

대표농도경로 시나리오에 의한 미래 강수량의 지역빈도해석

김덕환·홍승진·최창현·한대건·이종소·김형수[†]

인하대학교 토목공학과

Regional Frequency Analysis for Future Precipitation from RCP Scenarios

Duck Hwan Kim·Seung Jin Hong·Chang Hyun Choi·Dae Gun Han·So Jong Lee·Hung Soo Kim[†]

Department of Civil Engineering, Inha university, Incheon, Korea

(Received: 2 February 2015, Revised: 4 February 2015, Accepted: 13 February 2015)

요약

기후변화로 인해 강우 패턴과 강우강도의 변동성이 커지고 있으며, 도시화 및 산업화에 따른 불투수면적의 증가로 인해, 집중호우에 따른 도시침수와 홍수피해가 심화될 것으로 예상하고 있다. 따라서 본 연구에서는 홍수방어 대안 설정을 위한 설계 강수량(design rainfall) 또는 확률강수량에도 변화가 예상되므로 지역빈도해석을 통해 미래 확률강수량을 산정 및 분석하고자 한다. 기상청 산하 30년 이상의 관측치를 갖고 있는 58개 지점을 대상으로 과거 관측자료를 수집하고, 기후변화를 고려한 미래 확률강수량 추정을 위해 대표농도경로(RCP) 시나리오에 의한 강수량 자료를 이용하여 지역빈도해석을 실시하였다. 기후변화에 따른 강수량 자료의 편의를 제거하기 위하여 분위사상법(Quantile Mapping) 및 이상치 검정을 실시하였다. Hosking and Wallis(1997)가 제시한 L-moment방법을 이용하여 지역빈도해석을 실시하였으며, 80년, 100년, 200년 빈도에 대한 미래 목표기간별 확률강수량을 산정하였다. 그 결과 21세기 말에 전국의 확률강수량이 현재의 관측 확률강수량에 비해 25 ~ 27% 상승하는 것으로 예측되며, 특히, 제주도 지역이 가장 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 미래 기후변화로 인한 강수량의 증가와 도시화에 따른 유출특성 변화로 자연재해 발생 및 피해는 더욱 증가할 것으로 예상되며, 미래 홍수안전도를 위한 대비책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

핵심어 : 기후변화, 대표농도경로(RCP) 시나리오, 지역빈도해석, 확률강수량

Abstract

Variability of precipitation pattern and intensity are increasing due to the urbanization and industrialization which induce increasing impervious area and the climate change. Therefore, more severe urban inundation and flood damage will be occurred by localized heavy precipitation event in the future. In this study, we analyze the future frequency based precipitation under climate change based on the regional frequency analysis. The observed precipitation data from 58 stations provided by Korea Meteorological Administration(KMA) are collected and the data period is more than 30 years. Then the frequency based precipitation for the observed data by regional frequency analysis are estimated. In order to remove the bias from the simulated precipitation by RCP scenarios, the quantile mapping method and outlier test are used. The regional frequency analysis using L-moment method(Hosking and Wallis, 1997) is performed and the future frequency based precipitation for 80, 100, and 200 years of return period are estimated. As a result, future frequency based precipitation in South Korea will be increased by 25 to 27 percent. Especially the result for Jeju Island shows that the increasing rate will be higher than other areas. Severe heavy precipitation could be more and more frequently occurred in the future due to the climate change and the runoff characteristics will be also changed by urbanization, industrialization, and climate change. Therefore, we need prepare flood prevention measures for our flood safety in the future.

Key words : Climate Change, RCP Scenarios, regional frequency analysis, frequency based precipitation

1. 서론

지구온난화로 인한 기후변화로 한반도 및 전 세계적으로

집중호우 및 돌발홍수, 극한가뭄 등 자연재해로 인한 피해가 증가하고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 제 5차 평가보고서(2014)는 현재와 같은 증가추세로 온실가스가 발생할 경우, 지구 평균 기온은 3.7°C, 해수면은 63cm 증가할 것이라고 전망하였다. 따라서 기후변화로 인해 미래의 강우 패턴과 변동성에도

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea
E-mail: sookim@inha.ac.kr

큰 영향을 미칠 것으로 예상하고 있고, 지역에 따라 미치는 영향이 다르겠지만 집중호우와 폭우로 인한 인명과 재산피해가 증가할 것으로 판단하고 있다.

기후변화를 고려한 미래강수량 변동성 예측 및 빈도해석과 관련한 연구는 국내·외 많은 연구들이 수행되고 있다. 국외의 경우 Oden and Prudhomme(2002)는 미래의 강우·유출 모델에 적용하기 위한 자료를 구축하고, 홍수량 빈도해석을 실시하였다. Fowler et al.(2005)은 영국 Hadley 센터에서 개발한 HadRM2, HadRM3H를 이용하여 지역빈도해석 및 Grid Box Analysis(GBA)를 통한 평가 및 확률강우량의 변화를 분석하였는데, 영국 내의 50년 이상의 극한 강우에 대하여 HadRM3H 모형을 이용한 극한강우 재현의 적용성 평가 결과는 만족할만한 결과를 보여주었다. Villarini et al.(2013)은 CMIP5 모델을 이용하여 새로운 기후변화 시나리오인 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)시나리오를 이용하여 미래로 갈수록 폭우가 미국 중부지역에 미치는 영향을 평가를 하였다. Otieno and Anyah(2013)는 RCP 시나리오를 이용하여 아프리카 대륙의 북동부의 온도 및 강수량의 변화를 RCP 4.5, 8.5 시나리오를 계절별 분석을 실시하는 등 새로운 시나리오를 이용하여 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국내에서도 Kyoung et al.(2009b)은 기후변화가 한반도 가뭄에 미치는 영향을 평가하기 위하여, SRES A2 시나리오를 이용해서 K-NN기법, 인공신경망이론 등을 적용하여, 기후변화에 따른 온도 및 확률강수량 변화를 분석하였다. Lee et al.(2006)은 예상홍수피해액을 산정하기 위하여 기상청에서 제공하는 KMA-RCM (Korea meteorological administration-regional climate model)의 일강우량을 카오스분해기법을 이용하여 시우량으로 환산한 후, 연 최대 홍수량을 산정하고, HEC-FDA에서의 불확실성 분석 방법을 통해 불확실성을 고려한 확률강우량을 재산정후, 다차원홍수피해산정방법(MD-FDA)을 이용하여 예상홍수 피해액을 산정하였다. Kim et al.(2010)은 기후변화가 수자원의 이수측면에서 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 검토하고자 K-WEAP 모형을 이용하여 한강유역의 월별 물수지 변화를 분석하였다. 신 시나리오인 RCP 시나리오를 이용한 연구로는 Sung et al.(2012)은 대표농도경로 RCP 4.5와 8.5를 이용하여 21세기 말 강수량을 전망하기 위하여 GEV 분포를 이용하여 분석을 하였고, Kim et al.(2013)은 신 시나리오를 이용하여 남한지역의 가뭄의 변화를 예측하기도 하였다. Hong et al.(2012)은 기후변화 변동성지수를 산정하여 지역별 수자원 특성 분석을 실시하였으며, Kang et al.(2011)은 SWMM 모형을 이용하여 기후변화가 도시배수시스템에 미치는 영향을

분석하기도 하였다. Song et al.(2013)은 SRES A1B 시나리오를 이용하여 극한지수를 산정하고, 지역빈도해석을 수행하기도 하였다. 이와같이 지금까지 기후변화 영향을 고려한 국내·외 다양한 연구들이 이루어져 왔다.

