

레인가든이 지하유출 및 첨두유량 감소에 미치는 효과*

김창수·성기준

부경대학교 생태공학과

Effects of Rain Garden on Reduction of Subsurface Runoff and Peak Flow

Kim, Changsoo and Sung, Kijune

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University.

ABSTRACT

This study assessed the subsurface runoff and peak flow reduction in rain gardens. The results showed that the highest water retention was found in rain garden mesocosms in which *Rhododendron lateritium* and *Zoysia japonica* were planted, followed by mesocosms in which either *R. lateritium* or *Z. japonica* was planted, and the lowest water retention rate was found in non-vegetated control treatment mesocosms ($\alpha < 0.05$). Although higher rainfall intensity caused a decrease of peak flow reduction in both vegetated and non-vegetated treatments, peak flow reduction was the greatest in mesocosms with mixed plants. A rain garden can be an effective tool for environment-friendly stormwater management and improving ecological functions in urban areas. Depending on the purpose such as delaying runoff or increasing infiltration, various plant types should be considered for rain garden designing.

Key Words : *Rain garden, Stormwater management, Subsurface runoff, Mixed planting, Low impact development.*

* 본 연구는 2011 학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK-2011-91).

First author : Kim, Changsoo, Dept. of Ecological Engineering, Pukyong National University,
Tel : +82-51-629-6544, E-mail : scvcontrol@nate.com

Corresponding author : Sung, Kijune, Dept. of Ecological Engineering, Pukyong National University,
Tel : +82-51-629-6544, E-mail : ksung@pknu.ac.kr

Received : 8 August, 2011. **Revised** : 22 September, 2011. **Accepted** : 20 October, 2011.

I. 서 론

도시화 이전에는 강우 시 발생하는 강우유출수가 자연토양층인 투수층으로 침투하여 정체효과를 거친 후 하천으로 유입되었으나 도시화의 진행과 배수위주의 물 관리 정책으로 인하여 불투수층이 증가하면서 토양에 침투하지 못하고 바로 하천으로 배출되면서 지역의 물수지를 왜곡시켜 도시생태계에 심각한 영향을 미치고 있다(Balmori and Benoit, 2007). 도시지역에서의 불투수성 면적의 증가는 강우 시 표면유출을 증가시키고 이로 인하여 하천의 유량도 급속히 상승시킬 뿐만 아니라 도시지역의 오염물질도 함께 유입시켜 하천의 수질저하를 초래한다. 또한 강우가 종료되면 곧바로 감소하여 비강우시의 상황으로 빠르게 전환되는 등 도시지역에서의 수문현상은 강우에 매우 민감하게 나타난다(Ferguson and Suckling, 1990).

레인가든(rain garden)은 도시지역에서 빗물을 최대한 많이 토양에 침투시켜 보유할 수 있도록 설계된 움푹하게 파여진 식재 지역이다(Dunnett and Clayden, 2007). 외국의 경우 강우유출수를 효과적으로 관리하기 위하여 1980년대부터 레인가든에 대한 연구가 시작되었으며, 적용지역의 물수지의 회복 및 강우유출수의 수질 정화에 적합하다고 판단하여 미국과 여러 선진 유럽지역에서는 레인가든의 도입이 이미 활성화 되어 관련 연구나 현장적용 사례가 증가하고 있다(Davis et al., 2001; Wossink and Hunt, 2003; Hsieh and Davis, 2005; Erikson et al., 2007). 특히 레인가든은 다른 장치형이나 자연형 시설 보다 비용 면에서 효율적이라 알려져 있어(Wossink and Hunt, 2003), 강우유출수의 경제적이고 환경 친화적 제어적인 방법 중 하나로 사용될 수 있는 잠재력이 크다(김선미·이인성, 2007). 레인가든은 오염물질의 자연적인 여과 및 제어 시스템으로 활용될 수도 있기 때문에 특히 도시지역에서 비점원 오염물질 관리 및 저영향개발(LID)를 위한 생태공

학적인 대안으로 활용 될 것으로 전망된다(Dietz, 2007).

강우유출수 관리에 관한 연구가 주로 수행되고 있는 국내의 경우에 아직 레인가든에 대한 연구는 많이 수행되지 않았으며 주로 강우유출수의 유출 특성에 관한 연구 또는 지하 저류조 설치와 같은 물리적 방법에 의한 우수 활용에 관한 연구가 진행되어 왔다(한무영 등, 2003; 김갑수·양지희, 2004; 문정수 등, 2007; 곽동근 등, 2009; 한치복·이택순, 2010). 다만 레인가든의 유사형태인 옥상녹화 적용에 따른 강우 유출 특성에 관한 연구가 진행되었으나 정량적인 연구보다는 대부분 모의를 통한 유출 특성을 추정하였으며(장수철, 2006; 이재훈 등, 2008; 동효선 등, 2009) 레인가든을 적용한 연구의 경우에서도 오염정화 효과가 주로 검증되었다(이주영 등, 2009).

