

비점오염원 관리를 위한 독립호우 결정

이의훈¹, 유도근¹, 김종훈^{1*}
¹고려대학교 건축사회환경공학부

Estimation of Interevent Time for Management of Non-Point Source Pollutants

Lee. Eui Hoon¹, Yoo, Do Geun¹ and Kim Joong Hoon^{1*}

¹School of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, Korea University

요약 비점오염원 관리를 위한 독립호우의 결정은 월류수 처리시설의 설계에서 필수적이다. 비점오염원의 관리를 위해서는 총량을 결정해야만 하는데 이를 위해서는 결정된 독립호우에 의해 1회 평균강우량, 평균강우강도, 평균지속시간 등의 강우특성의 분석이 실시되어야만 한다. 독립호우의 결정은 무강우 지속시간의 산정(Interevent Time Definition, IETD)에 따라 분리할 수 있으며 이를 결정하기 위한 기존의 분석방법에는 자기상관 분석, 변동계수 분석, 연강우 평균발생횟수 분석 등이 있다. 본 연구에서는 기존의 IETD 분석방법에 따라 무강우시간을 산정한 후 방법별 문제점을 고찰하고 새로운 IETD 결정방법으로 지수함수 검정방법을 제안하였다. 또한, 검정방법을 통하여 결과값의 적절성을 검토하였다.

Abstract Interevent Time Definition(IETD) is essential in CSOs(Combined Sewer Overflows) tank design for the treatment of non-point source pollution. However, existent rainfall analysis can not calculate total amount of non-point source pollution. For deviding continuous rainfall events, there are several IETD calculating methods. In this research, After calculate IETD by existents methods, problem of results is identified as existents method. To supplement these problems, new method using exponential decay function is suggested. The confidence range of λ is estimated.

Key Words : Combined Sewer Overflows, Non-point Source Pollution, Interevent Time Definition

1. 서론

강우분석은 도시 배수 시스템의 설계와 해석 뿐만 아니라 도시화에 따른 여러 가지의 수문영향을 고려하는데 필수적이다. 또한, 강우분석 모형은 홍수 및 수질오염 등의 문제를 해결하는데 중요한 요소이다. 특히, 도시 지역의 배수시스템은 이송시설, 저류시설, 처리시설, 조절시설, 유지관리시설 등으로 구성되며 강우에 의해 큰 영향을 받는다. 도시 배수시스템의 한 요소인 저류시설의 경우 강우량 및 지속시간 등과 밀접한 관계가 있다.

효율적인 저류시설의 운영에 있어서 강우의 분리는 중요하며 이는 또한 비점오염원 관리를 위한 시설에 설

계에도 적용된다. 기존 연구에서의 강우의 분리를 위한 무강우시간 산정결과를 살펴보면 1992년 이동률 등은 1973년부터 1990년의 강우자료를 11시간의 무강우시간을 산정하였고 2003년 권재호는 1961년부터 2002년 자료를 바탕으로 10시간의 무강우시간을 산정하였다[1,2]. 최근 유역특성을 고려한 유역면적-IETD 간의 관계를 회귀식으로 산정한 연구 등의 도시지역에서의 IETD를 결정하기 위한 연구는 계속되어 왔다[3].

본 연구에서는 새로운 무강우시간 산정 기준인 지수함수 검정방법에 의해 강우사상의 독립성구분을 위한 분석을 수행하였다.

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Kim, Joong Hoon(Korea Univ.)

Tel: +82-2-3290-3316 email: jaykim@korea.ac.kr

Received April 21, 2014

Revised (1st May 2, 2014, 2nd May 7, 2014)

Accepted May 8, 2014

2. 무강우시간 결정방법

2.1 자기상관 분석

자기상관 분석은 강우사상간의 상관성을 통해 IETD를 결정하는 방법이다. 강우의 상관이 0이 되는 지체시간을 IETD로 결정한다. 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. 시계열의 자기상관 계수는 Eq. (1)과 같은 식으로 표현된다[4].

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

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

2.2 변동계수 분석

변동계수 분석은 무강우시간들의 평균과 표준편차가 같아지는 시점, 즉 변동계수가 1이 되는 시점에서 IETD를 산정한다. 강우시계열의 무강우시간들의 확률 밀도는 지수(Exponential) 분포를 잘 따른다.[4] 따라서 무강우시간들의 표본평균과 표준편차가 같아지는 시점, 즉 변동계수가 1이 되는 시점에서 IETD를 결정할 수 있다. 호우간의 지수적인 성질을 이용하여 독립호우간 최소무강우시간이 다음과 같을 때 호우별 독립성을 유지하기 위한 필요조건이다[4].

2.3 연강우 평균발생개수 분석

연강우 강우발생개수 분석은 무강우시간에 따른 각각의 강우발생개수를 구하면 무강우시간이 증가함에 관계없이 강우발생개수가 일정해지는 시점에서 적정 IETD를 결정하는 방법이다. 즉, 무강우지속시간이 증가하더라도 이와 관계없이 강우의 분리가 일정하게 이루어지는 시점에서 적정 IETD를 결정하는 방법이다[4-6].