도시화와 산업화에 따른 불투수면적의 증가는 우리나라의 홍수 및 침수로 인한 피해를 심화시킬 것으로 예상되기에, 보다 정확한 확률강수량 산정이 요구된다. 자료의 관측기간이 짧을 경우 발생할 수 있는 지점빈도해석의 단점을 보완하기 위하여, 본 연구에서는 지역빈도해석을 실시하여 안정적인 확률강수량을 산정하고자 하였다. 기존연구와는 달리 새로운 대표농도경로 시나리오 자료를 활용하여 지역빈도해석을 통한 확률강수량을 산정하기 위하여, 기상청 산하 58개 기상관측소에 대하여 빈도해석을 실시하고, L-moment 알고리즘을 통한 미래 기후변화에 따른 확률강수량 변동의 정량적인 검토를 수행하였다.

2. 대표농도경로 시나리오 및 기후모형

2.1 대표농도경로 시나리오

대표농도경로시나리오는 IPCC 5차 보고서(2014)에서 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로, 기후변화에 영향을 미치는 온실가스농도를 결정하기 위해 사용하였다. 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회·경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 대표(Representative)라는 표현을 사용하였다. 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 경로(Pathways)라는 의미를 포함하고 있다.

RCP 시나리오는 최근 온실가스 농도 변화경향을 반영하였고 최근 예측 모델에 맞게 해상도도 기존의 시나리오보다 더 상세해 졌다. 4차 평가보고서에서 제시되었던 SRES (Special Report on Emissions Scenarios)와 RCP 시나리오의 CO₂기준 ppm의 변화는 Table 1에서 제시하였다.

SRES 시나리오는 미래 사회구조를 중심으로 선정되었으나, RCP 시나리오의 경우는 기후변화 대응정책과 연계하여 제시되었다. 시나리오별 농도의 차이는 RCP 2.6일 경우 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우를 나타내며, RCP 4.5는 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우, RCP 6.0의 경우 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우를 나타낸다. RCP 8.5는 현재 추세대로 저감 없이 온실가스가 배출되는 경우를 의미한다. 이에 본 연구에서는 현재 기상청에서 제공 중에 있는 RCP 4.5 와 8.5 시나리오를 이용하여 분석을 실시하였다.

Table 1. Comparison of RCP Scenarios and SRES Scenarios

Scenarios	RCP Scenarios				SRES Scenarios		
	2.6	4.5	6.0	8.5	B1	A1B	A2
CO ₂ (ppm)	420	540	670	940	550	720	830

2.2 기후모형의 선정

국립기상연구소는 2009년부터 영국 기상청 해들리센터와 협력을 통해 지구시스템모형을 도입하여 2012년에는 RCP 시나리오 4종(2.6/4.5/6.0/8.5)에 대한 기후변화를 전망하였고 이에 대한 분석 결과를 “기후변화 시나리오 보고서 2012”에 발표하였다. 또한, 지역 기후변화모형을 이용하여 우리나라 지형 영향 등을 보다 현실에 가깝게 반영하고 평균적인 기후 변화뿐만 아니라 극한 기온과 폭우 등에 대해서도 평가하였으며, 국내 기후변화 영향, 취약성 평가 및 적응 대책 수립 등의 기후변화 대응을 위해 제공되고 있다.

본 연구에서는 기후변화 시나리오 산출에 이용되는 영국 기상청 해들리센터 지역기후모형인 HadGEM3-RA를 기반으로 기상청에서 제공하고 있는 한반도(12.5km의 해상도) 기후변화 시나리오를 이용하여 미래 기후변화에 따른 확률강수량을 산정하였다. Table 2는 해들리 모형에 관한 간략한 설명을 나타내었다.

Table 2. Comparison of global and regional projection of Hadley model

	Global Projection	Regional Projection
Period (years)	1850 ~ 2300	1950 ~ 2100
Scenario	RCP 4.5/8.5/2.6/6.0	RCP 4.5/8.5/2.6/6.0
Model	HadGEM2-AO	HadGEM3-RA
Grid spacing	~135km (1.875° x1.25°)	~12.5/50km (0.11/0.44°)

3. 강수량자료의 이상치 검정 및 빈도해석

3.1 강수량자료의 이상치 검정 및 빈도해석

3.1.1 분위사상법을 이용한 편의보정

분위사상법(Quantile Mapping)은 관측값과 기후변화 시나리오 모의값이 함께 존재하는 과거 기간에서, 관측값과 시나리오 모의값의 누적확률분포 값을 비교하여 과소추정되는 시나리오 모의값의 확률분포를 관측값의 확률분포에 사상시키는 방법이다.

기후변화 모형으로부터 축소된 결과들은 실제 관측값과 일정정도 편의를 보이게 된다. 이러한 편의를 보정하기 위

하여 가장 일반적으로 사용되는 방법이 Panofsy and Brice (1963)에서 제시한 분위사상법이다. 분위사상법은 유출량을 보정하는 방법으로 주로 사용되었으며, 기후변화 분야와 관련해서는 국내에서도 Kim et al.(2008), Kyoung et al.(2009a)에서 적용된바 있다. 이러한 분위사상법의 일반적인 절차는 Fig. 1과 같으며, 다음 식 (1)로 표현된다.

$$Z_j = F_{oj}^{-1}(F_{sj}(\hat{Y}_j)) \tag{1}$$

여기서 \hat{Y}_j : 보정 전 모의 값

Z_j : 보정 후 모의 값

F_{sj} : 기존 모의 값의 누적확률분포

F_{oj} : 사상의 목표가 되는 관측 값의 누적확률분포

3.1.2 이상치 검정

자료의 이상치(outlier)란 어떤 집단으로부터 추출한 무작위(random) 표본에서 다른 값들에 비해 비정상적으로 떨어져 있는 극단적으로 크거나 작은 값을 말한다. 자료에서 하나 또는 그 이상의 이상치가 존재하면, 계산된 통계량은 그에 의해 큰 영향을 받아 편중된 결과를 가져올 수 있다. 이상치 분석방법으로는 그래프분석, 수학적인 방법, Dixon의 검정, Grubb의 검정, Barnett & Lewis 검정 등이 있다. 본 연구에서는 수학적인 방법인 상자그림(Box Plot)방법을 사용하여 이상치를 검정하였다.

상자그림은 제3사분위수(Q_3)와 제1사분위수(Q_1) 사이에 상자를 그리고, 상자 가운데 중앙값의 위치를 나타내기 위해 보통 실선을 그린다. 다음의 경계(fence)들은 분포의 꼬리에 있는 이상치를 확인하는 데에 사용된다.

