QUALKO 및 QUAL2K를 이용한 길안천 수계 수질모의

Gilanchon Watershed Water Quality Simulation Using QUALKO & QUAL2K

김응석* · 박무종** · 강두기*** · 최현일****

Kim, Eung Seok · Park, Moo Jong · Kang, Doo Kee · Choi, Hyun Il

Abstract

This study has implemented QUALKO and QUAL2K models for the Nakdong River watershed, which can simulate the change in organic matters due to growth and death of algae. Also the two models simulated three water quality factors such as BOD, T-N, and T-P to understand characteristics of the both models. The model errors, differences between observed and simulated values, result in ranges of 25.99%-26.57% for BOD, 2.34%-3.29% for T-N, and 3.57%-7.14% for T-P, respectively. The model error for BOD is relatively larger because it is simulated by the melting and hydrolysis of Detritus. The simulated result of T-N was more accurate in QUALKO than QUAL2K. The trend of T-P increases from upstream to downstream due to increases of organic P and dissolved P from point sources along the river. In general, the results from QUALKO and QUAL2K models were similar and the model errors from the both models produce no significant differences. The calibration of parameters in models is required to improve model predictability.

Key words : QUALKO, QUAL2K, BOD, T-N, T-P

요 지

본 연구는 조류의 생성 및 사멸에 따른 유기물 변화를 고려 할 수 있는 QUALKO모형과 QUAL2K모형을 낙동강수계에 적용하였다. 또한, 2개 모형의 특징을 파악하기 위해 BOD, T-N, T-P의 3개 수질항목을 적용하여 분석하였다. 2개 모형의 실측 값과 모의값과의 오차의 범위는 BOD의 경우 25.99%-26.57%, T-N은 2.34%-3.29%, T-P는 3.57%-7.14%의 결과가 산정되었다. BOD의 경우 Detritus의 용해와 가수분해를 고려하여 모의하기 때문에 오차율이 크게 나타났다. T-N의 경우, QUALKO 모형이 QUAL2K모형 보다 정확한 결과를 나타내었다. T-P의 경우, 하천변 점오염원으로부터 유기인과 용존성인의 증가로 인해 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 전반적인 결과에서, QUALKO 모형과 QUAL2K모형은 모두 비슷한 결과를 보였으며 2개 모형의 오차는 큰 차이가 없었다. 모형의 예측도를 향상시키기 위해서는 매개변수의 검정이 필요한 것으로 판단되었다.

핵심용어 : QUALKO, QUAL2K, BOD, T-N, T-P

1. 서 론

인구의 증가로 인한 산업발전은 대규모의 생활하수 및 공장폐수의 증가를 야기하였다. 이에 대한 대응으로 하수처리장 건설과 운영에 많은 예산이 투입되고 있지만 아직 하천의 수질은 현저하게 개선되고 있지 못한 실정이다. 수계의 오염문제는 여러 목적으로 쓰일 수 있는 수자원의 가치를 떨어뜨린다. 따라서 수계의 오염정도를 파악하고 원인인자를 규명하는 것은 적절한 수질보전대책 및 관리방안 수립을 위하여 필수적이다. 또한 이러한 문제점을 보완하기 위하여 수질모형은 매우 중요한 역할을 차지하고 있다. 그러나 이러한 수질모형

의 유용성에도 불구하고 모형의 신뢰성이 결여될 경우, 정책 실행의 실패뿐만 아니라 경제와 산업에 미치는 영향도 매우 심각할 수 있다. 최근 우리나라에서 오염총량관리제를 비롯한 여러 가지 수질관리대책을 수립하기 위해서는 수질모형을 구축하여 수질개선노력이 수질에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하고 있다(유하나 등 2007). 특히 하천을 대상으로 하는 QUAL2E 수질모형은 국내에서도 많이 적용되어 수질문제 예측에 많은 유용성을 주고 있다. 그러나 낙동강 수계와 같이 하류로 갈수록 경사가 완만하여 물의 체류시간이 길어져 정체수역 등의 특성을 가지는 하천의 경우 하류구간에서는 조류 농도문제가 심각해져 기존의 QUAL2E 모형으로는 유기물

*정회원 · 선문대학교 토목공학과 부교수(E-mail : hydrokes@sunmoon.ac.kr)

