

비점오염원 관리를 위한 유출포착곡선

김상단[†] · 조덕준^{*}

부경대학교 환경시스템공학부

^{*}동서대학교 건축토목공학부

Runoff Capture Curve for Non-Point Source Management

Kim, Sangdan[†] · Jo, Deok Jun^{*}

Department of Environmental System Engineering, Pukyong National University

^{*}Department of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

(Received 30 September 2007, Accepted 25 October 2007)

Abstract

For the purpose of managing non-point sources, water quality control basins (WQCBs) are often designed to capture rainfall events smaller than extreme events. The design rainfall statistics and runoff capture rates for sizing a WQCB should be derived from the local long-term continuous rainfall record. In this study, the 31-year continuous rainfall data recorded in Busan is analyzed to derive the synthesized runoff capture curve incorporated with SCS curve number.

keywords : Non-point source management, Runoff capture curve, SCS curve number, Water quality control basins

1. 서론

지금까지 강우-유출 제어 시스템에 관한 연구는 주로 극한사상에 한정되어 왔다. 이러한 연구 방향은 강우-유출 관계에 있어서 주된 관심 사항이 홍수방어에 있어 왔기 때문일 것이다. 홍수방어를 위해 착안된 여러 강우-유출 제어 관련 연구들은 당연히 홍수 방어 시스템에는 적절하게 적용될 수 있겠으나, 이를 직접적으로 비점오염원 관리 시스템에 적용하는 것은 매우 큰 무리가 따르게 된다. 이는 전체 강우사상 중에서 5%미만의 강우사상만이 2년 빈도를 초과하며, 10년 빈도 강우량을 초과하는 경우는 1%미만에 불과하다는 Guo 등(1996)의 연구만 보더라도 쉽게 짐작할 수 있다.

비점오염원의 유출은 연속된 강우의 유출로부터 발생되므로 연속강우의 유출특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 즉, 비점오염원 관리 시스템을 설계하기 위해서는 홍수 제어 시 극한 사상을 기반으로 설계하는 것과는 달리 전체 강우자료의 통계학적 특성이 보다 더 중요하게 고려되어야 하기 때문이다(Adams et al., 2000). 이와 관련된 현재까지의 연구동향을 살펴보면, 저류형 비점저감시설에 대한 월류 위험도는 연속적인 강우-유출 모의 또는 Monte Carlo 모의를 이용한 추계학적 기법에 의해 주로 연구되어왔다. 예를 들어, Guo 등(1996)은 저류형 비점저감시설에 대한 비초과 확률을 정의하는 유출포착곡선을 작성하기 위하여 기초적

인 강우-유출 분석을 수행하였으며, Behera 등(1999)은 도시 배수시스템에서의 저류량, 방류량, 지점저감시설의 용량 등에 대하여 확률적 해석방법을 적용하여 다양한 유출 제어 시설물의 최적규모를 결정할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 Guo 등(2001)은 강우사상의 분포를 분석하여 이로부터 침투 트렌치의 설계를 위한 유출포착곡선을 유도한 후, 이를 미국의 여러 도시 유역에 적용한 바 있다. 비교적 최근에는 전체 강우사상의 통계학적 분석으로부터 비점오염원 관리를 위한 유출포착곡선이 Guo 등(2002)에 의해 유도되었으며, 국내에서도 조(2007)에 의해 이에 대한 적용 가능성에 대한 평가가 이루어진 바 있다. 이러한 일련의 연구들은 연속적인 강우사상을 대상으로 비교적 간단하게 비점오염원을 유출시키는 강우유출수의 양을 산정할 수 있는 대안으로 제시되었으며, 또한 저류형 비점저감시설의 적정 크기를 산정할 수 있는 방법론 개발의 과정으로 평가할 수 있다.

그러나 위 연구들은 모두 수학적 유도과정의 복잡성을 경감시킬 목적으로 강우-유출 관계를 단순 선형화하여 합리식을 따르는 것으로 가정하여 강우-유출 과정에 포함된 비선형성이 적절하게 고려되지 못하였다는 단점을 가지고 있다. 또한, 합리식에 기초한 강우-유출관계를 적용함에 따라서 우리나라와 같이 복잡한 토지이용특성을 보이는 도시 배수분구에 이러한 방법을 도입하여 저류형 비점저감시설을 설계하려 할 경우 합리식의 유출계수를 산정하는데 많은 주관성이 포함될 수밖에 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 Guo 등(2002)의 연구를 기본적인 바탕으로 하되 합리식을 기반으로 한 강우-유출 관계를 국내

[†] To whom correspondence should be addressed.
skim@pknu.ac.kr

에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 SCS 유출곡선법으로 대체하여, 강우-유출 관계의 비선형을 고려함과 동시에 복잡한 토지이용특성을 가진 우리나라의 도시배수분구에 적용 시 보다 합리적인 설계가 이루어질 수 있도록 하고자 한다. 또한, 이에 대한 적용으로써 이를 부산지역 최근 31년간 관측된 연속강우사상에 적용하여 저류형 비점저감시설의 적정크기를 설정하기 위한 유출포착곡선을 작성해보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. IETD (InterEvent Time Definition)

