

강수지표의 시간에 따른 변화 조사

한봉구 · 정은성 · 이보람 · 성장현*+

서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과

* 국토교통부 영산강홍수통제소

Investigating Changes over Time of Precipitation Indicators

Han, Bong-Koo · Chung, Eun-Sung · Lee, Bo-Ram · Sung, Jang Hyun*+

Department of Civil Engineering, Seoul national university of science & technology

* Yeongsan river flood control office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

요약

강수지표의 변화시점(change point) 분석을 이용하여 기후의 특성이 점진적 또는 급진적으로 변화하는지에 대하여 조사하였다. 강수지표를 크게 총량(amount), 극치(extremes)와 빈도(frequency)로 구분하였고, 각각의 지수를 RIA(Rainfall Index for Amount), RIE(Rainfall Index for Extremes)와 RIF(Rainfall Index for Frequency)로 정의하였다. 계산된 강수지표의 시간에 따른 변화를 알아보기 위하여 BCP(Bayesian Change Point)를 적용하였다. 분석 결과, 남한지역의 강수지표는 연 강우일수와 200년 빈도 확률 강수량을 제외하고는 모두 증가하는 것으로 확인되었다. RIA는 울릉도 지점에서 변화지점의 유의성에 대해 매우 명확한 모습을 보였고 RIE는 제천, 서귀포와 구미 등에서 비교적 유의한 결과가 확인되었다. 또한, 1990년대 이후에 변동지점의 개수가 증가하고 있으며, 변동지점의 횡적인 폭 또한 비교적 넓어지고 있었다. 이러한 사실에 근거하여 볼 때 강수에 대한 정상성 가정에 대한 재고가 필요하리라 판단되었다.

핵심용어 : 강수지표, 변화시점, BCP

Abstract

Gradually or radically change how the characteristics of the climate characteristic using change point analysis for the precipitation indicators were investigated. Significantly the amount, extreme and frequency were separated by precipitation indicators, each indicator RIA(Rainfall Index for Amount), RIE(Rainfall Index for Extremes) and RIF(Rainfall Index for Frequency) was defined. Bayesian Change Point was applied to investigate changing over time of precipitation indicators calculated. As the result of analysis, precipitation indicators in South Korea was found to recently increase all indicators except for the annual precipitation days and 200-yr precipitation. RIA revealed that there was a very clear point of significance for the change in Ulleungdo. Relatively significant results for RIE were identified in Gumi, Jecheon and Seogwipo. Also, since the 1990s, an increase in the number of variation points, and the horizontal width of the fluctuation point was being relatively wider. Based on these results, rethink the precipitation on the assumption of stationarity was judged necessary.

Keywords : change point, BCP, precipitation indicators

1. 서 론

지난 100년(1906~2005)간 지구 평균기온은 0.74°C 상승하였으며, 최근 50년간 평균기온은 $1.3^{\circ}\text{C}/100\text{년}$ 의 변화율로 상승하여 과거 100년간 변화보다 2배 가량 빠른 상승 경향을 보였다. 또한 이러한 추세는 20세기보다 21세기에 더욱 커질 가능성이 높아서 온실가스 배출량에 따라 2100년의 지구 평균기온 변화는 $1.1\sim6.4^{\circ}\text{C}$ 에 이를 것으로 전망되고 있다(IPCC, 2007). 우리나라에는 지난 97

년(1912~2008)간 지구온난화(global warming)와 도시화의 영향으로 기온은 약 1.7°C 상승하였고, 강수량은 19% 증가 경향을 보였으며(National Institute of Meteorological Research, 2009), A1B 온실가스 배출 시나리오에 따른 기후변화 시나리오로부터 20세기(1971~2000)말에 비해 21세기(2071~2100)말의 한반도 기온은 4°C 상승하고, 강수량은 17% 증가할 것으로 전망되었다(National Institute of Meteorological Research, 2008).

이와 같이 극한사상(extreme event)의 크기뿐만 아니라

* To whom correspondence should be addressed.
jhsung1@korea.kr

일본, 인도와 호주 등 많은 지역에서 극한강수의 발생 빈도 또한 크게 증가되었음이 밝혀졌고(Iwashima and Yamamoto, 1993), 대부분의 선행 연구에서는 이러한 원인으로 기후변화(climate change)를 지목하고 있다.

상술한 기후변화의 정량적인 증거, 즉 비정상성(nonstationary)을 찾기 위하여 최근 들어서 다양한 연구가 진행되어져 왔다. 이러한 선행 연구는 첫째, Mann-Kendall 및 선형회귀분석(linear regression analysis)으로 대표되는 경향성(trend) 분석을 적용, 관측자료의 증가 또는 감소 경향을 찾는 연구(Kim et al., 2008; Jeong et al., 2008; Kim et al., 2011), 둘째, 관측자료를 일정기간으로 구분하여 그 기간 동안의 변화율로 기후변화의 증거를 찾는 연구로 구분된다. 경향성 분석을 적용한 사례로 Jeong et al.(2008)은 관측 연최대 일강우량과 일유출량 시계열에 경향성 분석을 실시하여 전 지구적으로 나타난 기온상승과 유사한 증가 경향성이 존재하는지 선형회귀분석과 Mann-Kendall 기법을 이용하여 검토하였다. Kim et al.(2008)은 강수량과 기온자료로부터 추출한 극한지수(extreme indices)를 이용하여 극한 기상사상의 통계적 변화 경향을 분석하였다. Kim et al.(2011)은 비교적 장기간(40년 이상)의 자료를 보유하고 있는 강릉, 서울, 대구, 부산, 광주와 인천 관측소의 24시간 연최대 강수자료를 대상으로 강수의 경향성 분석을 통해 비정상성 여부를 검토하여 비정상성 빈도해석 방법론을 제안하기도 하였다. 변화율을 대상으로 한 연구사례로 Lee et al.(2011)은 평년(1971~2000) 대비 최근 10년(2001~2010)에 연평균기온이 0.5°C 상승하였음을 제시하였다. Choi et al.(2004)은 1954년부터 1999년까지 최저기온의 최저값이 $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 변화율로 상승하고 있으며, 최저기온의 상승으로 온난화의 발생 빈도는 증가하고 서리일수는 감소하고 있음을 밝혔다. Choi and Park(2010)은 북위 36.5° 이북에 위치한 18개 지점의 1973년부터 2009까지 기온 자료를 이용한 중부지방의 한파 변화 연구에서 결빙일수(-1.6~-6.1일/10년), 혹한일수(-1.6~-7.3일/10년), 한파지속기간(-0.7~-2.7일/10년)이 감소하고 있음을 보였다.

기후는 지구온난화 등으로 인하여 앞선 사례와 같이 서서히 변하기도 하지만 기후 특성이 갑작스럽게 변화 할 수도 있다(Alley et al., 2003; Hare and Mantua, 2000). 기후의 장기적인 변화는 앞서 언급한 경향성 분석 또는 일정 기간의 변화율을 분석하여 충분히 확인할 수 있다. 하지만 극한사상은 한 번의 발생으로도 인명 피해나 재산 손실에 막대한 영향을 미칠 수 있으므로 기후변화에 대한 포괄적인 이해와 함께 극한사상의 급작스러운 변화를 정량적으로 이해하는 것 또한 중요하다. 하지만 최근까지의 국내 관련 연구동향은 경향성 변화를 탐색하는데 초점을 맞추고 있으며, 기후패턴의 급격한 변화와 관련된 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이 연구에서는

변화시점(change point) 분석을 이용하여 기후변화가 점진적으로 발생하는지 혹은 급작스럽게 나타나고 있는지를 강수 측면에서 파악하고자 한다. 이 연구의 2장에서는 자료와 강수지수, 그리고 BCP(Bayesian Change Point) 방법에 대해서 간단하게 언급하고, 3장에서는 강수지표 및 BCP 계산 결과를, 4장에서는 결론 및 향후연구를 서술하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 자료 및 강수지수

본 연구에서는 기상청에서 관할하는 관측소 중 65개의 지상 관측지점의 1963년부터 2010년까지의 자료를 대상으로 하였다(Fig. 1). 강수특성을 크게 총량(amount), 극치(extremes)와 빈도(frequency)로 분류하여 각각의 지수를 RIA(Rainfall Index for Amount), RIE(Rainfall Index for Extremes), RIF(Rainfall Index for Frequency)로 구분하고 RIA, RIE와 RIF 각각에 해당하는 지표(indicator)를 Table 1과 같이 구성하였다. RIA은 강수의 정량적인 측면에서 연 총 강수량인 TotalDR(Total 1year Duration Rainfall)과, 1 mm/day 이상의 강수량을 나타낸 날을 wet-day, 연 총 강수량을 연 강우일수로 나눈 SDII(Simple Daily Intensity Index) 값을 인자로 구분하였다. 또한 일 강수량이 50 mm 이상인 일(day)수인 Prcp50(Precipitation days over 50 mm/day)과 80 mm 이상인 일수인 Prcp80(Precipitation days over 80 mm/day)을 분석에 추가하였다. RIE은 연 최대 연속 강수일수인 CWD

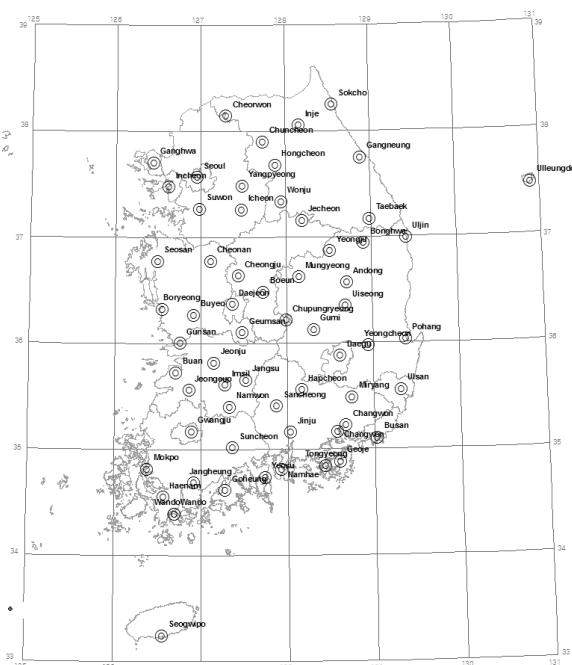


Fig. 1. Location of precipitation observatory

Table 1. Precipitation indicators

Precipitation Characteristics	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
	Prcep80	Annual number wet days over 80 mm/day	days
	Prcep50	Annual number wet days over 50 mm/day	days
Extreme	CWD	Annual maximum number of consecutive wet days	days
	R3day	Annual maximum 3-day total rainfall	mm
	AMDR	Annual maximum daily rainfall	mm
Frequency	NWD	Annual number of wet days (threshold of 1 mm)	days
	Freq200	200-yr frequency rainfall	mm

(Consecutive Wet Days)와 연 3일 최대 강수량인 R3day(Rainfall 3-day max)와 연 최대 일 강수량인 AMDR(Annual Maximum Daily Rainfall)로 구성하였다. RIF는 강수일수로 1 mm 이상 강수가 기록된 일수인 NWD(Number of Wet Days)가 사용되었다.

