기후변화 시나리오에 따른 지역별 확률강우량

Estimation of Regional Probable Rainfall based on Climate Change Scenarios

김영호* · 여창건** · 서근순*** · 송재우****

Kim, Youngho · Yeo, Chang Geon · Seo, Geun Soon · Song, Jai Woo

Abstract

This research proposes the suitable method for estimating the future probable rainfall based in 2100 on the observed rainfall data from main climate observation stations in Korea and the rainfall data from the A1B climate change scenario in the Korea Meteorological Administration. For all those, the frequency probable rainfall in 2100 was estimated by the relationship between average values of 24-hours annual maximum rainfalls and related parameters. Three methods to estimate it were introduced; First one is the regressive analysis method by parameters of probable distribution estimated by observed rainfall data. In the second method, parameters of probable distribution were estimated with the observed rainfall data. Also the rainfall data till 2100 were estimated by the A1B scenario of the Korea Meteorological Administration. Last method was that parameters of probable distribution and probable rainfall were estimated by the A1B scenario of the Korea Meteorological Administration. The estimated probable rainfall by the A1B scenario was smaller than the observed rainfall data, so it is required that the estimated probable rainfall was calibrated by the quantile mapping method. After that calibration, estimated probable rainfall data was averagely became approximate 2.3 to 3.0 times. When future probable rainfall was the estimated by only observed rainfall, estimated probable rainfall was overestimated. When future probable rainfall was estimated by the A1B scenario, although it was estimated by similar pattern with observed rainfall data, it frequently does not consider the regional characteristics. Comparing with average increased rate of 24-hours annual maximum rainfall and increased rate of probable rainfall estimated by three methods, optimal method of estimated future probable rainfall would be selected for considering climate change.

Key words : Climate change, Rainfall, Probable rainfall, Climate change scenarios, Quantile mapping

요 지

본 연구는 A1B 기후변화 시나리오를 고려하여 지역별 확률강우량을 산정하고 관측소별 기존 관측자료의 특성을 고려한 적정 방법을 제안하였다. 이를 위하여 우리나라 주요 지점 강우관측소를 연구 대상지점으로 선정하여 선정된 주요 지점 관측소에 대해 24시간 연최대강우량 평균값과 매개변수의 관계를 분석하여 2100년의 빈도별 확률강우량을 산정하였다. 2100년 빈도별 확률강우량은 기상청 실측강우량 자료를 활용하여 산정하는 방법, 확률분포의 매개변수는 실측 강우자료를 활용하고, 2100년까지의 강우자료는 A1B 시나리오를 활용하는 방법, A1B 시나리오를 활용하여 확률강우량을 산정하는 3가지 방법을 적용하였다. A1B 시나리오에 의한 강우 예측값은 실측값 보다 과소 추정되어 이를 활용하는 경우에는 보정이 필요하며, 분위 사상법을 적용하여 보정한 결과 모든 관측소에서 약 2.3~3.0배의 강우량이 평균적으로 상향조정 되었다. 실측강우 자료만으로 산정한 확률강우량의 경우, 강우량이 지속적으로 증가하여 과대 산정되어 증가하는 경향이 강하며, A1B 시나리오 자료를 활용하여 산정한 확률강우량의 경우 대체적으로 기존 관측자료의 증감율과 유사하게 산정되기는 하지만 지역적 특성을 정확히 반영하지 못하는 경우가 다소 발생하였다. 각 지점별로 24시간 연 최대 강우량 평균 증감율과 방법별로 산정된 확률강우량의 증감율을 비교하여 기후변화를 고려한 관측지점별 확률강우량 산정 방법을 선정하였다.

