

# 비점오염원 산정을 위한 강우 분석

## Rainfall Analysis to Estimate the Amount of Non-point Source Pollution

권재호<sup>1)</sup>, 박무종<sup>2)</sup>, 김종훈<sup>3)</sup>

Kwon, Jae Ho / Park, Mu Jong / Kim, Jung Hoon

### 요 지

최근 문제가 되고 있는 초기우수에 의한 비점오염원 관리를 위한 CSOs 탱크 설계에서 강우에 의한 비점오염원의 총량을 산정하는 것을 쉬운 일이 아니다. 특히 기존의 강우분석으로는 도시지역 초기우수에 의한 비점오염원의 총량을 산정할 수 없다. 비점오염원의 총량을 산정하기 위해서는 먼저 도시지역의 표준강우사상의 1회 평균 강우량을 구해야 하며 이를 위해서는 연속강우를 표준강우사상으로 분리하고 분리된 강우사상의 확률적인 분석을 통해 1회 평균강우량, 평균강우강도, 평균지속시간 등의 강우특성에 대하여 분석해야 한다.

따라서 본 연구에서는 기상자료의 연속 강우를 분석하기 위하여 연속 강우를 일반적인 강우사상으로 분리할 수 있는 기준을 제시하고 민감도 분석을 실시하였으며 분리된 강우사상을 분석하여 도시 지역의 일반적인 표준강우사상의 형태와 특징을 알아보았다. 또한 기존의 I-D-F 곡선에 의한 설계강우량의 산정방법과 V-D-F 곡선에 의한 설계강우량을 비교 분석하고 두 곡선사이의 상관성 분석을 토대로 더 정확한 설계강우분석방법을 제시하고자 한다.

**핵심용어** : 비점오염원, IETD(Interevent Time Definition), 표준강우사상, V-D-F곡선

### 1. 서 론

기존의 설계강우(design storm)에 의한 방법은 도시 배수 시스템의 설계와 해석뿐만 아니라 도시화에 따른 여러 가지 수문학적 영향을 고려하기 위해서 널리 쓰이고 있으며, 도시지역에서 안전하고 효과적인 배수를 위한 이송시스템의 설계방법으로 사용되어 왔다.

강우사상의 일반적인 특성(강우총량)은 하나의 빈도로 정의 가능하다. 또한 각각의 다른 조합(강우강도-강우지속시간 혹은 총강우량-강우지속시간)도 하나의 빈도로 표현될 수 있다. 그러나 이러한 조합이 동일한 한 개의 빈도로 발생하는 경우는 거의 없다. 따라서 특정한 강우사상은 각각의 특성에 대해 각각의 빈도를 갖게 된다. 따라서 강우분포 자체는 한 개의 빈도로 표현될 수 없다. 예를 들어 설계강우 특정지속동안 10년 빈도의 강우강도를 가질 수 있다. 그러나 총강우량은 5년 빈도에 불과할 수 있으며 그러한 특징은 강우의 다른 특성들에도 동일하게 적용된다. 따라서 기존의 강우분석방법으로는 비점오염원의 총량을 산정하기 어렵기 때문에 IETD(Interevent Time Definition) 개념을 이용하여 강우를 분리하고 이에 따라 도시 지역의 일반적인 표준강우사상의 형태와 특징을 알아보았다.

1) 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사 · E-mail : djfrksdl2000@hanmail.net

2) 정회원 · 한서대학교 토목공학과 교수 · E-mail : mjpark@hanseo.ac.kr

3) 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : jaykim@korea.ac.kr

## 2. 강우해석모형

### 2.1 IETD의 정의

장기간 강우 기록이나 우량그래프는 강우의 불규칙한 분포로 이루어져 있다. 장기간의 여러 강우 사상들을 각각의 일반적인 강우사상으로 분리하기 위해서는 각 강우의 시작과 끝을 구별할 수 있는 확실한 기준이 필요하다. 각 강우사상을 분리하는 전형적인 기준은 강우간 시간(interevent time, IET)을 분석하고 강우사상을 적절히 나눌 수 있는 강우간 시간을 결정(interevent time definition, IETD)하는 것이다. 우량그래프의 강우의 분포는 무강우 기간에 의해서 분리되어질 수 있다. 예를 들어 무강우시간이 기준치보다 짧을 경우 두 개의 강우는 하나의 강우로 볼 수 있고, 무강우시간이 기준치보다 길어질 경우 두 개의 강우는 하나의 강우사상으로 볼 수 있다.

