기상인자를 이용한 우리나라의 확률강수량 평가

Evaluation of Probability Precipitation using Climatic Indices in Korea

오 태 석* / 문 영 일**

Oh, Tae Suk / Moon, Young-Il

Abstract

In this research, design precipitation was calculated by reflecting the climatic indices and its uncertainty assessment was evaluated. Climatic indices used the sea surface temperature and moisture index which observed globally. The correlation coefficients were calculated between the annual maximum precipitation and the climatic indices, and then climatic indices which have the larger correlation coefficient were selected. Therefore, the regression relationship was established by a locally weighted polynomial regression. Next, climatic indices were generated by montecarlo simulation using kernel function. Finally, the design rainfall was calculated by the locally weighted polynomial regression using generated climatic indices. At the result, the comparison of design rainfall between the reflection of the climatic indices and the frequency analysis did not indicate a significant difference. Also, this result can be used as basic data for calculation of probability precipitation to reflect climate change.

keywords : frequency analysis, probability precipitation, climatic index, variable Kernel function, locally weighted polynomial regression

요 지

본 연구에서는 기상인자를 반영하여 확률강수량을 산정하고 불확실성을 평가하였다. 기상인자는 범지구적으로 관측되고 있는 해수면온도와 습윤지수 자료를 이용하였다. 분석 방법은 기상인자와 연최대시간강수량 사이의 지체상관계수를 산정하여 비교함으로써, 우리나라의 시간최대강수량과 상관관계가 큰 기상인자의 관측지역과 지체시간을 선정하고 지역가중다항식을 이용하여 회귀관계를 설정하였다. 다음으로 기상인자를 변동핵밀도함수를 이용하여 확률밀도함수를 추정하여 모의발생을 수행하였다. 마지막으로 모의된 기상인자를 지역가중다항식을 통해 강수량을 추정하여 확률강수량을 산정하였다. 분석 결과에서 기상인자를 반영한 확률강수량은 강수자료를 빈도해석한 확률강수량과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 지구온난화와 같은 기후변화를 반영하는 기상인자를 반영한 확률강수량 산정의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 빈도해석, 확률강수량, 기상인자, 변동핵밀도함수, 지역가중다항식

* 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사후과정

The University of Seoul, Siripdae-gil 13(Jeonnon-gong 90), Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea

** 교신저자, 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수

Corresponding Author, The University of Seoul, Siripdae-gil 13(Jeonnon-gong 90), Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea
(e-mail: ymoon@uos.ac.kr)

1. 서 론

최근의 지구온난화 등에 따른 기후변화로 홍수 또는 가뭄과 같은 자연재해가 증가하고 있는 추세이다. 또한 최근에 발생하는 주요 호우 사상은 과거에 비해 홍수의 경향성과 특성이 변화하고 불확실성이 증가하고 있는 실정이다. 따라서 안정적인 수공구조물의 설계를 위해서 합리적인 확률강수량의 산정은 매우 중요한 과정 중의 하나라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 통계적 기법을 이용하여 기상인자를 반영한 확률강수량을 산정하고 비교·분석하였다.

일반적으로 확률강수량을 산정하는 방법은 관측된 강수자료를 이용한 빈도해석이 주를 이루고 있다. 최근에는 여러 빈도해석 방법 중에서 지역빈도해석에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 지역빈도해석은 관측된 강수 자료의 부족에 따른 문제점을 해결하기 위한 대안으로 보다 안정적인 확률강수량을 산정할 수 있는 것으로 나타났다(Hosking *et al.*, 1997; 이동진 등, 2001; 허준행 등, 2007a). 또한, Flood Estimation Handbook (Institute of Hydrology, 1999)에서는 구하려고 하는 재현기간(T)보다 관측연수가 $2T$ 이하일 때에는 지역빈도해석을 추천하고 있다. 허준행 등(2007a, 2007b)은 지역형상 추정법과 지수홍수법을 이용하여 우리나라 강수자료에 지역빈도해석이 지점빈도해석보다 적합함을 밝혔으며, 오태석 등(2006)은 핵밀도합수를 이용한 지역빈도해석을 수행하여 확률강수량을 추정하였다.