장기간의 강우자료를 살펴보면 수많은 0값(즉, 무 강우기록)들이 존재하며 연속적으로 또는 불연속적으로 강우기록(0이 아닌 값)이 있음을 알 수 있다. 이러한 연속적인 또는 불연속적인 강우기록으로부터 각각의 개별적인 강우사상을 분리하기 위해서는 각 강우사상의 시작과 끝을 구별할 수 있는 기준이 필요하게 되는데, IETD(InterEvent Time Definition)가 이러한 기준으로써 비교적 손쉽게 적용가능하다. IETD란 장기간의 강우자료로부터 각각의 강우사상을 분리하는 최소한의 무 강우시간으로 정의될 수 있다(Fig. 1 참조). 즉, 강우기록 사이의 무 강우시간이 IETD보다 짧으면 무 강우시간 전과 후의 두 개의 강우기록들은 하나의 강우사상으로 간주되며, 반대로 무 강우시간이 IETD보다 길 경우 무 강우시간 전과 후의 두 개의 강우기록들은 각각의 개별적인 강우사상이 된다.

강우자료로부터 IETD를 결정하는 방법으로는 자기상관분석법, 변동계수분석법, 연평균 강우사상 발생 개수의 변화를 분석법 등 많은 방법들이 제안되어 왔으나(Nix, 1994), 이들 방법들은 그 결정에 있어서 다소간의 주관성이 포함된다는 단점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 IETD 결정에 있어 보다 객관성을 유지하기 위하여 Rodriguez-Iturbe

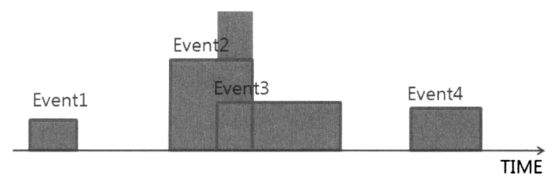


Fig. 2. Poisson rectangular pulse point rainfall model.

등(1984)이 제안한 강우모형을 이용하여 강우를 모형화한 후, 모형의 구조와 그 모형의 구조에 합당한 매개변수를 추정하여 IETD를 결정하는 방법을 도입하였다.

Rodriguez-Iturbe 등(1984)이 제안한 Poisson 구형과동 점 강우모형에서는 강우를 다음과 같이 모형화한다. 강우의 발생은 매개변수 λ 의 Poisson Process를 따르며, 각각의 발생된 강우는 확률적인 강도 i_r 과 지속시간 t_r 로 구성된 구형과동의 형태를 가지는 것으로 모의한다(Fig. 2 참조). 또한 강우의 발생이나 발생된 강우의 강도, 지속시간 모두 서로 상관성이 없는 것으로 가정하게 된다. 본 연구에서 강우의 강도와 지속시간은 각각 아래와 같은 지수 확률밀도함수를 따르는 것으로 가정하였다.

$$f_{I_r}(i_r) = \mu \cdot \text{Exp}[-\mu \cdot i_r], \mu > 0 \tag{1}$$

$$f_{T_r}(t_r) = \eta \cdot \text{Exp}[-\eta \cdot t_r], \eta > 0 \tag{2}$$

참고로 Poisson process와 지수분포의 적용은 강우를 모의하기 위한 수단으로 많은 이용사례가 있는 방법이다(김 등, 2000; 김, 2007; Kim et al., 2006; Rodriguez-Iturbe et al., 1984; Yoo et al., 2006). 모형의 통계 특성 중 평균, 분산 및 자기상관함수는 각각 아래와 같이 유도될 수 있다 (Rodriguez-Iturbe et al., 1984).

$$E[R] = \frac{\lambda}{\mu \cdot \eta} \tag{3}$$

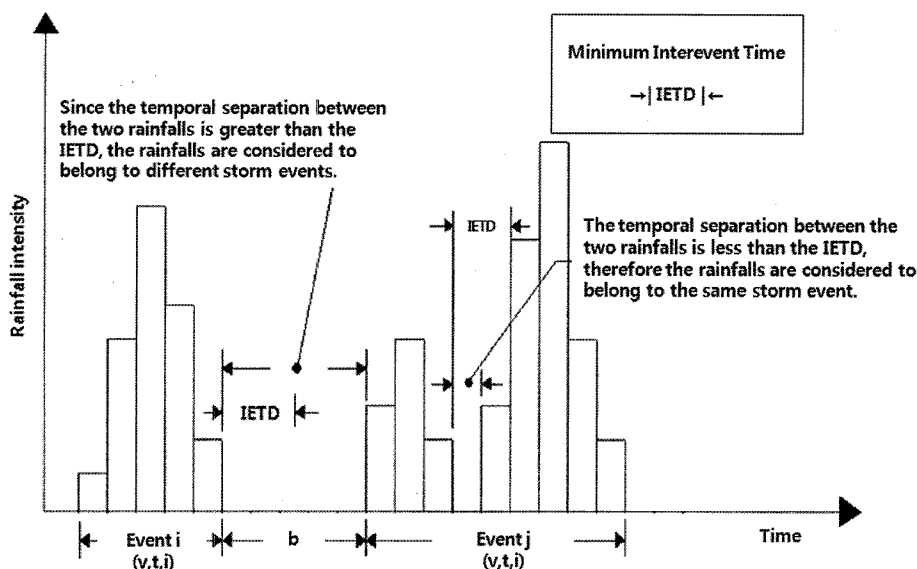


Fig. 1. Definition of IETD (after Adams et al., 2000).

