

ORIGINAL ARTICLE

강우량 증가에 따른 홍수량 변동 및 홍수범람 분석

강보성 · 양성기* · 정우열

*제주대학교 토목공학과

Analysis of Flooding Variation and Flood Inundation According to Increasing Rainfall

Bo-Seong Kang, Sung-Kee Yang*, Woo-Yeol Jung

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Abstract

As global warming has accelerated to weather in recent years, and The frequent floods are creating heavy rains and typhoons followed by considerable damage in Jeju. This study estimated design flood discharges and flood stage in Jeju, considering climate change in connection with RCP scenario, the 5th IPCC Report recently published. It also analyzed the period which might be subject to the risk of flooding in downstream of Oedo Stream. As a result, it has analyzed that there might be a risk of flooding when there were 80 years or more rainfall events in 35 years that rainfall would have increased by 10%, 69 years that 100 years or more heavy rain and rainfall would have increased by 20%, and 104 years that 100 years or more heavy rain and rainfall would have increased by 20%. It is expected that this study results of rainfall increasing trend caused by climate change will be helpful to minimize the damage of floods which will secure the future of Jeju.

Key words : Flood discharge, Flood stage, RCP Scenario

1. 서론

최근 지구온난화에 의한 기후변화로 인해 태풍 및 집중호우 등의 발생빈도가 증가하고 있을 뿐만 아니라, 그 규모가 점차 대형화됨에 따라 자연재해로 인한 피해가 심각한 사회적 문제로 대두되고 있다.(Kang, 2014). IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 보고서 및 기상청에서는 향후 연평균 기온과 강수량이 증가할 것으로 전망하고 있어, 이를 위한 지역단위의 대책을 수립하고 자연재해에 의한 피해를 최대한 줄일 수 있도록 계획하는 것이 가장 중요한 쟁점으로 부각되고

있다.

제주도는 연 평균 2,061 mm의 강우가 발생하고 있는 국내 최다우 지역이지만 연 강우량의 2/3 이상이 여름철에 집중되고 있으며(Jung과 Yang, 2009), 대부분의 하천이 한라산을 중심으로 남북사면을 따라 발달해 있어 경사가 급하고, 유로 연장이 짧으며, 평상시 건천의 형태와 독립적인 유역을 형성하고 있다(Yang, 2007). 이와 같이 내륙과 상이한 제주도만의 지형과 기후 특성으로 인하여 호우 및 태풍에 의한 하천 범람 시 많은 피해가 발생하고 있으며, 대부분의 도심지가 하천이나 해안 주변에 위치하고 있어 더욱 큰 피해가 발생하고 있다. 지난

Received 19 December, 2014; Revised 24 March, 2015;

Accepted 28 March, 2015

*Corresponding author : Sung-Kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea
Phone: +82-64-754-3451
E-mail: skyang@jejunu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2007년에는 태풍 나리로 인해 14명의 인명 피해와 약 1,600억 원의 재산 피해가 발생하였고, 2012년에는 7호 태풍 카눈을 시작으로 16호 태풍 산바까지 많은 태풍들이 상륙하였으며 그 중 14호 태풍 덴빈, 15호 태풍 볼라벤, 16호 태풍 산바의 경우 3개의 초대형 태풍이 연이어 제주도에 상륙하면서 많은 피해가 발생하였다(National Typhoon Center, 2013).

홍수재해를 저감시키기 위한 노력은 과거부터 꾸준히 시행되어 왔으며, 현대에 이르러서는 각종 구조·비구조적인 방안이 수립되고 많은 연구가 진행되고 있다. Ahn 등(2000)은 기후변화로 인해 설계 빈도를 상회하는 홍수가 발생하는 경향을 보이고 있어 자료 기간에 따라 달라질 수 있는 설계빈도 분석을 실시하여 대부분의 지점에서 확률강우량의 증가 경향을 파악하였고, Oh 등(2009)은 이상기후의 영향에 의한 확률강우량의 변화 특성에 대한 연구를 실시하였다. Jin 등(2012)은 확률강우량 증가에 따른 홍수량과 홍수위의 변화를 분석을 통해 이상강우의 영향에 따른 확률강우량의 증가는 홍수량과 비슷한 양상으로 변화하지만 홍수량은 홍수위와 동일한 양상으로 변화하지 않는다고 분석하였다.

2007년 태풍 나리 발생 이후 제주도는 유역종합치수 계획 및 하천기본계획 등에서 설계빈도를 50년에서 100년으로 상향 조정하여 확률강우량 및 설계홍수량을 산정하고 있으나 최근 기후변화로 인한 지속적인 강우증가로 인해 수공구조물의 안전성이 문제되고 있다.

따라서 본 연구에서는 홍수피해 방지를 위한 수공구

조물의 적절한 설계빈도 결정 및 치수 계획 등에서 참고 자료로 활용할 수 있도록 기후변화에 의해 뚜렷하게 증가하고 있는 강우 및 강우강도를 고려하였으며, 강우량 증가에 따른 상세 홍수량 변동 분석을 위해 강우를 4가지 Case로 구분하여 분석하고, 분석된 결과를 토대로 기후변화에 따른 홍수피해가 발생할 수 있는 위험을 분석하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 하천 및 유역

제주도는 화산활동에 의해 만들어진 화산섬으로서 투수성이 매우 좋은 지질특성을 가지고 있다. 제주도 대부분의 하천은 평상시 물이 흐르지 않는 건천의 형태를 유지하고 있으며, 집중호우 및 태풍과 같이 강우강도가 크거나, 강우의 지속시간이 긴 경우에 유출이 발생하는 특성을 가진다.

