

IETD결정방법을 통한 도심지역의 무강우시간 추정

Estimation of InterEvent Time Definition Using in Urban Areas

이진우* · 정건희**

Lee, Jinwoo*, and Chung, Gunhui**

Abstract

The first step in the design of hydraulic structures is to determine the design storm for runoff analysis. Accurate design storm estimations should be accompanied by reliable data collection and accurate frequency analysis procedures. In order to analyze the runoff of the urbanized watershed with high urbanization rate, the rainfall data are generally used and the continuous rainfall data should be separated into rainfall events using Inter-Event Time Definition (IETD). So far, many studies have been conducted to determine the estimation of inter-event time. This study uses rainfall data of 40 years from Seoul, Suwon and Busan branches using autocorrelation analysis, coefficient of variation analysis and annual average rainfall count analysis to calculate rainfall time according to each decision method. From the continuous rainfall data, rainfall data were used in the rainy season (May to October), and rainfall events were classified according to the IETD decision method.

Key words : Design of Hydraulic Structures, Autocorrelation Analysis, Coefficient of Variation Analysis, Annual Average Rainfall Count Analysis, IETD

요 지

수공구조물 설계의 첫 번째 단계는 유출해석을 위한 설계 강우량을 결정하는 것일 것이다. 정확한 설계 강우량 산정을 위해 신뢰도 높은 자료의 확보, 정확한 빈도해석 절차 준수 등이 수반되어야 한다. 도시화율이 높은 도시지역의 유출 해석을 위해서 일반적으로 시 강우자료를 사용하며, 연속적으로 측정된 시 강우자료를 강우사상간 시간정의(무강우시간, Interevent Time Definition, IETD)를 이용하여 강우사상으로 분리하여야 한다. 현재까지 많은 연구들이 무강우시간을 결정하는 방법에 대해 연구를 수행하였다. 본 연구는 IETD의 결정방법 중 자기상관분석, 변동계수분석, 연평균 강우발생개수분석을 이용하여 서울, 수원, 부산 지점의 40개년 시 강우자료를 이용하여 각 결정방법에 따른 무강우시간을 산정한다. 연속된 강우자료로부터 우기(5월~10월)시 강우자료를 사용하여 IETD결정방법에 따른 강우사상을 분리한 후, 각 지점 별 시 강우자료의 무강우시간에 대한 분석을 실시하였다.

핵심용어 : 설계강우량, 자기상관분석, 변동계수분석, 연평균 강우발생개수분석, IETD

1. 서 론

최근 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 기후변화에 따른 폭우가 반복되고 있다. 특히 인구가 밀집되고, 기반시설이 집중된 도시에서 홍수로 인한 피해가 빈발하고 있다. 최근의 홍수피해의 90% 이상이 도시지역에서 발생하고 있으며, 도시 침수 문제는 매우 심각한 실정이라고 할 수 있을 것이다. 홍수피

해 원인은 설계강우를 초과하는 집중호우로 분석되었으나 내수배제불량 등이 피해를 가중시켰다. 우리나라 경제의 급속한 발전에 따라 도시로의 인구집중이 발생하였고, 시가화가 급속히 진행되어 하천변 저지대에 주택이 밀집되어 도시내부의 수해가 다발하고 있다(Shim, 2006). 또한 재해 위험성이 있는 강우 발생 빈도가 증가하고 있으며 최근 홍수피해는 지역적 집중폭우에 의한 것으로 저지대 도시침수 등 침수취약

*정회원, 호서대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: wlsdn8592@nate.com)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Hoseo University

**교신저자, 정회원, 호서대학교 건축토목환경공학부 토목공학전공 조교수(Tel: +82-41-540-5794, Fax: +82-41-540-5798, E-mail: gunhuic@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hoseo University

지역에 대한 홍수피해저감 대책 및 강우분석이 필요하다. 강우 분석은 도시 배수 시스템의 설계와 해석뿐만 아니라 최근 도시화에 따른 여러 가지의 수문영향을 고려하는데 중요하다.

