

분산식 빗물관리를 위한 공동주택 외부공간 설계지침 연구

A comparative study of design guidelines for the decentralized rainwater management of apartment house

문수영* 김현수** 이건호* 장대희***
Moon Soo-young Kim Hyeon-soo, Lee Keon-ho, Jang Dae-hee

Abstract

As environmental problems and water-shortage phenomenon become a global issue, many states look for the effective method to use water resources. So, decentralized rainwater management is recognized as a new water management system that rainwater can be infiltrated and used on-site. But it is little difficult to build a park, lake, and forest for evaporating rainwater in city because the land price of city is very high. In order to build an excellent infiltration system for a dwelling and a park in Korea, KICT has developed Linear infiltration system. This infiltration system is consist of first flush treatment, storage and infiltration, overflow control system. These elements are connected closely and working as a combined system. A storm sewer can be changed by the linear infiltration system. This study is to make design guideline using Linear infiltration system in apartment house. So ATV-DVWK-M13, FLL and present condition of Korean rainwater system were analyzed and the guidelines direction were set up. Through this study, a foundation is prepared to build the decentralized rainwater management of apartment house.

키워드 : 분산식 빗물관리, 선형침투시스템, 우수침투시설 지침

Keywords : Decentralized rainwater management, Linear infiltration system, Guidelines for rainwater management

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목표

도시발달과 인구증가로 환경문제와 물 부족현상이 세계적인 이슈가 되면서부터 최근 많은 국가가 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 방법들을 모색하고 있다. 이러한 추세를 반영하여 기존의 하천 댐 관리 방식의 중앙 집중형 물 관리 시스템 체계에서 강우가 내린 그 지점에서 저류 및 이용, 침투 그리고 증발산을 시키는 분산식 빗물관리 시스템을 활용하고 있다. 그러나 분산식 빗물관리를 위해 투수 및 저류연못, 자연녹지, 투수구덩이 등을 도시에 설치하기에는 그 공간이 협소하고, 높은 토지가격으로 인해 현실적으로 매우 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 한국건설기술연구원 건축·도시연구부에서는 과학기술부의 21세기 프론티어연구개발사업 중 수자원의 지속적 확보기술개발사업의 일환으로 초기우수 정화 및 침투성능을 가진 선형침투시스템¹⁾을 개발하였다.

선형침투시스템은 기존의 우수관거시설을 대체하여 적용할 수 있는 초기우수 정화 및 침투시설로서, 생태면적률 시행²⁾에 따른 “우수저류 및 침투면”에 대응할 수 있는 침투 시설 중 하나이다. 이 시설의 보급을 위해서는 선형침투시스템을 공동주택 등의 공간에 적용할 수 있는 설계지침 개발이 필요하다. 본 연구는 선형침투시스템을 활용하여 공동주택 내 적용 가능한 분산식 빗물관리 시스템의 지침을 수립하기 위한 연구로서, 공동주택의 외부공간에 선형침투시스템과 연계 가능한 빗물관리 시설의 합리적인 적용을 위한 설계지침 개발 방향을 설정하도록 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 공동주택의 외부공간에 적용할 선형침투시스템 설계지침의 개발방향을 설정하는데 한정한다. 침투시설의 설계지침을 개발하기 위해서는 “침투수의 질”과 “양”이라는 두 가지 중요한 요소를 고려해야 한다. “침투수의 양”에 대해선 연계 연구³⁾를 통해 설정하도록

* 정회원, 한국건설기술연구원, 건축도시연구부, 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축도시연구부, 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축도시연구부, 연구원

1) 현재 “우수관거 기능의 선형침투시스템”이라는 이름으로 특허출원함 (출원번호 : 10-2006-0035723)

2) 생태면적률은 환경부 시행예고 및 건설교통부 주거성능등급 표시제도로서 사용된다.

3) 김현수, 문수영외 2인, “빗물관리 최적화 모형을 이용한 주거단지 외부공간 설계 사례 연구”, 2006 한국생태환경학회 춘계학술발표대회

하고, 본 연구에서는“침투수의 질”을 확보하기 위한 지침 개발 방향에 초점을 두기로 한다.

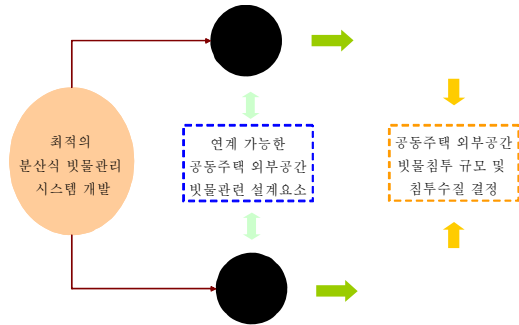


그림 1. 연구의 진행방향

본 연구에서 참고문헌으로 사용하는 빗물관리 지침은 분산식 빗물관리와 관련하여 오랜 노하우가 축적된 독일의 지침 중 ATV-DVWK-M153과 FLL의 지침 중 빗물관리 지침편을 분석하였다. 이들 지침의 특성 중 한국적 현실에 적용할 수 있는 요소를 도출하여 클러스터 단위의 공동주택 외부공간에 적용하는 것을 목표로 설계지침을 제시하도록 한다.

2. 선형 침투시스템의 기능과 적용 가능성

2.1 선형침투시스템의 개요

현재 도로와 보도에 빗물의 배수기능을 맡고있는 우수관거는 도로에 유입된 빗물을 빠른 시간 내에 하수관거로 유도하여 배수시킨다는 효율적 기능을 수행하고 있지만, 몇 가지 문제점을 가지고 있다.

그 중 하나는 빗물과 함께 부유물질이 우수관거에 유입되어 주기적으로 관리를 해주어야 한다는 문제점이 있다. 특히, 조경시설과 인접해있는 우수관거의 경우 조경시설에서 유출되는 토사와 낙엽이 그대로 우수관거에 유입되기 때문에 아래 그림과 같이 정기적인 관리를 해주어야 한다.



