

스케일 특성을 이용한 미래 확률강우량 산정기법의 적용성 평가

The Application Assessment of Future Design Rainfall Estimation Method Using Scale Properties

이 문 환* / 신 상 훈** / 배 덕 효***

Lee, Moon Hwan / Shin, Sang Hoon / Bae, Deg Hyo

Abstract

The objectives of this study are to suggest the method for estimation of sub-daily extreme rainfall under climate change using scale properties and to assess the application in the 6 major weather stations including Seoul site. First, the proposed method was assessed by past observations. As the results, absolute relative errors of probability rainfall quantiles estimated by frequency analysis and scale property method show approximately 10% in the all durations. And as the result of application climate scenario, absolute relative errors of rainfall quantiles between two method show approximately 20%. From the results, the scale property method on this study will be derive as the reliable results.

Keywords : scale property, climate change, probability rainfall, extreme rainfall

요 지

본 연구에서는 스케일 특성을 이용하여 기후변화에 따른 일단위 이하의 극한강우를 평가할 수 있는 방법을 제안하였으며, 서울을 비롯한 6개 주요 기상관측소 지점을 대상으로 적용성을 평가하였다. 우선, 과거 관측자료를 이용하여 스케일 특성을 이용한 확률강우량 산정기법의 적용성을 평가하였으며, 평가 결과 빈도분석과 스케일특성으로 산정된 확률강우량의 절대상대오차가 10% 내외의 범위를 보였다. 또한 기준기간의 기후시나리오를 이용하여 적용성 평가를 수행한 결과 100년 빈도 이내에서 20% 내의 절대상대오차를 보였다. 평가 결과를 통해 본 연구에서 적용한 스케일 특성 기법은 미래 확률강우량 산정 시 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 스케일 특성, 기후변화, 확률강우량, 극한 강우

1. 서 론

최근 국내에서는 기후변화로 인한 국지성 집중호우의 빈도 및 강도가 증가하는 경향이 나타나고 있다(Jung et al., 2011). 특히 도시지역에서 내수침수로 인한 피해가 급증하고 있는 추세로, 이러한 도시지역은 관을 통해 배수

를 하기 때문에 1~2시간의 짧은 지속시간의 강수량으로도 큰 피해를 입는 사례가 발생하고 있다. 실제로 2009년 7월 부산에서 발생한 시간당 73 mm의 집중호우, 2010년 9월 서울 광화문에서 발생한 시간당 100 mm 이상의 집중호우, 2011년 7월 서울 강남지역에서 발생한 시간당 110 mm의 집중호우 등이 발생하여 많은 인명 및 재산 피해가

* 세종대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정 (e-mail: ycleemh@paran.com)
Ph.D., Student. Dept. of Civil and Environmental Engrg., Sejong Univ, Seoul 143-747, Korea

** 세종대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정 (e-mail: hjhssh@naver.com)
Master Degree Course Student. Dept. of Civil and Environmental Engrg., Sejong Univ, Seoul 143-747, Korea

*** 교신저자, 세종대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 (e-mail: dhbae@sejong.ac.kr)
Corresponding Author, Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Sejong Univ, Seoul 143-747, Korea

발생하였다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 도시지역의 침수피해를 막을 수 있는 구조적·비구조적 대책 마련이 시급하나, 구조적 대책을 마련하기 위해서는 정량적인 영향 평가가 선행되어야 한다.

이러한 기후변화에 따른 집중호우의 영향을 평가하기에는 현재 가용한 기후시나리오의 경우 IPCC에서 월단위로 제공되고 있기 때문에 신뢰성 있는 일단위 이하의 기후시나리오를 생산하는데 불확실성이 존재할 뿐만 아니라 300 km 이상의 낮은 공간해상도를 가지고 있기 때문에 이로 인한 지형적 효과를 반영할 수 있는 상세화 기법이 요구되는 바이다(Bae et al., 2008). 특히 기존에 사용되고 있던 상세화 기법들 중 기후의 평균적인 변화를 고려하는 기법(change factor method)이나 무작위수를 발생하는 방법(e.g. 일기상발생기)의 경우 발생한 일단위 이하의 자료는 과거자료의 통계적 특성이 그대로 전이되기 때문에 미래를 전망하는데 시나리오의 한계가 나타난다. 또한 기후모형에서 모의된 짧은 지속기간의 극한 강수량 역시 불확실성을 내포하고 있기 때문에 월별, 계절별, 연별의 변화분석에는 유용하지만, 일단위 이하의 집중호우를 평가하기에는 한계가 존재한다. 실제, Hanel and Buishand (2010)은 5개의 RCM (Regional Climate Model)에서 생산된 시단위 연최대치 강수량자료를 GEV (General Extreme Value) 분포를 이용하여 평가하였는데, 평가 결과 RCM 종류에 따라 GEV 분포의 매개변수가 크게 차이나는 것을 제시하여, RCM에서 생산되는 시단위 자료의 불확실성을 평가하였다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 국외에서는 다수의 연구가 진행되고 있으며, 크게 일단위 기후시나리오를 통계적 방법을 통해 간접적으로 시단위를 평가하는 방법과 RCM에서 생산된 시단위 자료를 이용하여 직접적으로 평가하는 방법으로 구분된다. Nguyen et al. (2007)은 전구 기후모형(HadCM3, CGCM2)의 결과를 토대로 SDSM (Statistical Down Scaling Model)을 이용하여 공간적 상세화를 수행하였고, GEV 분포와 스케일특성을 이용하여 시간적 상세화를 수행하여 1시간 및 5분 지속시간을 갖는 확률강우량의 변화를 평가하였다. Mailhot et al. (2007)은 CGCM (Canadian Global Climate Model)의 결과를 CRCM (Canadian Regional Climate Model)을 통해 생산된 45 km 해상도의 격자의 결과를 이용하여 2시간, 6시간, 12시간, 24시간에 대해 지역빈도해석을 수행하였고, 격자별로 과거와 미래의 IDF 곡선을 작도하여 미래의 변화를 평가하였다.

