

# 저부하형 개발을 위한 화단형 빗물침투시설 적용방안

- 생태전원마을에서의 적용을 중심으로 -

## Application of the Flowerbed Type Infiltration System for Low Impact Development

- Focus on the Application to Eco-Village -

한 영 해*	이 태 구**	T. Schuetze***
Han, Young-Hae	Lee, Tae-Goo	T. Schuetze

### Abstract

Since 2000 country region developmental policy has been to integrate not only the improvement of physical living environment but also various subjects on ecology, environment, scenery, local culture, and green tourism. This study has recently established a decentralized Rainwater Management plan in order to provide an hydrology cycle system to the eco-village being planned by Seocheon-gun as a part of the garden village development business promoted by the ministry of agriculture and forestry.

Hydraulic conductivity of the subject area is measured at  $10^{-7} \sim 10^{-10}$  m/sec, and a flowerbed-type rainwater Infiltration system capable of controlling a non-point pollution source that stems from the development-caused impermeable surface has been applied. In the case of rainwater flowing out from the main entrance way and parking lot within the complex being treated in the flowerbed-type rainwater infiltration system, natural purification effects via soil and plants as well as natural water cycling effects through evapotranspiration and infiltration are expected.

The significance of this study, compared to conventional decentralized rainwater management being applied limited to the urban areas, is that it offers appropriate rainwater management planning based on the analysis of the current situation of the subject area. Decentralized Rainwater Management is a valuable measure both economically and ecologically that reduces the burdens on local underground water cultivation as well as rain water pipe lines or purification systems, and sewage pipes.

키워드 : 분산식 빗물관리, 저부하형개발, 생태전원마을, 화단형 빗물침투시스템, 비점오염

Keywords : Decentralized rainwater management, Low Impact Development, Eco-Village, flowerbed-type rainwater infiltration system, non-point pollution

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근의 공간계획에 물순환을 도모할 수 있도록 저부하형 개발방식이 활발히 적용되고 있다. 2007년 12월에 착공한 아산탕정 신도시는 지속가능한 도시개발 개념에 대한 논의 결과로, 이와 같은 개념을 적극 적용하고 있는 도시 중 하나이다. 지구단위계획 지침상에 물순환 도시조성을 위한 계획지침 등을 제시하고 시범지구를 선정, 현

장실험 및 분석을 통해 실질적으로 저부하형 개발을 하고 있는 예이다. 그러나 이와 같이 환경성을 강화하고 지속가능한 발전을 도모하기 위한 움직임이 개발의 필수조건임에도 불구하고 소단위 민간개발사업에서는 이러한 기술적용에 제한적인 것이 사실이다.

한편, 2000년 이후 농촌지역 개발정책이 물리적 정주환경 개선 뿐 아니라 생태, 환경, 경관, 지역문화, 그린투어리즘 등 다양한 주제를 반영하고 있다(김강섭외1, 2006). 특히 농림부 주관의 전원마을 조성사업은 “2006년 전원마을 페스티벌”을 계기로 최근에 도시민 농촌 이주 및 정착과 관련하여 입주자들과 지자체, 전문가들이 공동주체가 되어 친환경적인 정주환경을 조성하고자 하는 특성이 나타나고 있다<sup>1)</sup>. 전원마을 조성사업의 경우, 정부나 공공기관 주체의 개발방식이 아니면서, 입주자 공동체가 친환경

\* 주저자, 예코아르케 생태도시건축연구소장, 공학박사 (youngseahan@empal.com)

\*\* 교신저자, 세명대학교 건축공학과 교수 (tg\_lee@semyung.ac.kr)

\*\*\* 공동저자,성균관대학교 건축학과 교수(t.schuetze@skku.edu)

적이고 생태적인 그러면서 공동체복원을 통하여 지속가능한 전원마을을 조성하고자 하는데 목적을 두는 바, 다양한 친환경적 계획기법의 적용에 유연하게 대처할 수 있는 잇점이 있다.

이에 본 연구에서는 민간주도이면서 저부하형 개발방식이 더욱 요구되고 있는 전원마을의 개발에 있어 이러한 개념을 공간계획 과정상에 적극 적용하고자 기존의 우수관거시스템을 대체할 수 있는 시스템 및 적용방안을 모색하고자 한다. 본 연구의 사례대상지는 충남 서천군의 '산너울' 생태·공동체 전원마을로서 계획 당시 국가지원 혹은 지역지원 사업들에 관한 정보를 종합 연계함으로써 다양한 생태적 계획기법을 적용하고 있다.<sup>2)</sup>

특히, 서천 생태마을의 경우 자연환경이 잘 보존되어 있고 이를 고려하여 단지를 조성하고자 하기 때문에 이 지역이 요구하는 수준에서의 생태적 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 서천군 생태마을을 대상으로 자연적인 물순환 체계 구축을 목적으로 적용가능한 시스템을 제안하며, 용량산정 및 위치적용 등 저부하형 빗물관리 계획을 수립하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 충남 서천군 판교면 등고리 28번지 일원에 계획된 '산너울'생태마을이며, 전체 면적은 29,749m<sup>2</sup>이다.

주요연구내용은 먼저 저부하형 개발원칙에 부합되는 시설 선정을 위하여 자연지형 및 원래의 토양, 식생기능을 충분히 유지할 수 있는 빗물관리시설에 대해 고찰하였다. 이를 토대로 대상지에 적용 가능한 저부하형 빗물관리시설을 선정·계획하였다. 선정된 계획시설의 특성을 파악하고, 대상지의 여건을 검토하여 시설규모를 산정, 배치계획을 수립하였다. 끝으로 선정된 시설을 적용하였을 경우 예상되는 효과를 검토하였다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1 LID와 분산식 빗물관리

저부하형 개발(LID; Low Impact Development)은 도시개발 시 대상지의 자연적 특성을 보전하고 이를 구체화하기 위한 개발방식의 하나이며, 토지계획과 빗물유출관리를 위한 기술적 접근이기도 하다. 이러한 접근은 소규모 물순환을 강조하고 있으며, 빗물의 침투나 여과, 증발산, 현지에서의 저류 등을 통하여 유역에서 수문학적 현상을 개발이전의 상태로 유지하는데 그 목적을 두고 있

다(Earl Shaver,2000; 한영해·최영국,2005).

