

## 우리나라 오염총량관리제도의 개선 및 적용: 1. 안양천 유역의 오염부하량 산정

김경태 · 정은성<sup>\*†</sup> · 김상욱<sup>\*\*</sup> · 이길성<sup>\*\*\*</sup> · 성진영<sup>\*\*\*</sup>

(주) 건화 수자원부

<sup>\*</sup>서울대학교 공학연구소

<sup>\*\*</sup>국회입법조사처 경제산업조사실 국토해양팀

<sup>\*\*\*</sup>서울대학교 건설환경공학부

## Improvement and Application of Total Maximum Daily Load Management System of Korea: 1. Calculation of Total Amount of Pollutant Load in the Anyangcheon Watershed

Kyung-Tae Kim · Eun-Sung Chung<sup>\*†</sup> · Sang-Ug Kim<sup>\*\*</sup> · Kil Seong Lee<sup>\*\*\*</sup> · Jin-Young Seong<sup>\*\*\*</sup>

*Department of water resources, Kunhwa Consulting & Engineering Co., Ltd*

*<sup>\*</sup>Engineering Research Institute, Seoul National University*

*<sup>\*\*</sup>National Assembly Research Service, Land, Transport and Maritime Affairs Team*

*<sup>\*\*\*</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University*

*(Received 27 August 2008, Revised 29 September 2009, Accepted 13 November 2009)*

### Abstract

This study modifies the present total maximum daily load (TMDL) system of Ministry of Environment and applies to the Anyangcheon watershed. Hydrologic Simulation Program-FORTRAN (HSPF) model is used to simulate both runoff and non-point source pollution, simultaneously, instead of QUAL2E. The drought flow (355th daily flow) is proposed for the target water quantity since it is easier to satisfy low flow (275th daily flow) for the target water quality than drought flow. The increase of discharge is more than the increase of pollutant load except for the period under low flow. The measured unit loads for non-point source are used to consider the regional runoff characteristics. The measured water quantity and quality data are used since the ministry of environment supports only water quality. This analysis results show some reasons for the improvement of the present TMDL system of Korea.

**keywords** : HSPF model, Target discharge, TMDL management system, Unit load of generation for non-point source

### 1. 서론

급속한 산업발달과 인구증가로 인해 물 사용량뿐만 아니라 이에 따라 배출되는 오염원 종류 및 오염부하량 역시 함께 증가하고 있다. 이러한 현상은 앞으로도 계속될 전망이다. 기존에 실시되고 있었던 농도 규제는 기준 설정의 용이성, 집행의 편의성, 저비용 등의 장점이 있지만, 규제 효과가 미흡하여 농도 기준을 준수하더라도 오염물질의 배출총량을 준수하기 곤란하고, 배출량에 관계없이 동일한 농도의 기준 적용으로 소규모 배출자에게 불리하여 형평성에 어긋난다는 논란이 많았다. 그리고 농도 규제방식은 공공수역인 하천의 수질관리에 있어서 수용할 수 있는 오염물질의 부하량을 고려하지 않아 오염원이 비교적 적은 상류유역에서는 지나치게 엄격한 규제가 되고 오염원이 과도하게

밀집한 중·하류 유역에서는 오히려 관대할 수 있는 비합리적인 제도라고 할 수 있다(문현주와 황석준, 2005).

기존 농도 규제가 한계에 도달하게 되어, 대상 수계의 목표수질을 유지하기 위한 제도가 필요하게 되었다. 이를 보완하고 환경기준을 달성하기 위해 허용부하량 이내로 오염물질의 배출 총량을 할당·규제하는 제도인 수질오염총량관리제도(이하 오염총량제도)가 등장하게 되었다. 오염총량제도는 기존 농도 규제가 가지고 있던 단점을 보완하여 규제 효과가 높고, 형평성을 유지할 수 있다는 장점을 가진다. 한강수계의 경우 ‘팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리종합대책’을 마련하였고 이 계획의 시행방안으로 1999년 ‘한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률’이 제정됨으로써 오염총량제도가 도입되었다. 2004년 낙동강을 시작으로 2005년 금강, 영산강·섬진강 등 한강을 제외한 3대 강에서 의무제로 오염총량제도가 실시되었고, 한강은 2002년 경기도 광주시만 임의제로 실시되고 있다. 특히 12개시도에 대한 기본계획이 승인·완료되었고 대구광역시

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
cool77@snu.ac.kr

와 부산광역시시는 시행계획이 시행중에 있다.

그러나 2002~2008년까지 실시되면서 현재 오염총량제도에도 몇 가지 문제점이 제기되었다. 일반적으로 기준유량 및 목표수질 설정에 대한 문제점, 기본계획 및 시행계획 수립을 위한 기술지침의 문제점, 유역모형이 아닌 하천수질 모형의 사용, 유량 및 수질 자료의 문제점, 안전율의 산정, 부하량 할당에 대한 문제점 등은 공동으로 인식되고 있다(김영일과 이상진, 2006). 이 중 본 연구에서 다룬 내용은 다음과 같다.

