

도시 이용 변화에 따른 홍수 유출특성의 평가 - 청주 무심천, 충북*

Assessment of flood Characteristics due to land use changes in Chueongju - Mushim river,
Chungbuk

Hyung Joon Chang**, Hyo Sang Lee**, Kook Hee Cho***, Moo Kyeong Lee****

Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju,
Korea

Abstract

The changes of land use influence on the flood characteristics, which depend on rainfall runoff procedures in the catchment. This study assesses the changes of flood characteristics due to land use changes between 1997, 2005 and 2018. The catchment model(HEC-HMS) is calibrated with flood events of 1990s and 2000s respectively, then the design rainfall of 100,200,500 year return period are applied to this model, which represent the catchment in 1990s and 2000s, to assess the flood peaks. The results of comparison between 1990s and 2000s shows that the flood peak of 2000s is increasing and time to peak of 2000s is decreasing comparing to those of 1990s :3% to 7% increase in flood peak and 10.2% to 16% decrease in time to peak in 100year return period flood. It is due to decreasing of the farmland area(2.18%), mountainous area(8.88%), and increasing of the urbanization of the area (5.86%). This study also estimates the effects of the recent housing development plan in Cheongju, 2018. The effects of this plan shows that the increasing of the flood peak and time to peak comparing to 2000s. However, the effects on flood characteristics is marginal compared to 2000s: flood peak increasing of 0.23 to 0.73% in 100 year return period. These results of the study can be used for basic data of further studies related to flood management at Mushim river.

Key words: Land use changes, flood characteristics, rainfall runoff model, Calibration, Validation

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

** Tel. +82-43-272-0312. E-mail. param79@chungbuk.ac.kr

*** Corresponding author. Tel. +82-43-261-2379. E-mail. hyosanglee@chungbuk.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Feb. 10, 2015 / Revised: Mar. 9, 2015 / Accepted: Apr. 10, 2015

국문초록

토지이용 변화에 따른 유출특성의 변화는 유역의 강우-유출 수문 작용에 영향을 끼친다. 본 논문에서는 무심천 유역의 1997년, 2005년, 2018년의 토지이용 변화에 따른 유출특성의 변화를 분석하기 위해 1990년대 및 2000년대의 홍수사상을 바탕으로 유역수문모형(HEC-HMS)을 구축하였으며, 구축한 유역수문모형은 빈도별 확률 강우량(100, 200 및 500년 빈도)을 적용하여 첨두홍수량을 산정하였다. 분석결과, 2000년대의 모의 결과치는 1990년대의 모의 결과치에 비해 100년 빈도 첨두홍수량이 3~7% 증가하였고, 첨두홍수량 발생시간은 10.2~16% 감소하였다. 이는 무심천 유역의 토지이용 변화(농지면적 감2.18%, 산지면적 감8.88%, 도시면적 증5.86%)가 기인한 것으로 판단된다. 또한 청주시에서 계획 중인 동남지역 택지개발을 반영한 유출특성의 분석결과는 2000년대의 모의 결과치에 비해 도달시간 및 첨두홍수량(100년 빈도, 0.23~0.73%)이 미미하게 증가되는 것으로 나타났으며, 본 연구 결과는 향후 무심천의 홍수관리 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 토지이용변화, 홍수유출특성, 강우-유출모형, 검정, 검증

1. 서론

우리나라는 1960년대부터 현재까지 국토 대부분이 급속히 도시화가 진행되고 있으며, 이로 인하여 토지이용 실태가 급격하게 변화하고 있다. 이런 도시화는 주택지구 및 산업단지 등이 급속하게 증가 되는 반면에 농경지와 임야는 급속히 감소하게 된다. 따라서 하천유역 개발에 따른 유출특성의 분석은 유역관리의 중요한 기초자료가 된다.

우리나라의 홍수 피해는 과거 농경지 피해가 중심이었으나 최근에는 홍수 피해 잠재능이 높은 도시 지역의 내수침수와 하천변 사회기반시설 침수 피해로 변화하고 있으며, 저지대 농경지 및 하천주변 개발로 인하여 도시하천에서의 홍수 피해가 급격히 증가하고 있다. 강우가 발생하였을 때, 자연유역은 차단, 침투, 침투 그리고 지표하흐름 등 수문학적 작용에 의해 직접적인 하천유출로 연결되는 유출량이 저감되며, 홍수 발생시간은 지체된다. 그러나 도시유역에서는 유출특성이 변화되어 첨두홍수량이 증가되고, 홍수 발생시간은 빨라져 하천유역 관리에 어려움이 증대된다. 개발에 따른 도시화 유출특성 분석은 유역 관리의 중요한 기초자료로서 다양하게 연구되고 있으며, 또한 도시화 및 유역의 토지이용 변화에 따른 유출특성의 변화도 다양하게 연구되고 있다. 주요 연구 동향은 <표 1>과 같다.

토지 이용의 변화 및 농촌유역의 도시화에 따른 유출특성의 변화와 관련하여 많은 연구가 이루어지고 있으며, 대표적으로 이미선 등(2005), 한국회와 이길춘(1996), 박정규와 박영기(2008), 최정화 등(2009)의 연구가 대표적이다. 최근의 연구로는 이현아 등(2012)이 경기도 남양주시의 왕숙천 유역을 대상으로 HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran) 모형을 적용하여 토지이용 변화에 따른 유출특성을 분석하였다. 이는 1975년, 2007년의 유역 정밀토지이용도를 활용하여 HSPF 모형을 구축하였고, 해당 연도의 유역 모형에 2006년, 2007년 그리고 2008년 수문자료를 적용하였다. 두 시기를 비교한 결과, 공간적으로 시가지는 7% 증가, 산림지역은 8% 감소로 불투수층이 증가하는 것으로 나

타났으며, 농업지역이던 왕숙천의 본류와 지류의 범람원 그리고 배후습지는 시가지와 초지로 전환되었고, 주변 산지로 농업지역이 확대 되었다. 이에 따라 불투수층이 증가하였고, 유역 내 수분 함양 능력이 감소하였으며, 지하수 함양과 기저유출에 영향을 주는 투수면적의 감소는 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량을 감소하게 하였다. 이 결과로 강우시 직접유출량은 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

청주 무심천 유역을 대상으로 한 연구로는 이종형과 윤석환(2004)이 HEC-HMS모형을 이용하여 도시화에 따른 유역 특성 자료와 이상기후에 의한 홍수량의 변화를 분석하였다. 이상기후에 의한 강우량의 증가 영향을 고려하기 위해 확률 강우량을 일정비율(5%, 10%, 15%, 20%)로 증가시켜 홍수량을 산정한 결과 무심천 유역은 100년 빈도에서 확률강우량 증에 따라 1,691.10m³/s 홍수량이 1,794.20m³/s ~ 2,104.65m³/s의 범위로 증가되었음을 확인하였다. 도시화에 의한 영향을 반영하기 위해 CN값을 일정 비율(5%, 10%, 15%)로 증가시켜 가면서 유출특성의 변화를 분석한 결과 침투유량이 460.56m³/s에서 497.91m³/s~581.71m³/s로 증가하는 현상을 보였고, 침투유량의 발생시간은 변화가 없는 것을 확인 하였다. 또한 각 소유역별로 불투수면적이 10%, 20% 증가했을 경우에 대해서 적용한 결과 460.56m³/s인 침투유량은 불투수면적이 10% 증가에 506.57m³/s, 20%증가에 547.01m³/s정도 증가하는 것으로 분석되었다.

국외의 연구로는 Chmelová 등(2006)은 체코 Krupa 강 유역을 과거 수문자료, 항공사진 그리고 과거 지적도 등을 활용하여 토지이용 변화를 평가하였으며, 이를 HEC-HMS 모형을 적용하여 분석하였다. 1936년과 2002년의 유역 유출 조건은 CN값에 의해 평가하였으며, 비교 분석을 통해 유출이 과거에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이는 체코 정부가 자연환경의 보호·보존 필요성이 있는 지역 등에 대하여 개발제한 정책으로 적용하고, 또한 이용의 제한에 따른 농민 보조금을 주는 정책을 펼친 환경부의 농업환경 계획에 기인한 것으로 평가된다.

