

물 환경 건전화를 위한 도시하천의 물 순환 모의 (I) - 안양천 유역 -

이정민^{*} · 이상호 · 이길성^{*}

부경대학교 건설공학부

^{*}서울대학교 지구환경시스템공학부

Hydrologic Cycle Simulation of Urban river for Rehabilitation of Water Environment (I) - Anyangcheon Basin -

Jung-Min Lee[†] · Sang-Ho Lee · Kil-Seong Lee^{*}

Department of Civil and Construction Engineering, Pukyong National University

^{}Department of Civil Urban & GeoSystem Engineering, Seoul National University*

(Received 7 December 2005, Accepted 7 February 2006)

Abstract

Nowadays, the discharges of urban streams during dry season are depleted because the hydrologic cycle in the watershed has been destroyed due to the expansion of the impermeable area, the excessive groundwater pumping, climate change, and so forth. The streamflow depletion may bring out severe water quality problems. This research are to investigate the hydrologic characteristics and to develop a technology to restore sound hydrologic cycle of Anyangcheon watershed. For the hydrological cycle analysis of the Anyangcheon watershed, continuous simulations of urban runoff were performed for the upstream basin of Gocheok bridge whose basin area covered 4/5 of the whole catchment area. The increase of impervious area by urbanization was analysed and its effect on urban runoff was evaluated. The SWMM 5 (Storm Water Management Model 5) was used for the continuous simulation of urban runoff. The analysis results of urbanization effect on runoff are as follows: the surface runoff in 2000 increases to 65% of the whole precipitation whereas the surface runoff in 1975 amounts to 50% of the precipitation; the groundwater runoff in 2000 amounts to 7% and shows 6% decrease during the period from 1975 to 2000.

keywords : Anyangcheon, Continuous runoff simulation, Hydrologic cycle simulation, Storm water management model 5

1. 서론

안양천은 안양시의 발원지 부근과 관악구 고지대를 제외하면 약 43%가 도시화된 전형적인 도시하천이다. 도시화에 따른 불투수 면적의 증가로 기존의 정상적인 물 순환 체계가 변형되어 지하수위는 낮아지고 평상시 하천의 유량은 감소되어 생태계 유지 등 하천의 정상적인 기능이 저해되고 있다. 또한, 상류 저수지의 농업용수 방류량 감소, 지하수 이용 증가로 인한 기저유출 감소, 합류식 하수관거로 인한 우수회귀 손실 등으로 일부 하천에는 갈수기 하천유량이 현저히 감소하고 있다.

안양천과 학의천은 연중 하천 흐름이 유지되나 삼성천, 삼막천, 수암천은 90일 이상 건천화되는 구간이 발생한다. 건천화에 따른 유지유량의 부족은 하천을 중심으로 한 수질오염의 증가 등의 문제를 초래하고 있으며 이로 인해 파생되는 2차적인 비용증가 등 경제적인 측면에서 많은 손실

을 유발하고 있다.

이와 같이 갈수기에 발생하는 문제가 심각함에도 불구하고 유역종합치수계획과 같은 유역단위의 치수계획은 수립하고 있으나, 이수계획은 도시하천의 생태계를 개선하기 위한 하천복원사업의 일부에 그치고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 기반 기술로서 안양천 유역의 물 순환 체계를 분석하고 변형된 물 순환 체계를 정상화하기 위한 기술개발이 필요하다. 도시하천의 물 순환 해석과 평가는 홍수 시 뿐만 아니라 갈수기를 포함한 도시연속 유출모의를 통하여 수행될 수 있다. 이에 적합한 모형을 사용하여 자연 상태와 도시화된 상태의 유출을 비교함으로써 물 순환의 변형을 객관적으로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 안양천 하류의 고척교 지점을 대상으로 SWMM 5 (Storm Water Management Model 5) 모형을 이용하여 강수, 증발산, 지표유출, 지하수 유출, 하수량 등의 성분을 고려한 도시유역 연속유출모의를 수행하였다. 이를 근간으로 하여 불투수 지역의 변화에 따른 유출특성 변화와 물 순환을 분석하였다. 불투수 지역의 구분과 면적 계

[†] To whom correspondence should be addressed.
andrew4502@magin.com

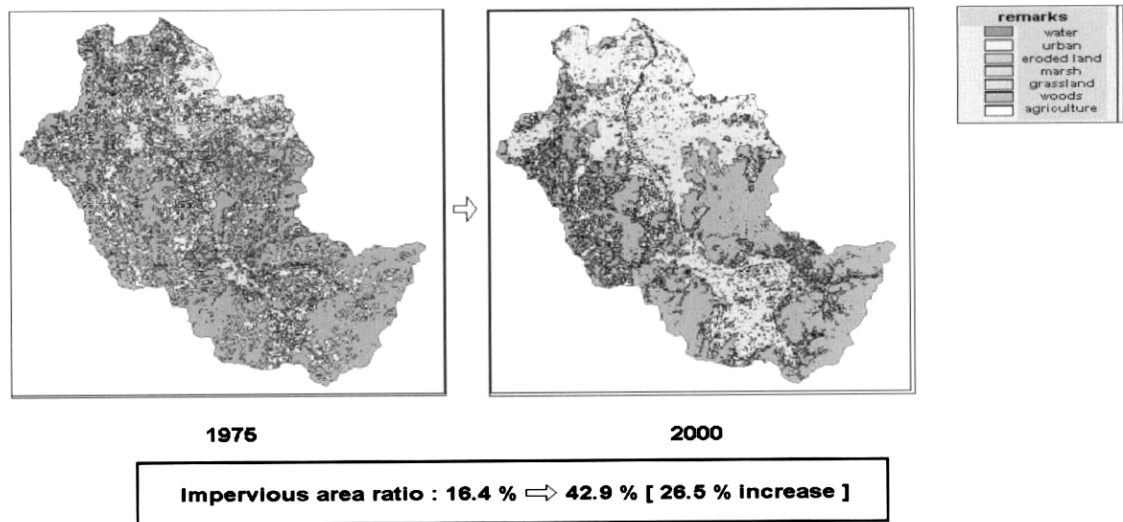


Fig. 1. Urbanization of Anyangcheon watershed.