- 기준유량 설정의 문제점: 기준유량인 저수량( $Q_{275}$ )의 한계
- 기본계획 및 시행계획 수립을 위한 기술지침의 문제점: 수계별로 통일된 원단위 및 부하량 산정과 관련된 각종 계수들의 불확실성으로 인한 지역 특성의 배제, 비점부하량 추정의 어려움
- 하천수질모형의 사용: 수량과 수질을 동시에 모의할 뿐만 아니라 비점오염원까지 모의 가능한 유역모형이 아닌 하천내 수질변화만 모의 가능한 하천수질모형이 사용되면서 수량 및 수질 분석 결과에 대한 신뢰성이 떨어짐
- 유량 및 수질자료의 문제점: 홍수기 위주의 자료 편중, 자료 부족으로 수질 모형의 보정·검증이 어려움, 수량 및 수질 자료 측정 및 관리의 통일성 결여

따라서 본 연구는 위에서 제시한 수질오염 총량관리제도가 가지고 있는 문제점들을 확인하고 개선하기 위한 방안을 제시하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 유역의 오염총량제도를 적용하기 위해 Fig. 1과 같은 절차를 제안하였다. 우선 오염총량제도를 적용하게 될 총량관리단위유역을 선정하고, 환경부 고시에 의해 목표 수질을 수립하며, 목표 수질을 달성하기 위한 기준유량을 설정하고, 유역의 오염원 현황조사를 통해 오염원 그룹별 오염부하량을 계산한다. 그 다음 수질 모형을 이용하여 배출부하량의 삭감을 통해 유달부하량이 목표 수질과 기준 유량에 의해 결정된 기준배출부하량을 만족시키도록 산정하여 유역의 총 삭감부하량을 계산하였다. 본 연구에서는 오염총량의 산정까지 진행하고, 김경태 등(2009)에서는 계산된 오염총량에 안전율을 적용하고, 계산된 삭감부하량을 안양천 유역의 소유역 및 행정구역에 할당하는 연구를 수행하였다.

### 2.1. 총량관리단위유역, 목표수질, 기준유량 설정

총량관리단위유역이란 목표수질을 설정해야 하는 수계구간 또는 그 영향을 주는 유역이라고 정의할 수 있다(환경부, 2006). 목표수질이란 수질환경보전법시행령제36조제2항의 규정에 의하여 고시된 수역별 수질(환경부고시 제91-35호에 의한 수역별 환경기준 적용등급)을 말한다. 다만, 수역별 목표수질이 설정되어 있지 않은 수역의 경우에는 당해 하천이 합류되는 최초 수역의 목표수질을 적용한다. 또 시도경계의 경우 환경부와 해당지자체의 협의에 의하여 결

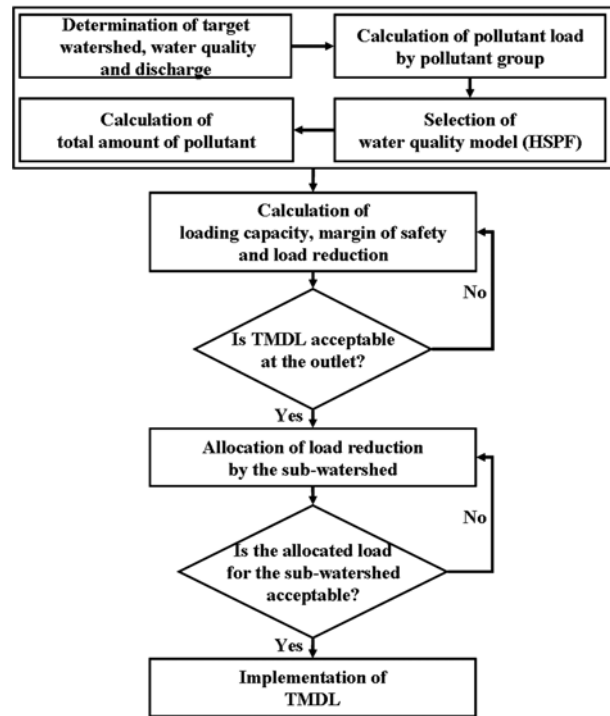


Fig. 1. Procedure of this study.

정하며, 이를 기본방침에 명시하게 되어있다(환경부, 2006). 단, 본 연구에서는 아직 한강이 오염총량제도를 실시하고 있지 않기 때문에 ‘안양천 유역의 물순환 건전화 기술 개발(이길성, 2007)’의 유역 구분에 따라 연구를 수행하였다.