Ali 등(2011)은 파키스탄 Islamabad 지역 Lai Nullah 유역의 토지이용 변화에 따른 유출특성을 정량화하였다. 유역 모형으로 HEC-HMS 강우-유출 모형을 5개의 관측 홍수사상에 대하여 검증하였고, 토지이용 변화 시나리오는 Islamabad 지역의 향후 도시관리계획을 기반으로 구축하였다. 이러한 미래의 토지이용계획 시나리오를 적용한 결과, 총 유량은 51%~100% 증가하였고, 침투유량은 45.4%~83.3%로 증가하였으며, 이는 유량 및 침투유량의 증가가 도시화 면적 비율의 팽창(0.2%)과 관련이 있음을 제시하였다.

본 연구에서는 무심천 유역의 토지이용에 따른 유출특성을 분석하기 위하여 도시화 비율이 급격히 증가하는 1990년, 2007년의 토지이용을 바탕으로 SCS-CN을 산정하였으며, 1990년대 및 2000년대의 각각 10개의 관측 홍수사상을 바탕으로 유역 수문모형(HEC-HMS:Clark 단위도법)을 구축하였다. 그리고 구축한 유역 모형에 빈도별 확률강우량(100년, 200년, 500년)을 적용하여 각각의 모형에 대한 홍수량 및 침투홍수량, 발생시간을 산정하였으며, 그 결과를 통해 유역의 유출특성을 분석하였다. 또한 현재 계획 중인 유역 내 청주 동남권 도시개발의 영향을 반영하여 향후 유출특성의 변화를 검토하였다.

<표 1> 정밀토지이용 변화에 따른 유출특성의 변화 최근의 주요 연구

범주	연구제목	연구자	년도 (년)	비고	
국내 논문	토지이용 변화	토지이용의 변화가 홍수유출에 미치는 영향분석	김성준 외 2명	2005	GIS 기반의 수문 모형을 이용한 유출특성 분석
		토지이용 변화에 따른 유출특성변화	이현아	2012	HSPF 모형을 활용한 토지 이용 변화 분석
	도시화	도시화 구역에서의 홍수유출특성	한국희 외 1명	1996	유출해석모형(ILLUDAS)를 이용한 유출특성 분석
		농촌구역의 도시화 진전에 따른 수문환경변화	이미선 외 3명	2005	Landsat 위성영상과 HEC-1 모형을 이용한 유출특성 분석
		도시화의 영향에 따른 유출변화특성에 관한 연구	박정규 외 1명	2008	당진의 박골천 구역 도시화에 따른 유출특성 분석
		조경천 구역의 도시화에 따른 유출 변화 추이 분석	최정화 외 2명	2009	도시화 단계에 따른 전주 조경천 구역 유출 특성분석
국외 논문	토지 이용 변화	Effects of land use changes on surface runoff	Renata Chmelová 외 2명	2006	체코 krupa 구역의 8년간 토지 이용 변화에 따른 유출특성분석
		Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan	Muhammad Ali 외 3명	2011	토지 이용 변화에 따른 파키스탄 Islamabad 구역 유출특성분석을 통한 수문 모델 시스템 구축
	토지 피복도 변화	The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China	Pei-Jun Shi 외 5명	2007	중국 심천 선전지역 토지이용 및 피복 변화의 변화에 따른 표면유출 영향
		A case study of land cover change (1950~2003) and runoff in a Mediterranean catchment	Dennis M. Fox 외 5명	2012	1950년~2003년 토지 이용 변화에 따른 프랑스 생트 로페 구역 유출특성 분석
	도시화	Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using	Jinkang Du 외 6명	2012	중국 회화강 구역의 도시화에 따른 유출특성 분석

II. 대상 연구 유역과 유역 모형

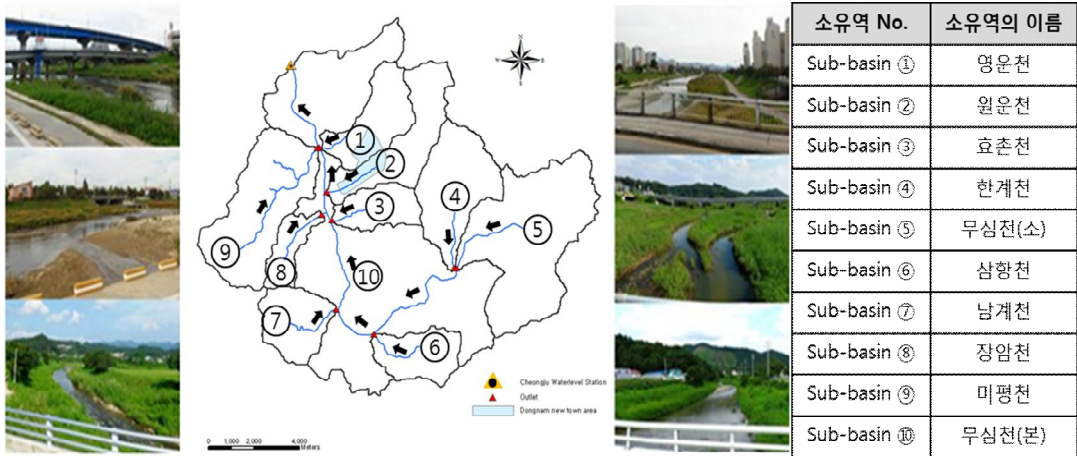
1. 청주 무심천 연구 유역

대상연구유역인 청주시는 충청북도의 도청 소재지로서, 1960년대 이후 대규모 도시화가 본격적으로 이루어 졌다. 1960년대는 점차적인 정치안정과 경제회복에 힘입어 우리나라 각 도시의 건설이 활발히 이루어지는 시기였다. 1980년대에 접어들어 다핵 도시공간구조의 창출이 요구되면서 광역 도시계획이 본격적으로 수립되었으며, 급격한 도시화에 대처하기 위하여 1983년 2월 청원군 강서면 일원과 낭성면 일부를 편입하였다. 또한 1990년 8월에 청원군 남일면, 남이면, 북일면 각 일부를 편입하는 등 1990

년대 후반까지 잦은 행정구역의 확장 및 변경이 있었으며, 2012년 6월에 청주시, 청원군의 통합이 확정되어 2014년 7월 1일 통합 청주시로 출범하였다.

무심천은 충청북도 청주시 남일면과 낭성면의 경계에 있는 선도산에서 발원하여 청주시를 관통하는 지방하천이며, 유역은 상류부의 자연유역과 하류부의 도시유역으로 구분된다. 무심천은 유역면적이 수위관측소 지점을 종점으로 하여 165.9km²이며, 유로연장은 64km, 지류는 9개소이다. 그리고 무심천 유역의 연평균 기온은 12.5°C이며, 연강수량은 1,239.1mm로 연강수량의 57.5%인 711.9mm는 여름철(6~8월)에 발생하는 대표적인 한반도 중부권의 기후를 나타내고 있다. 청주시의 평지는 거의 시가지화 되었으나, 남쪽의 방서리 부근의 대머리평야와 북쪽의 무심천 하류의 오창평야는 비옥한 곡창지대를 이루고 있다.

본 논문에서는 무심천-청주 수위관측소를 종점으로 무심천 유역을 산정하였으며, 지류를 기준으로 9개소 소유역으로 분할하였다. 유역의 유출량은 청주 수위관측소의 수위자료를 이용하였고, 2007년도 유량조사보고서(국토교통부)의 수위-유량 관계 곡선식을 적용하여 유량을 산정하였다. 강우관측소는 무심천 유역에 가장 인접한 청주 강우관측소를 선정하였다. 다음 <그림 1>은 연구대상유역인 무심천 유역이다.



<그림 1> 무심천 유역

각 소유역의 기본적인 유역 특성인자는 아래의 <표 2>와 같다. 본 연구대상인 무심천 유역을 9개의 소유역과 하도로 구성하였다. 도시화 증가율(2007년 도시화비율 : 1990년 도시화비율)은 남계천유역과 무심천(소)유역, 효촌천, 한계천 일대가 평균 5.86%증가 하였다. 이는 무심천 유역의 토지이용변화가 무심천유역 유출변화에 기인할 수 있는 변수로 작용할 수 있다.

