

ORIGINAL ARTICLE

기후변화 시나리오를 고려한 제주도 확률강우량 산정

이준호 · 양성기* · 정우열¹⁾ · 양원석²⁾

제주대학교 토목공학과, ¹⁾제주특별자치도의회, ²⁾제주특별자치도 수자원본부

Estimation of Design Rainfall Based on Climate Change Scenario in Jeju Island

Jun-ho Lee, Sung-kee Yang*, Woo-yul Jung¹⁾, Won-seok Yang²⁾

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

¹⁾Jeju Special self-governing provincial council, Jeju 690-747, Korea

²⁾Jeju Water Resources Headquarters, Jeju 695-962, Korea

Abstract

As occurrence of gradually increasing extreme temperature events in Jeju Island, a hybrid downscaling technique that simultaneously applies by dynamical method and statistical method has implemented on design rainfall in order to reduce flood damages from severe storms and typhoons. As a result of computation, Case 1 shows a strong tendency to excessively compute rainfall, which is continuously increasing. While Case 2 showed similar trend as Case 1, low design rainfall has computed by rainfall in A1B scenario. Based on the design rainfall computation method mainly used in Preventive Disaster System through Pre-disaster Effect Examination System and Basic Plan for River of Jeju Island which are considering climatic change for selecting 50-year and 100-year frequencies. Case 3 selecting for Jeju rain gage station and Case 1 for Seogwipo rain gage station. The results were different for each rain gage station because of difference in rainfall characteristics according to recent climatic change, and the risk of currently known design rainfall can be increased in near future.

Key words : Design rainfall, Climate change scenario, Gumbel, Quantile mapping method

1. 서론

지구온난화로 인해 지난 100여 년 동안 지구의 평균기온은 약 0.74℃ 증가 하였으며(IPCC, 2007), 이상기후 및 기상이변 현상은 전 지구뿐만 아니라 한반도의 온난화에도 더욱 심화 될 것으로 추정하고 있다(Meteorological Administration, 2011). 기후변화 4차 보고서에는 지구 평균기온이 3.0℃ 오를 경우 아시아에서만 연간 700만

명 이상이 홍수피해를 입을 위기에 처할 수 있다고 한다. 지난 50년간 지구평균기온에 비해 우리나라는 1.5℃ 정도 상승하여 강수일수는 감소한 반면 일 강수량은 80mm 이상인 호우일수의 발생빈도가 점차 증가하고 있다(Choi, 2002).

미국, 영국 등의 선진국에서는 기후변화가 수자원에 미치는 영향을 면밀히 분석하고, 이에 따른 수자원 계획, 관리에 활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 미

Received 21 August, 2014; Revised 13 November, 2014;

Accepted 16 November, 2014

*Corresponding author : Sung-kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea
Phone: +82-64-754-3451
E-mail: skyang@jeju.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

국은 기후변화 영향으로 인한 수자원관리를 정책수립에의 활용과 기후변화의 영향을 정량화하고 이에 관련한 정보를 제공하고 있다(CDWR, 2006). 국내에서 기후변화에 따른 수자원 측면의 연구로는 Yoon 등(1999)은 기후변화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화를 분석하였으며, Kim 등(2004)은 YONUGCM 결과를 통계적 방법으로 기후시나리오를 상세화 하였다. Shin(2000)은 기온과 강수량의 변화에 대한 유출량의 민감도를 분석하였으며, Ahn(2001)은 국지기후모델인 IRSHAM96 모형과 물수지모형을 이용하여 지역적인 기후특성을 반영하여 분석하였다. 또한 Kwon 등(2007)은 강우자료와 실측자료를 비교하여 기상청 RCM(Remote Control Processing Module)을 수문학 분야에서 적용에 따른 적정성을 검토하였고, Park 등(2014)은 PRIDE(PRISM based downscaling estimation model)모형을 이용하여 지역적인 발생할 가뭄의 변화 경향에 대하여 분석하였다.

최근 제주도는 극한사상의 기상발생빈도가 점차 증가하여 집중호우, 태풍 등에 의한 홍수 피해가 점차 증가하고 있는 실정이며, 태풍 제 11호 '나리'는 2007년 9월 15일부터 16일까지 제주도에 내습하여 사상 초유의 14명의 사상자와 약 130,646백만원의 피해를 입혔다(Jeju Special Self-Governing Province, 2007).

