소값을 800mm, 최대값을 1,500mm로 설정하였으며 단면이 직사각형인 관은 바닥 × 높이의 값을 최소 1.5m × 1.0m로, 최대 4.0m × 2.0m로 설정하였다.

〈표 4〉 비선형 저수지방법의 매개변수

구분	내용
가상유역면적	90ha
불투수면적비율	90%
토양피복상태	D type(최소침투능 2.5mm/hr, 최대침투능 76mm/hr)
유역폭	비대칭인자를 적용하여 가유역폭 산정(100m~300m)
유역평균경사	가상유역의 관거경사 2%를 적용
관거조도계수	Manning 공식에 의한 조도계수(0.013~0.015)
관경	800~1,500mm
관거 제원 (바닥 × 높이)	1.5m × 1.0m ~ 4.0m × 2.0m
관 길이	100m

#### IV. 모의 실험 및 결과

##### 1. 점증배치 시나리오의 유출저감효과 분석

점증배치 시나리오의 모의는 수지형 관망의 본선배치의 경우에 한하여 수행되었다. 방사형 관망의 경우는, 본선에 해당하는 노드의 수(M00, M01, M02, M03, M04)가 배치될 공원녹지의 개수(5개)와 동일하고, 연속된 짧은 거리에 집중되어 있기 때문에, 본선의 점진배치에 따른 모사의 의미가 없다고 판단하여 수행하지 않았다.

이에 수지형 관망의 본선에 공원녹지를 점증배치하였을 경우에 대해 각 Damage Center(M10, M05, M00)에서의 첨두유출률과 평균첨두유출률을 산출하였다. 그 결과를 살펴보면(〈표 5〉), ‘점증1’의 평균첨두유출률의 값이 0.8890으로 가장 낮게 나타났다. 이는 상류에서 하류방향으로 5개의 공원녹지를 점진적으로 배치할 경우의 유출률이 88.9%라는 의미이며, 세 개의 Case 가운데 유출저감효과가 가장 우수하다는 것을 의미한다.

즉 ‘점증1’의 경우는 공원녹지를 상류에서 하류의 방향으로 점증적으로 개수를 증가시키며 배치하는 방식이므로, 수지형 관망의 본선에 공원녹지를 배치할 경우에는 하류보다는 상류에 우선적으로 배치하는 것이 유출저감효과에 유리하다는 것을 보여주는 결과이다.

〈표 5〉 점증배치 시 첨두유출률과 평균첨두유출률

첨두 유출률 Case	M10	M05	M00	평균
점증1	0.8215	0.9089	0.9366	0.8890
점증2	0.9965	0.9031	0.9314	0.9437
점증3	0.9951	0.9871	0.9303	0.9708

## 2. 일괄배치 시나리오의 유출저감효과 분석

5개의 공원녹지를 각기 다른 형태로 배치하는 일괄배치 시나리오 모의에서는 수지형 관망과 방사형 관망 모두에 대해서 수행하였다. 수지형 관망의 경우는 본선에 일괄배치하는 경우와 지선에 일괄배치하는 경우로 나누어서 모의 분석하였다. 반면 방사형 관망의 경우, 본선관거의 연장이 지선관거에 비해 크게 짧은 특징으로 인하여 본선과 지선에 5개의 공원을 균형 있게 배치하는 것이 불가능하여 지선에 일괄배치하는 경우에 대해서만 모의실험을 수행하였다.

### 1) 수지형 관망의 본선에 일괄배치

수지형 관망의 본선에 공원녹지를 일괄 배치하였을 경우를 살펴보면(〈표 6〉), 우선 '수지본1(상류집중형)'의 평균첨두유출률이 0.8449로 가장 작게 나타났다. 이는 상류에 공원녹지의 개수를 집중시켜 배치하는 것이 유출저감효과가 가장 우수하다는 것을 제시하는 것이다.

Damage Center별로 살펴보면, 상류부 Damage Center M10에서의 첨두유출률은 '수지본1(상류집중형)'에서 0.7950으로 가장 작게 나타났으며, 중류부 기준지점인 M05에서의 첨두유출률은 '수지본2(중류집중형)'에서 0.8506으로 가장 작게 나타났다. 마찬가지로 유역 출구지점인 M00에서의 첨두유출률은 '수지본3(하류집중형)'에서 0.8627로 가장 작은 값이 나타났다. 이 결과는 공원녹지의 위치가 Damage Center에 가까울수록 유출저감효과가 우수한 것을 나타내는 것이다.

### 2) 수지형 관망의 지선에 일괄배치

수지형 관망의 지선에 공원녹지를 일괄 배치하였을 경우를 살펴보면(〈표 7〉), 상류집중형보다

아주 미세한 차이로 '수지지7(균형배치형)'의 유출저감효과가 가장 우수한 Case로 나타났다(평균첨두유출률 0.8316).