또한, 강수와 기온 등의 기상인자가 갖는 극치사상의 변화에 대한 선행연구사례는 Karl *et al.* (1999), Manton *et al.* (2001), 김정희 등(2002), 이상복 등(2004)에 의한 연구가 수행되었다. 이러한 연구는 극치강수와 기온 등에 대한 경향성과 변동성 등에 대한 경년변화에 보다 초점이 맞추어져 있는 것으로 나타났으며, 극치강수의 정량적인 평가방안에 대해서는 빈도해석 이외의 방안에 대한 연구는 미비한 것으로 조사되었다. 이외에도 김병식 등(2007)은 기후변화를 반영한 IDF 곡선을 유도하였으며, 권현한 등(2008)은 기후변화에 따른 극치사상의 영향을 평가하기 위하여 비정상성 수문빈도해석 기법을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 기상인자를 반영하여 확률강수량을 산정하고 불확실성을 평가하였다. 확률강수량의 불확실성을 평가는 모의발생을 통하여 수행되는데 본 연구에서는 기상인자를 모의발생하여 확률강수량이 갖는 불확실성을 평가하였다. 확률강수량의 불확실성을 평가하기 위해서 기상인자로는 범지구적 해수면온도와 비습도 자료를 이용하였으며, 기상인자와 극한 강수와

의 상관관계를 바탕으로 지역가중다항식을 이용하여 회귀관계를 설정하였다. 다음으로 기상인자를 모의 발생하여 강수량을 추정하고 확률강수량을 산정하여 비교·분석하였다.

2. 분석 대상 자료의 선정

기상인자를 반영하여 확률강수량을 산정하기 위하여 다음과 같은 자료를 이용하였다. 우리나라의 기상청에서 관측한 시간강수량 자료와 NOAA Satellite and Information Service에서 제공하는 Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), 미국국립기상국(National Weather Service)의 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)에서 제공하는 습윤지수(moisture index)를 이용하였다. 분석 대상 자료의 분석기간은 각 강수관측소의 관측개시연도부터 2005년까지 관측된 자료를 이용하였다.

기상청에서 관측하고 있는 강수자료는 우리나라에 총 76개의 지상관측지점이 존재하고 있다. 이 중에서 관측연수가 30년 이내인 15개 지점(철원, 동두천, 문산, 백령도, 동해, 영월, 안동, 상주, 마산, 흑산도, 진도, 제주고산, 태백, 장수, 봉화 지점)을 분석 대상에서 제외하고, 30년 이상의 관측 자료가 존재하는 61개 지점을 대상으로 분석을 수행하였다. 관측연수가 30년 이내인 지점을 분석에서 제외한 이유는 빈도해석을 위해서는 일반적으로 30년 이상 관측된 자료가 필요하기 때문이다. 각각의 강수관측소에서 관측된 시간강수량 자료를 이용하여 지속시간별로 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 36, 48, 72 시간에 해당하는 연최대시간강수량 자료를 구축하여 분석에 적용하였다.

해수면온도는 NOAA Satellite and Information Service에서 관측한 Extended Reconstructed SST (ERSST) Ver. 2를 이용하였다. ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) 가운데 하나인, ERSST는 해수면 온도 관측 자료 중에서 통계적 기법을 적용하기에 가장 적합한 자료로 평가 받고 있다. 최근에는 ERSST의 재구성 자료는 ERSST version 2가 사용가능하도록 제공되고 있다. ERSST version 1에서 재구성한 자료에 비하여 ERSST version 2는 공간적인 모형을 구성하여 해수면 온도 관측 자료를 재구성한 것으로 관측 자료의 변동에 취약한 지역의 자료를 실제에 보다 근사하게 향상시킨 것으로 평가 받고 있다(Smith *et al.*, 2003; 2004). Smith *et al.*(2004)에 따르면 1950년대 이후 전세계 평균 해수면 온도는 0.4°C 로 19세기에 비해 0.2°C 상승하였으며,

1900년대 전반기에 비해 0.1°C 상승한 것으로 나타났다.

