



## A study on the rainfall management target considering inter-event time definition (IETD)

Baek, Jongseok<sup>a</sup> · Kim, Jaemoon<sup>b</sup> · Park, Jaerock<sup>c</sup> · Lim, Kyoungmo<sup>d</sup> · Shin, Hyunsuk<sup>e\*</sup>

<sup>a</sup>Researcher, Department of Advanced Infrastructure, Korea Institute of Hydrological Survey, Goyang, Korea

<sup>b</sup>Researcher, Green Land & Water Management Research Institute, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>c</sup>Researcher, Green Land & Water Management Research Institute, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>d</sup>Director General, Urban Planning bureau, Busan Metropolitan City, Busan, Korea

<sup>e</sup>Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

Paper number: 22-027

Received: 26 April 2022; Revised: 14 July 2022; Accepted: 21 July 2022

### Abstract

In urban areas, the impermeable area continues to increase due to urbanization, which interferes with the surface penetrating and infiltrating of rainwater, causing most rainwater runoff to the surface, deepening the distortion of water circulation. Distortion of water circulation affects not only flood disasters caused by rainfall and runoff, but also various aspects such as dry stream phenomenon, deterioration of water quality, and destruction of ecosystem balance, and the Ministry of Environment strongly recommends the use of Low Impact development (LID) techniques. In order to apply the LID technique, it is necessary to set a rainwater management target to handle the increase in outflow after the development of the target site, and the current standard sets the rainwater management target using the 10-year daily rainfall. In this study, the difference through statistical analysis and classification of independent rainfall ideas using inter-event time definition (IETD) in setting the target amount of rainwater management to improve water circulation. Using 30-year rainfall data from 1991 to 2020, methods such as autocorrelation coefficient (AC) analysis, variation coefficient (VC) analysis, and annual average number of rainfall event (NRE) analysis were applied, and IETD was selected according to the target rainfall period. The more samples the population had, the more IETD tended to increase. In addition, by analyzing the duration and time distribution of independent rainfall according to the IETD, a plan was proposed to calculate the standard design rainfall according to the rainwater management target amount. Therefore, it is expected that it will be possible to set an improved rainwater management target amount if sufficient samples of independent rainfall ideas are used through the selection of IETD as in this study.

**Keywords:** Interevent time definition (IETD), Rainfall management target, Independent rainfall, Runoff, Water cycle

## 무강우 지속시간(IETD)을 고려한 빗물관리 목표량 설정 방안 연구

백종석<sup>a</sup> · 김재문<sup>b</sup> · 박재록<sup>c</sup> · 임경모<sup>d</sup> · 신현석<sup>e\*</sup>

<sup>a</sup>한국수자원조사기술원 첨단인프라실 전임연구원, <sup>b</sup>부산대학교 녹색국토물관리연구소 전임연구원,

<sup>c</sup>부산대학교 녹색국토물관리연구소, 전임연구원, <sup>d</sup>부산광역시 도시계획국 국장, <sup>e</sup>부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

### 요 지

도시지역에서는 도시화로 인해 불투수면적이 지속적으로 증가하고 있고, 이는 빗물이 지표하로 침투 및 침투되는 기작을 방해하여 대부분의 빗물이 표면유출되도록 하고 있어 물순환의 왜곡이 심화되고 있다. 물순환의 왜곡은 강우-유출로 인한 수재해 뿐만 아니라, 하천 건천화 및 수질 악화, 생태계 균형 파괴 등 다양한 방면에 영향을 미치는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해 환경부에서는 저영향개발 기법의 활용을 적극 권장하고 있다. 저영향개발 기법을 적용하기 위해서는 대상지 개발 이후의 유출증가량을 처리할 수 있는 빗물관리 목표량을 설정해야 하는데, 현행 기준에서는 10년 강우기간의 일단위 강우사상으로 빗물관리 목표량으로 제시하고 있어, 강우기간 및 대상에 대한 개선 연구가 필요하다. 본 연구에서는 물순환 개선을 위한 빗물관리 목표량의 설정에 무강우 지속시간(IETD)을 이용한 독립 강우사상의 구분과 통계분석을 통해 현행 기준과의 차이를 분석하였다. 부산광역시의 1991년에서 2020년까지 30년 강우자료를 이용하여 자기상관계수 분석, 변동계수 분석, 연평균 강우사상 발생개수 분석 등의 방법을 적용하였고, 대상 강우기간에 따라 무강우 지속시간을 선정하였다. 모집단의 표본이 많을수록 무강우 지속시간이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 무강우 지속시간에 따른 독립 강우사상의 강우량 규모별 지속시간과 시간분포를 분석하여 빗물관리 목표량에 따라 표준 설계강우량을 산정할 수 있는 방안을 제시하였다. 이에 본 연구와 같이 무강우 지속시간의 선정을 통해 독립 강우사상들의 충분한 표본을 이용한다면, 보다 개선된 빗물관리 목표량을 설정이 가능할 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 무강우 지속시간, 빗물관리 목표량, 독립 강우사상, 유출량, 물순환