본 연구에서는 제주도의 도심이 대부분 하천과 해안가 주변에 입지해 있는 점을 고려하여 하류부에서 상시 유출이 발생하고 있으며, 경사가 급한 남북사면으로 유역이 형성되어 도시를 가로지르는 외도천을 연구대상 유역으로 선정하였다(Fig. 1).

외도천은 한라산 중산간에서 발원하여 북부 해안으로 유입되는 하천으로 유역면적 44.64 km², 유로연장 20.56 km의 지역특성인지를 보이고 있으며, 형상계수는 0.106로 분석되어 유출의 집중성향이 낮은 것으로 분석되었다.

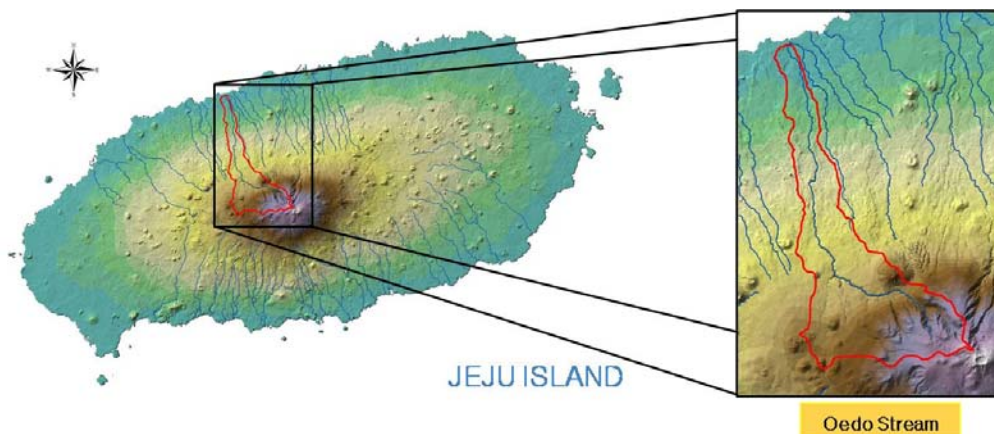


Fig. 1. Location of the Oedo Stream in Jeju Island.

2.2. 강우자료의 수집 및 연구방법

강우특성을 분석하기 위한 강우 자료는 풍향, 풍속, 기온, 습도, 강수량, 강우 유무 등 6개 요소를 자동으로 관측하는 AWS(Automatic Weather System) 자료와 위의 6개 요소를 포함하고 기압, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도 등 더 많은 요소를 자동으로 관측하고 데이터를 처리하는 ASOS(Automatic Synoptic Observation System) 자료가 있다.

외도천 유역의 하류부에서 강우량 증가에 따른 홍수량 변동 및 홍수범람에 미치는 영향을 분석하기 위하여 제주기상청에서 관측하고 있는 강우자료 중 관측 자료의 보유 년 수가 10년 미만인 태풍센터 지점을 제외한 제주 기상청 관할 4개 기상대(제주, 서귀포, 성산, 고산)의 ASOS 자료와 19개소의 AWS 자료로 지점별 연 최대치 강우자료를 구축하였다(Table 1).

이와 같이 구축한 강우자료와 이를 기준으로 10 % 씩 30 % 까지 증가시킨 강우자료의 총 4가지 Case에 대한 면적확률강우량과 설계홍수량 및 홍수위를 산정하였다. 산정된 결과 값을 최근 IPCC에서 발표한 RCP 8.5 시나리오의 강우자료를 분석한 결과와 비교하여 외도천 하류부에서 범람 위험시기를 분석하였다.

2.2.1. 확률강우량 산정

강우자료의 구축에 있어서 안재현 등(2000)은 분산의 변동이 작은 안정된 확률강우량을 산정하기 위해서는 강

우 자료가 최소 30년 이상 관측되어야 한다고 제시하고 있으나, 제주도의 경우 관측시기가 짧아 관측 자료의 보유 년 수가 대부분 30년을 넘지 못하는 실정이다. 이러한 문제점을 감안하여 외도천 유역의 확률강우량을 산정하기 위한 자료는 최소 10년 이상 관측이 이루어진 지점에 한하여 사용하였고, 각 관측지점에 대한 지속기간 및 시간 강우자료를 수집하여 임의시간을 1시간 간격으로 연 최대치 강우자료를 구축하였다.

확률분포형은 수문자료 해석에 일반적으로 사용되는 8가지 분포형에 대하여 분석을 실시하였고, 그 중 설계홍수량 산정요령(2012, 국토교통부)에서 지역적 불연속이 발생하는 것을 방지하기 위하여 통일하고, 확률강우량도 개선 및 보완 연구(2011, 국토교통부)에서 추천한 바 있는 Gumbel 방법을 확률분포형으로 채택하여 산정하였다.

