

연구논문

도시개발에 따른 수환경 변화 예측을 위한 소수계 유역·하천 통합 모델 연구

강유선 · 박석순

이화여자대학교 공과대학 환경학과
(2003년 10월 9일 접수, 2004년 7월 19일 승인)

A Study on the Integration of Watershed and Stream Models for Impact Assessment of Urban Development on Water Environment

You-Sun Kang · Seok-Soon Park

Dept. of Environmental Science and Engineering
College of Engineering, Ewha Womans University
(Manuscript received 9 October 2003; accepted 19 July 2004)

Abstract

An integration study of time-variable small watershed and stream models (USEPA's SWMM and WASP5) was performed for impact assessment of urbanization on water environment. The study area, the Kyoungan Stream, the tributary of Paldang Lake, was divided into 111 sub-basins, based on the topographic condition, land use, and drainage system. RUNOFF block of SWMM was applied to estimate runoff flow and quality. EXTRAN block computed daily and hourly flow according to simulated runoff flow, water supply, and drainage data. SWMM was connected to WASP5 by transforming output file of SWMM into input file of WASP5. The non-point source loads and flow data of SWMM were imported to WASP5. The stream was divided into 45 segments based on the watershed delineation. The study included three water quality parameters, BOD, TN, and TP. The validate models were used to examine the impact of urbanization on stream flow and water quality.

Key words : Model Integration, SWMM, WASP5, Urbanization, Water Quality, Hydrological Impact

I. 서론

대형 수계의 구성 요소가 되는 소수계는 건기에는 수량이 부족하고, 우기의 집중호우에는 배수가 이루어지지 못해 범람하게 된다. 이러한 현상은 도시화에 따른 유역 불투수면의 증가와 최근 기상 이변에 따른 극심한 가뭄과 홍수로 인하여 더욱 심화되었다. 또한 갈수기시 소수계에서 자정능력 부족으로 인하여 심각한 수질 악화가 나타나고, 이것은 하류 대형 수계의 수질 저하를 가져오는 중요한 원인이 된다(이진원, 1995).

지금과 같은 수계 관리가 계속될 경우 장래에도 이러한 현상은 매년 반복될 것으로 사료된다. 소수계에서 예상되는 수량과 수질 변화를 진단하고 적절한 대책을 마련하는 것이 가뭄과 홍수로부터 피해를 최소화하고 수질악화는 방지하는 방법이다(고익환, 1997). 이를 근본적으로 해결하기 위해서는 소수계에서의 급·배수 체계와 자정능력을 확보하는 것이 필요하다. 유역의 수문 현상, 토지이용도, 지형 및 토양, 하천 통수량, 저수지 운영 등 수계내에서 일어나는 다양한 현상 등을 고려하여 물관리 방안을 세워야 한다. 특히, 도시화로 인한 유역의 불투수면과 오염원 증가에 따른 수량 및 수질 변화를 사전에 예측하여 효과적인 저감방안을 수립해야 한다.

본 연구는 소수계에서 일어나는 수량과 수질변화를 예측하기 위하여 유역모델과 하천 수질모델을 통합 적용하였다. 유역모델과 수질모델을 통합하여 강우, 토지이용도, 지형, 토양, 오염원, 하천 수로 등 소수계의 수량과 수질에 관련된 모든 현상을 정량적으로 표현하였다. 본 연구의 대상 수계는 팔당 상수원의 주요 지천인 경안천 상류 수계로 하였다. 모델을 통합 적용하고 이를 이용하여 장래 도시화에 따른 하천 수량과 수질변화를 예측하였으며, 소수계 물관리 시스템으로 활용 가능성을 검토하였다.

II. 연구 방법

1. 대상 수계

경안천은 경기도 용인시 이동면과 원삼면의 경계인 문수봉(EL.404.2m) 계곡에서 발원하여 팔당호로 유입되는 한강의 제 1지류이다(경기도, 2001). 대상 수계는 경안천 발원지로부터 광주읍 쌍령리 경안교에 이르는 구간으로, 총 유로 연장 34.6km, 유역 면적 279km²이다(Fig. 1). 토지 이용 형태는 산지가 64%로 주를 이루고 있으며, 그 외 농지(23%)와 기타 주거지역(10%)으로 구성되어 있다. 대상 유역은 서울에 인접한 관계로 지금까지 지속적으로 개발이 이루어지고 있다. 1차 산업 구조에서 점차 2, 3차 산업 중심의 지역 중심 도시로 급속히 개발되고 있다(경기도, 2001).

유역 내 일부는 팔당호에서 취수하여 사용하고, 그 외에는 지하수를 수원으로 하기 때문에, 경안천 자체에서 취수되는 생활용수 및 공업용수는 거의 없다. 경안천 유역의 상류에는 대규모의 댐은 없고 농업용 저수지는 있으나 하천 유향에 미치는 영향은 극히 미미하다. 그러나, 90년대 이후 용인시와 광주시를 중심으로 빠른 속도로 이루어지고 있는 도시화는 유역 수문과 하천 수질

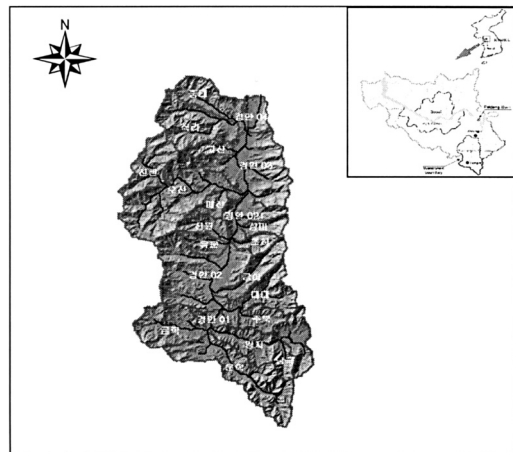


Fig. 1. The study area and watershed delineation

에 매우 중요한 영향을 미치고 있다.

