



Power 모형을 이용한 비정상성 확률강수량 산정

Estimates the Non-Stationary Probable Precipitation Using a Power Model

김광섭* · 이기춘* · 김병권*

Kim, Gwangseob · Lee, Gichun · Kim, Beungkown

ABSTRACT

In this study, we performed a non-stationary frequency analysis using a power model and the model was applied for Seoul, Daegu, Daejeon, Mokpo sites in Korea to estimate the probable precipitation amount at the target years (2020, 2050, 2080). We used the annual maximum precipitation of 24 hours duration of precipitation using data from 1973 to 2009. We compared results to that of non-stationary analyses using the linear and logistic regression. The probable precipitation amounts using linear regression showed very large increase in the long term projection, while the logistic regression resulted in similar amounts for different target years because the logistic function converges before 2020. But the probable precipitation amount for the target years using a power model showed reasonable results suggesting that power model be able to reflect the increase of hydrologic extremes reasonably well.

Keywords: Non-stationary Frequency Analysis, Probable Precipitation, Power Model, Annual Maximum Precipitation

1. 서 론

지구온난화로 인한 기후변화에 따라, 극한 강우사상의 양적인 증가 및 빈도의 증가도 함께 발생하고 있다. 과거의 관측 자료를 통하여 우리나라의 강수량 변화추세는 연 강수량은 증가하나, 강수일수는 감소하고, 일강수량 80 mm 이상의 호우일수는 증가하는 것으로 나타났다 (Kim et al., 2009; Lee et al., 2010). 이렇게 과거 관측 자료에서 나타난 강수의 변화특성은 IPCC SRES A2 기후변화 시나리오에서 미래기간에도 동일하게 나타날 것이라는 분석결과가 나타났다 (Bae et al., 2008). 이러한 기후변화의 영향으로 수공구조물, 홍수방어시스템을 통한 홍수방어능력을 초과하는 강우를 발생시키는 등 홍수피해를 증가시킬 뿐만 아니라, 농업용수의 관리에도 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이와 같은 현실에서 우리나라 및 여러 선진국에서 수자원관리를 위한 시스템을 계획하고 운영하는데 있어 정상성임을 가정하였다. 하지만 최근 극치 강수량의 변화특성은 정상성임을 가정한 전통적인 빈도해석 기법을 적용하여 설계 강수량

을 산정하고 적용하는 것이 타당한지에 대한 의문을 가지게 되었다. 이처럼 정상성임을 가정하여 산정된 확률강수량을 통하여 농업용 저수지 관리를 비롯한 농업용수의 관리를 개선해야 될 것으로 판단된다. 최근 수문학적 시계열 자료를 모형화하고 특정 재현기간의 극치사상을 추정하기 위해 사용되는 통계학적 방법은 비정상성을 가진 자료에 대해 적용에 한계가 있다. 최근 연구들에서는 확률분포를 관측 자료에 적합 시킬 때에 시계열 자료에 대한 비정상성 측면을 고려할 수 있는 여러 가지 기법을 검토하고 있다.

강수량 자료의 비정상성 빈도해석과 관련한 연구가 최근에 우리나라뿐만 아니라 여러 나라에서 활발히 이루어지고 있다. Leclerc and Ouarda (2007)은 홍수빈도해석을 위해 GEV 모델의 매개변수들을 시간에 따른 함수로 변화시켜 비정상성 모델을 제안하였다. Hanel and Buishand (2010)는 RCM (Regional Climate Model) 모의에 따른 시 강수량 자료를 이용하여 극치 강수량의 비정상성 거동을 분석하였다. Villarini et al. (2010)은 도시지역의 홍수빈도해석이 토지이용의 변화와 연계되어 비정상성 거동의 해석이 어려움을 언급하였으며 GAMLSS (Generalized Additive Model for Location, Scale and Shape parameters)를 선정하여 비정상성 조건 하에 시계열 자료를 모형화 할 수 있는 빈도해석기법을 제안하였다.

비정상성을 고려한 빈도해석기법에 관한 국내의 연구 중에서 Sin et al. (2008)은 홍수지수법에 대한 불확실성을 평가하기

* 경북대학교 건축-토목공학부

† Corresponding author Tel.: +82-53-950-5614

Fax: +82-53-950-6564

E-mail: kimg@knu.ac.kr

2013년 1월 23일 투고

2014년 7월 15일 심사완료

2014년 7월 15일 게재확정

위해 Generalized Logistic 분포형의 분위수에 대하여 점근 분산식을 이용해 성장곡선에 대한 신뢰구간을 산정하였다. Lee et al. (2010)은 BCM2 모형과 NCEP 자료를 이용해 Gumbel 분포 및 확률가중모멘트 법을 적용하여 목표연도 확률강수량을 산정하는 방법을 제안하였다. Jang et al. (2011)은 연 최대 강우량의 회귀직선에 대한 잔차의 수문학적 빈도해석을 바탕으로, 가까운 미래로 설정된 목표연도의 확률강우량을 산정하는 방법을 제안하였다. Kim and Lee (2012a)는 비정상성 빈도해석을 통한 전국의 확률강수량을 산정하기 위하여, Gumbel 분포 및 확률가중모멘트법을 적용해 전국 55개 지점의 목표연도 2020년, 2030년, 2040년의 확률강수량을 산정하였다.

현재 우리나라뿐만 아니라 여러 나라에서 강우 자료의 비정상성에 대한 완벽한 접근법이 아닌 일관성 있는 접근법 확립을 위해서 노력하고 있다. 기존의 정상성 가정에 따른 빈도해석과 같이 동일 자료에 대한 동일 결과를 제공하는 재현성과 일관성 있는 접근법 확립이 필요한 것이다. 이러한 변화에 대한 고려의 일환으로 앞으로 기후변화 시나리오에 따라 예상되는 수십년에서 백년 정도의 변화에 대한 고려방안의 구축 또한 필요하다.

본 연구에서는 우리나라의 확률강수량을 산정하는데 있어 실무에서 가장 많이 사용되는 분포인 Gumbel 분포를 이용하여 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량을 산정하였다. Kim and Lee (2012b)는 누적평균 극치강수량에 대하여 선형회귀분석 및 Logistic 회귀분석을 수행하여 서울지점의 확률강수량을 산정한 바 있다. 하지만 이는 2020년, 2030년, 2040년의 단기간에 대한 비정상성 빈도해석을 수행하여, 중장기적인 확률강수량의 산정에 대한 결과는 나타나지 않음을 보였다. 또한 계속적인 선형성에 따른 한계와 Logistic Curve에 의한 수렴하는 한계가 있음을 언급하였다. 따라서 본 연구는 Power Model을 이용하였으며, 중장기간의 확률강수량을 산정하기 위해 목표연도를 2020년, 2050년, 2080년으로 선택하였으며, 각 지역별 (한강, 낙동강, 금강, 영산/섬진강)로 대표 지점으로서 서울, 대구, 대전, 목포지점을 선정하여 이에 대한 재현기간별 확률강수량을 산정하여 선형회귀분석 및 Logistic 회귀분석에 의한 확률강수량과 비교·분석하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상지점 선정 및 자료수집

