

연속 강우유출 모의기법을 이용한 최적 CSOs 산정에 관한 연구

조덕준[†] · 김명수^{*} · 이정호^{**} · 김종훈^{**}

동서대학교 건축토목시스템공학부

^{*}(주)남원건설엔지니어링 수자원부

^{**}고려대학교 사회환경시스템공학과

A Study of Optimal-CSOs by Continuous Rainfall/Runoff Simulation Techniques

Jo, Deok Jun[†] · Kim, Myoung Su^{*} · Lee, Jung Ho^{**} · Kim, Joong Hoon^{**}

Department of Architecture and Civil System Engineering, Dongseo University

^{}Department of Water Resource engineering, Namwonkeonseol Engineering Co., Ltd.*

*^{**}Department of Civil and Environmental System Engineering, Korea University*

(Received 14 August 2006, Accepted 7 September 2006)

Abstract

For receiving water quality protection a control systems of urban drainage for CSOs reduction is needed. Examples in combined sewer systems include downstream storage facilities that detain runoff during periods of high flow and allow the detained water to be conveyed by an interceptor sewer to a centralized treatment plant during periods of low flow. The design of such facilities as storm-water detention storage is highly dependant on the temporal variability of storage capacity available as well as the infiltration capacity of soil and recovery of depression storage. For the continuous long-term analysis of urban drainage system this study used analytical probabilistic model based on derived probability distribution theory. As an alternative to the modeling of urban drainage system for planning or screening level analysis of runoff control alternatives, this model has evolved that offers much ease and flexibility in terms of computation while considering long-term meteorology. This study presented rainfall and runoff characteristics of the subject area using analytical probabilistic model. Runoff characteristics manifested the unique characteristics of the subject area with the infiltration capacity of soil and recovery of depression storage and was examined appropriately by sensitivity analysis. This study presented the average annual CSOs, number of CSOs and event mean CSOs for the decision of storage volume.

keywords : Analytical probabilistic model, Combined sewer overflows, Inter event time definition

1. 서론

도시지역의 강우로 인한 유출은 지표면의 비점오염원을 하수관거를 통하여 하천으로 방류하면서 도시하천을 오염시키는 주된 원인이 되고 있다. 현재 대부분의 도시 하수관거는 합류식 관거로서 우기에 비점오염원을 포함한 유출량의 일부는 하수처리장으로, 일부는 하천으로 방류되며 지역적 차이가 있으나 일반적으로 오수량의 3배를 초과하는 유량을 하천으로 방류시킨다(하수도시설기준, 1998). 이러한 하천으로 방류되는 월류수를 합류식하수관거월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)라 하며 비점오염원을 포함하는 CSOs에 의한 하천 오염을 방지하기 위하여 장치형 또는 저류형 시스템이 도입되고 있다. 그러나 강우로 인한 유역 내 비점오염원 유출량의 예측기법이 충분히 정립되어 있지 않아서 우천 시에 저류 또는 처리시스템 계획에 근본적인 어려움이 있다고 할 수 있다.

비점오염원은 빗물의 유출과 함께 유하되므로 지역별 강우특성과 유역특성에 의하여 유출규모가 다르게 나타나게 되며 기존의 강우분석기법은 주로 최대치를 기준으로 유출량을 산정하는 것으로 비점오염원이 유출특성을 고려할 때 최대치에 의한 유출량을 적용하는 것은 적절하다고 볼 수 없다.

국내에서 비점오염원에 대한 연구는 비교적 최근에 많이 이루어지고 있는데 분포형 수질관리 모형과 GIS을 이용 복하천 유역의 비점오염원 예측을 시도하였으며(유 등, 2004), 공주지역 주차장 및 교량지역의 비점오염물질의 유출경향 모니터링 및 EMC의 산정과 초기강우의 현상 파악 및 동적 EMC를 제안하였고(김 등, 2005b), 유역의 특성인 자들로 BOD EMC를 추정과 강우량으로 BOD 부하량을 계산하는 BOD 항목 EMC 추정식의 유도한 바 있으며(김 등, 2005a), 금강유역의 임야, 농지, 도시지역의 강우 유출수를 모니터링 하고 비점원에서 발생하는 미생물학적 오염을 추정한 연구가 있으며(김, 2006), 도시지역 비점오염원을 동반하는 CSOs의 유출고 및 유량을 비초과확률 개념에