산은 위성영상자료 및 지형정보체계 소프트웨어를 이용하여 수행하였다. 위의 불투수 지역 변화(Fig. 1)에 따른 유출 변화는 1975년과 2000년 상태에 대하여 분석되었다.

2. 유역 현황 및 연구동향

2.1. 유역현황

한강의 제 1지류인 안양천은 한강의 지류 가운데 중랑천 다음으로 큰 하천이며 유역면적이 287.2 km²이다(Fig. 2). 안양천 유역 내에 있는 하천들은 전부 국가하천과 지방 2

급 하천들이며 지방 1급 하천은 없다. 안양천은 경기도 7 개시(과천시, 의왕시, 군포시, 안양시, 광명시, 시흥시, 부천시)와 서울시 7개구(강서구, 양천구, 영등포구, 구로구, 동작구, 관악구, 금천구)를 그 유역으로 하고 있는 하천으로 수도권의 심장부에 위치한 중요한 하천이다. 안양천은 의왕시의 발원지 부근과 관악구 고지대를 제외하면 유역면적의 42.9%가 도시화된 전형적인 도시하천이다.

2.2. 연구동향

SWMM에 대한 국내·외 연구로는 이 등(1998)이 위성자료와 지리정보시스템을 이용하여 수문자료의 효율적 생성방안을 제시하고, SWMM을 안양천유역에 적용하여 수량과 수질을 모의하였다. 또한 전문가시스템을 이용하여 매개변수의 추정 및 검증방법을 제시하였다. 그리고 김(2002)은 도시유출 모의모형의 매개변수를 추정한 바 있다. 이 등(1996)은 SWMM의 각 블록을 이용하여 하도와 관거를 결합한 유출량을 모의하고, 모형의 특성과 각 블록의 기능을 파악하였다. 서 등(1996)은 유역개발에 따른 도시하천의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구와 도시화에 따른 유출영향분석 및 침수저감대책에 관한 연구를 ILLUDAS와 SWMM을 중심으로 수행한 바 있다.

Baffaut 등(1989, 1990)과 Liong 등(1991)은 SWMM의 보정 시에 전문가 시스템을 이용하여 자동보정기법을 개발하였다. 그러나 SWMM 5를 이용하여 도시유역의 연속유출 모의와 물 순환 분석에 대한 국내연구는 거의 전무한 실정이다.

3. 안양천 연속유출모의 입력자료 구축

3.1. 연속유출모의 모형의 개요

SWMM(Storm Water Management Model)은 호우에 의한 유출 유량과 수질을 예측하기 위해 강우주상도, 기상학적 입력자료, 소유역이나 하수 관로와 같은 시스템의 특성을

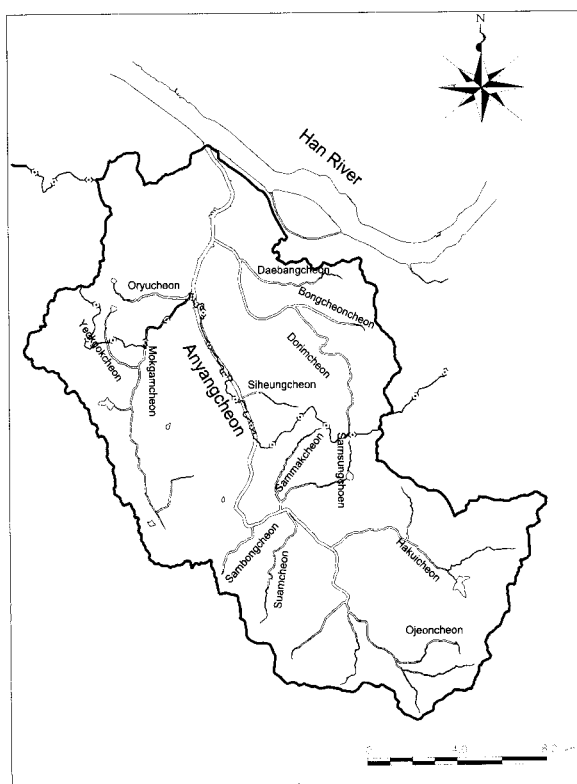


Fig. 2. The diagram of Anyangcheon watershed.

고려하여 실제 호우사상을 모의하도록 되어 있으며, 단일·연속강우에 의한 모의가 가능하고 수문곡선의 시간간격을 임의로 조절할 수 있다. 연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의조절이 가능하다. 그리고 소(小)배수유역에서 대(大)배수유역까지 적용이 가능하며 최대 200개의 소유역, 수로·관로를 구성할 수 있다. 또한, 배수유역은 합성 및 분리가 가능하다. 유출은 강우와 용설로 발생하고 지표유출은 비선형 저류방정식을 사용하며, 침투량 산정에는 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용한다. 저류추정방법은 수표면이 평행하다고 가정한 수정 Pulse 방법을 사용한다. 1981년에는 SWMM 모형 내의 TRANSPORT 블록을 확장, 보완하기 위해 수공구조물의 월류, 배수, 압력류 등의 계산이 가능하도록 설계된 EXTRAN 블록을 모형에 포함시켜 보완시켰다. 그리고 1987년에는 지하수 유출을 모의하기 위하여 GROUND 부프로그램을 추가하였다. 요약하면, SWMM 모형은 도시유역 내에서 우기 및 건기의 지표유출과 지하수유출, 배수관망내의 유출량 추적, 수질모의, 오염물질에 대한 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다.

SWMM은 1999년 4.31 버전에서 1999년 4.4A, 4.4G, 4.4H 버전으로 개선되었으며 개선된 사항은 Dr. Wayne Huber의 웹 사이트에 있는 문서를 보면 알 수 있다. 현재 미국 환경 보전국(Environmental Protection Agency: EPA)에서는 30년 전에 개발되어 이미 폭넓게 사용되고 있는 SWMM 모형을 객체지향 프로그램(object-oriented program)기법을 이용하여 새롭게 개선 개발하였으며, 프로그램의 명칭은 SWMM5이다.

SWMM모형은 Fig. 3과 같이 RUNOFF 블록, TRANSPORT 블록, EXTRAN 블록, STORAGE/TREATMENT 블록의 4개의 실행블록과 RAIN 블록, TEMPERATURE 블록, COMBINE 블록, STATISTICS 블록 등의 6개의 보조블록들로 구성되어 있으며, 126개의 부프로그램들을 포함하고 있다.