현재 우리나라 전역에 걸쳐 운영하고 있는 전국 기상관측소 76개 지점 중 1973년부터 2009년까지의 시 강수량 자료가 구축되어 있는 59개 지점에서, 제주도에 속하는 3개 지점, 울릉도 지점을 제외하여 총 55개 지점을 선정하였다 (Fig. 1). 선정된

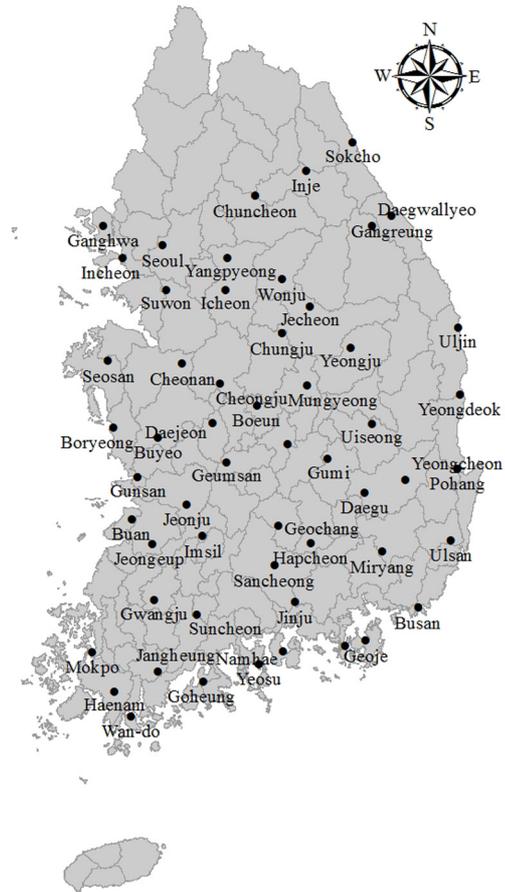


Fig. 1 Locations of the 55 weather stations used for statistical analysis

각 지점의 시 강수량 자료를 통하여 각 지점별 24시간에 대한 지속 강우를 계산하였으며, 각 지속시간별 강수량의 연 최대치를 산정해 본 연구 자료로 사용하였다. 또한 지속시간별로 초기 20년을 기준으로 1년씩 추가해 누적 강수량을 구한 후 평균함으로써, 각 기간에 따른 연 최대 누적평균 극치강수량을 산정하였다.

2. 분포형 및 매개변수 추정법 선정

본 연구에서는 Gumbel 분포를 사용하여 전국 55개 지점에 대한 비정상성 빈도해석을 수행하였다. Gumbel 분포의 경우, 강우빈도해석에 있어 실무에 가장 많이 사용되는 분포이다. 일반화된 극치분포 (Generalized Extreme Value, GEV)에서 형상 매개변수 (shape parameter)가 0일 때를 Gumbel 분포라 하며, 이 분포는 극치 자료 중에서도 연 최대 홍수량 및 강수량 자료의 빈도분석에 많이 사용된다. Gumbel 분포의 확률밀도 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$f(x) = \frac{1}{s} \exp\left[-\frac{1}{s}(x-l) - \exp\left(-\frac{1}{s}(x-l)\right)\right],$$

$$-\infty < x < \infty \quad (1)$$

x 는 연최대치 강수량 자료값을 나타내며, s 는 축척매개변수 (scale parameter)를 나타내며, l 은 위치매개변수 (location parameter)를 나타낸다. 확률밀도 함수를 적분하면 식 (2)와 같이 나타나며, 누적분포함수의 역함수를 통하여 목표연도 (Y)의 재현기간별 확률강수량을 산정하는 식은 식 (3)과 같이 나타난다. 또한 매개변수의 추정에 대하여 확률가중모멘트법을 사용하였으며, 이는 표본의 크기가 작더라도 영향을 덜 받으며, 상대적으로 안정적인 장점을 지니고 있어 최근에 많이 사용되고 있다.

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-l}{s}\right)\right] \quad (2)$$

$$x_Y = l - s \ln[-\ln F(x)] \quad (3)$$

3. Power Model

본 연구에서는 누적평균 극치강수량과 연도와의 관계에서 선형회귀분석 및 Logistic 회귀분석, Power Model을 이용하여 목표연도별 위치 매개변수 및 축척 매개변수를 산정함에 있어 필요한 목표연도별 누적평균 극치강수량을 산정하였다. 선형회귀분석 및 Logistic 회귀분석의 경우 Kim and Lee (2012)에서 언급되어진 내용이므로 본 논문에서는 생략하였다. 변수들 사이의 함수적 선형관계를 탐색하는 분석기법인 선형회귀분석에 기초하여 자료를 탐색하는 과정에서 실제 두 변수의 관계가 선형으로 나타나지 않거나 한 변수 내 수치적 차이가 커서 실제의 선형관계보다 더 과대한 선형관계를 보이는 경우가 있다. 이런 경우 선형회귀분석을 수행하기 위해 변수의 변환방법을 이용하는데, 이러한 변수의 변환들은 이론적 또는 경험적 근거에 의해서 여러 가지 형태의 함수로 선택된다. 이때 선형함수로 변환할 수 있는 모든 비선형함수는 선형가능함수라고 불린다. 특히 변수내부의 수치적 차이가 큰 경우 변수의 로그 변환을 시도하는데, 변수의 변이를 무디게 하는 동시에 비대칭성을 줄이는 효과가 있다. 특히 종속변수와 설명변수 모두에 있어 로그변환을 시킨 후 선형회귀분석에 적용하는 모형을 Power Model (Power regression 또는 Log-Log regression)이라 부른다. Power Model을 통해 선형회귀분석을 수행할 경우의 모형은 다음 식과 같다.

$$\log(Y) = \beta_0 + \beta_1 \log(X) + \epsilon \quad (4)$$

β_0 는 설명변수 $\log(X)$ 가 1일 때, 변환된 종속변수 $\log(Y)$ 의 값, β_1 은 변환된 설명변수 $\log(X)$ 의 한 단위 변화할 때의 변환된 종속변수 $\log(Y)$ 에 미치는 영향력의 정도를 나타낸다. ϵ 은 예측하지 못하는 확률오차를 나타내며, ϵ 은 독립인 표준정규분포를 따르는 확률변수로 볼 수 있다.

III. 분석결과

1. 비정상성 빈도해석 절차

본 연구에서는 비정상성 빈도해석을 수행하기 위해 각 기간별 누적평균 극치강수량에 대한 선형회귀분석과 Logistic 회귀분석, Power Model을 실시하였고, 위치 매개변수 및 축척 매개변수와 누적평균 강수량과의 상관관계를 이용해 목표연도에 대한 확률강수량을 산정하여 비교·분석하였다. Fig. 2는 전국 확률강수량에 대한 선형회귀분석과 Logistic 회귀분석, Power Model을 이용한 비정상성 빈도해석 과정을 나타낸 것이다. 전국 55개 지점의 시 강수량 자료에 대하여 지속시간별 연 최대 강수량 자료를 구축하였고, 연 최대 강수량 자료의 초기 20년부터 1년씩 누적한 누적 강수량 자료를 구축하였으며, 각 누적평균 강수량 자료의 평균 및 위치, 축척 매개변수를 산정하였다. 선형회귀분석의 경우 각 지점의 누적평균 강수량과 연도와의 선형회귀분석을 통하여 목표연도별 누적평균 강수량을 산정해 이를 통해 목표연도별 위치 및 축척 매개변수를 산정하여 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량을 산정하였다. Logistic 및 Power Model의 경우 지점의 목표연도별 누적평균 강수량을 산정하기 위해 구역과 각 지점간의 누적평균 극치강수량의 편차를 사용하였다. 구역의 누적평균 강수량에 대해 각 회귀분석을 이용하여 목표연도별 구역의 누적평균 강수량을 구하여 가장 큰 편차를 이용해 각 지점의 목표연도별 누적평균 강수량을 산정하였으며, 그 이후는 선형회귀분석 방법과 동일하다.

