

지속기간별 강우자료의 적정분포형 선정을 통한 확률강우강도식의 유도

Derivation of Rainfall Intensity-Duration-Frequency Equation Based on the Appropriate Probability Distribution

허 준 행* / 김 경 덕** / 한 정 훈***

Heo, Jun-Haeng / Kim, Kyung-Duk / Han, Jung-Hun

Abstract

The frequency analyses of annual maximum rainfall data for 22 rainfall gauging stations in Korea were performed. The method of moments (MOM), maximum likelihood (ML), and probability weighted moments (PWM) were used in parameter estimation. The GEV distribution was selected as an appropriate model for annual maximum rainfall data based on parameter validity condition, graphical analysis, separation effect, and goodness of fit tests. For the selected GEV model, spatial analysis was performed and rainfall intensity-duration-frequency equation was derived by using linearization technique. The derived rainfall intensity-duration-frequency equation can be used for estimating rainfall quantiles of the selected stations with convenience and reliability in practice.

Keywords: Rainfall intensity-duration-frequency equation, annual maximum rainfall, linearization

요 지

우리 나라 주요 우량관측소 22개 지점의 매년 최대치 강우자료에 대하여 빈도해석을 실시하였다. 매개변수 추정방법은 모멘트법, 확률가중 모멘트법, 최우도법 등이며, 매개변수 적합성, 도시적 해석, 분리효과, 적합도 검정결과 GEV 분포가 우리 나라 강우자료에 대하여 가장 적합한 확률분포형으로 나타났다. 선정된 GEV 분포형을 모 집단의 확률분포형으로 가정하여 재현기간별 확률강우량을 산정하므로써 지역적 해석을 실시하였으며, 정확도 있는 선형화 기법을 통해 회귀분석을 실시하여 확률강우강도식을 유도하였다. 본 연구에서 유도된 확률강우강도식은 실무차원에서 임의 지속기간의 재현기간별 확률강우량을 간편하게 구할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 확률강우강도식, 연최대 강우량, 선형화 기법

* 연세대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Associate Professor, School of Civil, Urban, and Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

** 연세대학교 공과대학 부설 산업기술연구소 선임연구원 (공학박사)

Senior Researcher, Engineering Research Institute, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

*** 삼안 Eng. 수력부 연구원

Hydropower Dept., Saman Engineering, Gwacheon, Kyunggido, 427-040, Korea

1. 서 론

하천관리, 수공 구조물의 설계, 수자원 계획 등을 위해서는 기준이 되는 설계량이 필요하며, 이를 위해서는 대상지점의 홍수 유출자료가 충분히 축적되어야 하는데, 관측지점이 매우 제한되고, 관측기록 또한 짧은 경우가 대부분이다. 그러나, 강우자료는 이에 비하여 관측밀도가 매우 높고 오랜기간 관측되어 왔으며, 특히 기상청 산하 관측소의 경우에는 양질의 관측기록을 보유하고 있다. 따라서, 강우자료에 의한 설계량 제시가 보다 일반화되고 있는 실정이다. 특히, 홍수 유출자료가 없거나 부족한 경우에는 필수적으로 강우자료를 통해 설계량 산정을 하고 있으며, 이를 위하여 강우자료에 대한 빈도해석 연구가 1960년대부터 활발히 이어져 오고 있다 (이원환, 1971; 이원환 등, 1993; 신창동, 1993; 건설부, 1988; 김정덕 등, 1995, 1996b; Chow et al., 1986). 그러나, 정부 공인기관 (건설부, 1988)에서 발간한 확률강우량의 경우 사업시점에서의 대상 지점의 강우자료기간이 짧고 적용분포형의 제한 등으로 인한 문제점을 내포하고 있으며, 또한 유용도가 많음에도 불구하고 인식 부족으로 인해 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다. 수문순환의 초기 입력자료로 모든 수공 구조물 설계시 필수불가결한 요소인 확률강우량에 대한 정확한 확률강우량도나 확률강우강도식의 유도는 그 중요성 및 필요성에 견주어 볼 때 앞으로도 지속적인 연구과업이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 관측기록이 20년 이상이고 관측정도가 양호한 기상청 산하 전국 22개 지점의 지속기간별 연최대치 강우자료 (지속기간 5분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간)를 대상으로 빈도해석을