$$Var[R] = \frac{2\lambda}{\mu^2 \cdot \eta} \quad (4)$$

$$\rho(\tau) = \exp[-\eta \cdot \tau] \quad (5)$$

식 (5)로부터 모형으로부터 유도된 강우의 상관구조가 강우사상의 평균지속시간에만 의존하고 있음을 알 수 있으며, 이로부터 강우의 변동scale θ 는 아래와 같이 유도될 수 있다.

$$\theta = 2 \int_0^\infty \rho(\tau) d\tau = \frac{2}{\eta} \quad (6)$$

IETD란 강우자료에서 서로 다른 두 개의 강우사상을 분리해내기 위한 최소 무 강우시간이므로, 이를 통계학적으로 해석하면 무 강우시간을 사이에 둔 두 개의 강우기록이 통계학적으로 서로 독립이 되는 최소 무 강우시간으로 정의할 수 있다(Vanmarcke, 1983). 따라서 이를 강우모형의 개념으로 본다면 ITED는 강우의 상관시간, 즉 $\theta/2$ 로 정의할 수 있음을 의미한다. 모형의 매개변수 λ, μ, η 의 추정은 관측 자료의 평균, 분산 및 lag-1 상관계수가 보전되도록 추정하게 된다. 기상청 부산 관측소의 1976~2006년까지의 31개년의 1시간 간격 강우자료를 이용하여 강우모형의 매개변수를 추정하기 위한 기본 통계량 자료의 일부를 Table 1에 수록하였으며, 이로부터 추정된 강우모형의 매개변수의 일부를 Table 2에 나타내었다. 상기 결과를 바탕으로 월별

Table 3. IETD

Aggregation level \ Month	3-hr	6-hr	12-hr	24-hr
1	4	5	6	7
2	4	4	4	6
3	4	5	5	7
4	4	5	6	9
5	5	6	7	7
6	4	6	8	10
7	3	5	6	10
8	3	5	8	10
9	3	5	7	7
10	4	5	7	7
11	4	3	4	2
12	2	3	3	3

집성시간별 ITED는 Table 3과 같으며, 이로부터 부산지점 강우자료의 IETD를 6시간으로 결정하였다. 참고로 각 ITED별 강우특성을 Table 4와 Fig. 3에 나타내었다.

2.2. 강우사상별 분석

IETD 6시간으로 부산지점 31년간의 강우사상을 분석한 결과 강우의 발생 개수는 2,386회로 나타났다. 이는 일 년에 약 77회 정도 강우사상이 발생된다는 것을 의미한다. 강우량에 따른 발생빈도와 누가 강우량에 따른 발생빈도에

Table 1. Basic statistics of Busan rainfall data

Month		March	June	September	Desember
3-hr	Mean	0.291	0.940	0.665	0.0905
	Variance	2.49	18.0	14.5	1.01
	ACF(1)	0.598	0.577	0.505	0.385
6-hr	Mean	0.583	1.88	1.33	0.181
	Variance	7.78	55.1	42.0	2.67
	ACF(1)	0.426	0.516	0.470	0.325
12-hr	Mean	1.17	3.76	2.66	0.362
	Variance	21.9	164	121	7.70
	ACF(1)	0.222	0.389	0.338	0.128

Table 2. Rainfall model parameters

Month		February	May	August	November
3-hr	λ	0.0111	0.0143	0.0201	0.00588
	μ	0.555	0.298	0.167	0.266
	η	0.321	0.236	0.348	0.316
6-hr	λ	0.0105	0.0125	0.0159	0.00581
	μ	0.540	0.315	0.193	0.221
	η	0.313	0.195	0.239	0.376
12-hr	λ	0.00971	0.0115	0.0132	0.00558
	μ	0.598	0.387	0.276	0.272
	η	0.261	0.146	0.138	0.293