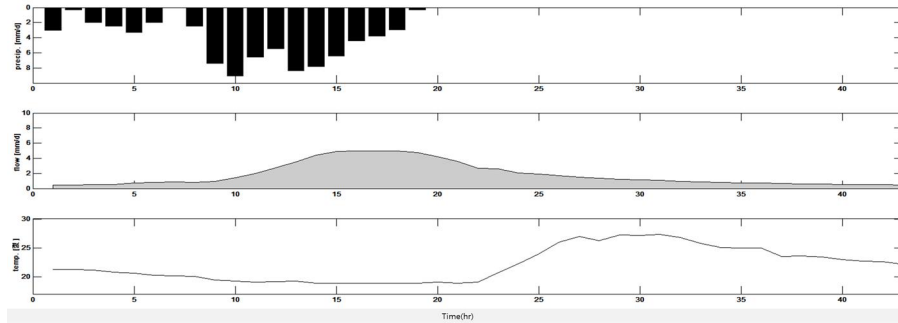
<표 2> 무심천 소유역의 기본적인 유역특성

소유역	이름	Area(km ²)	Length(km)	도시화비율(1990)	도시화비율(2007)
Subbasin-1	영운천	9.16	1.46	17.15	29.52
Subbasin-2	월운천	11.89	2.56	0.58	4.06
Subbasin-3	효촌천	6.03	1.77	14.20	22.69
Subbasin-4	한계천	13.84	2.69	2.311	3.76
Subbasin-5	무심천(소)	28.03	4.16	6.61	10.00
Subbasin-6	삼항천	7.25	2.86	0.37	2.67
Subbasin-7	남계천	7.97	2.81	2.84	3.93
Subbasin-8	장암천	4.21	3.05	0.98	4.38
Subbasin-9	미평천	19.19	6.35	5.25	10.74
Subbasin-10	무심천(본)	58.30	18.98	14.30	31.51

대상유역의 단기 수문자료는 1990년대, 2000년대의 시 단위의 강우량 및 유량 자료를 바탕으로 각각 10개의 단기 홍수 수문사상을 선정하였다. 강우량은 무심천유역에 위치한 청주 기상관측소의 자료를 바탕으로 단일 강우사상을 중심으로 선정하였고, 이에 대한 유출자료는 국가수자원관리종합정보시스템의 청주 수위관측소 자료를 활용하여 홍수 수문사상을 선정하였다. 단기 홍수 수문사상은 강우사상과 홍수사상이 하나의 첨두치를 갖는 사상을 우선적으로 고려하였다. 선정된 홍수수문사상의 기간은 <표 3>과 같다. <그림 2>는 2000년대 사상10(2007.09.16.-2007.09.18.)의 단기 홍수 수문자료의 예이다.

<표 3> 청주 무심천유역의 단기 홍수 사상

Events	1990's		2000's	
	Start date	End date	Start date	End date
1	1995-08-20	1995-08-22	2002-09-01	2002-09-06
2	1996-07-21	1996-07-22	2003-08-19	2003-08-20
3	1997-06-25	1997-06-26	2004-07-16	2004-07-16
4	1997-07-01	1997-07-02	2005-07-02	2005-07-03
5	1998-07-14	1998-07-16	2005-07-07	2005-07-08
6	1998-08-06	1998-08-07	2005-07-09	2005-07-11
7	1998-08-09	1998-08-10	2005-08-11	2005-08-13
8	1999-06-16	1999-06-17	2005-07-16	2006-07-17
9	1999-06-23	1999-06-24	2007-09-14	2007-09-16
10	1999-09-10	1999-09-11	2007-09-16	2007-09-18



〈그림 2〉 무심천유역(Event 10)의 단기 수문자료(강우량, 유량, 온도)

3. 무심천유역의 수문모형

1) 유역 모형(FARD, HEC-HMS)

1990년대 및 2000년대의 유역 유출 모형으로 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System)를 각 연대의 주요 홍수사상(10개)으로 검정하여 구축하였으며, 토지이용 변화 등은 1997년 및 2007년의 정밀토양도(1/25,000)를 바탕으로 SCS-CN 방법으로 분석하였다. 유역의 유출특성을 평가할 강우량은 1967~2012년까지의 연최대 강우량을 바탕으로 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 활용하여 빈도별 강우량 100, 200, 500년을 적용하였다. 유역의 홍수량 산정 및 강우-유출 모형의 적용은 설계홍수량 산정요령(2012, 국토해양부)을 따라 수행하였다.

(1) HEC-HMS모형

HEC-HMS는 미 육군 공병단 수문공학연구소에서 개발된 모형으로 유역유출 수문특성을 분석하는 모형이다. 강우로 인한 대상 유역의 지표면 유출을 분석하기 위해 강우-유출현상의 수리·수문학적 과정을 관련지어 유역의 응답을 나타내도록 설계된 단일 사상(Single Event)의 유출모형이다. 각 수리, 수문학적 과정은 일반적으로 소유역이라 불리는 유역 일부분에서의 강우-유출과정을 모형화하며, 각 과정은 지표면유출, 하도유출, 저수지유출 등을 모의하게 된다. HEC-HMS모형 내에서 자료구축 및 홍수량산정을 위해서 중요한 세 가지 모듈이 필요하며, 이는 수문요소들의 자료와 연결 구조를 포함하는 Basin Model, 기상학적인 자료를 처리하는 Meteorologic Model, 자료의 모의를 위하여 시간과 관련된 설정을 하는 Control Specifications가 있다. HEC-HMS이용한 홍수량의 산정은 국내외에서 폭 넓게 이루어지고 있다(국토해양부, 2012).

(2) FARD (Frequency Analysis of Rainfall Data)

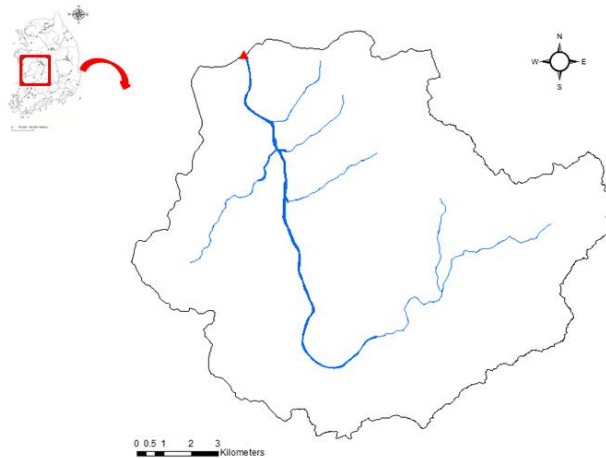
한국 국립방재연구원에서 개발한 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)는 설계확률강우량을

위한 빈도 해석 및 산정 프로그램으로 폭넓게 적용되고 있다. 이는 지점의 지속시간별 연 최대치 수문자료를 이용하여 특정 재현기간에 해당하는 확률수문량을 산정하는 작업을 수행하며, 이는 예측할 수 없는 크기의 수문사상에 대해 계획·설계되며 수문학적 분석을 통해 어떤 특정 초과확률에 대응하는 수문량을 추정하여 수자원 시스템 설계에 반영하였다.

2) 유역모형의 구축

(1) 유역유출 모형 (HEC-HMS)의 모형의 구축

본 연구의 연구대상인 청주 무심천 유역을 대상으로 1990년대 및 2000년대의 실측된 강우-유출 사상을 바탕으로 HEC-HMS모형을 검정하였다. 연구 유역의 개략도는 <그림 3>과 같다. 개별 소유역에 적용한 유역모형으로는 Clark단위도 방법과 유역유출을 연결한 하도구간에서는 Muskingum방법을 적용하였다. Clark단위도법의 매개변수는 저류상수(R)와 도달시간(Tc)이다. 저류상수는 유효우량이 유역 출구로 빠져 나가기 전에 유역에 일시 저류되는 능력을 시간의 단위로 표현한 것으로 유출에 영향을 주는 변수이며, 도달시간은 유역의 최원점에서 내린 강우가 유역의 출구에 집중하는데 소요되는 시간이다. Muskingum방법의 매개변수는 Muskingum-K이다.



