

단지개발에 있어 강수량 지하침투 증대를 위한 침투시설의 도입가능성 연구

- 분당신도시 사례를 중심으로 -

김두하* · 박원규* · 안동만**

*서울대학교 박사과정 · **서울대학교 조경학과 교수

Increasing Infiltration with Pervious Drainage facilities

- The Effect of Simulation in Bun-Dang New Town, Korea -

Kim, Doo-Ha* · Park, Won-Kyu* · Ahn, Tong-Mahn**

Dep't. of Landscape Architecture, Seoul National University

ABSTRACT

As a site is built up, runoff increases inevitably. This results in water deficit in the site and possible downstream flooding. It may cause irreversible site ecosystem disturbance. This study examined some techniques of increasing infiltration rates in a site development. The possible effects of applying such techniques at a new town development are calculated for four types of land uses - business area, low/high density residential areas, and park area - of Bun-Dang New Town. If the higher infiltration drainage systems are introduced, there may be additional infiltration of the precipitation as much as 59.8% in business area, 74.6% in low density residential area, 51.4% in high density residential area and 32.7% in park area. This much increase of infiltration, or decrease of runoff, may improve site water balance, and thus keep the site ecosystem much healthier.

I. 서론

도시화와 주거단지의 지속적인 개발로 인한 자연녹지감소와 불투수성 시설이나 인공포장면적의 증가는 우수와 관련된 여러가지 환경적인 문제점을 야기하고 있으며 생태계 불안정의 원인이 되고 있다. 우수의 지하침투량 감소로 인한 지하수 고갈이나, 자연적인 물순환 체계를 거치지 않은 인위적 우수배출은 자연적 기화작용을 통한 대기냉각효과를 감소시키고, 도시의 열섬화, 건조화 현상을 일으킨다(Hough, 1995). 그리고 우수가 일시에 하수도로 유출되므로써 발생하는 하천유량의 급격한 변동은(한국건설기술연구원, 1995) 도시형 홍수와 토양침식, 수질오염의 원인이 되어 결국 자연상태의 연못, 늪지, 식생, 야생동물 서식처 등이 완전히 파괴되는 결과 초래하고 있다.

우리나라 연평균강수량은 세계평균의 1.3배에 달하고 있으나 1인당 강수량은 약 3,000m³로서 세계평균의 11분의 1에 불과하며 강수량의 3분의 2가 6-8월 사이에 집중되어 큰 홍수와 함께 대부분 바다로 유출된다(건설부, 1994). 따라서 우수의 인위적인 처리량이 높아지고 결과적으로 그 처리시설 비용도 증가하게 된다.

생태적 수환경 조성은 대기오염을 방지하고 날로 고갈되어가는 지하수를 확충함으로써 다양한 생태적 경관의 연출은 물론 도시의 미관을 향상시키고 열섬화, 건조화에 따른 인위적 부가적 에너지의 투입을 줄이게 되어 결국 수자원의 절약과 과도한 중수의 처리시설부담도 줄이는 등 경제적 파급효과를 기대할 수 있다.

이를 위하여 자연배수체계의 확보, 범람원 및 습지지역 보호, 자연적 형태의 수로 혹은 하천의 조성, 수변 식생대 조성, 하천변의 생태적 처리 등 다양한 방법을 동원할 수 있을 것이다. 자연배수체계의 확보는 지하수를 재충전시키고 지표유출수의 유속을 감소시켜, 우수의 일시적 하천유입을 완화시킬 수 있고, 범람원과 습지지역을 보호함으로써 홍수조절 및 유

속의 조절, 수질개선 등을 도모할 수 있을 것이다. 그리고 수변식생대의 조성, 하천변의 생태적 처리를 통한 자연형 수로나 하천 조성은 생물의 서식공간을 확대(Glaister, 1992)하게 되고 나아가 자연의 정화기능을 복원 할 수 있을 것이다.

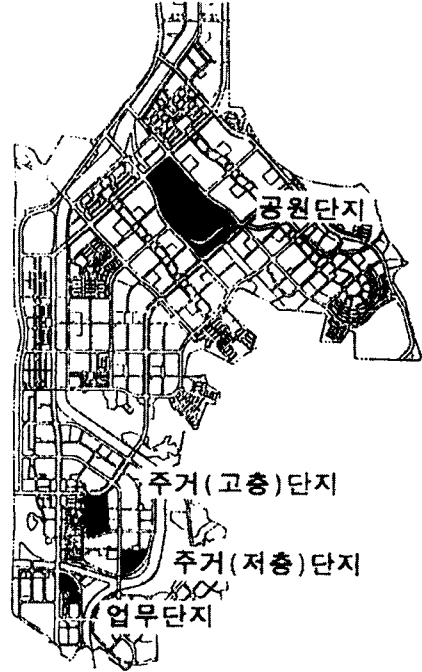
이들 중 도시에서 가장 시급히 요구되는 것은 지표면 우수유출량의 저감을 통한 지하수량의 확충이며, 이를 위하여 지표면 우수유출량을 어떻게 저감할 것인가에 대한 방안의 마련이다. 따라서 본 연구에서는 도시개발밀도와 비례하는 불투수포장면적의 증가에 따라 악화된 수환경을 개선할 수 있는 실제적 방법-단지내 우수의 지하침투량의 증가를 통하여 유출량을 감소시킬 수 있는 현실적 기법-을 선정하고 사례부지에 적용하여 그 효과를 시험하고자 한다.

