

On-site 방식 빗물관리를 위한 건축물 지붕면의 유출특성 경험식 수립

An Experimental Runoff Formula in Building Roof Area for On-site Rainwater Management

김 영 진* / 한 무 영** / 김 용 하*** / 문 정 수****

Kim, Youngjin / Han, Mooyoung / Kim, Yongha / Mun, Jungsoo

Abstract

This study proposes an experimental formula for cumulative runoff analysis in building roof for on-site rainwater management. We can not find an appropriate method for roof runoff analysis because of its small area scale. A new runoff equation formula for rainfall depth(D) and cumulative runoff volume(V) is developed on roof runoff conditions. Reliability of the formula is verified with field experimental runoff monitoring for two years in two buildings of rainwater management system. This experimental runoff formula can root the cumulative runoff volume from roof area and rainfall depth, then develop reasonable inflow condition for rainwater retention tank design.

keywords : rainwater management system, building rooftop, roof runoff, cumulative runoff, RSD

요 지

본 연구는 현지(on-site) 빗물관리에 필요한 지붕면 누적유출용적 예측을 위한 경험식을 제안하였다. 건축물 지붕면은 좁은 면적으로 인해 기존 유출해석 기법의 적용이 어려운 것으로 파악되었으며, 지붕면 유출조건을 고려한 강우깊이(D)-누적유출용적(V)간의 이론적 관계식을 수립하였다. 2005년부터 2007년까지 2년간 실제 강우량과 지붕면의 유출용적을 측정하여 이론적 관계식으로 계산된 누적유출용적과 실측 누적유출용적 자료를 비교 검토하였다. 실측자료의 분석결과를 바탕으로 시간별 강우깊이 변화에 따른 누적유출용적을 예측할 수 있는 경험적 유출식을 얻었다. 본 경험식으로 강우관측 자료 또는 강우주상도와 지붕면의 면적으로부터 간편하게 실제에 가까운 누적유출용적의 시간별 변화를 예측할 수 있으며, 이 결과는 각종 빗물관리시설의 용량 결정은 물론, 빗물관리시설 통해 지붕면에서 도시배수관으로 유입되는 유량 변화 예측에도 활용이 가능할 것이다.

핵심용어 : 빗물관리시설, 건축물 지붕면, 지붕유출, 누적유출, RSD

* 교신저자, 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사

Corresponding Author, Senior Researcher, National Academy of Agricultural Science, Suin-ro, 150th Gwonseon-gu Suwon Gyeonggi-do, 441-857, Republic of Korea
(e-mail: mukta73@snu.ac.kr)

** 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 정교수

#38-206 Seoul National University 599 Gwanangno, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Republic of Korea

*** 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정

#39-217 Seoul National University 599 Gwanangno, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Republic of Korea

**** 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정

#39-217 Seoul National University 599 Gwanangno, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Republic of Korea

1. 서론 및 연구목적

최근 빗물관리는 강우변화 대응, 물순환 회복, 지속 가능한 생활환경구축 등 도시물관리 문제의 지속가능한 대응 방안으로 주목받고 있다. 2002년 수도법 상에 빗물이용시설의 설치와 유지에 관한 조항이 신설된 이후, 자연재해대책법에 유출억제를 위한 빗물의 저류 및 침투방안 마련, 서울특별시 빗물관리에 관한 조례, 서울특별시 빗물관리시설의 설치 및 지원에 관한 지침과 최근 제주도 빗물이용시설 등의 시설 및 관리기준까지 국가 및 광역지자체 단위에서 법령과 규정이 연이어 마련되었다(빗물학회, 2008). 또한 2008년 최근에는 아산신도시 및 행정중심복합도시의 도시계획 단계에서 빗물관리방안에 대한 구체적인 검토와 실제 시스템 구축에 관한 계획수립이 추진되고 있다.

