강수지표를 이용한 남·북한 강수특성 비교

이보람* · 정은성** · 김태웅*** · 권현한****

Lee, Bo-Ram* · Chung, Eun-Sung** · Kim, Tae-Woong*** · Kwon, Hyun-Han****

Comparison of Precipitation Characteristics using Rainfall Indicators Between North and South Korea

ABSTRACT

This study aimed to understand temporal and spatial trends of rainfall characteristics in South and North Korea. Daily rainfall observed at the 65 stations in South Korea between 1963 and 2010 and the 27 stations in North Korea between 1973 and 2010 were analyzed. Rainfall Indicators for amount, extremes, frequency of rainfall were defined. Province-based indicators in the recent 10 years (i.e., between 2001 and 2010) were compared to those in the past (i.e., between 1963/1973 and 2000 for South/North Korea). In the recent 10 years, all the indicators except for the number of wet days (NWD) and 200-yr frequency rainfall (Freq200) increased in South Korea and all the indicators except for the annual mean daily rainfall over wet days (SDII) and annual total rainfall amount (TotalDR) decreased in North Korea. Furthermore, we performed the Mann-Kendall trend test based on the annual indicators. In some stations, decreasing trends in the past and increasing trends in the recent 10 years were found, and such opposite trends between two periods suggest the limitation in predicting and analyzing the rainfall characteristics based on the average. Results from this study can be used in analyzing the impact of climate change and preparing adaptation strategies for the water resources management.

Key words : Rainfall Index for Amount, Rainfall Index for Extremes, Rainfall Index for Frequency, Mann-Kendall test

초 록

본 연구는 남·북한에서 시·공간적 강수특성 변화를 이해하고자, 남한 65개 기상청 관측소에서 1963년부터 2010년까지, 북한 27개 관측소에서 1973년부터 2010년까지 측정된 일 강수량 자료를 분석했다. 총량(Amount), 극치(Extremes)와 빈도(Frequency)를 나타내는 지표들을 선정하였고, 각각의 지표를 RIA (Rainfall Index for Amount), RIE (Rainfall Index for Extremes), RIF (Rainfall Index for Frequency)로 정의하였다. 남·북한 행정 구역별로 2000년까지 평균 지표 값과 2001년부터 2010년까지 최근 10년 평균 지표 값을 비교하였다. 과거에 비해 최근 10년간 남한은 연중 강우일수를 나타내는 NWD (Number of Wet Days)와, 200년 빈도 강수량을 나타내는 Freq200 (200-yr Frequency Rainfall)을 제외한 SDW (Annual mean daily rainfall over wet-days), TotalDR (Annual Total Rainfall Amount), Prcp50 (Annual number of wet days over 50 mm/day), Prcp80 (Annual number of wet days over 80 mm/day), CWD (Annual maximum number of consecutive wet-days), AMDR (Annual maximum daily rainfall), 그리고 R3day (Annual maximum 3-days rainfall total) 값들이 모두 증가한 양상을 보였지만 북한은 SDW와, 연중강수량 TotalDR을 제외한 모든 감소하였다. 또한 연평균 지표 값의 경향성을 확인하기 위해 통계적 방법인 Mann-Kendall 검정을 실시하였다. 과거 감소의 경향을 나타내던 각 관측지점이 최근에 이르러서는 경향성의 역전 되는 현상을 보인 곳이 나타났으며, 이는 평균값만을 바탕으로 강수사상 특성변화를 분석하는 방법의 한계점으로 볼 수 있다. 본 연구의 결과는 한반도 물 관리 기후변화에 대한 영향 분석과 대응 대책 마련에 활용될 수 있을 것이다.

검색어 : Rainfall Index for Amount, Rainfall Index for Extremes, Rainfall Index for Frequency, Mann-Kendall 검정

* 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 석사과정 (unoxxygen@naver.com)

** 정회원 · 교신저자 · 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 교수

(Corresponding Author · Seoul National University of Science and Technology · eschung@seoultech.ac.kr)

