

유역관리에 따른 수질개선 효과분석을 위한 HSPF 모델 적용

송혜원 · 이혜원 · 최정현 · 박석순[†]

이화여자대학교 환경공학과

(2008년 7월 29일 접수, 2009년 5월 28일 채택)

Application of HSPF Model for Effect Analyses of Watershed Management Plans on Receiving Water Qualities

Hyewon Song · Hyewon Lee · Junghyun Choi · Seok Soon Park[†]

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

ABSTRACT : The HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) model was applied to the Kyoungan stream watershed to analyze effects of watershed management plans on receiving water qualities. Utilizing BASINS 3.1 GIS program, the Kyoungan stream watershed was divided into 57 sub-basins and model input parameters were obtained, from DEM (Digital Elevation Model), land use type, stream map, and wastewater treatment facilities, etc.. The hydrologic module of the model was validated based on the measured meteorological data and stream flow data. Then the model was calibrated and verified against the field measurements of water qualities, including temperature, DO, BOD, NO₃-N, NH₃-N, Org-N, TN and TP. In most cases, there were reasonable agreements between measurements and predictions. The validated model was used to analyze the water quality improvements in the main stream of Kyoungan stream according to the watershed management plans in sub-basins, which are three different scenarios: water quality improvement in tributaries through watershed management activities, expansion and up-grade of wastewater treatment plants, and application of first and second scenarios together. It was concluded that expansion and upgrade of wastewater treatment plants would be more effective than watershed management activities. In order to improve water qualities to the satisfactory level, both watershed management and point source control must be required in the Kyoungan stream.

Key Words : HSPF, BASINS, Kyoungan Stream, Sub-basin Management, Paldang Lake

요약 : 유역관리 계획이 하천 수질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모델을 경안천에 적용하였다. BASINS 3.1 GIS 프로그램에 DEM (Digital Elevation Model), 토지이용도, 하천도, 환경기초시설 등을 입력하여 경안천 유역을 총 57개 소유역으로 구분하고 모델 입력 자료를 산출하였다. 먼저 관측된 기상 및 하천 수량 자료를 이용하여 수문 모델의 타당성을 확인한 후 수질 모델을 보정하고 검증하였다. 적용한 수질은 수온, DO, BOD, NO₃-N, NH₃-N, Org-N, TN 그리고 TP이며, 대부분의 경우 측정치와 예측치가 적절히 일치하였다. 보정 및 검증 완료된 모델을 활용하여 소유역의 수질관리 방안에 따른 경안천 본류의 수질개선 효과를 분석하였다. 적용한 시나리오는 세 가지로, 첫째, 유역관리 활동을 통한 지천 수질개선, 둘째, 환경기초시설의 확충과 처리수질 향상, 그리고 셋째, 이 두 가지를 동시에 적용하는 것이다. 예측결과에 따르면 환경기초시설 확충과 처리수질 향상이 유역관리를 통한 지천 수질개선보다 효과적인 것으로 나타났다. 경안천이 만족할 만한 수질로 개선되기 위해서는 두 가지 방안이 모두 적용되어야 하는 것으로 나타났다.

주제어 : HSPF, BASINS, 경안천, 소유역 관리, 팔당호

1. 서론

우리나라는 지난 1990년대부터 매우 적극적인 수질관리 정책을 추진해왔다. 추진 초기에는 주로 생활하수나 산업폐수와 같은 점오염원을 방지하기 위한 환경기초시설을 건설하는데 중점을 두게 되었다. 1993년부터 1997년까지 진행된 맑은 물 종합대책에서 전국에 걸쳐 295개 생활하수처리장, 86개 분뇨처리장, 84개 축산폐수처리장, 142개 산업폐수처리장이 건설되었다.¹⁾ 이러한 노력의 결과로 일

부 하천에서는 수질개선의 효과가 나타나게 되었으나 대부분의 하천은 목표 수질을 달성하지 못하였다. 이처럼 많은 하천에서 수질 개선효과가 미흡했던 주요 원인으로 특정 오염원과 수역의 문제를 해결하기 위한 점오염원 중심의 대책과 과학적인 비점오염원 관리의 부재가 지적되었다.²⁾

그 후 계속된 물 관리 정책에서는 점오염원과 더불어 유역으로부터 유입되는 비점오염물질을 최소화하기 위한 관리에도 역점을 두게 되었다. 1998년에 한강물관리종합대책, 1999년에 낙동강대책, 그리고 2000년에 금강대책과 영산강대책이 수립되면서 4대강 및 상수원지역을 대상으로 유역관리 대책이 시도되었다.²⁾ 그러나 당시 유역관리 대책들은 대상 유역의 규모가 방대하고 구체적인 목표설정 이