2. 모델 개요

본 연구에서는 대상 유역을 세밀하게 분할할 수 있고, 정밀한 시간 간격으로 시뮬레이션이 가능하며 서로 연계가 용이한 형태로 되어있는 SWMM(Storm Water Management Model)과 WASP5(Water Quality Analysis Simulation Program, Version 5)을 적용하였다. SWMM은 미국 EPA에서 유역의 수량과 수질을 시뮬레이션하기 위하여 1971년에 개발하기 시작하여 지금까지 개선해 오고 있다(Huber, 1991). 최소의 보정으로 비교적 정확한 유출유량을 산정할 수 있고, 다양한 오염물질 모의 방법들을 적용할 수 있어 세계적으로 널리 사용되고 있는 유역 모델이다(윤준경·함중화, 2000). SWMM은 4개의 실행 블록과 5개의 보조 블록을 가지고 강우 사상으로 인해 발생하는 유출수에 대한 지표면 및 지하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추정, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용 계산 등을 시뮬레이션 할 수 있다. 실행 블록은 유출과 관련한 RUNOFF, 하도 내 수질을 시뮬레이션하는 TRANSPORT, 하도의 수리·수문 기작을 정밀하게 표현할 수 있는 EXTENDED TRANSPORT (EXTRAN), 그리고 처리시설 기작을 반영할 수 있는 STORAGE, TREATMENT로 구성되어 있다. 전·후 자료 처리를 목적으로 하는 보조 블록은 STATISTICS, GRAPH, COMBINE, RAIN, TEMP 블록이 있다. 본 연구에서는 연구 목적에 따라 RAIN, RUNOFF, EXTRAN 블록을 이용하였다. RAIN 블록으로 장기 강우 자료를 처리하고, 그것을 입력자료로 하여 유출수량과 수질을 예측하는데 RUNOFF 블록을 적용하였다. EXTRAN 블록은 RUNOFF 블록에서 산정한 유출수량과 조사된 급·배수량에 근거하여 대상 유역의 수문 변화를 예측하였다. EXTRAN 블록은 SWMM 블록 중

에서 하도 내 수질과 함께 유량 분석이 가능한 TRANSPORT와 비교하여 취배수 지점을 자세하게 지정할 수 있고, 유량변화에 따라 하도에서의 범람여부를 판단할 수 있다는 장점이 있다.

WASP 모델은 미국 EPA에서 1981년에 개발하기 시작하여 지금까지 개선해 오고 있다. 1991년에 개선된 WASP5는 호소, 하천, 하구 등을 포함한 수체의 이동 및 13종의 주요 수질항목, 즉 DO, BOD 등 부영양화 관련 물질과 독성물질의 이동 및 상호반응에 대한 모의가 가능하다. 모델은 각 기능에 따라 DYNHYD, TOXI, EUTRO 3개의 부 프로그램으로 구성되어 있으며, 각각이 독립적으로 사용될 수 있다. DYNHYD는 동수역학적 흐름 모델로, EUTRO나 TOXI에 수리학적 입력자료를 제공한다. TOXI는 독성 화학성분과 모델 보정을 실행하는데 이용된다. 생태학적 수질 모델인 EUTRO는 DO, BOD 등 8개의 수질 항목을 모의할 수 있다(Ambrose, 1993). WASP 모델은 시간에 따른 입력값의 변화를 고려할 수 있어, 연중변화는 물론 짧은 시간 간격 사이의 수질 성분 변화를 분석하는 데에도 매우 유용하며, 대상에 따라 3차원 분석도 가능하다. 또한, 각각의 수질 항목이 개별적인 부 프로그램으로 계산되도록 하여 사용자의 요구에 따른 수정 및 보완이 용이한 장점이 있다(신동석·권순국, 1997).

3. 유역 모델 구성

적용 모델간의 간의 연계를 용이하게 하기 위하여, 지형적 특성, 기초 자료 가용성을 기반으로 대상 유역을 본류를 중심으로 22개의 중유역으로 구분하였다. 중유역 내부에서 취·배수 지점을 기준으로 하여 전체 111개의 소유역으로 세분화하고 격자를 구성하여 유역 모델을 적용하였다(Fig. 2). 유출 수량과 수질을 예측하는데 SWMM RUNOFF 블록을 이용하였으며, 수문 변화를 모의하는데 RUNOFF 블록의 유출 수량 결