**정회원 · 한서대학교 토목공학과 교수

***정회원 · (주) 웹스 대표이사

****정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 조교수(교신저자)

의 오염도를 정확히 예측하는데 한계가 있다(국립환경연구원, 2005a; 이성우 등, 2006). 국내에서는 QUAL2E 모형의 이러한 단점을 보완하기 위해 QUALKO 모형을 개발하였다(낙동강수계관리위원회, 2004). QUALKO 모형은 QUAL2E 모형의 단점인 조류 생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 반영한 모형이다. 이러한 수질모형의 기존의 연구사례를 살펴보면 QUAL2E모형을 이용한 수질 모의는 하천 수질의 위해성 평가로 합리적인 수질관리를 위해서 환경자원의 하나로 인식되는 하천의 자정능력을 고려하여 McAvoy(2003)가 제시한 위해성 평가방법을 소개하고 유해성분 중 ABS(Alkyl Benzene Sulfonic acid sodium salt, 음이온 계면활성제)성분을 안성천유역에 적용하였으며(김용 등, 2003), 안양천의 수질모의를 위하여 GIS를 기반으로 소유역별 점오염원 및 비점오염원의 부하량을 산정하고 수리·수문학적 특성인자들을 추출하여 수질모의를 하였다. 또한 최적 매개변수 추정을 위한 최적화 도구로써 국부적인 해로의 수렴을 보완해 줄 수 있는 유전자 알고리즘을 이용하였다(채수권 등, 2003). 이용석(1996)은 금강의 장래 수질 변화를 예측하기 위해 대청호 유입 지점에서부터 상류까지 금강 중류 구간을 대상으로 통계적 분석을 이용하여 총 11개의 예측 수질항목에 대하여 모형 보정과 검증을 실시하였다. 최정규 등(2007)은 QUAL2E와 QUAL-NIER 두 모형의 복잡도 차이에 따른 수질예측의 정확도를 통계적으로 평가 하였다. QUAL2K를 이용한 수질 모의의 연구를 살펴보면, 영산강 유역의 수질예측을 위한 모형 적용(방재필 등, 2010), 영양계수법과 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 최적화(조재현 등, 2009), 섬진강의 수질보전을 위한 하천유지유량산정(정호, 2011)등이 적용되었다. 손종희(2008)는 QUAL2E와 QUAL2K를 이용한 곡곡천의 수질모형링을 하였으며 해당 수계의 오염현상의 원인파악에 주력하였다. 또한, 정성수 등(2008)은 도시하천의 하나인 안양천을 대상으로 QUAL2E와 QUAL2K 모형의 적용하여 모의결과를 비교분석하였다. QUALKO 모형의 경우 김상단 등(2005)

은 낙동강 본류 경남구간에 대하여 QUALKO 모형을 이용한 수질모형의 매개변수 중 수리관련 매개변수들이 수질에 미치는 영향을 파악하였으며 고재홍 등(2009)은 QUALKO 및 QUAL2E를 이용하여 영산강 수계의 특성을 반영하여 산출된 결과를 비교분석하여 총량관리 목표수질을 예측 및 평가하기 위한 모형선정의 기초자료로 제시하고자 하였다. 노대영(2005)은 QUALKO 모형과 QUAL2E 모형을 이용하여 낙동강 하류의 수질을 예측평가하였다. 박준대 등(2008)은 낙동강 수계에 대하여 오염총량관리제 시행과 관련하여 현재까지 국내외에서 개발사용되고 있는 수질모형의 특성과 국내 하천에 대한 적용 요건을 분석하였으며, 국내 하천에서 적합하게 적용할 수 있는 하천수질모형(QUAL-NIER)을 개발하는 연구를 진행 하였다. 기존의 연구사례 결과에서 보듯이 QUAL2E와 QUALKO 모형의 비교분석 또는 QUAL2E와 QUAL2K 모형의 비교분석 결과는 있으나 QUALKO와 QUAL2K모형의 분석은 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 국립환경과학원에서 QUAL2E 모형을 바탕으로 국내 하천에 적합한 모형으로 수정하여 개발한 QUALKO 모형과 미국 EPA에서 QUAL2E 모형의 차세대 모형으로 수정 및 보완하여 개발한 QUAL2K 모형을 이용하여 낙동강수계인 길안천을 대상으로 수질을 모의하여 2개의 모형을 비교 분석 하였다.