도시 지역의 배수시스템은 강우에 의해 큰 영향을 받기 때문에 수공구조물 설계 및 관리에 있어 신뢰성 있는 설계홍수량 산정은 매우 중요하다. 정확한 설계 강우량 산정을 위해 신뢰도 높은 자료의 확보, 정확한 빈도해석 절차 준수 등이 수반되어야 한다. 도시화율이 높은 도시유역의 유출해석을 위해서 일반적으로 시 강우자료를 사용하며, 연속적으로 측정된 시 강우자료를 강우사상간 시간정의(무강우시간, Intervent Time Definition, IETD)를 이용하여 독립강우사상을 추출하여야 한다. 연속된 강우량 자료로부터 강우사상을 구분하는 이유는 강우의 특성을 파악하여 강우가 유역에 미칠 영향을 예측하여 설계에 이용하려 함이다.

최근 기존 IETD 결정방법의 단점을 보완하고 국내에 적용하기 위해 새로운 IETD결정방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. Joo et al.(2005)은 도시유역의 유출특성을 고려한 IETD결정방법을 제시하는 등 도시지역에서의 IETD를 결정하기 위한 연구와 유역특성을 고려한 유역면적-IETD 간의 관계를 회귀식으로 산정한 연구 등 많은 연구사례가 있다. 기존 IETD 결정은 북미의 경우 IETD를 6시간 정도로 결정하는 것이 적당하다고 알려져 있으나, 국내의 경우 IETD를 결정하였을 때 일관성있는 값을 제시하지 못하고 있다(Adams and Papa, 2000). 따라서 한국의 각 기상청 지점에 맞는 무강우시간을 따로 산정할 필요가 있다.

본 연구에서는 최근 다수의 침수피해가 발생된 곳 중 서울, 수원, 부산 지점을 선정하였다. 각 지점별 관측소에서 관측된 시강우자료 40년치(1975년~ 2015년)자료 중 우기(5월~10월)를 사용하여 기존의 IETD 결정방법을 통해 무강우시간을 산정하고 비교 분석을 수행하였다.

2. 분석 방법

2.1 IETD

장기간의 연속된 시강우자료를 살펴보면 무강우기록들이 존재하며, 이는 연속적으로 또는 불연속적으로 강우기록이 있음을 의미한다. 이러한 연속적인 또는 불연속적인 강우기록으로부터 각각의 개별적인 강우사상을 분리하기 위해서는 각 강우사상의 시작과 끝을 구별할 수 있는 기준이 필요하다(Choi et al., 2010). IETD란 장기간의 강우자료로부터 각각의 강우사상을 분리하는 최소한의 무강우시간으로 정의될 수 있다. 즉, Fig 1과 같이 강우기록 사이의 무강우시간이 IETD보다 짧으면 무강우시간 전과 후의 두 개의 강우기록들은 하나의 강우사상으로 간주되며, 반대로 무강우시간이 IETD보다 길 경우 무강우시간 전과 후의 두 개의 강우기록들은 각각의 개별적인 강우사상이 된다(Kwon, 2003). 본 연구는 IETD를 결정하기 위해서 자기상관분석, 변동계수분

석, 연평균 강우발생개수분석 등이 제안되어 왔다.

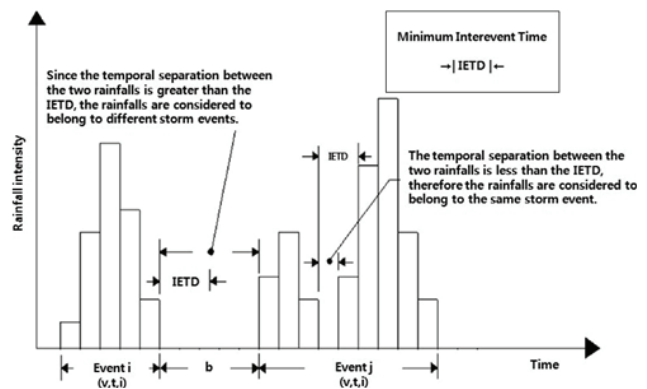


Fig. 1. Definition of IETD (Adams and Papa, 2000)

2.1.1 자기상관분석

자기상관분석은 강우사상간의 상관성을 통해 IETD를 결정하는 방법이다. 강우의 상관성이 0이 되는 지체시간을 IETD로 정의한다. 장기간의 연속강우를 각각의 독립된 강우사상으로 분리하기 위한 IETD를 산정하는 방법으로 강우시계열에서 강우사상 간에 상관성이 있다고 가정한다. 자기상관은 강우시계열의 강우사상 사이에 나타나는 상관성을 말하며 각각의 관찰시간(y_t) 사이의 시간 간격을 지체시간이라고 한다(Lee et al., 2004). 상관계수(R_k)를 Eq. (1)과 같이 표현된다.