기준유량이란 관리지점 및 소유역별 오염부하량 할당의 기준이 되는 유량을 말하는데, 평균저수량(10년간 저수량의 평균)으로 하고 있다(환경부, 2006). 우리나라는 갈수기에 대부분의 중·소하천이 건천화되어 갈수량 산정이 용이하지 않아 제1차 총량관리기간에는 기준유량을 10년 평균저수량으로 설정하였다.

그러나 저수기를 제외한 기간에서 오염부하량의 증가보다는 유량의 증가가 크기 때문에 농도가 낮아지는 경향을 보여 수질 기준을 만족시키기 용이할 수 있다. 즉 저수량을 이용한다면 오염부하량의 산정에 상당한 오류를 범해 수질오염 총량관리제도의 목표 수질 달성 측면에서 문제가 될 수 있다. 이러한 특성을 볼 때 저수량을 이용하면 하천의 수질농도가 높아질 수밖에 없고, 또한 1년 중 275일은 목표수질을 만족한다고 볼 수 있으나, 나머지 일수에 해당하는 90일 동안은 목표수질을 초과할 가능성이 커지게 된다.

또한 유량의 증가율이 배출부하량의 증가율보다 작다고 하더라도 저수량의 유량 조건에서 하천의 수질농도가 항상 만족되는 것은 아니다. 갈수기 대부분의 오염은 점오염원으로부터 발생되지만, 갈수기를 제외한 유량조건 하에서는 강우로 인한 비점오염원까지 고려하여야 하므로 저수량에서 수질 기준을 모두 만족시킬 수 있다고 할 수 없다. 여기서, 비점오염원이란 지표면에 쌓여있던(build-up) 오염원 또는 물질이 강우로 인해 씻겨(wash-off) 내려가 하천 또는 호수에 오염을 일으키는 원인 또는 물질을 말한다.

그러므로 본 연구에서는 환경부에서 고시한 10년 평균 저수량과 1년 중 355일을 만족시킬 수 있는 10년 평균 갈수량을 산정하고 그에 따른 결과를 비교하였다.

## 2.2. 오염부하량의 계산

오염부하량의 계산은 오염원의 유형을 그룹화하여 점오염원과 비점오염원으로부터 발생하는 발생부하량과 발생부하량 중 유역 내 공공수역으로 배출되는 오염물질의 배출부하량을 계산하는 것을 말한다(환경부, 2006).

오염부하량을 구성하는 오염원 그룹은 생활계, 축산계, 산업계, 매립계, 양식계, 토지계로 구분할 수 있다. 안양천 유역의 오염원 그룹별 현황을 조사하여 생활계, 산업계, 토지계를 고려하였다. 여기서 생활계, 산업계는 점오염원으로, 토지계는 비점오염원으로 산정하였고, 오염총량관리수립계획(환경부, 2006)에 명시되어 있는 방법과 절차를 이용하여, 발생부하량 및 배출부하량을 계산하였다.

그러나 오염총량관리계획수립지침에 제시되어 있는 토지계 오염원들은 한강과 나머지 3대강이 거의 차이를 보이고 있지 않기 때문에, 이를 이용할 경우 지역적 특성을 반영할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 안양천 유역에 적합한 오염부하량을 산정하기 위해 정은성 등(2006)이 산정한 비점오염원단위를 사용하였다. 정은성 등(2006)은 도립천 유역, 학의천 유역, 안양천 상류유역(기아대교)에 대해 일유출량 자료와 Event mean concentration(EMC) 및 수질 측정자료를 이용하여 각 대상유역의 원단위를 산정하였다. 또 현재 수질오염 총량관리제도에서 기준유량은 저수량이기 때문에 한강수계 오염총량관리계획수립지침에 토지계 배출부하량을 계산하기 위한 비점오염원 유출계수역시 저수량과 평수량에 대해서만 제시되어 있다. 따라서 본 연구에서는 안양천 유역의 강우자료를 이용하여 비점오염원 유출계수를 갈수량 및 저수량에 대해 새롭게 산정하였다.

## 2.3. 수질 모형

수질모형은 오염물질이 물로 유입되어 하천, 호소 또는 바다로 운송되는 중 생성, 소멸되는 물리적, 화학적, 생물학적 제반 과정과 상호작용, 환경과의 관계 등을 수학적으로 추정하기 위한 도구이다. 수질 모형은 배출부하량에 따른 유달부하량 및 오염물의 움직임을 과학적으로 추정하는 데도 사용되는데, 본 연구에서는 장기 수량 및 수질의 연속 모의가 가능한 유역 모형인 HSPF(Hydrological Simulation Program in Fortran; Bicknell et al., 2001) 모형을 사용하였다.