1. 내부 하한(lower inner fence, LIF) : $Q_1 - 1.5 \times IQR$
2. 내부 상한(upper inner fence, UIF) : $Q_3 + 1.5 \times IQR$
3. 외부 하한(lower outer fence, LOF) : $Q_1 - 3 \times IQR$
4. 외부 상한(upper outer fence, UOF) : $Q_3 + 3 \times IQR$

여기에서 IQR (interquartile range)은 $Q_3 - Q_1$ 으로 정의된다. 또한, 관측치가 내부 하한 또는 내부 상한을 넘고, 외

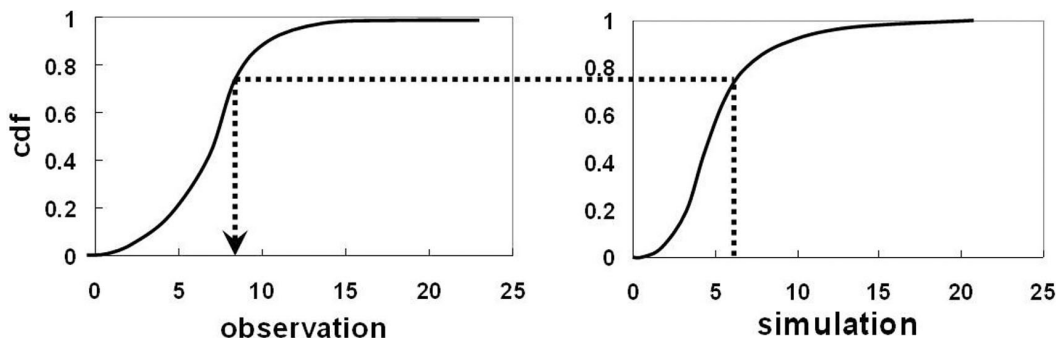


Fig. 5. The Concept of Quantile Mapping (NEMA, 2014)

부 하한 또는 외부 상한 내에 있는 값은 약한 또는 잠재적인 이상치(mild or potential outlier)라고 하고, 외부 하한 및 상한을 넘는 값은 극단적인 또는 문제 있는 이상치(extreme or problematic outlier)로 판별하게 된다.

3.2 지역빈도해석 절차

지역빈도해석은 지점 자료가 부족한 경우 또는 미세측 지점에서 확률강수량을 결정하기 위해 제안된 방법으로 지역빈도해석시 포함되는 지점의 자료들은 서로 독립적이고, 동일한 분포형을 모집단으로 갖는다는 가정에서 시작한다(Hosking and Wallis, 1997). 도시지역의 강수자료에 대한 산정된 L-모멘트비를 살펴보면 L-CV의 변동폭이 L-skewness의 변동폭에 비해 상대적으로 변동폭이 작아 L-CV의 작은 변동폭에 유리한 지수홍수법(index flood method)을 적용하였으며, 현재 지역형상추정법(regional shape estimation method), Netmax 법과 같은 다양한 지역빈도해석 기법이 개발되었고, 지역빈도해석에 대한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 지역빈도해석을 수행하기 위한 전반적인 절차는 Fig. 2와 같다. 지역빈도해석을 실시하기 위하여, 자료수집이후 무작위성 검토 및 경향성 분석을 실시하고, 군집을 형성한 뒤 형성된 군집의 불일치척도 및 이질성척도에 대해서 확인하여야 한다. 강수자료의 지점별 특성은 평균과 L-변동계수 및 L-모멘트비로서 나타낼 수 있다. 각 특성 값들의 계산은 선형결합의 형태로 나타내어 계산할 수 있지만, 확률가중모멘트법을 이용하여 계산할 수도 있다.

본 연구에서는 Hosking and Wallis(1997)가 객관적 군집분석으로 제안한 WARD'S 알고리즘 및 K-MEANS 알고리즘을 적용한 결과 만족할만한 결과를 얻을 수 없었다. 이는 지역빈도해석의 동질지역 형성은 지형학적 의미가 아닌

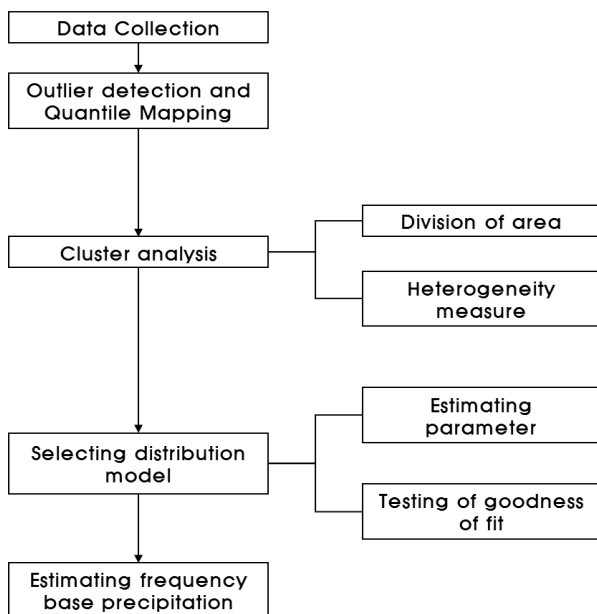


Fig. 2. Procedure of regional frequency analysis

통계적 특성이 동일한 집단을 의미하기 때문에 분석결과 서울 및 제주도가 같은 군집으로 분석될 수 있기 때문이다. 따라서 알고리즘을 통한 객관적 분할을 통해서 군집화된 지역 중 서울, 대전, 대구, 광주, 부산 등 대도시를 중심으로 통계적 특성이 동일한 집단을 형성하였다. 이와 같은 방법을 주관적 분할이라 하며, Schaefer(1990)가 Washington 주 내의 지점들의 연 최대 강수량을 분석하면서 연평균 강수량이 유사한 지점으로 지역을 형성한 사례를 통하여 본 연구에 적용하였다. 이러한 지역구분은 이질성 척도를 활용하여 주관적으로 검증이 가능하다.

4. 기후변화에 따른 미래 강수량 변화에 대한 평가

4.1 대상지역 및 강수량 자료 수집

4.1.1 대상지역

기상청 산하 기상관측소 중 관측 기상자료에 대한 통계적 유의성 확보를 위해 30년 이상의 자료를 보유하고 있는 58개 지점을 선정하였다.

본 연구에서는 기후변화의 영향을 단기, 중기, 장기로 예측하기 위하여 분석기간을 Table 3과 같이 1971~2005년(Target I), 2006~2040년(Target II), 2041~2070년(Target III), 2071~2100년(TargetIV)로 구분하여 분석을 실시하였다.

