기후변화 및 토지이용변화 시나리오를 고려한 목감천 유역의 유출특성 분석

Runoff Analysis of Mokgam Watershed considering the Climate and Landuse Change Scenarios

홍원표*, 배용훈, 김문기***, 박종범******

Won Pyo Hong, Yong Hoon Bae, Mun Ki Kim, Jong Beum Park

요 지

유역통합관리 계획 수립시 하천의 현재 뿐만 아니라 미래에 대한 환경변화도 고려되어야 한다. 즉, 하천 유역에 발생될 미래의 강우량과 토지이용변화, 인구 증가 등도 종합적으로 고려하여 유역통합관리 계획을 마련하여야 한다. 본 연구에서는 미래의 환경변화를 고려한 유역통합관리 계획의 기초 연구로서, 미래의 기후변화 및 토지이용변화 시나리오에 따른 목감천 유역의 유출특성을 분석하였다. 즉, 목감천 유역의 장기유출모의를 2020년~2039년의 20년 동안의 수행하였다. 이때 기후변화 시나리오는 GCM의 A1B, A2를 사용하였고 토지이용변화 시나리오는 ICM의 3단계, 즉, 불투수면적이 변하지 않는 경우(Case 1), 1 단계 증가하는 경우(Case 2), 2단계 증가하는 경우(Case 3)를 고려하였다. 모의 결과를 살펴보면, A1B의 기후변화 시나리오를 이용하였을 경우 최대 유출량은 177m^3/s~ 190m^3/s이 발생되며, 토지이용변화에 따른 유출 증가율은 Case 1에서 Case 2으로 변할 경우 1.7%, Case 2에서 Case 3으로 변할 경우 5.3% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 A2의 기후변화 시나리오를 이용하였을 경우 최대 유출량은 167m^3/s ~ 173m^3/s이 발생되며, 토지이용변화에 따른 유출 증가율은 Case 1에서 Case 2으로 변할 경우 1.2%, Case 2에서 Case 3으로 변할 경우 2.3% 증가하는 것으로 나타났다.

핵심용어: 목감천 유역, 연속유출모의, PCSWMM, GCM, ICM

1. 서론

최근 유역통합관리의 실제 하천과 유역에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 유역통합관리는 유역과 하천의 관계가 서로가 서로의 원인이 되고, 또 결과가 되는 복합적 관계를 가지고 있다는 것을 인지하는 것에서 시작한다. 즉, 하천은 주변 유역의 도시화로 인한 불투수 유역 감소, 인구수 증가, 토지이용변화 등에 따라 영향을 받는 대상이며, 다시 하천의 유량, 유속, 수질, 수온 등의 물리·화학적 특성은 하천 주변의 생태환경 등에 영향을 주게 된다. 따라서 유역통합관리 계획 수립시에는 유역의 환경 변화를 정확히 반영할 수 있어야 한다.

우리나라의 최근 10년간(1998년~2007년)의 우기의 강우량은 그 이전의 우기 강우량에 비해 크게 증가한 것으로 나타났고(박창용 등, 2008), 국토개발종합계획에 따라 향후 국토의 토지이용변화가 계획되어 있다. 즉, 유역의 환경이 계속적으로 변화하고 있는 것이다. 따라서 효과적인 유역통합관리를 위해서는 하천의 현재 뿐만 아니라 미래에 대한 환경변화도 고려되어야 한다. 즉, 하천 유역에 발생될 미래의 강수량과 토지이용변화, 인구 증가 등도 종합적으로 고려하여 유역통합관리 계획를 마련하여야 한다.