미국 환경청(United States Environmental Protection Agency)에서 개발한 HSPF 모형은 유역의 수문 및 수질 모의를 위한 포괄적이며 범용적인 프로그램이다. Ward and Benaman (1999)은 HSPF 모형이 하천의 수리작용과 유사-화학물질간의 상호작용과 함께 지표와 토질 오염 유출 과정의 통합된 모의를 허용하는 유역의 포괄적인 수문, 수질 모형이라고 하였다. 현재 HSPF 모형을 효과적으로 사용할 수 있도록

모형의 매개변수를 추정하는 HSPEXP, 입출력 자료관리 시스템인 WDMutil, HSPF 호환모형인 WinHSPF, 결과를 시각적으로 보여주기 위한 GenScn 등과 같은 보조 프로그램이 개발되어 있어 자료를 효율적이고 편리하게 이용할 수 있다. HSPF 모형은 Geographical Information System (GIS)을 기반으로 정확한 토지이용과 지형정보를 입력 자료로 구축할 수 있어 넓은 유역에서의 토지이용에 따른 유출 및 수질을 정량적으로 분석할 수 있는 장점을 갖는다. 수량, 수질, 유사 모의가 가능하기 때문에 안양천 유역의 수량, 수질 모의를 필요로 하는 본 연구에 있어 적절한 모형이라고 생각된다.

그러나 HSPF 모형은 시간별 기온, 강수량, 일사량, 기온, 풍속, 증발량, 운량, 이슬점과 같이 많은 양의 기상자료를 입력해야 하며, 준분포형 모형으로 소유역에 대해 평균적인 매개변수 값을 갖는다는 점, 그리고 도시유역의 물순환 해석에서 필요한 하수관망해석이 불가능하다는 측면을 단점으로 지적할 수 있다.

국내 오염총량제도에서는 미국 환경청에서 개발한 Enhanced Stream Water Quality Model(QUAL2E)이 사용되고 있다. QUAL2E는 모형구축이 용이하기 때문에 하천의 오염총량을 결정하는데 전세계적으로 많이 사용되지만, 토지이용과 토양 상태가 모의에 반영되지 않고, 강우-유출과 같은 수문 모의와 비점오염원 모의가 불가능하다는 단점이 있다. 이에 반해 HSPF 모형은 수문과 수질의 연속 모의를 수행할 수 있는 포괄적인 모형이고, 특히 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원 모의 가능하며, 토지이용과 토양에 따른 오염물 유출 과정의 통합 모의가 가능하므로 오염총량제도를 적용하기 위해 적합하다고 할 수 있다(Culver et al., 2004).

## 2.4. 오염총량의 계산

목표수질과 기준유량을 설정한 다음, 오염원 그룹별 오염부하량을 발생부하량 및 배출부하량으로 산정한 후 수질 모형을 이용하여 유달부하량을 산정하였다. 오염부하량을 계산하는 과정은 식 (1)과 같다.

$$L_t = \sum Q_i \times C_i \times 10^{-3} \quad (1)$$

여기서,  $t$ 는 대상지역의 최종출구점,  $i$ 는 대상지역의 소유역,  $L_t$ 는 대상지역의 관리목표량(kg/day),  $Q_i$ 는 대상하천 관리지점의 기준 유량( $m^3/day$ ),  $C_i$ 는 규정에 의한 당해 수역의 오염총량관리목표수질(mg/L)이다. 식 (1)을 좀 더 상세하게 나타내면 다음과 같다(문현주와 황석준, 2004).

$$L_0 \text{ (기준배출부하량)} = C_0 \text{ (목표수질)} \times Q_0 \text{ (기준유량)}$$

$$L_1 = \text{유역에서 배출되는 총량 (배출총량)}$$

$$L_2 = \text{목표수질을 만족하기 위해 유역에서 배출할 수 있는 총량 (허용총량)}$$

$$L_3 = L_1 - L_2 \text{ (삭감총량)}$$

$$L_1 < L_2 \text{ 를 항상 만족하도록 관리}$$

2.5. 대상유역

본 연구의 대상유역은 Fig. 2와 같이 국가하천이며 한강의 제1지류인 안양천 유역 면적은 287.15 km<sup>2</sup>이고 총 유로 연장은 32.5 km이다. 안양천 유역은 서울시의 7개구(강서구, 양천구, 영등포구, 구로구, 동작구, 관악구, 금천구)와 경기도의 7개시(과천시, 의왕시, 군포시, 안양시, 광명시, 시흥시, 부천시)로 이루어져 있으며, 도림천, 목감천, 학의천 등 11개의 제 1지류로 이루어져 있다.