Table 4. Rainfall characteristics with various IETDs

IETD (hr)	# of storm events in year	Mean duration (hr)	Mean rainfall amount (mm)	Mean rainfall intensity (mm/hr)	Mean interevent time (hr)
1	178	3.37	8.41	2.01	45.92
2	153	4.06	9.75	2.11	53.05
3	96	7.71	15.62	1.48	83.80
4	88	8.58	16.89	1.48	90.37
5	84	9.32	17.89	1.47	95.44
6	77	10.54	19.41	1.41	103.17
7	74	11.20	20.19	1.40	107.06
8	72	11.77	20.82	1.40	110.17
9	69	12.51	21.60	1.39	113.98
10	67	13.06	22.15	1.39	116.69
11	66	13.47	22.54	1.38	118.56
12	64	14.28	23.29	1.38	122.13
13	63	14.58	23.56	1.38	123.42
14	62	15.16	24.05	1.36	125.71
15	61	15.85	24.63	1.36	128.38
16	60	16.20	24.90	1.36	129.66
17	59	16.68	25.27	1.34	131.34
18	58	17.18	25.65	1.34	133.04
19	57	17.42	26.02	1.32	134.73
20	57	18.11	26.32	1.32	136.04
21	56	18.68	26.71	1.31	137.78
22	56	18.98	26.92	1.31	138.66
23	55	19.37	27.17	1.30	139.76
24	54	20.15	27.67	1.30	141.92

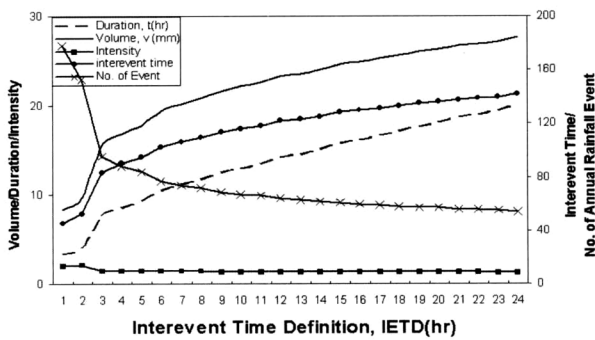


Fig. 3. Rainfall characteristics with various IETDs.

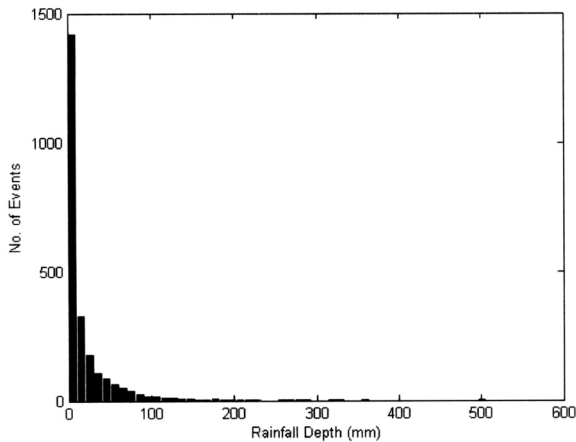


Fig. 4. Rainfall depth histogram.

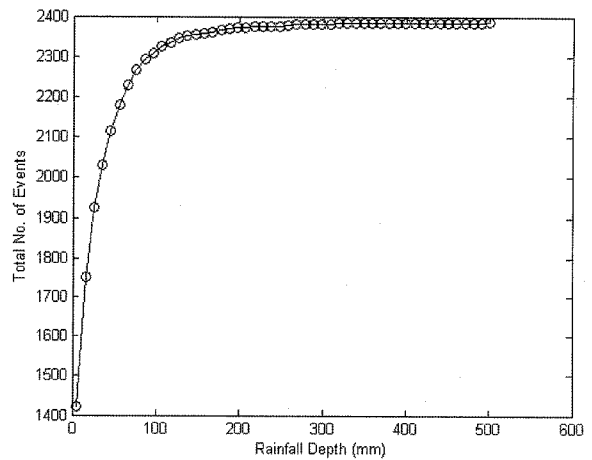


Fig. 5. Accumulative rainfall depth distribution.

대한 강우발생분포를 Fig. 4와 5에 나타내었다.

본 연구에서는 강우량의 확률분포형으로 매개변수가 하나이고 적용이 간단한 지수 확률밀도함수를 적용하였다. 지수분포에 적용을 위한 매개변수는 평균 강우량으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$f(V) = \frac{1}{V_m} e^{-V/V_m} \tag{7}$$

여기서, $f(V)$ 는 강우량 V 의 확률밀도, V_m 은 평균 강우량이다. 누가확률분포는 비 초과확률로서 다음과 같다.

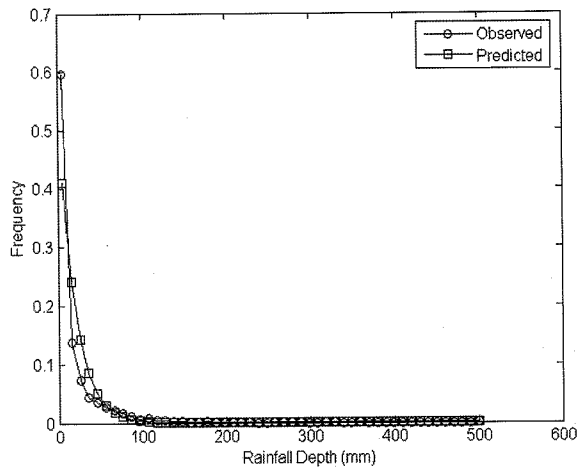


Fig. 6. Frequency distributions of rainfall event-depths.

