

# RCP 기후변화시나리오를 이용한 기후변화가 미호천 유역의 설계홍수량에 미치는 영향평가

김병식 · 하성룡<sup>+</sup>

국립강원대학교 소방방재학부 / 방재전문대학원 도시환경방재공학과

국립충북대학교 도시공학과

## The Impact Assessment of Climate Change on Design Flood in Mihochen basin based on the Representative Concentration Pathway Climate Change Scenario

Byung Sik, Kim · Sung Ryong, Ha<sup>+</sup>

*Department of Urban&Environmental Disaster Prevention Engineering,*

*Kangwon National University*

*Department of UrbanEngineering, Chungbuk National University,*

---

### 요 약

최근 기후변화로 인해 이상호우가 발생하고 있으며 많은 선행연구들에서는 극한수문사상의 변화로 인해 배수관련 기반시설물의 침투홍수 규모와 빈도가 변화 할 것으로 예상하고 있다. 그러나 현재 배수시설물의 설계에 쓰이는 확률강우량은 기후변화나 장기적 변동에 영향을 받지 않는 정상성(stationary)을 가정하고 있어 앞으로 다가올 미래에 지금까지의 치수 안전도 기준이 유효한가에 대한 재고가 필요한 시점이다.

본 연구에서는 기후변화가 배수체계에 미치는 영향을 평가하기 위해 최근 IPCC AR5에 대비하여 개발된 RCP 8.5 기후변화시나리오로부터 미래 기후변화정보를 추출하였으며 기후변화를 고려할 수 있는 비정상성 빈도해석기법을 개발하여 지속시간별 빈도별 설계강우량을 산정하였다. 또한, 설계홍수량을 산정하기 위해 실무에서 널리 이용되고 있는 홍수유출모형인 HEC-HMS 모형을 통해 기후변화가 미호천 유역의 설계홍수량에 미치는 영향을 평가하였다. 그 결과 기후변화로 인해 대상유역의 설계홍수량이 증가됨을 확인 할 수 있었으며 이로 인해 미호천유역의 홍수위험성이 현재에 비해 증가함을 확인 할 수 있었다.

---

**핵심용어** : RCP기후변화시나리오, 비정상성 빈도해석, 설계홍수량

---

### Abstract

Recently, Due to Climate change, extreme rainfall occurs frequently. In many preceding studies, Because of extreme hydrological events changes, it is expected that peak flood Magnitude and frequency of drainage infrastructures changes. However, at present, probability rainfall in the drainage facilities design is assumed to Stationary which are not effected from climate change and long-term fluctuation . In the future, flood control safety standard should be reconsidered about the valid viewpoint.

In this paper, in order to assess impact of climate change on drainage system, Future climate change information has been extracted from RCP 8.5 Climate Change Scenario for IPCC AR5, then estimated the design rainfall for various durations at return periods. Finally, the design flood estimated through the HEC-HMS Model which is being widely used in the practices, estimated the effect of climate change on the Design Flood of Mihochen basin. The results suggested that the Design Flood increase by climate change. Due to this, the Flood risk of Mihochen basin can be identified to increase comparing the present status.

---

**Keywords** : RCP climate change scenario, Non-stationary frequency analysis, Design flood

---

---

<sup>+</sup> To whom correspondence should be addressed  
simplet@chungbuk.ac.kr

## 1. 서론

산업혁명 이후 인간사회의 산업화와 도시화의 가속으로 인한 지구온난화는 기후변화를 야기해 왔으며 이로 인한 각종 부정적인 영향의 심각성은 날로 커져가고 있는 것이 현실이다. 기후변화는 수자원의 양과 질, 하천 생태계, 산림, 농업, 해양, 건강과 위생, 산업 등 광범위한 부문에 영향을 미칠 뿐 아니라, 인류의 생존 자체에 위협이 될 수 있을 것으로 보고 있다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC) 4차 보고서에 의하면 2080년대에는 해수면 상승(약 24cm)으로 해안지역의 30% 이상이 유실되고 전 세계 인구의 20% 이상이 홍수로 인한 위험에 노출될 것으로 예상하고 있다. 특히, 호우빈도의 증가, 홍수규모 및 빈도의 증가, 태풍강도의 증가 등으로 인해 심각한 물 관련 자연재해를 유발하게 될 것으로 예상하고 있다. 기상청 발표에 의하면 우리나라의 경우 기온은 20세기 동안 1.5°C 상승하였으며, 최근 20년간 강수량은 7% 증가한 반면 강수일수는 14% 감소하고 80mm 이상의 호우 발생빈도는 증가하는 추세이다. 특히, 2010년 9월 21일에는 수도권과 강원지역을 중심으로 시간당 100 mm 가 넘는 집중호우가 발생하여 서울 광화문 일대에 침수 피해를 유발하였으며, 2011년 7월 27일 서울지역에 지속 시간 2시간 100년 빈도 강수량을 초과하는 집중호우가 발생하여 강남일대와 우면산 산사태 피해를 입혔다. 또한 지난 8월 15일에는 서울에 148.5mm 집중호우가 쏟아지면서 강남 일대 주요 도로에서 빗물에 잠기는 등 시내 곳곳에 침수 피해가 잇따랐다. 이와 같이 설계규모를 넘어서는 극한강수사상 발생은 다양한 규모의 도시지역 배수시설물들과 제방 등과 같은 물 관련 방재체계를 파괴하는 원인이 되고 있기 때문에 극한강수사상에 대한 현재의 시공간적 특성을 파악하는 것과 미래의 기후변화 하에서 극한사상이 어떻게 변화하고 도시배수시설물의 수명기간 동안 극한강수의 확률분포형이 어떻게 변화할지를 분석하는 것이 매우 중요하다.

