



기후변화에 따른 주요 도시의 연간 최소 확률강우량 추정

Estimation of Annual Minimal Probable Precipitation Under Climate Change in Major Cities

박규홍^{1*}·유순유¹·밤바도지 엘베자르갈²
KyooHong Park^{1*}·Soonyu Yu¹·Elbegjargal Byambadorj²

¹중앙대학교 사회기반시스템공학부, ²울란바타르 하수도과
¹Dept. of Civil Engineering at Chung-Ang University, ²Dept. of Sewerage in Ulanbataar City

ABSTRACT

On account of the increase in water demand and climate change, droughts are in great concern for water resources planning and management. In this study, rainfall characteristics with stationary and non-stationary perspectives were analyzed using Weibull distribution model with 40-year records of annual minimum rainfall depth collected in major cities of Korea. As a result, the non-stationary minimum probable rainfall was expected to decrease, compared with the stationary probable rainfall. The reliability of ξ_1 , a variable reflecting the decrease of the minimum rainfall depth due to climate change, in Wonju, Daegu, and Busan was over 90%, indicating the probability that the minimal rainfall depths in those city decrease is high.

Key words: Drought, Weibull distribution, climate change, minimum probable rainfall depth

주제어: 가뭄, 와이بل 분포, 기후변화, 최소확률강우량

1. 서 론

우리나라는 최근 40년 동안 5~6년 주기로 가뭄이 발생하고 있으며, 가뭄에 의한 피해금액은 기하급수적으로 증가하고 있는 실정이다(K-Water, 2005; 2006; 2007). 2008년 우리나라에 내린 비의 양이 예년의 70% 수준에 불과하여 경남지역의 농업용 저수지의 저수율이 30% 수준에 불과하였으며 2009년 초에 태백과 정선 등 강원 남부권의 극심한 식수난을 유발했던 가뭄의 경우 태백에서만 75일간 발생한 가뭄에 따른 고통 비용이 450억 원에 이른다는 결과가 나오기도 하였다.(기상청, 2011; 기상청, 2012; 변성준 등,

2009). 홍수의 경우 지속적인 관심에 의한 국가차원의 여러 가지 종합 대책이 마련된 점에 반해 가뭄에 대한 대책은 상대적으로 미비하며 앞서 언급한 바와 같은 가뭄의 피해를 완화하기 위한 국가 차원의 체계적인 대책이 필요한 실정이다.

가뭄은 홍수와 함께 물로 인해 발생하는 대표적인 자연재해로 과거부터 현재까지 지속적으로 되풀이되어 왔으며, 미래에도 가뭄에 대한 문제는 불가피하다. 홍수는 단기간동안 좁은 지역에서 피해가 집중되어 발생하는 특징이 있는 반면, 가뭄은 장기간동안 매우 넓은 지역에서 피해가 발생하는 등 상반된 특징을 나타낸다. 홍수는 기상에 대한 단기예측 성과를 이용하여 발생지역을 비교적 정확하게 예측할 수 있으나, 가뭄은 장기간 지속되는 특징으로 인해 즉각적으로 인

Received 23 November 2015, revised 14 January 2016, accepted 18 January 2016
*Corresponding author: KyooHong Park (E-mail: kpark@cau.ac.kr)

pp. 001-008
pp. 009-017
pp. 019-031
pp. 033-040
pp. 041-049
pp. 051-058
pp. 059-067
pp. 069-075
pp. 077-085
pp. 087-097
pp. 099-104
pp. 105-111

지하기 어려우며 특히 장기 기상전망의 불확실성으로 장래 예측이 매우 어렵다.