유사한 개념으로 분산식 빗물관리는 지역내에서 발생하는 유출수를 빗물이용 및 침투·저류시설 등을 이용하여 그 지역내에서 처리하는 방법으로, 이를 위해서는 빗물의 상태나 활용목적에 따라 전처리·이용·저류·침투시설을 조합하여 계획한다(Freie und Hansestadt Hamburg Umweltbehoerde, 2000). 분산식 빗물관리는 방법론적으로는 집중식의 반대되는 개념으로서 빗물을 최적으로 관리할 수 있는 기법(BMP's ; Best Management Practices)의 한 유형이다. 또한 계획적 측면에서 보면 개발로 인해 발생하는 영향요인을 최소화하는 저부하형 계획·설계기법이다(한영해, 2005).

### 2.2 토양과 식물의 환경적 기능

유기질이 풍부하고 공극이 잘 발달된 토양은 오염된 빗물이 이곳을 통과하는 동안 각종 이온이 흡착·교환·불용화되는 과정을 거치며 수질정화 기능을 갖는다. 특히 질소나 인 같은 물질의 농도를 낮추고 산성비의 산도를 중성에 가깝게 하는 기능을 하며, 또 토양 내에 존재하는 토양 미생물들은 대기오염 물질인 질소산화물을 분해시켜준다.

도시지역에서 유출되는 빗물의 오염물질은 일반적으로 인(Pb)이나 질소(N) 등 영양물질이나, 낙엽·씨·잔디 등 유기물질, 침전물, 병원균 등 다양하다. 이러한 오염물질은 초기강우 불투수포장면으로부터 약 0.5인치 정도 유출될 때 가장 많이 발생하며 이때 0.5-1.5인치 사이의 내리는 빗물은 주거지역의 경우 연간 총유출빗물의 오염물질의 약 75%에 해당한다고 한다(Mondale, 2001). 그러나 토양은 자연정화 및 흡수 기능을 갖고 있어서 지표로부터 약 30cm 토양층을 거치면서 침전, 토양에 유기적으로 흡착, 0.2 $\mu$ m이하의 미립자는 토양의 미세공극 속에 침투되는 물을 따라 필터링 된다(Schheffer und Schachtschabel, 1992).

토양의 환경기능은 수질정화 뿐 아니라 빗물의 일시저류 공간을 확보하고 식물의 생육기반이 된다. 따라서 도시지역에 자연토양이나 잔디면 같은 투수면을 확보하였을 때는 토양과 그 위에 식재된 식물에 의해 증발산이 일어나며, 이때 침투와 증발산량을 증가시킬 뿐 아니라 증발잠열에 의해 포장표면의 온도상승을 억제하는 효과를 준다(서용철, 2000). 이는 도시의 대표적 불투수면인 콘크리트와 아스팔트에서 일어나는 현상과 매우 상반된 결과를 갖는다.

식물은 식물뿌리를 통해 오염물질을 흡수 축적, 흡착 및 침전 등을 유도하며 오염물질을 고정시키게 된다. 최근 식물을 이용하여 오염토양을 정화하는 기술이 연구되고 있다. 오염된 지역에 특정 중금속에 대한 흡수력이 큰 식물을 식재하게 되는데. 주로 양황철, 회양목, 단풍나무 및 팽나무 등을 토양 중금속 오염지역에 대한 정화식물로 사용하고 있다. 식물의 정화기능을 이용하여 유류나 중금속, 광산지역의 오염토양을 복원하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구는 개별적으로 식물을 선정, 식

1) 이러한 경향은 2006년 농림부와 농어업농어촌특별대책위원회, 한국농촌공사가 공동 주최한 전원마을 페스티벌에서 확인된 바 있으며, 지자체가 제안하고 정부가 조성을 지원하는 전원마을 22곳의 마스터플랜과 운영프로그램 등에서 그 특성을 찾아볼 수 있다.  
2) '산너울' 전원마을 기본계획상의 태양열 시스템과 태양광 발전 시스템, 지열시스템, 풍력발전시스템을 적용하며, 우수 및 하수 처리에 있어서도 생태정화수로 및 생태연못, 우수처리연못 등 다양한 계획요소를 적용하고 있다(서천군,2006).

물종류에 따라 오염도양의 복원정도를 분석하는 연구가 주를 이루고 있다(이규현 외2, 2004; 옥용식의 4, 2004).

식물정화기술에 적용되는 주요한 기작은 토양오염물질을 직접 식물체내로 흡수하여 식물체 내에서 대사에 이용되거나 식물체내의 효소에 의해 덜 유해한 생성물로 변형되는 것이다. 또한 식물체의 잎을 통하여 휘발성유기탄소화합물을 증산시키거나 식물뿌리에서 삼출물 또는 효소를 방출시킴으로써 뿌리로부터 1-2mm 이내 서식하는 토양미생물을 활성화하여 유기물질의 생화학적 분해를 촉진시키는 기능을 수행한다(이규현 외2, 2004). 이렇듯 식물의 자연정화기능을 이용하여 직접적으로 오염된 토양을 정화하는 한편, 간접적으로 공기정화의 기능도 갖게 된다.

이외에도 관목이나 지피식물은 토양의 수인함양 기능을 높이는 데 도움을 주는 것을 알 수 있다. 토양의 작은 입자 사이에 있는 공극은 빗물이 스며들 수 있는 공간이 되는데, 곧바로 떨어지는 빗방울은 빗물이 땅 속으로 스며드는 길을 막아버릴 수 있기 때문이다. 그러나 빗방울이 작은 초본식물의 잎에 맺혔다가 떨어지면 공극 구조의 보호제로서의 역할을 하게 된다.