*** 정회원 · 한양대학교 건설환경플랜트공학과 교수 (twkim72@hanyang.ac.kr)

**** 정회원 · 전북대학교 토목공학과 교수 (hkwon@jbnu.ac.kr)

Received December 31, 2012/ revised April 10, 2013/ accepted August 21, 2013

1. 서론

최근 연이어 발생하고 있는 극한사상이 매스컴을 통하여 빈번하게 보도되고 있다. 이러한 극한사상의 발생은 앞으로 다가올 미래에 우리가 극복하거나 적응해 나가야 할 가장 큰 과제가 분명하다. 이러한 현안에 관련된 대부분의 선행 연구에서는 극한사상의 출현 빈도는 점차 잦아지고, 그 크기 또한 커지리라 전망하고 있다. 현재까지 선행 연구(Lee et al., 2004; Kwon et al., 2007)에서는 연자료 또는 평균 개념을 고려하여, 기후변화의 빈도와 경향성을 정량적으로 분석하고 평가하였고, 그에 대한 한계를 지적한 연구도 상당수이다(Kim and Kim, 2009). 따라서, 극한사상을 분석하기 위하여 일자료를 이용한 장기간의 발생빈도와 지속기간의 변화에 대한 연구가 요구되고 있다.

Lee et al.(2004)은 연 최대강수량과 연 강수량 자료를 이용하여 변동 및 경향에 관한 연구를 수행하였으며 Kwon et al.(2007)은 최근 10년간 우리나라의 기후 특성에 대한 연구를 수행하였다. Oh et al.(2009)은 최근 10년간 주요 호우사상에 의해 홍수피해가 발생한 지역을 대상으로 지속시간별로 최대강수량의 빈도를 산정하였고 Jung et al.(2010)은 우리나라 186개 기상관측소를 대상으로 1973~2005년 평균 기온과 극치 강수량에 대한 시공간적인 변화 양상을 분석하였다. Moon et al.(2010)은 전 세계적으로도 기후변화에 의한 강수의 양과 패턴이 변함으로써 형태의 다양성과 함께 극심한 재해가 발생하고 있으며 이러한 이유로서 변화하고 있는 강수량을 이용한 빈도해석과 그에 대한 연구의 필요성을 제기하였다.

외국의 경우, Nicholls (1996)는 현재까지 세계 여러 지역에서 지구의 평균온도가 꾸준히 상승하고 있으며 이에 따라 강수량이 점차 증가하는 경향을 보인다고 하였으며 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. Ekstorm et al.(2005)은 관측치를 분석하여 영국 북동부 지역에서 기후변화의 영향으로 극한치 발생 빈도가 증가하는 경향이 나타남을 확인하였다.

상술한 연구들은 전 세계적으로도 흔히 많은 내용이며, 우리나라에서도 수준 높은 연구 및 적용 사례들을 보이며 있다. 이러한 연구를 남한과 북한에 동시에 적용하여 그에 대한 결과를 분석하여 제시한다면 남북 관계에 있어 선구적인 연구사례가 될 뿐만 아니라 대북지원 사업 및 경제교류 사업에 있어 큰 도움이 될 수 있으므로 본 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 1990년 이전부터 운영된 남한 65개의 관측소들과 북한 27개의 관측소들을 대상으로 강수량 데이터를 사용하여 강수

지표들을 산출해 냄으로써, 지역별 강수특성을 살펴보고 시공간적인 증감률에 대한 결과를 제시하여 남북한을 비교하여 분석한다. 또한 Mann-Kendall 검정을 실시하여 통계적 경향성도 확인하였다.

2. 연구 방법과 자료

2.1 연구 방법

본 연구는 크게 세 과정으로 구성되어 있다. 첫 번째로 남한의 기상청에서 관할하는 관측소 중 65개의 지상 관측지점을 선정하여 각 관측지점의 관측 시작년도부터 2010년까지의 자료를 분석하였고, 북한지역의 27개 관측소로부터 관측 시작년도부터 2010년까지의 자료를 분석한다(Fig. 1). 관측 시작년도부터 2000년까지(P1)와 2001년부터 2010년까지(P2) 일강수량을 사용하여 강수지표들을 산정하고 이에 대한 평균값을 2000년 이전 결과(P1)와 2001년~2010년의 결과(P2)를 비교한다. 두 번째는 각 지점별 평균 변화율에 대한 정량적인 지표를 이용하여 최근 10년간 강수량의 변화 특성을 제시한다. 세 번째는 각 지표별 경향성 분석을 수행하여 강수 지표의 시간적 변화양상을 확인한다.