일반적으로 레인가든은 유입된 강우유출수가 정체하며 토양으로 침투시켜 지표유출을 효과적으로 저감할 수 있도록 여유고를 가질 수 있도록 오목한 형태로 설계한다. 따라서 레인가든 내 토양에 침투한 강우는 결국 레인가든 시스템의 하부로 유출 되게 되는데, 이렇게 시스템 하부로 유출되는 지하유출수는 저류조가 있는 경우에는 저류조로 이동되지만 그렇지 않을 경우 기존의 배수시설로 연계되어 이송되거나 지하수로 침투되게 되며, 지하수로 충전될 경우 유출수의 수질에 따라 지하수를 오염시킬 가능성도 있다(Davis et al., 2009). 레인가든에서 발생한 하부 유출수가 기존의 연계시설로 연계될 경우 전체적인 강우유출수 관리에 있어서 결국은 표면유출과 유사한 영향을 미치게 된다. 따라서 레인가든에서 지하유출량에 대한 정보는 연계시설의 유무 또는 종류에 따라 레인가든을 효율적으로 유지하여 강우유출수를 관리하는데 매우 중요한 자료가 된다(Davis et al., 2009).

본 연구에서는 강우유출수를 효과적으로 제어할 수 있는 레인가든에서 지하유출의 특성 및 침투유출량에 미치는 효과를 실험적 연구를 통하여

제시하고자 하였다. 또한 레인가든에 경관적 활용성을 높이기 위하여 초본류를 대상으로 주로 수행되었던 국내외 연구들(Moss et al., 2005; Stier et al., 2009, 이주영 등, 2009)과는 달리 레인가든이 유출 특성이 관목류 또는 초본류와 관목류 혼합시스템과 같은 식생 유형에 따른 레인가든 시스템의 강우유출 제어 효과를 살펴보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 레인가든 실험구의 제작

실험에 이용된 레인가든 실험구는 가로 40cm, 세로 40cm, 높이 80cm의 투명 아크릴 재질로 제작되었으며, 반응조의 가장 아래 지점에 밸브를 설치하여 채수가 가능하도록 하였다(그림 1). 반응조 옆면에는 검은색 종이를 이용하여 측면에서 유입될 수 있는 광을 차단하였다. 토양의 물리화학적 특성을 제외한 레인가든 실험구 제작에 사용된 모든 조건은 생물학적저류지 바이오리텐션

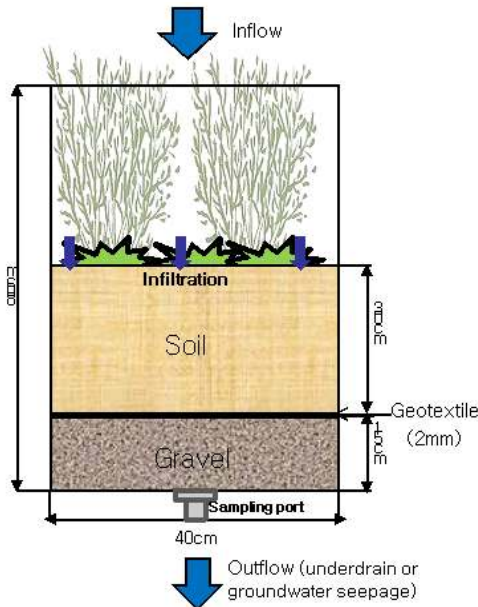


Figure 1. Schematic diagram of the rain garden mesocosm used in the study.

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil used in the study.

Parameters	Values
pH	7.73 ± 0.2
EC (mS/cm)	0.76 ± 0.03
Organic matter (%)	24.72 ± 2.1
Texture (%)	Sand 70.32
	Silt 15.65
	Clay 14.03
	Sandy loam
CEC (meq/100g)	31.97 ± 0.3
T-N (mg/kg)	149.13 ± 3.5
P2O5 (mg/kg)	63.67 ± 2.2

매뉴얼을 참고하여 제작 하였다(PGCo, 2007). 반응조 하부 15cm는 자갈층(직경 10-40mm)을, 자갈층 위 30cm는 토양으로 채웠으며, 토양의 유실을 최소한으로 하기 위해 토양층과 자갈층 사이에 2mm의 토양섬유(geotextile)를 도입하였다. 또한 일반적인 레인가든과 같이 침투능 이상의 강우가 집수되었을 경우에도 강우를 정체 시켜 지속적으로 토양 하부로 침투시키기 위하여 토양층 상부에 35cm의 여유고를 가지도록 하였다.

실험에 사용 된 식물의 생육기반 토양으로 균 일한 입자크기의 토양을 사용하기 위하여 2mm (#10)체로 분급한 후 사용하였다. 연구에 사용한 토양의 물리화학적인 특성은 표 1과 같다.

2. 식물선정

레인가든에서 식물의 선정 기준은 강우 시 장 기간 침수조건이나 건기시의 장기간 동안의 건조 조건에도 성장할 수 있는 종으로 선정 되어야 하며, 설치된 지역의 기후조건에 잘 적응하고 최소한의 관리로도 성장 할 수 있는 종 이어야 한다 (Dunnnett and Clayden, 2007). 또한 레인가든은 가능한 많은 물을 토양에서 보유 또는 침투시켜야 하며 이러한 과정 중에 오염물질을 침전시키고 여과할 수도 있어야 하므로 적합한 식물의 선정은 매우 중요하다(Dunnnett and Clayden, 2007).

레인가든에서 사용되는 식물의 조합은 교목 혹은 관목과 초본류로 혼합 구성하는 것이 기본 구조이다(PGCo, 2007).