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

여기서 \bar{y} 는 자료계열의 표본평균이고 k 는 지체시간을 나타낸다.

2.1.2 변동계수분석

변동계수 분석은 무강우시간들의 평균과 표준편차가 같아지는 시점, 즉 변동계수가 1이 되는 시점을 IETD로 정의한다. 강우시계열의 무강우시간들의 확률 밀도는 지수(Exponential)분포를 잘 따른다. 변동계수(Cv)는 자료의 표준편차를 평균으로 나눈 값을 의미하며, IETD를 1시간부터 늘려가면서 변동계수가 1이 되는 IETD를 찾아나가는 방법을 취하였다.

$$Cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

여기서 μ 는 모집단의 평균이고 σ 는 모집단의 표준편차를 나타낸다.

2.1.3 연평균 강우발생개수분석

연평균 강우발생개수분석은 무강우시간에 따른 각각의

강우발생개수를 구하면 무강우시간이 증가함에 관계없이 강우발생개수가 일정해지는 시점을 IETD로 정의한다(Adams and Papa, 2000).

3. 자료 구축

3.1 대상지역 및 자료 구축

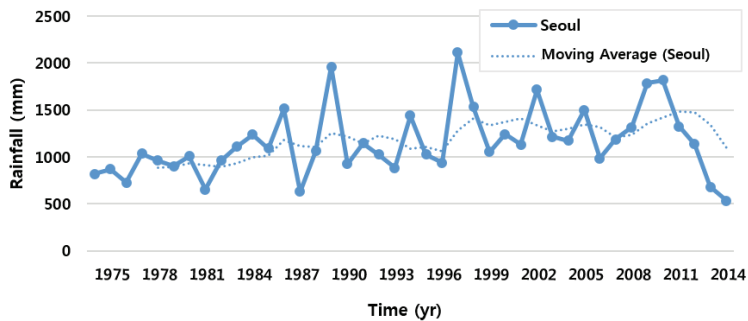
매년 피해가 반복되고 있는 도시 내 상습수해지구는 전국적으로 719개소이며(2003년 12월 기준), 이들 도시 내 상습수해지구의 피해원인은 내수침수가 524개소로 전체의 73%를 차지한다. 내수침수의 원인을 구체적으로 보면, 지형적인 저지대 문제, 배수능력 부족, 하천의 수위상승으로 인한 배수불량 등으로 해안보다는 하천에서 발생하는 피해가 대부분으로 나타났다(Shim, 2008). 본 연구에서는 최근 10년간 최대 6회의 침수피해가 발생된 곳 중 서울, 수원, 부산을 연구 대상 지점으로 선정하였다.

로 선정하였다.

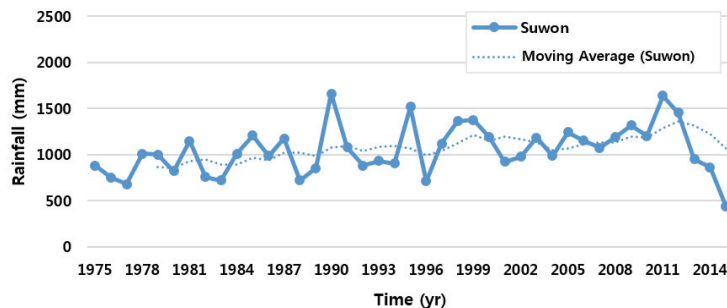
각 지점별 관측소에서 관측된 시강우자료 40개년(1975년부터 2015년)자료 중 우기(5월~10월)를 사용하여 IETD 결정방법을 통해 무강우시간을 산정하고 비교 분석을 수행하였다.

