

연최대치계열과 비연초과치계열으로부터 산정한 확률강우량의 비교 · 분석

박예준* · 권현한** · 정은성*** · 김태웅****

Park, Yei Jun*, Kwon, Hyun-Han**, Chung, Eun Sung***, Kim, Tae-Woong****

Comparison of Design Rainfalls From the Annual Maximum and the Non-annual Exceedance Series

ABSTRACT

The annual maximum series (AMS) is usually used to estimate hydrological quantiles in practice because it is simple to construct and straightforward to probabilistic interpretation. However, it is limited to use the AMS in Korea due to the lack of reliable observed data which leads to the overestimation of design rainfall and/or flood. Using the 40-year observations of rainfall provided by the Korea Meteorological Administration, this study constructed the AMS and non-annual exceedance series (NAES) after identifying the independent storm event, analyzed the correlation between design rainfalls estimated from the AMS and NAES, and proposed a new method of point frequency analysis to estimate design rainfalls from the small number of observations.

Key words : Annual maximum series, Non-annual exceedance series, Point frequency analysis, Design rainfall

초록

확률수문량을 산정하기 위해서 실무에서 많이 사용하는 연최대치 계열은 자료의 구축이 간편한 장점이 있지만, 우리나라에서 연최대치 계열을 이용하기에는 자료의 수가 매우 제한적이다. 특히, 적은 관측자료를 바탕으로 확률강우량 또는 설계홍수량을 추정할 경우 과다산정을 할 가능성이 매우 높다. 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 1973년부터 2012년까지 총 40년간의 관측자료를 대상으로 독립호우사상을 구분하고, 연최대치 계열과 비연초과치 계열을 구성한 후, 연최대치 계열과 비연초과치 계열로부터 산정된 확률강우량의 상관성을 분석하고, 적은 관측자료를 가지고 지점빈도해석을 수행하여 확률강우량을 추정할 수 있는 방법을 제안하였다.

검색어 : 연최대치 계열, 비연초과치 계열, 지점빈도해석, 확률강우량

1. 서론

우리나라에서는 관측된 강우자료로부터 연최대치 계열을 구축한 후 강우빈도해석을 통하여 산정된 확률강우량을 설계수문량으로 사용하고 있다. 따라서 신뢰성 있는 확률강우량을 산정하기 위해서는 대상지점을 대표할 수 있는 충분히 긴 관측자료가 필요하다. 미국의 NOAA Atlas14 (NOAA, 2004)에서는 자료기간이 50년 이상일 경우 지점빈도해석을 적용할 것을 권장하고 있으며, 영국의 Flood Estimation Handbook (IH, 1999)은 대상 자료기간이 산정하려는 재현기간 T 보다 작은 경우에는 지역빈도해석을, 자료의 기간이 2T 이상일 때는 지점빈도해석을, 자료의 기간이 T에서 2T 사이인 경우에는 지역빈도해석과 지점빈도해석을 같이 사용하는

* 정회원 · 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 (swchz@hanyang.ac.kr)

** 정회원 · 전북대학교 토목공학과 부교수, 공학박사 (hkwon@jbnu.ac.kr)

*** 정회원 · 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 조교수, 공학박사 (eschung@seoultech.ac.kr)

**** 정회원 · 교신저자 · 한양대학교 공학대학 건설환경플랜트공학과 부교수, 공학박사 (Corresponding Author · Hanyang University · twkim72@hanyang.ac.kr)

Received August 6, 2013/ revised October 6, 2013/ accepted February 3, 2014

것을 권장하고 있다. Linsley et al. (1982)는 20년의 자료로부터 추정된 100년 빈도 자료의 80%는 과도하게 산정될 위험을 포함하고 있다고 하였으며, 일반적으로 빈도해석을 위해서는 30년 이상의 자료를 활용하고 있다(NDMI, 1999). 국내의 일부 지점에서는 약 40년의 강우자료를 구축하고 있으나, 선진국과 비교하면 적은 자료를 이용하여 확률강우량이 산정되고 있다. ‘설계홍수량 산정 선진화 기획’ 연구(MLTM, 2010)에서는 지점빈도해석과 지역빈도해석을 비교하여 자료의 수가 많은 지역은 두 방법에 의한 값의 차이가 크지 않았지만 적은 자료수를 이용할 때는 지점빈도해석의 값이 과대추정되는 문제점을 지적하였다. 국내에서 가장 많은 강우 자료를 보유하고 있는 기상청의 경우에는 전체 78개 지점에서 평균 32년의 자료가 구축되어 있으며, 30년 이상의 강우자료가 구축되어 있는 지점은 전체의 68% 정도이다(MLTM, 2010).

Hershfield (1961)와 Kibler (1982)는 빈도해석의 기본 자료로 연최대치 계열을 이용하고 연초과치 계열에 의한 빈도해석의 결과가 필요할 경우 환산계수를 이용하는 방법을 제안하였다. 이는 연초과치 계열이 연최대치 계열 보다 독립호우사상의 가정에 대한 점검 등 많은 추가 작업이 필요하기 때문이다. Langbein (1949)는 연초과치 계열과 연최대치 계열로 빈도해석을 수행하여 재현기간을 비교하였으며, 재현기간을 추정하는 관계식을 제안하였다. Ghahraman and Khalili (2004)는 부분기간치 계열의 자료 길이를 관측연수에서부터 늘려가며 연최대치 계열과의 상관성을 분석한 결과, 모든 지역에서 동일한 관계식이 적용될 수 없음을 확인하였으며, Mohssen (2009)은 부분기간치 계열과 연최대치 계열과의 분석관계를 토대로, 부분기간치 계열과 연최대치 계열의 재현기간에 대한 상관식을 유도하였다.

국내에서 Lee and Jun (2010)은 시유량 자료로 연최대치 계열과 기준년을 달리한 POT (Peak Over Threshold) 부분시계열을 각각

산정하여 비교분석을 수행한 뒤, 적은 연한의 자료로 개수를 확장할 수 있는 부분시계열의 적용을 제안하였다. Um et al. (2008)은 산악형 강수를 해석을 하는데 연최대치 계열의 모형을 적용하기에는 자료의 수가 부족하기 때문에 부분기간치 계열을 이용하여 고도와 확률강우량과의 관계를 산정하였다. Yoon et al. (2005)는 연최대치 계열의 홍수빈도해석 결과가 연초과치 계열과 비교하여 크게 산정됨을 확인하였으며, 연속적인 홍수유량의 영향이 클 경우, 연초과치 계열 뿐만 아니라 연최대치 계열의 빈도해석이 필요하다는 것을 보여주었다. 또한 Kim et al. (2012)는 연초과치 계열의 임계값에 따른 민감성을 분석하였는데 연초과치 계열에 의해 산정된 값이 연최대치 계열에 비해 크고, 과다 산정될 수 있으며 임계값의 변화에 따라 추정된 확률강우량이 변하는 것을 보였다.