국내에서는 김병식 등(2008)이 YONU CGCM의 결과를 SDSM을 적용하여 우리나라에 위치한 기상청 산하 관

측소별로 일기상자료를 구축하였고, Quantile Mapping 기법으로 편이보정하였다. 구형펠스모형과 분해기법을 적용하여 시강우자료로 변환한 뒤 I-D-F 곡선을 작성하여, 현재와 미래의 확률강우량의 변화를 평가하였다. 하지만 시강우자료에 대한 적정성 검토를 수행하지 않아 자료에 내재된 불확실성의 정도를 판단하기 힘든 한계점이 있다. 손경환 등(2010)은 기후변화에 따라 미래 확률강우량 산정 기법을 제안하였고, 산정된 확률강우량을 이용하여 확률홍수량, 확률 홍수위를 산정하였으며, 산정 결과 확률강우량은 13.0~15.1%, 침투홍수량은 29.1~33.5%, 홍수위는 평균 12.6~13.6% 증가한다고 제시하였다. 또한 이문환 등(2011)은 국내 109개 중권역에 대해 홍수에 대한 취약성 평가 기법을 제시하고 평가하여 취약 지역을 도출하였으나, 기후 자료의 경우 일단위 자료를 이용하였기 때문에 국지성 호우와 같은 짧은 시간의 집중호우는 반영하지 못하는 한계가 존재한다.

따라서 본 연구에서는 일단위 이하의 짧은 지속시간을 갖는 집중호우의 기후변화 영향을 평가할 수 있는 스케일 특성 기법의 적용성을 평가하고자 한다. 또한 이를 토대로 미래 기후변화 평가시 적용가능성을 평가·제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 개요

본 논문에서 제시하는 기법의 적용성 평가 방법은 Fig. 1과 같다. 우선, 기상청 관할 기상관측소의 시단위 관측 강수량자료를 이용하여 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24시간의 지속시간을 갖는 연최대치 계열을 구축한다. 그 후 빈도 분석을 통해 각 지속시간 별로 확률강우량을 산정하고, 24시간 지속시간의 확률강우량을 토대로 스케일특성을 이용하여 앞에서 제시한 지속시간별 확률강우량을 산정

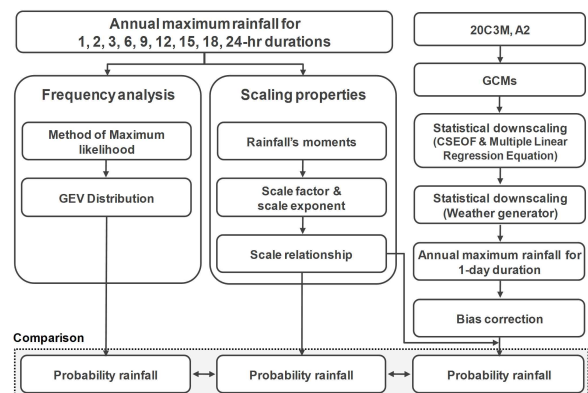


Fig. 1. Flow Chart of this Study

한다. 산정된 두 기법의 확률강우량을 비교하여 스케일 특성을 이용한 확률강우량 산정기법의 적용성을 평가한다. 또한 기후시나리오의 적용성을 평가하기 위해 배덕효 등(2011)에서 생산된 기준기간의 시나리오를 이용하여 연구대상지점의 연최대치 일단위강수량을 구축하였으며, 편의보정을 거친 후 24시간 지속시간을 갖는 확률강우량을 산정 스케일 특성을 이용하여 각 지속시간 별 확률강우량을 산정하였다. 산정된 확률강우량을 관측자료의 확률강우량과 비교하여 적용성을 평가하고자 한다.

2.2 기후시나리오 및 편의보정

기후변화의 적용성을 평가하기 위해 기후시나리오는 배덕효 등(2011), 교육과학기술부(2011)에서 생산된 기준기간 시나리오를 이용하였으며, 시나리오의 특성은 다음과 같다.

IPCC Data Distribution Center (<http://www.ipcc-data.org>)에서는 SRES (Special Report on Emissions Scenarios)를 기초로 생산된 23개 GCM결과를 제공하고 있는데 20C3M을 이용한 과거기간의 모의한 결과로 1901~2000년의 자료가 존재한다. 따라서 기준기간(1971~2000년)의 ECHO-G 자료를 이용하였으며, 상세화 기법은 통계적 상세화를 적용하였다. 통계적 상세화는 예측변수(predictor variable)의 GCM 결과와 관측자료 사이의 통계적 관계를 이용하여 기후모델 결과의 편의를 보정하는 기법이며, 통상 3가지 방법(일기발생기, 전이함수, 일기도 분류)으로 구분된다(IPCC, 2001). 배덕효 등(2011)에서는 전이함수를 이용하여 공간적으로 상세화하고, 일기발생기를 이용하여 시간적으로 상세화하는 조합(hybrid)기법을 선택하였다. 상세화에서 사용한 전이함수는 주성분분석 기법 중 하나인 CSEOF (CycloStationary Empirical Orthogonal Function)와 다중선형회귀분석을 이용하여 100~300 km의 GCM 결과를 국내 기상관측소 57개 지점으로 공간적으로 상세화하였으며(신진호 등, 2009), 일기발생기는 WXGEN을 이용하여 월단위 기후시나리오를 일단위로 시간적 상세화를 수행하였다(Bae et al., 2011).