SWMM은 Fig. 4와 같이 배수유역의 구조를 네 가지 층으로 구분하여 유출을 모의한다. 이와 같은 유출모의를 위한 SWMM의 입력자료는 크게 세 가지로 분류된다. 이들은 수문기상 자료군, 매개변수 자료군, 입/출력 제어 자료군이다. 수문기상 자료군은 강우, 강설 및 증발산과 관련된 자료들이다. 매개변수 자료군은 물리적 매개변수(physical parameters)와 수문학적 매개변수(hydrological parameters)로 구분할 수 있다. 물리적 매개변수들로서는 소유역의 면적, 유역의 평균경사, 불투수지역의 면적 등 소유역 관련 매개변수와 하도 및 관망의 길이, 관경 또는 하도의 폭, 하도의 경사 등 배수체계 관련 매개변수 등이며 이들의 대부분은 지도나 항공사진, 관망도 및 하천도 등을 통하여 추정할 수 있는 매개변수들이다. 수문학적 매개변수들로서는 투수 및 불투수유역의 Manning 계수와 하도 및 관망의 Manning 계수, 지표면 저류(凹地貯溜量, depression storage), 침투관련 매개변수, 그리고 유역 폭(characteristic width) 등이다. 입/출력 제어 자료군은 프로그램의 수행과 결과의 출력형

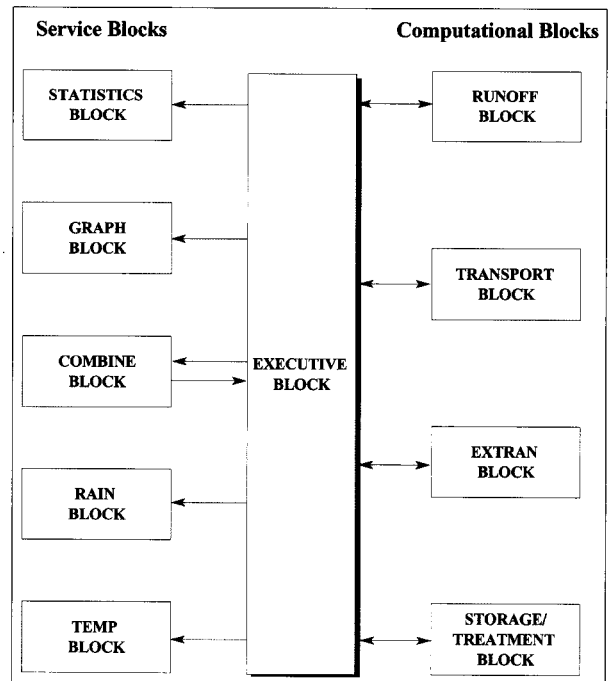


Fig. 3. Relation between SWMM block (Huber et al., 1988).

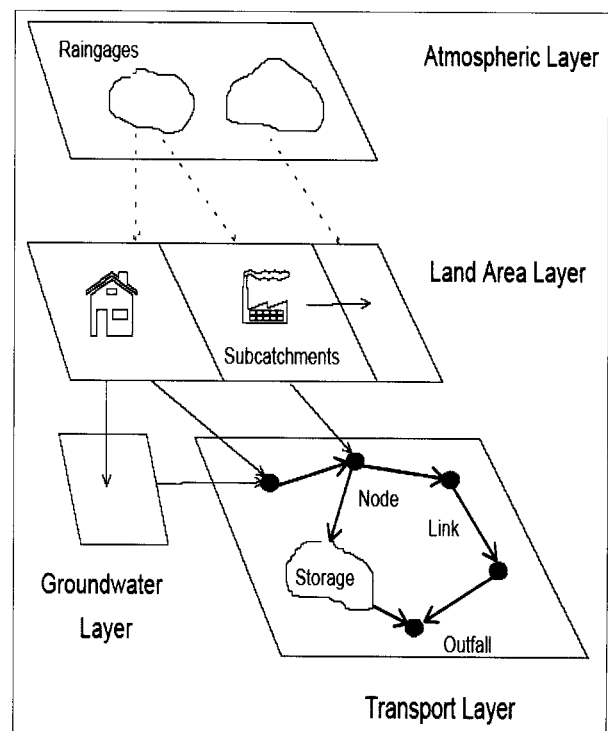


Fig. 4. SWMM's conceptualization for drain watershed.

태를 결정하는 자료들로서 사용자의 목적에 따라 결정되는 자료들이다.

3.2. 안양천 연속유출모의 입력자료 구축

안양천 유역에 대한 강우관측소 및 수위관측소 현황을 안양천 유역종합 치수대책 보고서(현대엔지니어링, 2003)와 서울시정개발연구원(1993), 안양천시험유역 설치 기본 및 실시설계 자료(한국수자원공사, 2002)를 참고하여 Arc View

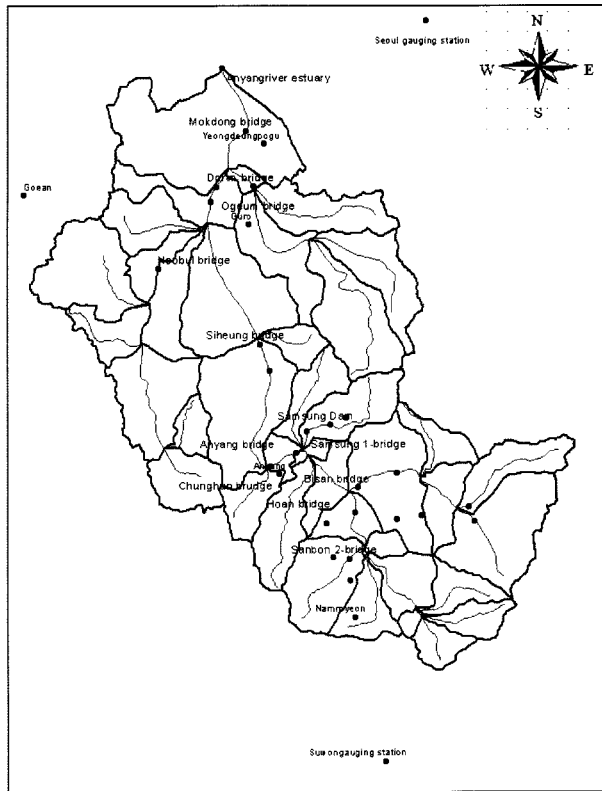


Fig. 5. Anyangcheon watershed hydrological gauging station.