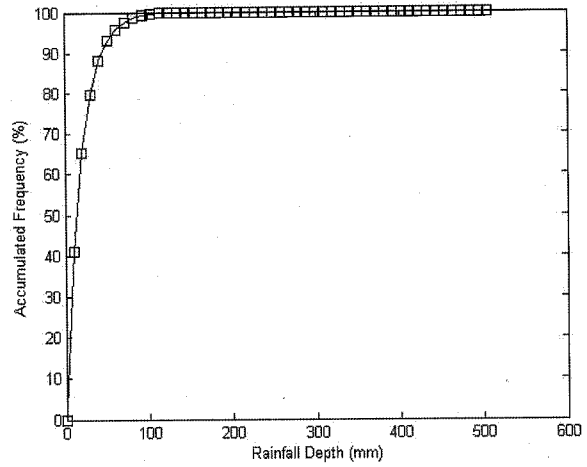


Fig. 7. Accumulative frequency distribution.

$$P_V(0 \leq v \leq V) = 1 - e^{-v/V_m} \quad (8)$$

본 연구에서 분석된 부산지점 연속 강우사상의 발생확률 및 누가확률 분포를 모형예측결과와 장기관측결과를 비교하여 Fig. 6과 7에 나타내었다. 참고로 사용된 부산지점 31년간 자료의 강우량 평균 V_m 은 19.41 mm이다. 그림에서 보는 바와 같이 지수분포는 관측결과와 비교할 때 유사한 경향을 갖고 있음을 살펴볼 수 있다. 추후 저류형 비점저감시설의 크기를 결정하고자 할 때, 식 (8)은 비점저감시설에 의해 포착된 강우량의 비율을 정량화시키는 기본적인 도구를 제공하게 될 것이다.

2.3. 유출 분석

연속강우사상으로부터 저류형 비점저감시설의 적정크기를 설정하기 위한 유출포착곡선을 작성하기 위하여 본 연구에서 도시화한 도시배수시스템을 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8에 도시한 바와 같이 강우-유출-손실관계에 SCS 유출곡선법을 적용하면 유역에서의 유출고(단위: mm)는 아래와 같이 표현될 수 있다(Soil Conservation Service, 1972).

$$V_o = 0, \text{ for } V < V_i$$

$$V_o = \frac{(V - V_i)^2}{V - V_i + S}, \text{ for } V \geq V_i \quad (9)$$

여기서 V_o =유출고(mm), V =강우량(mm), V_i =지면 저류고(mm)로서 본 연구에서 지면 저류고는 Driscoll 등(1989) 및 Guo 등(1996)의 연구를 참고하여 2.5 mm를 적용하였다. 식 (9)에서 토양함수비 S 는 아래와 같이 표현된다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (10)$$

여기서, CN는 SCS의 유출 곡선번호(Curve Number)로서, 개락토양도 및 토지이용도를 통하여 비교적 손쉽게 산정가능하다(윤, 2005). 참고로 개락토양도 및 토지이용도 관련 GIS 파일은 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr)

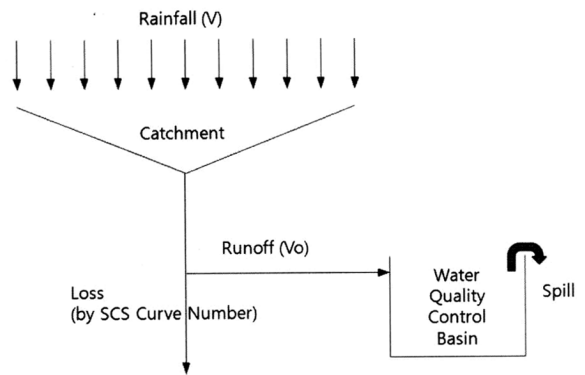


Fig. 8. Schematic diagram of urban drainage system.

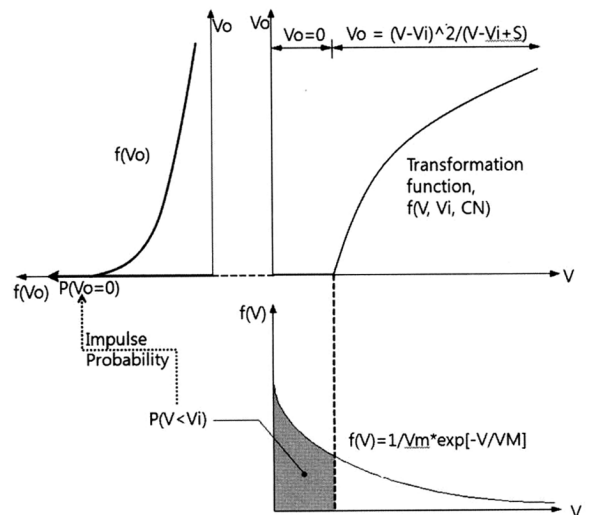


Fig. 9. Derived probability density function.

을 통하여 현재 인터넷을 통하여 직접 제공되고 있다.

유도된 확률밀도함수(derived probability density function) 이론을 적용하면, 강우-유출모형인 식 (9)와 강우량에 대한 확률밀도함수인 식 (7)로부터 유출량의 확률밀도함수를 다음과 같이 얻을 수 있다(Fig. 9 참조).