초본류의 경우 표면 유출을 감소시키고 흐름을 지연시켜 물의 침투나 증발을 증진시킬 수 있는 반면에 관목류의 경우 수관차단을 통하여 강우를 1차적으로 지연시킬 수 있으며, 강우에 의한 직접적인 우격침식 또한 감소시킬 수 있다. 초본류와 관목류는 서로 다른 뿌리 구조를 가지며 뿌리 성장 깊이도 다르기 때문에 혼합식재 할 경우 레인가든 식재층의 다양한 깊이에서의 오염정화 효과를 갖도록 하는데 도움을 줄 수 있다. 무엇보다도 다양한 생활형의 식물을 식재할 경우 경관적으로도 우수한 시스템을 구성 할 수 있어, 현장에서 관목류와 초본류의 최적생장을 유지할 수 있도록 한다면 도입하는 식물들의 성장시기에의 차이를 이용하여 레인가든의 년 중 활용성을 높일 수 있다.

따라서 본 연구에서 문헌연구를 통하여 관목류로 영산홍(*Rhododendron lateritium*), 초본류로 들잔디(*Zoysia japonica*)를 선정하였다. 영산홍은 고온 다습한 남부지방에 자생하여 우리나라 기후에 잘 적응한 종으로서(김성수, 2007), 관상용으로 널리 활용되는 관목류 중 하나이며, 우기나 건기가 지속되어도 성장하는데 큰 어려움이 없다고 알려져 있다(김인혜 등, 2010). 잔디는 다년생 식물이며, 물의 흐름의 촉진과 침투를 촉진하는 역할을 하며(Dunnett and Clayden, 2007), 우수 저장능도 탁월하여 녹화된 잔디층은 일정량 이상의 유출억제 효과를 지니며, 초기강우 유출속도를 지연시켜 홍수 피해를 감소시키는 역할을 한다(전우방, 1987). 들잔디는 강우유출수의 유출억제

효과(Moss et al., 2005)를 갖고 있으며 무관수 시스템에서도 적합한 식물로 알려져 있다(주진희 등, 2010).

3. 유출특성

강우유출 특성 조사를 위한 실험구는 영산홍과 들잔디 혼합구(*R. lateritium* + *Z. japonica*), 영산홍(*R. lateritium*) 단독구, 들잔디(*Z. japonica*) 단독구 및 대조구(control)의 4종류로 구성하였으며 이 중 대조구를 제외하고는 모두 2개의 반복구를 갖도록 하였다. 실험에 사용된 영산홍의 크기는 지상부가 약 45-50cm, 지하부는 약 7-10cm이었으며, 들잔디는 지상부의 길이가 약 5-6cm, 지하부의 길이는 1-2cm 이다. 영산홍의 경우 포트로부터 각 실험구에 2주씩 이식하였으며 들잔디의 경우는 때잔디를 구입 실험구의 전체 면적을 덮을 수 있도록 식재하였다.

본 연구에서 적용한 강우강도는 부산시 온천천 유역 대상 여름철 강우강도 결과를 참고하여(신현석 등, 2009) 중간 값인 강우강도 2.5mm/hr와 그의 2배 값인 5.0mm/hr의 강우강도를 설정하여 각각 2시간과 1시간 동안 유입 하였다. 또한 사용된 실험구 면적의 10배에 해당하는 지역에서 위의 강우강도 시 발생하는 유출수가 유입되는 것을 가정하여 유입 유량을 유입시켰으며, 최초 유출이 발생하는 시점부터 유출이 발생하지 않을 때 까지 10분 간격으로 유출량을 측정 하였다. 또한 각 실험구간의 물 보유 및 유출 특성을 비교하기 위하여, 시스템 물 보유율, 침투유량 감소율(Peak flow reduction) 및 침투 유출입비(R_{peak})을 다음의 식에 의하여 구하였다(Davis, 2008).

$$\text{시스템 물 보유율(\%)} = \frac{\sum V_{wIn} - \sum V_{wOut}}{\sum V_{wIn}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{침투유량 감소율(Peak flow reduction, \%)} = \frac{q_{peakin} - q_{peakout}}{q_{peakin}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{침투 유출입비}(R_{peak}) = \frac{q_{peakout}}{q_{peakin}} \quad (3)$$

여기서 V_{win} 과 V_{wout} 은 레인가든에서 유입되거나 유출된 물의 양(L^3)이며, q_{peakin} 과 $q_{peakout}$ 은 각각 침투유입량과 침투유출량(L^3/T)이다. 본 실험에서는 유입유량을 일정하게 유지하였기 때문에 침투유입량 대신 적용한 유입유량을 이용하였다. 실험은 항온 실험실내에서, 온도 25~28℃, 습도 30~40%로 유지되는 실내에 설치된 온실에서 실험하였으며 식물을 식재하고 유출지연효과 실험 전까지 약 4주간의 안정화 기간을 가졌다. 식물식재 과정이나 관수과정에서의 압밀에 따라 각 실험구에서의 물 보유량과 물 유출 특성 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 실험 시작 전에 각 실험구가 동일한 경도 조건을 갖도록 하였다. 토양경도는 산중식 경도측정기(Fujiwara, Japan)를 이용하여 각 실험구당 10번씩 측정하였으며, 각 실험구 토양의 경도는 혼합식재의 경우 4.75±0.6mm, 영산홍 단독 4.63±0.8mm, 잔디 단독 4.75±0.3mm, 대조구 4.87±0.2mm로 서로 유사한 수준으로 나타났다.

4. 통계분석

레인가든에서 측정된 실험구간의 강우 유출 및 보유 특성간의 차이를 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)을 통하여 5% 유의수준에서 분석하였다. 분산분석은 SAS 통계 프로그램을 이용하여 Duncan법으로 분석하였다. 처리 간 평균차가 최소 유의차보다 크면 각 그룹은 서로 다른 그룹으로 판단하였다(최병선·이성백, 2003).