홍수피해를 유발하는 극한사상의 발생횟수가 증가함에 따라 예·경보 없이 발생하는 홍수피해도 꾸준히 증가될 것으로 보인다. 따라서 기후변화를 고려한 관측소별 확률 강우량 산정은 실제 하천제방 및 수공구조물 설계를 위해 필수적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 제주도에 기후시나리오를 역학적 방법(dynamical method)과 통계적 방법(statistical method)의 두 기법을 동시에 적용한 혼합 상세화기법의 적용성을 분석하고 이를 활용하여 관측소별 확률 강우량 산정 방법을 제시하였다. 이 같은 연구는 미래 확률강우량을 고려한 하천제방 및 수공구조물 등의 설계 시 유용한 정보로 활용될 수도 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 분위사상법

혼합 상세화기법은 지역기후모형과 함께 통계적 기법을 적용하여 기후시나리오를 시·공간적으로 상세화하는

것으로 일반적으로 현재 사용되고 있는 통계적 기법은 크게 3가지로 분류 할 수 있다. 첫 번째는 역학적 상세화 기법과 일기상발생기를 결합하는 방법, 두 번째는 역학적 상세화기법에 편의보정하는 방법이며 세 번째는 역학적 상세화에서 생산된 CF(Change Factor)를 이용하여 생산하는 방법이다(Lee, 2013).

본 연구에서는 편의보정기법 중에 가장 많이 활용되고 있는 분위사상법을 적용하였으며 분위사상법은 비초과확률을 기반으로 한 기후변화시나리오의 편의보정 기법이다. 적용방법은 GCM(Global Climate Model) 일 단위 강수량과 관측자료의 일 단위 강수량을 이용하여 확률분포의 누가밀도 함수를 추정하며 일반적인 GCM 및 RCM과 같은 기후모형은 육지에 떨어지는 강수량을 모의하는 모형이 아니라 대기에서의 발생량을 추정하기 때문에 현실에 비해 작은 강수량이 과다하게 발생하게 된다(Bae, 2013). 강수량의 확률분포는 실무에서 가장 많이 이용하는 Gumbel 분포를 사용하였으며 매개변수 추정방법은 모멘트법을 적용하였고 Gumbel 분포의 확률밀도함수(PDF), 누적확률밀도함수(CDF)산정하는 식은 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-\frac{x-u}{a}} e^{-\frac{x-u}{a}}, \quad -\infty \text{ to } \infty \quad (1)$$

$$f(x) = e^{-\frac{x-u}{a}} = e^{-e^{-y}} \quad (2)$$

여기서, $a > 0$ 은 축척매개변수이며, u 는 최대확률이 발생하는 위치이다. 모멘트법을 이용하면 다음식에서 매개변수 산정을 하였다.

$$\tilde{u} = \bar{X} - 0.5772\tilde{a} = \bar{X} - 0.45006s \quad (3)$$

$$a = 0.7797s \quad (4)$$

여기서, \bar{X} 와 s 는 각 표준자료 X 의 평균값 및 표준편차이다.

2.2. 대상관측소 선정

제주도의 관측소는 총 24개에 관측소가 설치·운영되고 있어 관측밀도는 높은 편이나 경향성 분석을 위해서는 최소한 30년 이상의 장기간 자료가 필요하다(Semenov와

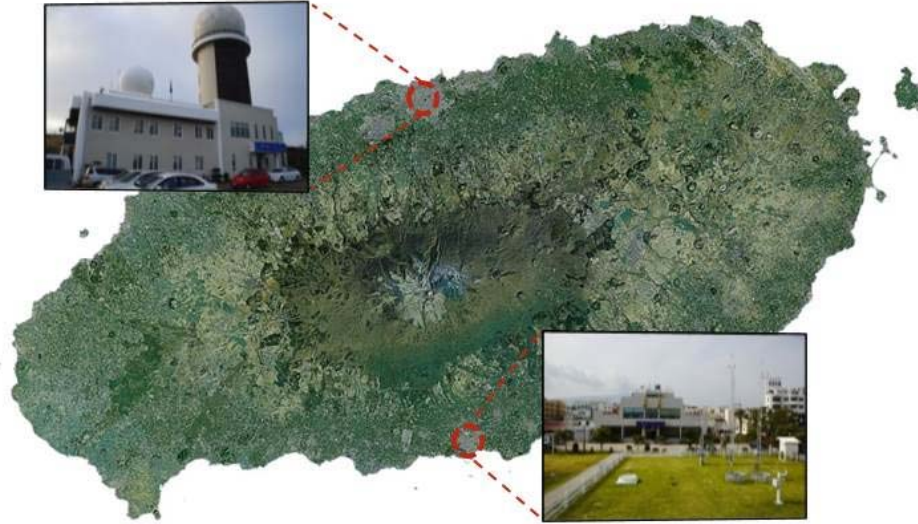


Fig. 1. Location map of rain gage stations used in study.