[†] To whom correspondence should be addressed.
water21c@gdsu.dongseo.ac.kr

의하여 동일 위험도 기반으로 산정하는 절차를 제시하였으며(조, 2006), 도시 소유역의 CSOs 특성 및 부하 추정, 초기유출 효과 및 저류시설계방법을 제시한 연구가 있었다.(조 등, 2006)

본 연구에서는 장기간의 연속적인 강우사상으로부터 분리된 독립호우사상에 대하여 해석적 확률모형을 도입하여 표준 강우량 및 비점오염원을 수반하는 유출량을 유도하여 유역에서 발생하는 CSOs 조절을 위한 시스템의 규모 산정 방법을 제시하였다.

2. 해석적 확률모형의 도시배수시스템 응용

과거의 호우사상에 대한 연구는 주로 홍수재해에 중점을 두어왔으며, 이는 강우의 최대치에 대한 특성분석에 초점을 맞추어왔다. 따라서 비점오염원을 동반하는 유출의 해석에 있어서도 최대치분석을 기반으로 전체 강우사상의 5% 미만인 최대유출에 기여하는 강우사상(Guo et al., 1996)을 기준으로 설계를 수행하여왔다. 그러나 비점오염원을 유발하는 강우는 연속강우의 유출로부터 발생되므로 연, 월, 일에 의하여 분리시키지 않는 연속강우의 유출특성에 대한 연구가 선행되어야 하며 이는 최대치 강우개념의 설계에서 발생하는 처리효율 저하의 문제를 극복할 수 있다.

본 연구에서는 전 기간치 강우자료에 대하여 독립강우사상을 강우간 시간(Inter-Event Time Definition, IETD)에 따라서 분리한 결과를 이용하여 해석적 확률강우량 산정을 통하여 표준강우사상을 유도하였으며, 이로부터 해석적 확률모형에 적용하여 강우-유출관계를 분석하고 CSOs의 기준 설정을 제시하였다.

2.1. IETD개념을 이용한 표준강우 산정

강우에 의한 비점오염원의 유출량 산정을 위해서는 장기간의 연속강우 특성으로부터 표준강우량을 유도하여야 한다. 관측된 장기간의 강우는 불규칙한 분포로 이루어져 있으므로 각각의 독립 강우사상으로 분리하기 위한 강우 간 시간을 정의하면 연속강우분포는 무강우 지속시간에 의해서 분리될 수 있다(Adams et al., 2000).

IETD 개념을 이용하여 연속강우를 개개의 강우사상으로 분리하면 강우사상의 확률적 분석이 가능하므로 비점오염원의 유출량 산정을 위한 강우량, 강우강도, 강우지속시간 등의 표준화가 가능해진다. 연속강우의 분리를 위한 IETD 결정방법에는 자기상관성분석, 변동계수분석(Nix, 1994), 연평균 강우발생갯수분석(Heaney et al., 1977; Nix, 1994) 등이 있다.

2.1.1. 강우 통계특성 분석

일반적으로 입력변수들이 시스템의 확률적인 근거가 되는 분석을 위해서는 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF)로 나타낼 수 있어야 한다. 도시배수시스템의 경우 입력변수들은 강우의 체적, 지속시간, 평균강우강도, 무강우지속시간 등이 된다(Adams et al., 2000). 연속강

우자료에서 추출된 일련의 강우표본은 히스토그램(histogram)을 이용하여 각 변수들의 상대빈도, 특성치 크기 및 범위 등의 정보를 나타낼 수 있다. 또한 강우특성의 확률밀도함수는 지수분포나 감마분포와 유사한 양상을 나타낸다. IETD에 의해 분리된 강우사상의 통계특성들은 연속확률분포의 변수로 표현할 수 있으며 각 통계특성의 일반적인 PDF는 지수함수를 따르는 것으로 알려져 있다(Eagleson, 1972; Adams et al., 1986). 그리고 연속강우사상의 통계특성들의 PDF로 지수함수를 이용하면 장기간의 강우사상을 확률적 개념을 통하여 재현할 수 있다.