<그림 3> 연구유역 청주 개략도

무심천 유역의 최적화 모형을 구축하기 위하여 각 년대별 10개의 관측 홍수 수문사상을 바탕으로 모형매개변수(Tc, R, Muskingum-K)의 검정을 수행하였다. 목적함수는 Peak weighted Root Mean Square Error(PRMSE)를 적용하였으며, 다음 <식 1>과 같다.

$$PRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o(t) - Q_s(t))^2 \cdot \frac{Q_o(t) - Q_s(t)}{2Q_a}}{n}} \quad \text{<식 1>}$$

여기서, $Q_o(t)$ 는 시간 t 에서 관측된 유량자료, $Q_s(t)$ 는 시간 t에서 계산된 유량값이다. Q_a 는 평균 관측유량이며, i는 수문곡선 종거의 개수, n은 목적함수를 계산하기 위해 사용되는 종거의 총 수 이다. 식에서 $\frac{Q_o(t) + Q_A}{2Q_a}$ 는 고유량과 관련된 유량편차에 더 많은 가중치를 주기위한 가중함수이다.

<표 6>과 <표 7>은 각각 1990년대와 2000년대 각각의 홍수 수문 사상에 대한 모형을 검정한 결과이다. 모형의 PRMSE 모의 성능은 1990년대와 2000년대의 사상에서 유사하게 나타나고 있다. 1990년대의 경우 1개의 홍수사상(E3)에서 모형은 매우 큰 오차(100-PRMSE 이상)를 나타내고 있다. 큰 오차를 나타낸 모형 검정 결과는 구축된 모형이 수문자료의 오차이거나, 모형의 검정이 유역의 특성을 반영하지 못한 것으로 판단되어, 수문곡선 모의에서 제외하였다.

<표 6> 1990년대의 청주 무심천 유역의 검정(목적함수-PRMSE) 결과

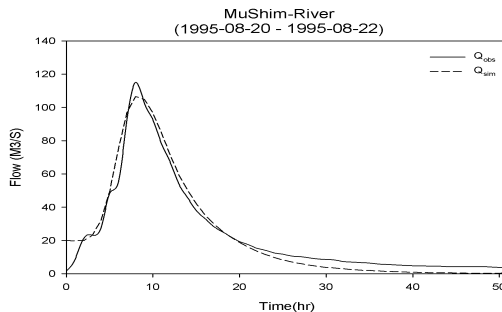
1990년대의 홍수사상										
홍수 사상	E1	E2	E3*	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
PRMSE (M3/S)	6.24	39.36	158.12	0.03	13.93	12.50	8.39	52.75	18.46	0.03

※ 100-PRMSE 이상은 검정에서 제외함

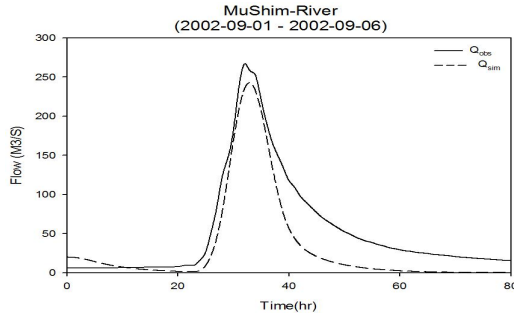
<표 7> 2000년대의 청주 무심천 유역의 검정(목적함수-PRMSE) 결과

2000년대의 홍수사상										
홍수사상	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
PRMSE(M3/S)	27.9	15.75	35.49	30.59	30.13	12.47	11.81	23.02	42.69	14.22

<그림 4>는 1990년대 및 2000년대 홍수수문곡선 모의 결과를 나타낸다. 1990년대 홍수사상1(1995년 8월 20일, PRMSE=6.24)은 침투홍수량이 -8.66m³/s 과소 산정되었으나 침투홍수량 발생시간 및 전체적인 모의수문곡선(점선)의 양상이 관측수문곡선(실선)과 유사하게 나타난다. 2000년대의 홍수사상 1(2002년 9월 1일, PRMSE=27.9)은 침투홍수량이 -23.8m³/s 과소 산정, 침투홍수량 발생시간이 1시간이 지체되는 경향을 나타내고 있다. 개별 홍수수문곡선의 모의 결과는 <그림4>와 유사하며, 고유량, 저유량 부분에서 모두 우수한 성능을 나타낸 검정 매개변수는 확인할 수 없다.



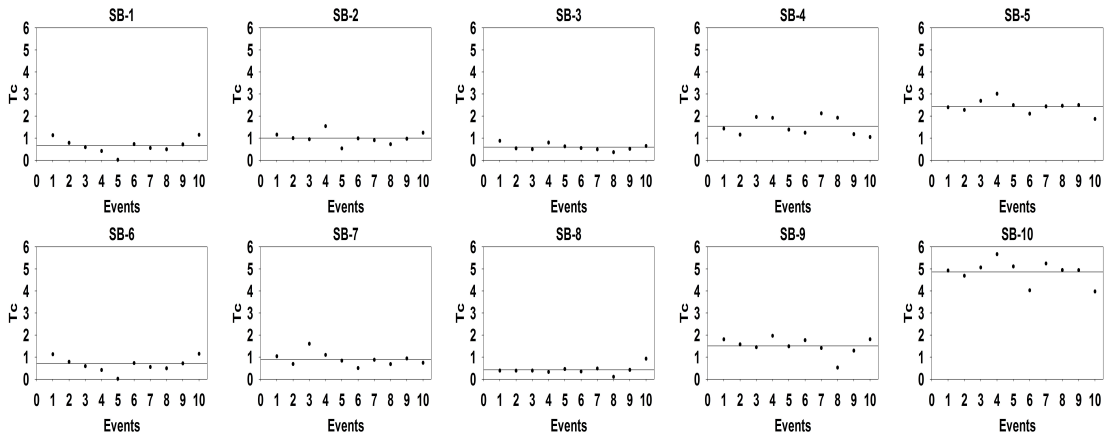
a) 1990년대의 검정 홍수사상 Event 1(1995년 8월 20일)의 수문모의 곡선 (PRMSE = 6.24)



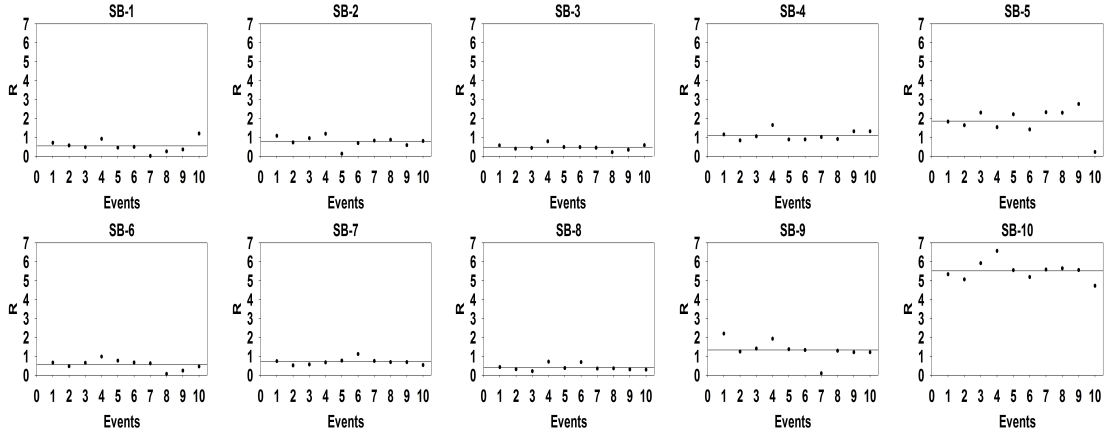
b) 2000년대의 검정 홍수사상 Event 1(2002년 9월 1일)의 수문모의 곡선 (PRMSE = 27.9)