\*Corresponding Author. Tel: +82-51-510-3288

E-mail: hsshin@pusan.ac.kr (Shin, Hyunsuk)

## 1. 서론

최근 도시화로 인한 불투수면적의 급격한 증가는 도시 내의 수문학적인 물순환 시스템에 많은 변화를 주고 있다. 불투수면적으로 인한 강우의 표면유출화는 지표하로의 침투 및 침투를 차단하고, 이로 인해 도시구역 내에서 빗물을 저장할 수 없게 되어 홍수기에는 대부분의 강우량이 유출구로 직접 유출되어 도시하천의 범람, 우수유출 취약 지점에서의 반복되는 내수침수 피해 등이 발생하고 있다. 또한, 비홍수기에는 구역 내 저장된 빗물이 없어 도시하천의 건천화, 하천 건천화로 인한 수질 악화 및 생태계 불균형이 발생되고 있어 도시화로 인한 물순환 시스템의 변화는 악영향이라고 판단되고 있고, 물순환의 왜곡이라고 표현한다.

왜곡된 물순환을 개선하고자 환경부에서는 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법의 활용을 적극 권장하고 있다. ME (2016)에서는 LID 기법의 적용을 위한 빗물관리 목표량 설정 방법을 미국의 비점오염원 저감시설의 수질처리 용량 설정 기준에 따라 10년 강우기간의 일단위 강우사상으로 분석하도록 제시하고 있다. 10년 강우기간은 지역별 강우 관측기간에 따라 가용할 수 있는 자료가 제한적일 수 있어 제시한 최소 단위로 판단되는데, 강우기간 및 강우대상을 선정하는 기준에 따라 빗물관리 목표량 설정이 상이할 수 있어 이와 관련한 연구가 필요하다.

무강우 지속시간(Inter-event time definition, IETD)은 연속적으로 측정된 시단위 강우자료를 강우사상을 구분할 때, 강우사상 간의 시간 간격을 의미한다. IETD의 선정을 통해 독립 강우사상의 구분이 가능하데, IETD에 따라 구분되는 강우사상의 개수뿐만 아니라, 각 강우사상의 강우량 규모가 상이하기 때문에, 강우자료의 분석에 매우 중요한 인자이다. IETD 설정에 관한 연구는 지속적으로 수행되었는데, MLTMA (2011)에서 호우사상에서의 무강우 지속시간을 6hr으로 설정하는 것을 시작으로 Joo et al. (2014)는 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 대전광역시의 강우자료를 분석하여 IETD를 제시하였고, Lee and Jung (2017)은 서울시, 수원시, 부산시의 IETD, Han et al. (2019)은 서울시, 이천시, 수원시, 양평군 등 각각의 도시구역 IETD 설정 연구가 지속되었다.

Adams and Papa (2000)는 IETD 설정 방법에 대해 정리하였고, 미국의 IETD는 6시간으로 결정하는 것이 적당하다고 제시하고 있는데, 미국의 워싱턴, 뉴욕, 보스턴, 시카고 등 주요 도시는 연중 평이한 강우량이 분포하고 있어 비점오염원 저감시설의 수질처리용량과 같이 일단위 강우사상을 통해 강우기준을 설정하는 경우도 있다. 하지만, 우리나라는 강우량의 계절적 편차가 매우 크기 때문에, 연중 강우를 일단위 강우

사상으로 분석하는 것은 실제 강우의 특성을 반영하는 것에 한계가 있을 수 있다.

도시지역의 물순환 개선을 위한 빗물관리 목표량은 도시 개발 이후의 유출증가량을 처리하고자 하는 목표량이다. 본 연구에서는 빗물관리 목표량이 실제 강우특성을 반영하여 설정될 수 있도록 30년 관측자료를 이용하여 자기상관계수, 변동계수, 연평균 강우사상 발생개수 분석 방법에 따라 IETD를 선정하고, IETD에 따라 독립 강우사상의 구분 및 지속시간을 분석하였다. 그리고 독립 강우사상으로 빗물관리 목표량을 설정하여 실제 강우 특성을 반영할 수 있는 개선 연구를 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 무강우 지속시간(IETD) 설정

강우자료의 분석은 강우사상의 구분 기준을 설정하는 것에서 시작되는데, 시간단위 강우량의 연속적인 관측자료에서 각 강우사상의 시작과 끝은 IETD의 선정에 따라 결정된다. IETD는 Fig. 1과 같이 각각의 독립 강우사상 사이의 시간간격을 의미하고, 시간간격의 설정에 따라 두 개의 강우사상이 하나로 합쳐지거나, 반대로 나뉘어지는 등 강우자료의 통계분석에 있어 매우 중요한 인자이다.