3. 회귀식을 통한 지수함수 검정방법

강우 시자료를 무강우시간을 1시간부터 24시간까지로 가정하여 각각의 강우사상의 개수를 확률밀도함수(PDF, Probability Density Function)로 도식한 후 이의 신뢰구간(신뢰도 95%)을 선정한 후 이를 지수함수와 비교하여 타당한 IETD를 결정하는 방법이다. 이를 통하여 적정 IETD를 결정할 수 있으며 지수함수의 λ 값으로써 결정 가능한 IETD 구간을 도식한다. 지수분포는 아래의 Eq. (2)와 같다.

$$f_x(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0 \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{1}{\mu_x} = \frac{1}{\sigma_x}$$

여기서, μ_x 와 σ_x 는 각각 모집단 확률 밀도 함수의 평균과 표준편차를 의미한다. 표본 집단이 모집단의 특성을 충분히 반영할 수 있다고 하였으므로 μ_x 와 σ_x 는 다음의 Eq. (3)과 같이 계산될 수 있다.

$$\hat{\mu}_x = \mu_x, \quad \hat{\sigma}_x = \sigma_x \quad (3)$$

강우사상이 지수분포를 따르는 경우, $2T/IETD$ 는 자유도가 $2n$ 인 χ^2 분포를 따른다. 아래의 Eq. (4), Eq. (5)에서 T 는 전체시간이다. λ 에 대한 구간추정에 이용한다.

$$P_r \left\{ \chi^2(2n; 1 - \frac{\alpha}{2}) < \frac{2T}{IETD} < \chi^2(2n; \frac{\alpha}{2}) \right\} = 1 - \alpha \quad (4)$$

$$P_r \left\{ \frac{2T}{\chi^2(2n; \frac{\alpha}{2})} < IETD < \frac{2T}{\chi^2(2n; 1 - \frac{\alpha}{2})} \right\} = 1 - \alpha \quad (5)$$

즉, 다음의 Eq. (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{\mu}_x = \mu_x, \quad \hat{\sigma}_x = \sigma_x \quad (6)$$

따라서, IETD의 100(1-a)% 신뢰구간은 다음의 Eq. (7)과 같다.

$$\left\{ \frac{2T}{\chi^2(2n; \frac{\alpha}{2})}, \frac{2T}{\chi^2(2n; 1 - \frac{\alpha}{2})} \right\} \quad (7)$$

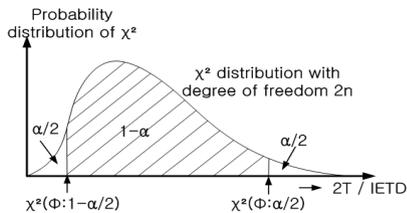
$$IETD_L < IETD < IETD_U, \quad IETD = \frac{1}{\lambda} \quad (8)$$

$$IETD_L < \frac{1}{\lambda} < IETD_U \quad (9)$$

$$\therefore 1/IETD_U (= \lambda_L) < \lambda < 1/IETD_L (= \lambda_U) \quad (10)$$

위와 같은 방법에 의해 IETD의 신뢰구간 및 λ 의 신뢰구간을 추정할 수 있다.

다음 Fig. 2에 2T/IETD의 분포와 이를 통한 IETD의 신뢰구간 추정은 다음의 Fig. 1과 같다.



[Fig. 1] Distribution of 2T/IETD

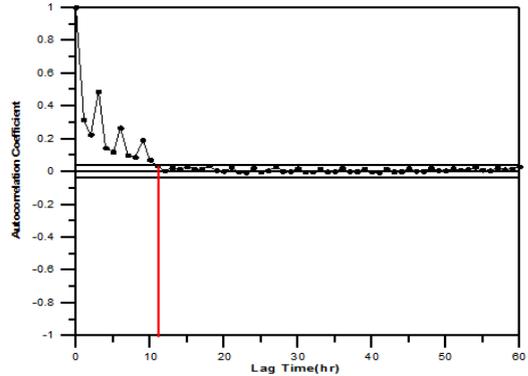
4. 강우특성 분석

4.1 서울지역의 강우사상 특성

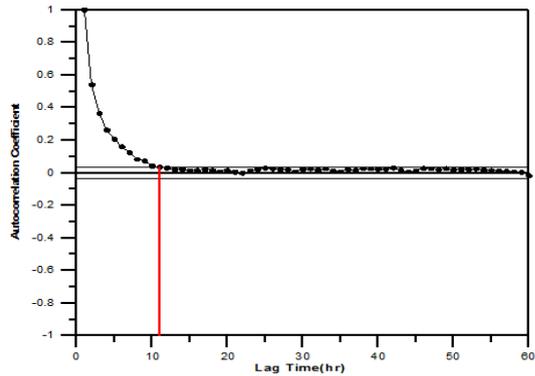
본 연구에서는 서울지역의 42개년 시강우자료를 이용하여 IETD를 산정하였다. 장기간의 연속강우를 각각의 독립된 강우사상으로 분리하기 위한 IETD 결정방법은 자기상관 분석, 변동계수 분석, 연평균 강우발생개수 분석 등이 있다. IETD의 결정은 도시 지역의 표준강우사상을 분석하는데 있어서 중요하며 본 연구에서는 서울지역의 합리적인 IETD를 산정하기 위해 기존 IETD 산정방법의 문제점을 파악하고 이를 보완하기 위한 새로운 방법인 회귀식을 통한 지수함수 검정방법을 제안하고자 한다.