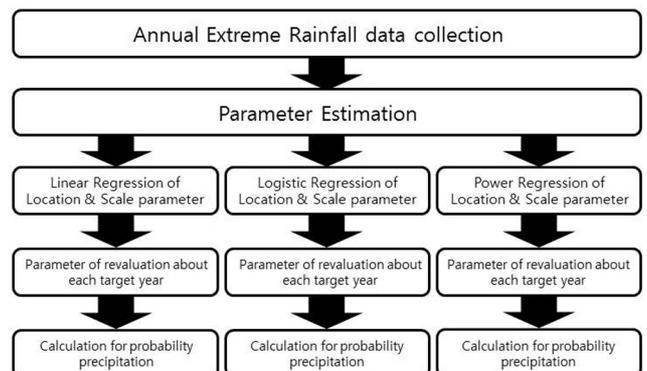


Fig. 2 Procedure of the non-stationary frequency analysis

2. 경향성 및 정상성 검정

강우 빈도해석은 관측 강우로부터 추출한 연 최대 강우량의 자료가 정상성임을 가정해 산정하기에 경향성 검정을 수행하는 것이 일반적이지만(Kown et al., 2009), 경향성 검정으로 Mann- Kendall, Wald-Wolfowitz, Run 검정방법을 이용하였으며, 정상성 검정으로는 Augmented Dickey-Fuller (ADF test), Phillips Perron (PP test), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS test) 검정을 이용하였다. 정상성 및 경향성 검정 모두 유의수준 0.05를 기준으로 검정하였으며, 각 검정방법에 따른 귀무가설은 아래의 Table 1과 같다. 경향성 검정에 있어 세 방법 모두 p-value 값이 0.05보다 작을 때 경향성이 있는 것으로 판정하고 정상성 검정은 ADF test 와 PP test는 p-value 값이 0.05보다 클 때, KPSS test는 0.05보다 작을 때 비정상성을 가진 것으로 판정한다.

먼저 경향성 검정의 경우 p-value가 0.05보다 클 경우 경향성이 있다고 결정을 내릴 수 있으며, 그 반대의 경우 (p-value ≤ 0.05)에서 자료의 경향성이 없다고 판단할 수 있다. 또한 각 검정방법에 따라 경향성 정도를 판단하는 보수성이 차이를 보이는데, Mann-Kandall 검정이 세 가지 검정 중 가장 보수적인 검정 방법이며, Run 검정이 가장 보수적이지 않은 방법이라고 볼 수 있다. 실제 같은 자료를 통해 경향성 검정을 하는 경우역시, 경향성이 확실히 나타나는 자료가 아닌 경우, 미세한 경향성 역시 검정하는 방법이 Run 검정이라고 볼 수 있다. 실제 강수 자료 등의 기후 자료의 경우 긴 시간을 두고 경향성을 파악해서 나타나는 미세한 경향성임을 고려해야 하므로, 미세 경향성을 찾는 것이 상당히 중요하다고 볼 수 있다. 그러므로 세 가지 검정 모두에서 경향성이 나타나지 않는 경우, 미세한 경향성이 보인다고 판단하는 것이 옳다. 실제 적용된 자료의 경우 가장 보수적인 Mann-Kandall검정에서는 모두 경향성이 없다고 판단하였으나 실제 다른 두 검정에서 미세한 경향성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 즉, Wald-Wolfowitz검정의 경우 서울, 대전에서 미세한 경향성이 나타나고 있으며, Run 검정의 경우 서울, 대구, 목포에서 미세한 경향성을 보이고 있다. 결과적으로 네 지역의 미세한 경향성을 의심할 수 있으며, 그에 따른 분석을 실시한다.

정상성의 경우 검정방법에 따라 귀무가설이 차이가 나는데, 세 검정 중 ADF검정과 PP검정은 귀무가설이 비정상성임 반면 KPSS검정의 경우 귀무가설이 정상성임을 고려해 주어야 한다. 즉, ADF검정과 PP검정의 경우, 유의확률인 p-value가 0.05보다 작은 경우 정상성으로 판단되는 반면, KPSS검정의 경우 p-value가 0.05보다 큰 경우 정상성으로 판단되는 검정통계량을 산출한다. 또한 이 경우 역시 검정에 대한 보수성이 각각 다르기 때문에 확실한 정상성, 혹은 비정상성이 나타나지 않는 자료의 경우 정상성 검정 방법에 따라 검정 결과에 차이가 있을

Table 1 Summary of test methods and null hypothesis

Test Method		Null Hypothesis : H0	Level of significance
Randomness	Wald-Wolfowitz	Data are random (No trend)	0.05
	Mann-Kendall	Data are random (No trend)	
	Run	Data are random (No trend)	
Stationarity	ADF	Data are nonstationary	
	PP	Data are nonstationary	
	KPSS	Data are stationary	

Table 2 Results of randomness tests

Station	Mann-Kendall		Wald-Wolfowitz		Run test	
	p-value	O / X	p-value	O / X	p-value	O / X
Seoul	0.069	X	0.024	O	0.030	O
Daegu	0.374	X	0.172	X	0.030	O
Daejeon	0.875	X	0.023	O	0.310	X
Mokpo	0.402	X	0.088	X	0.030	O

※ O : Trend / X : No-trend

Table 3 Results of stationary tests

Station	ADF test		PP test		KPSS test	
	p-value	O / X	p-value	O / X	p-value	O / X
Seoul	0.216	O	0.010	X	0.050	X
Daegu	0.081	O	0.010	X	0.100	X
Daejeon	0.201	O	0.016	X	0.100	X
Mokpo	0.092	O	0.010	X	0.100	X

※ O : Non-stationary / X : Stationary

수 있다. 그러므로 한 가지 검정에서라도 비정상성이 고려되는 경우, 비정상성을 염두하는 분석이 필요하다. 실제 자료의 경우 ADF검정만 서울, 대구, 대전, 목포에서 비정상성이 의심되며, PP검정, KPSS검정의 경우 정상성으로 판단하고 있다. 그러나 한 가지 검정에서라도 비정상성 결과가 나온 만큼 이를 고려한 분석을 실시한다. 서울, 대구, 대전, 목포지점의 지속시간 24시간에 대한 연 최대 강수량 자료를 대상으로 경향성 분석 및 정상성 검정을 수행한 결과 대구를 제외한 모든 지점에서 한 가지 방법 이상의 결과에서 경향성을 가지고, 네 지점 모두 ADF test를 통해 비정상성임이 나타남을 보였다(Table 2, Table 3).