본 연구에서는 부산광역시 기상관측소의 1991년에서 2020년까지 30년 동안의 시단위 강우자료 중 유효강우 2.0mm 이상의 강우자료를 이용하여 IETD를 분석하였다. IETD를 결정하는 방법으로는 자기상관계수(Autocorrelation coefficient, AC) 분석, 변동계수(Coefficient of variation, CV) 분석, 강우사상 발생개수(Average annual number of rainfall event, NRE) 분석 방법이 있다. 해당 방법을 이용한 선행연구사례를 Table 1과 같이 정리하였다.

#### 2.1.1 자기상관계수(AC) 분석 방법

AC 분석은 전체 시계열 강우자료에 대해 지체시간을 설정하여 전체 강우자료 대비 지체시간이 설정된 강우자료 사이의 상관성을 비교하고, 일정 신뢰구간 이하인 경우 상관성이 없는 것으로 간주하여 독립 강우사상을 구분하는 무강우 지속시간으로 설정하는 방법이다. 신뢰구간은 일반적으로 95%로 설정하고, AC를 설정하는 공식은 Eq. (1)과 같다.

$$AC = \frac{\sum (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sum (y_t - \bar{y})^2} \quad (1)$$

여기서, AC는 자기상관계수이고,  $\bar{y}$ 는 표본의 산술평균,

$y_t$ 는  $t$ 번째 강수량,  $k$ 는 지체시간이다.

2.1.2 변동계수(CV) 분석

일반적으로 시계열 강우자료에서 IETD의 확률밀도는 Exponential 분포와 Gamma 분포를 따르는데, Gamma분포는 변수들의 계산이 복잡하여 분포형 결정이 어렵고, Exponential 분포는 그 변수들의 결정이 쉬워 널리 사용되고 있다(Nix, 1994). CV분석은 Exponential분포를 통해 IETD의 평균과 표준편차가 같아져 변동계수가 1이 되는 시점을 무강우 지속 시간으로 결정한다.

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (2)$$

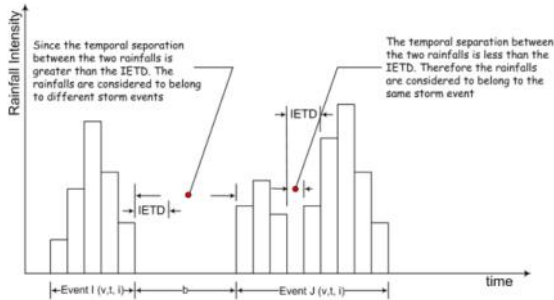


Fig. 1. Separation of independent rainfall event using IETD (Adapted from Joo *et al.*, 2014)

여기서,  $n$ 은 표본의 개수,  $x_i$ 는 각각의 무강우 지속시간,  $s$ 는 무강우 지속시간들의 표준편차이고,  $\bar{x}$ 는 표본의 산술평균이다.

2.1.3 연평균 강우사상 발생개수(NRE) 분석

IETD가 증가함에 따라 연간 강우사상의 발생개수는 감소하고, 사상별 강우량은 증가하게 된다. NRE분석 방법은 IETD 설정에 따라 발생하는 강우사상의 개수의 감소추이가 완만해져서 수렴하는 구간을 IETD로 선정하는데, 수렴하는 구간의 결정이 어렵고, 설계자의 주관이 반영될 수 있어 이 NRE분석을 제외하고 IETD를 결정하는 경우도 있다.

2.2 빗물관리 목표량 설정 방안

ME (2016)에서는 Fig. 2와 같이 도시지역의 개발에 따른 유출증가량( $m^3$ )에 유역면적( $m^2$ )을 고려하여 관리해야 할 누적 강우깊이( $mm$ )를 설정하고 있고, 이를 이용해 연중 강우사

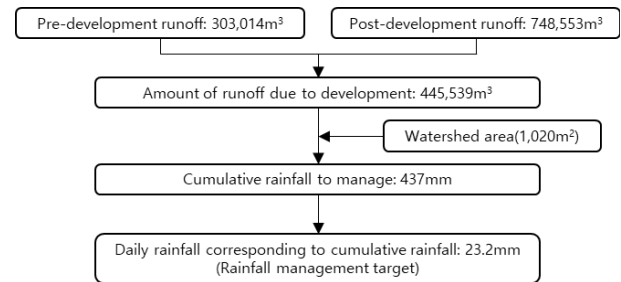


Fig. 2. Rainwater management targeting plan (Adapted from ME, 2016)

Table 1. Previous studies on IETD

No.	Study area	Obsevation period	IETD (hr)			Reference
			AC	VC	NRE	
1	Seoul	1975~2015(40yr, for rainy)	11	11	-	Lee and Jung, 2017
	Suwon		11	12	-	
	Busan		11	11	-	
2	Seoul	undefined (30yr)	-	9	-	Han <i>et al.</i> , 2019
	Icheon			12		
	Suwon			13		
	Yangpyeong			12		
3	Seoul	1961~2002(42yr, for rainy)	11	11	11	Lee <i>et al.</i> , 2014
4	Seoul	1961~2002(42yr)	10	10	10	Kwon, 2003
5	Seoul	1961~2002(42yr)	10(Average)			Joo <i>et al.</i> , 2014
	Busan	1961~2000(40yr)	15(Average)			
	Daegu	1961~2000(40yr)	12(Average)			
	Daejeon	1969~2000(32yr)	12(Average)			