본 연구에서는 연최대치 계열과 부분기간치 계열의 관계를 이용하여 관계식을 도출하고, 특성을 분석한 기존의 연구에서 착안하여, 적은 관측연수의 자료를 이용하여 확률강우량을 산정하는 방법을 제안하였다. 기상청에서 제공하는 1973년부터 2012년까지 총 40년간의 강우자료를 이용하여 독립호우사상을 구분한 뒤 연최대치 계열과 동일한 관측연수로 이용 가능한 자료의 수를 확장할 수 있는 비연초과치 계열의 상관성을 분석하였다. 또한 비연초과치 계열을 이용하여 산정한 확률강우량은 자료의 길이가 커질수록 그 값이 작아지므로, 연구의 목적에 맞게 자료의 길이비와 재현기간에 따른 지점별 관계식을 산정하였다.

2. 연구방법 및 연구대상

2.1 수문자료 계열

수문자료는 일반적으로 시간의 순서로 나타내게 되며, 기간에 따라 분류할 수 있다. 전기간치 계열(Complete Series: CS)은 해당

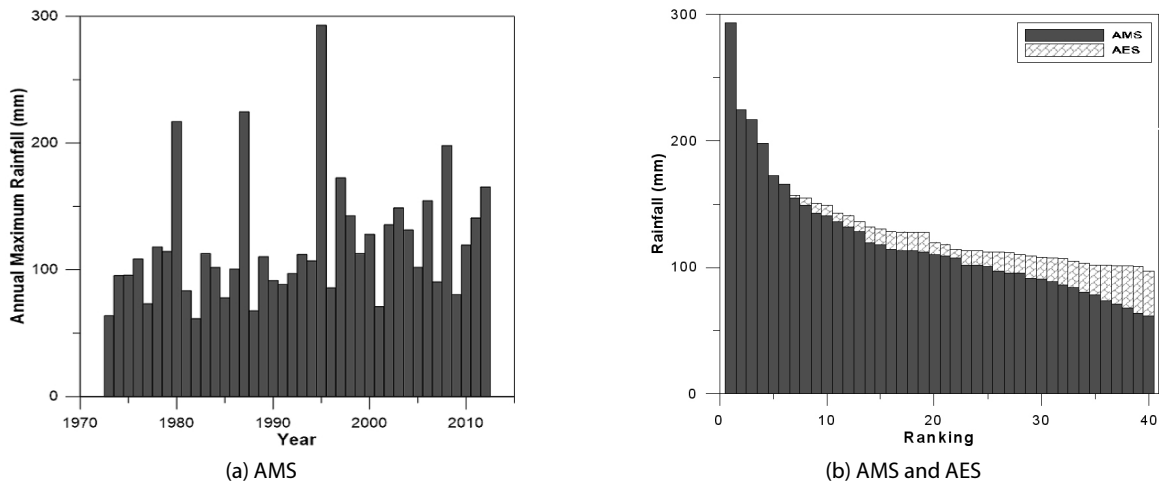


Fig. 1. Annual Maximum Series (AMS) and Annual Exceedance Series (AES) at Cheongju Station

기간의 모든 시계열 자료이고, 부분기간치 계열(Partial Duration Series: PDS)은 어떤 기준치의 자료보다 큰 값들로 구성되는 시계열이며, 극치 계열(Extreme Series)은 전 기간을 단위기간으로 분할하여 각 단위기간 내에서의 극값으로 이루어진 시계열을 의미한다(Yoon, 2011). PDS는 다시 연초과치 계열(Annual Exceedance Series: AES)와 비연초과치 계열(Non Annual Exceedance Series: NAES)로 나뉘며, AES는 계열에 속한 자료의 수와 기록연수가 같도록 기준치를 정한 것이다. 즉, 전체기간의 자료를 크기 순서로 나열한 뒤, 최대값부터 관측연수와 동일한 기간까지의 자료를 추출한 것이며, NAES는 전체기간의 자료를 크기 순서대로 정렬한 후 관측연수 보다 많은 갯수의 자료를 뽑아낸 것을 의미한다. 극치 계열에 속하는 연최대치 계열(Annual Maximum Series: AMS)은 매년마다 최대값을 추출하여 나타낸 시계열이다. Fig. 1(a)에 AMS의 예를 도식하였으며, Fig. 1(b)는 AES가 AMS 보다 큰 값으로 이루어진 시계열임을 시각적으로 보여준다.

국내의 수자원공학 분야에서는 자료의 독립성을 확보하고 있는 AMS를 사용하여 설계홍수량을 산정하고 있으며, AES는 설계빈도가 10년 이하인 구조물의 확률강우량 산정시 활용되고 있다(MCT, 2000), 배수시설의 경우, 설계빈도는 2~50년이며 배수로, 방수로, 저류지 등은 20년 이상, 하천제방은 국가하천의 경우 설계빈도는 100~200년, 지방하천은 50~200년의 설계빈도를 이용하고 있다(KWRA, 2009).

2.2 독립 호우사상의 결정

수문학적 빈도해석을 위한 관측 자료는 통계학적으로 독립성이 유지되어야 한다(NDMI, 1999). AMS는 관측년마다 최대값을 추출한 것으로 독립성이 보장되지만, AES에서는 자료의 크기를 기준으로 값을 추출하기 때문에 자료의 독립성이 결여될 수 있다. 본 연구에서는 강우 자료의 독립성을 확보하기 위하여 전기간의 강우자료에서 독립 호우사상을 분리한 뒤 연초과치계열을 추출하였다.

시단위 강우자료에서 독립 호우사상을 분리할 경우 일반적으로 IETD (Inter-Event Time Definition)에 의해서 정의된 최소 무강우 기간이 이용된다(Adams and Papa, 2000). Yoo and Park (2012)는 IETD를 이용하여 독립 호우사상을 구별한 뒤 AMS와 연최대치 독립호우사상 계열을 비교하여, 지속기간이 짧은 호우사상 보다는 긴 호우사상에서 연최대치 강우강도가 결정될 확률이 높음을 보인 바 있다.

