

## 강우강도에 따른 침투-저류시스템의 우수유출저감효과에 관한 실험 연구

### An Experimental Study on Runoff Reducing Effect of Infiltration-Storage System due to Rainfall Intensity

송재우\* / 임장혁\*\*

Song, Jai Woo / Im, Jang Hyuk

#### Abstract

The variation of hydraulic and hydrologic aspect of urban area according to the strongly seasonal variation of rainfall and the increment of urbanization has caused the runoff variation and increased the flood damage, and thus made a difficulty to manage water resources in urban area. Recently, as a part of efforts to resolve these problems, the facilities for reducing runoff increasing due to urbanization have a tendency to install in our country. In this study, more effective Infiltration-Storage System(ISS) is proposed and its reducing effect is analyzed by hydraulic experimental study. The infiltration characteristics of runoff reduction facilities are examined as varying artificial rainfall and a material of infiltration layers being able to consider the influence of urban development. As a result of comparison of infiltration rate of the upper and lower parts, the infiltration rate in the lower part is larger than that of the upper part. Thus, the ISS is more available than existing runoff reduction facilities. Results obtained in this study can be provided fundamental data for improvement of existing runoff reduction facilities and practical use of ISS.

**key words** : runoff reduction facilities, Infiltration-Storage System, artificial rainfall facilities

#### 요 지

우리나라의 계절별 편차가 큰 강우 특성과 도시화에 따른 도시유역 수리·수문 양상의 변화로 인해 도시의 유출변화를 초래하여 홍수피해가 증가하고 수자원 관리 측면에서도 매우 불리한 형편에 있다. 현재 이러한 문제를 해결하기 위해 각종 개발 사업으로 인해 가중되는 홍수유출량을 처리할 수 있는 우수유출 저감시설을 설치하고 있다. 본 연구에서는 보다 효율적인 우수유출저감 기능을 가진 침투-저류 시스템을 제안하고, 수리 모형 실험을 통해 침투-저류 시스템의 저감효과를 분석하였다. 각종 개발 사업이나 도시화에 따른 영향을 고려할 수 있도록 표면재료를 고려하여 인공강우 실험장치와 상·하부층으로 구성된 침투-저류 시스템을 이용하여 수리모형실험을 수행하였다. 상부와 하부 침투율을 비교한 결과, 대체적으로 하부의 침투율이 더 크게 나타났으며, 이러한 결과로 침투-저류시스템의 효과가 침투율을 증가시켜 기존 침투형 우수유출저감시설보다 더 효율적인 것으로 판단되었다. 본 연구의 침투-저류시스템 저감효과 분석내용은 침투-저류시스템 및 침투형 우수유출저감시설의 기초 연구 자료로 활용될 수 있을 것이다.

**핵심용어** : 우수유출저감시설, 침투-저류시스템, 인공강우장치

\* 정회원 · 홍익대학교 토목공학과 교수 (E-mail : jwsong@hpngik.ac.kr)

\*\* 정회원 · 교신저자 · 홍익대학교 토목공학과 박사수료 (E-mail : scryer@empal.com)

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 필요성

우리나라는 해마다 여름철에 강우가 집중되어 큰 홍수 피해가 발생하고 특히, 시간적으로 강우가 계절별로 편차가 큰 특성을 가지고 있어 수자원 관리 측면에 매우 불리한 형편이다. 또한 하천을 따라 도시화가 진행되면서 도시구역의 수리수문 환경의 변화를 가져왔으며, 결과적으로 불투수면적의 증가와 하수관거의 발달로 인해 급격한 유출변화를 초래하였다. 이로 인하여 호우발생시 홍수도달시간과 침투유량의 발생시간이 단축되고, 침투유량과 총유출량이 증가하여 방재 측면에서도 점차 불리한 여건이 심화되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 각종 개발 사업으로 인해 가중되고 있는 홍수유출량을 사업지구 내에서 처리해야하므로, 이를 위해 우수유출의 증가를 저감할 수 있는 우수유출저감시설을 설치하고 있다. 저류시설에 의한 우수유출 저감시설의 경우, 정량적인 분석이 가능한 반면, 침투시설에 의한 우수유출 저감시설의 경우는 공법이나 재료에 의해, 투수성능과 현장여건에 의해 좌우되기 때문에 유출 저감효과를 정량적으로 분석하는데 어려움이 따르고 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 도시의 홍수피해를 경감시킬 수 있고, 침투수의 재활용으로 수자원의 확보가 용이한 우수유출 저감시설에 대한 저감효과를 개선할 수 있는 침투-저류 시스템을 제안하고, 침투-저류 시스템에 의한 수리모형 실험을 통해 우수유출 저감효과를 분석하여 침투-저류 시스템의 검증 및 적용성을 검토하였다.

### 1.2 관련연구동향 및 연구목적

최근 들어 방재에 대한 관심이 한층 높아지면서 국내 침투형 우수유출 저감시설에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 투수성 포장재를 통한 치수효과를 분석한 이재웅 등(2001)은 인공강우를 이용한 실험을 통해 투수성 포장재 설치에 따른 효과는 총 유출량과 침투유출량을 감소시키고 침투유출 발생시간 및 유출 시작 시간을 지체시켜 저지대 및 하류지역의 홍수 부담을 감소시켜 재해예방에 기여할 것으로 판단하였고, 실험을 통한 투수성 포장재의 우수유출 저감효과에 관해 연구한 김병훈 등(2002)은 도시지역에 적용하기 적합한 침투형 저감시설 중 하나인 투수성 포장

재의 저감효과를 분석하였다. 최계운 등(2004a)은 유역 침투-저류 방식을 이용한 빗물이용에서의 강우강도에 따른 유출량 및 저류량의 변화를 분석하고, 실험을 통해 수질 변화를 검토하여 빗물이용시설에 대한 적용성 여부를 확인하였다. 또한 최계운 등(2004b)은 우수유출수를 도시하천 유지유량에 활용하기 위한 지하저류시스템을 개발하고 실험을 통하여 그 적용성을 검토하였다. 현장 모니터링에 의한 연구로는 이재웅 등(2001)이 투수성 포장재를 통한 우수유출 저감효과 분석을 하였다. 인공강우발생장치로부터 시험표면에 균등하게 강우가 분포되도록 하고 각각의 강우강도에 따른 일반 포장재와 투수성 포장의 침투량을 계산하여 우수유출 저감효과를 비교, 분석하였다. 장복진 등(2002)은 시범 설치된 침투형 우수유출 저감시설에 강우 및 수위자료 모니터링을 실시하였고 얻어진 실측자료를 이용하여 실제 강우사상에 대한 유출량, 침투량 및 침투유량을 비교, 분석하여 우수유출 저감효과를 분석하였다. 심재현 등(2004)은 침투통의 설치에 따른 치수효과를 분석하였다. 1998년부터 현재까지 전국 시범지역에 설치된 우수유출 저감시설인 침투통에 대하여 2003년 호우를 실시간 현장 계측을 하고 이를 정량적으로 분석하였다.