그러나 현재 배수시설물의 설계에 쓰이는 확률강우량은 기후변화나 장기적 변동에 영향을 받지 않는 정상성(stationary)을 가정하고 있어 앞으로 다가올 미래에 지금까지의 치수안전도 기준이 유효한가에 대한 재고가 필요한 시점이다. 국내외적으로도 기후변화가 수문학적 극한사상에 미치는 영향에 대한 주제는 지난 수십 년간 수자원 관련 분야에 많은 관심을 이끌어 왔으며 많은 선행 연구들에서는 극한수문사상의 규모 및 빈도가 증가한다는 결과와 배수관련 기반시설물의 침투홍수량과 빈도를 변화시킬 것으로 예상하고 있다. 그러므로 수공 기술자들에게 있어서 기후변화를 고려한 설계강우량과 설계홍수량 산정은 더 이상 불확실성을 이유로 해서 간

과되어서는 안 될 매우 중요한 일이다.

이에 본 연구에서는 기후변화가 배수체계에 미치는 영향을 평가하기 위해 최근 AR5에 대비하여 개발된 RCP 기후변화시나리오로부터 미래 기후변화정보를 추출하였으며 기후변화를 고려할 수 있는 비정상성 빈도해석기법을 이용하여 지속시간별 빈도별 설계강우량을 산정하였다. 또한, 산정된 기후변화가 반영된 설계강우량을 현재 실무에서 설계홍수량을 산정하기 위해 널리 이용되고 있는 홍수유출모형인 HEC-HMS 모형을 통해 설계홍수량에 미치는 영향을 평가하였다.

본 논문은 1장 서론, 2장 국내외의 선행연구사례, 3장 모형 및 방법론 4장 적용 및 분석, 5장 결론 순으로 구성되었다.

## 2. 국내외 선행연구

홍수와 관련된 기후변화 연구는 이수관련 연구보다 늦게 시작되었으며 이는 대부분의 기후변화 관련 연구에서 사용하는 GCM 자료의 시공간적 해상도 한계로 인하여 단기사상 중심으로 평가가 이루어져야 하는 홍수에 대한 평가 자체가 어려웠기 때문이다. 그러나 기후변화 관련 기술이 발전함에 따라 시공간적으로 큰 해상도를 가지는 RCM 등과 같은 기후변화모형이 개발되고 있으며 이를 통하여 세계적으로는 2003년 이후부터 기후변화가 홍수에 미치는 영향 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 반면 국내의 경우, 현재까지 홍수관련 연구는 미흡한 실정이다. 그러나 최근 들어 GCM으로부터 유도된 RCM 자료를 이용한 연구가 증가하고 있다. 극한사상을 재현하는데 있어서 가장 큰 문제점은 ‘미래 기후 예측에 대한 불확실성을 어떻게 고려할 것인가?’에 대한 것이다. 이러한 불확실성 분석에 대한 내용을 포함하여 기후변화가 극한사상에 미치는 문제점을 해결하기 위하여 전 세계적으로 다양한 연구가 진행 중이다. 국내 연구로 Kyung(2009) 등은 기후모형으로부터 축소된 월 총 강수량을 일 강수량으로 축소하기 위한 축소기법을 개발하여 기후변화가 확률강우량에 미치는 영향평가기법을 제안하였고, Kwon(2009) 등은 Markov Chain 모형의 매개변수인 천이확률과 확률분포형의 매개변수 등을 연결함수로 사용하여 외부인자와 연동하도록 하였으며, 정준 상관분석을 통해 매개변수를 추정함으로써 기후변화의 영향을 평가할 수 있는 축소기법을 개발하였다. Kim(2008) 등은 STARDEX (2005)에서 제시한 극한지수를 B2 시나리오 기반의 YONU GCM에 적용하여 미래의 극한지수를 산정하고 극한지수의 공간적 변동성을 제시하였다. 또한, Kim(2008) 등은 YONU CGCM을 이용하여 2030s(2031~2050)를 모의하였으며 통계학적 축소기법을 적용하고 Quantile Mapping 방법으로 편이 보정한 후,

BLRPM을 이용하여 시자료로 분해하여 IDF 곡선을 제시하였다. 국외 연구로는 Annette Semadeni-Davies(2008)가 기후모형을 고려하여 DHI MOUSE 모형을 이용하여 도시지역의 합류식 관거 시스템에 미치는 영향을 평가하였다. Alain Mailhot(2007)는 Canadian Regional Climate Model(CRCM)을 이용하여 연 최대 2,6,12,24시간 강우를 추출하여 지역빈도해석을 적용하여 IDF곡선을 작성하였으며 Hans Thodsen(2007)은 HIRHAM RCM 모형을 이용하여 기후변화가 강우나 유출량의 극한값에 미치는 영향을 평가하였다. Robert Leander(2007)는 극한 홍수량을 모의하는데 필요한 연속적인 강우를 RCM으로부터 추출할 수 있는지 여부를 연구하였으며 Alison L. Kay(2006)는 GCM에 대한 RCM이 홍수빈도해석에 유리함을 보이고 RCM을 이용한 기후변화가 영국의 침투 홍수량에 미치는 영향을 평가했다. David Cameron(2006)은 UKCIP 모형을 홍수빈도해석에 이용하는데 따른 적용성을 추계학적 강우모형의 결과와 비교함으로써 평가하였다. H. J. Fowler와 M.Ekstrom(2005)는 HadRM3H 모형의 극한강우 재현에 대한 적용성을 평가한 결과를 제시하고, 재현기간별 강우의 지속기간의 변화를 평가하였다.

### 3. 이론 및 방법론

#### 3.1 RCP기후변화시나리오 기반의 미래 한반도의 기후전망

기상청은 기후변화 대응을 위한 국가전략 수립 지원을 위하여 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 5차 평가보고서 작성을 위하여 새롭게 권장하는 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)(Moss et al., 2008)의 온실기체 배출시나리오에 따른 전지구 및 지역기후변화 시나리오를 산출하였다(국립기상연구소, 2011). 본 논문에서 사용된 기후변화 전망자료는 기상청이 영국기상청의 지역기후모델(HadGEM3-RA)을 도입하여 생산한 한반도 지역기후변화 시나리오 자료이며, 영역은 우리나라를 중심으로 중국 및 일본의 일부 지역을 포함한다(Fig. 1). HadGEM3-RA의 수평 분해능은 격자 거리 12.5 km로 동서 및 남북 방향으로 각각 200×180개의 격자로 구성되었고, 연직 분해능은 지상에서 40 km 고도까지 38개 층으로 구성되었다. HadGEM3-RA는 과거기후모의(1950-2005)와 2종 시나리오(RCP8.5/4.5)에 기초한 미래 기후전망(2006-2099)에 대한 자료로 구성된다. 우리나라가 위치한 동아시아 지역은 지리적 특성이 매우 복잡하고 기후 변동성이 크기 때문에 극한기후 현상을 전망하기 위하여 수평 해상도 수십~수 km이상의 상세한 지역기후변화 시나리오 자료가 요구된다.