* 정회원·대림산업 토목연구지원팀·E-mail: hwp@daelim.co.kr
** 정회원·대림산업 토목연구지원팀·E-mail: yhb@daelim.co.kr
*** 정회원·대림산업 토목연구지원팀·E-mail: mkkim@daelim.co.kr
**** 정회원·대림산업 토목연구지원팀·E-mail: jbpark@daelim.co.kr

본 연구에서는 미래의 기후변화 및 토지이용변화 시나리오에 따른 유역 유출특성을 분석하기 위하여 2020년~2039년의 20년 동안의 장기유출모의를 수행하여 목감천 유역의 유출특성을 분석하였다. 특히 CSOs를 고려하기 위하여 TRANSPORT Block의 flow divider를 사용하여 유역에서 발생하는 하수량의 3배까지 차집관거로 이송되고 그 외의 유량은 하천으로 유입되도록 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 PCSWMM

SWMM은 호우에 의한 유출량과 수질을 예측하기 위해 강우량 및 증발량과 같은 기상학적 입력자료, 소유역 내의 하천이나 하수관로와 같은 시스템 특성을 고려하여 실제 호우사상에 대한 유출량을 모의할 수 있는 강우-유출모형이며, 단일・연속강우에 의한 유출모의가 가능하다. 그리고 소(小) 배수유역에서 대(大) 배수유역까지 적용이 가능하며 최대 200개의 소유역 및 하도・관로를 구성할 수 있다. PCSWMM은 기존의 SWMM에 GUI(Graphical User Interface) 기능이 추가된 상용 모형이며, RUNOFF, TRANPORT, EXTRAN, STRAGE/TREATMENT, RAIN, TEMPERATURE, COMBINE, STATISTICS Block 등으로 구성된다.

2.2 대상유역 현황

목감천은 유역면적이 52.95 km^2, 유로연장 15.0 km인 안양천의 제1지류인 지방하천이다. 목감천의 중・상류지역의 대부분은 농경 또는 임야로 이용되고 있지만, 하류부에는 밀집된 시가지가 전체유역 면적의 약 35.2%인 18.66 km^2 을 형성하고 있다. 행정구역상으로는 중・상류지역의 좌안은 시흥시, 하류지역의 좌완은 서울시, 그리고 우안은 광명시에 속하고 있다. 또한 하류의 도시지역은 대부분 합류식 하수관거로 되어 있지만 상류 지역은 하수관거 시설이 설치되어 있지 않다. 안양천 유역내의 목감천 유역을 그림 1에 나타내었으며, 목감천 유역내의 행정구역을 그림 2에 나타내었다.

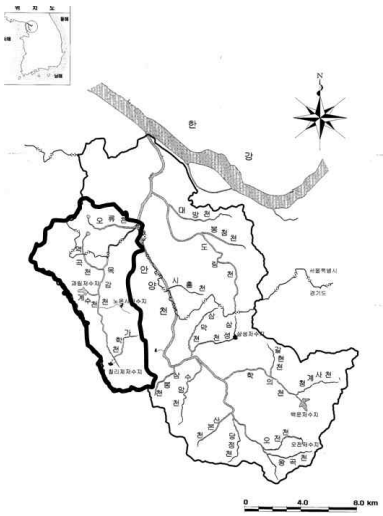


Fig. 1 Map of Mokgamcheon watershed in Anyangcheon

Fig. 2 Map of a administrative divisions in Anyangcheon

2.3 GCM

GCM(General Circulation Model)은 온실가스에 의한 지구의 기후시스템을 모의하기 위한 가장 효과적인 도구이다. GCM은 전 지구의 기후를 표현하기 위해 3차원 격자를 이용하고 있으며, 수평으로는 250km에서 600km의 해상도를 갖고 수직으로는 10개에서 20개의 층을 갖는다. GCM을 이용한 기후변화 연구는 1975년 이래, 컴퓨터 및 과학기술의 발달로, 대기, 해양, 지표와 더불어 에어로졸, 탄소의 순환, 대기화학과정 등의 기후 시스템

요소 대부분을 포함하는 접합대순환모형(Coupled General Circulation Model; CGCM)으로 발전하고 있다. GCM에서 사용하는 온실가스 배출 시나리오는 A1(A1C, A1G, A1B, A1T), A2, B1, B2가 있다.