한편, 본 연구에서 제안된 침투-저류 시스템과 유사한 연구는 주로 호주와 뉴질랜드에서 연구되었다. Fletcher et al.(2001)은 도시화에 따른 우수유출증가를 효율적으로 제어할 수 있는 방안에 대한 연구를 실시하였으며, Taylor(2005)는 우수유출저감 및 수질개선효과를 가진 시설에 대한 비용을 연구하였다. 또한 Wong(2000, 2001)은 도시지역의 우수유출저감 및 수질개선에 관한 연구를 실시하였으며, 이론 및 장치를 제안하였다. Wong et al.(2001)은 도시 우수유출처리를 위한 단일화된 접근 모형을 제안하였으며, 접근 모형내에 여러 가지 우수유출저감 시설에 관한 연구를 수행하였다.

현재 국내에서 우수유출 저감시설에 대한 연구가 지금도 진행 중에 있고 많은 연구 및 성과가 얻어지고 있지만 침투시설에 의한 우수 유출저감의 경우, 공법, 재료, 투수성능, 그리고 현장여건에 따라 좌우되기 때문에 침투특성이나 정량적인 분석 및 접근에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구의 목적은 침투형 우수유출 저감시설의 개선방안으로 침투-저류 시스템을 제안하고 수리모형실험을 통해 침투-저류시스템의 저감효과를 분석하고자 한다. 본 연구에서는 각종 개발 사업이나 도시화에 따른 영향을 고려할 수 있도록 강우강도와 표면재료 변화에 따른 상하부 침투실험을 실

시하여 침투-저류 시스템에 관한 우수유출저감효과 특성을 분석하고, 침투-저류 시스템의 적용성을 검토하여, 우수유출저감시설로써 활용 가능성이나 침투형 우수유출저감시설의 기초연구자료로 이용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 침투 - 저류 시스템 제안

### 2.1 침투형 우수유출 저감시설의 정량화의 문제점

현재까지 우수유출 저감시설로 이용되는 국내 침투형 우수유출 저감시설은 투수성 포장재가 대부분이지만, 투수성 포장재의 저감효과에 대한 정량화 및 평가가 정확하게 수행되지 못하고 있다. 또한, 기존 침투형 우수유출 저감시설은 침투량 산정에 필요한 여러 인자 중 토양 특성에 따른 인자에 의해 침투형 우수유출 저감시설의 저감 능력에 많은 차이를 나타내는 것으로 판단되며, 이러한 이유로 현재 방재시설로써 많이 이용되지 못하고 있다. 침투형 우수유출 저감시설을 방재 시설물로 적용하는데 있어 문제점은 토양조건과 선행강우에 따른 영향의 정확한 정량화가 어렵다는 것이다. 이러한 수리·수문학적으로 침투량을 정량화하는데 있어 문제점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 토양의 선행강우지수(AMC 조건)에 대한 고려가 정량적으로 제시될 수 없으므로 실제 홍수유출 해석이 난해함.
- 토양별 투수계수에 대한 정확한 자료 획득에 대한 한계성과 토양별 조사지점이 방대해질 우려가 있음.
- 장마기간과 같은 장기 강우에 대해 홍수유출해석의 안전성 및 신뢰도를 확보할 수 없음.
- 실제 수자원에서 요구하는 우수유출 저감시설로써 정량화하기에는 확보할 자료가 방대함. 실강우에 대한 자료로써 통계학적 근거나 정확도를 찾기 어려움.

위와 같은 문제점을 보완하여 방재시설물으로써 기능을 수행할 수 있도록 하는 방안이 필요하며, 본 연구에서는 기존 우리나라의 침투형 우수유출저감시설에 대한 개선방안으로 침투-저류시스템을 제안하였다.

### 2.2 침투-저류 시스템 개요

본 연구에서 제안한 침투-저류 시스템을 그림 1에 모식화 하였다.

표층에서 강우가 침투 후 저류되고 저류된 물을 다

시 하부에서 침투시키는 구조로 되어 있으며 일정 높이가 되면 유출이 되도록 계획하였다. 저류 공간은 기존 침투형 우수유출저감 시설이나 다공성 재료, 토층을 이용하는 것이 콘크리트 구조물을 제작하는 것보다 경제적으로 유리할 것으로 판단된다. 또한 측구 배수를 통해 유입구를 제작하여 표면 토층의 함수상태의 영향 없이 저감효과가 가능하도록 하였다. 즉, 상부에서 침투되고 하부에서 저류되는 형태를 고려하여 침투-저류 시스템이라고 명하였다. 또한, 하부의 토층상태에 따른 영향을 고려하지 않고 하부공간의 저류량을 확보할 수 있도록 계획하였다.

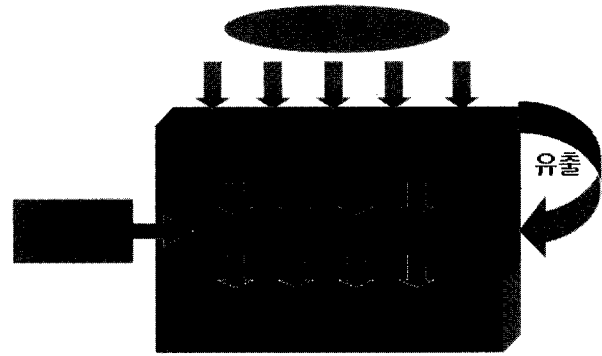


그림 1. 침투-저류 시스템 모식도

### 2.3 침투-저류 시스템의 개선 방안

침투형 우수유출저감시설을 방재시설물으로써 실용화할 수 있도록 개선하는 방안을 다음과 같이 검토하였다. 현 설계 침투량 산정방법을 이용하는 것은 현지 침투조사를 실시해도 위에서 언급한 여러 불확실한 상황을 배제할 수 없으므로, 침투-저류시스템을 이용하여 이러한 문제점을 보완하였다. 본 연구에서는 표면에 있는 강우가 모두 침투될 수 있도록, 표면재료의 선택시 침투율 및 투수성이 높은 재료를 이용하거나 측구와 유입구를 설치하여 하부로 유입될 수 있도록 계획하였다.