핵심용어 : 기후변화, 강우, 확률강우량, 기후변화 시나리오, 분위 사상법

1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화에 의한 기후변화가 진행되고 있다. 우리나라의 기후변화 추세는 현재와 비교하여 21세기말

(2071~2100년)에는 기온이 약 4°C 상승하고, 강수량은 17%가 증가할 것으로 전망되어 전 지구적 변화경향과 비슷하거나 다소 높게 나타나고 있다(기상청, 2010). 현재의 기후도 이를 뒷받침 하듯이 집중호우, 태풍 등이 자주 발생하여 홍

*정회원 · 석탑엔지니어링 전무이사 (E-mail : yhkim1115@empal.com)

**정회원 · 홍익대학교 과학기술연구소 연구원

***정회원 · 석탑엔지니어링 부장

****정회원 · 홍익대학교 토목공학과 교수 (교신저자)

수피해가 증가하고 있다. 이러한 기후변화에 따른 강우량의 증가는 설계홍수량의 증가를 초래하며 그로 인한 하천제방 및 수공구조물의 설계기준에 영향을 미친다. 그러나 현재 수공구조물 및 방재시설 설계는 과거 30년간 기상 관측기록에 의한 확률강우량 분석을 통해 이루어지고 있어, 미래 기후변화 영향에 대한 고려가 미흡한 실정이다.

기후변화에 따른 수문학적 영향변화에 대한 연구로는 Bella 등(2009)이 지역기후모형(RCM)의 결과를 G2G (Grid to Grid) 모형에 적용 기후변화가 유출량에 미치는 영향을 평가하였으며, QuintanaSegui 등(2009)은 지역기후모형(RCM)을 대상으로 통계학적 축소기법인 분위 사상법(Quantile Mapping)을 이용하여 불확실성을 보정 정량화한 후 분포형 모형에 적용 유출모의를 시행하였다. 국내의 경우 나양선(2010)은 A2 시나리오에 따른 확률강우량 산정기법을 제시 후 기후변화에 따른 설계강우 및 홍수변화에 관한 연구를 수행하여 남한강 유역에 대하여 A2 시나리오에 따른 GCM 모의 결과값을 이용하여 생성된 일강우자료를 과거기간(S0:1971~2000년)과 미래기간(S1:2011~2040년, S2:2041~2070년, S3:2071~2100년)으로 구분하여 빈도해석을 실시하고 각 기간에 대한 100년 빈도의 확률강우량을 산정하였다. 권진욱(2008)은 한반도 기후변화 추세분석 및 Random Cascade 모형을 이용한 GCM 기후변화 모의 스케일 상세화에 대한 연구에서 국내 관측값과 많은 차이를 보이던 GCM 모의값을 분위사상법 및 상세화기법 적용을 통하여 보정하였다. 김경욱(2010)은 기상청에서 일단위로 제공하는 지역기후모형을 대상으로 카오스적 분해기법을 적용하여 시간단위로 Downscaling 된 기후변화 자료를 제공받아 서울지점 강우자료를 분위사상법을 이용하여 보정한 후 지속시간별 확률강우량을 산정하였다.

기존의 연구는 우리나라 전체, 또는 일부 유역이나 지역을 대상으로 기후변화를 고려한 확률강우량을 산정하였으나 실제 하천제방 및 수공구조물 설계를 위해서는 지역 특성이 반영된 지역별 확률강우량의 산정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 전국 주요 관측소에 대해 실측 강우자료와 기상청의 A1B 기후변화 시나리오에 의한 강우자료를 활용하여 미래 기후변화 영향을 고려한 확률강우량을 산정하고 관측소별 기존 관측자료의 특성을 고려한 산정 방법을 제안하였다. 기후변화로 인한 강우량 변화가 예상되는 주요 지점 9개 강우관측소를 연구 대상지점으로 선정하여 관측소별 24시간 연최대강우량 평균값과 매개변수의 관계를 분석하여 2100년의 빈도별 확률강우량을 산정하였다. 2100년의 빈도별 확률강우량은 기상청 실측 강우량 자료를 활용하여 확률분포의 매개변수를 산정하여 확률강우량을 산정하는 방법, 확률분포의 매개변수는 실측 강우자료를 활용하고, 2100년까지의 강우자료는 A1B 시나리오를 활용하는 방법, A1B 시나리오를 활용하여 확률분포의 매개변수와 확률강우량을 산정하는 방법과 같은 3가지 방법으로 각각 확률강우량을 산정하고 이를 기존 관측치의 증감을 경향과 비교하여 각 관측지점에 적합한 확률강우량 산정방법을 제안하였다.