본 연구에서는 강수특성을 크게 총량(Amount), 극치(Extremes)

Fig. 1. Location of Rainfall Stations in this Study

Table 1. Description of Rainfall Indicators (Hong et al., 2012)

Rainfall Characteristics	Name of Indicator	Definition	Unit
Amount	SDW	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 of days over 80 mm/day	days
	Prcp50	Annual number wet of 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
Frequency	NWD	Annual number of wet days (threshold of 1 mm)	days
	Freq200	200-yr frequency rainfall	mm

와 빈도(Frequency)로 분류하고 각각의 지수를 RIA (Rainfall Index for Amount), RIE (Rainfall Index for Extremes), RIF (Rainfall Index for Frequency)로 정의하였으며 RIA, RIE, RIF 각각에 해당하는 인자(indicator)를 Table 1과 같이 선정하였다. RIA는 강수량의 정량적인 측면에서 연총 강수량인 TotalDR과, 1 mm/day 이상의 강수량을 나타낸 날을 wet-day로 지정하고 연 총 강수량을 연 강우일수로 나눈 SDW 값을 인자로 정의하였다. 또한 일 강수량이 50 mm 이상인 날의 수인 Prcp50과 80 mm 이상인 날의 수인 Prcp80을 추가하였다. RIE는 연 최대 연속 강우일수인 CWD와 연 3일 최대 강수량인 R3day와 연 최대 일 강수량인 AMDR로 구성하였다. RIF는 강우일수로 지정된 날의 수인 NWD와 지점빈도해석을 이용하여 200년 빈도 확률강수량을 구한 Freq200으로 구성하였다(Table 1).

2.2 Mann-Kendall 경향성 분석

강수지수들을 산술평균하여 연구를 수행하는 것은 매우 중요한 사항이지만, 강수의 특성을 나타내는 각 지표들의 수치는 증가 또는 감소하는 경향을 보일 수 있다. 이러한 경향성은 자료를 도시함으로써 쉽게 파악 할 수 있으나 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 경우에는 일반적으로 Mann-Kendall test 방법과 같은 통계적 방법 들을 이용하여 경향성 분석을 실시한다.

자료 Z_t ($t = 1, 2, \dots, N$)는 Z_t ($t = 1, 2, \dots, N-1$)과 Z_t ($t = t' + 1, \dots, N$)의 크기를 비교하여 다음과 같이 정의한다.

$$Z_t > Z_{t'} \text{ 이면 } Z_k = 1$$

$$Z_t = Z_{t'} \text{ 이면 } Z_k = 0$$

$$Z_t < Z_{t'} \text{ 이면 } Z_k = -1$$

(1)

여기서, $k = (t' - 1)(2N - t') + (t - t')$ 라 하면 Mann-Kendall 검정의 검정통계량은 다음 Eq. (2)와 같이 주어진다.

$$S = \sum_{t'=1}^{N-1} \sum_{t=t'+1}^N Z_k \quad (2)$$

$$U_c = \frac{S + j}{\sqrt{V(S)}} \quad (3)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^G E_i(E_i-1)(2E_i+5) \right] \quad (4)$$

여기서, $S < 1$ 이면 $j = 1$, $S > 1$ 이면 $j = -1$, $S = 0$ 이면 $j = 0$ 의 값을 가지고 G 는 같은 값을 갖는 자료군의 총수이며, E_j 는 j 번째 자료에 속하는 같은 값을 갖는 자료의 수이다. Eq. (5)의 조건이 만족되면 유의수준 α 에서 주어진 자료가 상향 또는 하향 경향을 갖는다고 할 수 있다.

$$|U_d| > Z_{1-\alpha/2} \quad (5)$$

2.3 Generalized Extreme Value (GEV) 분포

GEV의 우수성은 여러 선행연구에서 입증되었고(Martin and Stedinger, 2000) 우리나라에서 일관성 있는 빈도 수문량 산정을 위하여 대표 분포형으로 GEV를 추천한바 있다(Sung, 2007). 극한사상은 강수 또는 기온 등 기상변수에 극치해석(extreme analysis)을 적용하여 얻은 확률분포함수에서 10퍼센타일(percentile) 이하 또는 90퍼센타일 이상의 확률로 발생할 수 있는 현상으로 정의한다. 일반적으로 연최대 또는 연초과 자료의 시계열을 대상으로 하고 연최대 자료는 GEV, 연초과 자료는 GPA (Generalized Pareto) 분포를 적용한다. 연 초과값 자료의 시계열은 자료의 무작위성(randomness)과 적정 임계값(optimum threshold)을 결정하는데 어려움이 있는 반면(Um et al., 2010), 연 최대값 자료의 시계열은 무작위성 확보와 임계값 결정이 자유로운 장점이 있다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 극치해석 방법은 연최대 자료를 추출하여 이를 GEV 분포에 적합(fitting)함으로써 특정 크기에 대한 초과확률과 비초과확률(1-초과확률)을 계산하는 과정을 일컫는다(Hosking et al., 1985).