그림 2. 기존 우수관거의 문제점

그리고 기존의 우수관거는 오염물질이 많이 포함된 초기우수와 정화가 필요 없는 깨끗한 우수를 모두 하수관거로 흘려보내다보니 빗물의 이용이 점점 감소되고 있는 현 상황에서 유용한 자원을 그대로 하수관거에 흘려보내는 문제점을 보이고 있다. 또한 적은 양이라도 침투나

저류 등을 하지 않아 비가 많이 내릴 경우 하수관거에 많은 부하를 가져다 줄 수 있다.

선형침투시스템은 이러한 기존의 우수관거가 지닌 문제점을 보완하고 초기우수를 처리함과 동시에 소요공간의 최소화 및 저류기능을 통합한 침투시스템으로서, 도시의 과밀개발과 지가상승 등으로 우수침투를 위한 공간 확보가 어려운 현실에서 좁은 면적에서도 우수의 침투가 가능하고 동시에 초기우수의 오염물질을 정화하는 기능을 하는 복합기능 선형침투시스템이다. 선형침투시스템의 요구조건을 분석하면 다음과 같다.

- ① 빗물과 함께 유입되는 토사와 낙엽, 쓰레기의 제거
- ② 초기우수 속의 중금속과 유분 등의 오염물질 제거
- ③ 정화가 필요 없는 깨끗한 빗물의 빠른 침투
- ④ 기존 측구와 같이 우수의 배수기능 수행
- ⑤ 저류된 빗물에서 악취발생을 예방
- ⑥ 도로 적용에 따른 구조적 안정성 도모
- ⑦ 대량 생산 및 제작에의 용이함
- ⑧ 현장에서의 용이한 시공성

이런 8가지 요구조건을 바탕으로 선형침투시스템은 침투시스템 내에서 초기우수 처리 시간을 최대한 연장시켜 초기우수 속의 오염물질을 정화시키고, 정화가 필요 없는 깨끗한 빗물을 신속하게 침투시킬 수 있는 기능을 수행하도록 주요 기능을 설정하였다.

선형침투시스템은 기존의 침투시스템이 빗물의 일시적 저류 기능이나 점적인 침투기능에 머물 뿐 생태적 외부 공간 조성 기술로 활용하기에 한계를 가지고 있고, 침전, 저류, 여과기능의 분리로 시스템 설치공간을 많이 소요한다는 점을 극복한 시스템으로, 기존 우수 관거와 유사한 크기이지만 우수의 유도기능, 초기우수 정화기능, 침투기능과 동시에 외부공간의 조경요소로 적용 가능한 새로운 개념의 침투시스템이다. 본 시스템은 도로면의 비점오염원을 관리하고, 점적 침투에서 벗어나 선형 침투를 통해 공간을 다양하게 활용 및 적용할 수 있는 장점이 있다. 본 시스템 내에는 토사 및 오물제거 장치를 설치하였고 초기우수의 여재 층 통과시간을 연장시켜 초기우수의 정화 성능을 높였으며, 시스템의 규모를 기존 우수관거와 유사하게 만들어 현장에 쉽게 적용할 수 있도록 만들었다.

선형침투시스템의 초기우수 속의 중금속과 유분 등의 오염물질을 정화시키기 위하여 ①에서 중금속과 유분을 정화시키는 여재를 충진한다. 이때 여재는 포설형과 카트리지형 두 가지를 사용할 수 있고, 내부에는 초기우수 정화를 위해 우수가 침투시스템 내에 머무는 시간을 최대한으로 늘리기 위하여 물이 1방향으로 곡선을 지어 흐르도록 설계되어 있다.

선형침투시스템은 초기우수 속의 오염물질을 제거하는 기능뿐만 아니라, 짧은 기간 내에 집중강우가 발생하는 한국적 상황을 고려하여 초기우수가 아닌 깨끗한 빗물의 신속한 여과와 침투를 고려하였다. 이를 위해 ②부분에 Second Flush가 빠지도록 설계하여 타 우수관거와 연결시켜 최대한 빠른 시간 내에 빗물을 처리하도록 하였다. 도로 및 조경시설 등에서 유출되는 토사와 낙엽의 제거

및 침투시스템의 편리한 유지관리를 위하여 ③부분에 거름망을 설치하였다. 이 거름망에는 손잡이가 설치되어 있어, 시스템 설치 후 거름망을 손쉽게 떨어내어 토사와 낙엽을 제거할 수 있도록 한다.

집중강우 발생시 초기우수 정화분과 Second Flush 처리분을 넘어선 유량이 발생할 경우, 기존의 우수 관거와 마찬가지로 우수를 처리 관거로 신속하게 유도할 수 있도록 ④와 같이 오버플로우 대응 기능을 설정한다.

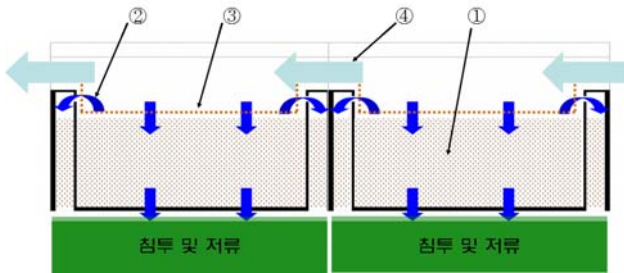


그림 3. 선형침투시스템 Prototype 설계 개념

침투시스템의 경제성을 높이기 위하여 모든 시스템의 요소는 단순화된 단위부품의 조합으로 구성하고, 연결부위는 ②의 Second Flush 처리 기능을 담당하는 유닛에 연결기능을 추가하여 사용한다. 부품의 유닛화 및 공장생산을 통해 현장에서의 시공품을 줄이고 이를 통해 선형침투시스템의 경제성을 도모하도록 한다. 선형침투시스템은 기존의 우수관거(우수 측구, 트렌치)의 폭과 동일하게 설계되어 있어, 기존 제품 대신 현장에 바로 적용할 수 있다.