실시하였다. 확률분포형으로는 수문자료 해석에 많이 사용되는 gamma, GEV, Gumbel, log-Gumbel (허준행, 1993b), lognormal, log-Pearson type III, Weibull (허준행, 1993a), Wakeby 등을 적용하였다. 매개변수의 추정에는 모멘트법, 확률가중 모멘트법, 최우도법 등을 사용하였다. 최근에 강우자료의 분리효과에 대한 연구 (김양수 와 허준행, 1993 ; 김정덕 등, 1996a)가 이루어지고 있는데, 적합도 검정 (χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정)과 함께 검토하여 우리 나라 강우자료의 적정 분포형을 선정하였다. 선정된 확률분포형으로부터 얻어진 확률강우량에 대하여 무차원 강우강도비와 강우비를 산정하여 지역적인 해석을 실시함으로써 지역적 강우 특성을 분석하였다.

기존의 확률강우량을 설정하는 식들은 자료상의 특성 함수관계를 잘 드러내는 비선형의 형태로 발달되어 왔는데 (Wenzel, 1982; Chen, 1983), 이러한 복잡한 형태의 비선형의 식들은 불확실성이 큰 강우자료의 특성상 잘 수렴하지 않아 식의 계수선정에 어려움이 많을 뿐만 아니라 정도도 떨어지는 경향이 있었다. 이에 대해 비선형의 비수렴성에 대한 보완과 선형성이 갖는 정도의 향상을 위한 선형화 기법을 이용하여 확률강우강도식을 유도하고자 한다.

2. 적정 확률분포형 선정

자료관측 보유기간이 20년 이상인 전국 22개 지점의 8개 지속기간 (5분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간) 연최대치 강우자료를 대상자료로 사용하였으며, 이를 표 1에 나타내었다.

본 연구에서는 gamma, GEV, Gumbel,

표 1. 대상 강우지점 및 관측 기록년수

지점명	지점 번호	기록기간 기록년수	지점명	지점 번호	기록기간 기록년수	지점명	지점 번호	기록기간 기록년수	지점명	지점 번호	기록기간 기록년수
속 초	90	'66-'91 24	수 원	119	'62-'91 28	군 산	140	'66-'91 24	충 무	162	'66-'91 24
춘 천	101	'64-'91 26	서 산	129	'66-'91 24	대 구	143	'14-'91 76	목 포	165	'21-'91 69
강 릉	105	'56-'91 34	청 주	131	'67-'91 25	전 주	146	'39-'91 51	여 수	168	'41-'91 49
서 울	108	'27-'91 63	대 전	133	'66-'91 24	울 산	152	'45-'91 45	완 도	170	'69-'91 21
인 천	112	'50-'91 40	추 풍	135	'53-'91 37	광 주	156	'37-'91 53			
원 주	114	'66-'91 24	포 향	138	'52-'91 38	부 산	159	'40-'91 50			

