

기후변화를 고려한 배수시스템 설계를 위한 비정상성 I-D-F 곡선 작성 및 설계홍수량 산정*

Non-stationary Intensity-Duration-Frequency Curves & Design Flood for Drainage System Design
Coping with Climate Change

Se Jin Jeung^{**}, Il Hong^{***}, Byung Sik Kim^{****}

Department of Urban & Environmental Disaster Prevention School of Disaster Prevention,
Kangwon National University, 346 Joogang-ro, Smacheok-si, Gangwon-do, Republic of Korea

Abstract

The design approach of the drainage system has limitation not to consider the extreme rainfall condition of which I-D-F curve is non-stationary by climate change and variability. Therefore, the assumption that the I-D-F curve is stationary to design drainage system maybe not available in the climate change, because climate change has changed the characteristics of extremes rainfall event to be non-stationary. In this paper, design rainfall by rainfall duration and non-stationary I-D-F curve are derived by the conditional GEV distribution. Furthermore, the effect of design flood discharge with increase of rainfall intensity was analyzed by distributed rainfall-runoff model, S-RAT. Although there are some difference by rainfall duration, the traditional I-D-F curves underestimates the extreme rainfall events for high-frequency rainfall condition. As a result, this paper suggests that traditional I-D-F curves could not be suitable for the design of drainage system under climate change condition.

Key words: climate change, non-stationary, I-D-F curves, S-RAT

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

** Fax. +82-33-570-6501. E-mail. climate@kangwon.ac.kr

*** E-mail. Hongil93@kict.re.kr

**** Corresponding author. E-mail. hydrokbs@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Sep. 18, 2015 / Revised: Oct. 1, 2015 / Accepted: Oct. 7, 2015

국문초록

기후변화는 극한기후의 특성을 비정상성(non-stationary)이라 일컫는 개념으로 바꾸고 있기 때문에 배수관련 기반구조 설계의 기본 가정의 하나인 강우 통계 매개변수의 정상성(stationary)은 기후변화의 시대에는 더는 유효하지 않을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 비정상성을 고려하여 조건부 GEV 분포를 이용하여 지속시간별 확률강우량과 비정상성 I-D-F 곡선식을 유도하였으며 분포형 홍수유출모형인 S-RAT 모형을 이용하여 강우강도의 증가가 설계 홍수량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 지속시간별 차이는 있었지만 고빈도로 갈수록 전반적으로 현행 I-D-F 곡선이 기후변화를 고려할 경우 극한강수를 과소평가하고 있음을 확인 할 수 있었으며 이를 통해 정상성 I-D-F 곡선 작성 방법이 더 이상 미래의 기후변화 시 배수관련 기반구조물의 능력설계에 적합하지 않을 수도 있음을 제시하였다.

주제어: 기후변화, 비정상성, I-D-F 곡선, S-RAT

1. 서론

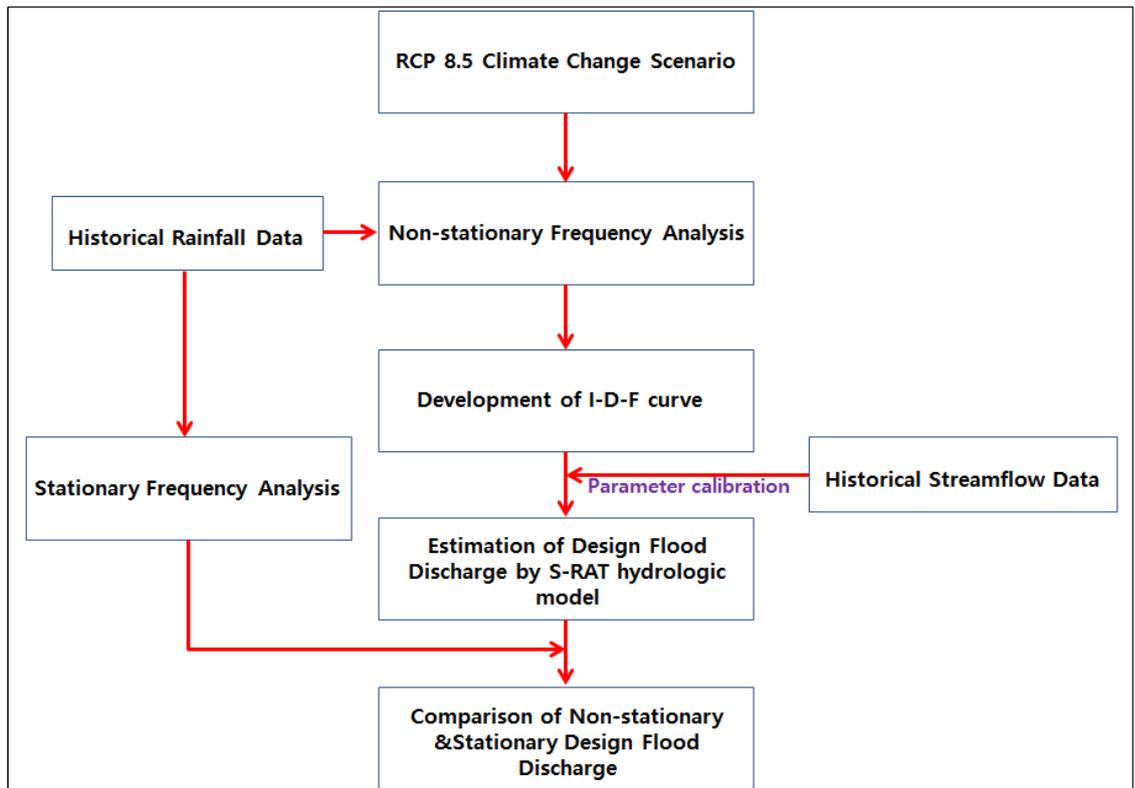
기후변화는 집중호우 가능성을 증가시켜 댐, 도로, 배수 관련 등의 기반구조 피해 위험성을 증가시키고 있으며 우리가 살고 있는 도시의 배수관련 시설물들이 이런 문제에 대처할 준비가 잘되어 있는지에 대해 의문점을 제기되고 있다. 현재의 배수시스템의 설계개념은 지역별 I-D-F 곡선을 바탕으로 전 세계적으로 도시 우수관리 및 기타 공학설계의 용도로 광범위하게 사용되고 있다. I-D-F 곡선은 과거 강우 시계열 자료에 근거하여 지속기간 내 강우강도와 빈도를 분석하기 위해 개발되었으며 이론적 확률분포를 연 극치강우에 적합하도록 맞춤으로써 특정 기간(예, 1시간, 2시간, 6시간, 24시간)에 상응하는 강우강도를 산정한다. 현재의 I-D-F 곡선은 극치강우사상 발생확률은 시간이 흘러도 유의한 변화가 없다고 가정하는 이른바 시간적 정상성(temporal stationarity)의 개념에 기초하고 있지만 기후변화는 시간이 경과함에 따라 강우의 강도, 지속기간 또는 빈도에 변화를 가져올 것으로 보고되고 있다 (IPCC, 2007). 그러므로 현재의 I-D-F 곡선을 이용하여 배수시스템의 설계를 할 경우 기후변화의 영향을 고려할 수 없다는 한계점을 가지고 있다.

최근 수공시설물의 설계규모를 넘어서는 극한 강우사상의 발생은 여러 수공구조물과 홍수방어시스템을 파괴하는 원인이 되고 있기 때문에 극한 강우사상에 대한 현재의 시공간적 특성을 파악하는 것뿐만 아니라(Osborn, 2000; Osborn & Hulme, 2002) 미래의 기후변화 하에서 극한강우사상이 어떻게 변화하고 수공구조물의 설계수명기간(Design period)동안 분포형이 어떻게 변화할지를 이해하는 것이 매우 중요하다(Fowler & Kilsby, 2003a; 2003b).

국내외의 선행연구를 살펴보면 집중호우의 증가가 관측되는 점을 고려한다면 I-D-F 곡선 작성방법이 기후변화를 제대로 설명할 수 있게 특히, 도시에서의 배수체계 설계가 갱신되어야 한다고 주장되고 있다. 지금까지는 주로 강우강도 또는 빈도의 변화 및 다변량 빈도 분석과 관련하여 많은 연구

가 있었다. 하지만 강우강도, 지속기간, 빈도 및 비정상성 기후에서 이들의 불확실성의 변화를 평가하는 방법은 그리 많지 않다.