2.4 불투수면 모형

미국의 유역보전센터(Center for Watershed Protection, CWP)에서 제시한 불투수면 모형(ICM; CWP, 2005)은 유역에 존재하는 불투수면(impervious area)과 하천 수지로가의 관계를 설명하는 모형으로 토지이용변화에 따른 하천의 영향 평가를 투수면적과 불투수면적으로 실시하는 모형이라고 할 수 있다. 본 연구에서 사용된 토지이용변화에 대한 시나리오는 총 세가지 경우로 현상태의 토지이용을 유지하는 것(Case Ⅰ)과 ICM의 하천 수질 영향 단계가 각각 한 단계 상승하는 경우(Case Ⅱ), 두 단계 상승하는 경우(Case Ⅲ)로 나누어 적용하였다. 각 단계별 변경되는 불투수면적 비율은 Table 2와 같다.

Table 1. Change of impervious area in accordance with CWP

No.	Change of impervious area		
Step 1	10%	$\rightarrow$	$C_i' = 10\%$
	$C_i < 25\%$	$\rightarrow$	$C_i' = 60\%$
	$C_i < 60\%$	$\rightarrow$	$C_i' = 60\%$
Step 2	$C_i < 10\%$	$\rightarrow$	$C_i' = 25\%$
	$C_i < 25\%$	$\rightarrow$	$C_i' = 60\%$
	$C_i < 60\%$	$\rightarrow$	$C_i' = 60\%$

※ C_i : 현재 상태의 불투수면적 비율, C_i' : 변화된 불투수면적 비율

3. 모형의 입력자료 구성

3.1 기후변화 시나리오

본 연구에서는 기후변화 시나리오 구성을 위하여 박경신 등(2009)의 연구결과를 이용하였다. 박경신 등(2009)은 전세계적으로 활발하게 사용되고 있는 CGCM(Canadian Global Coupled Model) 모형 결과와 A1B, A2 온실가스 배출시나리오를 선택한 후 다중회기분석을 기반으로한 통계학적축소기법 모형인 SDSM 모형을 이용하여 GCM 결과값을 축소하여 강우량 및 증발량 자료를 생성하였다. 강우-유출 분석을 위한 강우 및 증발량 자료는 2020년부터 2039년의 20년간 자료를 사용하였다.

3.2 지형자료 및 토지이용변화 시나리오

PCSWMM 모형 구성을 위하여 소유역폭, 면적, 하도길이, 경사(소유역, 하도) 등의 지형학적 요소들은 입력하여야 한다. 또한 도시 지역의 보다 정밀한 강우-유출해석을 위하여는 지형학적 요소들의 정밀한 측정이 필수적이며, 따라서 GIS기법을 이용하여 지형학적 요소들을 산정하였다.

목감천 유역의 특성인자를 추출해내기 위해 소유역 분할을 실시하였는데, 먼저 전체유역의 경계를 정한 후 지형도(1:5000)와 광명, 시흥, 서울시, 부천시의 하수관망도 및 행정구역도를 이용하여 배수구역 경계를 설정하였다(Fig. 1). 이 배수구역도로부터 관로형태와 설치 위치 등을 구성한 27개 소유역으로 분할하였고, 모형 입력값을 구축하기 위해 목감천 유역의 수치지형도(1:5000), 토지이용도, 토양도, 하도 종・횡단면도, 하수간선 관망도 등을 수집하여 GIS를 이용하여 분석하였다. (도화종합기술공사, 2002; 삼안건설기술공사, 2001; 경기개발연구원, 2002; 도화종합기술공사, 2001)

토지이용변화 시나리오는 CWP에서 제안한 불투수면적 모형(ICM)의 3단계 변화를 이용하였다.