또한, 침투-저류시스템은 표층 및 상부층에서 발생하는 침투량을 하부에 저류공간을 만들어 일단 저류한 후에 유출시키는 구조로 저류공간은 기존 침투형 우수유출저감시설을 이용하거나 침투성 재료를 이용하여 토지이용을 극대화 할 수 있도록 계획하였다. 또한 침투-저류 시스템의 바닥부분은 침투가 되도록 하여 본래 침투형 우수유출저감시설의 장점인 물 순환 및 지하수 함양에 관한 측면도 고려할 수 있도록 하였다. 이러한 침투-저류시스템의 개선효과를 기존 우수유출저감시설과 비교하여 표 1에 나타냈다.

표 1. 침투-저류 시스템과 기존 우수유출저감시설 비교분석

구분	저류형 저감시설	침투형 저감시설	침투-저류 시스템	비 고
저감효과의 안정성	on-line 방식일 경우 저빈도에서 고빈도까지 저감효과의 안정성 확보	토질 및 선행강우 조건에 따른 영향 침투유출량의 저감효과	on-line 방식일 경우 저빈도에서 고빈도까지 저감효과의 안정성 확보	
물순환 및 지하수 함양	저류지 바닥부분에 의한 일부 효과	침투량만큼 효과	저류용량만큼 효과	
토지 이용도	계약적 토지이용	토지이용 유리	토지이용 유리	
해석 방법	홍수 추적	설계 침투량 및 홍수추적에 의한 시산법	홍수 추적 가능	
적용 현황	기존 저감대책으로 가장 일반적이고 많이 사용됨 예) 일반적인 저류지 및 조정지	부가적인 저감대책으로 사용 중 예) 침투통, 투수성 포장, 침투집수정	미적용	

### 3. 수리모형실험

#### 3.1 실험조건 및 방법

##### 3.2.1 실험조건

강우강도 20mm/hr, 30mm/hr, 50mm/hr, 80mm/hr, 100mm/hr, 200mm/hr에 대해 실험을 수행하였고 강우에 따른 실시간 침투 및 유출량을 측정하기 위해 위어부를 설치하여 지속시간 150분간 측정하였다. 실험의 정확성을 위해 3회 이상 측정하여 평균한 값을 사용하였다.

사용된 디지털 유량계의 검측과 위어 계수 보정 실험을 먼저 수행하였다. 각 실험은 메스실린더와 집수기를 사용하여 물의 부피와 집수시간을 측정하여 확인하였고, 이 결과는 평균 5%를 상회하지 않으므로 디지털 유량계와 위어계수 보정에 의한 값을 사용하였다. 우수유출 저감시설로써 기능을 고려하기 위해 선행함수조건(Antecedent Moisture Condition : AMC)을 이용하였으며, 홍수기 유출을 고려하기 위해 AMC-III로 실험을 실시하였다. 성수기 AMC-III 조건인, 선행 5일 강우 깊이 P5 > 55.34mm 가 되도록 사전에 각 표면재료에 대해 3시간 동안 80mm/hr 강우강도로 강우를 공급한 후 실험하였다.

##### 3.2.2 실험방법

상층부는 다짐흙, 아스팔트 포장, 초지, 콘크리트 포장, 투수성 포장재에 대해서 적용하고, 하층부는 투수가 가능한 다짐흙으로 실험을 수행하였다. 실험은 상하부 재료를 실험장치에 거치하고 실험시작 후 30초, 1분, 2분 3분, 5분에 그리고 그 이후 매 5분마다 지속시간 120분 동안 상층부의 직접유출량, 하부층을 통

과한 침투량을 삼각위어를 통해 메스실린더로 측정하고 삼각위어의 유출고 변화를 측정하였다. 또한, 층사이의 저류되는 양의 높이를 측정하여 하부층에 의해서 저류되는 양을 체적으로 구하였다. 실험은 150분까지 강우가 지속된 후, 위어부의 유량을 확인하기 위해 메스실린더를 이용하여 실측하였으며 이에 따른 검정을 실시하였다. 공급되는 유량에서 수위-유량관계식에 의하여 산정된 직접유출량을 감하여 침투량을 산정하였다. 또한 침투량 값의 무차원화를 위해 침투율을 산정하였다.

#### 3.2 수리모형실험 장치

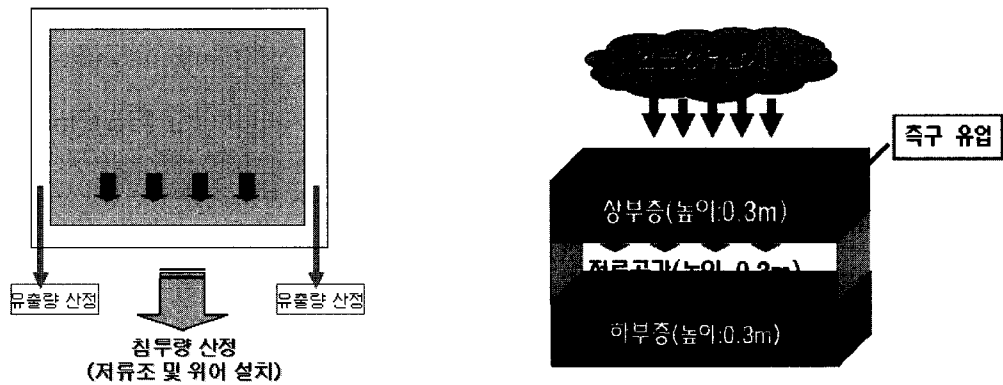
본 연구의 수리모형 실험장치는 현실적인 침투량 산정을 위해 인공강우장치를 제작하였으며, 인공강우장치의 제원은 표 2에 나타났다. 표 3에 나타난 바와 같이 표면재료는 택지개발에 따른 대표적 토지이용을 선정하였다. 또한 인공강우장치 부분에 디지털 유량계를 설치하여 실험유역에 공급되는 유량의 정확성을 확보하였다. 그림 2에 수리모형실험장치를 나타냈으며, 세부 제작내용으로 상하부재료에 따른 유출량 산정 장치는 2m×2m의 실험 유역을 2%경사로 제작하였다. 또한, 상하부로 구성된 침투층은 상부의 경우 상부층을 둘러싼 집수조를 통해 위어부를 통과시켜 침투량과 직접유출량을 구하고, 하부층은 재료가 거치된 후 하부 집수조를 통해 위어부를 통과시켜 침투량을 구하며, 직접유출량은 상하부층 사이의 저류 공간 내에 채워지는 물의 체적을 통해 구하도록 제작되었다. 각 재료별 표면상태에 따라 직접유출량을 집수조에서 위어부를 통하여 측정하고, 최하단 침투량도 하부층 밑의 집수조에 연결된 위어부를 통하여 측정할 수 있도록 제작하였다.