Table 1. Specification of rain gage stations

Rain gage stations	Latitude	Longitude	E.L. (m)
Jeju	33° 30' 51.0''	126° 31' 46.7''	19.9
Seogwipo	33° 14' 46.0''	126° 33' 55.2''	50.4

Barrow, 2002). 따라서 Fig. 1과 같이 제주, 서귀포의 2개 관측소를 선정하여 30년 이상의 실측 일강우량 자료와 기후변화정보센터에서 제공하는 A1B 시나리오의 예측 강우량 자료를 이용하여 관측소별 미래 확률 강우량을 산정하였다(Table 1).

최근 10년(2003~2013)간 제주와 서귀포 관측소의 강우량자료를 사용하여 경향성을 분석하였으며, 최근 기후지표들의 변동성이 가지는 의미를 평가하기 위해 총 52년(1961~2013)간의 장기 경향성 분석을 통해 변화 추세를 비교·검토하였다(Fig. 2.).

제주관측소의 연강우량의 변동은 최근 10년간의 기온기가 52년간에 비해 약 20% 증가하고 있으며, 상위 90% 크기의 일강수량을 초과하는 강우일수의 기온기는 2배 정도 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 2.(a)). 따라서 호우 발생 빈도가 최근 급속히 증가하고 있는 것을 알 수 있으며, 상위 90% 크기의 일강수량 증가율이 연강우량 증가율보다 높은 값을 보이는 것은 연강수량에서 호우가 차

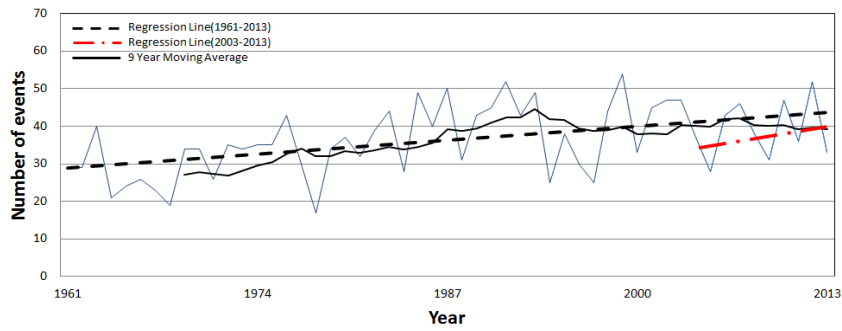
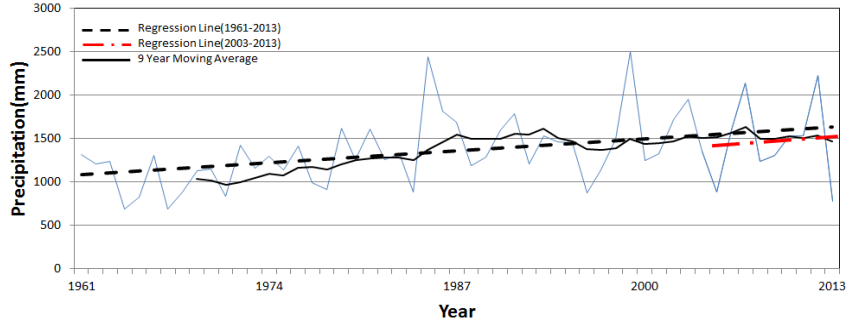
지하는 비율이 점차 증가한다는 것을 의미한다.

서귀포관측소는 최근 강우량의 기온기가 기존에 비해 1.45배 정도 증가하는 것으로 나타났지만 상위 90% 크기인 일 강수량을 초과하는 강우일수 기온기는 기존보다 0.78%로 줄고 있어(Fig. 2.(b)) 제주관측소와는 대조를 보이고 있다. 또한, 호우가 차지하는 비율이 제주관측소에 비해 다소 줄어드는 경향을 보이고 있으나 두 관측소 모두 최근 강우량은 증가하고 있지만 관측소별 기후변화의 양상은 서로 다르게 나타나고 있다.