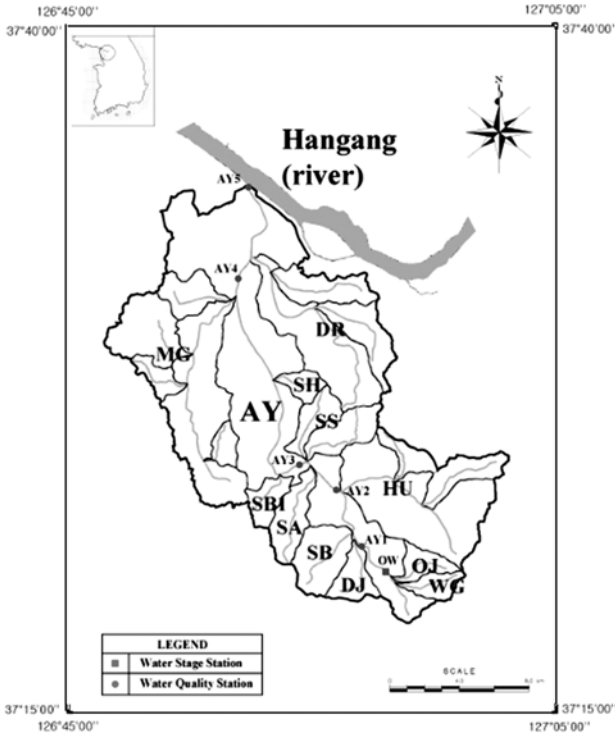


Fig. 2. Sub-watersheds map of the Anyangcheon.

1975년도의 안양천 유역의 토지이용은 녹지가 145.34 km<sup>2</sup>로 50.61%, 도시지역이 47.69 km<sup>2</sup>로 16.61%, 농업지가 88.71 km<sup>2</sup>로 30.89%를 차지하고 있다. 2000년도에는 녹지가 119.69 km<sup>2</sup>로 41.68%, 도시지역이 124.25 km<sup>2</sup>로 43.27%, 농업지가 37.37 km<sup>2</sup>로 13.01%를 차지하고 있어 1975년도에 비해 녹지는 25.06 km<sup>2</sup> 만큼 감소하였으며 도시지역은 76.62 km<sup>2</sup> 만큼 증가하여 도시지역이 급팽창하고 있음을 보여주고 있다. 즉 안양천은 전형적인 도시하천의 특징을 갖고 있는 것으로 볼 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. HSPF 모형 구축

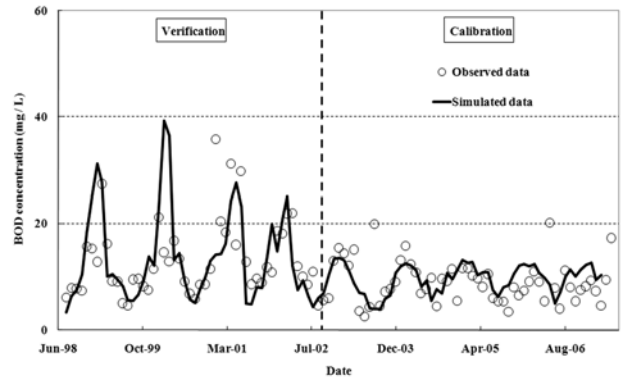
HSPF 모형을 사용하기 위해서는 기상자료, 수치지표모형자료, 토지이용도 및 토양도가 필요하다. 기상자료는 시간별 또는 일별 강수량, 증발량, 기온, 풍속, 일사량, 이슬점 온도, 운량자료가 필요하다. 본 연구에서는 1975년부터 2007년까지 34년간의 자료를 사용하여 30년 이상의 장기 연속 유출 및 수질 모의를 수행하였으며 1999년 1/25,000

수치지형도, 수치지표이용도 및 토양도를 이용하였다.

HSPF 모형을 수량 및 오염물의 생성, 이송 등을 모의하기 위해서 수량과 수질에 대해 각각 보정 및 검증하였다. 그러나 홍수기 위주의 자료 편중과 수질 모형을 보정 및 검증하기 위한 자료의 부재, 동시에 함께 측정되지 않는 유량과 수질 자료 등은 수질 모형을 구축하는데 많은 오차를 발생시킬 수 있다. 즉 환경부 물환경정보시스템의 수질 자료가 수량은 포함되어 있지 않아 모형의 보정 및 검증에 적합하지 않으므로 본 연구에서는 이길성 등(2007)과 홍원표 등(2009)에서 사용된 도림천, 학의천, 목감천 유역 등의 강우시, 비강우시의 실측자료를 이용하였다. 또 안양천 유역 본류에 위치한 5개의 환경부 수질측정지점(Fig. 2)의 수질 자료는 본류에 대해 검증하는데 사용하였다. Fig. 3은 안양천 유역 하구(안양천 최하류 지점)에서 BOD 농도와 DO 농도에 대해서 보정 및 검증한 결과를 나타내며, Table 1은 본류 5개 지점에 대한 검정 결과를 제시하였다.