선형침투시스템을 우수관거를 대체하여 적용하면 아래 그림 4와 같은 시공단면으로 설치할 수 있다. 침투시스템 하부에 일시 저류 및 침투박스를 설치하는데, 이는 침투된 우수가 토양 속으로 서서히 침투될 수 있도록 빗물을 일시적으로 저류시키면서 동시에 비가 오지 않을 때 저류된 빗물을 증발시킬 수 있다.

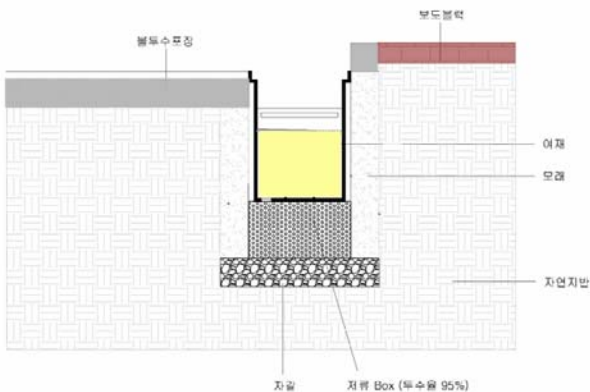


그림 4. 선형침투시스템 시공단면 예

2.2 침투 수질의 정량적 분석

선형침투시스템을 적용하기 위해 먼저 침투시스템을 설치할 수 있는 공간에 대하여 기존 문헌(4)을 통해 초기우수의 수질 현황을 분석하였다. 각 공간에서 유출된 초

기우수의 수질분석 결과 도로변, 주차장, 운동장과 같이 차량 통행이 있는 곳의 경우 Fe, Cu, Zn과 같은 중금속류가 직접 집수할 경우보다 높은 수치를 나타냈다. 이는 Zn의 경우 자동차 타이어의 마모에 의해, Cu, Cr, Pb과 같은 성분은 자동차의 배기가스 및 브레이크 마모현상에 기인(5)하고 있음을 미루어 볼 때, 도로에서 유출되는 초기우수는 중금속 제거에 중점을 두어야함을 알 수 있었다.

표 1. 각 공간별 초기우수 수질 분석결과

| | 직접 집수 | 도로변 | 주차장 | 운동장 | 건물 옥상 | 옥상 녹화1 | 옥상 녹화2 |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| PH | 5.6 | 7.4 | 7.8 | 6.9 | 6.9 | 7.63 | 7.63 |
| 전기전도도 | 13.9 | 52.6 | 106.7 | 110.1 | 28.5 | 165 | 149 |
| Turbidity | 1.0 | 36.8 | 18.2 | 6.3 | 2.2 | 2.98 | 57 |
| Color | 3.5 | 22.5 | 11.0 | 33.5 | 8.0 | 60 | 343 |
| Fe | 0.02 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.071 | 1.050 |
| Cu | 0.03 | 0.06 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.016 | 0.055 |
| Zn | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.08 | 0.040 | 0.300 |
| Al | 0.12 | 0.12 | 0.18 | 0.07 | 0.10 | 0.216 | 1.787 |
| TN | 0.60 | 1.2 | 0.80 | 0.25 | 0.80 | 2.09 | 1.316 |
| TP | 0.22 | 0.18 | 0.27 | 0.54 | 0.21 | 0.31 | 0.81 |
| No3-N | 0.42 | 0.52 | 0.72 | 0.38 | 0.46 | 1.597 | 0.135 |
| NH3-N | 0.29 | 0.18 | 0.13 | 0.15 | 0.53 | 0.226 | 0.339 |

공동주택 외부공간에 설치할 선형침투시스템의 초기우수 정화성능을 알아보기 위해 인공강우를 활용하여 초기우수 정화능력 실험을 수행하였다.



그림 5. 초기우수 정화능력 실험

초기우수를 지속적으로 선형침투시스템에 유입시키는 데, 정화된 우수를 10분단위로 채취하고, 표 2와 같이 SS와 탄소량, 질소, 인 그리고 중금속류 등의 항목에 맞추어 초기우수의 정화 정도를 분석하였다.

초기우수 내에 포함되어 있는 SS의 경우 2시간 경과 후 유입량의 10% 미만 정도만 남고 모두 정화되었고, TOC, DOC 역시 20% 이하로 정화되었다. 중금속의 경우 유입되는 초기우수 내에 함유된 중금속 보다 절반 이상이 정화되는 효과를 나타내었다. 이들 정화정도는 지하수 수질기준 중 생활용수로 이용하는 경우 기준 중 중금속

- 4) 한국건설기술연구원(2004), "우수 저류 및 활용 기술 개발" 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 과학기술부 / 한국건설기술연구원(2006), "선형 침투시스템 개발 및 적용(2차년도)" 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 과학기술부
- 5) 김석구 외 4인, "불투수면 강우 유출수 처리 장치의 현장 적용", 대한환경공학회 춘계학술발표회

부분에 해당하는 카드뮴 0.01이하, 납 0.1이하, 크롬 0.05 이하를 모두 만족하는 수치이므로 지하로 침투시킬 수 있는 기준을 만족하고 있음을 알 수 있었다.