III. 결과 및 고찰

강우강도에 따른 레인가든의 실험구별로 총유입수에 대한 레인가든의 물 보유율을 그림 2에 나타내었다. 강우강도 2.5mm/hr로 2시간 동안 유입시켰을 때 레인가든에서의 물 보유율을 살펴보면, 혼합식재구의 경우 총유입량에 대하여 평균 32.53±0.80%, 영산홍 단독구는 27.55±0.43%, 들잔디 단독구는 23.44±0.91%, 대조구의

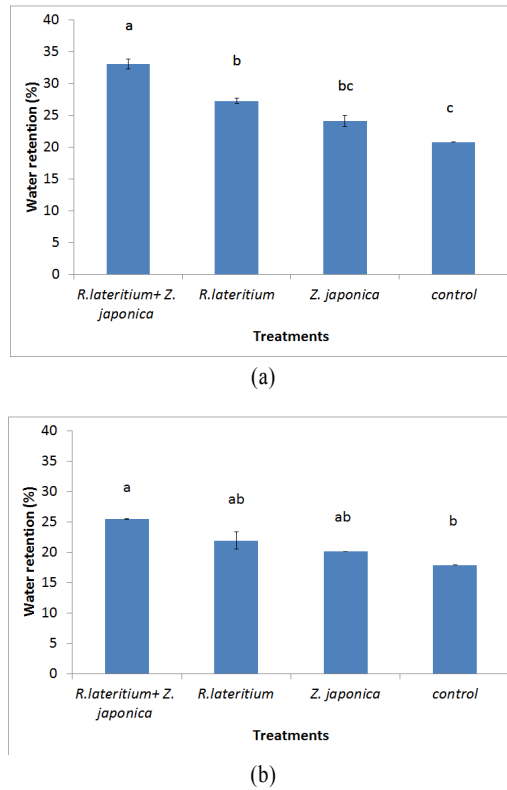


Figure 2. Water retention in the rain garden mesocosms at two rainfall intensities : (a)2.5mm/hr (b) 5.0mm/hr (Letters in the figures show significant differences among treatments at $\alpha = 0.05$).

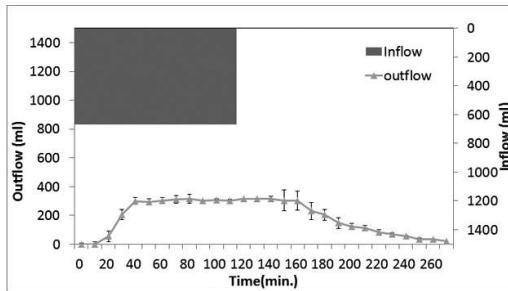
경우 20.8%을 나타내었다. 강우강도 5.0mm/hr로 1시간 유입하였을 경우에는 혼합식재구에서 평균 25.43±0.08%, 영산홍 단독구에서 22.95±1.42%, 들잔디 단독구에서 20.11±0.01%, 대조구는 17.90%의 물 보유율을 가지는 것으로 나타났다. 강우강도가 증가함에 따라 식물종류나 식물의 유무에 관계없이 레인가든의 물 보유율은 감소하였는데, 이는 강우강도가 증가함에 따라 토양에 침투하지 못하고 정체된 물의 양이 증가하여 실험구내에서의 침투속도에 영향을 주는 수두가 커져 침투능이 증가하였기 때문으로 판단된다. 95% 유의수준에서 두 가지의 강우조건에서 모두 혼합식재구에서 보유능이 가장 크며 영산홍 단독구와 들잔디 단독구는 서로 유사한 수준을

그리고 대조구에서 보유량이 가장 작은 것으로 조사되었다. 혼합식재구에서 다른 실험구에 비해 물 보유량이 많은 이유는 들잔디와 영산홍이 함께 식재되어 있어서 우수침투 과정에서 다른 깊이 위치하는 식물 뿌리에 의하여 물의 정체시간이 늘어났으며 또한 이로 인하여 토양층이 증가하여 토양의 공극 또한 증가하였기 때문으로 보인다. 또한 식물이 있는 경우에 유입되는 경우는 식물에 의한 차단수, 수관통과수, 수간유하수 등으로 분산하여 지면에 도달하게 되는데 이러한 분산효과에 의하여 강우강도를 감소시키고 지면에 도달하는 시간을 지연시키게 된다. 식물에 의하여 차단되어 식물 표면에 주로 남게 되는 차단수의 경우에 일부는 다시 대기 중으로 되돌아간다(Lloren and Domingo, 2007). 본 실험에서도 식물처리구에 식재된 들잔디와 영산홍에 의한 지연 및 차단 효과에 의하여 레인가든의 물 보유능에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