GIS 소프트웨어를 이용하여 안양천 유역분할도에 나타내었다(Fig. 5). 그리고 SWMM 모형의 수문기상자료 입력을 위해서 서울기상청에서 관측한 강우자료와 기상자료를 입수하였다. 입수된 수문자료는 기간이 1975년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지이다. 각 지자체의 강우량 자료는 신뢰성 측면에서 입력자료로 적당하지 않을 것으로 판단되어 제외하였다. 입수된 자료 중 강우량은 SWMM의 Rain 블록을 이용하여 처리하였으며, 증발량 값은 Temp 블록에서 증발접시 계수를 이용하여 시계열 자료를 처리하였다. 처리된 자료를 이용하여 1975년부터 2003년까지 29년간 모의를 수행하였다. 월별 증발접시 계수는 0.7을 사용하였다.

3.2.1. 소유역 특성인자 입력자료 구축

본 연구에서는 소유역과 관련된 입력 자료들을 구축하기 위하여 안양천 수치지형도, 토지이용도, 토양도 등을 수집하였으며, 수집된 자료를 GIS 소프트웨어를 이용하여 분석하였다. 기본 입력자료로서 안양천 배수 유역도는 축척 1:25,000 지형도를 이용하여 소유역별로 구분하고 AutoCAD를 이용하여 수치화 하였다(Fig. 6). 소유역별 유역특성인자와 하도망구성은 이 등(1998)의 자료를 수정하여 재구성하였다(Fig. 7).

3.2.2. 위성영상을 이용한 안양천 토지이용분석

본 연구에서는 안양천 유역의 토지이용분석을 위해 1975년, 1980년, 1985년, 1990년, 1995년, 2000년에 획득된 Landsat TM, Landsat ETM+ 영상을 감독분류 하였다. 1975년과 1980년은 수역, 시가화, 나지, 습지, 초지, 산림,

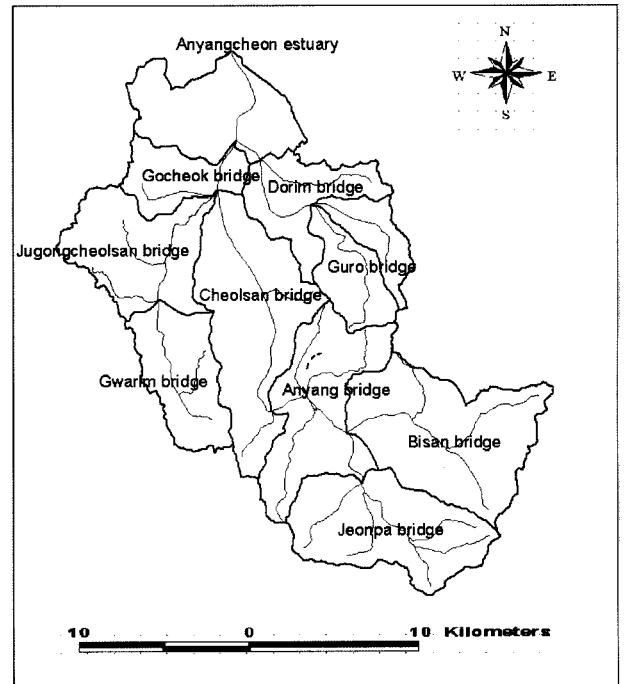


Fig. 6. Drainage watershed schematization of Anyangcheon.

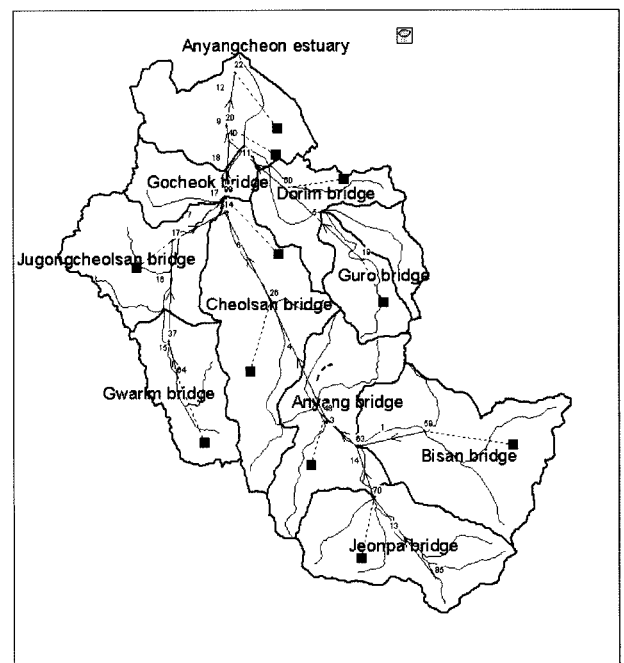


Fig. 7. Channel network schematization of Anyangcheon.

농업지역의 총 7개 범주로 분류하였고, 1985년부터 2000년까지는 농업지역을 논과 밭으로 나누어 총 8개 범주로 토지이용도를 작성하여 분류한 결과 Fig. 8과 같은 결과를 얻었다. 이 그림은 1975년부터 2000년까지 매 5년마다 안양천 유역의 변화를 살펴본 것으로 그 양상의 변화를 살펴보면, 가장 특징적인 변화로서 1985년 전에는 서울시를 중심으로 1985년 이후에는 안양을 중심으로 도시가 두드러지게 발달하고 있음을 알 수 있다. 1975년과 2000년의 불투수 유역면적을 비교해 보면 16.4%에서 42.9%로 26.5%의 증가가 있었다.

