

# 저류형 비점저감시설 설계를 위한 유출포착곡선

## Runoff Capture Curve for Water Quality Control Basins Design

김상단\*, 김재철\*\*, 한수희\*\*\*, 김문성\*\*\*\*, 최대규\*\*\*\*\*

### 요 지

본 연구에서는 또한 지역별로 평균적인 강우사상의 강우량과 해당 지역의 유역수문상황을 대변할 수 있는 두 가지 매개변수(지면 저류고 및 CN값)을 이용하여 유출포착곡선을 직접 합성할 수 있는 방법론을 제공하고 있다. 본 연구에서는 제안한 방법은 강우-유출 관계를 국내에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 SCS 유출곡선법을 고려함과 동시에 복잡한 토지이용특성을 가진 우리나라의 도시배수분구에의 적용 시 보다 객관적인 설계가 이루어질 수 있도록 하였다.

**핵심용어:** 강우유출수, 비점오염원, 저류형 비점저감시설, 유출포착곡선

## 1. 서 론

Guo 등(2002)을 비롯한 선행 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-유출 관계를 적용함에 따라서 우리나라와 같이 복잡한 토지이용특성을 보이는 도시배수분구에 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 국내에서 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.

## 2. 유출포착곡선의 유도

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

\* 정희원 · 부경대학교 환경시스템공학부 조교수 · E-mail: skim@pknu.ac.kr  
\*\* 정희원 · 부경대학교 환경시스템공학부 석사과정 · E-mail: kimcaprio007@nate.com  
\*\*\* 부경대학교 환경시스템공학부 석사과정 · E-mail: doha0703@hotmail.com  
\*\*\*\* 부경대학교 환경시스템공학부 석사과정 · E-mail: bluemun2000@nate.com  
\*\*\*\*\* 부경대학교 환경시스템공학부 석사과정 · E-mail: aidhim@nate.com

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

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

$$P_V(0 \leq v \leq V) = 1 - e^{-V/V_m} \quad (2)$$

추후 저류형 비점저감시설의 크기를 결정하고자 할 때, 식 (2)는 비점저감시설에 의해 포착된 강우량의 비율을 정량화시키는 기본적인 도구를 제공하게 될 것이다.

연속강우사상으로부터 저류형 비점저감시설의 적정크기를 설정하기 위한 유출포착곡선을 작성하기 위하여 본 연구에서 도식화한 도시배수시스템을 Fig. 1에 도시하였다. 강우-유출-손실관계에 SCS 유출곡선법을 적용하면 유역에서의 유출고(단위: mm)는 아래와 같이 표현될 수 있다(Soil Conservation Service, 1972).

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

$$V_o = \frac{(V - V_i)^2}{V - V_i + S} \quad , \text{ for } V \geq V_i \quad (3)$$

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 (3)에서 토양 함수비  $S$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

여기서, CN는 SCS의 유출 곡선번호(Curve Number)로서, 개략토양도 및 토지이용도를 통하여 비교적 손쉽게 산정가능하다.

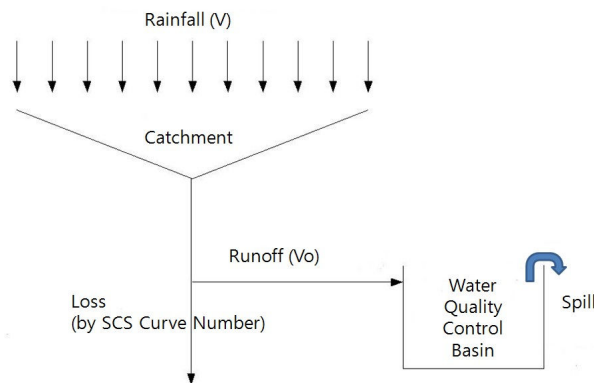


Fig. 1. Schematic diagram of urban drainage system.

유도된 확률밀도함수(derived probability density function) 이론을 적용하면, 강우-유출모형인 식 (3)와 강우량에 대한 확률밀도함수인 식 (1)로부터 유출량의 확률밀도함수를 다음과 같이 얻을 수 있다(Fig. 2 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. 2의 음영 처리된 면적에 해당된다. 강우량이 지면 저류고  $V_i$ 를 넘지 않을

확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(V_o = 0) = P(V \leq V_i) = \int_0^{V_i} f(V) dV = 1 - e^{-V_i/V_m} \quad (5)$$

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.

$$C_V = F(V_o) = \int_0^{V_o} f(V_o) dV_o = P(V_o = 0) + P(V_i < V < k) \quad (6)$$

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

여기서  $k$ 는 다음과 같이 산정된다.

$$k = \frac{V_o + 2V_i + \sqrt{V_o^2 + 4V_o * S}}{2} \quad (7)$$

식 (6)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.

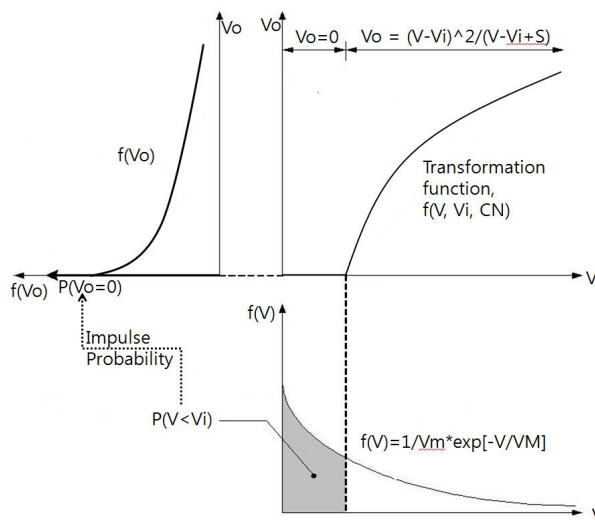


Fig. 2. Derived probability density function.

### 3. 결론

저류형 비점저감시설은 강우유출수에 의해 운반된 오염물질을 저감시킴에 의해서 강우 유출수의 수질을 개선시키기 위해 설치된다. 이 때, 발생한 강우유출수를 포착하여 처리할 비점저감시설을 어느 정도의 크기로 설치해야 하는가의 문제는 실무적으로 매우 중요한 사안이 된다. 저류형 비점저감시설의 크기는 홍수방어목적의 전통적인 도시배수시설의 설계에 사용되는 극한 강우사상이 아닌, 수많은 근소 강우사상들에 의해 유발되는 강우유출수의 대부분을 포착할 수 있는 크기의 비점저감시설이 되어야 할 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 지역별로 평균적인 강우사상의 강우량과 해당 지역의 유역수문상황을 대변할 수 있는 두 가지 매개변수(지면 저류고 및 CN값)을

이용하여 유출포착곡선을 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 토지이용 특성을 가진 우리나라의 도시배수분구에의 적용 시 보다 객관적인 설계가 이루어질 수 있도록 하였다.

## 감 사 의 글

본 연구는 차세대 핵심환경기술개발사업의 2008년도 연구사업비 지원(강우시 비점오염물질 발생량 예측모델)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 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 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).
- Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C. (1972).