표 2. 선형침투시스템 초기우수 정화 성능

| 시간 항목 | Raw | 1 | 10 | 20 | 30 | 60 | 120 | 180 | 240 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SS | 712.5 | 5 | 9 | 3.5 | 20 | 20.5 | 38 | 45 | 58 |
| TOC (mg/L) | 150.3 | 6.45 | 7.59 | 5.4 | 7.97 | 8.29 | 11.52 | 25.55 | 25.65 |
| DOC (mg/L) | 73.27 | 4.75 | 4.63 | 4.25 | 4.67 | 5.25 | 8.08 | 14.48 | 15.79 |
| Cond (μ S) | 257.8 | 67.25 | 69.7 | 62.3 | 87.6 | 89.7 | 87.3 | 86.2 | 87.9 |
| TN | 15.7 | 6.5 | 10.2 | 5.4 | 1.9 | 8.7 | 9.3 | 9.1 | 13.5 |
| TP | 9.5 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |
| COD | 637 | 20 | 23.2 | 18.7 | 44.2 | 48.3 | 87.1 | 95.5 | 89.7 |
| 중금속 | Cd | 0.004 | 0.001 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Cr | 0.073 | 0 | 0 | 0 | 0.035 | 0.031 | 0.044 | 0.033 |
| | Cu | 0.171 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.047 | 0.051 | 0.071 | 0.082 |
| | Pb | 0.203 | 0 | 0 | 0 | 0.108 | 0.105 | 0.098 | 0.105 |
| | Zn | 0.98 | 0.03 | 0.057 | 0.032 | 0.36 | 0.37 | 0.41 | 0.39 |

이러한 기능을 수행하는 선형침투시스템을 공동주택의 외부공간에 적용하기 위해서는 우리나라 현실에 적합한 설계지침을 수립하는 것이 필요하다. 이에 우리보다 앞서 다양한 우수침투시스템을 개발하고 이를 상용화 시킨 선진국의 사례를 고찰하고 이를 한국적 현실에 맞게 적용해 보는 작업이 필요하다.

3. 독일의 우수침투관련 지침 분석

선형침투시스템의 공동주택 외부공간 적용 설계 지침 방향을 설정하기 위하여 본 연구에서는 분산식 빗물관리 시스템에 앞선 기술을 보유한 독일의 ATV-DVWK-M153과 FLL 지침을 분석하였다.

독일의 ATV-DVWK-M153의 경우 침투설비는 토양과 수자원 보호를 위해 다음의 방안을 원칙으로 침투의 '질(qualitative)'을 규정하는 설계지침과 '양(quantitative)'을 규정하는 설계지침으로 나뉜다.

- 오염물질 배출저감
- 불투수면적위에 오염물질 배출 저감
- 지하침투 진단에 우배수 처리시설 설치
- 오염된 우배수 지하침투 제한

주로 비점오염원의 제거에 초점을 맞추어 질과 양을 규정하는데, 질을 규정하는 데에서는 '침투할 수 있는(non doubtful)', '침투가능한(tolerantly)', '침투불가능한(non tolerantly)'로 나누어 표 3과 같이 배수면 형태에 따라 침투 가능한 빗물의 질을 규정한다. 본 연구의 대상인 공동주택의 외부공간은 4단계와 5단계에 해당된다. 침투수질 기준에 따르면 공동주택의 경우 우배수에 일정 농도의 오염물질이 포함되어있어 사전에 이를 제거한 후 침투시켜야 하

는 '침투가능한(tolerantly)'에 해당한다. 그리고 시설의 형태의 경우 표면에서는 분산식 면적 침투와 웅덩이(drain) 혹은 웅덩이-도랑(drain-trench)침투설비가 적절한 것으로 나타났다. 즉, 공동주택에는 맨홀 형식의 점적 침투시스템을 적용하는 것은 부적합한 것으로 볼 수 있다.

표 3. 수자원보호지역 외에 있는 배수면적을 고려한 우배수의 침투방안

| 배수면 형태 | 표면침투 | | | 지하침투 | | | |
|--|--------------|----------------|-----|------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 녹화지붕면, 잔디와 식재토양표면 | non doubtful | + | + | + | + | + | + |
| 2 표면처리 되지 않고, 금속류로 석회되지 않은, 그리고 활용하지 않는 지붕면, 주거단지와 흡사한 상업단지의 배란다면 | | + | + | + | + | + | (+) |
| 3 표면처리 되지 않은 금속류(구리, 아연과 납)로 장식한 지붕면 | | + | + | + | (+) | (+) | |
| 4 주거지역의 자전거도로와 인도, 물이나 배기 가스가 튀지 않는 도로에 인접한 자전거도로와 인도, 교통량이 적은 지역면적 | | + | + | (+) | (-) | (-) | |
| 5 마당과 사용량이 낮은 주차장, 주거지역이나 흡사한 상업지역의 교통량이 낮은 도로면 | | + | + | (+) | (-) | - | |
| 6 일 교통량이 300-5000 대 자동차가 사용하는 도로면, 단지 내의 도로, 지방도로 등 | tolerantly | + | + | (+) | (-) | - | |
| 7 소규모 비행장의 이·착륙 및 이송도로 포장 면, 비행장(1)의 이송도로 | | + | + | (+) | (-) | - | |
| 8 대기오염 농도가 높은 지역의 산업단지와 공업단지의 지붕면 | | + | + | (+) | (-) | - | |
| 9 차량 통행량이 일 5000-15000대의 도로면, 비행장의 이·착륙용 포장면적 | | + | + | (+) | - | - | |
| 10 백화점, 쇼핑센터 등의 사용량이 높은 주차장 포장면적 | | + | (+) | (+) | - | - | |
| 11 표면처리 되지 않은 금속류로 덮은 지붕면, 농·축산업, 오염물 운반, 승마장과 야시장 등으로 매우 더러운 도로면과 광장 | | + | (+) | (+) | - | - | |
| 12 일 차량통행량이 15000 대 이상의 도로면, 예로 도심지 메인도로, 국도, 고속도로 등 | | + | (+) | (+) | - | - | |
| 13 대기오염농도가 심한 산업 및 공업단지의 도로면과 주차장 | | non tolerantly | (-) | (-) | (-) | - | - |
| 14 특별한 면적, 예로 트럭 주차장면, 비행장의 비행기 정착지면적 | - | | - | - | - | - | |

+ 일반적으로 허용, (-) 단 전처리 후에 일반적으로 허용, (-) 다만 외예로 허용 - 허용되지 않음
A =오염물질 함량, B =수질적 분류
C =Aun : Ai ≤ 5 일반적으로 넓은 면적침투설비
D =5 < Aun : Ai ≤ 15 일반적으로 분산형 면적침투와 웅덩이(drain), 웅덩이-도랑(drain-trench) 침투설비
E =Aun : Ai > 15 일반적으로 중앙 집중식 웅덩이(drain) 침투와 저류조(basin)침투
F =도랑 침투와 관-도랑 모듈(trench and pipe-trench element)
G =맨홀침투

위의 지침에 맞추어 빗물침투 관련 시스템을 선정하면 다음과 같다.