일반적으로 어떤 강수사상의 크기(강수량)가 평균 T 년 동안에

한번 이상 발생하면 재현기간(return period), T 를 가진다고 말한다. 재현기간 T 의 역수는 어떤 해에 그 사상보다 같거나 큰 것이 발생할 확률이고 이는 곧 초과확률(exceedance probability)을 의미한다. Eq. (6)은 비초과확률(1-초과확률)과 재현기간의 관계이다.

$$T = \frac{1}{1-P} \quad (6)$$

여기서, P 는 비초과확률(nonexceedance probability)이다. 극한 사상의 비초과확률을 구하는데 이용되는 일반적인 확률분포형은 GEV 분포형이며 그 이유는 GEV 분포가 상위 꼬리부분이 두터워 극한사상을 표현하기에 적합하기 때문이다. GEV 분포의 비초과확률을 계산하는 누가분포함수(cumulative distribution function)는 Eq. (7)로 표현된다. 따라서 Eq. (7)의 해(x ; 여기서는 강수량)는 Eq. (8)과 같이 구할 수 있다(Stedinger et al., 1993). 여기서, ξ , α , κ 는 각각 위치(location), 규모(scale), 형상(shape)과 관련된 매개변수이다.

$$F(x) = \begin{cases} \exp[-(1-\kappa \frac{x-\xi}{\alpha})^{1/\kappa}], & \kappa \neq 0 \\ \exp[-\exp(-\frac{x-\xi}{\alpha})], & \kappa = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$x = \begin{cases} \xi - \alpha \log[-\log(P)], & \kappa = 0 \\ \xi + \frac{\alpha}{\kappa} 1 - [-\log(P)]^\kappa, & \kappa \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

GEV 분포는 3개의 극치분포가 결합된 것으로 형상 매개변수인 κ 에 따라 극치 Type I ($\kappa = 0$), Type II ($\kappa < 0$), Type III ($\kappa > 0$) 분포로 나눌 수 있으며, Type I은 Gumbel, Type III는 Weibull 분포로 불리기도 한다. Eq. (7)에서 변수 x 의 범위 역시 κ 에 따라 달라지는데, $\kappa < 0$ 일 때는 $\xi + \alpha/\kappa \leq x < \infty$, $\kappa = 0$ 일 때는 $-\infty < x < \infty$, $\kappa > 0$ 일 때는 $-\infty < x \leq \xi + \alpha/\kappa$ 가 된다 (Hosking et al., 1985). GEV 분포는 형상 매개변수에 크기에 따라 상위 꼬리부분의 두터움이 달라진다.

3. 연구결과

3.1 강수지수 분석에 따른 남·북한 비교

3.1.1 RIA 값의 남·북한 비교

남한의 RIA에 해당하는 SDW, TotalDR, Prcp50, Prcp80을 65개 대상관측소의 관측시작년도에서부터 2000년(P1), 2001~2010년까지(P2)의 평균값을 계산하였다. 또한 우리나라 9개의