〈표 6〉 수지형 관망의 본선 일괄배치 시 첨두유출률과 평균첨두유출률

Case \ 첨두유출률	M10	M05	M00	평균
Case	M10	M05	M00	평균
수지본1 (상류집중형)	0.7950	0.8599	0.8797	0.8449
수지본2 (중류집중형)	0.9254	0.8506	0.8672	0.8811
수지본3 (하류집중형)	0.9265	0.9233	0.8627	0.9042
수지본4 (중상류집중형)	0.8555	0.8535	0.8711	0.8601
수지본5 (중하류집중형)	0.9226	0.8834	0.8619	0.8893
수지본6 (상하류집중형)	0.8545	0.8880	0.8669	0.8698
수지본7 (균형배치형)	0.8647	0.8612	0.8527	0.8595

〈표 7〉 수지형 관망에서 지선 일괄배치 시 첨두유출률과 평균첨두유출률

Case \ 첨두유출률	M10	M05	M00	평균
Case	M10	M05	M00	평균
수지지1 (상류집중형)	0.7826	0.8537	0.8699	0.8354
수지지2 (중류집중형)	0.9263	0.8560	0.8709	0.8844
수지지3 (하류집중형)	0.9290	0.9298	0.8711	0.9100
수지지4 (중상류집중형)	0.8634	0.8580	0.8726	0.8647
수지지5 (중하류집중형)	0.9289	0.8904	0.8733	0.8975
수지지6 (상하류집중형)	0.8592	0.8921	0.8729	0.8747
수지지7 (균형배치형)	0.7927	0.8566	0.8455	0.8316

또한 상/중/하류 각각의 Damage Center인 M10, M05, M00에서 가장 작은 첨두유출률을 나타낸 것은, 각각 ‘수지지1(상류집중형)’, ‘수지지2(중류집중형)’, ‘수지지3(하류집중형)’의 시나리오였다. 이는 공원녹지를 배치할 시, 본선의 일괄배치 결과와 마찬가지로 Damage Center에 최대한 가까이 집중하여 배치하는 것이 유출저감효과를 높일 수 있다는 것을 나타내는 결과이다.

### 3) 방사형 관망의 지선에 일괄배치

방사형 관망의 지선에 공원녹지를 일괄배치하여 모사한 결과를 살펴보면(〈표 8〉), 평균첨두유출률로 볼 때 ‘방사지7(상하류치중형2)’의 공원녹지 배치형태가 가장 우수한 저감효과를 보였다. 즉, 이 연구에서 가정한 방사형 관망의 경우, 하류부에 집중하는 것보다는 상류부와 하류부에 균형있게 배치하는 것이 유출저감 측면에서 더 효과적임을 보여주었다.

〈표 8〉 방사형 관망에서 지선 일괄배치 시 첨두유출률과 평균첨두유출률

Case	첨두유출률	M04	M03	M02	M01	평균
방사지1 (상류집중형)	0.822	0.845	0.874	0.886	0.857	
방사지2 (중류집중형)	0.829	0.849	0.877	0.891	0.861	
방사지3 (하류집중형)	0.817	0.841	0.873	0.889	0.855	
방사지4 (중상류치중형)	0.821	0.841	0.874	0.889	0.856	
방사지5 (중하류치중형)	0.825	0.844	0.877	0.889	0.859	
방사지6 (상하류치중형1)	0.822	0.842	0.876	0.888	0.857	
방사지7 (상하류치중형2)	0.788	0.810	0.846	0.862	0.826	

공원녹지와 Damage Center의 근접 정도에 따른 유출저감효과의 차이를 분석하기 위하여 상하류치중형을 2가지 Case로 나누어서 모의하였다. 그 결과 공원녹지의 위치가 Damage Center에 가까운 ‘상하류치중형2’가 ‘상하류치중형1’에 비해 낮은 평균첨두유출률을 보여주었다. 이 결과 역시 공원녹지가 Damage Center에 가까울수록 유출저감에 더 효과적임을 보여주는 결과이다.

## V. 결론 및 시사점

이 연구에서는 도시지역의 배수구역 내에서 빗물유출저감 기능을 분담할 수 있는 공원녹지를 대상으로, 기존 공원녹지에 방재기능을 추가하거나 새로운 공원녹지를 설치할 시, 유출저감 측면에서 가장 효과적인 공원녹지 배치기법을 분석하였다. 이를 위하여 가상의 유역에 수지형 관망, 방사형 관망을 구성하여 관망별 공원녹지 배치 시나리오를 구성하였다. 수지형 관망에서는 공원녹지의 수를 늘려가며 배치하는 점증배치 시나리오 3개와 공원녹지 5개소를 상류/중류/하류에 각각 집중배치하는 일괄배치 시나리오 7개를 모사하였다. 한편 방사형 관망에서는 일괄배치 시나리오 7개를 모사하였다.