표 2. 각 확률분포형의 확률밀도함수와 누적분포함수

확률분포형	PDF and/or CDF
Gamma	$f(x) = \frac{1}{ \alpha \Gamma(\beta)} \left[\frac{x-x_0}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha}\right]$ $\alpha > 0 \text{ 이면 } x_0 \leq x < \infty$ $\alpha < 0 \text{ 이면 } -\infty < x \leq x_0, \beta > 0$
GEV	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{\beta(x-x_0)}{\alpha} \right]^{1/\beta-1} \exp\left\{-\left[1 - \frac{\beta(x-x_0)}{\alpha}\right]^{1/\beta}\right\}$ $F(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{\beta(x-x_0)}{\alpha}\right]^{1/\beta}\right\}$ $\beta = 0 : \text{GEV-1 } -\infty < x < \infty$ $\beta < 0 : \text{GEV-2 } x_0 + \alpha/\beta \leq x < \infty$ $\beta > 0 : \text{GEV-3 } -\infty < x \leq x_0 + \alpha/\beta$
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left\{-\frac{(x-x_0)}{\alpha} - \exp\left[-\frac{(x-x_0)}{\alpha}\right]\right\}$ $F(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-x_0)}{\alpha}\right]\right\}, -\infty < x < \infty$
Log-Gumbel	$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{\theta-x_0}{x-x_0}\right)^\beta\right]$ $f(x) = \frac{\beta}{(x-x_0)} \left[\frac{\theta-x_0}{x-x_0}\right]^\beta \cdot F(x)$ $x_0 < x < \infty, \theta > x, \beta > 0$
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(x-x_0)\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\}$ $x_0 < x < \infty$
Log-Pearson type III	$f(x) = \frac{1}{ \alpha \Gamma(\beta)x} \left[\frac{\ln(x)-y_0}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{\ln(x)-y_0}{\alpha}\right]$ $\alpha > 0 \text{ 이면 } \exp(y_0) \leq x < \infty$ $\alpha < 0 \text{ 이면 } 0 < x \leq \exp(y_0)$
Wakeby	$x = m + a[1 - (1 - F)^b] - c[1 - (1 - F)^{-d}]$ $b + d > 0 \text{ 또는 } b = cd = d = 0$ $ab = 0 \text{ 이면 } b = 0, cd = 0 \text{ 이면 } d = 0$ $cd \geq 0, ab + cd \geq 0, b > -1 \text{ 이고 } d < 1$
Weibull	$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{x-x_0}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left\{-\left[\frac{x-x_0}{\alpha}\right]^\beta\right\}$ $F(x) = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{x-x_0}{\alpha}\right]^\beta\right\}$ $x_0 \leq x < \infty, \alpha > 0, \beta > 0$

$\Gamma(\cdot)$: gamma 함수

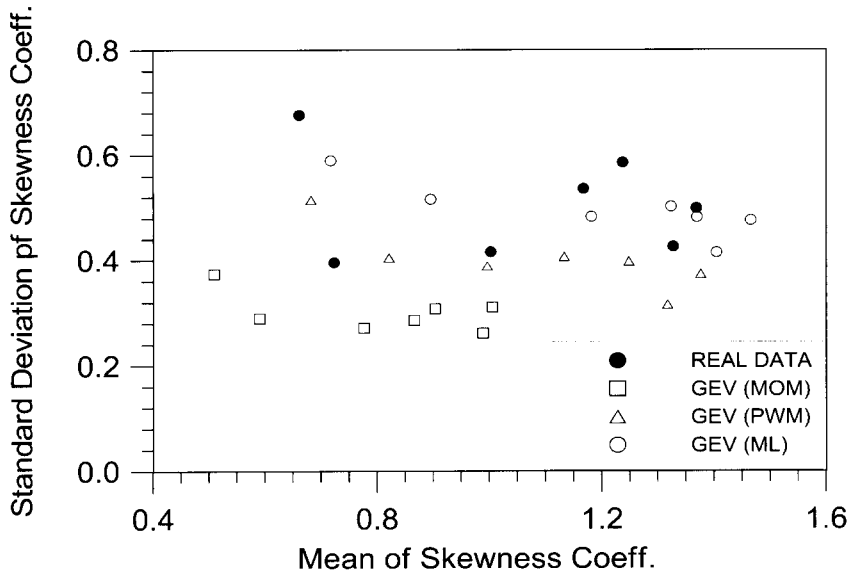


그림 1. 매개변수 추정별 GEV 분포의 분리효과

log-Gumbel, lognormal, log-Pearson type III, Weibull, Wakeby 분포를 적용하였으며, 다음 표 2는 본 연구에서 사용한 확률분포형의 확률밀도함수 (PDF) 또는 누가분포함수 (CDF)와 확률변수 및 매개변수가 가져야 하는 적합성 조건을 나타내고 있다.

대상 22개 지점의 전 지속기간에 확률분포형을 적용한 결과 GEV 분포가 모든 지점과 모든 지속기간에 대하여 매개변수 적합성 조건을 만족하는 것으로 나타났다 (김경덕 등, 1996b).