Kim, *et. al.*(2008)은 기후변화에 따른 극한강우사상의 변화 경향과 분포특성을 살펴보기 위해 SRES B2 시나리오를 이용하여 I-D-F 곡선식을 분석하였다. Kim, *et. al.*(2008)은 기후변화가 수공구조물의 설계기준에 미치는 영향을 분석하기 위해 미래기간 동안의 지역별 확률강우량을 산정한 뒤 이를 기존 관측치의 증감을 경향과 비교하여 지역별로 적합한 확률강우량 산정 방법을 제안하였다. Seo, *et. al.*(2012)은 기후변화를 고려한 설계강우량을 산정하기 위해 GCM의 연강수량 시계열, 관측된 연최대강우 시계열, 확률분포함수 모수와의 관계를 회귀모형으로 연결하여 앙상블 확률강우량을 산정하는 방법을 제안하였다. Kim & Ha(2013)는 기후변화가 배수체계에 미치는 영향을 평가하기 위해 RCP(Representative Concentration Pathways) 8.5 시나리오를 이용하여 비정상성 빈도해석기법을 적용한 지속시간별 빈도별 설계강우량을 산정하였다.



<Figure 1> Flowchart of study

설계강우량 산정방법의 개선에 대한 연구는 주로 영국, 뉴질랜드, 캐나다, 미국 등을 위주로 주로

선행되고 있으며, 이들을 제외한 대부분의 연구들은 과거강수량자료의 비정상성의 유무 및 미래의 발생가능성에 대한 연구가 주가 되고 있는 현실이다.

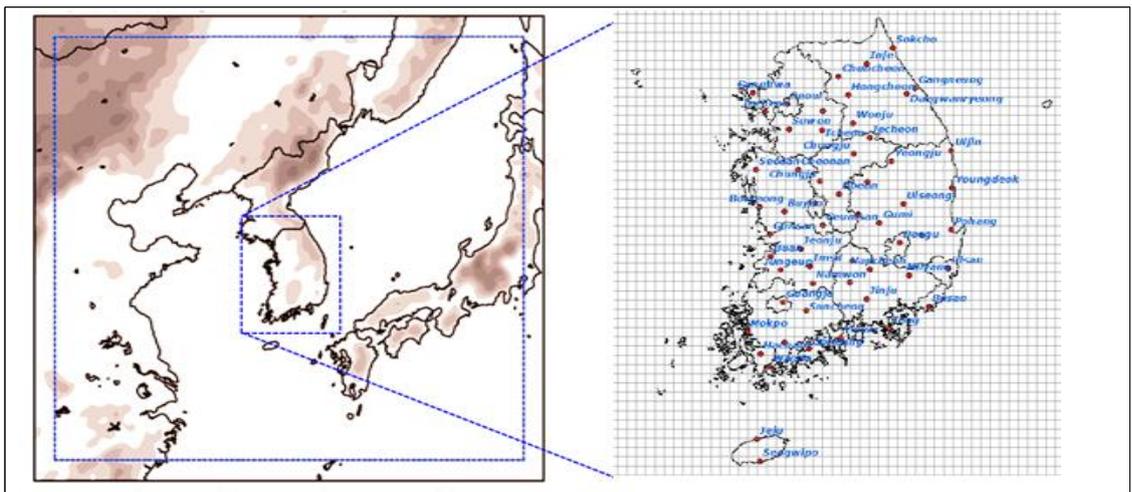
본 논문의 목적은 RCP 8.5 기후변화시나리오를 고려한 조건부 GEV 분포를 이용하여 비정상성 I-D-F 곡선식을 유도하고 기후변화가 설계홍수량에 미치는 영향을 평가하는데 있다. 이를 위해 본 논문은 다음과 같이 1. 서론, 2. 분석자료 및 방법론, 3. 적용 및 결과, 4. 결론 순으로 구성되었다. <Figure 1>은 본 논문의 연구순서를 나타낸 것이다.

II. 분석자료 및 이론

1.기후변화시나리오 자료

본 논문에서는 우리나라의 미래 극한강수 전망을 위하여 12.5 km 분해능 HadGEM3-RA에서 생산한 RCP8.5의 지역기후변화 시나리오 자료를 기상청 지상 관측지점으로 이중선형내삽(bi-linear interpolation)하여 사용하였다(<Figure 2> 참조).

현재 기후(1980~2005년)에 대비한 미래 변화(2011~2040)를 알아보기 위하여 RCP 8.5 전망 자료를 이용하였는데 RCP 8.5는 온실가스 저감정책이 전혀 시행되지 않음을 가정하는 시나리오로서 SRES의 A2~A1FI에 상응하는 배출 시나리오이다.



<Figure 2> Grid of climate change scenario and location of weather station

2. 조건부 GEV 분포와 비정상성 빈도해석

정상성 빈도분석 기법은 현재까지 가장 보편적으로 이용되는 기법으로 일반적으로 GEV 확률분포를 통해 극한강우를 통계적으로 표현한다(Coles, 2001). GEV 확률분포의 누가밀도함수는 식 (1)과 같으며 재현기간(T)에 대한 극한강우는 식 (2)와 같이 추정할 수 있다.

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

$$T = \frac{1}{[1 - F(z)]} \quad (2)$$

여기서, μ , σ 그리고 ξ 는 위치매개변수(location parameter), 규모매개변수(scale parameter), 형상매개변수(shape parameter)를 의미한다.

정상성(stationarity) 기반에서는 재현기간이 시간에 독립적이라는 것을 의미하며 이 개념은 전통적으로 특정 수공시설물의 사용수준(service level)을 평가하기 위해 이용된다. 가령, 100년 빈도 재현기간으로 되어 있다는 것은 평균적으로 100년에 한번 발생할 수 있는 사상에 견딜 수 있도록 구조물이 설계되어 있다는 것을 의미하는 것이다. 그러나 비정상성 기반에서는 극한강우의 발생빈도가 변한다는 뜻으로 더 이상 재현기간이 상수가 아니라 시간에 따라 변한다는 것을 의미한다. 서론에서도 언급한 바와 같이 기후변화는 과거에 발생했던 극한사상의 경향을 현격히 벗어나 연 최고치(Series of Annual Maximum, SAM)가 더 이상 정상성이라는 가정을 만족하지 못하게 할 것이다. 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 (3)과 같은 형태로 표현된다.

$$F(z,t) = \exp\left\{-\left[1 + \xi(t)\left(\frac{z - \mu(t)}{\sigma(t)}\right)\right]^{-1/\xi(t)}\right\} \quad (3)$$

여기서, $\mu(t)$ 는 시간에 종속된 위치매개변수, $\sigma(t)$ 는 시간에 종속된 규모변수, $\xi(t)$ 는 시간에 종속된 형상매개변수를 의미한다.

본 논문에서는 위치매개변수와 규모매개변수 각각에 대하여 선형모형을 이용하여 외부설명 변수를 반영하였다. 시간에 종속된 위치매개변수 $\mu(t)$ 와 시간에 종속된 규모변수 $\sigma(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서, $x(t)$ 는 외부설명 변수를 의미한다.