II. 연구사

전성우(1993)는 생태도시차원에서 물의 다양성, 순환성, 안정성 및 자립성 제고를 위한 지침을 정리하였다. 한국건설기술연구원(1995)은 자연조건의 활용을 통한 건축과 자연환경이 조화를 이루는 계획 및 설계기법을 제시하였다. 한국토지공사(1996)는 대규모 단지조성계획에서 친수공간, 물순환 및 환경친화적 계획기법을 제시하였다. 대한주택공사(1993)는 쇄석공극을 이용한 지하유수지 공법에 관한 시험적 시공을 통해 유역내 강우 유입수의 지반침투, 쇄석공극의 저류효과 및 홍수조절기능을 확인하였다. 市川 新(1988)은 도시에서 물의 순환의 중요성을 역설하고, 도시내 우수유출억제를 위한 투수성 포장과 우수침투시설의 도입 사례와 평가방법을 제시하였다. 한국토지개발공사(1993)는 자연투수면적의 증가와 투수성 포장의 설치에 따른 지하수 함양의 효과를 清水陸行(1992)의 자료에 근거하여 제시하였다. 서울중계지구와 5개지구에 대하여 기존설계의 포장면적을 계산하고 투수성 포장면적의 가정

수치를 대입한 결과 개선안은 기존설계에 비해 약 2.5배의 지하수 함양효과가 있는 것으로 기술하고 있다. 서울시정개발연구원(1995)은 서울시 수해방지대책 차원의 침투홍수량 조절을 위한 저류 및 침투시설의 설치실효성에 대해 고찰하였다. 시설의 설치위치에 따른 홍수량 저감효과를 분석하고, 시설의 종류와 지점에 대한 기본원리를 제시하였다. 「Chester」(1972)는 도시지역의 수질보호 측면에서 불투수성 포장과 환경오염의 밀접한 관계를 사례를 들어 설명하고, 토지이용계획이나 단지 및 조경설계시 불투수성 포장면적을 줄여 수질오염을 줄일 것을 역설하고 있다.

이와같이 침투량 증가의 필요성과 그 방법에 대한 관심과 연구가 최근 증대하고 있다.



<그림-1> 단지별 토질특성

Ⅲ. 연구 방법

1. 연구대상지

대상지는 경기도 성남시 분당구 신도시지역 (전체면적 19,675천㎡:5,951천평) 중 토지이용상 대표적 유형인 업무, 고밀도주거(아파트), 저밀도주거(연립주택) 및 공원단지를 각 1개소씩 선정하였다.

1.1 단지별 공간구성현황

단지별 공간구성현황은 <표.1>과 같고, 단지 내 투수가능공간 면적(지붕, 차도 제외면적)은 업무단지의 경우 43.6% 주거단지(고층) 60.7%, 주거단지(저층) 36.6%, 공원녹지 59.3%(보존녹지포함 85.0%)로 나타났다.

<표. 1>사례지역(경기 성남 분당 신도시지역)단지별 공간구성 현황

(단위 : ㎡)

| 구 분 | 업무단지 | | 주거단지(고층) | | 주거단지(저층) | | 공원녹지 | |
|------|--------|-------|----------|-------|----------|-------|---------|-------|
| | 면적 | 비율 | 면적 | 비율 | 면적 | 비율 | 면적 | 비율 |
| 부지면적 | 37,998 | 100.0 | 57,093 | 100.0 | 54,946 | 100.0 | 469,186 | 100.0 |
| 건축 | | | | | | | | |
| 지붕면적 | 12,251 | 32.2 | 8,965 | 15.7 | 20,770 | 37.8 | 4,120 | 0.9 |
| 포장 | | | | | | | | |
| 차도 | 3,604 | 9.5 | 2,547 | 4.5 | 11,567 | 21.1 | 48,204 | 10.3 |
| 주차장 | 5,459 | 14.4 | 10,912 | 19.1 | 2,474 | 4.5 | 3,751 | 0.8 |
| 보도 | 6,240 | 16.4 | 8,040 | 14.1 | 412 | 0.7 | 21,888 | 4.7 |
| 광장 | 720 | 1.9 | - | - | 654 | 1.2 | 26,316 | 5.6 |
| 녹지 | | | | | | | | |
| 개발녹지 | 7,894 | 20.8 | 22,942 | 40.2 | 17,660 | 32. | 51,260 | 10.9 |
| 보존녹지 | - | - | - | - | - | - | 296,411 | 63.1 |
| 수경 | | | | | | | | |
| 연못 | 102 | 0.3 | - | - | - | - | 13,950 | 3.0 |
| 기타 | | | | | | | | |
| 체육시설 | 1,728 | 4.5 | 2,028 | 3.6 | - | - | 3,286 | 0.7 |
| 놀이터 | - | - | 1,559 | 2.8 | 1,409 | 2.6 | - | - |

(자료: 대한주택공사, 1995: 건원건축, 1993/1994: 한국토지개발공사, 1990)

〈표. 2〉 단지별 토질특성

| 구분 | 업무단지 | 주거(고층) | 주거(저층) | 공원 |
|------|--------|--------|--------|-------|
| 위치 | 구미동 | 구미동 | 구미동 | 서현동 |
| 지반특성 | 질토부 | 질토부 | 질토부 | 질토부 |
| 토성 | 실트질모래 | 실트질모래 | 실트질모래 | 실트질모래 |
| | 산흙 개량 | 산흙 개량 | 산흙 개량 | |
| 지하수위 | 12m 이하 | 10m 이하 | 10m 이하 | 5m 이하 |

자료 : 한국토지개발공사, 1991

1.2 단지토질현황

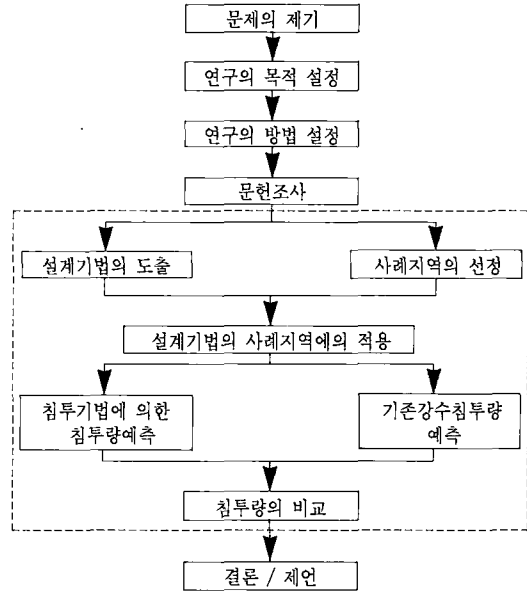
연구대상지 4개소의 공사계획레벨의 지표부 토질은 실트질 모래나 조립-세립질 모래로 구성되어 있으나 업무, 주거단지의 경우 건설공사시 산흙으로 치환되었고 지하수위는 공원지역이 5m, 나머지 3개 지역은 10m이하로서 우수의 지하침투에 지장이 없는 것으로 나타났다(표. 2).