3.2. 총량관리단위유역, 목표수질, 기준유량 산정

총량관리단위유역은 안양천 유역이며 소유역은 안양천 하구를 최종 출구점으로 하여 상류방향으로 도림천 유역(DR), 목감천 유역(MG), 시흥천 유역(SH), 삼봉천 유역(SB2), 삼성천 유역(SS), 수암천 유역(SA), 학의천 유역(HU), 산본천 유역(SB1), 당정천 유역(DJ), 오전천 유역(OJ), 왕곡천 유역(WG)으로 Fig. 2와 같이 구분되었다.



(a) Calibration and verification

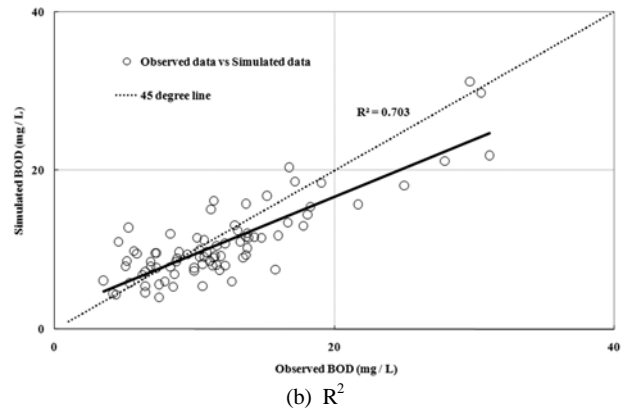


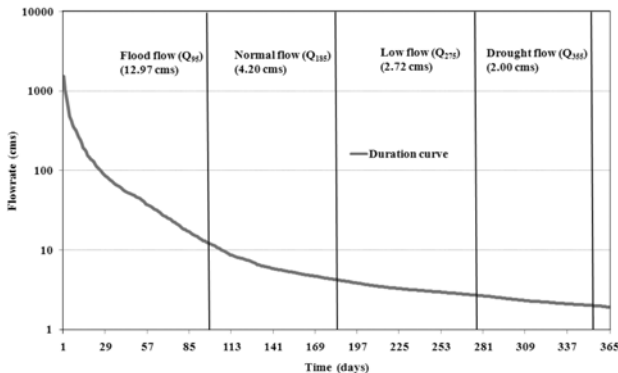
Fig. 3. Calibration, verification and R<sup>2</sup> of BOD concentration at AY5.

**Table 1.** Results of calibration and verification of water quality

Water quality observation station		BOD	
		RMSE (mg/L)	R <sup>2</sup>
AY 5	Calibration	2.888	0.703
	Verification	5.322	
AY 4	Calibration	2.840	0.674
	Verification	6.180	
AY 3	Calibration	4.431	0.716
	Verification	15.180	
AY 2	Calibration	3.833	0.729
	Verification	14.423	
AY 1	Calibration	1.614	0.660
	Verification	1.947	

현재 안양천 유역의 목표수질은 1991년에 환경부가 고시한 V 등급으로 정해져 있다. 따라서 본 연구에서도 목표수질을 하천생활환경기준에 명시된 수질 V 등급인 BOD 10 mg/L 이하로 결정하였다.

기준유량은 앞서 기술한 바와 같이 수질오염 총량관리제도의 기준유량인 평균저수량을 보완하기 위해 평균갈수량(10년 평균 Q<sub>355</sub>)을 추가하여 비교하였다. 본 연구에서는 구축된 HSPF 모형을 이용하여 각 소유역별 유출량을 모의한 뒤 유허곡선을 유도하였다. 이를 토대로 평균저수량과 평균갈수량을 산정하여 기준유량을 도출하였다. 안양천 유역 출구점의 경우 1997~2006년까지 10년 평균저수량은 2.72 cms이고, 10년 평균갈수량은 2.00 cms로 농도가 같은 경우 오염부하량을 약 25% 더 감소시켜야 한다. Fig. 4는 안양천 유역의 최종 출구에서 유허곡선(flow duration curve)을 나타냈다.



**Fig. 4.** Duration curve of the Anyangcheon watershed at outlet.

**3.3. 오염부하량의 산정**

오염총량관리계획수립지침(환경부, 2006)을 이용하여 안양천 유역의 오염부하량을 산정하였다. 생활계 오염원 발생부하량 및 배출부하량은 오염총량관리계획수립지침의 산정 절차에 따라 산정하였고, 산업계 폐수 발생부하량 및 배출부하량은 환경부 국립환경과학원에서 매년 발간하고 있는 ‘공장폐수의 발생과 처리(환경부, 2007)’를 참고하여 산정하였다.