2.2 Bayesian Change Point

이 연구에서는 기후의 변화시점(change point)을 파악하기 위하여 BCP를 이용하였다. 이를 이용하면 기후값의 평균이나 분산의 변화가 발생한 시점을 직접적으로 파악할 수 있을 뿐만 아니라 관측지점의 이동이나 관측기기의 변동 등으로 인한 자료의 비균질성이 나타나는 시점을 찾아내고 기후변화의 확률적 영향을 파악하는 데 사용될 수 있다(Solow, 1987; Cox et al., 2002; Lund and Reeves, 2002; Elsner et al., 2004; Lee et al., 2012). Lupikasza (2009)는 극한강우 변화 지속성을 30년 단위기간의 증가 또는 감소의 경향성으로 나누어 분석하였고, 전체 기간 중 증가경향 추세선이 감소경향 추세선보다 한 개만 많아도 증가하는 경향으로 간주할 수 있다고 하였다. 우리나라에는 관측길이가 짧기 때문에 30년 단위기간으로 이동 또는 초기 30년치 이후에 1년씩 누적하여 경향성을 분석하기에는 어려움이 있다. 또한 베이지안 분석은 자료길이에 크게 영향을 받지 않는다는 이론적 장점이 있어서 이 연구에서는 베이지안 방법을 이용하였다.

BCP 방법은 베이즈 이론(Bayes's theorem)을 기본으로 하고 있어서 우선, 베이즈 이론의 기본을 서술하고, BCP 방법을 설명하도록 하겠다. 베이즈 이론은 새로운 정보에 의해 사건 A 의 발생확률을 알 때, 이를 근거로 B 가 발생할 조건부 확률 $P(B|A)$ 를 구하는 방법이다. 여기서 사전확률(prior probability)은 새로운 정보가 주어지

기 이전에 B 가 발생할 확률 $P(B)$ 를 의미하고 사후 확률(posterior probability)은 새로운 정보가 주어진 이후에 사상 B 가 발생할 확률 $P(B|A)$ 를 의미한다.

본 연구에서 적용된 BCP 모형은 Barry and Hartigan (1993)이 제안한 모형으로 정규분포를 따르는 확률표본 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 내에 변화시점이 존재하는지를 검토하기 위한 방법론이다. BCP모형은 PPM(Product Partition Model)을 근거로 하고 있다. 본 논문에서는 BH(Barry and Hartigan)의 방법의 핵심만을 설명하겠고, Hwang et al.(2010)의 논문 내용을 일부 인용하였음을 먼저 밝힌다. PPM은 해당 분리구간 안에서는 일정한 평균을 가지는 연속된 블록의 집합으로 구성된 분리구간(partition), ρ 가 존재한다. 이 모델의 관측값들은 독립적인 위치 i 에서의 평균의 μ_i 이고 분산이 σ^2 , 즉, $N(\mu_i, \sigma^2)$ 인 독립분포를 가지고 각각이 독립적인 위치 i 에서 변화시점의 확률을 p 로 가정한다. μ_{ij} (시점 $i+1$ 에서 j 까지의 블록의 평균)의 사전분포는 $N(\mu_0, \sigma_0^2 / (j-i))$ 로 결정된다. 이식으로부터 분산은 블록의 길이와 관련이 있음을 알 수 있다. BH는 임의의 분리구간 ρ 의 평균 μ_r ($r \in i, j \in \rho$)을 구할 수 있다(식 (1)).

$$\mu_r = (1 - \omega) \overline{X}_{ij} + \omega \mu_0 \quad (1)$$

여기서 $\omega = \sigma^2 / (\sigma_0^2 + \sigma^2)$ 이다. BH는 네 개의 매개변수와 분리구간 ρ 에 대한 독립 사전확률을 다음과 같이 제시하였고, BH 모델은 결국 이 추정식의 매개변수인 $\mu_0, p, \sigma^2, \omega = \sigma^2 / (\sigma_0^2 + \sigma^2)$ 에 대한 독립 사전확률을 구하는 문제로 이어진다.

$$f(\mu_0) = 1, -\infty \leq \mu_0 \leq \infty \quad (2)$$

$$f(\sigma^2) = 1/\sigma^2, 0 \leq \sigma^2 \leq \infty \quad (3)$$

$$f(p) = 1/p_0, 0 \leq p \leq p_0 \quad (4)$$

$$f(\omega) = 1/\omega_0, 0 \leq \omega \leq \omega_0 \quad (5)$$

그리고,

$$f(p) = \frac{1}{p_0} \left[\int_o^{p_0} p^{b-1} (1-p)^{n-b} dp \right] \quad (6)$$

여기서 p_0 와 ω_0 는 사전에 선정된 0부터 1까지의 값이고, b 는 분리구간 내 블록의 수이다. 이 알고리즘은 분리구간, $\rho = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ 으로 시작되는데, n 은 관측치의 수이고, $U_i = 1$ 은 $i+1$ 위치가 변화시점을 의미한다. n 보다 작은 모든 i 에 대하여 U_i 는 0으로, $U_n \equiv 1$ 로 초기화된다. 마코프 연쇄(Makov Chain; MC)의 각 단계에서, 각각의 위치 i 에서, U_i 의 값은 주어진 자료와 해당 분리구간의 U_i 의 조건분포로부터 추정하고, $i+1$ 위치에서 변화시점의 조건부 확률에 대한 전이확률 p 는 BH가 제시한 식 (7)과 같은 간편한 비율법으로 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{p_i}{1-p_i} &= \frac{P(U_i=1|\mathbf{X}, U_j, j \neq i)}{P(U_i=0|\mathbf{X}, U_j, j \neq i)} \\ &= \frac{\left[\int_o^{p_0} p^b (1-p)^{n-b-1} dp \right] \left[\int_o^{\omega_0} \frac{\omega^{b/2}}{(W_1 + B_1 \omega)^{(n-1)/2}} d\omega \right]}{\left[\int_o^{p_0} p^{b-1} (1-p)^{n-b} dp \right] \left[\int_o^{\omega_0} \frac{\omega^{(b-1)/2}}{(W_0 + B_0 \omega)^{(n-1)/2}} d\omega \right]} \quad (7) \end{aligned}$$

여기서 W_0, B_0, W_1 과 B_1 은 각각 $U_i=0$ 과 $U_i=1$ 일 때 얻어지는 블록내와 블록간의 제곱합이다. 그리고 \mathbf{X} 는 자료계열이다. 조절 매개변수 p_0 와 ω_0 는 0부터 1사이에서 선택하게 되고 각각의 반복과정을 통하여 사후평균은 현재의 분리구간 상에서 조건부로 생성된다. 분리구간의 특정 위치에서의 변화시점에 대한 상대화률(odds)은 식 (8)과 같이 표현할 수도 있다.

$$\begin{aligned} \frac{p_i}{1-p_i} &= \frac{P(U_i=1|\mathbf{X}, U_j, j \neq i)}{P(U_i=0|\mathbf{X}, U_j, j \neq i)} \\ &= \left(\frac{W_0}{W_1} \right)^{(n-b-2)/2} \cdot \left(\frac{B_0}{B_1} \right)^{(b+1)/2} \cdot \sqrt{\frac{W_1}{B_1}} \\ &\cdot \frac{\int_0^{B_1 \omega_0 / W_1} p^{(b+2)/2} (1-p)^{(n-b-3)/2} dp}{\int_0^{B_0 \omega_0 / W_1} p^{(b+1)/2} (1-p)^{(n-b-2)/2} dp} \end{aligned}$$

$$\cdot \frac{\int_o^{p_0} p^b (1-p)^{n-b-1} dp}{\int_o^{p_0} p^{b-1} (1-p)^{n-b} dp} \quad (10)$$

임의의 분리구간 ρ 와 자료계열 \mathbf{X} 에 대하여, 식 (3)과 식 (9)로 부터 MCMC (Makov Chain Monte Carlo)을 통하여 사후평균값이 추정된다(황석환 등, 2010).

3. 분석 결과

3.1 강수지수

남한의 RIA에 해당하는 SDII, TotalDR, Prcp50과 Prcp80의 관측시작부터 2000년(S1)까지와 2001년부터 2010년까지(S2)의 평균값을 계산하였다(Table 2). 강수지표 증감의 공간분포는 Fig. 3과 같으며 지점별 최대, 최소와 평균은 Table 3과 같다. S1 대비 S2 강수지표별 증감을 보면 SDII 최대는 광주에서 최소는 순천에서 나타났으며 10.2% 감소하였다. TotalDR 최대는 울릉도에서 최소는 보령에서 확인되었고 5.4% 감소하였다. Prcp50 최대는 TotalDR과 마찬가지로 울릉도에서 확인되었으며 과거대비 111.1% 증가하였다. Prcp50의 최소는 보령지점에서 확인되었고 16.1% 감소하였다. Prcp80 최대는 울릉도에서 나타났고 증가율은 약 250%였다. 마찬가지로 최소는 보은에서 나타났고 과거대비 40% 감소하였다(Fig. 3, Table 3).

AMDR의 관측시작부터 2000년(S1)까지와 2001년부터 2010년까지(S2)의 평균값을 계산하였다(Table 4). 강수지표 증감의 공간분포는 Fig. 4와 같으며 지점별 최대, 최소와 평균은 Table 5와 같다. S1 대비 S2 강수지표별 증감을 보면 CWD의 최대 증가는 금산에서 발생하여 40.9% 증가하였다. 최소는 철원에서 나타났으며 16.4% 감소하였다. R3day 최대는 안동에서 최소는 통영에서 확인되었고 14.6% 만큼 감소하였다. AMDR 최대는 고흥에서 발생하여 과거대비 67.5% 증가하였다. AMDR의 최소는 부여에서 확인되었으며 20.2% 만큼 감소하였다(Fig 4, Table 5).

남한의 RIF에 해당하는 NWD의 관측시작부터 2000년(S1)까지와 2001년부터 2010년까지(S2)의 평균값을 계산하였다(Table 6). 강수지표 증감의 공간분포는 Fig. 5와 같으며 지점별 최대, 최소와 평균은 Table 7과 같다. S1 대비 S2 강수지표별 증감을 보면 NWD의 최대는 태백에서 7.1% 증가가, 최소는 대전에서 7.8% 감소가 확인되었다. Freq200 최대는 강릉에서 나타났으며 최소는 철원에서 확인되었고 19.2% 감소하였다(Fig 5, Table 7).