기상자료는 각 지점별 서울, 수원, 부산 관측소로 기상자료 개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>) 및 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS, <http://www.wamis.go.kr>)를 통해 자료를 구축하였다.

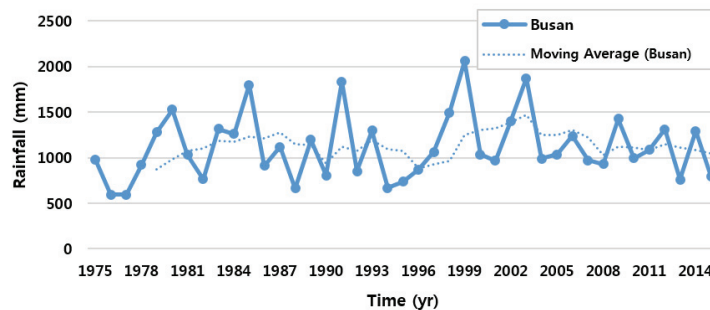
지점별 연평균 우기 강수량은 Fig 2와 같이 강수량의 변동폭이 매우 커서 증가추세는 뚜렷하지 않지만, 1975년을 기준으로 2000년까지 5개년단위 평균 강수량이 서울지점은 886 mm에서 1332 mm로, 수원지점은 858 mm에서 1152 mm로, 부산지점은 981 mm에서 1303 mm로 증가하였으며 2010년도 이후 다시 감소하는 추세이다.



(a) Seoul station



(b) Suwon station



(c) Busan station

Fig. 2. Average Precipitation in Observation Stations

4. 분석 및 결과

$$\bar{X} \pm 1.96 \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

4.1 자기상관분석 결과

자기상관분석은 강우사상간의 상관성을 통해 IETD를 결정하는 방법이다. 강우의 상관이 0이 되는 지체시간을 IETD로 정의한다. 장기간의 연속강우를 각각의 독립된 강우사상으로 분리하기 위한 IETD를 산정하는 방법으로 강우시계열에서 강우사상 간에 상관성이 있다고 가정한다. 자기상관은 강우시계열의 강우사상 사이에 나타나는 상관성을 말하며 각각의 관찰 시간 사이의 시간 간격을 지체시간이라고 한다(Lee et al., 2004).

강우사상 간의 상관성이 없어지는 시점, 즉 자기상관 계수가 정확히 0에 수렴하는 지체시간을 찾을 수 없으므로 95%의 신뢰구간 내에 포함되는 구간으로 범위를 한정하여 결정하였다. 신뢰구간 산정방법으로는 Eq. (3)에 의해 구할 수 있다.

여기서 \bar{X} 는 표본 평균, s 는 표준편차, n 은 표본의 크기이다. 앞서 언급된 분석방법을 이용하여 지체시간을 0시간부터 60시간으로 하였을 때 상관계수는 결과 Table 1과 같이 산정되었다. 앞서 언급한 정확히 0에 수렴하는 지체시간을 찾을 수 없으므로 95%의 신뢰구간 내에 포함되는 구간으로 범위를 한정하여 결정하였다. Fig. 3과 같이 상관계수가 각 지점별 신뢰구간에 해당되는 지체시간은 서울, 수원, 부산 모두 11시간으로 나타났다.

