



기후변화에 따른 하수관거시설의 계획우수량 산정을 위한 일반극치분포 분석 Analysis of Generalized Extreme Value Distribution to Estimate Storm Sewer Capacity Under Climate Change

이학표² · 류재나² · 유순유² · 박규홍^{1*}

Lee, Hak-Pyo² · Ryu, Jae-Na² · Yu, Soon-Yu² · Park, Kyoo-Hong^{1*}

1 중앙대학교 사회기반시스템공학부, 2 하수관거 관리기술연구단

(2012년 2월 8일 접수; 2012년 4월 13일 수정; 2012년 4월 14일 채택)

Abstract

In this study, statistical analysis under both stationary and non-stationary climate was conducted for rainfall data measured in Seoul. Generalised Extreme Value (GEV) distribution and Gumbel distribution were used for the analysis. Rainfall changes under the non-stationary climate were estimated by applying time variable (t) to location parameter (ξ). Rainfall depths calculated in non-stationary climate increased by 1.1 to 6.2mm and 1.0 to 4.6mm for the GEV distribution and gumbel distribution respectively from those stationary forms. Changes in annual maximum rainfall were estimated with rate of change in the location parameter ($\xi \cdot t$), and temporal changes of return period were predicted. This was also available for re-evaluating the current sewer design return period. Design criteria of sewer system was newly suggested considering life expectancy of the system as well as temporal changes in the return period.

Key words : Generalized Extreme Value (GEV) distribution, Gumbel distribution, stationary climate, non-stationary climate, location parameter

주제어 : 일반극치분포(GEV분포), Gumbel분포, 정상계열, 비정상계열, 위치매개변수

1. 서론

기후변화로 인하여 집중강우의 강도와 빈도가 증가하고 있다. 이로 인하여 하수관거 용량을 초과하는 강우사상이 빈번히 발생하고 하수관거로 인한 도심침수 피해가 증가하고 있는 실정이다. 이에, 경

제적이면서 안전한 하수관거의 서비스능력을 유지하기 위해서는 기후변화의 불확실성을 예측하고 현재 적용하고 있는 설계기준에 대한 재검토가 필요한 실정이다. 2011년 환경부 제정 하수도시설기준(한국상하수도협회, 2011)에 따르면, 계획우수량 산정

* Corresponding author Tel : +82-2-820-5886, Fax : +82-2-812-4284, E-mail : kpark@cau.ac.kr(K.H. Park)

시 “하수관거의 확률년수는 10-30년, 빗물펌프장의 확률년수는 30-50년을 원칙으로 하며, 지역의 특성 또는 방재상 필요성에 따라 이보다 크게 또는 작게 정할 수 있다” 라고 하여, 2005년 하수도시설기준(한국상하수도협회, 2005)의 하수관거 확률년수의 5-10년에 비해 매우 크게 상향 조정되었다. 이는 선행연구(오재일 등, 2009; 박규홍 등, 2010)의 연구에 기초하여, 환경부 생활하수과의 전향적인 정책 방향에 의해 결정이 되었으나, 이에 대한 학술적이고 이론적인 근거가 미약하다는 비판을 받을 수 있는 상황이다.

최근 국외의 경우 Bell등(2009)은 지역기후모형(Regional Climate Model, RCM)의 결과를 G2G(Grid to Grid) 모형에 적용하여 기후변화가 유출량에 미치는 영향을 평가하였으며, Semadeni-Davies등(2009)은 지역기후모형(RCM)을 고려한 DHI MOUSE모형을 이용하여 기후변화와 도시화가 하수관거 시스템에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 Ouarda 등(2008)은 시계열 자료의 경향성을 베이스안 방법을 적용하여 GEV분포와 GPD분포(Generalized Pareto Distribution)를 통해 매개변수를 산정하였고, He 등(2006)은 Gumbel분포와 Log Pearson type-3분포를 이용하여 각 분포의 매개변수 변화를 회귀 분석하여 목표연도의 매개변수를 산정하고, 이를 이용하여 홍수빈도 해석을 수행하였다.

국내의 경우 서린(2011)은 GCMs(General Circulation Models)을 통해 구축된 월 총강수량을 통계적 축소기법을 이용하여 기후변화를 고려한 확률분포형을 추정하기 위한 방법을 제안하였고, 나양선(2010)은 기후변화 시나리오에 따른 확률강우량 산정기법을 제시한 후 기후변화에 따른 설계강우 및 홍수변화에 관한 연구를 수행하였다. 또한, 이승춘(2010)은 최근 기후변화가 한반도 강우에 영향을 미쳤을 것으로 생각되는 1990년대를 기준으로 과거 시계열 자료를 이용, 기후변화에 따른 확률강우량의 지역적 변동성을 분석하여 강우패턴의 변화에 취약한 지역(대부분 해안지역)을