본 연구에서는 일 강우량 자료를 이용하였으며, 시간단위에 맞게 독립호우사상을 구별하기 위하여 무강우 일수를 1일부터 7일까지로 가정하고 분석하였다. 무강우 1일은 일 강우 사이에 무강우가 하루 포함되어 있으면 두 호우사상을 독립 호우사상이라

고 보는 것이고, 무강우 일이 없이 연속으로 비가 내린 경우는 단일 호우사상이라 보는 것이다. Eq. (1)을 이용하여 가정된 무강우 일수 별로 재현기간 200년에 대해 예측된 확률강우량과 AMS의 값 중 상대오차가 가장 적은 무강우 일수를 선택하였다. 만약, 오차가 비슷할 경우에는 무강우 일수가 적은 것에 우선순위로 두었다.

$$err = \left| \frac{X_{200.AES} - X_{200.AMS}}{X_{200.AMS}} \right| \quad (1)$$

2.3 확률분포함수 및 모수 추정

강우량의 사공간적 특성이 서로 다르기 때문에, 강우빈도분석을 위한 확률분포함수의 선정은 여러 가지 극치분포를 적용한 후에 지점에 적합한 최적분포함수를 선정하는 것이 바람직하다. 최근에는 수문빈도해석에서 GEV 분포와 GP 분포가 자주 적용되고 있으나, GEV 분포와 GP 분포에 대한 사전 적용성 검토에서 GEV 분포는 AES 계열의 확률강우량 값이 수렴하지 않고 발산하는 지점이 있었으며, GP 분포는 최종 결과값이 관측소별로 상이한 추정결과를 나타내었다. 또한, 우리나라의 경우, MLTM (2011)은 기상청 산하 69개 관측소의 적정 확률분포를 모두 Gumbel 분포로 제시한 바 있다. 따라서, 본 연구에서는 확률분포함수로 Gumbel 분포를 선정하여 적용하였다. Gumbel 분포의 확률밀도함수와 누적분포함수는 Eqs. (2) and (3)과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right], \quad (-\infty < x < \infty) \quad (2)$$

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right] \quad (3)$$

여기서, α 는 축적모수(scale parameter)이고, x_0 는 위치모수(location parameter)이다. 본 연구에서는 모수 추정방법으로 확률가중모멘트법을 이용하였다. 확률가중모멘트법은 이상치 자료에 민감하지 않고(Kim et al., 1995), 강우빈도해석 시 최우도법에 비해 보다 안정적인 값을 추정하는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 1994).

2.4 연구방법

본 연구는 적은 관측연수의 자료를 이용하여 확률강우량을 예측하기 위하여 수문 시계열 자료의 상관성을 분석한 뒤, NAES를 활용하여 확률강우량을 산정하기 위한 것으로 연구의 전체 진행과정은 Fig. 2와 같다.

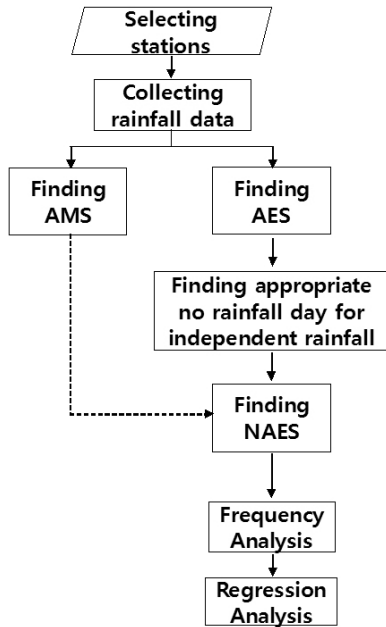


Fig. 2. Flow Chart of the Study

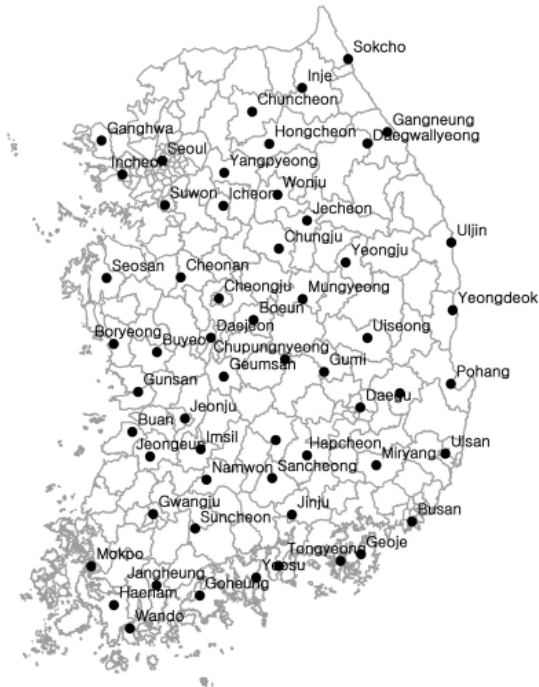


Fig. 3. Rain Gauge Stations Used in this Study

2.4.1 연최대치 계열(AMS)과 연초과치 계열(AES)의 자료 구축

기상청 강우관측소 중 지속시간 24시간 일강우량에 대하여 40년 이상의 자료를 보유하고 있는 57개 지점(Fig. 3)의 1973년부터 2012년의 강우량 자료를 활용하였다. 전체기간의 수문시계열 자료

를 바탕으로 매년마다 최대값을 추출하여 AMS를 구축하였으며, 전 기간의 강우자료에 대하여 독립 호우사상으로 분류한 자료를 활용하여 AES를 추출하였다. 최적 무강우일을 기준으로 하여 1일에서 7일까지를 기준으로 독립 호우사상을 분류하여 총 7가지 종류의 AES (1day AES, 2day AES, ... , 7day AES)를 구축하였다. AMS와 AES의 관계성을 바탕으로 지역별로 가장 적합한 최적 무강우일에 따른 AES를 선정하였다.

2.4.2 비연초과치 계열(NAES)의 자료 구축

NAES는 전체기간의 자료를 크기순으로 정렬한 후 관측연수보다 많은 개수의 자료를 구축한 것이다. 따라서 2.4.1절의 과정에서 도출한 최적 무강우일에 따른 강우량 자료를 내림차순으로 정렬한 후 일정 비율만큼 자료의 갯수를 증가시켜 NAES를 구축하였다. NAES의 자료수를 AES의 자료수로 나눈 값을 자료길이 비 (Length Ratio: LR)라고 하였으며, LR이 1.1부터 2.0까지의 강우자료(44개부터 80개까지의 NAES 강우자료)를 활용하여 지점별로 10가지 종류의 NAES에 대하여 빈도해석을 수행하였다. 이어서, 산정된 각각의 NAES의 재현기간별 확률강우량을 비교하여 자료수의 증가에 대한 확률강우량의 변화 양상을 파악하였다.