빗물관리 시설을 구체적으로 살펴보면, 빗물유출수가 도시 하수도나 하천수계에 유입되기 이전의 집수면 주변, 즉 on-site 에 설치된다. 또한 대부분 시설이 Fig. 1 과 같이 건축물 지붕면을 집수면으로 하여 3단계 공정으로 구분되는 RSD 시스템이다(Kim and Han, 2008).

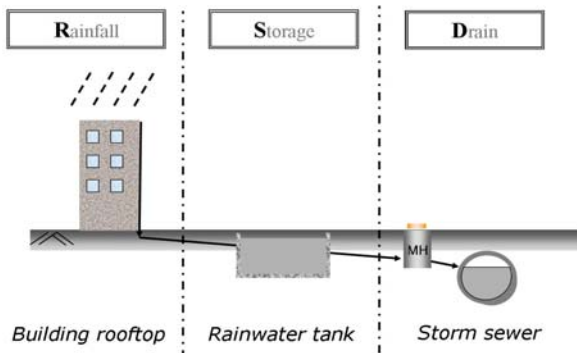


Fig. 1 Schematic Diagram of RSD System

RSD 시스템은 빗물을 모으는 지붕집수공정, 빗물을 저장하는 저장공정과 최종적인 배수공정으로 이루어진다. 이와 같은 빗물관리시설의 설치와 보급에 대응하여 적절한 시설설계 및 나아가 도시 강우유출에 미치는 영향과약을 위해 우선 지붕면의 유출특성에 관한 연구가 우선 되어야 할 것이며, 이에 따라 본 연구는 지붕면의 유출조건 분석, 이론적 유출 추정식 수립 및 지붕유출의 실측분석을 통한 유량계수의 결정과 같이 지붕면 유출수문곡선 추정기법 개발을 목적으로 수행되었다.

2. 연구방법 및 결과

2.1 지붕유출조건 및 유출추정식 수립

기존의 수문학적 및 수리학적 유출모델들의 특성을 파

악하여 지붕면 유출해석에의 적용성을 검토하였다. 지붕면은 수문학적 유역의 규모와 비교하여 매우 협소하다. 2002년 현재 국내 건축물의 약 96%, 서울시 건축물의 경우 약 94%가 건축면적이 1,000m² 이하인 것으로 조사되었다(건설교통부, 2002). 수리학적 유출추정기법의 경우 대상유역 적용면적에 한계를 제시한 경우는 없었으나, 지배방정식의 수립이 난해한 편이며 유출면의 세부적인 조건변화에 따라 각각의 지배방정식을 수립해야 하는 등의 어려운 점이 있어 본 연구의 검토대상에서 제외하였다. Fig. 2는 기존의 수문학적 유출이론이 적용 가능한 면적의 규모를 나타내고 있다(Linseley *et al.*, 1982; Lloyd *et al.*, 1906; Ponce, 1989; Roy, 1998).

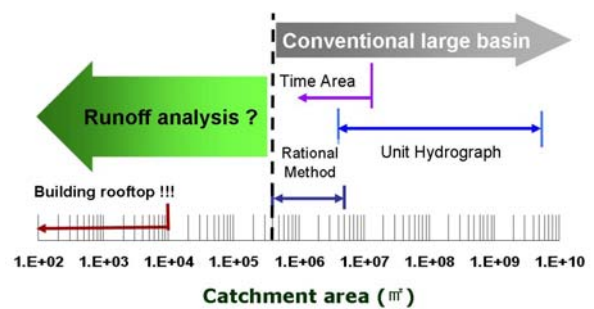


Fig. 2 Applicable Area Scale of Conventional Runoff Models

Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 기존의 유출해석기법은 적용면적의 한계상 지붕면 유출에 적용하기는 어렵다고 판단되었다. 면적이외에도 가장 일반적으로 적용되는 합리식의 경우를 예로 하여 지붕유출해석과 기존 유출해석의 조건을 Table 1에서 비교하였다.