**2.3 토양과 식물을 소재로 한 빗물관리시설**

빗물관리시설 중 주로 자연재료를 이용, 조성된 시설을 중심으로 자연정화기능을 살펴 본 결과는 다음과 같다. 기존 연구결과에 따르면 이러한 시설의 오염물질 저감효과를 분석하는 것은 설계적 특성상 동일한 조건하에서 이루어지기 어렵기 때문에 원단위 평가가 어려운 것으로 나타난다. 따라서 관련 선행연구 결과를 종합하여 몇 개 시설에 대해서 오염물질 제거효과를 검토하였다.

잔디도랑(grass swales)은 부유물질을 약 80%가량 제거할 수 있는데, 이는 잔디수로 하부의 토양이 높은 침투능을 갖고 있을 때 가능하며, 물의 흐름이 초당 15cm 이하로 흐르도록 설계될 때 가능하다. 물의 흐름이 이보다 빠르면 오염물질 제거 효율이 이처럼 높지 않게 된다. 따라서 이 시설의 경사가 3%이하로 설계될 때 정화기능을 발휘할 수 있게 된다(Whalen & Callum, 1988).

투수구덩이(mulden)는 빗물과 함께 흘러들어 오는 실트나 모래를 약 5-25%가량 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 시설의 효과는 현장 데이터가 부족한 편이어서, 대부분 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 분석된 값이다. 투수구덩이-자갈층 조합시설(mulden-Rigolen system)<sup>3)</sup>은 부유물질 뿐 아니라 강우의 많은 양을 처리할 수 있으며, 투수연못의 오염물질 제거율은 0에서 많게는 70-99%가량에 이른다 (Urbanous, 1993).

3) 투수구덩이-자갈층 조합시설은 토양의 자연정화력을 이용하여 표면 20-30cm로 침투되고 자갈의 공극을 통해 저류하는 시스템이다.

표 1. 침투·저류시설별 오염물질 저감효과

시설종류	부유물질(TSS)	인(P)	질소(N)	아연(Zn)	Pb	BOD	Bacteria
다공성 포장 <sup>1)</sup>	85-95	65	75-85	98	80	80	n/a
자갈트렌치 <sup>1)</sup>	0-99	0-75	0-70	0-99	0-99	0-90	75-98
투수구덩이-자갈층 <sup>1)</sup>	99	65-75	60-70	95-99	n/a	90	98
저류연못 <sup>2)</sup>	91	0-79	0-80	0-71	9-95	0-69	n/a
확장저류지 <sup>3)</sup>	50-70	10-20	10-20	30-60	75-90	-	50-90
모래필터 <sup>4)</sup>	60-80	60-80	(-110)-0	10-80	60-80	60-80	n/a

자료 : Colorado Stormwater Task Force(1990)

- Schueler(1987), 모델링에 의해 도출된 값
- EPA(1983), 설계를 고려하지 않고 NURP(National Urban Runoff Program) 데이터에 근거한 값
- EPA(1986), Grizzard et al.(1986), 현장과 실험실 데이터에 근거한 값
- Veenhuis et al(1989), Austin, Texas에서 조사한 현장자료를 근거로 한 값

주차장 주변에 조밀하게 지피식물을 식재하고 낮게 조성된 녹지대를 조성하게 되면 주차장 표면에서 유출되는 빗물의 90%가량을 처리할 수 있으며, 메릴랜드 대학의 연구결과에 의하면, rain garden<sup>4)</sup>은 오염물질을 제거하는데 매우 효과적임을 밝히고 있다. 평균 오염물질의 저감 정도는 토양깊이에 따라 변화하는데 평균 3피트일 때 Cu93%, Pb 99%, Zn 99%, P81%, TKN68%, HH4+79%, No3- 23%, TN 43%가 저감됨을 밝혔다(Earl Shaver, 2000)

국내에서는 서울대학교(2002)가 도심 내에서의 물순환 개선 및 생물다양성 증진을 위한 시설의 하나로 우수저류 및 침투연못 시스템을 제안한 바 있다. 이 연구에서 제안된 시설은 빗물저류 뿐 아니라 생물서식기반을 조성하기 위한 형태적 특성을 갖고 있다. 기존에 콘크리트 재질의 침투트렌치나 침투정과는 달리 쇄석여과층을 두어 전처리한 후 저류연못으로 유입, 이곳에서 월류되는 빗물을 침투연못으로 흘러가게 하는 시스템이다. 이때 저류연못이나 침투연못에 정수식물을 식재, 식물에 의한 자연정화 및 침투·저류연못에서의 자연적인 증발산, 침투, 저류를 유도하는 기능을 갖게 하였다.

한편, 토양정화를 이용한 잡배수 활용기술 개발과 관련, 다공성 여재 및 식재된 식물의 종류에 따라 수질의 정화양상 및 식물의 성장률을 분석한 연구결과도 보인다(현경학, 2004). 건설기술연구원(2005)의 선형침투시스템은 바이오스톤에 의한 여과 및 흡착기능을 추가, 여재의 자연정화능력과 토양의 자체정화능력을 분석한 바 있다. 연구결과 고형물(SS), 총질소(TN), 총인(TP)의 농도가 감소한 결과를 보였다. 이외에도 환경시설관리공사에서 개발된 자연정화식 맨홀시스템(Stormsys) 또한 식생대를 이용한 오염물질 처리가 가능하도록 개발된 장치형 시설이다<sup>5)</sup>.

4) rain garden 은 상부에는 관목이나 교목, 지피식물을 식재하고 하부에는 토양과 모래, 자갈층을 두어 빗물을 일시적으로 잡아둘 수 있게 설계된 녹지이다. 평지보다 조금 낮게 위치하여 이곳으로 빗물이 모여들 수 있게 설계한다. 주로 저부하형 설계 기법의 하나로 소개되고 있다.