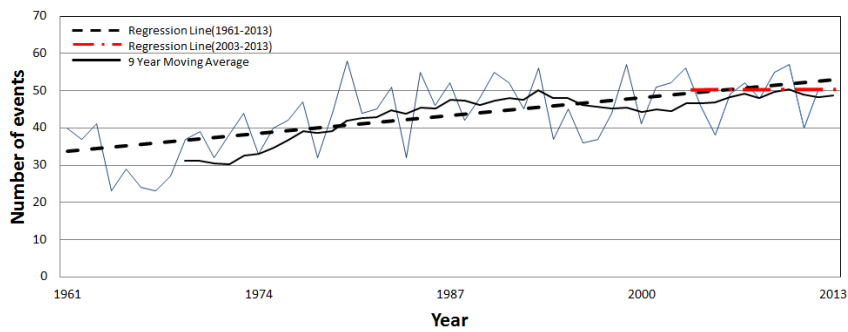
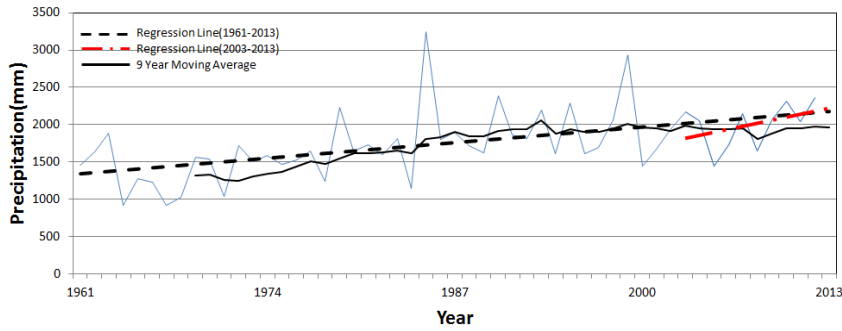
3. 결과 및 고찰

3.1. 확률강우량 산정

본 연구에서는 적합한 기후변화를 고려한 확률강우량을 산정 방법을 제시하기 위해 세 가지 방법으로 확률강우량 산정하고 이를 비교하여 관측소별 적합한 확률강우량 산정 방법을 제안하였다.



(a) Jeju rain gage stations



(b) Seogwipo rain gage stations

Fig. 2. Trend of mean and extreme rainfall index.

Case 1. 기상청 실측 시우량 자료를 활용하여
확률강우량을 분석

기상청의 실측자료를 활용하는 기존방법은 강우 경향성변화와 Gumbel분포의 확률기중모멘트법의 위치, 축척 매개변수와와의 관계를 회귀분석을 통하여 산정하는 방법으로 확률강우량을 산정하였다. 24시간 연 최대 강우량 평균값은 초기 20년을 기준으로 하여 1년씩 누적하여 산정하여 미래의 연도별 연 최대 강우량 평균값을 산정하기 위해 기존 평균자료의 선형회귀곡선을 작성하였다.

위치 및 축척 매개변수 산정은 24시간 연 최대 강우량 평균과 매개변수 간의 선형 회귀곡선을 추정하고 산정한 매개변수 값을 제주관측소의 24시간 연 최대 강우량 평균과 위치 및 축척 매개변수를 이용하여 재현기간별 확률강우량을 산정하였다(Fig. 3).

목표년도의 확률강우량 산정을 위한 Gumbel 누적분포함수의 역함수는 다음 식과 같다.

포함수의 역함수는 다음 식과 같다.

$$x_T = x_0 - a \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

여기서, x_T 는 재현기간별 확률강우량, x_0 는 위치매개변수, a 는 축척매개변수, T 는 재현기간이다.

Case 2. 확률분포 매개변수는 실측자료를
활용하고 강우자료는 기후변화 시나리오
자료를 활용하여 확률강우량을 분석

기후변화 정보센터에서 제공하고 있는 기후시나리오는 실측자료와 보정과정을 거쳐야 하며 시나리오와 실측값의 차이를 분위사상법을 통하여 보정을 실시하였다. 분위사상법은 관측지의 경험적인 확률분포를 토대로 관측치와 분석된 값이 동일한 확률 분포형을 가질 수 있도록