Table 3. Target periods

Division	Period
Target I	- 1971~2005 years (Observation, Reference)
Target II	- 2006~2040 years (Projection period)
Target III	- 2041~2070 years (Projection period)
Target IV	- 2071~2100 years (Projection period)

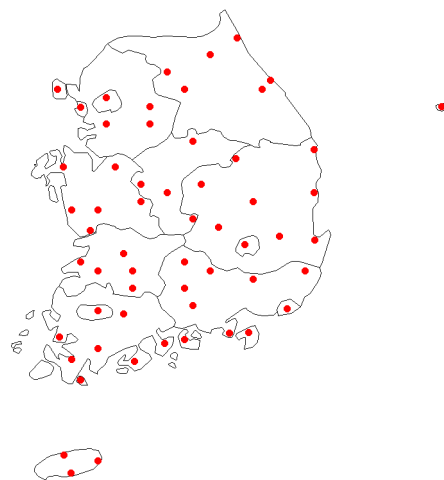


Fig. 3. Weather stations

4.1.2 강수량 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 먼저, 대상지점의 강수기록 중에서 연도별로 일 최대강수사상을 선정 및 추출하여 빈도해석을 위한 기초자료를 구축하였다. 예비해석을 실시한 후 평균, 표준

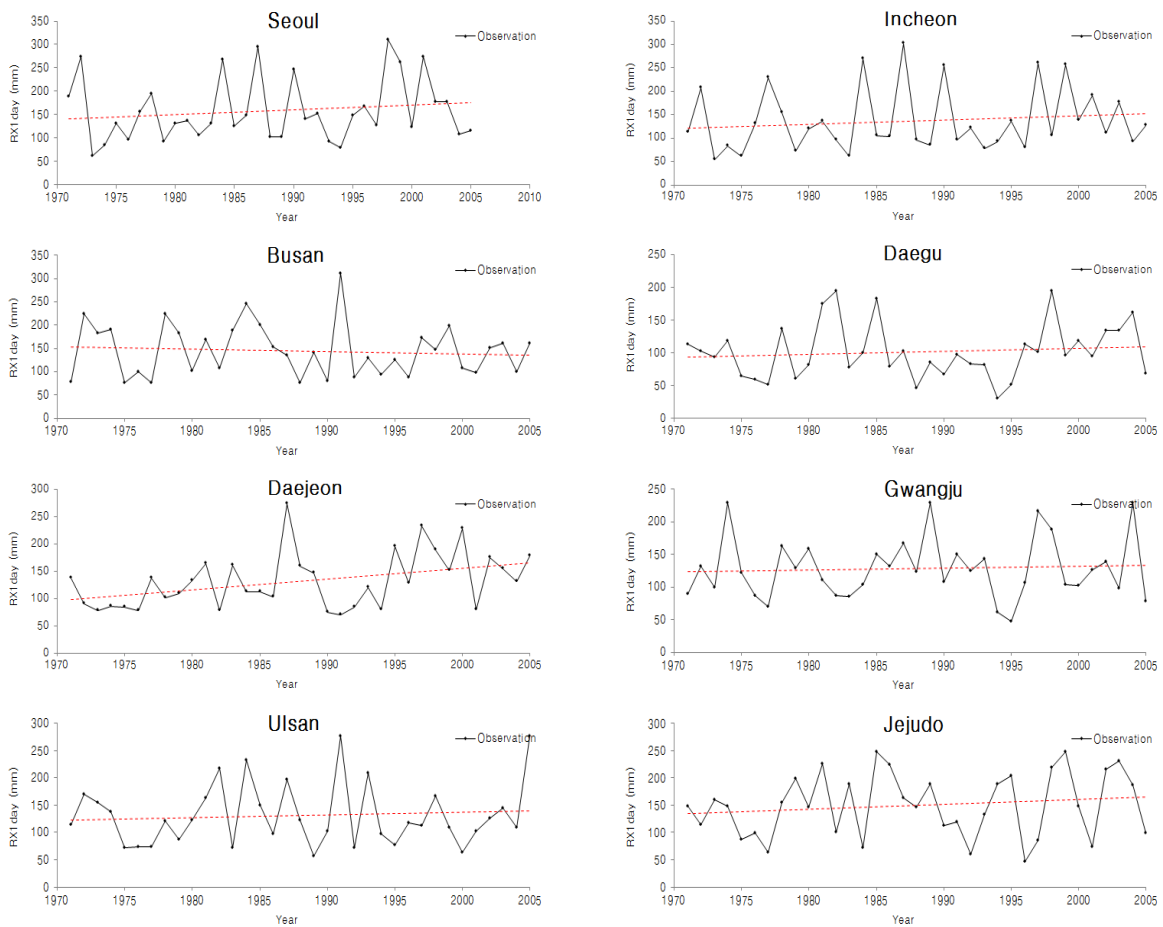


Fig. 4. Trend analysis of maximum daily precipitation

Table 4. Result of cluster analysis

Clust	Station	Clust	Station
1	Sokcho, Chuncheon, Inje	8	Mokpo, Wando, Haenam, Goheung
2	Seoul, Suwon, Yangpyeong, Icheon, Jecheon, Hongcheon	9	Gwangju, Imsil, Namwon, Suncheon, Jangheung
3	Incheon, Seosan, Ganghwa, Cheonan, Boryeong, Buyeo	10	Tongyeong, Jinju, Geochang, Hapcheon, Miryang, Sancheong, Geoje, Namhae, Yeosu
4	Chupungnyeong, Daegu, Boeun, Gumi, Uiseong		
5	Daegwallyeong, Gangneung	11	Jeju, Seogwipo, Seongsan
6	Uljin, Yeongdeok, Ulleungdo	12	Jeonju, Jeongeup, Gunsan, Buan
7	Pohang, Yeongcheon, Ulsan, Busan	13	Cheongju, Daejeon, Yeongju, Mungyeong

편차, 왜곡도 계수, 첨도 계수 등을 계산하여 관측자료의 변화추이를 파악하고 무작위성을 검토하였다. 강수량의 경향성을 파악하기 위하여 1일 최대강수량의 변화추이를 분석하였다. 그 결과 전체적으로 일 최대 강수량은 증가 경향을 보이고 있으나 부산 지점의 경우, 감소하는 경향이 있는 것으로 분석되었다. 이는 지구온난화에 따른 기후변화로 인하여 지역별 기온편차 확대에 의해 집중호우 현상이 심화되어 일 최대강수량이 한반도 전역에서 증가하는 것으로 판단된다. 일 최대강수량의 변동양상을 Fig. 4.에 나타내었다.

4.1.3 군집분석을 통한 한반도의 지역화

주관적 분할방법을 이용한 분석을 통하여 Table 4와 같

이 한반도를 13개 지역으로 지역화 하였으며, 본 분석에서 사용한 주관적 분할방법은 지역적 동질성을 보장하기 위하여 Hosking and Wallis(1997)가 제안한 이질성 척도를 바탕으로 분할되었다. 또한, 이와 같은 방법으로도 군집화 되지 않은 지역은 이질 가능 지역으로 제시하였던 수치를 만족한다면 군집화 하였다.

적정분포형을 선정하기 위해서는 다양한 분포형들로부터 선정된 L-skewness와 L-kurtosis가 허용 범위 내에 표본 자료로부터 구한 L-skewness와 L-kurtosis가 수렴하는지를 적합성척도 Z를 이용하여 선정하고, $|Z| \leq 1.64$ 를 만족시키는 분포형을 적정분포형으로 선정하는 것이며, 적정분포형 선정 후 적합도 검정을 통과한 분포형을 선택해야 한

다. 본 연구결과에서 선택된 분포형으로는 13개 지역 모두 공통적으로 GEV(Generalized Extreme Value)와 PARETO 분포형을 만족하였으나, 극치자료계열의 빈도를 분석하는데 자주 이용되면서 수문자료 중 홍수량의 분석에 널리 이용되는 GEV 분포형을 선택하였다.