도단위 행정구역(경기도(GG), 강원도(GW), 충청북도(CB), 충청남도(CN), 전라북도(JB), 전라남도(JN), 경상북도(GB), 경상남도(GN))과 서울시(Seoul)로 나누어 지표의 평균값을 산정하였으며 이를 요약해서 제시하면 Fig. 2와 같다. 대상 65개 관측소의 SDW 평균값은 2000년까지 16.6 mm/day에서 2001~2010년 동안 18.0 mm/day로 약 8.4% 증가하였다. 하지만 홍천, 태백, 보령, 부여, 순천, 밀양은 지표의 값들이 감소하였으며 그 중에 순천은 19.7 mm/day에서 17.7 mm/day로 제일 많이 감소하는 것으로 나타났다. 서울은 최근 10년간 17.5 mm/day에서 20.7 mm/day로 많이 증가한 것으로 나타났고 경기도 역시 17.5 mm/day에서 19.5 mm/day로 증가하였다. 대상 65개 관측소의 TotalDR 평균값은 2000년까지 1292.8 mm/year에서 2001~2010년 동안 1391.4 mm/year으로 약 7.6% 증가하였다. Fig. 2의 공간분포를 보면 경상남도과 전라남도에서 연 총강수량이 타 지역에 비하여 크게 나타났고 경상북도는 다른 행정구역보다 강수량이 적었다. 경상북도 중에서도 안동과 의성이 관측 시작년도부터 2000년까지의 강수량이 1000 mm/year 이하로 나타났고, 최근 10년간 1000 mm/year 이상 강수량이 증가하였다. 또한, 서귀포는 2000 mm/year에 가까운 강수량이 기록되었다. 서울은 최근 10년간 1379.9 mm/year에서 1548.4 mm/year로 약 168.5 mm/year 가량 증가하였고, 제주도 역시 1448.7 mm/year에서 1551.6 mm/year로 약 102.6 mm/year 증가한 것으로 나타났다. Prcp50에 있어서 지역별로는 2000년까지는 경남 남해가 2.8 days로 가장 컸고 2001~2010년에는 경남 거제에서 3.0 days로 나타났다. Fig. 2의 공간분포를 보면 경남이 2000년까지와 2001~2010년까지 모두 2.0 days를 넘는 큰 값을 보였으며 경북과 서울은 최근 10년간 증가율이 큰 것으로 나타났다. Prcp80은 0.6 days에서 0.7 days로 약 18.4% 증가하였다. 지점별로는 2000년까지는 Prcp50과 같이 경남 남해가 1.3 days로 가장 많았으며 2001~2010년에는 전남 여수가 1.4 days로 가장 많았다. Fig. 2로부터 지역적으로 살펴보면 서울이 7.5 days에서 1.0 days로 크게 증가하였으며 경북도 0.4 days에서 0.6 days로 크게 증가한 것으로 나타났다.

북한의 RIA에 해당하는 SDW, TotalDR, Prcp50, Prcp80을 27개의 대상관측소의 관측시작년도에서부터 2000년(P1), 2001~2010년까지(P2)의 평균값을 계산하였다. 또한 북한 9개의 도단위 행정구역(함경북도(HB), 함경남도(HN), 강원도(GW), 자강도(JG), 양강도(YG), 평안남도(PN), 평안북도(PB), 황해북도(HWB), 황해남도(HWN))과 개성시(GS), 평양시(PY)등의 자료를 행정구역에 따라 평균하였으며 이를 요약해서 제시하면 Fig. 2와 같다. 대상 27개 관측소의 SDW 평균값은 2000년까지 14.7 mm/day에서 2001~2010년 동안 15.3 mm/day로 약 4.1% 증가하였다. 하지만 남포, 청진, 중강, 회천, 삼지연, 풍산, 장진, 사리원 등의

RIA results

Fig. 2. Comparative RIA Results Between P1 and P2

지표 값들은 감소하였으며 그 중 남포는 15.1 mm/day에서 13.0 mm/day로 가장 많이 감소하는 것으로 나타났다. 평양은 최근 10년간 15.1 mm/day에서 18.0 mm/day로 북한지역 중 가장 크게 증가한 것으로 나타났고 나선 역시 12.3 mm/day에서 14.8 mm/day로 증가하였다. 즉, 인구 밀집 지역인 평양과 자유 무역지구인 나선은 최근 10년간 강수량도가 크게 증가하였다. 대상 27개 관측소의 TotalDR 평균값은 2000년까지 735.7 mm/year에서 2001~2010년 동안 783.8 mm/year로 약 6.5% 증가하였다. Fig. 2로부터 북한의 행정구역 단위로 살펴보면 자강도와 평양의 변화율이 가장 큰 폭으로 증가하였다. 하지만 남포는 최근 10년간 다른 행정구역보

다 강수량이 큰 폭으로 감소하였으며 남포, 함경북도, 자강도와 나선지구를 제외하고는 다른지역들의 TotalDR 값이 최근 10년간 증가하고 있었다. 대상 27개 관측소의 Prcp50 평균값은 2000년까지 3.1 days에서 2001~2010년 동안 3.0 days로 약 3.1% 감소하였다. 한반도의 모든 지역 중 남포, 자강도, 평안북도의 지표들만이 최근 10년간 감소하였으며 북한지역 중 평양과 강원도는 지표가 크게 증가하였다. Prcp80은 1.2 days에서 1.1 days로 약 2.4% 감소하였다. Prcp50과는 다르게 함경북도와 평안남도의 Prcp80은 감소하는 모습을 보였으며 Prcp50에서 감소하는 경향을 나타냈던 자강도는 Prcp80에서 증가함을 알 수 있다.