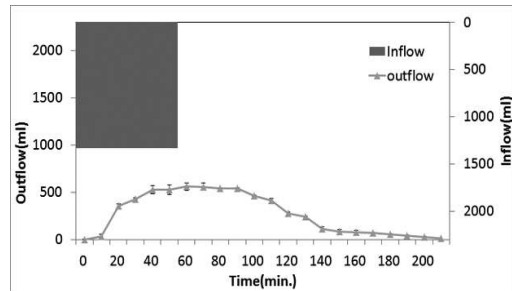
식재유형에 따른 레인가든에서 강우의 지하 유출 특성을 보면 강우강도 2.5mm/hr의 경우 혼합식재구의 경우 다른 실험구에 비하여 완만하게 유출되는 경향을 보여주었으며 물의 유입이 종료된 후에도 약 60분가량 일정하게 유출되었으며 그 이후에도 실험 종료 시까지 지속적으로 완만하게 유출되는 경향을 보였다(그림 3a). 영산홍 단독구와 들잔디 단독구 및 식물이 식재되지 않은 대조구의 경우, 물의 유입이 종료되고 약 30-40분 후인 약 150-160분 사이에 유출량이 급격히 감소하는 경향을 보여주었으며(그림 3 b, c) 보유량이 가장 적었던 대조구에서 유출이 가장 먼저 종료되었다(그림 3 d). 이러한 연구는 잔디류를 대상으로 실험한 이전 연구들과 유사한 결과로 보이는데, Moss et al.(2005)과 Steinke et al.(2009)의 연구에서 우산잔디(*Cynodon dactylon*)로 식재된 골프장의 페어웨이와 식물이 식재되어 있지 않은 대조구를 비교하여 강우 시 표면 유출량을 5분마다 측정할 결과 우산잔디로 구성된 골프장의 페어웨이가 대조구에 비해 완만하게 유출된

다고 보고하였으며, Schneider (2007)는 옥상에 잔디로 구성된 옥상녹화지역과 식물이 식재되어 있지 않은 지역을 대조구로 설정하여 유출수의 양을 측정한 결과, 잔디로 구성된 옥상녹화지역에서 대조구에 비해 완만하게 유출되는 결과가 나타났다고 보고한 바 있다. Mayer et al.(2009) 등은 식물이 식재된 토양에서 뿌리의 영향으로 침투량이 높고 표면유출량과 토양표면유실이 감소한다고 하였다. 이는 식생이 잘 발달한 토양층에서 뿌리의 성장 및 부식에 의하여 형성된 공극 등에 의하여 토양의 침투능이 증가하기 때문이다(Bartens et al., 2008). 하지만 본 연구에서는 실험초기에 식물을 식재한 후 모든 실험구에서 유사한 경도를 갖도록 토양을 다져주었기 때문에 식물뿌리의 영향으로 인한 토양 침투의 증가는 관찰되지 않았을 것으로 판단된다. 하지만 장기간 시스템이 운영하여 식재된 식물의 토양의 물리적 특성에 영향을 준다면 식물에 의한 침투 증진 효과도 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

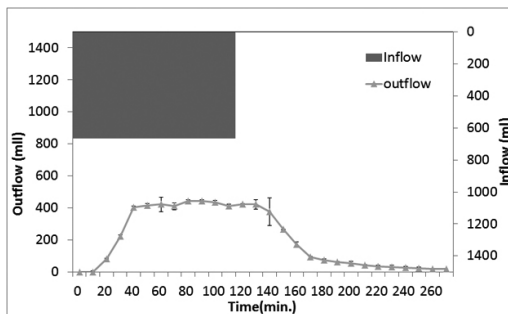
강우강도 5.0mm/hr 경우의 유출특성을 살펴보면 모든 실험구에서 강우강도 2.5mm/hr에 비하여 초기 유출량이 증가 하였다(그림 4). 혼합식재구의 경우 다른 실험구에 비하여 완만하게 물이 유출되는 경향을 보여주었으며, 물의 유입이 종료된 후 약 50-60분이 경과한 후에도 일정하게 유출되는 것을 알 수 있었다. 이후 유출량도 서서히 감소하여 실험 종료 시까지 유지되었는데 물의 유입이 종료되고 약 60분 후인 약 120분부터 유출이 종료될 때 까지 측정할 유출량도 다른 실험구에 비해 큰 것으로 나타나 강우 시 유출 지연 효과가 있는 것으로 보인다. 영산홍 단독구의 경우 강우종료 후 약 30분 후에, 들잔디 단독구의 경우 약 40분 후에 유출량이 급격히 감소하는 경향을 보여주었으며 식물이 식재되지 않은 대조구의 경우 강우로 인한 유입이 종료되고 약 20-30분 후 유출량이 급감하는 경향을 보였다. 대조구와 식물식재구간의 유출량의 차이도 강우강도 2.5mm/hr 일 때 보다 더 큰 것으로 나타나



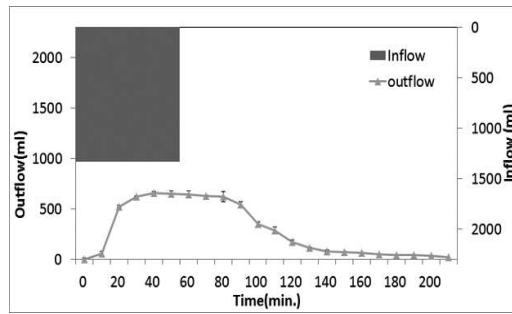
(a)



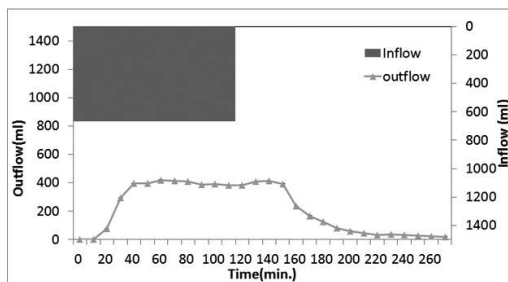
(a)