습윤지수는 미국의 National Weather Service의 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 에서 1995년에 MRF 모형을 통해 재구성한 NCEP/NCAR Reanalysis 1 : Pressure 자료로써, 대기압 1,000 mb부터 10 mb에 해당하는 높이의 1948년부터 현재에 이르기까지의 범지구적인 습윤지수에 대한 정보를 갖고 있다. 습윤지수는 대기 중에 포함된 물의 무게를 나타낸 비습도로써 대기압이 850 mb인 대기 상에서 공기 1 kg 중에 포함된 물의 무게를 g 단위로 나타낸 것이며, 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 mg 단위로 환산하여 분석에 적용하였다.

Fig. 1은 분석 대상인 해수면온도 및 습윤지수의 관측범위를 도시한 결과로 60°S~60°N, 180°W~180°E 범위에 포함된 지점에서 관측된 자료를 이용하였다. 해수면온도는 관측격자가 2°×2°이므로 총 격자의 개수는 10,980개이며, 이중에서 육지 부분에 해당하는 2,699개 격자를 제외한 8,281개 지점의 자료를 이용하였다. 또한, 습윤지수는 2.5°×2.5°의 격자로 구성되어 있다.

3. 빈도해석을 이용한 확률강수량 산정

각각의 강수관측소에서 관측된 지속시간별 연최대강수량자료를 이용하여 빈도해석을 수행하였다. 확률분포형별로 모멘트법, 최우도법 및 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하였다. 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법의 매개변수는 큰 차이를 보이지는 않았으나, 각 적용 분포형별 적합도 검정 결과와 최근의 추세에 맞추어 확률가중모멘트법에 의해 추정된 매개변수를 이용하였다. 분포형별로 실제 강수 자료와의 적합성을 판단하기 위해 χ^2 검정, K-S 검정, CVM 검정 및 PPCC 검정

을 통해 적합도 검정을 수행한 결과에서 GEV 분포형과 Gumbel 분포형의 적합도가 가장 뛰어난 것으로 분석되었다. 분석결과를 바탕으로 단일분포형을 적용하기 위하여 Gumbel 분포형을 최적분포형으로 선정하고 지속시간별 재현기간별 확률강수량을 산정하였다. 다음 Fig. 2는 지속시간 24시간의 200년 빈도에 해당하는 확률강수량을 도시한 결과이다.

4. 기상인자를 이용한 확률강수량 산정

본 연구에서는 기상인자를 반영하여 확률강수량을 추정하였다. 분석 방법은 비매개변수적 모의발생기법 (Nonparametric Monte Carlo Simulation, NMCS)과 비매개변수적 회귀분석의 하나인 지역가중다항식 (Locally Weighted Polynomial Regression, LWPR)을 이용하였다. 따라서 기상인자와 강수량 사이의 상관관계에 기초한 회귀관계를 설정하고 수문기상인자를 모의 발생하여 극치강수량을 추정하여 확률강수량을 계산하였다. 따라서 극치강수를 모의하는데 있어 두 가지 통계기법을 이용하여 수문기상인자를 이용하였으므로 Climate Pattern and Precipitation Model (CPPM)로 명칭하고 이를 통해 계산된 확률강수량을 CPPM 확률강수량으로 표현하였다.

Fig. 3은 본 연구에서 이용한 CPPM 기법의 순서도를 나타낸 결과이다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 CPPM 기법은 여러 단계의 통계적 과정을 통해 확률강수량을 산정하게 된다. 첫 번째로 연최대시간강수량의 최적분포형을 빈도해석을 통해 선정한다. 이는 앞에서 분석한 빈도해석을 통한 확률강수량 산정 결과에서 이용한 Gumbel 분포형을 적용하게 된다. 두 번째로 기상인자와 연최대시간강수량 사이의 상관성 분석을 수행하여

Fig. 1. Range of Observations of Sea Surface Temperatures and Moisture Indices

Fig. 2. Probability Precipitation of Return Period 200 Years of 24 Hours using Frequency Analysis

상관관계가 큰 지역을 설정하고 이 지역의 기상인자를 지역가중다항식의 독립변수로 활용하게 된다. 이 때에 시간최대강수량은 종속변수로 설정된다. 세 번째로 비 매개변수적 모의발생을 통해 기상인자를 모의발생하고, 모의된 기상인자를 지역가중다항식에 적용하여 강수량을 추정한다. 마지막으로 추정된 강수량을 빈도계수법으로 quantile을 각 모의 set 별로 추정한다.