5) <http://www.efmc.co.kr/> 에서 참조

3. 저부하형 개발계획 여건 분석 및 계획방향 도출

3.1 계획여건의 검토

1) 포장면적

계획 이전의 대상지는 60m~75m의 표고로 북고남저형의 10%이하 경사를 갖는 지형이다. 전체면적 29,749㎡ 중 답이 65% 이상을 차지하고 있다. 이곳에 총 36가구의 클러스터 모양의 주거군(35%)이 형성되며 입주민들의 요구에 따라 농장용지(23.7%), 복합문화관, 게스트하우스 등 공동시설(41%)이 계획되어 있다.

개발 전후 가장 큰 변화는 기존의 자연지반이 포장되어 변화되는 양상인데, 개발로 인해 포장면적은 약 50%에 이르게 된다. 건축면적에 해당하는 지붕면적은 빗물이용을 위한 집수면으로 활용되며, 주차장이나 도로는 비점오염을 처리하며 빗물을 침투·저류하는 집수면으로 고려되는 사항이다.

표 2. 종류별 포장면적

종류	면적(㎡)	비고
건축면적	10,452	주택건설용지면적으로 계산
진입도로	1,105	t=20cm
주차장	1,338	주차대수: 48대 주차면적 :600㎡
보행로(3m)	957	t=15cm
보행로(1.5m)	173	

2) 지하수위 및 투수계수

대상지역의 지하수위 및 투수계수는 계획시설을 선정하는 주요한 인자가 된다. 일반적으로 토양투수계수  $k_f$ 가  $10^{-3} \sim 10^{-6}$  m/s 의 범위에 해당하면 침투시설의 설치가 가능하다(Ministrium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, 2001). 침투시설의 경우 시설의 바닥면에서부터 지하수위까지의 거리가 최소 1m이상 떨어져야 침투기능이 원활히 이루어진다(Ministrium fuer Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, 2001).

지하수위 측정을 위해 대상지내 13곳을 보링하여 지하수위 측정된 결과 지표면에서부터 1.0~13m에 이르러 일부구간을 제외하고는 침투시설 설치에 제한적이지 않은 것으로 분석되었다. 그러나 투수계수의 경우 각 보링홀에서 2m 깊이로 채취한 시료가 대부분 점토질로서 토양투수계수는  $10^{-7} \sim 10^{-10}$  m/sec 로 투수율이 매우 낮게 나타났다. 따라서 침투시설 설치에 제한적인 것으로 드러났다.

3) 경사

분산식 빗물관리를 위해 계획시설을 설치하는데 있어 대상지의 경사에 따라 설치가 제한적이다(Bandermann, 1996; Sieker, 1998). 대상지는 평균 10%의 경사를 갖으나, 계단식으로 계획되어 일부구간 법면을 형성하고 기타 구조물이 계획된 곳은 평지로 3% 내외의 경사를 이룬다.

표 3. 경사도에 따른 분산식 빗물침투시설의 적용

경사도(%)	분산식 빗물침투시설의 적용
0~2%	제한 없음
2~6%	경사방향으로 시설 설치시 길이 3~10m로 제한
6~12%	경사의 직각방향 설치
>12%	시공상에 특별한 방법 적용 요구

자료 : Bandermann, 1996; Sieker, 1998. p.58

3.2 기존 물관련 계획의 검토

서천군 생태마을의 기본계획상에 나타난 물관련 계획 중 본 연구와 관련하여 우수계획을 검토하고 이를 토대로 보완 및 수정할 사항을 결정하였다. 우수계획의 주요한 특성은 기존의 지표유출수를 우수관거 및 맨홀을 설치하여 배제중심으로 계획했던 것과 달리 단지내 실개천과 생태연못 등 오픈형 수로와 지표유출을 유도하였다는 것이다. 그리고 단지외곽에 공공우수관거를 설치하여 이곳으로 자연유입 되도록 계획하였다.

대상지에 계획된 일반우수처리시설로는 소운동장 지하부에 배수가 원활히 되도록 맨암거를 계획하였으며, 단지내 도로 횡단부와 주차장 외곽, 수로가 보행로를 횡단으로 가로지르는 부분에 55~60m의 간격으로 횡단측구를 배치하였다. 단지 외곽의 남단에는 U형측구를 설치, 단지에서 유출되는 빗물을 집수정으로 유도 우수관거로 처리하도록 계획되었다.

표 4. 대상지 우수처리계획시설

시설	적용구간	특성
맨암거	소운동장	지하배수
횡단측구	단지내 도로, 주차장 외곽, 소운동장 남측	지표유출수 배수
U형측구	단지외곽 남단	지표유출수 배수
집수정, 맨홀	단지 외부	우수집수, 관거로 유도
우수관로	단지 외부	공공관거로 유도

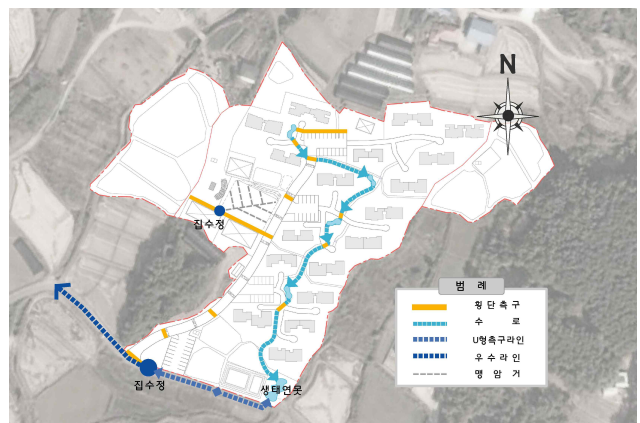


그림 1. 대상지의 기존 우수관리계획도

3.3 계획방향 도출

서천 생태마을에서의 물순환 구축 목표는 단지개발로 인해 발생하는 물순환 체계의 훼손을 최소화하는데 있다. 따라서 이를 실현하기 위한 구체적 목표 및 실현수단은 다음과 같이 설정하였다.

