

## 강수지표를 이용한 우리나라 강수량의 시간적인 특성 변화

### Rainfall Variations of Temporal Characteristics of Korea Using Rainfall Indicators

홍성현\* / 김영규\*\* / 이원현\*\*\* / 정은성\*\*\*\*

Hong, Seong-Hyun / Kim, Young-Gyu / Lee, Won-Hyun / Chung, Eun-Sung

#### Abstract

This study suggests the results of temporal and spatial variations for rainfall data in the Korean Peninsula. We got the index of the rainfall amount, frequency and extreme indices from 65 weather stations. The results could be easily understood by drawing the graph, and the Mann-Kendall trend analysis was also used to determine the tendency (up & downward/no trend) of rainfall and temperature where the trend could not be clear. Moreover, by using the FARD, frequency probability rainfalls could be calculated for 100 and 200 years and then compared each other value through the moment method, maximum likelihood method and probability weighted moments. The Average Rainfall Index (ARI) which is meant comprehensive rainfalls risk for the flood could be obtained from calculating an arithmetic mean of the RI for Amount (RIA), RI for Extreme (RIE), and RI for Frequency (RIF) and as well as the characteristics of rainfalls have been mainly classified into Amount, Extremes, and Frequency. As a result, these each Average Rainfall Indices could be increased respectively into 22.3%, 26.2%, and 5.1% for a recent decade. Since this study showed the recent climate change trend in detail, it will be useful data for the research of climate change adaptation.

**Keywords** : rainfall index for amount, rainfall index for extremes, rainfall index for frequency, average rainfall index

#### 요 지

본 연구에서는 과거에서부터 기록된 우리나라 65개의 관측소들을 대상으로 강수량 데이터를 사용하여 강수빈도와 극한 지표들을 산출해 냈으로써, 지표에 따라 지역별 분포를 살펴보고 시공간적인 증·감율에 대한 결과를 제시하였다. 그 결과를 시계열로 도시함으로써 쉽게 파악할 수 있지만 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 경우에는 통계적 방법인 Mann-Kendall 경향성 분석을 실시하여 이에 대해 파악하였다. 더불어 FARD를 이용하여 100년과 200년의 빈도확률강수량을 산정하고 이를 비교하였다. 강우특성을 크게 Amount, Extreme, Frequency로 분류하고 각각의 지수를 강우량 지수(Rainfall Index for Amount), 강우극치 지수(Rainfall Index for Extremes), 강우빈도 지수(Rainfall Index for Frequency)로 정의하고 RIA, RIE, RIF를 산술평균하여 홍수에 대한 종합적인 강우 위험도를 나타내는 평균 강우지수(Average Rainfall Index, ARI)를 산정하였다. 그 결과 과거에 비해 최근 10년간 강우량의 정량적인 평가 특성은 양적으로 22.3%, 극치사상 발생 측면은 26.2%, 빈도 측면은 5.1% 증가하였음을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 최근 우리나라 기후변화 경향을 구체적으로 제시하고 있으므로 기후변화 대비 적응 연구의 기초 자료로 활용될 수 있다.

**핵심용어** : 강우량 지수, 강우극치 지수, 강우빈도 지수, 평균 강우지표

\* 서울과학기술대학교 건설공학부 석사과정 (e-mail: strongsehyun@naver.com)

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

\*\* 서울과학기술대학교 건설공학부 석사과정 (e-mail: ykkim0603@hanmail.net)

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

\*\*\* 서울과학기술대학교 건설공학부 석사과정 (e-mail: wonhyun2@gmail.com)

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

\*\*\*\* 교신저자, 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 조교수 (e-mail: eschung@seoultech.ac.kr)

Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

## 1. 서론

기후변화는 아마도 인류가 탄생하면서 이와 동시에 생겨난 말일지 모른다. 또한 인류가 편리한 사회를 개척하면서 기후변화라는 수식어는 늘 공존해 왔다. 하지만, 최근 들어 극심한 폭우, 폭염과 장마철을 제외한 시기에 예기치 못한 집중호우 등 과거에는 관측하기 힘든 이례적인 현상이 빈번하게 나타나고 있다. 이러한 기상현상은 20세기와는 판이한 차이를 보이고 있고, 이는 과거에 비해 비정상적인 기후 즉, 극치 기상으로 분류할 수 있다. 집중호우로 인한 홍수 및 범람이나 극심한 가뭄, 기온의 급격한 변화로 인한 폭염 및 혹한 등의 극한 사상의 발생으로 인명피해의 가능성이 높아지고 사회 기반시설의 취약성이 커질 뿐만 아니라 인간의 행복까지 위협받는 상황이다(Karl and Eastering, 1999). 최근들어 이들의 출현빈도는 점차 증가하고 있으나 규칙적인 패턴과 일정한 주기에 따라 발생하지 않는 기후 인자의 특성을 고려해 볼 때 기후변화의 빈도와 경향성을 정량적으로 분석하고 평가하기에는 다소 무리가 있다. 하지만 전 세계적으로 연자료 또는 평균개념에 근거한 분석 연구에서 극한 사상을 분석하기 위하여 일 자료를 이용한 장기간의 발생빈도와 지속기간의 변화에 대한 연구가 요구되고 있다. 유럽 연합은 지구 온난화로 인하여 21세기 말 극치 기후 사상이 얼마나 자주 그리고 어떤 크기의 강도로 발생하는 지에 대하여 2001년 2월부터 2004년 5월까지 STARDEX 프로젝트(Goodess, 2005)를 통해 연구하였다. 따라서 강수량과 강수빈도, 극한강수인자 등은 수문환경을 변화시킬 수 있는 가능성을 충분히 갖고 있는 인자들로 홍수, 이수 등을 위한 물 관리 정책을 수립하는데 필수적으로 분석해야 한다.

세계적으로 기후변화로 인한 강수의 양과 패턴의 변화로 인하여 다양한 형태의 재해가 발생하고 있으며 이러한 이유로 인하여, 변화하고 있는 강수량을 고려한 빈도해석의 필요성이 제기되고 있다(문기호 등, 2010). 기후변화 연구 방법 중의 하나인 연자료 및 연평균 자료 분석 연구를 바탕으로 하여 극한 사상의 발생빈도와 경향성과 같은 특성을 분석할 수 있는 연구가 수반되어야 한다. 국내에서는 김정희 등(2002)이 기상청 산하 12개 관측소의 기온 자료를 사용하여 특이 발생 빈도와 강수량 특성을 분석하였으며, 이상복 등(2004)은 연 최대강수량과 연 강수량 자료를 이용하여 변동 및 경향에 관한 연구를 수행하였다. 이외에도 권원태 등(2007)에 의해 최근 10년간 우리나라의 기후 특성에 대한 연구를 수행하였다.

또한, 호우에 의한 피해를 경감하기 위해서는 수공구조

물 설계 시, 증가 경향이 고려된 목표연도의 확률강우량 변화를 예측한 연구들도 많다. “삽교천 수계 유역 종합치수계획 수립”(건설교통부, 2005)에서는 기후변화 시나리오(GCM-5)를 적용한 10년 후의 확률강우량을 산정하였다. 김병식 등(2009)은 기후변화 시나리오를 이용한 미래 극한강우의 특성분석과 IDF분석을 실시하여 미래의 기후변화가 극한 강우에 어떠한 영향을 미치는가를 평가한 바 있고, 경민수 등(2009)은 기후변화로 인한 우리나라의 극한홍수의 예측과 평가를 위해 GCM(General Circulation Model)으로부터 지상 관측소지점으로 축소된 월 총강수량을 기반으로 일강수를 모의할 수 있는 강수발생 모형을 제시하였다. 또한 강수발생모형으로부터 재현된 연 최대치를 시계열로 빈도해석을 수행함으로써 기후변화가 우리나라의 빈도별 일 강수량에 미치는 영향을 평가한 바 있다. 권영문 등(2009)은 20년 이상 자료보유기간을 가진 기상청 관할 56개 강수관측소의 강우자료를 분석하여 증가 경향성이 존재하는 7개 지점의 설계목표연도의 확률강우량을 산정하는 방법을 제안하였다. 오태석 등(2009)은 최근 10년간 주요 호우사상에 의해 홍수피해가 발생한 지역을 대상으로 지속시간별로 최대강우량의 빈도를 산정하였고 Jung et al. (2010)은 우리나라 186개 기상관측소를 대상으로 1973~2005년 평균 기온과 극치 강수량에 대한 시공간적인 변화 양상을 분석하였다. 한편, 외국의 경우, Karl and Eastering (1999)은 지난 세기동안 세계 각국에 걸쳐 기후변화에 따른 극한사상을 평가한 연구에서 극심하게 추운 날(cold day)은 감소하는 반면, 극심하게 더운 날(hot day)이 증가하고 있다는 연구 결과를 발표하였다. Fowler (2005)는 관측치를 분석하여 영국 북동부 지역에서 기후변화의 영향으로 극한치 발생 빈도가 증가하는 경향이 나타남을 확인하였고, Nicholls et al. (1996)은 현재까지 세계 여러 지역에서 지구의 평균온도가 꾸준히 상승하고 있으며 이에 따라 강수량이 점차 증가하는 경향을 보인다고 하였다. 또한, Yue and Hashino (2003)은 일본지역을 대상으로 강우 월 자료와 연 자료를 Mann-Kendall test와 Bootstrap test를 이용하여 경향성을 분석 평가한 바 있고, Ekstrom et al. (2005)은 영국의 미래 강우 시나리오를 이용한 지역 빈도 해석(Regional Frequency Analysis)과 각각의 격자 분석(Grid Box Analysis)방법을 이용하여 극한 강우의 변화양상에 대한 평가한 바 있다.