2. 강우자료의 분석

2.1 대상 관측소 선정

기후변화를 고려한 지역별 확률강우량 산정을 위하여 우리나라의 행정구역, 동서, 해안 내륙과 같은 지역적 특성을 고려하고, 기후변화로 인한 강우량 변화가 예상되는 주요 지점을 대상지점으로 선정하였다. 선정된 주요 대상지점은 서해안의 서울, 인천, 목포, 서산과 동해안의 강릉, 울산, 남해안의 부산 그리고 내륙에 위치한 대전과 대구 관측소를 대상 관측소로 선정하였다.

2.2 강우자료의 수집 및 분석

본 연구에서는 기상청 실측 시우량 자료와 기상청에서 제공한 A1B 시나리오의 기후모형 적용 예측 강우량 자료를 사용하여 총 세 가지 방법으로 서울, 부산, 인천, 대전, 대구, 목포, 울산, 강릉 및 서산의 미래 확률강우량을 예측하였다.

기후변화 시나리오는 IPCC 배출시나리오에 관한 특별보고서(IPCC, 2000)에서 설명된 시나리오를 말하며, 크게 4개 시나리오(A1, A2, B1, B2)로 나뉜다. A1 시나리오는 세계 경제의 매우 급속한 성장하고, 급세기 중반에 지구촌의 인구가 최고에 도달하며, 새롭고 좀 더 효율적인 기술의 급속한 도입을 가정한 시나리오다. A1 시나리오는 설명하는 기술변화 방향에 따라서 화석 연료를 집약적으로 사용하는 AIFI 그룹, 비화석 에너지 자원을 이용하는 AIT그룹, 모든 자원 간의 균형을 향हे기는 A1B 그룹으로 나뉜다. 본 연구에서는 장래 우리나라의 상황을 고려하여 화석 연료의 사용을 줄이며 자원 간의 균형을 향해 간다고 가정하는 A1B 적용하였다.

실측 강우자료는 기상청에서 제공하는 9개 주요 관측소의 1971년부터 2009년까지의 39년간의 실측 시우량 자료를 활용하였다. A1B 시나리오 자료 예측값은 기상청 기후변화정보센터에서 제공하는 기후 전망자료로서 전 지구 기후변화전망 모형(ECHO-G)에 인위적 기후변화 강제력 적용하여 전 지구 기후변화 시나리오 자료를 산출한 후, 지역기후모형(MM5)를 이용하여 전 지구 기후변화 시나리오 자료의 역학적상세화로 산출된 한반도 상세 기후변화 자료이다. 기상청 기후변화정보센터에서는 한반도 지역 기후변화 시나리오 산출을 위하여 독일 막스플랑크 기상연구소에서 개발된 ECHO-G를 적용하였다. IPCC A1B 시나리오를 ECHO-G에 입력하여, 온실가스 증가에 따른 장기간 (1860-2100년)전 지구 기후 변화 시나리오 자료를 생산하였다. 그러나 ECHO-G에서 생산된 자료는 약 400 km 간격의 해상도를 가지고 있기 때문에 우리나라의 지형에 적용하는 것은 여러 가지 문제점이 존재한다. 따라서 우리나라 지형을 반영한 고해상도의 상세한 자료 재생산을 필요하였고, 역학적 상세화 기법을 도입하여 지역기후모형인 MM5(Mesoscale Model version 5)를 적용하여 A1B시나리오에 대한 약 27 km 간격으로 역학적 상세화된 한반도 기후변화 시나리오를 생산하였다(국립기상연구소, 2009).

3. 기후변화를 고려한 확률강우량 산정

3.1 기후변화 시나리오

IPCC SRES(IPCC Special Report on Emissions Scenarios; IPCC 배출시나리오에 관한 특별보고서, 2000)에서는 CO₂ 배출 시나리오를 제시하였다. 배출 시나리오는 인구통계, 경제성장, 에너지 사용효율, 과학기술 등과 같은 기후변화를 유발할 수 있는 사회경제적 요소를 종합적으로 반영하여 추정할 미래 온실가스 배출량 정보를 말한다.