Yevjevich(1967)는 가뭄의 정의에 대한 매우 다양한 견해가 가뭄연구의 주요 걸림돌이 되고 있음을 언급하였다. Linsley 등(1959)은 가뭄을 ‘상당량의 강우가 없는 지속적인 기간’으로 정의했다. Gumbel(1963)은 가뭄을 ‘일일하천유량의 연간 최솟값’으로 정의했다. Palmer(1965)는 가뭄을 ‘어떤 지역의 정상적인 수문상태로부터의 큰 편차’로 정의했다. Wilhite와 Glantz(1987)는 가뭄을 정의할 때 개념적 정의와 운영적 정의를 구별하는 것이 중요하다고 지적하였다. 개념적 정의는 상대적 기간(예를 들어 가뭄은 오랜 기간 동안 건조한 기간에 발생)을 설정하려는 시도이며, 운영적 정의는 가뭄기간의 시작시기, 심각도(severity), 종료 시기를 파악하려는 시도이다. 일반적으로 운영적 정의의 가뭄은 특정 가뭄의 빈도, 심각도, 지속시간을 분석하기 위해 사용한다(Mishira and Singh, 2009). 한편, World Meteorological Organization(WMO, 1986)은 가뭄이 ‘지속성, 확장성이 있는 강우부족’현상이라고 정의했으며, UN Convention to Combat Drought and Desertification(UN Secretary General, 1994)은 가뭄을 ‘강우가 평시의 기록수준보다 훨씬 적은 자연현상’이라고 정의했다. UN의 Food and Agriculture Organization(FAO, 1983)은 ‘가뭄의 위해’를 ‘수분부족으로 농작물 수확을 실패하는 햇수의 비율’로 정의했다. 이런 정의에 대한 고찰과 함께, Mishira와 Singh(2010)이 가뭄을 표현하기 위해 사용되는 변수에 따라 가뭄의 정의가 변화할 수 있음을 지적한 것도 주목할 만하다.

일반적으로 가뭄은 기상가뭄, 농업가뭄, 수문가뭄 및 사회경제적 가뭄의 4가지 유형으로 분류하는데(Wilhite and Glantz, 1985; Wilhite et al., 2010; American Meteorological Society, 2004) 우리나라에서도 가뭄의 유형별 기후변화 적응정책 연구가 수행된 바 있다(김연주, 2013). 기후변화를 고려한 농업가뭄에 대한 기초연구는 이진영(2012)에 의해 수행된 바 있으며 수문가뭄의 경우 하천유량, 저수지와 호수의 수위 및 지하수에 의한 수자원 공급원인 상수도 취수원과 밀접한 관련이 있으나 이에 관한 연구는 그리 많지 않다(이주현 등, 2011).

최근 수십 년간 여러 가뭄지표의 도출을 위한 연구가 수행되어 사용되고 있다. 가뭄지표는 가뭄의 영향 평가 및 여러 가뭄 영향매개변수를 정의하기 위한 기본 변수이다. 가뭄지표로는 PDSI(Palmer drought severity index; Palmer, 1965), RAI(Rain anomaly index;

van Roy, 1965), CMI(Crop moisture index; Palmer, 1968), SPI(Standardized precipitation index; McKee et al., 1993) 등 다수가 있다. 이 중 SPI는 오랜 기간의 강우기록을 확률분포함수에 적용하여 여러 시간스케일에 대한 물 공급여건을 살펴볼 수 있도록 하는 강점이 있다(Edwards and McKee, 1997; Mishira and Singh, 2009), (Lloyd-Hughes and Saunders, 2002; Madsen et al., 1998; Todorovic and Woolhiser, 1976; Wu et al., 2007). Mishira and Singh(2009)은 SPI를 구하기 위해 EV-1(Extreme Value Type-1)분포를 사용하여 빈도해석을 실시하였다. Lehner 등(2006)은 유럽대륙을 대상으로 2020년 (mid-term future)과 2070년 (long-term future)을 전망하였는데, 빈도해석은 시간축으로 자료를 조합하였으며 확률분포로 Log Pearson Type-3를 사용하였으며 100년 빈도 가뭄심도를 유럽대륙지도에 표시하여 제시하였다. 오랜 기간 동안의 강우자료 확보여부 및 확률분포의 특성에 따라 이렇게 구하여진 SPI가 많은 영향 및 제약을 받게 되므로(Mishira and Singh, 2010), 다양한 확률분포에 관한 적용이 필요하다. SPI계산에 앞서, 용이하게 구할 수 있는 강우자료를 확보하여 가뭄에 영향을 줄 수 있는 여러 요소들 중 연간 최소 확률강우량을 추정하려는 시도가 가뭄에 관한 기초연구로서 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 계절별로 뚜렷한 특성을 보이는 우리나라 기후 특성을 고려하여 우리나라 9개 대도시의 90일 간의 최소 누적 강우량의 연도 별 추이를 극치분포 Type-III인 Weibull 분포를 적용하여 분석하였다. 또한 기후변화에 따른 가뭄 심도의 변화 여부를 알아보기 위해 매개변수가 시간의 함수라 가정된 비정상계열 분석을 시도하였는데 이 결과는 시간의 경과에 따른 최소 확률강우량 발생의 재현기간 변동성을 예측하여, 상수도 취수원 확보를 위한 저수지 계획수립 등에 필요한 확률강우량 산정에 참고할 수 있을 것이라 판단된다.

