

강우량의 증가 경향성을 고려한 목표년도 확률강우량 산정

Estimation of Design Rainfalls Considering an Increasing Trend in Rainfall Data

권영문* · 박진원** · 김태웅***

Kwon, Young-Moon · Park, Jin-Won · Kim, Tae-Woong

Abstract

Recently frequent occurrences of heavy rainfall and increases of rainfall intensity resulted in severe flood damage in Korea. In order to mitigate the vulnerability of flood, it is necessary to estimate proper design rainfalls considering the increasing trend of extreme rainfalls for hydrologic planning and design. This study focused the estimation of design rainfalls in a design target year. Tests of trend indicated that there are 7 sites showing increasing trends among 56 sites which have hourly data more than 30 years in Korea. This study analyzed the relationship between mean of annual maximum rainfalls and parameters of the Gumbel distribution. Based on the relationship, this study estimated the probability density function and design rainfalls in a design target year, and then constructed the rainfall-frequency curve. The proposed method estimated the design rainfalls 6-20% higher than those from the stationary rainfall frequency analysis.

Keywords : design rainfall, heavy rainfall, Gumbel distribution, design target year, parameter estimation

요 지

최근 우리나라에서 집중 호우의 발생이 잦아지고 강우 강도가 증가하면서 강우로 인한 극심한 홍수 피해가 빈번히 발생하고 있다. 홍수피해의 경감을 위해서 수공구조물의 계획 및 설계에서 강우의 증가경향을 반영한 목표년도 확률강우량 산정이 필요하다. 본 연구에서는 30년 이상 자료보유기간을 가진 기상청 관할 56개 강우관측소의 강우자료를 분석하여 증가 경향성이 존재하는 7개 지점의 설계목표년도의 확률강우량을 산정하는 방법을 제안하였다. Gumbel 분포를 이용하여 연 최대 강우량 평균과 위치 매개변수, 축척 매개변수 간 관계를 분석하였으며, 이를 바탕으로 설계목표년도에 적용가능한 확률밀도함수를 추정하고, 확률강우량을 산정하였다. 본 연구에서 제안된 방법으로 산정된 목표년도 확률강우량은 자료의 정상성을 가정한 확률강우량에 비해 6-20% 정도의 증가를 보여주고 있다.

핵심용어 : 확률강우량, 집중호우, Gumbel 분포, 설계목표년도, 매개변수 추정

1. 서 론

최근 지구온난화가 가속화되면서 전 세계적으로 기록적인 기상재해가 급증하고 있다. 지구 온난화로 인해 우리나라가 겪고 있는 기후 변화 현상 중 하나가 강우 패턴의 변화이다(임은순 등, 2006; 한만신 등, 2006; 김병식 등, 2008). 이러한 강우 패턴의 변화로 인하여 집중호우의 발생이 잦아지고 강우 강도가 증가하면서 극심한 홍수의 피해가 계속해서 발생하고 있다. 기상청의 조사에 의하면, 지난 30년 동안 전국 60개 기상 관측지점의 강우량 자료를 분석한 결과 시간당 50 mm이상의 집중호우가 쏟아진 횟수가 1977년부터 1986년까지 10년 동안 143회, 1987년부터 1996년까지 10년 동안 159회, 1997년부터 2006년까지 10년 동안 254회로 70년대에

비해 2배 가까이 증가했다고 한다. 또한, 2006년 자연재해의 원인별 재산피해액을 살펴보면 호우에 의한 피해가 약 2조원으로 대부분을 차지하고 있다(소방방재청, 2007). 따라서, 집중호우는 우리나라 주요 강우 특성중의 하나이며 앞으로의 기후 변화와 함께 더욱더 증가할 것으로 예상되기 때문에 이에 대한 대비책 마련이 필요하다. 이러한 집중 호우에 의한 피해를 경감하기 위해서는 수공구조물 설계 시 강우량의 확률적 거동을 고려할 필요가 있다.

강우량의 확률적 거동을 분석하기 위한 통계학적 강우빈도 해석에서는 강우량 자료의 정상성을 기본적으로 가정하고 있다. 이는 연최대강우량이 기후변화나 장기적인 변동 등에 영향을 받지 않는 정상성 자료임을 가정하는 것이며(Stedinger et al., 1993), 지금까지의 실무적인 수자원 계획이나 설계에

*정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (Email : ymkwon@hanyang.ac.kr)

**한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (E-mail : hanriver@paran.com)

***정회원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경시스템공학전공 조교수 (E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr)

서 수행되고 있는 확률강우량 산정법에 적용되고 있다(정중호와 윤용남, 2007). 하지만 최근의 강우패턴의 변화는 정상성의 가정에 근거하는 수자원 계획 및 치수계획이 급격한 기후변화가 예상될 경우 매우 취약할 수 있음을 보여주고 있다.

최근에 수문자료의 비정상성을 수자원의 계획 및 설계에 반영하고자 하는 여러 가지 연구가 진행되고 있다. He *et al.*(2006)은 Gumbel 분포와 Log Pearson Type-III 분포를 이용하여, 각 분포의 매개변수 변화를 회귀분석하여 홍수빈도해석을 수행하였고, Leclerc and Ouarda(2007)는 홍수빈도해석을 위한 Generalized Extreme Value(GEV) 분포의 매개변수들을 시간의존 함수로 추정하는 비정상성 모델을 제안하였다. Ouarda and Adlouni(2008)은 시계열 자료의 경향성을 베이지안 방법을 적용하여 매개변수를 산정하였고, 적용분포로는 GEV 분포와 Generalized Pareto(GPD) 분포를 선택하였다