또한 매개변수 추정은 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법 중에서 본 연구와 같이 관측 자료의 기간이 짧은 경우에도 오차의 크기가 크지 않으며 다른 방법에 비해 보다 안정적인 결과를 얻을 수 있는 장점을 가진 확률가중모멘트법을 채택하였다.

확률분포에 대한 적합도 검정은 확률분포의 상대도수합수와 누기분포함수의 이론값과 표본 값을 비교하여 그 정도를 판별하게 되는데, 이에 대한 검정방법으로 X^2 검정, Kolmogorov-Smirnov(KS) 검정, Cramer Von Mises

Table 1. Observation station and retention period of rainfall data

Station	Observation start (Year)	Retention period (Year)	Station	Observation start (Year)	Retention period (Year)
Jeju	1961	53	Seogwang	1993	21
Gosan	1988	26	Eorimok	1995	19
Seongsan	1971	43	Hallim	1994	20
Seogwipo	1961	53	Namwon	1994	20
Jungmun	2001	13	Gujwa	1995	19
Ara	2001	13	Seongpanak	1998	16
Hoesu	2001	13	Pyoseon	1999	15
Chujado	1993	21	Moseulpo	1999	15
Udo	1993	21	Gapado	2002	12
Marado	1993	21	Jindallaebat	2002	12
Yusuam	1993	21	Witsaorum	2002	12
Seonheul	1993	21			

(CVM) 검정, Prob Plot Corr Coeff(PPCC) 검정 등 4개의 방법으로 시행하였다.

제주도는 지리적으로 한라산이 가운데 위치하고 있어 강우의 분포가 고도에 따라 많은 영향을 받고 있다. 따라서 면적평균 확률강우량을 산정함에 있어서 국내에서 가장 일반적으로 사용하는 방법인 티센다각형법을 사용하지 않고, 고도를 고려할 수 있는 등우선법을 이용하여 산정하였다.

2.2.2. HEC-HMS를 이용한 설계홍수량 산정

외도천 유역의 설계홍수량을 산정하기 위해서 HEC-HMS 모델을 이용하였고, 강우 유출 모의 과정을 Fig. 2와 같이 도식화 하였다.

설계홍수량 산정요령(Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2012)에서 유역면적이 250 km² 이하인 경우 1개의 단일유역으로 취급하는 기준에 따라 본 연구의 연구대상 하천인 외도천 유역을 단일유역으로 보고 연구를 수행하였다.

홍수량을 산정하기 위한 매개변수 중에서 일 강우량의 시간분포는 실무에서 가장 많이 사용하고 있고 재해 영향평가에서도 사용되고 있는 Huff 방법을 적용하였고, 수자원 계획체계 개선방안 연구와 설계홍수량 산정요령(2012, 국토교통부)에서 통일하여 적용하도록 제시한 바 있는 3분위를 선정하였다. 강우의 손실량 계산은 SCS 유출곡선지수를 사용하였으며, 유효우량계산은 지역성을 띄지 않으면서 객관적인 방법인 Clark 단위도법을 적용하였다. 도달시간(T_t)은 하천설계기준 및 해설(2009, 국토교통부)에서 제시하고 있는 Kripich, Rziha, Kraven - I, Kraven - II 등과 같은 경험공식을 적용하였고, 본

연구에서는 Kraven - II 공식을 이용하였다. 또한, 저류상수(S_c)를 산정함에 있어 도달시간만의 관계로 결정하는 것은 타당하지 못한 경우가 많고, 산정 방법에 따라 많은 값의 차이를 보이고 있기 때문에 Linsley, Sabol, Russel, USACE 등과 같은 경험공식을 적용하였으며, 연구대상 유역인 외도천에서는 Sabol 공식을 채택하여 저류상수를 산정하였다(Fig. 2).

2.2.3. HEC-RAS를 이용한 설계홍수위 산정

강우의 증가 경향을 고려하기 위하여 기존 강우자료와 강우량을 10 % 씩 30 % 까지 증가시켜 총 4가지 Case에 대한 빈도별 홍수량을 산정하였으며, 그 결과 값들을 HEC-RAS 모델을 이용하여 외도천의 설계홍수위를 산정하였다.

HEC-RAS 모델에서 사용한 외도천 유역의 하상단면 측량 자료는 광령천 외 12개 하천기본계획수립(Jeju City, 2009)의 자료를 이용하였다. 계획하폭 중앙선의 측점간 거리는 20 m로 설정하였으며, 하폭이 급변하거나 교량과 같은 하천 횡단구조물이 설치되어 있는 지점, 혹은 하상경사가 급한 구간 등에서는 추가 측점을 설치하여 하상 단면을 구성하였다(Fig. 3).