적합도 검정결과를 분석해 보면, 확률가중 모멘트법으로 매개변수를 추정할 경우 모든 경우에 대하여 채택되었으며, 모멘트법으로 매개변수를 추정할 경우 완도 지점의 지속기간 24시간 강우자료의 경우만 제외하고 모두 채택되었다. 이는 완도 지점 24시간 강우자료의 왜곡도 계수 (1.23)와 변동계수 (0.54)를 고려할 때, 확률가중 모멘트법은 자료에 가중치를 부여하기 때문으로 판단된다 (김경덕 등, 1996b). 최우도법의 경우에는 강릉 (30분), 포항 (1시간), 군산 (1시간), 서울 (2시간) 지점에서 기각되고 모두 채택되었다.

경험적 (empirical) 확률밀도함수 및 누가분포함수를, 적용 확률분포형에 대하여 적합된 (fitted) 확률밀도함수 및 누가분포함수와 비교·분석하는 도시적인 해석을 실시한 결과 Wakeby, GEV, log-Pearson type III 분포가 우수한 것으로 나타났다 (김경덕 등,

1995, 1996b).

분리효과를 살펴보면, 확률가중 모멘트법의 경우 GEV 분포와 log-Pearson type III 분포가 가장 분리효과가 작은 것으로 나타났으며, 모멘트법의 경우에는 log-Pearson type III 분포형이 가장 작은 것으로 나타났다. 최우도법의 경우에는 GEV 분포가 가장 분리효과가 가장 작은 것으로 나타나, 우리나라 강우자료에 대한 분리효과 분석결과는 GEV 분포와 log-Pearson type III 분포가 가장 우수한 것으로 나타났다 (김경덕 등, 1996a, 1996b). 그림 1은 GEV 분포에 대한 각 매개변수 추정별 분리효과를 나타내고 있는데, 최우도법에 의한 분리효과가 가장 작은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 확률가중 모멘트법, 모멘트법 순으로 분리효과가 작게 나타났다.

이상의 매개변수 적합성 조건, 분리효과, 도시적 해석, 적합도 검정 등을 종합적으로 고려할 때, 각 지점별 강우특성에도 불구하고 GEV 분포가 우리나라 강우자료에 가장 적합한 확률분포형으로 선정되었다.

3. 지역적 해석

우리 나라 연최대 강우량에 대하여 적정 분포형으로 선정된 GEV 분포에 대하여 확률강우량을 산정하여 지역적인 해석을 실시하였다. 각 지속기간에 대한 강우강도비와 강우비를 무차원으로 도시하여 조사하였다.