생산된 일단위 기후시나리오를 토대로 대상지점의 연최대치를 구축하면 시나리오의 한계로 인하여 관측자료에 비해 과소 모의하는 경향이 발생하게 되는데, 이를 고려할 수 있는 편의보정 과정이 필요하다. 본 연구에서 사용한 편의 보정방법은 기후시나리오와 관측치를 최소값부터 최대값 순으로 나열한 뒤 해당되는 순서별로 관측치에서 기후시나리오 모의치의 잔차를 구하여, 2차 방정식 회귀식을 Eq. (1)과 같이 산정한다. 산정된 회귀식을 이용

하여 Eq. (2)에 대입하면 편의보정된 기후시나리오를 생산하게 된다.

$$e_i = m_0 + m_1 \times \underline{y}_i + m_2 \times \underline{y}_i^2 \quad (1)$$

$$y_i = \underline{y}_i + e_i \quad (2)$$

여기서, y_i 는 보정된 연최대치 강수량, \underline{y}_i 는 기후시나리오의 연최대치 강수량을 의미한다.

2.3 GEV분포

본 연구에서 적용한 확률분포형은 홍수나 가뭄 같은 사상의 빈도해석에서 가장 많이 사용되고 있는 GEV분포를 이용하였으며, GEV분포의 누가확률밀도함수(CDF)와 확률밀도함수(PDF)는 다음 Eq. (3) and (4)와 같다.

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - \frac{\kappa(x-\xi)}{\alpha}\right)^{(1/\kappa)}\right] \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{\kappa(x-\xi)}{\alpha}\right]^{(1/\kappa)-1} \cdot F(x) \quad (4)$$

여기서, α 는 규모매개변수(scale parameter), κ 는 형상매개변수(shape parameter), ξ 는 위치매개변수(location parameter)이다. 또한 매개변수 추정방법은 최우도법(method of maximum likelihood)을 이용하였고, Eq. (3)의 역함수(inverse)를 이용하여 확률강우량을 산정하였으며, Eq. (5)와 같다.

$$X_T = x_0 + \frac{\alpha}{\beta} \left[1 - \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^\beta\right] \quad (5)$$

여기서, T 는 재현기간(return period)을 나타내며 X_T 는 T 의 재현기간 따른 확률강우량을 의미한다.

2.4 스케일 특성(Scale property)

본 연구의 스케일 특성을 이용한 상세화기법은 스케일 불변성(scale invariance or scaling)을 기반으로 한다. 스케일 불변성이란 측정의 단위가 변해도, 확률분포는 변하지 않는 것을 의미하며, 즉 확률변수에 어떤 환산 값을 곱하거나 나누어 단위를 바꾸어도 어느 구간 내에 있을 확률은 변하지 않는 것을 의미한다. 이는 어떤 한 함수 $f(x)$ 와 스케일된 함수 $f(\lambda x)$ 가 λ 에 항상 비례한다면, 함수 $f(x)$ 는 스케일 불변성을 가지고 있다고 가정할 수 있다. 이럴 경우 $f(x)$ 를 Eq. (6)과 같이 표현할 수 있으며, 함수 $C(\lambda)$ 는 Eq. (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$f(x) = C(\lambda)f(\lambda x) \quad (6)$$

$$C(\lambda) = \lambda^{-\beta} \quad (7)$$

여기서, β 가 상수일 경우, $f(x)$ 를 Eq. (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$f(x) = x^\beta f(1) \quad (8)$$

단일 스케일 과정의 경우 GEV 분포의 매개변수를 아래 Eqs. (9)~(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$\kappa(\lambda t) = \kappa(t) \quad (9)$$

$$\alpha(\lambda t) = \lambda^\beta \alpha(t) \quad (10)$$

$$\xi(\lambda t) = \lambda^\beta \xi(t) \quad (11)$$

최종적으로 Eq. (12)와 같이 확률강우량을 산정할 수 있다.

$$X_T(\lambda t) = \lambda^\beta X_T(t) \quad (12)$$

여기서, λ 는 스케일 인자(Scale factor), β 는 스케일 지수(Scale exponent)이다. 스케일 인자와 스케일 지수를 산정하는 구체적인 방법에 대해서는 Burlando and Rosso (1996)와 정영훈 등(2009)을 참조하기 바란다.

3. 대상지점 및 자료수집

3.1 대상지점

본 연구에서는 대상지점을 기상청에서 관할하고 있는 지점 중에서 1961년부터 자료가 가용한 관측소에서 선정하였으며, 그 중 지역적인 특성을 고려하기 위해 내륙지역으로는 서울, 광주, 대구를, 해안지역으로는 강릉, 부산, 목포를 선정하였다. Table 1은 본 연구에서 사용된 6개 관측소의 지점번호, 지점명, 위치정보와 강수의 특성(연평균 강수량, 연간 1일 최대강수량의 평균값)을 나타낸 것이다. 6개 지점의 연평균 강수량을 살펴보면 990~1430 mm이며, 연

간 1일 최대강수량의 평균값 역시 122~187 mm로 다양한 특성을 보이는 것으로 판단된다. 강릉 지점의 경우 연간 1일 최대강수량의 평균값이 가장 크게 나타나는데 그 요인으로는 2002년 태풍 루사의 영향으로 일강수량이 880 mm 가 넘는 호우사상이 있기 때문으로 판단된다.

3.2 자료수집

해당 기상관측소의 1961~2006년까지의 시단위 강수량을 수집하였으며, 수집된 자료를 활용하여 지속시간 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 24시간에 해당하는 연최대치 자료를 구축하였다. 연최대치 강우량의 기본 통계값(평균, 분산, 표준편차, 변동계수) 및 1~5차 모멘트를 산정하였다(Table 2). 산정된 모멘트를 전대수지상에 지속시간별로 도시한 후 차수별로 선형회귀선의 기울기를 산정하고(Fig. 2), 차수별 선형회귀식의 기울기에 대해 다시 선형회귀식을 산정하여 기울기를 얻게 되면 모멘트 차수에 대한 모멘트 기울기를 구할 수 있다(Fig. 3). 최종 모멘트 기울기가 평균적인 스케일 지수가 되며, Table 2와 Fig. 2~3은 스케일 지수를 산정하는 절차를 서울기상관측소만 나타낸 것이다. Fig. 2의 차수별 선형회귀식을 산정한 결과