4.2 기후변화를 고려한 미래 강수량 자료의 편의 보정 및 이상치 검정

4.2.1 미래 강수량 자료의 특성

기상청에서는 기후변화 완화를 고려하지 않고 현 추세로 온실가스를 계속 배출한다고 했을 때 (RCP8.5), 21세기 말에 한반도 평균 기온은 6.0°C, 강수량은 20.4% 증가를 예상하였다. 어느 정도 저감 노력이 실현되면 (RCP4.5), 3.4°C 기온 상승과 17.3% 강수량 증가 할 것으로 예상하였다. 강수량은 지역에 따라 차이는 있으나 대부분 상승할 것으로 전망하였으며, 남해안과 중서부 지역에서 증가가 두드러지게 나타날 것으로 제시하였다.

RCP 8.5 시나리오에서는 예측 일 강수량 최대치가 남한상세(1km)는 충주 966.7mm, 군산 1,455.6mm, 부산 994.4mm, 서귀포 1,574.2mm, 양평군 1,083.4mm와 한반도(12.5km)의 경우에는 서울 1,753.1mm, 속초 1,354.2mm, 여수 915.4mm, 인천 982.9mm, 진주 1,058.7mm, 춘천 966.5mm 등으로 값들이 존재하였으나, 현재 제공되는 시나리오에서는 극한기후를 고려하고 있지 않는 점과 관측 일최대 강수량을 상회하기에 해당 일최대 강수는 모형의 이상치로 보고 이상치 검정방법을 통하여 자료의 후처리를 하였다.

현재 기상청에서 제공되는 RCP 시나리오의 경우 과거 관측자료에 비하여 강수가 저추정되며, 빈도해석결과에 영향을 미치는 극치값들이 존재하는 것으로 분석된다. 따라서 시나리오에 대한 후처리 과정이 필요할 것으로 판단되어 다음과 같이 후처리 과정을 진행하였다.

4.2.2 미래 강수량 자료의 편의 보정 및 이상치 검정

본 연구에서 사용된 RCP 시나리오 자료의 경우 관측값과 기후변화 시나리오 예측값과의 비교결과 과소추정 되는

경향이 발생하며, 상자그림을 이용한 범위를 벗어나는 값들을 확인할 수 있었다. 관측강수량을 기준으로 과거기후 모의 확률강수량과 RCP 4.5와 8.5 시나리오를 월별 및 일 자료로 분리하여 편의보정을 실시하였다.

이상치 검정에서는 그래프분석, Dixon, Grubb, Barnet & Lewis, 상자그림 방법 등이 존재하나, 그래프 분석방법의 경우 개인마다 주관적인 판단이 들어가므로 제외시켰으며, Dixon 방법의 경우 관측치가 25개지점을 초과할 경우 사용할 수가 없다. Grubb 방법은 자료의 형태가 정규분포일 경우 사용이 가능하며, Barnett & Lewis의 검정은 관측치의 개수에 따른 임계치의 값을 주어진 표에서 선택하여야 하기에, 주어진 관측치의 개수와 일치하지 않을 경우에, 임계치를 역으로 계산하여 적용시켜야 한다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 가장 수학적이며, 널리 사용되는 방법 중의 하나인 상자그림 방법을 사용하여 이상치를 제거하였다. 이상치의 종류는 잠재 이상치(mild or potential outlier)와 극단적인 이상치(extreme or problematic)가 있는데, 극단적인 이상치 값을 사용하였을 때 중에서 잠재 이상치를 사용하여 계산하였다.

58개 기상관측지점의 기후변화 시나리오에 대하여 이상치 검정 및 오차보정을 하였으며, 기후변화 시나리오에 의한 예측값이 과거 관측값보다 평균 40% 정도 낮게 제시되어 있기에, 분위사상법을 이용하여 보정하였으며, 보정결과 실제 관측값과 5%정도의 차이로 보정되었다.

4.3 관측 및 미래 강수량 자료에 대한 지역빈도 해석

군집으로 나뉜 지역의 자료들이 동질함을 나타내는 지 확인하기 위해 지점자료의 L-CV, L-Skewness, L-Kurtosis를 나타내었다. Table 5에는 지역별 L-Moment 값의 평균을 산출하였고, Fig. 5에서는 강수량자료에 대해 산정된 L-Moment 비를 도시하였다. L-CV의 변동폭이 L-Skewness의 변동폭에 비해 상대적으로 변동폭이 작다는 것을 알 수 있다. Moment 비의 그림에서 +로 나타낸 점은 각 지역의 지역 평균값을 의미한다. L-CV의 값이 지점별로 변동폭이 작으므로 유리한 지수홍수법(index flood method)을 적용하였다. Table 6에서는 각 지역의 이질성 척도를 H_1 , H_2 , H_3 로

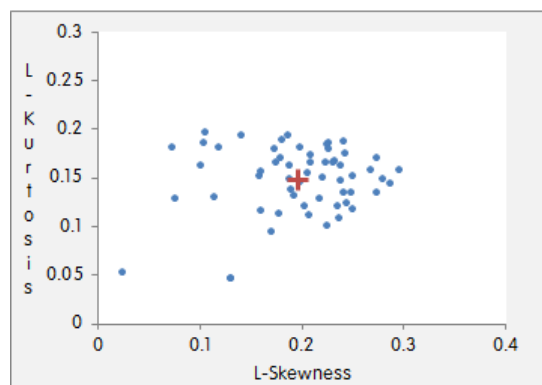
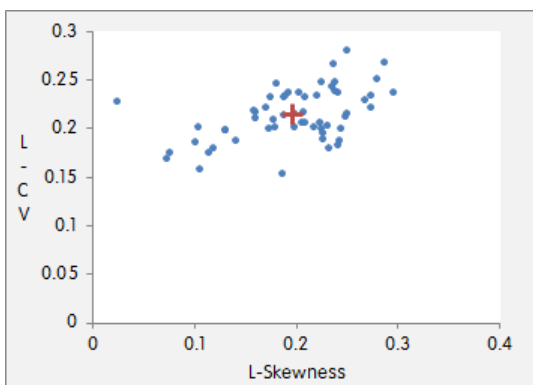


Fig. 5. L-moment ratio of the target point

Table 5. Regional average L-moment value based on cluster analysis

Cluster	L-CV	L-Skewness	L- Kurtosis
1	0.2197	0.1989	0.1533
2	0.2319	0.2094	0.1429
3	0.2111	0.1853	0.1735
4	0.2027	0.1876	0.1745
5	0.2588	0.2368	0.1284
6	0.2321	0.2456	0.1597
7	0.2103	0.1636	0.1437
8	0.2266	0.2538	0.1590
9	0.1951	0.1657	0.1142
10	0.2201	0.2126	0.1425
11	0.2177	0.1450	0.1267
12	0.1879	0.1578	0.1646
13	0.2012	0.1896	0.1398

나타내었는데, 동질(homogeneity), 비교적 동질(Relatively Homogeneity), 이질(Inhomogeneity)로 구분하여 표기하였다. L-CV를 고려한 H_1 에서 이질한 지역은 나타나지 않았으며, 3,8번 군집에서 비교적 동질한 지역이 나타났으며, L-Skewness를 고려한 H_2 에서는 11번 지역이 비교적 동질한 지역으로 분류되었다. 마지막으로 L-Kurtosis를 고려한 H_3 에서도 11번 지역이 비교적 동질한 지역으로 나타났다. H_1 값이 대부분 음수로 표현된 것을 보아, 지점간의 종속성이 우수하며 동일한 호우사상에 의해서 영향을 받고 있다는 것으로 판단되며, 이질한 지역이 발생하지 않아 이와 같이 군집을 분류하였다.