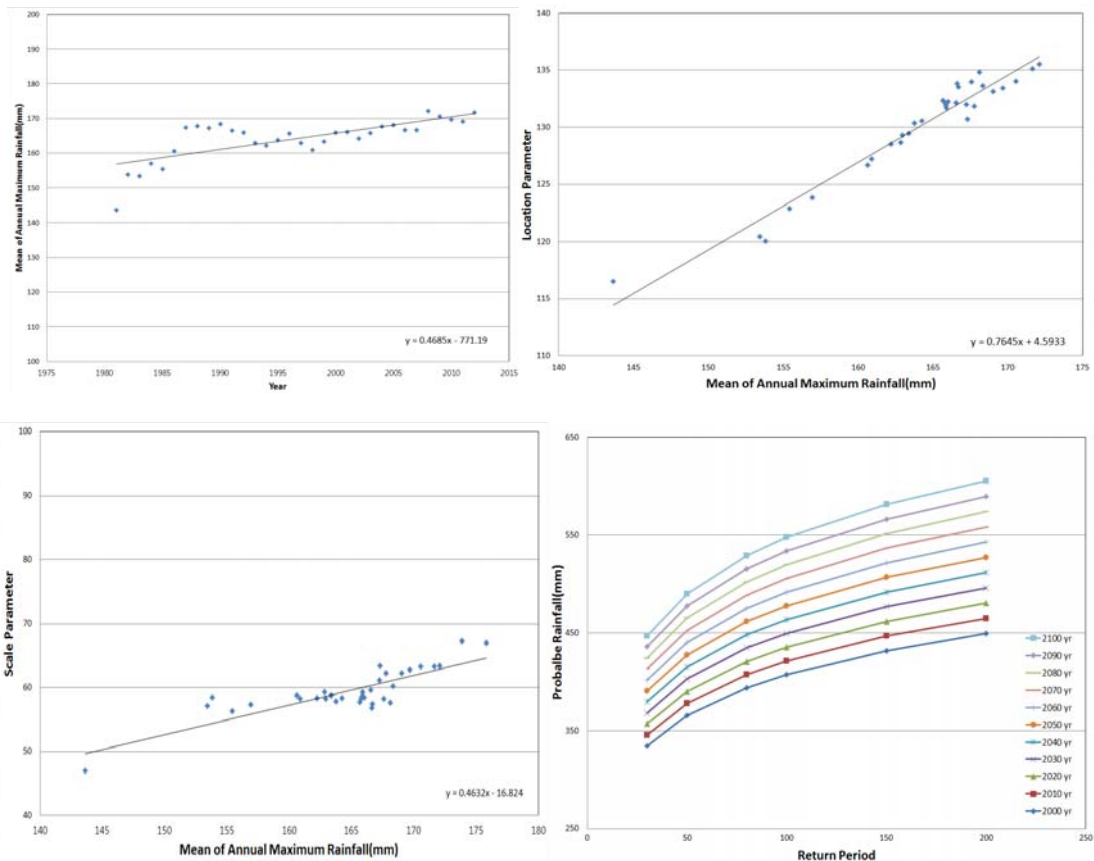


Fig. 3. Estimation of Design Rainfall using Case 1.

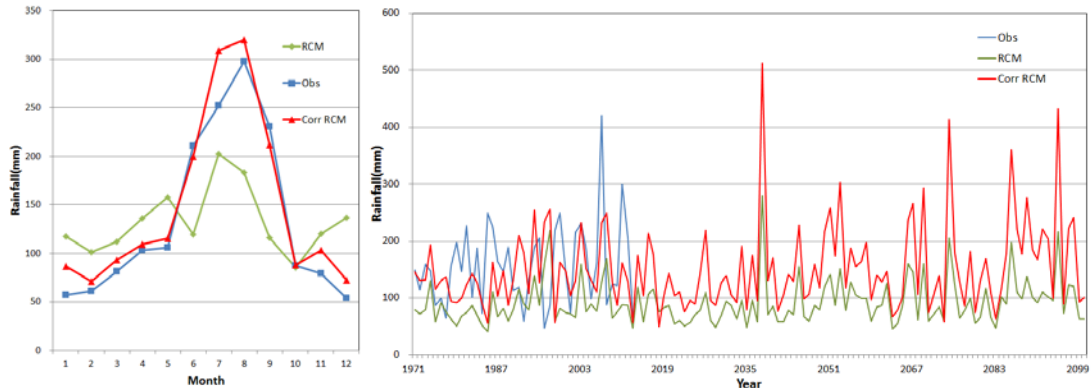


Fig. 4. Correction of rainfall using quantile mapping Method.