강수빈도와 극한사상이 기후변화의 영향으로 인식되면서 이들의 경향성에 관한 연구가 국내외로 진행되고 있으나 현재까지는 기존의 연 자료를 이용한 평균값의 변동성

에 관한 분석방법이 대부분을 차지하고 있으며, 특히 아시아 지역의 경우 극한 강우와 기온 변화양상 및 빈도를 분석하는 과정에서 지수화와 같이 보다 객관적인 기준을 제시한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 1990년 이전부터 운영된 우리나라 65개의 관측소들을 대상으로 강수량 데이터를 사용하여 강수빈도와 극한지표들을 산출해 냄으로써, 지표에 따라 지역별 분포를 살펴보고 시간적인 증·감률에 대한 결과를 제시하고자한다. 또한 결과를 시계열로 도시함으로써 쉽게 파악 할 수 있지만 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 경우에는 통계적 방법을 이용하여 Mann-Kendall 경향성 분석을 실시하여 이에 대해 파악하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 절차

본 연구는 크게 세 개 과정으로 구성되어 있다. 첫 번째로 우리나라의 기상청에서 관할하는 관측소 중 1991년 이전부터 관측을 시작한 65개의 기상 관측소를 선정하고 이를 분석하였다. 1960년도부터 2000년까지(S1)와 2001년부터 2010년까지(S2) 일강수량을 사용하여 강수량, 강수빈도와 극한 지수들을 산정하였고 이에 대한 평균값을 2000년 이전 결과(S1)와 2001~2010년의 결과(S2)를 비교하였다. 각각의 지수들의 값을 우리나라 지도에 도시하여 지역간 최근 10년간의 변화를 비교하여 특징을 제시하였다. 두 번째는 각각 도출한 기상 지표들을 표준화하여 지점별로 산정하였다. 각 지점별 평균 변화율에 대

한 정량적인 지표를 제시하여 최근 10년간 강수량의 변화 특성을 제시하였다. 세 번째 단계는 각 지표별 경향성 분석을 수행하여 강우 지표의 변화 가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 강우특성을 크게 Amount, Extremes, Frequency로 분류하고 각각의 지수를 강수량 지수(Rainfall Index for Amount, RIA), 강우극치 지수(Rainfall Index for Extremes, RIE), 강수빈도 지수(Rainfall Index for Frequency, RIF)로 정의하였다. 또한 RIA, RIE, RIF를 산술평균하여 평균 강우지수(Average Rainfall Index, ARI)를 산정하였다.

RIA, RIE, RIF에 해당하는 인자(Indicator)를 Table 1과 같이 결정하였다. RIA에는 강수량의 정량적인 측면에서 연 총 강수량인 Total DR과, 1 mm/day 이상의 강수량을 나타낸 날을 wet-day로 지정하고 연 총 강수량을 연 wet day의 수로 나눈 SDII 값을 인자로 정의하였다. 또한 일 강수량이 50 mm 이상인 날의 수인 Prcp50과 80 mm 이상인 날의 수인 Prcp80을 추가하였다. RIE에는 연 최대 연속 강우일수인 CWD와 연 3일 최대 강수량인 R3day와 연 최대 일 강수량인 AMDR, AMRI는 연 최대 1시간동안 집중적으로 내린 최대 강수량으로 구성하였다. RIF는 Wet day로 지정된 날의 수인 NWD와 100년 빈도 확률강우량인 Freq100 및 200년 빈도 확률강우량인 Freq200으로 구성하였다.

사전조사를 통하여 얻어진 일련의 자료들은 모든 항목의 단위가 다르기 때문에 통합지수를 만들기 위해서는 무차원화과정이 필요하다. 본 연구에서는 일반적인 표준화

Table 1. Indicators for Rainfall Index

Rainfall Characteristics	Name of Indicator	Definition	Unit
Amount	SDII	Annual mean daily rainfall over wet-days=sum of daily rainfalls in year divided by the number of wet-days in year	mm
	TotalDR	Annual total rainfall amount	mm
	Prcp80	Annual number wet days over 80 mm/day	days
	Prcp50	Annual number wet days over 50 mm/day	days
Extreme	CWD	Annual maximum number of consecutive wet days	days
	R3day	Annual maximum 3-day rainfall total	mm
	AMDR	Annual maximum daily rainfall	mm
	AMRI	Annual maximum 1-hr rainfall intensity	mm/hr
Frequency	NWD	Annual number of wet days (threshold of 1 mm)	days
	Freq100	100-yr frequency rainfall	mm
	Freq200	200-yr frequency rainfall	mm

방법들 중 다음과 같은 Re-scaling 방법을 사용하였다.

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_c})}{\max_c(x_q^{t_c}) - \min_c(x_q^{t_c})} \quad (1)$$

여기서,  $x_{qc}^t$ 는  $t$ 시점에서  $c$ 지점의 지표,  $q$ 의 값,  $\max_c(x_q^{t_c})$ ,  $\min_c(x_q^{t_c})$ 는 지점 중 최고값과 최소값을 의미한다.

## 2.2 분석대상지점의 선정 및 추출

우리나라의 경우 자료 보유 연수가 짧기 때문에 신뢰성 있는 자료의 구축은 기후분석에 앞서 매우 중요한 부분이다. 따라서 본 연구에서는 기상자료의 확보가 용이하고 과거로부터 관측 자료의 신뢰성이 확보되어 있는 기상청 관측 자료를 이용하였다. 기상청이 보유하고 있는 관측 지점 중 Fig. 1과 같이 20년 이상 자료 보유 기간을 가지며 우리나라 전체에 고르게 분포되도록 65개 지점을 선정하여 분석을 수행하였다.

## 2.3 Mann-Kendall 경향성 분석

자료  $Y_t(t=1,2,\dots,N)$ 에 대하여  $Y_{t'}(t=1,2,\dots,N-1)$ 과  $Y_t(t=t'+1,\dots,N)$ 의 크기를 비교하여 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} Y_t > Y_{t'} \text{ 이면 } Z_k &= 1 \\ Y_t = Y_{t'} \text{ 이면 } Z_k &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

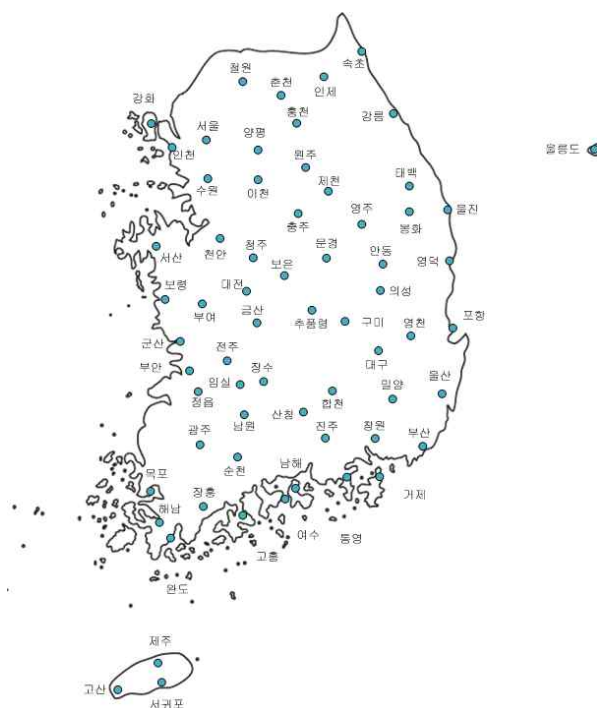


Fig. 1. Location of Weather Stations

$$Y_t < Y_{t'} \text{ 이면 } Z_k = -1$$

여기서,  $k=(t'-1)(2N-t')+(t-t')$ 라 하면 Mann-Kendall test의 검정통계량은 다음 Eq. (2)와 같이 주어진다(Mann, 1945; 손태석 등 2010; 이재준 등, 2010).

$$S = \sum_{t'=1}^{N-1} \sum_{t=t'+1}^N Z_k \quad (3)$$

$$U_c = \frac{S+j}{\sqrt{V(S)}} \quad (4)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[ N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^G E_i(E_i-1)(2E_i+5) \right] \quad (5)$$

여기서,  $S < 0$ 이면  $j=1$ ,  $S > 0$ 이면  $j=-1$ ,  $S=0$ 이면  $j=0$ 의 값을 가지고  $G$ 는 같은 값을 갖는 자료군의 총수이며,  $E_j$ 는  $i$ 번째 자료에 속하는 같은 값을 갖는 자료의 수이다. Eq. (6)의 조건이 만족되면 유의수준  $\alpha$ 에서 주어진 자료가 상향 또는 하향 경향을 갖는다고 할 수 있다.

$$|U_d| > u_{1-\alpha/2} \quad (6)$$

## 3. 연구결과

### 3.1 RIA

RIA에 해당하는 SDII, TotalDR, Prcp50, Prcp80을 65개의 대상관측소의 1960년도에서부터 2000년(S1), 2001~2010년까지(S2)의 평균값을 계산하면 Table 2, Fig. 2와 같다. 또한 우리나라 9개의 도단위 행정구역(경기도(GG), 강원도(GW), 충청북도(CB), 충청남도(CN), 전라북도(JB), 전라남도(JN), 경상북도(GB), 경상남도(GN))과 서울시(Seoul)를 요약해서 제시하면 Table 3과 같다.