4.2 변동계수분석 결과

호우간 무강우시간이 지수분포를 따른다는 전제하에 변동계수가 1이 되는 것이 호우별 독립성을 유지하기 위한

Table 1. Autocorrelation Coefficient by Stations

Lag Time (hr)	Station			Lag Time (hr)	Station		
	Seoul	Suwon	Busan		Seoul	Suwon	Busan
0	1.000	1.000	1.000	31	0.019	0.011	0.007
1	0.548	0.558	0.601	32	0.020	0.008	0.004
2	0.358	0.363	0.405	33	0.022	0.004	0.002
3	0.267	0.277	0.316	34	0.019	0.005	0.002
4	0.217	0.233	0.261	35	0.018	0.005	0.000
5	0.194	0.190	0.216	36	0.016	0.005	0.003
6	0.158	0.168	0.187	37	0.021	0.008	0.000
7	0.141	0.141	0.150	38	0.021	0.009	-0.001
8	0.119	0.121	0.123	39	0.023	0.009	0.001
9	0.102	0.102	0.103	40	0.019	0.008	-0.001
10	0.088	0.087	0.088	41	0.015	0.011	-0.003
11	0.080	0.080	0.073	42	0.014	0.008	-0.002
12	0.075	0.072	0.063	43	0.015	0.005	0.002
13	0.064	0.066	0.054	44	0.018	0.004	0.004
14	0.057	0.063	0.046	45	0.019	0.004	0.007
15	0.057	0.056	0.042	46	0.015	0.003	0.005
16	0.053	0.054	0.038	47	0.018	0.002	0.004
17	0.046	0.053	0.038	48	0.014	0.004	0.004
18	0.040	0.047	0.034	49	0.016	0.008	0.004
19	0.039	0.044	0.034	50	0.016	0.011	0.003
20	0.037	0.041	0.035	51	0.015	0.013	0.004
21	0.036	0.039	0.031	52	0.011	0.011	0.004
22	0.034	0.036	0.021	53	0.011	0.013	0.002
23	0.036	0.040	0.015	54	0.014	0.012	0.002
24	0.038	0.039	0.014	55	0.014	0.007	0.004
25	0.037	0.030	0.013	56	0.012	0.005	0.005
26	0.034	0.025	0.013	57	0.009	0.004	0.002
27	0.028	0.020	0.011	58	0.008	0.004	0.001
28	0.027	0.017	0.012	59	0.008	0.003	0.000
29	0.024	0.017	0.013	60	0.008	0.007	-0.001
30	0.021	0.012	0.007				

필요조건이다. 무강우시간의 확률밀도함수는 지수 분포를 따른다고 가정하기 때문에 변동계수가 1이 되는 시점에서 IETD를 결정하였다(Lee et al., 2014). 서울, 수원, 부산 지점

의 분석 결과 Fig. 4와 같이 지수 분포에 따라 변동계수가 1이 되는 시점을 찾을 수 있다.