선정하였으며, 최대규(2010)는 우리나라의 과거기후와 GCMs의 기후모의 결과를 비교하여 GCMs의 기후재현성에 따른 미래기후변화에 대한 영향분석 및 유역단위의 수자원 영향평가를 수행하였다. 권영문 등(2009)은 연 최대 강우량 평균과 Gumbel분포 매개변수와의 관계를 선형회귀식을 사용하여 추정함으로써 미래시점의 매개변수 추정을 통한 비정상성 빈도해석 방법을 제안하였으며, 김병식 등(2008)은 미래의 기후변화가 극한 강우에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위해 기후변화 시나리오를 적용하여 미래기간 2031년부터 2050년에 대한 극한강우 특성분석과 I-D-F(Intensity-Duration-Frequency)분석을 실시하였다. 또한 임혁진 등(2006)은 CA-Markov 기법을 이용하여 기후변화가 2050년, 2100년 소양강댐 유역의 수문환경에 미치는 변화 양상을 파악하고자 하였으며, SLURP 수문모형에 적용하여 기후변화에 따른 장기적인 유출영향을 분석하였다. 이렇듯 국내외의 많은 연구들이 기후변화에 따른 강우 특성분석 및 홍수특성에 따른 댐과 같은 하천, 호수 등에 설치되는 수공구조물의 설계강우 변화 등에 대해 수행되었으나, 도심침수의 직접적인 영향을 주는 하수도시설의 설계기준에 초점을 둔 연구는 거의 없는 듯하다.

본 연구에서는 최근 우리나라 극치강우확률분포로써 많은 연구가 이루어지고 있는 일반화된 극치분포(Generalized Extreme Value, GEV distribution)와 Gumbel분포 그리고 기후변화를 고려한 비정상계열의 GEV분포와 Gumbel분포의 확률강우량을 비교·분석하고, 비정상계열의 핵심매개변수인 위치매개변수를 통하여 시간의 경과에 따른 재현기간의 변동성을 분석하여 향후 하수도 시설기준 등을 설정함에 있어서 기후변화를 고려한 확률강우량 산정의 가이드라인을 제시할 수 있는 기초연구를 수행함에 목적이 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 기존의 GEV분포를 기후변화를 고려하지 않은 정상계열(stationary climate)과 기후변화를 고려한 GEV분포를 비정상계열(non-stationary climate)로 구분하여 서울시의 50년(1961~2010) 강우자료를 바탕으로 분석하였다. 또한 매개변수 추정 방법은 최우도법(method of maximum likelihood)을 이용하여 추정하였다. 정상계열의 경우 FARD-2006(국립방재연구소, 2006) 프로그램을 이용하여 매개변수, 확률강우량, 적합도 검정 등을 쉽게 산정할 수 있으므로 비정상계열의 산정방식을 중점으로 설명하였다.

2.1 정상계열의 GEV분포와 Gumbel분포

기존의 GEV분포와 Gumbel분포의 누적분포함수는 다음과 같이 정의된다.

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - \frac{\beta(x-\xi)}{\alpha}\right)^{1/\beta}\right] \quad \beta \neq 0 \quad (\text{GEV}) \quad (1)$$

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right)\right] \quad \beta = 0 \quad (\text{Gumbel}) \quad (2)$$

여기서, α 는 축척매개변수, β 는 형상매개변수, ξ 는 위치매개변수이며, 변량 x 값의 범위는 매개변수 β 의 부호에 따라 결정된다.

$\beta < 0$ 이면 $\xi + \alpha/\beta < x < \infty$ 의 값을 갖고 Log-Gumbel 분포라고 부르며, $\beta > 0$ 이면 $-\infty < x < \xi + \alpha/\beta$ 의 값을 가지게 되고 Weibull분포라 한다. 그리고 $\beta = 0$ 이면 $-\infty < x < \infty$ 의 값을 갖고 Gumbel분포라 한다.

2.2 비정상계열의 GEV분포와 Gumbel분포

Coles(2001)는 시간경과에 따라 극한강우사상의 분포가 이동하는 비정상계열(Non-stationary)의 의미를 표현하기 위해 기존 GEV분포의 위치 매개변수(ξ)에 시간(t)을 고려하여 다음의 모델식을 제안하였다.

$$\xi = \xi_0 + \xi_1(t) \quad (3)$$

여기서, ξ_0 는 $t = t_0$ 일 때의 값이며, ξ_1 은 연 최

대강우량의 변화율을 나타낸 것이다. 위치 매개변수(ξ)에 시간(t)을 고려한 새로운 GEV 분포와 Gumbel 분포의 누적분포함수는

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\{x - (\xi_0 + \xi_1 t)\}\right)^{1/\beta}\right] \quad \beta \neq 0 \quad (\text{GEV}) \quad (4)$$

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left\{-\frac{x - (\xi_0 + \xi_1 t)}{\alpha}\right\}\right] \quad \beta = 0 \quad (\text{Gumbel}) \quad (5)$$

이며, 여기서 ξ_0 와 ξ_1 은 기존 GEV 분포의 위치 매개변수를 구성하고 있고 시간(t)에 대한 1차 함수 형태를 띠므로 비정상계열 자료의 변동성을 고려하는 것이 기존의 GEV 분포를 이용하는 경우보다 효율적으로 표현할 수 있다(Coles, 2001).

