

기후변화에 따른 서울지역의 강우-지속기간-빈도 관계 평가 Assessment of Depth-Duration-Frequency Relationship Considering Climate Change in Seoul

신주영*, 주경원**, 김수영***, 허준행****

Ju-Young Shin, Kyoung-Won Joo, Sooyoung Kim, Jun-Haeng Heo

요 지

기후변화에 따른 수해를 대비하기 위해서는 미래의 확률강수량을 알아야 한다. Global Circulation Model(GCM)은 미래의 기후변화를 예측하기 위하여 많은 분야에서 널리 쓰이고 있다. GCM의 시간축척은 일반적으로 월단위로 시간단위 자료를 사용하는 수공학 분야에 직접적으로 적용하기에는 많은 문제가 있다. 또한 GCM 예측값은 실강우값과 큰 편의(bias)를 가지고 있어 직접적인 적용이 힘들다. 이런 문제를 해결하고자 다양한 다운스케일(downscale)기법이 연구되고 있다. 다운스케일기법을 적용하여 시간자료를 예측하면 전반적인 통계값을 잘 재현해내나, 극치값의 경우 잘 재현해내지 못하는 문제가 있다. 이런 문제점을 극복하고자 본 연구에서는 연최대 월강수량과 연최대 시간강수량의 이변량빈도해석을 통하여 기후변화를 고려한 강우-지속기간-빈도 관계의 변화를 평가해보고자 한다. 본 연구는 연최대 월강수량과 연최대 시간강수량과의 관계가 변하지 않는다는 가정하에 관측강수량을 이용하여 연최대 월강수량과 연최대 시간강수량의 이변량분포모형을 구축하였다. 이변량 분포모형을 구축하기 위하여 copula 모형을 적용하였다. 구축된 모형에 GCM으로 예측된 연최대 월강수량을 적용하여 미래의 확률강수량을 평가하였다. 본 연구에서는 서울지점을 대상지점으로 선정하였으며, A2 기후변화시나리오를 적용한 GCM 예측값을 이용하였다. 적용결과 A2 기후변화 시나리오 상에서 미래의 확률강수량이 크게 증가하는 것이 확인되었다.

핵심용어 : 확률강수량, 이변량분포, copula, 기후변화

1. 서론

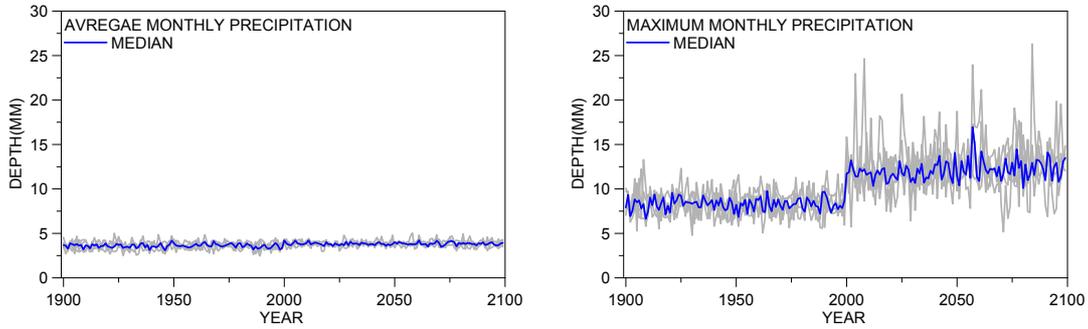
기후변화로 수문환경에 많은 변화가 야기되고 있다. 이런 변화에 대응하고자 기후변화에 따른 수문환경 변화에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 거시적인 관점에서의 기후변화에 따른 연구가 많이 진행되었다. 이런 거시적인 관점에서의 연구는 극한강수량과 같은 특수한 상황은 잘 고려하지 못하는 것으로 나타났다. 그림 1은 A2 시나리오로 모의된 5개의 GCM 모형의 연평균 월강수량과 연최대 월강수량을 나타낸 그림이다. Fig. 1을 보면 서울지점의 연평균 월강수량의 경우 그 차이가 크지 않고, 연최대 월강수량의 경우 기후변화가 일어나는 시점으로부터 큰차이가 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 극한강수량과 같은 극한 사상을 고려하기 위해서는 연평균자료와 같은 거시적인 특성이 아닌 연최대 월강수량 같은 미시적인 특성을 고려할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 극한사상에 기후변화에 대한 영향을 적용하고자 2변량 분석방법을 적용하였다. 적용결과 기존의 연평균 강수량과 같은 적용방법을 적용하였을 때 보다 큰 확률강수량을 보이는 것으로 확인되었다.