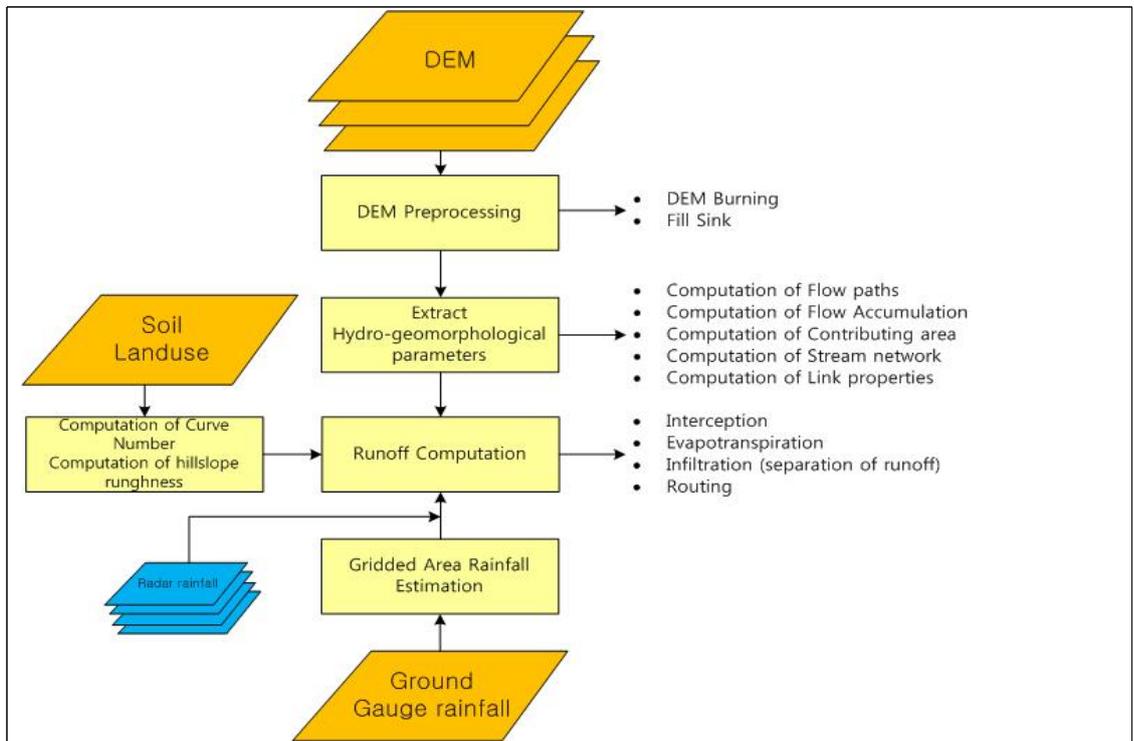
$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 x(t) \quad (4)$$

$$\log\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 x(t) \quad (5)$$

$$\xi(t) = \xi \quad (6)$$

3. S-RAT(Spatial Runoff Assessment Tool) 모형

S-RAT 모형은 GIS자료를 이용하여 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 각각의 격자마다 시간간격별 개념적 물수지를 계산함으로써 유역의 시·공간적 유출량 변화를 모의하도록 설계되었다. 또한 S-RAT모형의 가장 큰 특징은 GIS 모형에 독립적이라는 점과 Grid to Grid 방식을 유출모의를 할 수 있다는 점이다. S-RAT 모형은 수치지형도(DEM), 토지이용도(Land use), 토양도(Soil)는 ESRI-ASCII 형식의 파일로 입력되게 되며 DEM으로부터 지형적 매개변수를 생성한다. 또한 토양도와 토지이용도로부터 각 격자별 CN 값 및 온도자료로부터 유출 및 추적계산을 수행하여 최종적으로 모의지점의 유출모의자료를 생성하게 된다. <Figure 3>은 S-RAT 모형의 분석흐름도를 나타낸 것이다.



<Figure 3> flowchart of S-RAT Model

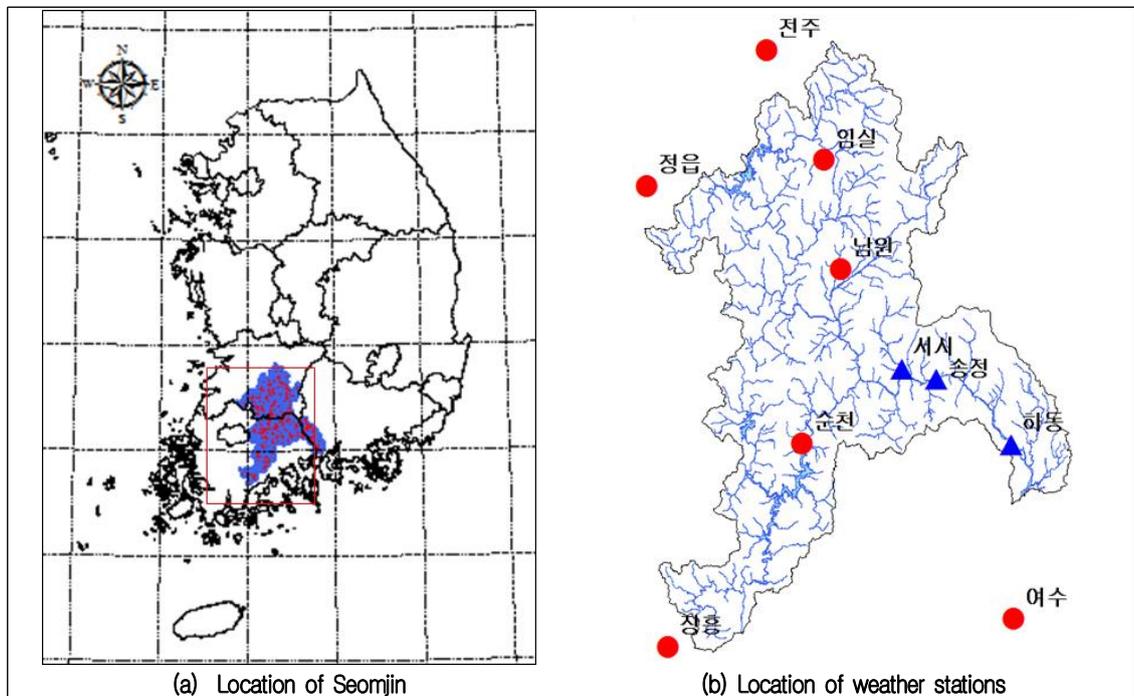
S-RAT 모형의 유출추적은 지표면 유출 및 지표하 유출 모두 유한차분법 기반의 Muskingum-Cunge 방법을 사용하였으며, 이 과정에서 필요한 조도계수의 격자별 값은 입력된 토지이용도로부터 생성하여 반영하게 된다. 각각의 격자별 물수지 추정식은 식 (7)과 같다.

$$\frac{dF(t)}{dt} = -F(t) \left[\frac{1}{H_s} + \frac{P}{H \cdot S} \right] + P - E \quad (7)$$

III. 적용 및 결과

1. 대상유역 및 수문기상자료 현황

본 논문에서는 섬진강유역을 대상으로 기후변화가 미래 설계홍수량에 미치는 영향을 전망하였다. Fig. 4는 섬진강 유역의 유역 위치와 유역 내 위치한 수문관측소의 현황을 나타낸 그림이다. 섬진강 유역은 동경 126°51'41" ~ 127°52'56" 북위 34°40'9" ~ 35°49'60"에 걸쳐 한반도의 남부 중서부에 있고, 유로 연장은 222.05km, 유역 면적은 4,914.32km²로 한국에서 네 번째로 큰 유역이다.



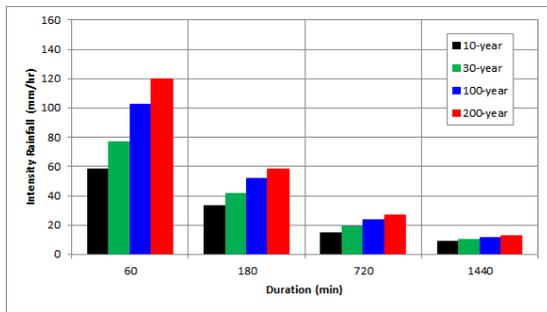
<Figure 4> description of study basin

<Table 1> Information of weather station used in this Study

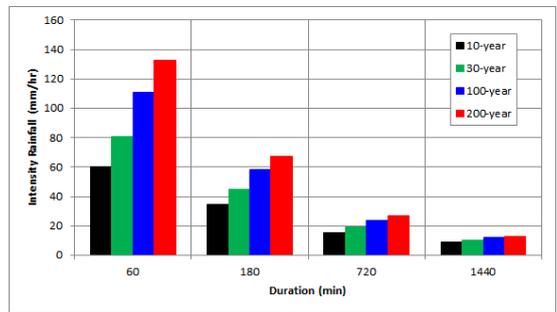
관측소 Code	관측소 명	위도	경도	기간
146	전주	25-24-07	127-23-49	1961~2014
168	여수	34-44-20	127-44-27	1961~2014
244	임실	35-36-43	127-17-09	1973~2014
245	정읍	35-33-46	126-51-57	1973~2014
247	남원	35-24-31	127-23-29	1973~2014
256	순천	35-01-12	127-22-08	1973~2014

2. 정상성 및 비정상성 빈도해석의 비교

<Figure 5>는 십진강우역 내의 강우관측소별 정상성 빈도해석과 비정상성 빈도해석 결과를 비교한 것으로 전반적으로 비정상성 빈도해석 결과가 정상성 빈도해석결과보다 증가됨을 확인 할 수 있었으며 특히, 고빈도로 갈수록 차이가 커짐을 확인 할 수 있었다.