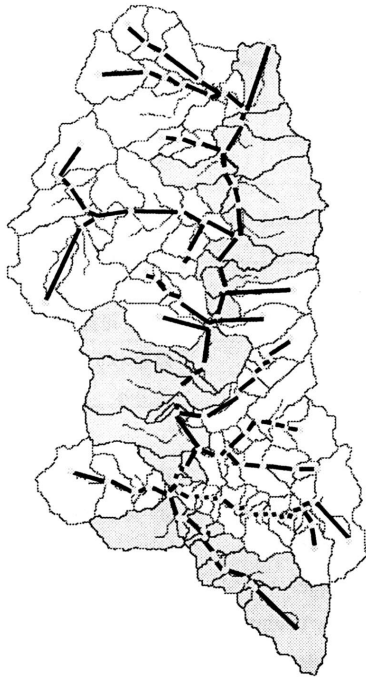


Fig. 2. Channel network in the study area

과와 연계하여 SWMM EXTRAN 블록을 적용하였다. 모델적용 기간은 과거 경안천 수위관측 자료 중 측정 성과가 비교적 양호한 1996년 1년 동안을 대상으로 하였다. 경안 수위 관측소의 1997년 이후 자료는 측정 성과 및 수위 범위가 부족하고 유량 변동이 없는 기간이 상당히 길어서 본 연구에 적용하기 어려웠다.

강우자료는 경안천 유역에 인접해 있는 수원, 양평, 이천 기상 관측소에 대하여, Thiessen 망도를 작성하고, 시간별 면적 평균 강우량을 산정하였다. 산정된 강우 자료는 SWMM RAIN 블록에 의해 SWMM RUNOFF 블록으로 입력될 수 있는 형태로 처리되었다. SWMM RUNOFF의 지형 관련 입력 자료인 유역별 면적, 하천 길이, 경사도, 고도 등의 자료는 유역분석 도구인 WMS (Watershed Modeling System)를 이용하여 1초 간격 DEM(Digital Elevation Model)을 분석하여 추출하였다(Brigham Young University, 1997). 토지

Table 1. Minimum flow and water balance (1996)
(unit: CMS)

유역명	갈수시 자연유하량	수요량 (농업 용수)	회수수	
			생활	공업 및 환경 시설
운 학	0,0524	0,0332	0,0224	0,0015
경안 01	0,3091	0,0073	0,0033	0,0258
경안 02	0,4335	0,0810	0,0103	0,3109
경안 03	0,0316	0,0858	0,0015	0,0069
경안 04	0,2298	-	0,0010	-
금 학	0,0192	-	0,0224	0,0006
양 지	0,1038	0,0697	0,0024	0,0001
남 곡	0,0126	-	-	-
대 대	0,1136	0,0346	0,0009	0,0005
주 북	0,0107	0,0141	0,0002	0,0012
금 어	0,0412	0,0199	0,0012	0,0001
유 운	0,0044	-	0,0006	-
초 하	0,0024	-	0,0001	-
신 원	0,0242	0,0167	0,0007	-
상 미	0,0000	-	-	-
매 산	0,0011	-	-	-
신 현	0,0185	-	0,0008	0,0006
오 산	0,0213	0,0233	0,0017	0,0012
고 산	0,0008	-	0,0003	0,0001
직 리	0,0063	0,0029	0,0053	0,0011
중 대	0,0667	0,0456	0,0035	0,0007

이용 형태는 Arcview 소프트웨어를 이용하여 1:25,000 토지피복도를 산지, 논, 밭, 주거지역 그리고 기타 지역 5가지로 분류하여 소유역별로 분석하였다. 토양 특성은 침투관련인자를 계산하기 위해 투수성과 배수성을 고려하여 구분한 미 토양보존국(SCS)에서 구분한 A, B, C, D 4가지 그룹으로 구분하여 분석하였다. SWMM EXTRAN 블록을 이용한 수문변화 모의에 앞서 급·배수량 산정을 위한 용도별 수요와 회수에 대한 조사가 선행되었다. 물수지 분석에서 하천에 흐르는 유량은 기 조사된 갈수기 자연 유하량에서 조사된 자료에 근거하여 산정된 순 물 소모량을 제외시키는 방법으로 계산되었다(Table 1).

1) 10년 빈도 갈수량에 순 물 소모량(취수-회수)을 가산하는 방법으로 계산

연구 대상 유역 내 용인시 및 광주읍 등 인구 밀집지는 생활, 공업 용수 모두 상수도 급수시설에 의해 공급받고 있으며, 그 외 상수도 미급수 지역은 간이 상수도 시설이나 지하수로 수요를 충당하고 있어 생활용수와 공업용수의 수요부분은 고려하지 못하였다. 농업용수의 수요량 산정은 보, 집수 암거 등 하천수를 용수원으로 직접 취수하여 이용하는 수리 시설물을 대상으로 하였다. 해당 관개면적을 고려하여 단위 용수량 0.0018m³/sec/ha를 적용하였다(경기도, 2001). 회귀수량 산정과 관련하여 생활용수는 1996년 유역 내 상수도 급수 인구에 1인 1일 급수량을 곱하여 수요량을 산정하고, 회귀수량을 수요량의 65%로 가정하였다. 그 중 하수 처리장으로 보내지는 양을 제외하기 위해 관거접속 비하수 처리율을 적용하여, 각 소유역에서 하천으로 유입되는 양으로 산정하였다. 공업용수는 용인시와 광주시청에서 제공한 자료와 『한강대권역 수질오염원현황(96)』(한강환경관리청, 1999)을 참고하였다. 1996년을 기준으로 축산시설을 포함하여 폐수를 하수처리 시설로 보내는 시설과 자체처리 후 하천에 방류하는 시설을 구분하고, 그 위치와 양을 확인하였다. 농업 용수의 경우 회수율을 수요량의 35%로 적용하여, 결과적으로 하천에서 전체 수요량의 65%를 취수하는 것으로 계산하였다. 갈수기 자연 유하량에 생활용수의 회수수가 더해진 양을 각 하도의 기본 유량으로 가정하고 공업용수와 농업용수는 시설들의 위치를 확인하여 EXTRAN 블록의 기본 형식인 Link와 Node 형식으로 구성하고, 각 Node에서 취배수를 적용하였다.