본 논문에서는 우리나라의 미래 극한강우 전망을 위하여 12.5 km 분해능 HadGEM3-RA에서 생산한 RCP8.5의 지역기후변화시나리오 자료를 사용하였다. 여기서 8.5는 온실가스 저감정책이 전혀 시행되지 않음을 가정하는 시나리오로서 SRES의 A2~A1F1에 상응하는 배출 시나리오이다.

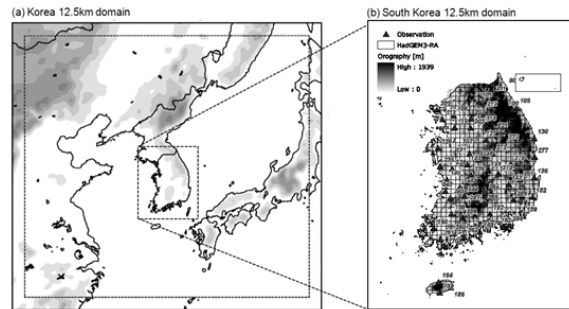


Fig. 1. Resolution & Boundary of Regional Climate change Scenario used in this study

#### 3.2 기후변화를 고려한 비정상성 빈도해석 기법

연최고치 계열을 이용하는 정상성 빈도분석 기법은 현재까지 가장 보편적으로 이용되는 기법으로 일반적으로 GEV 확률분포를 통해 극한강우를 통계적으로 표현한다. GEV 확률분포의 누가밀도함수는 식 (1)과 같다.

$$F(z) = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\} \quad (1)$$

여기서,  $\mu$ ,  $\sigma$  그리고  $\xi$ 는 위치매개변수(location parameter), 규모매개변수(scale parameter), 형상매개변수(shape parameter)를 의미한다.

비정상성은 확률분포의 1차 모멘트, 2차 모멘트 등이 모두 시간에 따라 변하는 경우로 단순화하여 표현할 수 있다. 본 논문에서는 조건부 GEV 확률분포를 이용하여 비정상성 빈도분석을 실시하였으며 식 (2)와 같은 형태로 표현된다.

$$F(z,t) = \exp\left\{-\left[1 + \xi(t)\left(\frac{z - \mu(t)}{\sigma(t)}\right)\right]^{-1/\xi(t)}\right\} \quad (2)$$

여기서,  $z$ 는 독립변수(자료),  $\mu(t)$ 는 시간에 종속된 위치매개변수,  $\sigma(t)$ 는 시간에 종속된 규모변수,  $\xi(t)$ 는 시간에 종속된 형상매개변수

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 x(t) \quad (3)$$

$$\log \sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 x(t) \quad (4)$$

$$\xi(t) = \xi \quad (5)$$

여기서,  $x(t)$ 는 기후변화시나리오로부터 추출한 미래 계절강수량

#### 4. 적용 및 결과

본 논문에서는 미호천 유역을 대상으로 기후변화가 설계홍수량에 미치는 영향을 평가하였다. 미호천은 금강

유역의수계로 한반도 중서부에 위치하고 있으며 유역면적은 1,855.35km<sup>2</sup>, 유로연장은 89.20km이며 유역 내에 가덕, 병천, 청주, 진천, 증평 관측소가 위치하고 있다. 또한, 청주를 중심으로 도시화가 된 유역이라고 할 수 있다. Fig. 2는 미호천 유역도를 나타낸 것이며 Fig. 3은 기후변화를 고려한 설계홍수량 산정 흐름도를 나타낸 것이다. Table 1은 본 논문에서 이용한 미호천 유역의 강우관측소 현황을 수록한 것이다.

Table 1. Information of observation station used in this study

Station	Lat/Lon	Elevation (EL.m)	data period
Gaduk	36-34-34	130	22년
	127-34-50		
Byungchun	36-45-45	75.4	22년
	127-18-10		
Chungju	36-38	56.4	44년
	127-26		
Jincheon	36-51-59	78.5	22년
	127-27-30		

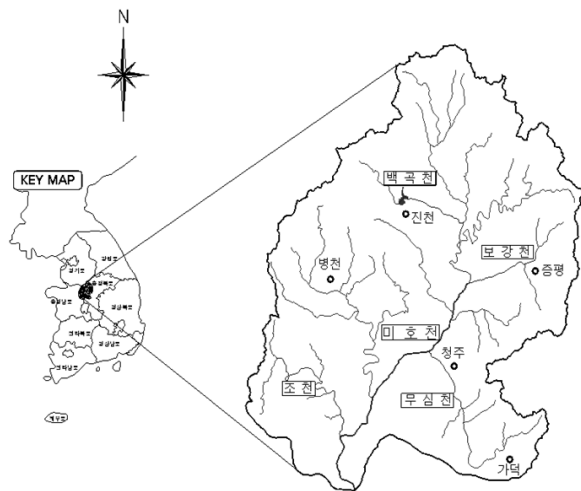


Fig. 2. Watershed map for Miho-chen

본 논문에서는 먼저 기후변화가 한반도 중부지방의 강우특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 비교적 관측 연도가 긴 지점의 일 강수량 자료를 대상으로 확률밀도함수의 변화를 분석하였다. Fig. 4는 IPCC 5차보고서에 기여할 RCP8.5 기후변화 시나리오를 통해 전망된 미래 서울, 원주, 양평, 충주 등 수도권 지역의 GEV(Generalized Extreme Value) 분포의 확률밀도함수(probability density function)를 나타낸 것이며 Fig. 5는 현재기후와 21세기