IPCC SRES 시나리오는 2000년부터 2030년 사이에 지구의 베이스라인 온실가스 배출량이 9.7~36.7 Gt, CO₂가 약 25에서 90% 가량 증가할 것이라고 전망하였으며, 화석연료가 2030년 이후에도 전 지구 에너지원에서 지배적 위치를 유지할 것이라는 전망 하에 2000년부터 2030년 사이에 에너지 사용으로 인한 CO₂ 배출량은 40에서 110% 가량 증가할 것으로 전망하였다. 기후변화 시나리오 중 최악의 경우(A1FI)에서는 화석연료 대량소비형 사회가 계속된다면, 1980~1999년에 비하여 금세기말(2090~2099년) 지구 평균기온은 최고 6.4°C, 해수면은 최고 59 cm 상승할 것이라 전망하였으며, 최소의 경우(B1)에서는 환경 친화적으로 유지되면, 금세기말 지구 평균기온은 최저 1.1°C, 해수면은 최저 18 cm 상승할 것이라 전망하였다. 본 연구에서는 기후변화를 고려한 미래 확률 강우량 산정을 위하여 21세기 말 이산화탄소 농도가 20세기 말의 두 배가 될 것으로 가정한 'A1B 시나리오'를 적용하였다.

3.2 산정 방법

본 연구에서는 기후변화를 고려한 확률강우량 산정 및 산정 방법의 제안을 위하여 주요 강우 관측소의 24시간 연 최대 강우량 평균값과 매개변수의 관계를 분석하여 3가지 방법으로 확률강우량을 산정하였다. 첫 번째 방법은 기상청 실측 시우량 자료를 활용한 방법으로 24시간 연 최대 강우량 평균값과 실측 강우자료에서 산정된 관측소별 확률분포의 매개변수인 위치 및 축척 매개변수를 활용하여 확률강우량을 분석하는 방법이다.

두 번째 방법은 확률분포의 매개변수는 실측 강우자료를 활용하고, 2100년까지의 강우자료는 A1B 시나리오를 활용하여 확률강우량을 산정하는 방법으로 기상청 실측자료와 기후모형 예측자료 간의 오차가 크게 발생하여 기후모형 자료를 즉시 강우자료로 활용하기는 곤란하다. 이를 보정하기 위하여 분위사상법을 적용하여 오차를 보정하여 보정된 자료를 강우자료로 하여 24시간 연 최대 강우량 평균값을 산정하고, 실측 강우자료에서 산정된 확률분포의 매개변수를 이용하여 확률강우량을 분석하는 방법이다.

세 번째 방법은 기후모형 예측 자료 A1B 시나리오를 활용한 방법으로 기상청 실측자료와 기후모형 예측자료의 차이가 발생하여 기후모형 자료를 즉시 강우자료로 활용하기는 곤란하다.

이를 보정하기 위하여 분위사상법을 적용하여 오차를 보정하여 보정된 자료를 강우자료로 하여 24시간 연 최대 강우량

평균, 위치 및 축척 매개변수를 추출하고 이를 토대로 회귀식을 산정하여 확률강우량을 분석하는 방법이다.

3.3 확률강우량의 산정

3.3.1 확률 분포형

강우자료가 지니는 특성에 적합한 최적의 확률분포형을 선택하는 것이 수문자료 해석에 첫 단계이므로 선택에 있어 신중을 기하여야 한다. 이러한 수문자료 해석에 일반적으로 사용되는 확률분포형으로는 Normal 분포형, Log-Normal 분포형(2모수, 3모수), Gamma 분포형(2모수, 3모수), Log-Pearson Type 분포형, GEV(General Extreme Value) 분포형, Gumbel 분포형, Log-Gumbel 분포형(2모수, 3모수), Weibull 분포형(2모수, 3모수), Wakeby 분포형(4모수, 5모수), Generalized Logistic 분포형, Generalized Pareto 분포형 등이 있다. 이러한 확률분포형 중에서 미래의 강우에 대한 확률분포형도 Gumbel 분포를 따른다는 가정하에 Gumbel 분포형을 선정하여 연구를 수행하였다.

Gumbel 분포형 선정 이유는 자료의 극치 중에서 최대값에 해당하는 연 최대홍수량 및 강우자료의 분석에 많이 사용되고, "1999년도 수자원관리기법개발 연구조사 보고서-한국확률 강우량도 작성(건설교통부, 2000)"에서 우리나라 지형에 대한 최적 확률분포형을 Gumbel 분포형으로 채택하였다. 또한, 국립방재연구소의 FARD를 활용하여 강우자료를 분석한 결과 또한 추천 분포형은 Gumbel로 산정되어 이를 선정하였다.