* 정희원 · 연세대학교 산업기술연구소 연구원 · E-mail: hyjyshin@gmail.com

** 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: kwjy1@yonsei.ac.kr

*** 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 · E-mail: sykim79@yonsei.ac.kr

**** 정희원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학전공 교수 · E-mail: jhheo@yonsei.ac.kr



a) Annual Average Monthly Precipitation b) Annual Maximum Monthly Precipitation

Fig. 1 Annual Average and Maximum Precipitation in Seoul

2. 기본 이론

연최대 월강수량과 연최대 시간강수량의 2-변량 분포를 산정하고 산정된 분포형을 통하여 임의 재현기간에 대한 확률강수량을 산정하였다. 본 연구에서 사용된 빈도해석 방법은 일반적으로 사용되는 2-변량 빈도해석과 다르다. 일반적으로 강우사상에 대한 지속기간 또는 강우강도와 연최대 시간강수량의 분포를 사용하여 빈도해석을 실시하나, 본 연구에서는 미래의 시간강수량 자료가 없기 때문에 연최대 월강수량과 연최대 시간강수량의 관계를 이용하여 연구를 진행하였다. 즉 미래의 연최대 월강수량일 발생하였을 때 임의의 재현기간인 일정 지속기간의 확률강수량을 산정하는 방법이다. 2-변량 빈도해석방법으로는 copulas 기법을 적용하였다. 모형의 불확실성을 확인하고자 multi-model ensemble 기법을 적용하였다. 기후변화 시나리오로는 A2 시나리오를 적용하였으며, 사용된 GCM 모형은 table 1과 같다. copula 이론에 대한 자세한 설명은 Genest and Farve(2007)의 논문에 자세히 설명되어 있다. 본 연구에서는 copula의 매개변수 추정을 위하여 준모수추정방법인 준최우도법(maximum pseudolikelihood estimation) 방법을 적용하였다. 준최우도법은 Oakes(1994)가 제안한 방법으로 매개변수의 추정정확도는 높지 않으나, 다른 방법들의 비하여 안정적인 매개변수를 추정한다(Genest et al. 1995).

Table 1. GCMs Information

No.	Model(agency: version)	Abb.	Country
1	CSIRO: MK3	CSR	Australia
2	GFDL: CM2_1	GF1	USA
3	CONS: ECHO-G	MIU	Germany/Korea
4	MRI: CGCM2_3_2	MRI	Japan
5	UKMO: HADGEM1	UKC	UK

2.1. 적용 copula 모형

현재의 관측자료를 이용하여 copulas의 매개변수를 추정하고 추정된 copula의 매개변수, 즉 물리적 특성이 변하지 않는다는 가정하에 미래의 확률강수량을 산정하게 된다. 실제 미래에 발생하는 강수가 현재와 같은 물리적 특성을 가질 수도 있지만 갖지 않을 수도 있고 적정 copula를 찾는 기법이 현재로서는 없어 모형의 불확실성이 매우 큰 것으로 판단된다. Copula 모형의 불확실성에 대한 분석을 하고자 본 연구에서는 3종류의 copula를 적용하였다. 적용된 copula는 Gumbel-Hougaard, Frank, Joe family이며, 각 copula의 식의

개형과 간략한 특징은 table 2와 같다. 각 copula에 대한 자세한 설명은 Salvadori et al(2007)의 책에 자세히 정리되어 있다.