4. 강우-유출 모의 결과

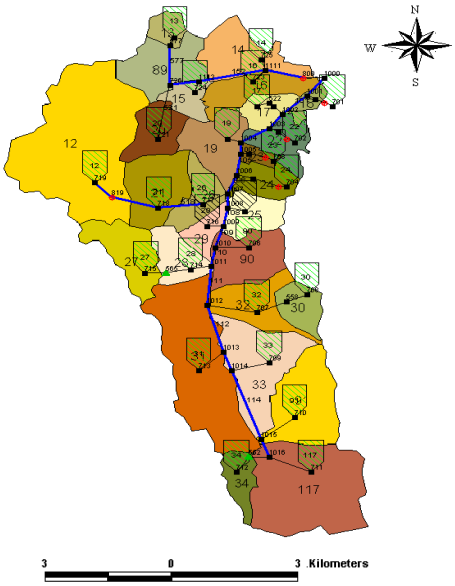
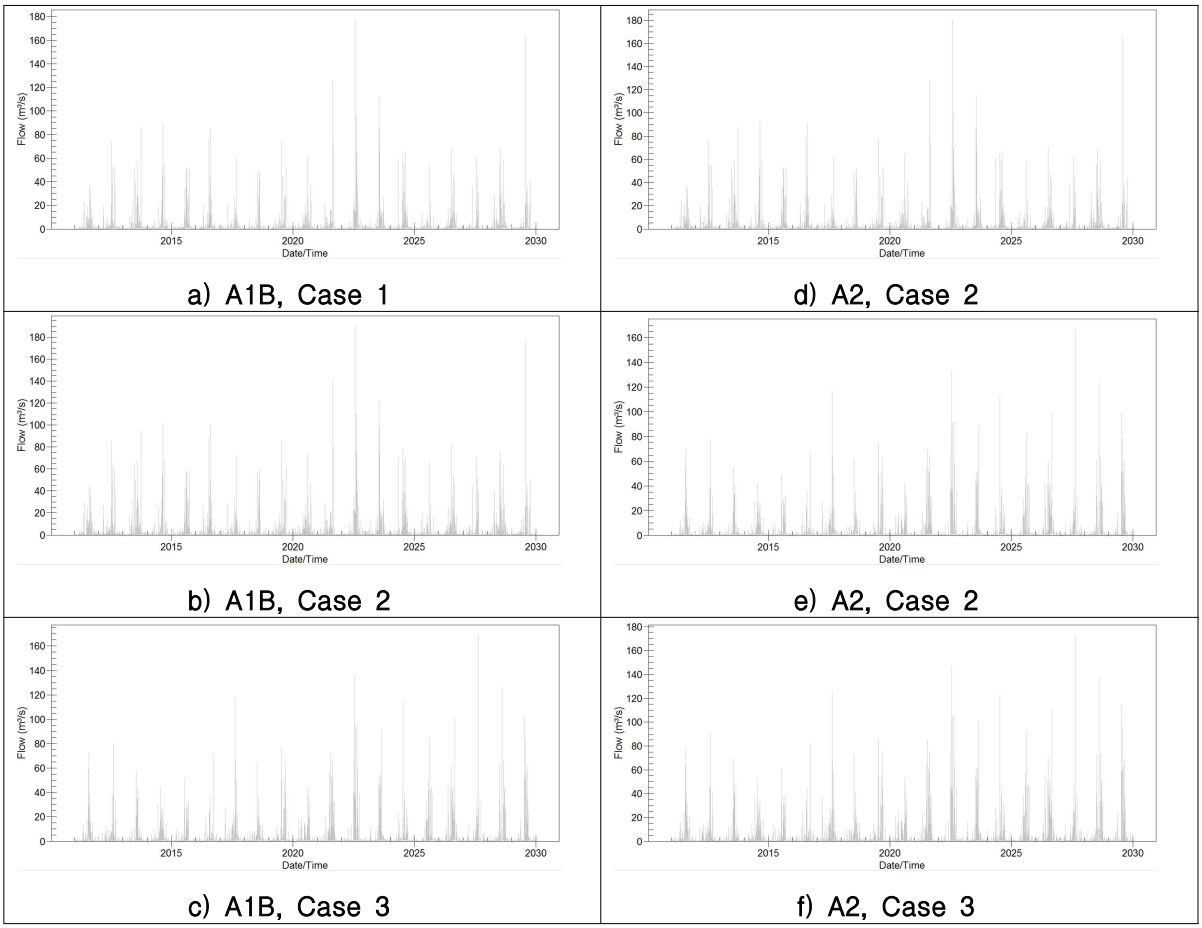