[†] Corresponding author
E-mail: ssp@ewha.ac.kr
Tel: 02-3277-3546

Fax: 02-3277-3275

루어지지 않았기 때문에 오염 원인규명이나 효과 검증에 어려움이 많았다. 또한 정책수립 및 집행과정에 있어 대상 지역내 이해관계자의 참여를 배제하여 사업성과도 미흡했다.^{3,4)}

지금까지 이루어진 국내외 주요 유역관리 사례를 보면, 효율적인 유역관리를 위해서는 소유역을 중심으로 구체적인 관리방안을 모색하고 유역 내 이해관계 집단이 공동으로 참여하는 유역공동체의 노력이 중요한 것으로 논의되고 있다.³⁾ 이러한 소유역 중심의 유역관리는 궁극적으로 전체 수계의 수질 개선효과로 나타나게 된다. 따라서 효율적인 수질개선을 위해서는 수계를 구성하는 각 소유역의 관리방안이 전체 수계에 어떤 효과를 줄 것인지 사전에 규명하고 소유역별 관리방안과 우선순위를 결정하는 것이 필요하다.

본 논문은 미연방환경청에서 개발한 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 유역모델⁵⁾을 이용하여 소유역 단위의 유역관리가 전체 수계의 수질에 어떤 영향을 미치는가를 규명하는 방법을 제시하고자 한다. 관측된 자료를 이용하여 대상 유역에 적절하게 모델을 보정하고 검증하였으며 소유역 관리 및 점오염원 방지에 따른 경안천 본류의 수질개선 효과를 예측하였다.

2. 연구 방법

2.1. 연구대상

2.1.1. 수계현황

본 연구의 대상인 경안천은 경기도 용인시 이동면과 원삼면의 경계인 문수봉 계곡에서 발원하여 팔당호로 유입되는 유로연장 49.3 km인 하천이다. 경안천은 남한강과 북한강에 비해 수량은 매우 적으나 유역에 많은 오염원이 산재해 있고 호수에서 표층 밀도류를 형성하기 때문에 팔당호 수질에 중요한 영향을 미친다. 또한 수도권 상수원 취수지점이 경안천 유입 부근에 위치하여 경안천 수질관리는 팔당호 관리의 가장 중요한 부분을 차지한다.^{6,7)}

경안천 유역에는 행정구역상 상류에 용인시, 하류에 광주시가 위치해 있으며, 전체유역 면적 중 용인시가 35.5%, 광주시가 64.5%를 차지한다. 광주시는 전역이 특별대책지역 I권역으로 관리되고 있어 하수처리구역 외에서는 엄격한 입지규제를 받고 있다. 그러나 용인시는 특별대책지역 II권역으로서 상대적으로 입지규제가 완화되어 있어 경안천은 일반 하천과는 달리 상류지역의 오염도가 높은 특성을 보이고 있다.⁴⁾

경안천의 유역면적은 534 km²로, 이중 임야가 차지하는 면적은 약 340.7 km²로 전체면적의 약 70%에 해당한다. 토지이용도 중 비점오염 발생에 가장 큰 영향을 미치는 대지는 약 11%를 차지한다. 토지이용도 변화는 연도별로 큰 차이를 보이지 않지만, 전, 답, 임야 등이 매년 조금씩 감소하는 반면 대지, 도로 등이 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 경안천 유역은 수도권에 위치하여 개발압력

이 크게 작용하고 있다. 따라서 지속적이고 점진적으로 개발이 진행됨에 따라 임야 비율은 감소하고 대지면적은 지속적으로 늘어나고 있다.^{8,9)}

기존 연구에 따르면 경안천 전체 오염량 중 비점오염원의 기여율은 발생량 기준으로 13.0%, 배출량 기준으로 52.8%로 추정되고 있다.¹⁰⁾ 점오염원 처리를 위한 환경기초시설의 증설 및 효율 증대에 비하여 비점오염원의 관리대책이 미비하기 때문에 발생량 대비 배출량의 비점오염원 기여율이 매우 높게 나타나고 있다.

2.1.2. 수질관리 현황

경안천에는 6개의 수질 측정지점이 위치해 있으며 유역에는 8개의 하수처리장, 3개의 분뇨처리장, 2개의 축산폐수공동처리장, 4개의 마을하수도가 운영 중에 있다. 분뇨처리장과 축산폐수공동처리장의 1차 처리수는 용인하수처리장, 광주하수처리장, 곤지암하수처리장에서 연계처리 후 방류되고 있다(Fig. 1).