2.3 매개변수 추정방법(최우도법)

최우도법을 사용하면 가장 효율적인 매개변수 추정치를 얻을 수 있으며, 표본자료의 크기가 충분할 때 매개변수 추정을 위한 다른 방법의 매개변수 추정 효율성을 비교 평가하는 기준으로 사용되므로 본 연구에서는 최우도법을 매개변수 추정방법으로 이용하였다.

$\xi \neq 0$ 인 GEV 분포의 경우 m 개의 측정치 z_i 로부터 얻어진 log 우도함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ell(\xi_0, \xi_1, \alpha, \beta) &= \log\left(\prod_{i=1}^m f(x_i)\right) \\ &= -m \log \alpha - (1 + 1/\beta) \sum_{i=1}^m \log\left(1 + \beta \left(\frac{x_i - (\xi_0 + \xi_1 t)}{\alpha}\right)\right) \\ &\quad - \sum_{i=1}^m \left(1 + \beta \left(\frac{x_i - (\xi_0 + \xi_1 t)}{\alpha}\right)\right)^{-1/\beta} \end{aligned} \quad (6)$$

최적의 변수들은 log 우도 함수 $\ell(\xi_0, \xi_1, \alpha, \beta)$ 을 극대화 하는 값이므로 다음과 같은 연립방정식

$$\frac{\partial \ell}{\partial \xi_0} = 0, \quad \frac{\partial \ell}{\partial \xi_1} = 0, \quad \frac{\partial \ell}{\partial \alpha} = 0, \quad \frac{\partial \ell}{\partial \beta} = 0$$

의 해가 최적의 변수들이다.

Gumbel분포도 GEV분포와 같은 방식으로 매개변수를 구할 수 있다.

2.4 확률강우량 산정방법

서울특별시의 50년(1961~2010) 강우자료를 바탕으로 강우지속시간별(지속시간 10분, 60분, 120분, 180분, 360분, 540분, 720분, 1440분) 연 최대강우량을 분석하였다. 하수관거의 경우 하천과 달리 체류시간이 짧아 단시간의 지속시간에 영향을 많이 받기 때문에 60분 이내의 강우자료가 적당하지만 아직까지 기상청에서는 연도별 10분 최대강우량만이 제공 될 뿐 분단위의 강우자료는 제공되지 않기 때문에 제공되고 있는 자료의 범위 내에서 지속시간 10분, 60분, 120분, 180분을 단시간의 강우로 구분하여 이를 중심으로 분석하였다.

비정상계열의 확률강우량 산정방식은 GEV분포의 경우 누적분포함수 $F(x)$ 을 변량 x 에 관해 풀어서 역함수(inverse function)를 구하면 다음과 같아진다.

$$x = \xi + \frac{\alpha}{\beta} [1 - \{-\ln F(x)\}^\beta] \quad (7)$$

여기서, $F(x)$ 는 재현기간과 $F(x) = 1 - P(X > x) = 1 - \frac{1}{T}$ (T는 재현기간)의 관계를 가지므로 재현기간의 관계식을 식 (7)에 대입하면 다음과 같은 확률강우량 추정식이 된다.

$$x_T = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \left[1 - \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\}^\beta \right] \quad (8)$$

Gumbel분포의 경우도 누적분포함수를 변량 x 에 관해서 풀어서 역함수를 구하면 다음과 같아진다.

$$x = \xi - \alpha \ln [-\ln F(x)] \quad (9)$$

식 (9)을 GEV분포에서 언급했던 재현기간의 관계식에 대입하면 다음과 같은 Gumbel분포의 확률강우량 추정식이 된다.

$$\begin{aligned} x_T &= \xi - \alpha \ln \left[-\left\{ \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \right] \\ &= \xi - \alpha \ln [\ln T - \ln(T-1)] \end{aligned} \quad (10)$$

3. 연구결과 및 고찰

3.1 정상계열과 비정상계열의 매개변수 산정

앞서 설명한 방법론을 따라 정상계열과 비정상계열의 매개변수의 산정값은 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Parameters of GEV and Gumbel distribution using method of maximum likelihood in stationary climate

Duration (min)	GEV distribution			Gumbel distribution		
	Location	Scale	Shape	Location	Scale	Shape
10	15.593	4.762	0.149	15.216	4.664	0.00
60	43.509	15.745	0.071	42.903	15.517	0.00
120	59.403	22.606	0.095	58.256	22.078	0.00
180	71.532	28.571	-0.013	71.733	28.684	0.00