상의 백분위 그래프에서 누적 강우깊이에 해당하는 강우량을 빗물관리 목표량으로 설정하고 있다. 여기서, 개발에 따른 유출증가량이란 개발 전후의 모의분석을 통해 산정된 유출량의 차이를 의미하고, 관리해야 할 누적 강우깊이는 개발에 따른 유출증가량에 유역면적을 나눈 값이다. 누적 강우깊이에 해

당하는 일 강우량은 누적 강우깊이와 일 강우량을 백분위화 하였을 때, 누적 강우깊이의 백분위와 동일한 백분위에 해당하는 일 강우량을 의미한다. 가이드라인에서는 일단위 강우 사상을 이용하고 있는데, 앞서 설정한 바와 같이 강우자료의 통계분석을 위해서는 독립 강우사상을 이용하여 누적 강우깊이에 해당하는 강우량의 선정이 필요하다.

ME (2016)에서는 개발 전후의 강우-유출 모의분석을 통해 대상지의 개발에 따른 유출증가량을 산정하도록 하고 있다. 본 연구에서는 도시지역 강우-유출 분석에 이점이 있고, LID 기작의 해석이 가능한 SWMM 5.2 모형을 이용하여 모형을 구축하였다. 대상지는 Fig. 3과 같이 부산광역시 강서구 에코델타시티에 위치한 신규 개발지로 기존 토지이용은 논, 밭, 나대지 등이었으나, 개발 이후 Table 2와 같이 도시화에 따른 불투수면적율이 매우 높아져 물순환 개선을 위한 빗물관리목표의 설정이 필요한 도시지역이다.

개발 전후의 유출량 산정을 위해 SWMM 모형의 기본 정보를 Table 3과 같이 설정하였다. 소유역의 조도계수와 저류깊이 등의 매개변수는 모형에서 제공하는 일반적인 도시개발 지역에서의 매개변수 값을 적용하였다. 유역의 침투 산정식으로는 최대 및 최소 침투량 간의 비선형 방정식으로 계산되는 Horton의 침투식을 선정하였고, 토양은 수문학적 토양군 Type B에 해당하는 양토를 적용하였다.

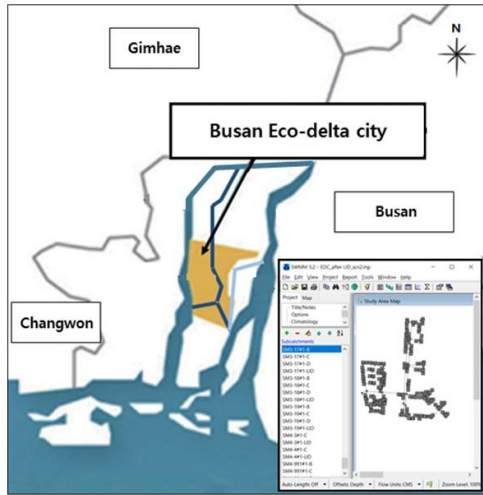


Fig. 3. SWMM model design

Table 2. Land use for target area

Land use	Area	
	m <sup>2</sup>	%
Total	262,785	100.0
Resident	118,781	45.2
Commercial	76,029	28.9
Road	56,835	21.6
Green	11,140	4.2

### 3. 결 과

#### 3.1 무강우 지속시간(IETD) 분석 결과

##### 3.1.1 자기상관계수(AC) 분석 결과

AC 분석으로 IETD를 산정한 결과는 Fig. 4와 같다. AC가 신

Table 3. Design for SWMM option

SWMM 5.2 Options					
Routing Model		Kinematic wave	Infiltration Model		Horton
Start-end Date		1990-01-01 to 2020-12-31	Simulation Interval (hr)		1
Subcatchment Summary					
Subcatchments (EA)		191	Total Area (m <sup>2</sup> )		262,785
Manning's Roughness Coefficient	N-impervious	0.015	Depression Storage (mm)	Impervious	2.54
	N-pervious	0.25		Pervious	5.08
Infiltration Model: Horton					
Maximum infiltration rate of the Horton infiltration curve (mm/hr)		75	Minimum infiltration rate of the Horton infiltration curve (mm/hr)		3
Decay constant of the Horton infiltration curve (1/hr)		5	Drying time a fully saturated soil (days)		7

회구간 95% 내로 산정되었을 때의 IETD를 선정하는데, 강우기간에 따라 최근 10년은 10 hr, 최근 20년은 10 hr, 최근 30년은 12 hr로 분석되었고, Fig. 4 그래프 상에 강조하여 표시하였다.