3. 결과 및 고찰

최근 기후변화의 영향으로 가장 많은 피해가 발생했던 태풍 '나리'(2007)의 호우기록을 뛰어넘는 호우사상들이 빈번하게 발생하고 있으며, 이와 같은 호우사상의 증가는 확률강우량 및 설계홍수량이 증가하는 결과로 나타났다. 이는 곧, 홍수재해로부터 발생할 수 있는 피해의

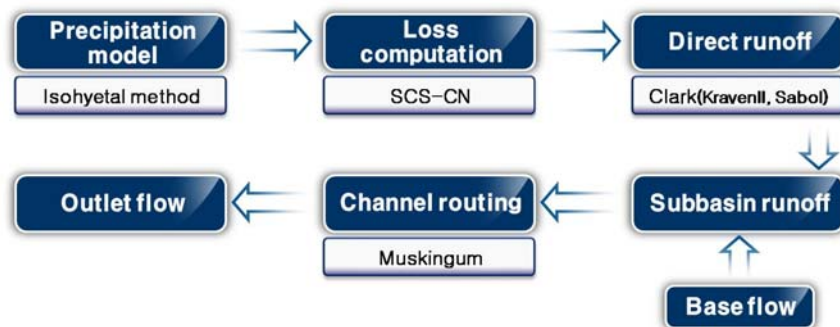


Fig. 2. Flow chart of Rainfall-runoff simulation process in HEC-HMS.

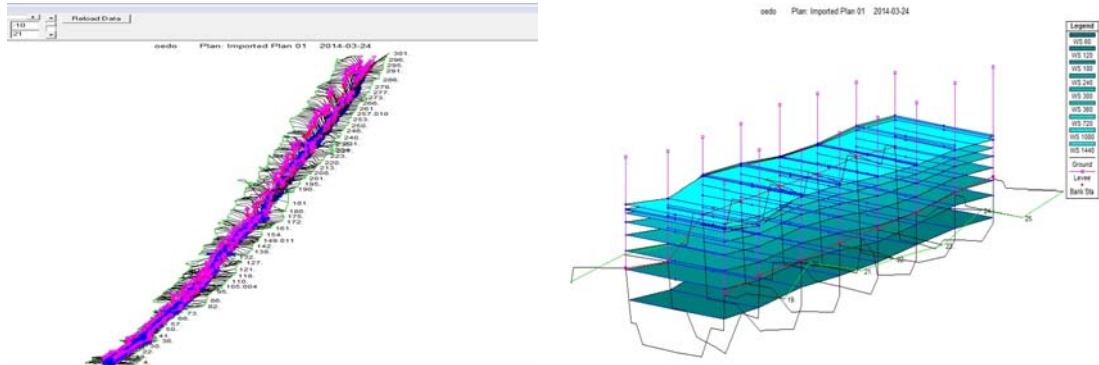


Fig. 3. 3D sectional view and temporal water level of Oedo stream using HEC-RAS.

Table 2. Areal rainfall quantiles in Case 1

(unit : mm)

Duration(min) Return period(Year)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
10	81.7	133.9	173.6	214.6	249.1	285.5	430.2	488.7	527.5
20	92.4	153.3	200.1	248.4	289.6	332.8	506.6	577.3	624.0
30	98.5	164.5	215.3	268.1	312.7	359.8	550.4	628.4	679.7
50	106.2	178.6	234.3	292.4	341.7	394.0	605.4	692.1	748.5
80	113.3	191.3	251.8	314.7	368.2	425.0	655.7	750.9	812.2
100	116.6	197.4	260.0	325.2	380.7	439.7	679.7	778.1	842.6
200	127.0	216.2	285.5	357.9	419.8	485.3	753.2	864.3	936.0

위험도가 높아진다는 것을 의미하기 때문에 지속적인 연구를 통하여 많은 데이터를 구축하고 분석하여 홍수에 의한 피해를 사전에 예방하고 줄일 수 있도록 해야 한다.

본 연구에서도 홍수피해를 줄이기 위한 일환으로 강우 증가 경향을 고려한 홍수량 분석을 실시하였다.

3.1. 외도천 유역의 확률강우량 산정

제주도에 가장 큰 피해를 남긴 태풍 ‘나리’ 자료가 포함된 2007년까지의 강우자료와 2013년까지 강우자료를 이용하여 산정한 확률강우량을 비교한 결과 불과 6~7년 사이에 0.09~37.05 % 증가한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 기후변화로 인한 강우의 증가가 뚜렷하고, 강우강도가 증가하고 있으며 호우사상들이 과거에 비해 커지고 있다는 것으로 분석할 수 있다. 본 연구에서는 6~7년 사이에 확률강우량이 급격하게 증가한 결과를 고려하여 강우 증가에 따른 상세한 홍수 분석을 위해 강우를 4

가지 Case로 구분하였다. Case 1은 2013년까지의 실제 관측된 강우자료를 활용한 것이며, Case 2, 3, 4는 실 강우 자료에서 각각 10 %, 20 %, 30 % 씩 증가시킨 강우 자료를 활용한 것이다. 각 Case별 외도천 유역의 면적확률강우량 산정 결과, 실제 관측된 강우자료를 이용한 Case 1의 경우 81.7~936.0 mm 의 범위로 분석되었고 (Table 2), 실제 관측 강우자료에서 강우량을 10 % 증가시킨 Case 2의 경우 89.9~1029.6 mm, 강우량을 20 % 증가시킨 Case 3의 경우 97.9~1122.8 mm, 강우량을 30 % 증가시킨 Case 4의 경우에는 106.0~1214.1 mm 의 범위로 분석되었다.