<그림 4> 청주 무심천의1990년대 및 2000년대 검정 모의수문곡선

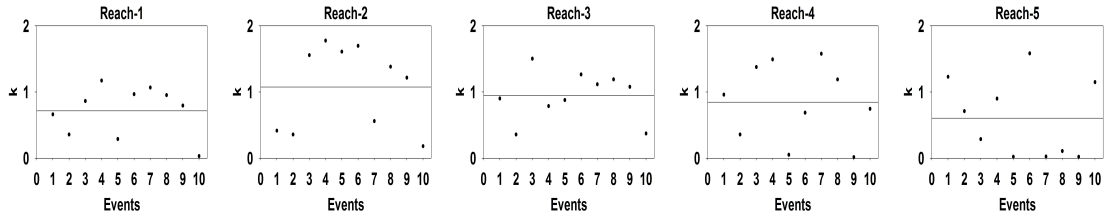
<그림 5>는 1990년대의 소유역(Clark 단위도법) 및 하천구간 (Muskingum방법)의 검정매개변수의 분포를 나타낸다. 1990년대의 검정 매개변수는 개별 홍수 사상에 대하여 크게 영향 받지 않는 것으로 보여지고, 대체적으로 유사한 형태를 보이고 있다. 그러나 <그림 5>의 a)의소유역 10 (Sub-10)은 다른 값들에 비하여 큰 도달 시간의 분포 (1990년대-평균 5.45)를 보이고 있으나, 이는 넓은 유역 면적 (Sub-10=58.3km², 다른 소유역 (최소 6km² - 최대 28.3km²))때문인 것으로 보이며 이는 2000년대의 결과도 유사하다.



a) Clark 방법의 도달시간(Tc)

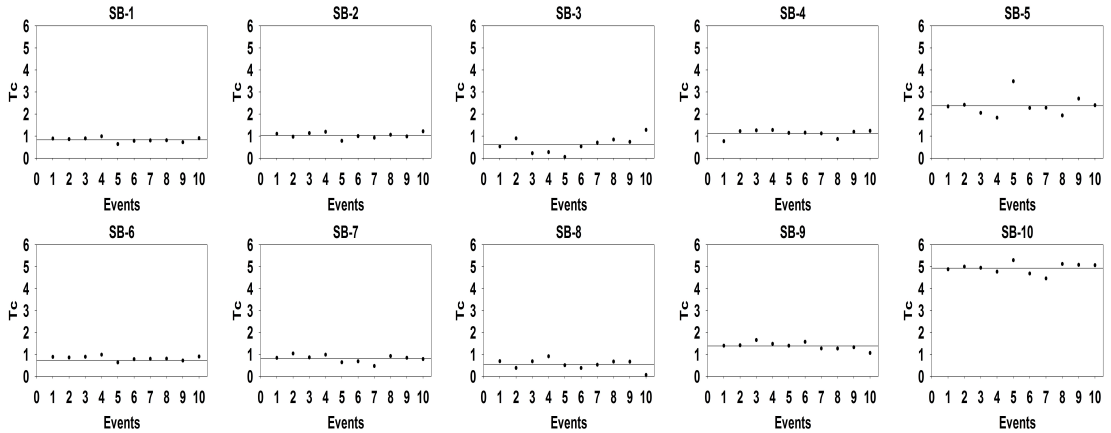


b) Clark 방법의 저류상수(R)

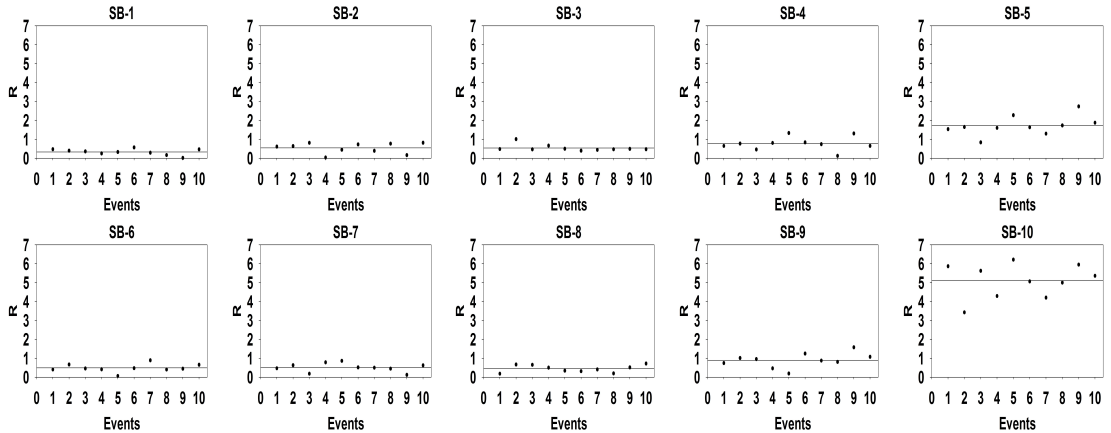


c) Muskingum 방법의 저류 상수(K) 매개변수

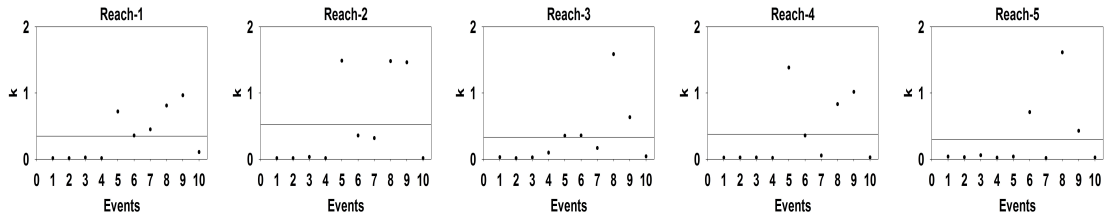
<그림 5> 1990년대 청주 무심천 소유역 / 하천구간의 검정 매개변수의 분포



a) Clark 방법의 도달시간(Tc)



b) Clark 방법의 저류상수(R)



c) Muskingum 방법의 저류 상수(K) 매개변수

<그림 6> 2000년대 청주 무심천 소유역 / 하천구간의 검정 매개변수의 분포

Muskingum-K 변수는 비교적로 개별 홍수사상에 대하여 차이를 많이 보이고 있으며, <그림 5> 및 <그림 6>과 같이 1990년대의 c)의 하도구간 2, 4, 5(Reach-2, 4, 5)의 경우와 2000년대의 c) 하도 구간 2, 3(Reach-2, 3)의 경우에서와 같이 개별 홍수사상에 대하여 평균값과의 차이가 큰 값의 분포를 보여주고 있다. 이는 모형의 검정 과정에서 침투홍수량에 중점을 둔 목적함수의 사용으로 하도 구간의 매개변수가 가장 민감하게 반응한 것으로 판단된다. 다음 <표 8>과 <표 9>는 각각 1990년대와 2000년대의 소유역 별 검정매개변수 값 중 특이치를 제외한 평균값을 나타낸다.

<표 8> 1990년대의 청주 무심천 소유역의 검정 매개변수의 평균값

a) 소유역별 검정매개변수의 평균

구분	sub-1	sub-2	sub-3	sub-4	sub-5	sub-6	sub-7	sub-8	sub-9	sub-10
Tc	0.60	0.89	0.68	1.53	2.46	0.69	0.93	0.44	1.50	5.06
Sc	0.38	0.65	0.46	1.09	2.28	0.58	0.74	0.37	1.22	5.51

b) 하도 구간별 검정 매개변수의 평균

구분	reach-1	reach-2	reach-3	reach-4	reach-5
K평균	0.70	0.95	0.99	0.65	0.32

<표 9> 2000년대의 청주 무심천 소유역의 검정 매개변수의 평균값

a) 소유역별 검정매개변수의 평균

구분	sub-1	sub-2	sub-3	sub-4	sub-5	sub-6	sub-7	sub-8	sub-9	sub-10
Tc	0.81	1.00	0.65	1.20	2.56	0.85	0.78	0.48	1.36	4.98
Sc	0.31	0.54	0.56	0.88	1.78	0.53	0.49	0.55	0.95	5.13

b) 하도 구간별 검정 매개변수의 평균

구분	reach-1	reach-2	reach-3	reach-4	reach-5
K평균	0.38	0.56	0.21	0.42	0.10

1990년대에 비하여 2000년대의 유역별 매개변수(소유역의 도달 시간과 저류 시간)는 증감이 발생하고 있으나, 하도 구간의 매개변수가 전 구간에 걸쳐 감소함을 확인할 수 있다. 소유역 1, 2, 5, 6 및 8에서는 도달 시간은 증가하고, 저류 시간은 감소하는 결과를 나타내고 있다. 이는 모형의 검정 과정에서 매개변수들의 상호 작용에 의한 결과로 매개변수를 개별적으로 분석하기 보다는 이를 하나의 세트로 평가하여야 함을 나타내고 있다. 본 연구에서는 이러한 개별 홍수 사상에 대한 모형의 검정 결과를 최대한 활용하기 위하여, 개별 검정 매개변수의 세트를 모두 모의에 적용하였다.