### 2.1 IETD의 결정방법

본 연구에서는 서울지역의 합리적인 적정 IETD를 결정하기 위해 autocorrelation 분석, 변동계수분석, 연강우 평균발생개수 분석 등의 3가지 방법을 통해 서울지역의 적정 IETD를 결정하였다.

## 3. 적용 및 결과분석

### 3.1 적정 IETD 결정

강우분석을 위해 수집한 자료는 서울관측소에서 측정된 42개년자료(1961~2002년)를 사용하여 분석하였으며 모든 강우자료 자료는 1시간강우의 형태로 나타나있다. 본 연구에서는 서울지역의 합리적인 적정 IETD를 결정하기 위해 autocorrelation 분석, 변동계수분석, 연강우 평균발생개수 분석 등의 3가지 방법을 통해 서울지역의 적정 IETD를 결정하였다.

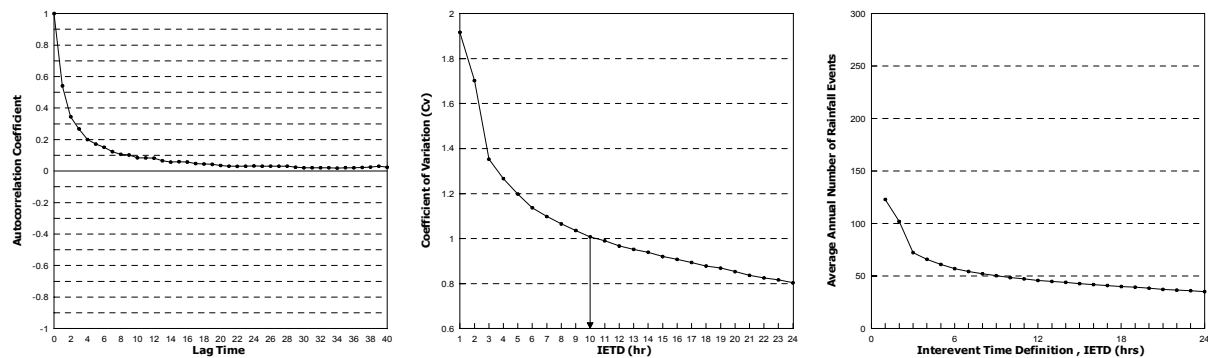


그림 1. IETD 결정

위에서 IETD결정을 위해 수행한 3가지 분석에서는 autocorrelation분석을 제외한 변동계수분석, 연평균 강우발생개수 분석에서 IETD가 10시간에 가장 근접한 것으로 나타났다. 그러나 autocorrelation 분석에서 나타난바와 같이 0으로의 수렴값이 정확하게 나타나지 않으며 우리나라에서는 강우발생 형태가 외국의 경우와는 전혀 다른 것으로 판단되므로 좀 더 정확한 IETD를 결정하기 위해서 각 IETD별로 강우특성의 민감도 분석을 실시하였으며 아래와 같이 IETD가 10시간인 경우 가장 최소의 오차를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 서울 지역의 적정 IETD는 10시간으로 결정할 수 있다.