대상 65개 관측소의 SDII 평균값은 2000년까지 16.6mm/day에서 2001~2010년 동안 18.0mm/일로 약 8.4% 증가하였다. 하지만 홍천, 태백, 보령, 부여, 순천, 밀양은 지표의 값들이 감소하였으며 그 중 순천은 19.7mm에서 17.7mm으로 제일 많이 감소하는 것으로 나타났다. 서울의 경우 최근 10년간 17.5mm/day 20.7mm/day로 크게 증가한 것으로 나타났고 경기도 역시 17.5mm/day에서 19.5mm/day로 증가하였다. 즉, 인구 밀집 지역인 서울과 경기도는 최근 10년간 강우의 강도가 크게 증가하였으므로 홍수 관리에 보다 많은 투자가 이루어져야 한다고 볼 수 있다.

대상 65개 관측소의 TotalDR 평균값은 2000년까지 1,292.8mm/yr에서 2001~2010년 동안 1,391.4mm/yr로 약 7.6% 증가하였다. Table 3으로부터 지역적으로 살

Table 2. Result of RIA Analysis

State	Name of Weather Station	Amount							
		SDII (mm)		TotalDR (mm)		Prcp50 (day)		Prcp80 (day)	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Seoul	Seoul	17.49	20.72	1379.93	1548.35	1.78	2.08	0.75	1.01
GG (Gyeonggido)	Incheon	16.34	19.43	1176.60	1306.10	1.34	1.75	0.55	0.90
	Suwon	16.62	18.71	1309.78	1350.07	1.63	1.81	0.65	0.79
	Ganghwa	19.44	20.14	1316.67	1345.23	1.75	1.89	0.85	0.77
	Yangpyeong	17.54	20.54	1300.68	1524.81	1.72	2.11	0.70	0.99
	Icheon	17.41	18.67	1329.16	1335.68	1.89	1.59	0.70	0.68
GW (Gangwondo)	Cheorwon	17.08	19.36	1335.65	1463.64	1.64	2.08	0.70	0.96
	Chuncheon	16.94	18.47	1286.45	1439.58	1.56	2.05	0.68	0.79
	Wonju	15.78	17.27	1290.93	1396.00	1.50	1.70	0.59	0.71
	Inje	14.90	17.07	1114.24	1317.77	1.30	1.40	0.48	0.79
	Hongcheon	16.26	15.92	1229.03	1230.51	1.45	1.48	0.65	0.52
	Gangneung	16.96	19.38	1381.42	1545.71	1.53	1.94	0.60	0.82
	Sokcho	17.14	18.58	1341.98	1454.25	1.58	1.92	0.56	0.85
	Taebaek	16.45	15.94	1260.18	1349.31	1.47	1.59	0.48	0.44
	Chungju	15.56	15.78	1187.75	1241.61	1.36	1.42	0.53	0.52
CN (Chungcheonnamdo)	Cheongju	15.03	16.31	1225.80	1252.99	1.39	1.53	0.52	0.44
	Chupungryeong	14.08	14.77	1149.43	1224.40	1.10	1.34	0.32	0.44
	Jecheon	16.34	18.40	1295.04	1487.78	1.56	2.05	0.64	0.77
	Boeun	15.50	15.94	1260.16	1316.55	1.45	1.64	0.52	0.30
	Seosan	15.85	17.43	1236.38	1322.09	1.53	1.67	0.61	0.88
	Daejeon	16.30	17.43	1373.16	1360.27	1.62	1.64	0.62	0.55
CB (Chungcheonbukdo)	Cheonan	17.10	20.58	1291.31	1526.61	1.57	2.14	0.66	0.88
	Boryeong	16.04	14.96	1236.99	1170.67	1.46	1.10	0.61	0.36
	Buyeo	17.20	16.42	1334.21	1292.78	1.73	1.51	0.67	0.49
	Geumsan	15.55	15.87	1258.76	1328.64	1.52	1.70	0.59	0.60
	Gunsan	15.17	15.99	1199.52	1251.42	1.46	1.67	0.45	0.52
JB (Jeollabokdo)	Jeonju	14.70	15.49	1294.33	1314.31	1.28	1.51	0.43	0.63
	Buan	15.48	16.37	1219.37	1335.00	1.44	1.62	0.55	0.52
	Imsil	14.60	16.36	1315.60	1408.92	1.48	1.89	0.41	0.63
	Jeongeup	15.06	15.73	1286.18	1398.56	1.51	1.78	0.42	0.63
	Namwon	15.70	17.00	1313.66	1454.75	1.61	1.78	0.58	0.74
	Jangsu	16.30	16.90	1422.10	1507.76	1.73	1.97	0.63	0.77
	Gwangju	10.70	17.20	1339.60	1482.44	1.59	2.08	0.49	0.82
	Mokpo	14.00	15.70	1114.19	1230.47	1.14	1.48	0.46	0.47
JN (Jeollanamdo)	Wando	18.92	20.58	1456.83	1648.18	1.88	2.63	0.80	1.01
	Yeosu	18.90	20.00	1407.93	1447.82	1.83	1.97	1.26	1.40
	Suncheon	19.70	17.70	1487.56	1603.01	1.91	2.35	0.72	0.85
	Jangheung	18.40	20.10	1458.83	1591.15	1.87	2.00	0.85	0.90
	Haenam	16.33	17.06	1305.75	1368.96	1.65	1.53	0.66	0.66
	Goheung	19.65	20.77	1452.38	1478.31	1.88	1.86	0.85	0.71
	Ulsan	14.77	16.67	1102.36	1209.78	1.78	2.08	0.75	1.01
GB (Gyeongsangbukdo)	Ulleungdo	11.88	15.18	1245.43	1665.13	0.86	1.86	0.22	0.74
	Andong	12.53	15.76	843.78	1096.09	0.83	1.20	0.22	0.33
	Pohang	15.06	16.88	1107.61	1226.07	1.06	1.34	0.34	0.52
	Daegu	14.88	16.32	1029.24	1088.00	0.93	1.29	0.32	0.44
	Bonghwa	16.30	16.90	1178.70	1280.23	1.45	1.51	0.40	0.60
	Yeongju	17.70	18.10	1236.98	1355.22	1.54	1.73	0.50	0.77
	Mungyeong	16.38	17.82	1208.38	1342.59	1.52	1.97	0.42	0.68
	Yeongdeok	15.58	17.81	1035.30	1153.88	1.05	1.37	0.28	0.38
	Uiseong	14.35	17.16	972.18	1140.75	0.96	1.48	0.27	0.38
	Gumi	14.91	16.95	1013.92	1155.26	1.04	1.31	0.24	0.52
	Yeongcheon	15.37	15.71	1005.32	1088.62	1.04	1.07	0.34	0.27
	Busan	19.67	21.26	1487.15	1554.41	1.96	2.33	0.74	0.90
	GN (Gyeongsangnamdo)	Ulsan	17.36	17.94	1280.83	1263.12	1.48	1.56	0.51
Changwon		21.26	22.82	1489.71	1614.12	2.34	2.30	0.96	1.07
Tongyeong		18.62	20.56	1427.82	1461.26	1.82	2.03	0.60	0.66
Jinju		19.84	21.76	1508.93	1563.88	2.17	2.03	0.74	0.99
Hapcheon		17.71	18.43	1238.60	1320.51	1.59	1.83	0.54	0.77
Miryang		17.78	17.27	1233.98	1226.60	1.63	1.53	0.57	0.55
Sancheong		19.84	21.59	1479.09	1606.83	1.94	2.16	0.84	1.04
Geoje		22.89	23.96	1797.10	1869.41	2.57	2.98	1.15	1.37
JJ (Jeju)	Namhae	23.80	24.59	1789.48	1854.09	2.81	2.85	1.28	1.23
	Jeju	14.79	17.06	1436.51	1516.21	1.44	1.56	0.68	0.71
	Gosan	13.80	15.31	1094.66	1205.36	0.99	1.15	0.42	0.30
	Seowipo	19.35	21.06	1814.95	1933.36	2.56	2.66	1.05	1.04
Average		16.62	18.02	1292.82	1391.43	1.57	1.79	0.60	0.71