Table 2. Parameters of GEV and Gumbel distribution using method of maximum likelihood in non-stationary climate

Duration (min)	GEV distribution			Gumbel distribution				
	Location		Scale	Shape	Location		Scale	Shape
	ξ_0	ξ_1			ξ_0	ξ_1		
10	14,264	0.0439	4,608	-0.1092	13,485	0.0687	4,491	0.00
60	38,447	0.1879	15,182	-0.0332	37,777	0.2031	15,029	0.00
120	55,684	0.1499	22,521	-0.1014	54,574	0.1459	21,935	0.00
180	66,879	0.1915	28,529	0.0044	66,900	0.1933	28,572	0.00

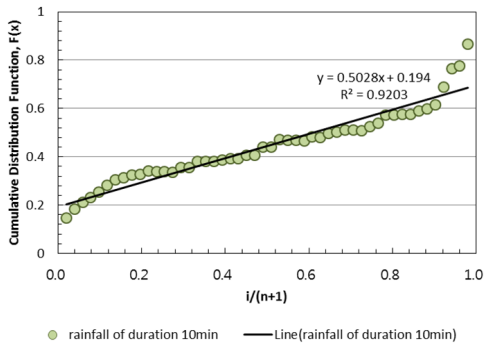
산정된 비정상계열의 GEV분포와 Gumbel분포의 매개변수의 적합도를 평가하기 위해 회귀분석을 하였다. 비정상계열 분포는 시간에 따라 분포가 변하는 모델이므로 정상계열과 같이 시간과 무관하게 추정치를 이용할 수 없다. 그래서 이러한 난점을 극복하기 위해 자료를 표준화시켜야 한다. GEV분포에 대한 시간의 함수인 변수 $\alpha(t), \beta(t), \xi(t)$ 로부터 자료를 식 (11)와 같이 표준화하면

$$\tilde{z}_i = \frac{1}{\beta(t)} \log \left\{ 1 + \beta(t) \left(\frac{Z_i - \xi(t)}{\alpha(t)} \right) \right\} \therefore \xi(t) = \xi_0 + \xi_1 t \quad (11)$$

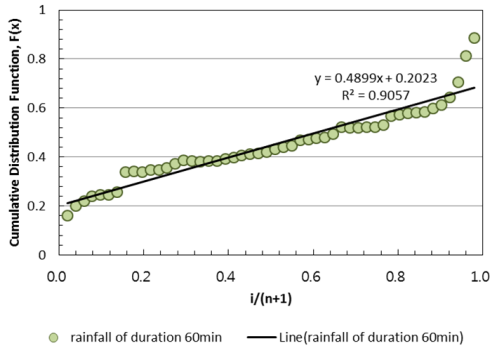
표준화된 GEV 분포 형태로부터 \tilde{Z}_i 는 Gumbel분포를 따름을 알 수 있다. 표준화한 추정자료를 크기로 나열한 수열을 $\{\tilde{z}_{(1)}, \tilde{z}_{(2)}, \dots, \tilde{z}_{(n)}\}$ 이라 하면 점집합 $\{(\exp[-\exp[-\tilde{z}_{(i)}}], i/(n+1)); i=1, 2, \dots, n\}$ 이 일직선상에 놓여야 한다. 따라서 GEV분포와

Gumbel분포의 표준화된 변수 \tilde{Z}_t 을 이용하여 적합도를 검토하였다.

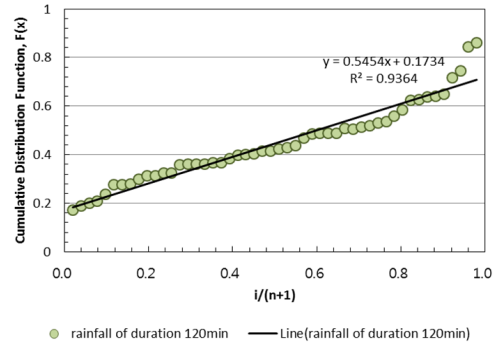
Fig. 1에서 보듯이 비정상계열의 GEV분포의 표준화된 변수 \tilde{Z}_t 을 회귀직선으로 나타내었다. 분석결과 비정상계열의 GEV분포와 Gumbel분포(지면의 제약으로 그림을 제시하지 않음)의 R^2 값이 모두 0.9이상으로 나와 비정상계열의 매개변수 산정값들이 적합하다고 판명되었다.



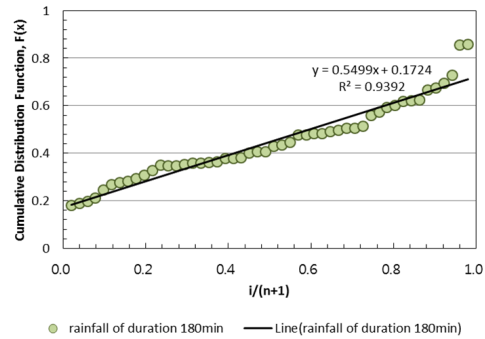
(a) duration 10min



(b) duration 60min



(c) duration 120min



(d) duration 180min

Fig. 1. Regression analysis for standardized variables of GEV distribution in non-stationary climate.