강우-유출 모형에 따르면 강우량이 지면 저류고를 넘지 못하면 그 강우사상은 유출을 발생시키지 않을 것이므로

결과적으로 강우 발생 시 유출이 발생하지 않을 확률은 강우량이 지면 저류고 V_i 를 넘지 않을 확률과 같게 되며, 이때의 확률은 임펄스 확률(impulse probability)로 나타내어지고 그 크기는 Fig. 9의 음영 처리된 면적에 해당된다. 강우량이 지면 저류고 V_i 를 넘지 않을 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(V_o = 0) = P(V \leq V_i) = \int_0^{V_i} f(V) dV = 1 - e^{-V_i/V_m} \quad (11)$$

유출의 발생 ($V_o > 0$)은 곧 강우량이 지면 저류고보다 크게 될 때이며($V > V_i$), 이 때의 유출량의 누가확률밀도함수(cumulative probability density function)는 다음과 같이 계산된다.

$$C_V = F(V_o) = \int_0^{V_o} f(V_o) dV_o = P(V_o = 0) + P(V_i < V < k) \quad (12)$$

$$= 1 - e^{-k/V_m}$$

여기서 k 는 다음과 같이 산정된다.

$$k = \frac{V_o + 2V_i + \sqrt{V_o^2 + 4V_o * S}}{2} \quad (13)$$

식 (12)에서 V_o 를 설계된 저류형 비점저감시설의 크기로 놓으면, C_V 는 강우량이 발생하였을 때 V_o 보다 작은 유출고를 갖는 확률이 된다. 즉, C_V 는 비점저감시설의 크기를 V_o 로 설계하였을 경우의 유출포착비율로서, 이는 해당 배수분구의 평균 강우량, CN값 및 지면 저류고에 의하여 결정됨을 살펴볼 수 있다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 10은 부산 온천천 유역(CN=62)을 대상으로 식 (12)

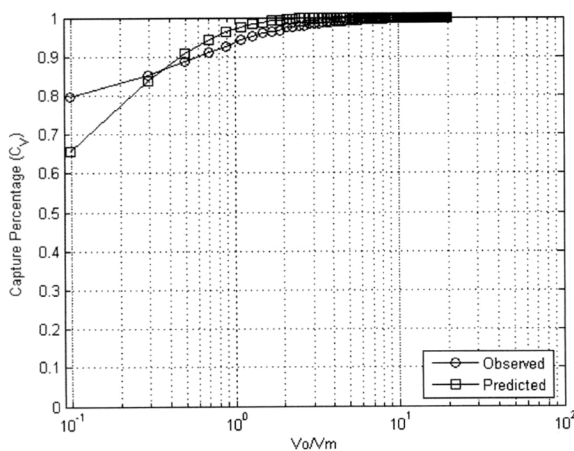


Fig. 10. Runoff capture curves by model prediction and long-term simulation for Busan On-cheon stream.

에 의하여 예측된 유출포착비율과 실제 31년간의 연속강우 기록으로부터 SCS 유출곡선법에 의해 계산된 유출포착비율을 비교한 것이다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 식 (12)에 의한 예측결과는 장기연속강우의 분석결과와 비교적 유사한 것을 알 수 있다. Fig. 11은 CN값이 60, 70, 80, 90, 100의 값을 가질 경우 식 (12)로부터 작성된 유출포착곡선을 각각 도시하고 있다.

식 (12)로 표현되는 유출포착곡선은 0에서 1까지의 값을 갖게 되는데, Fig. 11에 도시한 바와 같이 유출포착곡선은 V_o/V_m 이 커지게 되면 1로 접근하는 형태를 보이게 되는데, 실무적인 관점에서는 구현 가능한 포착 범위에 대한 논의가 필요하다. 즉, 저류형 비점저감시설을 통하여 유역에서 발생하는 모든 유출량을 포착하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 합성된 유출포착곡선을 통하여 어느 정도까지의 유출고까지를 포착할 것인가에 대한 기준이 필요할 것이다. 예를 들어, 저류형 비점저감시설의 크기를 강우유출수 유출고의 50~95% 정도를 포착하는 것으로 설계할 수 있을 것이다. Fig. 12는 이러한 경우에 대한 유출포착곡선을 도시하고 있다.

포착범위 50~95%에 대응하는 비점오염원 관리 목적 저류고 크기의 범위는 0.7205~14.66 mm에서 결정됨을 알 수 있다. 최적 설계 저류고는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 제시된 범위에서의 평균 기울기와 비교하면, 0.7205~4.874 mm의 범위는 평균 기울기보다 유출포착곡선의 경사가 보다 급한 반면에 4.874~14.66 mm에서는 평균 기울기보다 유출포착곡선의 경사가 보다 완만함을 알 수 있다. 결국 대상유역의 저류형 비점저감시설의 최적크기는 4.874 mm의 유출고를 포착할 수 있는 정도의 크기, 즉 4.874 mm에 해당 배수구역의 면적을 곱함으로써 실제 저류형 비점저감시설의 용량을 선정하는 것이 가장 경제적인을 알 수 있다. 이때의 포착비율은 81.34%로서, 이는 유역에서 발생하는 강우유출수의 81.34%가 저류형 비점저감시설에 의해 포착가능함을 의미한다.