3.1.2 변동계수(CV) 분석 결과

CV 분석으로 IETD를 산정한 결과는 Fig. 5와 같다. CV가 1.0이 되는 시점으로 IETD를 선정하는데, IETD를 24 hr까지 설정해도 CV가 1에 근사하는 결과를 발견할 수 없었다. 이는 국내 강우의 계절적 특성상 홍수기에 극한 강우사상이 집중되기 때문에, 강우사상별 표준편차가 평균에 비해 높게 산정되므로 CV가 1에 근사하기가 어려운 환경인 것으로 판단된다.

3.1.3 연평균 강우사상 발생개수(NRE) 분석 결과

NRE 분석으로 IETD를 산정한 결과는 Fig. 6과 같다. IETD

가 3 hr일 때, NRE가 급감하였고, 6 hr 이후부터는 급변 구간없이 지속적으로 감소하는 경향이 나타났다. IETD가 증가하더라도 NRE는 고정될 때, 그래프 상 NRE가 수렴하는 시점으로 IETD를 선정하는데, 강우기간에 따라 최근 10년은 12 hr, 최근 20년은 14 hr, 최근 30년은 12 hr로 분석되었고, Fig. 6의 그래프 상에 강조하여 표시하였다.

AC, CV, NRE 분석 방법을 이용하여 선정된 IETD는 Table 4와 같다. AC 분석의 경우, 모집단의 표본 개수가 많을수록 IETD가 증가하는 경향을 보인다. 이는 표본이 많을수록 유사한 강우사상이 많아지기 때문에, 자기상관성이 높아지는 것으로 판단된다. CV 분석은 앞서 기술한 내용에 따라 IETD를 선정하기에 어려움이 있고, NRE 분석은 표본의 개수에 무관하게 일정한 비율을 보이는 것으로 나타났다.