Table 3은 Gumbel분포에 따른 정상계열과 비정상계열의 확률강우량을 추정한 값이며, 확률강우량의 증감 정도를 나타내었다. 체류시간이 짧은 하수관거의 특성과 하수관거의 설계기준을 고려하여 5년, 10년, 30년의 재현기간과 지속시간 10분, 60분, 120분, 180분을 중심으로 검토하였다. 비정상계열의 Gumbel분포의 확률 강우량 모두 정상계열의 확률

Table 3. Comparison of probable rainfall depths of Gumbel distribution in non-stationary climate and stationary climate

		probable rainfall depths of Gumbel distribution(mm)											
		10			60			120			180		
Return period (yr)	Duration (min)	Stationary climate	Non-stationary climate	Variation	Stationary climate	Non-stationary climate	Variation	Stationary climate	Non-stationary climate	Variation	Stationary climate	Non-stationary climate	Variation
		5	22.2	23.7	+1.5	66.2	70.1	+3.9	91.4	94.8	+3.4	114.8	119.4
10	25.7	27.0	+1.3	77.8	81.4	+3.6	107.9	111.2	+3.3	136.3	140.9	+4.6	
30	31	32.1	+1.1	95.4	98.4	+3.0	133	136.1	+3.1	168.8	173.3	+4.5	
50	33.4	34.4	+1.0	103.4	106.2	+2.8	144.4	147.5	+3.1	183.7	188.1	+4.4	

강우량보다 증가하였다. 가장 적게 증가한 값은 재현기간 50년의 지속시간 10분일 때 1.0mm이고, 가장 많이 증가한 값은 재현기간 5년과 10년의 지속시간 180분일 때 4.6mm이다. 이에 과거의 강우자료와 Gumbel분포로 추정된 비정상계열의 확률강우량을 비교하여 기존의 Gumbel분포로 추정된 확률강우량보다 집중강우에 대한 대처 능력이 얼마나 완화되었는지 알아볼 수 있었다. 표로 제시되지는 않았지만, GEV분포의 증가율을 보면 가장 적게 증가한 값은 재현기간 5년의 지속시간 10분일 때 1.1mm이며, 가장 많이 증가한 값은 재현기간 50년의 지속시간 60분일 때 6.2mm이었다.

3.3 시간의 변화에 따른 강우량 증가에 대한 확률분석

본 연구에서는 기후변화로 인해 강우가 증가한다는 가정 하에 정상계열 GEV 분포의 위치 매개변수 (ξ)에 시간(t)을 고려한 $\xi_1 \cdot t$ 를 통해서 기후변화의 관점에서 확률강우량을 분석할 수 있었다. 따라서 강우사상의 증가에 대한 확률을 지속시간(10분, 60분, 120분, 180분)별로 분석하고자 한다. 먼저 ξ_1 의 분산을 구하기 위해 식 (6)의 log우도함수식을 식 (12)와 같은 정보행렬로 나타낸다.

$$I_o = \begin{pmatrix} -\frac{\partial^2 \ell(\theta)}{\partial \alpha^2} & -\frac{\partial^2 \ell(\theta)}{\partial \alpha \partial \xi_0} & -\frac{\partial^2 \ell(\theta)}{\partial \alpha \partial \xi_1} \\ -\frac{\partial^2 \ell(\theta)}{\partial \xi_0^2} & -\frac{\partial^2 \ell(\theta)}{\partial \xi_0 \partial \xi_1} \\ \text{대칭} & -\frac{\partial^2 \ell(\theta)}{\partial \xi_1^2} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$\ell(\theta)$ 는 log우도함수이며, log우도함수에 대한 2계 편도함수들을 구하고 그것의 각각의 기댓값을 계산하여 정보행렬을 완성한다. 정보행렬을 완성한 후 식 (13)의 역행렬을 구하여 시간의 변화에 따른 변수 ξ_1 의 분산을 구한다. 구한 분산을 통해 표준편차를 구하여 평균을 중심으로 표준편차 단위구간을 표현할 수 있다. 그러나 ξ_1 이 양의 값을 가져야

강우사상의 증가를 의미하므로 ξ_1 이 양의 값 ($\xi_1 \geq 0$)을 가질 확률에 대해 분석하였다. Table 4는 지속시간(10분, 60분, 120분, 180분)별 GEV분포와 Gumbel분포의 평균, 표준편차, ξ_1 의 값에 대한 신뢰도를 나타내고 있다.

