

Qual2K 모델을 이용한 섬진강의 수질보전을 위한 하천유지유량산정

Decision of Stream Flow of Sum-jin River
for Water-Purity Utilizing QUAL2K Model

박성천¹⁾, 노경범²⁾, 이용희³⁾, 진영훈⁴⁾

Sung-Chun Park, Kyong-Bum Roh, Yong-Hee Lee, Young-Hoon Jin

요 지

현재 국내 하천은 급격한 산업화·도시화 및 하천의 난개발로 인해 하천 고유의 자연성이 훼손되어 수질오염이 심각한 경우가 많으며, 특히 저·갈수기에는 하천 수량이 부족하여 하천수질이 더욱 악화되는 실정이다. 이러한 원인은 우리나라의 개발 우선주의에 의한 하천의 난개발 및 인식 부족이 주 원인으로 이를 개선하기 위한 노력이 다양하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 섬진강 본류구간을 연구대상 구간으로 선정하여 목표수질 달성 및 생태건강성 확보를 위한 하천유지유량 산정을 위해 Qual2K 모델을 적용하였다. 섬진강은 국내의 타하천에 비해 생태 건강성이 뛰어난 편이며, 수질 또한 양호한 상태로 섬진강의 자연성 보전 및 유지가 반드시 필요한 실정이다. Qual2K는 미국환경청(US-EPA)에서 개발한 모형으로 Qual2E 모형의 단점을 보완한 것으로 사용자가 하천의 지형 특성을 충분히 반영할 수 있으며, 정확한 오염원의 유출입 지점을 특정할 수 있으며, 수질 반응을 개선한 모델이다.

QUAL2K 모델에 이용된 오염원 및 부하량은 제2단계 섬진강 수질오염총량제의 값을 이용하였으며, 섬진강의 생태건강성 유지를 위한 하천유지유량의 산정은 수질오염총량제에서 제시한 목표수질보다 강화된 목표수질을 만족할 경우의 유량을 하천유지유량으로 설정하여 추정하였다. 수질모의는 섬본E, 섬본D의 BOD 목표수질이 1.2mg/L일 경우에 대해 모의를 실시하였으며, 그 결과 BOD 농도 1.0mg/L의 청정수는 섬진강댐에서 0.5m³/s, 주암댐에서 1.0m³/s의 유지수를 도입할 경우 섬본E, 섬본D지점에서 BOD 1.2mg/L를 만족하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 하천유지유량, Qual2K, 생태건강성, 목표수질

1. 서 론

우리나라 자연수역의 수질이 산업화 개발로 인한 토지개발에 따라 불투수층이 증가하였다. 또한 이상기후의 영향으로 저·갈수기에는 하천 수량이 풍부하지 못하여 하천오염의 심각성 및 보존에 대한 문제가 크게 대두되고 있다. 이로 인해 하천 오염을 방지하기 위해 다양한 방법이 강구되고 있는데, 하천의 수질모형의 개발 및 적용에 관한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 하천의 수질모델링은 수계에 유입되는 오염원이 하천의 수질에 미치는 영향을 정량적으로 평가하거나 예측하기 위한 것으로서, 계산결과의 신뢰성은 모형의 적정성 및 정확성에 따라 좌우된다.

본 연구에서는 섬진강수계의 장래 수질예측을 위해 Qual2k 모델을 적용하였으며, 섬진강 하류구간의 수리분석 및 지형적 특성을 적용하여 모형 구간을 분할하였다. 하천의 유황을 대표할 수 있고, 수문자료 및 수리학적 유동특성을 대표하는 지점을 선정하여 2015년 부하량 예측 결과 수질오염총량관리 목표 수질 만족 여부를 검토하였다.

* 박성천 · 동신대학교 토목공학과 교수 · E-mail : psc@dsu.ac.kr
** 노경범 · 전남발전연구원 환경해양연구팀 연구원 · E-mail : kbyj3711@naver.com
*** 이용희 · 동신대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : md49@nate.com
*** 진영훈 · 수도대학동경 대학원 도시환경과학연구소 연구교수 · E-mail : nmdrjin@gmail.com

2. 연구대상구간 및 입력자료

본 연구 대상 구간은 오염총량관리 기본계획의 전라남도 섬진강 수계이며, <그림.1>과 같다. 수질모의는 전라남도 섬진강 수계를 대상으로 하였으며, 전라남도 섬진강 본류와 보성강 부분까지 모형을 구축하였다.



<그림. 1> 연구대상구간

대상구간의 입력자료는 전라남도 섬진강수계 제2단계 수질오염총량관리 기본계획에서 산정된 부하량 자료를 이용하였다. <표.1>은 2007년 섬진강 수계 오염물질 발생부하량 및 배출부하량이며 <표.2>는 수질오염총량제 기본계획에서 제시한 자료로 장기예측을 위한 자료로 이용하였다.