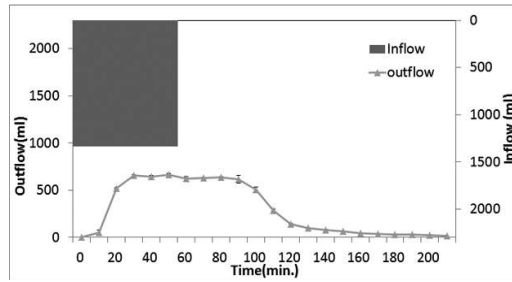
(b)



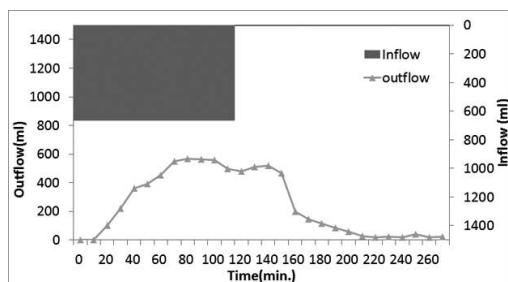
(b)



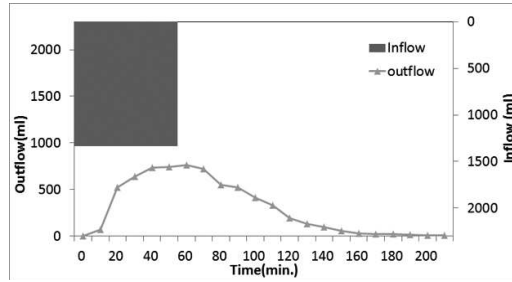
(c)



(c)



(d)



(d)

Figure 3. Inflow and outflow water volume of the rain garden mesocosms at 2.5mm/hr rainfall intensity : (a) *R. lateritium* + *Z. japonica* (b) *R. lateritium* (c) *Z. japonica* (d) control.

Figure 4. Inflow and outflow water volume of the rain garden mesocosms at 5.0mm/hr rainfall intensity : (a) *R. lateritium* + *Z. japonica* (b) *R. lateritium* (c) *Z. japonica* (d) control.

Table 2. Hydrologic variables of four different rain garden mesocosms at two rainfall intensities.

Rainfall intensity	Variable	Control	<i>R. lateritium</i> + <i>Z. japonica</i>	<i>R. lateritium</i>	<i>Z. japonica</i>
2.5mm/hr	Peak flow(L/hr)	3.17	1.90	2.67	2.52
	Peak flow reduction(%)	20.80	52.53	33.25	37.00
	R peak	0.79	0.47	0.67	0.63
5.0mm/hr	Peak flow(L/hr)	4.58	3.36	3.92	3.98
	Peak flow reduction(%)	42.78	58.00	51.06	50.31
	R peak	0.57	0.42	0.49	0.50

강우강도가 증가할 때 식물식재가 유출을 지연하는데 더 효과가 있음을 알 수 있었다. 두 가지 강우강도에서의 영산홍과 들잔디를 함께 식재한 혼합식재구에서 초본류나 관목류 단독 식재구나 식물을 식재하지 않는 대조구에 비해 유출량이 적으며 유출 지연시간도 증가하는 것으로 나타났다.

식물의 유무가 레인가든의 하부로 유출되는 침투유량을 감소시키는 것으로 나타났는데, 침투유량은 강우강도에 관계없이 혼합식재구에서 가장 적었으며, 그 다음으로 2.5mm/hr의 강우강도에서는 들잔디, 영산홍, 대조구의 순으로 5.0mm/hr의 강우강도에서는 영산홍, 들잔디, 대조구의 순으로 나타났다. 침투유량 감소율도 2.5mm/hr 강우강도에서 52.53%, 5.0mm/hr 강우강도에서 58.00%로 혼합식재구에서 가장 큰 것으로 나타났다. 혼합식재구에서 침투유량이 가장 적은 이유는 시스템에 유입된 물이 영산홍의 수관에 의하여 1차적으로 차단된 후 유하하게 되며 다시 지표에 피복된 들잔디에 의하여 2차적으로 지연되면서 토양으로의 침투가 분산되기 때문이다. 또한 식물에 의하여 차단된 유입수의 일부는 강우 종료 후 대기로 증발하기도 된다. 강우강도가 증가함에 따라 혼합식재구와 다른 실험구와의 침투유량의 차이가 감소하는 경향을 보여주었는데 이는 강우강도가 증가함에 따라 이러한 식물에 의한 지연효과도 감소하게 되기 때문이다(표 2).

침투유입량에 대한 침투유출량의 비를 나타내는 레인가든의 침투 유출입비(R peak)는 0.79와 0.57로 두 강우강도에서 모두 대조구에서 다른 실험구에 비해 큰 것으로 나타나 식물이 없는 대조구에서 침투유량 감소효과가 가장 작은 것으로 조사되었다.

그림 5는 레인가든에 유입된 강우의 시간별 유출지연 효과를 비교하기 위하여 각각 실험구별 총유입량에 대한 누적 유출률을 시간에 따라 나타낸 것이다. 강우강도 2.5mm/hr의 경우 20% 누적 유출 시점은 50-55분 사이로 각각의 실험구간의 차이는 거의 없는 것으로 나타났지만 30% 누적 유출부터 혼합식재구에서 다른 실험구에 비해 7-10분 정도 지연되기 시작하였다. 40%의 유출량부터 잔디 식재구에서도 지연효과가 관찰되었으나 혼합식재구보다 크지 않았다. 총 누적 유출량의 85%가 되는 시점으로 혼합식재구 162분, 들잔디 단독구 144분, 영산홍 단독구 134분, 대조구 133분으로 나타나 혼합식재구의 경우 대조구보다 약 29분의 지연효과가 있는 것으로 나타났다.