2. QUALKO 모형 및 QUAL2K 모형

다음은 QUAL2E 및 QUALKO, QUAL2K 모형의 특징을 비교하여 표 1에 나타내었으며, QUALKO 모형 및 QUAL2K 모형의 수질 항목 반응도는 그림 1과 그림 2와 같이 나타내었다.

QUALKO 모형은 국립환경연구원에서 개발하였으며 QUAL2E 모형에 WASP5 모형의 장점을 접목하여 개발한 것으로, bottle BOD의 반응기작, 조류활동에 의한 유기물 증가, 탈질화 반응 등 하천의 정체수역에서 일어나는 생물학적

표 1. QUAL2E - QUALKO - QUAL2K 모형 비교

구분	QUAL2E	QUALKO	QUAL2K
모의방식	Steady-state	Steady-state	Steady-state
프로그램기반	DOS 및 Window(98)	DOS 및 Window(98)	Window Excel base
소구간 구분	동일한 소구간 간격 (Element 개념)	동일한 소구간 간격 (Element 개념)	임의의 소구간 구분 (길이별 입력)
수질항목	bottle BOD 포함됨	bottle BOD 포함안됨	Slowly reacting CBOD Fast reacting CBOD 구분
	인, 질소의 생물성, 비생물성 존재형태 분리	인, 질소의 생물성, 비생물성 존재형태 분리안됨	QUALKO모형에서 유기고형물 (detritus) 추가
	조류의 사멸, 호흡 분리	조류의 사멸, 호흡 분리안됨	부착성 조류 3가지 구분 -Bottom algae biomass -Bottom algae nitrogen -Bottom algae phosphorus
	조류의 사멸, 호흡에 따른 유기 무기물배출 분리	조류의 사멸, 호흡에 따른 유기 무기물배출 분리안됨	
	조류생산에 의한 수중 유기물 증가 포함됨	조류생산에 의한 수중 유기물 증가 포함안됨	
	NO ₂ ⁻ - N 모의함	NO ₂ ⁻ - N 모의함	알칼리도, 총무기탄소
	CODMn 조건적 적용	CODMn 모의안함	
반응식	무산소상태에서 산화반응 무	무산소상태에서 산화반응 무	무산소상태에서 산화반응 유
			저산소상태에서의 탈질화 반응

그림 1. QUALKO 모형의 수질 항목 반응도

그림 2. QUAL2K 모형의 수질 항목 반응도

반응을 반영한 수질모형이다. 즉 QUAL2E 모형에 조류생산 및 사멸에 의하여 내부생산 유기물이 증가하는 것을 반영하고, 조류의 사멸과 호흡에 따른 인과 질소의 배출을 세분화한 bottle BOD 개념이다. 또한 QUAL2E 모형에서 제한된 오염원의 수, 하천 구간의 수, 상류경계조건, 계산요소 등이 확장되어 대형하천이나 지류가 많은 하천에도 적용할 수 있다.

QUAL2K 모형은 MS-Windows 환경에서 사용할 수 있으며, Excel VBA(Visual Basic for Application)를 이용하여 프로그래밍 하였고, 사용자가 GUI(Graphic User Interface) 보다 사용하기 쉽게 만들어졌다. QUAL2E의 경우 동일한 길이의 element로 이루어진 Reach의 조합으로 segment를 이루어진다. QUAL2K는 Reach의 길이가 일정하지 않고 그 특성에 맞게 각각 다른 길이로 모의할 수 있으며, 오염원 및 취수원이 하나의 Reach에만 유입되는 것이 아니라 각각 다른 구간에서 동일한 위치에서 다중으로 유·출입될 수 있도록 구성하여 모의할 수 있다. QUAL2K는 유기물질을 나타내는 CBOD를 천천히 산화되는 sCBOD와 빠르게 산화되는 fCBOD와 같이 두 가지 형태로 나타내어 모의한다. 추가로 유기고형물(detritus)도 모의 가능하다. 이런 유기고형물들은 탄소, 질소, 인 등의 입자들로 구성되어 있기 때문에 화학양론비를 적용하여 유기고형물로 환산하여 모의한다. QUAL2K에서는 무산소 상태에서 반응이 일어나는 탈질화반응을 모의