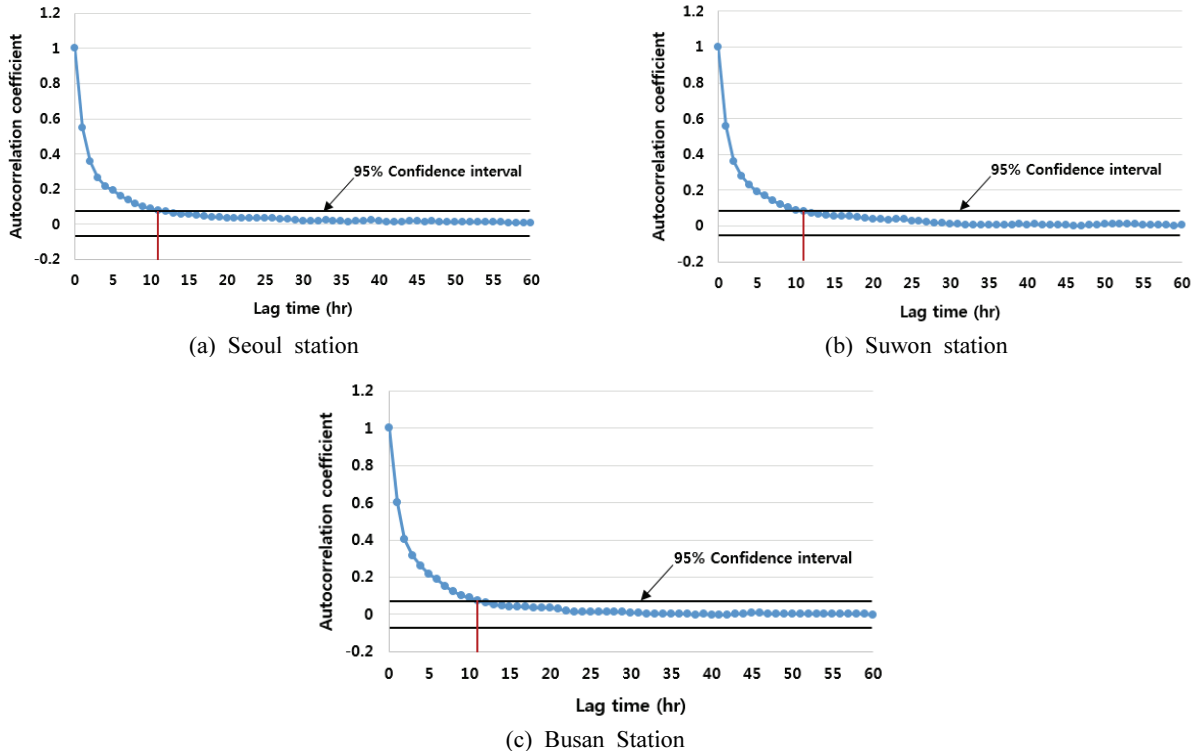


Fig. 3. Autocorrelation Analysis

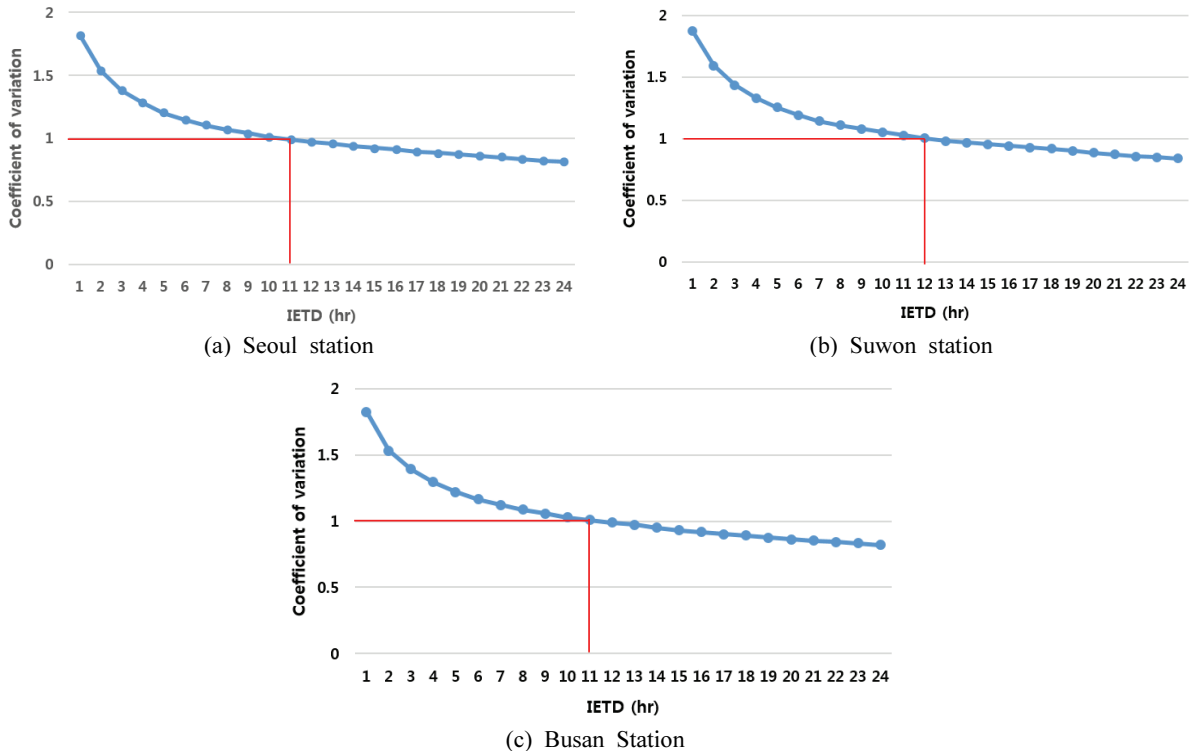


Fig. 4. Coefficient of Variation Analysis

지점별 변동계수 산정결과는 Table 2와 같이 IETD의 누적시간이 증가함에 따라 변동계수가 1에 가까운 시점은 서울 지점은 0.993, 수원 지점은 1.003, 부산 지점은 1.009으로 서울 지점과 부산 지점은 동일하게 누적시간이 약 11시간으로, 수원 지점은 약 12시간으로 산정되었다.