본 연구에서 각 강우의 특성치를 확률밀도함수의 exponential 분포를 적용한 강우량(v), 강우지속시간(t), 평균강우강도(i)로 표현하면 다음과 같다.

$$f_V(v) = \zeta e^{-\zeta v}, \quad v \geq 0 \quad \text{여기서} \quad \zeta = \frac{1}{v} (mm^{-1}) \quad (1)$$

$$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0 \quad \text{여기서} \quad \lambda = \frac{1}{t} (h^{-1}) \quad (2)$$

$$f_I(i) = \beta e^{-\beta i}, \quad i \geq 0 \quad \text{여기서} \quad \beta = \frac{1}{i} (h/mm) \quad (3)$$

여기서 ζ , λ , β 는 평균강우량, 지속시간 및 평균강우강도의 역수로 표현되는 지수함수의 변수이다.

한편, 무강우 지속시간의 PDF는 IETD가 독립 강우사상으로 분리할 수 있는 무강우 지속시간을 의미하기 때문에 IETD보다 작은 무강우지속시간은 무의미하게 된다. 따라서 무강우지속시간(b)의 범위는 $b \geq IETD$ 가 되며, 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_B(b) = \psi e^{-\psi(b-IETD)}, \quad b \geq IETD \quad (4)$$

$$\text{여기서} \quad \psi = \frac{1}{b-IETD} (h^{-1})$$

식 (4)에서 적용이 용이하도록 $b-IETD$ 를 b 로 치환하면 식 (5)와 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$f_B(b) = \psi e^{-\psi b}, \quad b \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{여기서} \quad \psi = \frac{1}{b} (h^{-1})$$

2.1.2. 해석적 확률강우량

확률밀도함수를 이용하여 연평균강우량 및 확률강우량 산정을 위한 각 사상의 강우량 기대값은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[V] = \int_{v=0}^{\infty} v f_V(v) dv = \int_{v=0}^{\infty} v \zeta e^{-\zeta v} dv = \frac{1}{\zeta} = \bar{v} \quad (6)$$

강우사상 당 강우량의 기대값(\bar{v})과 연평균강우의 횟수(θ)

를 이용하면 연평균강우량은 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$P_p = \theta E[V] = \theta \bar{v} = \frac{\theta}{\zeta} \quad (7)$$

강우사상의 재현기간은 연간 일정량 이상의 강우가 발생할 확률로 정의되며 식 (8)과 같다.

$$T_R = \frac{1}{\theta \cdot \text{Prob}[V \geq v_t]} \quad (8)$$

여기서, $\text{Prob}[V \geq v_t]$ 은 v_t 보다 같거나 큰 강우가 발생할 확률로서 식 (9)와 같이 표현된다.

$$\text{Prob}[V \geq v_t] = \int_{v=v_t}^{\infty} \zeta e^{-\zeta v} dv = -e^{-\zeta v} \Big|_{v_t}^{\infty} = e^{-\zeta v_t} \quad (9)$$

따라서 재현기간별 확률강우량은 식 (10)으로 나타낸다.

$$v_t = -\frac{1}{\zeta} \ln\left(\frac{1}{\theta T_R}\right) \quad (10)$$

2.2. 해석적 강우-유출모형 구성

2.2.1. 모형의 기본가정 및 구성

본 연구에서는 도시지역의 수문학적 변환들을 수치적으로 해석하고 모형화하기 위하여 입력자료인 강우특성을 확률기법을 이용하여 지수함수의 PDF로 나타내었고 강우-유출 관계를 함수의 형태로 표현하는 해석적 확률모형에 적용하여 유출특성을 산정하였다. 이러한 해석적확률기법을 이용한 모형에서 강우-유출변환은 STORM(U.S Army corps of Engineers, 1974)에서 사용된 선형적인 모형을 적용하였다. 도시배수시스템의 강우-유출 관계를 모식화하면 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 1(a)에서 강우량 v 와 유출량 v_r 의 관계는 식 (11)과 같다.

$$v_r = 0, \quad v \leq S_d \\ = \phi(v - S_d), \quad v > S_d \quad (11)$$

강우는 유출이 발생되기 전에 지면저류 $S_d(\text{mm})$ 를 채운다. 지면저류량을 초과하는 강우가 발생할 때, 유출은 강우(v)와 지면저류(S_d)의 차이에 대한 유출계수(ϕ)의 비로 표현될 수 있다. 여기서, 유출계수 ϕ 는 토지이용, 토양형 및 지형에 따라 선택된 공간적, 시간적으로 일정한 상수이다. Fig. 1(b)는 강우시작 후 지면저류가 발생하고 지면저류 초과 강우량이 유출계수 비율에 따라 유출($\phi(v - S_d)$)되는 유량과 유출되지 못하는 손실량($(1 - \phi)(v - S_d)$)을 나타낸다. Fig. 1(c)는 강우에 의한 유출량과 손실량에 지면저류량을 강우기간 동안 평균하여 나타낸 것이다.