Fig. 3. Comparative RIE Results Between P1 and P2

3.1.2 RIE 값의 남·북한 비교

남한의 RIE에 해당하는 CWD, R3day, AMDR의 평균값을 계산한 결과는 Fig. 3과 같다. 대상 65개 관측소의 CWD 평균값은 2000년까지 평균 5.5 days에서 2001~2010년 동안 평균 6.3 days로 약 12.8% 증가하였다. 2000년까지는 울릉도가 약 6.8 days로 가장 큰 값을 보였으며 2001~2010년에는 충북 금산이 8.4 days로 가장 크게 나타났다. Fig. 3으로부터 행정구역단위로 살펴보면 전남이 5.3 days에서 6.4 days로 크게 증가하였으며 서울과 경기도를 제외한 지역은 모두 증가하였고 충북, 충남, 전북, 전남, 경북과 경남은 약 1 day 정도 증가한 것으로 나타났다. 대상 65개 관측소의 R3day의 평균값은 2000년까지 평균 186.8

mm/3days에서 203.5 mm/3days로 약 9.0% 증가하는 것으로 나타났다. 2000년까지는 경기도 강화지점이 262.0 mm/3days로 가장 크게 나타났지만 최근 10년 기간 중에는 강원도 강릉이 296.7 mm/3days로 가장 크게 나타났다. Fig. 3으로부터 행정구역단위로 살펴보면 서울지역이 최근 10년간 249.5 mm/3days로 가장 크게 나타났으며 2000년까지 평균값에 비해 31.3 mm/3days나 증가하는 것으로 나타났다. 이외에 강원도, 전북, 경북도 20 mm/3days 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. Fig. 3에 제시된바와 같이 서울이 2000년 이전과 이후 모두 가장 큰 값을 보였으며 또한 최근 10년간 23.0 mm/day나 증가하였다. 경기도, 강원도, 전남과 경남도 큰 값을 보였고 증가율도 크게 나타났다.

북한의 평균값을 산출하면 Fig. 3과 같다. 대상 27개 관측소의 CWD 평균값은 2000년까지 평균 4.8 days에서 2001~2010년 동안 평균 4.47 days로 약 6.0% 감소하였다. 남한의 CWD 값은 지역별로 대부분 증가하였지만 북한은 대부분의 지역에서 감소하였으며 황해남도의 경우 한반도 전체를 통틀어 CWD 값이 가장 큰 증가율을 나타내었으며 개성은 반대로 가장 큰 폭의 감소를 나타내었다. 대상 27개 관측소의 R3day의 평균값은 2000년까지 평균 141.6 mm/3days에서 131.0 mm/3days로 약 7.5% 감소하는 것으로 나타났다. 평양의 경우 한반도 전체 지역 중 가장 큰 증가량을 보였고 반대로 남포의 경우 가장 큰 감소율을 보였다. 대상 27개 관측소의 AMDR 평균값은 104.7 mm/day에서 96.4 mm/day로 약 8.0% 감소하는 것으로 나타났다. R3day와 마찬가지로 평양이 한반도 전체 지역 중 가장 큰 증가량을 보였고 남포는 가장 큰 감소율을 보였다.

3.1.3 RIF 값의 남·북한 비교

남한의 RIF에 해당하는 NWD와 Freq200의 평균값을 계산하면 Fig. 4와 같다. NWD는 2000년까지 77.8 days에서 최근 10년간 77.2 days로 큰 차이는 없었다. 다른 지표들의 평균은 크게 증가하는 경향을 보인 반면, NWD는 큰 차이가 없는 것으로 보아 강수강도가 증가한 것으로 판단된다. 2000년 이전과 이후 울릉도가 104.4 days에서 109.4 days로 가장 크게 나타났다. Fig. 4로 부터 지역적

으로 살펴보면 서울이 78.6 days에서 74.9 days로 가장 크게 감소하는 것으로 나타났으며 다른 지역은 크게 차이가 나지 않았다. 남한에 있어 자료기간이 2000년까지의 경우 거제도가 200년의 확률강수량에 있어 최대였고 2010년까지의 분석자료는 강릉이 최대였다. 확률강수량이 최소인 지점은 2000년과 2010년 모두 안동이었다.