Table 1에서 지붕유출해석에 있어 주요 가정조건은 각종 문헌조사를 통해 본 연구에서 수립한 가정조건이다. 먼저 국내의 일반적 지붕 형태 및 재질에 근거해 지붕면을 완전한 불투수 면으로 가정하였다. 설계와 시공상의 장점으로 인해 평지붕형이 선호되고 있으며, 지붕면의 표면과 재료는 1980년대부터 표면을 방수처리한 콘크리트 슬라브가 일반적인 지붕재로 활용되고 있다(박중숙, 1991; 허욱, 김형우, 1995). 이에 우리나라 건축물 지붕면의 일반적인 형태는 표면이 방수처리된 콘크리트 슬라브의 평지붕이라고 할 수 있을 것이다.

지붕면의 유출특성 파악을 위해 유량손실 발생 여건을 조사하였다. 유출과정에서 유량손실의 주요요인으로 차단, 표면저류, 침투와 증발산을 들 수 있다. 차단효과와 증발산의 경우 녹화시설이 없는 일반적인 지붕에서는 무시할 수 있다고 가정하였다. 표면저류에 의한 손실은 불투수성의 평지붕과 같은 경우 일반적으로 0.25mm 정도의 미

Table 1. Roof Runoff Condition and Rational Method

-	Roof runoff analysis	Rational formula (Lloyd et al., 1906)
goal	강우강도변화에 따른 유출수문곡선의 작성	강우시 유출유역에서 발생하는 침투유출유량(m ³ /sec) 예측
scale	약 500~2,000m ² (0.05~0.2 ha)	약 100~1,000 ha
assumption	-표면 방수시트 처리 등에 의한 완전불투수 표면 -증발산, 침투, 표면저류에 의한 유량손실 무시 -미소한 면적, 짧은 유하거리에 의한 유달시간 무시	-전유역에 동일한 강우강도발생 -유달시간동안의 평균강우강도 = 통계학적 평균 최대강우강도 -유출계수 : 유출표면 특성에 따른 개략적인 유량보정

소한 값으로 보고 있다(ASCE, 1992). 건축물 지붕과 같이 방수처리 표면의 경우 침투에 의한 손실도 극히 미소할 것으로 가정할 수 있다. Akan and Houghtalen (2003)과 Methods and Durrans(2003)는 도시지역과 같은 불투수면에서의 유출해석에서 증발산 손실을 무시할 수 있는 것으로 제시하고 있다. 이와 같은 기존 자료에 근거해 건축물 지붕유출에서 차단, 표면저류, 침투 및 증발산에 의한 손실은 매우 미소하거나 무시할 수 있는 정도로 볼 수 있다고 판단하였다.

또한 유달시간(time of concentration)의 영향도 거의 무시할 수 있는 것으로 볼 수 있다. 수문유출해석에 있어 고려할 수 있는 최단 유달시간을 5분으로 보고 있어 (Debo and Reese, 2003), 지붕면 유출에서는 무시하기로 가정하였다. Table 1의 지붕 유출해석 조건을 근거로 강우개시 후 경과시간(t)에서 누적유출용적(V)과 강우깊이(D)의 관계를 Eq. (1)과 같이 수립하였다. 0.001은 단위환산 계수이다.

$$V(t) = \alpha \times D(t) \times A \times 0.001 \quad (1)$$

- t : 강우개시 후 경과시간
- V(t) : 시간 t까지의 누적유출용적(m³)
- α : 유량계수(=누적유출용적/누적강우용적)
- D(t) : 시간 t까지의 누적 강우깊이(mm),

A : 지붕면적(m²)

2.2 지붕유출용적 실측실험

앞에서 제시한 Eq.(1)의 적용성을 검토하기 위하여 강우량 자료, 빗물집수 면적으로 계산된 누적강우용적 변화와 실측한 누적유출용적 변화를 비교하여 유량계수를 산출하였다(Fig. 3).