광주시는 지난 2004년 7월 우리나라에서 처음으로 관할 유역 288.2 km²에 대해 수질오염총량관리제를 시행하였다. 수질관리 목표는 광주-용인 경계지점의 평수기시 BOD 농도가 5.5 mg/L로 유지되는 것을 기준으로 하여 오염총량 관리지점인 서하보에서 하천의 평수기 BOD 농도를 5.5 mg/L 이하로 유지하는 것이다.

목표 수질을 달성하기 위해 대상지역내 총 할당 부하량을 인구증가 등에 의한 오염부하량의 자연증가, 문화, 복지시설을 포함하는 각종 지역개발 사업, 여유 부하량 할당에 따라 목표 부하량을 설정하고 이에 따른 유역관리 활동을 추진하고 있다. 수질 오염방지를 위해 하수처리용 증대 및 하수처리장 고도처리, 하수관거정비, 산업 및 축산폐수 연계처리와 규제, 비점오염물질 저감시설 설치, 하천 모니터링 및 하천 살리기 범시민운동 등 다양한 유역관리 정책을 시도하고 있다.

광주시는 지방의제 21의 원칙에 의거하여 2001년 지방환경조례를 제정하고 경안천 유역 내 시민·기업·행정의 협의 하에 환경개선과 시민의 삶의 질 향상을 도모하고 있다. 지방의제 21은 환경개선을 위한 5가지의 기본원칙을 설정하고 이를 달성하기 위한 시의 책무, 사업자의 책무, 시민의 권리와 책무 등에 관한 내용을 삼입하고 이에 따른 활동 및 정책 결정이 유역관계자가 참여하여 협의·승인한 후에 이루어지도록 하였으며 시민 참여를 적극 권장할 수 있는 행사 마련을 추진하고 있다.

그 외에도 중앙과 지방 정부의 지원 하에서 하수처리장의 고도처리시설 설치와 수질 측정망 확장 및 실시간 모니터링을 추진하고 있으며, 하상여과시설을 시범적으로 설치하고 자연형 하천 조성사업을 시행하고 있다. 또한 시민단체들은 정기적으로 하천 살리기 운동 지역행사를 통해 하천 살리기 캠페인을 개최하고 있다. 경안천의 유역관리 활동은 상류지역인 용인시에 비해 하류지역인 광주시가 더욱 적극적이다.

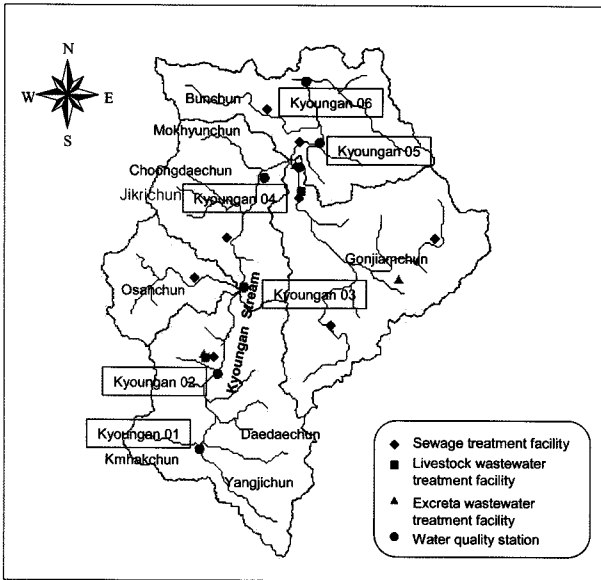


Fig. 1. Wastewater treatment facilities in the study area.

2.2. 모델 적용

2.2.1. 모델 개요

본 연구에서 사용된 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모델은 농촌지역과 도시지역이 혼재된 복잡한 유역에서 연속강우에 의해 발생하는 수량과 수질예측을 위해 미국 연방환경청(U. S. EPA)에서 개발한 유역모델이다. 이 모델은 유역내의 토지이용에 따른 특정 오염물질의 비점오염 부하량을 모의하고 이를 점오염 부하량과 통합하며 강우에 따른 유량 변화를 수질모델에 연결한다.^{5,11,12,13} 그러나 모델에 필요한 입력 자료가 방대하여 소유역에 대해 평균적인 매개변수 값을 가지는 단점이 있다. 또한 하천의 흐름을 한 방향으로 가정하기 때문에 하구에서 일어나는 조석을 반영하지 못하며, 하천바닥의 부착 조류나 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등에 의한 수질변화를 고려하지 못하는 한계가 있다.^{5,14,15}

HSPF는 투수지형(Pervious Land)에서의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND 모듈과 불투수지형(Impervious Land)의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND 모듈, 수체내의 수리 및 수질을 모의하는 RCHRES 모듈로 나누어져 있다. 각각의 모듈에는 물의 흐름에 관계된 부분과 토사유출, 영양염류 등 수질에 관계되는 부분으로 구분된다. 각 모듈에 관련되는 사항과 구체적인 모델식은 Bicknell et al.⁵에 상세히 기술되어 있다.