2.4.3 비연초과치 계열(NAES)과 연최대치 계열(AMS)의 상관성 분석

LR에 따른 NAES와 AMS의 상관성을 분석하여 각각의 관계식을 도출하였고, 두 계열간의 관계식을 바탕으로 30년의 관측연수(1983년부터 2012년의 강우량 자료)로 구성된 NAES를 이용하여 산정한 확률강우량과 40년의 AMS로 산정한 값을 비교하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 독립 호우사상의 결정

관측소마다 무강우 일수에 따라 AES의 값이 변화하는 특성은 크게 4가지로 구분된다. (1) 재현기간이 커짐에 따라 AES와 AMS가 비슷한 값을 보이는 경우(Case 1), (2) AMS와 비슷한 값을 보이다 더 작아지는 경우(Case 2), (3) 값은 작아지지만 AMS의 값과 비슷해지지 않는 경우(Case 3), (4) 값이 거의 변하지 않는 경우(Case 4)이다. Fig. 4는 4가지 특성 잘 나타내는 청주, 양평, 순천, 완도 관측소의 결과를 대표적인 사례로 보여주고 있다. 독립호우사상 구분을 위한 최적의 무강우 일수 산정을 위하여 재현기간이 클 때 상대오차를 이용하여 두 계열의 값 차이가 가장 적은 값을 갖는 무강우 일을 관측소 별로 각각 산정하였다. 이를 바탕으로 산정된 각 지점마다의 특성번호와 독립 호우사상 구별을 위한 관측소 별 무강우 일수는 Table 1과 같다.

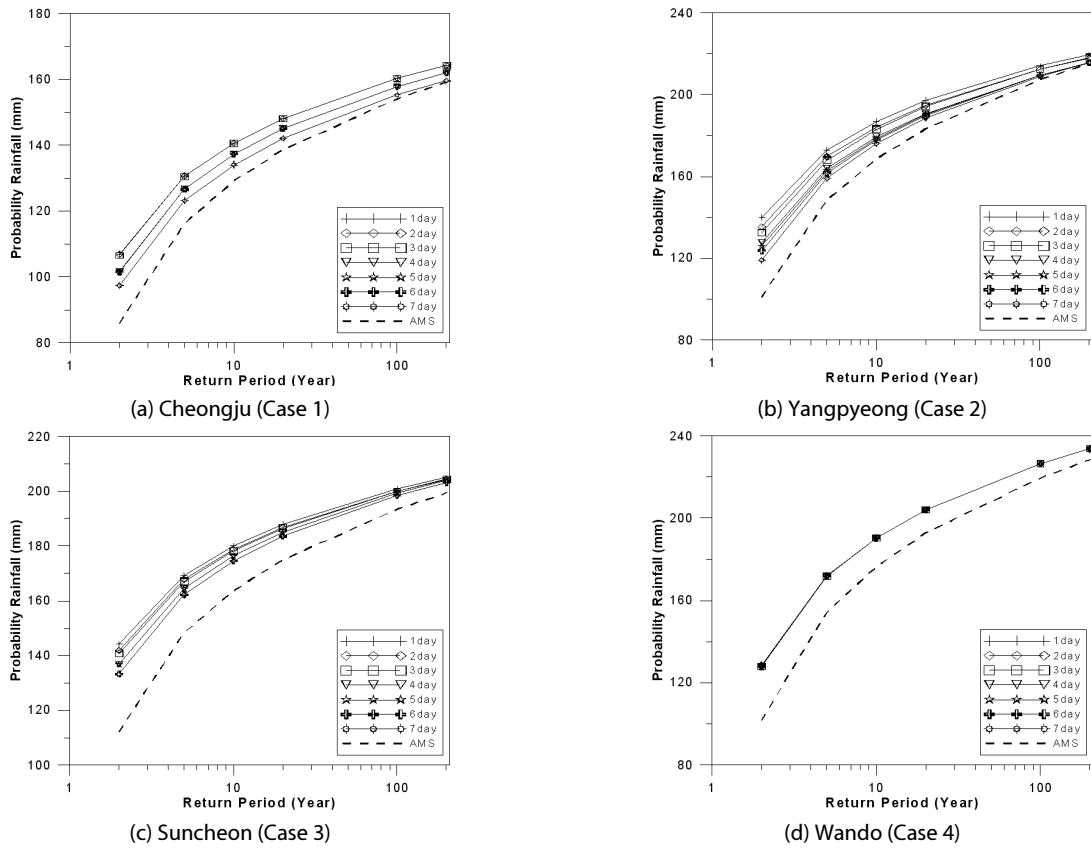


Fig. 4. Rainfall Frequency Curves Corresponding to No Rainfall Days

Table 1. Selected No Rainfall Day (NRD) of Each Station

Case	Station	NRD (day)	Case	Station	NRD (day)	Case	Station	NRD (day)
1	Sokcho	5	1	Geochang	7	3	Gwangju	1
	Suwon	7		Hapcheon	4		Mokpo	5
	Chungju	5		Daegwallyeong	2		Yeosu	7
	Cheongju	7		Chuncheon	2		Jinju	1
	Pohang	7		Seoul	3		Imsil	7
	Gunsan	4		Incheon	2		Suncheon	6
	Ulsan	7		Wonju	3		Yeongju	5
	Busan	5	Yangpyeong	2	Mungyeong		6	
	Ganghwa	7	Seosan	3	Yeongdeok		4	
	Miryang	3	Chupungnyeong	5	Gumi		7	
	Icheon	3	Daegu	6	Sancheong	4		
	Inje	2	Jecheon	2	Gangneung	7		
	Hongcheon	7	Cheonan	4	Uljin	1		
	Boeun	7	Namwon	2	Tongyeong	6		
	Boryeong	7	Uiseong	1	Wando	1		
	Buyeo	5	Yeongcheon	1	Jangheung	5		
	Geumsan	4	Namhae	1	Haenam	1		
	Buan	2	Daejeon	3	Goheung	1		
	Jeongeup	5	Jeonju	6	Geoje	2		

3.2 시계열 자료에 따른 상관성 분석

Langbein (1949)에 의하면 연최대치 계열과 연초과치 계열의 재현기간에 대한 관계는 Eq. (4a)와 같으며, Mohssen (2009)에 의하면 연최대치 계열과 부분기간치 계열의 관계는 Eq. (4b)와 같다.

