

QUAL2K의 적용에 의한 탐진강 유역의 수질모의 연구

Study on the Water Quality simulation in the Tamjin River Basin by the application of Qual2K

박성천*, 방재필**, 노경범***, 진영훈****

Sung-Chun Park, Jae-pil Bang, Kyong-Bum Roh, Young-Hoon Jin

요 지

최근 하천오염에 대한 중요성이 크게 대두되고 있으며, 하천 오염을 방지하기 위한 다양한 방법이 강구되고 있다. 이러한 하천 오염방지를 위한 노력의 일환으로 4대강 수계에 대한 수질오염총량제를 실시하고 있다. 수질오염총량제에 있어 중요한 것은 현재 하천의 상태 및 장래 하천의 상황 즉, 수질 상태를 파악하는 것이 중요하다. 이러한 현재 및 미래의 하천 수질 상태를 파악하기 위해 수질 모델링이 필요하다.

본 연구에서는 수질오염총량제를 시행하고 있는 탐진강유역을 연구 대상으로 선정하였다. 대상 하천수질을 모의하기 위한 모형 중에 가장 보편적이고 광범위하게 사용하고 있는 US EPA에서 개발한 Water Quality model 중에 Qual2E 모형의 단점을 보완하여 개발된 Excel기반의 후속모델 Qual2K를 이용하였다. 모형의 적용은 탐진강 유역을 두 개의 단위유역으로 나누어 한 개의 단위유역을 1개의 Reach로 설정하여 총 2개의 Reach를 형성하였다. 탐진호를 Head water로 설정하고 본류23km를 중심으로 유입되는 지천을 소구역의 점오염원으로 간주하여 적용하였다.

모형의 반응계수는 실측자료를 사용하여 시행착오법에 의해 검토·보정하였으며, 수리입력계수의 산정은 HEC-RAS모형을 사용하여 수심-유량계수와 유속-유량계수를 산정하였다. 수질모의 항목은 실측자료 2007년 배출부하량을 바탕으로 하여, 수질오염총량제의 수질관리 기준인 BOD와 부영양화 물질 T-P로 정하였다. 검정자료와 보정자료는 2007년 수질관측소의 실측자료를 사용하였다. 유량조건은 하천수질환경기준의 설정근거인 저수량(Q275)을 기준으로 탐진강 유역의 수질을 모의 하였다. 그 결과 Qual2K를 이용해 탐진강 수질 모의 결과 검·보정에서 양호한 결과를 나타냈다.

핵심용어 : 수질오염총량제, 수질예측, Qual2K, 탐진강유역

1. 서 론

최근 하천오염에 대한 중요성이 크게 대두되고 있으며, 하천 오염을 방지하기 위한 다양한 방법이 강구되고 있다. 이러한 하천 오염방지를 위한 노력의 일환으로 정부에서는 4대강 수계에 대한 수질오염총량제를 실시하고 있다. 수질오염총량제는 기존의 오염농도와 면적위주의 규제에서는 수질목표달성의 한계라는 문제점을 인식하고 해결하기 위한 유역 중심의 수질관리 방법이다. 수계 각 광역시·도 구간별 목표수질을 설정하고 그 대상물질로 CBOD 와 T-N, T-P로 한정하고 있다. 각 광역시·도에서는 설정한 목표수질을 달성하고 유지하기 위한 기본계획과 시행계획이 수립 중에 있다. 수질오염총량제에 있어 중요한 것은 현재 하천의 상태 및 장래 하천의 상황 즉, 수질 상태를 파악하는 것이 중요하다. 이러한 현재 및 미래의 하천 수질 상태를 파악하기 위해 수질 모델링이 필요하다. 수질모델링은 각 광역시·도에 조사된 오염원자료를 바탕으로 모델링화 하여 다양한 상황과 수체내에 발생할 수 있는 물리, 화학, 생물학적 경우를 모의하고 예측한다. 또한 그 현상을 수치적으로 기술할 수 있다. 이를 이용하여 더욱 합리적인 방법을 토대로 수계 각 광역시·도 구간