3.3.2 기상청 실측 시우량 자료 활용법(방법 1)

기상청의 실측 시우량 자료를 활용한 방법으로 강우패턴 변화와 Gumbel 분포의 확률가중모멘트법에 의한 위치 및 축척 매개변수와의 관계를 회귀분석하여 확률강우량을 산정하는 방법이다.

24시간 연 최대 강우량 평균값은 24시간 연 최대 강우량을 초기 20년을 기준으로 1년씩 누적하여 산정하였다. 일반적으로 초기 20년을 기준으로 1년씩 강우자료를 추가하여 나타난 변화는 최근 변화 양상을 가장 잘 표현할 수 있는 것으로 알려져 있다(안재현 등, 2000). 미래의 연도별 24시간 연 최대 강우량 평균값을 산정하기 위하여 위의 단계에서 구축한 39년간(1971~2009년) 24시간 연 최대 강우량 평균 자료의 선형회귀곡선을 산정하였다(그림 1). 미래의 위치 및 축척 매

그림 1. 지점별 24시간 연 최대 강우량 평균(서울)

그림 2. 24시간 연 최대 강수량 평균과 위치매개변수의 관계(서울)

그림 3. 재현기간별 확률강수량(서울)

개변수의 산정은 24시간 연 최대 강수량 평균과 매개변수 간의 선형 회귀곡선을 추정하여 산정하였다(그림 2). 산정된 매개변수 값은 서울, 부산, 인천, 대전, 대구, 목포, 울산, 강릉 및 서산 관측소의 24시간 연 최대 강수량 평균과 위치 및 축척 매개변수를 이용하여 재현기간별 확률강수량을 산정하였다(그림 3).

목표연도 확률강수량 산정을 위한 Gumbel 누적분포함수의 역함수는 다음 식 (1)과 같다.

$$x_T = x_0 - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (1)$$

여기서, x_T 는 재현기간의 확률강수량, x_0 는 위치매개변수, α 는 축척매개변수, T 는 재현기간이다.

3.3.3 기후모형 예측값과 실측 자료의 매개변수 활용법(방법 2)

기상청에서 제공되는 기후모형의 예측값을 활용한 방법으로 실측자료와 예측된 자료의 보정과정을 거쳐야한다. 이에 본 연구에서는 실측값과 예측값의 차이를 분위사상법(Quantile mapping)을 통하여 보정을 실시하였다.

분위 사상법은 관측지의 경험적인 확률 분포를 토대로 관측치와 시뮬레이션된 값이 동일한 확률 분포형을 가질 수 있도록 전이 함수를 통한 통계학적인 접근 방법이다. 이 방법은 모의자료가 동일한 비초과 확률을 갖는 관측자료의 크기로 대체되어 단순히 형태를 맞추는 것이 아니라 과거 자료로부터 관측 자료와 모의자료의 통계치를 일대일 대응하는 과

그림 4. 분위사상법에 의한 강수량 보정(서울, 1971~2009)

그림 5. 재현기간별 확률강수량(서울)

정을 반복하는 방법이다. 24시간 연 최대 관측값과 A1B 기후변화 시나리오 자료의 24시간 연 최대 예측값의 비초과확률(Non-exceedence probability)을 산정하여 A1B 시나리오 자료에 대응하는 값을 관측자료의 누적확률밀도함수로부터 획득한다. 24시간 연 최대 강수량 평균값은 분위 사상법을 적용하여 산정된 강우자료를 토대로 24시간 연 최대 강수량을 초기 20년을 기준으로 1년씩 누적하여 산정하였다. 또한, 위치 및 축척매개변수는 분위사상을 적용하여 산정된 24시간 연 최대 강수량평균과 같은 기간의 실측 기상청 강우 자료를 활용하여 산정하였다.

3.3.4 기후모형 예측값 활용법(방법 3)

기후모형 예측값을 활용한 방법 3은 강우자료와 위치 및 축척 매개변수를 A1B 시나리오 예측자료(1971~2100년)에 분위 사상법을 적용(그림 6)하여 산정한 값을 사용하는 방법이다. 분위사상법 적용전·후 변화는 총 9개 관측소에서 1971년부터 2100년까지 강우량은 평균적으로 약 2.3~3.0배 상향보정되었다. 방법 1, 2와 마찬가지로 24시간 연 최대 강수량 평균값과 위치 및 축척 매개변수를 이용하여 각 관측소에 대한 재현기간별 확률강수량을 산정하였다(그림 7).