$$T_E = \frac{1}{\ln T_A - \ln(T_A - 1)} \quad (4a)$$

$$T_P = -\frac{\lambda}{\ln(1 - \frac{1}{T_A})} \quad (4b)$$

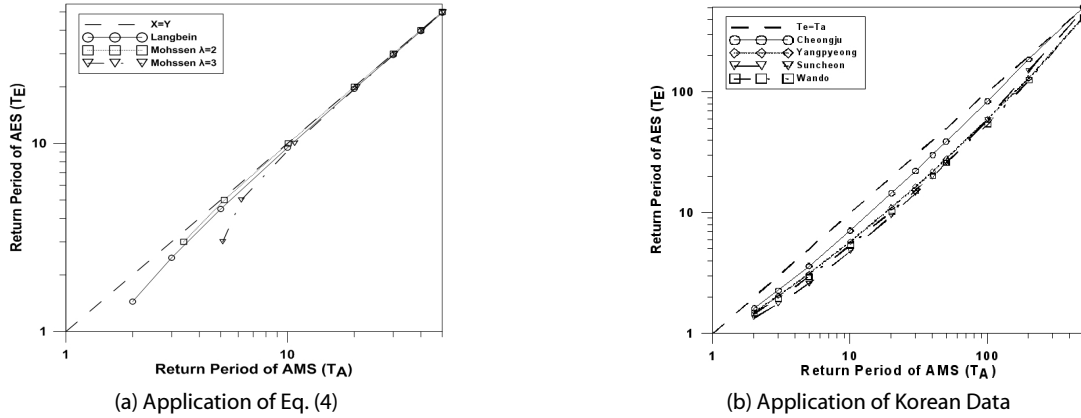


Fig. 5. Relationship Between Return Periods Estimated from the AMS and AES

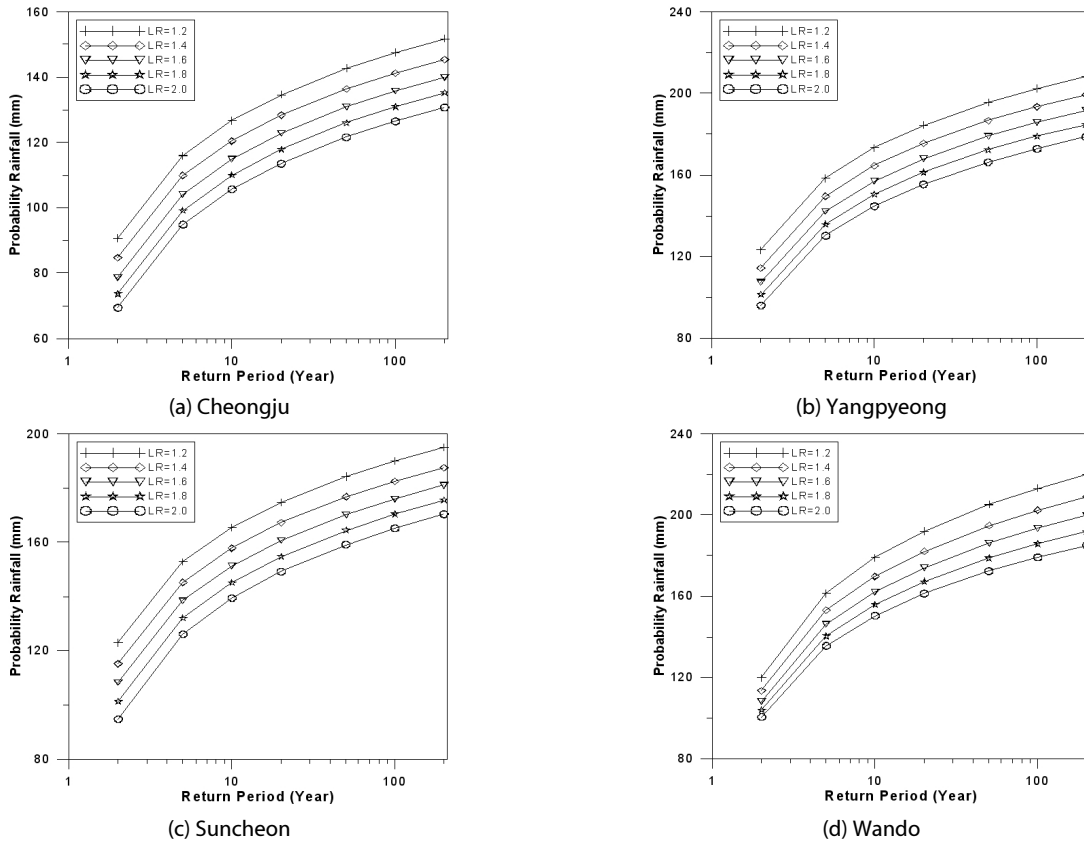


Fig. 6. Rainfall Frequency Curves From the NAES with Various Length Ratios (LR)

여기서, T_E 는 연초과치 계열을 이용해서 산정한 재현기간, T_P 는 부분기간치 계열을 이용해서 산정한 재현기간이며, T_A 는 연최대치 계열을 이용해서 산정한 재현기간이다.

Fig. 5는 같은 확률강우량 값을 가질 때의 AES와 AMS의 재현기간을 나타낸 것으로, Fig. 5(a)는 Eq. (4)에 의한 결과이며, Fig. 5(b)는 대표지점(청주, 양평, 순천, 완도)의 결과이다. Fig. 5(a)는 낮은 재현기간에서 AES에 의한 재현기간(T_E)이 AMS에 의해 산정된 재현기간(T_A)보다 작고, 재현기간이 커질수록 두 값을 비슷한 값을 나타냄을 보여준다. 이 관계는 동일한 재현기간일 때 두 계열의 확률강우량을 나타낸 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 낮은 재현기간에는 AES에 의해 산정된 확률강우량이 크지만 재현기간

이 커질수록 두 계열의 값은 점점 수렴하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)와 마찬가지로 낮은 재현기간에서는 T_E 가 T_A 보다 작지만 재현기간이 커질수록 두 값은 수렴하였다. 하지만 Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)에 비해 수렴하는 재현기간이 높는데, 아직 국내의 강우자료에 기존 연구에 의한 관계식의 적용성을 검토하기에는 자료의 수가 충분하지 않았다고 판단되며, 관측소마다 곡선의 모양이 다른 특성을 보이는 것을 보았을 때, Ghahraman and Khalili (2004)의 연구결과와 같이 하나의 관계식으로 모든 지역을 대표할 수는 없는 것으로 판단된다.