2. 연구의 과정

본 연구는 우수의 지하침투량을 증가시킬 수 있는 설계기법을 도시내 업무 및 주거단지개발 사례대상지에 적용할 경우 기대되는 효과를 예측하여 기존의 배수관거방법과 비교하고자 한다.(그림 2)

침투량의 예측은 1994년 서울지역의 월별 강수량을 기본자료로 하여 몇가지 가정하에 계산치를 비교하였으며 그 방법은 다음과 같다

첫째, 기존 침투량의 산출방법은 먼저 사례지역별 면적에 따른 연간 집수량을 구하고 나서 각 단지별 토지이용을 고려한 평균유출계수를

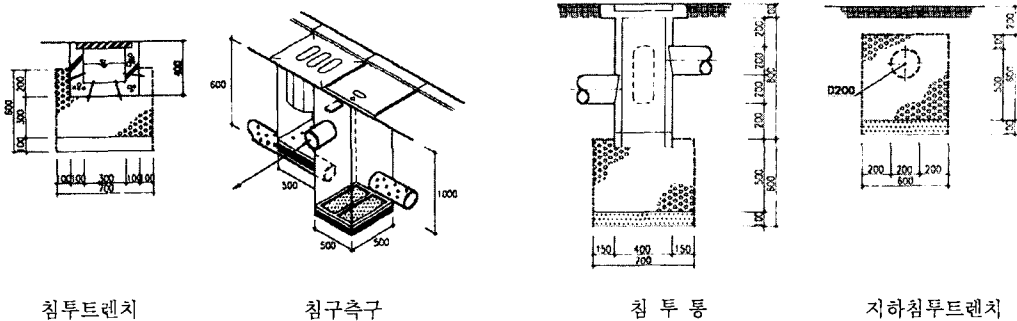


〈그림. 2〉 연구의 과정도

적용하여 연간 순수유출량을 산출하였다. 단지별 연간 집수량에서 연간 유출량을 뺀 잔여수량을 연간 침투증발량으로 산정하였다.

둘째, 수립된 기법을 적용한 결과 예상되는 침투량의 산출은 단지별로 토질 상태를 고려한 침투계수를 설정하여 침투시설별 시간당 침투량을 산출하고, 이에 따른 각 단지별 시설별 침투량을 구하였다. 이 침투량을 근거로 단지별 연간 침투량을 구하는 과정을 거쳤다.

이상의 과정을 거친 각각의 침투량을 단지별 월별로 나누어 산출하고 그 결과를 비교하였다.



〈그림. 3〉 침투시설 상세도 (서울시정연구원, 1995, 市川 新, 1988)

IV. 연구의 결과

1. 우수유출량 저감 설계기법

1.1. 기법의 분류

우수유출량 저감기법은 우수저류기법과 우수 침투기법의 두가지로 나눌 수 있다.

우수저류기법은 침투우수유출량을 저감시키지만 총유출량의 감소에는 별 의미가 없다. 반면 우수침투기법은 물은 지하로 침투시켜 우수 유출량의 절대량을 감소시킨다. 우수침투기법은 현지처리를 원칙으로 하며 우물법, 확수법, 쇄석공극저류법(침투와 저류겸용)등으로 다시 나눈다(서울시정개발연구원, 1995).

본 연구에서는 실험대상지가 도시라는 입지적 여건을 감안하여 단지개발시 설계에 적용할 수 있는 실용적 방법으로 우수침투기법의 하나인 확수법의 적용가능성을 검토하기로 한다. 이 방법은 우수를 완전히 단지 밖으로 배제하는 기존의 방식과 연계하여 사용하기에 용이하면서도 유출량을 저감시킬 수 있는 방법으로 생각되기 때문이다.

1.2. 침투시설의 종류

1) 침투시설

① 침투트렌치

측구의 저면을 쇄석과 모래를 충진한 트렌치로서 말단부에 무늬기(weir)를 설치하여 배수

관이나 여타 침투시설과 연결한다.

② 침투측구

침투형 우수매스(mass)라고도 불리며 도로변 L-형측구에 집수된 우수를 배수, 침투시키는 시설로 지하침투트렌치와 연결하여 사용한다. 토사에 의한 기저부의 응결을 막기 위해 통을 2중 구조로 만들어 각기 우수를 침투시키며, 잉여수는 지하침투트렌치로 유출시킨다.

③ 침투통

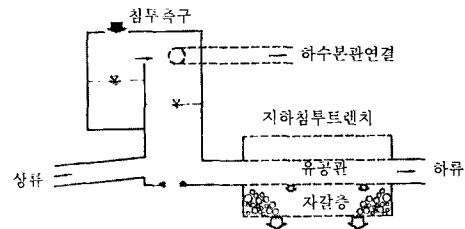
배수통의 저면에 쇄석, 모래를 충진한 구조로 하부에서 우수를 지중으로 침투시키며, 타 배수시설과 연결하는 배수관을 설치한다.

④ 지하침투트렌치

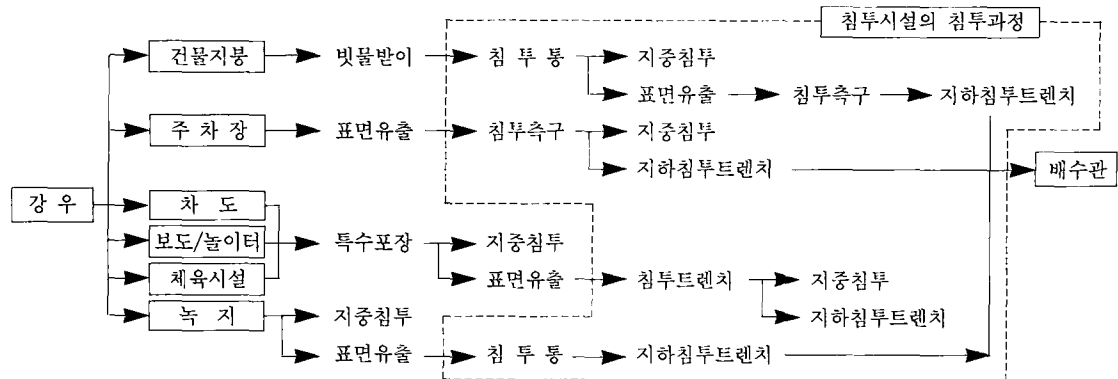
지표면에 매설된 유공관을 통하여 여러 침투시설을 연결하고 동시에 우수를 지중에 직접 침투시키는 시설로서 건물주변의 녹지나 광장에 침투통이나 침투측구와 조합하여 설치한다.