강우강도 5.0mm/hr의 경우 총 누적 유출량의 20%까지는 실험구별로 큰 차이는 없었으며 총 누적 유출량의 85%가 되는 시점은 혼합식재구 105분, 영산홍 단독구 98분, 들잔디 단독구 91분, 대조구 90분으로 나타나 혼합식재구의 경우 대조구보다 약 14분의 지연효과가 있는 것으로 나

타났다. 강우강도 2.5mm/hr에 비해 강우강도 5.0mm/hr의 경우에 동일 누적 유출률에 소요되는 시간이 모든 실험구에서 감소하여 저류형 레인가든에서 강우강도가 증가 시 유출지연 효과가 감소하는 것을 알 수 있다. Dietz와 Clausen (2005)는 관목류인 초크베리(*Aronia prunifolia*)와 원터베리(*Ilex verticillata*), 잉크베리(*Ilex glabra compacta*)를 함께 식재한 레인가든을 이용하여 우수 유출 특성을 분석하였는데 식재 식물의 완충 작용으로 인하여 침투 유량을 감소하고 강우 유출을 지연시킨다고 보고하여 본 연구와 유사한 강우유출수의 유출억제 효과를 보여주었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 강우유출수의 환경 친화적인 제어 방법으로 알려진 레인가든의 강우유출 감소와 및 지연 효과를 실험적 연구를 통하여 제시하였다. 또한 강우 유출 및 침투에 서로 다른 영향을 미칠 수 있는 초본류, 관목류 또는 초본류와 관목류 혼합시스템과 같은 식재 식생에 따른 레인가든 시스템의 강우유출 제어 효과를 살펴보았다. 실험결과 2.5mm/hr와 5.0mm/hr 두 가지 강우 조건에서 모두 혼합식재구에서 레인가든의 물 보유능이 가장 크며 영산홍 단독구와 들잔디 단독구는 서로 유사한 수준을 그리고 대조구에서 보유량이 가장 작은 것으로 조사되었다($\alpha < 0.05$). 이는 혼합식재구가 다양한 수관에 의한 차단 효과 등으로 강우 후 좀 더 많은 물을 보유할 수 있어 레인가든 조성 지역의 생태적 기능을 유지하는데 좀 더 바람직 할 수 있음을 나타낸 것으로 판단된다. 침투유출량의 감소 효과 또한 혼합식재구에서 가장 큰 것으로 나타났지만 강우강도가 증가할 경우 처리구간의 차이는 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구에서는 실험초기에 모든 실험구에서 유사한 경도를 같도록 토양을 다져주었기 때문에 식물뿌리의 영향으로 토양 침투 증가는 관찰되지 않았다. 하지만 장기간 시스템이 운

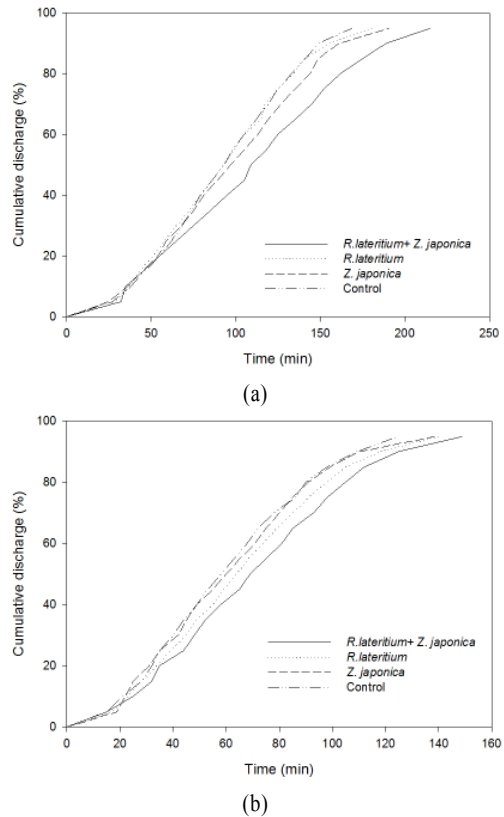


Figure 5. Cumulative outflow water volume from the rain garden mesocosms at two rainfall intensities (a)2.5mm/hr (b)5.0mm/hr.