표 2. 수리모형 실험 인공강우장치의 제원

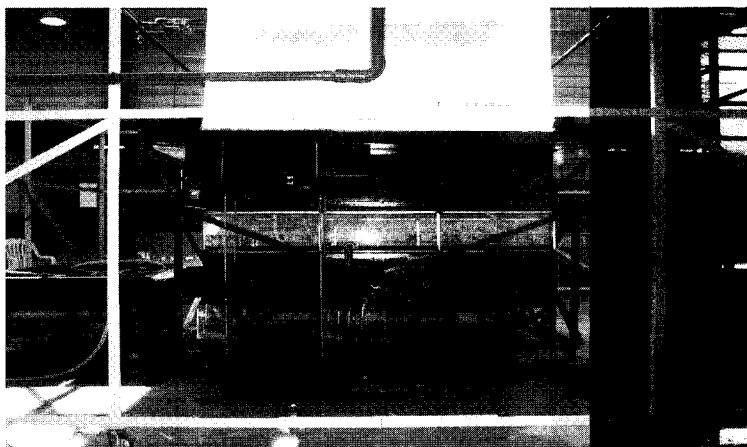
실험유역면적	유역경사	디지털 유량계	유량계범위	월류위어	저수조	측구
2m×2m (4m <sup>2</sup> )	종방향 2% 횡방향 2%	no.1	15 ℓ/hr ~500 ℓ/hr	삼각위어	1×2×0.6 (1,200 ℓ)	0.3×0.15 (m)
		no.2	500 ℓ/hr ~5,000 ℓ/hr			
		no.3	2,000 ℓ/hr ~20,000 ℓ/hr			

표 3. 각 표면재료별 제작방법 및 제원

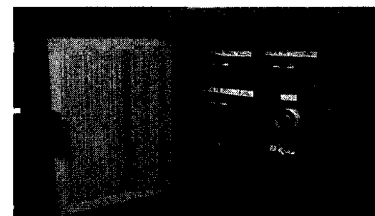
구 분	택지개발 토지이용	제 원	제 작 방 법	비 고
다짐 흙	운동장 및 체육시설	마 사 토 t = 30cm	1층당 t=15cm포설, 다짐	상부침투고려
아스팔트 포장재	도로 및 주택시설	아스콘 t = 8cm 보조기층 t = 22cm	보조기층 포설, 다짐 후 아스콘 포설, 다짐	"
초 지(잔디)	공 원 시 설	초지(잔디) t = 3cm 마 사 토 t = 27cm	1층당 t=13cm, 2층 포설, 다짐 후 식재	"
콘크리트 포장재	도로 및 주택시설	콘크리트 t = 10cm 보조기층 t = 20cm	보조기층 포설, 다짐 후 콘크리트 타설	"
투수성 포장재	공원 및 도로시설	투수성포장 t = 8cm 보조기층 t = 7cm 모 래 t = 15cm	1층 모래 포설, 다짐 2층 보조기층 포설, 다짐 3층 투수성 포장	"
하부층(다짐 흙)	일반적인 성토재료	마 사 토 t = 30cm	1층당 t=15cm포설, 다짐	하부침투고려



(a) 수리모형 실험장치 개요도



(b) 수리모형 실험장치 전경



(c) 디지털 유량계 제어장치



(d) 디지털 유량계

그림 2. 수리모형실험 장치 개요도 및 사진

#### 4. 실험결과 및 분석

수리모형 실험을 통하여 표면재료에 따른 강우강도별 실시간 침투-저류시스템의 저감효과를 분석하였다. 본 연구에서는 침투-저류시스템의 저감효과를 분석하기 위해 각 강우강도별 재료에 따라 하부 실시간 침투율 및 저류율, 상하부 중기침투율을 이용하여 비교하였다. 표면재료에 따른 강우강도별 침투-저류시스템의 효과 분석은 아래 식과 같이 각 강우강도에서 유입되는 유량에서 하부침투량을 뺀 저류량을 산정하고, 이들을 유입 유량의 비율로 나타내어 분석하였다.

$$S = Q_{inflow} - Q_{infiltration} \quad (1)$$

여기서, S : 저류량,  $Q_{inflow}$  : 공급되는 유량,  
 $Q_{infiltration}$  : 하부 침투량

또한, 침투의 특성상 시간에 따라 침투량이 감소하여 평형을 이루는 중기 침투량이 중요한 수리학적 특성을 나타내므로, 본 실험에서는 거의 변화가 없는 상부침투율이 120분 이내에 발생하여 이 시간을 기준으로 각 재료별 하부침투율 및 저류율에 대한 실시간(t) 변화를 무차원하여 분석하였다.

#### 4.1. 각 재료별 강우강도에 따른 하부침투율 및 저류율 결과 및 분석

##### 4.1.1. 다짐 흙의 강우강도별 하부침투율 및 저류율 결과 및 분석

전체 다짐 흙의 시간-하부침투율 및 저류율 곡선을 그림 3에 나타냈으며, 각 강우강도별 실시간 하부침투율 곡선은 일반적인 침투능 곡선과 같이 감소되는 형태를 나타냈다. 이때 강우강도별 저류율은 100%에서 34%범위를 나타냈으며, 하부침투율은 0%에서 66% 범위를 나타냈다.

##### 4.1.2. 아스팔트 포장재의 강우강도별 하부침투율 및 저류율 결과 및 분석

전체 아스팔트 포장재의 시간-하부침투율 및 저류율 곡선을 그림 4에 나타냈으며, 각 강우강도별 실시간 하부침투율 곡선은 일반적인 침투능 곡선과 같이 감소되는 형태를 나타냈다. 이때 강우강도별 저류율은 100%에서 24%범위를 나타냈으며, 하부침투율은 0%에서 76%범위를 나타냈다.