4.2 자기상관 분석결과

우기시와 건기시의 강우자료를 이용하여 IETD 산정 방법 중 하나인 자기상관 분석을 실시한 결과는 다음의 Fig. 2, Fig. 3과 같다.



[Fig. 2] Autocorrelation analysis in dry season



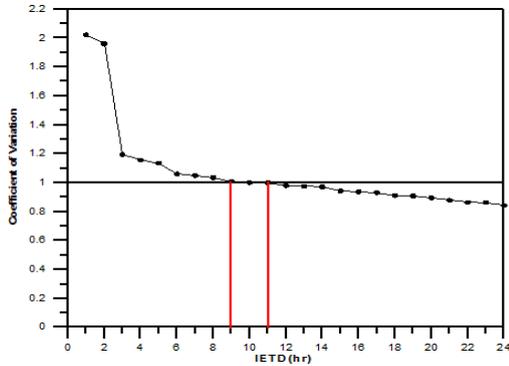
[Fig. 3] Autocorrelation analysis in wet season

자기상관 분석의 결과를 보면 우기시 자료와 건기시 자료를 이용한 IETD 산정결과는 거의 차이가 나지 않는다. 다만 강우사상 간의 상관성이 없어지는 시점, 즉 자기상관 계수가 정확히 0으로 수렴하는 지체시간을 찾을 수 없으므로 95%의 신뢰구간 내에 포함되는 구간으로 범위를 한정하여 결정하였다. 이 때, 강우의 상관성이 없어지는 시점은 지체시간이 11시간일 때이다.

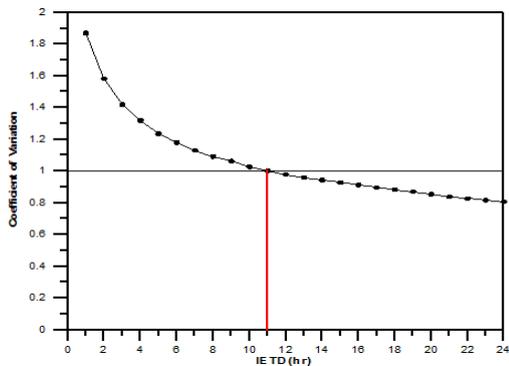
4.3 변동계수 분석결과

Restrepo와 Eagleson에 의하면 호우간 무강우시간이 지수분포를 따른다는 전제하에 변동계수가 1이 되는 것이 호우별 독립성을 유지하기 위한 필요조건이라고 하였

다. 무강우시간의 확률밀도함수는 지수 분포를 따른다고 가정하기 때문에 변동계수가 1이 되는 시점에서 IETD를 결정하였다[7].



[Fig. 4] Coefficient of variation analysis in dry season



[Fig. 5] Coefficient of variation analysis in wet season

[Table 1] Coefficient of variation analysis in dry season

IETD	Coefficient of variance	IETD	Coefficient of variance
1	2.02	13	0.98
2	1.96	14	0.97
3	1.20	15	0.94
4	1.13	16	0.94
5	1.06	17	0.93
6	1.05	18	0.91
7	1.04	19	0.91
8	1.01	20	0.90
9	1.00	21	0.88
10	1.00	22	0.86
11	1.00	23	0.86
12	0.98	24	0.84

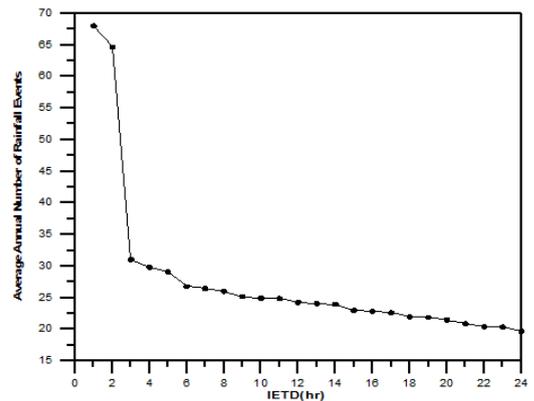
[Table 2] Coefficient of variation analysis in wet season

IETD	Coefficient of variance	IETD	Coefficient of variance
1	1.87	13	0.96
2	1.58	14	0.94
3	1.42	15	0.93
4	1.32	16	0.91
5	1.23	17	0.90
6	1.18	18	0.88
7	1.13	19	0.87
8	1.09	20	0.85
9	1.06	21	0.84
10	1.03	22	0.83
11	1.00	23	0.82
12	0.98	24	0.81