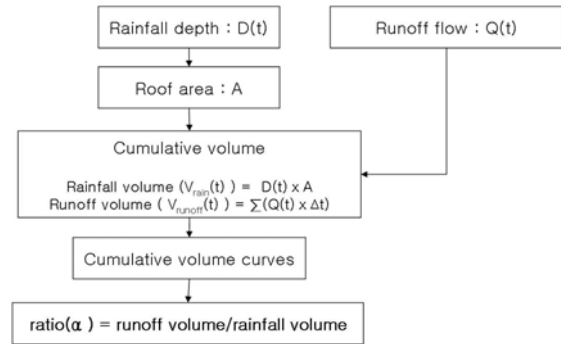


Fig. 3 Field Monitoring and Calibration of Roof Runoff Ratio

강우량은 서울대학교내 기상청 무인 기상관측소 (Automatic Weathering Station)의 측정값을 이용하고, 지붕면 유출량 실측은 두개의 빗물이용시설에서 관측되었다. Fig. 4는 유출량을 측정한 서울대학교 대학원 기숙사와 39동 건물을 나타내고 있다.

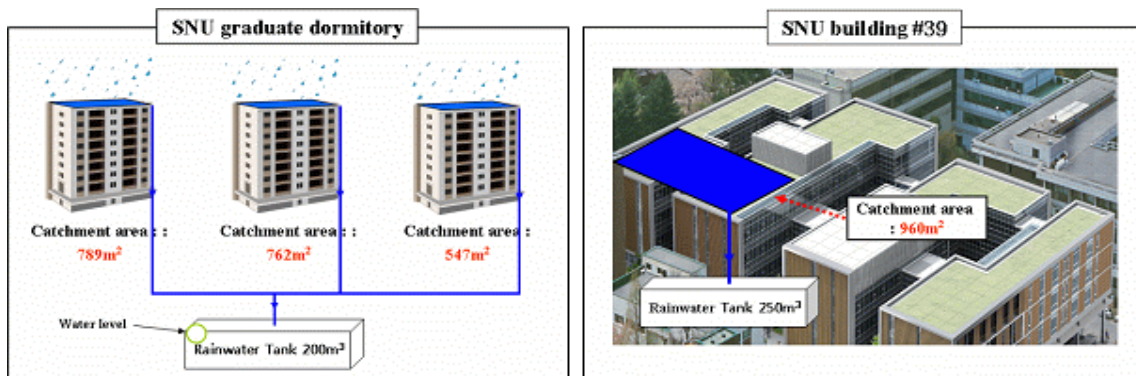


Fig. 4. Rainwater System in Seoul National University

지붕면 유출량을 측정된 건축물들은 모두 방수시트 콘크리트 슬라브의 평지붕을 가지고 있다. 각 빗물관리 시설의 집수면적 규모는 대학원 기숙사의 3개 건물은 2,098m², 39동 건물은 지붕전체의 일부인 960m²이다. 이들 각 시설에서 지붕유출유량을 측정된 기기의 재원은 Table 2와 같다. 대학원 기숙사의 유출유량은 V-notch 위어의 유량에 따른 수심변화를 음파탐지기를 이용해 측정하였다. 39동 시설의 경우 지붕면 유출유량에 따른 빗물저장조의 수심변화를 통해 산출하였다.

이같은 시설에서 2005년 4월부터 2007년 4월까지 약 2년 동안 E1~E6의 총 6개 강우사상(Table 3) 발생시 Eq. (1)을 이용한 누적 강우용적과 실측 누적유출용적을 얻을 수 있었다(Fig. 5). 관측된 강우는 모두 우리나라의 전형적인 Huff의 2분위 분포형태를 지니고 있으며, E1과 E3의 누적강우용적과 실측 누적유출용적의 시

간에 따른 변화 곡선이 형태상 잘 일치하는 결과를 얻었다.

2.3 실측결과 및 분석

Figs. 5의 실험결과를 총강우량, 침투유출 발생시의 유량계수와 총 누적유출용적시 유량계수의 세가지 인자를 비교해 분석하였다(Table 4).