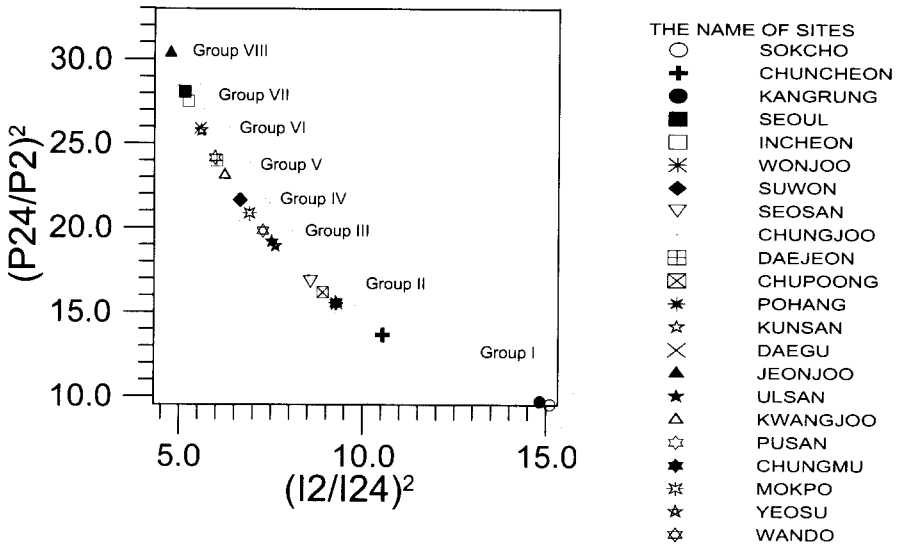


그림 2. 지속기간 2시간과 24시간의 강우강도비와 강우비

표 3. 강우강도비와 강우비에 의한 지역적 구분

그룹 I	속초, 강릉	그룹 II	서산, 추풍, 충무, 원주, 포항	그룹 III	완도, 울산, 여수
그룹 IV	수원, 목포	그룹 V	부산, 대전, 광주	그룹 VI	대구, 군산, 청주
그룹 VII	서울, 인천	기 타	진주, 춘천		

그중 지속기간 2시간과 24시간에 대한 무차원값이 가장 뚜렷한 양상을 나타내고 있는데, 그림 2는 지속기간 2시간과 24시간의 강우강도비와 강우비를 무차원으로 나타내어 전 지점에 대하여 도시한 것이다. 그림 2에서 살펴보면 속초와 강릉은 다른 지점과 뚜렷하게 다른 양상을 보이고 있으며, 다음 표 3과 같이 대략 8가지 형태로 구분되어 나타났다.

그룹의 번호가 작을수록 단기간 지속기간 (2시간)의 강우가 우세하게 나타났는데, 이는 강우가 단기간에 집중함을 의미하고, 번호가 커지면 장기간 지속기간 (24시간) 강우가 상대적으로 우세하게 나타나고 있으며, 이는 장시간에 걸쳐 고르게 내리고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 완도지점의 재현기간별 강우강도비와 강우비를 나타내고 있다. 여기서, 각 기호는 10개의 재현기간 (2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500년)을 나타내며, 재현기간이 커질수록 강우량비가 작아지는 것으로 나타났다 (그림 3에서 하향 (下向)으로 도시).

전 지점에 대하여 지속기간 1시간과 24시간 강우강도비-강우비값 (R-P)이 가장 크게 나타났고, 2시간과

3시간 R-P가 가장 작게 나타났다. 또한 1시간과 3시간 R-P와 2시간과 6시간 R-P가 매우 비슷하게 나타났다. 울산, 완도의 경우 특이한 형태를 나타내고 있는데, 그림 3에서 보면 알 수 있듯이 6시간과 12시간 R-P와 6시간 24시간 R-P가 가장 작게 나타났다. 또한 1시간, 3시간 R-P와 1시간, 6시간 R-P가 매우 크게 나타났다. 이는 완도지점의 경우 단기간 지속기간 (1시간, 2시간)에 집중적인 강우가 내리며, 6시간 이상의 장기간 지속기간에는 상대적으로 적은 강우가 내린다는 것을 의미한다.

4. 확률강우강도식 유도

선형화 기법에 의한 회귀 모형은 불확실성이 크거나 다변수간의 간편한 형의 식을 추정할 때 쓰여지는데, 비선형회귀에서 갖는 목적값과 변수간 관계의 편이성을 가지면서도 선형회귀에서의 우수한 접근성과 비선형의 추적시 발생가능한 비수렴성에 대한 대안으로의 장점을 갖는다. 한편 변수간의 민감도가 큰 경우에는 각 계수의 추적이 다소 쉽지 않은 경우가 있으나 일단