##### 4.1.3. 초지의 강우강도별 하부침투율 및 저류율 결과 및 분석

전체 초지의 시간-하부침투율 및 저류율 곡선을 그림 5에 나타냈으며, 각 강우강도별 실시간 하부침투율 곡선은 일반적인 침투능 곡선과 같이 감소되는 형태를 나타냈다. 이때 강우강도별 저류율은 100%에서 30%범위를 나타냈으며, 하부침투율은 0%에서 70% 범위를 나타냈다.

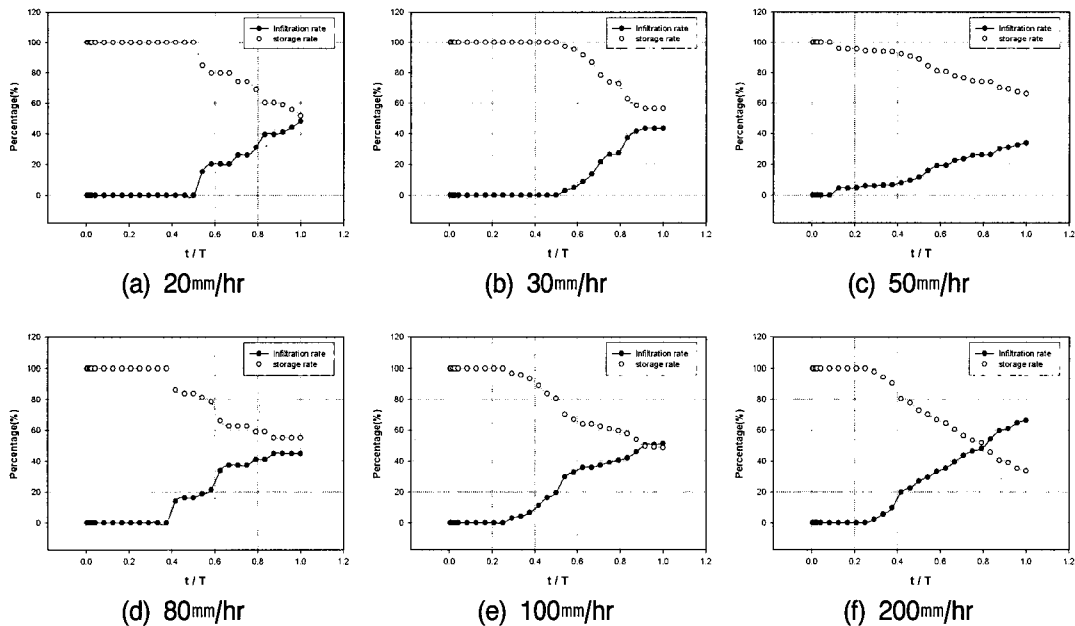


그림 3. 다짐 흙의 하부침투율 및 저류율 곡선

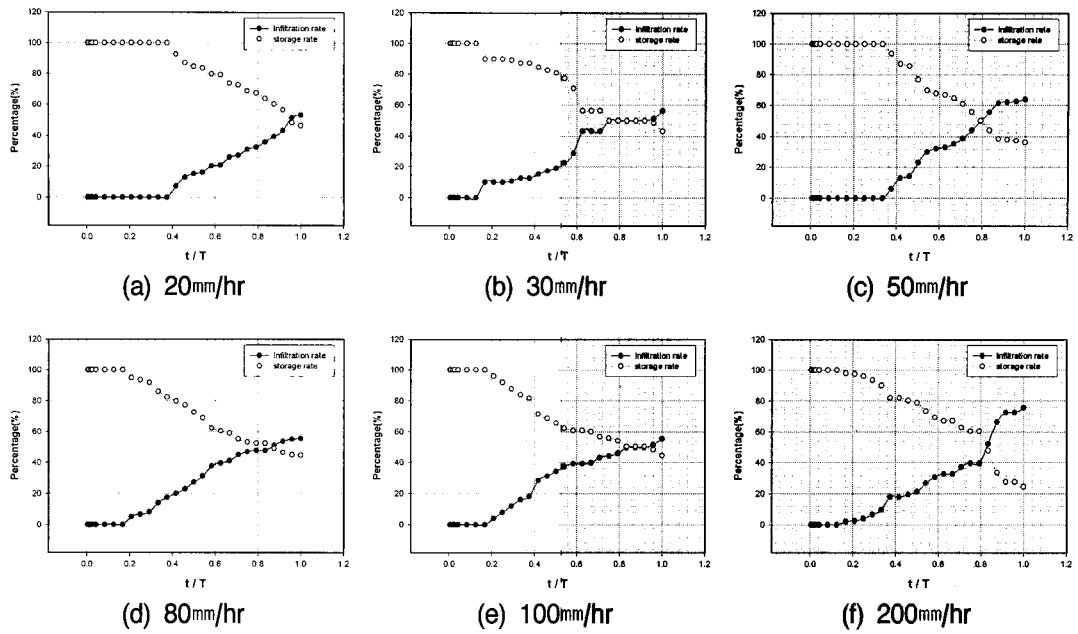


그림 4. 아스팔트 포장재의 하부침투율 및 저류율 곡선

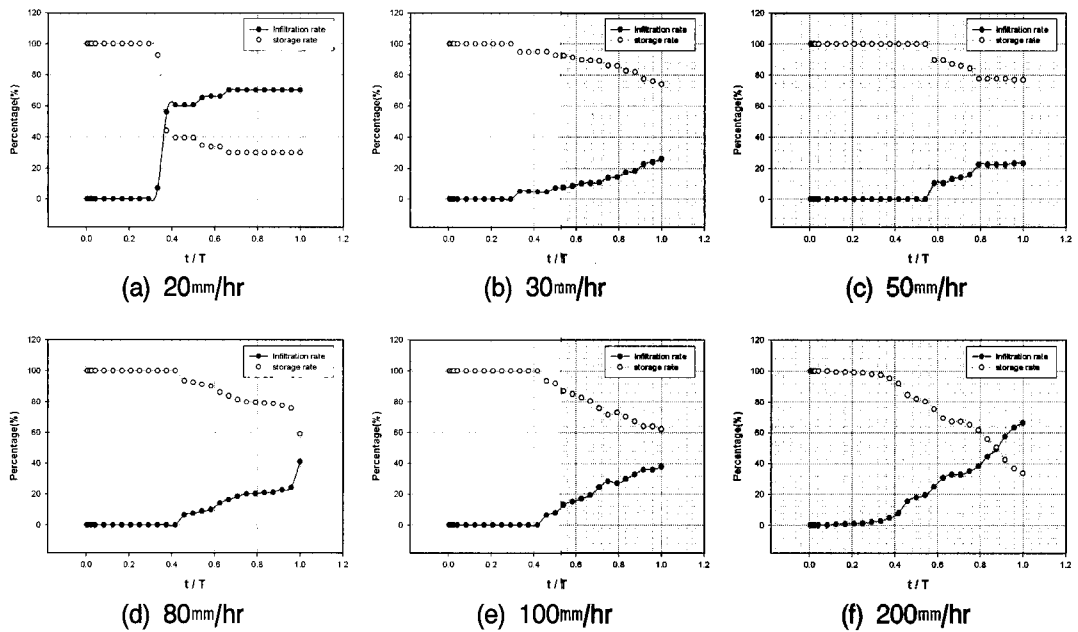


그림 5. 초지의 하부침투율 및 저류율 곡선

#### 4.1.4. 콘크리트 포장재의 강우강도별 하부침투율 및 저류율 결과 및 분석

전체 콘크리트 포장재의 시간-하부침투율 및 저류율 곡선을 그림 6에 나타냈으며, 각 강우강도별 실시간 하부침투율 곡선은 일반적인 침투능 곡선과 같이 감소되는 형태를 나타냈다. 이때 강우강도별 저류율은 100%에서 24%범위를 나타냈으며, 하부침투율은 0%에서 76%범위를 나타냈다.