또한, 5가지 종류의 LR (1.1에서 2.0까지)을 적용한 NAES을 대상으로 빈도해석을 수행하여 산정된 재현기간별 확률강우량은 Fig. 6과 같다. Fig. 6을 통하여 LR이 증가하면서 즉, 자료의 수가 많아질수록 확률강우량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 빈도곡선에서 LR이 0.2씩 증가할 때 확률강우량은 일정한 비율로 감소하는 모습이 확인되었다. 이는 Kim et al. (2012)이 임계값(threshold)을 변화시키면서 산정한 빈도곡선의 그래프와 유사한 경향이다. 확률강우량의 감소 혹은 증가의 원인을 파악하기 위하여 LR별로 추정된 모수의 변화를 확인하였으며, LR에 따른 모수의 변화를 Table 2에 나타내었다. 이를 통하여 LR이 증가함에

Table 2. The Change of Parameters According to LR

LR	Location Parameter	Scale Parameter
1.2	135.9	35.35
1.4	128.2	35.53
1.6	121.3	35.79
1.8	114.6	36.49
2.0	108.4	37.17

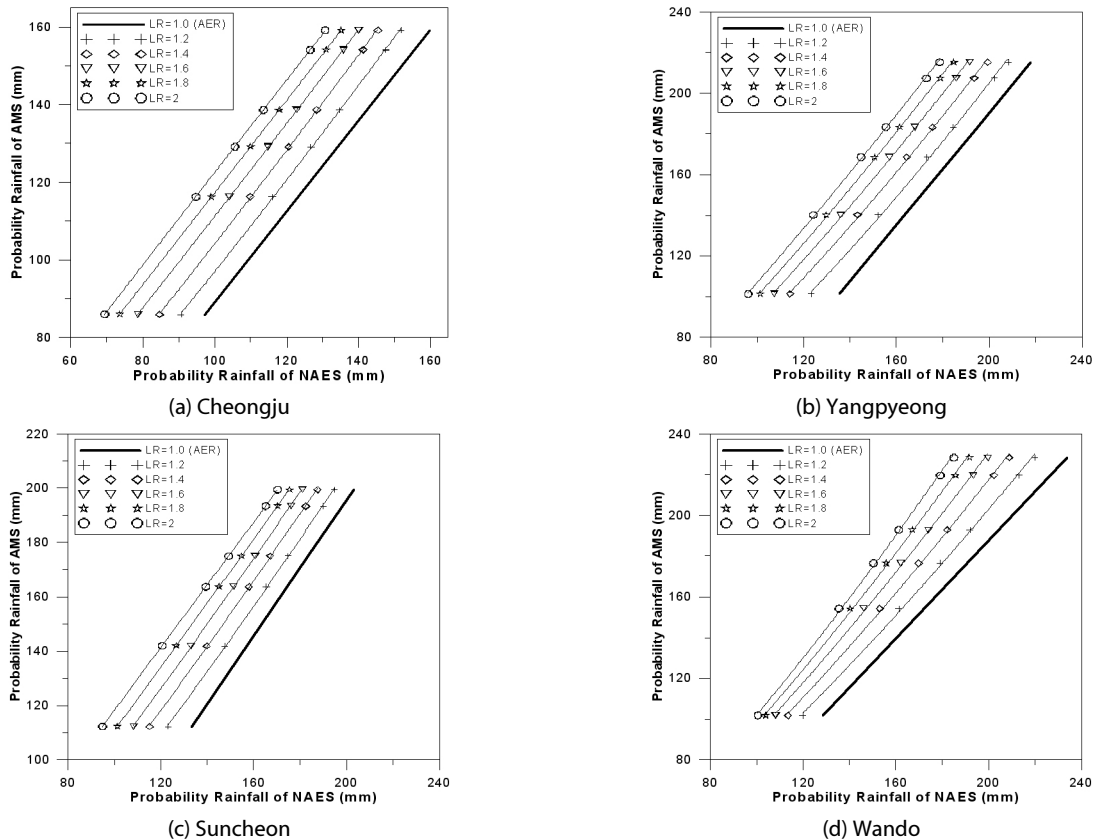


Fig. 7. Relationships Between Design Rainfalls from the AMS and NAES

따라서 내림차순으로 정렬된 자료가 추가되었고, 이때 축적모수 (scale parameter)는 큰 변화 없이 유사한 값을 유지하는데 반해, 위치모수(location parameter)는 일정한 비율로 감소함을 확인할 수 있었다. 즉, LR에 따른 확률강우량 곡선의 모양은 LR이 일정 비율로 증가함에 따라 추정되는 일정비율로 감소하는 위치모수에 영향을 받았음을 알 수 있다.

본 연구에서는 AMS과 NAES의 관계식 도출을 위하여 LR에 따른 NAES와 AMS의 확률강우량에 대한 회귀분석을 수행하였으며, 동일한 재현기간에 대한 확률강우량을 Fig. 7에 도시하였다. 모든 지점에서 두 계열에 의해 산정한 확률강우량을 결정계수(R^2)가 1에 가깝고, 간단히 표현이 가능한 직선의 형태로 나타낼 수 있었으며, Fig. 7에 도시된 지점의 LR에 따른 관계식을 Table

Table 3. Regression Equations for Converting Rainfalls from the NAES to the AMS

LR	Location			
	Cheongju	Yangpyeong	Suncheon	Wando
1.1	$P_A=1.186*P_E-29.309$	$P_A=1.354*P_E-73.231$	$P_A=1.224*P_E-48.997$	$P_A=1.231*P_E-38.416$
1.2	$P_A=1.198*P_E-6.720$	$P_A=1.340*P_E-63.731$	$P_A=1.212*P_E-41.832$	$P_A=1.261*P_E-37.269$
1.3	$P_A=1.211*P_E-24.484$	$P_A=1.337*P_E-56.994$	$P_A=1.207*P_E-36.108$	$P_A=1.296*P_E-37.147$
1.4	$P_A=1.207*P_E-20.362$	$P_A=1.338*P_E-51.553$	$P_A=1.206*P_E-31.645$	$P_A=1.326*P_E-36.611$
1.5	$P_A=1.201*P_E-16.065$	$P_A=1.341*P_E-46.782$	$P_A=1.206*P_E-27.604$	$P_A=1.353*P_E-35.893$
1.6	$P_A=1.194*P_E-12.019$	$P_A=1.351*P_E-43.526$	$P_A=1.197*P_E-22.294$	$P_A=1.381*P_E-35.440$
1.7	$P_A=1.191*P_E-8.602$	$P_A=1.360*P_E-40.394$	$P_A=1.187*P_E-17.073$	$P_A=1.409*P_E-35.328$
1.8	$P_A=1.190*P_E-5.637$	$P_A=1.366*P_E-36.968$	$P_A=1.174*P_E-11.641$	$P_A=1.438*P_E-35.522$
1.9	$P_A=1.192*P_E-4.772$	$P_A=1.372*P_E-33.910$	$P_A=1.162*P_E-6.503$	$P_A=1.467*P_E-35.795$
2.0	$P_A=1.194*P_E-2.016$	$P_A=1.380*P_E-31.177$	$P_A=1.153*P_E-2.002$	$P_A=1.496*P_E-36.428$