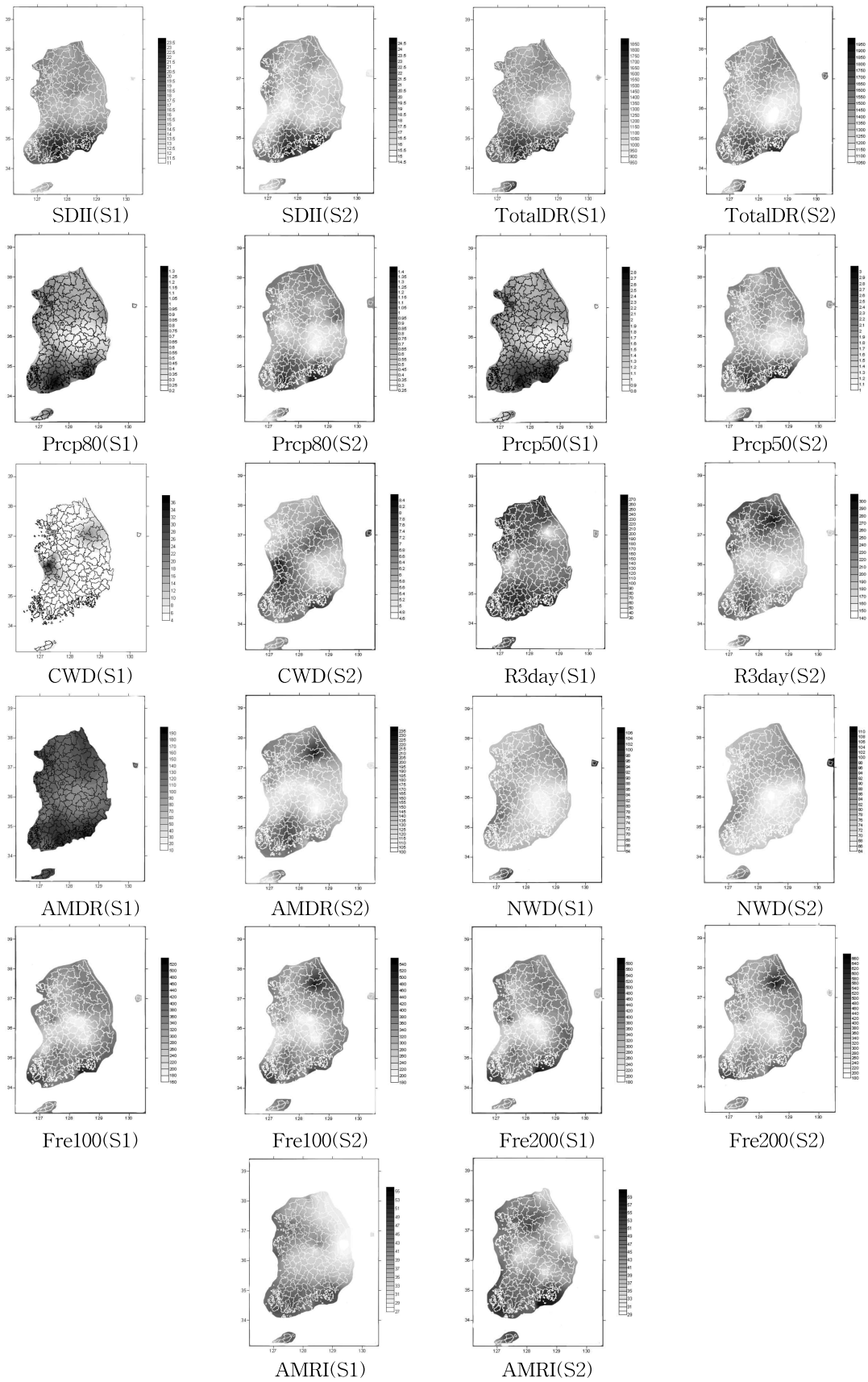


Fig. 2. Graphic Representation of Rainfall Indicators in South Korea

**Table 3. Summary of Indicator of All Provinces in Korea**

Name of Province	SDII		TotalDR		Prec50		Prec80		CWD			
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2		
Seoul	17.49	20.72	1379.9	1548.4	1.78	2.08	0.75	1.01	6.15	5.80		
GG (Gyeonggido)	17.47	19.50	1286.6	1372.4	1.66	1.83	0.69	0.83	5.53	5.44		
GW (Gangwondo)	16.44	17.75	1280.0	1399.6	1.50	1.77	0.59	0.74	5.83	6.00		
CB (Chungcheonbukdo)	16.44	17.05	1298.9	1335.8	1.58	1.62	0.63	0.58	5.54	6.50		
CN (Chungcheonnamdo)	15.39	16.44	1225.8	1307.6	1.40	1.61	0.52	0.56	5.42	6.35		
JB (Jeollabokdo)	14.71	16.38	1298.8	1394.2	1.51	1.79	0.50	0.66	5.60	6.59		
JN (Jeollanamdo)	17.99	18.84	1383.4	1481.1	1.74	1.98	0.80	0.86	5.28	6.43		
GB (Gyeongsangbukdo)	15.34	17.12	1112.8	1258.2	1.23	1.58	0.39	0.58	5.28	6.15		
GN (Gyeongsangnamdo)	19.88	21.02	1473.3	1533.4	2.03	2.16	0.79	0.92	5.64	6.53		
JJ (Jeju)	15.98	17.81	1448.7	1551.6	1.66	1.79	0.72	0.68	5.98	6.27		
Name of Province	R3day		AMDR		AMRI		NWD		Freq100		Freq200	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Seoul	218.2	249.5	151.6	174.6	49.47	56.95	78.59	74.9	375.5	378.5	423.0	422.0
GG (Gyeonggido)	221.5	232.4	145.3	159.1	46.69	47.43	73.90	71.1	383.0	376.8	436.4	422.9
GW (Gangwondo)	211.3	237.6	136.3	159.1	36.47	44.06	78.11	79.1	325.8	347.2	364.4	392.2
CB (Chungcheonbukdo)	184.9	196.9	130.5	127.6	44.91	45.91	79.30	78.5	332.4	316.2	381.1	357.2
CN (Chungcheonnamdo)	178.1	193.6	120.1	126.1	38.98	45.23	79.85	79.1	303.4	298.0	346.2	337.6
JB (Jeollabokdo)	167.1	187.6	113.7	125.5	41.31	49.20	84.88	84.6	253.6	260.7	282.0	289.5
JN (Jeollanamdo)	202.1	209.8	139.3	156.7	42.56	46.99	78.26	77.6	374.4	381.8	422.6	439.0
GB (Gyeongsangbukdo)	149.5	178.2	106.1	120.7	33.97	39.05	73.48	73.5	263.9	270.6	297.0	303.9
GN (Gyeongsangnamdo)	206.4	211.8	147.3	160.4	42.20	48.23	73.42	72.4	363.6	364.5	409.3	408.0
JJ (Jeju)	192.5	194.2	143.3	140.6	40.49	44.18	89.95	86.5	333.6	339.6	369.4	377.5

퍼보면 경상남도과 전라남도에 연 총강수량이 크게 나타 났다. 하지만 경상북도의 경우 다른 행정구역보다 강수량 이 적은 것을 확인할 수 있었다. 경상북도 중에서는 안동과 의성이 1960년도부터 2000년까지의 강수량이 1,000 mm/ yr 이하로 나타났고 최근 10년간 1,000 mm/yr 이상의 강 수량으로 증가한 것을 알 수 있다. 또한 서귀포의 경우에

는 2,000 mm/yr에 가까운 강우량이 내렸다. 서울의 경우 최근 10년간 1,379.9 mm/yr에서 1,548.4 mm/yr로 약 168.5 mm/yr가 증가한 것으로 나타났고 제주도 역시 1,448.7 mm/yr에서 1,551.6 mm/yr로 약 102.6 mm/yr가 증가한 것으 로 나타났다.

대상 65개 관측소의 Prcp50 평균값은 2000년까지 1.57

일에서 2001~2010년 동안 1.79일로 약 14.1% 증가하였다. 지역별로는 2000년까지는 경남 남해가 2.81일로 가장 큰 값을 보였고 2001~2010년에는 경남 거제에서 2.98일/yr을 보였다. Table 2로부터 지역적으로 살펴보면 경남이 2000년까지와 2001~2010년까지 모두 2.0일/yr을 넘는 큰 값을 보였으며 경북과 서울은 최근 10년간 증가율이 큰 것으로 나타났다.

Prcp80의 경우 0.60일에서 0.71일로 약 18.4% 증가하였다. 지점별로는 2000년까지는 Prcp50과 같이 경남 남해가 1.28일로 가장 많았으며 2001~2010년에는 전남 여수가 1.40일/yr로 가장 큰 값을 보였다. Table 2로부터 지역적으로 살펴보면 서울이 0.75일/yr에서 1.01일/yr로 크게 증가하였으며 경기도 0.39일/yr에서 0.58일/yr로 크게 증가한 것으로 나타났다.

### 3.2 RIE

RIE에 해당하는 CWD, R3day, AMDR, AMRI를 65개 대상관측소의 1960년도에서부터 2000년(S1), 2001~2010년까지(S2)의 평균값을 계산하면 Table 4, Fig 2와 같다. 또한 우리나라 9개의 도단위 행정구역과 서울시를 요약해서 제시하면 Table 3과 같다.

대상 65개 관측소의 CWD 평균값은 2000년까지 평균 5.54일에서 2001~2010년 동안 평균 6.25일로 약 12.8% 증가하였다. 2000년까지는 울릉도가 약 6.83일로 가장 큰 값을 보였으며 2001~2010년에는 충북 금산이 8.40일로 가장 크게 나타났다. Table 4로부터 지역적으로 살펴보면 전남이 5.28일에서 6.43일로 크게 증가하였으며 서울과 경기도를 제외한 지역은 모두 증가하였으며 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남은 거의 1일 가량 증가한 것으로 나타났다.

대상 65개 관측소의 R3day의 평균값은 2000년까지 평균 186.8 mm에서 203.5 mm로 약 9.0% 증가하는 것으로 나타났다. 2000년까지는 경기도 강화지점이 262.0 mm로 가장 크게 나타났지만 최근 10년 기간 중에는 강원도 강릉이 296.7 mm로 가장 크게 나타났다. Table 4로부터 지역적으로 살펴보면 서울지역이 최근 10년간 249.5 mm로 가장 크게 나타났으며 2000년까지 평균값에 비해 31.3 mm나 증가하는 것으로 나타났다. 이외에 강원도, 전북, 경기도 20 mm 이상 증가하는 것으로 나타났다.