#### 4.1.5. 투수성 포장재의 강우강도별 하부침투율 및 저류율 결과 및 분석

전체 투수성 포장재의 시간-하부침투율 및 저류율 곡선을 그림 7에 나타냈으며, 각 강우강도별 실시간 하부침투율 곡선은 일반적인 침투능 곡선과 같이 감소되는 형태를 나타냈다. 이때 강우강도별 저류율은 100%에서 35%범위를 나타냈으며, 하부침투율은 0%에서 65%범위를 나타냈다.

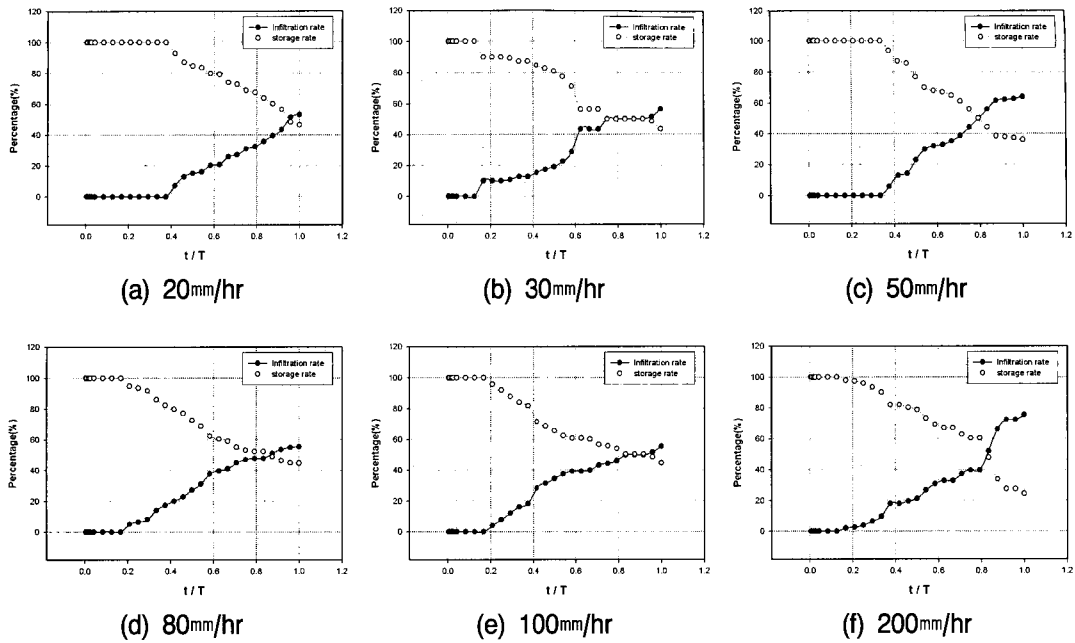


그림 6. 콘크리트 포장재의 하부침투율 및 저류율 곡선

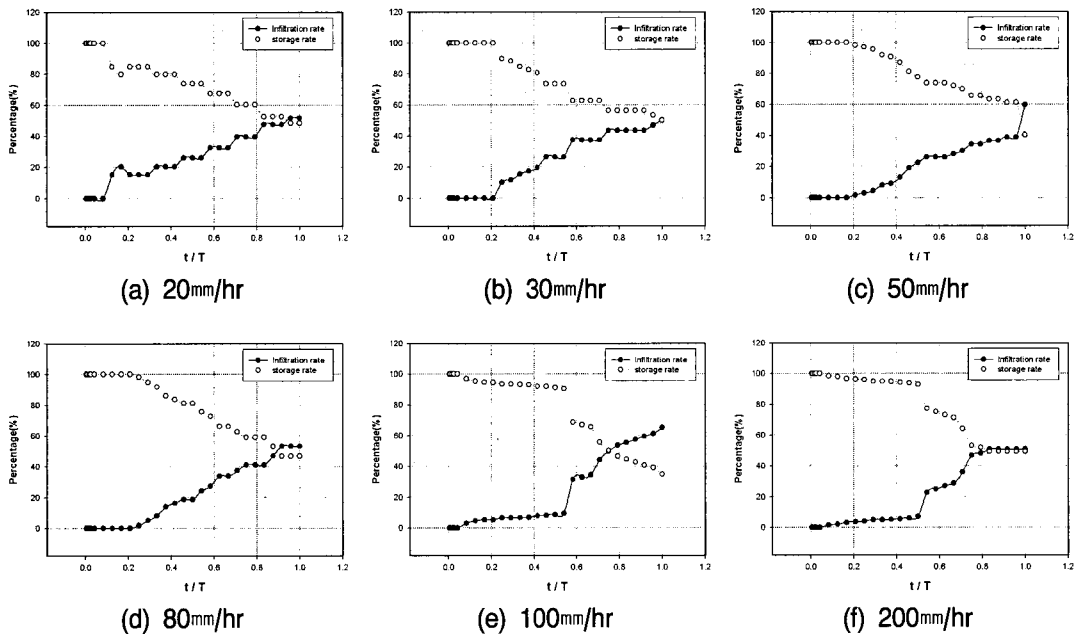


그림 7. 투수성 포장재의 하부침투율 및 저류율 곡선

#### 4.1.6. 표면재료에 따른 편차 비교분석

각 표면재료에 따른 실험 자료를 이용하여, 가장 큰 편차를 비교하고, 표 4에 나타내었다. 다짐 흙, 콘크리트, 아스팔트 포장재는 강우강도 200mm/hr에서 가장 큰 편차를 보였고, 초지는 20mm/hr에서, 투수성 포장재는 100mm/hr에서 각각 가장 큰 편차를 보였다.