부산광역시 강우자료를 분석한 결과, Table 5와 같이 모집단

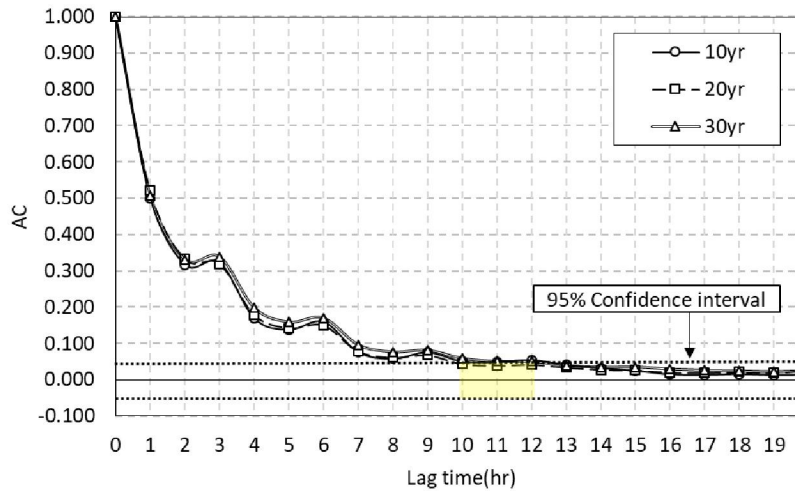


Fig. 4. IETD for AC analysis

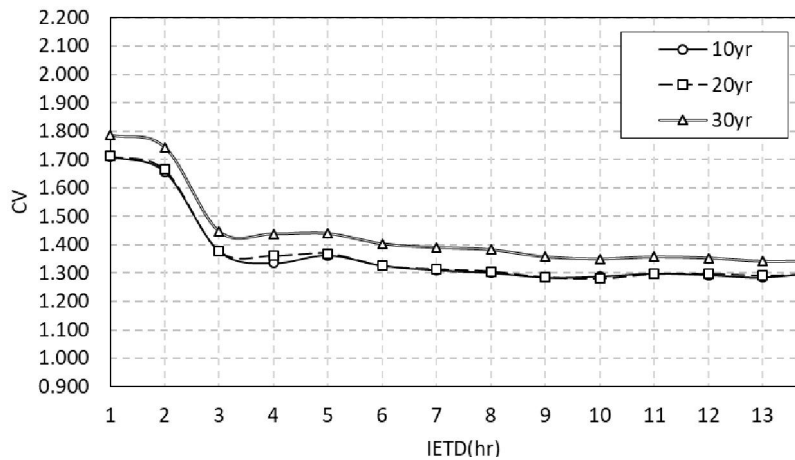


Fig. 5. IETD for CV analysis

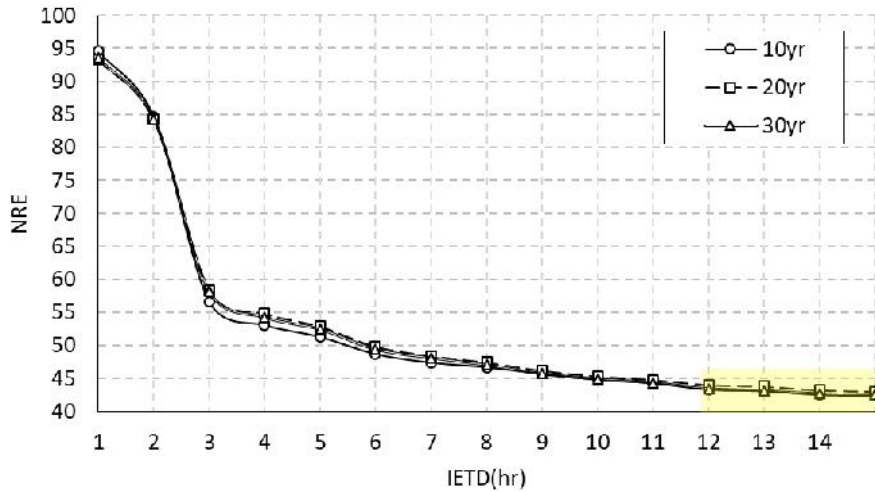


Fig. 6. IETD for NRE analysis

Table 4. IETD for AC, CV, NRE analysis

IETD (hr)	Analysis Method								
	AC			CV			NRE		
	10 yr	20 yr	30 yr	10 yr	20 yr	30 yr	10 yr	20 yr	30 yr
0	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-
1	0.500	0.522	0.508	1.711	1.714	1.787	95	93	94
2	0.317	0.333	0.331	1.656	1.665	1.743	85	84	84
3	0.324	0.320	0.339	1.377	1.378	1.447	57	58	58
4	0.169	0.179	0.198	1.335	1.361	1.439	53	55	54
5	0.138	0.143	0.160	1.362	1.369	1.440	51	53	52
6	0.160	0.150	0.170	1.326	1.326	1.404	49	50	49
7	0.076	0.079	0.097	1.310	1.314	1.391	47	49	48
8	0.058	0.061	0.077	1.301	1.306	1.383	47	48	47
9	0.075	0.068	0.081	1.284	1.286	1.357	46	47	46
10	<b>0.050</b>	<b>0.044</b>	0.059	1.288	1.281	1.350	45	46	45
11	0.049	0.039	0.051	1.299	1.297	1.357	44	45	44
12	0.054	0.042	<b>0.048</b>	1.293	1.298	1.353	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>43</b>
13	0.041	0.034	0.040	1.285	1.292	1.342	43	44	43
14	0.032	0.028	0.035	1.303	1.297	1.344	43	44	43

이 비교적 부족한 경우의 IETD는 최소 10 hr에서 최대 12 hr까지 분석되었으며, 충분한 모집단을 대상으로 AC 분석은 12 hr, NRE 분석은 12 hr으로 선정되었다.

### 3.2 독립 강우사상의 표준 지속시간 산정

부산광역시 30년 강우자료의 분석을 통해 IETD를 12hr으로 설정하였고, 이를 이용해 강우기간 30년 자료의 독립 강우사상을 구분하였다. 10mm 초과, 40mm 이하의 독립 강우사상을 5mm 규모별로 지속시간을 구분하였고, 극값에 치우친 분

석을 피하기 위해 최대, 최소 상위 10%를 제외하고 분석하였다. 강우 지속시간의 평균값 대비 표준편차의 크기를 확인하기 위해 30년 강우기간의 분석 자료 중 10mm 초과 40mm 이하의 강우자료를 이용하여 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF)를 Fig. 7과 같이 도식화하였다. 5mm 단위로 설정한 강우량에 따라 표준 강우지속시간은 2.43 hr에서 11.53 hr까지 편차가 발생하였는데, 전체 강우사상의 평균 지속시간은 약 8 hr로 분석되었고, 본 연구의 빗물관리 목표량 38.0mm에 해당하는 평균 지속시간은 약 9 hr로 분석되었다.

### 3.3 빗물관리 목표량의 산정

연구대상지에 부산광역시 30년 강우자료를 이용하여 강우-유출 모의분석한 결과는 Table 6과 같다. 개발에 따른 유출증가량을 누적 강우깊이로 환산하면, 30년 연평균 405 mm로 개발 이전에 비해 약 26% 유출율이 증가한 것으로 분석되었다.

30년 강우기간을 대상으로 독립 강우사상의 백분위에 해당

하는 누적 강우깊이는 약 75백분위의 강우량 38.0 mm으로 설정되고, ME (2016)에서 제안하는 일단위 강우사상의 백분위에 해당하는 누적 강우깊이는 약 70백분위의 강우량 25.0 mm로 Table 7과 Fig. 8과 같다. 독립 강우사상과 일단위 강우사상으로 설정한 빗물관리 목표량에는 상당한 차이가 발생하였는데, 연중 강우사상을 백분위화 하였을 때, 일단위 강우사상은

Table 5. Selection of IETD

Target Area	Observation Period	Number of Samples	IETD (hr)		
			AC	CV	NRE
Busan	2011~2020(10 yr)	682	10	-	12
	2001~2020(20 yr)	1,453	10	-	12
	1991~2020(30 yr)	2,100	12	-	12