4. 수질모델 구성

수질 모델인 WASP5를 대상 하천에 적용하기 위하여 유역 모델과의 연계와 실측된 수질자료 가용 여부에 근거하여 총 유로 연장 34.6km의 본류를 중심으로 45개 구획(segment)으로 분할하였다

(Fig. 3). 구획별 지형 요소인 폭, 길이, 깊이, 부피는 경안천의 하천정비 기본계획서에서 조사된 횡단면도로부터 구한 자료를 이용하였다. 수리학적 계수인 조도계수와 유속, 유량과 수심 관련계수도 경안천 하천정비계획서에서 실측자료를 이용하여 분석한 값을 인용하였다. 기상 자료는 수원, 양평, 이천의 기온, 풍속, 일조시간 일 자료를 평균값으로 사용하였으며, 일사량은 수원 관측소의 자료를 사용하였다. 구획별 유량과 비점오염 부하량은 유역모델 결과를 이용하였다. 점오염원에 의한 부하량은 인구, 산업, 축산별로 원단위법을 이용하여 산정하였다. 생활계의 경우, 하수처리인구를 제외한 하수 미처리인구의 배출부하량을 유역별로 산정하여 입력하였으며, 하수처리장의 경우에는 방류수질과 방류유량을 곱하여 배출 부하량을 해당 방류수역에 입력하였다. 축산계의 경우 소와 돼지의 발생 원단위를 곱하여 산정하였으며, 산업계 배출부하량은 방류량에 배출허용기준농도를 곱하여 산정하였다(한강환경관리청, 1999).

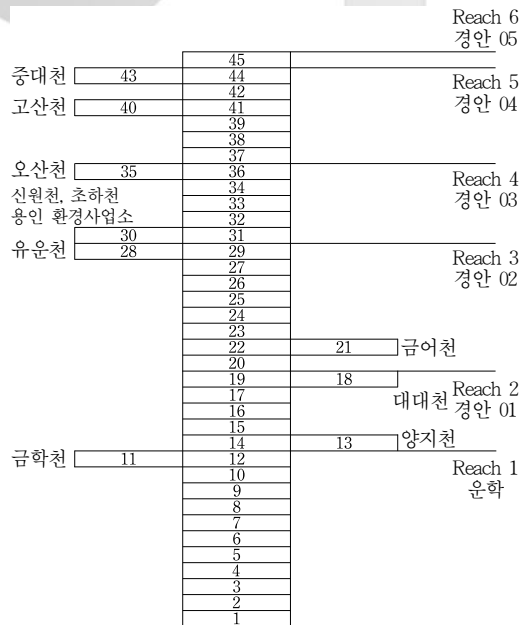


Fig. 3. Schematics for water quality model in the Kyoungan Stream

III. 결과 및 고찰

1. 유역모델 적용

대상 유역의 유량과 유출수 수질에 대하여 1996년 건설교통부와 환경부에서 측정한 수문 및 수질 자료에 근거하여 유역 모델 보정을 실시하였다. 유출 수량과 수질 보정에 적용된 매개변수는 Table 2와 같다.

유출수량 보정은 Warwick(1991)에 의해 이루어진 민감도 분석에서 영향 정도가 크게 나타난 투수 지역 저류량, 최대와 최소 침투 계수, 침투 감소 계수를 이용하였다.

유출수 수질과 관련해서는 오염물질이 일정량까지 지수적으로 축적된 후, 강우에 의해 유출되는 형태로 BOD, TN, TP 세 가지 수질 항목에 대해 적용하였다. 유출수 수질과 관련한 매개변수 보정은 유출수 수질을 측정한 자료가 없어 유역모델 결과를 수질모델과 연계하여 적용한 후 그 결과에 따라 매개변수를 조정하는 방법으로 이루어졌다. 불투수 비율이 비교적 높은 주거지역에는 초기 세척 효과가 잘 묘사되는 지수함수를 적용하였으며, 산림, 논과 밭 지역에는 장마 기간 동안의 유출수량과 토양 유실에 의한 오염물질의 일정한 농도를 표현하기에 적합하므로 rating curve함수를 적용하였다(윤춘경 등, 2001). 유출 수질 관련 인자 중 민감도가 큰 계수인 유

출율 지수(WASHPO)와 세정계수(RCOEF)를 보정인자로 사용하였다.