그림 6. 분위 사상법에 의한 강수량 보정(서울, 1971~2100)

그림 7. 재현기간별 확률강우량(서울)

4. 기후변화를 고려한 지역별 적정 확률 강우량 산정법

4.1 방법별 확률 강우량의 증가율

방법 1, 2, 3으로 산정한 확률강우량 중에서 지역별 적정 확률 강우량 산정방법을 채택하기 위해서 각 지점의 실강우 관측 시작년부터 10, 15 및 20년 동안 24시간 연 최대강우량 평균값과 최근의 10, 15 및 20년 동안의 24시간 연 최대강우량 평균의 증가율을 산정하여 표 1에 나타냈다. 24시

간 연 최대 강우량 평균 산정시, 30년간의 24시간 연 최대 강우량 평균값의 산정을 제외한 이유는 강우 관측기간이 최대 49년이므로 30년 동안의 평균 산정시에는 중복되는 기간이 발생하였기 때문이다. 비교대상의 부재로 미래 강우량 예측값의 경향이 과대나 과소로 추정된다고 판단할 수 없으므로, 과거 강우의 증감율이 미래 강우의 증감율과도 유사하다는 가정하에 각 지점별 실측 강우자료의 과거 약 40년간의 증감율을 추정한다면 미래 강우의 추세경향과 비교할 수 있을 것으로 판단된다.

실강우 관측 시작년부터 10년 동안 24시간 연 최대강우량 평균과 최근 10년 동안의 24시간 연 최대강우량 평균 증가율은 서울 약 27.1%, 부산 약 1.7%, 인천 약 26.8%, 대전 약 27.5%, 대구 약 11.0%, 목포 약 7.5%, 울산 약 3.9%, 강릉 약 79.5%, 및 서산 약 3.7%로 산정되었다.

실강우 관측 시작년부터 15년 동안 24시간 연 최대강우량 평균과 최근 15년 동안의 24시간 연 최대강우량 평균 증가율은 서울 약 23.9%, 부산 약 2.5%, 인천 약 29.2%, 대전 약 34.1%, 대구 약 14.7%, 목포 약 10.4%, 울산 약 2.9%, 강릉 약 35.0% 및 서산 약 21.7%로 산정되었다.

또한, 실강우 관측 시작년부터 20년 동안 24시간 연 최대강우량 평균과 최근 20년 동안의 24시간 연 최대강우량 평균 증가율은 서울 약 17.9%, 부산 약 5.2%, 인천 약

그림 8. 년도별 확률강우량 변화 추세

21.5%, 대전 약 9.5%, 대구 약 12.0%, 목포 약 5.8%, 울산 약 12.2%, 강릉 약 41.4% 및 서산 약 16.0%로 산정되었다.

울산 관측소는 1969년에 24시간 최대강우량이 458.78 mm (1961~2009년까지의 24시간 연 최대 강우량 평균은 155.76 mm)로 이상치가 발생하며, 이를 포함하고 산정하면 초기 10년의 24시간 연 최대 강우량 평균은 153.67 mm로 산정되어 증감율은 -16.9%로 산정되어 과소 추정되어 1969년 강우자료를 제외하고 산정하였다.

각 지점의 방법별 확률강우량 증가율 중, 방법 2에서 부산, 대구, 목포 및 울산 관측소가 감소경향으로 산정이 되었으며, 방법 3에서 강릉 관측소가 약 -8%의 감소경향으로 산정되었는데, 이는 GCM(격자 규모 400X400 km) 모형의 산출결과를 RCM(격자규모 27X27 km) 모형에 역학적 상세화를 거치는 과정에서 지역적인 특성인 산지지형을 제대로 반영하지 못하여 강우량 예측값이 감소경향으로 산정된 것으로 판단된다.

방법별로 산정된 각 지점의 확률강우량을 비교하면, 방법 1과 2는 과대 또는 과소 추정되는 경향으로 산정된다. 하지만 방법 3의 경우, 각 지점의 실강우 관측시작년부터 10, 15 및 20년 동안 24시간 연 최대강우량 평균과 최근 10, 15 및 20년 동안의 24시간 연 최대강우량 평균의 증가율을 비교해보면 서울과 강릉을 제외한 나머지 관측지점에서 증가율이 동일한 경향을 보였다.