2.2.2. 모델 구성

미연방환경청의 BASINS 3.1 GIS 프로그램에 경안천의 단위유역도, 개략하천도, 수치고도모델(DEM), 토지이용도를 입력하여 소유역과 하천을 생성한 후 유역모델을 구성하였다(Fig. 2). 모델 구성과 실행에 필요한 자료는 환경부, 국립지리원, 기상청 등의 국가의 공신력 있는 기관에서 구하여 사용하였다.

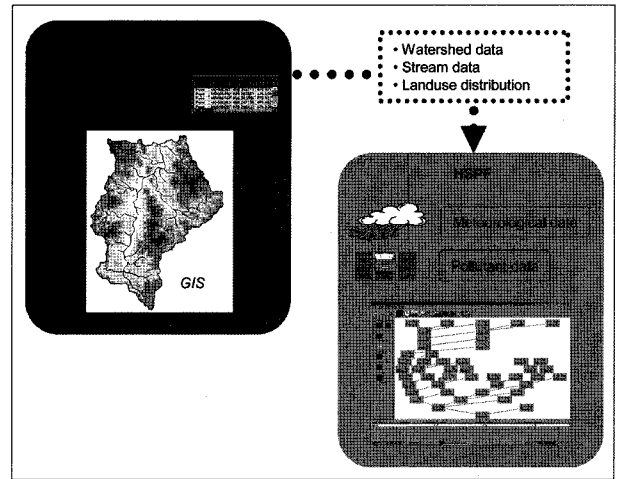


Fig. 2. Processes from BASINS to HSPF.

모델 구성과정에서 환경부의 1초 간격 30 m × 30 m DEM 자료를 이용하여 유역면적 및 유역평균경사, 유역폭, 유역길이 등과 하천평균경사, 하천길이, 하천 폭과 같은 지형학적인 인자를 추출하였다. Fig. 3과 같이 경안천 유역을 총 57개 소유역으로 나누어 연결하였다. 또한 수질측정망 위치 및 주요 지천을 고려하여 유역과 하천을 구성한 뒤 실제 지도를 통해 타당성을 확인하였다.

기상자료는 경안천 유역 내에 기상 관측소가 없기 때문에 인접지역에 위치한 수원, 양평, 이천기상 관측소의 1999년부터 2000년까지의 강수량, 증발량, 이슬점온도, 운량 등의 시별 자료와 최고온도, 최저온도, 풍속, 운량, 이슬점온도, 일조량 등의 일별자료를 이용하였다.

토지이용도는 국립지리원에서 발행한 1:25,000 수치주제도(Digital Subject Map)를 통해 구했다. 국립지리원의 토지이용현황도 분류는 연구의 목적에 맞게 여섯 종류의 토지이용도(도시, 산림, 논, 수계, 나지, 골프장)로 재분류하였다. 오염원자료는 경안천 유역 오염원현황보고서⁶와 환경부(1999~2003) 환경기초시설 현황자료를 이용하여, 인구현황과 축산현황, 배출업소 현황, 환경기초시설 현황 등을 파악하였다. 인구현황은 시가와 비시가로 구분하고, 이를 각각 하수처리구역과 미처리구역으로 구분하였다. 하수처리구역은 합류식과 분류식으로, 미처리구역은 수세식, 단독정화, 수거식, 무처리로 구분하여 하수처리인구를 제외한 미하수처리인구의 배출부하량을 소유역별로 산정하였다. 축산의 경우 축종을 한우, 말, 돼지, 산양, 사슴, 개, 가금, 젖소 등으로 분류하였다. 법적 구분은 허가, 신고, 간이, 미규제 등으로 분류하고, 폐수처리는 생물처리, 무처리로 분류하였으며, 축분 처리는 톱밥발효, 퇴비, 액비, 야적 등으로 구분하였다. 산업폐수 배출업소와 양식장 배출업소의 경우 방류량에 배출허용기준농도를 곱하여 산정하였다. 환경기초시설의 경우, 분뇨처리시설, 축산폐수공공처리시설, 하수처리시설 등으로 분류하고 각각의 처리시설에서의 방류유량과 방류수질을 이용하여 배출부하량을 산정하였다.