Fig. 4와 Fig. 5에서 1996년 1년 동안 실측한 일 평균 유량과 강우가 집중된 6, 7월의 시간별 실측 유량에 대하여 모델 예측값을 비교하여 제시하였다. 보정 결과, 일별, 시간별 유량 모두 전반적인 경향을 잘 모의하고 있음을 보이나 일부 평가 절하 경향을 보인다. 이는 지하 수리 구조물이나 유출 흐름에 대한 자료 부족으로, 유역 모델을 지표수만을 대상으로 적용하였기 때문에 오차가 발생한 것으로 사료된다. SWMM 모델에서 오차는 유출 모델에서 유역에 대한 공간적 개념화 과정과 투수지역, 불투수 지역 간 관계 처리, free parameter 조정에 대한 제약 등에서 기인한다(Warwick, 1991). 또한 유량 계산에 적용되는 Manning식은 수로에서 uniform flow를 가정하므로, 굴곡, 수로의 확장 및 축소, 그 외 다른 구조물에 의한 유량 증가를 정확하게 예측하지 못해 유량이 손실되는 경향이 있다(Campbell and Sullivan, 2002).

2. 수질모델 적용

대상 수체의 수질 예측을 위하여 WASP5에서 적용 대상지역과 이용 가능한 입력 자료를 고려하여 복잡도 4의 단순 부영양화 단계를 적용하였다. 매개변수는 국내 다른 연구 자료(신동석·권순국, 1997; 유명진, 1993; 윤춘경·함중화, 2000; 조홍연 등, 1993)와 WASP5 Manual에서 제시한 값에 근거하여 선정하였고, 주요 매개변수는 Table 3과 같다. BOD, DO, 질소, 인 영양물질과 관련한 계수들은 탈산소 계수, 무기 염화물 등을 중심으로, 시행 착오법으로 반응 계수의 값을 변화시키면서 모델에서 예측된 농도와 1996년 환경부에서 실측한 자료를 비교하였다.

BOD, TN, TP 수질 항목에 대한 예측 결과를 실측값과 비교하여 Fig. 6~Fig. 8에 제시하였다.

Table 2. Calibrated value of main reaction coefficients for SWMM (Tsihrintzis and Hamid, 1998; Huber, 1991)

매개변수		적용범위
조도계수	불투수지역	0.014
	투수지역	0.016
불투수지역 저류량(mm)		0.9906
투수지역 저류량(mm)		2.0
최대침투능(mm/hr)		30~80
최소침투능(mm/hr)		4~8
침투감소계수		0.00115
유출율지수		2.0~3.0
세정계수		2.0~4.0

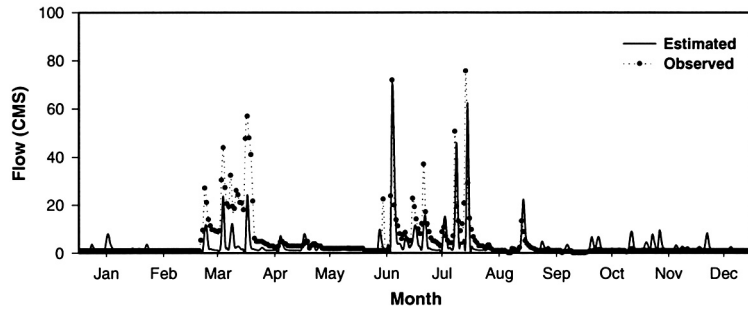


Fig. 4. Model Results and Measurements - Daily Flow

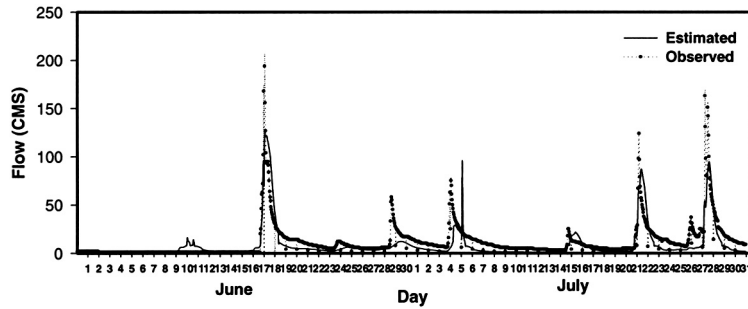


Fig. 5. Model Results and Measurements - Hourly Flow during June and July

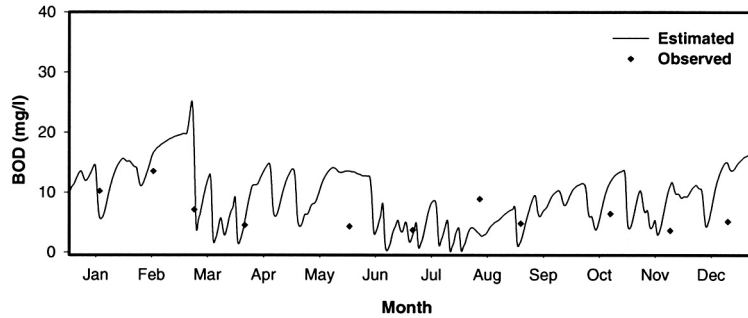


Fig. 6. Model Results and Measurements - BOD

Table 3. Calibrated value of main reaction coefficients for WASP5

Coefficient Code	Definition	Manual	This study
K12C(11)	Nitrification rate at 20°C	0.09-0.13	0.09
K20C(21)	Denitrification rate at 20°C	0.09	0.15
KDC(71)	CBOD deoxygenation rate at 20°C	0.16-0.21	0.025
KDT(72)	Temperature coefficient for carbonaceous deoxygenation in water column	1.050	1.04
K71C(91)	Mineralization rate of dissolved organic nitrogen	0.075	0.075
K83C(100)	Mineralization rate of dissolved organic phosphorus	0.22	0.22