3. 자료구축

본 연구에서 수행한 비정상성 빈도해석의 수행과정은 극치분포형의 비정상성 거동을 극치의 평균거동, 분포형의 위치 및 축척 매개변수의 거동을 연계하여 해석하였다. 목표연도별 극치 평균 강수량을 산정하고, 각 평균 강수에 대하여 위치 및 축척매개변수를

산정해 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량을 산정하였다.

본 연구를 위해 대상 지점들의 1973년부터 2009년까지의 시강수량 자료를 이용해 지속시간 24시간에 대한 연 최대 강수량 자료를 구축하였으며, 초기 20년을 기준으로 하여 1년씩 강수량 자료를 누적시켜 기간으로 평균함으로써, 각 기간별 누적평균 극치강수량 자료를 구축하였다. 또한 각 유역에 해당하는 지점들의 누적평균 강수량 자료를 모두 합산한 후 평균하여, 각 유역에 대한 누적평균 강수량을 산정하였으며, 한강유역과 서울지점, 낙동강유역과 대구지점, 금강유역과 대전지점, 영산/섬진강유역과 목포지점의 각 시간에 대한 누적평균 극치강수량의 편

차를 구해, 각 지점의 편차의 최댓값을 산정하였다. 또한 24시간에 대한 연 최대 강수량을 통하여 Gumbel 분포의 매개변수인 위치 매개변수와 축척 매개변수는 확률가중모멘트법을 이용하여 산정하였으며, Table 4는 지점과 유역의 누적평균 극치강수량과 편차, 위치 및 축척 매개변수를 나타낸 것이다.

4. 목표연도별 확률강수량 산정

목표연도 2020년, 2050년, 2080년의 재현기간별 확률강수량을 산정하기 위하여, 목표연도별 누적평균 극치강수량을 선형회귀분석, Logistic 회귀분석, Power Model을 이용하여 산정하

Table 4 Accumulative average extreme precipitation and parameters

Period	Han River and Seoul					Nakdong River and Daegu				
	Precipitation(mm)			Parameters		Precipitation(mm)			Parameter	
	Han	Seoul	Dev.	Location	Scale	Nakdong	Daegu	Dev.	Location	Scale
1973-1992	157.3	160.1	2.8	128.8	54.3	142.5	118.2	-24.3	97.1	36.6
1973-1993	156.8	157.0	0.1	125.9	53.9	142.8	118.7	-24.0	98.0	36.0
1973-1994	156.6	154.1	-2.5	123.4	53.3	141.5	115.4	-26.1	93.9	37.4
1973-1995	157.7	156.8	-0.9	125.6	54.1	140.5	113.4	-27.1	91.9	37.2
1973-1996	157.2	157.3	0.1	126.6	53.1	140.4	113.4	-27.0	92.4	36.3
1973-1997	157.6	156.1	-1.6	126.3	51.7	140.4	113.1	-27.3	92.7	35.4
1973-1998	160.6	164.0	3.4	129.9	59.1	144.3	117.5	-26.8	95.0	38.9
1973-1999	163.2	167.6	4.4	132.5	60.9	145.7	118.7	-27.0	96.3	38.9
1973-2000	162.9	166.0	3.2	131.7	59.5	145.2	119.0	-26.2	96.9	38.2
1973-2001	162.6	171.0	8.4	134.7	62.8	145.6	119.9	-25.7	98.0	38.0
1973-2002	168.4	174.8	6.4	137.5	64.7	147.2	121.4	-25.8	99.4	38.1
1973-2003	168.9	175.1	6.2	138.2	63.8	148.5	123.5	-25.0	101.0	39.0
1973-2004	168.8	173.8	5.0	137.6	62.6	149.6	125.6	-24.0	102.6	39.8
1973-2005	168.3	172.5	4.2	137.0	61.4	149.9	124.2	-25.8	101.3	39.6
1973-2006	170.5	175.9	5.4	139.5	63.1	150.3	124.5	-25.8	101.9	39.1
1973-2007	169.0	173.3	4.3	136.7	63.3	149.3	123.8	-25.5	101.5	38.6
1973-2008	169.3	172.9	3.6	136.9	62.3	148.7	125.0	-23.7	102.7	38.7
1973-2009	170.3	173.3	3.0	137.7	61.7	148.1	123.8	-24.3	101.6	38.5
Period	Guem River and Daejeon					Youngsan/Sumjin River and Mokpo				
	Precipitation(mm)			Parameters		Precipitation(mm)			Parameter	
	Guem	Daejeon	Dev.	Location	Scale	Y/S	Mokpo	Dev.	Location	Scale
1973-1992	135.4	142.8	7.4	115.6	47.1	163.6	140.7	-22.9	111.4	50.7
1973-1993	135.4	141.9	6.6	115.6	45.6	162.4	139.5	-22.9	111.2	49.1
1973-1994	134.1	139.1	4.9	112.7	45.6	161.8	139.1	-22.8	111.6	47.7
1973-1995	137.9	141.5	3.6	114.8	46.3	159.6	138.8	-20.8	112.1	46.3
1973-1996	137.8	142.8	4.9	116.3	45.8	157.3	137.6	-19.7	111.6	45.0
1973-1997	140.0	151.8	11.8	120.0	55.2	157.2	137.2	-20.0	111.9	43.8
1973-1998	142.3	154.4	12.0	122.1	56.0	160.5	139.2	-21.3	113.5	44.5
1973-1999	142.8	154.4	11.7	122.8	54.7	160.7	138.9	-21.7	113.9	43.4
1973-2000	144.4	157.0	12.6	124.9	55.6	160.6	138.5	-22.0	114.1	42.3
1973-2001	143.0	154.9	11.9	123.1	55.1	160.8	139.0	-21.8	114.9	41.7
1973-2002	144.1	156.4	12.3	124.7	54.9	163.4	138.0	-25.4	114.5	40.8
1973-2003	143.9	156.8	12.9	125.6	53.9	163.6	137.0	-26.6	113.8	40.1
1973-2004	144.1	157.3	13.2	126.6	53.1	166.7	139.3	-27.4	115.3	41.6
1973-2005	144.6	157.9	13.3	127.7	52.3	165.6	137.2	-28.4	112.9	42.1
1973-2006	144.2	156.6	12.4	126.7	51.7	164.7	136.1	-28.6	112.1	41.5
1973-2007	144.1	156.1	12.0	126.8	50.8	164.3	135.4	-28.9	111.9	40.7
1973-2008	143.2	155.4	12.2	126.5	50.0	162.6	134.6	-28.0	111.5	40.0
1973-2009	142.3	153.6	11.3	124.8	49.9	162.6	134.5	-28.1	111.8	39.3

였다. 산정된 강수량을 이용하여 목표연도별 위치 및 축척 매개 변수를 추정하였으며, 이를 이용하여 재현기간별 확률강수량을 산정하고 각 회귀분석에 따른 결과를 비교분석하였다.