⑤ 시설간 연결체계

침투측구와 지하침투트렌치의 연결관계는 <그림.5>와 같다.



<그림. 5> 시설간 연결체계 (市川 新, 1988)



<그림. 4> 침투시설 체계도

2) 침투성 포장

우수를 지중에 분산침투시키는 포장으로 보도나 자동차 통행이 적은 접근로, 주차장 등에 사용하며 포장단면상 표층이나 노반의 공극은 설계저류량으로 생각할 수 있다. 국내에서는 투수콘, 투수콘크리트, 투수성 합성수지 포장재, 수지볼타르 투수성포장 등이 쓰이고 있으며 지속적인 기능유지를 위하여 주기적으로 고압세정 청소를 실시해야 한다. 투수면의 막힘은 경과년수에 크게 관계없고, 환경조건의 영향이 크다.

1.3. 침투시설의 배치 계통

강우지역은 건물(지붕면), 포장면(차도, 주차장), 보도, 광장, 체육시설, 놀이터 및 녹지구역으로 구분하며 우수침투와 관련된 구역의 포장마감상태는 단지에 따라 다소 상이하게 구성되어 있다. 통상 우수는 지표면에 떨어진 후 일부 녹지 등을 통해 지중침투되거나 증발되고 잔여수량은 배수관거를 통해 배수된다. 하지만 배수이전단계에 위의 침투시설을 도입함으로써 배수량의 상당 부분을 지중으로 침투시킬 수 있다. 즉 <그림.4>과 같이 건물의 지붕에서 유하하는 우수는 우수통을 지나 침전지에 유입시키며 포장이나 녹지의 표면유출수는 침투시설을 통하여 지중에 침투시킨다.

또한 단지전반의 고른 우수침투와 침투효율 증대를 위하여 포장지역 중 침투성 포장으로 대체가 가능한 부분은 교체하는 것이 필요하나 본 연구에서는 침투성 포장은 제외하고 침투시설의 도입가능성 측면으로 연구를 진행하였다.

<표. 3> 시설배치기준

| 시설명 | 설치위치 | 설치기준 |
|-------------|---------------|---|
| 침투통 | 지붕, 녹지대 | 지붕165-330㎡당 1개소 설치 녹지 200-500㎡당 1개소 설치 |
| 침투트렌치 | 광장/보도 운동시설 | 공간의 경계부에 배수트렌치 형식으로 설치 |
| 침투축구 | 주차장, 차도 | 포장면적 165-330㎡당 1개소 설치 |
| 지하침투 트렌치 | 지하부 | 침투시설간이나 침투시설-배수 관거간에 설치 |

1.4. 침투시설의 배치 기준

침투시설은 각 공간의 기능이 원활히 유지되도록 설치되어야 하며 본 연구에서 다루는 4종의 시설은 일반 하수관거의 계획에서 시행되는 유형에 맞도록 <표.3>과 같이 하였다.

2. 기법의 적용

2.1. 적용 범위

본 연구에서는 평상강우시 우수의 유출을 최대한 억제하고 침투량을 증가시킴으로서 단지내 수환경공간을 친환경적으로 개선하기 위한 침투시설의 도입효과를 검토하는 데 그 목적이 있다. 따라서 침투시설의 용량을 초과하는 우수는 하수관거를 통하여 부지 외부로 유출시키도록 하며 평상강우시의 단지내 우수침투량의 증가율을 기존의 하수관거방식과 비교 측정하였다.

2.2. 기법의 적용

대상지의 지형, 지질, 및 토양의 기초자료를 조사하여 침투시설의 설치가능성을 검토한 이후 시설의 유형별 배치계획을 수립하였다.

침투현상은 물의 토양면 유입, 토양내부로의 이동 및 토양내 저류용량의 고갈의 3단계 과정을 거쳐 이루어 지게 되며 이들 각단계에 영향을 미치는 주요인자는 토양의 종류, 지하수 깊이, 토양의 다짐정도 및 식생피복 상태이다(윤용남, 1985). 즉, 토양의 점토분의 비율이 40% 이상이거나 지하수 깊이 50cm 미만, 투수계수가 10-5cm/s 이하, 공극이 10% 이하로 잘 다져진 경우는 투수성이 극히 미약하기 때문에 침투시설의 설치가 곤란하며, 지형적으로 부적절한 경우는 축적저지, 인공개변지, 구하도(F1河道) 및 습지 등이 해당된다(山本晃, 1992).

기 제시된 설계기법에 의해 각 사례단지별 배수계획을 수립하고 침투시설의 수량을 산출하였다.

3. 우수침투량 추정

3.1 기법적용 전 우수침투량

1) 하수도계획

연구대상지의 하수도계획은 1991년 신도시 개발 당시 성남시(분당) 하수도정비기본계획(1990.5)과 토지이용계획에 의한 각 단지별 배수계획에 의해 완성되었다. 우수유출량계산은 1984년 성남시가 채택한 李元煥방식의 강우강도를 이용하여 合理式으로 계산되었고, 간선관거 10년 지선관거 5년의 확률빈도를 적용한 것으로 나타났다.

2) 단지별 연간 우수침투량

연간침투량을 추정하기 위하여 토지이용별 유출계수는 건설부제정 「하수도시설기준」을 참조하여 지붕, 차도 및 주차장 0.9, 보도 및 광장 0.7, 체육시설 및 놀이터 0.3, 녹지 0.2, 수면 1.0으로 설정하고 연간강수량은 1,055.8mm(기상청, 1994)를 기준으로 하였다.