2. 확률강우량 산정이론

Weibull 분포형은 Type-III 극치분포라고도 하며 갈수량 계열 등 연 최솟값 계열의 빈도분석에 적합한 모델이다. Type-III 극치분포는 2변수 Weibull 분포로도 알려져 있으며, 최솟값 해석의 경우 하한값(lower bound), 최댓값 해석의 경우 상한값(upper bound)이 있을 때 사용될 수 있다. 수문자료에서는 최솟값의 하한



은 보통 0이므로 주로 강수량 해석에 Type-III 극치분포를 많이 이용한다. 하한값을 논하는데 필요한 2변수 Weibull 분포의 확률밀도함수 $f(x)$ 와 누적 분포 함수 $F(x)$ 는 각각 다음과 같다.

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right]$$

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

식 (1)에서 통상 α 를 축척매개변수(Scale parameter), β 를 형상매개변수(Shape parameter)라 칭한다.

기후변화 등에 의한 강우량의 시간적 변동은 모델 매개변수 α 나 β 를 시간의 함수로 가정함으로써 모사할 수 있다. 관측 자료의 통계적 성질이 시간에 불변이라 가정한 것을 정상계열(stationary sequence)이라 하고 시간에 따라 변한다고 가정한 것을 비정상 계열(non-stationary sequence)이라 한다. 비정상 계열 분석에 있어 매개변수 모두를 시간의 함수로 볼 수 있으나 가능한 최소의 매개변수의 수로 관측 자료를 잘 설명할 수 있는 것이 최선의 방법이므로 식 (1)에서 함수의 최댓값의 위치와 관계되어 강우량 증감에 가장 민감하게 반응하는 α 만을 다음과 같이 시간의 1차 함수로 가정하여 분석을 하였다.

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t \quad (2)$$

β 역시 시간의 함수로 나타낼 수 있으나 그 효과가 상대적으로 미미함을 밝혀둔다.

수문자료로부터 매개변수를 추정하는 방법에는 모멘트법(method of moments, MOM), 최우도법(method of maximum likelihood estimation, MLE), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments, PWM)등이 있다. 모멘트법은 이상치가 존재하는 경우에 적용성이 떨어지고, 변동성이 큰 단점이 있다. 최우도법과 확률가중모멘트법은 모멘트법에 비해 효율적인 방법으로 채택되고 있다. 하지만 확률가중모멘트법의 경우 가장 큰 자료에 큰 가중치를 주기 때문에 재현기간이 큰 경우에 모멘트법이나 최우도법 보다 확률강우량이 지나치게 높게 산정되는 경우가 있다. 반면 최우도법을 사용하면 가장 효율적인 매개변수 추정치를 얻을 수 있으며, 표본자료의 크기가 충분할 때 매개변수 추정을 위한 다른 방법의 매개변수추정 효율성을 비교 평가하는 기준으로 사용되기도 한다. 본 연구에

서는 최우도법을 매개변수 추정방법으로 이용하였다.

n 개의 관측 자료의 열 x_1, x_2, \dots, x_n 이 서로 독립이고 각 관측 자료가 parameter의 수가 k 개인 동일한 확률밀도 함수 $f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \equiv f(x; \theta)$ 를 따르는 경우 관측자료의 열이 나올 확률은 다음과 같은 결합 확률밀도 함수에 비례한다.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) \equiv P(\mathbf{x}; \theta)$$

$$= f(x_1; \theta) f(x_2; \theta) \dots f(x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \quad (3)$$

여기서 굵은 문자는 각각 $\mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ 와 같은 확률변수와 매개변수의 열을 벡터로 나타낸 것이다. 본 분석의 경우와 같이 모델을 결정한다는 것은 얻어진 관측 자료 x_i 로부터 θ_i 들을 결정하는 것이므로 x_i 가 상수이고 θ_i 가 변수인 다음 식과 같은 형태의 함수 L 의 극값을 구하는 문제로 귀결되는데 이와 같은 함수를 우도 함수(likelihood function)라 한다.

$$L(\theta | \mathbf{z}) = \prod_{i=1}^n g(\mathbf{z} | \theta) \quad (4)$$

이와 같은 우도 함수를 이용하여 다음 식(5)와 같은 k 개의 연립방정식을 통해 θ_i 들을 구하는 것은 최우도법(Maximum Likelihood Estimation, MLE)라 한다.

$$\frac{\partial L(\theta | \mathbf{z})}{\partial \theta_i} = 0, (i = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (5)$$

통상적으로 편의상 L 보다는 이의 로그인 $\ell = \ln L$ 를 이용하여 해를 구한다.