3.2. Case 별 설계홍수량 산정

지속시간-재현기간별 설계홍수량의 변동을 분석한 결과 실측 강우자료를 이용한 Case 1의 Huff 3분위의 시간 분포를 가진 홍수량의 변동은 45.25~934.48 m^3/s 로

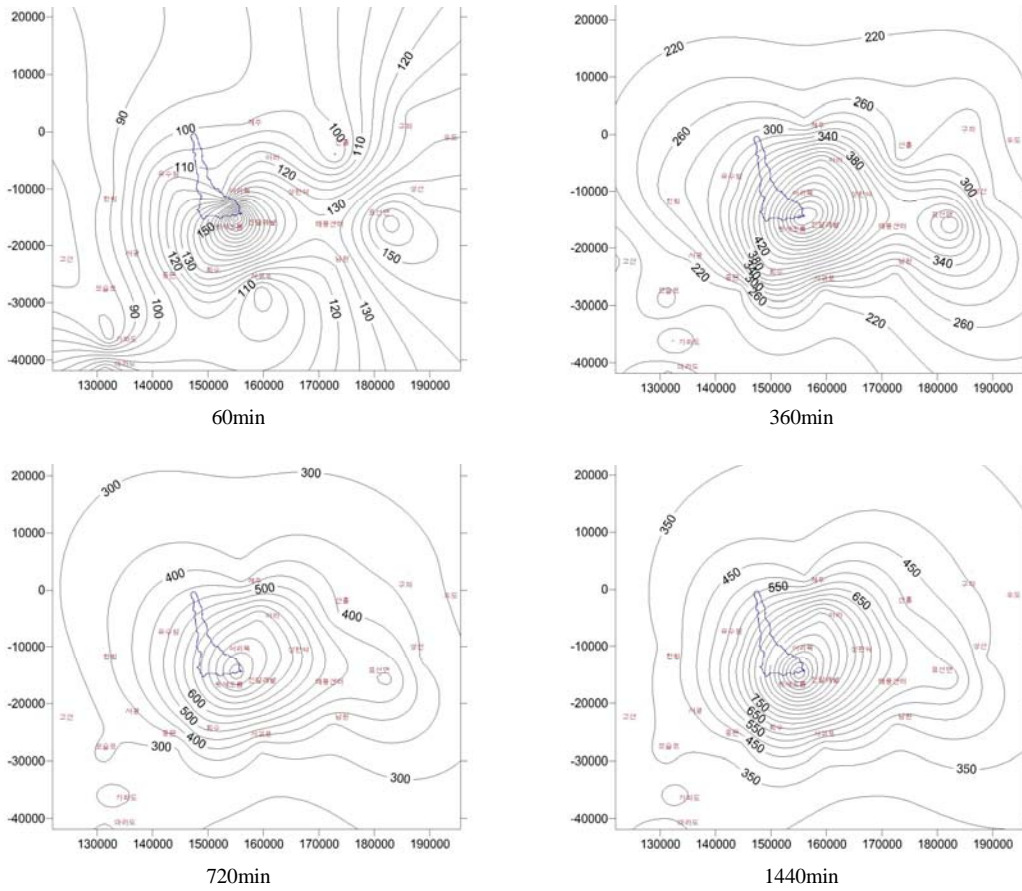


Fig. 4. 100-year return period probability precipitation of Case 1.

분석되었으며, 재현기간에 따른 침투 홍수량은 10년일 경우 $478.34 \text{ m}^3/\text{s}$, 20년일 경우 $585.98 \text{ m}^3/\text{s}$, 30년일 경우 $647.64 \text{ m}^3/\text{s}$, 50년일 경우 $725.04 \text{ m}^3/\text{s}$, 80년일 경우 $795.57 \text{ m}^3/\text{s}$, 100년일 경우 $829.13 \text{ m}^3/\text{s}$, 200년일 경우 $934.48 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 분석되었다(Table 3). 강우를 10 % 증가시킨 Case 2의 홍수량은 $56.78 \sim 1040.22 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 분석되었고 강우를 20 % 증가시킨 Case 3의 경우 $68.78 \sim 1146.61 \text{ m}^3/\text{s}$, 강우를 30 % 증가시킨 Case 4의 경우 $81.61 \sim 1252.42 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 분석되었다.

설계홍수량 산정 시 지역의 지역특성인자 및 개발정도 등을 고려하고 합리적인 강우-유출 모형을 적용하여 유역에 필요한 설계빈도를 설정하게 되는데, 현재 제주에서는 2007년 태풍 나리 이후 치수 계획 규모를 100년

빈도로 설정하여 실무에서 적용하고 있다.

제주도의 하천기본계획 및 유역종합치수계획 등에서 설계빈도로 설정하고 있는 100년 빈도의 설계홍수량을 각 Case 별로 비교한 결과, Case 1의 경우 $99.29 \sim 828.39 \text{ m}^3/\text{s}$, Case 2의 경우 $120.02 \sim 925.41 \text{ m}^3/\text{s}$, Case 3의 경우 $141.11 \sim 1019.95 \text{ m}^3/\text{s}$, Case 4의 경우 $162.80 \sim 1115.02 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 설계홍수량 범위가 나타날 것으로 분석되었다.