북한의 지표의 평균값을 산정하여 제시하면 Fig. 4와 같다. NWD는 모든 관측지점에서 값이 감소하였으며, 2000년까지 60.8 일/yr에서 최근 10년간 50.9 days로 북한 전체 지표 값의 변화를 중 가장 큰 폭으로 감소함을 알 수 있다. 북한의 200년 빈도 확률강수량에 있어 평양, 평안남도과 평안북도를 제외한 모든 지역에서 증가하였으며 남한과의 비교시 증가율이 보다 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2 경향성 분석

본 연구에서는 관측소별로 강수량자료에 대해 유의 수준을 5%로 하여 Mann-Kendall 검정을 실시하였으며 경향성 분석 결과를 관측시작 연도부터 2000년까지와 관측시작 연도부터 2010년까지의 경우로 구분하였다. 유의 수준에 대하여 통계적으로 의미 있는 값을 나타낸 관측소들에 한하여 Kendall's τ 값을 표기하였으며 τ 값의 +는 증가하는 경향을, - 값은 감소하는 경향을 나타내며 한반도 전체 관측소에 대한 분석결과는 Fig. 5와 같다.

총량을 나타내는 지표인 RIA의 세부지표들에 대한 경향성 분석 결과, 남한의 TotalDR은 관측시작 연도부터 2010년까지의 자료가 2000년까지의 자료에 비해 많은 관측지점에서 증가하는 경향을 보였다. Prcp50과 Prcp80도 과거에 비해 경향성의 증가를 나타내는 관측점이 많아짐을 알 수 있다. 북한의 SDW는 관측시작 연도부

Fig. 4. Comparative RIF Results Between P1 and P2

강수지표를 이용한 남·북한 강수특성 비교

Fig. 5. Mann-Kendall Trend Analysis Results of P1 and P1+P2 (continued)

Fig. 5. Mann-Kendall Trend Analysis Results of P1 and P1+P2(continued)

Fig. 5. Mann-Kendall Trend Analysis Results of P1 and P1+P2(continued)

Fig. 5. Mann-Kendall Trend Analysis Results of P1 and P1+P2

터 2010년까지의 자료가 2000년까지의 자료에 비해 두 관측지점이 추가적으로 증가하는 경향을 보였으며, TotalDR은 과거에 있어 대부분의 지점에서 감소 경향성을 나타냈지만 2010년까지의 자료에 대한 경향성 분석에 있어서는 대부분의 지점에서 경향성이 확인되지 않았으며 개성의 경우는 증가 경향성이 확인되었다.

극치에 해당하는 RIE의 세부지표들에 대한 분석 결과, 남한의 CWD는 영주에서 과거와 동일한 경향을 나타내었으며 금산, 청주 등은 경향성을 나타내지 않다가 증가 경향을 나타내었다. 춘천과 문경은 각각 감소와 증가의 경향성을 나타내다가 최근에 들어서는 경향성을 보이지 않았다. R3day에 대한 결과를 보면 추풍령, 구미, 서귀포 등에서 증가 경향성이 최근에까지 이어지고 있으며 양평, 천안, 인제, 임실 등은 근래에 있어 증가 경향성을 확인되었다. NWD는 대체적으로 감소 경향성을 보였다. 북한의 CWD는 과거 감소하는 경향성을 가졌던 대부분의 지역들 중 보다 감소 경향이 커진 중강만을 제외하곤 경향을 갖지 않는 것으로 나타났다. R3day는 과거와 근래 모두 경향을 갖는 지역이 없었으며 AMDR는 개성과 청진만이 최근들어 증가 경향을 갖는 것으로 나타났다.

빈도에 해당하는 RIF의 세부지표들에 대한 분석 결과, NWD는 산술적으로 10개의 지역에서 감소의 경향만을 나타내던 것이 최근에 들어서는 4곳이 감소한 6개의 지역에서 감소의 경향을 나타내었으며 남포, 회천, 풍산 등은 최근에 까지 이어져 오던 감소 경향에 대한 Kendall's τ 값이 대체로 작아짐을 알 수 있다. 확률강수량은 과거의 모든 자료를 고려해서 결정하므로 연도별 값을 산정하기 어려우므로 Freq200은 분석에서 제외하였다.

4. 결론

본 연구는 남한 전역에 고르게 분포되어있는 65개의 관측소들과 북한 27개의 관측소들을 대상으로 과거에서부터 기록된 강수량 자료를 사용하여 강수지표를 산출하였고 지표의 성격에 따라 크게 RIA, RIE, RIF로 분류하여 강수의 빈도와 규모에 대해 시공간적 증·감률과 각 강수지표의 경향성을 남한과 북한에 따라 비교분석하여 아래와 같은 결과를 확인하였다.