3. 결 과

3.1 대상관측소 및 자료 획득

본 연구에서는 대한민국 주요도시(서울, 강릉, 인천, 원주, 대전, 대구, 울산, 광주, 부산)의 40년(1972~2011) 강우자료(hourly rainfall data)를 대상으로 지속시간별 강우량을 분석을 통해 비정상성 여부를 검토하였다. Table 1과 Fig. 1은 관측소의 위치와 현황을 나타낸 것이며 Station Code는 기상청 관측소 코드를 의미한다.

pp. 001-008
pp. 009-017
pp. 019-031
pp. 033-040
pp. 041-049
pp. 051-058
pp. 059-067
pp. 069-075
pp. 077-085
pp. 087-097
pp. 099-104
pp. 105-111

Table 1. Location of Rain Gauge Stations

Station Code	Station Name	Location (degree)	
		Latitude	Longitude
105	Gangneung	37° 75'	128° 88'
108	Seoul	37° 57'	126° 95'
112	Incheon	37° 48'	126° 62'
114	Wonju	37° 20'	127° 56'
133	Daejeon	36° 59'	127° 22'
143	Daegu	35° 53'	128° 37'
152	Ulsan	35° 33'	129° 19'
156	Gwangju	35° 10'	126° 53'
159	Busan	35° 06'	129° 01'

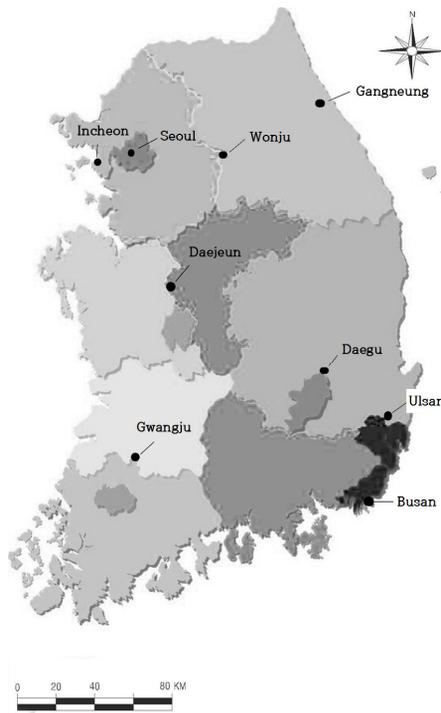


Fig. 1. Spatial Distribution of Rainfall Data Obtained in This Study.

3.2 정상과 비정상 시계열 분석에 의한 Weibull 분포의 매개변수 산정

우리나라 각 대도시의 90일 최소 강우량이 식(1)의 비정상계열 Weibull 분포를 따른다는 가정으로부터 식 (5)의 최우도법을 이용하여 구한 모델 매개변수를 Table 2에 나타내었다. 여기서 $\alpha(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t$ 는 대략적으로 최소 강우강도를 의미하고 있어 $\alpha_1 < 0$ 는 최소 강우강도가 감소하는 방향으로 진행됨을 의미한다.

3.3 Model 적합도 분석

n 개의 측정자료(연간 최소 강우량)를 발생시점과 무관하게 크기순으로 나열한 경우 i 번 째 값을 $x_{(i)}$ 라 한다면 $F(x_{(i)})$ 는 $x_{(i)}$ 이하가 나올 확률이므로 근사적으로 $i/(n+1)$ 과 같아야 한다. 단, 비정상계열 분석의 경우 시간에 대한 factor가 개입되어 있어 각 자료를 표준화한 후 비교해야 한다. Fig 2는 각 도시에 대해 $F(x_{(i)})$ 과 $i/(n+1)$ 를 비교한 그림이다. 각각의 그림은 선형에서 크게 벗어나지 않는 것을 보여주며 따라서 대체적으로 모델이 관측자료를 잘 설명하고 있음을 나타낸다.