① 웅덩이 침투(drain infiltration)

짧은 시간 동안만 우수가 잠기도록 하고, 사상 수심은 최대 30cm로 제한한다. 미사로 인해 막힘이 우려된다. 가능한 오픈 수로를 통하여 우배수를 유입시킨다.

② 웅덩이-도랑 모듈(drain-trench-module)

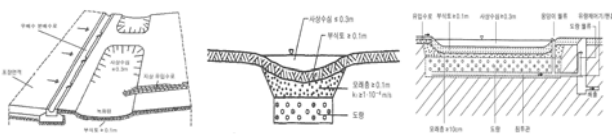
지상 웅덩이와 지하 도랑을 조성하는 시스템으로, 낮은 투수계수($C_f \geq 1 \cdot 10^{-6} \text{m/s}$)에도 적용이 가능하다. 비상 월류설비가 필요하고 도랑을 비우는데 많은 시간이 소요된다.

③ 웅덩이-도랑 시스템(drain-trench-system)

침투도양 투수계수가 $C_f < 1 \cdot 10^{-6} \text{m/s}$ 인 경우에 침투 비율이 낮아 우배수를 일정량 방류해야 할 경우에 사용한다. 배수시스템을 직렬 혹은 병렬로 연결하여 안전성을 도모할 수 있다.

(표 4 계속)

| | 침투면적의 유형 | 적용사례 | 침투면적 조성 시 필요한 기준 |
|----|--------------------|--|------------------|
| V1 | 강한 하중을 갖는 도로면적 | 자동차 진출입로, 주차장, 대지진입로 | DIN 18315~18318 |
| V2 | 경미한 하중을 갖는 도로면적 | 보행길, 자전거길, 보행자 이용장소, 자전거 보관소, 서비스차량 이용 도로운송 트럭의 하중 받는 면적 | DIN 18315~18318 |
| V3 | 매우 경미한 하중을 받는 도로면적 | 개인소유의 보행로, 테라스 | DIN 18315~18318 |
| N | 주변면적 | 위의 G1에서 V3까지 떨어지는 빗물을 흡수하는 지역 | |



웅덩이침투 웅덩이-도랑 모듈 웅덩이-도랑 시스템

그림 6. 공동주택 내 적용 가능한 빗물침투관련 시스템

침투수량의 경우 배수지역의 종류와 그 지역의 포장 종류에 따라 표면유출계수를 산정하여 해당 지역의 불투수면적과 유입수량, 강우 설계빈도 등을 고려하여 산정한다. 침투수량과 이에 알맞은 침투시설 설계와 관련해서는 연계된 연구⁶⁾에서 산출하도록 한다.

ATV-DVWK-M153이 주로 다양한 공간형태별로 비점 오염원 제거를 중심으로 수질과 수량을 고려한 빗물관리 시설 지침을 제시했다면, FLL지침은 공간을 조성한 표면의 구성 형태와 이들 시설의 이용 행태를 기준으로 지침을 구성하였다. FLL은 지침의 적용 범위를 녹화면적(식생면적), 운동시설면적, 옥상면적, 도로면적 그리고 주변면적으로 나누고 이에 각기 해당하는 공간을 사례로서 제시하였다(표 4).

표 4. FLL의 침투면적 분류

| | 침투면적의 유형 | 적용사례 | 침투면적 조성 시 필요한 기준 |
|----|----------------|--|------------------|
| G1 | 하중을 주는 녹화면적 | 이용되는 잔디밭, 일광용 잔디밭, 자갈간 잔디밭 | DIN 18915~18917 |
| G2 | 하중을 주지 않는 녹화면적 | 관상용 잔디밭, 식물이 심어진 면적, 특정 비오톱 | DIN 18915~18917 |
| S | 운동시설면적 | 운동장, 골프장, 놀이시설, 승마 트랙, 육상용 트랙 | DIN 18035,4~7 |
| D1 | 녹화된 옥상면적 | 관리증량형, 단순 관리 증량형 및 저관리 경량형 옥상 녹화, 녹화된 지하 주차장 | 옥상녹화를 위한 FLL 지침 |
| D2 | 녹화되지 않은 옥상면적 | 경사가 완만한 옥상면적 | DIN 1986 |

ATV 지침의 경우 공동주택 전반에 걸쳐 공통적으로 적용할 수 있는 빗물관리시설 지침을 제시하였다면, FLL의 지침은 공동주택 외부공간에서 볼 수 있는 각 공간별 사례에 맞는 침투면적을 분류하여 이에 세분화된 침투시설 설치 지침을 제시한 것에 차이를 둘 수 있다. 그리고 각각의 침투시설 설치 시 도목을 비롯하여 공사 과정에서 반드시 준수해야 하는 사항에 대해 최소한의 기준을 제시하고 있다.

4. 침투시설 설계지침 개발 방향 설정

4.1 우리나라 공동주택 외부공간 설계 특성

우리나라 공동주택 외부공간에 빗물과 관련된 시설의 적용 현황을 알아보기 위하여 2005년 1월 31일부터 2005년 2월 7일까지 상암월드컵 주공아파트 1,2단지, 개포 주공아파트 1,2단지, 목동 아파트 1,2단지의 외부공간을 조사하였다. 조사에는 공동주택 외부 공간 내에 우수관련시설의 유형과 이들 시설의 시공재료, 단면 상세 및 우수침투 가능 여부를 중심으로 수행⁷⁾하였다.