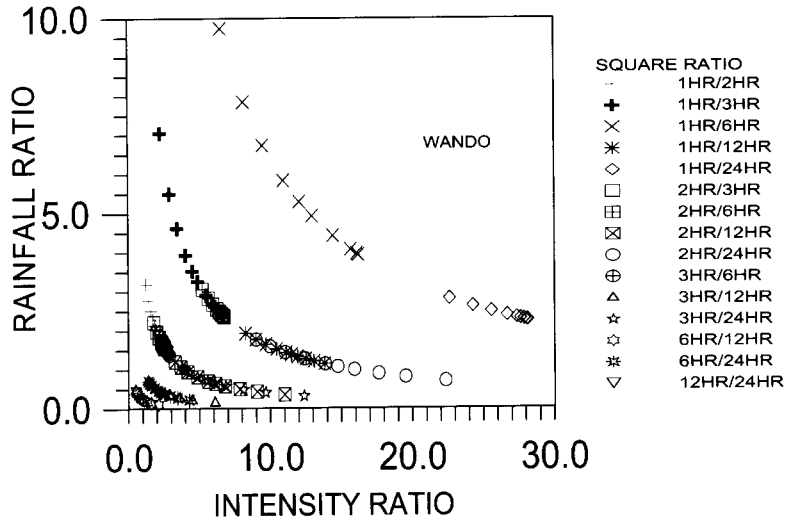


그림 3. 완도지점의 재현기간별 강우강도비와 강우비

추정된 변수관계가 확정되면 보다 넓은 폭의 사상에 대한 변화의 추적이 가능하다. 따라서, 단순한 비선형 회귀의 추적이 곤란한 경우나 정확도가 저하되는 경우에 선택할 수 있는 모형이라고 하겠다. 선형화 기법의 모형은 종속병렬형, 독립병렬형, 그리고 복합형의 세 가지 형태가 있으며 식 (1) ~ 식 (3)과 같다.

$$F(f, g) = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k f^{n_k} g^{m_k} \quad (1)$$

$$F(f, g) = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k f^{n_k} + b_k g^{m_k}) \quad (2)$$

$$F(f, g) = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k f^{n_k} + b_k g^{m_k} + c_k f_1^{n_k} g_1^{m_k}) \quad (3)$$

종속병렬형은 주로 다변수간 관계가 쉽게 파악되거나 변수사이의 관계가 3차 선형관계 이하인 경우에 적용되며, 독립병렬형은 변수간 관계가 명확하지 않거나 정도의 기복이 적은 경우 혹은 이미 정해진 함수 f, g 가 단순한 형태로의 접근이 가능한 경우에 적용된다. 복합형은 변수간 민감도가 매우 크거나 독립병렬형에 대한 보완형으로 이미 정해진 함수 f, g 가 통일되지 않는 경우 혹은 복잡하게 추정된 종속병렬형과 독립병렬형의 보완으로서 적용할 수 있다. 보통 식의 단순성을 고려하여 ι 값은 병렬형에서는 2 이하로, 복합형은

1로 하여 추정한다. 또한 계수 m, n 과 a_0, a_k 을 구하는 순서에 따라, m, n 을 먼저 정해 놓고 계수 a_0, a_k 를 추적하는 후진형과 a_0, a_k 을 먼저 정정한 뒤 m, n 을 추정하는 전진형으로 나눌 수 있다. 주어진 식에 대한 모형을 종속병렬형으로 하여 식 (1)에서 주어진 계수들에 대해 식의 편의성과 기존의 모형의 틀에 크게 벗어나지 않는 형태를 얻기 위해 $a_k = 1, \iota = 1, n_k = 1, m_k = -1$ 로 하면 기본 모형은 식 (4)로 나타난다.

$$I(t, T) = c + \frac{f(T, t)}{g(t, T)} \quad (4)$$

여기서 선형화 기법의 식 (5a) ~ 식 (5c)의 과정을 반복하여 결론적인 선형의 모형을 선정할 수 있다.

$$[I_{i+1}(T, t)] = \{I_i(t, T) - c_i\} g_i(t, T) \quad (5a)$$

$$[g_{i+1}(t, T)] = \frac{f_{i+1}(T, t)}{I_i(t, T) - c_i} \quad (5b)$$

$$[I_{i+1}(t, T)] = c_{i+1} + \frac{f_{i+1}(T, t)}{g_{i+1}(t, T)} \quad (5c)$$

그 과정을 자세히 살펴보면 먼저 식 (6a)와 같이 식을 전개하여 대상 전 지점에 대해 선형 회귀분석하여 최적의 함수형을 선정한다. 이렇게 1차로 선정된 함수