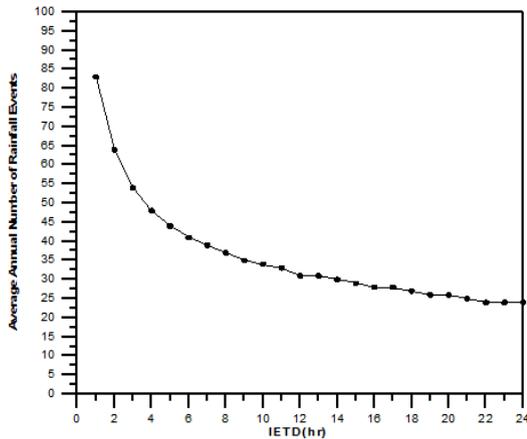
변동계수 분석결과, IETD는 건기시 약 9~11시간, 우기시 약 11시간으로 결정되는 것을 볼 수 있다.

4.4 연강우 평균발생개수 분석결과

연강우 평균발생개수 분석은 무강우지속시간을 증가시키면서 강우발생개수를 분석하여 무강우지속시간의 증가와는 관계없이 일정한 강우사상의 개수를 가지는 시점에서 IETD를 결정하는 방법이다. 건기시, 우기시 강우자료를 분리하여 연강우 평균발생개수 분석을 실시하였다.



[Fig. 6] Annual average number of rainfall events analysis in dry season



[Fig. 7] Annual average number of rainfall events analysis in wet season

위의 Table 3과 Table 4의 결과를 통해 연강우 평균발생개수 분석결과를 보면 차이는 있으나 건기시와 우기시 모두 정확한 IETD를 결정할 수 없었다. 이는 국내의 강우형태와 외국의 강우형태가 다르기 때문에 연강우 평균 발생개수 분석을 적용하기 힘든 것으로 판단된다.

[Table 3] Annual average number of rainfall events in dry season

IETD	Annual average number of rainfall events	IETD	Annual average number of rainfall events
1	68	13	24
2	65	14	24
3	31	15	24
4	30	16	23
5	29	17	23
6	27	18	22
7	26	19	22
8	26	20	21
9	25	21	21
10	25	22	20
11	25	23	20
12	24	24	20

[Table 4] Annual average number of rainfall events in wet season

IETD	Annual average number of rainfall events	IETD	Annual average number of rainfall events
1	83	13	31
2	64	14	30
3	54	15	29
4	48	16	28
5	44	17	28
6	41	18	27
7	39	19	26
8	37	20	26
9	35	21	25
10	34	22	24
11	33	23	24
12	31	24	24

5. IETD의 신뢰구간 결정

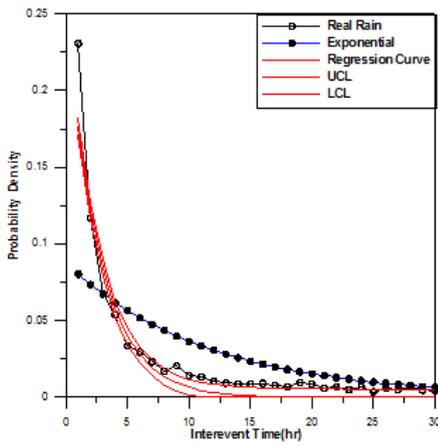
연강우 평균발생개수 분석에서 나온 결과를 보면 IETD가 1~8시간일 경우는 지수함수의 형태로 감소하고 그 이후에는 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 정확히 수렴하는 값을 볼 수 없으므로 IETD를 정확히 결정할 수 없다. 이 방법의 경우 대상지역의 강우특성에 따라 그 결과가 달라지므로 국내의 경우 사용하기 힘들다. 위의 세 가지 방법을 통한 결과를 보면, 우기시 자기상관 분석, 변동계수 분석에서는 IETD가 약 11시간에서 결정되는 것을 볼 수 있다. 하지만 연강우 평균 발생개수 분석의 경우, 강우사상의 개수가 정확히 수렴하는 형태를 띠지 않았으므로 IETD를 결정할 수 없었다.

이에 새로운 IETD 산정방법으로 실강우의 무강우시 간별 강우사상개수에 따른 PDF의 회귀식을 지수함수와 비교하여 결정하는 지수함수 검정방법, χ^2 검정에 따라 IETD의 신뢰구간을 정하는 χ^2 검정방법을 이용하여 최종적으로 IETD를 결정하였다.

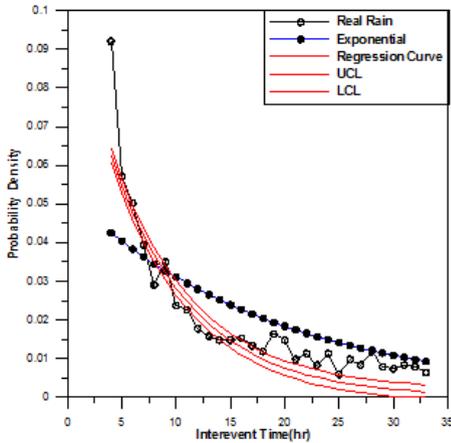
5.1 지수함수 검정방법의 분석결과

무강우시간별 강우사상의 PDF와 회귀식을 구하고 그에 따른 신뢰구간을 결정하여 지수분포와 비교하였다. 위의 변동계수 분석에서 가정한 것과 같이 강우사상이 지수분포를 따른다고 가정하고 회귀식의 신뢰구간 안으로 지수분포가 들어오는 경우, 이를 IETD로 결정하는 방법이다.