첫째, 개발에 의한 토지이용 변화로 인해 발생하는 유출량 증가를 빗물침투·저류시스템을 적용함으로써 개발 이전의 상태를 회복한다.

둘째, 현지에서 발생하는 비점오염원을 토양이나 식생에 의한 자연정화기능을 이용, 처리하도록 한다.

셋째, 기존 우수관리계획과 조화되어 오픈형 시설을 위주로 적용하며, 이로서 개발 후 토지피복의 변화로 인해 발생하는 증발산량 감소 및 미기후 변화를 최소화한다.

#### 4. 분산식 빗물관리 기본구상

##### 4.1 계획시설 선정

###### 1) 계획시설 선정

대상지의 지역여건을 분석한 결과 분산식 빗물관리 계획시설의 선정기준은 다음과 같이 결정하였다.

첫째, 대상지의 토양투수계수가  $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{m/sec}$  의 범위에 해당하므로 저류시설을 중심으로 선정하되 일부 침투기능을 추가한다.

둘째, 단지 내 도로 및 주차장 주변의 유출수를 자연정화 할 수 있도록 시설을 선정하여 현지에서 비점오염원을 처리한다.

셋째, 빗물유도 시 증발산 기능을 도모하기 위해 빗물을 침투·저류시설로 유도할 때에 잔디수로와 같은 오픈형 수로 형태 적용한다.

위의 기준에 의해 건축물 차원에서 빗물이용시스템과 외부공간에서는 빗물의 자연정화 및 침투·저류가 가능한 화단형 빗물시스템을 선정하였다.

###### 2) 설치 시 고려요소

분산식 빗물관리 시설을 설치 할 경우 다음의 조건들을 고려하여 배치 및 설계한다.

###### ① 경사

대상지 구간에 따라 4~10%의 경사를 이루는데, 경사가 6% 이하 구간일 경우 침투시설을 경사방향으로 설치시 시설길이 3~10m로 제한한다. 또한 6~10% 구간에서는 경사의 직각방향으로 침투시설을 설치한다.

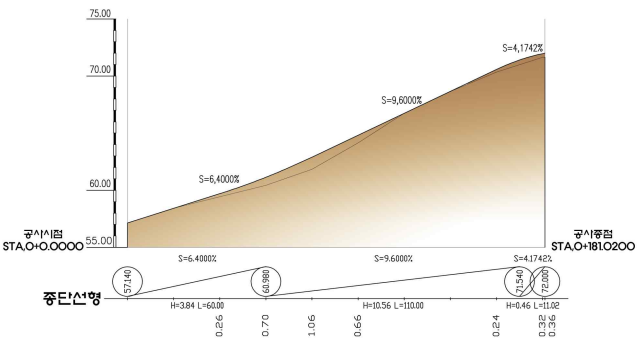


그림 2. 대상지 진입로 종단면도

###### ② 절 · 성토면에서의 이격거리

성토전의 지반 이용형태가 논이거나 지하수위가 높은 지역에는 침투시설을 설치하지 않는다. 절토면 단부사면

에 침투시설을 설치할 경우 사면 안정성을 고려하여 경사 30° 이상인 경우와 경사높이 2배 거리 내에는 침투시설을 설치하지 않도록 한다.

###### ③ 건축물과의 이격

건축물의 안정성을 고려하여 침투시설 설치 시 건물로부터 1.5m 이상 떨어져서 설치한다.

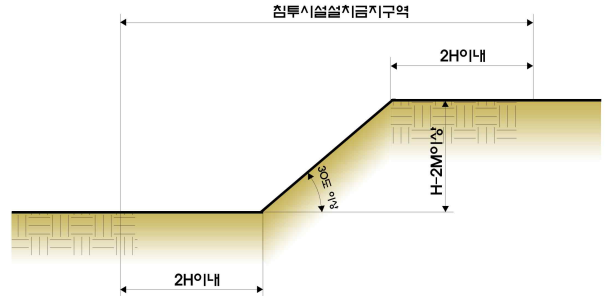


그림 3. 경사지에서의 침투시설 설치 금지구역  
출처:(주)조경설계서안, 2000

##### 4.2 화단형 빗물침투시설의 특성

앞서 이론적 고찰에서 언급한 내용처럼 토양·식생에 의한 빗물의 자연침투 및 저류, 정화는 저부하형 개발의 원칙을 충실히 담고 있다. 이에 본 연구에서 적용하는 시설은 도로 우수배수와 침투·저류기능을 갖는 시스템으로 협소한 대지와 침투시설을 설치하기 어려운 대지조건에서도 적용이 가능한 시스템으로 하였다<sup>6)</sup>. 이 시스템은 토양과 식물에 의해 유출수의 오염원 제거가 가능한 화단형태의 빗물침투저류시설이다.

본 시설은 상부에 식물이 심겨지는 식재·토양부와 그 하부의 자갈층이나 저류박스로 조성되는 저류부, 기존의 관거체계와 연결이 가능하도록 하는 배수관망부로 구성되어 있다. 식재·토양부는 콘크리트 화단틀 내부에 투수계수가  $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{m/s}$ 인 토양을 포설하고 그 안에 식재를 함으로써 식물과 토양에 의한 자연정화 기능을 수행하게 된다. 그 하부에는 자갈층과 유공관을 두어 자갈층에 빗물이 일시 저류되었다가 서서히 자연지반으로 침투되며, 집중강우시 유입되는 빗물이 많을 경우 유공관을 따라 배수조절조로 연결, 우수관이나 인근 실개천으로 빗물을 배수하는 시스템이다. 배수관망부에는 맨홀형태의 점검조와 월류된 빗물이 일시 모이는 월류조, 이를 연결하는 자갈층 내부의 유공관을 포함한다.

본 대상지에서는 주차장과 단지진입도로에 배치하였는데, 주차장에 설치할 경우 자연구배에 의해 유출수를 집수하기 때문에 경사 하단부에 배치하였다. 또한 진입로 부분은 진입로의 우측이 경사면으로 조성되므로 좌측면의 평지에 설치하였다.