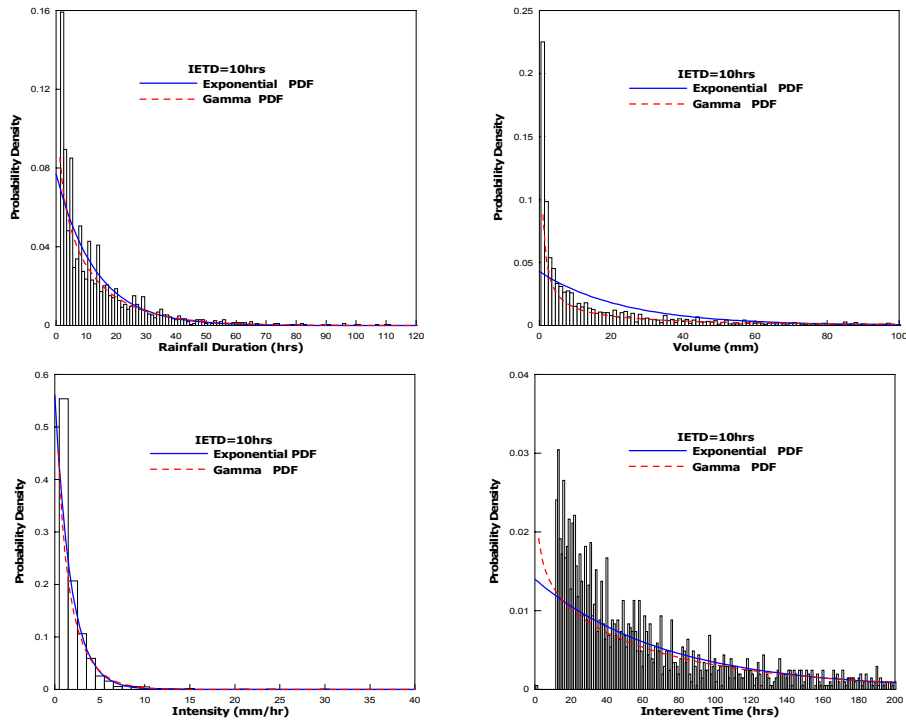


그림 2. IETD=10hr일 때의 강우 특성값 분포

표 1. Exponential, Gamma 확률밀도함수식 (IETD=10hrs)

	Exponential 확률밀도함수	Gamma 확률밀도함수
강우지속시간	$f_x(x) = 0.077 e^{-0.077 x}$	$f_x(x) = 0.096x^{-0.239} e^{-x/16.995}$
강우량	$f_x(x) = 0.043 e^{-0.043 x}$	$f_x(x) = 0.089x^{-0.752} e^{-x/93.122}$
강우강도	$f_x(x) = 0.561 e^{-0.561 x}$	$f_x(x) = 0.426x^{-0.251} e^{-x/2.381}$
무강우지속시간	$f_x(x) = 0.014 e^{-0.014 x}$	$f_x(x) = 0.022x^{-0.185} e^{-x/89.707}$

### 3.2 연평균강우량과 재현 기간별 확률강우량

위에서와 같이 각 IETD별로 결정된 확률밀도함수를 분석하면 IETD별로 연평균 강우량과 강우사상의 재현기간별 1회 평균 확률강우량을 구할 수 있다. 각 IETD별 연평균 강우량과 재현기간별 확률강우량을 구하면 아래의 표 2,3과 같다.

표 2. IETD별 연평균 강우량

IETD (hrs)	연평균강우량 (mm)	IETD (hrs)	연평균강우량 (mm)
1	1117.2	10	1106.9
2	1106.7	12	1097.6
3	1112.6	18	1116.7
6	1098.2	24	1112.8

위의 결과에서 보는 바와 같이 1087.1~1117.4mm의 비교적 고른 값이 나타났다. 서울의 적정 IETD로 결정된 10시간의 경우 연평균강우량이 1106.9mm으로 산정되었다.

표 3. IETD별 재현 기간별 1회 평균 확률강우량

(단위 : mm)

IETD (hrs)	1년 빈도	2년 빈도	5년 빈도	10년 빈도	20년 빈도	30년 빈도	50년 빈도	80년 빈도	100년 빈도
1	43.7	50.0	58.4	64.7	71.0	74.7	79.3	83.6	85.6
2	50.7	58.3	68.4	76.0	83.6	88.1	93.7	98.9	101.3
3	65.8	76.5	90.6	101.2	111.9	118.1	126.0	133.2	136.6
6	78.9	92.5	110.5	124.1	137.7	145.6	155.6	164.9	169.2
10	90.0	106.1	127.5	143.6	159.7	169.1	181.0	191.9	197.1
12	92.8	109.8	132.1	149.0	165.9	175.8	188.3	199.7	205.2
18	102.5	121.7	147.2	166.4	185.7	196.9	211.1	224.2	230.4
24	114.7	137.0	166.6	189.0	211.3	224.4	240.9	256.0	263.2

### 3.3 서울지역의 표준강우사상

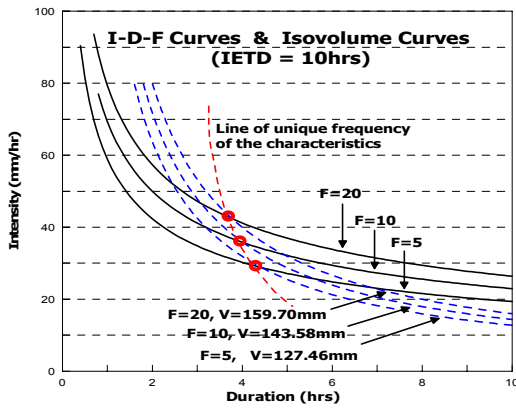
전기간치 강우자료를 이용하여 서울시의 적정 IETD에 의해서 분리된 각각의 강우사상의 평균값을 서울시의 표준강우사상으로 정의하고 이를 분석하였다. 적정 IETD인 10시간으로 강우자료를 분리하여 얻은 서울지역 표준강우사상의 강우특성값과 확률밀도함수의 적용을 위한 매개변수들은 아래의 표 4와 같다.