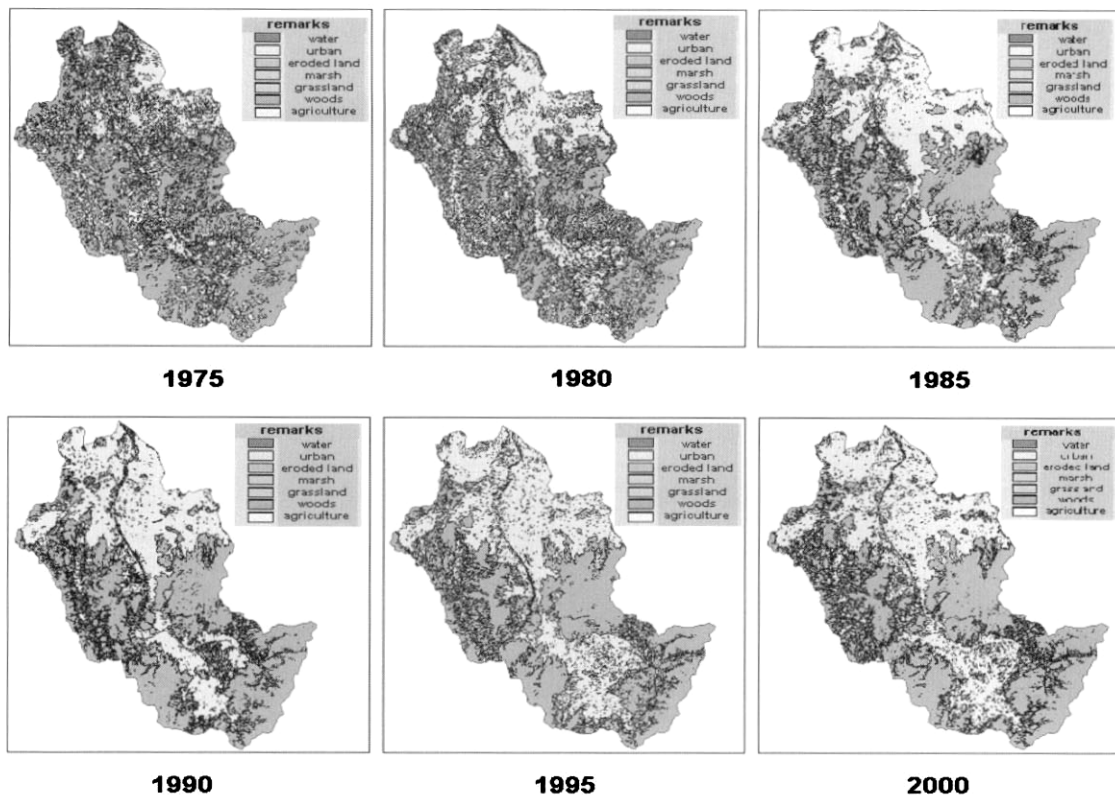


Fig. 8. Landuse of Anyangcheon Landsat ETM+ (1975-2000).

3.2.3. 지하수 및 건기 하수량 입력자료 구축

SWMM에서 지하수흐름 모의는 Fig. 9와 같이 증발(ETU)과 침투(ENFIL)가 일어나는 비포화지역인 상위지역(upper zone)과 침투(PERC, DEPPRC)와 하천으로의 유입(GWFLW)이 일어나는 포화지역인 하위지역(lower zone)으로 나누어 모의한다.

SWMM 모형에 입력하는 지하수 흐름부분의 입력자료는 대수층 깊이, 수리전도도 등이다. 이 중 수리전도도는 김(2000)의 박사학위논문 자료와 1996년 서울시 지하수 조사보고서를 참고하였다. 대수층의 두께는 도립천 친수공간조성사업 기본계획 및 기본설계 보고서의 시추주상도 자료를 평균한 값을 사용하였다.

건기 유출(dry weather flow)은 강우가 오지 않는 건기시

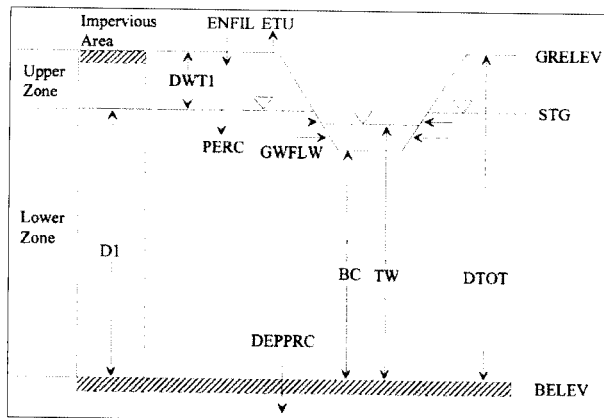


Fig. 9. Ground parameters and conceptualization.

의 흐름이다. SWMM 모형에서는 부프로그램 FILTH에서 도시유역의 평균 하수흐름과 수질을 모의하며, 하도에 대하여 유역의 출구 노드(node)점에 관로모의처럼 유입량을 지정할 수 있다. 본 연구에서는 하수 유입량의 모의를 위해 먼저 개별 행정구역이 SWMM 모형의 소유역에 포함된 비율을 산출하고 여기에 행정구역의 인구를 곱하여 소유역에 포함된 해당 행정구역의 인구를 추정하였다. 그리고 소유역 내 여러 행정구역의 인구를 더하여 소유역의 인구를 추정하였다. 그런 다음, 2002년 상수도 통계연보를 이용하여 안양천 유역 내의 행정구역별 1인당 1일 상수도 급수량을 정한 다음 소유역별 상수도 사용량을 추정하였다. 추정된 상수도 사용량에 소유역별 인구수를 이용하여 유역 내 상수량을 산정하였다. 생활 상수도 사용량에 대한 하수도 회귀율은 우리나라의 경우 90% 내외로 추정되고, 경우에 따라 불명수에 의하여 100%를 크게 상회하는 경우도 있다. 본 연구에서는 총 관측유량의 오차가 적도록 회귀율을 적용하였다. 안양천 전체의 하수유입량은 $8.31 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 산정되었다. SWMM 모형은 하수량 모의 시 월별, 일별, 주중, 주말에 대한 보정계수를 사용하여 유량과 수질에 대하여 보정할 수 있다. 본 연구에서는 기 관측된 고척교지점 건기 시 관측유량을 고려하여, 산정된 하수유입량에 대하여 월별 보정계수로서 0.5~1.0, 일별, 주중, 주말에 대한 보정계수는 0.9~1.1 사이의 값을 적용하였다. 따라서 실제 모의된 하수유입량은 약 $3\sim4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 하수유입량산정에 있어 하천취수량, 하수처리수량, 불명수량 등에 대한 성분별 분석은 본 연구에서는 고려하지 않았다.