본 연구에서는 이용한 통계적 기법은 여러 참고문헌에서 제시하고 있다. 첫 번째로 기상인자의 모의발생을 위하여 차영일 등(2006)에서 제안하고 있는 Modified Cauchy 핵밀도함수를 이용하여 확률밀도함수를 추정하였다. 이를 이용하여 난수[0,1]를 발생시켜 핵밀도함수를 통해 기상인자를 모의발생하였다. 두 번째로 기상인자와 연최대강수량 사이의 회귀관계의 설정은 Lall *et al.* (2006)이 제시하고 적용한 지역가중다항식을 이용하였다.

Fig. 3. Flowchart to Calculating of CPPM Probability Precipitation Reflecting Climatic Information

4.1 기상인자와 연최대시간강수량의 상관성 분석

기상인자 중에서 해수면온도와 습윤지수를 분석에 이용하였다. 분석방법은 기상인자와 연최대시간강수량 사이의 선형적인 지체상관계수를 산정하여 상관관계가 큰 지역과 지체시간을 설정하였다. 이를 위하여 관측자료가 30년 이상 존재하는 61개 지점의 시간강수량 관측자료 분석을 통해 지속시간 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 36, 48, 72시간에 해당하는 연최대시간강수량 자료와 각 연도별 지속시간별 연최대 시간강수량이 발생한 일자를 추출하였다.

기상인자와 연최대시간강수량과의 상관성 분석은 다음의 절차를 통하여 분석되었다. 첫 번째로 시간강수량 자료의 관측연수를 조사·분석하였다. 두 번째로 시간강수량 자료를 이용하여 지속시간 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 36, 48, 72 시간의 연최대치 시간강수량 자료와 각 지속시간에서 연최대치가 발생한 월을 조사하였다. 시간최대강수량의 지속시간 중에서 월이 바뀌는 경우에는 각 연최대강수량의 지속시간이 시작하는 시점을 기준으로 설정하였다. 대부분의 연최대시간강수량을 6월부터 9월 사이에 발생하는 것으로 나타났으며, 드물게 10월과 11월에서 발생하는 경우도 있는 것으로 나타났다. 세 번째로 각 연최대치 시간강수량이 발생한 월에서의 해수면온도와 습윤지수를 추출하였다. 즉, 2001년의 지속시간 1시간의 연최대시간강수량이 7월에 발생하면 7월에 관측된 해수면온도 자료들을 추출하고, 2002년에는 8월에 1시간 연최대강수량이 발생하였다면 8월의 월별해수면온도들을 추출하였다. 또한, 연최대 시간강수량들이 발생한 월보다 1개월 이전부터 11개월 이전까지의 해수면온도 및 습윤지수 자료를 추출하였다. 네 번째로 각각의 연최대시간강수량과 해수면온도 및 습윤지수와 상관계수를 관측지점별로 산정하였다.

상관계수의 유의성 검정은 이변량 정규분포를 이용하였으며, 이를 통해 산정된 기각역은 유의 수준 5%에서는 0.323이고, 유의 수준이 1 %일 때는 0.410 이상의 상관계수가 계산되어야 통계적으로 의미를 갖는다.

4.1.1 해수면온도와 연최대시간강수량의 상관성 분석 결과

우리나라에서 발생하는 시간강수량과 범지구적 해수면온도와의 상관성을 분석하였다. 분석방법은 선형적인 지체상관계수 산정을 바탕으로 추가적인 통계적 분석을 통해 우리나라의 지속시간별 연최대치 강수량과 해수면온도 사이의 상관관계를 파악하였다. 강수관측소 61개 지점의 11개 지속시간에 대하여 상관계수를 산정하여

비교한 결과는 상관계수가 통계학적으로 충분히 유의성을 갖는 크기를 가져야 하며, 상관계수가 크게 산정된 해수면온도 관측지역에 대한 검토도 수행하여야 한다.