Table 2. RIA value in precipitation observatory according to period

Province	Station	RIA							
		SDII (mm/day)		TotalDR (mm/year)		Prep50 (days)		Prep80 (days)	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Seoul	Seoul	17.5	20.7	1379.9	1548.4	1.8	2.1	0.8	1.0
GG	Incheon	16.3	19.4	1176.6	1306.1	1.3	1.8	0.6	0.9
	Suwon	16.6	18.7	1309.8	1350.1	1.6	1.8	0.7	0.8
	Ganghwa	19.4	20.1	1316.7	1345.2	1.8	1.9	0.9	0.8
	Yangpyeong	17.5	20.5	1300.7	1524.8	1.7	2.1	0.7	1.0
	Icheon	17.4	18.7	1329.2	1335.7	1.9	1.6	0.7	0.7
GW	Cheorwon	17.1	19.4	1335.7	1463.6	1.6	2.1	0.7	1.0
	Chuncheon	16.9	18.5	1286.5	1439.6	1.6	2.1	0.7	0.8
	Wonju	15.8	17.3	1290.9	1396.0	1.5	1.7	0.6	0.7
	Inje	14.9	17.1	1114.2	1317.8	1.3	1.4	0.5	0.8
	Hongcheon	16.3	15.9	1229.0	1230.5	1.5	1.5	0.7	0.5
	Gangneung	17.0	19.4	1381.4	1545.7	1.5	1.9	0.6	0.8
	Sokcho	17.1	18.6	1342.0	1454.3	1.6	1.9	0.6	0.9
	Taebaek	16.5	15.9	1260.2	1349.3	1.5	1.6	0.5	0.4
CB	Chungju	15.6	15.8	1187.8	1241.6	1.4	1.4	0.5	0.5
	Cheongju	15.0	16.3	1225.8	1253.0	1.4	1.5	0.5	0.4
	Chupungryeong	14.1	14.8	1149.4	1224.4	1.1	1.3	0.3	0.4
	Jecheon	16.3	18.4	1295.0	1487.8	1.6	2.1	0.6	0.8
	Boeun	15.5	15.9	1260.2	1316.6	1.5	1.6	0.5	0.3
CN	Seosan	15.9	17.4	1236.4	1322.1	1.5	1.7	0.6	0.9
	Daejeon	16.3	17.4	1373.2	1360.3	1.6	1.6	0.6	0.6
	Cheonan	17.1	20.6	1291.3	1526.6	1.6	2.1	0.7	0.9
	Boryeong	16.0	15.0	1237.0	1170.7	1.5	1.1	0.6	0.4
	Buyeo	17.2	16.4	1334.2	1292.8	1.7	1.5	0.7	0.5
	Geumsan	15.6	15.9	1258.8	1328.6	1.5	1.7	0.6	0.6
JB	Gunsan	15.2	16.0	1199.5	1251.4	1.5	1.7	0.5	0.5
	Jeonju	14.7	15.5	1294.3	1314.3	1.3	1.5	0.4	0.6
	Buan	15.5	16.4	1219.4	1335.0	1.4	1.6	0.6	0.5
	Imsil	14.6	16.4	1315.6	1408.9	1.5	1.9	0.4	0.6
	Jeongeup	15.1	15.7	1286.2	1398.6	1.5	1.8	0.4	0.6
	Namwon	15.7	17.0	1313.7	1454.8	1.6	1.8	0.6	0.7
	Jangsu	16.3	16.9	1422.1	1507.8	1.7	2.0	0.6	0.8
JN	Gwangju	10.7	17.2	1339.6	1482.4	1.6	2.1	0.5	0.8
	Mokpo	14.0	15.7	1114.2	1230.5	1.1	1.5	0.5	0.5
	Wando	18.9	20.6	1456.8	1648.2	1.9	2.6	0.8	1.0
	Yeosu	18.9	20.0	1407.9	1447.8	1.8	2.0	1.3	1.4
	Suncheon	19.7	17.7	1487.6	1603.0	1.9	2.4	0.7	0.9
	Jangheung	18.4	20.1	1458.8	1591.2	1.9	2.0	0.9	0.9
	Haenam	16.3	17.1	1305.8	1369.0	1.7	1.5	0.7	0.7
	Goheung	19.7	20.8	1452.4	1478.3	1.9	1.9	0.9	0.7
GB	Uljin	14.8	16.7	1102.4	1209.8	1.8	2.1	0.8	1.0
	Ulleungdo	11.9	15.2	1245.4	1665.1	0.9	1.9	0.2	0.7
	Andong	12.5	15.8	843.8	1096.1	0.8	1.2	0.2	0.3
	Pohang	15.1	16.9	1107.6	1226.1	1.1	1.3	0.3	0.5
	Daegu	14.9	16.3	1029.2	1088.0	0.9	1.3	0.3	0.4
	Bonghwa	16.3	16.9	1178.7	1280.2	1.5	1.5	0.4	0.6
	Yeongju	17.7	18.1	1237.0	1355.2	1.5	1.7	0.5	0.8
	Mungyeong	16.4	17.8	1208.4	1342.6	1.5	2.0	0.4	0.7
	Yeongdeok	15.6	17.8	1035.3	1153.9	1.1	1.4	0.3	0.4
	Uiseong	14.4	17.2	972.2	1140.8	1.0	1.5	0.3	0.4
	Gumi	14.9	17.0	1013.9	1155.3	1.0	1.3	0.2	0.5
	Yeongcheon	15.4	15.7	1005.3	1088.6	1.0	1.1	0.3	0.3
GN	Busan	19.7	21.3	1487.2	1554.4	2.0	2.3	0.7	0.9
	Ulsan	17.4	17.9	1280.8	1263.1	1.5	1.6	0.5	0.6
	Changwon	21.3	22.8	1489.7	1614.1	2.3	2.3	1.0	1.1
	Tongyeong	18.6	20.6	1427.8	1461.3	1.8	2.0	0.6	0.7
	Jinju	19.8	21.8	1508.9	1563.9	2.2	2.0	0.7	1.0
	Hapcheon	17.7	18.4	1238.6	1320.5	1.6	1.8	0.5	0.8
	Miryang	17.8	17.3	1234.0	1226.6	1.6	1.5	0.6	0.6
	Sancheong	19.8	21.6	1479.1	1606.8	1.9	2.2	0.8	1.0
JJ	Geoje	22.9	24.0	1797.1	1869.4	2.6	3.0	1.2	1.4
	Namhae	23.8	24.6	1789.5	1854.1	2.8	2.9	1.3	1.2
	Seowipo	19.4	21.1	1815.0	1933.4	2.6	2.7	1.1	1.0
JJ	Jeju	14.8	17.1	1436.5	1516.2	1.4	1.6	0.7	0.7
	Gosan	13.8	15.3	1094.7	1205.4	1.0	1.2	0.4	0.3

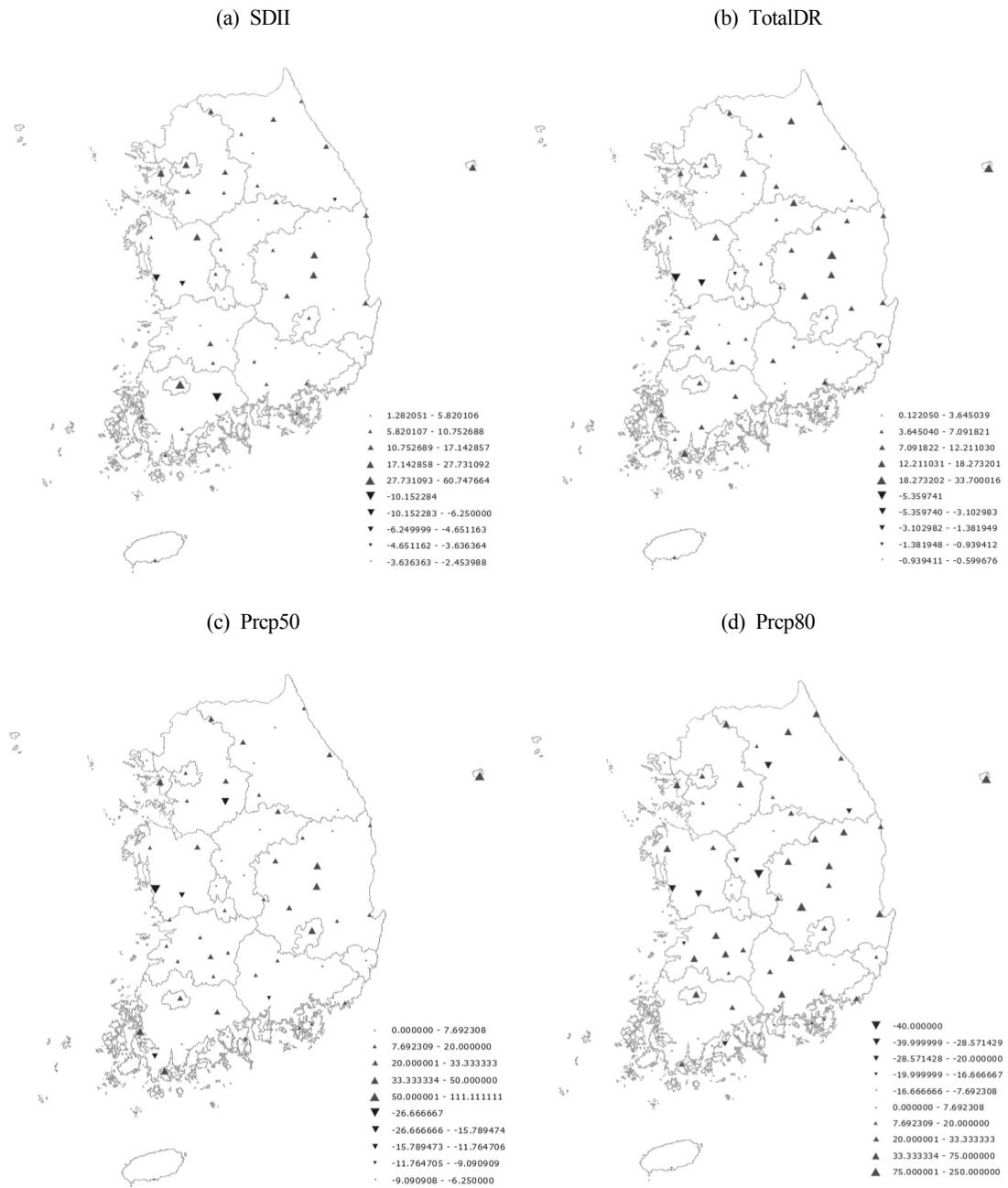


Fig. 3. RIA variation according to precipitation observatory

Table 3. Minimum, maximum and mean value of RIA according to precipitation observatory

	RIA [%]		
	Min	Max	Mean
SDII	Suncheon (-10.2)	Gwangju (60.7)	8.8
TotalDR	Boryeong (-5.4)	Ulleungdo (33.7)	7.9
Prcp50	Boryeong (-26.7)	Ulleungdo (111.1)	16.1
Prcp80	Boeun (-40.0)	Ulleungdo (250.0)	25.7