표면재료별로는 아스팔트와 콘크리트의 편차가 76%로 가장 크게 나타났고, 투수성 포장재가 65%로 가장 작게 나타났다. 대부분 100mm/hr에서 200mm/hr까지 큰 강우강도에서 하부침투율 및 저류율 편차가 크게 발생하였으며, 초지의 경우는 예외적으로 20mm/hr를 나타냈다. 초지의 엽면효과에 의해 다른 표면재료와 다르게 결과가 발생한 것으로 판단되었다.



**표 4. 표면재료에 따른  
하부침투율 편차 비교**

구 분	편 차	강우강도
다짐 흙	66%	200mm/hr
아스팔트 포장재	76%	200mm/hr
초지	70%	20mm/hr
콘크리트 포장재	76%	200mm/hr
투수성 포장재	65%	100mm/hr

**표 5. 강우강도별 표면재료-상하부 중기침투율 비교**

강우강도 (mm/hr)	다짐흙		아스팔트 포장재		초지		콘크리트 포장재		투수성 포장재	
	상부	하부	상부	하부	상부	하부	상부	하부	상부	하부
20	35%	48%	1%	46%	67%	29%	1%	46%	100%	48%
30	46%	43%	13%	43%	58%	74%	13%	43%	100%	49%
50	35%	34%	10%	37%	48%	77%	10%	37%	100%	41%
80	17%	45%	0%	45%	31%	59%	0%	45%	100%	47%
100	16%	51%	0%	45%	27%	62%	0%	45%	100%	35%
200	13%	66%	0%	47%	13%	34%	0%	47%	94%	38%

#### 4.2 강우강도와 표면재료에 따른 침투-저류시스템의 상하부 침투율 분석

본 연구에서는 강우강도와 표면재료에 따른 침투-저류시스템의 침투율 분석을 위해 상부 침투율이 평형을 이루는 시간 120분을 고려하여 중기침투율로 분석하였다. 표 5와 그림 8에 표면재료별 강우강도에 따른 상하부 중기침투율을 나타냈다. 표 5와 그림 8에서 나타난 바와 같이 다짐흙의 강우강도별 표면재료-하부 중기침투율은 34%에서 66%를 나타내고, 아스팔트와 콘크리트 포장재의 경우에는 37%에서 47%로 나타났다. 또한 초지의 경우에는 편차가 심한 29%에서 77%로 나타났으며, 투수성 포장재의 경우에는 35%에서 49%를 나타냈다. 이러한 결과로 대체적으로 초지를 제외하고 강우강도에 대해 일정한 범위로 하부 중기침투율이 발생하였으며, 이것은 침투-저류시스템이 상부재료에 영향없이 일정한 범위의 저감효과를 발생시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이러한 범위의 편차는 흙 재료의 교란성 때문에 일정하지 않은 관측자료가 발생하는 것으로 판단되었으며, 또한 초지의 경우, 옆면의 차단효과로 인해 유입시간이 변화되어 편차가 큰 것으로 추측되었다. 또한, 상부와 하부 침투율을 비교한 결과, 대체적으로 하부의 침투율이 더 크게 나타났으며, 이러한 결과로 침투-저류시스템의 효과가 단지 저류만이 아닌 침투율을 증가시켜 기존 침투형 우수유출저감시설보다 효율적인 것으로 판단되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서 수행된 강우강도에 따른 침투-저류시스템의 우수유출저감효과에 관한 실험 연구의 결과를

요약하면 다음과 같다.

- 1) 시간 경과에 따른 하부침투율의 변화를 분석한 결과, 각 강우강도별 실시간 하부침투율 곡선은 일반적인 침투곡선의 경향과 같이 감소되는 형태를 나타냈다. 또한, 시간이 증가함에 따라 침투율은 강우강도에 따라 대체적으로 증가하는 경향을 나타냈다.
- 2) 중기 침투율을 강우강도에 따라 각 재료별로 비교한 결과, 대체적으로 초지를 제외하고 강우강도에 대해 일정한 범위로 하부 침투율이 발생하였다. 따라서, 침투-저류시스템이 상부재료의 영향을 받지 않고 일정한 범위의 저감효과를 발생시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 범위의 편차는 흙 재료의 교란성 때문에 일정하지 않은 관측자료가 발생하는 것으로 판단되었으며, 초지의 경우, 편차 크게 나타나는 것은 옆면의 차단효과로 인해 유입시간이 변화되는 것에 기인되는 것으로 판단되었다.
- 3) 상부와 하부 침투율을 비교한 결과, 하부의 침투율이 더 크게 나타났으며, 이러한 결과로 침투-저류시스템의 효과가 단지 저류만이 아닌 침투율을 증가시켜 기존 침투형 우수유출저감시설보다 효율적인 것으로 판단되었다.

이러한 결과는 침투형 우수유출저감시설의 기초자료로 활용될 수 있으며, 치수 및 방재 측면에 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 보다 다양한 수문조건에 대한 실험연구와 실제 침투-저류시스템 모니터링 관련 연구가 진행되고 침투-저류시스템의 수문모형 분석이 수행된다면 침투-저류시스템은 향후 우수유출저감시설로써 활용될 수 있을 것이다.