Table 2. Copula Models

Copula model	Formula	
Gumbel-Hougaard	$(u, v) = \exp(-[(-\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta]^{1/\theta})$	$\theta \geq 1$
Frank	$C_\theta(u, v) = \frac{1}{\ln \theta} \ln \left[\frac{(\theta^u - 1)(\theta^v - 1)}{\theta - 1} \right]$	$\theta \geq 0$
Joe	$C_\theta(u, v) = 1 - [(1-u)^\theta + (1-v)^\theta - (1-u)^\theta(1-v)^\theta]^{1/\theta}$	$\theta \geq 1$

3. 결과분석

연최대 월강수량이 발생한 월에 연최대 임의 지속기간 강수량이 무조건적으로 발생하지는 않는다. 모든 경우가 아닐 지라도 대부분의 경우 연최대 월강수량이 발생한 월에 연최대 임의 지속기간 강수량이 발생한다면 2-변량 빈도해석이 물리적인 특성을 반영한다고 할 수 있다. 본 연구에서는 1961-2010년의 기상청 유인 관측소의 관측 강수량을 사용하여 연최대월강수량이 발생한 월에 연최대시간강수량이 발생한 확률을 계산하였다. 관측 강수량을 통하여 추정된 3개의 copula 모형의 매개변수를 이용하여 기후변화에 따른 미래의 확률 강수량을 산정하였다.

3.1. 연최대월강수량과 연최대시간강수량의 관계

Table 3은 연최대 월강수량이 발생한 월에 연최대 임의지속기간의 강수량이 발생한 확률을 정리한 표이다. 적용된 지속기간으로는 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 48시간이 적용되었다. 지속기간 1~9시간 까지는 62~68%가 발생한 것으로 나타났으며, 12~28시간에서는 70~78%로 발생한 것으로 나타났다. 긴 지속기간의 강수의 경우 최대 월강수량이 발생한 월에 발생한 확률이 높은 것으로 확인되었다. 또한 지속기간이 짧아 질수록 발생확률이 감소되는 것을 확인 할 수 있다. 지속기간 1시간에서는 68%으로 2시간이나 3시간보다는 높은 확률이긴 하나 9시간 이후의 강수량과 비교하면 그 값이 작은 것을 확인 할 수 있다. 이 결과를 통하여 긴지속기간의 결과의 경우 신뢰할 만한 결과를 도출 할 수 있으나 짧은 지속기간의 경우 긴지속기간과 비교하여 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단된다.

Table 3. The Maximum Precipitation Occurrence Probability when Maximum Monthly Precipitation Occurred in Seoul

Hour	1	2	3	6	9	12	15	18	24	48
Probability	68%	64%	62%	66%	68%	72%	74%	76%	70%	78%

3.2. 2-변량 분석을 통한 기후변화에 따른 DDF 관계 평가

모형의 불확실성을 보완하고자 multi-model ensemble을 적용하였다. 총 5개의 GCM 시나리오를 3개의 copula 모형의 적용하여 10개의 지속기간에 대하여 총 15개의 시나리오에 대하여 미래의 확률강수량을 계산하였다. 15개의 시나리오 중에서 중간값을 이용하여 각 연도에 대한 확률강수량을 산정하였다. 2-변량 빈도 해석을 통하여 확률강수량을 산정 할 수 있으나, 기존의 수자원 분야에서 사용하는 1-변량 빈도해석과는 기법적인 차이가 있어, 직접적으로 확률강수량을 비교하기에는 문제가 있다. 그래서 본 연구에서는 일정기간과

대비하여 미래의 확률강수량이 얼마정도 증가하는지에 대한 비율을 계산하여 도시하였다. 현재 상태를 1970~1999년(S0)으로 하고 미래의 변화된 기간을 2010~2039(S1)년, 2040~2069(S2)년, 2070~2099(S3)년로 하였다. S0에 대비하여 S1, S2, S3에 대한 확률강수량의 변화 비율을 산정하였다. Table 4는 S1기간에 확률강수량의 변화를 나타낸 표이다. 일반적으로 지속기간과 재현기간이 짧을수록 확률강수량의 증가량이 작은 것을 확인 할 수 있으며, 지속기간이 길어지고 재현기간이 커질수록 확률강수량 값이 커지는 것을 확인 할 수 있다. 지속기간 1시간의 경우 이런 경향과는 다른 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 지속기간 1시간의 경우 매개변수 적합도 검정(Crammer von mises test)을 실시하였을 때 매개변수가 신뢰구간을 벗어나는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 2는 지속기간 24시간, 재현기간 100년 일 때 확률강수량을 도시한 그래프이다. Fig. 2를 보면 S1보다 S2, S3가 더 큰 확률강수량을 보이는 것으로 나타났다. 지속기간 24시간, 재현기간 100년을 기준으로 하였을 때 S1은 1.69, S2는 1.93, S3은 1.85의 변화율을 보이는 것으로 나타났다. 전체적으로 S2가 가장 크고, S3가 두 번째로 크고, S1이 가장 작은 변화율을 보이는 것으로 나타났다. 또한 A2 시나리오에 따른 기후변화로 과거와 비교하여 확률강수량이 큰 값으로 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