* 정회원·동신대학교 토목공학과 교수E-mail : psc@dpu.ac.kr

** 비회원·동신대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : wolf404@naver.com - 발표자

*** 정회원·전남발전연구원 환경생태연구팀 연구원E-mail : kbyj3711@naver.com

**** 정회원·동신대학교 공업기술연구소 연구교수E-mail : nmdrjin@gmail.com

별 목표수질을 설정한다. 모델링결과로 인하여 각 지역의 허용배출부하량을 결정하는 중요한 인자로 작용하기 때문에 더욱 합리적이고 과학적인 모델링이 필요로 한 것이다. 본 연구에서는 수질오염총량제를 시행하고 있는 탐진강유역을 연구 대상으로 선정하였다. 대상 하천수질을 모의하기 위한 모형 중에 가장 보편적이고 광범위하게 사용하고 있는 US EPA에서 개발한 Water Quality model 중에 Qual2E 모형의 단점을 보완하여 사용자가 보다 사용하기 쉽게 Excel을 기반으로 개발된 후속모델 Qual2K를 이용하여 탐진강 유역을 더욱 합리적이고 과학적인 모델링을 하고자 한다.

2. 모형의 적용

2.1 하천 수질모델 Qual2K

Qual2K는 US EPA에서 개발하였는데 Qual2E 모형의 단점을 보완하기 위하여 개발된 모형이다. Qual2K는 Qual2E에서 모의가 불가능한 부분을 보완하였는데, 수초나 조류등에 의하여 변화하는 용존산소나, 부유조류 사멸시 발생하는 유기물 변화, 무산소 상태의 반응의 탈질화 과정 그리고 element를 등간 격으로 나누었던 Qual2E의 단점을 Qual2K에서는 점오염의 정확간 거리별로 나눌 수 있으며, 비점오염원을 점오염화 시켜 입력하던 방법을 Qual2K에서는 비점오염원으로 따로 입력하여 모델링할 수 있다. Qual2K는 그림 2.1과 같이 반응역학의 방법으로 모의한다. 모의가능 수질항목은 총16가지이며 모의하기위한 상대변수는 표 2.1과 같다.

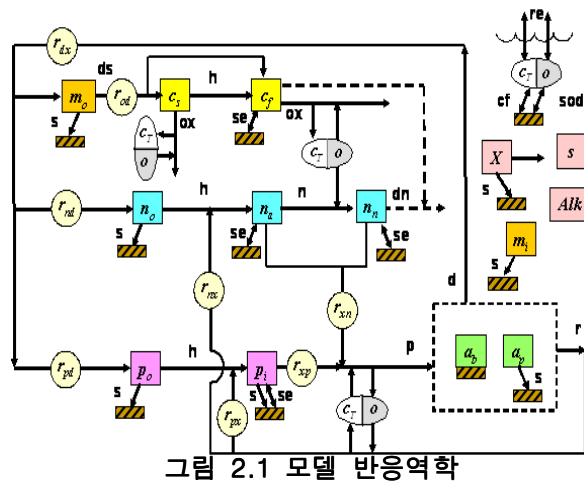


표 2.1 수질항목과 상태변수

Variable	Symbol	Units*
Conductivity	s	μ mhos
Inorganic suspended solids	m_i	mgD/L
Dissolved oxygen	o	mgO ₂ /L
Slowly reacting CBOD	c_s	mgO ₂ /L
Fast reacting CBOD	c_f	mgO ₂ /L
Organic nitrogen	n_o	μ gN/L
Ammonia nitrogen	n_a	μ gN/L
Nitrate nitrogen	n_n	μ gN/L
Organic phosphorus	p_o	μ gP/L
Inorganic phosphorus	p_i	μ gP/L
Phytoplankton	a_p	μ gA/L
Detritus	m_o	mgD/L
Pathogen	X	cfu/100mL
Alkalinity	Alk	mgCaCO ₃ /L
Total inorganic carbon	c_T	mole/L
Bottom algae biomass	a_b	gD/m ²
Bottom algae nitrogen	IN _b	mgN/m ²
Bottom algae phosphorus	IP _b	mgP/m ²

2.2 대상하천의 개요

탐진강은 하류부가 남해안과 접하는 전남 3대강강의 하나로, 유로연장 55.07km, 유역면적 508.53km²이다. 영암군 금정면 세류리에서 발원하여 남동쪽으로 굽이쳐 흐르다가 탐진댐이 있으며, 댐을 기점으로 분류를 중심으로 부산천, 내안천, 부동천, 평화천, 금강천, 장산천, 군동천, 파산천, 금사천등과 합류한 뒤 강진읍 동쪽 교외에서 남해로 흘러든다. 하구에는 삼각주가 발달하였으며 해수유입을 방지하기위해 군동지역에 간척공사를 하여 하도가 정리되어 있다. 2003년에는 탐진댐을 건설하여 1개시와 8군에 생활용수와 공업용수, 농업용수를 공급한다.