〈표. 4〉 단지별 연간 침투증발량(단위 : m³)

| 구분 | 업무단지 | 주거단지(교충) | 주거단지(지중) | 공원* |
|------------|--------|----------|----------|---------|
| 단지평균 유출계수 | 0.69 | 0.55 | 0.66 | 0.63 |
| 단지연간 집수량 | 40,118 | 60,279 | 58,012 | 182,415 |
| 연간유출량 | 27,681 | 33,153 | 38,288 | 114,921 |
| 연간** 침투증발량 | 12,437 | 27,126 | 19,724 | 67,494 |

*보존녹지를 제외한 유출율이며 면적은 172,775m²임

**연간집수량에서 연간유출량을 제외한 수량임

〈표. 5〉 서울지역 월별 강수량(단위 : mm)

| 구분 | | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 계 |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 강수량 | 강수량 | 6.5 | 14.8 | 31.7 | 44.9 | 152. | 85.0 | 139. | 232. | 60.7 | 214. | 49.6 | 23.5 | 1,055.8 |
| | 강수일 | 11 | 7 | 9 | 4 | 15 | 11 | 16 | 13 | 11 | 13 | 9 | 10 | 129 |
| 일 7mm이하 강수량 | 강수량 | 6.5 | 7.4 | 4.4 | 1.5 | 12.1 | 4.4 | 22.5 | 3.7 | 16.9 | 13.1 | 17.8 | 14.1 | 124.4 |
| | 강수일 | 11 | 6 | 7 | 3 | 9 | 8 | 13 | 6 | 8 | 7 | 8 | 9 | 95 |
| 일 7mm초과 강수량 | 강수량 | - | 7.4 | 27.3 | 43.4 | 140. | 80.6 | 117. | 229. | 43.8 | 201. | 31.8 | 9.4 | 931.4 |
| | 강수일 | - | 1 | 2 | 1 | 6 | 3 | 3 | 7 | 3 | 6 | 1 | 1 | 34 |

자료 : 기상청(1994), 기상월보 1-12월

이 자료를 토대로 기존의 단지별 연간 집수량 및 침투증발량을 구하면 다음 〈표.4〉와 같다.

3.2. 기법적용 후 우수침투량

1) 투수계수 결정

침투유량을 알기 위한 투수계수를 결정하는 방법에는 실내투수시험, 현장투수시험 및 경험식에 의한 방법이 있다(김팔규 외, 1986). 본 연구는 시공을 위한 침투시설의 설계가 목적이 아니고 기시공지역에 대한 대안적 평가를 위해 투수계수를 필요로 하는 바 문헌상 토양별 시험결과치를 현장여건을 감안하여 투수계수로 사용하였다.

2) 침투량 계산

본 연구에서는 일본에서 사용되는 경험에 의한 계산방법(柴田 道生, 1983) 중 지하수가 깊은 경우의 산식을 사용하여 대상단지별 침투시설의 단위 침투량을 산정하였다.

〈표. 6〉 토사의 투수계수(김팔규 외, 1986)

| k(cm/s) | 10 ² | 10 ¹ | 10 ⁰ | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ |
|---------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 토사의 종류 | 자갈, 매우 조립한 모래 | 자갈과 모래가 섞여있는 경우 | 중간 모래와 실트 혼합토 | 실트점토, 실트성/점성있는 세립모래와 실트 | | | | | | | | |
| 시험법 | 정수위실험(현장우물, 양수실험) | | 변수위실험 | | | | | | | | | |

① 지하수위가 깊은 경우 $q = k * (B + 2H)$

② 지하수위가 낮은 경우 $q = k * (B - 2H)$

q : 침투량(cm³/sec) k : 침투계수(cm/sec)

B : 수로폭(cm) H : 수심(cm)

<표. 7> 시설별 단위침투량

| 구분 | 규격(cm) | 단위 | 시간당 침투량(t/hr) | |
|---------|-----------|----|------------------------|--------------------------|
| | | | k=10 ³ cm/s | k=5×10 ³ cm/s |
| 침투통 | 40×40×80 | 개소 | 43 | 22 |
| 침투트렌치 | 40×40×80 | m | 69 | 35 |
| | 70×70×60 | | | |
| 침투축구 | 50×50×60 | 개소 | 18 | 18 |
| | 50×50×100 | | | |
| 지하침투트렌치 | 60×70×L | m | 58 | 29 |

위의 공식에 의거 침투시설의 유형별 단위침투량은 <표.7>과 같다.

4. 적용 결과의 고찰

4.1. 단지별 월별 침투량 추정

침투시설 도입전후의 단지별 침투량을 월별로 비교하기 위하여 다음과 같이 전제하였다.

1) 강수집수량

단지내 강수되는 총량이며 단지면적과 월강수량을 곱하여 월강수집수량을 산정한다.

2) 기존침투증발량

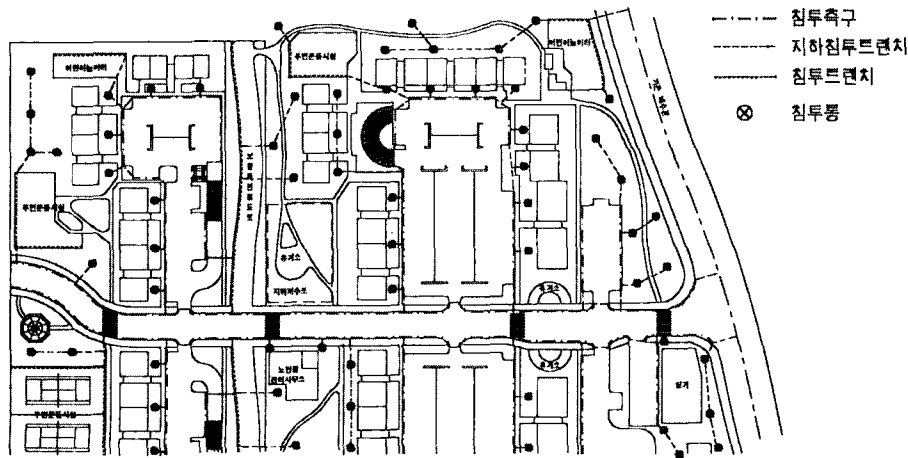
유출량을 산정하는 데 사용되는 유출계수 C는 배수유역내 우수유출량의 감소요인인 식물