가. 목표연도별 평균 강수량 산정

서울, 대구, 대전, 목포지점의 지속시간 24시간에 대한 누적 평균 극치강수량과 선형회귀분석을 수행할 뿐만 아니라, 한강, 낙동강, 금강, 영산/섬진강 지역의 누적평균 극치강수량에 대하여 Logistic 회귀분석 및 Power Model을 적용하였다. 선형회귀분석의 경우 목포지점을 제외한 세 지점에서 모두 기간이 증가함에 따라 누적평균 극치강수량도 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 선형회귀분석에 의한 강수량 산정에 있어서 기간이 증가할수록 강수량의 계속적인 증가 및 감소에 의하여 장기간의 목표연도에 대한 강수량의 변동이 매우 크거나 작게 나타남

을 보였다. 지역의 누적평균 강수량에 대한 Logistic 회귀분석의 경우, 자료와의 적합성에서 세 가지 방법 중 가장 우수한 것으로 나타났으나, 목표연도에 도달하기 전에 미리 수렴하는 형태를 가지게 되어 목표연도가 증가하여도 강수량의 값은 모두 동일하게 나타나는 한계를 보였다. Power 모델의 경우에는 Logistic 분석방법에 비하여 적합성이 떨어지는 것으로 나타났으나, 목표연도가 장기간으로 가더라도 매우 안정적인 증가를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 4). 각각의 회귀분석에 따른 목표연도별 평균 강수량은 Table 5와 같이 나타났다.

나. 목표연도별 매개변수 추정

서울, 대구, 대전, 목포 지점의 지속시간 24시간에 대하여 확률가중모멘트법을 사용해 위치 및 축척매개변수를 산정하였으며, 이를 누적평균 극치강수량과의 선형관계를 통하여 목표연도

Table 5 Accumulative average extreme precipitation at target year

Methods	Seoul (mm)			Daegu (mm)			Daejeon (mm)			Mokpo (mm)		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080
Linear	192.2	231.3	270.5	132.9	152.8	172.8	171.1	200.9	230.7	132.5	124.4	116.4
Logistic	178.4	178.4	178.4	125.8	125.8	125.8	157.2	157.2	157.2	144.6	144.6	144.6
Power	180.2	184.7	187.4	126.6	129.2	130.7	160.2	163.2	165.0	143.7	144.4	144.8