2013년까지 실제 관측된 강우자료를 활용하여 산정한 홍수량 결과(Case 1)를 기준($99.29 \sim 828.39 \text{ m}^3/\text{s}$)으로, 10 % 강우 증가 시 기준 대비 $10.99 \sim 20.88 \%$ 홍수량이 증가하였고, 20 % 강우 증가 시 $21.92 \sim 42.12 \%$, 30 % 강우 증가 시 $32.63 \sim 63.96 \%$ 가 증가될 것으로 분

Table 3. Design flood estimation in Case 1

(unit : m^3/s)

Return period(Year)	Duration(min)									
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440	
10	45.25	127.50	196.28	267.11	326.73	373.28	477.08	459.49	416.81	
20	60.45	163.25	247.76	334.17	406.17	462.48	585.14	559.80	504.71	
30	69.71	184.32	278.45	373.64	452.44	514.13	646.92	617.25	555.33	
50	81.94	212.24	317.06	423.20	510.89	578.90	724.32	689.20	618.71	
80	93.69	238.01	353.17	469.20	564.80	638.48	794.81	754.44	675.89	
100	99.29	250.26	370.77	491.0	590.57	666.74	828.39	785.63	703.48	
200	117.51	289.31	424.80	559.81	671.13	755.84	933.94	883.06	788.47	

Table 4. Comparing the temporal design flood of 100-year return period

Stream	Duration time (min)	100-Year return period flood discharge (m^3/s)			
		Case 1	Case 2(10%)	Case 3(20%)	Case 4(30%)
Oedo	60	99.29	120.02 (20.88% ▲)	141.11 (42.12% ▲)	162.80 (63.96% ▲)
	120	250.26	291.42 (16.45% ▲)	333.32 (33.19% ▲)	376.85 (50.58% ▲)
	180	370.77	425.44 (14.74% ▲)	481.51 (29.87% ▲)	536.23 (44.63% ▲)
	240	491.0	559.39 (13.93% ▲)	627.76 (27.85% ▲)	695.33 (41.62% ▲)
	300	590.57	669.09 (13.30% ▲)	747.07 (26.50% ▲)	824.79 (39.66% ▲)
	360	666.74	752.36 (12.84% ▲)	836.80 (25.51% ▲)	921.51 (38.21% ▲)
	720	828.39	925.41 (11.71% ▲)	1019.95 (23.12% ▲)	1115.02 (34.60% ▲)
	1080	785.63	874.0 (11.25% ▲)	960.94 (22.31% ▲)	1047.28 (33.30% ▲)
	1440	703.48	780.81 (10.99% ▲)	857.69 (21.92% ▲)	933.0 (32.63% ▲)

석되었다(Table 4).

강우의 증가율이 커질수록 각 Case 별 설계홍수량의 증가율 역시 커지는 것으로 분석되었으나, 재현기간이 크고 지속시간이 길수록 실제 강우 증가율과 설계홍수량 증가율과의 오차가 줄어드는 것으로 분석되었다.

3.3. Case 별 설계홍수위 산정

외도천 유역 하류부에 위치한 월대교에서 강우량 증가에 따른 각 Case의 재현기간 별 첨두홍수위 변동을 분

석한 결과 실제 관측된 강우자료를 활용하여 기준이 되는 Case 1의 경우 3.38~5.18 m 로 분석되었다. Case 1에서 강우량을 10 % 증가시켜 산정한 Case 2의 홍수위는 3.54~5.70 m로 분석되었고, 실제 증가율은 4.73~11.02 % 로 -5.27~1.02 % 가 증감하였다. 강우량을 20 % 증가시켜 산정한 Case 3의 홍수위는 3.86~6.24 m 로 분석되었고, 실제 증가율은 14.20~21.17 % 로 -5.80 ~1.17 % 가 증감하였다. 강우량을 30 % 증가시켜 산정

Table 5. Comparing the peak flood level in different case

(unit : m)

Case	Return Period (year)						
	10	20	30	50	80	100	200
Case 1	3.38	3.64	3.89	4.19	4.47	4.63	5.18
Case 2	3.54	3.92	4.20	4.53	4.95	5.14	5.70
Case 3	3.86	4.21	4.50	4.98	5.41	5.61	6.24
Case 4	4.02	4.49	4.91	5.41	5.87	6.09	6.77

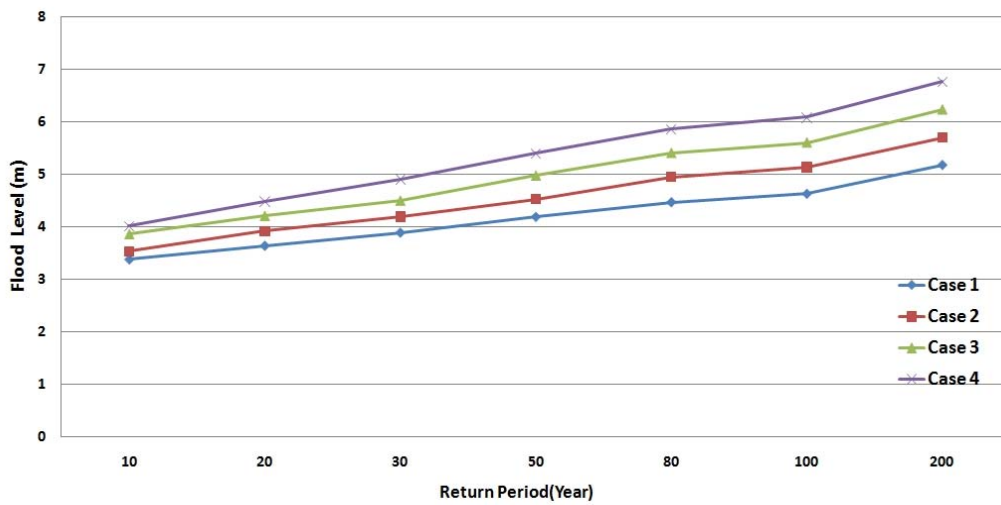


Fig. 5. Peak flood level according to return periods.