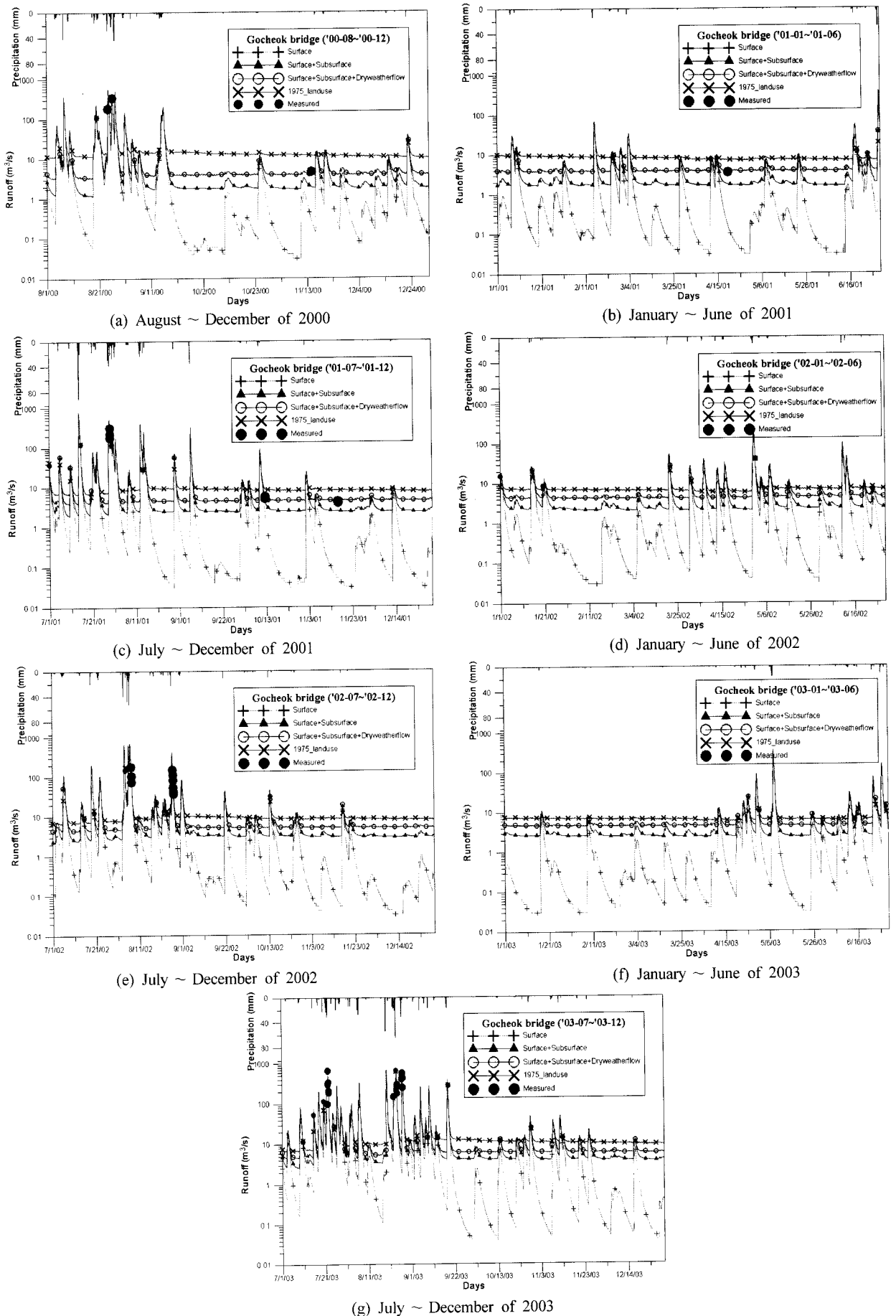


Fig. 10. Continuous runoff simulation result of Anyangcheon Gocheok bridge upstream.

4. 안양천 물 순환 모의 결과

4.1. 안양천 고척교 지점에 대한 유역연속 유출모의

구축된 SWMM 입력자료를 이용하여 안양천 고척교 지점의 과거 실측 자료가 있는 2000년부터 2003년까지(4년간)의 연속유출모의를 수행하였다. 분석 결과를 Fig. 10에 나타내었으며, 그림에서 아래의 십자 기호 선이 지하수와 하수량모의를 수행하지 않은 유출수분곡선이다. 실측치와 비교하여 홍수 시에는 크게 차이가 나지 않으나 갈수기에는 약 5 m³/s 정도의 유량차이가 발생한다. 바로 위의 지하수 모의를 수행한 삼각 기호 선을 보면 전체적으로 평상시 유량이 크게 보충되었음을 알 수 있다. 그러나 11월 관측 유량과는 여전히 약 3 m³/s 정도의 유량 차이가 발생한다. 그 바로 위의 지하수와 하수량모의를 수행한 원형 기호 선은 11월 갈수기 때의 관측유량과 거의 근사함을 알 수 있다.

지하수와 하수량모의를 추가한 고척교 상류지점의 장기 연속유출모의 입력 자료 중 소유역별 불투수 면적을 1975년 상태로 변경하여 모의하였다. 모의된 결과는 아래 그림의 제일 위 부분 × 기호 선으로 표시하였고, 평상시 기저유량의 확연한 증가가 나타나며 홍수 시에 첨두유량의 감소가 두드러진다. 2000년 대비 기저유량은 평균 6~7 m³/s 정도가 증가되었다. 2000년 8월 25일 홍수 시 실측유량은 183.97 m³/s, 모의유량은 180.97 m³/s이고 8월 27일 실측유량이 337.82 m³/s이며, 모의유량이 288.1 m³/s로 비교적 차이가 적음을 알 수 있다. 갈수시의 경우 11월에 실측한 유량이 4.54 m³/s이며, 모의유량이 3.93 m³/s로서 약 0.5 m³/s 정도의 차이가 발생한다.