하며, 용존산소와 영양염류의 퇴적층-수체흐름(flux)은 입자성 유기물의 침전, 퇴적층의 반응 그리고, 수체에서 용존된 농도와 상관관계를 이용하여 모의한다. 또한 부착조류를 고려하여 모의하며, 조류, 유기성 고형물 그리고, 무기성 고형물 등은 빛 소멸(Extinction)의 영향을 고려하여 계산되어진다. 하천의 pH는 알카리도와 총 무기탄소를 고려하여 모의하며, 병원균도 고려하며 병원균의 소멸은 수온, 빛, 침전의 상관관계를 이용하여 결정되어진다.

3. 모형의 적용 및 결과

3.1 적용범위 및 모형구성

본 연구의 대상지역인 길안천은 그림 3과 같으며 모형의 모식도는 그림 4와 같다. 길안천은 안동시에서 동남쪽으로 20 km 지점에 위치하고 있으며 낙동강의 제 2지류로서 경북 청송군 현서면 월정리에서 발원하여 안동시 임하면 반변천

그림 3. 길안천 유역도

그림 4. 길안천 모식도

표 2. 길안천 유역의 수질모델 수리 계산 및 조도계수

구간번호	확산계수	a	b	α	β	조도계수
Reach.1	60.0	0.5472	0.2679	0.1707	0.3693	0.035
Reach.2	60.0	0.5080	0.2871	0.1634	0.4251	0.035
Reach.3	60.0	0.4770	0.3086	0.2283	0.3795	0.035
Reach.4	60.0	0.3889	0.2913	0.1530	0.4034	0.035
Reach.5	60.0	0.3849	0.2579	0.1372	0.3575	0.035
Reach.6	60.0	0.3849	0.2579	0.1372	0.3575	0.035

주) a, b는 사다리꼴 단면 측면 경사, 또는 $U=aQ^b$ 에서의 계수, α, β 는 사다리꼴 단면 하상폭과 수로경사, 또는 $H=\alpha Q^\beta$ 에서의 계수

표 3. 길안천 오염원 유입자료

구분	유입량 CMS	수온 °C	용존산소 mg/l	BOD mg/l	염록소 mg/l	Org-N mg/l	NH ₃ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	Org-P mg/l	용존성 P mg/l
길안A08	0.192	8.0	8.9	0.2	0.0	0.421	0.072	0.001	1.343	0.008	0.006
반변B18	0.061	8.0	8.9	0.2	0.0	0.456	0.086	0.002	1.343	0.006	0.003
반변B19	0.121	8.0	8.9	0.2	0.0	0.488	0.092	0.002	1.292	0.007	0.004
반변B20	0.228	8.0	8.9	0.2	0.0	0.429	0.081	0.002	1.134	0.006	0.003
반변B21	0.081	8.0	8.9	0.2	0.0	0.390	0.074	0.001	1.032	0.005	0.003
반변B22	0.051	8.0	8.9	0.9	0.0	1.015	0.192	0.004	2.686	0.019	0.010
일직취수	-0.009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
반변B23	0.082	8.0	8.9	0.4	0.0	0.697	0.132	0.003	1.845	0.011	0.006
반변B24	0.047	8.0	8.9	0.7	0.0	0.949	0.179	0.004	2.512	0.018	0.009
반변B25	0.061	8.0	8.9	0.2	0.0	0.496	0.094	0.002	1.313	0.008	0.004
반변B26	0.042	8.0	8.9	0.9	0.0	0.986	0.186	0.004	2.609	0.018	0.009

주) 유입량의 (-)는 취수량을 의미

(임하담 하류)에서 합류하고 있다. 유로연장은 44 km이며 유역면적은 522.36 km², 유역의 고도는 160 m, 북위 36°10' 동경 128°50'에 위치하고 있다.

특히 길안천은 안동시 상수원의 원수로 사용되어지고 있는 자연 하천이다. 길안천의 모식도는 늘인천 합류부터 반변천까지 구간 거리 44개, 구간 구분을 6개로 나누었다. 길안천의 유역특성 및 점오염원의 유입 자료는 “낙동강수계·경상북도 오염총량관리 기본계획”의 결과를 인용하였다. 유역 매개변수는 표 2와 같고, 유역으로 들어오는 오염원의 유입 자료는 표 3과 같다. 수질모델은 하천의 오염에 가장 큰 영향을 미치는 주요 수질인자인 BOD, T-N, T-P 3개의 인자를 대상으로 2개의 모형을 적용하여 모의하였다.