2.3 단위유역

적용구간은 그림 2.1 과 그림2.2와 같이 탐진강유역은 영암군 3구역과 장흥군 14구역 강진군은 10구역으로 총27개의 소구역으로 나누어 모델에 적용하였다. 총 유로 연장은 55.0km이며 적용 구간은 탐진댐부터 탐진강 하구까지 23.125km구간이다. 탐진강 유역을 두 개의 단위유역으로 나누어 한 개의 단위유역을 1개의

Reach로 설정하여 총 2개의 Reach를 형성하였다. 탐진댐을 Head water로 설정하고 하류부의 군동지역에 설치한 보까지이다. 본류를 중심으로 부산천, 내안천, 부동천, 평화천, 금강천, 장산천, 군동천과 함께 소구역의 점오염원으로 간주하여 적용하였다.



그림 2.3 탐진강 유역도

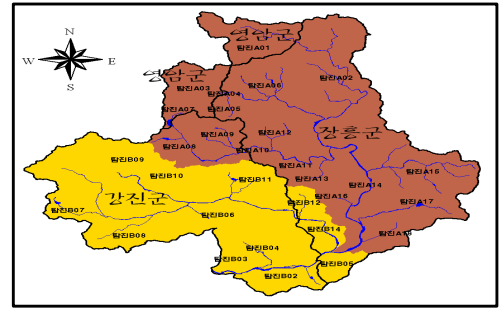


그림 2.4 대상구간의 소유역도

3. 모델입력자료 구축

3.1 수리학적 입력 계수 산정

수리학적 입력계수인 유속-유량계수, 수심-유량계수를 산정하기 위해 미공병단HEC-RAS 4.0 수리해석 모델링 프로그램을 이용하였다. HEC-RAS 4.0모형은 수리해석모델링으로 입력 자료인 하천단면자료와 하천구조물, 조도계수, 유량을 입력하였다. 여기서 입력 자료는 하천 정비기본계획에 제시된 하천 횡단측량 성과를 이용하였으며 유량 조건은 1998년~2007년까지의 각 탐진강유역 수위관측소의 수위자료로 수위-유량관계곡선에 의해 유량값을 산정 하였으며 사용된 유량값은 하천수질환경기준의 설정근거인 저수량(Q275)을 기준으로 연도별 유량값에서 10년값을 평균하여 유량에 의한 유속과 유량값으로 수심-유량관계($H = aQ^b$), 유속-유량관계($U = cQ^d$)를 회귀분석하여 각 reach별로 적용하였다. 여기서 a(깊이계수), b(깊이지수), c(속도계수), d(속도지수)이다.

표 3.1 구간별 수리학적입력계수

하천명	Reach 번호	수리상수			
		a	b	c	d
탐진강	1	0.5051	0.266	0.0554	0.557
	2	1.7103	0.092	0.0067	0.808

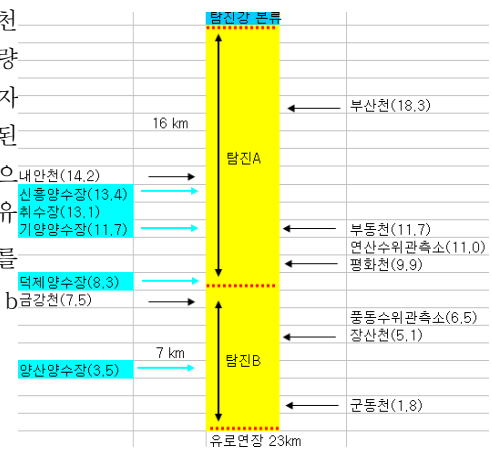


그림 3.1 탐진강 모식도

탐진강유역의 하천 정보와 취수시설정보를적용하여 그림 3.1과 같이 Qual2K모식도를 구축하였다. 탐진강은 총 2개의 reach로 나누웠으며 지천의 유입은각 구간 거리별로 입력 하였다.모델의 시점은 탐진호를 시점으로 하류부탐진B-03 군동천을 선정하여 적용 하였다.