Table 4. Ratio of Change about Future Quantiles in S1

S1	1	2	3	6	9	12	15	18	24	48
2	1.22	1.24	1.28	1.35	1.37	1.40	1.41	1.44	1.50	1.53
5	1.25	1.24	1.28	1.35	1.36	1.40	1.42	1.45	1.50	1.52
10	1.29	1.25	1.30	1.37	1.38	1.42	1.44	1.48	1.53	1.54
30	1.33	1.28	1.33	1.42	1.42	1.47	1.50	1.54	1.60	1.60
50	1.35	1.29	1.35	1.43	1.44	1.49	1.53	1.57	1.63	1.63
100	1.37	1.29	1.36	1.45	1.45	1.51	1.57	1.61	1.69	1.68
200	1.40	1.31	1.38	1.47	1.47	1.54	1.59	1.64	1.73	1.71
500	1.41	1.31	1.38	1.47	1.47	1.54	1.60	1.66	1.75	1.74

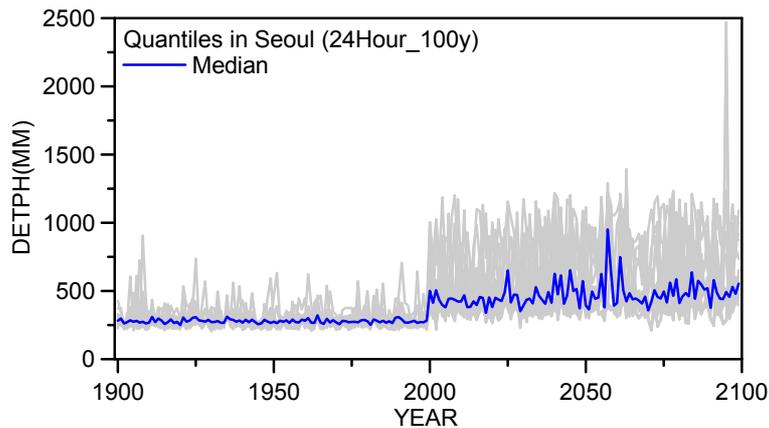


Fig 2. Quantiles Calculated by Copulas when Duration is 24 hours and Return Period 100 years

4. 결론

Copula 모형을 이용한 2-변량 빈도해석을 통하여 기후변화를 고려한 강수량-지속기간-재현기간 관계를 평가하였다. 기후변화 시나리오로는 A2 시나리오를 사용하였다. GCM의 불확실성을 보완하고자 총 5개의 GCM을 적용하였다. 또한 copula 모형의 불확실성을 보완하고자 총 3개의 copula 모형을 적용하였다. 5개의 GCM과 3개의 copula 모형을 적용하여 15개의 시나리오에 대하여 결과를 분석하였다. 중간값을 기준으로 확

률강수량을 분석을 해 본 결과 재현기간과 지속기간이 길어질수록 확률강수량이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. S2 기간에 확률강수량이 가장 크고, S3 기간이 그 다음으로 크며, S1 기간이 가장 작은 확률강수량을 보이는 것으로 나타났다. 전체 확률강수량은 현재에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. 추후에 다른 지점들에 대한 적용하여 본 기법의 적용성 평가가 필요할 것으로 판단되며, 다른 기후변화 시나리오를 적용하여 확률강수량을 산정하면 보다 안정적인 평가가 될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

1. Genest, C. and Farve, A.-C. (2007). "Everything you always wanted to know about copula modeling but were afraid to ask.", Journal of Hydrologic Engineering, Vol.12, No.4, pp.347-368.
2. Genest, C., Ghoudi, K., and Rivest, L.-P. (1995). " A Semiparametric estimation procedure of dependence parameters in multivariate families of distribution." Biometrika, Vol.82, No.3, pp.543-552.
3. Oakes, D. (1994). "Multivariate survival distribution." Journal of Nonparametric Statistics, Vol.3, No.3-4, pp.343-354.
4. Salvadori, G., Michele, C. D., Kottegoda, N. T., and Rosso, R. (2007) Extremes in Nature, Springer, Dordrecht.