첫 번째로 검토할 필요성이 있는 것은 각각의 지점에서 각각의 지속시간과 해수면온도와의 사이에서 산정된 상관계수의 크기를 검토할 필요성이 있다. 전술한 바와 같이, 관측 자료의 개수가 가장 적은 경우에 이변량정규분포를 통해 산정된 상관계수의 기각역은 유의 수준 5 % 및 1 %에 따라 각각 0.323과 0.410으로 산정되었다. 총 61개 지점의 연최대치 시간강수량과 동일한 월의 해수면온도 사이에서 유의한 상관계수라고 판단할 수 있는 0.4 이상의 상관계수를 갖는 강수관측소 지점의 평균적으로 47개 관측소가 있는 것으로 나타났다. 두 번째로 상관계수가 큰 해수면 온도 관측 지역이 어느 정도의 유사성을 가져야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 이용하였다. 먼저, 각 대상 지점별로 각 지속시간의 연최대강수량과 동일 월 및 이전 월들과의 상관계수를 구하였다. 이들 중에서 상관계수가 양(+)과 음(-)으로 가장 큰 값을 갖는 지점을 400개씩 선정하였다. 선정된 지점에는 상관계수가 가장 큰 지점은 4.00의 가중치를 주었으며, 400번째 큰 지점은 0.01의 가중치를 주었다. 음(-)의 상관계수가 큰 지점은 -4.00에서 -0.01까지의 가중치를 주었다. 이와 같은 방법으로 각 지점과 각 지속시간 및 각 지체시간에서의 해수면 온도 지점에 가중치를 주고, 이를 해수면 온도의 지체시간을 기준으로 각 지점과 지속시간의 값을 모두 합산하여 Fig. 4에 도시하였다. 도시 분석 결과에서 4개월 이전의 해수면 온도와 우리나라의 시간 강수량과의 상관관계가 가장 유의한 결과를 보여주는 것으로 나타났다.

분석 결과에서 우리나라의 연최대시간강수량은 4개월 이전의 해수면온도와 상관관계가 큰 것으로 나타났다. 양(+)의 상관관계가 큰 지역은 60°E~100°E, 5°S~15°N인 것으로 나타났으며, 음(-)의 상관관계가 큰 지역은 155°E~130°W(230°E), 30°N~50°N으로 나타났다.

4.1.2 습윤지수와 연최대시간강수량의 상관성 분석 결과

우리나라에서 발생하는 시간강수량과 2.5°×2.5°의 격자로 60°S~60°N, 180°W~180°E 범위에서 관측된 습윤지수와 상관성분석을 수행하였다. 시간강수량은 앞에서 해수면온도와의 상관성분석에 사용된 자료와 동일하게 이용하였으며, 습윤 지수는 850 mb인 지수는 공기 1 kg 중에 포함된 물의 무게를 mg 단위로 표시한 자료를 이용하였다. 상관계수의 산정 방법은 지속 시간별로

Fig. 4. Correlation Analysis Between Timely Rainfalls in Korea and Prior to 4 Months of the Sea Surface Temperatures

Fig. 5. Correlation Analysis Between Timely Rainfalls in Korea and Same Month of the Moisture Indices

연최대치 시간강수량이 발생한 월을 조사하여 동일한 월과 1개월부터 11개월 이전 월에 발생한 습윤 지수와 상관성 분석을 수행하였다.

습윤지수의 관측 격자인 7,056개 중에서 양(+)과 음(-)의 상관계수가 가장 큰 순서대로 400개 지점을 선정하여 4.00에서 0.01까지의 가중치를 주어 다음과 같은 Fig. 5를 도시하여 비교해 주었다.

비교하여 도시한 Fig. 5의 분석 결과에서 연최대치 시간 강수 사상이 발생한 동일한 월에 관측된 습윤 지수와 강수량 사이의 상관계수가 큰 지역이 북반구의 20°N 지역에 걸쳐서 크게 산정되는 것으로 나타났으며, 지체를 갖는 경우에는 양(+)과 음(-)의 상관계수가 큰 지역이 다소 혼재되어 있는 것으로 나타났다.