참고로 Fig. 12는 부산지역의 31년간의 강우 자료를 분석하였으나, 최근에는 국지적 호우가 빈번함으로 최근 10년

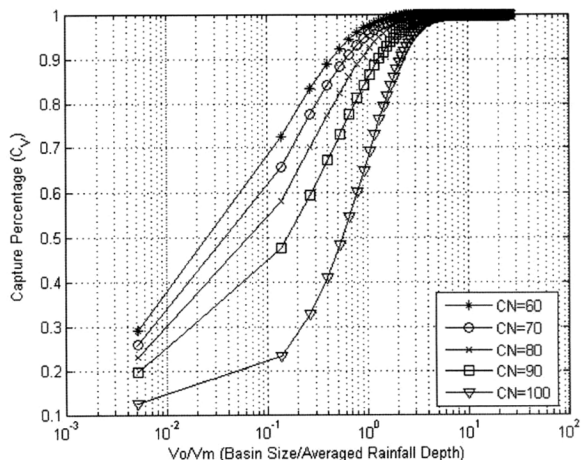


Fig. 11. Runoff capture curves for various curve numbers with $D_i = 2.5$ mm.

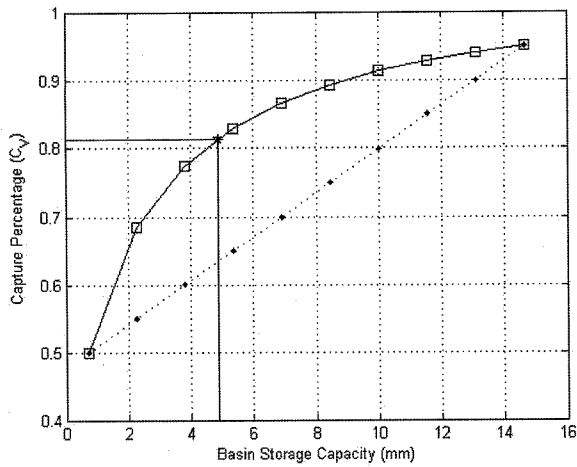


Fig. 12. Runoff capture curve developed for sizing water quality control basin at Busan On-cheon stream.

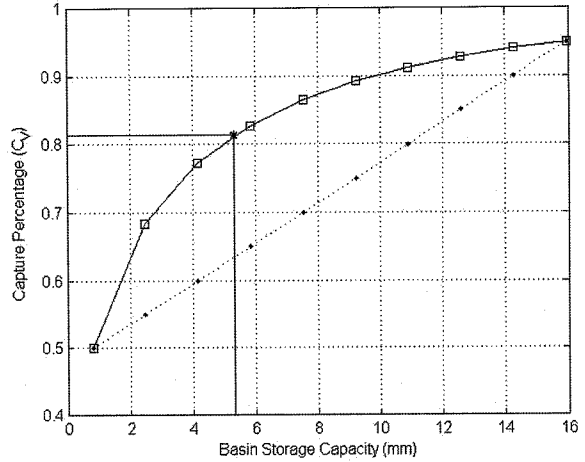


Fig. 13. Runoff capture curve using recent 10-year precipitation data.

간의 자료도 분석할 필요성이 있을 것으로 판단되어 이에 대한 분석을 실시한 결과를 Fig. 13에 도시하였다. 분석 결과 최근의 호우 패턴이 반영되어 저류형 비점저감시설의 최적 크기가 4.874 mm에서 5.337 mm로 증가되었음을 알 수 있다. 이는 다시 말하면 각 지역별로 또는 같은 지역일 지라도 일정 기간이 지난 뒤에는 기상조건의 변화로 인한 시설물의 설계 안정성 여부를 반드시 다시 점검해보아야 함을 의미하는 것이다. 다른 한편, 본 연구에서 설정한 4.874 mm 또는 5.337 mm의 최적 크기는 환경부(2006)에서 제시하고 있는 5 mm 이상의 처리 용량 기준과도 비슷한 결과를 주고 있음을 살펴볼 수 있다. 따라서 환경부(2006)에서 제시하고 있는 설계 용량이 개략적으로는 타당한 값을 주고 있음을 확인할 수 있으며, 지역별 또는 시기별로 보다 경제적인 설계 용량을 결정하기 위해서는 본 연구에서 제안한 방법을 도입해 보는 것도 바람직할 것으로 기대된다.