<표. 1> 단위유역별 발생부하량 및 배출부하량 현황(kg/일) - 2007년

단위유역		동북A	보성A	보성B	섬본D	섬본E	섬본F
BOD(kg/d)	발생부하량	4,390.80	10,629.20	9,019.00	20,619.10	23,084.00	11,864.40
	배출부하량	1,224.8	2,628.1	3,374.3	4,627.1	4,429.3	560.6
TP(kg/d)	발생부하량	312.10	708.70	616.10	7,540.90	1,759.60	783.80
	배출부하량	77.0	134.6	190.7	262.8	241.2	28.1

<표. 2> 단위유역별 배출부하량 현황(kg/일) - 2015년

단위유역	동북A	보성A	보성B	섬본D	섬본E	섬본F
BOD(kg/d)	1,248.0	2807.1	3,646.9	4,688.4	4,599.2	504.4
TP(kg/d)	76.82	141.65	199.99	254.46	270.69	25.48

3. Qual2K 모형의 이론

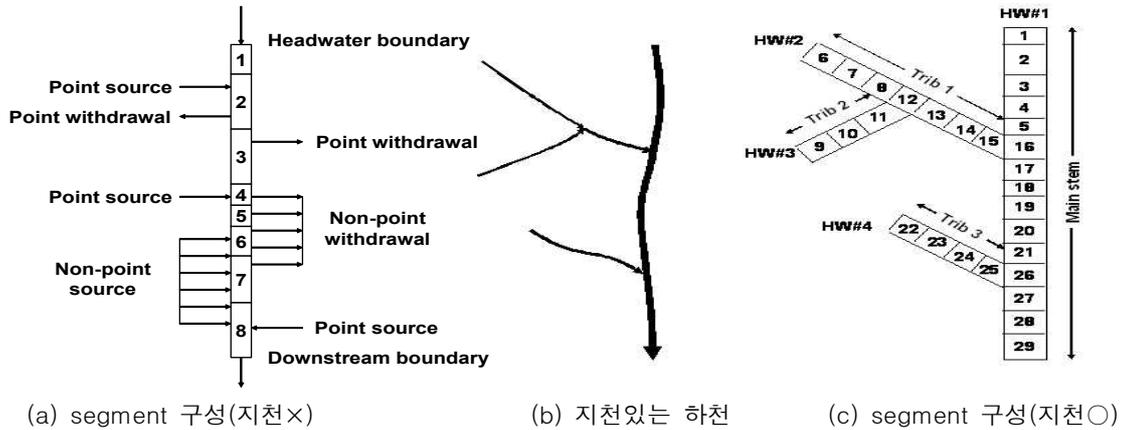
Qual2K는 Reach의 길이가 일정하지 않고 그 특성에 맞게 각각 다른 길이로 모의할 수 있으며, 오염원 및 취수원이 하나의 Reach에만 유입되는 것이 아니라 각각 다른 구간에서 동일한 위치에서 다중으로 유·출입될 수 있도록 구성하여 모의할 수 있다.

Qual2K는 유기물질을 나타내는 CBOD를 천천히 산화되는 sCBOD와 빠르게 산화되는 fCBOD의 두가지 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 모의하며, 용존산소와 영양염류의 퇴적층-수체흐름(flux)은 입자성 유기물의 침전, 퇴적층의 반응 그리고, 수체에서 용존된 농와 상관관계를 이용하여 모의한다. 또한 부

착조류를 고려하여 모의하며, 조류, 유기성 고형물 그리고, 무기성 고형물 등은 빛 소멸 (Extinction)의 영향을 고려하여 계산되어진다. 하천의 pH는 알카리도와 총 무기탄소를 고려하여 모의하며, 병원균도 고려하여 병원균의 소멸은 수온, 빛, 침전의 상관관계를 이용하여 결정되어진다.

$$\frac{dc}{dt} = \underbrace{Q_{i-1}}_{\text{축척 유입량}} c_{i-1} - \underbrace{Q_i}_{\text{유출량}} c_i - \underbrace{Q_{abi}}_{\text{취수량}} c_i + \underbrace{E'_{i-1}}_{\text{확산}} (c_{i-1} - c_i) + \underbrace{E'_i}_{\text{확산}} (c_{i+1} - c_i) + \underbrace{W_i + S_i + E'_{hyp,i}}_{\text{외부 부하량 생성}} (c_{2,i} - c_i) \quad \text{식(1)}$$