관측된 모든 결과의 총누적유출용적 유량계수가 0.92~0.97까지의 안정된 값을 나타내고 있다. 이는 기존의 Ragab et al.(2003)이 제시한 0.90~0.99와 비교해 볼때 개연성이 있는 값으로 판단할 수 있다. 비교적 총강우량이 높은 E1과 E3에서 누적용적 곡선의 형태가 잘 일치하면서, 침투 발생시와 총누적용적에서 유량계수의 차이도 작게 나타났다.

Table 2. Specification of Water Level Meters

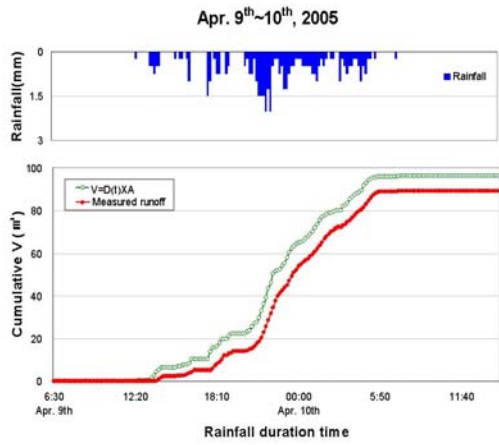
spec'제 원	position	graduate school dormitory	building #39
type		sonic sensor	floating sensor
model		LM-100	HT-100RV
company		Hydrosonic (Korea)	HITROL (Korea)
range		0.3~2.0 (m)	Max. 6,000 mm
sensor signal		1,000~2,500 (Hz)	DC 4~20 mA
error		0.1%	0.1%

Table 3. Monitored Rainfall Events

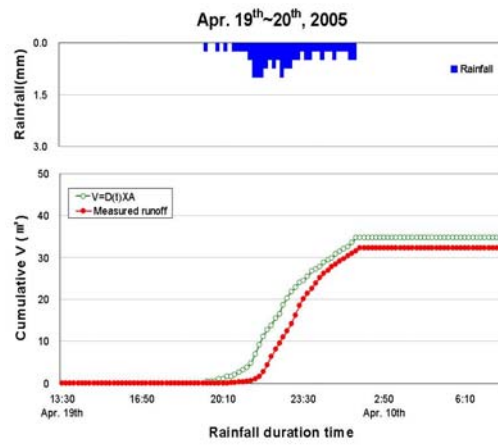
event	date	position	rainfall depth (mm)	duration time (min)	peak intensity (mm/10min)
E1	2005.4.9	dormitory	45.97	400	2.03
E2	2005.4.19		16.51	380	1.78
E3	2005.5.5		29.21	1,440	1.02
E4	2006.6.29	Bd' #39	8.89	280	3.56
E5	2006.7.10		8.13	240	1.52
E6	2007.4.10		2.03	80	2.03

Table 4. Analysis of Measured and Calculated Cumulative Runoff Volume

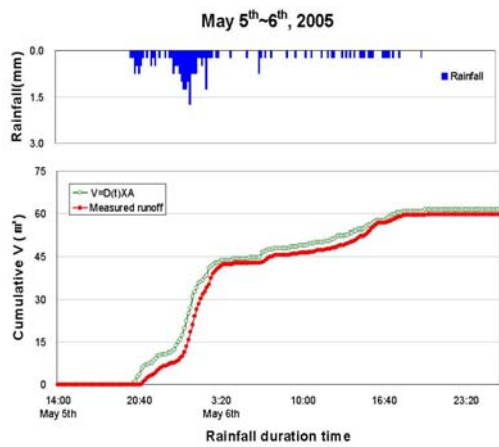
event	depth (mm)	cumulative volume at peak time(m ³)			total volume(m ³)		
		rainfall	runoff	ratio(α)	rainfall	runoff	ratio(α)
E1	45.97	4.26	3.16	0.74	96.45	89.28	0.93
E2	16.51	2.13	2.13	1.00	34.64	32.33	0.93
E3	29.21	3.73	3.15	0.84	61.28	59.56	0.97
E4	8.89	3.32	2.04	0.61	8.31	8.01	0.96
E5	8.13	1.42	1.23	0.86	7.60	7.16	0.94
E6	2.03	0.48	0.89	1.87	1.90	1.75	0.92