Table 4. RIE value in precipitation observatory according to period

Province	Station	RIE					
		CWD (days)		R3day (mm/3days)		AMDR (mm/day)	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
Seoul	Seoul	6.2	5.8	218.2	249.5	151.6	174.6
GG	Incheon	5.3	5.5	195.2	211.9	131.4	149.0
	Suwon	6.0	5.4	219.1	226.7	147.1	136.1
	Ganghwa	5.3	5.0	262.0	224.2	174.6	152.0
	Yangpyeong	5.7	6.0	215.7	282.8	136.4	197.0
	Icheon	5.4	5.3	215.5	216.4	136.9	161.2
GW	Cheorwon	6.5	5.4	247.9	248.1	145.9	149.9
	Chuncheon	6.1	5.8	217.4	249.2	138.4	159.1
	Wonju	5.5	5.8	208.4	237.3	128.8	160.7
	Inje	5.4	5.9	182.2	245.1	122.6	148.2
	Hongcheon	5.3	6.0	182.3	196.9	122.5	132.7
	Gangneung	6.1	6.3	212.8	296.7	142.9	232.3
	Sokcho	6.1	5.6	227.5	218.6	149.3	157.1
CB	Taebaek	5.8	7.2	212.2	209.3	140.0	132.8
	Chungju	5.3	6.5	182.7	187.4	118.3	120.4
	Cheongju	5.2	6.2	163.4	202.3	115.5	123.2
	Chupungryeong	5.8	7.0	155.3	163.0	104.5	115.4
	Jecheon	5.2	5.9	185.5	253.1	123.7	160.2
	Boeun	5.7	7.0	190.1	170.5	131.8	106.3
	Seosan	5.4	5.5	191.8	185.1	127.1	131.0
CN	Daejeon	5.7	6.7	189.6	189.4	130.0	118.4
	Cheonan	5.4	5.4	196.5	267.8	128.3	163.4
	Boryeong	5.3	4.9	180.1	162.4	131.9	125.3
	Buyeo	5.4	7.1	181.4	173.4	141.5	112.9
	Geumsan	6.0	8.4	177.2	191.7	120.7	117.9
	Gunsan	5.6	5.8	161.7	168.1	118.4	111.5
	Jeonju	6.0	5.9	162.1	177.9	111.3	125.1
JB	Buan	5.2	5.5	174.8	184.2	119.7	118.4
	Imsil	5.9	7.1	154.1	211.4	105.8	133.2
	Jeongeup	5.4	6.0	163.5	164.8	108.4	111.3
	Namwon	5.2	7.1	175.3	178.3	108.9	133.6
	Jangsu	6.1	8.2	165.7	222.8	113.9	123.4
	Gwangju	5.6	7.1	179.9	193.1	123.3	148.0
	Mokpo	5.1	4.6	161.5	149.7	115.8	114.8
JN	Wando	5.1	7.2	220.5	221.8	162.3	161.6
	Yeosu	5.6	6.4	192.6	201.3	135.7	155.3
	Suncheon	5.8	7.2	214.5	221.1	149.1	166.9
	Jangheung	5.2	7.1	213.2	235.5	162.0	165.6
	Haenam	5.3	6.2	194.3	207.2	142.4	152.2
	Goheung	4.9	6.3	217.9	232.2	107.9	180.8
	Ujin	5.3	5.9	153.9	182.4	102.8	129.0
GB	Ulleungdo	6.8	8.1	122.7	176.4	93.8	112.4
	Andong	4.6	6.0	108.1	160.0	78.8	100.4
	Pohang	5.1	5.6	162.2	166.7	115.6	123.2
	Daegu	5.1	5.7	146.6	179.5	97.8	118.4
	Bonghwa	5.4	6.6	184.6	211.5	128.9	141.6
	Yeongju	5.2	7.3	172.0	190.7	120.1	119.3
	Mungyeong	5.4	6.3	145.7	187.1	101.3	114.5
GN	Yeongdeok	4.6	5.2	137.8	174.4	101.0	131.3
	Uiseong	5.1	5.2	132.8	164.0	92.8	111.9
	Gumi	5.5	5.8	137.4	170.4	95.0	121.2
	Yeongcheon	5.0	5.1	136.7	139.3	101.9	99.7
	Busan	5.5	7.1	202.6	214.3	149.9	146.1
	Ulsan	5.0	5.1	188.2	193.2	132.2	139.9
	Changwon	5.8	6.1	200.4	219.6	147.0	159.3
JJ	Tongyeong	5.2	6.3	195.7	167.2	142.8	127.7
	Jinju	5.6	6.8	201.5	216.6	138.8	172.8
	Hapcheon	5.9	6.4	173.0	196.3	119.8	150.2
	Miryang	5.2	5.6	173.0	171.0	127.4	117.5
	Sancheong	5.9	7.0	225.7	243.5	154.1	193.7
	Geoje	6.5	7.9	255.5	221.1	184.6	178.3
	Namhae	5.8	7.0	248.1	274.9	176.1	218.5
JJ	Jeju	6.2	6.2	200.2	219.8	143.6	172.0
	Gosan	5.3	5.8	170.6	152.1	132.4	102.8
	Seowipo	6.4	6.8	206.7	210.6	154.0	147.0

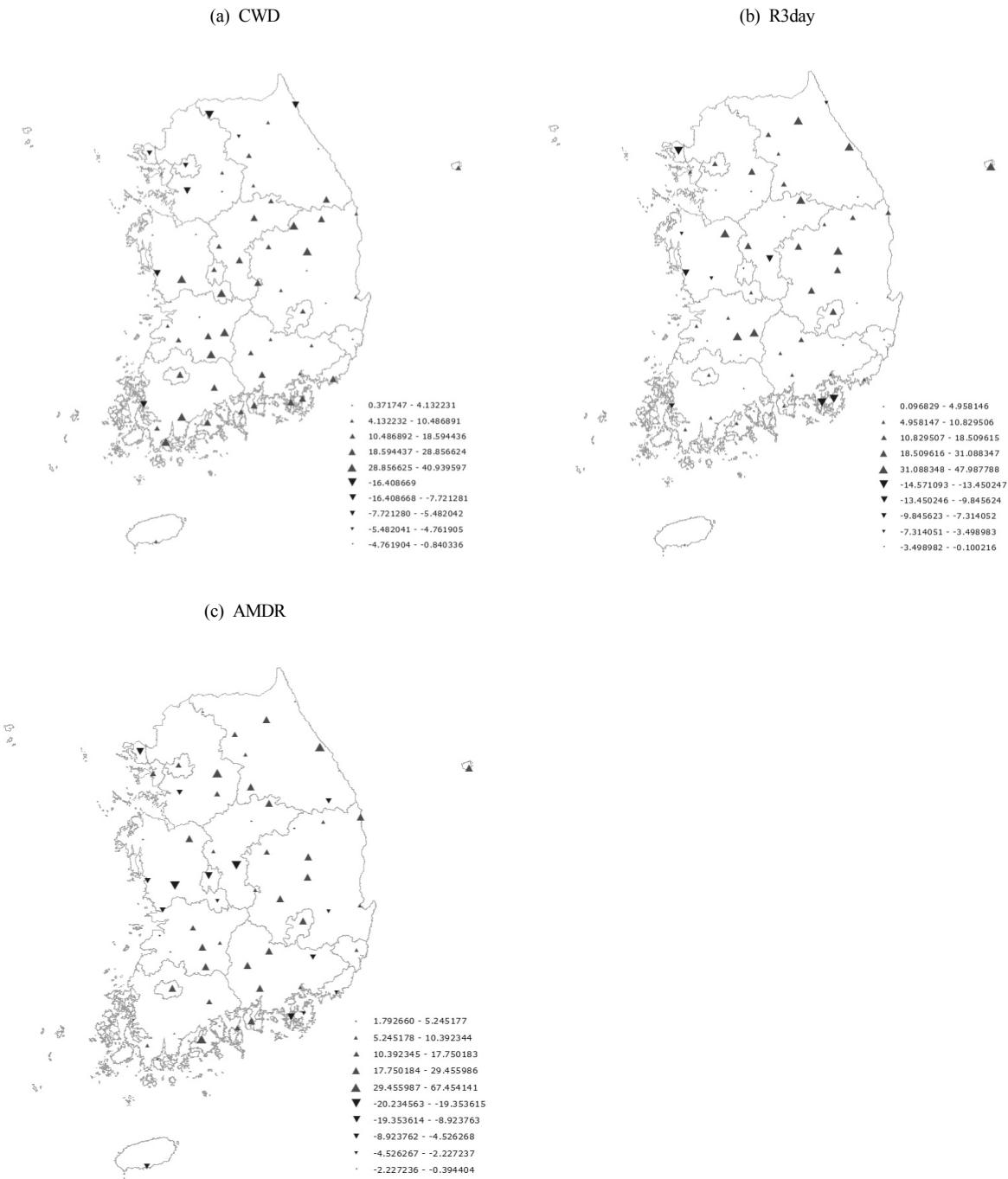


Fig. 4. RIE variation according to precipitation observatory

Table 5. Minimum, maximum and mean value of RIE according to precipitation observatory

	RIE [%]		
	Min	Max	Mean
CWD	Cheorwon (-16.4)	Geumsan (40.9)	13.3
R3day	Tongyeong (-14.6)	Andong (48.0)	10.1
AMDR	Buyeo (-20.0)	Goheung (67.5)	10.8

Table 6. RIF value in precipitation observatory according to period

Province	Station	RIF			
		NWD (days)		Freq200yr (mm/day)	
		S1	S2	S1	S2
Seoul	Seoul	78.6	74.9	459.6	444.8
GG	Incheon	72.0	67.7	479.5	427.2
	Suwon	78.8	73.2	435.2	440.7
	Ganghwa	67.8	67.0	580.6	496.3
	Yangpyeong	74.4	75.4	446.3	457.4
	Icheon	76.5	72.3	374.3	437.7
GW	Cheorwon	78.5	75.8	512.5	414.3
	Chuncheon	75.8	78.6	412.0	334.9
	Wonju	81.6	80.8	342.1	407.4
	Inje	74.4	77.5	391.3	338.3
	Hongcheon	76.1	77.1	276.4	290.1
	Gangneung	81.6	80.2	471.6	801.0
	Socho	78.6	79.0	353.3	399.5
	Taebaek	78.1	83.7	401.5	394.2
	Chungju	76.6	78.8	331.9	330.5
	Cheongju	81.6	76.1	397.8	366.0
CB	Chupungryeong	81.6	82.1	267.7	302.7
	Jecheon	79.6	80.2	354.0	367.1
	Boeun	81.1	81.9	615.4	541.6
	Seosan	78.6	75.2	310.1	282.5
	Daejeon	84.4	77.8	396.9	366.2
CN	Cheonan	75.5	75.6	382.4	353.4
	Boryeong	77.9	77.9	459.5	440.6
	Buyeo	77.8	78.0	669.0	542.6
	Geumsan	80.9	83.1	251.8	239.9
	Gunsan	80.2	77.8	386.3	359.0
JB	Jeonju	87.7	84.5	257.3	282.2
	Buan	78.6	81.0	239.2	280.0
	Imsil	89.4	85.4	270.8	315.7
	Jeongeup	85.6	88.6	326.2	286.7
	Namwon	82.9	84.8	210.7	248.7
	Jangsu	86.5	88.4	251.2	241.0
	Gwangju	88.0	86.2	364.0	405.8
JN	Mokpo	78.8	78.9	390.0	369.2
	Wando	76.7	80.2	563.9	599.1
	Yeosu	75.3	71.9	287.3	317.6
	Suncheon	84.1	81.7	345.9	331.6
	Jangheung	79.2	79.5	684.7	630.7
	Haenam	80.0	80.3	655.6	596.1
	Goheung	73.7	71.0	551.2	640.2
GB	Uljin	78.6	74.9	459.6	444.8
	Ulleungdo	104.4	109.4	322.4	307.9
	Andong	69.3	69.1	194.7	185.0
	Pohang	73.2	72.0	540.2	515.2
	Daegu	69.0	66.2	282.8	276.3
	Bonghwa	73.2	75.9	401.5	403.6
	Yeongju	70.6	74.3	378.6	342.8
	Mungyeong	73.6	74.9	184.3	207.3
	Yeongdeok	66.8	64.3	330.6	361.4
	Uiseong	67.8	65.5	187.1	236.8
GN	Gumi	67.9	67.2	261.7	280.8
	Yeongcheon	65.8	68.8	205.5	205.3
	Busan	75.0	72.7	430.5	442.9
	Ulsan	73.2	70.6	496.6	488.6
	Changwon	69.1	70.9	453.8	412.6
	Tongyeong	76.1	71.1	443.6	404.3
	Jinju	75.3	71.3	348.0	333.0
	Hapcheon	69.6	71.0	348.8	367.0
	Miryang	68.9	70.7	370.0	343.5
	Sancheong	74.0	73.4	484.7	473.7
JJ	Geoje	78.1	77.2	676.9	603.4
	Namhae	74.8	74.6	399.1	482.7
	Jeju	97.3	88.5	336.2	389.1
Gosan	Gosan	78.7	78.7	322.6	310.2
	Seowipo	93.9	92.2	515.6	489.5