4.3 연평균 강우발생개수분석 결과

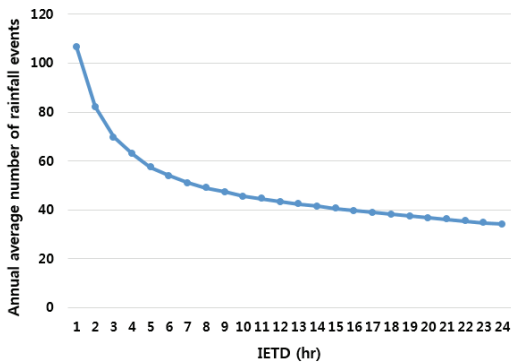
연평균 강우발생개수분석은 무강우지속시간을 증가시키

면서 강우발생개수를 분석하여 무강우지속시간의 증가와는 상관없이 일정한 강우사상의 개수를 가지는 시점에서 IETD를 결정하는 방법이다. Fig 5와 같이 연평균 강우발생개수분석에서 나온 결과를 보면 IETD가 1~7시간일 경우 지수함수의 형태로 감소하고 그 이후에는 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 정확히 수렴하는 값을 볼 수 없으므로 IETD를 정확히 결정하기 힘든 것으로 판단된다.

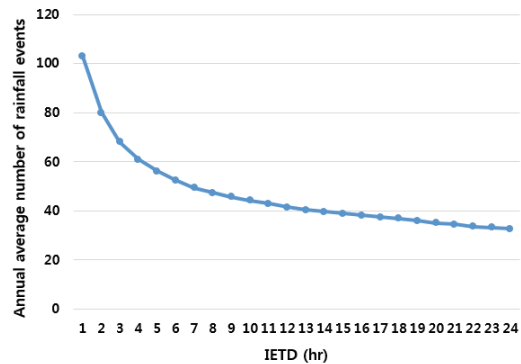
Table 3과 같이 IETD의 증가함에 따라 지점별 연평균

Table 2. Coefficient of Variation by Stations

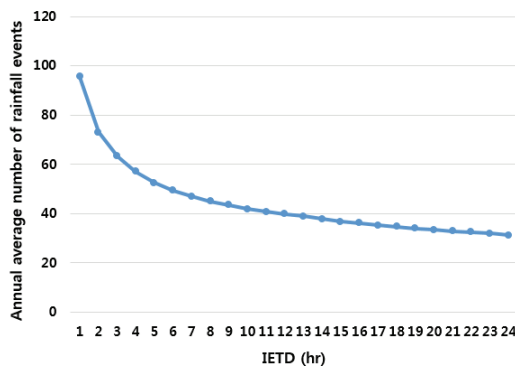
IETD (hr)	Station			IETD (hr)	Station		
	Seoul	Suwon	Busan		Seoul	Suwon	Busan
1	1.822	1.871	1.825	13	0.955	0.981	0.974
2	1.539	1.594	1.534	14	0.939	0.968	0.950
3	1.379	1.433	1.393	15	0.924	0.954	0.929
4	1.283	1.329	1.295	16	0.911	0.942	0.917
5	1.201	1.253	1.220	17	0.895	0.928	0.902
6	1.148	1.191	1.166	18	0.883	0.919	0.891
7	1.101	1.141	1.122	19	0.872	0.899	0.874
8	1.067	1.108	1.086	20	0.858	0.884	0.862
9	1.042	1.078	1.058	21	0.847	0.871	0.851
10	1.009	1.052	1.027	22	0.837	0.856	0.844
11	0.993	1.026	1.009	23	0.823	0.849	0.834
12	0.973	1.003	0.989	24	0.812	0.839	0.819



(a) Seoul station



(b) Suwon station



(c) Busan Station

Fig. 5. Annual Average Number of Rainfall Events Analysis

Table 3. Annual Average Number of Rainfall Events Analysis

IETD (hr)	Station			IETD (hr)	Station		
	Seoul	Suwon	Busan		Seoul	Suwon	Busan
1	107	103	96	13	42	40	39
2	82	80	73	14	41	40	38
3	70	68	63	15	41	39	37
4	63	61	57	16	40	38	36
5	57	56	53	17	39	38	35
6	54	52	49	18	38	37	35
7	51	49	47	19	38	36	34
8	49	47	45	20	37	35	33
9	47	46	43	21	36	34	33
10	45	44	42	22	35	34	32
11	45	43	41	23	35	33	32
12	43	42	40	24	34	33	31