3.3 유황분석 및 오염부하량 산정

기준유량 산정을 위해 본 연구에서는 탐진강유역의 각 수위관측소의 1998년부터~2007년까지의 수위자료를 통하여 수위-유량곡선을 통하여 유황분석을 실행, 저수량기준 Q(275) 표 3.2과 같이 구하였다. 소유역별 기준유량은 면적비유량에 의하여 기준유량을 산정하였다. 본 연구에서 사용한 오염부하량은 2007년 자료를

표 3.2 탐진강 유황분석 결과

수위관측소	유역면적 (km ²)	저수량 (m ³ /sec)
유양	119	1.52
연산	203.7	1.55
순지	156	1.19
군동	477	3.64

사용하였으며 각 단위 유역별 비점부하량과, 점오염 부하량은 표 3.3과 같다.

표 3.3 단위유역 오염부하량

단위유역	p_BOD_avg (kg/d)	np_BOD_avg (kg/d)	p_TN_avg (kg/d)	np_TN_avg (kg/d)	p_TP_avg (kg/d)	np_TP_avg (kg/d)
탐진A	830.924	823.369	349.168	504.863	48.770	44.910
탐진B	488.353	717.026	147.522	444.743	20.181	40.012

4. 실험결과

4.1 모델보정

본 연구에서 수질모델 보정은 탐진강 유역의 저수기 유량에 근접한 10월~11월 측정자료를 사용하였다. 탐진강 본류구간의 4개 측정지 중 각 단위유역의 말단지점인 연산과 군동의 자료를 대상으로 모델 보정 하여 각각 그림 3.1, 그림 3.2, 그림 3.3과 같이 나타났다.

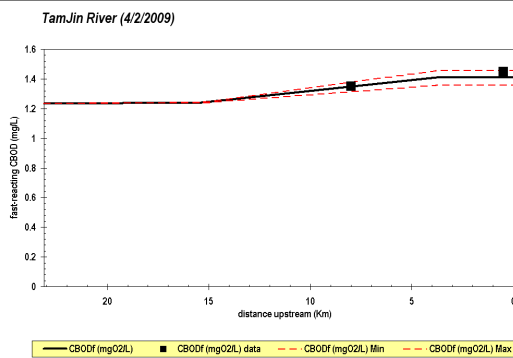


그림 4.1 CBOD 보정결과

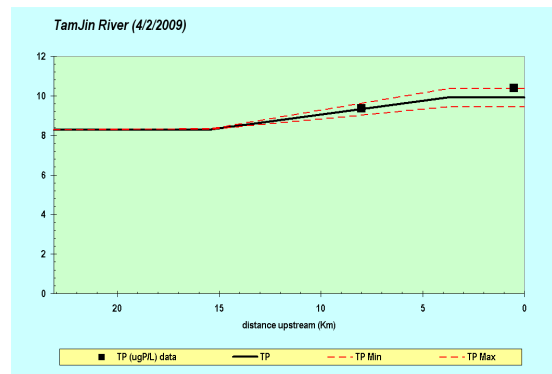


그림 4.2 T-P 보정결과

4.2 모델검증

본 연구에서 수질모델 검증은 저수기 유량에 근접한 4월 측정자료를 이용하였다. 방법은 모델보정과 같은 방법으로 하였으며 각각 그림 3.4, 그림3.5, 그림3.6과 같이 나타났다.

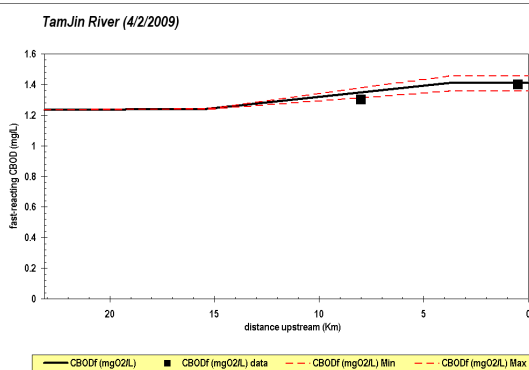


그림 4.3 CBOD 검증결과

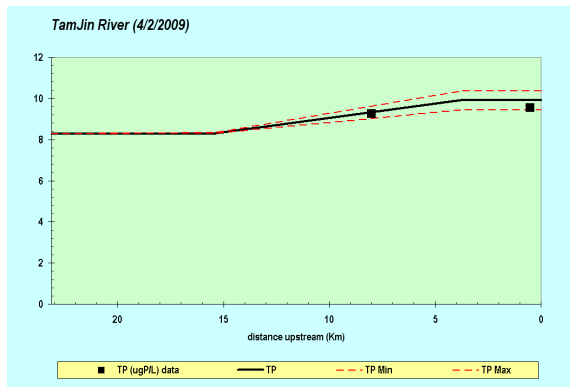


그림 4.4 T-P 검증결과

이와 같이 검·보정결과에서 모델링하여 보정한 결과값이 검증값과 CBOD에서 3.71%의 적은 차이와 T-P에서는 2.72%의 차이를 보였다. 다음 표 3.3과 같은 CBOD, T-P 결과를 수질측정 위치별로 나타내었다.