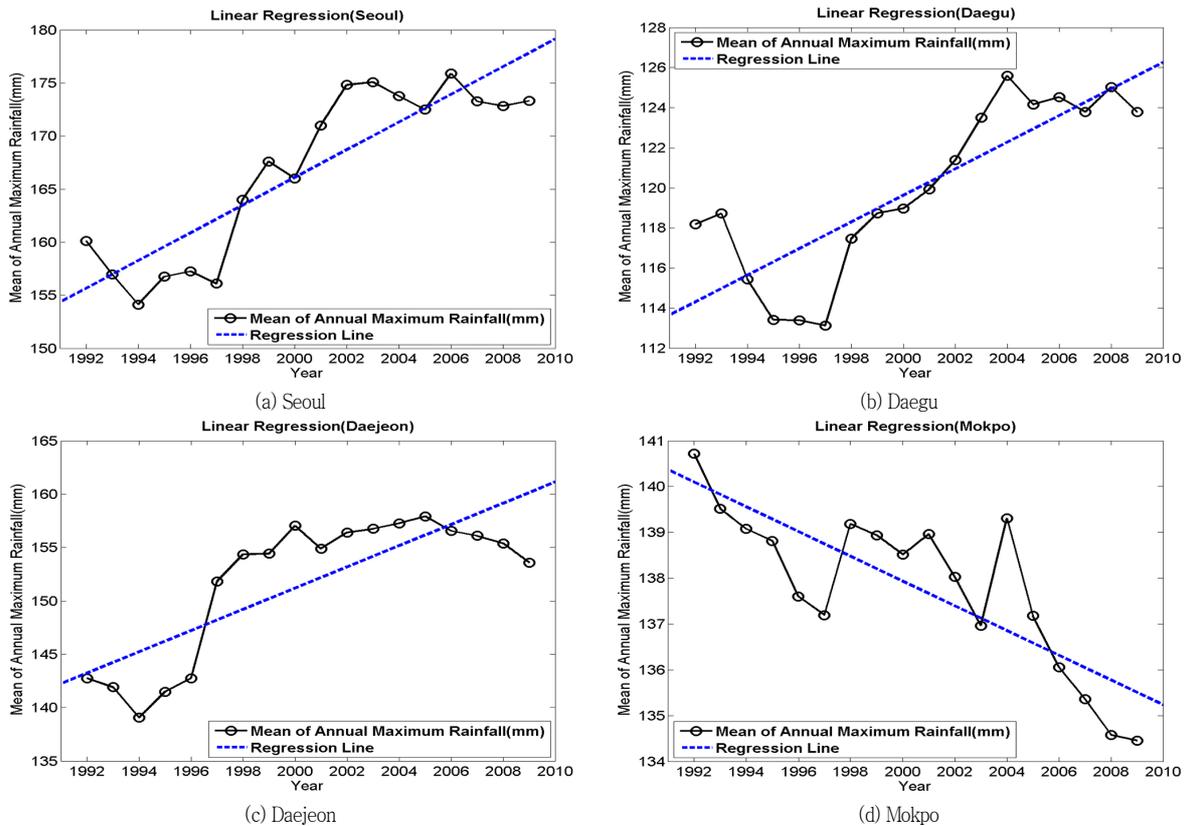


Fig. 3 Linear regression for accumulative average extreme precipitation

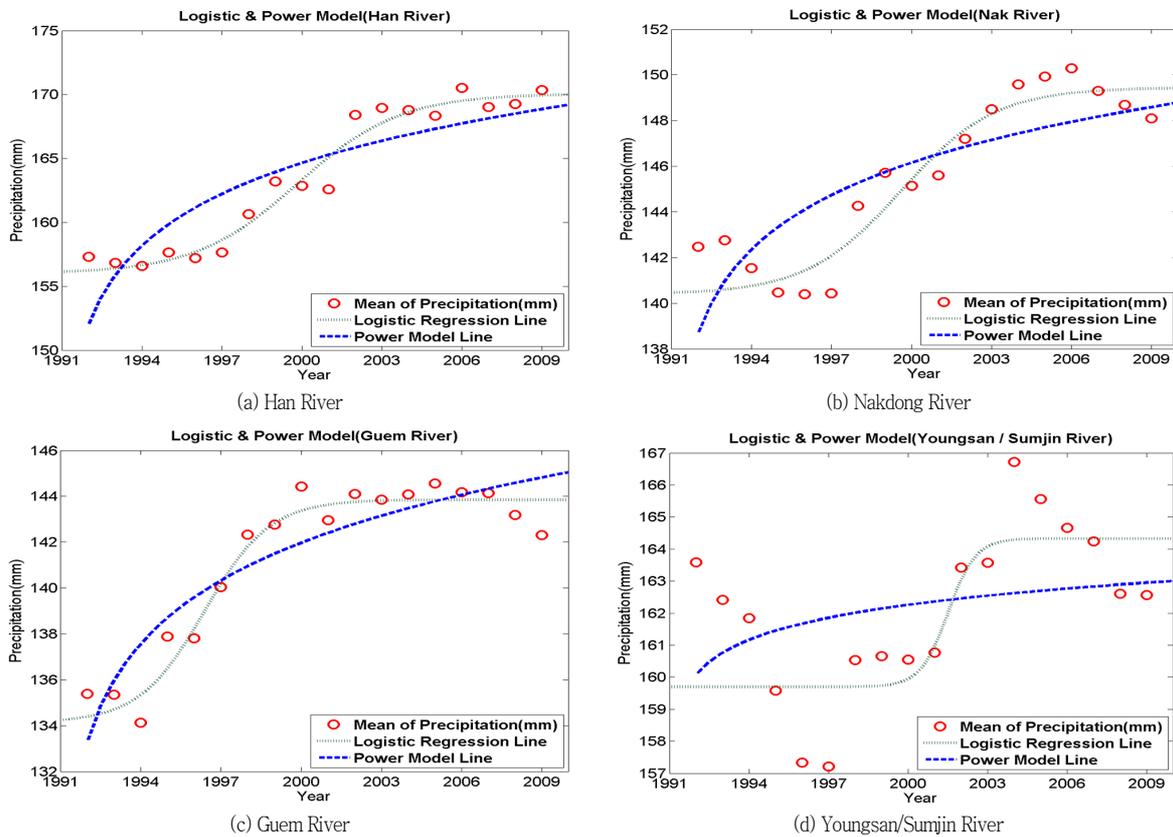


Fig. 4 Logistic regression for accumulative average extreme precipitation

별 누적평균 극치강수량에 대한 위치 및 축척매개변수를 산정하였다. Kim and Lee (2012)에서 위치 및 축척매개변수에 관한 자료를 언급하였기에 여기서 4개 지점에 관하여 누적평균 극치강수량과 각 매개변수간의 선형분석에 관한 그림은 삽입하지 않는다. 각 4개 지점의 목표연도별 누적평균 극치강수량에 대하여 산정된 목표연도별 매개변수들은 Table 6과 같다. 선형 회귀분석에 의한 목표연도별 매개변수의 경우, 누적평균 극치강수량의 지속적인 증가 및 감소에 의하여 2080년의 매개변수들의 값이 다른 방법들에 비해 매우 높게 나타남을 보였다. Logistic 회귀분석은 안정적인 증가값을 보였으나, 모두 동일하

게 나타남을 보였다. Power Model은 목표연도가 증가할수록 높은 매개변수의 값이 나타났지만 매우 안정적인 증가를 보였다. 서울지점의 경우, Power Model을 이용하였을 때 위치매개변수는 2020년에 141.7, 2050년에 144.8, 2080년에 146.6을 나타냈고, 축척매개변수의 경우에는 2020년에 66.7, 2050년에 69.2, 2080년에 70.6으로 나타났다.

다. 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량 산정 각 회귀분석에 따른 목표연도별 각 지점의 목표연도별 누적평균 극치강수량을 산정하였다. 구축된 누적평균 강수량을 이용

Table 6 Location parameter and scale parameter of target year

Methods	Seoul						Daegu					
	Location Parameter			Scale Parameter			Location Parameter			Scale Parameter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080
Linear	149.9	176.5	203.1	73.3	95.0	116.7	109.2	126.5	143.8	41.0	45.6	50.3
Logistic	140.5	140.5	140.5	65.7	65.7	65.7	103.1	103.1	103.1	39.4	39.4	39.4
Power	141.7	144.8	146.6	66.7	69.2	70.6	103.8	106.0	107.3	39.6	40.2	40.5
Methods	Daejeon						Mokpo					
	Location Parameter			Scale Parameter			Location Parameter			Scale Parameter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080
Linear	136.1	157.6	179.1	60.7	75.1	89.4	111.6	109.9	108.2	36.2	25.2	14.2
Logistic	126.1	126.1	126.1	54.0	54.0	54.0	114.2	114.2	114.2	52.6	52.6	52.6
Power	128.2	130.4	131.6	55.4	56.9	57.7	114.0	114.2	114.3	51.4	52.3	52.9

하여 목표연도별 위치매개변수와 축척매개변수를 산정하였으며, 이를 통하여 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량을 산정하여 각 방법에 대한 결과를 비교분석하였다. Fig.5는 각 회귀분석 방법에 의한 서울, 대전, 대구, 목포지점의 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량을 나타낸 그림이다. 선형회귀분석에 의한 확률강수량을 산정하였을 때 모든 지점에서 목표연도가 증

가함에 따라 정상성임을 가정한 확률강수량에 비해 매우 커지거나 작아지는 것으로 나타났으며, Logistic 회귀분석의 경우 관측기간내의 변수거동을 비교적 잘 구현하는 특성을 가지나 함수특성상 변수의 거동이 최고치에 수렴하는 특성을 가지므로 목표연도가 증가함에도 불구하고 각 지점의 목표연도 확률강수량이 동일하게 나타나는 특성을 가지므로 적용성에 한계를 보였다.