토지계 오염원 발생부하량 및 배출부하량 산정은 앞서 언급했듯이 한강수계 오염총량관리계획수립지침의 비점오염원단위가 지역 특성을 고려하지 못하기 때문에 안양천 유역에 적합한 배출부하량을 산정하기 위해 정은성 등(2006)이 산정한 BOD 비점오염원단위를 이용하였다. 사용한 값은 안양천 상류 유역의 434.1 kg/ha/yr, 학의천 유역의 34.5 kg/ha/yr, 도림천 유역의 211.8 kg/ha/yr이다.

한강수계 비점오염원단위와 안양천 유역의 비점오염원단위를 이용하여 토지이용별로 발생부하량을 각각 계산하였다. 그리고 배출부하량을 계산하기 위해서는 비점오염원 유출계수가 필요한데 한강수계 오염총량관리계획수립지침에는 저수기와 평수기에 대한 수치만 제시하고 있고, 또 이 역시 일괄적으로 사용되고 있기 때문에 저수기 뿐만 아니라 갈수기의 비점오염원 유출계수를 안양천 유역에 대해 다시 산정하였다. Table 2는 오염총량관리계획수립지침과 안양천 유역의 비점오염원 유출계수를 비교한 것이고, Table 3은 한강수계 비점오염원단위와 안양천 유역의 비점오염원단위로 계산한 배출부하량을 비교하였다. 한강수계 비점오염원단위를 사용했을 경우와 안양천 유역의 비점오염원단위를 사용했을 경우 배출부하량의 차이가 크므로 저수량을 이용하여 높게 산정된 한강수계 원단위를 일괄 적용한 경우라도 도시지역의 만족할 만한 배출부하량을 산정할 수 없다. 따라서 기술지침에 명시된 바와 같이 해당지역에 대한 실측자료를 중심으로 각 지역의 오염부하량 특성을 반영할 수 있는 원단위를 산정하여 오염총량제도를 수립해야 한다.

**Table 2.** Comparison of the coefficient of runoff for non-point source

Seasonal period	Coefficient of runoff	
	Han River basin	Newly calculated value (Anyangcheon watershed)
Drought flow (Q <sub>355</sub> )	-	0.15
Low flow period (Q <sub>275</sub> )	0.25	0.25
Normal flow period (Q <sub>180</sub> )	0.60	0.49

**Table 3.** Calculation of total amount of pollutant load by the sub-watershed (low flow)

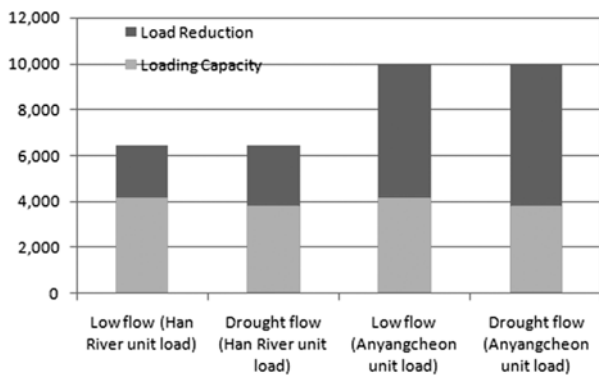
Sub-watershed	Han River basin		Anyangcheon watershed	
	Low flow	Drought flow	Low flow	Drought flow
WG	25	20	134	86
OJ	58	50	173	120
DJ	217	185	296	234
SB1	362	315	552	431
HU	753	623	536	496
SA	107	88	300	204
SS	102	81	451	291
SB2	31	29	173	115
SH	192	164	269	212
MG	1,151	909	2,396	1,662
DR	1,583	1,397	1,587	1,414
Others	1,907	1,389	3,098	2,111
Sum	6,425	5,251	9,965	7,375

**Table 4.** Comparison of total amount of pollutant load

Classification		BOD load (kg / day)			Percent of reduction (%)
		Discharged load	Loading capacity	Total amount of load reduction	
A guide of TMDL Management System	Low flow	6,425	4,168	2,257	35.1
	Drought flow	5,251	3,837	1,414	26.9
Chung et al. (2006)	Low flow	9,965	4,168	5,797	58.2
	Drought flow	7,375	3,837	3,538	48.0

**3.4. 오염총량의 계산**

목표수질과 기준유량을 설정한 다음, 오염원에 대한 발생 부하량 및 배출부하량을 계산한 후 HSPF 모형을 이용하여 유달부하량을 산정하였다. 유달부하량은 시행 가능하고 합리적인 삭감계획을 통하여 기준배출부하량 이하가 되도록 배출부하량을 삭감하여야 한다. 그 다음 HSPF 모형을 이용하여 오염총량을 계산하였다. Fig. 5는 한강수계 비점오염원단위와 안양천 유역의 비점오염원단위를 이용하여 저수량과 갈수량에 대해 기준배출부하량과 총 삭감부하량을 산정한 것이고, Table 4는 기준유량과 비점오염원단위의 변화에 따른 배출부하량, 허용총량, 총 삭감량을 비교하였다. 삭감부하량 측면에서 볼 때 기준유량을 평균갈수량으로 했을 경우 평균저수량으로 했을 경우보다 더 적은 삭감량을 나타내지만 배출부하량이나 기준배출부하량 측면에서 보면 평균갈수량이 평균저수량보다 더 엄격한 규제를 유도한다. 이는 실제 각 지자체에 할당되는 부하량이 작아지게 되어 해당 지역의 경제를 위축시키는 결과를 초래할 수 있으므로 실제 오염총량제도에 이를 적용할 경우 이 점을 충분히 고려해야 한다.



