

영산강 3단계 수질오염총량관리제의 목표수질 달성전망 평가

Estimation of the Target Water Quality Achievement for 3rd Stage Total Maximum Daily Loads(TMDLs) in Yeongsan River

박성천*, 오창열**, 문병석***, 곽필정****, 김정수*****

Sung Chun Park, Chang Yeol Oh, Byoung Seok Moon, Pil Jeong Gwak, Jeong Soo Kim

요 지

우리나라의 수질오염총량관리제는 지역의 발전 계획과 하천의 수질을 연계시켜 목표수질을 달성하는 범위 내에서 개발을 허용한다는 것을 기본으로 하여 1999년 “한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률”에 의해 처음 시행되었다. 그러나 한강수계보다 늦게 2004년에 도입된 낙동강, 금강, 영산강·섬진강 수계에서는 의무제 총량으로 우리나라에서 처음 도입되어 지난 12년간 시행되었으며 충청북도와 강원도를 제외한 한강수계에서도 2013년 6월부터 의무제 총량이 도입되었다. 1단계 수질오염총량관리제는 BOD만을 관리항목으로 설정하여 관리한 반면 2011년부터 2015년까지 시행하는 2단계 수질오염총량관리제는 부영양화 방지를 위해 총인항목을 포함하여 관리항목을 설정하여 관리하였으며, 2016년에 시작하여 2020년까지 시행하는 3단계 수질오염총량관리제는 2단계에서와 같은 관리항목을 설정하여 시행하고 있다.

본 연구에서는 3단계 영산강수계의 수질오염총량관리제 목표수질의 달성전망을 평가하기 위하여 3단계 기본계획에서 활용한 QUAL-MEV 모델을 이용하였으며, 2012년 수질자료를 보정자료로, 2015년 수질자료를 검증자료로 활용하여 구축하고 2020년의 영산강수계 8개 단위유역의 말단지점에 대하여 목표수질의 달성을 평가하였다. 그 결과 BOD는 영본A, 영본B지점에서 각각 목표수질을 21%, 8%를 초과하며 T-P는 영본A지점에서 30%를 초과하여 목표수질을 달성하지 못할 것으로 예측되었다. 영산강수계 3단계 수질오염총량관리제의 성공을 위하여 영본A, 영본B지점의 목표수질 달성을 위한 추가 수질개선계획의 수립이 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 3단계 수질오염총량관리제, QUAL-MEV, 수질예측, 목표수질, 만족도

1. 서 론

영산강은 2004년에 수질오염총량관리제를 낙동강, 금강, 섬진강 수계와 더불어 의무제 총량으로 우리나라에서 처음 도입되어 지난 12년간 시행되어왔다. 한강수계는 낙동강, 금강, 영산강 수계보다 더 빠른 1999년에 “한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률”에 의해 처음 시행되었으나 충청북도와 강원도를 제외한 한강수계에 2013년 6월부터 의무제 총량이 도입되었으며, 비로소 4대강 수계에 수질오염총량관리제의 의무제가 시행되었다.

수질오염총량관리제는 하천구간별로 목표수질을 정하고 목표수질을 달성·유지하기 위한 수질오염물질의 배출허용부하량을 산정하여 해당 유역에서 배출되는 오염물질의 양이 허용부하량 이내가 되도록 관리하는 통합유역관리제도이며, 1단계 수질오염총량관리제의 관리항목은 BOD만을

* 정회원 · (주)상원 부설연구소 소장 · E-mail : psc3135@gmail.com
** 정회원 · 영산강홍수통제소 시설연구소 · E-mail : new2020@korea.kr
*** 정회원 · 서남대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · E-mail : moon7500@nate.com
**** (주)상원 대표 · E-mail : gwakpj@hanmail.net
***** (주)상원 부설연구소 수질총량팀 팀장 · E-mail : kimis-king@daum.net

설정하여 관리한 반면 2011년부터 2015년까지 시행했던 2단계 수질오염총량관리제는 부영양화 방지를 위해 총인항목을 포함하여 관리항목을 설정하여 관리하였다. 환경부에서는 장기적으로 유해 화학물질 등으로 관리항목을 확대할 계획을 갖고 있으나, 2016년에 시작하여 2020년까지 시행하는 3단계 수질오염총량관리제는 2단계에서와 같이 관리항목으로 BOD와 총인을 설정하여 시행하고 있다.