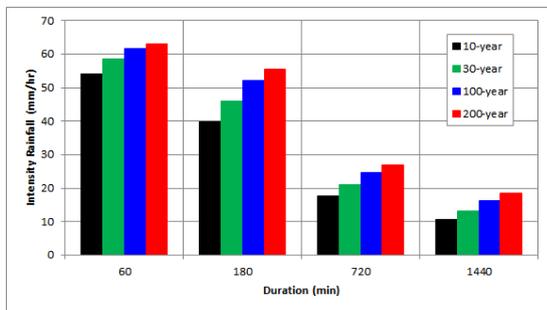


(a) Stationary

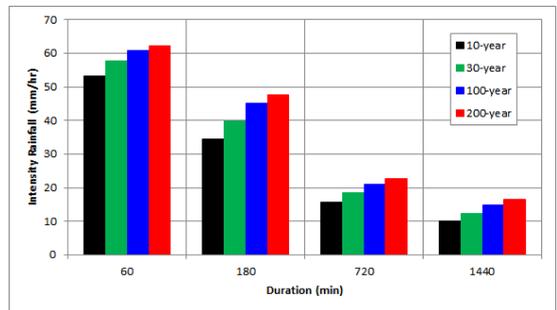


(b) Non-Stationary

<Figure 5(a)> Comparison of Frequency Analysis (Jeonju)

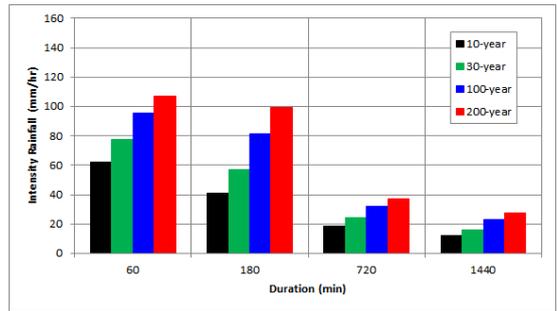
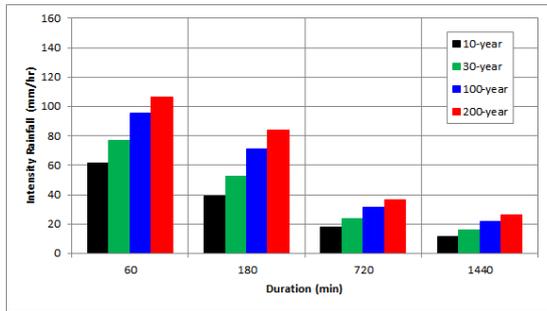


(a) Stationary



(b) Non-Stationary

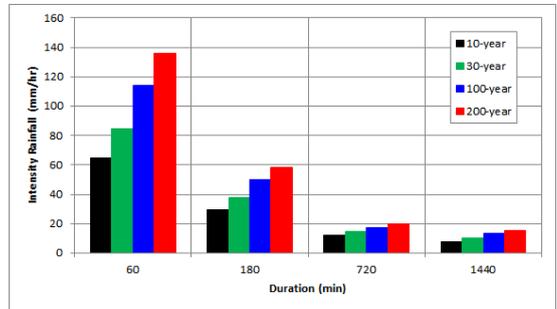
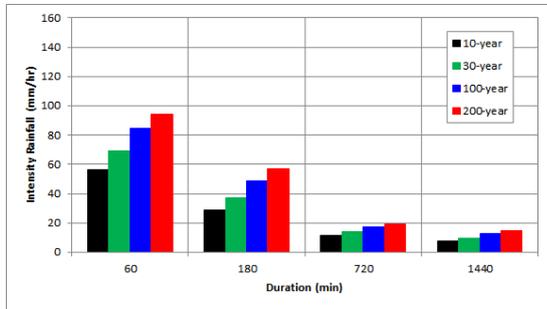
<Figure 5(b)> Comparison of Frequency Analysis (Yeosu)



(a) Stationary

(b) Non-Stationary

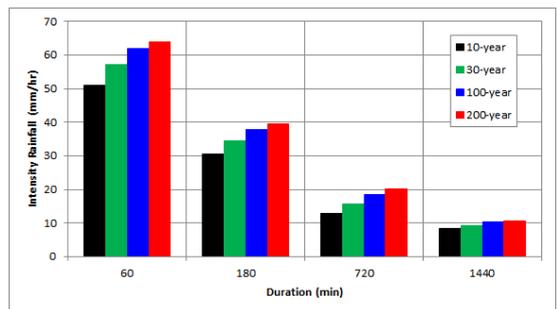
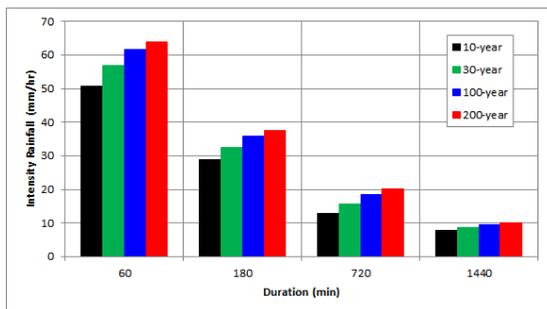
<Figure 5(c)> Comparison of Frequency Analysis (Imsil)



(a) Stationary

(b) Non-Stationary

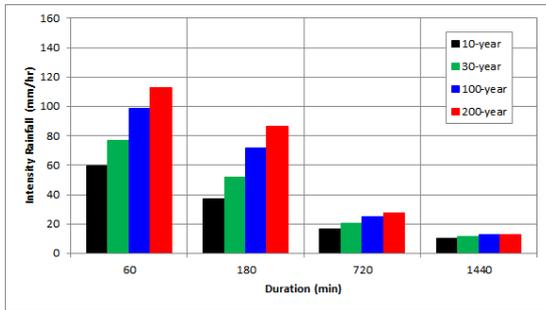
<Figure 5(d)> Comparison of Frequency Analysis (Jeongeup)



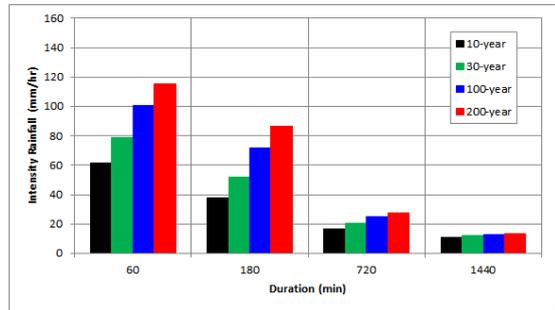
(a) Stationary

(b) Non-Stationary

<Figure 5(e)> Comparison of Frequency Analysis (Nanyuan)



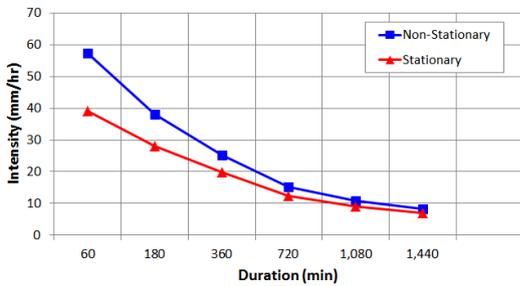
(a) Stationary



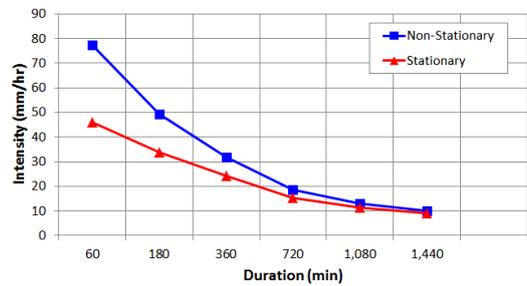
(b) Non-Stationary

<Figure 5(f)> Comparison of Frequency Analysis (Suncheon)

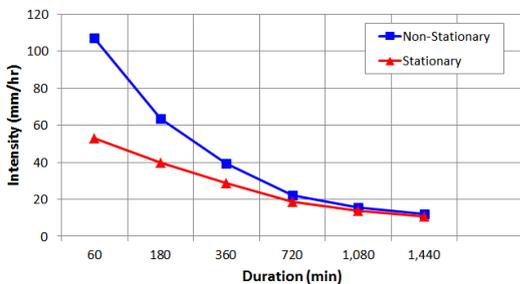
<Figure 6>은 I-D-F 곡선을 나타낸 것으로 전주, 정음지점의 경우 지속시간이 짧을수록 저빈도와 고빈도의 차가 큼을 확인할 수 있었으며 여수지점의 경우 현재에 비해 전반적으로 I-D-F 곡선이 현재에 비해 높게 있음을 확인할 수 있었다. 임실 지점의 경우 저빈도에서는 큰 차이가 없었으나 고빈도로 갈수록 증가하였으며 특히 200년빈도의 경우 지속시간이 짧을수록 I-D-F 곡선이 증가함을 확인하였다.