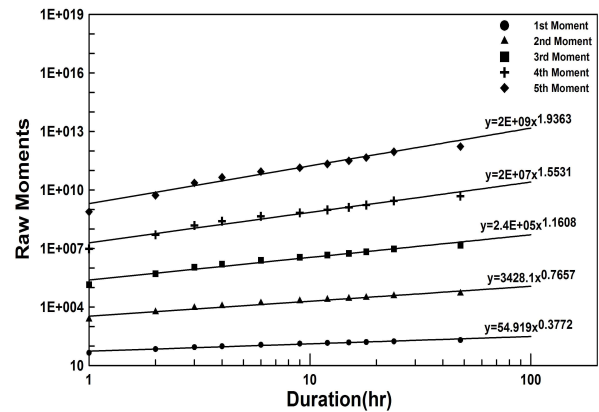


Fig. 2. Scaling of Raw Moments with Duration (Seoul Station)

Table 1. Information of 6 Rainfall Recording Sites Used in this Study

Site No.	Site Name	Period	Latitude	Longitude	Annual Rainfall (mm)	Average Maximum Daily Rainfall (mm)
105	Gangneung	1961~2006	37° 45'	128° 54'	1294	187.35
108	Seoul	1961~2006	37° 34'	126° 58'	1345	176.16
143	Daegu	1961~2006	35° 53'	128° 37'	991	122.80
156	Gwangju	1961~2006	35° 10'	126° 54'	1280	146.55
159	Busan	1961~2006	35° 06'	129° 02'	1431	170.68
165	Mokpo	1961~2006	34° 49'	126° 23'	1033	131.1

Table 2. Sample Data and Statistics of Annual Maximum Rainfall for Each Durations (Seoul Station)

Sample data	Durations (hr)									
	1	2	3	6	9	12	15	18	24	48
Number	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Sum.	2,280.2	3,559.8	4,456.1	5,895.0	6,779.7	7,340.4	7,742.8	8,134.5	8,796.1	10,320.1
Var.	302.5	695.1	1,370.3	2,250.7	2,487.6	3,098.7	3,801.0	4,684.2	6,639.8	8,777.5
STEV.	17.4	26.4	37.0	47.4	49.9	55.7	61.7	68.4	81.5	93.7
C.V.	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
E[H]	45.6	71.2	89.1	117.9	135.6	146.8	154.9	162.7	175.9	206.4
E[H ²]	2.4E+03	5.8E+03	9.3E+03	1.6E+04	2.1E+04	2.5E+04	2.8E+04	3.1E+04	3.7E+04	5.1E+04
E[H ³]	1.4E+05	5.2E+05	1.1E+06	2.5E+06	3.6E+06	4.6E+06	5.6E+06	6.9E+06	9.5E+06	1.5E+07
E[H ⁴]	9.8E+06	5.1E+07	1.5E+08	4.5E+08	6.8E+08	9.6E+08	1.3E+09	1.7E+09	2.8E+09	4.8E+09
E[H ⁵]	7.7E+08	5.4E+09	2.3E+10	8.8E+10	1.4E+11	2.2E+11	3.2E+11	4.6E+11	9.2E+11	1.7E+12

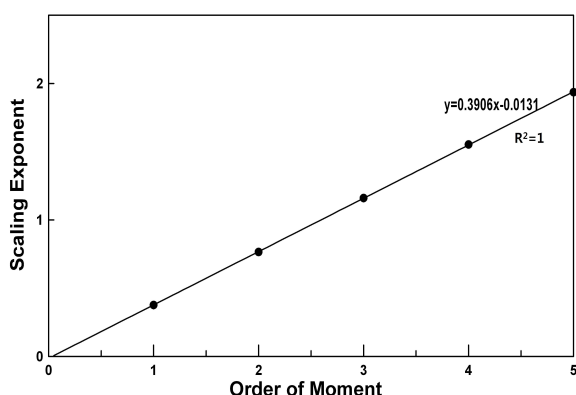


Fig. 3. Simple Scaling in the Growth of Slope with Respect to Order of the Moment

Table 3. Scaling Exponent of 6 Sites Used in this Study

Site No.	Site Name	Scaling Exponent
105	Gangneung	0.5223
108	Seoul	0.3906
143	Daegu	0.4158
156	Gwangju	0.4280
159	Busan	0.4180
165	Mokpo	0.4685

평균적으로 결정계수(R^2)가 0.96 정도로 나타나 각 지속 시간에 따른 모멘트의 값이 로그스케일에 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 이로 인해 Eq. (12)와 같은 지수 함수로 평가하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 최

종적으로 Fig. 3의 모멘트 산정한 회귀식은 R^2 이 1로 나타나 모멘트 차수별 스케일 지수가 합리적으로 결정되는 것을 확인하였다. Table 3은 본 연구에 사용된 6개 지점의 스케일 지수를 나타낸 것이다.

4. 적용결과

4.1 관측자료를 이용한 스케일 기법의 적용성 평가

스케일 특성을 이용한 확률강우량 산정 기법의 적용성을 평가하기 위해, 우선 빈도분석을 이용한 확률강우량을 산정하였다. 확률분포형은 GEV분포를 선정하였으며, 최우도법(method of maximum likelihood)을 사용하여 매개변수를 산정하였다. 적합도 검정결과 GEV 확률분포가 각 지점들의 연최대 강우자료에 적합하다는 것을 확인하였다. 3장에서 구축한 스케일 지수를 이용하여 지속시간 24시간의 확률강우량을 기반으로 Eq. (12)와 같이 각 지속 시간별 확률강우량을 산정하였다.