소유역 9(미평천 유역)는 산남택지 개발 등 도시화가 급격히 이루어진 유역이다. 특히 분평동 및 산남동 일대의 개발 사업이 1990년부터 시작되어 2006년대에 완료된 대규모 택지 개발 사업(면적 1,096,676m², 사업비 2,301억원)이 진행되었다. 이 유역은 1990년대 대비 2000년대의 도시화 비율이 5.25%에서 10.74%로 증가 되었으며, 이는 1990년대에 비하여 2000년대의 검정된 도달 시간 및 저류 매개변수들이 모두 감소하는 것을 보여주고 있다. 이러한 결과는 유역의 논, 밭, 산림 등이 감소함에 따라서 유역의 토지피복도 변화에 따른 유출특성을 반영하고 있다고 판단된다.

(2) 유역의 설계강우량 모형의 구축

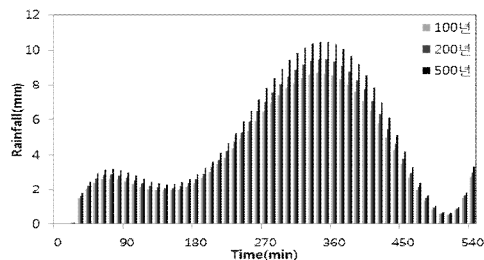
무심천-청주 유역의 발생 가능한 빈도별 확률강우량 산정을 위하여 국립방재연구소에서 개발한 국내에서 빈도해석에 널리 사용되고 있는 FARD (Frequency Analysis of Rainfall Data)모형을 활용하였다. 본 모형은 입력 강우자료를 구축하여 예비해석, 확률분포형적용, 매개변수추정, 매개변수 적합성 검토, 적합도검정, 최적분포형선정 등의 과정을 통해 빈도별 확률강우량을 산정한다. 입력 강우자료 구축시에는 분석 하고자 하는 대상 유역이 속한 우량 관측소의 현황과 관측소가 보유하고 있는 강우자료의 보유기간을 파악하여 기초를 마련하며, 정확한 데이터 분석을 위하여 가장 최근까지의 강우자료를 획득하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 유역내 위치한 청주 관측소의 자료를 활용하였다.

본 연구에서는 국토해양부(2012)에 따라 매개변수 추정 방법 중 확률가중 모멘트법을 적용하였다. 확률 가중 모멘트법에 의해 추정된 분포형 중 Gumbel분포형과 GEV분포형이 적합도 검정 결과 우세하게 나타났으나, 설계홍수량 산정요령(2012)에서 제시되어 있는 Gumbel분포를 선정하였다. <표 10>은 Gumbel분포형을 적용하여 산정된 각 지속시간별 재현기간에 따른 빈도별 확률 강우량을 나타낸다.

확률강우량의 시간분포형은 기존의 설계강우량산정에 적용되고 있는 Huff의 분위법(3분위법)을 적용하였다(국토해양부,2012). 강우의 임계지속 시간은 12시간을 적용하였으며, 설계강우 주상도는 <그림 8>과 같다.

<표 10> 무심천 -청주 지역의 지속시간별 재현기간에 따른 빈도별 확률강우량

빈도	지속시간 (hr)					
	1	3	6	9	12	24
100년	86.9	121.4	167.65	193.82	236.80	258.50
200년	98.7	132.16	182.54	210.26	258.40	282.20
500년	104.2	145.84	201.26	229.89	286.8	313.4



<그림 8> 청주-무심천 지역의 설계강우 주상도 (100,200, 500년 빈도)

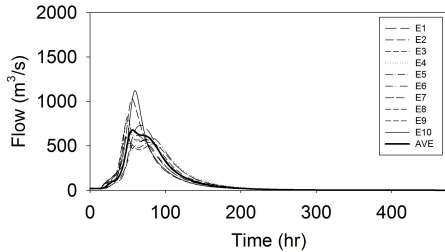
IV. 홍수 유출특성의 분석

1. 1990년대 및 2000년대의 유출특성분석

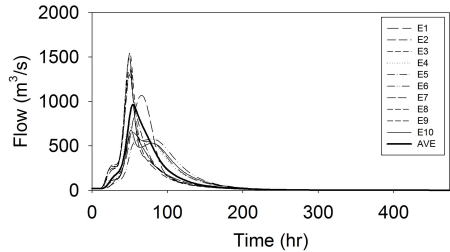
1990년대 및 2000년대의 홍수 사상으로 검정한 HEC-HMS유역 모형 및 매개변수들을 모두 적용하여 홍수 유출특성을 설계강우량(100년, 200년 및 500년 빈도의 확률강우량)에 대한 유출수문곡선으로 분석하였다. 하나의 최적 매개변수를 선정하는 대신, 개별 검정 홍수사상의 특성을 모두 반영하기 위하여 검정 과정에서 일정수준 이상의 성능을 보인(PRMSE- 100이하) 1990년대의 7개의모형과 2000년대의 8개의 모형을 모두 적용하였다. 아래의 <그림 9>, <그림 10>은 1990년대, 2000년대 빈도별 설계홍수량을 나타내었다.

<그림 9>의 점선은 모든 모의 수문곡선을 나타내며, 실선의 수문곡선은 검정된 매개변수의 평균을 적용한 수문곡선이다. 청주 무심천유역의 개발(1990년대-2000년대)에 따른 유출특성의 변화는 <그림 9>와 같이 첨두홍수량의 증가 및 첨두홍수량 발생시간의 감소를 야기한다. 빈도별 유출특성변화는 100년 빈도(첨두홍수량: 917.8m³/s(1990년대)→1,105.3m³/s(2000년대), 첨두홍수량 발생시간: 8:50(1990년대)→7:00(2000년대)), 200년 빈도(첨두홍수량: 1,030.7m³/s(1990년대)→1,236.2m³/s(2000년대), 첨두홍수량 발생시간: 8:50(1990년대)→7:00(2000년대)) 그리고 500년 빈도(첨두홍수량: 1180.6m³/s(1990년대)→

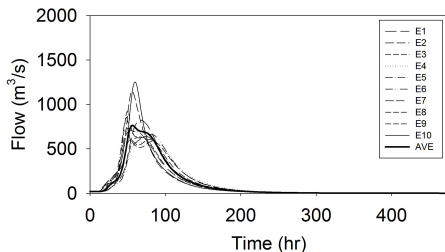
1409.4m³/s(2000년대), 침투홍수량 발생시간: 8:50(1990년대)→7:00(2000년대))로 나타났으며, 이러한 경향은 고위험의 설계강우량(200년 빈도 및 500년 빈도)에서 두드러지게 나타났다.