우리나라의 연최대시간강수량과 습윤지수와 상관성분석 결과에서 지체시간에 따라 상관계수의 크기는 뚜렷하게 변하지 아니하였으며 지역적으로도 상관계수가 큰 지역을 선정하기에는 다소 무리가 있는 것으로 나타났다. 그러나 해수면온도와 상관성분석 결과에서는 분석대상자료의 지체시간에 따라서 산정되는 상관계수의 편차가 매우 큰 것으로 나타남에 반해, 습윤지수

와의 상관관계는 큰 차이를 보이지 아니하였다. 그러므로 습윤 지수 역시 우리나라의 극치 강수와 어느 정도 관련이 있는 기상인자로 활용 할 수 있는 가능성이 충분한 것으로 판단하였으며, 분석에서는 한반도 남쪽에서 관측된 습윤지수를 활용하였다.

4.2 기상인자의 모의발생

비매개변수적 모의발생(Nonparametric Monte Carlo Simulation, NMCS)을 이용하여 해수면온도와 습윤지수를 모의 발생하였다. 모의 발생한 자료는 각각의 강수관측소 대상 지점에서 지속시간별로 상관계수가 가장 크게 산정된 지점에서 관측된 해수면온도와 습윤지수다. 모의발생은 200년×1,000회를 수행하였으며, 아래의 Fig. 6~7은 분석대상지점 중에서 서울지점에서 지속시간 24시간 연최대시간강수량과 상관성이 큰 지역 내에 포함되는 상관계수가 가장 큰 지점의 자료에 대하여 모의 발생한 결과를 정리한 것이다. Figs. 6~7의 (c)에서 제시한 결과는 1000 set 중에서 하나의 set를 임의 추출하여 200년 모의된 결과를 나타낸 것이다.

변동핵밀도함수를 이용한 비매개변수적 모의발생은

Fig. 6. Simulation Results of the Sea Surface Temperature which has the Biggest Correlation Coefficient with Seoul Station

Fig. 7. Simulation Results of the Moisture Index which has the Biggest Correlation Coefficient with Seoul Station

관측 자료에 이중 침투가 발생한 경우에도 모의 발생이 적절하게 수행된 것으로 나타났다. 따라서 모의된 독립 변수인 해수면온도와 습윤 지수를 활용하여 우리나라의 극치강수량의 예측을 수행하였다.

4.3 모의된 기상인자를 이용한 확률강수량 산정

비매개변수적 모의발생 기법(nonparametric monte carlo simulation)과 지역가중다항식을 조합한 CPPM의 입력 자료는 우리나라에서 발생한 각 지속시간별 연최대시간강수량을 종속변수로 설정하고 해수면온도와 습윤 지수를 독립변수로 설정하였다. 61개 강수 관측소에서 관측된 지속시간별 연최대시간강수량 자료와 4개월 이전의 해수면온도 중에서 상관관계가 큰 지역에 포함된 가장 상관계수가 큰 지점을 선택하였으며 동일한 월의 습윤 지수중에서도 상관계수가 가장 큰 지점을 선택하였다. 상관계수가 크게 나타나는 해수면온도 또는 습윤 지수 자료를 여러 지점 선정하지 아니한 이유는 지역가중다항식은 일종의 회귀분석이므로 다중공선성(multicollinearity) 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 회귀 적합이 잘 이루어지려면 반응변수와 회귀변

수간의 상관도가 높으며 회귀 변수간의 상관도는 낮아야 하며, 그렇지 못한 경우인 회귀변수들 사이에 서로 강한 상관관계가 존재하는 현상을 공선성이라고 한다. 만약, 해수면 온도와 시간 강수량 사이에서 상관계수가 큰 여러 지점을 회귀변수로 설정한다면 이 같은 다중공선성 문제가 발생할 가능성이 매우 농후해 질 수 있다. 해수면온도 및 습윤지수 자료를 독립변수로 설정하고 지속시간별 연최대시간강수량을 종속변수로 설정하였다.

또한 연최대시간강수량과 기상인자와의 뚜렷한 상관성을 도출되지는 아니하였다. 따라서 모의된 기상인자가 비슷한 상태일 때에 강수량을 추정할 수 있는 지역가중다항식을 이용하여 강수량을 추정하였다. 이는 해수면온도와 같은 기상인자와 강수량 사이의 관계가 선형적인 회귀관계가 설정되지 않으므로 비매개변수적 회귀분석의 일종인 지역가중다항식을 이용하였다.