Fig. 4는 각 재현 주기 별 지속시간에 따른 확률강우량과 24시간 확률강우량을 토대로 스케일 인자와 스케일 지수를 이용하여 산정된 확률강우량을 비교한 결과이다. 비교 결과 재현기간이 커질수록 확률강우량의 차이가 많이 나는 것을 알 수가 있다. 강릉, 광주, 대구, 부산, 목포관측소지점의 경우 빈도분석을 통해 산정된 확률강우량에 비해 스케일 특성을 산정된 확률강우량이 대부분 크게 산정되는 것으로 나타나는 반면 서울관측소의 경우 작게 산정되는 것으로 나타났다.

두 기법 별 확률강우량을 비교하기 위하여 절대상대오

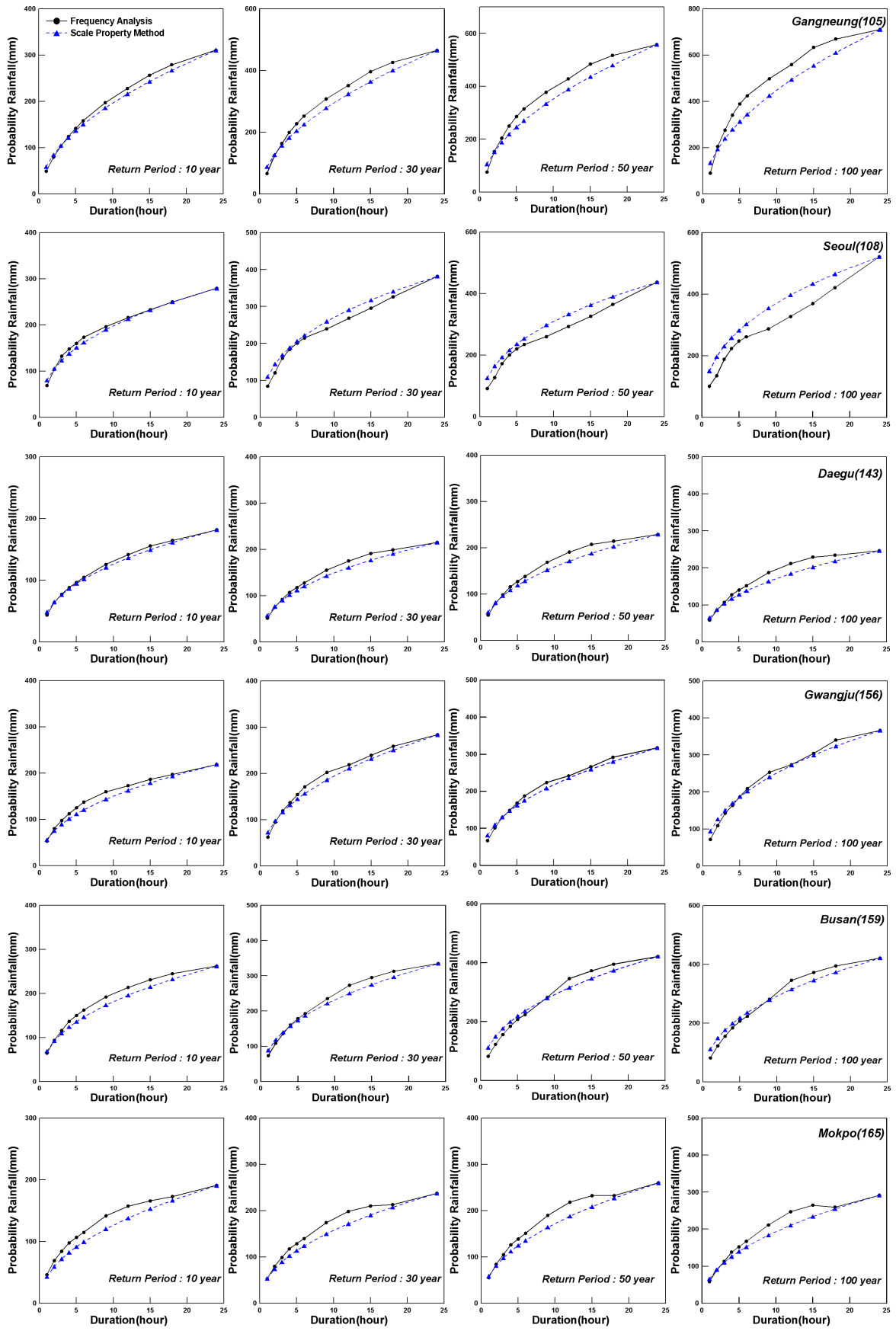


Fig. 4. Comparison of Estimated Probability Rainfall through each Method

Table 4. Average Absolute Relative Errors (%) of Rainfall Quantiles at 6 Sites Using Scaling Properties

Return Period	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	6 hr	9 hr	12 hr	15 hr	18 hr
2 yr	6.2	11.1	11.6	12.0	15.9	10.7	8.1	5.8	3.8
3 yr	6.8	10.2	10.5	10.7	10.6	9.7	7.3	5.3	3.3
5 yr	7.3	8.0	9.0	9.2	9.5	8.8	6.7	4.9	3.0
10 yr	11.2	5.0	6.1	7.5	8.1	7.8	6.2	4.7	2.8
20 yr	15.5	5.5	3.3	5.7	6.7	8.0	7.3	6.1	4.2
30 yr	18.9	7.1	4.3	5.7	6.9	8.9	8.3	7.1	4.3
50 yr	24.0	9.8	6.1	6.8	7.7	9.9	9.7	8.4	5.1
70 yr	27.6	12.2	8.0	8.4	8.9	10.7	10.6	9.3	5.7
80 yr	29.1	13.3	8.8	9.2	9.4	11.0	11.0	9.6	6.0
100 yr	31.6	15.5	10.1	10.5	10.3	11.5	11.7	10.3	6.4
150 yr	36.3	19.9	12.6	13.0	11.8	12.9	13.1	11.5	7.1
200 yr	39.9	23.1	14.9	14.8	13.1	14.0	14.3	12.3	7.7

차(Absolute Relative Error)를 이용하였으며, Eq. (13)과 같다.

$$ARE(\%) = \left| \frac{P_{sc} - P_{fa}}{P_{fa}} \right| \times 100 \quad (13)$$

여기서, P_{sc} 는 스케일 특성을 이용하여 산정된 확률강우량이며, P_{fa} 는 빈도분석을 통해 산정된 확률강우량을 의미한다.