확률분포형 산정을 위한 적합도 검정을 실시하였다. 본 연구에서는 Generalized logistic(GLO), Generalized extreme value(GEV), Normal(NOR), Pearson type III(PTIII), Generalized Pareto(GPA)등의 확률분포형을 적용하여 매개변수를 추정 한 뒤 적합도 검정을 실시하였다. 적합성 척도 Z 를 산정하

Table 6. Heterogeneity Measure

Cluster	$H_1(L-CV)$		$H_2(L-Skewness)$		$H_3(L-Kurtosis)$	
	Value	Result	Value	Result	Value	Result
1	-1.02	Homogeneity	-0.78	Homogeneity	-1.25	Homogeneity
2	-2.27	Homogeneity	-1.85	Homogeneity	-2.08	Homogeneity
3	1.54	Relatively Homogeneity	-0.30	Homogeneity	-1.31	Homogeneity
4	-0.66	Homogeneity	-1.41	Homogeneity	-2.01	Homogeneity
5	-0.56	Homogeneity	-1.28	Homogeneity	-1.14	Homogeneity
6	-0.27	Homogeneity	-1.14	Homogeneity	-1.57	Homogeneity
7	0.42	Homogeneity	-0.40	Homogeneity	-0.73	Homogeneity
8	1.45	Relatively Homogeneity	-0.83	Homogeneity	-1.56	Homogeneity
9	-1.91	Homogeneity	-0.20	Homogeneity	0.22	Homogeneity
10	-1.12	Homogeneity	-2.25	Homogeneity	-2.72	Homogeneity
11	0.18	Homogeneity	1.59	Relatively Homogeneity	1.58	Relatively Homogeneity
12	0.51	Homogeneity	-1.28	Homogeneity	-1.85	Homogeneity
13	-0.38	Homogeneity	-0.12	Homogeneity	-0.55	Homogeneity

$H < 1$: Homogeneity, $1 \leq H < 2$: Relatively Homogeneity, $H > 2$: Inhomogeneity

Table 7. Results of the goodness of fit test

Cluster	GLO		GEV		NOR		PT III		GPA	
	Z	Result	Z	Result	Z	Result	Z	Result	Z	Result
1	1.07	O.K.	0.16	O.K.	-0.04	O.K.	-0.47	O.K.	-1.90	N.G.
2	2.03	N.G.	0.76	O.K.	0.42	O.K.	-0.27	O.K.	-2.19	N.G.
3	0.60	O.K.	-0.74	O.K.	-0.97	O.K.	-1.50	O.K.	-3.72	N.G.
4	0.55	O.K.	-0.59	O.K.	-0.80	O.K.	-1.27	O.K.	-3.15	N.G.
5	1.77	N.G.	1.07	O.K.	0.79	O.K.	0.28	O.K.	-0.63	O.K.
6	1.28	O.K.	0.52	O.K.	0.18	O.K.	-0.44	O.K.	-1.36	O.K.
7	1.35	O.K.	0.09	O.K.	-0.03	O.K.	-0.41	O.K.	-2.65	N.G.
8	1.53	O.K.	0.71	O.K.	0.30	O.K.	-0.41	O.K.	-1.34	O.K.
9	2.77	N.G.	1.27	O.K.	1.12	O.K.	0.65	O.K.	-1.99	N.G.
10	2.61	N.G.	1.06	O.K.	0.62	O.K.	-0.25	O.K.	-2.56	N.G.
11	1.61	O.K.	0.39	O.K.	0.35	O.K.	0.07	O.K.	-2.19	N.G.
12	0.59	O.K.	-0.60	O.K.	-0.68	O.K.	-1.02	O.K.	-3.15	N.G.
13	1.69	N.G.	0.53	O.K.	0.31	O.K.	-0.18	O.K.	-2.07	N.G.

고, $|Z| \leq 1.64$ 를 만족할 때 적합하다고 할 수 있다. Table 7을 보면 GEV, NOR, PTⅢ의 경우 모든 경우에 만족을 하지만, GLO와 GPA는 부적합 판정이 많았다. 일반적으로 GLO와 GEV는 극치변량을 나타낼 때 많이 쓰이는 분포형이지만, GLO분포가 GEV 분포보다 상향으로 덜 구속되어 GLO분포가 꼬리부분이 더 두껍다. GLO일 경우는 L-Skewness값이 음일 경우만 구속된다. GEV의 경우

L-Skewness 값이 0.14 보다 작을때 구속되지만 본 연구에서는 0.14보다 작은 값이 나타나지 않았기에 극치를 나타내기에 무리가 없다고 판단되며, 적합도 검정을 모든 지역에서 통과하였기에 GEV 분포형을 채택하였다.

Table 8과 Fig.6.에서는 RCP 4.5 시나리오에 대해서 지역빈도해석을 통한 확률강수량 값의 목표기간별 증가율을 나타내었고, RCP 8.5 시나리오에 대해서는 Table 9와

Table 8. Increasing rate of precipitation in the future by RCP 4.5 Scenarios (%)

Cluster	80 yrs				100 yrs				200 yrs			
	Obs. (mm)	Increasing rate (%)			Obs. (mm)	Increasing rate (%)			Obs. (mm)	Increasing rate (%)		
		Target II	Target III	Target IV		Target II	Target III	Target IV		Target II	Target III	Target IV
1	299.6	40	30	20	309.0	40	30	20	338.0	45	30	20
2	343.7	5	10	30	354.6	5	15	30	387.5	5	15	35
3	351.4	10	15	20	362.7	10	15	20	397.1	15	20	20
4	276.7	5	5	5	285.3	5	5	5	311.5	5	5	5
5	483.0	5	5	5	495.6	5	5	5	532.6	5	5	5
6	293.8	5	5	25	303.0	5	5	25	330.8	5	5	25
7	327.5	10	5	5	336.8	10	5	5	364.6	10	5	5
8	342.8	5	5	20	352.8	5	5	20	382.6	5	5	20
9	340.0	5	5	15	349.1	5	5	20	376.9	5	5	20
10	359.4	10	5	20	372.0	10	5	20	410.0	15	5	20
11	361.0	25	50	40	373.2	25	50	40	410.4	25	55	40
12	282.3	20	20	35	290.8	20	20	35	316.5	20	25	40
13	341.7	5	5	10	354.2	5	5	10	391.8	5	5	15
Ave	338.7	12	13	19	349.2	12	13	20	380.8	13	14	21