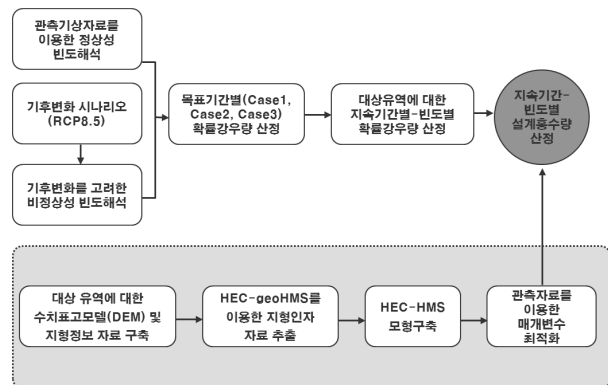


Fig. 3. Flowchart of Design flood estimation under Climate change

초반, 중반과 말의 GEV 분포의 매개변수를 보여주고 있다. Fig. 4와 5를 통해 볼 수 있듯이 먼 미래로 갈수록 위치(loction), 규모(scale) 매개변수는 증가하고 있고, 형상(shape) 매개변수는 감소하고 있음을 확인하였는데 이는 미래로 갈수록 극한강수의 평균, 변동성 증가와 함께, 큰 극한강수의 발생 빈도도 잦아질 수 있음을 의미하는 것이다.

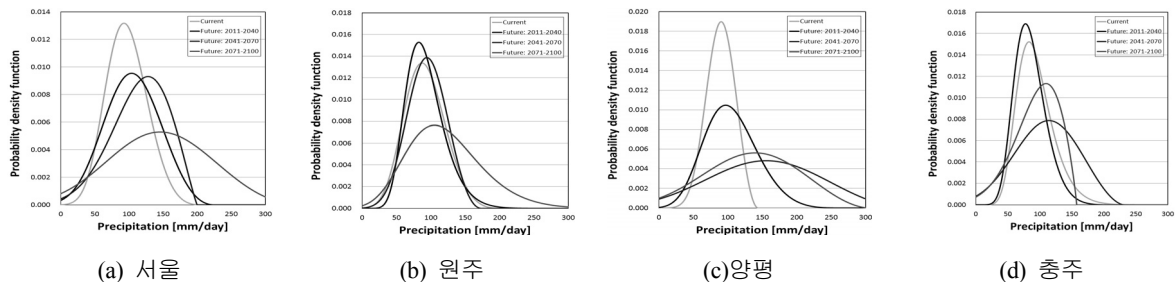


Fig. 4. Change of GEV PDF for Extreme Rainfall under Climate change

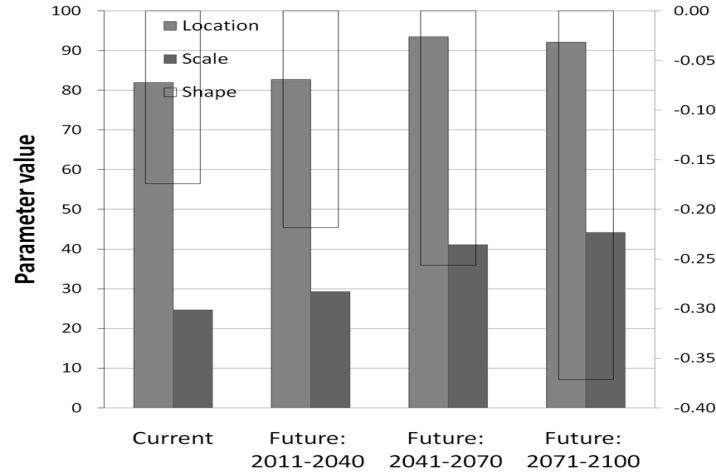


Fig. 5. Change of GEV Parameters for Extreme Rainfall based on the RCP 8.5 Scenario

Fig. 4와 5를 통해 알 수 있듯 이는 극한강우의 시계열자료가 정상성을 잃어가고 있다는 것을 의미하며 비정상성은 위 Fig.들을 통해 확률밀도함수에 다음과 같은 형태로 요약할 수 있다. ‘① 전체적 확률분포형의 변화’, ‘② 평균값의 변화’, ‘③ 분산의 변화’ 즉, 비정상성은 빈도해석에 이용되는 연최대치 자료의 확률분포형을 지배하는 매개변수들이 시간에 따른 변수의 가변성이라는 것이다.

또한, 기상청 관측지점 자료에서도 강수의 빈도와 규모의 증가를 확인할 수 있다. Fig. 6은 일강수 80 mm와 100mm 이상 발생일수(days)를 나타낸 것으로 Fig. 6을 통해 알 수 있듯이 과거에 비하여 발생이 잦아지고 있다. Fig. 7은 80 및 90 백분위수(percentile)에 해당되는 강수량의 시계열도를 나타낸 것으로 과거에 비하여 동일 분위수에 해당되는 강수량의 규모가 커지고 있음을 알 수 있었다.