축척 유입량
유출량
취수량
확산
외부 부하량 생성
소멸



<그림 2> Qual2k의 segment의 구성도

4. 수질모형 적용 및 결과

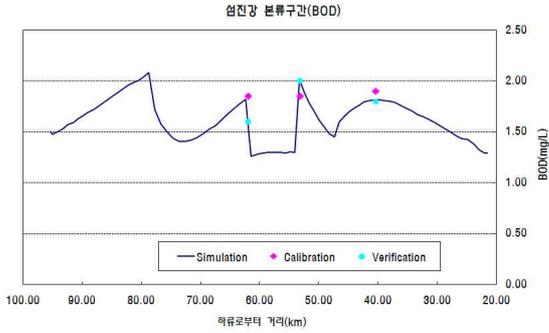
섬진강 유역의 목표수질 달성 및 유지를 위한 하천유지유량 산정을 위해서는 항목별 하천유지유량을 산정하여야 한다. 이를 위해 섬진강 유역의 저·갈수량을 파악하여야 하며, 항목별 하천유지유량과 갈수량에 대한 검토를 실시하여 하천유지유량을 결정하여야 한다. 본 연구에서 이용된 갈수량은 기 분석된 수문 유황곡선을 이용하였으며, 목표수질 달성 및 유지를 위해 필요한 하천유지유량을 결정하기 위해 하천의 1차원 HEC-RAS 모형을 이용하여 수리 특성을 분석하였다. 또한, 섬진강 유역에서의 수질 기준을 만족 여부를 확인하기 위해 QUAL2K를 이용하여 수질 모의를 실시하였다. 그 결과 보정·검증 모의값은 실측 BOD 값을 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 이 값을 이용하여 2015년의 수질을 예측하였다. 또한 수질모형을 보·검증하기 위해서 현장 수질측정을 실시하였으며, 3개 지점에서 3회 측정된 결과 값을 이용하여 보·검증을 실시하였다.

<표. 3> 수질측정 결과

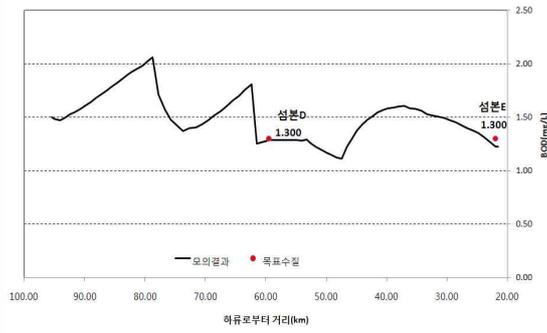
지점	측정일	BOD	T-N	Org-N	NH3-N	T-P	Org-P	PO4-P
압록	2010/6/8	2.2	2.64	2.042	0.398	0.137	0.005	0.061
	2010/10/31	1.5	2.06	1.792	0.225	0.106	0.005	0.058
	2010/11/5	1.3	1.56	1.224	0.158	0.094	0.004	0.047
구례	2010/6/8	1.4	2.09	1.836	0.111	0.113	0.004	0.048
	2010/10/31	1.1	1.82	1.593	0.190	0.098	0.004	0.049
	2010/11/5	1.1	1.24	0.983	0.143	0.086	0.003	0.042
송정	2010/6/8	1.7	2.44	2.063	0.276	0.120	0.005	0.053
	2010/10/31	0.9	1.52	1.328	0.163	0.076	0.004	0.045
	2010/11/5	0.8	1.38	1.069	0.163	0.090	0.004	0.040

<그림. 3>에 나타난 것과 같이 수질 실측 지점이 본류구간에 한정된 관계로 보정·검증은 본류구간에 대해서 매개변수를 조정하였으며, <그림. 4>의 보성강 구간의 경우는 과거의

수질 측정 현황을 참고하여 모의를 실시하였다.



〈그림. 3〉 섬진강 본류 구간 모의 결과



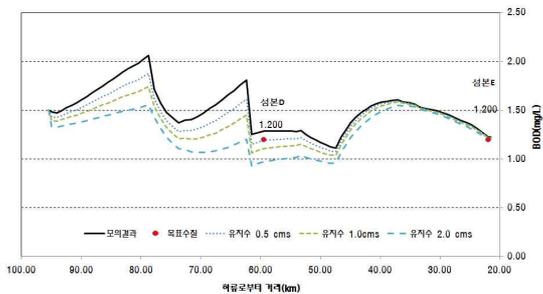
〈그림. 4〉 섬진강 본류구간 2015년 예측

〈그림. 4〉는 섬진강 본류구간의 2015년도 수질모의 결과를 나타낸 것으로 수질오염총량제의 섬본D 및 섬본E의 BOD 목표수질은 1.3 mg/L로 섬본D의 모의값은 1.29 mg/L, 섬본E의 모의값은 1.23 mg/L로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다.