에 대해 식 (6b)의 우변항에 대입하여 두 번째 함수형을 회귀분석하여 얻는다. 이렇게 선정된 두 함수형에 대해 식 (6c)와 같이 만들어 다시 선형 회귀분석을 실시하는 과정을 반복하게 된다.

$$[f_1(T, t)] = \{I_0(t, T) - c_0\} g_0(t, T) \quad (6a)$$

$$[g_1(t, T)] = \frac{f_1(T, t)}{I_0(t, T) - c_0} \quad (6b)$$

$$[I_1(t, T)] = c_1 + \frac{f_1(T, t)}{g_1(t, T)} \quad (6c)$$

여기서 $[X(x)]$ 는 우변항에 대해 x 에 대하여 선형 회귀분석한 식이며, $g_0(t, T)$ 는 22개 전지점을 각 재현기간을 기준하여 지속기간으로 선형 회귀분석하여 얻어진 최적인 모형으로 먼저 가정한 것이고, $f_0(T, t)$ 는 각 지속기간을 기준하여 재현기간으로 선형회귀분석하여 가정한 것이며, c_0 는 $f_0(T, t)$ 를 $f_0(T, t)$ 와 같이 가정하여 결정한 뒤 선형 회귀분석하여 얻을 수도 있으나 본 연구에서는 c_0 를 0으로

가정하였다. 결론적으로 이러한 과정을 반복하여 선정 한 모형은 다음 식 (7)과 같다.

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^{0.2}}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (7)$$

식 (7)에서 주어진 계수를 결정하기 위해 식 (7)을 식 (8)로 행렬화하고 선형 회귀분석을 반복하여 식 (9)와 같이 허용오차항으로 수렴시켜 각 지점의 계수와 통계적 추정값을 산정한 결과는 표 4에 나타내었다.

$$[I_i(t, T)] = [I_i] \quad (8)$$

$$|\epsilon| = \det \left| \sum_{i=1}^n \frac{I \cdot [I_i]^{-1}}{n} - E \right| \quad (9)$$

여기서, E 는 단위행렬이다.

위의 허용 오차항인 수렴범위 $|\epsilon|$ 는 결정계수의 정도가 0.5%의 기각률을 가질 때, 결정계수의 범위가 0.984~0.999가 되었으며, 이에 따른 전분포 환산 결정계수 $\hat{r} = 0.99463$ 의 신뢰도를 보였다. 자료의 보

표 4. 각 지점별 회귀계수값 일람표

지역	계수	a	b	c	d	표준편차	결정계수
속초	초	482.5	175.9	4.286	-2.281	7.659270	0.994846
춘천	천	332.7	63.1	0.485	-0.501	5.054538	0.997262
강릉	릉	291.1	121.0	3.193	0.461	5.560725	0.990064
서울	울	396.4	174.2	1.681	-0.167	5.748054	0.997641
인천	천	300.4	143.7	2.303	0.789	5.057180	0.995371
원주	주	408.5	141.1	0.321	-0.603	2.801423	0.997625
수원	원	710.9	141.1	4.371	-0.763	9.088453	0.987728
서산	산	441.5	85.1	1.286	-0.821	5.211338	0.997568
청주	주	344.4	91.1	1.582	0.044	5.032831	0.995512
대전	전	397.1	84.2	1.396	0.124	7.365728	0.991588
추풍령	령	229.7	59.4	-0.122	0.013	3.010334	0.998841
포항	항	248.1	67.9	0.500	-0.145	3.708352	0.997749
군산	산	305.6	85.6	1.469	0.378	6.667955	0.990217
대구	구	203.9	117.6	1.070	0.511	4.188312	0.997247
전주	주	226.6	116.0	0.863	0.828	2.761108	0.998925
울산	산	332.7	125.0	2.266	0.517	6.064998	0.992803
광주	주	363.0	60.1	0.428	-0.150	6.219008	0.995534
부산	산	318.5	143.9	2.146	0.655	7.299083	0.991606
충무	무	395.8	120.5	2.448	-0.198	4.941657	0.995927
복포	포	328.0	43.2	0.531	-0.134	5.094267	0.995303
여수	수	346.6	118.2	1.865	0.138	2.970848	0.998619
완도	도	298.4	243.6	9.402	2.890	5.629928	0.984275

안에 따른 계수의 재산정의 경우에도 식의 형태면에서 거의 변동이 없게 하는 안정화된 식 (10)으로 나타낼 수 있으며, 다만 분자항의 지속기간의 지수 n 에 대해서만 다소의 변동량을 갖게 하였다. 이에 대한 수치적 보간에 따른 정도를 고려하여 그 범위는 대략 $0.15 \leq n \leq 0.25$ 의 범위로 예상된다.