한 Case 4의 홍수위는 4.02~6.77 m 로 분석되었고, 실제 증가율은 18.93~31.53 % 로 -11.07~1.53 % 가 증감한 결과를 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

3.4. 기후변화 시나리오를 활용한 범람 위험 분석

최근 많은 기술 발전으로 기존의 시나리오보다 신뢰할 수 있고 정확도가 향상된 IPCC 5차 평가보고서(2013)가 발표되었다. IPCC 5차 평가보고서인 RCP 시나리오는 최근 온실가스 농도의 변화경향을 반영한 것으로 SRES 시나리오(4차 평가보고서)의 미래사회 구조 기반이었던 온실가스 농도 산출과정의 사회경제적 가정을 기후변화 대응정책의 수행여부로 변경한 것이다.

수많은 기후변화 시나리오 중 본 연구에서 사용한 IPCC 5차 평가보고서의 RCP 8.5는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정

도가 저감 없이 현재 추세로 온실가스를 배출하는 경우를 가정하여 분석한 시나리오이다.

앞서 강우량 증가에 따른 외도천의 설계홍수량과 홍수위를 산정하고 하류부에서 범람의 위험이 있는 홍수위를 산정하였다. 이러한 결과 값들을 기후변화 시나리오와 연계하여 위험시기를 분석하기 위해 2100년까지의 강우량 변동을 분석하였다(Table 6).

Fig. 6은 2000년부터 2100년까지 RCP 8.5 시나리오에 따른 강우량의 변동을 나타낸 것으로, 2000년을 기준으로 10년마다 2.87 % 씩 증가할 것으로 분석되었다.

외도천 하류부에 위치한 월대교의 계획홍수위는 5.57 m이며, 교량 높이를 측량한 결과 6.07 m 로 관측되었다(Fig. 7). 만약 유출이 발생하여 홍수위가 계획홍수위인 5.57 m 를 넘을 경우 범람의 위험이 있으며, 교량 높이인 6.07m 까지 홍수위가 올라갈 경우에는 외도천 하류부

Table 6. Annual Mean precipitation according to RCP 8.5 climatic change scenario in Jeju-si

Period	2000 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2030 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
Precipitation	2128.1	2285.8	2427.6	2276.9	2472.1	2558.8	2368.4	2582.0	2538.5	2894.3
		2330.1			2466.4			2671.6		

(unit : mm)

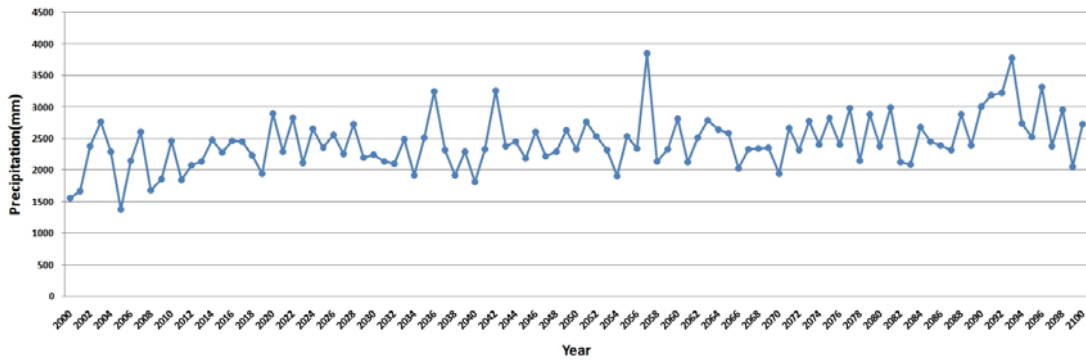


Fig. 6. Precipitation variation according to RCP 8.5 climatic change scenario in Jeju-si.

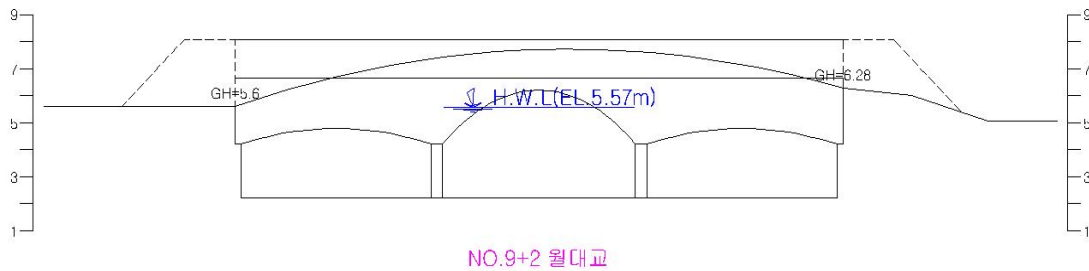


Fig. 7. Cross-section of Woldae bridge over Oedo stream.