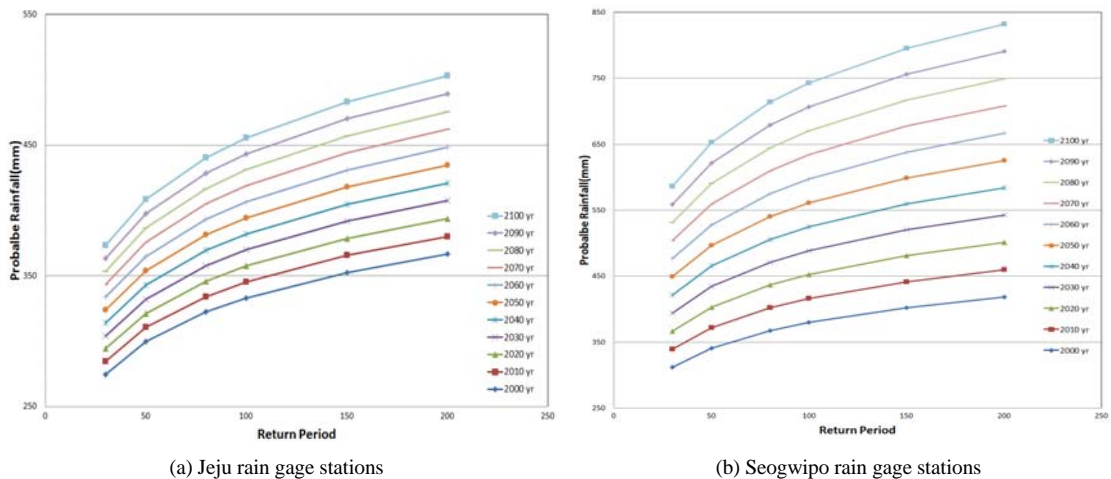
록 전이함수를 통한 통계학적인 접근 방법이다(Bae, 2013). 이 방법은 모의자료가 동일한 비초과 확률을 갖는 관측자료의 크기로 대체되어 단순히 형태를 맞추는 것이 아니라 과거 자료로부터 관측자료와 모의자료의 통계치를 일대일 비교하는 과정을 의미한다(Fig. 4).

강우자료는 24시간 연 최대 관측값과 기후변화 시나리오 자료의 24시간 연 최대 예측값의 비초과확률을 산정하여 A1B 시나리오자료에 대응하는 값을 관측자료의 누적확률밀도함수로부터 획득한다. Case 1과 같이 24시간 연 최대 강우량 평균값은 초기 20년을 기준으로 하여 1년씩 누적하여 산정하였으며 위치 및 축척매개변수는

분위사상을 적용하여 산정된 24시간 연 최대 강우량 평균과 같은 기간의 실측 강우자료를 활용하여 산정하였다 (Fig. 5.).

Case 3. 혼합상세화 기법을 적용하여 보정된

강우자료로 이용하여 확률 강우량을 분석 강우자료와 위치 및 축척 매개변수는 A1B 시나리오 예측자료(1961~2100년)에 분위 사상법을 적용하여 산정한 값을 사용하는 방법이다. 24시간 연 최대 강우량 평균값과 위치 및 축척 매개변수를 이용하여 각 관측소에 대한 재현기간별 확률강우량을 산정하였다(Fig. 6.).



(a) Jeju rain gage stations

(b) Seogwipo rain gage stations

Fig. 5. Estimation of Design Rainfall using Case 2.

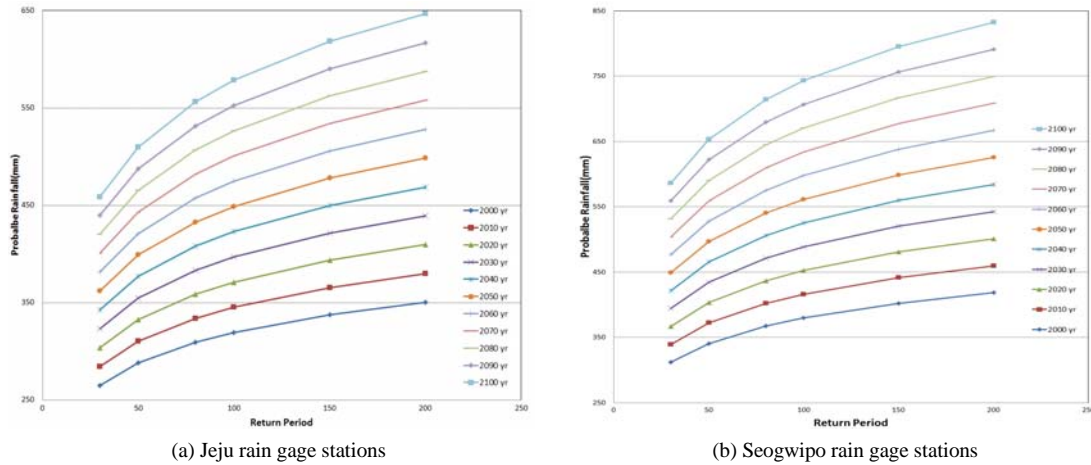


Fig. 6. Estimation of Design Rainfall using Case 3.

3.2. 방법별 확률 강우량의 증가율

Case 1, 2, 3으로 산정한 확률강우량 중에서 관측소별 적정 확률 강우량 산정방법을 채택하기 위해서 각 지점의 관측시작일로부터 2100년 자료의 24시간 연 최대강우량을 활용하여 빈도별 확률강우량 증가율을 산정하였다. 오차분석은 Case 3 방법인 기후변화를 고려한 확률강우량을 기준으로 하여 기존대비 오차율을 분석하였다 (Table. 3).