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (10)$$

위 식에서 \ln 은 자연대수, T 는 연 단위 (재현기간), t 는 분 단위이다.

최종적으로 식 (7)과 같은 확률강우강도식이 유도되었으며, 각 지점별 회귀계수는 다음 표 4와 같다.

5. 결 론

본 연구에서는 전국 22개 지점, 8개 지속기간 (10분, 30분, 60분, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간) 연최대치 강우자료에 lognormal, gamma, log-Pearson type III, GEV, Gumbel, log-Gumbel, Weibull, Wakeby 분포 등을 적용하여 모멘트법, 확률가중 모멘트법, 최우도법으로 매개변수를 추정하였다. 매개변수 적합성 조건, 도시적인 해석, 분리효과, 적합도 검정 등을 종합적으로 검토한 결과 GEV 분포가 가장 적합한 확률분포형으로 선정되었다. 선정된 GEV 분포형으로부터 얻어진 확률강우량에 대하여 강우강도비와 강우비를 무차원으로 변환하여 해석한 결과 지역적 특성이 다른 그룹으로 구분할 수 있었으며, 지속기간별 강우특성이 우세한 지점을 발견할 수 있었다. 또한, 비선형의 비수렴성에 대한 보완과 선형성에서 갖는 정확도의 향상을 얻을 수 있는 선형화 기법을 이용하여 보다 정확하고 간편한 확률강우강도식을 유도하여 실무에서 편리하게 사용할 수 있도록 하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 핵심연구과제 (KOSEF 961-1205-019-1)의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 감사드립니다.

참 고 문 헌

건설부 (1988). “한국 확률강우량의 작성.” 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권.

김경덕, 허준행, 조원철 (1995). “지속기간별 강우자료의 분포형에 관한 연구.” '95 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 25~28.

김경덕, 배덕효, 허준행, 조원철 (1996a). “매개변수 추정방법에 따른 강우자료의 분리효과 비교.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제29권, 제1호, pp. 129~139.

김경덕, 허준행, 조원철 (1996b). “연최대 강우자료의 적정 확률분포형 선정에 관한 연구.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제16권, 제II-4호, pp. 335~344.

김양수, 허준행 (1993). “강우자료의 분리효과.” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제26권, 제4호, pp. 73~83.

신창동 (1993). 우리나라 강우의 적정분포형 결정에 관한 연구. 석사학위논문, 금오공과대학.

이원환 (1971). “우리나라 지점우량자료의 분포형 선정에 관한 연구.” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제19권, 제2호, pp. 19~28.

이원환, 박상덕, 최성열 (1993). “한국 대표확률강우강도식의 유도.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제13권, 제1호, pp. 115~120.

허준행 (1993a). “Weibull 확률분포함수의 매개변수 추정과 신뢰한계 유도.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제13권, 제4호, pp. 141~150.

허준행 (1993b). “대수 Gumbel 확률분포함수의 매개변수 추정과 신뢰한계 유도.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제13권, 제4호, pp. 151~161.

Chen, C. (1983). “Rainfall intensity-duration-frequency formulas.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 109, No. 12, pp. 1603~1621.

Chow, V. T., Maidment, D. R., and May, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, p. 456.

Wenzel, H. G. (1982). “Rainfall for urban stormwater design.” in *Urban Storm Water Hydrology*, D. F. Kibler, ed., Water Resources Monograph 7, AGU, Washington, D.C.

(논문번호:99-026/접수:1999.03.26/심사완료:1999.04.17)