3.4 정상과 비정상계열의 최소 확률강우량 산정

누적확률 분포 함수 $F(x)$ 의 의미는 확률변수가 x 이하일 확률이므로 확률변수를 연간 특정 시간당 최소 강우량이라 한다면 $F(x)$ 는 연간 x 이하의 최소(특정시간 당) 강우량이 발생할 확률을 의미한다. 따라서 $T=1/F(x)$ 는 x 이상의 값이 발생할 재현주기가 되어 이를 식 (1)의 Weibull 분포에 적용하면 다

Table 2. Parameter Estimates of Stationary and Non-stationary Weibull Distribution for 90 Days Minimum Rainfall

city	parameter	Non-stationary Estimation			Stationary Estimation	
		α_0	α_1	β	α_0	β
Seoul		50.313	-0.255	2.68	45.503	2.64
Gangneung		94.626	-0.512	2.516	85.021	2.517
Incheon		45.063	-0.229	2.404	40.744	2.389
Wonju		57.591	-0.458	3.014	48.973	2.832
Daejeon		68.394	-0.32	2.996	62.324	2.913
Daegu		47.16	-0.454	1.933	38.466	1.834
Ulsan		71.101	-0.559	1.779	60.468	1.746
Gwangju		80.059	-0.193	3.671	76.366	3.62
Busan		76.081	-0.679	2.139	63.313	2.035