제주관측소의 확률강우량 증가는 30년 빈도에서 Case 3이 Case 1보다 높게 산정이 되어 제주도의 사전

재해 및 하천기본계획에서 주로 사용하는 50, 100년 빈도 선정시 기후변화를 고려한 확률강우량을 산정하는 것이 적절한 선택이지만, 서귀포관측소인 경우 다소 빈도가 높은 200년 빈도에서 기존방법보다 증가하는 것으로 분석되었다(Fig. 7.). 또한, 각 관측소마다 상이한 이유는 최근 강우량 특성을 분석한 결과 제주관측소인 경우 최근 상위 90% 크기의 일강수량을 초과하는 강우일수 기율은 2배 정도의 기율이 증가하는 것으로 나타났지만 서귀포관측소는 상위 90% 크기인 강우일수 기율은 기존보다 0.78% 줄어들어 서로 상이한 결과를 나타낸

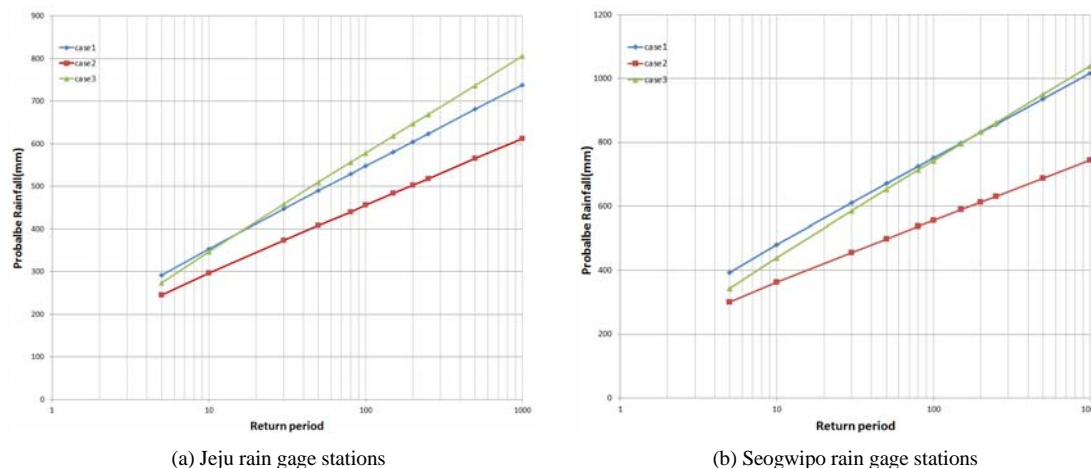


Fig. 7. Variations of Design Rainfall on Each Frequency.

Table 2. Estimation of Design Rainfall using Methods

(mm)

	Jeju rain gage stations					Seogwipo rain gage stations				
	Case 3	Case 1	Error (%)	Case 2	Error (%)	Case 3	Case 1	Error (%)	Case 2	Error (%)
5	273.561	291.267	-6.47	245.431	10.28	343.686	393.605	-14.52	300.664	12.52
10	347.360	353.348	-1.72	296.350	14.68	440.340	480.073	-9.02	362.331	17.72
30	458.872	447.154	2.55	373.291	18.65	586.388	610.73	-4.15	455.511	22.32
50	509.778	489.977	3.88	408.415	19.88	653.059	670.376	-2.65	498.049	23.74
80	556.373	529.174	4.89	440.565	20.81	714.084	724.971	-1.52	536.984	24.80
100	578.442	547.738	5.31	455.791	21.20	742.987	750.828	-1.06	555.424	25.24
150	618.481	581.42	5.99	483.418	21.84	795.427	797.741	-0.29	588.881	25.97
200	646.854	605.288	6.42	502.995	22.24	832.588	830.986	0.19	612.591	26.42
250	668.848	623.79	6.74	518.170	22.53	861.393	856.755	0.54	630.969	26.75
500	737.112	681.215	7.58	565.270	23.31	950.798	936.739	1.48	688.011	27.64
1000	805.327	738.598	8.29	612.337	23.96	1040.14	1016.66	2.26	745.011	28.37

것으로 판단된다. 따라서 기후변화를 고려한 확률강우량 산정방법은 제주관측소는 Case 3이며 서귀포관측소는 Case 1로 채택하였다.