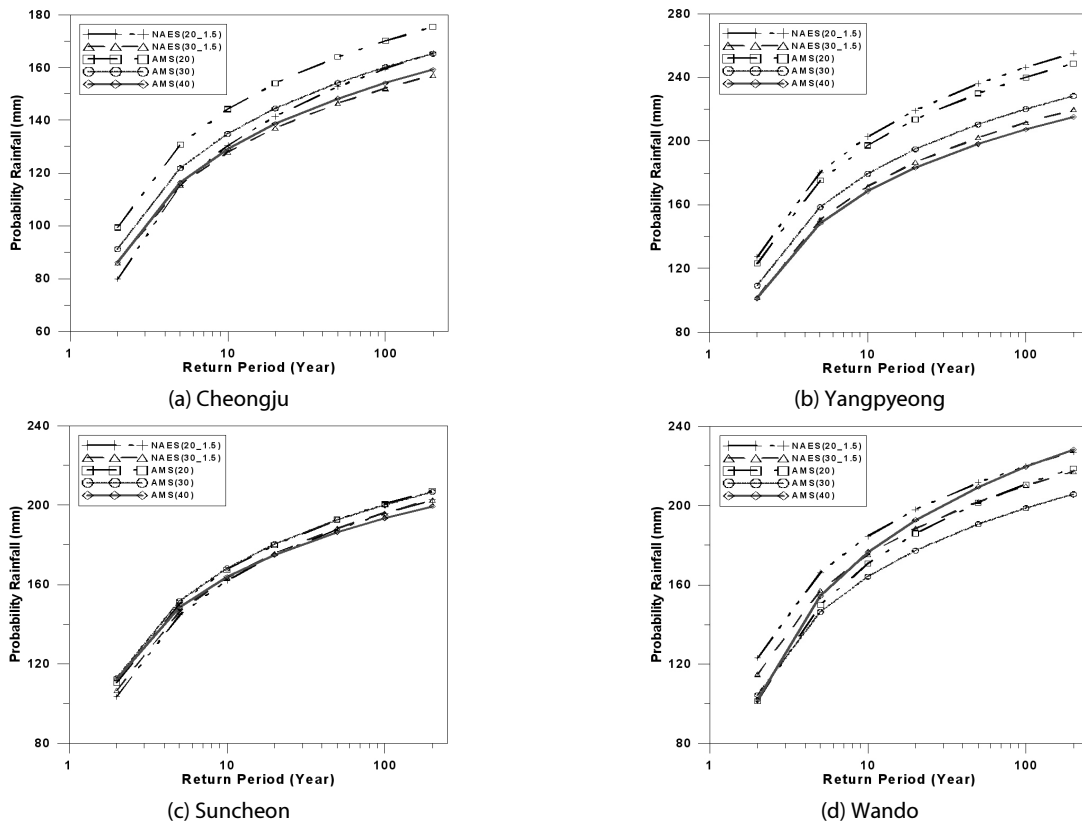


Fig. 8. Rainfall Frequency Curves Estimated from the AMS and NAES

Table 4. Comparison of the Results by Average Relative Difference (%)

	Cheongju	Yangpyeong	Suncheon	Wando
AMS(20)	11.7	17.3	2.7	3.2
NAES(20_1.5)	3.1	20.6	2.2	5.4
AMS(30)	4.0	6.6	2.7	7.3
NAES(30_1.5)	1.3	1.7	1.6	4.3

3에 제시하였다. P_E 는 NAES로부터 산정된 확률강우량이며, P_A 는 AMS로부터 추정되는 확률강우량이다. 또한 P_E 와 P_A 는 강우량이기에 음의 값이 될 수 없기 때문에, $P_A > 0$ 인 제약조건을 갖는다.

Fig. 8은 대표지점의 강우자료를 대상으로 관측연수를 달리한 AMS로부터 산정된 확률강우량을 도시한 것이며, 대표지점의 결과와 목표값과의 평균 차이를 Table 4에 정리하였다. 40년의 관측연수로 산정된 강우량(AMS(40))과 30년의 관측연수로 산정된 강우량(AMS(30), NAES(30_1.5))의 차이를 비교하였을 때 모든 지점에서 AMS(30)이 NAES(30_1.5)보다 차이가 크게 산정되었음을 알 수 있다. 청주관측소의 경우, AMS(30)은 AMS(40)보다 모든 재현기간에서 약 4% 크게 추정되었고, NAES(30_1.5)로 산정한 값은 약 1.3%의 차이를 보였다. 양평관측소의 경우, AMS(30)은 6.6%, NAES(30_1.5)는 1.7%, 순천관측소의 경우, AMS(30)은 2.7%, NAES(30_1.5)는 1.6%, 그리고, 완도관측소의 경우, AMS(30)은 7.3%, NAES(30_1.5)는 4.3%의 차이를 보였다. 하지만 20년의 자료를 이용한 경우, 청주와 순천관측소는 AMS(20)보다 NAES(20_1.5)가 더 차이가 적게 추정되었으나, 양평과 완도관측소에서 NAES(20_1.5)가 AMS(20)보다 목표값과 더 큰 차이를 보였다. 또한 완도관측소의 경우는 AMS(30)보다 AMS(20)이 목표값에 더 가까운 값을 보인다. 이는 앞에서 언급한 충분하지 않은 자료의 수를 이용하였을 때, 발생하는 과도산정의 문제 때문인 것으로 판단되었다. 즉, 20년의 자료는 대상 관측소의 강우특성을 나타낼 수 있는 자료의 수가 충분하지 못하여 적절히 추정이 되지 않았으며, 30년의 자료를 이용하였을 때는 목표값에 더 유사하게 추정되었다.

4. 결론

본 연구에서는 비연초과치 계열과 연최대치 계열로부터 추정된 확률강우량의 관계식을 도출하여 관측연수보다 많은 비연초과치 계열의 강우자료를 활용하여 확률강우량을 산정하는 방법을 제안하였다. 호우사상의 독립을 보장하기 위하여 무강우 일수를 여러 기준으로 나누어 최적의 무강우 일수를 산정하여 단일호우사상을

선정하였다. 이를 이용하여 연초과치 계열을 구성하였고, 연초과치 계열의 자료수를 확장한 비연초과치 계열에 Gumbel 분포를 적용시켜 확률강우량을 산정하였다. 이 과정에서 비연초과치 계열의 자료수가 커질수록 다음 순위의 자료가 추가되면서 모수가 다시 산정되는데, 이 과정에서 확률분포함수의 축적모수는 큰 변화가 없는 반면, 위치모수가 최대 혹은 최솟값의 변화에 따라 민감하게 바뀌는 결과를 확인할 수 있었다. 즉, 자료의 갯수에 따른 확률강우량 곡선의 모양은 자료길이의 비율이 일정하게 증가함에 따라 일정비율로 감소하는 위치모수에 의해 재현기간에 따라 확률강우량 곡선의 형태는 변하지 않으면서 일정한 간격으로 줄어드는 것으로 확인되었다.