조사대상 공동주택의 외부공간에는 빗물관리 시설이 대부분 서로 다른 공간의 경계에 선형으로 적용되고 있었다. 설치 유형으로는 녹지 내 설치, 녹지와 보행로 경계에 설치, 녹지와 도로 경계 설치, 도로와 보행로 경계에 설치되는 경우로 나뉜다(표 5).

녹지와 인접하여 설치된 시설의 경우 토사나 낙엽과 같은 부유물의 유입이 많이 발생하고, 도로와 인접한 시설의 경우 차량에서 발생한 중금속과 유분이 많이 유입될 수 있다. 녹지와 도로를 동시에 접하는 시설의 경우 낙엽과 토사와 같은 부유물과 차량에서 나오는 중금속과 유분이 동시에 유입될 수 있어, 오염물질의 유입이 가장 심각할 수 있다.

6) 김현수, 문수영 외 2인 '빗물관리 최적화 모형을 이용한 주거단지 외부공간 설계사례 연구', 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회

7) 한국건설기술연구원(2005) "선형침투시스템 개발 및 적용(1차년도)" 연구를 위하여 동국대학교 산림자원학과 환경생태연구실과 함께 공동으로 현장조사를 수행함.

표 5. 공동주택 내 우수관련 시설 설치 현황

| 설치유형 | 현장사진 | 시설단면 | 비고 |
|--------------|------|------|--|
| 녹지 내 설치 | | | 단지 내 조경녹지 공간에 위치한 시설로서 끝은 우수 집수정과 연결됨. 우수침투 불가능. |
| 녹지와 보행로 경계설치 | | | 보행자 도로와 조경공간 사이에 설치한 우수관거 시설. 우수침투 불가능 |
| 녹지와 도로 경계설치 | | | 공동주택 단지 주차장에서 흔히 볼 수 있는 선형 스틸 덮개 우수관거 시설. 우수침투 불가능 |
| 도로와 보행로 경계설치 | | | 주차장과 보도블럭 사이에 선형으로 위치해있는 시설. 우수침투 불가능 |

우수관련 시설의 설치 유형을 우수침투여부와 조성 소재로 나누어 조사해보면, 아래 표 6과 같이 대부분의 시설이 인공재료를 사용한 시설이며 대부분이 우수침투가 불가능하게 조성되어 있다.

표 6. 우수관련 시설의 유형 구분

| 조사지역 | 시설 | 우수침투여부 | | 조성소재 | | |
|-----------|----|--------|-----|------|----|----|
| | | 가능 | 불가능 | 자연 | 인공 | 혼합 |
| 상암월드컵 아파트 | a | | ○ | | ○ | |
| | b | | ○ | | ○ | |
| | c | | ○ | | ○ | |
| | d | | ○ | | ○ | |
| | e | | ○ | | ○ | |
| | f | | ○ | | ○ | |
| 개포주공 아파트 | a | | ○ | | ○ | |
| | b | | ○ | | ○ | |
| 목동 아파트 | a | | ○ | | ○ | |
| | b | ○ | | | | ○ |

공동주택에 적용된 우수관거의 경우 위의 조사결과에 서처럼 대부분이 도로나 보도와 인접하여 선형으로 조성되고 있고, 인공재료를 사용하여 침투가 어렵도록 되어 있다.

우수관거를 제외한 외부공간의 경우 공동주택 단지 내에 주차공간의 확보를 위하여 대지의 많은 부분을 지하 주차장으로 할애하고 그 위에 인공지반을 조성하여 조경 시설을 만드는 형식으로 단지가 조성되고 있다. 인공지반을 활용한 외부공간의 조경면적은 높은 편이나, 빗물이 침투 및 저류될 수 있는 자연지반의 비율은 점차 낮아지고 있는 경향이다. 이에 따라 각 지방자치단체와 환경부, 건설교통부에서는 생태면적률의 확보와 함께 자연지반녹지율을 확보하도록 권고하고 있으나 아직 제도적으로 완전 정착되진 않고 있다.

택지개발사업이 진행 중인 용인 구성지구 주공 2B⁸⁾으로 공동주택 단지의 외부공간 구성을 알아보기 위해 각 포장의 형태별로 이들의 구성 면적을 나누어 그림 11과 같은 형태로 분석하였다.



| 범 례 | 공간유형 | 면적(㎡) | 범 례 | 공간유형 | 면적(㎡) |
|-----|-------------|---------|-----|-----------------|----------|
| | 자연지반녹지 | 3,136.6 | | 부분포장 | 343.2 |
| | 수공간(투수기능) | 0 | | 벽면녹화 | 0 |
| | 수공간(차수) | 0 | | 전면투수포장 | 0 |
| | 인공지반녹지≥90cm | 1,193.3 | | 틈새투수포장 | 902.8 |
| | 옥상녹화 ≥ 20cm | 0 | | 침투 및 저류 시설 연계옥상 | 0 |
| | 인공지반녹지<90cm | 0 | | 포장면 | 7,370.1 |
| | 옥상녹화 < 20cm | 0 | | 건폐지 | 2,754.5 |
| | 지하저수조 | 304.2 | | 합 계 | 15,700.5 |

그림 7. 용인구성 주공아파트 2블럭 단지현황

위의 주거단지가 우리나라를 대표하는 주거단지는 아니지만, 현재 지어지고 있는 일반적인 공동주택단지의 조성 경향을 보여주고 있다. 이의 외부공간 구성을 보면 총 15700.5㎡의 대지에 6개의 평지붕 주거동(2,754.5㎡)과 자연지반녹지(3,136.6㎡)와 인공지반녹지(1,193.3㎡), 도로와 같은 포장면(7,370.1㎡), 기타 부분포장(343.2㎡)과 틈새투수포장(902.8㎡)로 이루어졌다. 자연지반의 경우 총 대지면적의 약 20% 정도 차지하고 있고 이의 배치가 대지 전반에 고루 분산되기 보다는 대상지의 건축선 경계에서부터 대상지 경계까지 가장자리 부분에 위치하고 있다.