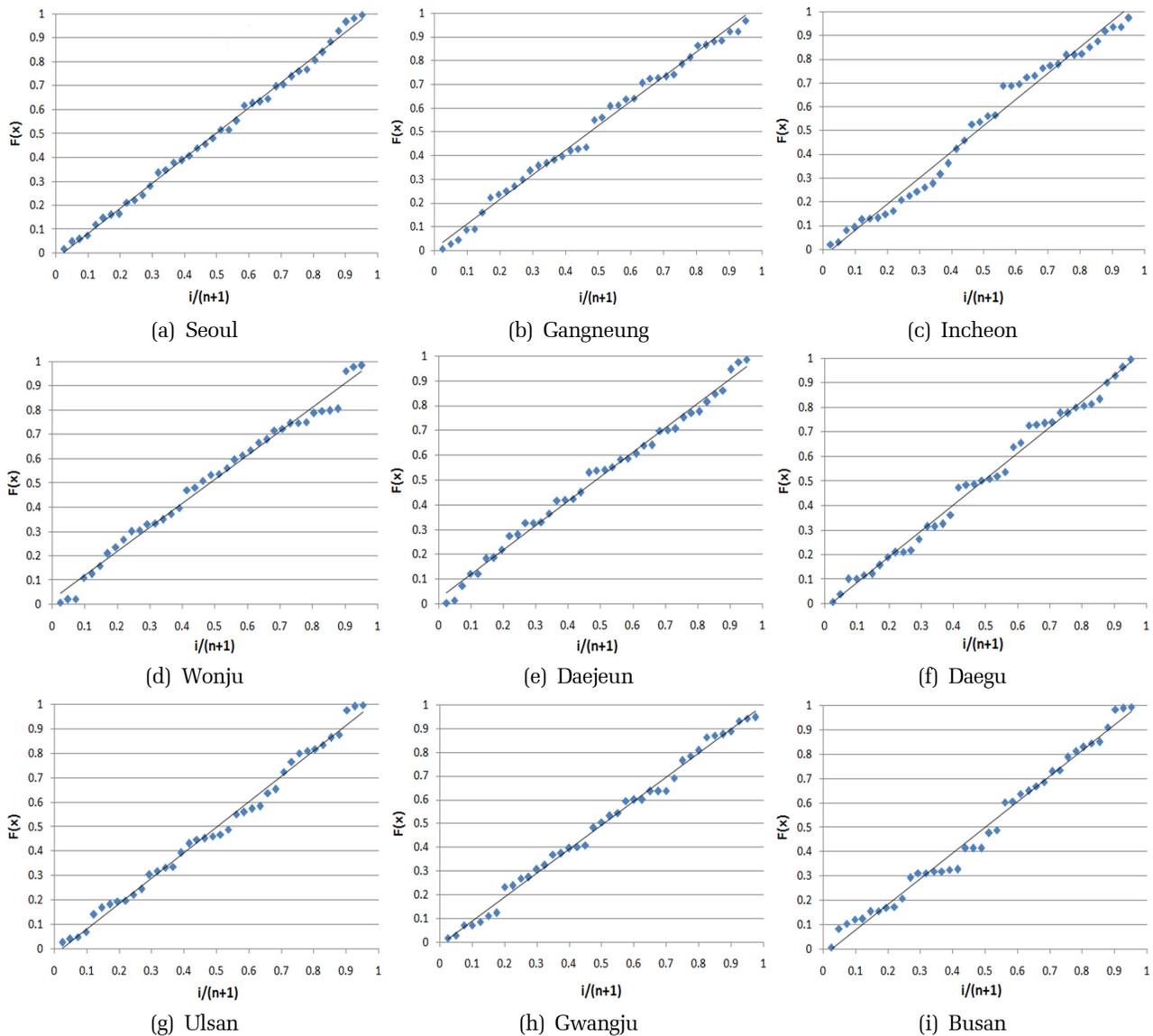


Fig. 2. Fitness of Standardized Parameters of Weibull Distribution.

음 식 (6)과 같은 특정 재현주기 T 를 갖는 최소 강우량 x_T 를 얻는다.

$$\begin{aligned} \text{정상 계열의 경우} & : x_T = \alpha_0 \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)^{1/\beta} \\ \text{비정상 계열의 경우} & : x_T = (\alpha_0 + \alpha_1 t) \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)^{1/\beta} \quad (6) \end{aligned}$$

Table 3에 의하면 전체적으로 비정상 계열의 값이 정상계열의 값보다 적게 나타나는데 이는 비정상계열의 α_0 가 더 큰 값인데 반해 식 (6)의 t 가 현재를 나타내고($t = 40$, 관측자료의 수) α_1 이 음수인 이유로 나

타나는 현상이다.

식 (6)에서 α_1 의 의미를 분석해 본다면 그 크기는 시간에 대한 특정 재현주기의 최소강우량의 변화율을, 그 부호는 가뭄 강도가 완화 또는 강화되는지 여부를 각각 나타내고 있다. 따라서 모든 도시에서 $\alpha_1 < 0$ 의 값을 보인다는 것은 우리나라 모든 도시에서 최소 확률 강우량이 감소하는 추세라는 것을 의미한다. 특히 그 값은 강릉과 부산이 크게 나타났는데 이는 최근 우리나라에서 수년간 갈수기에 심각한 가뭄현상을 겪고 있는 지역이 영동과 경남지역임을 고려하면 타당한 결과임을 알 수 있다.

- pp. 001-008
- pp. 009-017
- pp. 019-031
- pp. 033-040
- pp. 041-049
- pp. 051-058**
- pp. 059-067
- pp. 069-075
- pp. 077-085
- pp. 087-097
- pp. 099-104
- pp. 105-111

Table 3. Comparison between Stationary and Non-stationary Probable Rainfall by Weibull Distribution

Minimum Rainfall Depths (mm) by Weibull Distribution with Change of Return Periods									
Return Period (yr)	Seoul			Gangneung			Incheon		
	Stationary	Non-stationary	Increment	Stationary	Non-stationary	Increment	Stationary	Non-stationary	Increment
5	25.78	23.48	-2.30	46.85	40.85	-6.00	21.75	19.24	-2.51
10	19.40	17.96	-1.44	34.77	30.31	-4.46	15.88	14.08	-1.80
20	14.77	13.89	-0.89	26.12	22.77	-3.35	11.75	10.44	-1.32
30	12.63	11.98	-0.65	22.16	19.32	-2.84	9.88	8.78	-1.10
50	10.38	9.96	-0.42	18.04	15.72	-2.32	7.96	7.08	-0.87
Return Period (yr)	Wonju			Daejeon			Daegu		
	Stationary	Non-stationary	Increment	Stationary	Non-stationary	Increment	Stationary	Non-stationary	Increment
5	28.84	23.87	-4.96	37.24	33.70	-3.54	16.98	13.35	-3.63
10	22.12	18.61	-3.51	28.78	26.23	-2.55	11.28	9.05	-2.22
20	17.16	14.66	-2.50	22.48	20.63	-1.85	7.62	6.24	-1.38
30	14.82	12.78	-2.05	19.50	17.97	-1.54	6.08	5.04	-1.04
50	12.35	10.76	-1.59	16.33	15.12	-1.21	4.58	3.85	-0.73
Return Period (yr)	Ulsan			Gwangju			Busan		
	Stationary	Non-stationary	Increment	Stationary	Non-stationary	Increment	Stationary	Non-stationary	Increment
5	25.61	20.98	-4.64	50.46	48.08	-2.38	30.30	24.26	-6.03
10	16.66	13.76	-2.91	41.01	39.19	-1.83	20.95	17.08	-3.87
20	11.03	9.18	-1.85	33.62	32.21	-1.41	14.71	12.20	-2.51
30	8.70	7.27	-1.43	29.98	28.77	-1.21	12.00	10.05	-1.95
50	6.47	5.44	-1.03	25.99	24.99	-1.00	9.31	7.89	-1.41