2001년 1월~6월 사이에 모의된 결과(Fig. 10(b))를 보면 4월에 평상시 실측한 유량이 3.52 m³/s이고 모의된 유량이 3.84 m³/s로 약 0.32 m³/s 정도의 차이가 난다. 이것은 유량측정 오차를 생각한다면 매우 정확하다고 할 수 있다. 전반적인 모의 경향은 2000년의 모의경향과 유사하다.

2002년과 2003년의 모의 결과도 지표수흐름모의, 지하수

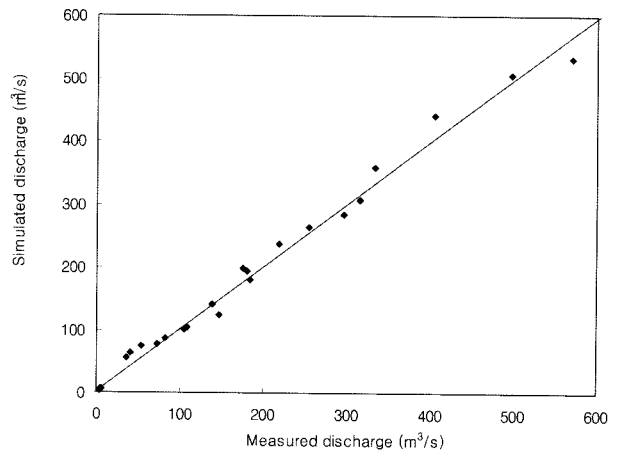


Fig. 11. Comparison of measured discharge and simulated discharge.

를 추가한 경우, 하수 유입량을 추가한 경우, 1975년의 불투수율을 적용한 경우로 구분하였고, 비슷한 모의 양상을 나타내었다. 아래에 2002년, 2003년의 모의된 결과를 나타내었으며(Fig. 10(d)~(g)), Fig. 11에 실측유량과 모의유량의 비교를 나타내었다.

4.2. 불투수율 변화에 따른 안양천 고척교 지점 유출변화 특성분석

2000년 7월 22일에 발생한 호우의 경우에 2000년 토지이용상태와 1975년 토지이용상태에 대하여 유출을 비교해 보았다. Fig. 12에서와 같이 1975년의 토지이용 상태에 대한 유출은 2000년에 비해 첨두유량은 84.06 m³/s의 감소를 보이며 기저유량은 6 m³/s 정도의 증가를 보인다. 첨두시간은 약 2시간 정도 지체되는 것으로 나타났다(Table 1). 2001년 9월 5일 발생한 호우의 경우 Fig. 13과 같이 첨두유량은 135.54 m³/s가 감소되며 기저유량은 약 5 m³/s의 증가를 가져온다. 첨두시간은 약 3시간 정도 지체됨을 알 수 있다(Table 2).

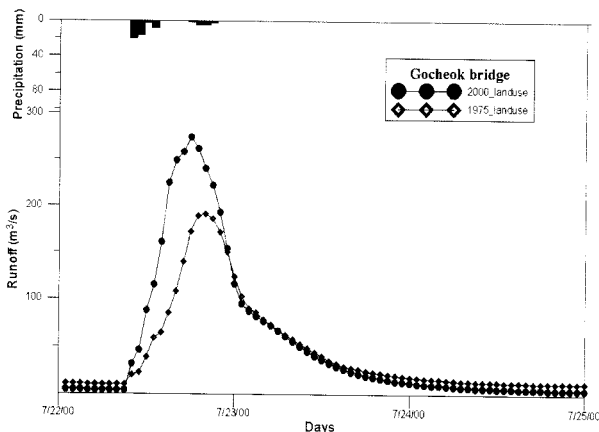


Fig. 12. Continuous runoff simulations result of Anyangcheon Gocheok bridge upstream (22~25 July, 2000).

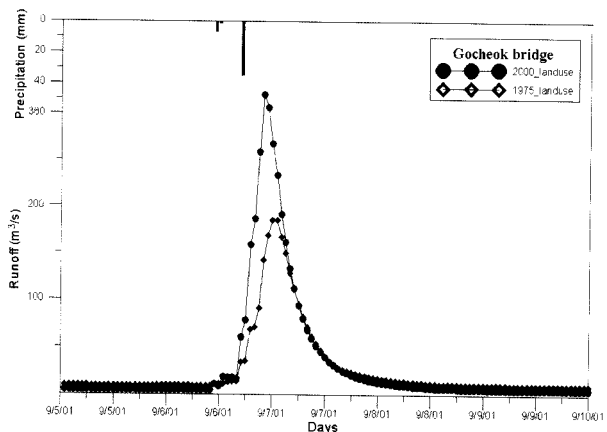


Fig. 13. Continuous runoff simulations result of Anyangcheon Gocheok bridge upstream (5~10 September, 2001).

Table 1. Runoff characteristics by impervious rate change (storm event I)

	Storm event I (2000)	Peak discharge (m ³ /s)	Peak time	Base runoff (m ³ /s)
Landuse_2000	01 : 00 on July 22 ~ 00 : 00 on July 25	274.81	17 : 00 on July 22	4 ~ 6
Landuse_1975	01 : 00 on July 22 ~ 00 : 00 on July 25	190.75	19 : 00 on July 22	10 ~ 12

Table 2. Runoff characteristics by impervious rate change (storm event II)

	Storm event II (2001)	Peak discharge (m ³ /s)	Peak time	Base runoff (m ³ /s)
Landuse_2000	01 : 00 on September 5 ~ 00 : 00 on September 10	320.43	21 : 00 on September 6	4 ~ 5
Landuse_1975	01 : 00 on September 5 ~ 00 : 00 on September 10	184.89	00 : 00 on September 7	9 ~ 10

4.3. 안양천 유역의 물 순환 분석

2000년부터 2003년까지 물 순환 분석을 수행한 결과는 Fig. 14와 같다. 1975년도 토지이용상태와 2000년(현재로 가정)의 토지이용상태에 따른 물 순환 성분을 Table 3에 나타내었다. 2000년부터 2003년까지 4년간을 모의한 결과 연평균 강수량은 거둬들인 홍수로 인하여 우리나라 평균값보다 200 mm 이상 컸다. 고척교 상류의 경우에 지표유출은 1975년의 50%에서 2000년에 65%로 크게 증가하였고 지하수 유출은 13%에서 7%로 감소하였다. 물 순환 변화 분석에서 가장 두드러진 특징은 불투수면적이 증가할수록 침투량과 지하수 흐름이 감소하는 것이다. 불투수면적의 증가에

따라 침투량과 증발량이 감소한 반면에, 지표면 유출량이 과거보다 증가하고 있다. 이렇게 물 순환이 변형된 이유는 도시발달과 인구증가로 인한 불투수면적 증가에 따른 침투량 감소 때문이다.