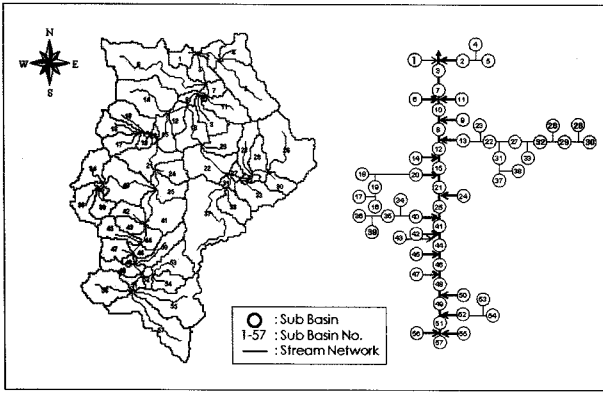


Fig. 3. Division (left) and network (right) of the Kyoungan stream watershed.

경안천 유역내에는 광주읍 쌍령리 경안1교에 위치한 경안 수위관측소가 있으나 수위자료의 측정성고가 부족하여, 수위-유량 관계가 양호한 여주 수위표의 자료를 이용하여 유연면적비로 산정한 유량값을 사용하였다. 관측 수질 자료의 경우는 환경부 수질 측정망 자료인 경안천 01지점부터 경안천 06지점, 그리고 곤지암천의 실측값을 사용하였다.

2.2.3. 모델 보정 및 검증

경안천에서 관측된 수량 및 수질 자료를 이용하여 1999년부터 2000년 기간 동안 경안천 03 지점에 대하여 HSPF 모델을 보정하고 검증하였다. 경안천 HSPF 모델 구성과 주요 오염원, 그리고 관측지점별 소유역 번호는 Fig. 4에 제시하였다. 그림에 제시된 경안천 본류 지점에서 관측된 유량 및 수질자료를 이용하여 모델 계수 값을 결정하였다.

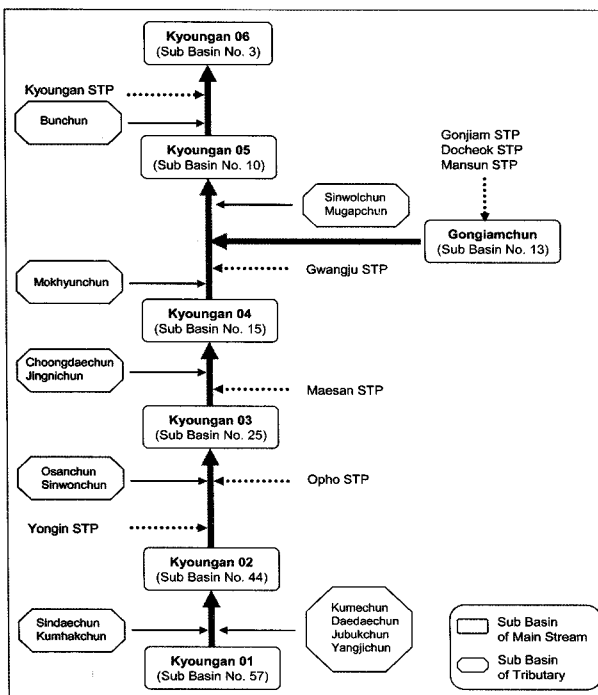


Fig. 4. Schematics of the Kyoungan stream HSPF model.