대상 65개 관측소의 AMDR 평균값은 128.6 mm/day에서 141.3 mm/day로 약 9.9% 증가하는 것으로 나타났다. 2000년까지는 경남 거제 지점에 184.6 mm/day로 가장 큰 값을 보였고 최근 10년간은 강원도 강릉 지점이 232.3 mm/day로 가장 큰 값을 나타냈다. Table 4로부터 지역적으로

살펴보면 서울이 2000년 이전과 이후 모두 가장 큰 값을 보였으며 또한 최근 10년간 23.0 mm/day나 증가하였다. 경기도, 강원도, 전남, 경남도 큰 값을 보였고 증가율도 크게 나타났다.

대상 65개 관측소의 AMRI 평균값은 39.96 mm/hr에서 45.23 mm/hr로 약 13.2% 증가하는 것으로 나타났다. 2000년까지는 경기도 강화 지점에 54.69 mm/hr로 가장 큰 값을 보였고 최근 10년간은 경남 거제 지점이 59.70 mm/hr로 가장 큰 값을 나타냈다. Table 4로부터 지역적으로 살펴보면 서울이 2000년 이전과 이후 모두 가장 큰 값을 보였으며 증가율로 본다면 강원이 20.8%로 가장 높은 증가율을 보였고 경기, 충북, 제주를 제외한 전 지점에서 10% 이상의 증가율을 보였다. 그러나 경기와 충북은 1.6%, 2.2%의 낮은 증가율을 나타냈다.

### 3.3 RIF

RIF에 해당하는 NWD, Freq100, Freq200을 65개의 대상관측소의 1960년도에서부터 2000년(S1), 2001~2010년까지(S2)의 평균값을 계산하면 Table 5, Fig. 2와 같다. 또한 우리나라 9개의 도단위 행정구역과 서울시를 요약해서 제시하면 Table 3과 같다.

NWD의 경우 2000년까지 77.8일/yr에서 최근 10년간 77.2 일/yr로 큰 차이가 나타나지 않았다. Freq100과 Freq 200은 모두 크게 증가하는 경향을 보였는데 NWD는 차이가 없는 것으로 보아 강우의 강도가 상당히 큰 것으로 나타났다. 2000년 이전과 이후 울릉도가 104.4 일/yr와 109.4 일/yr로 가장 크게 나타났다. Table 5로부터 지역적으로 살펴보면 서울이 78.6 일/yr에서 74.9 일/yr로 가장 크게 감소하는 것으로 나타났으며 다른 지역은 크게 차이가 나지 않는 현상을 보였다.

Freq100과 Freq200은 과거 자료를 이용해서 24시간 지속시간에 대한 100년, 200년 빈도의 확률강우량을 FARD를 이용해서 계산하였다. 총 65개 대상지점의 확률강우량은 관측소의 1960년도부터 2000년까지와 2010년까지의 연 최대 강우량 자료를 이용하여 산정하였다. 확률분포함수는 Gumbel 분포와 GEV 분포를 이용하여 확률밀도함수를 추정하였다. Gumbel 분포는 강우빈도 해석 시 실무에서도 가장 많이 선택하여 사용하는 분포이며, 우리나라 전국을 대상으로 분석한 한국 확률 강우량도 작성(건설교통부, 2000)에서 모든 관측소에 대하여 최적 확률분포형을 Gumbel 분포로 채택한 바 있다. GEV는 최대홍수나 최대강우, 극심한 가뭄 등 자료의 극치 즉, 최대치 또는 최소치 계열을 분석하는 경우에 자주 쓰이는 분포형이기 때문



Table 4. Result of RIE Analysis

Name of Province	Name of Weather Station	Extremes							
		CWD (days)		R3day (mm)		AMDR (mm)		AMRI (mm/fr)	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Seoul	Seoul	6.15	5.80	218.19	249.46	151.57	174.59	49.47	56.95
GG (Gyeonggido)	Incheon	5.34	5.50	195.18	211.91	131.44	148.98	44.89	48.70
	Suwon	5.97	5.40	219.07	226.72	147.05	136.13	46.89	44.30
	Ganghwa	5.29	5.00	262.04	224.15	174.55	151.95	54.69	49.60
	Yangpyeong	5.71	6.00	215.74	282.81	136.37	197.00	44.38	47.00
	Icheon	5.36	5.30	215.51	216.40	136.90	161.20	42.62	47.55
GW (Gangwondo)	Cheorwon	6.46	5.40	247.86	248.10	145.91	149.90	40.66	49.65
	Chuncheon	6.09	5.80	217.35	249.19	138.44	159.05	36.65	43.35
	Wonju	5.46	5.80	208.44	237.33	128.83	160.73	45.73	45.45
	Inje	5.38	5.90	182.16	245.05	122.56	148.20	33.26	40.80
	Hongcheon	5.29	6.00	182.26	196.90	122.51	132.70	38.88	51.92
	Gangneung	6.05	6.30	212.75	296.68	142.91	232.33	30.80	48.42
	Sokcho	6.12	5.60	227.46	218.63	149.28	157.11	31.06	34.58
	Taebaek	5.81	7.20	212.23	209.30	139.99	132.75	34.73	38.30
CN (Chungcheonnamdo)	Chungju	5.29	6.50	182.73	187.44	118.26	120.38	39.87	40.60
	Cheongju	5.23	6.20	163.41	202.34	115.49	123.20	41.89	46.65
	Chupungryeong	5.76	7.00	155.30	163.00	104.50	115.36	33.36	32.48
	Jecheon	5.21	5.90	185.52	253.11	123.71	160.15	38.95	52.80
	Boeun	5.68	7.00	190.14	170.45	131.81	106.30	40.08	47.10
	Seosan	5.36	5.50	191.77	185.06	127.05	130.99	39.71	51.74
CB (Chungcheonbukdo)	Daejeon	5.66	6.70	189.59	189.40	129.99	118.39	47.17	42.80
	Cheonan	5.38	5.40	196.53	267.80	128.34	163.35	42.37	43.80
	Boryeong	5.31	4.90	180.08	162.35	131.87	125.30	47.13	50.70
	Buyeo	5.41	7.10	181.37	173.43	141.54	112.90	49.11	46.25
	Geumsan	5.96	8.40	177.18	191.65	120.68	117.85	38.79	46.00
JB (Jeollabokdo)	Gunsan	5.64	5.80	161.70	168.14	118.35	111.45	38.74	48.17
	Jeonju	5.95	5.90	162.08	177.88	111.30	125.05	42.23	54.05
	Buan	5.21	5.50	174.78	184.15	119.68	118.40	43.41	47.60
	Imsil	5.86	7.10	154.10	211.40	105.78	133.15	39.89	47.95
	Jeongeup	5.36	6.00	163.47	164.80	108.41	111.25	41.84	52.10
	Namwon	5.18	7.10	175.26	178.30	108.87	133.60	42.36	47.15
	Jangsu	6.08	8.20	165.65	222.75	113.85	123.35	39.35	43.70
	Gwangju	5.56	7.10	179.87	193.11	123.26	148.00	42.70	52.90
JN (Jeollanamdo)	Mokpo	5.05	4.60	161.47	149.66	115.81	114.75	36.34	42.11
	Wando	5.14	7.20	220.54	221.83	162.27	161.63	45.25	45.15
	Yeosu	5.58	6.40	192.55	201.32	135.74	155.30	42.55	44.60
	Suncheon	5.82	7.20	214.48	221.10	149.05	166.85	43.26	49.35
	Jangheung	5.18	7.10	213.17	235.50	161.99	165.60	42.40	48.25
	Haenam	5.32	6.20	194.27	207.23	142.44	152.15	41.12	44.65
	Goheung	4.89	6.30	217.91	232.20	107.94	180.75	47.73	57.20
GB (Gyeongsangbukdo)	Ulsan	5.34	5.90	153.92	182.41	102.83	129.04	27.54	29.05
	Ulleungdo	6.83	8.10	122.68	176.40	93.83	112.43	32.06	34.75
	Andong	4.57	6.00	108.09	159.96	78.79	100.38	28.89	39.00
	Pohang	5.10	5.60	162.16	166.73	115.62	123.18	30.22	45.55
	Daegu	5.07	5.70	146.56	179.47	97.80	118.44	35.44	42.16
	Bonghwa	5.38	6.60	184.59	211.46	128.93	141.55	41.78	45.00
	Yeongju	5.21	7.30	172.03	190.66	120.11	119.30	36.85	37.85
	Mungyeong	5.39	6.30	145.69	187.10	101.26	114.45	33.61	33.50
	Yeongdeok	4.63	5.20	137.79	174.37	101.00	131.30	28.17	36.05
	Uiseong	5.07	5.20	132.76	163.96	92.77	111.90	32.26	42.75
	Gumi	5.48	5.80	137.44	170.40	94.99	121.15	32.64	37.50
	Yeongcheon	5.00	5.10	136.68	139.26	101.92	99.65	34.30	31.45
	Busan	5.51	7.10	202.57	214.30	149.89	146.08	47.86	53.03
GN (Gyeongsangnamdo)	Ulsan	4.98	5.10	188.17	193.22	132.18	139.94	36.01	39.83
	Changwon	5.75	6.10	200.37	219.64	147.02	159.26	42.19	51.11
	Tongyeong	5.21	6.30	195.73	167.21	142.83	127.71	39.70	44.68
	Jinju	5.63	6.80	201.48	216.57	138.77	172.80	43.91	45.16
	Hapcheon	5.89	6.40	173.02	196.31	119.79	150.15	38.46	49.55
	Miryang	5.21	5.60	172.97	171.00	127.39	117.50	37.93	38.95
	Sancheong	5.93	7.00	225.74	243.45	154.11	193.65	40.29	46.00
	Geoje	6.50	7.90	255.46	221.10	184.61	178.30	45.20	59.70
	Namhae	5.82	7.00	248.10	274.85	176.06	218.45	48.53	52.05
JJ (Jeju)	Jeju	6.22	6.20	200.16	219.78	143.64	171.95	42.21	51.65
	Gosan	5.31	5.80	170.55	152.12	132.38	102.75	33.62	38.75
	Seowipo	6.40	6.80	206.69	210.63	153.99	147.02	45.63	42.15
Average		5.53	6.24	186.80	203.54	128.59	141.32	39.96	45.22