6) 본 시스템에 대한 자세한 내용은 특허 제 10-0714315호(등록)을 참고한다.

5. 계획시설의 용량산정

5.1 용량산정 방법

화단형 빗물침투·저류시스템은 주차장과 주차도로 등 불투수면에 떨어지는 초기우수를 처리할 수 있는 용량으로 산정하였다. 일반적으로 초기우수는 집수면에서 평균 7.4mm 발생한 양으로 보며(김이형, 2007), 집수율은 0.7을 적용하였다. 본 대상지에서는 주차장 3곳과 진입도로의 집수면을 구분하여 시스템 처리량(Qs)을 산정하고 설치 지역의 조건을 검토, 시스템크기 및 내부 자갈층의 용량을 결정하였다.

$$Q_s = 10^{-3} \times A_c \times c \times e \quad (\text{식1})$$

(Qs: 시스템처리량(m³), Ac: 주차장면적(m²), c: 7.0 (mm)  
e: 집수율 0.7)

5.2 화단형 침투저류시스템의 용량

① 적용지역 : 주차장

단지 내 주차장을 P1, P2, P3로 구분, 각 주차장의 면적(Ac)에 초기우수 7mm가 발생했을 때 각 주차장 P1의 시스템 처리량(Qs)은 Qsp1=2.175m³, 주차장 P2의 처리량 Qsp2=1.27m³, 주차장 P3의 처리량 Qsp3=1.86m³으로 산정되었다.

이 목표량을 처리하기 위하여 각 주차장에 설치되는 화단형 빗물·침투저류시스템의 면적(As)은 주변지역의 조건에 따라 길이와 폭을 결정하였다. 경사지에서 2m 내외에는 침투시설의 설치가 제한되므로 이를 고려하여 배치하고 각 주차장의 주변지역에 최대로 설치할 수 있는 시스템의 면적은 주차장 P1의 시스템 면적 As1 =11m², 주차장 P2의 시스템 면적 As2 =7.5m², 주차장 P3의 시스템 면적 As3 =10.5m²이다.

각 주차장의 집수면과 처리량, 시스템의 면적을 이용하여 시스템내의 요구되는 자갈층 깊이(h)는 다음과 같다.

$$h = \frac{A_s \times 0.3}{Q_s} \quad (\text{식2})$$

(h: 자갈층 깊이(m), Qs: 시스템처리량(m³), As: 시스템면적(m²), 자갈층 공극율 0.3)

표 5. 주차장 지역의 화단형 빗물침투저류시스템 용량

주차장 (P)	주차장면적 Ac(m²)	시스템처리량 Qs(m³)	시스템면적 As(m²)	자갈층높이 h(m)
P1	435	2.175	11	0.66
P2	254	1.270	7.5	0.56
P3	372	1.860	10.5	0.59

7) 김이형(2007)의 연구에 의하면 유출이 시작된 이후 초기 30% 강우유출이 발생할 때 35-80% 까지의 비점오염물질이 유출되는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 이용하여 실측 강우량과 비교 검토해 본 결과 처리대상 강우량의 범위는 6-12mm의 범위이며, 평균 7.4mm로 분석되었다. 본 연구에서는 대상지역의 지역적 특성을 감안하여 주변지역의 오염도가 그리 크지 않기 때문에 초기우수 7mm를 적용하였다. 또한 초기강우의 경우 강우선행 여부에 따라 지표면에서 증발되거나 유실되기 때문에 집수율은 0.7을 적용하였다.

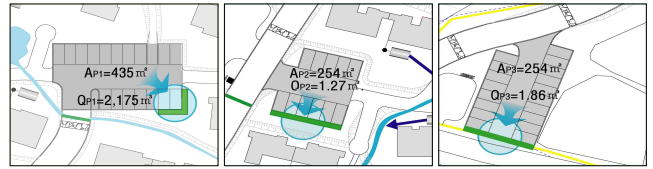


그림 4. 화단형 침투저류시스템 배치(주차장P1, P2, P3)

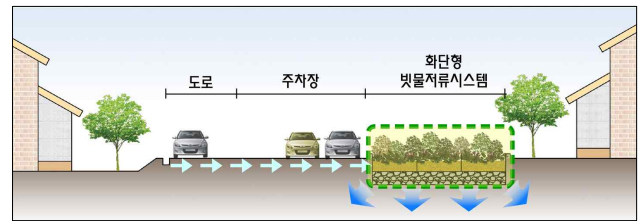


그림 5. 주차장 P1의 횡단면도

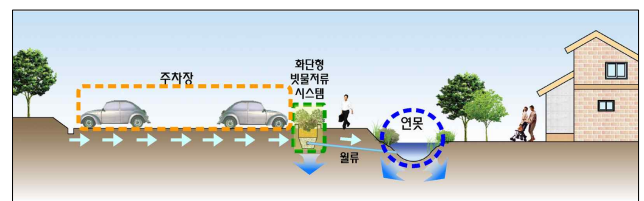


그림 6. 주차장 P1의 종단면도

② 적용지역 : 단지 내 진입로

단지내 진입로에는 진입로의 경사와 길이, 횡단축구의 위치를 고려하여 설치장소를 지정하였다. 진입로를 두 개의 집수면으로 구분하여 진입로 입구와 중간지점에 설치하도록 하여 처리량을 산정하였다. 도로의 선형을 고려하여 시스템의 폭과 자갈층 깊이를 일정하게 지정하고 시스템의 길이 산정하였다.

$$Q_s = 10^{-3} \times R_c \times c \times e \quad (\text{식3})$$

(Qs: 시스템처리량(m³), Rc: 각 진입로면적(m²), c: 7 (mm), e: 집수율 0.7)

진입로를 R1, R2로 구분, 각 진입로의 면적(Ac)에 초기우수 7mm가 발생했을 때의 양으로 진입로 R1에서 처리해야 할 양은 QSR1=2.67m³, 진입로 R2에서 처리량은 QSR2=3.79m³로 산정되었다.