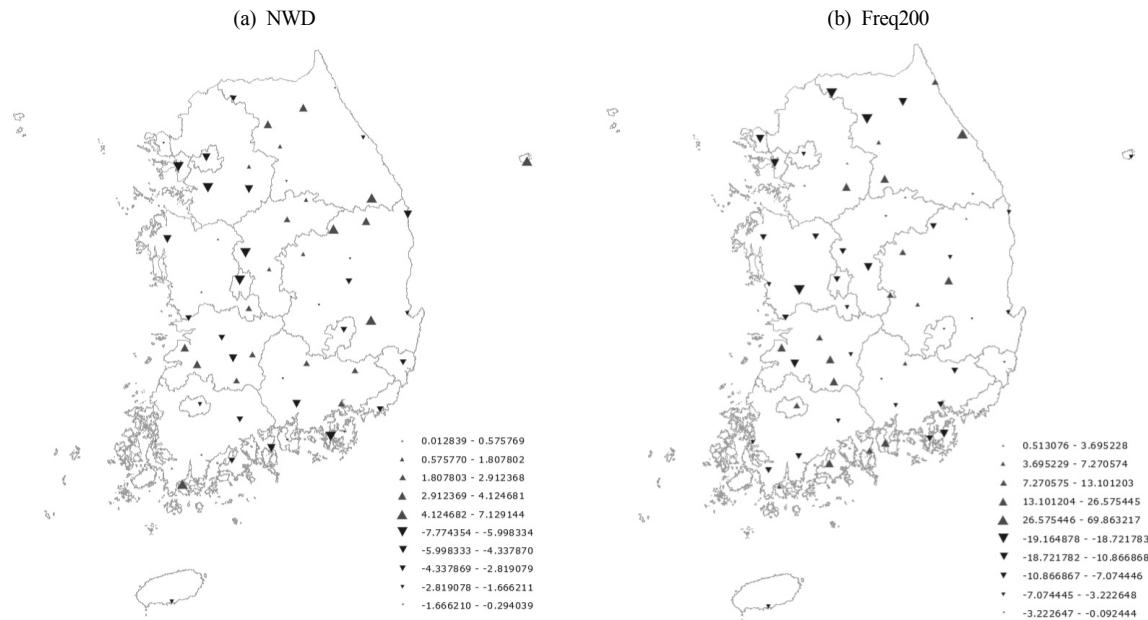


Fig. 5. RIF variation according to precipitation observatory

Table 7. Minimum, maximum and mean value of RIF according to precipitation observatory

	RIF [%]		
	Min	Max	Mean
NWD	Daejeon (-7.8)	Taebaek (7.1)	-0.7
Freq200	Cheorwon (-19.2)	Gangneung (69.9)	0.7

3.2 Bayesian change point

본 논문에서는 BCP 방법 적용을 위하여 BCP package (Erdman and Emerson, 2007)를 이용하였으며, 결과 그림에서 가로축은 관측기간을, 세로축은 사후평균(posterior mean)과 사후확률(posterior probability)이다. 사후확률의 변화학률 해석에 있어 사후평균이 변화시점 전후로 장기적 지속성이 없을 때, 일시적 사후변화학률의 변화로 볼 수 있고, 이 변화시점은 “변동시점”으로 본다. 그리고 사후평균이 변화시점 전후로 장기적 지속성이 있는 경우에는 장기적 사후확률의 변화이며, 이는 “변화시점”이 되겠다.

RIA에 해당하는 SDII, TotalDR, Prcp50과 Prcp80을 65개 대상관측소의 관측시작부터 2010년까지의 평균값에 BCP를 적용하고, SDII의 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 6). Fig. 6은 변동 및 변화시점이 발견된 울릉도와 구미 지점의 변화에 대한 사후확률과 평균을 보여주고 있다. 울릉도와 구미에서 뚜렷한 변화시점이 발견되었으며, 울릉도는 1960년대 초반

에 감소 변화시점이 관측되어 1970년대 중반까지 지속되다가 증가 지속성을 갖는 변화시점이 발견되고 그 평균값이 유지되었으며 2000년대를 전후로 하여 산발적인 변동시점을 나타냄을 확인하였다. 구미는 1980년대 초반과 1990년대 초반에 있어 작은 폭의 증가 변화시점 이후에 그 값이 꾸준히 증가해 왔으며 2000년대 후반 감소의 변화시점이 관측되어 사후평균값의 감소를 확인하였다.

65개 대상관측소의 관측시작부터 2010년까지의 TotalDR 평균값에 BCP를 적용하고 그 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 7). 대상관측소 중 유의한 결과를 보인 지점은 울릉도와 서산으로 확인이 되었으며, 울릉도는 그 변화 양상이 SDII와 매우 비슷한 특성을 나타내었다. 서산은 관측시작부터 뚜렷한 변화 및 변동시점을 나타내지 않다가 2000년대 후반에 다소 작은 증가 변동시점을 보인 것으로 확인되었지만 자료의 검정기간에 있어 2010년 이후의 자료가 추가되어 연구가 진행된다면 보다 더 명확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

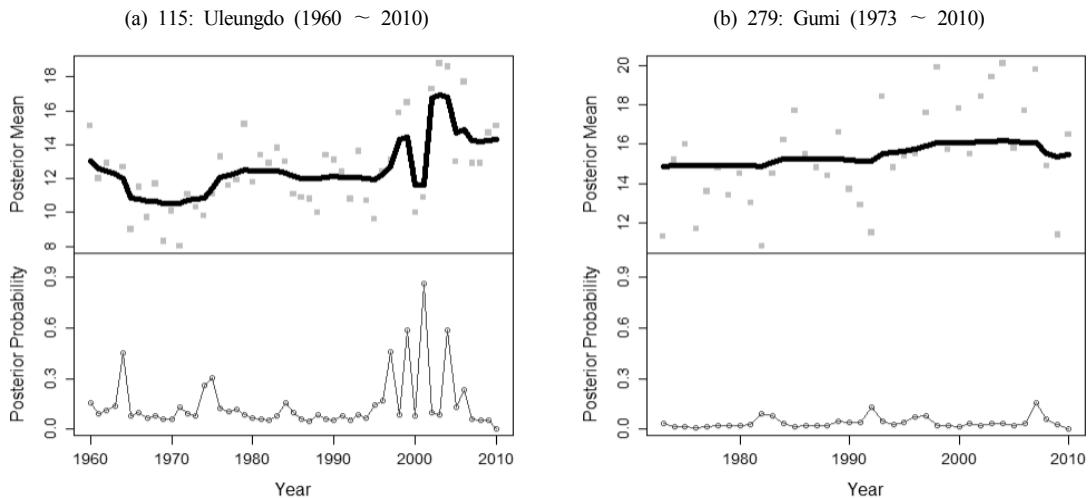


Fig. 6. Estimated posterior means and posterior probabilities (SDII)

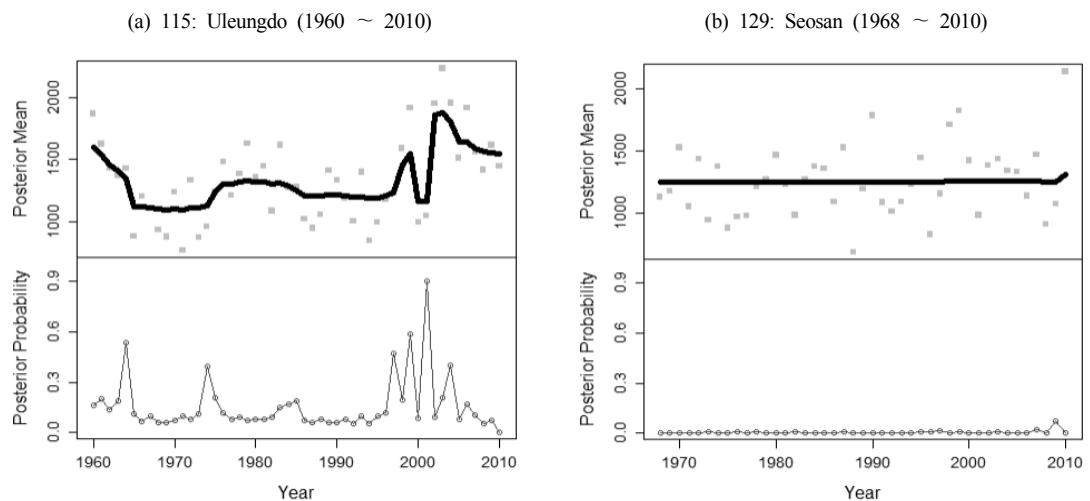


Fig. 7. Estimated posterior means and posterior probabilities (TotalDR)

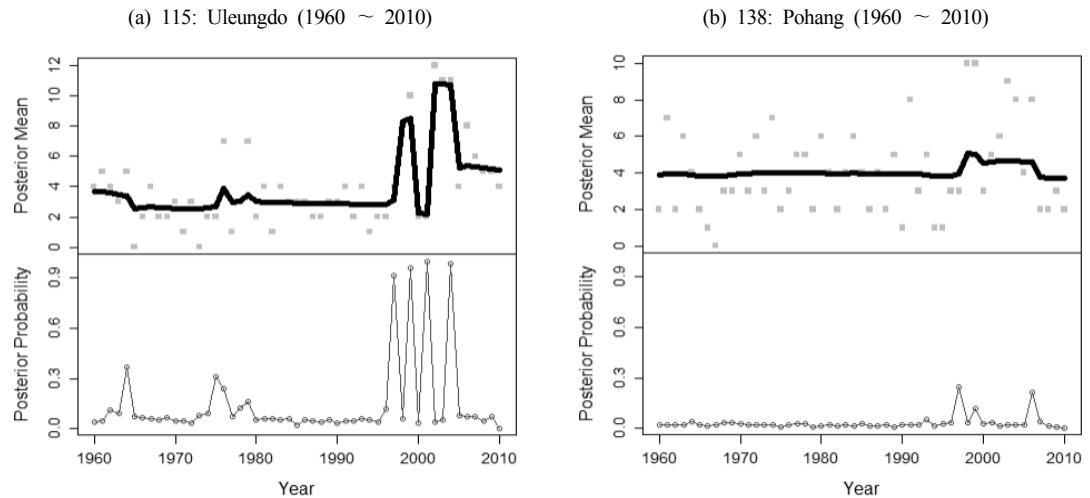


Fig. 8. Estimated posterior means and posterior probabilities (Prep50)