국내에서는 김병식 등(2008)이 기후변화 시나리오를 이용하여 미래 극한강우의 I-D-F 분석을 실시한 바 있다. 이 연구는 GCM 강우자료를 통계학적 축소기법을 이용하여 지역적 시 강우시계열(regional hourly rainfall series)로 변환하여 분석한 결과 강우강도가 증가함을 확인하였다. 또한 “삼교천 수계 유역종합치수계획수립”(건설교통부, 2005)에서 기후변화 시나리오(GCM-5)를 적용한 10년 후의 확률강우량을 산정하였다. 향후 50년 후 2CO₂ 상황에서는 현재 산정된 확률강우량 결과의 1/5정도로 변화하고, 100년 후는 현재 결과의 1/10정도 변화한다고 가정하여 목표년도의 확률강우량을 산정하였다. 여기서 천안, 부여, 보령, 서산의 지속시간 24시간 100년 빈도 확률강우량의 변화는 2~5% 정도의 증가를 예상하고 있다. 하지만 증가 경향이 크지 않아 적용하지 않았으며, 향후 예측과정 및 결과의 신뢰도를 재고한 후 다시 검토할 것을 제안하였다.

우리나라는 유역의 효과적인 치수계획을 위해 10년 단위의 유역종합치수 계획이 수립되고 있다. 따라서 10년 후의 목표년도 확률강우량을 산정하여 수공구조물 설계에 적용할 수 있는 방법이 필요하며, 이는 장기간에 걸친 기후변화 예측에 의한 변화를 고려하는 것(건설교통부, 2005; 김병식 등, 2008) 보다는 직접적인 강우패턴의 변화를 적용하는 것이 효율적이다.

본 연구에서는 현재의 강우강도의 변화를 고려하여, 설계 목표년도의 설계강우량을 산정하는 방법을 제안하고자 한다. 먼저 우리나라 강우량에 대한 통계학적 경향 분석을 통하여 적용 대상 지점을 선정하고, 본 연구에서 제안하는 목표년도 확률강우량의 산정법을 적용하고자 한다. 본 연구에서 제안된 설계강우량 산정법은 직접적으로 수공구조물의 계획 및 설계에 반영할 수 있을 것이다.

2. 경향성 검정 결과 및 연구 대상지점

우리나라의 경우 자료 보유 년 수가 짧기 때문에 신뢰성 있는 자료의 구축은 강우 분석에 앞서 매우 중요한 부분이다. 따라서 기상청 시 강우자료 중 30년 이상의 자료를 보유하고 있는 56개 지점(그림 1)의 임의시간 24시간 연 최대

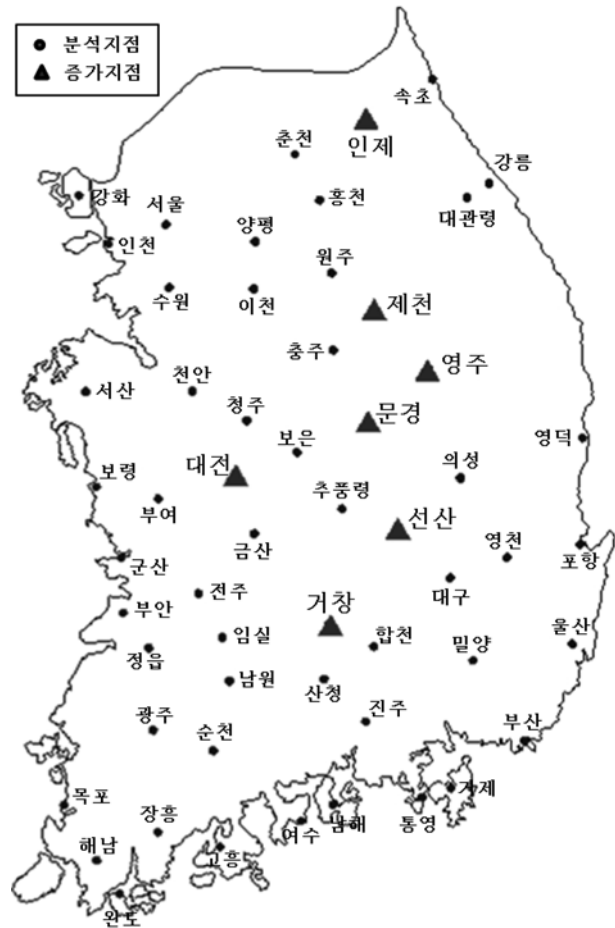


그림 1. 강우자료 분석 대상지점

강우량 자료를 대상으로 경향성 분석을 실시하였다. 일반적으로 강우빈도해석은 관측강우로부터 추출한 지속시간별 연 최대 강우량의 자료가 정상성 상태임을 가정하여 적용하므로 연 최대 강우량의 경향성 검정을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 Kendall, Hotelling-Pabst, Wald-Wolfowitz 검정법을 이용하여 강우량 자료의 경향성 검정을 실시하였다. 재해영향평가 관련 규정에서는 경향성에 대한 검정 방법을 3가지 이상 적용한 후, 2가지 이상에서 위배되는 경우에는 설계빈도를 조정하도록 제안하고 있다(정중호와 윤용남, 2007).

본 연구의 경향성 분석 결과 거창, 대전, 문경, 선산, 영주, 인제, 제천 등 7개 지점에서 2가지 검정법 이상에서 경향성이 존재하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 경향성이 존재하는 것으로 나타난 7개 지점을 대상 지점으로 선정하고, 대상지점의 임의시간 24시간 연 최대 강우량 자료를 이용하여 목표년도 확률강우량을 산정하였다.

그림 1은 본 연구에서 경향성 검정을 수행한 56개 강우지점 및 증가 경향성이 존재하는 대상지점을 나타내고 있으며, 그림 2는 본 연구에서 대상지점으로 선정된 7개 지점의 24시간 연 최대 강우량 자료의 시계열이다. 표 1은 대상지점의 강우자료에 대한 경향성 검정 결과를 보여주고 있다.