2.2.2. 유출량 산정

강우량과 식 (11)의 강우-유출 관계를 이용하여, 유출량의 확률밀도함수인 $f_{V_r}(v_r)$ 을 유도할 수 있다. 다음의 Fig. 2는 강우-유출 변환 함수에 의하여 강우량의 PDF로부터 유출량의 PDF로 전환되는 과정을 보여준다.

강우-유출 모형에서 강우량이 지면저류량을 초과하지 못하면 유출이 나타나지 않을 것이다. 결과적으로, 유출이 발생하지 않을 확률은 강우량이 지면저류량을 초과하지 않을 확률과 같으며, 이때의 확률을 Impulse Probability로 나타내면 그 크기는 Fig. 2의 음영면적에 해당된다(Adams et al., 2000). 변수 x 의 일정 범위에서의 확률(범위아래의 면적)이 V_r 의 한 점에서의 확률로 나타내어진다면 그 확률은 임펄스함수의 형태로, 그 크기는 x 의 확률(면적의 크기)과 같게 나타낼 수 있다. 따라서 강우-유출 변환시의 초기 Impulse Probability는 식 (12)와 같다.

$$p_{V_r}(0) = \text{Prob}[V_r = 0] = \text{Prob}[V \leq S_d] \quad (12) \\ = \int_{v=0}^{S_d} f_V(v) dv = 1 - e^{-\zeta S_d}$$

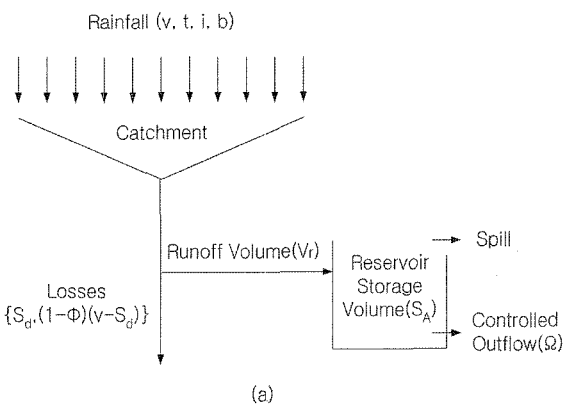


Fig. 1. Schematic rainfall-runoff relation of urban drainage system.

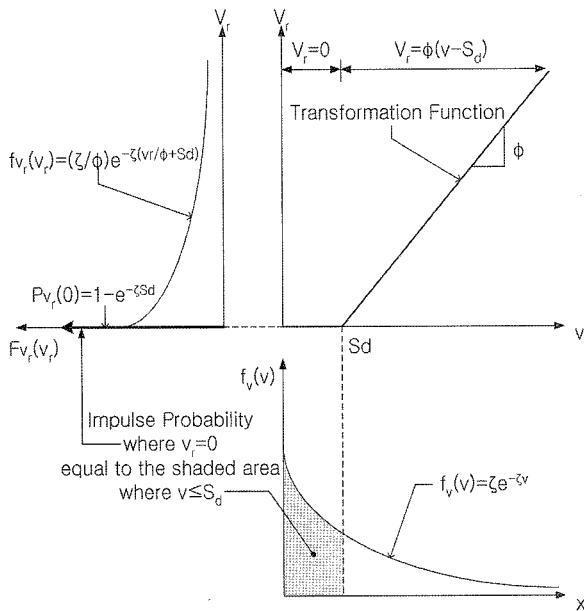


Fig. 2. Transformation of PDF of rainfall volume to PDF of runoff volume.