3.5 Model parameter α_1 의 신뢰도 분석

α_1 값이 음수란 것은 가뭄의 강도가 시간에 따라 더 심화됨을 의미한다는 것을 앞 절에서 알아보았다. 하지만 α_1 이 음수라 해서 앞으로 최소강우량이 감소할 확률이 100%란 의미는 아니므로 본 절에서는 이와 같이 α 가 감소할 확률, 즉 α_1 이 음수일 확률에 대한 분석을 해 보기로 한다.

각 매개변수의 분산 또는 표준편차는 다음과 같이 우도함수의 2차 미분으로 이루어진 정보행렬을 I_0 통해 구할 수 있다.

$$I_0 = \begin{pmatrix} -\frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \ell(\theta) & -\frac{\partial^2}{\partial \beta \partial \alpha_0} \ell(\theta) & -\frac{\partial^2}{\partial \beta \partial \alpha_1} \ell(\theta) \\ & -\frac{\partial^2}{\partial \alpha_0^2} \ell(\theta) & -\frac{\partial^2}{\partial \alpha_0 \partial \alpha_1} \ell(\theta) \\ \text{대칭} & & -\frac{\partial^2}{\partial \alpha_1^2} \ell(\theta) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$\ell(\theta)$ 는 식 (5)의 log우도함수를 의미하고 이로부터 각 매개변수의 covariance σ_{ij} 가 다음 식 (8)과 같이 얻

어진다.

$$\sigma_{ij} = (I_0^{-1})_{ij} \quad (8)$$

각 매개변수의 분산은 행렬 σ 의 대각성분이고 이 값에 의거 α_1 에 대한 평균과 표준편차를 Table 4에 나타내었다. 본 연구에서는 α_1 이 음수일 확률이 가뭄이 증가한다는 주장의 신뢰성을 나타낸다는 의미에서 $\alpha_1 < 0$ 인 확률을 신뢰도(Reliability)라 정의하였다.

Table 4. Uncertainty and Reliability of α_1

City	Weibull Distribution		
	Mean	Standard Deviation	Reliability
Seoul	-0.255	0.243	85.2%
Gangneung	-0.512	0.605	80.1%
Incheon	-0.229	0.257	81.4%
Wonju	-0.458	0.224	98.0%
Daejeon	-0.32	0.264	88.7%
Daegu	-0.454	0.265	95.7%
Ulsan	-0.559	0.487	87.4%
Gwangju	-0.193	0.283	75.2%
Busan	-0.679	0.381	96.3%



Table 4에 의하면 도시에 따라 최저 75%로부터 최고 98%의 비교적 큰 신뢰도를 보임임을 알 수 있다. 광주의 신뢰도가 타 도시에 비해 상대적으로 적은 이유는 평균의 절댓값이 적기 때문인데 이는 변화율이 미미할수록 향후 값의 증감이 불투명 한 것이므로 당연한 결과이다.

4. 결 론

본 연구에서는 대한민국의 주요도시의 강우자료를 바탕으로 지속시간 90일에 대해 연 최소 누적강우량을 정상 및 비정상상태에서 Weibull 분포를 통해 분석하였다.

결과적으로 우리나라의 각 지역의 특성에 따라 최소 확률강우량이 두 배 내외에서 차이를 보이며 공히 정상계열 보다는 비정상계열로 가정할 경우 보다 적은 값이 도출됨을 알 수 있었다. 특히 기후변화를 모사한 비정상계열 모델의 경우 최소강우량의 변화율이 모든 도시에 서 음수로 나타난다는 점과 변화율이 음수일 확률인 신뢰도가 최소 75%에서 최대 98%의 상대적으로 높은 값을 보인다는 점 등은 향후 이러한 추세가 유지될 가능성이 상당히 높다는 것을 의미하고 따라서 저수지 용량 산정 등과 같은 가뭄대책을 수립함에 있어 보다 강화된 예측 값을 사용해야 함을 보여준다.

한편 강릉과 부산의 변화율이 상대적으로 큰 값으로 나타나 최근 갈수기의 가뭄이 빈발한 지역과 대체적으로 일치하고 있음을 알 수 있는데 이는 이 지역의 가뭄 문제가 더 심각해 질 수도 있음을 의미한다.