3.2 모형의 적용결과

낙동강수계인 길안천 유역을 대상으로 QUALKO와 QUAL2K

의 모형을 적용한 결과는 표 4와 같다. 수질모델의 보정은 관측된 BOD, T-N, T-P 3가지 수질항목에 관해 실시하였다. 또한, 수질 항목에 대해 BOD 분해율 및 침전, SOD 제거율 등 각 수질 항목 매개변수 민감도 분석을 통해 영향도가 크게 나타난 변수를 중심으로 관측값을 근거로 모형을 보정하였다. 또한, QUALKO 및 QUAL2K 수질 인자 상관도는 그림 5와 같이 나타냈었다.

또한, 수질인자 BOD, T-N, T-P에 관한 2개의 모형의 적용결과를 다음 그림 6에서 8까지 나타내었다.

모형적용 결과 QUALKO 및 QUAL2K 두 모형 모두 비슷한 결과를 보여주었으며 BOD의 경우 QUALKO 모형에서 유기물질의 분해 및 침강에 의한 감소만 고려하였으며, QUAL2K 모형에서는 Detritus의 용해로 인한 Slowly Reacting CBOD(cf)와 Slowly Reacting CBOD의 가수분해를 통하여 Fast Reacting CBOD(cf)로 나뉘어서 모의가 진행되며 가수

표 4. 모형적용 결과와 관측값 비교

구분	수질인자	모의값		관측값	오차율(%)	
		QUALKO	QUAL2K		QUALKO	QUAL2K
모식도33, 길이 32 km	BOD	1.270	1.270	1.716	25.99	25.99
	T-N	6.408	6.412	6.208	3.22	3.29
	T-P	0.029	0.029	0.028	3.57	3.57
모식도44, 길이 43 km	BOD	1.260	1.260	1.716	26.57	26.57
	T-N	6.353	6.359	6.208	2.34	2.43
	T-P	0.030	0.030	0.028	7.14	7.14

그림 5. QUALKO 및 QUAL2K 수질 인자 상관도

그림 6. BOD 수질모의 결과

그림 7. T-N 수질모의 결과

분해에 의한 증가와 탈질에 의한 감소도 고려하고 있어 모의 결과 다른 수질 항목에 비해 높게 나타났다. 또한 BOD의 두 모형의 상관성은 $R^2=0.9248$ 로 나타났으며, 관측값에 대한 오차율은 두 모형 모두 모식도 33지점에서 25.99%, 모식도 44지점에서 26.57%로 같은 오차율을 보였다. 이것은 하천수질환경기준 3이하로 상수원수2급 II등급으로 측정되었다. T-N의 경우 QUALKO 모형과 QUAL2K모형 모두 다른 수질

항목과 비교해서 오차범위가 낮았으나 모식도 33에서의 오차율은 QUALKO가 3.22%, QUAL2K가 3.29%의 오차율을 보였으며 모식도 44에서는 QUALKO가 2.36%, QUAL2K가 2.43%의 오차율을 보였다. QUALKO 및 QUAL2K 두 모형의 상관성은 $R^2=0.9256$ 로 나타났으며 QUAL2K모형 보다 QUALKO모형이 실측치에 가까운 모의치를 보였다. T-P의 경우 다른 수질인자와 비교해 가장 높은 상관도 $R^2=0.9975$