본 연구에서는 3단계 영산강수계의 수질오염총량관리제 목표수질의 달성전망을 평가하기 위하여 QUAL-MEV 모델을 이용하여 영산강 수질모델을 2012년 수질자료를 보정자료로, 2015년 수질자료를 검증자료로 활용하여 구축하고 2020년의 영산강수계 8개 단위유역의 말단지점에 대하여 목표수질의 달성을 평가하였다.

2. 영산강 유역과 QUAL-MEV의 구성

2.1 영산강 유역과 모형구축

영산강유역은 그림 1과 같이 황룡강, 지석천, 고막원천, 함평천 등의 지류를 포함하고 있으나 모델수행을 위해 먼저 영산강 본류와 풍영정천, 광주천, 황룡강, 지석천 4개의 지류를 모형에 반영하였고, Element의 길이는 0.5 km 등간격을 원칙으로 34개 Reach와 423개의 Element로 분할하여 구성하였으며, 영산강 본류, 그리고 지류인 풍영정천, 광주천, 황룡강, 지석천을 각각 239, 15, 32, 73, 64개로 분할하였고, Reach는 하천 현황과 수리적 특성을 반영하여 그림 2와 같이 각각 19, 1, 3, 6, 5개로 분할하였다(박성천외4인, 2016)

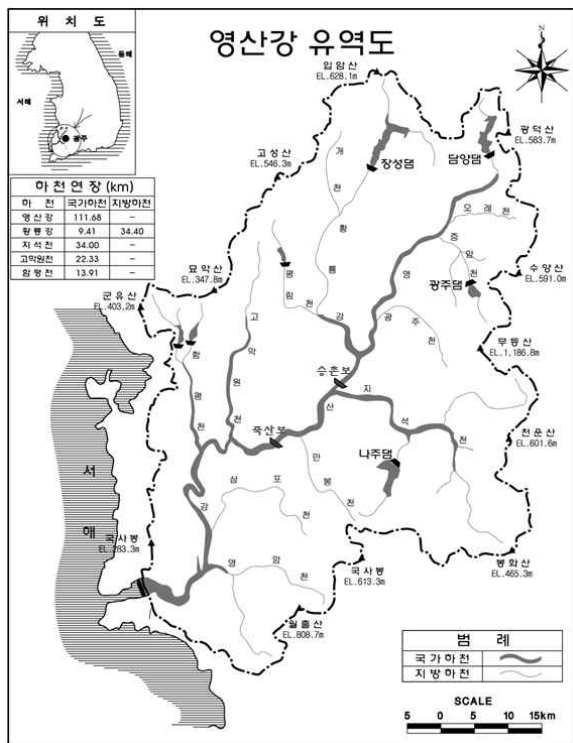


그림 1. 영산강의 유역도.

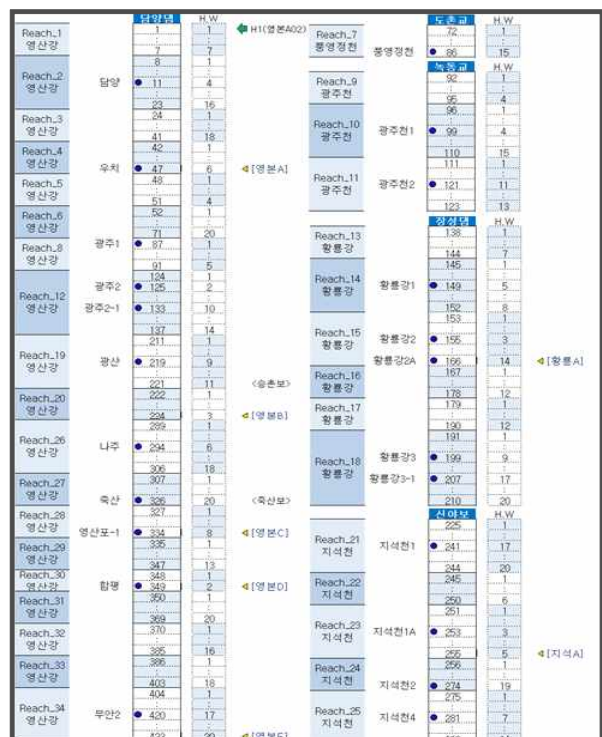


그림 2. QUAL-MEV의 Reach와 Element 구분

모델에 사용하는 기준유량은 『영산강·섬진강수계 제3단계 수질오염총량관리 목표수질설정 연구』의 연구에서 설정된 기준유량을 적용하였으며, 수리학적 입력계수와 유달율은 『제 3 단계 전

라남도 영산강 수질오염총량관리 기본계획』과 『제 3 단계 광주광역시 영산강 수질오염총량관리 기본계획』에서 산정하여 사용한 수리학적 입력계수와 유달율을 사용하였다.