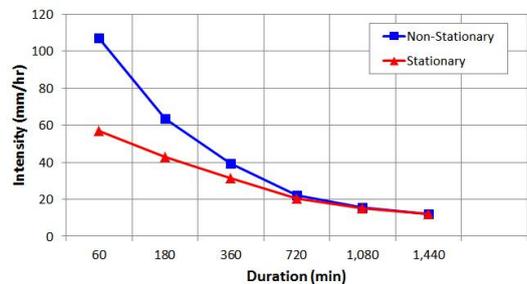
(a) 10 year



(b) 30 year

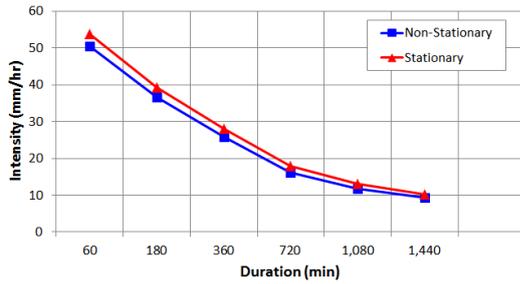


(c) 100 year

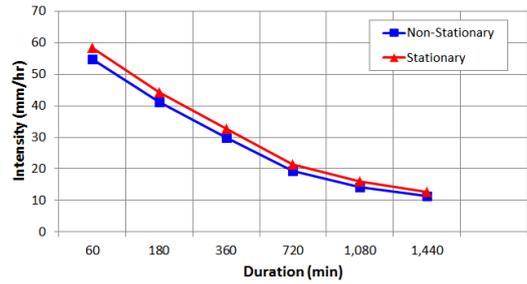


(d) 200 year

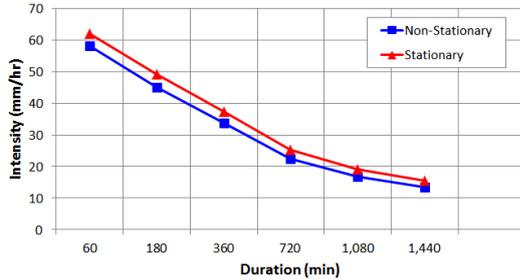
<Figure 6(a)> I-D curve of Stationary and Non-Stationary (Jeonju)



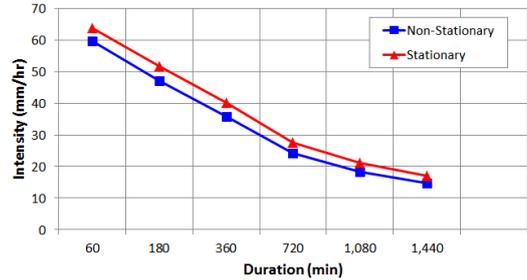
(a) 10 year



(b) 30 year

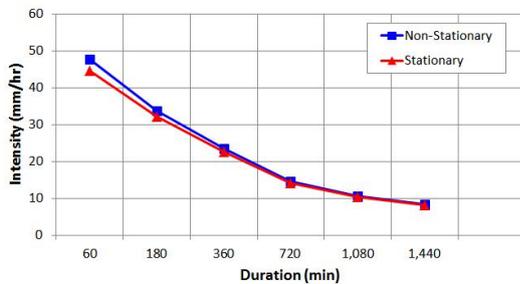


(c) 100 year

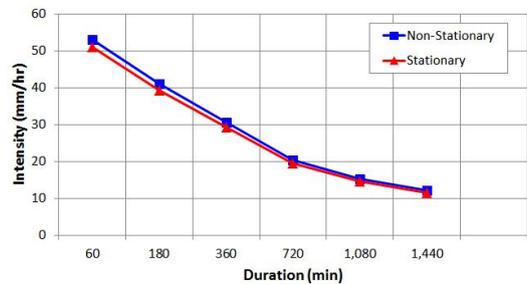


(d) 200 year

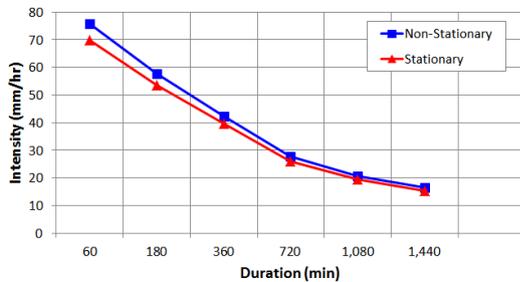
<Figure 6(b)> I-D curve of Stationary and Non-Stationary (Yeosu)



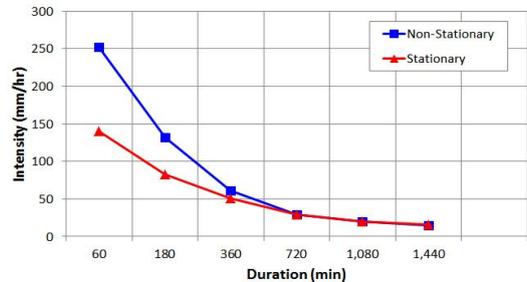
(a) 10 year



(b) 30 year

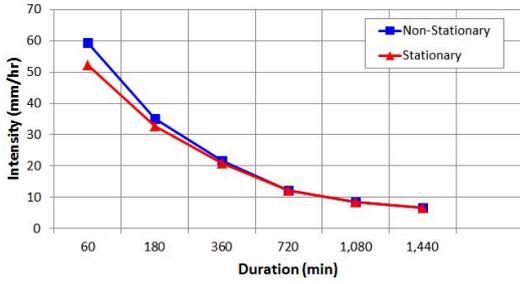


(c) 100 year

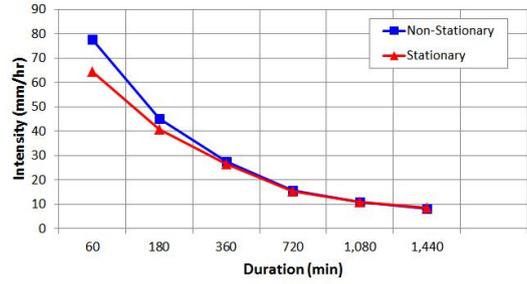


(d) 200 year

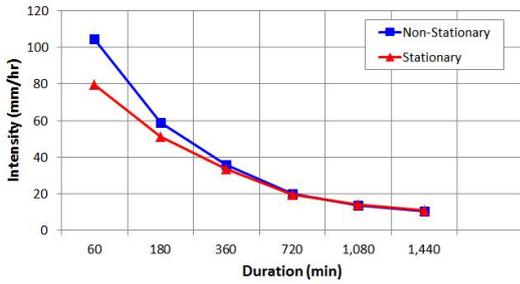
<Figure 6(c)> I-D curve of Stationary and Non-Stationary (Imsil)