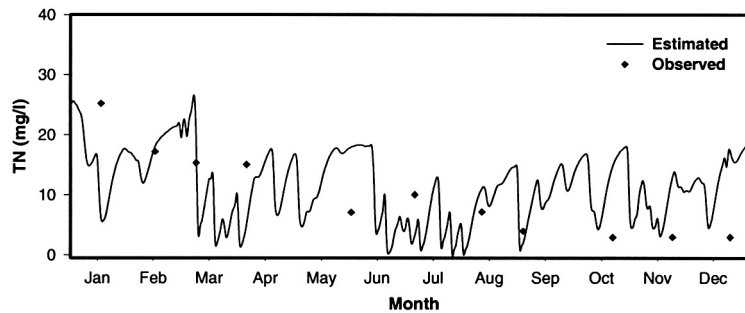


Fig. 7. Model Results and Measurements - TN

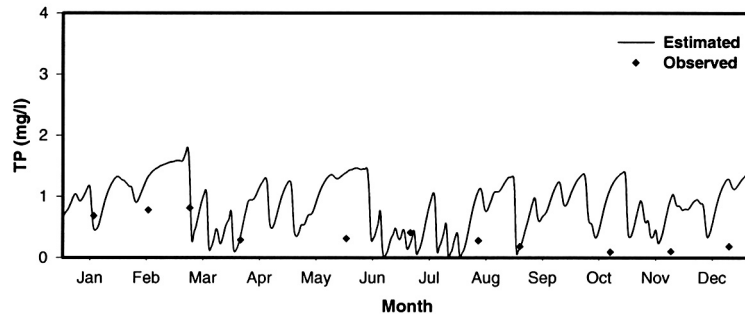


Fig. 8. Model Results and Measurements - TP

일부 구간에서 나타나는 오차는 WASP5가 지천의 유, 출입과 점오염원에 의한 영향을 잘 나타내지 못하고, 유량과 비점오염 부하량 모두 유역 모델에서 예측한 결과를 사용하였으므로, 선행된 모델링 과정에서 발생한 오차의 영향으로 사료된다. 한편, 보정에 사용한 실측 자료는 월 1회 측정으로 이루어진 것으로, 실제 수체의 시간적 변이를 정확하게 반영하는데 부족함이 있다. 좀 더 체계적이고 자세한 지형, 수리·수문 정보와 측정 자료 확충이 요구된다.

3. 시스템 적용

모델 연계 시스템의 활용성을 보기 위해, 대상 유역이 행정 구역상 수도권 정비계획법 시행령(1994) 중 성장 관리 권역으로 분류되어, 인구 및 산업을 계획적으로 유치하고, 산업의 입지와 도

시의 개발을 적정 관리해야 하는 지역이라는 것에 근거하여, 유역 내 도시 지역 비율을 증가시켜 모델을 적용하였다(경기도, 2001).

연구 대상 유역에 대한 도시화 정도를 용인 도시 기본 계획(1998), 광주 도시 기본 계획(1998)에 기초하고, 1996년의 강우를 적용하여 도시지역 증가에 따른 수문, 수질 변화를 모의하였다. McGrath(2001)가 평균적으로 도시 인구 1명이 증가할 때 도시 지역 면적이 0.04~0.07ha 증가한다는 제안에 근거하여 각 도시 계획에서 제시한 계획 인구 증가에 비례하여 도시 주거 지역 비율을 증가시키고, 불투수 지역의 비율을 변화시켰다. 각 소유역별로 토지 이용을 변화시켰을 때, 전체 유역에 대해 약 10%이었던 주거지역 비율이 평균 30%로 증가하였고, 그에 따른 유출수량과 수질 변화는 Table 4에 비교 제시하였다.

도시화에 따른 점 오염원 증가는 세부적인 항

Table 4. Impact Assessment of Urban Planning

유역명	불투수지역 비율(%)		유출수 변화율 ¹⁾	유출 부하량 변화율 ²⁾		
	도시개발전	도시개발후		BOD	TN	TP
운 학	14.9	17.2	0.260	0.501	0.506	2.674
경안 01	28.6	29.6	0.074	0.260	0.258	1.534
경안 02	23.5	32.3	0.294	0.551	0.546	2.034
경안 03	15.4	23.9	0.288	0.741	0.735	2.218
경안 04	19.9	38.0	0.666	2.125	2.114	4.890
금 학	25.1	59.1	1.271	5.143	5.121	8.441
양 지	21.3	29.5	0.283	1.169	1.164	2.813
대 대	15.6	20.9	0.201	1.854	1.843	3.291
금 어	23.7	29.6	0.190	1.051	1.047	2.689
유 운	24.1	34.1	0.269	0.487	0.478	1.831
초 하	13.3	23.3	0.296	0.450	0.447	1.761
신 원	19.1	21.6	0.097	0.863	0.866	2.407
상 미	10.3	15.3	0.269	0.498	0.491	1.890
매 산	17.5	39.5	0.656	6.442	6.394	10.400
신 현	15.6	26.4	0.510	7.169	7.081	7.052
오 산	16.5	22.9	0.306	3.936	3.864	3.891
고 산	18.4	29.2	0.459	1.028	1.025	3.090
직 리	17.9	24.5	0.302	1.957	1.954	3.520
중 대	15.9	36.4	0.897	4.825	4.817	9.833