강우량이 지면저류량보다 크게 될 때 ($v > S_d$), 유출량의 누가확률밀도함수(Cumulative Distribution Function, CDF)가 존재하게 되는데 식 (13)과 같이 계산된다.

$$F_{V_r}(v_r) = \text{Prob}[V_r \leq v_r] = 1 - e^{-\zeta((v_r/\phi) + S_d)}, \quad v_r > 0 \quad (13)$$

유출량의 PDF는 식 (13)을 미분하여 유도할 수 있으므로 식 (14)와 같아진다.

$$f_{V_r}(v_r) = \frac{d}{dv_r} F_{V_r}(v_r) = \frac{\zeta}{\phi} e^{-\zeta((v_r/\phi) + S_d)}, \quad v_r > 0 \quad (14)$$

강우사상 당 유출량의 기대값, $E[V_r]$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[V_r] = 0 \cdot p_{v_r}(0) + \int_{v_r=0}^{\infty} v_r f_{V_r}(v_r) dv_r = \frac{\phi}{\zeta} e^{-\zeta S_d} \quad (15)$$

연평균 강우사상의 횟수가 θ 이면 연평균 유출량 R은 다음과 같다.

$$R = \theta E[V_r] = \theta \frac{\phi}{\zeta} e^{-\zeta S_d} \quad (16)$$

강우가 발생되었을 때, 유출이 일어날 확률은 다음과 같다.

$$\text{Prob}[V_r > S_d] = \int_{v=S_d}^{\infty} f_{V_r}(v) dv = \int_{v=S_d}^{\infty} \zeta e^{-\zeta v} dv = e^{-\zeta S_d} \quad (17)$$

또한, 연평균 유출사상의 횟수, n_r 은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$n_r = \theta \cdot \text{Prob}[V > S_d] = \theta e^{-\zeta S_d} \quad (18)$$

이상과 같은 해석적 확률모형이론으로 해석적 강우-유출 모형을 구성하고, 연속강우의 해석적 확률강우량 분석으로 표준강우사상에 대하여 비점오염원을 수반하는 유출량을 산정하였다.

3. 적용 및 결과

해석적 확률모형을 이용한 연속강우의 특성 분석으로 산정된 IETD 및 표준강우사상의 강우 특성 값을 이용하여 해석적 강우-유출 모형을 통한 유출 특성을 분석하였으며, 1회 표준강우에 의한 1회 평균 유출량으로서 비점오염원을 포함한 CSOs의 처리용량 설정 기준을 제시하였다.

3.1. 대상지역 현황

본 연구에서는 구리시 지역의 둘다리 분구를 대상으로 유역특성을 분석하고 해석적 확률모형을 적용하여 강우로 인한 비점오염원의 유출총량을 산정하였다.

구리시 지역은 분류식 지역(새밭, 딸기원, 간촌, 인창)과 합류식 지역(둘다리, 수택)으로 구분되어 있으며, 합류식 지역의 경우 월류수로 왕숙천의 오염부하가 심각해질 우려가 있는 지역이다. 특히, 둘다리분구의 경우에는 청천시 오수는 인창천변의 차집관로로 유입되나, 우천시 우수토실에서 차집유량을 초과한 우·오수량은 인창천으로 월류 왕숙천으로 방류되고 있다. 인창천은 하류 6.5 km 구간이 복개 하천으로 우천시 퇴적된 바닥 침전물에 의한 2차 오염이 우려되는 하천이다. 다음의 Table 1은 한강수계 하수관거 정비공사 기본설계(구리시, 2003)에 수록된 구리시 둘다리 분구의 유역현황을 나타내고 있다.

Fig. 3은 대상유역 및 주변지역 위성사진이며 Fig. 4는 주요 하수관망체계를 나타낸다.

3.2. 강우특성

본 연구에서 적용된 IETD와 표준강우사상 등 강우특성은 권(2003)의 분석결과를 이용하여 유출특성분석에 따라서 평균유출량 및 유출횟수 등을 해석적 확률모형을 이용하여 산출하였다.