Table 5. Result of RIF Analysis

Name of Province	Name of Weather Station	Frequency										
		NWD (days)		100 yr				200 yr				
		S1	S2	S1		S2		S1		S2		
				GEV	GUM	GEV	GUM	GEV	GUM	GEV	GUM	
Seoul	Seoul	78.59	74.90	399.3	351.7	393.6	363.4	459.6	386.3	444.7	399.2	
GG (Gyeonggido)	Incheon	72.02	67.70	403.6	333.9	372.5	334.4	479.5	369	427.2	368.8	
	Suwon	78.84	73.20	384.1	353.9	385.3	346.6	435.2	389.7	440.7	381.6	
	Ganghwa	67.75	67.00	491.2	406.5	434.3	388.7	580.6	446.6	496.3	426.7	
	Yangpyeong	74.36	75.40	384.6	334.4	405.1	378.9	446.2	368.6	457.3	418.1	
GW (Gangwondo)	Icheon	76.54	72.30	403.6	333.9	381.8	340.8	479.5	369	437.7	374.9	
	Cheorwon	78.54	75.80	429.1	345.9	362.3	319.3	512.5	380.5	414.3	349	
	Chuncheon	75.77	78.60	334.8	330.3	334.8	330.3	369	362.6	369	362.6	
	Wonju	81.63	80.80	302.8	274.5	355.9	317.4	342.1	299.6	407.4	348.5	
	Inje	74.43	77.50	340.8	304.8	306.9	303.3	391.3	336.4	338.3	333.4	
	Hongcheon	76.11	77.10	253.3	248.9	263.5	252.8	276.4	270.8	290.1	274.9	
	Gangneung	81.63	80.20	402.1	340.2	623.2	441.2	471.5	374.3	801	489.8	
	Sokcho	78.61	79.00	322.4	316.5	356.7	333.3	353.3	345.4	399.5	364.8	
	Taebaek	78.13	83.70	352.2	313.6	345.5	308.4	401.5	343.6	394.2	338	
CN (Chungcheonnamdo)	Chungju	76.57	78.80	314.3	273.6	313.1	272.5	363.2	300.5	361.9	299.1	
	Cheongju	81.62	76.10	327.4	254.8	309.8	255.2	397.8	278.9	366	279.1	
	Chupungryeong	81.63	82.10	240.3	227.4	266	239.9	267.7	248.7	302.7	262.9	
	Jecheon	79.57	80.20	314.3	293	328.5	312.7	354	322.3	367	343.7	
	Boeun	81.07	81.90	480	340.9	429.3	313.7	615.4	377	541.6	346.4	
	Seosan	78.61	75.20	284.9	290.4	262.6	273.1	310.1	318.7	282.5	298.2	
CB (Chungcheonbukdo)	Daejeon	84.38	77.82	343.7	299.6	320.7	286.8	396.9	328.9	366.2	314.3	
	Cheonan	75.50	75.60	334.9	300.8	321.1	317.7	382.3	330.6	353.4	348.8	
	Boryeong	77.89	77.90	379.4	331.4	379.4	331.4	440.6	366.2	440.6	366.2	
	Buyeo	77.82	78.00	511.3	350.7	430.8	314.9	669	386.9	542.6	346.2	
	Geumsan	80.93	83.10	234.2	237.9	224.9	233.8	251.8	258.2	239.9	253.5	
JB (Jeollabokdo)	Gunsan	80.24	77.80	361.5	282.1	326.3	269.2	439.9	310.5	386.4	295.5	
	Jeonju	87.71	84.50	255.5	247.3	255.5	247.3	282.2	270.2	282.2	270.4	
	Buan	78.57	81.00	225.4	239.3	255	247.7	239.2	259.9	280	269.9	
	Imsil	89.43	85.40	239.5	214.6	274.6	239.2	270.8	233.5	315.7	261	
	Jeongeup	85.64	88.60	277	228.1	251.3	221.1	326.2	248.8	286.7	240.5	
	Namwon	82.93	84.80	199.5	214.4	232	243.2	210.7	232.7	248.7	265.3	
	Jangsu	86.54	88.40	233.5	238.7	225.8	234.6	251.2	260.3	241	254.8	
	Gwangju	87.98	86.20	318	283.6	348.5	299.2	364	311.4	405.8	328.8	
	Mokpo	78.80	78.90	326.1	262.9	311.9	256.7	390	288.4	369.2	281.2	
JN (Jeollanamdo)	Wando	76.71	80.20	483.1	416.9	504.8	419.5	563.9	461	599.1	464.1	
	Yeosu	75.32	71.90	267.7	276.9	292	293.2	287.3	301.3	317.6	319.8	
	Suncheon	84.07	81.70	309.1	322.6	309.1	322.6	331.6	351.8	331.6	351.8	
	Jangheung	79.21	79.50	467.2	424.7	506.2	377.1	548.2	470	630.7	414.1	
	Haenam	80.00	80.30	439.8	400.4	476.3	352.8	516.3	445	596.1	388.8	
	Goheung	73.71	71.00	441.6	402.4	521.5	401	516.6	444.7	640.2	442	
	Ulsan	78.59	74.90	354	352.8	393.6	363.4	389.5	387.6	444.7	399.2	
GB (Gyeongsangbukdo)	Ulleungdo	104.44	109.40	269.8	218.5	263.3	223.4	322.4	240	307.8	245.1	
	Andong	69.33	69.10	174.3	188.2	165.1	181.9	184.5	204.8	172.8	197.1	
	Pohang	73.22	72.00	418.3	293.5	406.2	294	540.2	324.3	515.2	324.6	
	Daegu	68.98	66.20	250	230.5	247.4	235.5	282.8	253.5	276.3	258.6	
	Bonghwa	73.23	75.90	352.1	318.8	353.7	318.5	401.5	351.7	403.6	350.4	
	Yeongju	70.57	74.30	324.8	277	298.3	261.1	378.6	304.1	342.8	285.5	
	Mungyeong	73.57	74.90	176.3	195	194.8	204.4	184.3	211.2	207.3	221.6	
	Yeongdeok	66.79	64.30	319.3	243	346.5	274.5	393.6	267.6	419.7	303.1	
	Uiseong	67.79	65.50	175.3	181.8	213.9	203.7	187.1	197.2	236.8	222	
	Gumi	67.93	67.20	225.5	190.2	245.4	216	261.7	206.6	280.8	235.8	
	Yeongcheon	65.79	68.80	192	196.5	191.6	196.3	205.5	212.9	205.3	212.7	
	Busan	75.00	72.70	383.1	360.9	389.2	354.3	430.5	397.4	442.8	389.8	
	GN (Gyeongsangnamdo)	Ulsan	73.24	70.60	413.7	334.3	408.3	331.9	496.6	369.2	488.6	366.1
		Changwon	69.13	70.90	391.9	337.6	364.2	328.5	453.8	370.5	412.6	359.1
Tongyeong		76.09	71.10	382.1	329.2	351	306.1	443.6	361.4	404.3	334.9	
Jinju		75.28	71.30	314.8	304	308.2	317.2	348	332.6	333	346.6	
Hapcheon		69.57	71.00	308.5	285	325.9	304.7	348.8	313.6	367	335.3	
Miryang		68.86	70.70	305.8	285.6	305.8	285.6	343.5	313.4	343.5	313.4	
Sancheong		74.04	73.40	418.9	365	419.8	390.1	484.7	401.4	473.7	429.1	
Geoje		78.14	77.20	562.5	449.9	511	424.3	676.9	495.7	603.4	466.1	
JJ (Jeju)	Namhae	74.82	74.60	368	371.1	437.1	427.2	399.1	404.8	482.7	468.7	
	Jeju	97.32	88.50	289.3	335.3	348.3	362.8	303.8	368.5	378.4	399.8	
	Gosan	78.69	78.70	283	313.1	276.8	291.1	300.8	344.4	299.7	320.7	
Seowipo	93.85	92.20	431.8	349.2	414.7	343.8	515.6	383	489.5	376.9		
Average		77.84	77.2	336.9	300.78	341.21	304.23	388.65	330.25	393.01	333.83	

에 최근 기상이변으로 인한 극한사상의 특성을 잘 반영할 수 있는 분포형이다. 모수 추정에는 최우도법과 확률가중 모멘트법이 효율적인 방법으로 채택되어 사용되고 있으나 본 연구에서는 WMO (World Meteorological Organization)에서 추천한 확률가중 모멘트법에 의해 추정된 모수를 이용하였다. 분포형별로 실제 강수량자료와 적합성을 판단하기 위해  $\chi^2$  검정, K-S (Kolmogorov-Smirnov) 검정, CVM (Cramer-Von Mises) 검정, 및 PPCC (Probability Plot Correlation Coefficient) 검정을 통해 적합도 검정을 수행하였다.