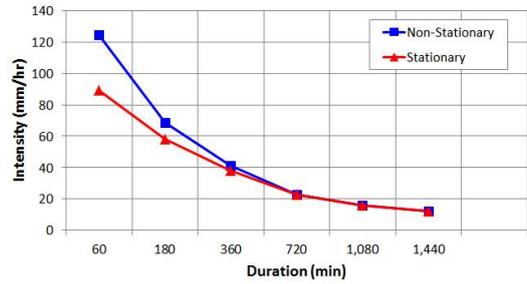
(a) 10 year



(b) 30 year

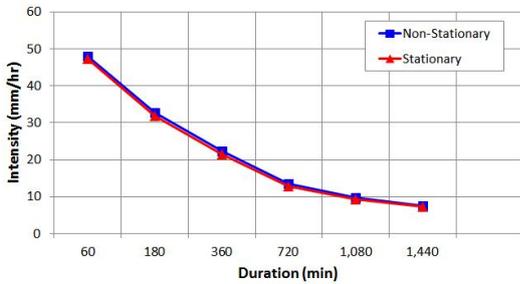


(c) 100 year

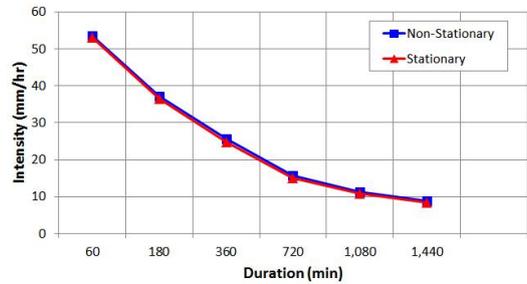


(d) 200 year

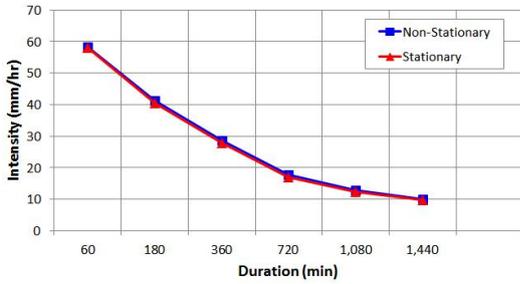
<Figure 6(d)> I-D curve of Stationary and Non-Stationary (Jeongeup)



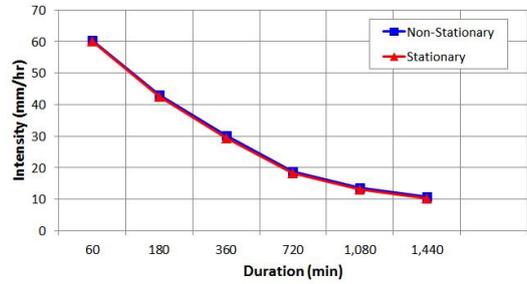
(a) 10 year



(b) 30 year

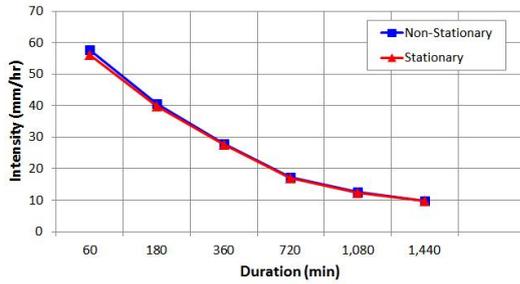


(c) 100 year

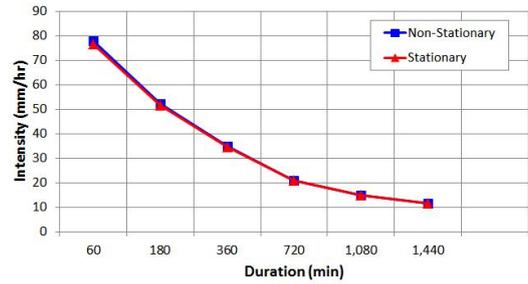


(d) 200 year

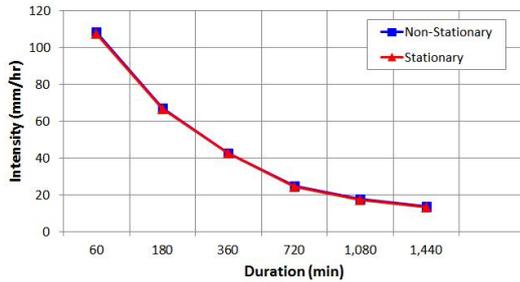
<Figure 6(e)> I-D curve of Stationary and Non-Stationary (Nanyuan)



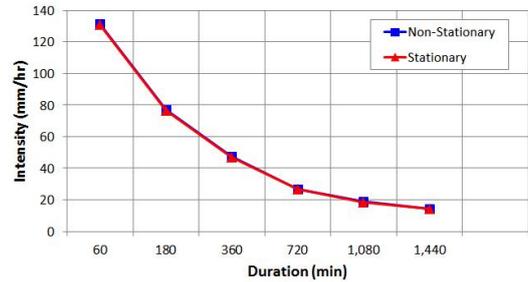
(a) 10 year



(b) 30 year



(c) 100 year



(d) 200 year

<Figure 6(f)> I-D curve of Stationary and Non-Stationary (Suncheon)

3. S-RAT 모형을 이용한 확률홍수량 산정

본 논문에서는 국가수자원관리종합정보(WAMIS)로부터 얻은 GIS 지형자료를 사용하여 분포형 유출모형의 지형입력자료를 구축하였으며 이러한 지형자료를 이용하여 유출해석을 위한 유출흐름도, CN, 조도계수를 격자별로 재산정하여 이용하게 된다. Fig 7(a)~(c)은 수치고도자료, 토지이용도, 토양도 등 입력자료를 나타낸 것이며 Fig 7(d)~(f)은 계산된 분포형 모형의 입력값을 나타낸 것이다.