서울관측소의 연속 강우사상 분리를 위하여 1962년~

Table 1. Summary of study area

Study area	Area (ha)	Runoff coeff.	Surface detention (mm)	EMC (mg/L)	Design sewer discharge (m ³ /day)
Doldari	401.75	0.48	5.1	85.3	12789

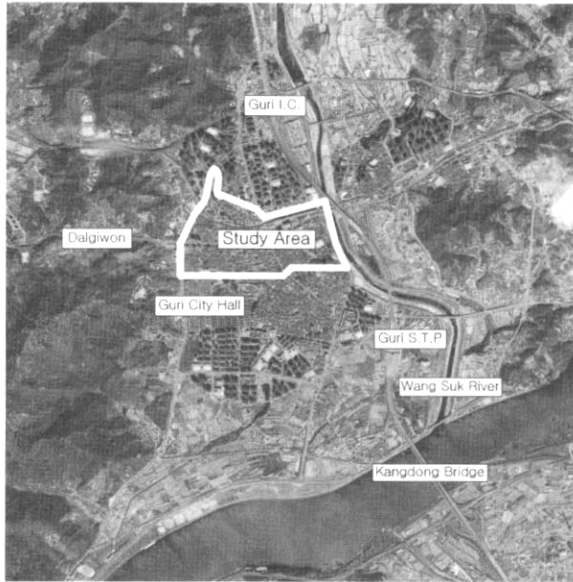


Fig. 3. Satellite maps of study area.

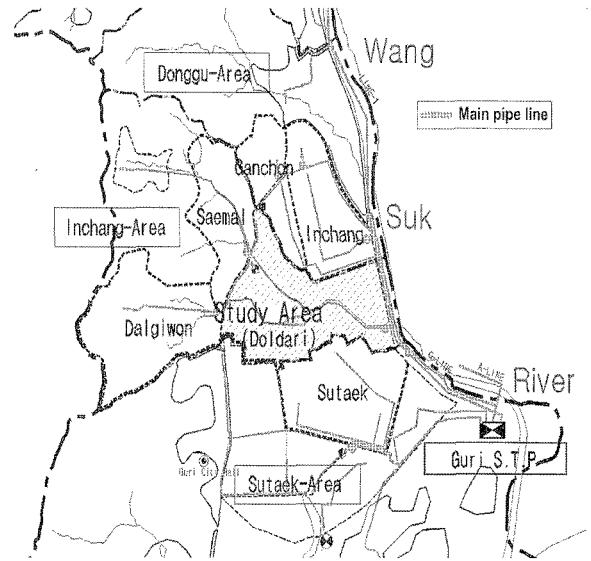


Fig. 4. Sewer system of study area.

2002년까지의 42개 시 강우자료를 이용하여 autocorrelation 분석, 변동계수분석, 연강우 평균발생개수 분석 등의 3가지 방법을 적용하여 적정 IETD를 10시간으로 결정하였다(권, 2003). 적용지역인 구리시에는 장기간의 강우 관측자료가 없으므로 인접한 서울관측소의 분석결과를 이용하였으며 IETD에 의해 분리된 각 강우사상으로부터 유도된 표준강우사상의 강우특성 값과 확률밀도함수의 적용을 위한 매개 변수들은 Table 2와 같았다.

다음의 Fig. 5는 IETD가 10시간일 때의 서울지역 강우특성 값에 따른 확률밀도함수를 나타내며, 강우특성 값이 지수함수의 확률밀도함수를 따르고 있음을 알 수 있다.

3.3. 유출특성 분석

수년 혹은 수십년간의 장기간 기상자료를 모두 적용하여 강우-유출특성을 분석하는 것은 많은 시간과 노력이 필요하므로, 본 연구에서는 실무 적용의 편의성 개선을 위하여 IETD가 10시간인 표준강우사상의 통계특성들을 해석적 확률모형에 적용하여 대상 지역의 유출특성을 분석하였다. 분석결과 서울시 단일 표준강우사상의 평균 강우량은 23.061 mm이며 1회 평균 강우량에 대한 평균 유출량 및 유출특성을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다.

구리시 한강수계 하수관거 정비공사 기본계획보고서(구리시, 2003)에서 산정된 유출계수 0.48 및 지면저류량 5.1 mm에 대하여 대상유역 호우사상의 평균 강우량은 23.061 mm로 분석되었으며 연 평균 48회의 강우사상과 38회의 유출

이 발생하는 것으로 나타났다. 10회의 강우사상은 지면저류 혹은 손실에 의해 유출을 발생시키지 않는 소량의 강우사상이며, 1회 평균 유출량은 약 8.9 mm로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 서울시 42개년간의 연속강우사상을 IETD 개념을 도입하여 분리한 독립강우사상으로부터 해석적 확률모형을 이용하여 강우 및 유출특성을 분석하였다.