청주, 양평, 순천, 완도 관측소를 대상으로 수행한 연구방법의 검증에서, 기존의 연구결과에서 제시한 연최대치계열과 연초과치계열로 산정한 재현기간의 상관관계를 검토하였다. 이론과 유사하게 낮은 재현기간에서는 연최대치계열의 재현기간이 더 크게 산정되었으나, 두 계열의 값이 수렴하는 재현기간은 이론치보다 높았으며 관측소마다 다른 곡선의 모양을 확인할 수 있었다. 국내 강우자료의 특성을 고려하였을 때, 하나의 관계식이 모든 지역을 대표할 수 없으며, 향후 충분한 자료의 수를 확보할 수 있을 때 재검토가 이루어져야 할 것이라 판단된다. 또한 강우량 자료를 이용하여 자료길이의 비가 1.5인 비연초과치 계열을 구성하였고, 상관식을 이용하여 최종적으로 확률강우량을 산정하였다. 산정된 결과를 바탕으로 목표값과의 차이를 비교하였을 때, 네 관측소 모두에서 30년의 연최대치 계열로부터 산정된 확률강우량보다 더 유사한 값으로 추정되었다. 즉, 산정된 식을 이용하여 적은 관측연수의 자료를 이용하여 목표값과 차이가 크지 않은 확률강우량을 산정할 수 있었다. 청주, 순천관측소에서는 20년의 연최대치 계열로부터 산정된 확률강우량보다 더 유사하게 추정되었지만 나머지 두 관측소(양평, 완도)에서는 20년의 연최대치 계열로부터 산정된 확률강우량보다 더 차이가 크게 산정되었다. 하지만 30년의 자료를 이용하였을 때는 네 관측소 모두에서 연최대치 계열로부터 산정된 확률강우량보다 더 유사한 값으로 추정되었다. 즉, 산정된 식을 이용하여 적은 관측연수의 자료를 이용하여 목표값과 차이가 크지 않은 확률강우량을 산정할 수 있었다.

또한, 본 연구에서 제시한 자료길이 비에 따른 상관식은 자료길이 비에 관계없이 자료의 수를 달리 하여도 오차가 크게 줄어들거나 목표값에 가깝게 추정이 되지는 않았다. 이는 자료길이 비가 변화하여도 빈도곡선의 형태는 변화하지 않고 추정된 값만 일정 비율로 달라지기 때문에 하나의 관계식을 쓰는 것과 큰 차이가 없었다. 즉, 제시한 상관식이 연최대 계열과 비연초과치 계열의 자료길이의 비에 따른 빈도곡선의 변화 특성을 직선 관계를 이용하여 조금 더 유사한 값으로 변환하는 역할을 하였으며, 비연초과치 계열의

강우특성은 변하지 않아 자료길이의 비율에 따른 관계식이 모두 유사한 값을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 한국연구재단의 기초연구사업(2013R1A1A2013160)과 국토해양부 국제수문계획(International Hydrological Program)의 제7단계 연구지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Adams, B. J. and Papa, F. (2000). *Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models*, John Wiley & Sons, INC.
- Ghahraman, B. and Khalili, D. (2004). "A re-visit to partial duration series of short duration rainfalls." *Iranian Journal of Science and Technology*, Vol. 28, No. B5, pp. 547-558.
- Hershfield, D. M. (1961). *Rainfall frequency atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years*, Tech. Paper 40, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C.
- Institute of Hydrology (IH) (1999). *Flood estimation handbook*, Vol. 5, Wallingford.
- Kibler, D. F. (1982). *Urban stormwater hydrology*, American Geophysical Union.
- Kim, G. S., Jo, A. J., Jeon, H. C. and Kim, B. K. (2012). "Sensitivity analysis of frequency analysis using annual rainfall exceedance series." *Proceedings of 2012 Annual Conference*, KSCE, pp. 805-808 (in Korean).
- Kim, Y. S. and Kim, W. (1994). "Study on applicability of PWM method to rainfall frequency analysis." *Proceedings of 1994 Annual Conference*, KSCE, pp. 259-262 (in Korean).
- Kim, Y. S., Heo, J. H. and Ryu, H. J. (1995). "Study on applicability of probability weighted moment method to rainfall frequency analysis." *Journal of the Korean Society of Civil Engineer*, No. 6, pp. 1647-1658 (in Korean).
- Korea Water Resources Association (KWRA) (2009). *River design criteria* (in Korean).
- Langbein, W. B. (1949). "Annual floods and the partial duration flood series." *Transaction of American Geophysical Union*, Vol. 30, pp. 879-881.
- Lee, K. M. and Jun, K. S. (2010). "Frequency analysis of partial duration series for flood discharge of rivers." *Proceedings of Korea Water Resources Association*, pp. 175-178 (in Korean).
- Linsley, R. K., Kohler, M. A. and Paulhus, J. L. H. (1982). *Hydrology for engineers*, McGraw Hill Book Co., New York, N.Y.
- Ministry of Construction and Transportation (MCT) (2000). *Research report on water resources management techniques. 1999*, Vol. 1, Development of Design Rainfall Maps in Korea (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) (2010). *Advanced planning of estimation design flood* (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) (2011). *Improvement and supplement of probability rainfall* (in Korean).
- Mohssen, M. (2009). "Partial duration series in the annual domain." *Proceedings of 18th International Mathematics and Computer Science World Congress and International Modelling and Simulation*, pp. 2694-2700.
- National Disaster Management Institute (NDMI) (1999). *The creek design guidelines* (in Korean).
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2004). *Precipitation-frequency atlas of the United States*, Vol. 2.
- Um, M. J., Yun, H. S., Cho, W. C. and Heo, J. H. (2008). "Orographic precipitation analysis with GPD model and linear regression." *Proceedings of Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1053-1057 (in Korean).
- Yoo, C. S. and Park, C. S. (2012). "Comparison of annual maximum rainfall series and annual maximum independent rainfall event series." *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 5, pp. 431-444 (in Korean).
- Yoon, S. K., Oh, T. S., Moon, Y. I. and Kye, D. Y. (2005). "A study on methodological comparison of probability flood discharge." *Proceedings of Korea Water Resources Association*, pp. 1017-1021 (in Korean).
- Yoon, T. H. (2011). *Applied hydrology*, Cheong Moon Gak (in Korean).