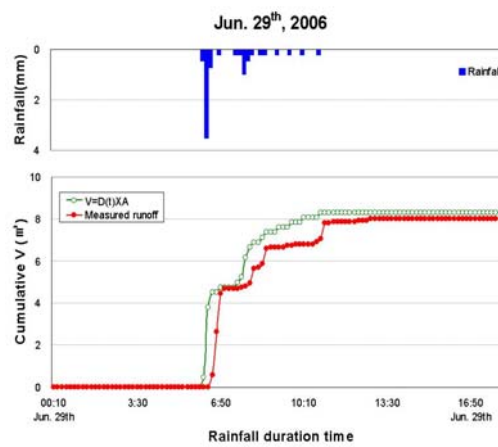
(a) E1



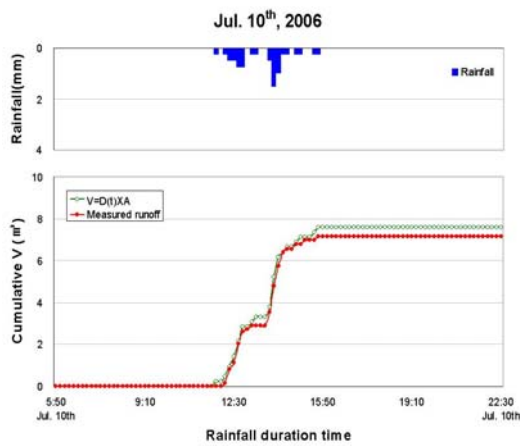
(b) E2



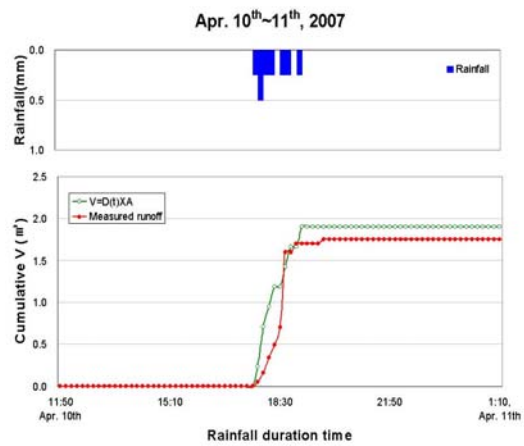
(c) E3



(d) E4



(e) E5



(d) E6

Fig. 5. Cumulative Runoff Volume Curves

사상별로 침투발생시의 유량계수 차이가 큰 이유는 강우발생 이전 지붕면, 배수관의 침전물, 표면 건조상태 등의 영향 때문인 것으로 추측된다. E6는 1.87의 높은 값이 측정되었는데, 이는 강우용적보다 유출용적이 많다는 의미로, Ragab et al.(2003)도 동일한 현상을 관측

하였다. 그 원인은 저장우시 실제 강우량보다 강우계 관측값이 훨씬 작게 측정될 수 있는 문제로 보고 있다. tipping-bucket형 강우량계의 경우 bucket에서 빗방울이 튀어 나가는 현상(splash out)과 bucket의 일정 용량(0.25mm)에 의한 오차가 강우측정값에 큰 영향을 미칠

수 있다. E6의 경우 총강우량이 약 2mm에 불과해 이러한 오차가 발생한 것으로 추정된다. 이상의 실험결과에 따라 Eq. (2)와 같은 누적유출용적 예측식을 제안하는 바이다.

$$V(t) = [D(t) \times A \times (0.90 \sim 0.95)] \times 0.001 \quad (2)$$

- t : 강우개시 후 경과시간
- V(t) : 시간 t까지의 누적유출용적(m³)
- D(t) : 시간 t까지의 누적 강우깊이(mm)
- A : 지붕면적(m²), (0.90~0.95) : 유량계수