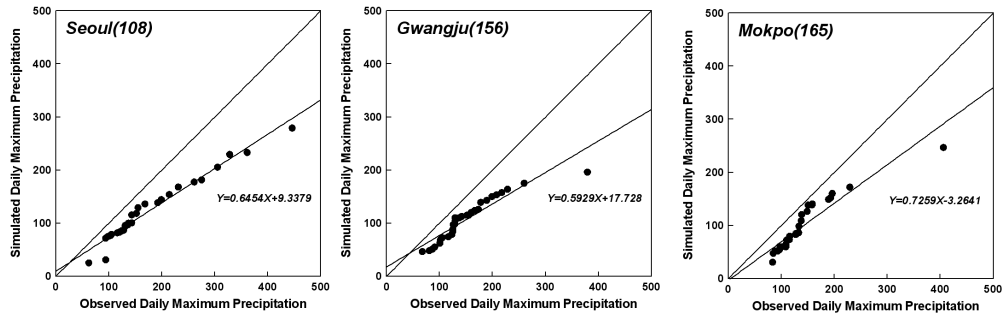
Table 4는 시간단위자료를 이용하여 지점빈도해석을 통해 구한 확률강우량과 스케일 특성을 이용하여 산정한 확률강우량간의 절대상대오차를 나타낸 것으로 6개 지점의 지속시간, 재현기간별 평균값이다. 지속시간 별로 살펴보면 평균적으로 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 6시간, 9시간, 12시간, 15시간, 18시간에서 각각 절대상대오차가 21.2%, 11.7%, 8.8%, 9.5%, 9.9%, 10.3%, 9.5%, 7.9%, 5.0%로 나타났다. 재현기간 별로 살펴보면 재현기간 2년, 3년, 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 70년, 80년, 100년, 150년, 200년에서 각각 9%, 8.3%, 7.4%, 6.6%, 6.9%, 7.9%, 9.7%, 11.2%, 11.9%, 13.1%, 15.4%, 17.1%의 차이가 나타났다. 결과에서 알 수 있듯이 재현기간이 클수록, 지속시간이 작을수록 상대오차는 커지는 것을 알 수 있다.

빈도분석에서도 매개변수 산정방법 및 사용하는 확률분포형에 따라 결과의 차이가 발생하는 것처럼 확률강우량 산정은 확률에 근거한 방법으로 그 자체에서 충분히 불확실성을 지니고 있다. 따라서 스케일 특성을 이용한 확률강우량 산정기법의 경우 본 연구에서 제시된 오차범위는 어느 정도 합리적인 결과라 할 수 있다. 특히, 재현기간이 높을수록 오차가 커지는 것은 빈도분석 시 고빈도

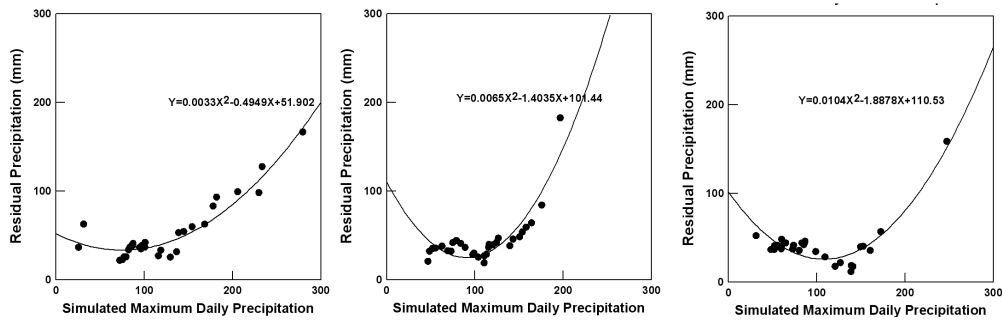
(100년 빈도 이상) 해석의 불확실성으로 인하여 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 현재 국내 하천 및 내수배제 시설 설계업무에서 주로 사용되고 있는 10년 빈도 이상 100년 빈도 이하에서는 합리적인 결과라고 판단된다. 평가 결과를 통해 시간 단위의 강수량이 빈도해석을 수행할 만큼 충분하다면 빈도해석 기법을 사용해야하지만, 시간 단위 강수량이 부족하거나 기후시나리오처럼 특정단위의 시간해상도의 강수량 자료만 가용한 경우에는 적용성이 있다고 판단된다.