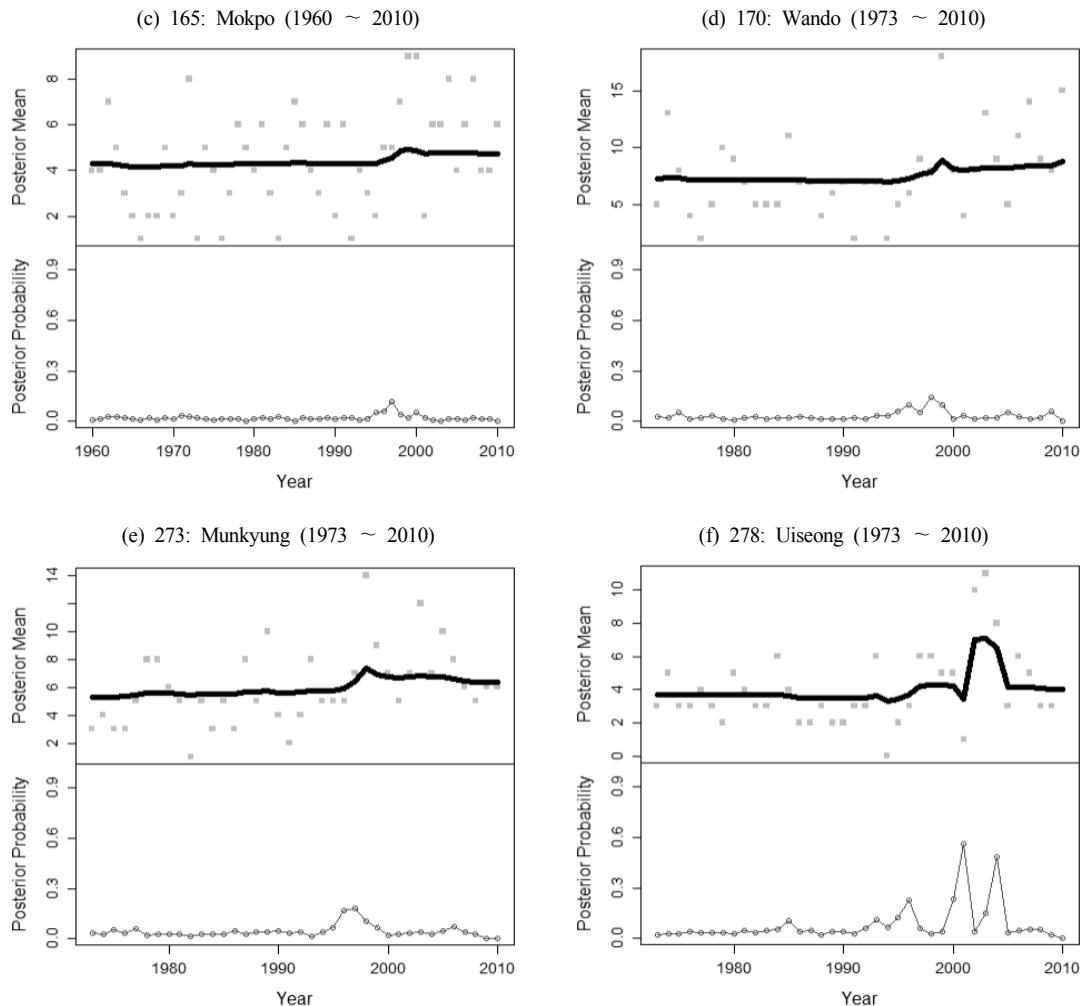


Fig. 8. Estimated posterior means and posterior probabilities (Prep50) (continued)

62개 대상관측소의 관측시작부터 2010년까지의 Prep50 평균값에 BCP를 적용하고 그 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 8). Fig. 8에서 확인할 수 있듯이, 변화의 유의성은 울릉도, 포항, 목포, 완도, 문경과 의성 등에서 발견되었다. 울릉도는 이전의 SDII, TotalIDR과는 다르게 1990년대 후반까지 변동시점을 보이다가 2000년대 전후로 하여 증가 및 감소의 변화시점이 확인되었으나 1990년대 보다 높은 사후평균값이 유지되고 있음을 확인하였다. 포항, 목포, 완도와 문경 등은 1990년대 후반에 증가 변화시점이 확인되었고 그 중에서 포항은 1999년도와 2000년대 후반을 기준으로 하여 감소 변화시점이 발견되었다. 의성은 2000년대에 증가의 단기적인 지속성이 확인되었고 그 크기는 2000년대 초반이 가장 컸다.

관측시작부터 2010년까지의 Prep80의 평균값에 BCP를 적용하고 그 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 9). Fig. 9를 보면 강릉은 관측기간 동안 그 크기가 작지만 산발적인 변동시점을 보였으며 2000년대 중반에 들어 단기적인 증가 지속성을 나타내는 증가 변화시점 이후에 과거와 비슷한 사후평균값이 회귀되었으며, 울릉도는 2000년대 초반과 중반에 걸쳐 단기적인 증가 지속성을 보이다가 다시 과거와 비슷한 수준으로 회귀하는 모습을 보였다. 서귀포는 관측기간 동안 약 2차례의 큰 변동시점이 확인되었고, 첫 번째 변동시점 이후에 이전보다는 큰 값들이 유지되고 있어서, 변동시점과 변화시점이 같이 확인되었다. 보은은 최근들어 Prep80의 빈도가 예년에 비하여 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 영주와 문경은 1990년대 초반을 기준으로 하여 증가 변화시점 이후로 증가 지속성을 나타내었으며 그 빈도가 꾸준히 증가하는 모습을 보이고 있었다. 관측시작부터 2010년까지의 Prep80의 평균값에 BCP를 적용하고 그 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 9). Fig. 9를 보면 강릉은 관측기간 동안 그 크기가 작지만 산발적인 변동시점을 보였으며 2000년대 중반에 들어 단기적인 증가 지속성을 나타내는 증가 변화시점 이후에 과거와 비슷한 사후평균값이 회귀되었으며, 울릉도는 2000년대 초반과 중반에 걸쳐 단기적인 증가 지속성을

성을 나타내는 증가 변화시점 이후에 과거와 비슷한 사후평균값이 회귀되었으며, 울릉도는 2000년대 초반과 중반에 걸쳐 단기적인 증가 지속성을 보이다가 다시 과거와 비슷한 수준으로 회귀하는 모습을 보였다. 서귀포는 관측기간 동안 약 2차례의 큰 변동시점이 확인되었고, 첫 번째 변동시점 이후에 이전보다는 큰 값들이 유지되고 있어서, 변동시점과 변화시점이 같이 확인되었다. 보은은 최근들어 Prep80의 빈도가 예년에 비하여 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 영주와 문경은 1990년대 초반을 기준으로 하여 증가 변화시점 이후로 증가 지속성을 나타내었으며 그 빈도가 꾸준히 증가하는 모습을 보이고 있었다. 관측시작부터 2010년까지의 Prep80의 평균값에 BCP를 적용하고 그 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 9). Fig. 9를 보면 강릉은 관측기간 동안 그 크기가 작지만 산발적인 변동시점을 보였으며 2000년대 중반에 들어 단기적인 증가 지속성을 나타내는 증가 변화시점 이후에 과거와 비슷한 사후평균값이 회귀되었으며, 울릉도는 2000년대 초반과 중반에 걸쳐 단기적인 증가 지속성을

보이다가 다시 과거와 비슷한 수준으로 회귀하는 모습을 보였다. 서귀포는 관측기간 동안 약 2차례의 큰 변동 시점이 확인되었고, 첫 번째 변동시점 이후에 이전보다는 큰 값들이 유지되고 있어서, 변동시점과 변화시점이 같이 확인되었다. 보은은 최근들어 Prcp80의 빈도가 예

년에 비하여 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 영주와 문경은 1990년대 초반을 기준으로 하여 증가 변화시점 이후로 증가 지속성을 나타내었으며 그 빈도가 꾸준히 증가하는 모습을 보이고 있었다.

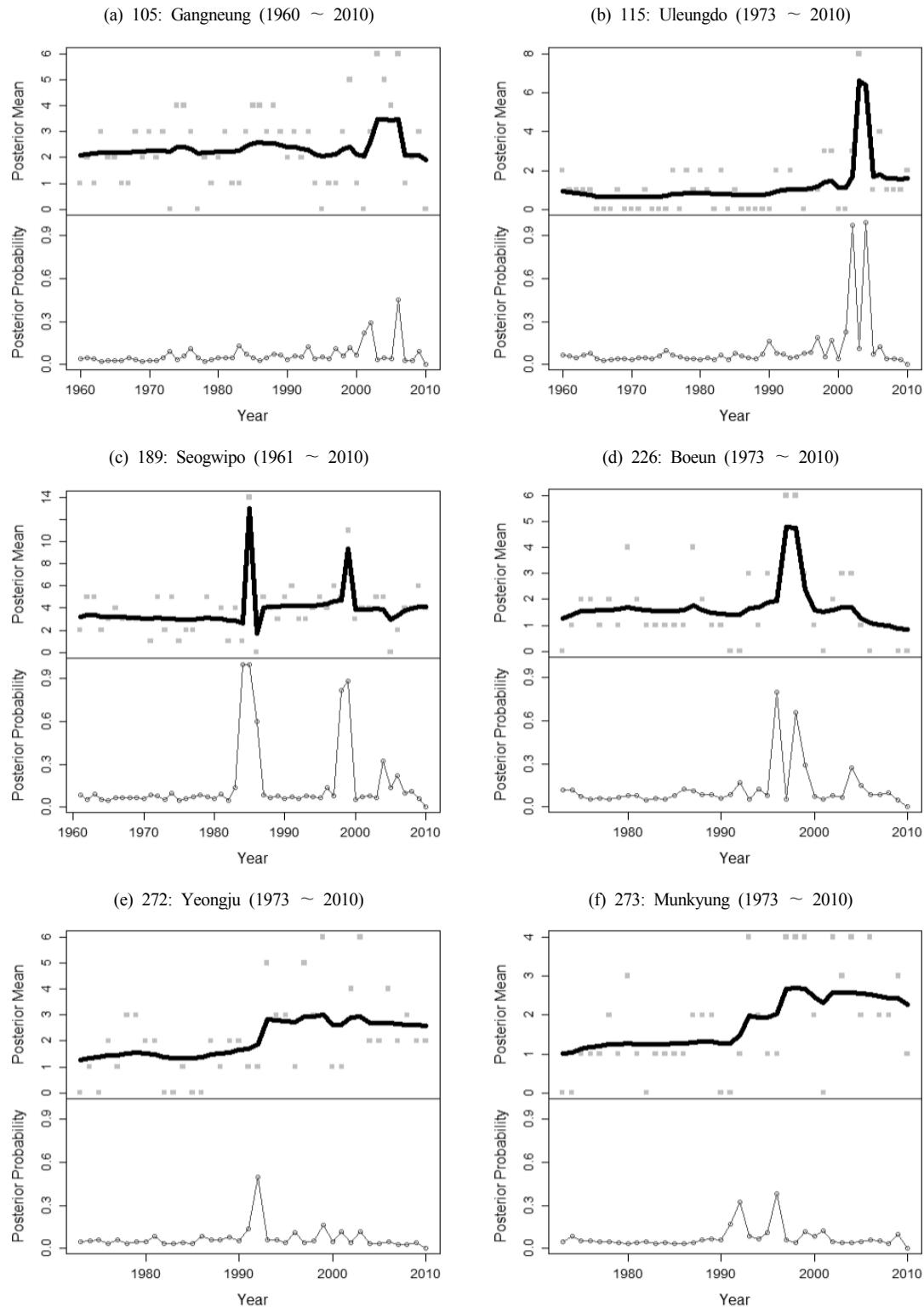


Fig. 9. Estimated posterior means and posterior probabilities (Prcp80)

RIE에 해당하는 CWD, AMDR과 R3day를 62개 대상 관측소의 관측시작부터 2010년까지의 평균값에 BCP를 적용하였다. Fig. 10을 통해 확인할 수 있는 CWD의 결과 중, 완도는 2000년대 들어 큰 폭의 변화시점 뒤 빈도의 증가가 최근까지 지속되고 있었으며, 순천은 관측기간 동안 약 3회 이상의 증가 변동시점을 보였으나 지속