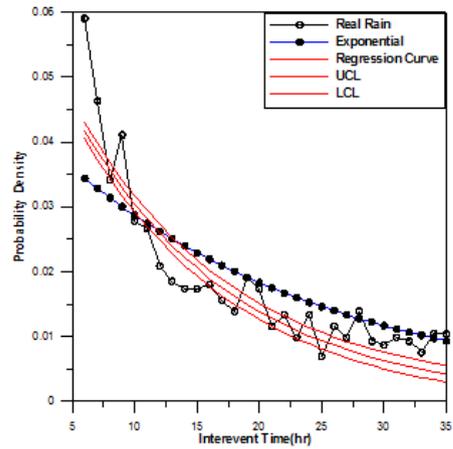
신뢰구간은 95%의 신뢰수준으로 결정하였으며, 무강우시간에 따른 결과는 다음의 Fig. 8에 나타내었다.



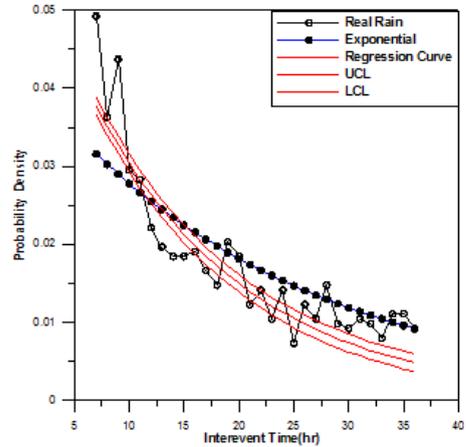
[Fig. 8] Exponential decay function(IETD=1hr)



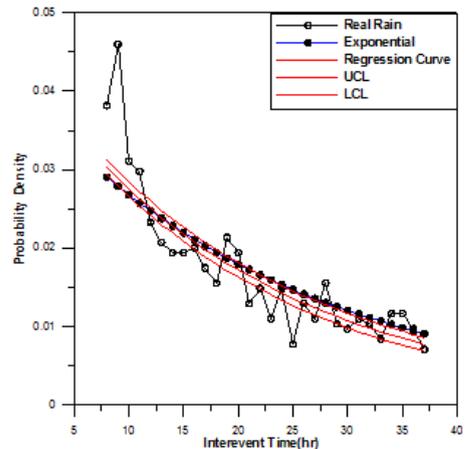
[Fig. 9] Exponential decay function(IETD=4hr)



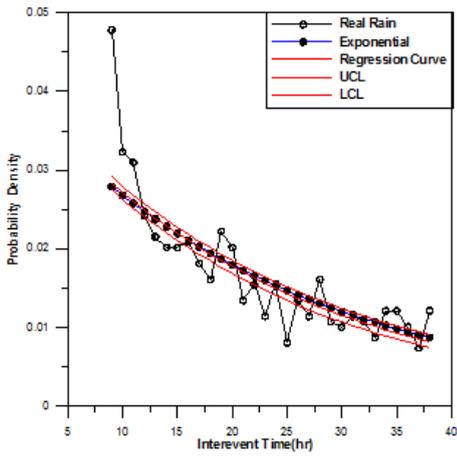
[Fig. 10] Exponential decay function(IETD=6hr)



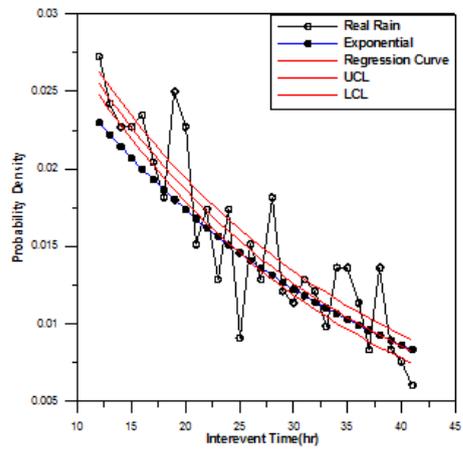
[Fig. 11] Exponential decay function(IETD=7hr)



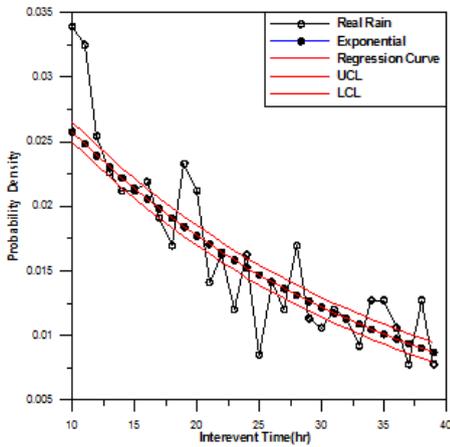
[Fig. 12] Exponential decay function(IETD=8hr)