에 의한 유출장애, 지표면 침투, 지표굴곡에 의한 저류 및 증발산 수량등 유출량 손실을 감안하여 설정된 유출율의 개념이다(ASCE & WPCF, 1972). 따라서 기존의 배수관거방식 하에서도 침투, 증발 등 유출되지 않는 강수량을 연간침투증발량이라 할 때 이 수량은 「연간강수량×(1-단지평균유출율)」의 결과로 산정할 수 있다(표.4). 즉 연간 총강수량 중 강수시 하수관거로 유출량이 발생되지 않는 일7mm이하(서울특별시, 1984) 강수일 강수집수량(자연침투증발량이라 한다)과 일7mm초과 강수일 강수집수량 중 강수 초기에 침투증발되는 수량(초기침투증발량이라 한다)의 합으로 본다. 그리고 초기침투증발량은 일 7mm 초과강수시 초기에 침투증발되는 수량으로 연간수량은 연간침투증발량에서 자연침투증발총량을 뺀 수량에 해당된다.

월자연침투증발량은 일7mm 이하 강수일 집수량의 월별 집계이며, 월초기침투증발량은 하절기에 집중되는 우리나라의 강수특성을 고려할 때 월자연침투증발량을 제외한 월강수집수량의 규모에 비례한다고 볼 수 있다.

3) 신규침투량

침투시설의 도입에 따른 추가침투량을 구하기



<그림. 6> 배치사례도(고층주거단지)

〈표. 8〉 단지별 시설배치

| 구 분 | 침투통 (조) | 침투트렌치 (m) | 침투측구 (조) | 지하침투트렌치 (m) |
|----------|------------|--------------|-------------|----------------|
| 업무단지 | 60 | 275 | 36 | 1,470 |
| 주거단지(고층) | 114 | 650 | 121 | 2,700 |
| 주거단지(저층) | 112 | 975 | 96 | 2,505 |
| 공 원 | 222 | 1,520 | 360 | 8,980 |

〈표. 9〉 침투시설의 시간당 침투량(단위 : m³)

| 구 분 | 침투통 | 침투 트렌치 | 침투측구 | 지하침투 트렌치 | 침투량 계 |
|--------|------|-----------|------|-------------|--------|
| 업무단지 | 2.58 | 18.98 | 0.65 | 85.26 | 107.47 |
| 주거(고층) | 4.90 | 44.85 | 2.18 | 156.60 | 208.53 |
| 주거(저층) | 4.82 | 67.28 | 1.73 | 145.29 | 219.12 |
| 공 원* | 4.88 | 53.20 | 6.48 | 260.42 | 324.98 |

*공원 : 투수계수 $k = 5 \times 10^{-4}$ 를 적용한 시설의 단위 침투량임

위하여 〈그림.6〉과 같이 단지별 배수계획을 수립하였으며 그 결과는 〈표.8〉과 같다. 단지별 침투시설배치에 따른 시간당 침투결과는 〈표.9〉와 같으며, 강수일 1일당 침투시설에 의한 침투시설의 지속효과는 우수지계획에서 사용되는 1일 2시간으로 전제하여 침투량을 산정하였다.

월별 침투량은 기존침투량에 신규침투량을 추가하여 산정하였으며 그 결과는 〈표.10〉과 같다.

4.2. 침투량의 비교

침투시설의 침투율 증대효과는 지반의 토질 조건에 따른 투수계수와 직접적인 관련이 있고 침투시설의 효율적 배치를 위한 녹지의 위치나 면적의 확보가 중요하다고 판단된다. 본 연구는 단지의 성격이나 설계방향에 따라 다소 차이는 있으나 법적 허용범위내 최대한의 건축면적 확보가 일반화된 현재의 단지개발 여건하에 침투시설 도입에 따른 수환경 개선효과를 확인코자 하는 것이다.

그런데 본 연구 대상단지의 경우 공원을 제외한 3가지 유형의 단지는 신도시 택지개발당시 전면적인 절, 성도와 일정한 수준의 다짐이 이루어 지는 결과로 투수계수가 일정하게 적용되었다.

침투시설의 도입에 따른 월별 우수의 지하침투효과는 강수량이 일 7mm를 초과하는 강수

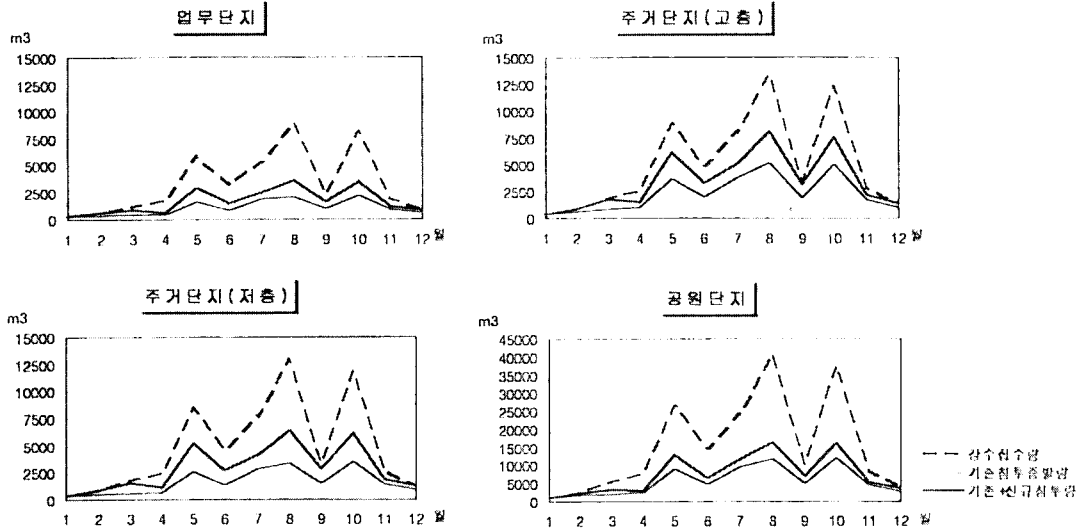
일이 거의 없는 동절기(1,2,12월)에는 침투시설의 여부와 관계없이 강수량의 대부분이 침투되며, 일 강수량이 많은 5월에서 10월은 침투시설의 도입효과가 클 것으로 추정된다.