2.2 QUAL-MEV의 개요

QUAL-MEV는 QUAL2E를 기반으로 개발한 하천 수질 모델이며, 이 모델은 하천의 흐름선을 축으로 수심과 수평 방향으로 완전혼합을 가정하고 있으며 수지형 하천(Dendritic streams)의 수질변화 모의에 적합하게 개발되었고, 모델은 생물학적 산소요구량 외 12개 항목에 대하여 사용자 선택에 따라 모의할 수 있으며, 모델은 TOC 및 COD 농도에 대하여 BOD 농도를 기초로 환산하는 기능을 포함하고 있다(국립환경과학원, 2013). 제 3 단계 영산강 수질오염총량관리 기본계획에서 적용한 모델이다.

3. QUAL-MEV 모델의 적용과 분석

모델의 보정 및 검증은 예측결과가 실측자료의 $\pm 20\%$ 오차범위 이내로 수행하였으며, 본 연구에서 구분한 구간을 대상으로 모델의 보정 및 검증을 수행하였다. 보정자료는 『제 3 단계 전라남도 영산강 수질오염총량관리 기본계획』과 『제 3 단계 광주광역시 영산강 수질오염총량관리 기본계획』에서 사용한 2012년 실측자료를 사용하고 검증자료는 환경부 수질측정망의 2015년 수질자료 중 저수기(4~5월, 10~11월)의 4개월의 월자료를 평균하여 사용하였다. 그림 3과 같이 보정결과 BOD와 T-P의 결정계수는 각각 0.742과 0.644, 검증결과는 BOD와 T-P의 결정계수가 각각 0.908과 0.592로 분석되어 보·검증이 양호하게 이루어졌음을 확인하였으며, 모델의 보정과 검증을 통하여 결정된 반응계수는 탈산소계수(K1)가 0.40~0.80, 재폭기계수(K2)는 0.00~0.05이다.

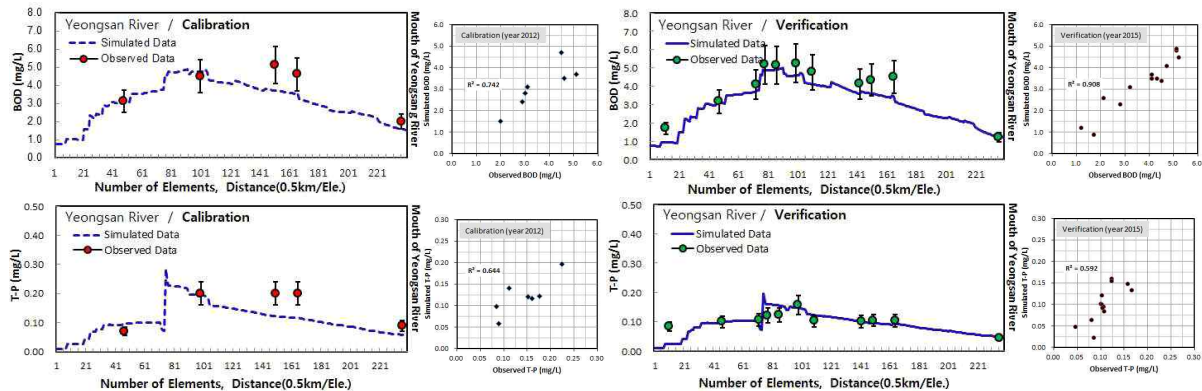


그림 3. 영산강 수질모델의 보·검증 결과

표 1. 영산강 유역의 배출부하량

(g/day)

단위유역	2012년			2015년			2020년		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
A	2,079,214	878,315	89,625	2,082,018	915,783	91,452	2,145,453	818,861	99,476
영본 B	5,092,163	1,724,176	182,593	5,379,104	1,814,770	191,856	4,645,311	1,743,434	202,356
지석 A	1,546,935	629,010	70,567	1,471,550	613,434	68,019	1,554,248	602,497	76,710
황룡 A	807,806	416,968	40,380	809,710	424,169	41,056	896,362	406,596	48,427
영본 C	3,294,363	1,595,891	181,850	3,255,402	1,586,827	180,298	3,744,920	1,435,780	206,218
영본 D	1,993,702	940,489	103,747	1,915,372	901,494	99,937	2,043,241	889,326	134,204
영본 E	4,056,214	1,990,626	209,972	4,052,216	2,043,963	208,320	4,212,825	2,090,433	246,757