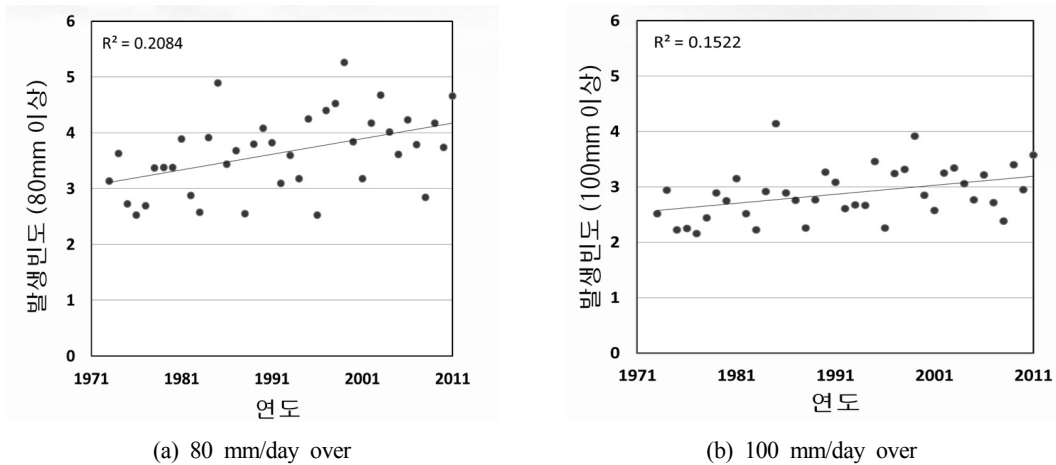


Fig. 6. The number of heavy rainfall days

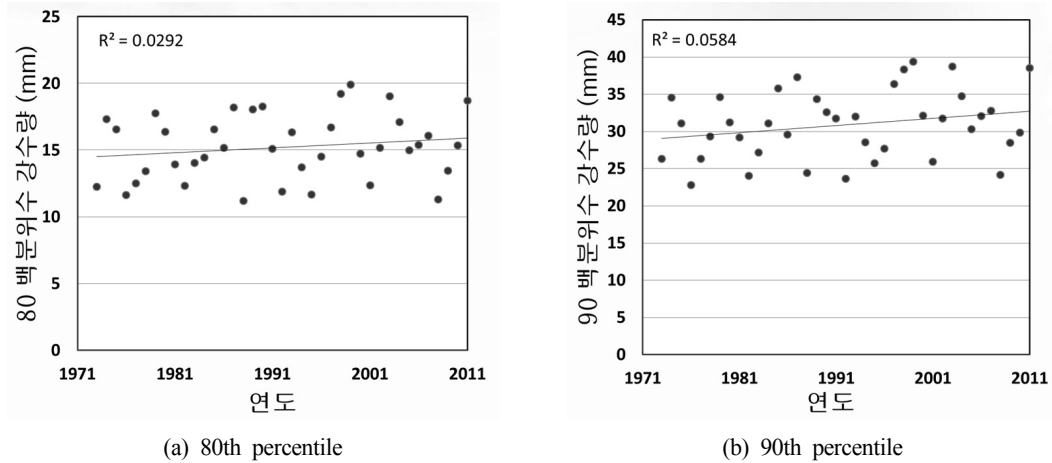


Fig. 7. 80th & 90th percentile of rainfall amounts

이에 본 연구에서는 앞 선 분석결과를 근거로 비정상성빈도해석 기법을 이용하여 미호천유역의 도달시간을 고려하여 지속시간 3시간에 대하여 50년, 100년, 200년 빈도 설계강우량을 산정하였다. 또한, RCP 기후변화시나리오의 미래기간을 Case 1(2011-2040), Case 2(2041-2070),

Case 3(2071-2099)로 구분하여 결과를 산정하였다. Fig. 8은 각 관측소별 빈도해석결과(Case 1)를 나타낸 것으로 앞에서 언급한 조건부 GEV를 이용한 비정상성빈도해석 결과가 기존의 빈도해석을 통해 산정된 확률강우량 값보다 크게 산정됨을 확인할 수 있었다.

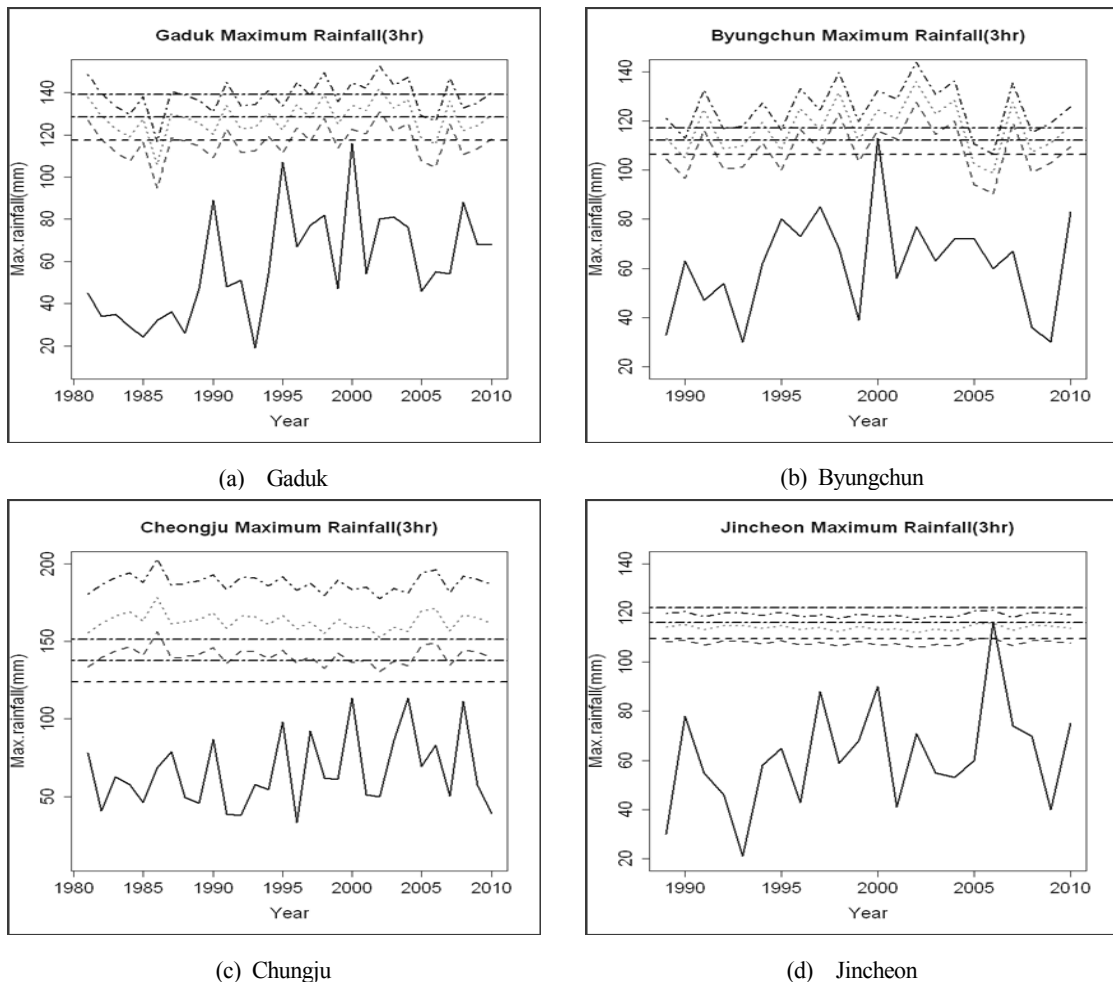


Fig. 8. Probability Rainfall amounts by Non-stationary Frequency Analysis

앞에서 언급했듯이 본 논문에서는 기후변화가 고려된 설계강우량을 홍수량으로 변환하기 위해 실무에서 가장 널리 쓰이고 있는 HEC-HMS를 이용하여 강우-유출 모의를 실시하였다. 본 논문에서는 HEC-HMS의 유역특성인자를 추출하기 위해 WAMIS에서 제공하는 1:25,000 축