Fig. 1 Subwatersheds, stream and pipe network of the Mokgamcheon

기후변화 시나리오(A1B, A2) 및 토지이용변화 시나리오(Case 1 ~3)를 이용하여 2020년 1월 1일부터 2039년 12월 31일까지 20년 동안의 연속유출모의를 수행하였으며, 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 최대 유출량과 토지이용변화에 따른 유출량 증가율을 Table 2에 나타내었다.



a) A1B, Case 1

d) A2, Case 2

b) A1B, Case 2

e) A2, Case 2

c) A1B, Case 3

f) A2, Case 3

Fig. 3. The results of simulation in accordance with change of climate and landuse Change Scenarios

Table 2. Maximum runoff and increase rate of runoff

No.	A1B		A2	
	Maximum runoff	Increase rate	Maximum runoff	Increase rate
Case 1	177 m^3/s	-	167 m^3/s	-
Case 2	180 m^3/s	1.7%	169 m^3/s	1.2%
Case 3	190 m^3/s	5.3%	173 m^3/s	2.3%

Table 2에서 A1B의 강우 시나리오를 이용하였을 경우 최대 유출량은 177m^3/s~ 190m^3/s이 발생되며, 토지이용변화에 따른 유출 증가율은 Case 1에서 Case 2으로 변할 경우 1.7%, Case 2에서 Case 3으로 변할 경우 5.3% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 A2의 강우 시나리오를 이용하였을 경우 최대 유출량은 167m^3/s ~ 173m^3/s이 발생되며, 토지이용변화에 따른 유출 증가율은 Case 1에서 Case 2으로 변할 경우 1.2%, Case 2에서 Case 3으로 변할 경우 2.3% 증가하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 미래의 기후변화 및 토지이용변화 시나리오에 따른 유역 유출특성을 분석하기 위하여 2020년~2039년의 20년 동안의 장기유출모의를 수행하여 목감천 유역의 유출특성을 분석하였다. 기후변화 시나리오는 GCM의 A1B, A2를 사용하였으며, 토지이용변화 시나리오는 불투수면적이 변하지 않는 경우(Case 1), 1 단계 증가하는 경우(Case 2), 2단계 증가하는 경우(Case 3)를 고려하였다.

모의 결과를 살펴보면, A1B의 강우 시나리오를 이용하였을 경우 최대 유출량은 177m^3/s~ 190m^3/s이 발생되며, 토지이용변화에 따른 유출 증가율은 Case 1에서 Case 2으로 변할 경우 1.7%, Case 2에서 Case 3으로 변할 경우 5.3% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 A2의 강우 시나리오를 이용하였을 경우 최대 유출량은 167m^3/s ~ 173m^3/s이 발생되며, 토지이용변화에 따른 유출 증가율은 Case 1에서 Case 2으로 변할 경우 1.2%, Case 2에서 Case 3으로 변할 경우 2.3% 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

경기개발연구원(2002). **광명시 하수도정비기본계획 변경보고서**, 광명시.

도화종합기술공사(2001). **시흥시 하수도정비기본계획 변경보고서**, 시흥시.

도화종합기술공사(2002). **서울시 하수도정비기본계획 변경보고서**, 서울특별시.

박경신, 정은성, 김상욱, 이길성 (2009). 기후변 및 도시화를 고려한 수자원관리 대안의 효과 분석, **한국수자원학회 논문집**, 제42권, 제12호, pp.1103~1111.

박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은 (2008). 최근 한반도 여름철 강수특성 변화, **대한지리학회 논문집**, 제43권, 제3호, pp.324~336.

삼안건설기술공사(2002). **부천시 하수도정비기본계획 변경보고서**, 부천시.

장주형 (2005). **GIS 기반의 SWMM 모형을 이용한 도시하천의 수질관리**, 박사학위논문, 부경대학교.

환경부 (2006). **한강수계 오염총량 관리계획 수립지침**.

IPCC (2001). *Climate Change 2001*: The Scientific Basis. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.