그림 8. T-P 수질모의 결과

를 보였으며 모식도 33지점에서의 오차율은 QUALKO가 3.57%, QUAL2K가 3.57%의 같은 오차율을 보였으며 모식도 44지점에서는 QUALKO가 7.14%, QUAL2K가 7.14%의 같은 오차율을 보였다. T-P의 수질인자만 보았을 때 10% 이하의 낮은 오차율과 높은 상관도를 보이며 어느 모형의 모의 결과가 좋다고 단정할 수는 없었다. 상류에서 하류로 갈수록 점오염원으로부터 유량과 용존산소에 비하여 BOD유입량이 상대적으로 낮은 유입량으로 감소하는 경향을 보였다. T-N의 경우 또한 점오염원으로부터 유입되는 오염원이 상대적으로 낮은 농도로 유입되며 용존산소량이 상대적으로 높아 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. T-P의 경우 다른 수질인자와는 다르게 상류에서 하류로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 상류에서 하류로 갈수록 점오염원으로 부터 유기인체와 용존성인의 증가로 판단된다. 난분해성 유기물질의 분해속도는 체류시간이 짧은 하천에서는 기여도가 매우 작으며, 일반적으로 분해성 유기물 반응속도의 1% 정도를 고려한다(Cole and Well, 2004). 이로 인하여 T-N, T-P의 경우 체류시간이 짧아 조류의 사멸과 분해에 의한 내생부하량이 상대적으로 매우 작은 결과로 판단된다. 또한 하천구간에 비하여 적은 관측지점과 모델에 들어가는 매개변수의 차이로 인해 BOD의 경우는 실측치와 모의치의 결과 값의 차이가 크게 산정되는 것으로 판단되어지며 T-N, T-P의 경우는 호소와 같이 정체되어 있는 곳에서 발생하는 녹조현상과 관련된 값으로 하천에서의 자연폭기와 지속적인 흐름으로 인하여 실측치와 모의치의 결과 값의 차이가 상대적으로 작게 산정된 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강수계인 길안천 유역을 대상으로 QUALKO 모형 및 QUAL2K 모형을 이용하여 BOD, T-N, T-P에 대상으로 수질을 모의 하였다. 전체적으로 QUALKO 모형과 QUAL2K 모형 모두 비슷한 결과를 보여 주었으며 수질모의 결과는 다음과 같다.

1) BOD의 경우 Detritus의 용해로 인한 Slowly reacting

CBOD와 Fast reacting CBOD로 구분되어 모의가 진행되며 가수분해로 인한 BOD의 증가와 탈질에 의한 감소도 고려하고 있어 모의결과 다른 수질 항목에 비하여 높게 나타났으며 QUALKO과 QUAL2K 두 모형의 상관도 $R^2=0.9748$ 을 보였다.

- 2) T-N의 경우 QUALKO 모형과 QUAL2K 모형 모두 다른 수질 항목에 비하여 가장 오차율이 낮았으며 상관성 또한 낮은 $R^2=0.9256$ 로 나타났으며 QUAL2K모형보다 QUALKO모형이 관측치에 가까운 모의치를 보였다. T-N의 경우 BOD와 마찬가지로 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였다.
- 3) T-P의 경우 QUALKO 모형과 QUAL2K 모형의 상관도가 다른 수질인자에 비하여 가장 높은 $R^2=0.9975$ 를 보였다. 또한 두 개의 관측지점에서 오차율이 10%도 안되는 낮은 오차를 보이고 있어 두 모형 중 어느 모형의 모의결과가 좋다고는 단정할 수는 없다. T-P의 경우 다른 수질인자와는 다르게 상류에서 하류로 갈수록 수질 농도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 상류에서 하류로 갈수록 점오염원으로 부터의 유기인체와 용존성인의 증가로 판단된다.
- 4) 따라서 앞의 결론을 종합해 보면 QUALKO 모형과 QUAL2K 모형 모두 비슷한 결과를 보였으며 두 모형 모두 오차율에 큰 차이가 없었다. 오차는 다른 반응계수 보정 방법의 적용에 의해서 또는 QUAL2K의 추가기능인 부착조류와 탈질화의 고려에 의해서 나타날 수 있어 어느 모형의 모의결과가 좋다고는 판정하기 어렵다. 그러나 QUAL2K의 경우 Detritus의 영향을 고려하여 내부 반응기작을 구성하고 있다는 점에서 QUAL2K 모형이 실제 수질반응을 보다 잘 반영하여 모의할 수 있다고 판단된다.
- 5) QUALKO 모형의 경우 국립환경과학원에서 기존의 QUAL2E 모형을 국내 하천에 적합하도록 수정하여 만든 모형으로 미국 EPA에서 제공하는 QUAL2K 모형의 결과와 미미한 차이를 나타내었다. 따라서 특정 지역의 수질을 평가하기 위해서는 특정 모형을 선택하기 보다는

하천의 많은 지점의 실측 수질자료를 수집 및 분석하여 보다 정확한 매개변수의 산정이 모형의 정확도를 높일 수 있다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 NEMA-자연-2010-35 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

고재홍, 박혜린, 이재준, 이용운 (2009) QUALKO 및 QUAL2E를 이용한 영산강수계 수질모델링에 관한 연구, **한국도시환경학회지논문집**, 한국도시환경학회, 제 9권 2호, pp. 75-80.