Table 4. Mean, standard deviation, and reliability of the non-stationary state parameter ξ_1

Duration (min)	GEV distribution			Gumbel distribution		
	Mean	Standard deviation	reliability	Mean	Standard deviation	reliability
10	0.0489	0.0512	65.8%	0.0687	0.04491	86.9%
60	0.1879	0.1603	75.8%	0.2031	0.1492	82.6%
120	0.1499	0.2290	48.4%	0.1459	0.2133	50.3%
180	0.1915	0.2747	51%	0.1933	0.2722	52.2%

Table 4를 보면 같은 지속시간임에도 불구하고 확률분포형에 따라 양의 값에 대한 신뢰도가 달라졌다. GEV분포의 경우에는 각각 65.8%와 75.8%이었으며, Gumbel 분포의 경우 지속시간 10분과 60분에서는 신뢰도가 80%이상이나와 두 분포 모두 지속시간 10분과 60분에는 기후변화로 인해 강우량 증가 확률이 높다고 볼 수 있다. 그러나 지속시간 120분과 180분 경우에는 50%정도에 머물고 있어 강우량 증가에 대한 확률이 떨어짐을 알 수 있다.

3.4 시간의 변화에 따른 재현기간의 변화와 하수관거 시스템의 설계기준 정의

기후가 변화하는 비정상계열의 관점에서 하수관거의 계획우수량 설계기준을 설정할 때는 첫째로 하수관거시설의 기대수명이 명확히 제시되어야 하며, 둘째는 설계기준에서 설정한 재현기간이 시간에 따라 변화한다는 것을 고려해야 한다. 즉, 하수도기반시설이 기대수명동안 그 용량을 초과하는 강우사상이 발생확률에 대해 표현할 수 있어야 한다는 것이다(Mailhot and Duchesne, 2010).

Mailhot와 Duchesne(2010)는 시간의 변화에 따른 초과확률의 변화를 표현하기 위하여 비정상계열의 GEV의 누적함수식을 취하여 quantile x 에 대한 시

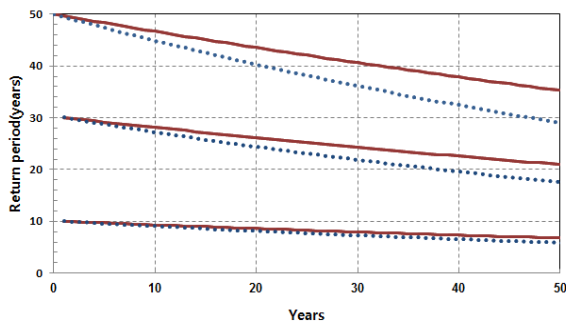
간 t 에서의 누적함수 F_t 를 시간 t_0 에서의 누적함수 F_0 로 표현하여 다음과 같이 나타내었다.

$$F_t = \exp\left[-\left\{\left(-\ln F_0\right)^\beta + \frac{\beta}{\alpha}\xi_1(t)\right\}^{1/\beta}\right] \quad (13)$$

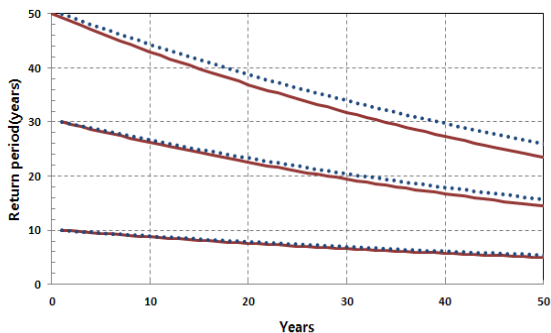
$\beta = 0$ 일 때(Gumbel분포)의 식은 다음과 같다.

$$F_t = \exp\left[\exp\left\{\frac{\xi_1(t)}{\alpha}\right\}\ln F_0\right] \quad (14)$$

식 (13)와 (14)를 바탕으로 재현기간이 시간이 경과함에 따라 감소하는 모습을 Fig. 2에 나타내었다. 시간의 경과에 따른 재현기간의 변화를 검토하기 위하여 강우사상의 증가에 대한 확률이 높게 분석되었던 지속시간 10분과 60분의 위치매개변수 (ξ_1)를 대입하였다.



(a) GEV distribution



(b) Gumbel distribution

Fig. 2. The temporal change of the return period (Continuous curves duration 10min; dashed curves duration 60min).

시간의 변화를 나타내는 변수 ξ_1 를 통해 시간이 경과함에 따라 재현기간이 감소하는 모습을 나타내었다. Fig. 2(a)의 GEV분포에서 지속시간 60분의

경우 재현기간 30년일 때는 재현기간이 17년으로 감소하고 (b)의 Gumbel분포에서도 지속시간 60분의 점선을 보면 30년 빈도일 때 15년으로 감소하였다. 이는 하수관거의 용량을 재현기간 30년의 강우사상에 대처하도록 설계하고 기대수명을 50년이라 한다면 시간이 흘러 기후변화로 인한 강우의 증가로 기대수명의 마지막 시점부가 됐을 때 그 하수관거의 실제용량은 재현기간 15년의 강우사상을 대처하는 수준에 불과하다는 의미이다. 또한 재현기간과 초과확률은 반비례관계이므로 재현기간이 반으로 줄어들었다는 것은 하수관거의 용량을 초과하는 강우사상의 발생확률이 두 배로 증가한다는 의미로 볼 수 있다.