일대가 전부 침수되어 홍수 피해가 발생하는 것으로 분석되었으며, 강우량이 10 % 증가(Case 2) 하는 35년 후 200년 빈도 이상의 호우사상이 발생할 경우, 강우량이 20 % 증가(Case 3) 하는 69년 후 100년 빈도 이상의 호우사상이 발생할 경우, 강우량이 30 % 증가(Case 4) 하는 104년 후에는 80년 빈도 이상의 호우사상이 발생할 경우 범람의 위험성이 생기는 것으로 분석되었다.

4. 결론

지구온난화로 인한 이상기후의 영향으로 홍수발생 빈

도가 잦아지고 집중호우 및 태풍의 크기가 점차 커지고 있기 때문에 홍수에 의한 피해가 매년 발생하고 있다. 특히, 제주도는 대부분의 도심지가 해안가 혹은 하천 주변에 입지하고 있어 더욱 큰 피해가 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 외도천을 연구대상 유역으로 선정하여 홍수에 의한 피해를 사전에 대비하고 최소화하기 위한 연구로 제주도의 강우량 증가에 따른 홍수량 변동 및 홍수범람에 미치는 영향을 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

- 1) 2007년 태풍 나리 발생 이후 불과 6~7년 사이에 확률강우량은 0.09~37.05 % 증가한 것으로 분석되었고,

이는 기후변화로 인한 강우 및 강우강도의 증가가 뚜렷하게 나타나고 있으며, 호우사상들이 과거에 비해 훨씬 대형화되는 것으로 판단할 수 있다.

2) 강우량의 증가에 따른 홍수량 산정 결과, 홍수량은 증가하는 것으로 분석이 되었으나 증가율은 강우량과 비례하지 않았으며, 재현기간이 크고 지속시간이 길수록 증가율의 오차는 감소하였다.

3) 외도천 하류부에서 강우량이 20 % 증가(Case 3) 하고 200년 빈도의 호우사상이 발생할 경우 외도천 하류부에서 침수가 일어날 수 있고, 강우량이 30 % 증가(Case 4)하여 100년 빈도 이상의 호우사상이 발생할 경우 역시 침수피해가 일어날 수 있는 것으로 분석되었다.

4) RCP 8.5 시나리오에 따르면, 2000년부터 2100년까지 10년마다 2.87 % 씩 증가할 것으로 분석되었으며, 강우량이 10 % 증가(Case 2) 하는 35년 후 200년 빈도 호우사상이 발생할 경우, 강우량이 20 % 증가(Case 3) 하는 69년 후 100년 빈도 호우사상이 발생할 경우, 강우량이 30 % 증가(Case 4) 하는 104년 후에는 80년 빈도 호우사상이 발생할 경우 범람의 위험성이 생기는 것으로 분석되었다.

본 연구를 통하여, 강우의 증가 경향을 고려한 수공구조물의 적절한 설계빈도 결정뿐 아니라 재정비에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대하며, 홍수에 대한 적절한 대책을 마련하여 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 향후 지속적인 자료의 확보를 통한 다양한 연구가 꾸준히 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 “제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 구축 연구(10 지역기술혁신B02)” 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

Ahn, J. H., Kim, T. W., Yoo, C. S., Yoon, Y. N., 2000,

Analysis of the changes in rainfall quantile according to the increase of data period, Journal of Korea Water Resources Association, 33(5), 569-580.

CCIC(Climat e Change Information Center), 2012, The abnormal climate report.

CCIC(Climat e Change Information Center), 2014, <http://www.climate.go.kr>.

IPCC(International Panel on Climate Change), 2007, Climate change 2007: Synthesis Report.

Jeju Development Institute, 2013, Jeju climate change trend according to RCP 8.5 scenario, JDI Focus, No. 176. 3-18.

Jin, H. S., Ahn, J. H., 2012, An analysis of flood discharge and stage according to the change of design rainfall for Musim stream basin, Journal of Korea Water Resources Association, 941-941.

Jung, W. Y., Yang, S. K., 2009, Simulation of runoff of rivers in Jeju island using SWAT model, Journal of the Environmental Sciences, 18(9), 1045-1055.

Kang, B. S., Yang, S. K., Jung, W. Y., Kim, Y. S., 2014, Calculation of the flood runoff of the river with imaging equipments, Journal of the Environmental Sciences, 23(4), 585-594.

Lee, Y. Y., 2007, Cause analysis and countermeasure of flooding caused by typhoon Nari in Jeju, Magazine of Korea Water Resources Association, 40(11), 77-83.

Oh, T. S., 2009, An Analysis of the Characteristics in Design Rainfall According to the Data Periods, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 9(4), 115-127.

Yang, S. K., 2007, River management and improvement measures of Jeju island, River & Culture, Korea River Association, 3(4), 104-115.

Yang, S. K., Kim, D. S., Jung, W. Y., Yu, K., 2011, Analysis and Comparison of Stream Discharge Measurements in Jeju Island Using Various Recent Monitoring Techniques, Journal of the Environmental Sciences, 20(6), 738-788.