마지막으로 본 연구와 병행하여 수행된 우리나라 대도시의 연 최대 시간당 강우량의 변화율 분석에 의하면 모든 대도시에서 연 최대 시간당 강우량이 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과와 본 연구 결과를 종합하여 판단할 때 향후 우리나라는 기후변화에 의해서 우기시의 집중강우와 건기시의 가뭄 강도가 동시에 증가할 것이라고 예측할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발 사업인 한국환경산업기술원 EI 사업(과제번호 : 414-111-001)의 지원을 받아 하수관거관리기술연구단 주관으로 진행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- American Meteorological Society (2004). Statement on meteorological drought, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 771-773.
- Byeon, S., Choi, G., Kim, J., Koo, B., and Kim, S. (2009). The study on characteristics and causes of drought in water deficit zone, *Proceedings of the Korea Water Resources Association*. May, 2009.
- Coles, G.S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer.
- Edwards, D.C. and McKee, T.B. (1997). *Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Scales*, Atmospheric Science Paper No. 634, May 1-30.
- Gumbel, E.J. (1963). Statistical forecast of droughts. *Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.* 8(1), 5-23.
- Kim, Y. (2013). *Policy on Adaptation to Climate Change According to Drought Types*, Working Paper of Korea Environment Institute.
- K-Water (2005). *Establishing Monitoring System for Drought Management*. Report.
- K-Water (2006). *Establishing Information System for Drought Management*. Report.
- K-Water (2007). *Report on Test Operation of Information System for Drought Management*. Report.
- Korea Meteorological Administration (2011). *Report on Climate Change Scenarios 2011*.
- Korea Meteorological Administration (2012). *Current Status and Prospects of Recent Drought*, Press Material.
- Lee, J. (2012) *A Study of the Application of an Agricultural Drought Index Considering Climate Change*, Working Paper of Korea Environment Institute.
- Lee, J. and Kim, C. (2011). Review of recent studies on extreme drought considering climate change, *Special Issue on Impact and Prospects on Hydrological Impact Under Climate Change, Water & Future*, 36-40.
- Lehner, B., Doll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., and Kaspar, F. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75(3), 273- 299.
- Linsely, Jr., R.K., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L.H. (1959). *Applied Hydrology*, McGraw Hill, New York.
- Lloyd-Hughes, B. and Saunders, M.A. (2002). A drought climatology for Europe, *Int. J. Climatol.*, 22, 1571-1592.
- Madsen, H., Mikkelsen, P.S., and Rosbjerg, D., and Harremoes, P. (1998). Estimation of regional intensity-duration-frequency curves for extreme precipitation, *Water Sci.*

- Technol.*, 37(11), 29-36.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, Paper Presented at 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- Mishra, A.K. and Singh, V.P. (2009). Analysis of drought severity-area frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty. *Journal of Geophysical Research*, D06120.
- Mishra, A.K. and Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorologic Drought*. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, 58.
- Palmer, W.C. (1968). Keeping the track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index, *Weatherwise*, 21, 156-161.
- Park, K., Yu, S., Byambadorj, E.(to be published). Prediction of Return Periods of Sewer Flooding Due to Climate Change in Major Cities.
- Todorovic, P. and Woolhiser, D.A. (1976). Stochastic structure of the local pattern of precipitation. In: Shen, H.W. (Ed.), *Stochastic Approaches to Water Resources*, Vol. 2, Colorado State Univ., Fort Collins, CO.
- UN Secretariat General (1994). *United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification, Particularly in Africa*. Paris.
- van Roy, M.P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space., *Notos*, 14, 43.
- Wilhite, D.A. (2000). Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A Global Assessment*. Routledge, New York.
- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. (1987). Understanding the drought phenomena: the role of definitions. In: Donald, A., Wilhite, Easterling William, E., Deobarah, A., (Eds.), *Planning of Drought: Towards a Reduction of Societal Vulnerability*, Westview Press, Wood, Boulder, CO, 11-27.
- World Meteorological Organization (1986). *Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974-1985*, WMO, Geneva, 118.
- Wu, H., Svoboda, M.D.I, Hayes, M.J., Wilhite, D.A., and Wen, F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in and locations and dry seasons, *Int. J. Climatol.*, 27, 65-79.
- Yevjevich, V. (1967). *An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Drought*, Hydrology Paper No. 23. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, USA.