표 3.3 검 · 보정결과

	CBOD_탐진A	CBOD_탐진B	TP_탐진A	TP_탐진B
결과	1.35	1.39	9.20	9.81
보정	1.35	1.40	9.20	10.00
검증	1.30	1.38	9.25	9.55

4.3 장래 수질 예측

탐진강유역은 전 구간이 목표수질을 만족하는 것을 알 수 있다. 목표수질은 탐진강 수계의 수질관리가 비교적 용이한 탐진A, 탐진B 단위유역말단에 대하여 설정하였다. 탐진강 수계는 영암군, 장흥군, 강진군 등 3개 시군이 포함되어 있다. 목표수질은 영산강유역환경청과 환경부에서 고시한 목표수질값에서 모든 고시값에 만족함으로써 장래오염물질 삭감 시나리오 및 개발계획을 반영하여 약간 개선하는 수준으로 안전율 10%를 반영 하기로 하여 각 소유역별 장래 배출부하량을 산정하였다. 모의 결과는 그림 4.5와 같이 목표수질을 만족 하고있다.

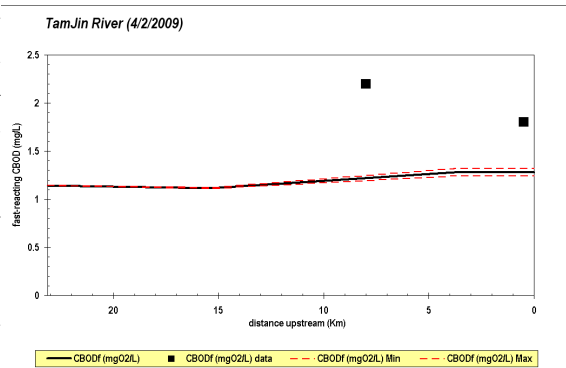


그림 4.5 장래 수질예측 결과

5. 결론

본 연구는 탐진강 유역을 대상으로 수질모델을 구축하여 적용하였다. Qual2K를 이용하여 탐진강의 검 · 보정 결과 , 모의항목의 3개 CBOD, T-N, T-P에 대하여 양호한 결과를 나타내었다. 또한 탐진A-04지역과 같이 분류를 따라 길게 위치한 비점의 소구역을 어느 한 곳에 임의적으로 넣어 모델링 하는 기존 방법과 다르게 Qual2K에서는 비점을 따로 입력하여 분배하여 적용하는 방식이 좋은 결과를 보여 주었다. 그리고 기존의 모델은 등구간으로 element를 나누어 점오염을 입력하였으나 Qual2K에서는 정확한 점오염원, 하천의 위치에 입력하여 보다 실측과 가깝게 모의결과가 나타났다. 탐진강 유역과 같은 수질 본존구역의 수질오염총량제를 실시할 때에는 보다 발전된 연구를 통하여 합리적이고 과학적인 수질관리를 해야 할 것이다. 따라서 향후 탐진강 유역뿐 아니라 타유역에도 수질관리를 위한 방법으로 본연구의 부족한 부분을 계속하여 연구, 보완하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 전라남도(2005). 전라남도 섬진강 오염총량관리 기본계획.
2. 경기도보건환경연구원보 제20권(2007). 경안천유역 수질모델 연구.
3. 국립환경과학원(2008). 수계오염총량관리기술지침서 제2단계
4. S.C. Chapra, G.J. Peltier, (2003), Qual2K Documentation & Users Manual, Tufts University, Medford, MA, USA
5. 김용구(2004). 진화알고리즘을 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정에 따른 목표삭감을 산정에 관한 연구. 토목학회 포스터논문, 동신대학교
6. 노경범(2007). Qual2E & Qual2K 시연. 비교연구, 동신대학교