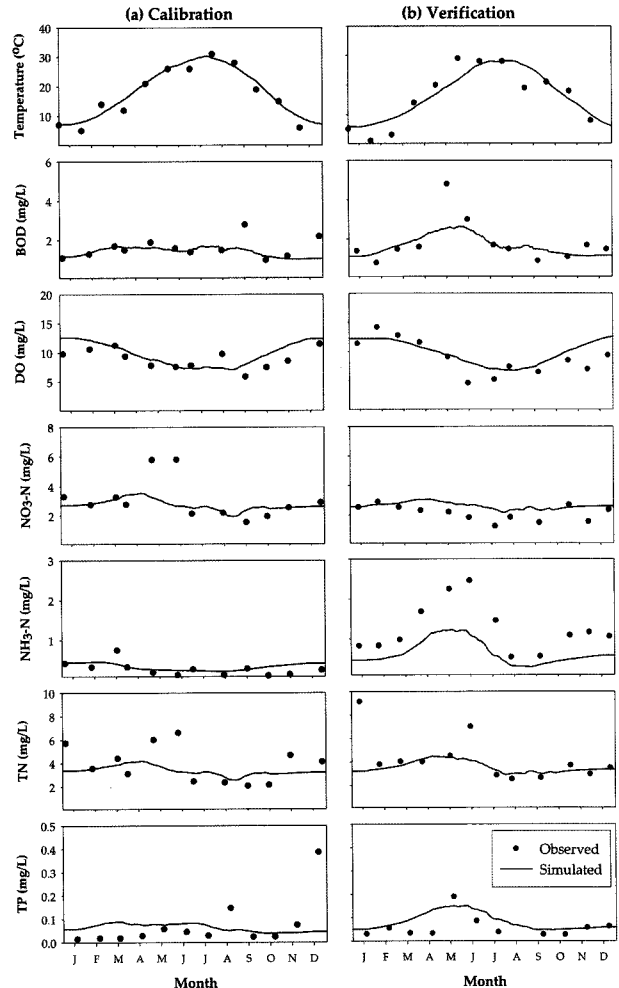


Fig. 5. (a) Calibration and (b) verification result of HSPF model.

모델의 유량을 우선 보정한 후, 수온, DO, BOD, NO₃-N, NH₃-N, Org-N, TN 그리고 TP의 8개 수질항목에 대한 보정을 실시하였으며 그 결과는 Fig. 5(a)에 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 일부 질소 항목을 제외한 대부분의 수질항목에서 실제 측정값과 모델 값이 비교적 적절한 일치를 보인다.

모델 검증 결과는 Fig. 5(b)에 제시하였다. 그림에서 보듯이 계절에 따른 변화는 보정 때와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 실측값과 모델 값이 비교적 일치하고 있으나 일부 항목에서는 다소 차이를 보인다. 월별 변화를 보면, 7~9월 강우시보다 3~5월 비강우시 오염도가 다소 증가하고 있다. 강우시에는 초기 유출되는 오염물질은 많으나, 유출 수량에 따른 희석효과로 인하여 농도가 크게 증가하지 않는 것으로 보인다. 점오염원에서 배출한 오염 부하량은 연중 일정하다고 가정하였기 때문에 하천에 유량이 적은 비강우시의 하천의 오염도가 증가한다. 실측값과 모델 값이 차이를 보이는 것은 보정지점의 농도가 약 20%를 차지하고 있으며, 농지에 살포된 비료에 의한 오염을 고려하지 못한 경우일 수 있으며, 실제로 하천으로 유입되는 점오염부하량이 항상 일정하지 않으며 모의 기간동

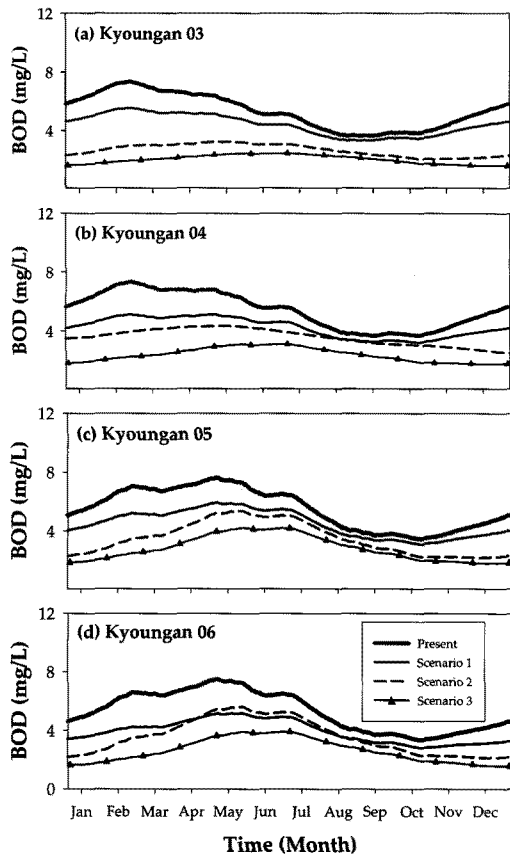


Fig. 6. Water quality improvement results of HSPF model.

안 점오염원에서 배출한 오염 부하량은 연중 일정하다는 가정에 의한 오차일 수 있다. 모델 보정 절차와 사용된 계수 값 등은 송혜원¹⁷⁾에 상술되어있다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1. 적용 모델의 타당성

모델 보정 및 검증 결과를 보면 실측값과 모델 값이 비교적 적절한 일치율을 보였으나 일부 항목과 시기에는 상당한 차이를 보였다. 이는 유역모델이 요구하는 방대한 자료에 내재하는 오차와 HSPF 모델이 갖는 다음과 같은 한계점에서 원인을 찾아볼 수 있다.

첫째, HSPF 모델은 통합형 모델(Lumped Model)로서 토지이용형태에 따른 유역의 평균적인 매개변수와 소유역에 따른 하천의 평균적 매개변수 값을 갖는다. 모델 운영에 있어 분산형 모델(Distributed Model)보다 비교적 수월하다는 장점이 있으나, 유역의 공간적인 특성에 따른 정확한 비점오염 부하량 예측에 한계를 가진다.