- (1) 남북한 각 지점들에 있어 과거대비 최근 강수지표의 증감률을 평균하여 분석하였으며, 그 결과 남한은 NWD를 제외한 모든 지표에서 증가율을 보인 반면, 북한은 SDII, TotalDR 및 Freq200의 지표만이 증가율을 보였다. 200년 빈도 강수량을 나타내는 Freq200은 북한이 5.8% 남한이 0.7로 유일하게 남한보다 큰 증가율을 나타냈으며 다른 지표들에서는 남한보다 낮은 증가율을 보였고 극치 관련 지표에서는 모두 과거대비 최근의 평균값이 감소하는 모습을 나타냈다.

- (2) 강우집중도가 서울, 평양과 같은 인구 밀집지역에서 증가하는 모습을 나타내 대도시의 홍수 관리에 보다 많은 투자가 이루어져야 하며, 남한과 북한 모두 연층 강수량이 증가하였는데 이는 보다 발전된 물관리 계획을 적용한다면 이수측면에서 수자원 활용도를 증가시킬 수 있으리라 기대된다.
- (3) 지표의 경향성 분석결과 과거 감소의 경향을 나타내던 각 관측 지점이 최근에 이르러서는 경향성의 역전 현상을 보인 곳이 나타났으므로, 구간 구분없이 경향성분석을 실시할 경우 정확한 경향성 변동양상을 파악하는데 다소 어려움이 발생할 수 있음을 확인하였다.
- (4) 뚜렷한 경향을 보이는 강수지표들로 말미암아 기후변화에 대한 강수의 비정상성을 확인할 수 있으며 미래의 수공구조물 설계시 강수의 비정상성을 고려한 설계가 이루어진다면 보다 효과적인 기후변화 적응전략 수립에 부합하리라 판단된다.

본 연구가 기후변화에 따른 물 관리 부분에 있어 남·북한 모두에 적용될 수 있다면 기후변화에 대한 영향 분석과 대응 대책 마련에 효율적으로 활용될 수 있으리라 판단된다.

감사의글

본 연구는 2013년 IHP 사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구에 대한 국토해양부와 한국수자원학회의 지원에 감사드립니다. 또한 본 연구는 2011년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 과제번호(NRF2011 K1A2000)).

References

- 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, No. 1-4, pp. 234-251.
- Hong, S. H., Kim, Y. G., Lee, W. H. and Chung, E. S. (2012). "Rainfall variations of temporal characteristics of Korea using rainfall indicators." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 4, pp. 393-407 (in Korean).
- Hosking, J. R., Wallis, J. R. and Wood, E. F. (1985). "Estimation of the GEV distribution by the method of probability-Weighted moment." *Technometrics*, Vol. 27, No. 3, pp. 251-261.
- 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.
- Kim, B. K. and Kim, B. S. (2009). “Analysis of impact climate change on extreme rainfall using B2 climate change scenario and extreme indices.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 1B, pp. 23-33 (in Korean).
- Kwon, W. T., Boo, K. O. and Heo, I. H. (2007). “Climate change during the recent 10 years in Korea.” *Journal of Korea Water Resources Association*, pp. 278-280 (in Korean).
- Lee, S. B., Kim, K. D. and Heo, J. H. (2004). “Change and trend analyses of rainfall data.” *Journal of Korea Water Resources Association*, pp. 696-700 (in Korean).
- Martin, E. S. and Stedinger, J. R. (2000). “Generalized maximum likelihood GEV quantile estimator for hydrologic data.” *Water Resources Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 737-744.
- Moon, K. H., Kyoung, M. S. and Kim, H. S. (2010). “Rainfall frequency analysis using SIR algorithm and bootstrap methods.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 4B, pp. 367-377 (in Korean).
- 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, p. 37.
- Oh, T. S., Kim, E. C., Moon, Y. I. and Ahn, J. H. (2009). “Characteristics analyses of timely rainfall events above probability precipitation on each frequency.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 29, No. 6B, pp. 513-526 (in Korean).
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M. and Foufoula-Georgiou, E. (1993). *Frequency analysis of extreme events*, McGraw Hill, New York, N.Y.
- Sung, J. H. (2007). *A study of flood frequency analysis guideline for Korea*, Master’s Thesis, Seoul National University (in Korean).
- Um, M. J., Cho, W. and Heo, J. H. (2010). “A comparative study of the adaptive choice of thresholds in extreme hydrologic events.” *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 24, No. 5, pp. 611-623.