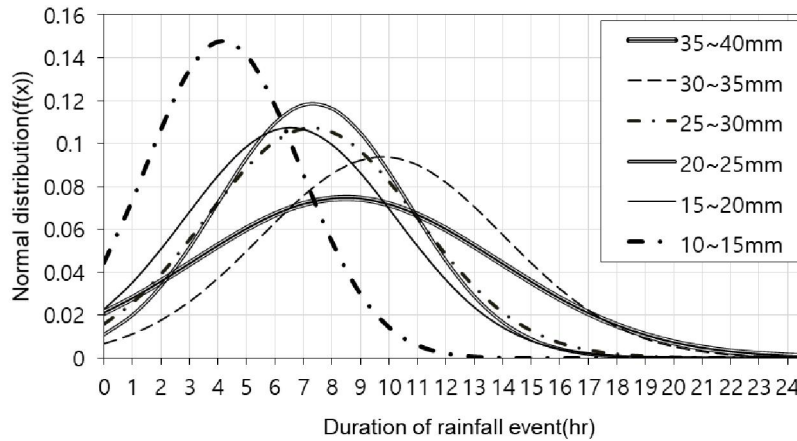


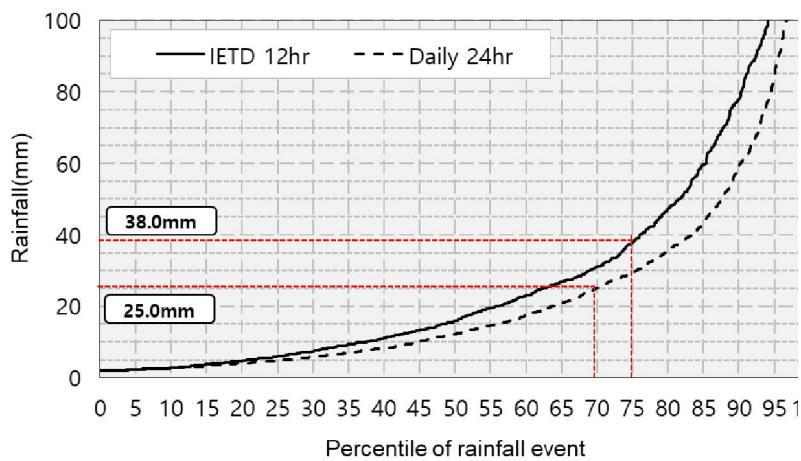
Fig. 7. Probability Density Function for duration of rainfall event

Table 6. Increase in runoff due to development

Year	Annual Rainfall (mm)	Annual Effective Rainfall (mm)	Pre-development Surface Runoff		After-development Surface Runoff		Increase in Runoff due to Development	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Average	1,577	1,349	434	26.4	838	52.1	405	25.7
2020	2,282	2,028	882	38.6	1408	61.7	526	23.1
2019	1,623	1,382	449	27.7	880	54.2	430	26.5
2018	1,779	1,526	459	25.8	970	54.5	511	28.7
2017	1,014	843	358	35.3	541	53.3	183	18.0
2016	1,760	1,517	414	23.5	917	52.1	503	28.6
⋮								
1995	1,006	807	190	18.9	452	45.0	262	26.0
1994	960	789	186	19.4	442	46.1	256	26.6
1993	1,615	1,348	384	23.8	801	49.6	417	25.8
1992	1,309	1,045	263	20.1	559	42.7	296	22.6
1991	2,167	1,949	887	40.9	1354	62.5	467	21.5

**Table 7.** Differences in rainwater management target according to IETD settings

Percentile	Rainfall Event (IETD 12hr)		Rainfall Event (Daily 24hr)	
	Rainfall Management Target (mm)	Cumulative Rainfall (mm)	Rainfall Management Target (mm)	Cumulative Rainfall (mm)
100 Percentile	493.6	1348.8	439.0	1554.7
95 Percentile	106.0	985.8	83.5	1137.1
90 Percentile	77.9	784.8	58.5	908.9
85 Percentile	59.5	635.4	43.8	742.9
80 Percentile	47.1	519.5	35.8	614.2
75 Percentile	<b>38.0</b>	<b>427.9</b>	29.3	507.4
70 Percentile	31.0	353.2	<b>25.0</b>	<b>417.1</b>
⋮				
25 Percentile	6.0	37.8	4.9	51.1
20 Percentile	4.7	26.2	4.0	36.5
15 Percentile	3.7	16.9	3.3	24.5
10 Percentile	2.7	10.0	2.6	14.9
5 Percentile	2.3	4.5	2.2	6.8



**Fig. 8.** Rainfall management target for each rainfall event

독립 강우사상에 비해 사상의 개수가 많고, 각 사상에 포함되는 강우량이 적기 때문에, 누적 강우깊이에 해당하는 백분위가 상이하게 분석되었다. 일단위 강우사상은 실제 강우의 시작과 끝을 하나의 사상으로 보는 것이 아닌 24 hr을 기준으로 구분하기 때문에, 독립 강우사상에 비해 실제 강우 현상을 반영하기에 한계가 있는 것으로 판단된다.