성은 유지되지 않았다. 남원은 2000년대 초반 증가 변동 시점 이후에 유지되었으나 최근 들어 빈도수가 과거에 비해 작아졌고, 해남은 관측기간 동안 다수의 변동시점이 발견되었다. 영주는 1980년대 후반까지 작게나마 증가하는 모습을 나타내었다. 그러나 1990년대 초반, 감소 변화시점을 지나 증가의 경향성이 뚜렷하게 확인되지

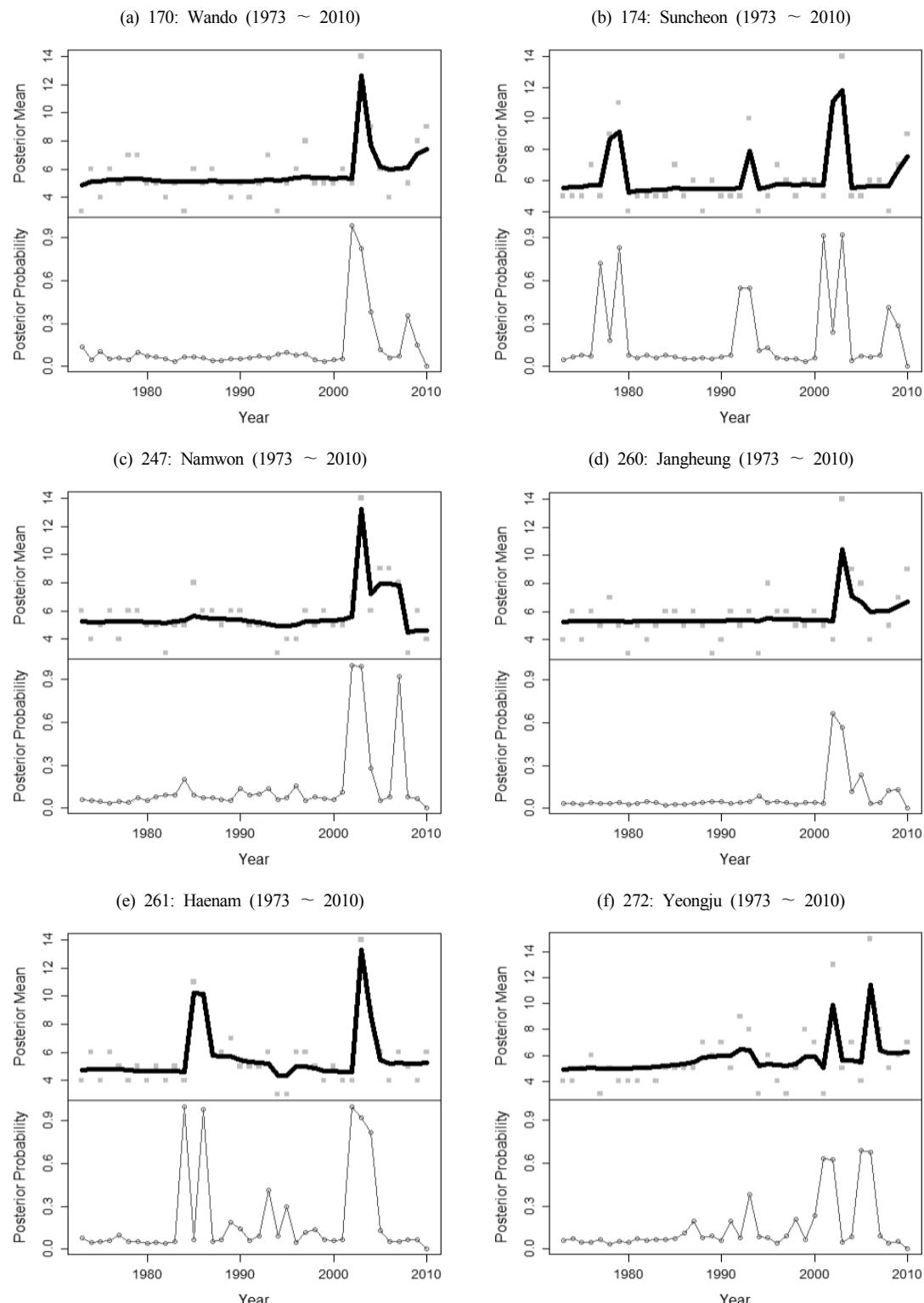


Fig. 10. Estimated posterior means and posterior probabilities (CWD)

않다가 2000년대를 기준으로 하여 작지만 단계적으로 그 빈도가 증가하는 모습을 보이고 있다. 62개 대상관측소의 관측시작부터 2010년까지의 AMDR 평균값에 BCP를 적용하였고, 그에 대한 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 11). Fig. 11을

보면 강릉과 울릉도, 포항과 고흥 등은 몇 차례 큰 폭의 변동시점이 발견되었으나 그에 대한 지속성은 크게 확인되지 않았다. 제천은 1980년대 중반 증가 변화시점이 발견된 뒤 최근까지 지속되고 있었다.

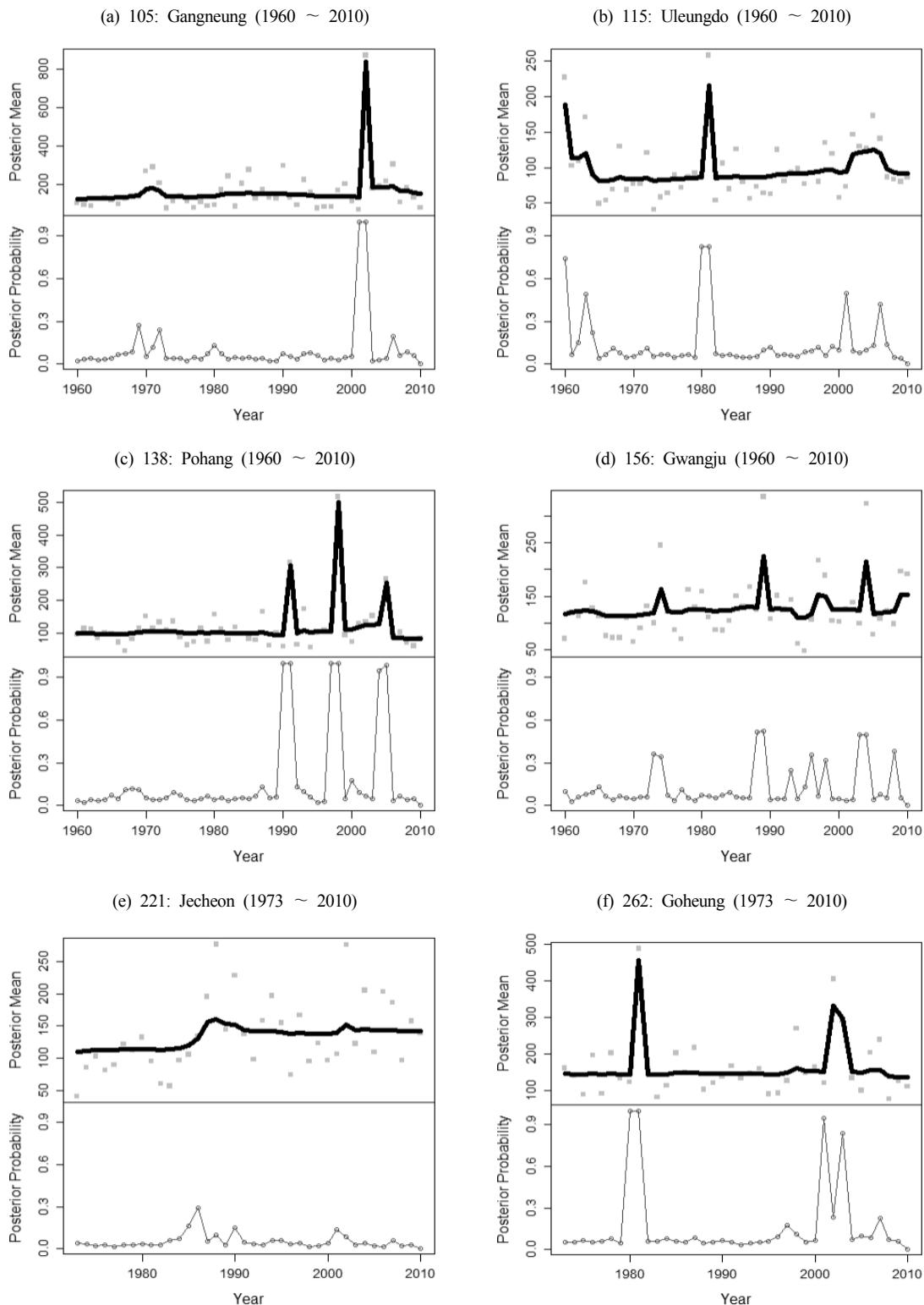


Fig. 11. Estimated posterior means and posterior probabilities (AMDR)

62개 대상관측소의 관측시작부터 2010년까지의 R3day 평균값에 BCP를 적용하였고, 그에 대한 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점을 정리하였다(Fig. 12). Fig. 12를 보면 울릉도는 몇 차례 큰 폭의 변동 시점을 보였으며 2000년대 중반에 걸쳐 단기간 증가가 지속성을 나타내다가 최근 들어 감소하는 모습을 보였다. 포항은 1990년대 초반과 말에 큰 변동시점을 나타났고, 서귀포는

1980년대 초반 증가 변화시점이 확인되었으며 최근까지 그 유의성이 유지되고 있음을 확인하였다. 보은은 몇 차례 변동시점을 보였으나 유의성을 확인하기엔 증감의 추이가 다소 명확하지 않았다. 강화는 1990년대 중반부터 2000년대 초반에 걸쳐 이전보다 큰 값들이 유지되었다. 구미는 1980년대 초반 작은 증가 변화시점이 확인된 아래로 계속해서 그 증가가 지속성을 갖고 있었다.