4. 결론

제주도는 기후변화가 가장 빠르게 나타나고 있지만 기후변화에 따른 수자원 계획, 관리에 활용하기 위한 다양한 연구가 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기후변화를 고려한 확률강우량 산정 하기위해 대상관측소별 3가지 방법으로 관측소별 적합한 확률강우량을 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

최근 기후변화 경향성 분석을 위한 총 관측년도와 최근 10년간의 강우증가 경향은 제주관측소인 경우는 총 52년 동안에 비해 20% 증가하였으며, 서귀포관측소는 1.45배 정도의 기울기가 증가 하였다. 연강수량에서 호우가 차지하는 비율을 검토하기 위해 상위 90% 크기의 일강수량을 분석 실시한 결과 제주관측소는 총 관측년수보다 2배 정도의 증가하였지만 서귀포관측소는 기존보다 0.78% 줄어 관측소별 기후변화의 특성을 파악할 수 있었다.

기후변화시나리오는 불확실성을 가지고 있어 각 Case 별 확률 강우량을 산정 후 비교하였으며, Case 1은 지속

적으로 증가하는 강우량에 의해 과대 산정하는 경향이 강했으며, Case2은 Case1과 비슷한 경향성을 보이고 있으나 A1B시나리오 강우량에 의해 낮은 확률 강우량을 보였다. 따라서, Case 2 산정방법은 기존의 실측강우량으로 산정하는 방법보다 과소 추정되어 이를 적용할 경우에는 추가 보정이 필요하다.

제주도의 사전재해 및 하천기본계획에서 주로 사용하는 50, 100년 빈도 선정 시 기후변화를 고려한 확률강우량 산정방법은 제주관측소는 Case 3이며, 서귀포관측소는 Case 1으로 선정하였다. 각 관측소마다 상이한 것은 최근 기후변화에 따른 강우특성이 서로 상이하기 때문이며, 현재 알려진 확률강우량에 대한 위험도가 향후 더욱 증가할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 관측소별 기후변화 특성과 미래 확률강우량을 산정하였으며 이 연구 결과는 실제 하천제방 및 수공구조물 설계시 하천법람 및 설계빈도를 고려하기 위한 이상기후에 대한 설계기준 조정에 유용한 정보가 될 것으로 기대된다.

감사의 글

국토교통부 건설교통기술지역 특성화사업 “제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 구축 연구(10지역기술혁

신B02)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

- Ahn, J. H., Yoon, Y. N., Yoo, C. S., 2001, On the change of hydrologic conditions due to global warming : 2. An analysis of hydrologic changes in daechung dam basin using water balance model, *Journal of Korea water Resources Association*, 34(5) 511-519.
- Bae, D. H., the 28th Water engineering workshop textbook, - Climate change scenarios and long term runoff - , 84-87.
- CDWR(California Department of Water Resources), 2006, Progress on incorporating climate change into management of california's water resources, Technical memorandum report, available at <http://baydeltaoffice.water.ca.gov/climatechange/reports.cfm>
- Choi, Y. E., 2002, Trends in daily precipitation events and their extremes in the southern region of Korea, *Korea Soc.*, 11(3), 189-203.
- IPCC, 2007, Climate change 2001 : The scientific basis, IPCC contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, cambridge university press, Cambridge.
- Jeju Special Self-Governing Province, 2007, A damage form storm and flood white paper.
- Kim, U. T., Lee, D. R., Yoo, C. S., 2004, Effects of climate change on the streamflow for the daechung dam watershed, *Journal of Korea water Resources Association*, 37(4), 305-314.
- Kwon, W. T., Boo, K. O., Heo, I. H., 2007, Climate change during the recent 10 years in Korea, Conference of Korean Water Resources Association, 278-280.
- Lee, M. H., Bae, D. H., 2013, Evaluation of hybrid downscaling method combined regional climate model with step-wise scaling method, *Journal of Korea water Resources Association*, 46(6), 585-596.
- Meteorological Administration, 2011, the report : Climate change scenario in Area - Jeju Island - .
- Park, J. C., Chol, K. J., Song, S. H., 2014, Prediction of regional drought considering aspect and elevation in jeju island under future climate change, *Journal of the Environmental Sciences*, 23(4) 649~660.
- Semenov, M. A., and Barrow, E. M., 2002, Stochastic weather generator for use in climate impact studies, User Manual.
- Shin, S. C., 2000, Analysis of river flow change based on some scenarios of global warming, *Journal of Korea water Resources Association*, 33(5) 623-634.
- Yoon, Y. N., Yoo, C. S., Lee, J. S., Ahn, J. H., 1991, On the change of flood and drought occurrence frequency due to global Warming : 2. Estimation of the change in daily rainfall depth distribution due to global warming, *Journal of Korea water Resources Association*, 32(6), 627-636.