4.2 기후시나리오를 이용한 스케일 기법의 적용성 평가

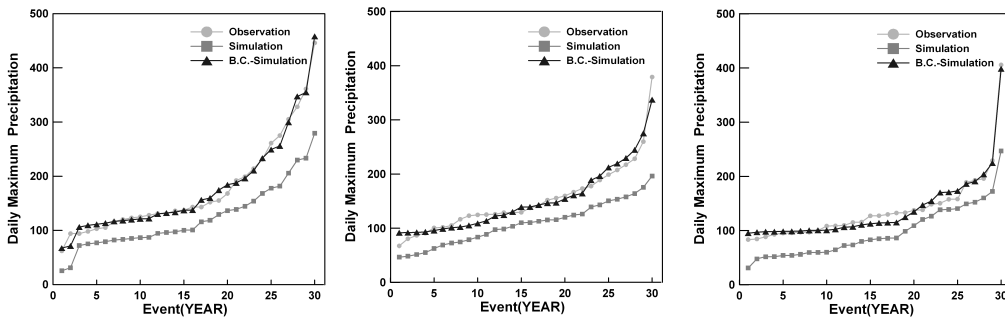
생산된 기후시나리오를 이용하여 1971~2000년에 대한 연최대치 일단위 강수량자료를 구축하였다. 2장에서 제시했던 것과 같이 시나리오 자료의 경우 기후모형에서 오는 한계로 인하여 편의 보정이 필요하며, 적용한 과정 및 결과를 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5(a)는 관측된 일 최대강수량과 기후시나리오 일 최대강수량과의 분포도를 나타낸 것이다. 강릉, 서울, 부산, 대구 광주 목포 모든 관측소에서 1차 선형 회귀식 기울기가 0.59~0.73 이내로 나타나, 일반적으로 25~40% 정도 과소 모의하는 것을 알 수 있다. 두 기법으로 생산된 확률강우량을 각각 순차적으로 나열한 뒤 같은 순위의 관측치와 모의치의 잔차를 구할 수 있다. Fig. 5(b)는 잔차와 모의된 일강수량에 대한 분포도를 도시하고, 그에 대한 2차회귀식을 산정한 결과이며, 산정된 회귀식을 Eq. (6)에 대입하여 편의보정이 수행된다. Fig. 5(c)는 관측치와 편의보정 전후의 기후시나리오를 나타낸 것으로 편의보정 후 기후시나리오가 관측치에



(a) Scatter Diagram between Observed and Simulated Daily Maximum Rainfall



(b) Regression Equation between Simulated Daily Maximum rainfall and Residual



(c) Comparison of Observed and Simulated Daily Maximum Rainfall Before and after Bias Correction

Fig. 5. Bias Correction Methods of Annual Maximum Daily Rainfall and Scenario

유사한 결과를 갖는 것을 확인할 수 있다. 보정된 기후시나리오와 관측자료를 이용하여 산포도를 도시하고, 선형회귀식의 기울기가 0.91~0.98 정도로 보정되어 관측치에 거의 근접한 결과를 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

편의 보정된 기후시나리오를 이용하여 24시간 지속시간의 확률강우량을 산정하였고, 산정된 24시간 확률강우량을 토대로 스케일 특성을 이용하여 일단위 이하의 지속시간을 갖는 확률강우량을 산정하였다. Fig. 6은 산정된 결과와 관측 자료를 빈도분석을 통해 산정한 확률강우량과의 절대상대오차를 나타낸 것이다. 6개 지점을 평균적으로 살펴보면 지속시간 3~24시간까지는 6~20% 이내의 절대상대오차가 나타나고, 재현기간 2~80년에 대해서는 지속시간 1시간을 제외한 모든 지속시간에 대해 10~

20%의 범위를 나타내는 것을 확인하였다. 결과론적으로 재현기간 100년 빈도 이상, 지속시간 1~2시간 이내의 확률강우량에서는 오차가 크게 나타나지만 그 외의 경우에는 어느 정도 합리적인 결과를 도출한다고 판단된다. 관측자료로 스케일 특성을 이용하여 산정한 확률강우량에 비해 오차가 크게 나타나는 것은 기본적으로 24시간 지속시간을 갖는 확률강우량이 차이가 나기 때문이다. 이러한 오차가 발생하는 주요 원인은 스케일특성을 이용한 확률강우량 산정기법의 불확실성뿐만 아니라, 기후시나리오에서 오는 불확실성, 빈도분석에서 발생하는 불확실성이 포함되어있기 때문이다. 기후변화를 고려했을 경우 이러한 불확실성들을 지니고 산정되기 때문에 정확한 값이라고 단정하기에는 한계가 있다.

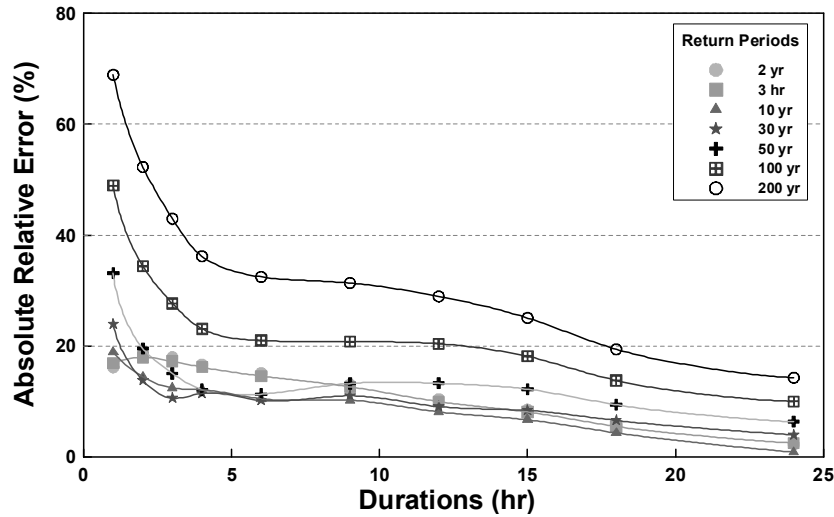


Fig. 6. Absolute Relative Error of Observed and Simulated Probability Rainfall after Bias Correction

미래 일단위 이하의 확률강우량을 평가하는 방법은 생산된 미래 기후시나리오에서 24시간 지속시간의 연최대치를 구축하고, 기준기간과 동일하게 편외보정 과정을 거쳐 24시간 지속시간의 확률강우량을 산정하게 된다. 그 후 앞서 산정된 스케일 지수를 이용하여 시간단위 확률강우량을 산정하게 되면, 미래 시간단위 확률강우량을 산정하게 되고 이를 기준기간의 확률강우량과 비교할 수 있다. 이렇게 생산된 미래 확률강우량을 토대로 미래 I-D-F (Intensity-Duration-Frequency) 곡선의 변화 등을 제시할 수 있다. 하지만 앞에서 제시했던 것처럼 평가 결과가 정확한 값이라고 단정하기에는 한계가 있기 때문에 특정 시간 단위 확률강우량의 변화 경향 정도를 판단하는 도구로만 사용될 수 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 일단위 이하의 짧은 지속시간을 갖는 집중호우의 기후변화 영향을 평가할 수 있는 스케일 특성 기법의 적용성을 평가하였다. 이를 위해 기상관측소의 시간단위 강우량 자료를 수집하여 빈도분석을 통해 확률강우량을 산정하였으며, 24시간 확률강우량을 토대로 스케일 특성을 이용하여 24시간이내의 지속시간을 갖는 확률강우량을 산정하여 적용성을 평가하였다. 또한 기준기간의 기후시나리오를 적용 및 평가하여 적용성을 평가하였으며, 도출된 결과는 다음과 같다.