Fig. 2의 재현기간 감소 그래프를 지속시간 60분의 위치매개변수를 이용하여 강우강도로 바꿔 시간 당 강우량을 나타내면 Table 5, 6과 같다.

Table 5. Decrease of return period and Intensity according to expected lifetime on GEV distribution

Lifetime (year)	Return period(Intensity, mm/hr)			
	20 (78,86mm/hr)	30 (86,41mm/hr)	40 (92mm/hr)	50 (96,44mm/hr)
10	18 (77,03mm/hr)	27 (84,4mm/hr)	36 (89,92mm/hr)	45 (94,31mm/hr)
20	16 (74,93mm/hr)	24 (82,22mm/hr)	32 (87,67mm/hr)	40 (92mm/hr)
30	14 (72,52mm/hr)	22 (80,65mm/hr)	29 (85,76mm/hr)	36 (89,92mm/hr)
40	13 (71,22mm/hr)	20 (78,86mm/hr)	26 (78,86mm/hr)	32 (87,67mm/hr)
50	12 (69,84mm/hr)	17 (75,96mm/hr)	23 (81,45mm/hr)	29 (85,76mm/hr)

Table 6. Decrease of return period and Intensity according to expected lifetime on Gumbel distribution

Lifetime (year)	Return period(Intensity, mm/hr)			
	20 (75,96mm/hr)	30 (81,52mm/hr)	40 (85,42mm/hr)	50 (88,79mm/hr)
10	18 (74,55mm/hr)	26 (79,53mm/hr)	35 (83,56mm/hr)	44 (86,66mm/hr)
20	15 (72,03mm/hr)	23 (77,91mm/hr)	31 (81,96mm/hr)	38 (84,74mm/hr)
30	14 (71,01mm/hr)	20 (75,96mm/hr)	27 (80,04mm/hr)	34 (83,17mm/hr)
40	12 (68,95mm/hr)	18 (74,55mm/hr)	24 (78,48mm/hr)	29 (81,08mm/hr)
50	10 (66,40mm/hr)	16 (72,90mm/hr)	21 (76,61mm/hr)	26 (79,53mm/hr)

즉, Table 5와 6에서 보듯이 30년의 강우사상을 대처할 수 있는 하수관거를 기대수명까지 유지하기 위해서는 30년 이상의 설계기준년도를 적용해야 한다. 이를 상세히 설명하기 위해 지속시간 60분의 위치매개변수를 이용하여 GEV분포와 Gumbel분포의 재현기간의 변동성을 Fig. 3과 같이 나타내었다.

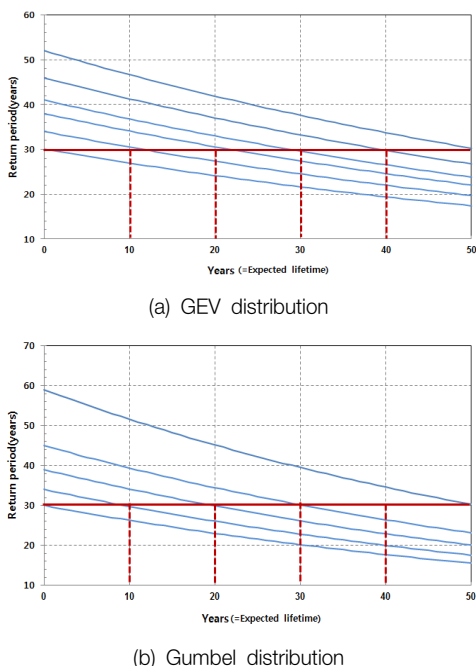


Fig. 3. Return period according to expected lifetime.

Fig. 3을 보면 설계빈도를 기대수명까지 유지하기 위해서는 기준년도(reference year)에 따라 설계빈도가 달라지는 것을 알 수 있다. (a)를 보면 설계초기(year=0)일 때 재현기간 30인 설계기준은 기대수명이 50년이 되면 16년의 재현기간이 된다. 설치 후부터 30년까지 재현기간 30년의 사상을 대처할 수 있는 하수관거를 유지하기 위해서는 재현기간 38년의 설계기준을 적용해야 한다. 비슷한 방식으로 기대수명 50년까지 30년 빈도의 강우사상을 대처하기 위해서는 52년의 재현기간을 설계기준으로 고려해야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 시간의 매개변수인 위치매개변수 (ξ)에 시간(t)을 고려한 GEV분포와 Gumbel분포의 모델식을 통하여 하수도시설기준에 제시된 계획우수량 산정시의 확률년수 의미에 대해 기후변화의 관점에서 재검토하였다.