3. 확률분포함수 및 매개변수 추정

본 연구에서는 Gumbel 분포를 이용하여 확률밀도함수를

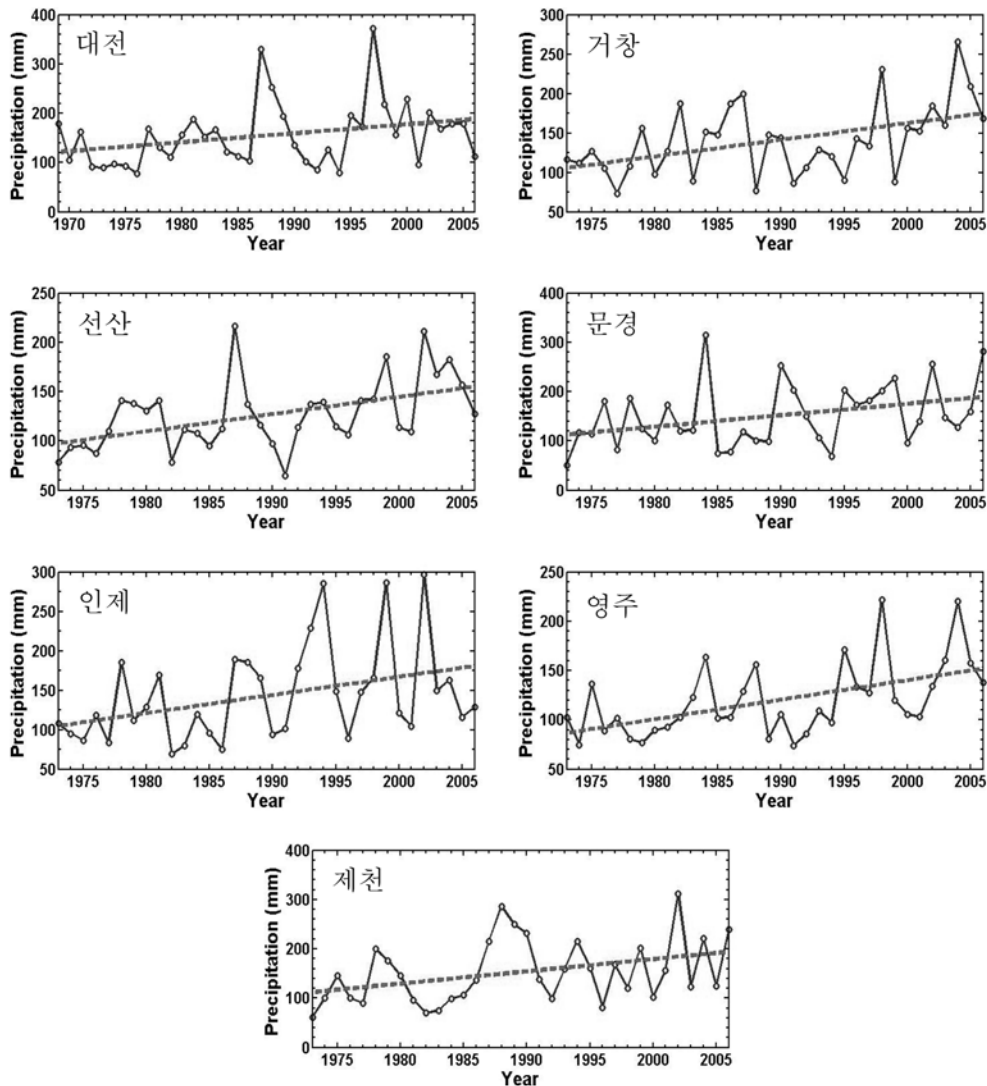


그림 2. 연구대상지점(7개) 연 최대 강우자료 시계열

표 1. 경향성 검정 결과

지점	KENDALL		HOTELLING		WALD	
거창	2.52	NG	-2.58	NG	-0.06	OK
대전	2.02	NG	-2.25	NG	0.19	OK
문경	3.14	NG	-3.03	NG	0.00	OK
선산	3.25	NG	-3.23	NG	0.03	OK
영주	2.02	NG	-2.17	NG	0.06	OK
인제	2.11	NG	-2.21	NG	-0.31	OK
제천	2.34	NG	-2.36	NG	0.08	OK

추정하였다. Gumbel 분포는 강우빈도해석시 실무에서도 가장 많이 선택하여 사용하는 분포이며, 우리나라 전국을 대상으로 분석한 ‘한국 확률강우량도 작성’(건설교통부, 2000)에서 모든 관측소에 대하여 최적 확률분포형을 Gumbel 분포로 채택한 바 있다. 또한 선행연구결과, GEV 분포는 형상매개변수의 증가에 의한 상한계가 존재하여 재현기간이 커질 경우 확률강우량의 감소를 나타내고 있어, 적용에 문제가 있는 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 연구결과와 비교 검토가 가능한 Gumbel 분포를 이용하였다.

Gumbel 분포의 확률밀도함수와 누기확률분포 함수는 식

(1)과 (2)와 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-x_0}{\alpha} - \exp \left(-\frac{x-x_0}{\alpha} \right) \right], \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right) \right] \quad (2)$$

여기서, α 는 척척매개변수(scale parameter)이고, x_0 는 위치매개변수(location parameter)이다. 매개변수 추정은 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법이 널리 사용되고 있다. 모멘트법은 이상치가 있는 경우 적용성이 떨어지고, 변동성이 큰 단점이 있다. 최우도법과 확률가중모멘트법은 모멘트법에 비해 효율적인 방법으로 채택되고 있다. 하지만 확률가중 모멘트법의 경우 가장 큰 자료에 큰 기중치를 주기 때문에 재현기간이 큰 경우에서 모멘트법이나 최우도법보다 확률강우량이 지나치게 높게 산정되는 경우가 있다(정중호와 윤용남, 2007). 따라서 본 연구에서는 최우도법을 적용하여 빈도해석을 수행하였다. 표 2은 최우도법을 Gumbel 분포에 적용했을 때의 적합도 검정 결과를 나타내고 있다. 7개 대상지점 모두 적합도 검정을 만족하고 있음을 알 수 있다.