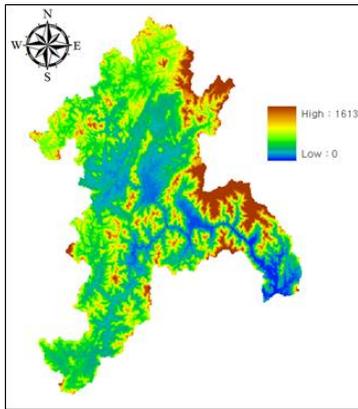


Figure 7 (a) Dem

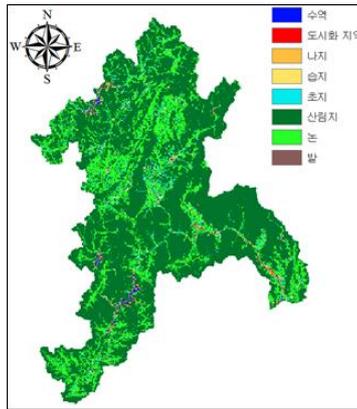


Figure 7 (b) Land Use

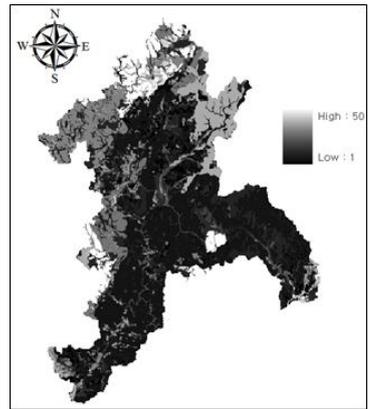


Figure 7 (c) Soil

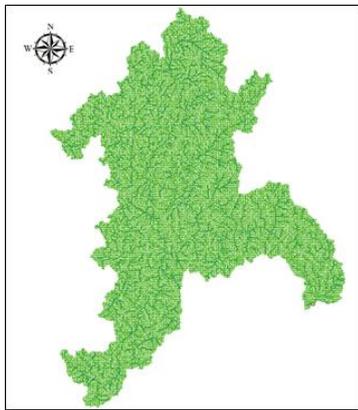


Figure 7 (d) Flow direction

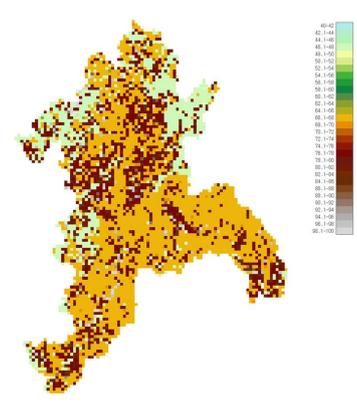


Figure 7 (e) CN

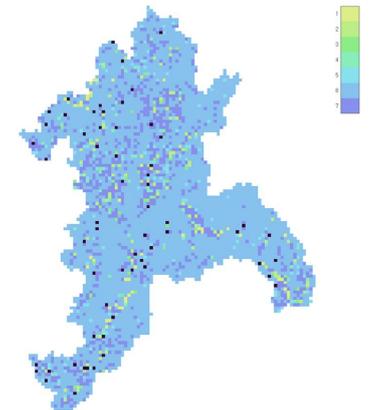


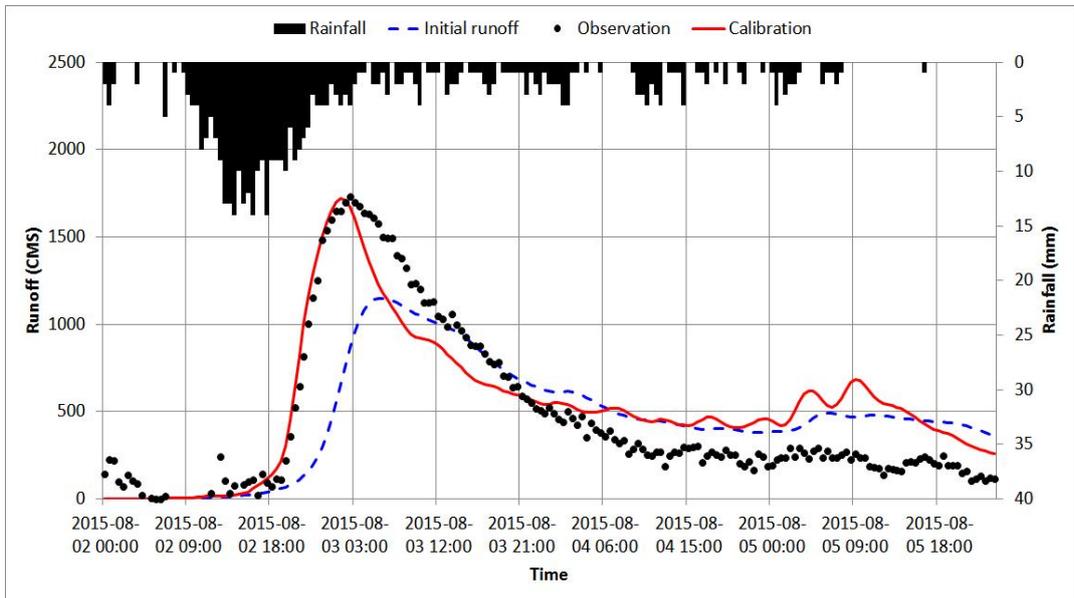
Figure 7 (f) Roughness

<Figure 7> GIS input data for S-RAT Model

본 논문에서는 S-RAT 모형의 매개변수를 추정하기 위해 영산강홍수통제소에서 제공하는 2014년 8월 2일~2014년 8월 10일 의 강우량과 유출량 자료를 사용하였다. <Table 3>은 S-RAT 모형의 매개변수 보정 전과 후를 비교하여 수록한 것이다. S-RAT모형의 매개변수는 포화투수계수(Ksat), 하천 수로하폭(Bp), 하천 수로 최소 조도계수(Ksr1)등이 있고, 이를 조정하여 섬진강유역의 최적 매개변수를 구축하였다(<Figure 8>).

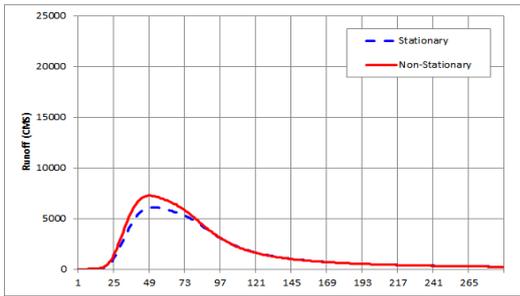
<Table 3> Input parameters to the S-RAT model

매개변수 종류	보정 전	보정 후
포화투수계수	0.0024	0.0024
하천수로하폭	0.5	0.5
하천수로 최소 조도계수	6.67	4.5
최대 침투저류량	400000	400000
차단층 변수	0.65	0.01
침투층 변수	0.08	0.08

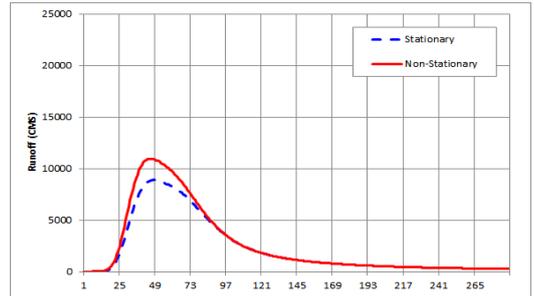


<Figure 8> Parameter optimization results of S-RAT model

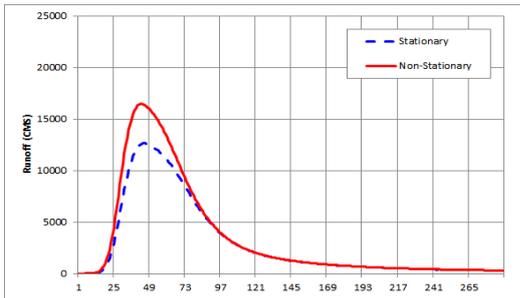
<Figure 9>는 앞서 분석한 정상성과 비정상성의 빈도분석결과 자료와 Huff 3분위법을 이용하여 확률 홍수량을 산정한 그림이다. 분석결과 빈도가 증가할수록 정상성과 비정상성의 침투홍수량의 차는 큰 것으로 분석되었다. Figure 10은 정상성과 비정상성의 침투홍수량을 비교한 그림이며, 지속시간 3시간일 경우 정상성과 비정상성의 침투홍수량의 차는 10년빈도일 때 1,143CMS, 30년 빈도일 때 2,067CMS, 100년 빈도일 때 3,810CMS, 200년 빈도일 때 5,302CMS 이며, 지속시간 12시간의 경우 10년빈도일 때 1,219CMS, 30년 빈도일 때 1,558CMS, 100년 빈도일 때 1,900CMS, 200년 빈도일 때 2,072CMS로 분석되었다.



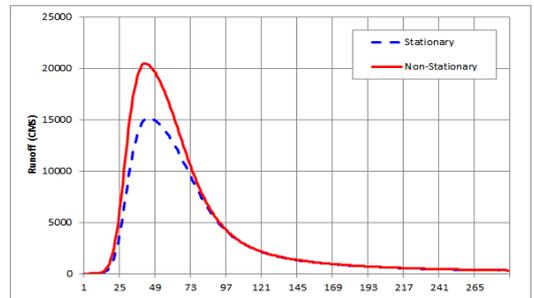
(a) 10 Year



(b) 30 Year

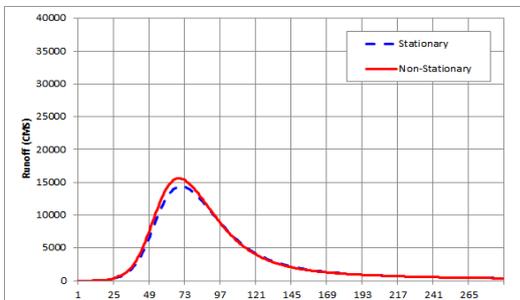


(c) 100 Year

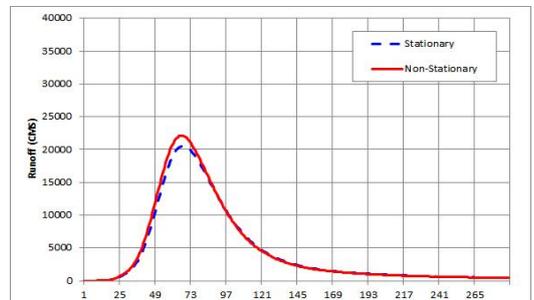


(d) 200 Year

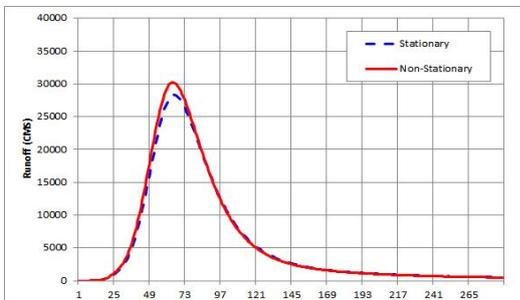
<Figure 9> Comparison of Design flood Hydrograph of Stationary and Non-Stationary (3hr)