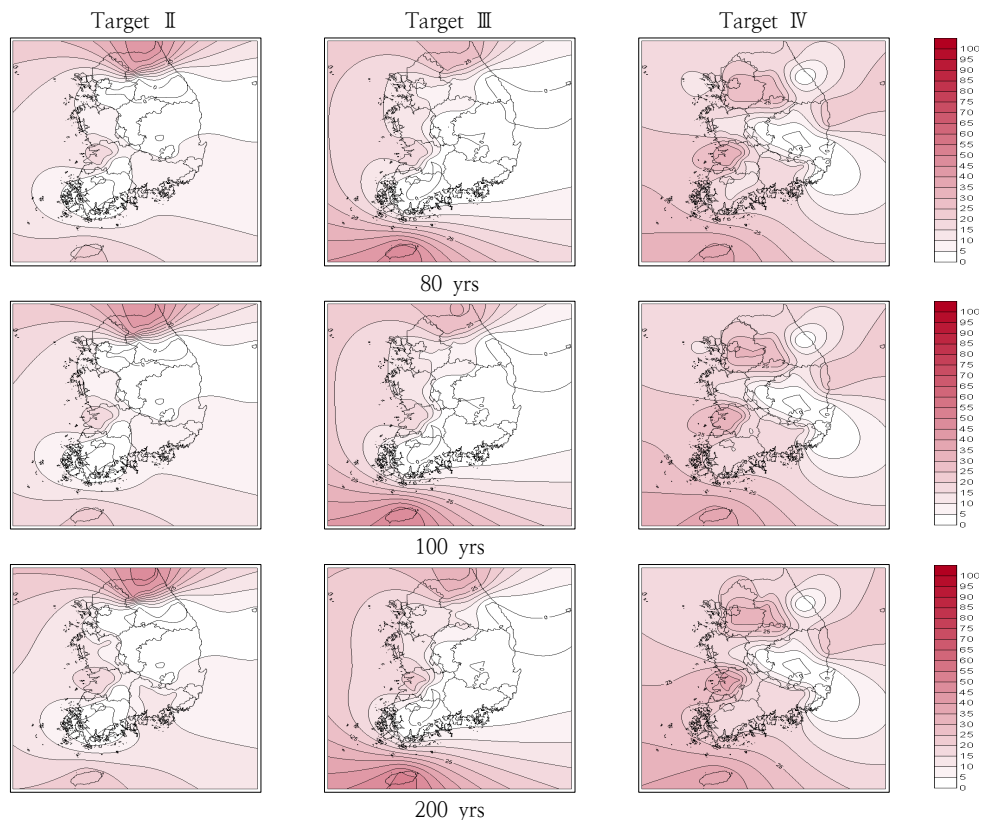


Fig. 6. Increasing rate of precipitation in the future by RCP 4.5 Scenarios

Fig.7.에 나타내었다. RCP 4.5 시나리오의 80년 빈도일 경우 확률강수량 값이 5 ~ 50%까지 증가를 하며 평균 12 ~ 19%가 증가하였다. 100년 빈도일 경우 5 ~ 50%, 평균 12 ~ 20%증가, 200년 빈도일 경우 5 ~ 55%, 평균 13 ~ 21%로 증가되는 양상을 나타내었다. RCP 8.5 시나리오의 80년 빈도일 때 5 ~ 80%, 평균 7 ~ 25% 증가하며, 100

년 빈도일 때 5 ~ 80%, 평균 7 ~ 27%이며, 200년 빈도에서 5 ~ 85%, 평균 7 ~ 27%까지 증가하는 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 특징으로는 목표기간II에서는 각 빈도별로 평균 7% 정도로 RCP 4.5 시나리오 12 ~ 13%보다 더 근소하게 증가하지만 목표기간IV로 갈수록 평균 25 ~ 27%로 RCP 4.5 시나리오 19 ~ 21%보다 크게

Table 9. Increasing rate of precipitation in the future by RCP 8.5 Scenarios (%)

Cluster	80 yrs				100 yrs				200 yrs			
	Obs. (mm)	Increasing rate (%)			Obs. (mm)	Increasing rate (%)			Obs. (mm)	Increasing rate (%)		
		Target II	Target III	Target IV		Target II	Target III	Target IV		Target II	Target III	Target IV
1	299.6	20	40	45	309.0	20	40	50	338.0	25	40	50
2	343.7	5	25	30	354.6	5	25	35	387.5	5	25	35
3	351.4	5	10	25	362.7	5	10	25	397.1	5	10	25
4	276.7	5	15	5	285.3	5	15	5	311.5	5	20	5
5	483.0	5	5	5	495.6	5	5	5	532.6	5	5	5
6	293.8	5	20	15	303.0	5	20	15	330.8	5	20	15
7	327.5	5	10	5	336.8	5	15	5	364.6	5	15	5
8	342.8	5	15	25	352.8	5	20	30	382.6	5	20	30
9	340.0	5	20	30	349.1	5	20	30	376.9	5	25	35
10	359.4	5	25	10	372.0	5	25	15	410.0	5	30	15
11	361.0	5	45	80	373.2	5	45	80	410.4	5	50	85
12	282.3	10	50	35	290.8	10	50	40	316.5	10	50	40
13	341.7	5	15	10	354.2	5	15	10	391.8	5	15	10
Ave	338.7	7	23	25	349.2	7	24	27	380.8	7	25	27