4. 연도별 강우량 자료 변화

본 연구에서의 대상지점 모두 30개년 이상 40개년 이하의

표 2. 적합도 검정결과

지점	χ^2 검정	K-S 검정	PPCC 검정
거창	OK	OK	OK
대전	OK	OK	OK
문경	OK	OK	OK
선산	OK	OK	OK
영주	OK	OK	OK
인제	OK	OK	OK
제천	OK	OK	OK

표 3. 연 최대 강우량 누적 자료 (영주)

순번	자료기간	평균강우량 (mm)	위치매개변수	축척매개변수
1	1973~1992	121.79	102.97	31.011
2	1973~1993	126.87	105.87	34.401
3	1973~1994	134.06	109.38	39.339
4	1973~1995	134.70	110.44	39.193
5	1973~1996	132.81	108.88	38.156
6	1973~1997	133.4	109.87	38.026
7	1973~1998	134.62	111.12	38.422
8	1973~1999	140.26	114.13	42.212
9	1973~2000	139.57	114.01	41.226
10	1973~2001	138.34	113.24	40.187
11	1973~2002	143.60	115.92	43.783
12	1973~2003	143.78	116.59	43.416
13	1973~2004	144.39	117.42	43.380
14	1973~2005	143.53	117.07	42.427
15	1973~2006	143.09	117.14	41.750

강우자료를 가지고 있다. 강우량 자료가 가지는 비정상성은 평균이나 분산이 변함으로써 발생할 수 있는데, 본 연구에서는 확률강우량 산정에 민감한 영향을 줄 수 있는 평균강우량의 변화를 고려하였다. 이를 위하여, 연 최대 강우량의 평균값이 Gumbel 분포의 매개변수의 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. Gumbel 분포의 매개변수의 평균강우량에 대한 변화를 관찰하기 위해 초기 20년을 기준으로 1년씩 강우자료를 누기한 후 평균강우량을 산정하였다. 초기 20년을 기준으로 1년씩 강우자료를 추가하여 나타난 변화는 최근의 변화 양상을 잘 표현할 수 있는 것으로 알려져 있다(안재현 등, 2000). 표 3는 예시적으로 영주 지점의 강우량 자료 변

화에 따른 평균과 위치 및 축척매개변수의 변화를 보여주고 있다.