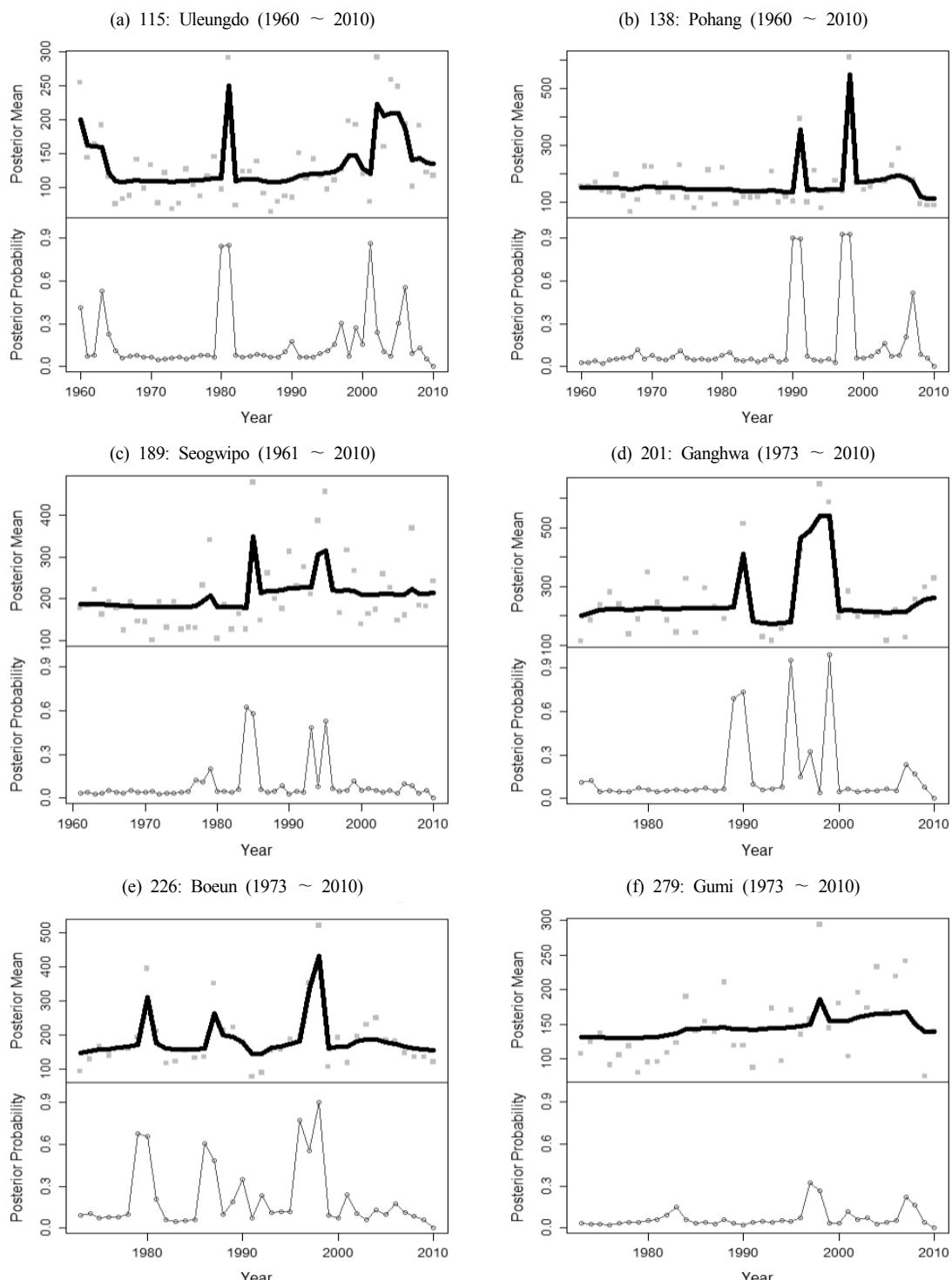


Fig. 12. Estimated posterior means and posterior probabilities (R3day)

RIF에 해당하는 NWD를 62개 대상관측소의 관측시작부터 2010년까지의 평균값에 BCP를 적용하였고, 그 결과 중 유의한 변동 또는 변화시점을 보이는 지점은 태백이 유일하였다(Fig. 13). 1985년을 기준으로 해서 증가 변화시점을 보인 후 계속하여 그 유의성이 최근에 까지 지속되었으나 다소 짧은 관측길이는 본 연구 결과의 타당성을 입증하기에 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

216: Taebaek (1985 ~ 2010)

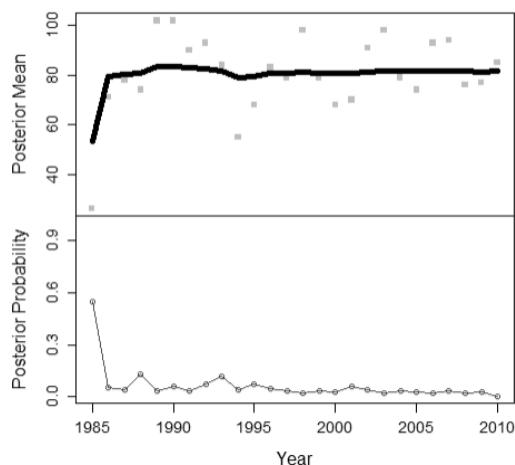


Fig. 13. Estimated posterior means and posterior probabilities (NWD)

4. 요약 및 결론

기후변화 및 이상기상으로 인하여 21세기 들어서 겪은 홍수는 그 크기와 발생빈도까지 증가하고 있어, 기준의 극치사상이 정상성이라는 가정을 무색하게 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 강수지표들을 이용하여 강우의 규모와 빈도 측면에 대한 변화패턴을 분석해보고자 하였다. 강수지표 시계열에서의 변화시점과 변화패턴을 검토하기 위하여, Barry and Hartigan (1993)가 제안한 BCP 방법을 적용하였고, 결과는 다음과 같다.

- ① 행정구역별로 2000년까지 평균 지표 값을 2001년부터 2010년까지 최근 10년 평균 지표 값과 비교하였다. 과거에 비해 최근 10년간 연중 강우일수를 나타내는 NWD와, 200년 빈도 강수량을 나타내는 Freq200을 제외한 나머지 지표들은 모두 증가하고 있었다.
- ② RIA에 해당하는 SDII, TotalDR, Prcp50과 Prcp80을 분석한 결과 울릉도 지점 위 4개 강수지표의 변화 지점 유의성에 있어 매우 명확한 모습을 보였고 Prcp80의 영주와 문경 지점 또한 1990년대를 기준으로 하여 증가 변화지점의 유의성이 확인되었다.

이에 반하여 다른 지역들에 있어서는 산발적인 변동지점이 확인되었을 뿐 지속성을 가진 모습은 확인되지 않았다. 다소 뚜렷하지 않게 증가 유의성을 보인 지점이 몇 군데 존재하였는데 보다 긴 관측년수의 자료를 이용하여 연구한다면 더욱 의미 있는 연구 결과를 보일 것으로 판단된다.

- ③ RIE에 해당하는 CWD, AMDR과 R3day를 분석한 결과, 제천과 서귀포, 그리고 구미 지점 등이 비교적 유의성 있는 결과를 보였다. 제천은 1980년대 중반에 크지 않은 폭으로 증가 변화지점을 보였고 그 값의 지속성을 확인하였고, 서귀포 또한 비슷한 경향을 보였다. 제천과 서귀포와는 다소 다르게 구미는 과거부터 꾸준히 증가해오다가 최근에 들어 감소 변화지점이 확인되었으며 그 뒤 지표가 오히려 작게 나타나고 있었다. 그 외 다른 지역들에서 변동지점이 확인된 곳은 많았으나 유의한 결과를 얻기엔 그 지속성이 부족하였다.
- ④ RIF에 해당하는 NWD를 분석한 결과 태백이 유일하게 변화지점에 대한 유의성을 보였으나 지점의 관측자료가 매우 짧아 연구 결과의 타당성을 입증하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

연구 결과, 지표의 증감에 유의성을 부여하는 변화지점의 관측과는 다르게 1990년대를 기준으로 하여 변동지점의 수가 많아지고 있으며 그 변동지점의 획적인 폭 또한 매우 커지고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 밝혀진 이러한 사실에 근거해 볼 때, 기준의 경우에 대한 정상성 가정에 대한 재고가 필요하다고 판단되며, 이는 수공 구조물의 설계, 유역관리계획등의 수자원 계획에 있어 강우의 비정상성에 대한 사료를 바탕으로 보다 깊이 있는 접근이 필요함을 의미하고 있다. 비슷한 맥락으로써, 본 연구는 향후 새로운 안전기준 설정에 관한 기초 연구가 되리라 판단되며, 또한 본 연구에서는 강수자료의 평균만을 이용하여 BCP 분석을 수행하였으나, 향후 분산의 변화도 함께 고려하겠다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Alley, R. B., Marotzke, J., Nordhaus, W. D., Overpeck, J. T., Peteet, D. M., Pielke, R., Pierrehumbert, R. T., Rhines, P. B., Stocker, T. F., Talley, L. D., and

- Wallace, J. M. (2003). Abrupt climate change, *Science*, 299, 2005-2010.
- Barry, D., and Hartigan, J. A. (1993). A bayesian analysis for change point problems, *Journal of the American Statistical Association*, 88(421), pp. 309-319.
- Choi, Y. E. (2004). Trends on Temperature and Precipitation Extreme Events in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(5), pp. 711-721
- Choi, Y. E., Park, C. Y. (2010). Distribution of Cold Surges and Their Changes in the Joongbu Region, the Republic of Korea, *Journal of The Korean Association of Professional Geographers*, 44(4), pp. 713-725.
- Cox, D. R., Isham, V. S., and Northrop, P. J. (2002). Floods: some probabilistic and statistical approaches, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series A, 360, pp. 1389-1408.
- Elsner, J. B., Niu, X., and Bossak, B. H. (2004). Detecting shifts in hurricane rates using a Markov chain Monte Carlo approach, *Journal of Climate*, 17, pp. 2652-2666.
- Erdman, C., and Emerson, J. W. (2007). bcp: A Package for Performing a Bayesian Analysis of Change Point Problems, R package version 1.8.4, URL (<http://CRAN.R-project.org/>).
- Hare, S. R. and Mantua, N. J. (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989, *Progress In Oceanography*, 47, pp. 103-145.
- Hwang, S. H., Kim, J. H., Yoo, C. S., Jung, S. W. (2010). A Probabilistic Estimation of Changing Points of Seoul Rainfall Using BH Bayesian Analysis, *Journal of Korea Water Resources Association*, 43(7), pp. 645-655.
- Iwashima, T., and Yamamoto, R. (1993). A statistical analysis of the extreme events. Long-term trend of heavy daily precipitation, *J. of Meteor*, Soc. of Japan, 71, pp. 37-640.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Summary for Pol.
- Jeong, D. I., Stedinger, J. R., Sung, J. H., Kim, Y. O. (2008). Flood Risk Assessment with Climate Change, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 28(1B), pp. 55-64.
- Kim, B. S., Lee, J. K., Kim, H. S., Lee, J. W. (2011). Non-stationary Frequency Analysis with Climate Variability using Conditional Generalized Extreme Value Distribution, *Journal of Korean Wetlands Society*, 13(3), pp. 499-514.
- Kim, B. K., Kim, B. S., Kim, H. S. (2008). On the Change of Extreme Weather Event using Extreme Indices, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 28(1B), pp. 41-53.
- Lee, K. M., Baek, H. J., Jo, C. H., Kwon, W. T. (2011). The recent (2001-2010) changes on temperature and precipitation related to normals (1971-2000) in Korea, *Journal of The Korean Association of Professional Geographers*, 45(2), pp. 237-248.
- Lee, K. M., Sung, J. H., Kim, Y. O., Lee, S. H. (2011). Change-point Analysis of Mean Temperature and Extreme Temperature in the Public of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 6(5), pp. 583-596.
- icymakers. R. Alley et al. (<http://ipcc-wg1.ucar.edu/>).
- Lund, R. and Reeves, J. (2002). Detection of undocumented change points: a revision of the two-phase regression model, *Journal of Climate*, 15, pp. 2547-2554.
- Lupikasza, E. (2009). Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951 - 2006, *International Journal of Climatology*, 30(7), pp. 991-1007.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR). (2008). Development of Regional Climate Change Scenario for the National Climate Change(IV). Study result.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR) (2009) 기후변화 이해하기III. 서울의 기후변화.
- Solow, A. R. (1987). Testing for climate change: An application of two-phase regression model, *Journal of Applied Meteorology*, 26, pp. 1401-1405.

- 논문접수일 : 2013년 04월 10일
- 심사의뢰일 : 2013년 04월 12일
- 심사완료일 : 2013년 05월 08일