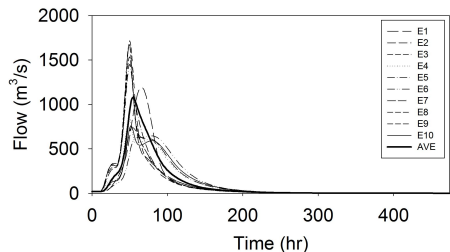
a) 100년 빈도-설계홍수량



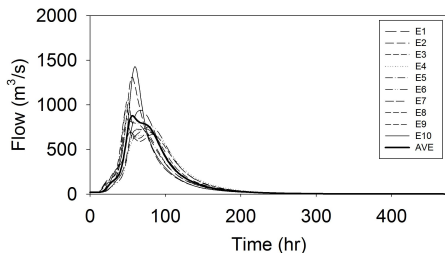
a) 100년 빈도-설계홍수량



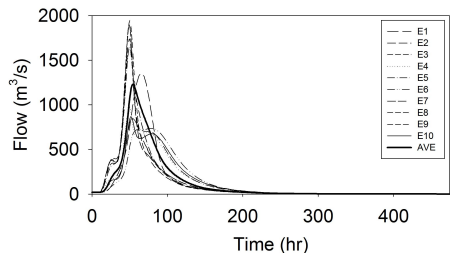
b) 200년 빈도-설계홍수량



b) 200년 빈도-설계홍수량



c) 500년 빈도-설계홍수량



c) 500년 빈도-설계홍수량

<그림 9> 청주 무심천의 1990년대 빈도별 수문 모의 곡선 <그림 10> 청주 무심천의 2000년대 빈도별 수문 모의 곡선

1990년대의 모의에서는 2000년대의 모의 결과에 비하여 상대적으로 유량 변동의 폭이 작다. 이는 <그림 5>, <그림 6>에서 보여준 바와 같이 개별 사상에 대한 검정 매개변수의 분포가 2000년대에 비하여 상대적으로 조밀함에 기인한다. <그림 10>의 2000년대의 수문모의 곡선은 <그림 9>의 1990년대에 비하여 침투홍수량의 크기와 발생 시간이 다양하게 분포하고 있다. 이는 유역의 개별적인 홍수사상의 특성과 검정 과정의 불확실성을 반영한 것으로 추정할 수 있다. 또한 매개변수의 평균을 적용한 모의 수문곡선은 일반적인 수문 모의 특성을 반영하고 있으나, 향후 발생할 수 있는 홍수사상(최대의 침투홍수량 등)을 충분히 반영할 수 없는 문제점을 나타내고 있다. 따라서 향후 유역의 개발된 미래의 유출특성을 분석할 경우, 활용가능한 모든 모형을 적용하여 발생 가능한 불확실성을 반영함이 바람직하다.

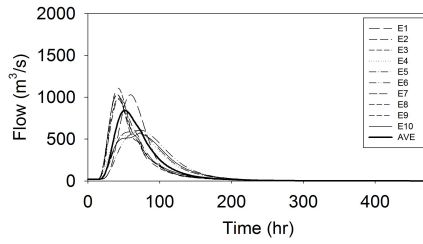
현재 2018년을 목표로 계획 중인 청주시 동남지구 개발에 따른 유출량의 변화를 2000년대의 검정된

모형(모형매개변수)을 바탕으로 빈도별 설계강우량을 적용하여 분석하였다. 이를 위하여 개발 계획에 따른 토지이용 변화를 정밀토지이용도를 이용하여 산정하였다. 농경지는 1.69km²(1.03%), 임야는 0.24km²(0.24%) 감소하였으며, 시가화 지역은 1.36km²(1.3%) 증가하였다. 토지 이용별 면적은 <표 11>, 2018년 빈도별 수문 모의곡선은 <그림 11>과 같다.

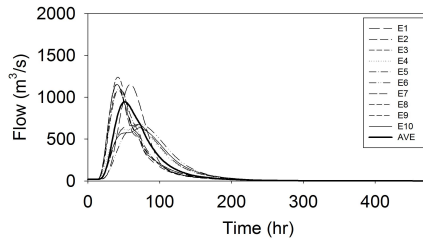
<표 11> 2018년 청주 토지이용 변화 (토지이용도 1:25000, 1995, 2007)

구분	지 목	면 적(%)		
		1995	2007년	2018년
청주	수 역	1.25	1.25	1.25
	시가화	8.51	13.82	14.63
	나 지	1.79	2.33	2.32
	습 지	0.07	0.75	0.75
	초 지	2.01	3.83	3.83
	산 림	56.28	38.32	38.18
	논	20.20	16.13	15.75
	밭	9.88	9.76	9.50
	계		100	

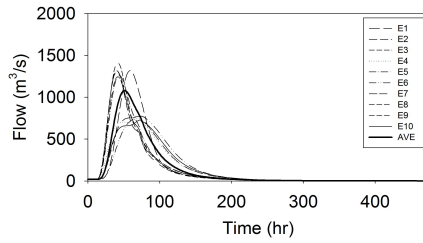
<그림 11>에서 보여주는 바와 같이 2018년 동남 지구의 개발후 청주 무심천 유역의 수문곡선(예측 구간)은 2000년대의 수문곡선보다 첨두홍수량이 최대 0.44% 증가하였고, 첨두홍수량의 발생시간은 일정한 경향을 나타내고 있다. 이는 청주-무심천 유역의 도시화(도시화 비율 증가 (SB-1: 1.58%, SB-2: 1.38%) 2007~2018)로 인한 영향으로 유출특성의 변화로 분석된다. 그러나 도시화에 의한 영향은 1990년대에 비하여 상대적으로 작다고 판단된다.



a) 100년 빈도-설계홍수량



b) 200년 빈도-설계홍수량



c) 500년 빈도-설계홍수량

<그림 11> 2018년 빈도별 수문 모의 곡선

청주-무심천 지역의 토지이용도 변화에 따른 홍수위 변화를 검토하기 위하여 각 빈도별 홍수량을 산정하였으며 결과는 <표 12>와 같다. 각 빈도별 최대 및 최소 침투유출량은 100년 빈도 최대 홍수량 : 1108.1m³/s, 200년 빈도 최대 홍수량 : 1239.0m³/s, 500년 빈도 최대 홍수량은 1412.2m³/s이다.

<표 12> 빈도별 설계홍수량

년 대		빈도별 설계홍수량					
		100년		200년		500년	
		첨두 홍수량 (M3/S)	첨두 홍수량 발생시간 (hour)	첨두 홍수량 (M3/S)	첨두 홍수량 발생시간 (hour)	첨두 홍수량 (M3/S)	첨두 홍수량 발생시간 (hour)
1990's	Max	917.8	08:50	1030.7	08:50	1180.6	08:50
	Average	669.5	-	751.9	-	861.6	-
	Min	555.8	12:10	624.0	12:10	714.8	12:10
2000's	Max	1105.3	07:00	1236.2	07:00	1409.4	07:00
	Average	850.4	-	951.4	-	1085.3	-
	Min	569.5	12:00	636.9	12:00	726.2	12:00
2018	Max	1108.1	07:00	1239.0	07:00	1412.2	07:00
	Average	852.0	-	953.1	-	1087.0	-
	Min	570.0	12:00	637.3	12:00	726.6	12:00

본 연구에서는 HEC-HMS, FARD를 이용하여 토지이용변화에 따른 유출특성 분석을 하였다. 1990년, 2007년 토지이용도에 따른 무심천 유역의 토지이용특성의 변화를 반영하여 유역 수문모형을 1990년대 2000년대의 관측 수문사상을 바탕으로 구축하고, 구축된 모형에 유역의 100년, 200년 및 500년 빈도 설계 강우량을 적용하여 유역의 유출특성을 분석하였다. 1990년과 2007년의 정밀토지이용도를 이용하여 면적을 비교한 결과 농경지의 면적이 5.14km²(2.18%), 산지의 면적이 30.34km²(8.88%) 감소하였으며, 도시화 된 지역의 면적은 8.98km² (5.86%) 증가되었다. 또한 구축된 모형에 100년, 200년 및 500년 빈도의 설계강우량을 적용하여 유출특성의 변화를 분석한 결과 1990년 대비 2000년대의 첨두홍수량과 발생시간은 각각 100년 빈도:2.5~20.4%증가, 1.4~26.2%감소, 200년 빈도:2.1~19.9%증가, 1.4~26.2%감소, 500년 빈도:1.6~19.4%증가, 1.4~26.2%감소한 경향을 나타냈다. 2018년 청주 동남지역의 택지 개발에 따른 유출특성의 분석 결과 2000년 대비 첨두홍수량은 100년 빈도:0.19~0.25%, 200년 빈도:0.18~0.23%, 500년 빈도:0.16~0.20%증가, 첨두홍수량의 발생시간은 일정한 것을 확인하였다.

VI. 결론

본 연구에서는 청주 무심천 유역을 대상으로 1990년, 2000년대의 정밀토지이용도(1/25,000)를 바탕으로 토지이용변화에 대한 고찰과 이를 반영한 유역 수문모형(HEC-HMS, FARD)을 통하여 홍수량 설계빈도(100년, 200년 및 500년 재현주기)별 홍수 유출특성을 평가하였다.