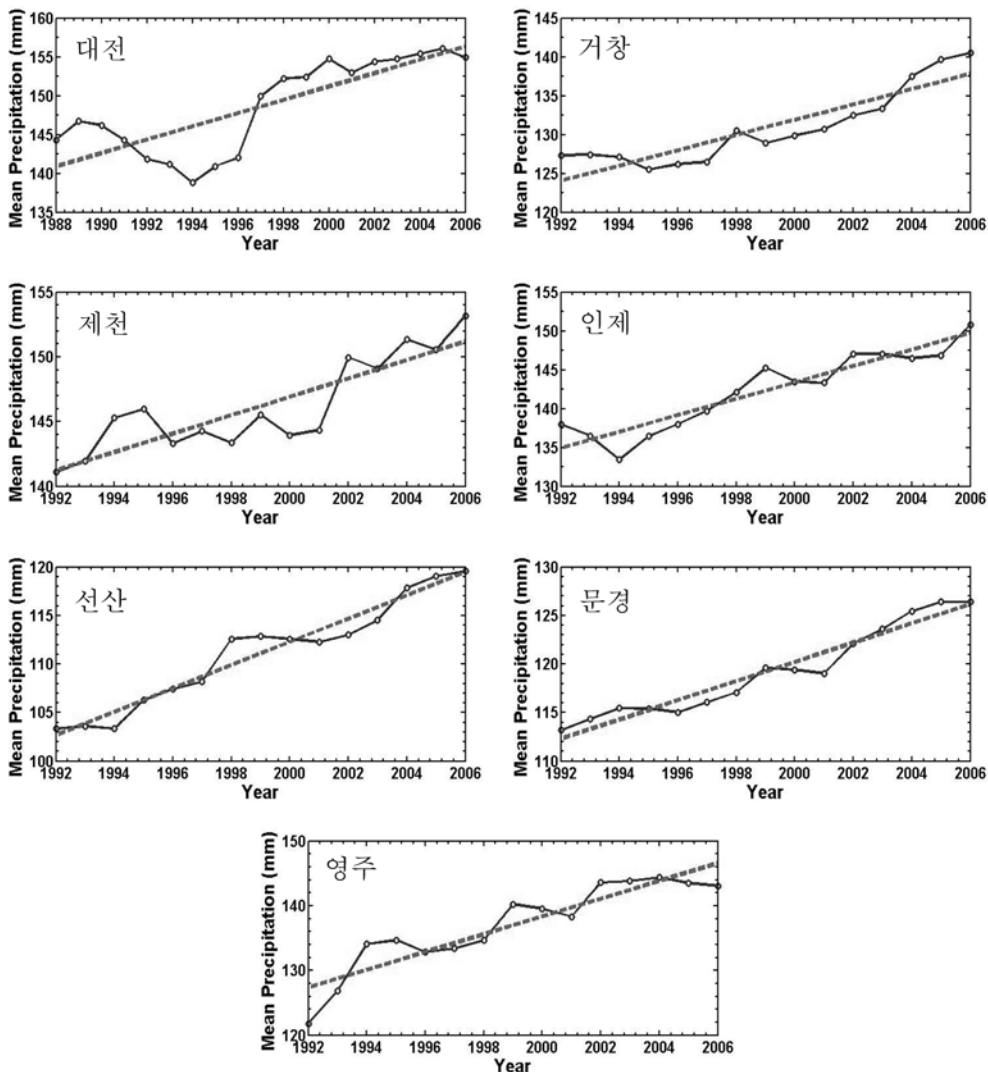


그림 3. 연 최대 강우량 평균의 변화

표 4. 연 최대 강우량 평균과 회귀직선 적합도

구분	거창	대전	문경	선산	영주	인제	제천
R^2	0.81	0.65	0.94	0.95	0.84	0.87	0.75

그림 3은 연 최대 강우량 평균(예시, 표 3의 3열)의 변화를 관찰하고 변화를 도시하기 위하여 회귀직선과 함께 나타내었다. 표 4는 회귀 직선과 연 최대 강우량 평균 변화의 적합도를 알아보기 위해 결정계수(R^2)를 산정한 결과이다. 대전을 제외한 지점에서 높은 적합도를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 연 최대 강우량 평균과 매개변수 간 관계를 나타낸 것이고, 표 5는 연 최대강우량 평균과 매개변수 간 상

관계수를 구한 값이다. 연 최대 강우량 평균과 각 매개변수 간 상관관계가 매우 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 적절한 회귀모형을 이용하여 목표년도 연 최대 강우량을 추정하고, 이를 바탕으로 목표년도의 매개변수 또한 추정할 수 있을 것이다.

5. 목표년도 확률강우량 산정법

본 연구의 목표는 현재(~2006)의 강우량 자료의 증가 경향성을 고려하여 임의로 선정된 목표년도(2020년)의 확률강우량을 산정하는 것이다. 그림 5는 본 연구에서 제시하는 목표년도 확률강우량 산정법의 절차를 나타낸 것이다. 연

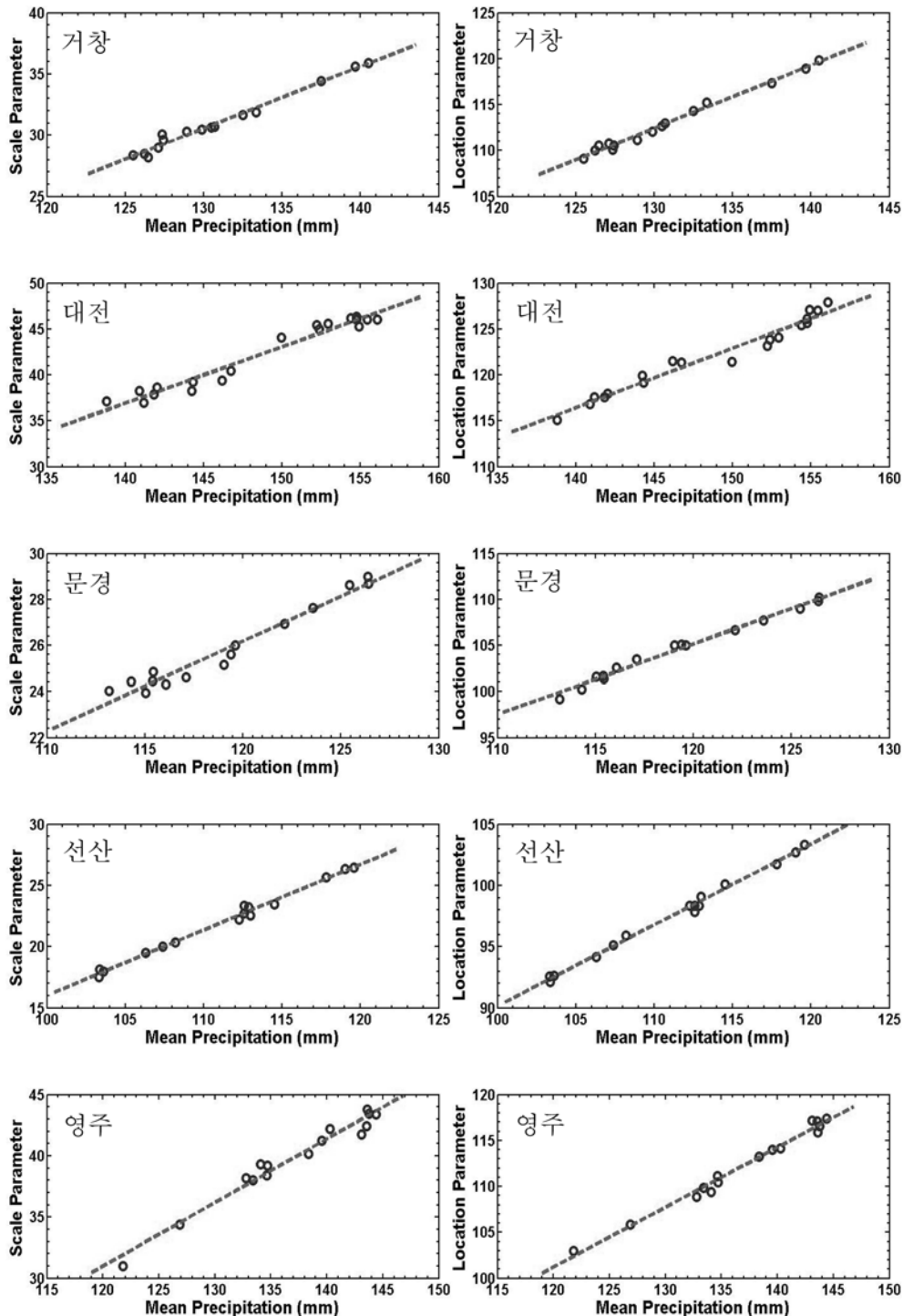


그림 4. 연 최대 강우량과 매개변수 간 관계

표 5. 연 최대 강우량 평균과 매개변수 간 상관계수

구분	거창	대전	문경	선산	영주	인제	제천
위치매개변수	0.995	0.983	0.994	0.997	0.993	0.997	0.981
축척매개변수	0.991	0.979	0.980	0.996	0.984	0.963	0.870