3. 결 론

국내 건축물의 지붕면은 일반적으로 콘크리트 재질의 방수시트로 표면처리가 된 면적 1,000m²이하의 평지붕인 것으로 파악되었다. 이에 따라 기존 유출이론들은 그 적용면적의 한계상 지붕면 유출예측에 활용하기 어려운 것으로 나타났다. 지붕면 유출을 침투, 증발산, 표면저류에 의한 유량손실은 무시할 수 있는 이상적 완전 유출로 가정하고 누적유출용적 추정식을 수립하였다. 이 식의 적용성 검증을 위해 실제 지붕면에서 약 2년간 강우량 및 유출용적을 관측한 결과를 근거로, 실제 강우용적과 추정식으로 계산된 유출용적의 유량계수를 0.90~0.95로 제안하였다. 본 연구의 유량계수를 적용할 수 있는 지붕면 조건은 다음과 같다.

- 면적 약 2,000m²이하의 콘크리트+방수시트 표면재질의 평지붕
- 신속하고 완전한 배수를 목적으로 건축상 적합한 배수시스템을 갖춘 지붕
- 지붕면에서 빗물관리장치까지의 유하시간 약 5분 내외

본 연구에서 제안한 식은 실측 모니터링에 근거하여 실용적이고 간단하게 누적유출용적 곡선을 작성할 수 있는 방안이다. 이 같은 건축물 지붕면 유출추정방안은 중소규모의 on-site형 빗물관리시설 설계는 물론, 유출제어를 위한 빗물저장시설의 용량결정 및 빗물관리시설 설치에 강우시 도시유출에 미치는 영향예측 등의 향후연구에 있어 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 공학연구소와 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2002). 건축통계자료집, pp. 192-193.

박종숙 (1992). 주거건축 지붕의 기본형태. 석사학위논문, 동국대학교, pp. 40-54.

빗물학회 (2008). **빗물관리 및 활용계획 수립과 저변 확대방안 조사연구**, 국토해양부, pp. 10-12, pp. 115-120

허욱, 김형우 (1995). "국내 아파트 옥탑의 형태적 특성에 관한 연구." **대한건축학회 학술발표논문집**, 대한건축학회, 제15권, 제2호, pp.75-79.

Akan, A. Osman, Houghtalen, Robert J. (2003). *Urban hydrology, hydraulics, and stormwater quality*, John Wiley & Sons INC, p 34

American Society of Civil Engineers, (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No. 77, ASCE, New York, p 211

Debo, Thomas N., Reese, Andrew J. (2002). *Municipal Stormwater Management 2nd ed.*, Lewis publisher, ACRC Press Company, p 289

Methods, Haestad, Durrans, S. Rocky (2003). *Stormwater Conveyance Modeling and Design 1st edition*, Haestad press, p 108

Kim, Y., Han, M.(2008). "Rainwater storage tank as a remedy for a local urban flood control," *Water Science & Technology:Water supply*, Vol. 8, No. 1, pp. 31-36

Linsely, R. K., M. A. Kohler & J. L. H. Paulhus (1982). *Hydrology for engineers*, McGraw-Hill Book Co., N.Y., p 240

Lloyd-Davies, DE, Jones, AS, Travis, WO, (1906). "The elimination of stormwater from Sewerage Systems." *Institution of Civil Engineering*. 164, pp. 41 - 67.

Ponce, Victor Miguel (1989). *Engineering Hydrology - principles and practices*, Prentice-Hall., p 640

R. Ragab, J. Bromley, P. Rosier, J. D. Cooper, J. H. C. Gash(2003). "Experimental study of water fluxes in a residential area: 1. Rainfall, roof runoff and evaporation: the effect of slope and aspect." *Hydrological Processes*, Vol. 17, No. 12, pp. 2409-2422.

Roy, Cuhdley, (1998). *Building Superstructure*, Longman Scientific & Technical, Hongkong, p. 308

(논문번호:08-121/접수:2008.12.17/심사완료:2009.01.30)