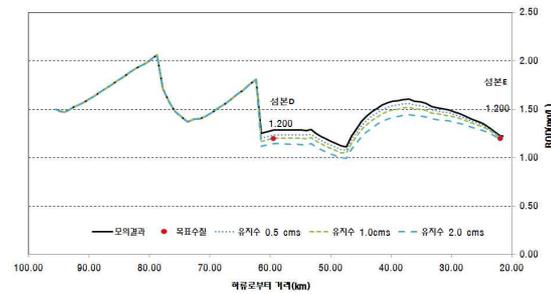
수질모의를 통한 2015년 수질 예측 결과 장기적으로는 수질오염총량제의 목표수질을 기준으로 할 경우 하천유지유량은 불필요한 것으로 나타났다. 그러나, 본 연구에서는 섬본D, 섬본E 말단에서 이보다 강화된 수질 조건인 BOD 1.20 mg/L를 만족하기 위해 필요한 하천유지유량에 대해 검토를 실시하였다. 하천유지수의 도입은 섬진강 본류의 섬진강댐과 보성강의 주암댐에서 각각 청정수(BOD 1.0mg/L)가 도입된다는 가정하에 모의를 실시하였다.

〈표. 4〉 유지수 도입(섬진강댐)

단위유역		도입 유지수 (m ³ /s)		
		0.5	1.0	2.0
BOD (mg/L)	섬본D	1.19	1.11	0.97
	섬본E	1.22	1.22	1.20



〈그림. 5〉 섬진강댐에서 유지수 도입시 수질모의 결과(BOD)



〈그림. 6〉 주암댐에서 유지수 도입시 수질모의 결과(BOD)

〈표. 5〉 유지수 도입(주암댐)

단위유역		도입 유지수 (m ³ /s)		
		0.5	1.0	2.0
BOD (mg/L)	섬본D	1.24	1.20	1.15
	섬본E	1.22	1.21	1.19

주암댐에서 유지수를 도입할 경우, 도입수량에 따른 수질모의 결과 섬본D의 목표수질을 만족하는데 필요한 유지수는 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 이 필요하지만, 섬본E까지 목표수질을 만족하기 위해서는 약 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 유지수가 도입되어야 하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 수질보전을 위한 하천유지유량 산정을 위한 수질항목에 의한 수질모의를 실시하였고, 섬진강본류를 섬본C측정지점으로부터 섬본E까지 176km구간을 3개의 Head water와 16개의 Reach로 나누어 Qual2k를 이용하여 모의하였다. 수질모델을 보정·검증하기 위해서 현장 수질측정을 2009년에 3회, 2010년에 3회 총 6회 실시하였고, 이렇게 측정된 결과 값을 이용하여 보정·검증을 실시하였으며, 2015년의 섬진강 본류구간의 섬본D, 섬본E의 BOD 목표수질은 1.3 mg/L 이며, 수질 예측 결과 BOD는 섬본D 1.29 mg/L 와 섬본E 1.23 mg/L 로 목표수질을 만족하는 것으로 나타났다.

현재 계획된 수질오염총량관리제에 의해 2015년까지 오염원 관리가 이루어진다면 목표수질을 달성되는 것으로 모의 결과가 도출되어 수질오염총량제의 목표수질을 위한 유지수 도입은 필요하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 이것은 어디까지나 2015년에 섬진강 본류 구간에서 오염원 관리 및 환경기초시설에 대한 투자가 이루어졌을 경우를 가정한 것이므로, 만약 오염원 관리가 이루어지지 않는다면 추후에라도 유지수 도입 여부는 검토하여야 할 것이다.

참고문헌

1. Brown과 BarnWell, “개선된 QUAL-II 모형”, 1987.
2. 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용, 한국수자원공사. 1995. 5.
3. 한건연 “수치모형에 의한 하천수질관리에 관한 연구”, 경북대학교논문집, 제38권 제10호.
4. 김인선(2001), HEC-RAS와 QUAL2E 모형을 이용한 하천수 수질예측, 동신대학교 석사학위논문.
5. 김용구(2004), “진화알고리즘을 이용한 QUAL2E모형의 반응계수 추정에 따른 목표삭감을 산정에 관한 연구”, 동신대학교 석사학위논문.
6. 김용구, 박성천, 표영평(2001), 목표수질 보전을 위한 탐진강 필요유량 산정에 관한 연구, 한국수처리기술연구회, 9권 4호, pp19~28.
7. 황대호, 김현용, 정효준, 이홍근(2001), 영산강 하류부의 목표수질 달성을 위한 BOD 부하량 삭감률 산정에 관한 연구, 대한상하수도학회지, 대한상하수도학회 16권 4호, pp317~324.
8. 김용구, 박성천(2003), 진화알고리즘을 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정과 탐진강 수질예측, 대한상하수도학회지, 대한상하수도학회, 17권 5호, pp682~689.