(1) 1995년과 2007년의 정밀토지이용도를 이용하여 면적을 비교한 결과 농경지 면적이 5.14km² (2.18%), 임야 면적이 30.34km²(8.88%) 감소하였으며, 도시화 지역의 면적은 8.98km²(5.86%) 증가되었음을 확인하였다.

(2) 청주-무심천 지역의 1990년대와 2000년대 관측 홍수사상으로 바탕으로 강우-유출 모형(HEC-HMS)을 검정하여 빈도별 설계강우량을 적용하였다. 이에 따른 유출특성 변화를 분석한 결과 1990년대 대비 2000년대의 첨두홍수량과 발생시간은 각각 100년 빈도: 최대 20.4%증가, 최대 26.2%감소, 200년 빈도: 최대 19.9%증가, 최대 26.2%감소, 500년 빈도: 최대 19.4%증가, 최대 26.2% 감소하는 경향을 나타내고 있다.

(3) 2018년 청주 동남지역의 택지개발에 따른 유출특성의 분석결과 2000년 대비 첨두홍수량은 100년 빈도 0.19~0.25%, 200년 빈도 0.18~0.23%, 500년빈도 0.16~0.20% 증가하는 것으로 확인할 수 있었으며, 첨두홍수량의 발생시간은 미세하게 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 최적의 모형 및 매개변수 적용이 아닌, 다수의 검정된 모형을 적용하여 유량예측의 구간을 제시하여 불확실성을 저감하고자 하였다. 향후 다양한 불확실성 요소를 고려하여 신뢰할 수 있는 유량 예측 구간의 제시가 필요하다.

참고문헌

- 강성준, 박영기. 2011. 미계측유역에 대한 TOPMODEL의 적용성 평가. 한국산학기술학회논문지. 12(3): 1458-1464
- 고아라. 2012. 금강 상류 중소 규모 유역을 대상으로 한 대표 유역 특성인자와 홍수지표의 관계식 도출. 석사학위논문. 충북대학교.
- 국토교통부. 2010. 무심천 하천정비 기본계획.
- 국토교통부. 2012. 설계홍수량 산정요령.
- 김성준, 박근애, 전무갑. 2005. 토지이용의 변화가 홍수유출에 미치는 영향분석. 한국수자원학회논문집. 38(4): 301-311.
- 박정규, 박영기. 2008. 도시화의 영향에 따른 유출변화특성에 관한 연구. 환경관리학회지. 14(1): 9-16.
- 이미선, 박근애, 권형중, 김성준. 2005. 농촌유역의 도시화 진전에 따른 수문환경 변화. 한국농촌계획학회. 11(1): 17-24.
- 이재남, 노재경. 2009. HyGIS-TOPMODEL의 천천유역 적용. 한국수자원학회논문집.: 1033-1037.
- 이종형. 2004. HEC-HMS를 활용한 무심천 유역내 도시화에 의한 유출 특성. 한국농공학회논문집 46(3): 43-56.
- 이현아. 2012. 토지이용 변화에 따른 유출특성 변화 - 왕숙천 유역을 사례로. 석사학위논문. 서울대학교.
- 최정화, 이정주. 2009. 조경천 유역의 도시화에 따른 유출 변화 추이 분석. 한국습지학회지. 11(3):

- 161-169.
- 최현구. 2012. 자료기반 해석과 물리적 모형을 연계한 실시간 하천수질예측 시스템 구축. 박사학위논문. 경북대학교.
- 최호훈, 이효상. 2012. 미호천 유역의 지역화 연구를 위한 개념적 강우유출모형의 평가. 한국방재학회 논문집. 12(1): 193-203.
- 한국회, 이길춘. 1996. 도시화 유역에서의 홍수 유출 특성. 한국수자원학회논문집. 29(3): 153-161.
- Beven, K. 2001. *Rainfall-Runoff Modelling The Primer*. John Wiley & Sons Inc.
- Beven, K. 2012. *Rainfall-Runoff Modelling The Primer*. Second Edition. John Wiley & Sons Inc.
- Carpenter, T. M., Georgakakos, K. P. 2004. Impacts of parametric and radar rainfall uncertainty on the ensemble streamflow simulations of a distributed hydrologic model. *Journal of hydrology*. 298(1-4): 202-221.
- Du, Jinkang., Li. Qian, Rui Hanyi, Zuo Tianhui, Zheng Dapeng, Xu Youpeng, and Xu C.-Y. 2012. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. *Journal of Hydrology*. 464-465: 127-139.
- Fox, Dennis M., Witz Emmanuelle., Blanc Violaine., Soulie Cecile., Penalver-Navarro Marc., and Dervieux Alain. 2012. A case study of land cover change(1950-2003) and runoff in a Mediterranean catchment. *Applied Geography*. 32(2): 810-821.
- Lee, H. S. & Y. I. Moon. 2007. Analysis and Development of Conceptual Rainfall-Runoff Model Structures for Regionalisation Purposes. *KSCE journal of civil engineering*. 11(1): 57-64.
- Institute of Hydrology. 1999. *Flood Estimation Handbook. 3 volumes and associated software*. Institute of Hydrology.
- Kjeldsen, T. 2009. Flood Estimation Handbook: Supplementary Report No.1. Centre for Ecology & Hydrology.
- Moore, R. 1985. The probability-distributed principle and runoff prediction at point and basin scales. *Hydrological Sciences Bulletin*. 30(2): 273-297.
- Moradkhani H., S. Sorooshian, H V. Gupta, and P. R. Houser. 2005. Dual state parameter estimation of hydrological models using ensemble Kalman filter. *Advances in Water Resources*. 28(2). 135-147.
- Muhammad, Ali, Sher Jamal Khan, Irfan Aslam, and Zahiruddin Khan. 2011. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan Original Research Article. *Landscape and Urban Planning*. 102(4): 271-279.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. I. A

- discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.
- Pei-Jun Shi, Yi Yuan, Jing Zheng, Jing-Ai Wang, Yi Ge, and Guo-Yu Qiu. 2007. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region. *China Original Research Article. CATENA*. 69(1): 31-35.
- Renata Chmelova, Borivoj Sarapatka, and Premysl Pavka. 2006. Effects of land use changes on surface runoff. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 6(1-4): 97-103.
- Shaw, E. 1994. *Hydrology in practice*. third Edition. London: Chapman and Hall.
- Wagener, T. and M. Lees. 2001b. Monte Carlo Analysis Toolbox user manual. *Civil and Environmental Engineering Department*. London: Imperial College Press.
- Wagener, T., H. S. Wheater, & H. V. Gupta. 2004. *Rainfall-Runoff modelling in gauged and ungauged catchments*. London: Imperial College Press.

장형준: 충북대학교 대학원에서 석사(논문 : 개념적 강우유출모형(ReFH)의 단기 홍수사상 적용성 평가 - 증평 및 Jalovecky 유역)를 취득하였고, 동대학원에서 박사과정을 재학 중이며, 강우유출모형의 적용 및 설계홍수량 산정에 관하여 연구중에 있다.(param79@chungbuk.ac.kr)

이효상: 충북대학교 토목공학부에 교수로 재직 중이며 영국의 Imperial College London UK에서 박사학위(논문: Regionalisation of Rainfall-Runoff Models in the UK, 2006)를 취득하였다. 주요 연구 분야는 강우-유출모형의 계측 및 미계측 유역의 적용이며 주요 논문으로는 "강우자료의 불확실성을 고려한 강우 유출 모형의 적용(2009)", "미호천 유역의 지역화 연구를 위한 개념적 강우-유출 모형의 적용성 평가(2012)" 등이 있다.(hyosanglee@chungbuk.ac.kr)

조국희: 충북대학교 대학원에서 석사(논문: HEC-HMS 模型의 錦江流域 適用, 2001)를 취득하였고, 동대학원에서 박사과정을 진학중이다.(cooky051@nate.com)

이무경: 충북대학교 대학원에서 석사(논문: WMS 모형을 이용한 유역의 유출해석, 2004)를 취득하였고, 동대학원에서 박사과정을 수료하였다. 현재 경기도 이천시에 재직 중에 있다.(steelcivilg@korea.kr)