척의 30m 수치고도자료(DEM), 토지피복도, 토양도를 이용하였다. Fig. 9는 GIS 입력자료를 나타낸 것이며 Fig. 10은 면적강우산정을 위한 티센망과 HEC-HMS 모형 구축 결과를 나타낸 것이다.

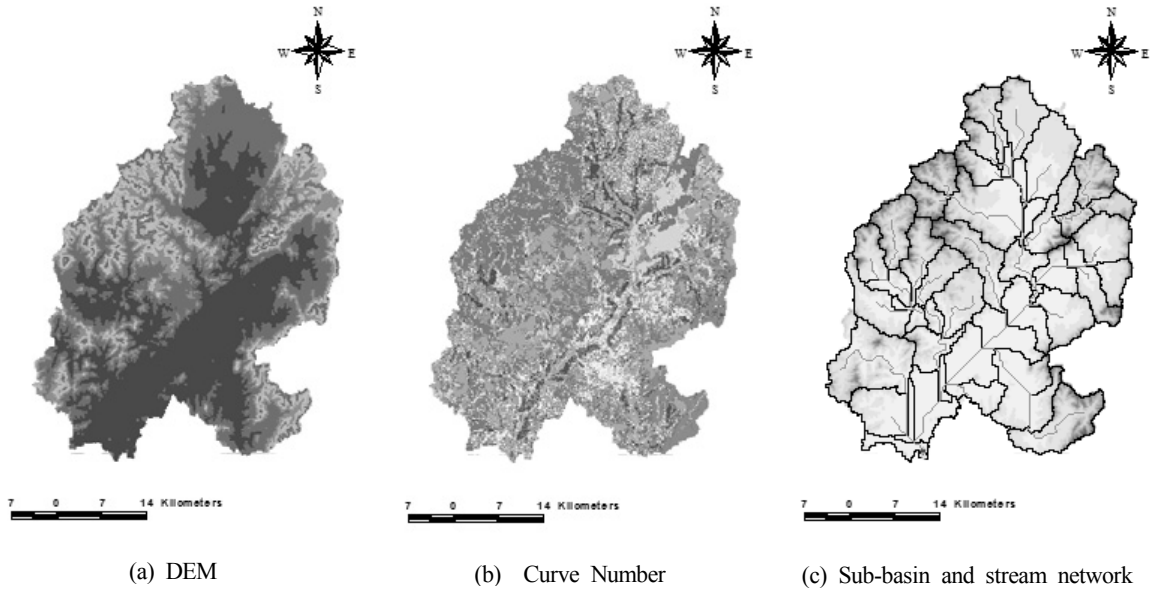


Fig. 9. GIS input data for HEC-HMS modeling

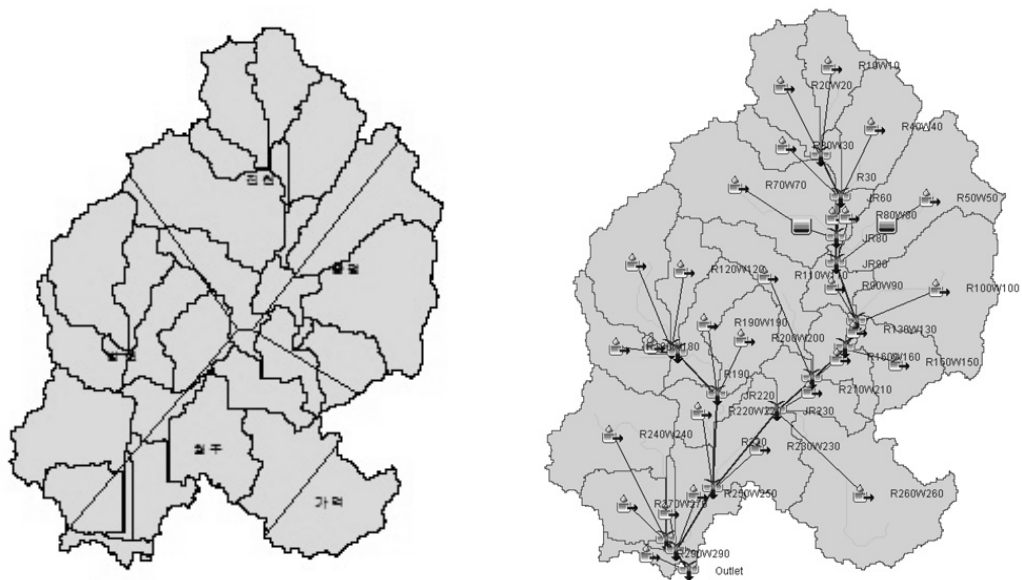


Fig. 10. Thiessen network for Mean Areal Rainfall and Basin model for HEC-HMS

본 논문에서는 미래의 확률강우자료를 이용하여 강우-유출모의를 하기 전에 구축된 HEC-HMS 모형에 대한 매개변수를 최적화하기 위해 합강수위표 지점의 2010년 8월 21일~10월21일 관측된 유출량을 이용하였다. Fig.

11은 관측유출량과 매개변수 최적화 후 모의된 유출량의 수문곡선 비교한 것이다. Fig.을 통해 알 수 있듯이 매개변수 보정 후 모의된 유출량이 첨두발생시간과 경향이 관측 유출량과 거의 일치됨을 확인 할 수 있다.