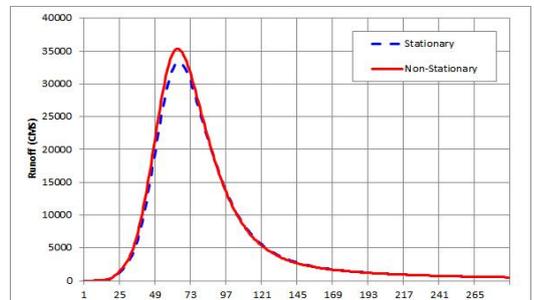
(a) 10 Year



(b) 30 Year

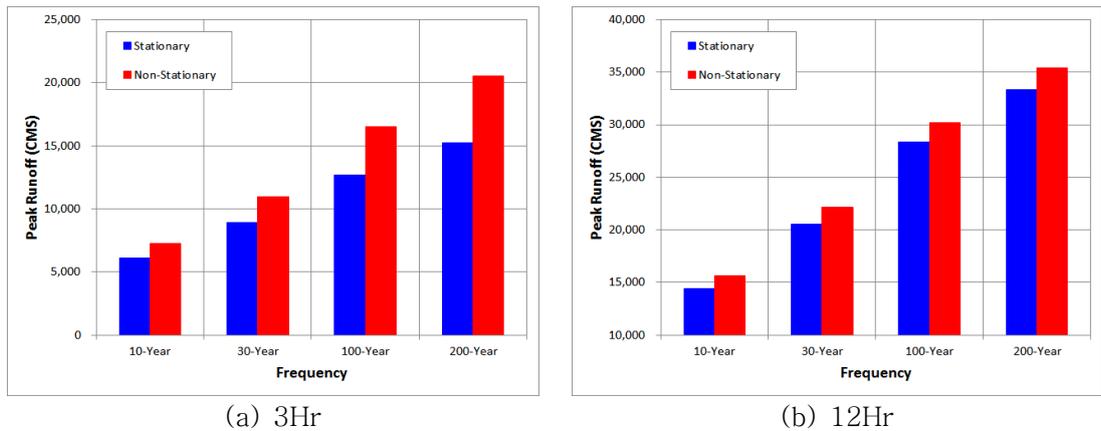


(c) 100 Year



(d) 200 Year

<Figure 10> Comparison of Design flood Hydrograph of Stationary and Non-Stationary(12hr)



<Figure 11> Comparison of Design Peak Discharge of Stationary and Non-Stationary

IV. 적용 및 결과

전통적 빈도해석은 정상성을 전제로 하고 있기 때문에 기후변화에 의한 외부인자를 반영하기에는 한계가 있다. 통계학적에서의 정상성이란 평균과 분산이 시간의 변화에 불변하는 상수로써 표현된다. 하지만 극한강수는 여러 가지 인자로 인하여 확률분포형의 매개변수나 분포 자체가 시간에 따라 변화하기 때문에 기존의 정상성 가정에 근거한 빈도해석은 더 이상 미래를 모사하기에는 한계가 있기 때문에 새로운 빈도해석 방법이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 RCP8.5기후변화시나리오에 따른 새로운 I-D-F 곡선을 작성하였고, 분포형 유출모형을 이용하여 미래 확률홍수량을 계산하였다. 본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 논문에서는 섬진강유역의 각 지점별 극한강우자료가 GEV분포형을 따른다고 가정하고 각 관측소별 연최고치 시계열 자료를 이용하여 비정상성 빈도분석을 수행하였다. 또한 RCP8.5 기후변화시나리오 여름철 강수량자료를 외부인자로 설정하여 비정상성 빈도분석을 수행하였다. 정상성 비정상성 빈도분석결과 전반적으로 비정상성 빈도해석 결과가 정상성 빈도해석결과보다 증가됨을 확인하였다. 또한 확률강우량 결과를 이용하여 I-D-F곡선을 작성한 결과, 전주, 정읍지점의 경우 지속시간이 짧을수록 저빈도와 고빈도의 차가 큼을 확인할 수 있었으며 여수지점의 경우 현재에 비해 전반적으로 I-D-F 곡선이 현재에 비해 높게 있음을 확인할 수 있었다. 임실 지점의 경우 저빈도에서는 큰 차이가 없었으나 고빈도로 갈수록 증가하였으며 특히 200년빈도의 경우 지속시간이 짧을수록 I-D-F 곡선이 증가함을 확인하였다.

(2) 본 논문에서는 기후변화가 설계홍수량에 미치는 영향을 평가하기위해 앞서 분석한 확률 홍수량 결과를 Huff 3분위법을 이용하여 지속시간별 빈도별 강우시간분포를 계산하였다. 또한 개념적 분포형

모형인 S-RAT 모형에 강우시간분포결과를 적용시켜 섬진강유역에서의 정상성, 비정상성의 확률홍수량 분석을 수행하였다. 분석결과 지속시간 3시간일 경우 정상성과 비정상성의 첨두홍수량의 차는 10년빈도일 때 1,143CMS, 30년 빈도일 때 2,067CMS, 100년 빈도일 때 3,810CMS, 200년 빈도일 때 5,302CMS 이며, 지속시간 12시간의 경우 10년빈도일 때 1,219CMS, 30년 빈도일 때 1,558CMS, 100년 빈도일 때 1,900CMS, 200년 빈도일 때 2,072CMS로 분석되었다.

References

- Fowler, H.J., C.G. Kilsby, and J. Stunell. 2007. Modeling the Impacts of Projected Future Climate Change on Water Resources in North-west England. *Hydrologic & Earth System Sciences*. 11(3): 1115-1126.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds. C). *The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kim, B.S., B.K. Kim, M.S. Gyung, and H.S. Kim. 2008 Impact Assessment of Climate Change on Extreme Rainfall and I-D-F Analysis. *Korea Water Resources Association Journal*. 41(4): 379-394.
- Kim, B.S. and S.Y. Ha. 2013. Needs for the Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change. *Korea Water Resources Association Journal*. 46(1): 43-50.
- Osborn, T.J., M. Hulme, P.D. Jones, and T.A. Basnett. 2000. Observed Trends in the Daily Intensity of United Kingdom Precipitation. *International Journal of Climatology*. 20: 347-364.
- Osborn, T.J. and M. Hulme. 2002. Evidence for Trends in Heavy Rainfall Events Over the UK. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 360: 1313-1325.

Korean References translated from the English

- 김병식, 김보경, 경민수, 김형수. 2008. 기후변화가 극한강우와 I-D-F 분석에 미치는 영향 평가. 한국수자원학회논문집. 41(4): 379-394.
- 김병식, 하성룡. 2013. 기후변화를 고려한 도시 배수시설의 설계 기준 설정 필요성. 한국수자원학회 논문집. 46(1): 43-50.

정세진: 강원대학교에서 공학석사학위(논문: RCP8.5 기후변화시나리오 기반의 기후변화가 극한사상과 장기유출에 미치는 영향평가)를 취득하였다. 주로 수자원 및 기후변화 영향평가 분야를 연구한다(climate@kangwon.ac.kr).

홍 일: 경희대학교에서 석사학위(논문: 도시중소하천에서의 자정능력 규명에 관한 연구)를 취득하였다. 또한 최근“A Study on Evaluation of Ecological Function before and after River Improvement(2014)”논문을 등재, 현재 한국건설기술연구원 수석연구원으로 재직 중이며 주로 하천환경 평가 및 복원 분야를 연구한다(hongil93@kict.re.kr).

김병식: 인하대학교에서 공학박사학위(논문: 기후변화에 따른 유역의 수문요소 및 수자원 영향평가)를 취득하였다. 또한 최근“Evaluation of Flash Flood Severity in Korea Using the Modified Flash Flood Index(2013, SCI)” 논문을 등재, 현재 강원대학교 교수로 재직 중이며 주로 수문해석 및 기후변화 영향평가 분야를 연구한다(hydrokbs@kangwon.ac.kr).