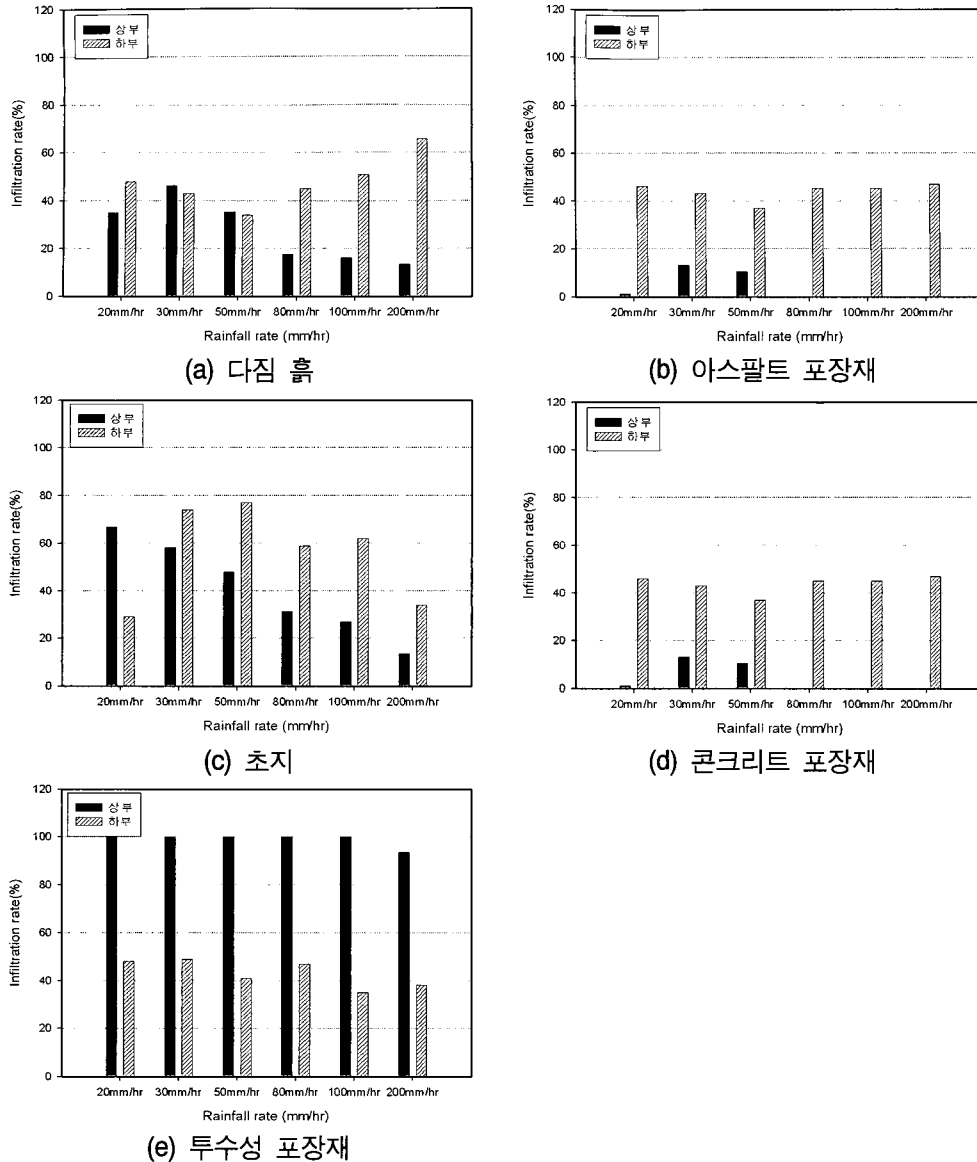


그림 8. 표면재료별 강우강도-상하부 종기 침투율 비교

### 감사의 글

이 논문은 2006학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

### 참고 문헌

김병훈, 강준구, 이재웅, 여운광 (2002) 실험을 통한 투수성 포장재의 우수유출저감 효과에 관한 연구. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 122-125.

김용호, 배상근 (2003) 지표상태별 강우 침투특성의 검토. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 105-108.

서울시정개발연구원 (1998) 우수유출 저감시설 기준 연구 - 설정 및 연구-.

송재우 (2004) 수리학. 구미서관.

심재현, 이철규, 이종국, 김진영 (2004) 침투통의 설치에 따른 치수효과 분석. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 51.

여운광, 이종국, 심재현, 김종수 (2000) 도시 우수유출 저감을 위한 침투형 맨홀의 효과분석. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, pp. 795-800.

이재웅, 여운광, 심재현, 강태호 (2001) 투수성 포장재를 통한 유출저감효과 분석. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 335-340.

장복진, 여운광 (2002) 현장자료를 이용한 침투집수정의 유출저감 효과에 관한 연구. 한국수자원학회

- 논문집, 한국수자원학회, pp. 611-618.
- 최계운, 심재현, 김현수, 장연규 (2002) 투수성 유출저감시설 설치기준에 관한 연구. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1230-1235.
- 최계운, 정기일, 윤용진, 현지환 (2004a) 유역 침투-저류 방식을 이용한 빗물이용시설의 효과 분석. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 214.
- 최계운, 최종영, 김석봉 (2004b) 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템 개발. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, pp. 163-172.
- 최계운, 최종영, 조준범 (2003) 우수저류장치의 표층 상태에 따른 유출저감효과 분석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 289-292.
- Fletcher, T.D., Wong, T.H.F., Duncan, H.P., Coleman, J.R. and Jenkins, G.A. (2001) Managing Impacts of Urbanisation on Receiving Waters: A Decision-making Framework, *Proceedings of the 3rd Australian Stream Management Conference*, Brisbane, 27-29 August, 2001, pp. 217-223.
- Lloyd, S.D., Wong, T.H.F. and Chesterfield, C.J. (2001) Opportunities and Impediments to Water Sensitive Urban Design in Australia, *Proceedings of the 2nd South Pacific Stormwater Conference*, Auckland, New Zealand, 27 - 29 June 2001, pp. 302-309.
- Taylor, A.C. (2005) *Structural Stormwater Quality BMP Cost - Size Relationship Information From the Literature*. Technical Paper. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne, Victoria.
- Wong, T.H.F. (2000) Improving Urban Stormwater Quality - From Theory to Implementation, *Water - Journal of the Australian Water Association*, Vol. 27 No. 6, November/December, 2000, pp. 28-31.
- Wong, T.H.F. (2001) A Changing Paradigm in Australian Urban Stormwater Management, Keynote address - *2nd South Pacific Stormwater Conference*, Auckland, New Zealand, 27 - 29 June 2001.
- Wong, T.H.F., Duncan, H.P., Fletcher, T.D. and Jenkins, G.A. (2001) A Unified Approach to Modelling Urban Stormwater Treatment, *Proceedings of the 2nd South Pacific Stormwater Conference*, Auckland, New Zealand, 27 - 29 June 2001, pp. 319-327.

© 논문접수일 : 2007년 07월 30일

© 심사의뢰일 : 2007년 07월 30일

© 심사완료일 : 2007년 09월 10일