최대 강우량 평균의 증가에 대한 회귀직선을 이용하여 목표년도 평균 강우량을 산정하고, 산정된 평균 강우량을 이용하여 목표연도에 해당하는 분포의 매개변수를 추정하는 것이다.

목표년도의 평균강우량은 회귀방정식을 이용하여 식 (3)과 같이 산정할 수 있다.

$$M_T = \bar{x} + A \times N \quad (3)$$

여기서, M_T 는 목표년도(T) 평균 강우량, \bar{x} 는 연 최대 강우량의 전 자료기간 평균값, A 는 연 최대 강우량 평균의 회귀직선 기울기, N 은 목표년도까지의 년 수이다.

목표년도 위치매개변수는 식 (4)로 구할 수 있다.

$$x_{0,T} = M_T \times B + C \quad (4)$$

여기서, $x_{0,T}$ 는 목표년도(T) 위치매개변수, M_T 는 목표년도 평균 강우량, B 와 C 는 연 최대 강우량 평균과 위치매개변수 간 선형 회귀식의 매개변수이다.

목표년도 축척매개변수는 식 (5)로 구할 수 있다.

$$\alpha_T = M \times E + F \quad (5)$$

여기서, α_T 는 목표년도(T) 축척매개변수, M_T 는 목표년도 평균 강우량, E 와 F 는 연 최대 강우량 평균과 축척매개변수 간 선형 회귀식의 매개변수이다.

위와 같이 산정된 목표년도 매개변수를 이용하여 목표연도에 해당하는 확률밀도함수를 추정할 수 있으며, 이를 바탕으로

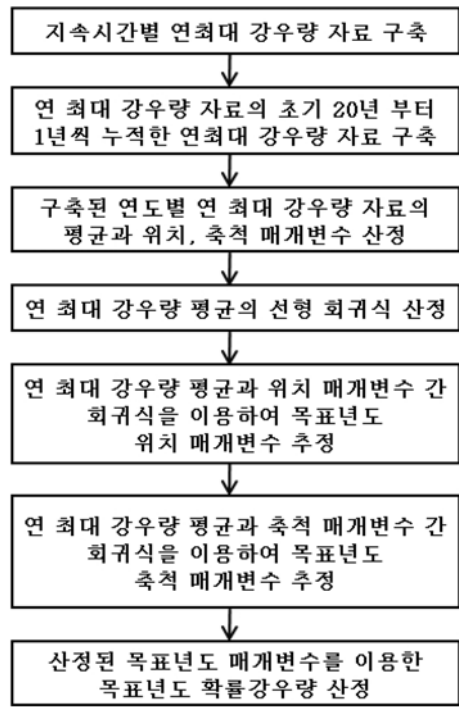


그림 5. 목표년도 확률강우량 산정 절차

목표년도 확률강우량을 산정할 수 있다.