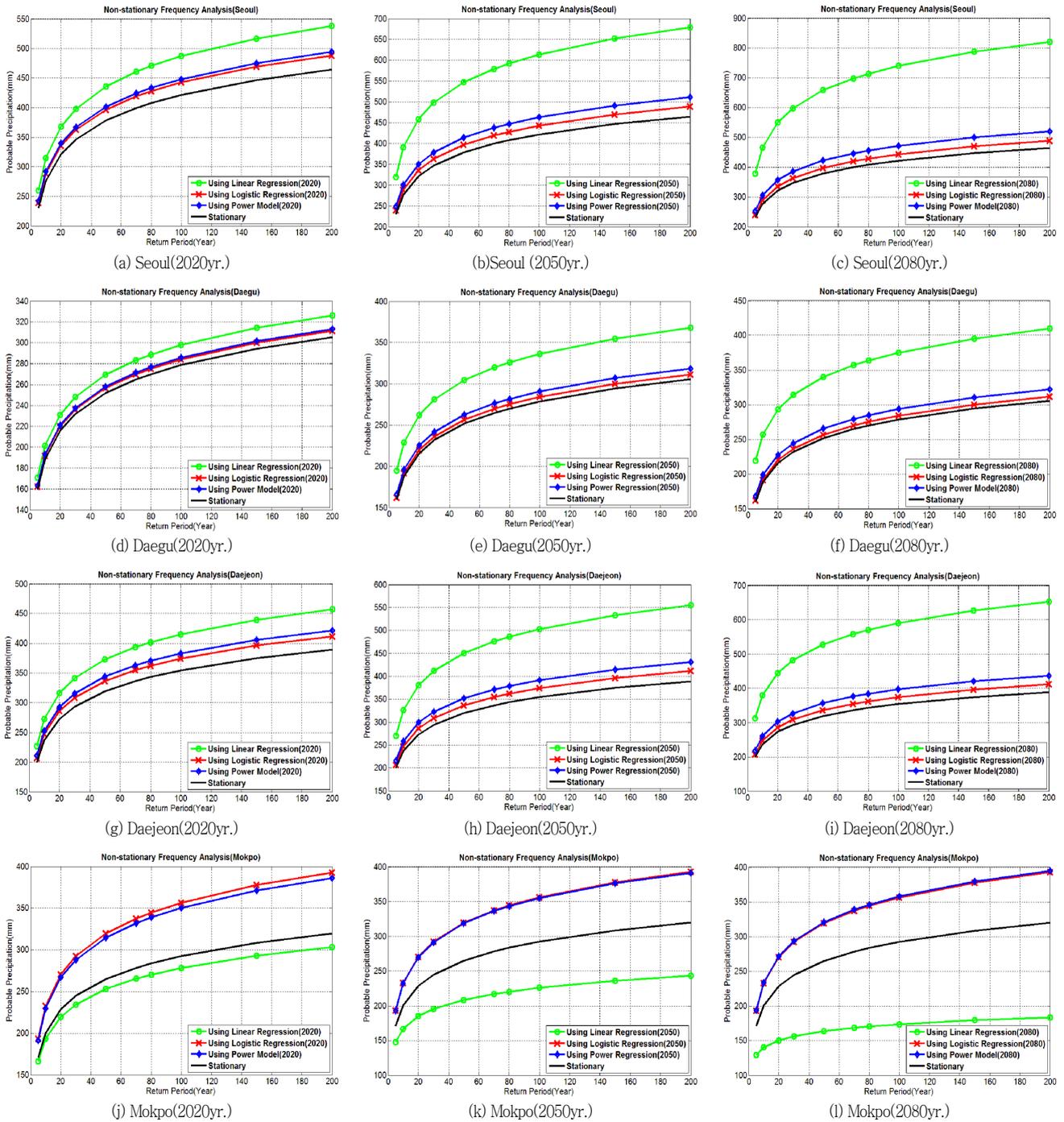


Fig. 5 Probable precipitation amounts(mm) of target year

선형회귀분석을 이용한 확률강수량 산정은 단기간의 예측에는 비교적 안정적인 증가를 나타내지만, 중장기간의 확률강수량을 산정할 경우에는 계속적인 선형증가에 의해 매우 높은 누적평균 강수량으로 인하여 목표연도별 위치 및 축척 매개변수 값이 정상성에 비해 큰 차이가 나타남을 보였다. 따라서 정상성임을 가정한 확률강수량에 비해 매우 높은 확률강수량을 가지는 한계를 보이는 것으로 나타났다. Power Model은 함수특성상 목표년도 2080년까지 모두 정상성을 가정하여 산정된 확률강수량에 비해 안정적인 증가의 형태를 나타내므로 선형회귀분석에 따른 목표연도 확률강수량 산정 시 목표연도가 커질수록 증분이 너무 커지는 과대추정의 한계로 인한 장기간 외삽적용의 한계를 보완할 수 있다고 판단된다. 유역의 누적평균 극치강수량

에 대한 Logistic 회귀분석을 이용하여 확률강수량을 산정한 결과 또한 정상성임을 가정하여 산정된 확률강수량에 비해 안정적인 증가를 보였으나, 전술한 함수특성상 목표연도별 누적평균 극치강수량이 목표연도에 도달하기 전에 수렴하게 되어 목표연도별 누적평균 극치강수량을 산정함에 있어 모두 동일한 값이 나타나 확률강수량도 동일하게 나타남을 보였다. Power Model의 경우, Logistic 회귀분석과 같이 수렴하지 않으면서 선형회귀분석과 비교하였을 때, 2050년 및 2080년에서도 확률강수량을 산정하는데 있어서 안정적인 증가를 보이는 것으로 나타났다.

Table 7은 네 지점에서 각 회귀분석 방법으로 산정된 확률강수량 및 정상성임을 가정하여 산정된 확률강수량('2009'로 표기) 대비 증감률을 나타낸 표이다. 선형회귀분석을 이용하여 산

Table 7 Probable precipitation amounts(mm) and percentage changes

Year	Seoul														
	Linear Regression					Logistic Regression					Power Model				
	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200
2009	276.5	346.5	378.5	421.5	464.5	276.5	346.5	378.5	421.5	464.5	276.5	346.5	378.5	421.5	464.5
2020	314.8	397.9	435.9	487.1	538.0	288.3	362.8	396.8	442.7	488.4	291.7	367.3	401.8	448.4	494.7
%	13.9	14.8	15.2	15.6	15.8	4.3	4.7	4.8	5.0	5.1	5.5	6.0	6.2	6.4	6.5
2050	390.2	497.9	547.1	613.4	679.5	288.3	362.8	396.8	442.7	488.4	300.4	378.8	414.6	462.9	511.0
%	41.1	43.7	44.6	45.5	46.3	4.3	4.7	4.8	5.0	5.1	8.7	9.3	9.5	9.8	10.0
2080	465.7	598.0	658.3	739.8	821.0	288.3	362.8	396.8	442.7	488.4	305.6	385.6	422.2	471.5	520.6
%	68.4	72.6	73.9	75.5	76.7	4.3	4.7	4.8	5.0	5.1	10.5	11.3	11.5	11.9	12.1
Year	Daegu														
	Linear Regression					Logistic Regression					Power Model				
	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200
2009	188.2	231.9	251.8	278.7	305.5	188.2	231.9	251.8	278.7	305.5	188.2	231.9	251.8	278.7	305.5
2020	201.5	248.0	269.3	297.9	326.4	191.6	236.3	256.7	284.1	311.5	192.8	237.7	258.2	285.8	313.3
%	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6
2050	229.2	280.9	304.6	336.4	368.2	191.6	236.3	256.7	284.1	311.5	196.4	241.9	262.7	290.7	318.7
%	21.8	21.1	21.0	20.7	20.5	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3
2080	256.8	313.8	339.8	374.9	409.9	191.6	236.3	256.7	284.1	311.5	198.5	244.4	265.4	293.7	321.8
%	36.5	35.3	35.0	34.5	34.2	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4
Year	Daejeon														
	Linear Regression					Logistic Regression					Power Model				
	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200
2009	237.1	293.8	319.6	354.5	389.2	237.1	293.8	319.6	354.5	389.2	237.1	293.8	319.6	354.5	389.2
2020	272.6	341.4	372.8	415.1	457.3	247.5	308.7	336.6	374.3	411.8	252.8	315.7	344.3	383.0	421.5
%	15.0	16.2	16.6	17.1	17.5	4.4	5.1	5.3	5.6	5.8	6.6	7.4	7.7	8.0	8.3
2050	326.5	411.6	450.4	502.9	555.1	247.5	308.7	336.6	374.3	411.8	258.3	322.8	352.2	391.9	431.4
%	37.7	40.1	40.9	41.9	42.6	4.4	5.1	5.3	5.6	5.8	8.9	9.9	10.2	10.5	10.9
2080	380.4	481.8	528.1	590.6	652.8	247.5	308.7	336.6	374.3	411.8	261.5	326.9	356.8	397.1	437.2
%	60.4	64.0	65.2	66.6	67.7	4.4	5.1	5.3	5.6	5.8	10.3	11.3	11.6	12.0	12.3
Year	Mokpo														
	Linear Regression					Logistic Regression					Power Model				
	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200	10	30	50	100	200
2009	200.1	244.7	265.0	292.4	319.7	200.1	244.7	265.0	292.4	319.7	200.1	244.7	265.0	292.4	319.7
2020	193.1	234.2	252.9	278.2	303.4	232.6	292.2	319.5	356.2	392.8	229.7	287.9	314.5	350.4	386.1
%	-3.5	-4.3	-4.6	-4.9	-5.1	16.2	19.4	20.6	21.8	22.9	14.8	17.7	18.7	19.8	20.8
2050	166.6	195.2	208.2	225.8	243.3	232.6	292.2	319.5	356.2	392.8	232.0	291.3	318.4	355.0	391.4
%	-16.8	-20.3	-21.4	-22.8	-23.9	16.2	19.4	20.6	21.8	22.9	15.9	19.1	20.2	21.4	22.4
2080	140.1	156.2	163.5	173.4	183.3	232.6	292.2	319.5	356.2	392.8	233.4	293.4	320.7	357.7	394.5
%	-30.0	-36.2	-38.3	-40.7	-42.7	16.2	19.4	20.6	21.8	22.9	16.6	19.9	21.0	22.3	23.4