각 진입로에 설치되는 화단형 빗물·침투저류시스템의 길이(Ls)는 진입도로의 경사와 횡단축구 위치에 따라 결정하였다. 시스템의 넓이를 1m, 자갈층 깊이를 0.7m로 일정하게 정하고 이때 필요한 시스템 길이를 산정하였다.

$$l = \frac{w \times h \times 0.3}{Q_s} \quad (\text{식4})$$

(l: 시스템길이(m), Qs: 시스템처리량(m³), w: 시스템넓이(m), h: 자갈층 깊이(m), 자갈층 공극율 0.3)

진입로 R1에 설치되는 시스템길이 Ls1=12.7m, 진입로 R2에 설치되는 시스템길이 Ls2=18.0m 가 요구된다.

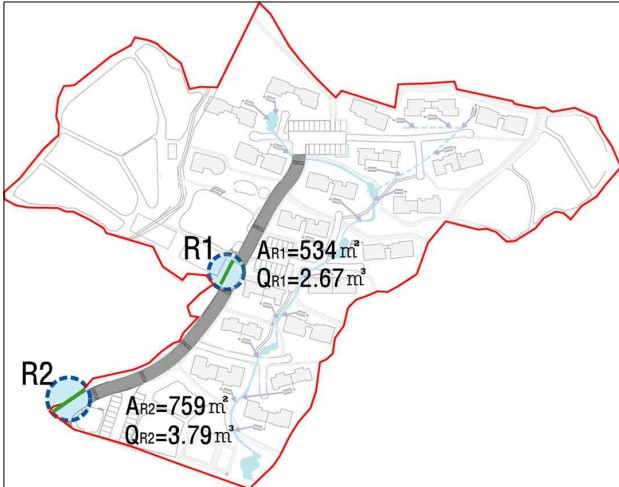


그림 7. 도로주변의 화단형 침투저류시스템 위치

표 5. 진입로 지역의 화단형 빗물침투저류시스템 용량 면적

진입로 (R)	진입로 집수면적 $A_c(m^2)$	시스템처리량 $Q_s(m^3)$	시스템 제원		
			넓이(w)	자갈층(h)	길이(l)
R1	534	2.67	1.0	0.7	12.7
R2	759	3.79	1.0	0.7	18.0

### 5.3 화단형 침투저류시스템의 적용효과

화단형 빗물침투저류시스템은 대상지내의 불투수면인 주차장과 주진입 도로면에서 유출되는 빗물을 처리하게 계획되었다.

본 대상지에 주차장과 진입도로를 아스팔트로 포장하였을 경우 이곳에서 유출되는 빗물이 연간 2443m³에 이른다<sup>8)</sup>.

반면, 화단형 빗물저류시스템을 이와 같이 설치할 경우 불투수면에 떨어지는 강우가 자연계로 순환되는 양은 약 1417톤에 이르는 것으로 분석되었다. 즉, 서천군의 년 평균 강우량 1232mm에서 7mm이상 강우량을 보인 날을 제외한 나머지 강우량을 집수, 저류할 경우<sup>9)</sup> 연간 668.9mm의 강우량을 화단형 빗물침투저류시스템에 의해 증발산, 침투, 저류하게 되며, 이 양은 약 1417톤에 이른다<sup>10)</sup>.

이 값은 적용 전의 유출량을 100으로 보았을 경우, 58%가량이 본 시스템에 의해 침투, 저류, 증발되어 처리되는 것을 의미한다.

8) 유출계수 0.9적용 시에 계산된 유출량 값이다.  
 9) 지표면에 떨어진 초기우수 7mm가 화단형 침투저류시스템에 정화, 저류된 이후에는 그 이상의 빗물은 일단 유공관을 통해 대상지 실개천이나 연못으로 방류되기 때문에 7mm이하의 강우량에 대해서만 지하침투량으로 산정한다.  
 10) 서천군의 일평균강우량(1971-2000)을 분석한 결과 일평균 강우가 7mm이상인 날이 77일이다. 7mm이상 강우에 대해서는 화단형 빗물침투·저류시스템에서 월류되어 단지내 실개천으로 방류되도록 계획되어 있다.

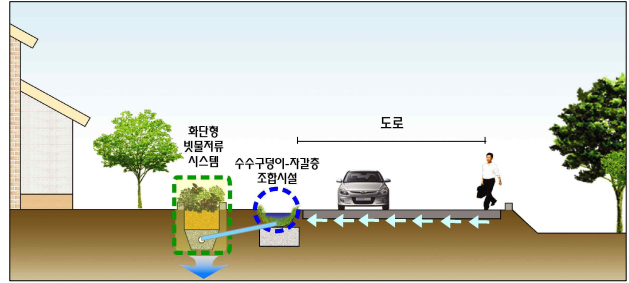


그림 8. R1에 설치된 화단형 빗물침투·저류시스템 횡단면도

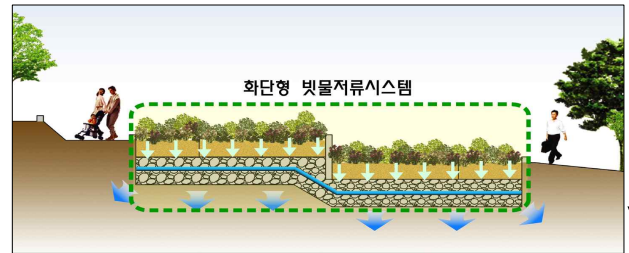


그림 9. R1에 설치된 화단형 빗물침투·저류시스템 종단면도

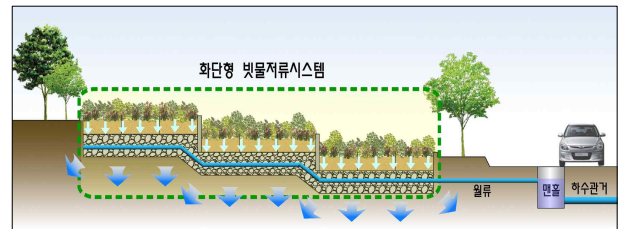


그림 10. R2에 설치된 화단형 빗물침투·저류시스템 종단면도

## 6. 결론

저부하형 개발방식의 하나로 분산식 빗물관리의 적용은 지역 내에서 빗물을 이용, 침투·저류함으로써 물순환 개선 뿐 아니라 건강한 토양기반을 조성한다는 것과 다양한 생물이 함께 서식할 수 있는 공간을 조성한다는 면에서도 그 의미가 있다. 또한 지역 내 지하수 함양 뿐 아니라 우수관거나 정화시설, 하수관거에 부하를 경감시키는 등 경제적으로나 생태적으로 가치 있는 방안이다.