수지형 관망의 경우, 공원녹지를 유역 내 점증적으로 배치를 한다면(점증배치방법), 상류에서 하류로 점증배치하는 것이(점증1) 빗물유출을 저감하는 데 가장 효과적인 것으로 분석되었다. 또한 공원녹지를 한꺼번에 배치한다면(일괄배치방법), 수지형 관망의 본선에 배치할 경우, 상류부에 집중배치하는 것이(수지본1: 상류집중형) 유출저감효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 반면 지선에 배치할 경우는 상류/중류/하류에 골고루 배치하

는 것이(수지지7: 균형배치형) 높은 유출저감효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 한편 방사형 관망의 지선에 공원녹지를 일괄배치하는 경우는, 상류 및 하류에 균형 있게 배치하면서 Damage Center에 근접하여 배치하는 것이(방사지7: 상하류치중형2) 우수한 유출저감효과를 나타낼 수 있는 배치방법으로 분석되었다.

이상과 같은 결론을 통해서, 첫째, 상류부에 빗물유출저감형 공원녹지를 배치하는 것이 유역 전체적으로 첨두유출을 저감시키는 데 유리하다는 것과, 둘째, 가능한 Damage Center 근처에 공원녹지를 설치하는 것이 유출저감효과에 효과적이라는 시사점을 얻을 수 있었다.

이 연구의 분석결과는, 도시유역에서 공원녹지를 신규로 배치하는 경우뿐만 아니라 기존 공원녹지에 유출저감기능을 추가하여 리모델링할 경우에 있어서도, 공원녹지의 개별적 설치위치 및 전체적인 배치형태를 결정하는 데 중요한 지침으로 활용될 수 있다. 또한 광장, 학교 등 유출저감기능을 갖출 수 있는 각종 공공시설의 위치 결정기준으로도 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 강상준 · 권태정, 2013, “도심 빗물저류용량 증대를 위한 도시계획시설 활용에 관한 연구”, 「GRI연구논총」, 15(2): 148~158.
- 국토해양부, 2011, 「화률강우량도 개선 및 보완연구」, 국토해양부.
- 국토해양부, 2012, 「설계홍수량 산정요령」, 국토해양부.
- 권영상 · 황영삼 · 김민정 · 정필성, 2013, “도시방재기능 강화를 위한 학교시설 계획방향: 기후변화에 따른 폭우대비를 중심으로”, 「한국도시설계학회지」, 14(4): 55~71.
- 김지태 · 권옥 · 김영복 · 김수전, 2006, “도시유역의 분담 저류 방식에 따른 유출저감특성 분석”, 「한국수자원학회논문집」, 39(11): 915~922.
- 박창열 · 유철상 · 신상영 · 손은정, 2013, “지구내 저류시설의 유출저감효과 정량화 및 적정용량 결정”, 「한국방재학회논문집」, 13(4): 257~266.
- 심우배 외, 2010, 「기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안연구(Ⅱ)」, 국토연구원.
- 심재현, 2001, 「우수유출저감시설 설치기법 연구(Ⅳ)」, 국립재난안전연구원.
- 윤용남 · 정종호, 2011, 「수자원설계실무」, 구미서관.
- 이재웅 · 유희상, 2001, “선형결정규칙과 추계학적 동적계획법을 이용한 저수지 규모결정 및 운영에 관한 연구”, 「대한토목학회논문집」, 21(2): 93~100.
- 이재준 · 김호년, 2008, “도시유역 저류지 위치에 따른 우수유출저감효과 분석”, 「대한토목학회논문집」, 28(5B): 535~546.
- 이재준 · 심재현 · 김지태, 2008, 「방재학개론」, 동화기술.
- 이정식 · 이재준 · 김규호 · 오석호, 1995, “도시유역에서 자체저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구”, 「한국수자원학회논문집」, 28(2): 159~173.
- 전양근, 2003, 「초기강우에 따른 비점오염물질 사전처리 기술개발」, (주)환경시설관리공사.
- 한국상하수도협회, 2011, 「하수도시설기준」, 도서출판건설도서.
- 한국수자원학회, 2005, 「하천설계기준·해설」, 한국수자원학회.
- 한무영 · 금소윤 · 문정수 · 곽동근, 2012, “빗물저류조의 분산배치에 따른 첨두유출 저감효과 분석: M마을 사례”, 「한국수자원학회논문집」, 45(1): 65~73.
- 환경부 · 한국환경공단, 2013, 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」, 환경부.
- Bennett, M. S. and Mays, L. W., 1985, “Optimal design of detention and drainage channel systems”, *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 11(1): 99~112.
- Emerson, C. H., Welty, C. and Traver, R. G., 2003, “Application of HEC-HMS to model the additive effects of multiple detention basins over a range of

- measured storm volumes”, *World Water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia 2003*.
- Endreny, T. and Collins V., 2009, “Implications of bioretention basin spatial arrangements on stormwater recharge and groundwater mounding”, *Ecological Engineering*, 35: 670~677.
- Wang, M., Chuang, Y. and Huang, C., 1990, “Size sensitivity of detention ponds for mountain areas”, *Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Osaka, Japan*, 689~694.
- Yao, L., Chen, L., Wei, W. and Sun R., 2015, “Potential reduction in urban runoff by green spaces in Beijing: A scenario analysis”, *Urban Forestry & Urban Greening*, 14: 300~308.

원고 접수 일 : 2015년 5월 11일

1차심사완료일 : 2015년 6월 3일

최종원고채택일 : 2015년 6월 26일