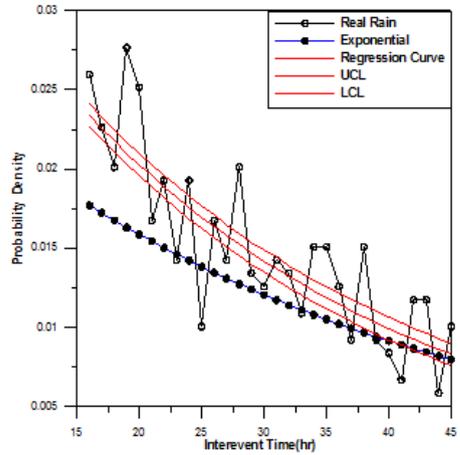
[Fig. 13] Exponential decay function(IETD=9hr)



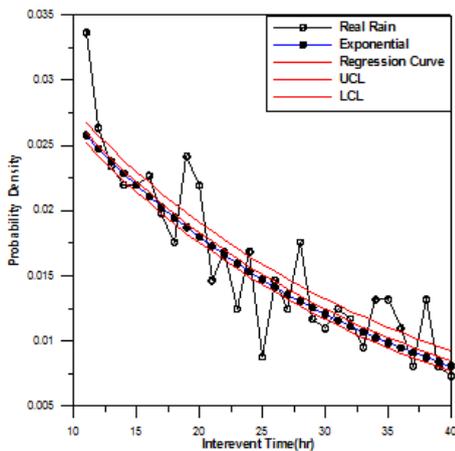
[Fig. 16] Exponential decay function(IETD=12hr)



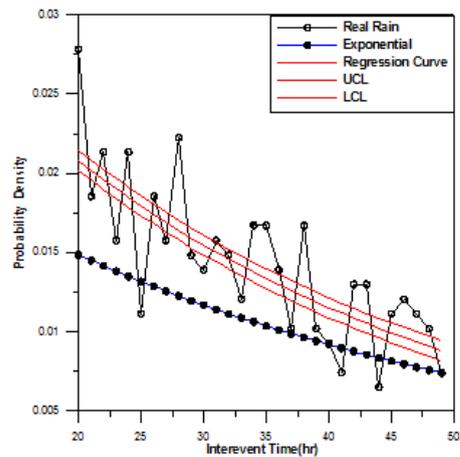
[Fig. 14] Exponential decay function(IETD=10hr)



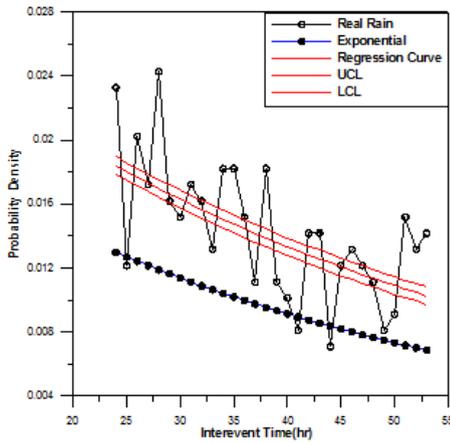
[Fig. 17] Exponential decay function(IETD=16hr)



[Fig. 15] Exponential decay function(IETD=11hr)



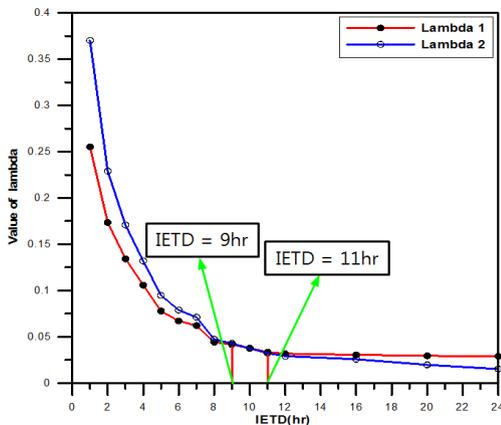
[Fig. 18] Exponential decay function(IETD=20hr)



[Fig. 19] Exponential decay function(IETD=24hr)

강우의 회귀식과 강우분석을 통해 산정한 매개변수를 이용하여 구한 지수함수를 비교함으로써 결정 가능한 IETD의 구간을 볼 수 있다. 무강우시간이 9~11시간일 때 회귀식의 신뢰구간으로 지수함수가 들어오는 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 신뢰가능한 IETD는 9~11시간이다. 지수형태의 회귀식에서의 매개변수 λ_1, λ_2 는 다음 Eq. (11)과 같다.

$$f(x) = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} \quad (11)$$



[Fig. 20] Comparison of λ in regression curve

Fig. 21에서 보면 처음에는 λ_1 이 λ_2 보다 작지만 IETD가 증가함에 따라 λ_1 의 감소폭이 λ_2 의 감소폭보다 작으므로 점점 근접해가는 것을 볼 수 있다. IETD

9~11시간일 때, λ_1, λ_2 가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 때, 지수함수의 λ 값은 약 0.0375에서 결정되므로 IETD를 이용한 λ 의 신뢰구간을 추정하기 위해 우선 신뢰수준 95%의 $IETD_L$ 와 $IETD_U$ 를 산정하였다.