5. 결론

도시하천은 도시화에 따른 불투수면적의 증가로 기존의 정상적인 물 순환 체계가 변형되어 지하수위는 낮아지고 평상 시 하천의 유량은 감소되어 생태계 및 하천의 정상적인 기능이 저해되고 수질이 악화되고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 SWMM 5를 이용하여 안양천 전체를 대표하는 고척교 상류유역에 대하여 연속유출모의를 수행한 후, 안양천유역의 물 순환을 분석하였다.

안양천은 도시하천으로서 1980년대 이후의 급격한 시가지 발달에 따른 불투수면적의 증가로 홍수 시 침투유량이 증가되었고, 평상시에는 하천수량이 줄어들었음을 정량적으로 밝힐 수 있었다. 결론적으로 불투수면적의 증가로 인한 침투량 감소가 물 순환 왜곡의 가장 큰 원인이다. 그러므로 물 환경 건전화를 위하여 왜곡된 물 순환을 위한 유지용수를 충분히 공급하고, 투수성 포장재료나 침투시설을 사용하여 지하수위를 상승시키는 것이 물 환경 건전화의 근본적인 대안이 될 수 있을 것이다. 향후 침투시설과 물 순

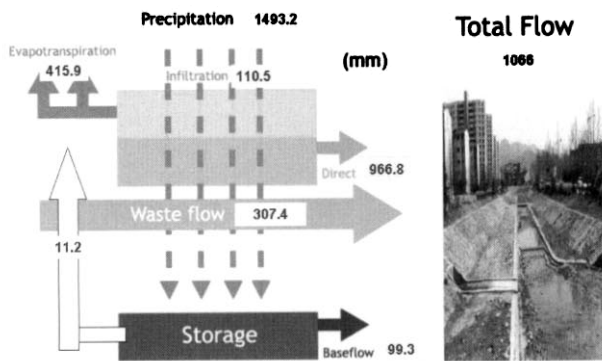


Fig. 14. Hydrologic cycle simulation of Anyangcheon.

Table 3. Hydrologic cycle comparison by impervious rate change

(unit : mm)

Component	Precipitation mm (%)	Infiltration mm (%)	Evapotranspiration mm (%)	Direct runoff mm (%)	Subsurface runoff		Total runoff	Waste flow
					Base runoff mm (%)	Evapotranspiration mm (%)		
2000 landuse	1493.2 (100)	110.5 (7)	415.9 (28)	966.8 (65)	99.3 (7)	11.2 (0)	1066 (72)	307.4
1975 landuse	1493.2 (100)	208.4 (14)	536.7 (36)	748.1 (50)	190.8 (13)	17.6 (1)	938.9 (63)	307.4

한 왜곡의 또 다른 원인으로 짐작되는 지하수 사용량을 SWMM에서 고려할 수 있도록 수정 개발하여 연속유출모의를 수행한다면, 물 순환 분석 시 보다 신뢰성 있는 결과와 물 순환 회복방안을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구는 지하수를 포함한 도시하천의 연속유출모의를 통하여 물 환경 건전화를 위한 물 순환 해석을 수행한 사례로서 의의가 있으며 도시하천의 물 환경 건전화 기술을 적용하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구결과는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-7-2)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 김윤영, 도시지역 지하수의 수리지질학적 특성: 서울지역 지하수 시스템 분석, 박사학위논문, 서울대학교 (2000).
- 김윤영, 이강근, 서울지역 지하수시스템의 수문지질학적 특성 분석을 위한 지리정보 시스템의 활용, *한국 GIS학회지*, 7(1), pp. 103-117 (1999).
- 김충수, 도시유출 모의모형의 매개변수 추정, 석사학위논문, 서울대학교 (2002).
- 두산엔지니어링, 도림천 친수공간 조성사업 기본계획 및 기본설계, 서울특별시 관악구, pp. 79-376 (2000).
- 서규우, 배덕효, 유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구, *한국수자원학회지*, 29(3), pp. 207-216 (1996).
- 서울시경개발연구원, 도시하천 수질관리 방안을 위한 연구 (안양천을 중심으로), 서울특별시, pp. 3-287 (1993).
- 서울특별시, 서울시 지하수 기본조사, 농어촌진흥공사, pp. 72-117 (1996).
- 선진엔지니어링, 하수관거정비 및 기본설계보고서(안양천우안), 서울특별시, pp. 3-387 (1998).
- 이길성 등, 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구(4차), 서울특별시, pp. 181-292 (2003).
- 이범희, 이길성, 매개변수 추정방법의 개선을 위한 전문가 시스템의 개발, *한국수자원학회지*, 31(6), pp. 641-655 (1998).
- 이종태, 강태호, 김정환, 도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM 모형, 제4회 수공학위협포럼, 한국수자원학회, 서울, pp. 97-204 (1996).
- 한국수자원공사, 안양천 시범유역 설치 기본 및 실시설계 보고서, 한국수자원공사, pp. 3-61 (2002).
- 현대엔지니어링, 안양천 유역종합치수계획 보고서, 건설교통부, 서울지방국토관리청, pp. 3-255 (2003).
- Baffaut, C. and Delleur, J. W., Expert System for Calibrating SWMM, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 115(3), pp. 278-298 (1989).
- Baffaut, C. and Delleur, J. W., Calibration of SWMM Runoff Quality Model with Expert System, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 116(2), pp. 247-261 (1990).
- Huber, W. C. and Dickinson, R. E., *Stormwater management model. Version 4: User's Manual Ver. 2.1*, U. S. Army Corps of Engineers (1988).
- Liong, S. Y., Chan, W. T. and Lum, L. H., Knowledge-based System for SWMM Runoff Component Calibration, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 117(5), pp. 507-524 (1991).