본 연구는 저부하형 개발방식의 공간적응과정에 중점을 두어 수행되었다. 본 연구의 적용대상지인 서천군 생태마을의 경우 자연환경이 잘 보존되어 있고 이를 고려하여 단지를 조성하면서 이 지역이 요구하는 수준에서의 생태적 개발이 필수적이었다. 그러나 개발과정 중 지하수위의 저하로 인해 중국에는 생태적으로 개발하고자 계획했던 생태마을의 생태성을 유지하기 어렵고 또한 주변 실개천의 수원확보나 수로의 수량을 유지하기 어려울 것으로 예상되었다. 이에 본 연구는 서천군 생태전원마을의 개발방향과 부합하여 개발과정과 개발이후에도 생태적 지속성을 유지하기 위한 일환으로 자연적인 물순환 기본계획을 수립하였다.

서천 생태전원마을에서의 물순환 구축 목표는 단지개

발로 인해 발생하는 물순환 체계의 훼손을 최소화하는데 있고, 오픈스페이스에서는 현지에서 발생하는 비점오염원을 처리하면서 빗물을 침투·저류하는 화단형 빗물시스템을 적용하였다.

본 연구는 기존의 분산식 빗물관리 계획이 도시지역을 대상으로 제한적으로 적용된 것과 비교하여 마을 대상지의 현황을 진단하고 그에 적합한 빗물관리 계획을 한다는 데에 의의를 둘 수 있다.

### 후 기

본 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호-11 첨단도시C07)의 지원에 의해 일부 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 김강섭·이상정(2006), 농촌지역 개발정책의 개선방향에 대한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 2호(통권208호), 2006.3
2. 김이형(2007), 비점오염의 현황 및 적정 처리용량 산정을 위한 초기강우 기준 산정, 한국도로학회 제9권2호, 2007.6
3. 서울대학교(2002), 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발, 환경부.
4. 서용철(2000), 대학 캠퍼스내 야외공간의 여름철 미기후에 관한 연구, 한국교육시설학회 학회지.
5. 옥용식 외4(2004), 중금속 오염토양의 식물정화 기술과 형질전환 식물의 이용에 관한 연구, 한국토양비료학회지
6. 이규현 외 2 국내 자생 포플리에 의한 디젤오염 토양 식물정화 방안 연구(2004), 한국폐기물학회, 추계학술연구회발표논문집 p. 455
7. 에코아르케 생태도시건축연구소(2007), 서천 산너울 생태마을 물순환계획, (주)신화엔지니어링
8. (주) 이장(2006), 서천군 판교면 등고리 생태·공동체 ‘산너울’ 전원마을 기본계획, 서천군, 2006.9
9. 한국토지주택공사(2011), 아산 탕정 분산형 빗물관리 체계,
10. 한영해, 최영국(2005), 생태적 도시개발을 위한 물순환 체계 확보방안 연구. 국토연구원. p.9
11. 한영해·이태구·황희연(2006), 도시지역의 물순환체계 구축을 위한 화단형 침투·저류시스템 개발, 한국생태환경건축학회
12. 현경학(2004), 토양정화를 이용한 잡배수 활용기술개발, 대한주택공사
13. Bander mann, Stecker, A.(1996), Auswahl und Klassifizierung relevanter Einflussfaktoren auf die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und Anwendung des GIS als Planungshilfe. Zeitschrift fuer Stadtentwässerung und Gewässerschutz. H.37.
14. Colorado Stormwater Task Force(1990), BMP Practices Assesment for the Development of Colorado’s Stormwater Management Program, Final Report to Colorado Water QualityControl Division, Denver, 1990.
15. Earl Shaver(2000), Low Impact Design Manual for The Auckland Region. Auckland Regional Council. p.1
16. Londong, Dieter and Nothnagel, Annette(1999), Bauen mit dem Regenwasser, R.Oldenbourg Industrieverlag Muechen.
17. Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg (2001). Naturvertraegliche Regenwasserbewirtschaftung, Leitfaden fuer Planer, Ingenieure, Architrkten, Kommunen

und Behoerden.

18. Ministerium fuer Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg(2001), Leitfaden zur umweltvertraeglichen und kostenguenstigen Regenwasserbewirtschaftung in Brandenburg.
19. Mondale, T.(2001), Minnesota Urban Small Sites BMP Manual - Stormwater Best Management Practices for Cold Climates, Metropolitan Council Environmental Services.
20. Shaver, E.(2000), Low Impact Design Manual for The Auckland Region, Auckland Regional Council.
21. Sieker, 1998), Naturnahe Regenwasser bewirtschaftung, Stadoekologie; Bd.1.
22. Urbonas, Ben and Stahre, Peter(1993), Stormwater ; Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage and CSO Management, PTR Prentice-Hall, Inc.Earl Shaver.2000
23. Whalen, P.J. and Callum, M.G.(1988), An Assesment of Urban Land Use : Stormwater Runoff Quality Relationships and Treatment Efficiencies of Selected Stormwater Management System, South Florida Water Management District, Technical Publication 88-89.  
<http://epa.gov/owow/NPS/lid/>

투고(접수)일자: 2012년 4월 23일

수정일자: 2012년 6월 6일

게재확정일자: 2012년 6월 8일