Eq. (4)에서부터 Eq. (10)까지의 과정을 따라 계산하면 $IETD_L$ 는 24.390이고 $IETD_U$ 는 35.714이었다. 이를 이용하여 λ 의 상한치와 하한치를 구하면 상한치 λ_U 는 0.041, 하한치 λ_L 은 0.028이 된다. 계산결과에 따라 결정된 λ 의 신뢰구간과 지수함수 검정방법에 의한 산정결과는 아래의 Table 8과 같다.

[Table 5] Comparison of regression and exponential distribution function

IETD	Regression function	Exponential distribution function	
1	$f(x) = 0.2553e^{-0.3703x}$	$f(x) = 0.0875e^{-0.0875x}$	
2	$f(x) = 0.1735e^{-0.2290x}$	$f(x) = 0.0675e^{-0.0675x}$	
3	$f(x) = 0.1342e^{-0.1707x}$	$f(x) = 0.0575e^{-0.0575x}$	
4	$f(x) = 0.1058e^{-0.1318x}$	$f(x) = 0.0525e^{-0.0525x}$	
5	$f(x) = 0.0777e^{-0.0947x}$	$f(x) = 0.0475e^{-0.0475x}$	
6	$f(x) = 0.0670e^{-0.0788x}$	$f(x) = 0.0450e^{-0.0450x}$	
7	$f(x) = 0.0620e^{-0.0711x}$	$f(x) = 0.0425e^{-0.0425x}$	
8	$f(x) = 0.0442e^{-0.0472x}$	$f(x) = 0.0400e^{-0.0400x}$	$IETD_L$
9	$f(x) = 0.0416e^{-0.0427x}$	$f(x) = 0.0400e^{-0.0400x}$	Poss-ble area in regression curve
10	$f(x) = 0.0377e^{-0.0382x}$	$f(x) = 0.0375e^{-0.0375x}$	
11	$f(x) = 0.0354e^{-0.0343x}$	$f(x) = 0.0375e^{-0.0375x}$	
12	$f(x) = 0.0317e^{-0.0290x}$	$f(x) = 0.0350e^{-0.0350x}$	
13	$f(x) = 0.0313e^{-0.0282x}$	$f(x) = 0.0325e^{-0.0325x}$	
14	$f(x) = 0.0310e^{-0.0274x}$	$f(x) = 0.0325e^{-0.0325x}$	
15	$f(x) = 0.0307e^{-0.0265x}$	$f(x) = 0.0300e^{-0.0300x}$	$IETD_U$
16	$f(x) = 0.0304e^{-0.0257x}$	$f(x) = 0.0275e^{-0.0275x}$	
20	$f(x) = 0.0294e^{-0.0196x}$	$f(x) = 0.0240e^{-0.0240x}$	
24	$f(x) = 0.0288e^{-0.0151x}$	$f(x) = 0.0220e^{-0.0220x}$	

5.2 χ^2 검정방법 분석결과

χ^2 검정은 관측된 수문자료 계열의 확률변량 분포가 어떤 형의 이론확률분포에 적합한가를 판단하기 위한 검정 방법으로, 적합한 확률분포가 선택되거나 가정되고 그의 매개변수가 수문자료 계열로부터 추정되므로 매개변수 방법(Parametric method)이다.

본 논문에서 사용한 χ^2 검정방법은 지수함수 검정방법과 마찬가지로 강우사상의 PDF의 적합도 여부를 판단하는 방법이다.

위의 Table 6의 결과에서 보듯이 χ^2 검정 결과에서 유의수준 1%일 때는 10시간, 유의수준 5%, 10%일 때는 11시간부터 통과하는 것을 볼 수 있다.

기존의 자기상관 분석, 변동계수 분석, 연강우 평균발생개수 분석을 통하여 건기시, 우기시 자료의 IETD에 관한 분석을 실시하였다. 건기시, 우기시 자료를 분석한 결과 약간의 차이는 있었으나 IETD를 결정함에 있어서 큰 차이가 없고 일반적으로 월류수에 의한 수질오염은 우기시에 발생하므로 우기시 자료만을 가지고 분석하여도 무방하다고 판단하였다.

위의 세 가지 방법 중 연강우 평균발생개수의 경우 일정하게 수렴하는 값을 찾을 수 없었으며 이에 새로운 IETD 산정방법인 지수함수 검정방법, χ^2 검정방법 등을 이용하여 신뢰할 수 있는 IETD의 범위를 결정하였다. 각 방법들을 이용하여 산정한 결과를 바탕으로 하여 IETD를 11시간으로 결정하였다.