자료 기간이 2000년까지의 경우 거제도가 100년과 200년의 확률강수량에서 최대로 분석되었고 2010년까지의 경우는 강릉이 최대로 분석되었다. 반면에 최소의 확률강수량은 2000년까지의 경우 GEV 분포형에서는 안동과 문경이 Gumbel 분포형에서는 의성이 선정되었다. 2010년까지의 경우에서는 안동이 모두 최소로 선정되었다. 특히 2010년까지의 분석결과에서 강릉의 200년 빈도 확률강수량이 Gumbel 분포형의 경우(489.8 mm)보다 GEV 분포형일 때(801 mm) 1.5배 이상 추정치가 큰 차이를 보이는 것은 GEV 분포가 Gumbel 분포에 비해 heavy tail 분포형이기 때문에 추정치가 크게 계산되는 것이다.

Freq100의 경우 대상 65개 관측지점에 대해 2000년 이전 318.8 mm에서 2001년 이후 322.7 mm로 1.2% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 지점별로는 2000년까지는 거제지점에 506.2 mm로 가장 크게 나타났고 최근 10년 자료를 포함해서 분석할 경우에는 강릉지점에 532.2 mm로 가장 큰 값을 보였다. Table 3으로부터 지역적으로 살펴보면 강원도는 325.8 mm에서 347.2 mm로 크게 증가하는 것으로 나타났고 경기도, 충북, 충남을 제외하면 대부분 조금 증가하는 것으로 나타났다.

Freq200의 경우는 359.5 mm에서 363.4 mm로 소량 증가하는 것으로 나타났고 지점별으로도 Freq100과 같이 거제와 강릉이 586.3 mm, 645.4 mm로 각각 가장 큰 값을 나타냈다. Table 3으로부터 지역적으로 살펴보면 Freq100과 같이 강원도가 364.4 mm에서 392.2 mm로 크게 증가하는 것으로 나타났고 경기도, 충북, 충남, 경남을 제외하면 모두 소량 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.4 종합 분석

지표별로 Eq. (1)을 이용해 무차원화 후 1960년도부터 2000년, 최근 10년의 변화를 계산한 후 RIA, RIE, RIF 별로 산술평균하여 제시하면 Table 6과 같다. 우리나라 65개 지점에 대한 평균은 RIA의 경우 0.39에서 0.47로 약 22.3% 증가하였고 RIE의 경우 0.33에서 0.45로 약 19.6%, RIF의

경우 0.33에서 0.36으로 약 9.5% 증가하는 것으로 나타났다. 즉 총량 계열의 강우 특성이 가장 크게 증가하였고 극치 계열의 특성도 크게 증가하는 것으로 확인할 수 있었다. 다만 빈도 계열의 특성은 보다 긴 자료 기간을 요구하므로 본 연구에서는 확실한 결과를 얻기 어려웠다. 특히 2000년 이전의 결과에 10년만 더 추가해서 분석한 결과로는 강원도를 제외하면 뚜렷한 변화의 특징을 찾아내기는 어려웠다.

Table 7은 평균 강우지표(ARI)로써 경북의 경우 세 항목별로 모두 최하위 값을 보였고 서울은 2000년 이전에도 강수량 지표가 가장 큰 값이었지만 최근 10년간 증가율도 상당히 큰 편에 속해서 결국 최고 평균 강우지표를 보였다. 강원도와 전남도 비교적 큰 증가율을 보였고 제주도는 증가율이 상대적으로 낮게 나타났다.

### 3.5 경향성 분석

강수의 특성을 나타내는 각 지표들의 수치는 증가 또는 감소하는 경향을 나타낼 소지를 가지고 있으며, 이러한 경향성은 자료를 도시함으로 쉽게 파악할 수 있지만 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 경우에는 통계적 방법을 이용하여 경향성 분석을 실시한다.

본 연구에서는 관측소별로 강수량자료에 대해 유의 수준을 5%로 하여 Mann-Kendall 검정을 실시하였다. 경향성 분석 결과를 2000년까지 자료와 2010년까지 자료의 경우로 분류하여 제시하면 Table 8과 같다. 먼저 2000년까지의 자료를 이용하여 지표의 경향성을 분석한 결과 RIA의 경우 경향성을 나타내는 관측소는 Total DR (연강수량)이 1개소로 가장 적었으며 SDII는 12개소로 가장 많았다(전체 관측소 개수 대비 비율은 18%). 또한 Prcp50은 5개소, Prcp80은 6개소로 각 각 분석되었다. 2000년부터 2010년까지 최근 10년간 자료를 포함하여 RIA의 지표들을 분석한 결과 2000년까지의 자료 분석결과에 대비하여 Total DR은 6개소, SDII는 13개소, Prcp50와 Prcp80은 3개소가 증가하였다. RIA지표들의 분석결과를 종합해 보면 과거에 비해 최근 10년간 강수량의 경향성이 증가하고 있음을 알 수 있다. RIE의 지표들에 대해서 분석한 결과 CWD는 과거와 최근 모두 4개소로 동일한 결과를 보였다. R3day은 5개소에서 8개소로 증가하였으며, ADMR은 7개소에서 6개소로 감소하였다. AMRI는 7개소에서 10개소로 증가하였다. RIF에 대한 경향성 분석 결과 NWD는 감소 경향을 가진 관측소의 수가 3개소에서 4개소로 증가하였다. 전체 지표 분석결과를 종합해 보면 위의 자료만 가지고 우리나라 강수사상의 최근 변동성을 규정하기 어려

Table 6. Values of RIA, RIE and RIF

Name of Province	Name of Weather Station	S1			S2			
		RIA	RIE	RIF	RIA	RIE	RIF	
Seoul	Seoul	0.47	0.54	0.47	0.66	0.65	0.44	
GG (Gyeonggido)	Incheon	0.31	0.39	0.41	0.52	0.48	0.35	
	Suwon	0.40	0.50	0.45	0.50	0.44	0.41	
	Ganghwa	0.51	0.62	0.52	0.52	0.47	0.44	
	Yangpyeong	0.43	0.44	0.41	0.64	0.67	0.47	
	Icheon	0.46	0.41	0.45	0.44	0.48	0.39	
GW (Gangwondo)	Cheorwon	0.42	0.52	0.49	0.60	0.53	0.38	
	Chuncheon	0.40	0.41	0.36	0.54	0.52	0.38	
	Wonju	0.35	0.41	0.33	0.45	0.52	0.41	
	Inje	0.25	0.27	0.34	0.41	0.48	0.33	
	Hongcheon	0.35	0.30	0.22	0.32	0.49	0.24	
	Gangneung	0.40	0.36	0.48	0.57	0.78	0.78	
	Sokcho	0.39	0.40	0.36	0.54	0.40	0.41	
	Taebaek	0.33	0.37	0.39	0.34	0.48	0.42	
	CN (Chungcheonnamdo)	Chungju	0.29	0.31	0.31	0.32	0.40	0.32
Cheongju		0.30	0.29	0.35	0.32	0.45	0.29	
Chupungryeong		0.18	0.23	0.24	0.27	0.33	0.28	
Jecheon		0.38	0.31	0.34	0.54	0.61	0.38	
Boeun		0.32	0.36	0.57	0.31	0.44	0.50	
Seosan		0.35	0.34	0.31	0.47	0.44	0.24	
CB (Chungcheonbukdo)	Daejeon	0.40	0.41	0.41	0.40	0.43	0.33	
	Cheonan	0.40	0.37	0.34	0.63	0.53	0.34	
	Boryeong	0.34	0.38	0.43	0.21	0.35	0.43	
	Buyeo	0.43	0.42	0.59	0.34	0.45	0.47	
	Geumsan	0.34	0.34	0.23	0.39	0.57	0.24	
JB (Jeollabokdo)	Gunsan	0.28	0.29	0.39	0.35	0.37	0.33	
	Jeonju	0.27	0.33	0.31	0.36	0.46	0.29	
	Buan	0.31	0.32	0.21	0.37	0.38	0.26	
	Imsil	0.29	0.29	0.28	0.44	0.55	0.31	
	Jeongeup	0.30	0.28	0.31	0.42	0.41	0.29	
	Namwon	0.36	0.29	0.20	0.47	0.50	0.26	
	Jangsu	0.42	0.32	0.27	0.51	0.59	0.28	
	Gwangju	0.26	0.35	0.40	0.54	0.59	0.43	
JN (Jeollanamdo)	Mokpo	0.21	0.23	0.33	0.31	0.23	0.31	
	Wando	0.53	0.46	0.59	0.74	0.59	0.64	
	Yeosu	0.61	0.39	0.25	0.69	0.50	0.26	
	Suncheon	0.54	0.46	0.39	0.61	0.63	0.37	
	Jangheung	0.53	0.43	0.60	0.62	0.64	0.61	
	Haenam	0.40	0.37	0.56	0.41	0.49	0.56	
GB (Gyeongsangbukdo)	Goheung	0.56	0.37	0.51	0.55	0.67	0.57	
	Ulsan	0.36	0.29	0.43	0.39	0.34	0.40	
	Ulsan	0.36	0.29	0.43	0.39	0.34	0.40	
	Changwon	0.67	0.42	0.38	0.75	0.56	0.35	
	Tongyeong	0.47	0.36	0.41	0.55	0.40	0.33	
	Jinju	0.58	0.42	0.32	0.67	0.58	0.29	
	Hapcheon	0.37	0.32	0.26	0.48	0.52	0.30	
	Miryang	0.38	0.29	0.25	0.36	0.30	0.26	
	Sancheong	0.57	0.47	0.46	0.70	0.67	0.48	
	Geoje	0.84	0.63	0.70	0.97	0.78	0.62	
	Namhae	0.91	0.59	0.42	0.93	0.80	0.53	
	JJ (Jeju)	Jeju	0.38	0.45	0.48	0.46	0.59	0.50
		Gosan	0.17	0.27	0.32	0.22	0.26	0.30
Seowipo		0.76	0.51	0.61	0.82	0.51	0.58	
Average		0.37	0.34	0.36	0.47	0.48	0.36	