지하공간의 대부분은 지하주차장으로 사용되고 있고, 일부 면적에 지하저수조(304.2㎡)과 정화조가 설치되어 있는, 일반적으로 흔히 볼 수 있는 배치 형식의 공동주택

8) 본 자료는“신도시 조성 등에 적용할 생태면적률 기준 도입 방안에 관한연구(환경부, 한국건설기술연구원 2005)”에서 수행한 현황 자료를 인용하였다.

단지이다. 실시도면을 분석한 결과 지하저수조의 경우 화장실 세정용수나 세차용수 등 적극적으로 우수를 이용하는데 사용되지는 않고 관계용수 정도로 사용될 예정이다.

외부공간의 대부분이 도로를 포함한 주차장으로 조성되고 있고, 지하 공간역시 주차장으로 구성되어 있으며 그 위를 대부분이 인공지반이 덮고 있으며 빗물의 직접적인 투수가 가능한 자연지반은 대상지의 가장자리에 위치하고 있다. 이러한 현실은 선형침투시스템을 공동주택에 적용하기 위해선 설계지침을 수립하는데 많은 것을 고려해야함을 보여주고 있다.

4.2 우리나라 침투기술의 개발 현황

공동주택 내 적용 가능한 빗물관리시설은 그림 12⁹⁾와 같이 저류형 시설과 침투형 시설로 나뉜다. 이들 시설 중 연구대상인 침투형 시설은 침투형 시설과 저류침투시설로 나뉘는데, 침투형 시설은 세부적으로 침투트렌치, 투수성포장, 침투정, 침투측구로 나뉜다.

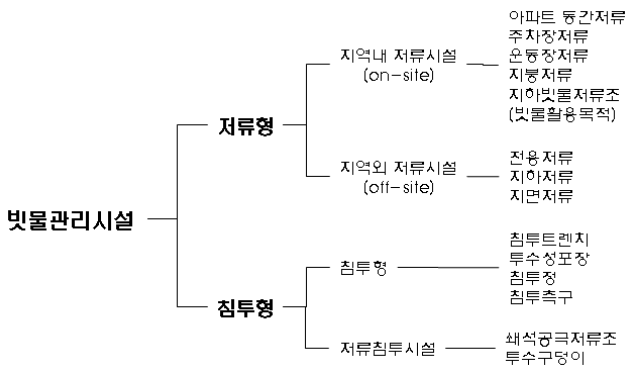


그림 8. 주거단지 내 적용 가능한 빗물관리시설

현재 국내에서 개발된 빗물 침투형 시설에 대해서 대한주택공사에서 주거단지 내에 적용하고 이에 대한 효과를 모니터링 하는 연구를 수행하고 있다. 국내의 빗물관리 지침의 경우 빗물의 침투에 한정된 지침보다는 전반적인 수자원의 관리를 위한 범령과 비점오염원 제거를 위한 정화 위주의 비점오염원 저감시설 설치관련 지침이 주류를 이루고 있다. 환경부¹⁰⁾를 비롯한 중앙정부와 각 지방자치단체에서는 빗물관리의 중요성을 인식하고 지역별로 빗물관리시설의 개발, 우수저류 침투시설의 관련기준 수립 및 공공건물체의 빗물관리 시설 설치를 시도하고 있으나, 아직 초기단계에 머물고 있다. 물순환 회복을 위한 사업추진¹¹⁾의 경우에도 주로 하천 주변에 침투시설을 설치하여 이에 대한 효과를 모니터링하고 있다.

9) 대한주택공사(2006)“공동주택단지 우수관리 기반시스템 적용방안”수자원의지속적확보기술개발사업단, 과학기술부
10) 환경부와 건설교통부, 행정자치부, 농림부 등 정부기관에서는 4대강 비점오염원 관리종합대책을 수립(2004년 3월)하여, 도시, 농업, 산림, 도로, 하천 등의 사업 분야와 제도마련 및 시설 개발과 같은 사업을 추진하고 있다.
11) 서울특별시(2004)“서울시 물순환기본계획 연구”, 시정개발연구원·서울특별시

즉, 현재 국내에서는 분산식 빗물관리 시설 개발을 위하여 다양한 시도를 하고 있고, 또한 이를 공공건물을 중심으로 적용하려 하지만 공동주택과 관련해서는 아직 그 시도가 미약하고, 구체적인 시설적용지침도 부족하며, 옥상녹화 등 조경시설과 연계가 되지 않고 있는 실정이다. 따라서 선형침투시스템을 공동주택에 원활히 적용하기 위해서는 주거단지 내 적용 가능한 지침 개발이 매우 절실하다고 볼 수 있다.

4.3 설계지침의 개발 방향

공동주택 단지 내 우수저류와 침투를 유도하기 위해서는 여러 가지 요인을 고려해야 한다. 특히 선형침투시스템을 활용하여 침투시설의 설계지침을 마련하기 위해서는 선형침투시스템의 기본적 성능과 이와 함께 연계시킬 수 있는 시설의 성능을 동시에 고려해야 한다. 그리고 이들 시스템은 공동주택 내에서 발생한 빗물을 효과적으로 처리할 수 있는 하나의 시스템으로서 작동할 수 있어야 한다. 따라서 이들 시스템은 아래 그림12)과 같이 빗물발생원에서 하나의 시스템으로서 구축되는 방향으로 조성되어야 한다.