4.2 기후변화를 고려한 지역별 확률 강우량 산정법

지점별 24시간 연 최대 강우량 평균 증가율과 방법별로 산정된 확률강우량을 비교한 결과 부산, 인천, 대전, 울산, 서산 관측소는 기존 관측치의 24시간 연 최대 강우량 평균 증가율과 차이가 가장 작은 방법 3으로 선정하였고, 서울과 강릉 관측소는 확률강우량의 증감율 차이가 가장 작은 방법 2로

표 1. 방법별 증가율 산정

방법 지점	방법별 확률강우량 증가율(%)			기존관측치*(%)		
	방법 1	방법 2	방법 3	10년평균	15년평균	20년평균
서울	43.7	18.9	52.7	27.1	23.9	17.9
부산	10.0	-22.5	6.0	1.4	2.5	5.2
인천	36.2	6.9	36.1	26.8	29.2	21.5
대전	60.9	70.9	4.4	27.5	34.1	9.5
대구	11.3	-2.2	9.5	11.0	14.7	12.0
목포	10.1	-69.3	5.9	7.5	10.4	5.8
울산	0.9	-27.0	4.2	3.9	2.9	12.2
강릉	104.5	40.3	-8.0	79.5	35.0	41.4
서산	58.7	54.8	0.8	3.7	21.7	16.0

*: 지점별 24시간 연 최대 강우량 평균 증가율(%)

기후변화를 고려한 확률강우량 산정방법을 제안하였다(그림 9).

대구와 목포의 경우 방법 1과 3의 확률강우량 증가율이 크게 차이가 나지 않아 두 번째 고려요소인 A1B 기후변화 시나리오에 대한 미래 강우량 변화 전망자료(기상청, 2010)를 비교한 결과, 대구는 15~20%, 목포는 5~10%가 증가하였다. 이와 대응하여 방법별 확률강우량의 증가율은 대구는 방법 1이 11.3%, 방법 3이 9.5%이며, 목포는 방법 1이 10.1%, 방법 3이 5.9%이다. 목포는 A1B 기후변화 시나리오에 대한 미래 강우량 변화 전망자료와 유사한 방법 3을 채택하였고, 대구는 방법 1과 3의 증가율 차이가 거의 나지 않아 세 번째 고려요소인 2100년까지 강우량 변화가 포함된 방법 3으로 선정하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 기후변화를 고려한 확률강우량을 서울, 부산, 인천, 대전, 대구, 목포, 울산, 강릉 및 서산 관측소 지점에 대해 기상청 실측 강우량 자료를 활용하여 확률분포의 매개변수를 산정하여 확률강우량을 산정하는 방법, 확률분포의 매개변수는 실측 강우자료를 활용하고, 2100년까지의 강우자료는 A1B 시나리오를 활용하는 방법, A1B 시나리오를 활용하여 확률분포의 매개변수와 확률강우량을 산정하는 방법과 같은 3가지 방법으로 각각 확률강우량을 산정하고 이를 기존 관측치의 증감율 경향과 비교하여 각 관측지점에 적합한 확률강우량 산정방법을 제안하였다. 세 가지 방법으로 산정된 확률강우량 중에서 대상지점에 가장 적합한 확률강우량 산정방법을 제안하여 향후 기후변화를 고려한 확률강우량 산정 가이드라인으로 제시하였다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

기상청 실측 강우량 자료만으로 산정한 확률강우량의 경우(방법 1), 강우량이 지속적으로 증가하여 과대 산정되어 증가하는 경향이 강하며, A1B 시나리오 자료를 활용하여 산정한 확률강우량의 경우 대체적으로 기존 관측자료의 증감율과 유사하게 산정되기는 하지만 지역적 특성을 정확히 반영하지 못하는 경우가 다소 발생하였다.