모델의 보정과 검증을 통하여 결정한 반응계수와 2020년의 오염부하량을 적용하여 2020년의

표 2. 모형의 보정과 검증에 이용한 수질자료

하천	모니터링지점	보정 자료 (2012년)			검증 자료 (2015년)		
		BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
영산강	담양	-	-	-	1.7	2.442	0.084
	영본A (우치)	3.1	2.698	0.085	3.2	1.952	0.099
	광주1	-	-	-	4.1	1.786	0.107
풍영정천	풍영정천	3.4	2.490	0.106	4.0	2.289	0.167
광주천	광주천1	3.8	8.828	0.508	1.2	3.247	0.046
	광주천2	4.6	5.054	0.245	5.2	5.458	0.179
영산강	광주2	-	-	-	5.1	7.711	0.122
	광주2-1	-	-	-	5.1	7.618	0.122
황룡강	황룡강1	1.4	1.392	0.013	1.9	0.790	0.015
	황룡강2	0.9	1.616	0.012	1.5	1.171	0.023
	황룡A (황룡강2A)	3.0	2.318	0.112	2.1	1.733	0.079
	황룡강3	2.8	1.574	0.078	1.7	1.184	0.040
영산강	황룡강3-1	2.9	2.237	0.072	2.7	1.730	0.152
	영본B (광산)	4.5	5.141	0.224	5.2	5.710	0.157
지석천	지석천1	1.0	1.360	0.015	1.6	0.883	0.018
	화순천	1.2	1.951	0.027	1.6	1.695	0.050
	지석A (지석천1A)	2.9	3.752	0.152	2.8	3.029	0.166
영산강	지석천2	1.8	2.500	0.053	2.4	2.146	0.086
	지석천4	6.3	4.086	0.133	2.8	2.925	0.129
	니주	-	-	-	4.7	4.820	0.102
	죽산	-	-	-	4.1	4.624	0.101
영산강	영본C (영산포-1)	5.1	5.529	0.177	4.3	4.466	0.105
	영본D (함평)	4.6	4.682	0.160	4.5	3.616	0.103
	영본E (무안2)	2.0	3.321	0.089	1.2	2.735	0.045

영산강의 수질을 예측하였다. 그 결과 그림 4에서와 같이 영산강 본류 BOD는 약 40Km 지점까지 0.7mg/L에서 약 3.0mg/L로 서서히 증가하다 약 70Km 구간에서 5.9mg/L로 급격히 상승하다가 중하류구간에서 다시 1.2mg/L로 서서히 하강하는 양상으로 예측되었으며, 담양댐 이후 약 40Km 구간 부분이 가장 악화된 구간으로 예측되었다. T-P 또한 약 40Km까지 0.09mg/L에서 0.186mg/L로 급격히 상승하다가 중하류구간 약 70Km 구간에서 0.186mg/L에서 약 2.0mg/L로 급격히 증가하다 0.053mg/L로 서서히 하강하는 양상으로 예측되었다.