[Table 6] Results of χ^2 test according to IETD

IETD	significance level 1%	significance level 5%	significance level 10%
1	N.G.	N.G.	N.G.
2	N.G.	N.G.	N.G.
3	N.G.	N.G.	N.G.
4	N.G.	N.G.	N.G.
5	N.G.	N.G.	N.G.
6	N.G.	N.G.	N.G.
7	N.G.	N.G.	N.G.
8	N.G.	N.G.	N.G.
9	N.G.	N.G.	N.G.
10	O.K.	N.G.	N.G.
11	O.K.	O.K.	O.K.
12	O.K.	O.K.	O.K.
13	O.K.	O.K.	O.K.
14	O.K.	O.K.	O.K.
15	O.K.	O.K.	O.K.
16	O.K.	O.K.	O.K.
17	O.K.	O.K.	O.K.
18	O.K.	O.K.	O.K.
19	O.K.	O.K.	O.K.
20	O.K.	O.K.	O.K.
21	O.K.	O.K.	O.K.
22	O.K.	O.K.	O.K.
23	O.K.	O.K.	O.K.
24	O.K.	O.K.	O.K.

5.3 표준강우사상의 강우특성

앞의 3.2.2절에서 서울지역 42개년(1961년 ~ 2002년) 강우자료의 표준강우사상으로 분리하기 위해 산정한 IETD는 11시간이었다. 이를 통해 표준강우사상의 강우특성값과 확률밀도함수의 적용을 위한 매개변수를 산정하게 된다.

[Table 7] Parameter estimation in probability density function

Volume (mm)	Duration (hr)	Intensity (mm/hr)	Annual number of rainfall events
30.172	15.253	1.978	32

6. 결 론

도시배수시스템에서는 초기유출수(first flush)에 의한 하천오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이는 강우발생시 강우에 의해 도시지역의 비점오염원들에 의해서 오염물이 하수관거로 유입되고 한정된 하수처리장의 용량으로는 제대로 처리하지 못하는 월류수에 의해 하천의 수질이 악화되기 때문이다. 본 연구에서는 해석적 확률모형을 적용하여 서울시 강우자료를 분석, 강우특성을

산정하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

서울관측소에서 측정된 42개년 자료(1961년~2002년)를 표준강우사상으로 분리하기 위해 자기상관계수 분석, 변동계수 분석, 연강우 평균발생개수 분석을 실시하였다. 강우사상이 지수분포를 따른다는 가정을 바탕으로 IETD를 결정하였다. 강우자료의 기간이 1961년부터 1987년까지는 우기시(6월~9월), 1988년부터는 전기간치 자료로 되어 있었고 분석의 일관성을 고려하기 위해 건·우기시 자료를 분리하여 무강우시간을 분석한 결과 큰 차이를 보이지 않았다. 연강우 평균발생개수 분석의 경우, 분석 결과가 IETD 산정에 무리가 있어 이를 보완하기 위해 지수함수 검정방법, χ^2 검정방법 등을 이용하여 결정된 IETD는 11시간이었다. 결정된 IETD를 통해 산정된 연평균 강우사상의 횟수는 32회이고 강우사상당 평균강우량은 30.172mm, 지속시간은 15.253시간이었다.

차후 연구과제로서는 χ^2 검정방법을 이용하여 IETD를 산정함에 있어서 계급구간을 나누는 기준을 재설정한 후 산정방법에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] D. R. Lee, S. M. Jung, "A Spatial-Temporal Characteristics of Rainfall in the Han River Basin", Vol. 25, No. 4, pp. 75-85, 1992
- [2] J. H. Kwon, M. J. Park, J. H. Kim, "Rainfall Analysis to Estimate the Amount of Non-point Source Pollution", Korea Water Resources Association Annual Conference
- [3] J. Joo, J. Lee, J. H. Kim, H. Jun, D. Jo, "Inter-Event Time Definition Setting Procedure for Urban Drainage Systems", *Water*, Vol. 6, pp.45-58; doi:10.3390/w6010045
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w6010045>
- [4] B. J. Adams, F. Papa, "Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models", John Wiley Sons : New York, NY, USA, 2000.
- [5] J. P. Heaney, W. C. Huber, M. A. Medina, M. P. Murphy, S. J. Nix, S. M. Hasan, "Nationwide Assessment of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharges", Volume II, Cost Assessment and Impacts, U.S. Environment Protection Agency, Cincinnati, OH, USA, 1977.
- [6] S. J. Nix, "Urban Stormwater Modeling and Simulation",

Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, 1994.

- [7] P. J. Restrepo-Posada, P. S. Eagleson, "Identification of independent rainstorms",

이 의 훈(Lee Eui Hoon)

[정회원]



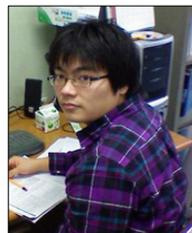
- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과(공학사)
- 2005년 2월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과 수자원공학(공학석사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학전공 박사과정

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학

유 도 근(Yoo Do Guen)

[정회원]



- 2007년 2월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과(공학사)
- 2009년 2월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학(공학석사)
- 2013년 2월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학(공학박사)

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학

김 중 훈(Kim Joong Hoon)

[정회원]



- 1984년 2월 : 고려대학교 토목공학과(공학사)
- 1986년 12월 : Virginia Polytechnic Institute & State Univ. (공학석사)
- 1992년 2월 : Univ. of Texas at Austin(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학