확률분포의 매개변수는 실측 강우자료를 활용하고, 2100년

그림 9. 기후변화를 고려한 지역별 확률강우량 산정법 선정

참고문헌

까지의 강우자료는 A1B 시나리오를 활용하는 방법(방법 2)은 강우 예측값은 실측값 보다 과소 추정되어 이를 활용하는 경우에는 보정이 필요하며, 분위사상법을 적용하여 보정한 결과 모든 관측소에서 약 2.3~3.0배의 강우량이 평균적으로 상향조정 되었다.

A1B 시나리오를 활용하여 확률분포의 매개변수와 확률강우량을 산정하는 방법(방법 3)은 각 지점의 실강우 관측 시작년부터 10, 15 및 20년 동안 24시간 연 최대강우량 평균과 최근 10, 15 및 20년 동안의 24시간 연 최대강우량 평균의 증가율을 비교해보면 서울과 강릉을 제외한 나머지 관측지점에서 증가율이 동일한 경향을 보였다.

각 지점별로 24시간 연 최대 강우량 평균 증가율과 방법별로 산정된 확률강우량을 비교한 결과, 부산 등 5개 지점은 24시간 연최대 강우량 평균 증가율과 차이가 가장 작은 방법 3으로 기후변화에 대비한 확률강우량 산정 방법을 채택하였고, 서울, 강릉은 증감율 차이가 가장 작은 방법 2로 기후변화에 대비한 확률강우량 산정 방법을 채택하였다. 대구와 목포는 방법 1과 3의 24시간 연 최대 강우량 평균 증가율과 방법별로 산정한 확률강우량 증감율의 차이가 나지 않아, A1B 시나리오에 대한 미래 강우량 변화 전망자료와 2100년까지 강우량 변화의 포함 유·무를 종합적으로 고려하여 방법 3으로 기후변화에 대비한 확률강우량 산정 방법을 채택하였다.

향후 관측소 지점을 추가하여 우리나라의 지형특성을 반영할 수 있는 권역도를 작성하면, 기후변화 영향을 고려한 확률강우량을 산정하는데 가이드라인이 제공되어 수공구조물이나 기타 수자원 설계분야에 효과적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

- 건설교통부 (2000) 1999년도 수자원관리기법개발 연구조사 보고서 -한국확률강우량도 작성.
- 권영문 (2009) 강우량 자료의 증가 경향성을 고려한 강우빈도해석, 석사학위논문, 한양대학교.
- 권진욱 (2008) 한반도 기후변화 추세분석 및 Random Cascade 모형을 이용한 GCM 기후변화 모의 스케일 상세화, 석사학위논문, 단국대학교.
- 기상청 (2010) Climate change Handbook.
- 김경욱 (2010) 기후변화에 따른 우이천 유역의 유출량 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 서울시립대학교.
- 김종태, 이동률, 유철상 (2004) 기후변화에 따른 대청댐 유역의 유출 영향 분석, 한국수자원학회논문집, 제37권, 제4호, pp. 305-314.
- 나양선 (2009) 기후변화에 따른 설계 강우 및 홍수변화에 관한 연구, 석사학위논문, 세종대학교.
- 배덕호, 정일원, 권원태 (2007) 수자원에 대한 기후변화 영향평가를 위한 고해상도 시나리오 생산(I): 유역별 기후시나리오 구축, 한국수자원학회논문집, 제40권, 제3호, pp.191-204.
- 송재우 (2003) 기상이변과 설계기준, 기상소식, 기상청
- 안재현 (2000) 지구온난화에 따른 한반도 수문환경의 변화 분석, 박사학위논문, 고려대학교.
- 윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999) 지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여:1.연/월강수량의 변화에 따른 일강수량 분포의 변화분석, 한국수자원학회논문집, 제32권, 제6호, pp.617-625.
- Bella, V.A., Kaya, A.L., Jones, R.G., Moore, R.J. and Reynard, N.S. (2009), Use of soil data in a grid-based hydrological model to estimate spatial variation in changing flood risk across the UK, *Journal of Hydrology*, Vol.377, No.3, pp. 335-350.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- QuintanaSegui, P., Ribes, A., Martin, E., Habet, E., Habets, F. and Boe, J. (2010) Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins, *Journal of Hydrology*, Vol. 383, pp 111-124.
- www.climate.go.kr(기상청-기후변화정보센터)

◎ 논문접수일 : 11년 04월 26일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 04월 27일
 ◎ 심사완료일 : 11년 04월 29일