다음 Fig. 8은 서울 지점의 지속시간 24시간에 대하여 CPPM 기법을 통해 추정된 quantile의 평균과 표준편차를 매개변수적 지점빈도해석의 확률강수량과 비교하여 도시한 결과이다. CPPM을 통해 추정된 확률강수량은 매개변수적 지점빈도해석의 결과와 크게 다르지

Fig. 8. CPPM Results of 24 Hours at Seoul

Fig. 9. Comparison of Design Rainfall Between CPPM and Parametric Point Frequency Analysis

Fig. 10. CPPM Results of 24 Hours of 100 Years

Fig. 11. 200 Years Difference of 24 Hours

않은 것으로 나타났다. 또한, Fig. 9에 각 지속시간별로 CPPM에 의해 산정된 확률강수량을 도시하였다.

CPPM 기법을 통해 추정된 확률강수량을 지속시간별 재현기간별로 산정하였다. 다음 Figs. 10~11은 지속시간 24시간의 100년 빈도 및 200년 빈도를 CPPM 모형을 통해 추정한 결과를 확률강수량도로 도시한 결과이다.

5. 산정된 확률강수량의 비교 분석

CPPM 기법을 통해 추정된 CPPM 확률강수량과 전통적인 매개변수적 지점빈도해석을 통해 산정한 확률강수량을 비교분석하였다. Fig. 12는 CPPM 기법과 매개변수적 지점빈도해석에 의해 산정된 확률강수량의 차이를 나타낸 것으로써 CPPM에 의해 산정된 확률강

Fig. 12. 200 Years Difference of 24 Hours

수량에서 매개변수적 지점빈도해석에 의해 산정된 확률강수량을 빼준 결과이다. 또한, 이를 percentage (%)로 나타낸 결과를 Fig. 13에 도시하였다. 도시한 결과는 지속시간 24시간의 200년 빈도에 대한 값을 나타내었다.

CPPM 확률강수량은 매개변수적 지점빈도 확률강수량과 많은 차이를 보이고 있지는 않은 것으로 나타났다. 지속시간별 재현기간별 CPPM 확률강수량과 매개변수적 지점빈도 확률강수량의 차이는 15 % 이내인 것으로 나타났으며, 차이비의 절대값의 평균은 4 % 정도인 것으로 분석되었다. 따라서 수문기상인자를 활용하여 확률강수량을 추정하는 Climate Pattern and Precipitation은 수문기상인자를 빈도해석에 반영하여 빈도해석을 수행하는데 있어 충분한 적합성을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 기상인자를 반영하여 확률강수량을 산정하여 비교·분석을 수행하였다. 분석 방법은 기상인자 중에서 해수면온도와 습윤지수를 이용하여 우리나라의 극한강수량 할 수 있는 연최대시간강수량 자료와의 상관관계에 기초한 Climate Pattern and Precipitation Model을 구축하고 적용하였다. 이를 위하여 기상인자와 연최대강수량 사이의 상관성 분석, 변동해밀도함수를 이용한 기상인자의 모의발생 및 지역가중다항식을 이용한 강수량의 추정 기법을 이용하였다.

- 1) 우리나라의 연최대시간강수량과 해수면온도의 상관관계 분석결과에서 4개월 이전의 해수면온도와 상관관계가 큰 것으로 나타났다. 양(+)의 상관관계가 큰 지역은 60°E~100°E, 5°S~15°N인 것으로 나타났으며, 음(-)의 상관관계가 큰 지역은 155°E

Fig. 13. 200 Years Difference of 24 Hours(%)

~130°W(230°E), 30°N~50°N으로 나타났다. 그러나 습윤지수는 뚜렷하게 강한 상관관계를 갖는 지역은 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

- 2) 비매개변수적 모의발생을 통한 기상인자의 모의결과는 관측자료를 잘 반영한 모의를 수행하는 것으로 나타났다. 특히, 분석대상자료가 다중점두를 갖는 경우에 이를 반영한 모의발생을 수행할 수 있는 것으로 판단된다.
- 3) CPPM 기법을 통해 추정한 확률강수량은 매개변수적 지점빈도해석을 통해 산정한 확률강수량과 절대표준오차의 평균이 4 % 정도인 것으로 나타났다. 따라서 기상인자를 반영하여 추정한 확률강수량은 기존의 방법과 큰 차이가 발생하지 않는 것으로 판단할 수 있다. 이는 기상인자의 모의를 통하여 추정된 강수량은 지역가중다항식에 의해 관측된 결과와 큰 차이를 보이지 않고 모의되었음을 확인할 수 있다.