둘째, HSPF 모델은 수많은 변수를 사용자가 정의해야 하는 복잡한 모형이다. 따라서 수질예측 결과의 신뢰도를 높이기 위해서 모델의 보정 과정에서 유역의 특성을 정확히 반영하는 매개변수들을 산정하는 것이 중요하다. 유역 정보 및 유역의 특성인자를 추출하기 위해서는 많은 수문학적 자료가 요구되지만, 국내에서는 자료가 부족하여 효

율적인 HSPF 모델을 활용하는데 한계가 있다.

셋째, 도시지역과 농촌지역이 혼재된 복잡한 유역에 가장 적당한 모델임에도 불구하고 하수관로, 합류식 하수관거 월류수(CSOs) 등의 도시의 배수시스템을 반영할 모델이 없다는 단점이 있다.

HSPF 모델이 갖는 이러한 한계점에도 불구하고는 보정 및 검증결과는 대체로 양호한 것으로 사료된다. 또한 소유역에서 이루어지는 유역관리 활동도 통합형 모델로서 비교적 적절히 고려할 수 있기 때문에 본 연구의 목적에 부합하는 것으로 판단된다.

3.2. 시나리오 분석

보정 및 검증 완료된 경안천 유역 HSPF 모델을 이용하여 유역에서 일어나는 관리 방안에 따른 수질 개선효과를 예측하였다. 적용한 수질관리 시나리오는 크게 세 가지(주민들의 소유역 관리활동, 하수처리율 향상, 그리고 소유역 관리활동과 하수처리율 향상이 동시에 진행될 경우)를 가정하였다.

첫 번째 시나리오는 경안천 수계에서 가장 심각한 오염원이 되고 있는 오산천, 직리천, 중대천, 목현천을 중심의 비점오염원 관리를 통한 유역관리 활동으로 하천수질이 50% 개선되는 것으로 가정하였다. 현재 경안천에 위치하고 있는 하수처리장의 용량을 29,000 m³/d로 확충하고 하수처리율을 97%로 늘일 계획을 세워두고 있다. 두 번째 시나리오는 경안천 유역 내에 위치해 있는 모든 환경기초시설의 처리율이 향상되고 강화된 방류수 기준을 모두 만족한다고 가정하여 하수처리장 방류수 수질은 BOD 10 mg/L에서 5 mg/L로 기준을 강화하여 오염부하량을 삭감할 예정이다. 마지막 시나리오는 첫 번째와 두 번째 시나리오를 동시에 고려하였다. 다시 말해, 환경기초시설의 확충 및 방류수 수질기준 강화 등의 정책이 이루어지면서 위에서 언급한 4개의 소규모 유역 중심의 소하천 수질개선 활동을 병행할 경우를 세 번째 시나리오로 가정하였다.

세 가지 시나리오를 유역모델에 적용하였을 때의 BOD 농도 분포를 비교한 그래프를 Fig. 6에 제시하였다. 수질 오염이 심각한 경안천 내 주요 4개 지류에서의 수질개선 활동을 통해 지류의 BOD 농도를 50%까지 감소시켰을 때, 경안천 본류의 BOD 농도는 평균적으로 약 15~20% 감소하는 것으로 나타났다. 특히 오산천, 직리천, 중대천이 합류한 후의 경안천 04지점의 BOD 농도는 5.4 mg/L에서 4.2 mg/L로 감소하였으며 다른 지점에 비해 개선정도는 높은 것으로 나타났다.

그러나 환경기초시설 개선정책만으로는 BOD 농도 저감 효과보다는 크지 않았다. 환경기초시설 확충에 따라 하수처리율이 97%에 도달하고, 하수처리장 방류수 농도가 5 mg/L 이하를 유지하는 정책이 이루어졌을 때, 경안천 03지점의 BOD 농도는 5.3 mg/L에서 2.7 mg/L로 가장 많이 감소하였으며, 경안천 06지점도 5.2 mg/L에서 3.6 mg/L로 감소하였다. 용인하수처리장의 높은 오염부하량이 경안천

03지점뿐만 아니라 경안천 하류 팔당호 유입지점까지 큰 영향을 미치며, 이는 환경기초시설 개선정책의 필요성을 나타내고 있다.