CSOs의 연간 유출량은 일부 강우 및 유출에 대한 측정만으로 산정하거나 강우자료의 최대치를 기반으로 결정하는 것은 장기간의 우량 발생특성을 고려하지 못하므로 본 연구에서는 확률밀도이론을 이용한 해석적 확률모형을 적용하여 강우의 무작위한 발생특성에서 표준강우사상의 추출과 유출특성을 분석하는 절차를 제시하였다.

본 연구에서 제시한 절차에 대하여 대상유역을 선정하여 적용한 결과 CSOs의 처리를 위한 강우 및 유출량의 기준을 결정할 수 있었다.

본 연구에서와 같은 연속 강우-유출 모의기법을 이용하면 우수토실에서의 CSOs 처리를 위한 시스템계획에 유용하게 적용이 가능할 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 2003년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구

Table 2. Rainfall characteristics & parameters of PDF

Items of characteristics	Rainfall characteristics	Parameters of PDF
Rainfall volume (\bar{v})	23.061 mm	0.043(ζ)
Rainfall duration (\bar{t})	12.927 hrs	0.077(λ)
Interevent time (\bar{b})	73.12 hrs	0.014(ψ)
Average intensity (\bar{i})	1.784 mm/hr	0.561(β)
Number of annual event (θ)	48 times	-