본 연구의 분석결과에서 제시한 CPPM 기법을 통해 기상인자를 반영한 확률강수량의 산정은 기존의 빈도해석을 통해 산정한 확률강수량과 비슷한 크기의 quantile을 산정하는 것으로 나타났다. 따라서 지구온난화 등에 따르는 기후변화에 의해 기상인자의 변화특성을 예측하여 미래의 확률강수량을 산정하는데 기초자료로 활용될 수 있으며, 이에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- 권현한, 김병식, 김보경, 윤석영 (2008). “기후변화에 따른 극치사상 영향평가를 위한 비정상성 수분빈도해석기법 개발.” **대한토목학회 2008년도 정기 학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 607-610.
- 김병식, 경민수, 이건행, 김형수 (2007). “기후변화를 고려한 IDF곡선 추정방안에 대한 연구.” **한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 774-779.
- 김정희, 김태훈, 오재호 (2002). “한반도에서의 기후변동 특성 분석.” **한국수자원학회 2002년 학술발표회 논문집(II)**, 한국수자원학회, pp. 1242-1245.
- 이동진, 허준행 (2001). “L-모멘트법을 이용한 한강유역 일강우량 자료의 지역빈도해석.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제34권, 제2호, pp. 119-130.
- 오태석, 문영일 (2008). “우리나라의 월강수량과 범지구적 해수면온도의 상관성 분석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제2B호, pp. 237-248.
- 오태석, 문영일, 오근택 (2008). “군집분석과 변동행렬도함수를 이용한 지역빈도해석의 확률강우량 산정.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제2B호, pp. 225-236.
- 차영일, 김범순, 문영일 (2006). “극치값 추정에 적합한 비매개변수적 핵함수 개발.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제6호, pp. 187-194.
- 허준행, 이영식, 신흥준, 김경덕 (2007a). “우리나라 강우자료의 지역빈도해석 적용성 연구(I): 확률강우량 산정.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제2B호, pp. 101-111.
- 허준행, 이영식, 신흥준, 김경덕 (2007b). “우리나라 강우자료의 지역빈도해석 적용성 연구(II): 모의실험 및 적합기법 선정.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제2B호, pp. 113-123.
- Fowler, H. J. (2005). “Are extremes increasing? Changing rainfall patterns in Yorkshire.” *The Yorkshire and Humberside Regional Review*, vol. 15, No. 1, pp. 21-24.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. (1997). *Regional Frequency Analysis*. Cambridge University Press.
- Institute of Hydrology (1999). Flood estimation hand-book. Wallingford, UK.
- Karl, T.R. and Easterling, D.R. (1999). “Climate extremes: Selected review and future research directions.” *Climate Change*, Vol. 42, No. 10, pp. 309-325.
- Lall, U., Y.-I. Moon, H.-H. Kwon, and K. Bosworth (2006). “Locally weighted polynomial regression: Parameter choice and application to forecasts of the Great Salt Lake.” *Water Resour. Res.*, 42, W05422, doi:10.1029/2004WR003782.
- Manton, M. J., Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Hennessy, K. J., Nicholls, N. and Chambers, L. E. (2001). “Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific : 1961-1998.” *International Journal of Climatology*, vol. 21, pp. 269-284.
- Smith, T.M., and Reynolds R.W. (2003). “Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854-1997).” *Journal of Climate*, Vol. 16, pp. 1495-1510.
- Smith, T.M. and Reynolds R.W. (2004). “Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997).” *Journal of Climate*, Vol. 17, pp. 2466-2477.

논문번호: 09-060	접수: 2009.06.01
수정일자: 2009.07.15	심사완료: 2009.07.15