환경기초시설의 확충, 방류수 수질기준 강화 등의 정책과 소유역 수질개선 활동이 병행되었을 경우에 경안천 03지점에서 06지점까지 5 mg/L 이상의 연평균 BOD 농도는 약 2 mg/L 정도로 감소하였으며, 감소율은 약 60% 이상으로 높게 나타났다. 특히 2, 3, 4월 갈수기에 평균 7 mg/L 이상의 BOD 농도는 3 mg/L 이하로 감소하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구는 팔당호 수질에 중요한 영향을 미치는 경안천에 HSPF 모델을 적용하고 유역관리에 따른 수질개선효과를 예측하였다. 소유역의 수질개선이 본류에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수계를 소유역으로 분할하여 모델을 적용하고 본류 구간의 수질을 예측하였다. BASINS 3.1 GIS 프로그램에 경안천 DEM, 하천도, 토지 이용도 등을 입력하여 HSPF 모델에 필요한 자료를 산출하였다.

경안천 유역을 총 57개 소유역으로 구분하였으며, 소유역에 위치한 점오염원과 비점오염원으로부터 유출되는 오염부하가 지면과 수계에서 변화하는 과정을 모델로 시뮬레이션 하였다. 먼저 관측된 기상 및 유량 자료를 기초로 수문모델을 보정하고 검증한 후 수질 모델을 적용하였다. 모델에 적용한 수질 항목은 수온, DO, BOD, NO₃-N, NH₃-N, Org-N, TN, 그리고 TP이며, 대부분의 수질에서 측정값과 모델값이 비교적 적절한 일치를 보였다.

경안천 HSPF 모델을 이용하여 수질관리 방안에 따른 본류 구간 수질개선 효과를 분석해본 결과 유역관리 활동보다 하수처리장을 확충하고 방류수질을 강화하는 것이 수질개선에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 유역관리 활동 중심의 비점오염원과 점오염원 대책을 동시에 실시하였을 때 상당한 효과가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이는 경안천 수질에 점오염원이 미치는 영향이 상당한 부분을 차지하는 것을 의미하며, 만족할 정도로 수질이 개선되기 위해서는 두 가지 대책을 동시에 적용하는 것이 효과적이다.

사 사

이 연구는 학술진흥재단 BK21사업 “지표수 환경관리기술 인력양성팀” 사업의 일부 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, “2007 환경백서,” (2007).
2. 환경부, “경험으로 얻은 유역관리 10대 교훈,” (2003).
3. 최정현, 박석순, “효과적인 수질 관리를 위한 소유역 중심의 유역관리,” 대한환경공학회지, **28**(8), 820~825(2006).
4. 한강유역환경청, “유역공동체 참여를 통한 소유역 계획 수립과 집행방안,” (2005).
5. Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, J. L., Jobes, T. H. Jr., and Donigan, A. S. Jr., “Hydrological Simulation Program - Fortran, user's manual for version 12, U.S. Environmental Protection Agency,” Environmental Research Laboratory, Athens, GA(2001).
6. Na, E. H. and Park, S. S., “A hydrodynamic and water quality modeling study of spatial and temporal patterns of phytoplankton growth in a stratified lake with buoyant incoming flow,” *Ecological Modelling*, **199**, 298~314(2006).
7. Na, E. H. and Park, S. S., “A hydrodynamic modeling study to determine the optimum water intake location in Lake Paldang, Korea,” *J. American Water Resources Association*, **41**(6), 1315~1332(2005).
8. 한강유역환경청, “2000년도 한강수계 환경기초조사 사업: 경안천 유역의 오염 부하량 조사,” (2001).
9. 경기도, “경기통계연보,” (2003).
10. 환경부, “팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사 수립 보고서,” (2000).
11. Albek, M., Qgutveren, U. B., and Albek, E., “Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed(Turkey) with HSPF,” *J. Hydrol.*, **285**, 260~271(2004).
12. Bergman, M. J, Green, W., and Donnangelo, L. J., “Calibration of storm loads in the South Prong watershed, Florida, using BASINS/HSPF,” *J. American Water Resources Association*, **38**(5), 1423~1436(2002).
13. Anthony, S. D., Wayne, C. H., and Thomas, O. B., “Modeling of nonpoint source water quality in urban and non-urban areas,” EPA-600/3-91-039, U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA(1991).
14. 성동권, 최경식, 김태근, 조기성, “HSPF모델의 유출량 산정모듈 입력인자 분석 및 GIS를 이용한 인자선정,” 대한토목학회지, **22**(3), 519~528(2002).
15. 임상준, “HSPF모델을 이용한 비점오염부하량 산정에 관한 연구,” 충남대학교 환경공학과 석사학위논문(2001).
16. 한강환경관리청, “경안천 유역 오염원현황보고서,” (1999).
17. 송혜원, “경안천 수계 유역관리 효과분석을 위한 HSPF-QUAL2K 모델 연계 적용에 관한 연구,” 이화여자대학교 석사학위논문(2006).