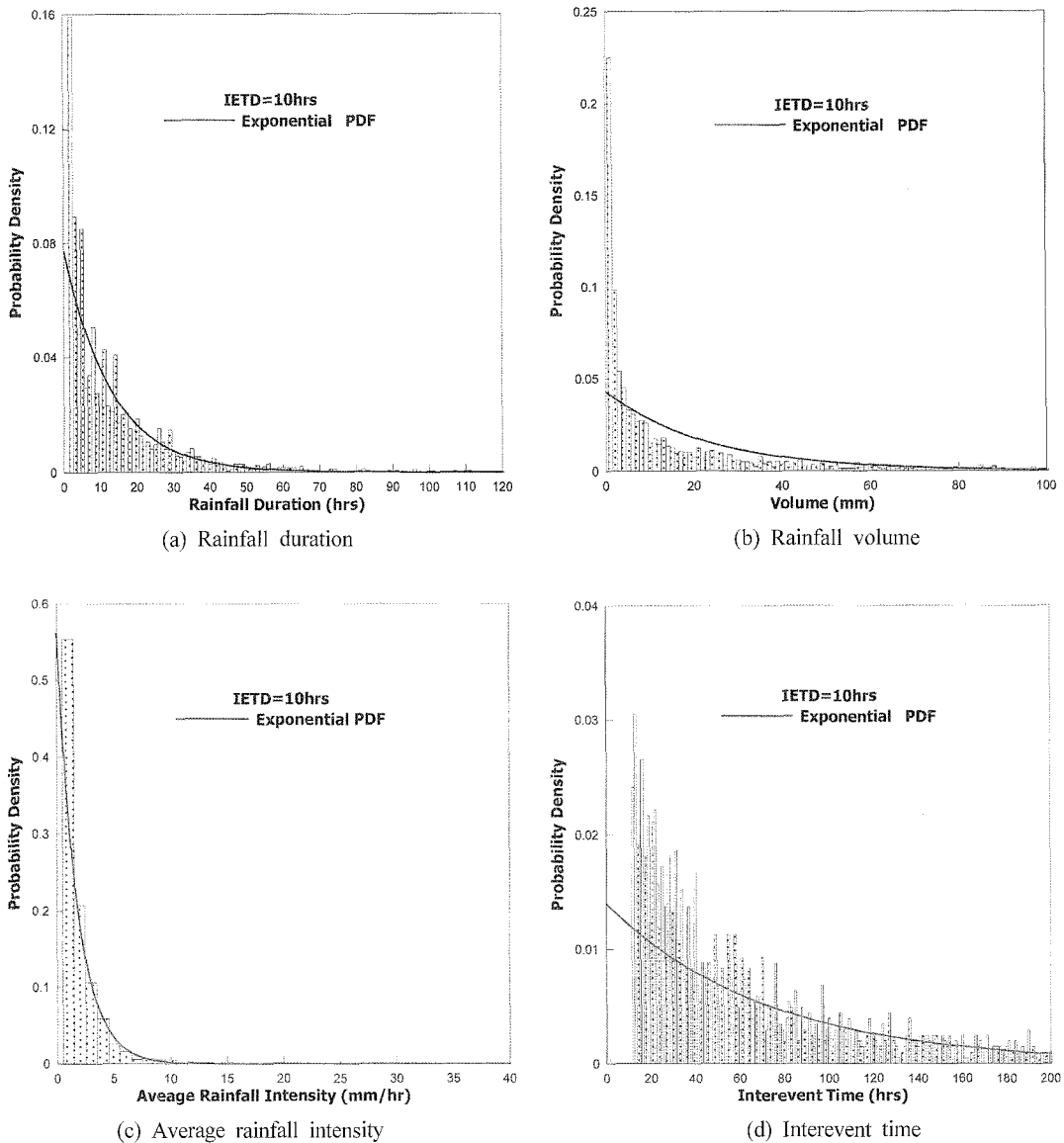


Fig. 5. PDFs of rainfall characteristics in seoul (IETD = 10 hr).

Table 3. Summary of rainfall-runoff characteristics at study area

Items	Characteristics at study area	
Rainfall characteristics	Average rainfall a event (\bar{v})/average duration (\bar{t})	23.061 mm/12.927 hrs
	Annual times of event (θ)	48 times
	Annual average volume (P_p)	1106.9 mm
Study area characteristics	Runoff coeff. (ϕ)	0.48
	Detention depth (S_d)	5.1 mm
Runoff characteristics	Average runoff a event (V_r)	8.873 mm/event
	Annual average runoff (R)	425.91 mm/yr
	Probability of $V_r > S_d$ ($Prob[V_r > S_d]$)	80.16 %/event
	Annual times of runoff (n_r)	38 times/yr

조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2003-041-D00570).

참고문헌

구리시, 한강수계 하수관거 정비공사 기본설계보고서 (2003).

권재호, 비점오염원 산정을 위한 강우분석, 고려대학교 석사학위논문 (2003).

김건하, 금강유역 비점원에서 발생하는 미생물 오염 및 수질에 대한 영향, 한국물환경학회지, 22(3), pp. 504-512 (2006).

김건하, 권세혁, 농지·임야유역의 비점원 발생 BOD 부하의 추정, 한국물환경학회지, 21(6), pp. 617-623 (2005a).

- 김이형, 이선하, 주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점 오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, *한국물환경학회지*, **21**(3), pp. 617-623 (2005b).
- 유병로, 정승권, 전계원, 공간정보를 이용한 분포형 유역 수질 모의, *한국수자원학회 논문집*, **37**(11), pp. 897-913 (2004).
- 조덕준, 위험도 기반 지역별 정규 CSOs 곡선 설계에 관한 연구, *한국수자원학회 논문집*, **39**(7), pp. 578-581 (2006).
- 조덕준, 김건하, 소규모 도시유역 합류식 하수관거 월류수 특성화 및 최적 저류지 용량결정, *한국물환경학회지*, **22**(2), pp. 314-320 (2006).
- 한국수도협회, 하수도시설기준 (1998).
- Adams, B. J., Fraser, H. G., Howard, C. D. D. and Hanafy, M. S., Meteorological Data Analysis for Urban Drainage System Design, *Journal of Environmental Engineering*, **112**(5), pp. 827-848 (1986).
- Adams, B. J. and Papa, F., Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models HOHN WILEY & SONS, INC. (2000).
- Eagleson, P. S., Dynamics of Flood Frequency, *Water Resources Research*, **8**(4), pp. 878-897 (1972).
- Guo, Y. and Urbonas, R. B., Maximized Detention Volume Determined by Runoff Capture Ratio, *Journal of Water Resources Planning and Management*, **122**(1), pp. 33-39 (1996).
- Heaney, J. P., Huber, W. C., Medina, M. A., Jr., Murphy, M. P., Nix, S. J. and Hasan, S. M., *Nationwide Assessment of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharges: Vol. II, Cost Assessment*, EPA-600/2-77-064, U.S. Environmental Protection Agency (1977).
- Nix, S. J., *Urban Stormwater Modeling and Simulation*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL (1994).
- U.S. Army Corps of Engineers, Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model: *STORM*, 723-S8-L2520, *Hydrologic Engineering Center*, Davis, CA (1974).