정된 확률강수량은 정상성임을 가정한 확률강수량에 비해 서울은 최대 76.7%의 증가, 대구는 최대 36.5%, 대전은 최대 67.7%의 증가를 보였으며, 목포의 경우에는 최대 42.7%의 감소를 보였다. Logistic 회귀분석을 이용하여 산정된 확률강수량의 경우에는 목포지점에서 최대 22.9%의 증가를 보여 네 지점 중에서 가장 높은 증가율을 보였으며, Power Model의 경우에도 목포 지점에서 가장 높은 증가가 나타났다. Power Model이 장기간 예측에 있어서도 비교적 안정적인 증가를 보이는 것으로 나타남으로써 가장 적합한 방법이라 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 전국 55개 지점에 대하여 비정상성 빈도해석을 수행하기 위해 목표연도 2020년, 2050년, 2080년을 선정하여 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량을 산정하였다. 각 지점들의 지속시간 24시간의 연 최대 강수량 자료를 구축하고, 연 최대 강수량 자료에 대해 초기 20년을 기준으로 하여 1년씩 추가해 평균하여, 각 지점의 기간별 누적평균 극치강수량 및 분포함수의 매개변수를 구축하였다. 구축된 지점들의 누적평균 극치강수량에 대하여 선형회귀분석을 수행한 방법과 구역별로 지점들을 분류해 각 구역에 대한 누적평균 극치강수량을 산정하여 Logistic 회귀분석 및 Power Model을 적용해 각 방법에 따른 확률강수량을 산정하고 비교·분석하였다. 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 선형회귀분석은 연도가 늘어남에 따라 계속적인 선형증가에 의해, 단기간의 경우에는 증가폭이 크게 나타나지 않으나, 중장기간인 2050년과 2080년의 경우에는 계속적인 증가에 의해 목표연도별 누적평균 강수량 산정에 있어 매우 큰 수치가 나타났다. 이로 인해 위치매개변수와 축척매개변수 또한 큰 값을 가지게 되어, 목표연도별 재현기간에 따른 확률강수량이 정상성임을 가정하여 산정된 확률강수량에 비해 매우 큰 증가하거나 감소하는 것으로 나타나는 한계가 나타났다.

2. Logistic 회귀분석을 이용하여 산정된 확률강수량은 선형회귀분석에 의한 확률강수량에 비해 매우 안정적인 증가를 보였고 세 가지 방법 중 자료를 가장 잘 표현하고 있는 것으로 나타났다. 하지만, Logistic 회귀분석이 목표연도 2020년에 도달하기 전에 이미 수렴하는 형태가 나타나, 각 목표연도별 누적평균 극치강수량이 동일하게 나타났다. 따라서 목표연도가 증가함에 따라 위치 및 축척매개변수 또한 모두 동일한 값을 가지게 되면서 확률강수량 또한 목표연도가 증가하여도 모두 동일한 값을 가지는 한계가 나타났다.

3. Power Model의 경우, Logistic 회귀분석과 같이 수렴하는 문제점을 방지할 수 있으며, 선형회귀분석의 문제점인 가파른

선형적인 증가에 의한 과대한 추정을 보완해 줄 수 있는 방법으로 나타났다. 확률강수량의 경우 장기 예측에서도 정상성임을 가정하여 산정된 확률강수량에 비해 안정적인 증가를 보였다.

본 연구에서 채택한 Gumbel 분포는 단기의 확률강수량의 예측에 수용할 수 있을 정도의 증가율이 나타남을 보였으나, 축척매개변수의 변화에 매우 민감하여 장기의 확률강수량 산정에 있어, 축척매개변수가 매우 커질 경우 확률강수량이 과대 산정될 것으로 판단되어진다. 이에 축척매개변수의 변화를 줄이도록 하여 매우 안정적인 확률강수량의 변화를 보일 수 있는 방법을 찾고자 하여, 세 방법에 대한 각각의 특징들을 비교하였다. 전 세계적으로 정상성임을 가정하는 것과 달리 적용성이 높고 일관성 있는 비정상성 빈도해석 기법이 부재한 상태이다. 따라서 다양한 접근법의 적용과 평가를 통한 일관성 있는 비정상성 빈도해석 기법의 정립이 필요하다고 판단된다.

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0030040).

REFERENCES

1. Bae, D. H., B. J. Lee, and I. W. Jung, 2008. Analysis of Construction Conditions Change due to Climate Change. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 28(4D): 513-521 (in Korean).
2. Hanel, M., and T.A. Buishand, 2010. On the Value of Hourly Precipitation Extremes in Regional Climate Model Simulations. *Journal of Hydrology*, 393: 265-273.
3. Jang, S. W., L. Seo, T. W. Kim, and J. H. Ahn, 2011. Non-stationary rainfall frequency analysis based on residual analysis. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 31(5B): 449-457 (in Korean).
4. Kim, G., and G. Lee, 2012a. Application of a Non-stationary Frequency Analysis Method for Estimating Probable Precipitation in Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 54(5): 414-153 (in Korean).
5. Kim, G., and G. Lee, 2012b. Estimates Extreme Hydrologic Event at Seoul Using Regression Analyses. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(3): 263-270 (in Korean).
6. Kim, G., T. K. Yim, and C. H. Park, 2009. Analysis of the Secular Trend of the Annual and Monthly

- Precipitation Amount of South Korea. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(6): 17-30 (in Korean).
7. Leclerc, M., and T.B.M.J. Ouarda, 2007. Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 343: 254-265.
 8. Lee, C. H., T. Kim, M. Kyoung, and H. S. Kim, 2010. Estimation of Design Rainfalls Considering BCM2 Simulation Results. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 30(3B): 269-276 (in Korean).
 9. Lee, J. J., H. H. Kwon, and K. N. Hwang, 2010. Concept of seasonality analysis of hydrologic extreme variables and design rainfall estimation using nonstationary frequency analysis. *Journal of Korea Water Resources Association*. 43(8): 733-745 (in Korean).
 10. Shin, H., W. Nam, Y. Jung, and J. Heo, 2008. Uncertainty Assessment of Regional Frequency Analysis for Generalized Logistic Distribution. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 28(6B): 723-729 (in Korean).
 11. Villarini, G., J.A. Smith, and F. Napolitano, 2010. Nonstationary Modeling of a Long Record of Rainfall and Temperature over Rome. *Advances in Water Resources*, 33: 1256-1267.