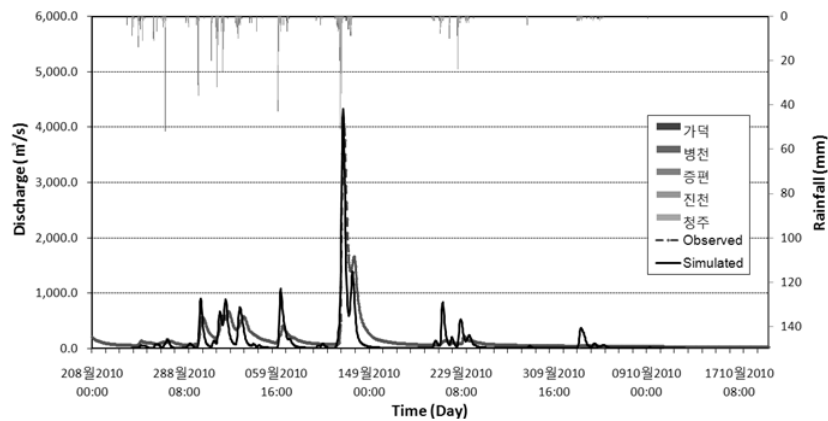
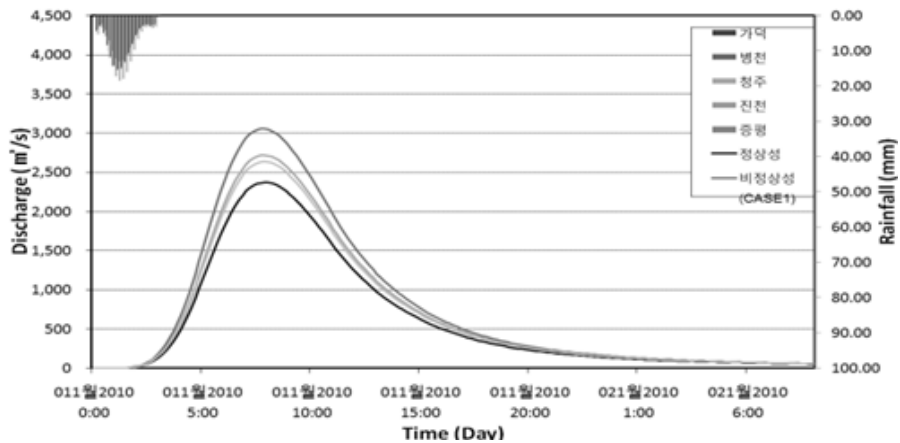


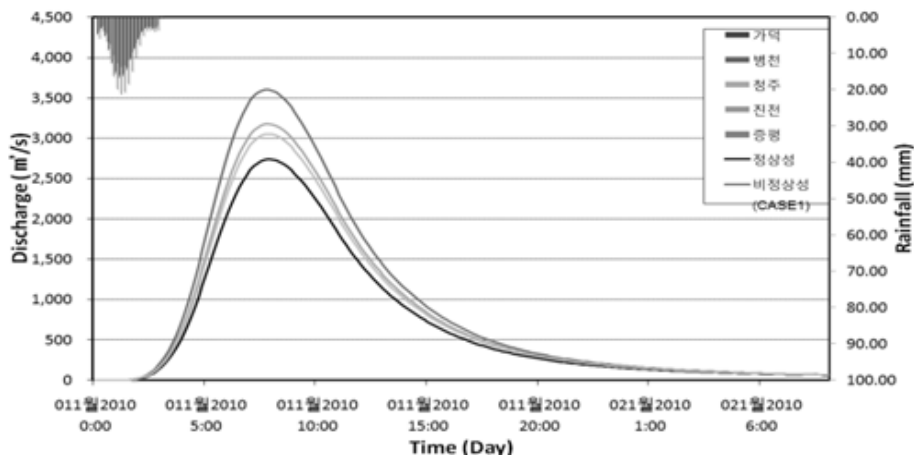
Fig. 11. Calibration results of streamflow

Fig. 12는 빈도별, 기간별 설계홍수량의 변화를 나타낸 것이며 Fig. 13는 첨두홍수량을 비교한 것으로 가까운 미래를 의미하는 Case 1의 경우가 가장 크게 홍수량이 증가하는 것으로 분석되었으며 특히, 저빈도에서 고빈도로 갈수록 설계홍수량이 증가되는 것으로 분석되었

다. Table 2에 수록한 바와 같이 50년 빈도의 경우 약 10%~22% 증가, 100년 빈도의 경우 약 10%~24%, 200년 빈도의 경우 30%~43% 증가하는 것으로 분석되었으며 이는 미래에 미호천 유역이 극한홍수에 대한 위험성이 증가 할 가능성이 높다는 것을 의미하는 것이다.



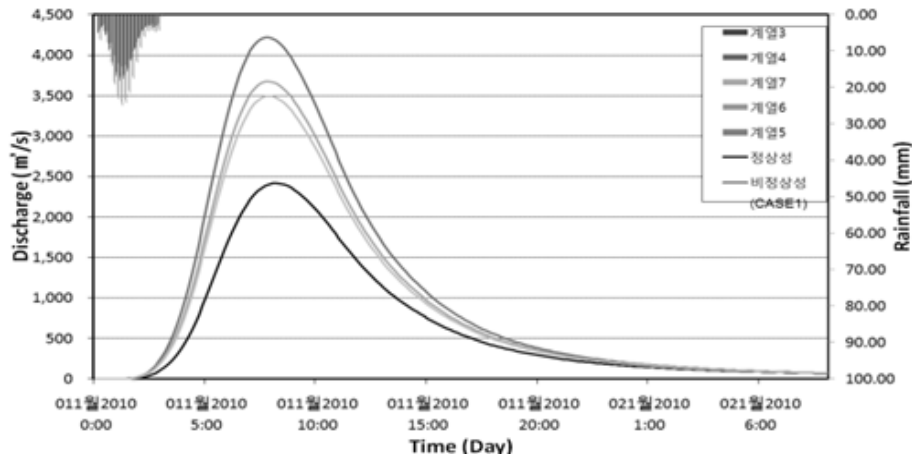
(a) 50yr return period



(b) 100yr return period

Fig. 12. Comparison of design floods at return periods





(c) 200yr return period

Fig. 12. Comparison of design floods at return periods (continued)