표 4. 표준강우사상의 특성과 확률밀도함수의 매개변수

표준강우사상의 강우특성	강우특성	확률밀도함수의 매개변수
표준강우사상의 강우량	23.061 mm	0.043
표준강우사상의 지속시간	12.927 시간	0.077
표준강우사상의 무강우시간	73.12 시간	0.014
표준강우사상의 강우강도	1.784 mm/hr	0.561
표준강우사상의 연간 발생횟수	48 회	-

### 3.4 I-D-F 곡선과 V-D-F 곡선

기존의 강우분석에 의해 결정된 I-D-F곡선과 확률밀도함수에 의해 결정된 V-D-F곡선을 비교분석해보았다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이 기존의 방법에 의한 I-D-F곡선과 확률밀도함수를 이용한 V-D-F곡선사이에는 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. I-D-F곡선과 V-D-F곡선은 각 빈도별로 일정한 지속시간의 한 점에서만 같은 강우강도와 강우량을 나타냈고, 그 이하의 지속시간에서는 확률밀도함수를 이용한 V-D-F곡선이 그 이상에서는 기존의 강우분석에 의한 I-D-F곡선에 의한 강우량이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 같은 재현기간에서 I-D-F곡선과 V-D-F곡선이 같은 값을 갖는 일정한 지속시간을 두 곡선의 일치특정지속시간으로 정의하면 같은 IETD에서는 재현기간이 증가할수록 두 곡선의 일치특정지속시간은 감소하는 반면 같은 재현기간내에서는 IETD가 증가할수록 두 곡선의 일치특정지속시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다.



재현기간 (years)	IETD (hrs)							
	1	2	3	6	10	12	18	24
5	0.983	1.329	2.279	3.351	4.425	4.744	5.860	7.471
10	0.876	1.188	2.049	3.031	4.020	4.320	5.355	6.859
20	0.811	1.101	1.908	2.836	3.733	4.061	5.049	6.490

그림 3. 표 5. I-D-F곡선과 V-D-F곡선의 비교

#### 4. 결론

- 1) 서울시 42년 간의 연속강우를 분리하기 위해 실시한 변동계수분석, 연강우 평균발생개수분석에서는 모두 적정 IETD는 10시간으로 나타났으며 autocorrelation 분석 결과를 토대로 각 강우특성의 확률밀도함수에 대한 민감도 분석을 실시하였으며 민감도 분석에서도 서울지역의 적정 IETD는 같은 결과를 얻었다.
- 2) 확률밀도함수 분석에 의해 도출된 서울의 연평균 강우량은 적정 IETD인 10시간을 기준으로 1106.9mm로 계산되었으며, 각 재현기간별 확률강우량은 각각 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100년 빈도일 때 90.0, 106.1, 127.5, 143.6, 159.7, 169.1, 181.0, 191.9, 197.1mm로 나타났다. 또한 재현기간이 증가할수록 I-D-F곡선을 이용한 확률강우량과의 오차도 증가하는 것을 알 수 있다.
- 3) 서울시의 표준강우특성을 살펴보면 평균 1회 강우량은 23.061mm, 강우지속시간은 12.927시간, 강우강도는 1.784mm/hr이며 연간 약 48회의 표준강우사상이 발생하는 것으로 모의되었다.
- 4) I-D-F곡선과 V-D-F곡선의 비교분석에서는 두 곡선사이에 단 하나의 강우지속시간에서만 같은 강우량과 강우강도를 갖는 것으로 나타났으며 서울시 적정 IETD인 10시간의 경우 일치특정지속시간은 각각 5, 10, 20년 빈도일 때 4.425, 4.020, 3.733시간인 것으로 나타났다. 두 곡선의 일치특정지속시간은 재현기간이 증가함에 따라 작아지고 IETD가 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 건설교통부 (2000), 한국 확률강우량도 작성
2. 건설교통부 (2000), 지역적 설계 강우의 시간적 분포
3. Adams, B. J., Fraser, H. G., Howard, C. D. D., and Hanafy, M. S., (1986) "Meteorological Data Analysis for Urban Drainage System Design", Journal of Environmental Engineering, Vol. 112, No. 5, PP. 827-848, October.
4. Adams, B. J., and Howard, C. D. D., "Pathology of Design Storms", Canadian Water Resources Journal, Vol. 11, No. 3, pp. 49-55, 1986.
5. Adams, B. J., Fabian Papa (2000), Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models