첫째, 정상계열의 GEV분포에 의한 확률강우량과 비정상계열의 GEV분포로 산정된 확률강우량을 비교·검토함으로써 기후변화의 맥락에서 설계기준의 의미를 평가할 수 있었다. 비정상계열의 확률분포식의 통해 산정된 확률강우량은 정상계열의 비례 같은 재현기간임에도 불구하고 확률강우량이 크게 산정되었다. 본 연구를 통해 하수관거의 설계기준을 정할 때 비정상계열의 산정방식이 집중호우에 보다 효율적으로 대처할 수 있다고 판단된다.

둘째, 기후변화로 인한 강우빈도가 증가함을 나타내는 변수 ξ_1 이 양의 값을 가질 신뢰도를 분석한 결과 GEV분포의 경우에는 각각 65.8%와 75.8%이었으며, Gumbel분포의 경우 지속시간 10분과 60분에서는 신뢰도가 80%이상이나와 두 분포 모두 지속시간 10분과 60분에는 기후변화로 인해 강우량이 증가하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 지속시간 120분과 180분 경우에는 50%정도에 자리 잡고 있어 강우 상승에 대한 신뢰도가 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 이 확률 분석은 과거의 50년의 자료를 바탕으로 강우의 증가율을 분석한 것이기 때문에 확률이 떨어졌으나 미래의 강우사상을 분석한 대부분 연구들이 향후 강우량이 증가한다고 분석하고 있어 시간이 지남에 따라 확률은 높아질 것이라 사료된다.

셋째, 비정상계열의 관점에서 하수관거 설계기준에 대한 정의를 검토해 보았다. 시간의 변화를 나타내는 변수 ξ_1 를 통해 시간이 경과함에 따라 재현기간이 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 이 분석을 통해 시간의 경과에 따른 재현기간의 변화를 예측할 수 있어 설계재현기간의 평가를 가능하게 했다. 즉, 하수관거 시스템의 기대수명을 고려하고 극한사상의 강도 및 빈도의 미래 진행과정의 설명할 수

있었다. 비정상계열의 관점에서 하수관거의 서비스 능력은 시간이 지남에 따라 변하기 때문에 기대수명과 설계빈도는 하수관거의 서비스 수준을 평가하는데 중요한 지표가 되어 기후변화의 불확실성을 예측하고 하수관거의 서비스능력을 평가하고 정의하는데 있어서 중요한 대안의 한 방법으로 판단된다.

사사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션기술 개발사업” 으로 지원받은 과제입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

권영문 (2009). *강우량 자료의 증가 경향성을 고려한 강우빈도해석*. 한양대학교 석사학위논문.

김병식, 김보경, 경민수, 김형수 (2008). 기후변화가 극한강우와 IDF분석에 미치는 영향 평가. *한국수자원학회논문집*, Vol. 41, No 4, pp. 379-394.

김영호 (2010). *기후변화를 고려한 한반도 주요지점의 확률강우량 산정*. 홍익대학교 박사학위논문.

나양선 (2009). *기후변화에 따른 설계 강우 및 홍수변화에 관한 연구*. 세종대학교 석사학위논문

서린 (2011). *기후변화를 고려한 목표연도 확률강우량 산정 기법 개발 및 불확실성 분석*. 한양대학교 석사학위논문.

이승준 (2010). *기후변화에 따른 확률강우량의 지역적 변동성 분석*. 단국대학교 석사학위논문

임혁진, 권형중, 배덕효, 김성준 (2006). CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문분석. *한국수자원학회논문집*, Vol. 39, No.5, pp. 241-245.

최대규 (2010). *미래기후변화에 대한 영향분석 및 유역단위의 수자원 영향평가*. 부경대학교 석사학위 논문.

Bell, V. A., Kay, A.L., Jones, R.G., Moore, R.J. and Reynard, N.S. (2009). Use of soil data in a grid-based hydrological model to estimate spatial variation in changing flood risk across the UK. *Journal of Hydrology*, Vol.377, No 3~4, pp. 335-350.

Coles, G.S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer.

He, Y., Bárdossy, A. and Brommundt, J. (2006). Non-stationary flood frequency in southern Germany. *The 7th International Conference on Hydroscience and Engineering*.

Mailhot, A. and Duchesne, S. (2010). Design Criteria of Urban Drainage infrastructures under Climate Change. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 136, No. 2, pp. 201-208

Ouarda, T.B.M.J. and Adlouni, S.E. (2008). Bayesian inference of non-stationary flood frequency models, *World Environmental and Water Resources Congress 2008*.

Semadeni-Davies, A., Henebring, C., Svensson, G. and Gustafsson, L.G. (2008). The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden : Combined sewersystem. *Journal of Hydrology*, Vol. 350, No. 1-2, pp. 100-113.