그리고 침투시설의 도입에 따른 침투율의 변화를 보면, 먼저 침투시설의 도입 이전의 경우, 단지내 녹지율이 높고 시설율이 낮은 주거(고층)나 공원단지가 45.0%, 37.0%로 4개 단지 평균 36.8%에 비하여 높은 침투증발율을 나타내었다. 반면 침투시설도입 이후의 경우 건축면적이 많고 녹지면적이 적어 기존 침투증발율이 상대적으로 낮았던 업무, 주거(저층)단지가 높은 증가율을 나타내었다. 즉 업무단지는 기존 관거시설을 침투시설로 변경하였을 경우 31.0%에서 49.2%로 18.2% (기존 대비 59.8% 증가)의 증가효과가 있는 것으로 추정되었고, 주거단지의 경우 인동간격이 넓은 고층아파트단지는 45.0%에서 68.1%로 증가하여 23.1%(기존 대비 51.4% 증가)의 추가증가율이 발생한 데 비해, 저층연립주택은 34%에서 59.4%로 25.4%(기존 대비 74.6% 증가)의 추가침투량이 발생할 것으로 예상된다. 침투시설의 도입에 따른 추가침투증가율을 보면 고층아파트단지 보다 지붕면적이 넓은 저층 연립주택이 침투시설의 도입효과가 더 클 것으로 보인다.

결과적으로 업무단지는 다른 단지 보다 상대적으로 건폐율이 높고, 지하구조물의 설치가 일반화되어 있어 건축물 주변에 침투가능시설의 설치를 위한 녹지면적의 확보가 어려운 실정이다. 따라서 우수침투율을 높이기 위해서는 지붕에서 집수되는 유출수의 침투를 위한 처리가 요구된다.

주거단지의 경우 건폐율과 인동간격의 규제에 의하여 지하침투를 위한 비교적 넓은 녹지대가 확보되며 침투시설의 설치가 용이하여 우수침투율이 상대적으로 높게 나타났다.

자연형 공원은 일반적으로 타 유형의 단지에 비해 원지반 상태가 보존되는 경우가 많다. 본 연구 대상지인 중앙공원의 경우에는 하천변에 위치하며 지반이 실트질 모래로 구성되어 투수계수가 비교적 낮게 나타났다. 그리고 공원이



<그림. 7> 단지별 월별 침투량 추정치 비교도

<표. 10> 단지별 월별 침투량 추정치 비교

| 구 분 | | 월별강수침수량 및 침투량 (m³) | | | | | | | | | | | | 계 | |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 업무 단지 추정 | 강수침수량 | 247 | 562 | 1,205 | 1,706 | 5,791 | 3,230 | 5,301 | 8,840 | 2,306 | 8,151 | 1,885 | 893 | 40,118 | |
| | 침투 량 기 준 | 자연침투증발 | 247 | 281 | 167 | 57 | 460 | 167 | 855 | 141 | 642 | 498 | 676 | 536 | 4,727 |
| | | 초기침투증발 | 0 | 61 | 226 | 359 | 1,161 | 667 | 969 | 1,896 | 362 | 1,668 | 263 | 78 | 7,710 |
| | | 소 계 | 247 | 342 | 393 | 416 | 1,621 | 834 | 1,824 | 2,037 | 1,004 | 2,166 | 939 | 614 | 12,437 |
| | 신규침투량 | 0 | 215 | 430 | 215 | 1,290 | 645 | 645 | 1,505 | 645 | 1,290 | 215 | 215 | 7,310 | |
| 계 | 247 | 557 | 823 | 631 | 2,911 | 1,479 | 2,469 | 3,542 | 1,649 | 3,456 | 1,154 | 829 | 19,747 | | |
| 주 거 단 지 고 층 추정 | 강수침수량 | 371 | 845 | 1,810 | 2,563 | 8,701 | 4,853 | 7,964 | 13,286 | 3,466 | 12,246 | 2,832 | 1,342 | 60,279 | |
| | 침투 량 기 준 | 자연침투증발 | 371 | 422 | 251 | 86 | 691 | 251 | 1,285 | 211 | 965 | 748 | 1,016 | 805 | 7,102 |
| | | 초기침투증발 | 0 | 159 | 587 | 933 | 3,016 | 1,733 | 2,515 | 4,923 | 942 | 4,330 | 684 | 202 | 20,024 |
| | | 소 계 | 371 | 581 | 838 | 1,019 | 3,707 | 1,984 | 3,800 | 5,134 | 1,907 | 5,078 | 1,700 | 1,007 | 27,126 |
| | 신규침투량 | 0 | 264 | 834 | 417 | 2,502 | 1,251 | 1,251 | 2,919 | 1,251 | 2,502 | 417 | 335 | 13,949 | |
| 계 | 371 | 845 | 1,672 | 1,436 | 6,209 | 3,235 | 5,051 | 8,053 | 3,158 | 7,580 | 2,117 | 1,342 | 41,069 | | |
| 주 거 단 지 저 층 추정 | 강수침수량 | 357 | 813 | 1,742 | 2,467 | 8,374 | 4,670 | 7,665 | 12,787 | 3,335 | 11,786 | 2,725 | 1,291 | 58,012 | |
| | 침투 량 기 준 | 자연침투증발 | 357 | 407 | 242 | 82 | 665 | 242 | 1,236 | 203 | 929 | 720 | 978 | 775 | 6,836 |
| | | 초기침투증발 | 0 | 102 | 378 | 601 | 1,941 | 1,115 | 1,619 | 3,169 | 606 | 2,787 | 440 | 130 | 12,888 |
| | | 소 계 | 357 | 509 | 620 | 683 | 2,606 | 1,357 | 2,855 | 3,372 | 1,535 | 3,507 | 1,418 | 905 | 19,724 |
| | 신규침투량 | 0 | 102 | 378 | 601 | 1,941 | 1,115 | 1,619 | 3,169 | 606 | 2,787 | 440 | 130 | 12,888 | |
| 계 | 357 | 813 | 1,496 | 1,121 | 5,235 | 2,672 | 4,170 | 6,440 | 2,850 | 6,136 | 1,856 | 1,291 | 34,437 | | |
| 공 원 추정 | 강수침수량 | 1,123 | 2,557 | 5,477 | 7,758 | 26,331 | 14,685 | 24,102 | 40,205 | 10,487 | 37,060 | 8,570 | 4,060 | 182,415 | |
| | 침투 량 기 준 | 자연침투증발 | 1,123 | 1,278 | 760 | 259 | 2,090 | 760 | 3,887 | 639 | 2,920 | 2,263 | 3,075 | 2,436 | 21,490 |
| | | 초기침투증발 | 0 | 366 | 1,348 | 2,144 | 6,930 | 3,981 | 5,779 | 11,311 | 2,163 | 9,947 | 1,571 | 464 | 46,004 |
| | | 소 계 | 1,123 | 1,644 | 2,108 | 2,403 | 9,020 | 4,741 | 9,666 | 11,950 | 5,083 | 12,210 | 4,646 | 2,900 | 67,494 |
| | 신규침투량 | 0 | 650 | 1,300 | 650 | 3,900 | 1,950 | 1,950 | 4,550 | 1,950 | 3,900 | 650 | 650 | 22,100 | |
| 계 | 1,123 | 2,294 | 3,408 | 3,053 | 12,920 | 6,691 | 11,616 | 16,500 | 7,033 | 16,110 | 5,296 | 3,550 | 89,594 | | |