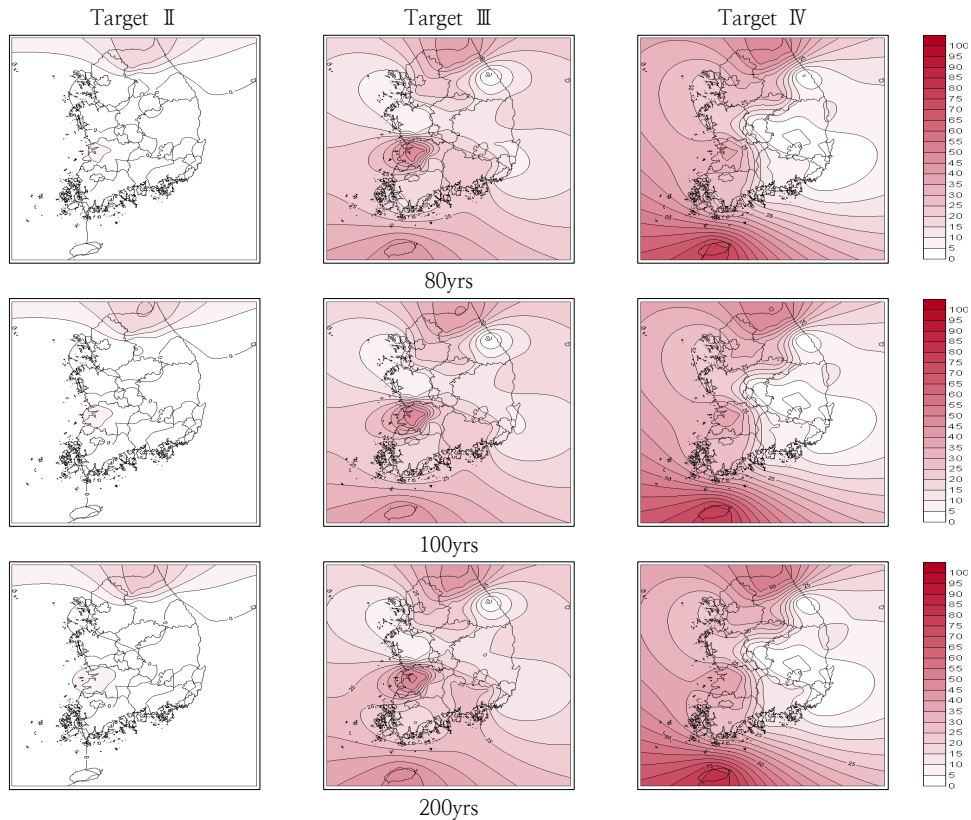


Fig. 7. Increasing rate of precipitation in the future by RCP 8.5 Scenarios

증가하며 목표기간Ⅳ 200년 빈도에서는 최대 85%까지 증가하는 지역도 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 기상청에서 제공하는(HadGEM3-RA) 고해상도 대표농도경로 시나리오를 이용하여 지역빈도분석을 기상청 관측소 58개 지점을 대상으로 13개의 지역으로 구분하여 실시하였다.

이상치 및 편의를 보정한 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 미래 목표기간별 확률강수량을 산정하였다. 군집화된 13개의 지역을 지역빈도분석을 실시한 결과, GEV확률분포형을 적용하였으며, 과거 관측 자료와 기후변화 시나리오를 고려하여 미래 확률강수량을 산정하였다. L-모멘트도비를 도시화 하였을 때, L-CV의 변동폭이 크지 않았기에, 지수홍수법을 사용하여 확률강수량을 산출하였다. 이를 비교한 결과 미래에 해당하는 TargetⅡ(2006 ~ 2040), Ⅲ(2041 ~ 2070), Ⅳ(2071 ~ 2100)에서 시나리오별 목표기간별 확률강수량은 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 시나리오별 빈도별 증가율을 보면 RCP 4.5 시나리오에서는 최고 200년 빈도의 경우 55%까지 증가하는 것으로 나타났다, RCP 8.5 시나리오 대해서는 최대 85%까지 증가하는 것으로 나타났다. 내륙지역 보다는 해안지역에서 증가하는 양상이 더욱 뚜렷이 나타났으며, 이를 대비하기 위하여 해수면 상승을 고려하여 연안지역에 대한 홍수피해대책을 세워야 할 것으로 판단된다.

이번 연구에서는 RCP4.5와 8.5 시나리오에 대해서만 분석을 하였지만, 향후 2.6과 6.0 시나리오도 추가적으로 분석이 필요할 것으로 판단되며, 앙상블(ensemble) 시나리오를 사용하여 분석을 실시한다면, 불확실성을 감소시킬 수 있을 것이라 생각한다. 이상의 연구를 통해 전 지구 기온 상승으로 목표기간별 강수량이 증가함에 따라 확률강수량 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 이를 고려한 시설물에 대한 설계기준에 대한 고려와 기후변화에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리사업의 연구비지원(14AWMP-B082564-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- Fowler, HJ, Ekström, M, Kilsby, CG, and Jones, PD(2005). New estimates of future change in extreme rainfall across the UK using regional climate model integration: 1. Assessment of control climate, *J. of Hydrology*, 300(1-4), pp. 212-233.
- Hong, SJ, Kim, BS, Kim, HS and Kang NR(2012). Analysis of regional water resources characteristics through applying the climate change variability index using by RCP 8.5 scenario, *J. of KOSHAM*, Vol.13, No.11, pp. 704-710. [Korean Literature]
- Hosking, JRM and Wallis, JR(1997). "Regional Frequency Analysis", Cambridge University Press.
- IPCC(2007). *Climate Change 2007, The Fourth Assessment Report (AR4) of The Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC(2014). *Climate Change 2014, The Fifth Assessment Report (AR5) of The Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kang, NR, Kim, SJ, Lee, GH, Kim, DG, Kwak, JW, Noh, HS, and Kim, HS(2011). Impact of climate change on an urban drainage system, *J. of wetlands research*, Vol.13, No.3, pp.623-631. [Korea Literature]
- Kim, BS, Kim, BK, Kyoung, MS, and Kim, HS(2008). Impact assessment of climate change on extreme rainfall and I-D-F analysis, *J. of Korea Water Resources Association*, 41(5), pp. 129-141. Korean Literature]
- Kim, BS, Sung, JH, Lee, BH, and Kim, DJ(2013). Evaluation on the impact of extreme droughts in South Korea using the SPEI and RCP8.5 climate change scenario, *J. of KOSHAM*, Vol.13, No.2, pp.97-109. [Korean Literature]
- Kim, SJ, Kim, BS, Jun, HD, and Kim, HS(2010). The evaluation of climate change impacts on the water scarcity of the han river basin in South Korea using high resolution RCM data, *J. of Korea Water Resources Association*, Vol.43, No.3, pp.295-308 [Korean Literature]
- Kyoung, MS, Lee, JK, and Kim, HS(2009a). Downscaling technique of monthly GCM using daily precipitation generator, *J. of Korea Society of Civil Engineers*, 29(5), pp. 441-452. [Korean Literature]
- Kyoung, MS, Lee, YW, Kim, HS, and Kim, BS(2009b). Assessment of climate change effect on temperature and drought in Seoul : Based on the AR4 SRES A2 scenario, *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.29, No.2B, pp.181-191 [Korean Literature]
- Lee, KH (2011). *Estimation of expected flood damage considering uncertainty and under climate change*, Ph.D Dissertation, Inha University, Incheon, Korea. [Korean Literature]
- NEMA(2014). *Guideline for the design criteria of structural measures to prevent natural disasters under climate change*. [Korea Literature]
- Oden, JT and Prudhomme, S(2002). Estimation of modeling error in computational mechanics, *J. of Computational Physics*, 182(2), pp. 496- 515.
- Otieno, VO and Anyah, RO(2013). CMIP5 simulated climate conditions of the Greater Horn of Africa(GHA).Part I :

- contemporary climate, *Climate Dynamics*, Vol.41, Issue 7-8, pp. 2081-2097.
- Otieno, VO and Anyah, RO(2013). CMIP5 simulated climate conditions of the Greater Horn of Africa(GHA).Part II : projected climate, *Climate Dynamics*, Vol.41, Issue7-8, pp. 2099-2113.
- Song, CW, Kim, YS, Kang, NR, Lee, DR, and Kim, HS(2013). Regional frequency analysis for rainfall under climate change, *J. of wetlands research*, Vol.15, No.1, pp. 125-137. [Korean Literature]
- Sung, JH, Kang, HS, Park, SH, Cho, CH, Bae, DH, and Kim, YO(2012). Projection of extreme precipitation at the end of 21st century over South Korea based on representative concentration pathways (RCP), *Atmosphere, Korean Meteorological Society*, Vol.22, No.2, pp. 221-231. [Korean Literature]
- Villarini, G, Scoccimarro, E, and Gualdi, S(2013). Projections of heaby rainfall over the central United States based on CMIP5 models, *Royal Meteorological Society*, 14, pp. 200-205.