6. 연구결과 및 결론

표 6은 현재 보유하고 있는 자료가 정상성을 가지고 있다

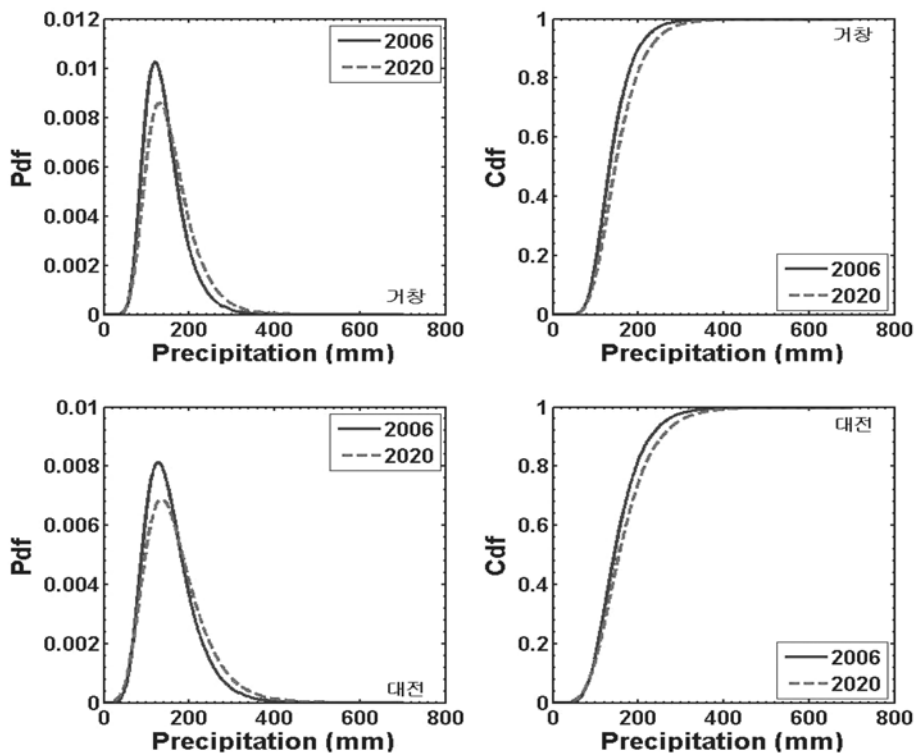


그림 6. 목표년도 PDF(左) 및 CDF(右) 변화

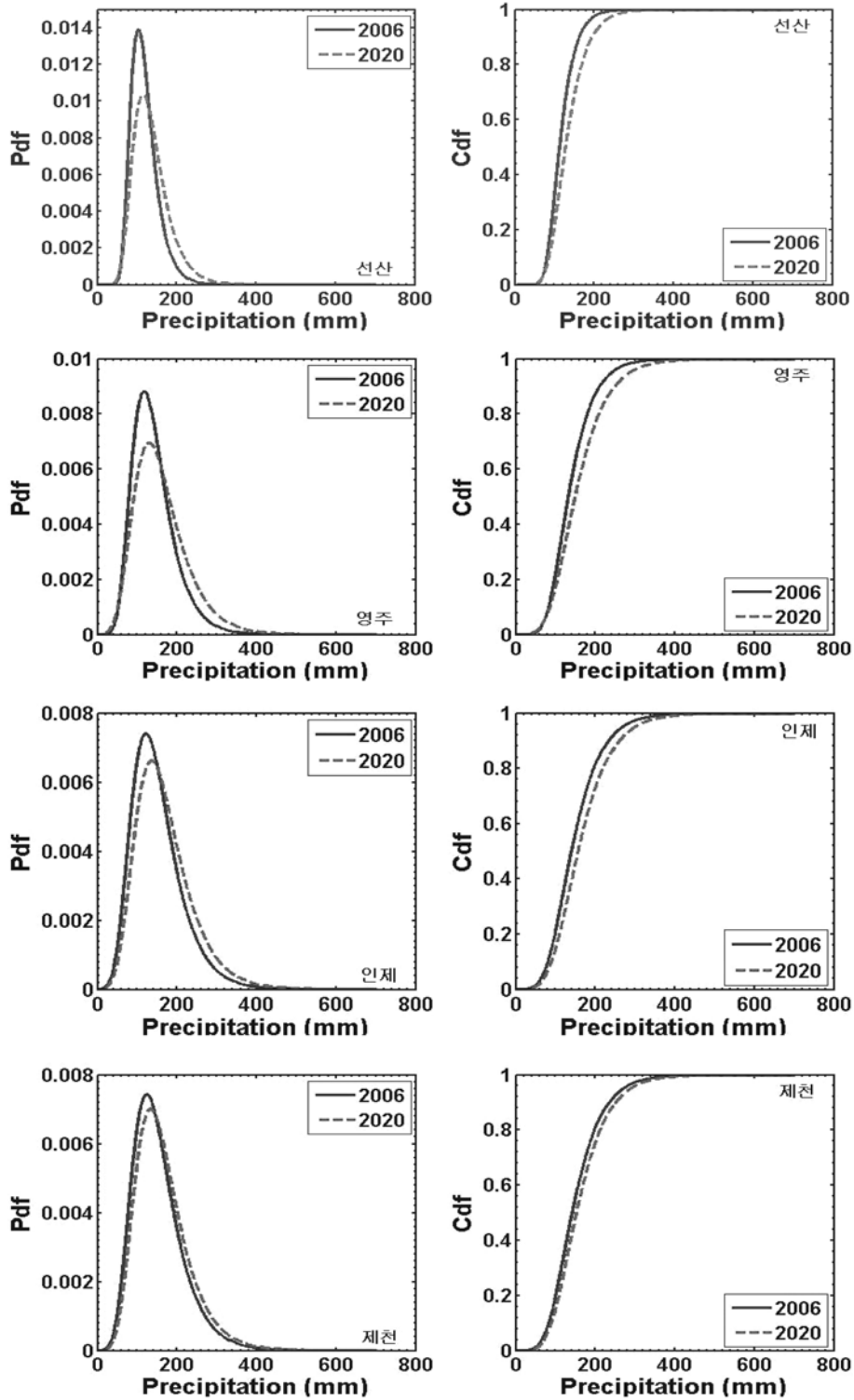


그림 6. 계속

고 가정하여 산정한 Gumbel 분포의 매개변수("2006"으로 표현)와 본 연구방법을 적용한 목표년도 매개변수("2020"으로 표현)를 비교한 것이다. 그림 6은 표 6에서 산정된 매개변수를 적용한 확률밀도함수(probability density function, PDF)와 누적분포함수(cumulative distribution function, CDF)의 변화를 나타내고 있다. 표 7과 그림 7은 목표년도 확률강우량의 변화를 나타내고 있다.

본 연구에서는 경향성 검정을 통하여 증가 경향을 나타내는 지점을 파악하고, 목표년도의 확률강우량을 추정하였다. 초기 20년을 연 최대 강우량 자료를 기준으로 1년씩 누적하여 자료를 생성한 후 연 최대 강우량 평균과 위치 및 축척

매개변수를 산정하였다. 이와 같이 산정한 연 최대 강우량 평균과 위치 및 축척매개변수 간 관계를 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 초기 20년에 1년씩 자료를 추가하여 산정한 연 최대 강우량 평균의 변화는 지속적인 증가 경향을 나타내고 있어 최근의 강우량 증가경향을 확인할 수 있다.
2. 연 최대 강우량 평균의 변화는 선형 회귀직선에 잘 적합하므로 목표년도의 평균 강우량을 회귀직선을 이용하여 추정할 수 있다.
3. 연 최대 강우량 평균과 매개변수 간 상관관계를 확인한 결과 모든 지점에서 높은 상관관계를 가지고 있어, 이를

표 6. 목표년도 매개변수

지점	구분	위치매개변수	축적매개변수
거창	2006	119.81	35.89
	2020	129.12	42.82
대전	2006	127.13	45.26
	2020	133.88	53.46
문경	2006	110.17	28.70
	2020	120.70	34.10
선산	2006	103.35	26.44
	2020	114.23	35.49
영주	2006	117.14	41.75
	2020	128.78	52.96
인제	2006	121.72	49.68
	2020	134.93	55.58
제천	2006	123.73	49.51
	2020	132.35	52.51

이용한 목표년도 매개변수를 추정할 수 있다.