**Fig. 5.** Loading capacity and load reduction using the unit load of generation for non-point source of Han River and the Anyangcheon.

**4. 결론**

현재 우리나라 4대강에는 오염총량제도가 시행되고 있다. 한강을 제외한 3대강은 의무제이지만 한강은 임의제로 시행 중이다. 본 연구는 수질 개선 및 보전을 위해 앞으로 한강 전 유역에도 실시되어야 할 오염총량제도의 문제점을 개선하여 적용하였다.

본 연구의 총량관리단위유역은 안양천 유역이고, 목표수질은 BOD 농도에 대해 V등급이다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다. 1) 기준유량은 평균저수량의 문제점을 개선하기 위해서 평균갈수량을 적용하여 각각 비교하였다. 기준유량을 평균갈수량으로 했을 경우 평균저수량으로 했을 경우보다 더 적은 삭감량을 나타내지만 배출부하량이나 기준배출부하량 측면에서 보면 평균갈수량이 평균저수량보다 더 엄격한 규제를 유도한다. 2) 오염원 그룹별 오염부하량을 산정함에 있어 지역 특성을 고려하지 못한 비점오염원단위에 대한 문제점을 개선하기 위해 안양천 유역의 비점오염원단위와 비점오염원 유출계수를 산정하여 적용하였고 이를 한강유역 값을 이용한 것과 비교하였다. 3) 수질 모형의 보정 및 검증에 위한 수량 및 수질 자료 부재 및 적합성에 대한 문제점을 개선하기 위해 강우시와 비강우시 수량과 수질을 동시에 측정된 실측 자료와 환경부 물환경정보시스템 자료를 이용하여 장기 연속 강우-유출 및 수질 모형인 HSPF 모형을 구축하여 유달부하량을 산정하고 오염총량을 계산하였다.

**사 사**

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 1-7-3)의 서울대학교 공학연구소를 통한 연구비 지원(90%)과 Safe and Sustainable Infrastructure Research(SIR)의 연구비 지원(10%)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

**참고문헌**

김경태, 정은성, 김상욱, 이길성(2009). 우리나라 오염총량관리제도의 개선 및 적용: 2. 안전을 산정 및 삭감부하량 할당. *수질보전 한국물환경학회지* (제출).

김영일, 이상진(2006). 수질오염총량관리 계획수립의 개선방안에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(6), pp. 977-981.

문현주, 황석준(2005). *총량관리제 하에서의 지역환경 관리*. 연구보고서, 한국환경정책·평가연구원.

이길성(2007). *안양천 유역의 물순환 건전화 기술 개발*. 서울대학교, 과학기술부.

이길성, 정은성, 이준석, 홍원표(2007). HSPF 모형을 이용한 안양천 유역의 물순환 및 BOD 부하량 분석. *한국수자원학회논문집*, **40**(8), pp. 585-600.

- 정은성, 이길성, 신문주(2006). SWAT 모형과 EMC 산정 결과를 이용한 안양천 유역의 수량 및 수질 특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(4), pp. 648-657.
- 홍원표, 정은성, 이준석, 김경태, 이길성(2009). CSOs를 고려한 도시유역의 수량 및 수질 분석을 위한 PCSWMM 모형의 적용. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(1), pp. 20-30.
- 환경부(2006). *한강수계 오염총량 관리계획 수립지침*.
- 환경부(2007). *공장폐수의 발생과 처리*.
- Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, Jr., J. L., Jobs, T. H., and Donigan, Jr., A. S. (2001). *Hydrologic Simulation Program - Fortran (HSPF) User's Manual for Version 12*. U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, G.A.
- Culver, T. B., Yu, S. L., Zhang, H. X., Naperalala, T., Potts, A., and Neeley, K. (2004). Nitrate TMDL Development for the Muddy Creek/Dry River Watershed, Virginia: Success and Failure. *World Water Congress 2001*.
- Ward, G. H. and Benaman, J. (1999). *Models for TMDL Application in Texas Watercourses: Screening and Model Review*, Center for Research in Water Resources, University of Texas, Austin, Texas, CRWR-99-7.