용시설이 단지 전체에 걸쳐 저밀도로 개발되어 있고 수림이 거의 원형대로 보존되어 있어 침투시설의 도입 이전에 경제적 타당성에 대한 고려가 필요하다고 본다. 다만 본 연구에서는 공원내 원수림지역을 제외하고 개발지역에 대한 침투시설의 도입효과를 추정한 결과 기존의 37.0% 에서 12.1% 로 증가 32.7%의 추가침투효과가 있을 것으로 나타났다.

V. 결론

신도시 택지개발의 경우 건물에 면한 녹지가 넓은 주거단지의 점유율이 높기 때문에 침투시설의 도입에 의한 침투율 증가가 높을 것으로 기대된다.

업무단지의 경우 침투시설의 침투율 증진을 위해서는 투수계수가 높은 토사로 되메우기나 성토를 시행하고, 건물 주변의 포장재료는 투수성이 높은 포장재를 사용하며 녹지나 포장면의 하부에는 지하침투트렌치를 적극 활용함으로써 단지내 침투율을 제고할 수 있을 것으로 예상된다.

그리고 공원의 경우 보행자 전용공간인 광장이나 산책로 등에 침투시설의 설치와 병행하여 투수성 포장을 도입하면 침투율 증진효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 기존의 배수시설과 유사한 형식으로 실제 도입이 용이한 침투시설을 선정·실험하였다. 이 침투시설을 단지내 배수시설로 도입할 경우 단지내 우수의 지하침투효과가 상당할 것으로 판단되나 시행 이전에 기존에 사용되어 온 배수관거시설과의 경제성 검토가 선행되어야 하며, 투수시설의 일반적 단점인 막힘현상을 보완하기 위해서는 계획적이고 지속적인 유지관리가 수반되어야 한다.

참고 및 인용문헌

1. 건설부(1994), 『상수도통계』.
2. 김팔규 외(1986), 『최신토질역학상론』, 서울:학연사:46-57
3. 기상청(1994), 『기상월보』:1-12월
4. 대한주택공사(1993), 『지하유수지의 실험적 연구』.
5. _____(1995), 『본사사옥 신축공사 설계도』.
6. 서울시정개발연구원(1995), 『우수유출률 저감 대책』.
7. 서울특별시(1984), 『하수도정비기본계획 보고서(부록)』.
8. 윤용남(1985), 『수문학』, 서울:청문각:87-90
9. 전성우(1993), 『생태도시 계획기법에 관한 연구-물과 녹지를 중심으로』, 서울대 석사학위논문
10. 종합건축사사무소 건원(1994), 『분당연립건설공사실시설계도』.
11. 종합건축사사무소 건원(1993), 『롯데/선경아파트건설공사 실시설계도』.
12. 한국건설기술연구원(1995), 『환경보전형 주거단지 개발에 관한 연구』.
13. 한국토지개발공사(1990), 『분당 신도시개발 사업계획』.
14. _____(1990), 『분당 제9호근린공원 시설결정도』.
15. _____(1991), 『분당 새주택도시개발사업 토질조사보고서』:61-438
16. _____(1991), 『분당 신도시개발사업조사설계 종합보고서』:16-415
17. _____(1993), 『공원·녹지계획 지표연구』.
18. 한국토지공사(1996), 『환경친화적 단지계획기법』.
19. 柴田 道生(昭和58) 『水工学とその計算例』, 東京:現代理工學出版株式會社:184
20. 山本晃一(1992) 『浸透型 流出抑制施設の 浸透能力の 評價』, 『雨水技術資料』, 4:63-80
21. 市川 新(1988) 『都市の水循環, 都市の 水文環境』, 東京:共立出版株式會社:155-200
22. Hough, Michael(1994), 『都市景觀·生態論』, 신영석 등역, 서울:기문당
23. A Joint Committee of the American Society of Civil Engineers & The Water Pollution Control Federation(1972), "Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers" *The Water Pollution Control Federation Manual of Practice*, 9:49-50
24. Chester, L. Arnold, Jr & C. James Gibbons(199 6), "Impervious Surface Coverage(The Emergence of a Key Environmental Indicator)" *Journal of the American Planning Association*, 62(2):243-257
25. Glaister, Mark(1992), "Facts about Fresh water" *Landscape Design*, March(208):9-11