본 연구의 적용 방법은 연 최대 강우량의 변화가 회귀직선에 적합할 경우 적용이 가능하다. 따라서, 연 최대 강우량 평균의 변화와 회귀직선간의 관계가 명확하지 않을 경우, 본 연구에서 제시한 목표년도 확률강우량 산정법의 적용이 어려울 것으로 판단된다. 또한, 비선형 방정식을 적용하여 목표년도 평균강우

량과 매개변수를 추정할 수 있지만, 이러한 비선형 방정식은 외삽 구간에 큰 불확실성을 가지고 있으므로, 단기간의 미래 추정량의 적용에는 선형 방정식이 보다 안정적으로 적용이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 목표년도 매개변수를 산정하고, 이를 적용하여 목표년도 확률강우량을 산정한 결과 현 시점의 확률강우량보다 6~20%의 증가를 나타내고 있다(표 7). 재현기간이 커질수록 증가율이 커지는 것을 알 수 있으나 그 차이 또한 2~5%로 크지 않음을 알 수 있다.

최근 홍수 피해의 급증으로 설계 빈도의 상향조정 등이 논의되고 있다. 그러나 본 연구에서 제시한 목표년도 확률강우량 산정법을 적용하여 각 지역별 강우 패턴을 고려하여 목표년도 확률강우량을 산정함으로써 가까운 미래의 확률강우량 변화를 예측할 수 있다. 목표년도 확률강우량을 수공구조물의 계획 및 설계에 활용함으로써 전체적인 설계 빈도 상향 조정으로 발생하는 예산 낭비 방지와 홍수피해 저감을 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상 기후대비시설기준강화연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

표 7. 목표년도 확률강우량 변화 및 증가율

지점	구분	재현기간(year)					
		10	50	100	200	300	500
거창	2006	200.58	259.85	284.91	309.88	324.46	342.82
	2020	225.49	296.22	326.12	355.91	373.31	395.21
	증가율(%)	12.4	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3
대전	2006	228.97	303.72	335.32	366.8	385.19	408.34
	2020	254.17	342.45	379.78	416.96	438.68	466.02
	증가율(%)	11.0	12.8	13.3	13.7	13.9	14.1
문경	2006	174.75	222.15	242.19	262.15	273.81	288.49
	2020	197.45	253.77	277.58	301.3	315.16	332.6
	증가율(%)	13.0	14.2	14.6	14.9	15.1	15.3
선산	2006	162.85	206.53	224.99	243.38	254.13	267.65
	2020	194.1	252.71	277.49	302.18	316.6	334.75
	증가율(%)	19.2	22.4	23.3	24.2	24.6	25.1
영주	2006	211.09	280.05	309.2	338.24	355.2	376.56
	2020	247.95	335.41	372.39	409.23	430.74	457.83
	증가율(%)	17.5	19.8	20.4	21.0	21.3	21.6
인제	2006	233.52	315.57	350.25	384.81	405	430.41
	2020	260.01	351.81	390.62	429.29	451.87	480.3
	증가율(%)	11.3	11.5	11.5	11.6	11.6	11.6
제천	2006	235.15	316.93	351.5	385.94	406.06	431.39
	2020	250.5	337.22	373.88	410.4	431.74	458.59
	증가율(%)	6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.3

참고문헌

- 건설교통부(2000) 1999년도 수자원관리기법개발 연구조사 보고서, 제 1권 한국 확률강우량도 작성, 건설교통부.
- 건설교통부(2005) 삼교천수계 유역종합치수계획, 건설교통부.
- 김병식, 김보경, 경민수, 김형수(2008) 기후변화가 극한강우와 I-D-F 분석에 미치는 영향 평가, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제4호, pp. 379-394.
- 소방방재청(2007) **재해연보 2006**, 소방방재청.
- 안재현, 김태웅, 유철상, 윤용남(2000) 자료기간 증가에 따른 확률강우량의 거동 특성 분석, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제5호, pp. 569-580.
- 임은순, 권원태, 배덕효(2006) 수자원 영향평가에 활용 가능한 지역기후변화 시나리오 연구, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제12호, pp. 1043-1056.
- 정중호, 윤용남(2007) **수자원설계실무**, 구미서관.
- 한만신, 최계운, 정연중, 안경수(2006) 최대강우 패턴 변화를 고려한 인천지방 확률강우강도식의 제안, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제6호, pp. 521-1532.
- He, Y., Brdossy, A., and Brommundt, J. (2006) Non-stationary flood frequency analysis in southern germany, *The 7th International Conference on HydroScience and Engineering*, Philadelphia.
- Leclerc, M. and Ouarda, T.B.M.J. (2007) Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged site. *Journal of Hydrology*, Vol. 343, Issues 3-4, pp. 254-265.
- Ouarda, T.B.M.J. and El Adlouni, S. (2008) Bayesian inference of non-stationary flood frequency models. *World Environmental and Water Resources Congress 2008*, Honolulu, Hawaii.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M., and Foufoula-Georgiou, E. (1993). frequency analysis of extreme events, *Handbook of Hydrology*, D. Maidment, ed., McGraw-Hill, New York, pp. 18.1-18.66.
- (접수일: 2008.9.22/심사일: 2008.10.21/심사완료일: 2008.12.23)