국립환경과학원, 한강물환경연구소 (2005a) **남한강수계 오염물질 유출 및 수질변동 특성에 관한 연구**.

김상단, 강두기, 신현석 (2005) QualKo 모형의 수리 매개변수 추정방법 개선, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, pp. 2552-2555.

김용, 이충성, 김형수, 심명필 (2003) QUAL2E 모형을 이용한 하천 수질의 위해성 평가, **대한토목학회학술대회논문집**, 대한토목학회, pp. 2418-2422.

낙동강수계관리위원회 (2004) **낙동강유역에 적합한 수질예측 모델 개발**.

노대영 (2005) 수질오염총량관리를 위한 낙동강하류의 QUALKO 및 QUAL2E 수질모델링에 관한 연구, **석사학위논문**, 조선대학교 환경생명공학과.

박준대, 신동석, 김문숙, 공동수, 류덕희, 정동일, 나은혜 (2008) 연구논문: 수질오염총량관리를 위한 하천수질모델(QUAL-NIER)개발, **한국물환경학회지논문집**, 한국물환경학회(구한국수질보전학회), pp. 784-792.

방재필 (2010) 영산강 유역의 수질 예측을 위한 QUAL2K 모형의 적용, **석사학위논문**, 동신대학교 토목공학과.

손종희 (2008) QUAL2E 및 QUAL2K를 이용한 곡교천의 수질

모델링, **석사학위논문**, 광운대학교 환경공학과.

유하나, 서동일 (2007) 한강 하류에 대한 정상상태 모델 QUAL2E와 비정상상태 모델 WASP7.2 동시 적용에 관한 연구, **공동춘계학술발표회논문집**, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, pp. 32-40.

이성우, 반양숙, 이혜숙, 이정민 (2006) 낙동강 상류 유역의 댐방류량 증가에 의한 하류 수질변화 예측 연구, **추계학술발표회논문집**, 대한환경공학회, pp. 446-450.

이용석 (1996) 금강 수질변화 예측을 위한 QUAL2E 모형의 보정 및 검증에 관한 연구, **환경관리학회지논문집**, 한국환경관리학회, pp. 112-121.

정성수, 김경섭 (2008) 안양천에서 QUAL2E 및 QUAL2K 모형의 적용 및 평가, **대한환경공학회지논문집**, 대한환경공학, pp. 544-551.

정호 (2011) QUAL2K 모형을 이용한 섬진강의 수질보전을 위한 하천유지유량산정, **석사학위논문**, 동신대학교 토목공학과.

조재현, 이창훈 (2009) 연구논문: 영향계수법과 유전알고리즘을 이용한 QUAL2K 모형의 매개변수 최적화, **환경영향평가논문집**, 한국환경영향평가학회, pp. 99-109.

최정규, 정세웅, 류재일 (2008) 부영양 하천의 수질예측을 위한 QUAL2E와 QUAL-NIER 모형의 비교 · 평가, **한국물환경학회지논문집**, 한국물환경학회, pp. 54-62.

채수권, 민선홍, 김성태, 김건홍 (2003) GIS기반의 QUAL2E 모형을 이용한 하천오염 평가, **하계학술연구발표회초록집**, 한국환경관리학회, pp. 140-140.

Cole, T.M. and Wells, S.A. (2004) CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2 User Manual, U.S. Army Corps of Engineers.

McAvoy, D.C., Masscheleyn, P. Peng, C., Morrall, S.W., Casilla, A.B., Lim, L.U.M., Gregorio, E.G. (2003) Risk Assessment Approach for Untreated Wastewater Using the QUAL2E Water Quality Model, **Chemosphere**, Vol. 52, pp. 55-66.

◎ 논문접수일 : 11년 11월 15일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 11월 16일
 ◎ 심사완료일 : 11년 11월 25일