**4. 결 론**

도시화에 따른 불투수면적의 증가는 빗물이 지표하로의 침투를 차단하고, 표면유출을 증가시켜 물순환이 왜곡되는

원인으로 꼽히고 있다. 도시지역의 물순환 개선을 위해 환경부에서는 빗물관리 목표량을 설정하도록 권장하고 있는데, 10년 강우기간의 일단위 강우사상을 대상으로 목표량을 설정하도록 하고 있어 실제 강우특성을 반영하지 못할 것이라는 문제가 제기되고 있다.

본 연구에서는 30년 강우기간을 대상으로 IETD 선정을 통한 독립 강우사상으로 빗물관리 목표량을 설정하고자 하였다. 먼저, 부산광역시 10년, 20년, 30년 강우자료를 대상으로 AC 분석, CV 분석, NRE 분석을 통해 IETD를 선정하였다. CV 분석 방법은 표준편차 대비 평균의 변동계수를 이용하는 방법으로 국내 강우특성 상 홍수기에 대부분의 극한 강우사상이 집중되는 현상에 의해 CV가 1에 수렴하는 상황을 선정할 수 없어



IETD를 결정하지 못하였다. AC 분석은 평균 약 12 hr, NRE 분석은 평균 12hr로 IETD가 분석되었는데, 모집단의 표본 개수가 많아질수록 IETD가 증가하는 경향을 보이고 있어 30년 강우기간의 분석 결과에 해당하는 12 hr로 최종 설정하였다. 또한, IETD를 이용해 강우사상별 특성을 구분하였는데, 모집단의 표본 개수가 많아지거나, 강우량의 규모가 커질수록 강우사상의 지속시간이 길어지는 것으로 나타났다. 이는 충분한 표본으로 빗물관리 목표량을 설정하여야 실제에 부합하는 설계가 될 수 있음을 의미한다.

물순환 개선을 위한 빗물관리 목표량은 개발에 따른 유출 증가량을 처리하기 위한 목표로, 누적 강우깊이를 만족하는 강우사상의 백분위에 해당하는 강우량이 빗물관리 목표량이 된다. 기존의 일단위 강우사상으로 설정할 수 있는 빗물관리 목표량은 70백분위에 해당하는 25.0 mm인 것에 반해, 본 연구에서 설정한 IETD에 따라 독립 강우사상을 구분한 결과에 따르면 빗물관리 목표량은 75백분위에 해당하는 38.0 mm로 산정되었다.

물순환 개선을 위해 설정하는 빗물관리 목표량으로 빗물처리시설을 설치하게 되는데, 설계기준이 상이하게 되면 대상지가 과소 또는 과대 설계될 수 있어 강우 기준의 설정이 매우 중요하다고 판단된다. 대상지에 따라 상이하겠지만, 금번 연구의 결과와 같이 빗물관리 목표량이 상향 조정될 경우, 보다 많은 빗물처리시설이 필요하고, 적용되어야 할 것으로 판단된다.

기존의 빗물관리 목표량의 설정 취지는 개발 전후의 유출 증가량 저감을 통해 개발 이전의 물순환 상태로 회귀하고자 함이라 합리적인 접근 방식이나, 빗물관리 목표량을 설정하는 세부 설계강우기준에 대한 후속적인 연구 및 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구의 대상지는 부산지역의 신규개발지를 대상으로 분석하였기 때문에, 타지역은 강우 및 지형학적 특성에 따라 결과가 상이할 수 있어 타지역을 대상으로 후속적인 분석도 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Adams, B.J., and Papa, F. (2000). *Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models*, John Wiley Sons, NY, U.S.
- Han, D.G., Kim, D.H., Kim, J.W., Jung, J.W., Lee, J.J., and Kim, H.S. (2019). "Estimation of mega flood using mega rainfall scenario." *Journal of the Wetlands Research*, Vol. 21, No. S-1, pp. 90-97.
- Joo, J.G., Lee, J.H., Kim, J.H., Jun, H.D., and Jo, D.J. (2014). "Inter-event time definition setting procedure for urban drainage systems." *Water*, Vol. 6, No. 1, pp. 45-58.
- Kwon, J.H. (2003). "Rainfall analysis to estimate the amount of non-point source pollution." Ph. D. dissertation, Korea University, pp. 53-56.
- Lee, E.H., Yoo, D.G., and Kim, J.H. (2014). "Estimation of interevent time for management of non-point source pollutants." *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 15, No. 5, pp. 3159-3168.
- Lee, J.W., and Jung, G.H. (2017). "Estimation of interevent time definition using in urban areas." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 4, pp. 287-294.
- Ministry of Environment (ME) (2016). *Low impact development design guideline*, pp. 27-31.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2011). *Improvement and supplementation of probability rainfall*.
- Nix, S.J. (1994). *Urban stormwater modeling and simulation*. Lewis Publishers, FL, U.S.