1) (도시개발후 유출수량-도시개발전 유출수량)/도시개발전 유출수량

2) (도시개발후 연평균 유출부하량 - 도시개발전 연평균 유출부하량)/도시개발전 연평균 유출부하량

목으로 예측 불가능하므로, 인구 증가에 따른 BOD, TN, TP 오염 물질 증가만을 고려하였다. 하수 처리 구역 내 배출 원단위를 사용하여 BOD 11.30 g/인·일, TN 9.89 g/인·일, TP 0.87 g/인·일을 적용하였다(한강환경관리청, 1999). 도

시 지역 증가에 따른 수문과 수질 항목에 대한 변화를 토지 이용 변화 전의 모델 예측 결과와 비교하여 제시하였다(Fig 9~12). 유량 변화 모의 결과, 기저유량에는 큰 변화가 보이지 않았으나, 침투 유량은 최고 135%까지 증가하였다. 이는 도

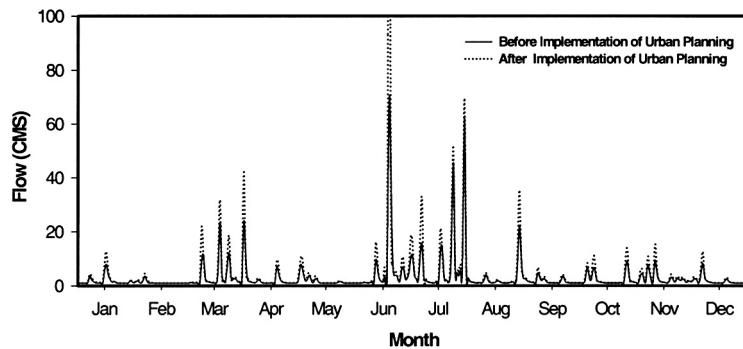


Fig. 9. Impact Assessment of Urban Planning on Water Flow

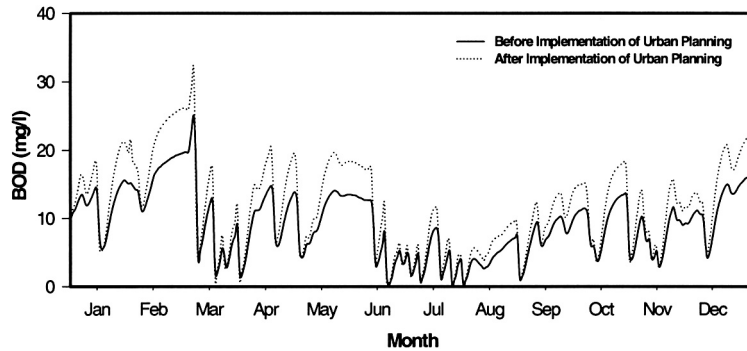


Fig. 10. Impact Assessment of Urban Planning on BOD

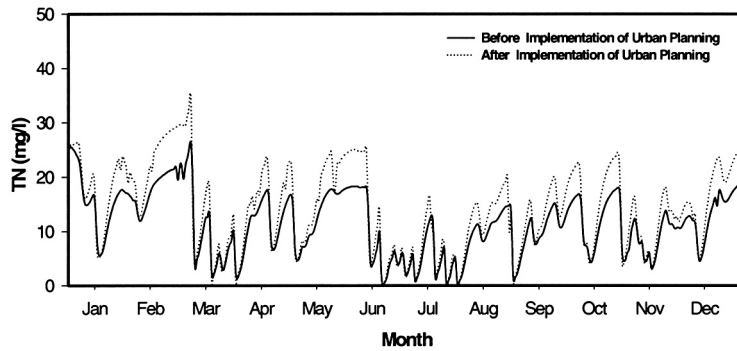


Fig. 11. Impact Assessment of Urban Planning on TN

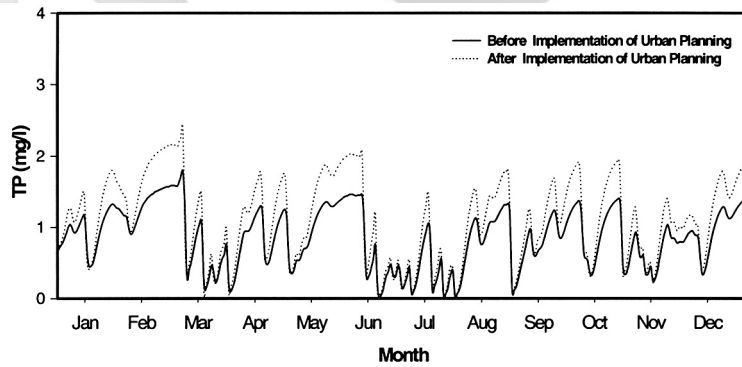


Fig. 12. Impact Assessment of Urban Planning on TP

시지역이 증가하고 임야지역이 감소하면서, 불투수 지역의 비율이 증가하였고, 저류 기능이 약화되면서, 강우시 유출유량이 현저하게 증가하기 때문이다. 수질 변화는 장마기에는 큰 변화가 보이지 않으나, 강우가 적은 시기에는 오염도가 급격하게 증가한다. 이는 강우가 집중된 장마기에

는 도시지역에서 초기 유출되는 오염물질은 많으나, 불투수 지역 증가로 유출 유량 역시 많아지기 때문에 희석 효과로 농도가 크게 증가하지 않은 것으로 보인다. 그러나 강우가 적은 시기에는 도시화로 증가한 점 오염원에서 배출한 오염물질 부하량이 증가하여 같은 유량에도 오염도가 급격