4. 결론

저류형 비점저감시설은 강우유출수에 의해 운반된 오염 물질을 저감시킴에 의해서 강우 유출수의 수질을 개선시키기 위해 설치된다. 이 때, 발생된 강우유출수를 포착하여 처리할 비점저감시설을 어느 정도의 크기로 설치해야 하는가의 문제는 실무적으로 매우 중요한 사안이 된다. 저류형 비점저감시설의 크기는 홍수방어목적의 전통적인 도시배수 시설의 설계에 사용되는 극한 강우사상이 아닌, 수많은 군소 강우사상들에 의해 유발되는 강우유출수의 대부분을 포착할 수 있는 크기의 비점저감시설이 되어야 할 것이다.

이를 위하여 본 연구에서는 부산지역의 31년 동안의 연속적인 강우 시계열이 분석되었으며, 강우분석 결과 지수 확률밀도함수가 강우량의 분포를 비교적 적절하게 나타낼 수 있음을 살펴볼 수 있었다.

본 연구에서는 또한 지역별로 평균적인 강우사상의 강우량과 해당 지역의 유역수문상황을 대변할 수 있는 두 가지 매개변수(지면 저류고 및 CN값)을 이용하여 유출포착곡선

을 직접 합성할 수 있는 방법론을 제공하고 있다.

본 연구에서는 제안한 방법은 Guo 등(2002)의 방법을 토대로 강우-유출 관계를 국내에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 SCS 유출곡선법으로 대체함으로써, 강우-유출 관계의 비선형을 고려함과 동시에 복잡한 토지이용특성을 가진 우리나라의 도시배수분구에의 적용 시 보다 객관적인 설계가 이루어질 수 있도록 하였다. 이에 대한 적용으로써 이를 부산지역 온천천 배수분구에 적용하여 유출포착곡선의 작성을 예시하였으며, 이를 바탕으로 비교적 간단하게 저류형 비점저감시설의 최적규모를 결정할 수 있는 방법을 설명하였다.

또한 최근의 국지적 호우 특성을 반영하기 위하여 최근 10년간의 강우 자료와 과거 31년간의 강우 자료 사이의 비교가 분석되었으며, 분석 결과 최근 10년의 강우 자료를 사용할 경우에는 5.337 mm가, 과거 31년의 강우 자료를 사용할 경우에는 4.874 mm가 최적 비점저감시설의 크기로 산출되었으며, 이는 환경부 비점오염원관리 업무편람에서 제시하고 있는 별도의 설계기준이 없을 경우 5 mm를 비점저감시설의 설계 용량을 사용하라는 것과 유사한 결과를 주고 있는 것으로 파악되었다.

사 사

본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 2007년도 연구사업비 지원(부산지역 강우 특성을 고려한 합류식 하수관거 월류수의 최적관리방안)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다(과제번호 07-2-30-33).

참고문헌

- 김상단, 유철상, 김중훈, 윤용남, 다차원 강우모형의 시간적인 특성연구, *한국수자원학회논문집*, 33, pp. 783-791 (2000).
- 김상단, 추계학적 점 강우모형과 결합된 토양수분 확률밀도함수의 유도, *대한토목학회논문집*, 27, pp. 499-506 (2007).
- 윤용남, *공업수문학*, 청문각 (2005).

- 조덕준, 위험도 기반 지역별 정규 CSOs 곡선 설계에 관한 연구, *한국수자원학회논문집*, **39**, pp. 575-581 (2007).
 환경부, *비점오염원관리 업무편람*, 환경부 (2006).
- Adams, B. J. and Papa, F., Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models, *John Wiley & Sons, INC.* U.S.A (2000).
- Behera, P. K., Papa, F. and Adams, B. J., Optimization of regional storm water management system, *Journal of Water Resources Planning and management*, **125**, pp. 107-144 (1999).
- Driscoll, E. D., Palhegyi, G. E., Strecker, E. W. and Shelley, P. E., Analysis of storm events characteristics for selected rainfall gauges throughout the United States, *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, D.C. (1989).
- Guo, J. C. Y. and Hughes, W., Storage volume and overflow risk for infiltration basin design, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **127**, pp. 170-175 (2001).
- Guo, J. C. Y. and Urbonas, R. B., Maximized detention volume determined by runoff capture ratio, *Journal of Water Resources Planning and Management*, **122**, pp. 33-39 (1996).
- Guo, J. C. Y. and Urbonas, R. B., Runoff Capture and Delivery Curves for Storm-Water Quality Control Designs, *Journal of Water Resources Planning and Management*, **128**, pp. 208-215 (2002).
- Kim, S. and Kavvas, M. L., Stochastic point rainfall modeling for correlated rain cell intensity and duration, *Journal of Hydrologic Engineering*, **11**, pp. 29-36 (2006).
- Nix, S. J., Urban Stormwater Modeling and Simulation, *Lewis Publishers*, Boca Raton, FL (1994).
- Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C. (1972).
- Rodriguez-Iturbe, I., Gupta, V. K. and Waymire, E., Scale consideration in the modeling of temporal rainfall, *Water Resources Research*, **20**, pp. 1611-1619 (1984).
- Vanmarcke, E., Random fields: Analysis and synthesis, *MIT Press* (1983).
- Yoo, C., Kim, S. and Kim, T. W., Assessment of drought vulnerability based on the soil moisture PDF, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **21**, pp. 131-141 (2006).