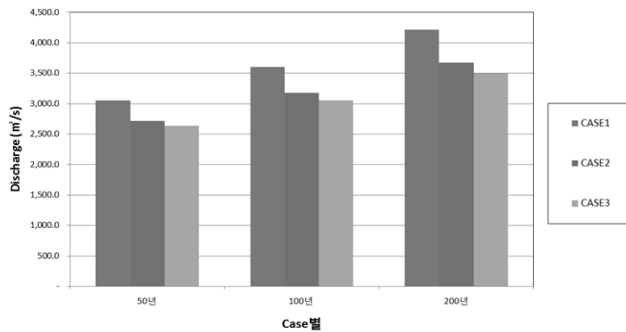


Fig. 13. Comparison of peak discharge at return periods

Table 2. Change of design flood under climate change (%)

CMS(%)	Case1	Case2	Case3
50year	▲ 22.39	▲12.75	▲10.05
100year	▲23.96	▲13.84	▲10.26
200year	▲42.68	▲34.22	▲30.80

### 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 기후변화가 배수체계에 미치는 영향을 평가하기 위해 최근 AR5에 대비하여 개발된 RCP 기후변화시나리오로부터 미래 기후변화정보를 추출하였으며 기후변화를 고려할 수 있는 비정상성 빈도해석기법을 이용하여 지속시간별 빈도별 설계강우량을 산정하였다. 또한, 산정된 기후변화가 반영된 설계강우량을 현재 실무에서 설계홍수량을 산정하기 위해 널리 이용되고 있는 홍수유출모형인 HEC-HMS 모형을 통해 설계홍수량에 미치는 영향을 평가하였다. 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

RCP8.5 기후변화 시나리오를 통해 전망된 미래 GEV(Generalized Extreme Value) 확률밀도함수(probability density function)를 분석 해 본 결과 먼 미래로 갈수록 위치(loction), 규모(scale) 매개변수는 증가하고, 형상(shape) 매개변수는 감소하고 있음을 확인 할 수 있었다. 이 결과는 미래로 갈수록 극한강수의 평균, 변동성 증가와 함께, 큰 극한강수의 발생 빈도도 잦아질 수 있음을

의미하는 것이며 더 이상은 정상성 가정기반의 빈도해석기법이 유효하지 않음을 의미하는 것이다.

또한, 비정상성 빈도해석을 통해 빈도별 확률강수량을 산정한 후 HCE-HMS를 이용하여 설계홍수량을 산정 해 본 결과, 빈도별 설계홍수량이 50년 빈도의 경우 약 7%~10% 증가, 100년 빈도의 경우 약 7%~9%, 200년 빈도의 경우 4%~11% 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 미호천유역이 미래 기후변화로 인해 극한홍수 위험성이 증가할 가능성이 내포 되어 있다는 것을 의미하는 것이다. 물론 본 연구의 결과는 기후변화시나리오 자체의 불확실성과 강우-유출모형의 불확실성이 포함되어 있으나 미래 발생 가능할 홍수위험성에 대비하기 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### Acknowledgement

본 논문은 2011년도 정부[교육과학기술부]의 재원으로 한국연구재단의 지원 (과제번호:20110028914)을 받아 수행되었습니다.

## References

- Alain, M, Ahmadi, K, Guillaume, T, Audrey, P (2010). Future changes in intensity and seasonal pattern of occurrence of daily and multi-day annual maximum precipitation over Canada, *J. of Hydrology*, 388(3-4), pp. 173-185.
- Alison, LK, Nicholas, SR, Richard, GJ (2006). RCM rainfall for UK food frequency estimation. I. Method and validation, *J. of Hydrology*, 318, pp. 151-162.
- David, C (2006). An application of the UKCIP02 climate change scenario to flood estimation by continuous simulation for a gauged catchment in the northeast of Scotland, UK, *J. of hydrology*, 328(1-2), pp. 212-226.
- Fowler, HJ, Ekström, M, Kilsby, CG, Jones, PD (2005). New estimates of future change in extreme rainfall across the UK using regional climate model integration. 1. assessment of control climate, *J. of Hydrology*, 300(1-4), pp. 212-233.
- Hans, T (2007). The influence of climate change on stream flow in danish rivers, *J. of Hydrology*, 333, pp. 226-238.
- Kim, BK, Kim, BS, Kim, HS (2008). On the change of extreme weather event using extreme indices, *J. of Korea Society of Civil Engineers*, 28(1B), pp. 41-53.
- Kim, BS, Kim, BK, Kyung, MS, Kim, HS (2008). Impact assessment of climate change on extreme rainfall and I-D-F analysis. *J. of Korea Water Resources Association*, 41(4), pp. 379- 394.
- Korea Meteorological Administration (2011). *Climate Change Scenario for IPCC 5th*.
- Kwon, HH, Kim, BS (2009). Development of statistical downscaling model using nonstationary markov chain, *J. of Korea Water Resources Association*, 42(3), pp. 213-225.
- Kyung, MS, Lee, JK, Kim, HS (2009). Downscaling technique of monthly GCM using daily precipitation generator, *J. of Korea Society of Civil Engineers*, 29(5B), pp. 441-452.
- Robert, L, T Adri Buishand (2007). Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows, *J. of Hydrology*, 332, pp. 487-496.
- STARDEX (STATistical and Regional Dynamical Downscaling of EXtremes for European Regions) (2005). <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>
- Sung, JH, Kim, BS, Kang, HS, Cho, CH (2012). Non-stationary frequency analysis for extreme precipitation based on representative concentration pathways (RCP) climate change scenarios, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12, pp. 231-244.

- 논문접수일 : 2012년 12월 18일
- 심사의뢰일 : 2012년 12월 20일
- 심사완료일 : 2013년 02월 15일