**Table 7. Result of Rainfall Index (RI)**

Name of Province	S1				S2			
	RIA	RIE	RIF	ARI	RIA	RIE	RIF	ARI
Seoul	0.47	0.54	0.47	0.49	0.66	0.44	0.44	0.51
GG (Gyeonggido)	0.42	0.47	0.45	0.45	0.52	0.41	0.41	0.45
GW (Gangwondo)	0.36	0.38	0.37	0.37	0.47	0.42	0.42	0.44
CB (Chungcheonbokdo)	0.38	0.38	0.40	0.39	0.39	0.36	0.36	0.37
CN (Chungcheonnamdo)	0.30	0.30	0.35	0.32	0.37	0.34	0.34	0.35
JB (Jeollabokdo)	0.31	0.31	0.30	0.31	0.43	0.31	0.31	0.35
JN (Jeollanamdo)	0.48	0.39	0.46	0.44	0.56	0.48	0.48	0.51
GB (Gyeongsangbokdo)	0.23	0.20	0.23	0.22	0.37	0.24	0.24	0.28
GN (Gyeongsangnamdo)	0.57	0.42	0.41	0.47	0.65	0.40	0.40	0.48
JJ (Jeju)	0.44	0.41	0.47	0.44	0.50	0.46	0.46	0.47

**Table 8. Trends of Indicators by Mann-Kendall Method, The Trend is Significant at the 95% Confidence Level**

Category	Index	S1	S2
Amount	SDII (mm)	12	25
	TotalDR (mm)	1	7
	Prcp 80 (day)	6	9
	Prcp 50 (day)	5	8
Frequency	NWD (day)	3	4
Extreme	CWD (days)	4	4
	R3day (mm)	5	8
	AMDR (mm)	7	6
	AMRI (mm/hr)	7	10

우나 강수의 빈도와 극한 사상보다는 양적인 특성에 대한 경향성이 더 많음을 확인 할 수 있다. 확률강우량은 과거의 모든 자료를 고려해서 결정하므로 연도별 값을 산정하기 어렵다. 따라서 Freq100과 Freq200은 경향성 분석에서 제외하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 강수빈도와 극한 사상에 대한 기후변화의 관련성을 지수화하여 보다 객관적인 기준을 제시하고자 하

였다. 이에 우리나라 전역에 고르게 분포되어있는 65개의 관측소들을 대상으로 과거에서부터 기록된 강수량 자료를 사용하여 지표를 산출하였고 지표의 성격에 따라 크게 RIA, RIE, RIF로 분류하여 시공간적 증·감률과 각 지표의 경향성을 분석하여 결과를 제시하였다.

RIA, RIE, RIF의 평균값들이 과거에 비해 최근 10년간 각각 22.3%, 26.2%, 5.1% 증가하였음을 확인할 수 있었다. 즉, 총량 계열과 극치 계열에서의 증가는 앞선 연구들에서 분석된 결과와 마찬가지로 최근 기후 변화가 강수의 극한 사상에 영향을 미친 것으로 판단된다.

지표의 지역적 분석결과 경북 지역의 경우 평균 강우지표가 1960년부터 2000년까지는 0.22, 최근 10년은 0.28로 모두 최하위 값을 보인 반면 서울은 0.49, 0.51로 가장 높은 수치를 나타냈다. 또한 과거에 비해 최근 10년간 우리나라 전체 관측소에서 지표의 값들이 전반적으로 증가하는 것으로 나타났고 총량계열의 경우 인구 밀집지역인 서울에서 가장 큰 증가율을 보였다. 이는 서울과 수도권 지역의 홍수관리에 보다 많은 투자가 이루어져야 한다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

지표의 경향성 분석결과 경향성을 나타내는 관측소의 수가 과거에는 전체 관측소 65개 중 총량계열의 경우 24개, 극한계열의 경우 23개, 빈도계열의 경우는 3개로 분석되었다. 최근 10년간의 변화를 보면 극한 계열의 경향성이 다소 증가하였고 총량계열의 경우 약 2배 정도 증가하는 결과를 나타냈다. 이는 앞서 분석된 결과와 마찬가지로 기후변화에 의해 최근 강수사상이 변화하고 있음을 나타내는 결과로 판단된다.

본 연구를 통해 최근 시·공간에 따른 강우 지표별 변동 특성 및 경향성 분석 결과는 최근 기후변화에 따른 우리나라 물 관리를 지역적으로 기상인자의 특성에 맞도록 시행하는데 기초자료로 사용될 수 있다. 이러한 자료를 토대로 기후변화 여부를 지역적으로 접근하여 보다 구체적인 영향 분석과 대응 대책 마련에 힘을 쏟을 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 신입교수 연구정착비 지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

건설교통부 (2005). 삼교천수계 유역종합치수계획. 건설교통부.

경민수, 김형수, 김병식 (2009). “기후변화가 한반도 일 강수량의 빈도에 미치는 영향.” **한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집**, 한국수자원학회, pp. 129-133.

권영문, 박진원, 김태웅 (2009). “강우량의 증가 경향성을 고려한 목표연도 확률강우량 산정.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제29권, 제2B호, pp. 131-139.

권원태, 부경은, 허인혜 (2007). “한반도 최근 10년 기후특성.” **한국수자원학회 07 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회,

pp. 278-280

김보경, 김병식 (2009). “B2 기후변화시나리오와 극한지수를 이용한 기후변화가 극한 강우 발생에 미치는 영향분석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, Vol. 29, No. 1B, pp. 23-33.

김정희, 김태훈, 오재호 (2002). “한반도에서의 기후변동 특성 분석.” **한국수자원학회 2002년 학술발표회 논문집(II)**, 한국수자원학회, pp. 1242-1245.

문기호, 경민수, 김형수 (2010). “극한강우를 고려한 SIR알고리즘과 Bootstrap을 활용한 강우빈도해석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제4B호, pp. 367-377.

손태석, 신현석 (2010). “기후변화에 따른 강우 경향성 및 유출과의 탄성도 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제5B호, pp. 497-507.

오태석, 김은철, 문영일, 안재현 (2009). “빈도별 확률강우량을 초과하는 시간강우사상의 특성 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제29권, 제6B호, pp. 513-526

이상복, 김경덕, 허준행 (2004). “강수자료에 대한 변동성 및 경향성 해석.” **한국수자원학회 04학술 발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 696-700.

이재준, 장주영, 광창재 (2010). “각종 수문기상인자의 경년별 특성변화분석(I):기분통계량, 경향성을 중심으로.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제4호, pp. 409-419.

Goodess, C. (2005). STARDEX, Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions, UK.

Ekstrom, M., Fowler, H.J., Kilsby, C.G., and Jones, P.D. (2005). “New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies.” *Journal of Hydrology*, Vol. 300, Issues 1-4, pp. 234-251.

Flowler, H.J. (2005). “Are extremes increasing? Changing rainfall patterns in Yorkshire.” *The Yorkshire and Humberside Regional Review*, Vol. 15, No. 1, pp. 21-24.

Jung, I.W., Bae, D.H., and Kim, G. (2010). “Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea.” *International Journal of Climatology*, Vol. 31, No. 3, pp. 359-370.

Karl, T.R. and Eastering, D.R. (1999). “Climate extremes:

Selected review and future research directions.” *Climate Change*, Vol. 42, No. 10, pp. 309-325.

Kunkel, K.E., Pielke, Jr. R.A., and Changnon, S.A. (1999). “Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: A review.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 80, No. 3, pp. 437-442.

Mann, H.B. (1945). “Nonparametric test against trend.” *Econometrica*, Vol. 13, pp. 245-259.

Nicholls, J.M. (1996). “Economic and social benefits of

climatological information and services: A review of existing assessments.” *World Climate Applications and Services Programme*, WMO/TD No. 78, pp. 37.

Yue, S., and Hashino, M. (2003). “Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan.” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 39, Issue 3, pp. 587-596.

논문번호: 11-069	접수: 2011.06.27
수정일자: 2011.12.19/2012.01.19	심사완료: 2012.01.19