강우발생개수가 변동되는 것을 볼 수 있다. 서울, 수원, 부산 지점 모두 IETD가 10~13시간부터는 1시간 전, 후 발생개수의 차이가 약 1~2개 정도로 선형적으로 감소하지만 정확한 수렴하는 시점을 결정하기 어려우며 이와 같은 방법의 경우 대상구역의 강우특성에 따라 그 결과가 달라지므로 국내의 경우 사용하기 어려울 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 강우의 특성을 파악하여 강우가 유역에 미칠 영향을 예측하여 설계에 이용하기 위해 최근 10년간 침수피해가 6회 이상 발생한 지역 중 서울, 수원, 부산을 대상 지점으로 선정하였다. 각 지점에서 관측된 40개년(1975년~2015년) 시 강우자료로부터 연속강우를 분리하기 위하여 실시한 자기상관분석, 변동계수분석, 연평균 강우발생개수분석을 이용하였다. 분석결과 자기상관분석으로는 자기상관 계수가 정확히 0에 수렴하는 지체시간을 찾을 수 없으므로 95%의 신뢰구간 내에 포함되는 구간으로 범위를 한정하여 결정하였다. 산정결과 서울, 수원, 부산 세 지점 모두 지체시간이 11시로 산정되었다. 변동계수분석 결과 서울 지점과 부산 지점은 동일하게 누적시간이 약 11시간으로, 수원 지점은 약 12시간으로 산정되었으며, 연평균 강우발생개수분석에서는 대상지역의 강우형태와 뚜렷한 수렴지점을 찾을 수 없으므로 IETD를 결정하는 방법으로는 사용하기 어려울 것으로 판단된다.

그러나 자기상관분석이나 연평균 강우발생개수분석을 이용할 경우에는 사용된 강우사상의 수나 기간에 따라 그 결과가 상이하게 나타나는 경우가 빈번히 발생한다(Joo et al., 2005). 그러므로 본 연구에서는 최신 강우자료까지를 모두 포함하여 기존 방법을 적용한 IETD를 결정하였다.

그 결과 최신 강우자료를 고려한 우리나라 주요지점의 IETD를 계산하였으며, 이는 최신 설계에 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 우리나라의 강우량 중 대부분이 여름철에 집중되어 있으므로 우기와 건기의 강우 패턴이나 무강우 시간이 달라질 것으로 보이나 이에 대한 분석이 미흡하므로 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공분야기초연구사업(NRF-2014R1A1A2056954)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Adams, B.J., and Papa, F. (2000) *Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Model*. John Wiley Sons, New York, USA.

Choi, C.H., Choi, D.G., Lee, J.K., Lee, J.K., and Kim, S.D. (2010) An Hybrid Approach for designing Detention and Infiltration-based Retentions to Promote Sound Urban Hydrologic Cycle. *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-8.

Joo, J.G., Jo, D.J., Lee, J.H., Park, M.J., and Kim, J.H. (2005) IETD Determination Methodology Considering Runoff Characteristics of Urban Watersheds. *2005 Conference of Korean Society of Civil Engineers*, pp. 165-168.

Kwon, J.H. (2003) *Rainfall Analysis to Estimate the Amount of Non-point Source Pollution*. Master's Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering,

Korea University.

- Lee, E.H., Yoo, C.S., Jo, D.J., and Kim, J.H. (2004) Estimation of Inter Event Time by Exponential decay Function. *2004 Conference of Korean Society of Civil Engineers*, pp. 4151-4156.
- 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.
- Shim, U.B. (2006) Urban Flood that Becomes Bigger! How Will You Respond? *Water for Future*, Korea Water Resources Association, Vol. 39, No. 9, p. 59.
- Shim, U.B. (2008) Characteristics of the Flood Damage in Korea and the Corresponding Task. *Water for Future*, Korea Water Resources Association, Vol. 41, No. 9, pp. 41-46.

Received ■ April 30, 2017

Revised ■ May 12, 2017

Accepted ■ May 17, 2017