하게 증가하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 한강 지류인 경안천을 대상으로 소수계의 최적 물 관리를 목적으로 하는 시스템에 적합한 유역과 수질 모델을 선정하여 적용하였다. 적용 모델은 유역을 자세하게 구성할 수 있고, 연속 모의와 작은 시간 단위까지 예측이 가능하도록 SWMM과 WASP5를 선정하고, 적용하였다. 지형 조건과 취, 배수 지점에 근거하여, 22개의 중유역과 111개의 소유역으로 나누고, 수체를 Link와 Node형식의 네트워크 시스템으로 구성하였다. 유출 부분을 시뮬레이션하기 위해 SWMM RUNOFF 블록을 적용하였다. DEM을 분석하여 하천 및 유역 관련 지형 정보를 추출하고, GIS를 이용하여 토지이용도와 토양도를 소유역별로 분석하여 얻어낸 지역 특성인자를 입력하였다. 산정된 유출수량을 기존의 급·배수 자료와 함께 SWMM EXTRAN 블록에 적용하여 대상 유역의 일별, 시간별 수문 변화를 모의, 예측하였다.

유역 모델에서 예측한 유량과 비점오염 부하량은 수질 모델에 입력되었다. 수질 모델은 동적 모델로 SWMM과 연계가 용이하게 구성되어있는 WASP5를 선택하였다. 대상 수계를 유역 모델의 소유역 구분에 근거하여 전체 45개 구획(Segment)으로 나누고, BOD, TN, TP 세 가지 수질 항목을 대상으로 대상 수체의 변화를 모의하였다. 적용 결과, 선정된 유역과 수질 모델이 전반적으로 대상 유역의 수문, 수질 경향을 잘 모의함을 보였다. 일부에서 보이는 오차는 소유역별 자세한 측정 자료나 지형, 수리 구조물에 대한 정보 부족, 모델 자체의 결함 그리고 선행 모델 결과에서 발생한 오차에서 기인한 것으로 사료된다.

모델 적용 결과를 바탕으로 토지 이용 변화 시나리오를 적용하여, 그에 따른 대상 수계의 변화를 모의하였다. 토지이용변화는 대상 유역에서

진행중인 도시계획에 근거하여, 인구를 기준으로 도시 면적을 증가시키고, 그에 따른 불투수 비율도 조정하였다. 점 오염 부하량은 정확한 예측이 불가능하므로, 인구 증가에 따른 배출부하량만을 포함시켰다. 모의 결과 수문은 토지 이용 변화 전의 모델 예측값과 비교하여, 기저 유량에는 큰 변화가 없으나, 첨두 유량이 최고 135%까지 증가함을 보였다. 이는 유역 내 불투수 지역이 증가함에 따른 것이다. 수질은 강우시기에는 유량 증가로 인한 희석효과로 오염도가 크게 증가하지 않았다. 그러나 비강우시기에는 점 오염원에서 배출되는 오염부하량이 증가함에 따라 오염 정도가 급격하게 증가하였다.

참고문헌

- 경기도, 2001, 경안천 하천정비 기본계획 보고서.
 고익환, 1997, 수량과 수질을 고려한 유역수자원의 통합적 운영계획, Colorado State University 박사학위논문.
 신동석, 권순국, 1997, WASP5모델을 적용한 복하천 수질 예측, 한국환경농학회지, 16(3), 233-238.
 유명진, 1993, 팔당호와 한강 하류에 대한 수질모델의 적용, 서울시정연구, 1(1), 4-24.
 윤춘경, 함중화, 전지홍, 2001, SWMM과 희귀분 석법에 의한 유역의 오염부하량 산정비교, 수질보전, 17(2), 157-168.
 윤춘경, 함중화, 2000, SWMM과 WASP5 모형을 사용한 하구담수호의 수질 예측, 한국환경농학회지, 19(3), 252-258.
 이진원, 1995, 하천 환경의 현황과 문제점, 하천 환경 심포지엄 '현황과 전망', 한국건설기술 연구원, 1-32.
 최윤영, 이영화, 2000, 도시유역의 내수배제시스템 설계를 위한 유출특성분석 -SWMM의 적용-, 한국환경과학회지, 9(3), 193-199.
 한강환경관리청, 1999, 경안천 유역 오염원 현황

- 보고서.
- Ambrose, R.B., 1993, WASP5.x, A hydrodynamic and water quality model theory user's manual and programmer's guide, U.S. EPA.
- Brigham Young University, Engineering Computer Modeling Laboratory, 1997, *Watershed modeling system: Reference manual and tutorials*, Brigham Young University, Provo, UT, USA.
- Campbell, C.W., Sullivan, S.M., 2002, Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management Model, *Engineering Geology*, 65, 133-139.
- Huber, W.C., 1991, EPA Storm Water Management Model, SWMM User's Manual v4.0.
- McGrath, D.T., 2001, An approach to spatial urban land use change for hydrology modeling, *Models and application to urban water system*, 9, 21-33.
- Tsihrintzis, V.A., Hamid, R., 1998, Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM, *Hydrological Processes*, 12, 311-329.
- Warwick, J.J., 1991, Efficacy of SWMM application, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 17(3), 352-366.

최종원고채택 04. 08. 02