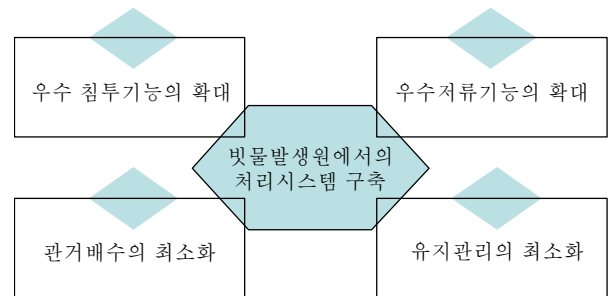


그림 9. 공동주택단지 내 우수저류, 침투시설 계획·설계 기본방향

앞서 언급하였듯이, 선형침투시스템은 초기우수를 정화하여“자연지반”으로 침투시키기 위해 만들어진 시스템이다. 기존의 우수관거와 동일한 규모로 설계되었기 때문에 기존의 우수관거 자리에 쉽게 대체할 수 있으나, 공동주택에 적용하기 위해선 몇 가지 고려해야할 사항이 있다. 앞서 사례를 통해 알 수 있듯이 우리나라에서 공동주택을 조성할 때 대지면적의 약 80%를 지하주차장으로 조성하고, 지하구조물의 손상을 막기 위하여 우수의 침투를 배제하면서 상부를 인공지반 조경시설을 설치하고 있다. 따라서 선형침투시스템을 공동주택에 적용하기 위해서는 인공지반과 자연지반을 나누어 지침을 설정해야 한다. 그리고 앞에서 살펴본 공간별 우수침투 수질에 따라 전처리 없이 바로 침투하는 경우와 전처리를 통해 정화 후 침투하는 경우를 나누어 결정해야 한다. 이에 대한 경우의 수를 도식화 하면 아래와 같다.

12) 수자원의 지속적 확보기술개발사업, 우수저류 및 활용 기술 개발,“공동주택단지 우수저류침투시설 지침(안)”

표 7. 공동주택 내 우수처리 구분

| 유출수 구분 | 수질 | 지반구분 | | 비고 |
|-----------------|------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| | | 자연지반 | 인공지반 | |
| 옥상녹화 유출수 | 침투할 수 있음 | 초지, 웅덩이 혹은 도랑을 통해 침투 | 우수관거 이용하여 자연지반, 저류조 등으로 유도 후 침투 | 우수 이용할 경우 침전처리 필요함 |
| 조경지 유출수 | | | | |
| 조경지와 도로면 사이 유출수 | 정화 후 침투 가능 | 선형 침투시스템 정화 후 침투 | 선형침투시스템 정화 후 침투조로 유도, 침투 | |
| 저류옥상 유출수 | | | | |
| 도로 유출수 | | | | |

독일의 ATV 지침과 앞서 조사한 공간별 초기우수 오염도에 따라 옥상녹화와 조경지에서 유출된 우수는 초기 우수 내에 오염물질 함량이 그리 높지 않으므로 별도의 전처리 없이 바로 침투가 가능하다. 인공지반일 경우 기존의 우수관거와 지하 저류조를 연계하여 우수관거를 통해 빗물을 자연지반에 설치된 저류조로 유도한 후 침투시키는 방법을 사용한다. 단, 이들 우수를 공동주택 단지 내 조경수나 실개천, 생태연못 등에 이용하려면 유출수 내에 침전물을 제거하기 위한 전처리 작업이 필요하다.

초기우수 내에 오염물질 농도가 비교적 높은 도로면 유출수와 저류옥상 유출수의 경우 반드시 선형침투시스템과 연계하여 정화작업을 거친 후 침투하도록 한다. 단, 인공지반일 경우 선형침투시스템 하부의 저류조를 침투가 가능한 저류조가 아닌 우수관거와 같은 역할을 하는 저류조를 설치하여 자연지반에 설치된 침투조로 유도하여 침투하도록 한다.

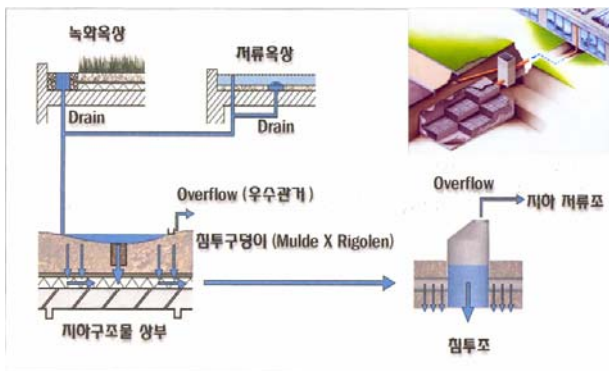


그림 10. 선형침투시스템을 활용한 침투체계 구성

5. 결론

지금까지 선형침투시스템을 공동주택에 적용하기 위하여 공간별 초기우수의 특성을 파악하고 침투시스템의 정화 성능도 실험을 통해 평가하였다. 그리고 우리나라 공동주택에 설치된 빗물관련 시설의 현황도 파악하였다. 독일의 지침에 맞추어 공간별로 빗물침투관련 시설의 설치 유형을 구분하였고, 이를 바탕으로 선형침투시스템의 지

침방향을 설정하였다.

본 연구에서는 침투시스템을 적용할 때 인공지반과 자연지반으로 지반을 구분하고 독일 지침에 맞추어 공간별로 유출수를 구분하여 이에 맞는 공간별 선형침투시스템의 적용유형을 제시하였다. 그러나 보다 유기적인 빗물관련 시설을 외부공간에 적용하기 위해서는 옥상녹화, 투수성 포장, 저류조 등과 유기적인 연계를 가진 총체적인 시스템을 구축해야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원 “선형 침투시스템 개발 및 적용” 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 과학기술부
2. 한국건설기술연구원(2006) “우수 저류 및 활용시스템 적용” 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 과학기술부
3. 서울특별시(2004) "서울시 물순환기본계획 연구", 시정개발연구원·서울특별시
4. 김석구 외 4인, “불투수면 강우 유출수 처리 장치의 현장 적용”, 대한환경공학회 춘계학술발표회
5. 대한주택공사(2006) “공동주택단지 우수관리 기반시스템 적용방안” 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 과학기술부
6. 건설교통부, 한국건설기술연구원(1999) “생태도시 조성기반 기술 개발사업Ⅲ”
7. 환경부, 한국건설기술연구원(2005) “신도시 조성 등에 적용할 생태면적률 기준 도입 방안에 관한연구”