첫째, 6개 기상관측소 지점을 대상으로 자료를 수집하여, 통계치들을 이용하여 스케일지수를 산정하였으며, 산

정 결과는 강릉(0.5223), 서울(0.3906), 대구(0.4158), 광주(0.4280), 부산(0.4180), 목포(0.4685)이다.

둘째, 빈도분석을 통해 산정된 확률강우량과 스케일특성을 이용하여 산정된 확률강우량의 평가 결과, 절대상대오차의 경우 6개 지점의 평균적으로 지속시간별로 1, 2, 6, 9, 12, 15, 18시간에 대해 각각 21.2%, 11.7%, 9.9%, 10.3%, 9.5%, 7.9%, 5.0%로 나타났으며, 재현기간별로는 2년, 5년, 10년, 30년, 50년, 100년, 200년에 대해 각각 9%, 7%, 6.2%, 7.2%, 8.8%, 11.9%, 15.7%로 나타났다. 재현기간이 클수록, 지속시간이 작을수록 상대오차는 커지는데, 이 요인으로는 빈도분석 시 고빈도 해석에서 발생하는 불확실성으로 인하여 발생하는 것으로 판단된다.

셋째, 편외 보정된 기후시나리오를 이용하여 스케일 특성을 이용하여 일단위 이하의 지속시간을 갖는 확률강우량을 산정한 결과 절대상대오차는 지속시간 3~24시간까지는 6~20% 이내로 나타나고, 재현기간 2~80년에 대해서는 지속시간 1시간을 제외한 모든 지속시간에 대해 10~20%의 범위를 나타냈다. 결론론적으로 재현기간 100년 빈도 이상, 지속시간 1~2시간 이내의 확률강우량에서는 오차가 크게 나타나지만 그 외의 경우에는 어느 정도 합리적인 결과를 도출한다고 판단된다.

이러한 평가 결과들을 종합해보면 본 연구에서 제시한 확률강우량 산정기법의 경우 10년 빈도 이상 100년 빈도 이하의 결과에서는 어느 정도 합리적인 결과를 도출한다고 판단된다. 향후 다양한 기후시나리오를 적용하여 평가하게 되면 미래의 일단위 이하의 확률강우량의 변화를 정량적으로 전망할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 한국건설교통기술평가원의 2009 건설기술혁신사업인 ‘기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망’과제에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

교육과학기술부(2011). 기후변화에 의한 국가 수자원 영향 분석 및 평가 체계 적용, 3단계 최종보고서, 세종대학교, 수자원의 지속적확보기술개발 사업단.

김병식, 김보경, 경민수, 김형수(2008). “기후변화가 극한 강우와 I-D-F 분석에 미치는 영향 평가.” **한국수자원 학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제4호, pp. 379-394.

배덕효, 정일원, 이병주, 이문환(2011). “GCM과 수문모형의 불확실성을 고려한 기후변화에 따른 한반도 미래 수자원 전망.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제5호, pp. 389-406.

손경환, 이병주, 배덕효(2010). “Multi-GCMs의 기후시나리오를 이용한 홍수특성변화 평가.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제9호, pp. 789-799.

신진호, 이효신, 권원태, 김민지(2009). “한반도 미래 기온 변화 예측을 위한 ECHO-G/S 시나리오의 통계적 상세화에 관한 연구.” **대기**, 한국기상학회, 제19권, 제2호, pp. 107-125.

이문환, 정일원, 배덕효(2011). “기후변화에 따른 국내 홍수 취약성 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제8호, pp. 653-666.

정영훈, 김수영, 김태순, 허준행(2008). “스케일 성질을 이용한 확률강우량의 추정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제9호, pp. 873-884.

Bae, D.H., Jung, I.W., and Chang, H. (2008). “Potential changes in Korean water resources estimated by high-

resolution climate simulation.” *Climate Research*, Vol. 35, pp. 213-226.

Bae, D.H., Jung, I.W., and Lettenmaier, D.P. (2011). “Hydrologic uncertainties in climate change from IPCC AR4 GCM simulations of Chungju Basin, Korea.” *Journal of Hydrology*, Vol. 401, pp. 90-105.

Burlando, P., and Rosso, R. (1996). “Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation.” *Journal of Hydrology*, Vol. 187, pp. 45-64.

Hanel, M., and Buishand, T.A. (2010). “On the value of hourly precipitation extremes in regional climate model simulations.” *Journal of Hydrology*, Vol. 393, pp. 265-273.

IPCC (2001) Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability contribution of Working Group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 75-104.

Jung, I.W., Bae, D.H., and Kim, G. (2011). “Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea.” *International Journal of Climatology*, Vol. 31, pp. 359-370.

Mailhot, A., Duchesne, S., Caya, D., and Talbot, G. (2007). “Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM).” *Journal of Hydrology*, Vol. 347, pp. 197-210.

Nguyen, V.T.V., Nguyen, T.D., and Cung, A. (2007). “A statistical approach to downscaling of sub-daily extreme rainfall processes for climate-related impact studies in urban areas.” *Water Science & Technology*, Vol. 7, No. 2, pp. 183-192.

논문번호: 11-090	접수: 2011.08.04
수정일자: 2011.11.28/2012.01.02	심사완료: 2012.01.02