영하여 식재된 식물의 토양의 물리적 특성에 영향을 준다면 식물에 의한 침투 증진 효과도 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 효과를 검증하기 위해서는 앞으로 현장에서의 실험연구 또한 필요할 것이다. 레인가든을 조성할 경우 강우유출 지연이나 침투증진 등 레인가든의 조성 목적에 따라 다양한 식재유형을 갖도록 설계하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구(PK-2011-91)이며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 곽동근·문정수·유형근·한무영. 2009. 빗물저장조의 수질개선과 유지관리 최소화를 위한 내부구조물의 영향 검토. 대한상수도학회·한국물환경학회. 2009 공동 추계학술발표회 논문요약집. pp. 355-356.
- 김갑수·양지희. 2004. 도시지역 물이용 및 홍수재해 저감을 위한 빗물저류방안에 대한 연구. 서울도시연구 5(4) : 73-91.
- 김선미·이인성. 2007. 레인가든을 적용한 환경친화적 빗물 처리방안 검토. 한국환경복원녹화기술학회지 10(5) : 58-66.
- 김성수. 2007. 한국의 조경수목. 기무당출판사. pp.164-165.
- 김인혜·허근영·신현철·박남창. 2010. 영산홍을 이용한 저관리 옥상녹화 시스템의 식물생육 및 토양특성 평가. 한국원예학회 28(6) : 1057-1065.
- 동효선·이재훈·김정환·박주석. 2009. 옥상 녹화 시스템이 강우유출시간에 미치는 영향. 한국물환경학회. 대한상수도학회 공동추계 학술발표회논문집. pp.667-668.
- 문정수·유형근·한무영. 2007. 빗물저장조에서 입자의 제거특성 및 운전과 설계시 고려사항. 대한상수도학회 21(1) : 131-138.
- 신현석·손정화·장종경·손태석·강두기·조덕준. 2009. SWMM 모형을 이용한 비점오염 분석 및 CSO 관리방안 연구. 수질보전 한국물환경학회지 25(2) : 268-280.
- 이재훈·동효선·박주석. 2008. 옥상 녹지공간에 따른 강우저류효과 및 유출특성 분석. 대한상수도학회·한국물환경학회. 2008 공동 추계학술발표회 논문요약집. pp.229-230.
- 이주영·한무영·양중석·곽동근·김동근·권정원·김도형. 2009. 도시 초기우수 저감을 위한 생물학적 빗물저류정원에 관한 연구. 서울도시연구 10(4) : 81-89.
- 장수철. 2006. 옥상녹화시스템의 우수유출효과분석. 석사학위논문. 서울시립대학교 산업대학원.
- 전우방. 1987. 잔디생활의 미래. 한국잔디학회지 1(1) : 79-83.
- 주진화·김원태·최우영·윤용한. 2010. 무관수 옥상녹화시스템의 차이에 따른 들잔디 적용성 평가. 한국환경과학회지 19(9) : 1137-1142.
- 최병선·이성백. 2003. SAS를 이용한 현대통계학. 세경출판사. pp.345-350.
- 한무영·박상철·이일용. 2003. 건물의 지붕집수면이 유출빗물의 수질에 미치는 영향. 대한상수도학회지 17(3) : 460-467.
- 한치복·이택순. 2010. 창원지역 빗물의 계절변화 및 저류시간에 따른 수질변화. 대한환경공학회지 32(5) : 461-468.
- Balmori, D., and Benoit, G. 2007. The Land and Natural Development (Land) Code. John Wiley & Sonc Inc. Hoboken. New Jersey. pp.7-42.
- Bartens, J., Day., S. D., Harris, J. R., Dove, J. E., and Wynn, T. M. 2008. Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management? J. Environ. Qual. 37(6) : 2048-2057.
- Davis, A. P., Shokouhian M., Sharma, H., and Minami, C. Laboratory study of bioretention for urban stormwater management. 2001. Water Environment Research, 73(1) : 5-14.
- Davis, A. P. Field performance of bioretention : hydrology impacts. 2008. J. hydrol. Eng. 13(2) : 90-95.
- Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., and Clar, M. 2009. Bioretention technology : overview of current practice and future needs. J. Environ. Eng. 133(3) : 109-117.
- Dietz, M. E., and Clausen, J. C. 2005. A field

- evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*. 167 : 123-138.
- Dietz, M. E. 2007. Low Impact Development Practices : A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. *Water, Air, and Soil Pollution*. 186 : 351-363.
- Dunnett, N., and Clayden, A. 2007. Managing water sustainably in the garden and designed landscape. Timber Press. Inc. Portland. pp. 41-61.
- Erickson, A., Gulliver, J. S., and Weiss, P. T. 2007. Enhanced sand for storm water phosphorus removal. *J. Environ. Eng.* 133(5) : 485-497.
- Ferguson, B. K., and Suckling, P. W. 1990. Changing rainfall-runoff relationships in the urbanizing peach tree creek watershed. *Water Resource Associate*. 26(2) : 313-322.
- Hsieh, C. H., and Davis, A. P. 2005. Multiple-event study of bioretention for treatment of urban storm water runoff. *Water Science Technology*. 151 : 77-181.
- Lloren, P., and Domingo, F. 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *J. Hydrol.* 335 : 37-54.
- Mayer, A. G., Bautista, S., and Bellot, J. 2009. Factors and interactions controlling infiltration, runoff, and soil loss at the microscale in a patch Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surface Process and Landforms*. 34 : 1702-1711.
- Moss, J. Q., Bell, G. E. Kizer, M. A., Payton, M. E., and Zhang, H. and Martin, D. L. 2005. Reducing nutrient runoff from golf course fairways using grass buffers of multiple height. *Crop Science*. 46 : 72-80.
- Schneider, J. 2007. Urban rain gardens for controlling stormwater runoff and increasing groundwater recharge. Master of thesis. University of Wisconsin. Madison.
- Steinke, K., Stier, J. C., and Kussow, W. R. 2009. Prairie and turfgrass buffer strips modify water infiltration and leachate resulting from impervious surface runoff. *Crop Science*. 49 : 658-670.
- Stier, J. C., and Kussow, W. R. 2009. Golf course fairway runoff and leachate unaffected by nascent vegetative buffer strips. *J. Intl. Turfgrass Res. Soc.* 11 : 105-119.
- Prince George's County (PGCo). 2007. Bioretention Manual. Environmental Services Division Department of Environmental Resources. pp. 48-68
- Wossink, G. A., and Hunt, W. F. 2003. The economics of structural stormwater BMPs in North Carolina. North Carolina Water Resource Research Institute. Raleigh.