수질예측결과가 목표수질에 대한 만족정도를 확인하기 위하여 만족도 공식을 다음과 같이 개발하여 적용하였다. 만족도의 값이 양(+)의

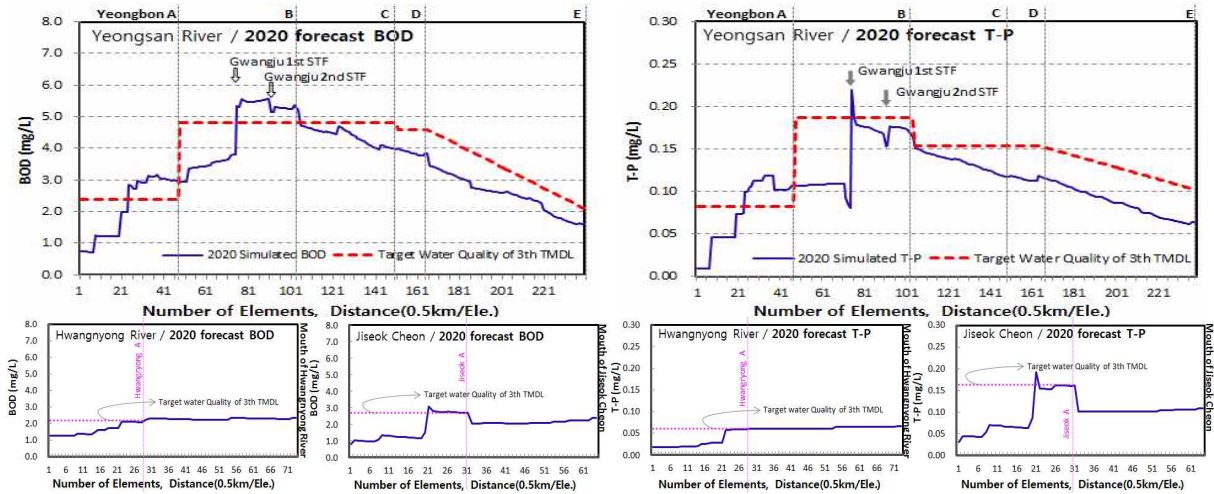


그림 4. 2020년 BOD와 T-P 예측결과와 목표수질과의 비교

표 3. 2020년 목표수질과 예측결과, 만족도 분석결과

단위유역	3th TMDL의 목표수질 (a)		2020년 수질예측 (b)		만족도 ((b-a)/a)		
	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)	BOD (%)	T-P (%)	
영산강	영본 A	2.4	0.082	2.9	0.107	0.21	0.30
	영본 B	4.8	0.187	5.2	0.164	0.08	-0.12
	영본 C	4.8	0.153	3.9	0.117	-0.19	-0.24
	영본 D	4.6	0.153	3.8	0.117	-0.17	-0.24
	영본 E	2.1	0.102	1.5	0.062	-0.29	-0.39
황룡강	황룡 A	2.2	0.060	2.2	0.060	0.0	0.0
지석천	지석 A	2.7	0.162	2.7	0.161	0.0	-0.01

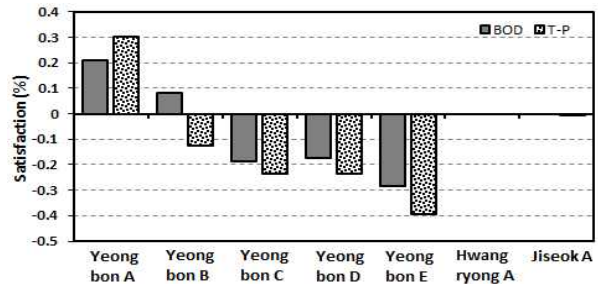


그림 5. 만족도 분석결과

값이면 수질예측 값이 목표수질을 초과하여 목표수질을 만족하지 못하는 것을 의미하며, 음(-)의

값이면 수질예측 값이 목표수질에 초과하지 않아 목표수질을 만족하는 것을 의미하고, 영(zero)의 값은 수질예측 값이 목표수질과 동일한 값을 갖는 것으로 목표수질을 만족하는 것을 의미한다. 이 만족도 공식을 이용하여 단위유역별로 산정한 만족도는 표 3과 같다.

$$\text{만족도(Satisfaction)} = \frac{\text{수질예측값} - \text{목표수질}}{\text{표수질}}$$

) 만족도 ≤ 0 : 목표수질 만족함
만족도 > 0 : 목표수질 만족 못함

본 연구에서는 2020년의 영산강의 수질을 예측하여 단위유역별로 3단계 수질오염총량관리제의 목표수질에 만족정도를 파악하였다. 3단계 수질오염총량관리제의 영산강 단위유역별 지점 목표수질은 표 3과 같으며, 단위유역의 목표수질과 2020년 영산강의 수질예측결과에 대한 그림은 그림 4와 같다. 그림 4에서와 같이 영본 A지점은 BOD와 T-P 모두 목표수질을 만족하지 못하는 것으로 예측되었으며, 영본 B지점은 BOD는 만족하지 못하나 T-P는 만족할 것으로 예측되었으며, 영본 C, 영본 D, 영본 E 그리고 황룡 A, 지석 A지점은 BOD와 T-P 모두가 만족할 것으로 예측되었다. 표 3과 그림 5에서와 같이 목표수질 만족도를 살펴보면, 영본 A의 BOD 만족도 0.21과 T-P 만족도 0.30은 목표수질을 초과하여 목표수질을 만족하지 못하는 것을 의미하며 BOD 농도는 목표수질의 약 21%를 초과하고 T-P 농도는 목표수질의 약 30%를 초과하는 것을 의미한다. 영본 B의 BOD 만족도 0.08, T-P 만족도 -0.12은 BOD 농도가 목표수질의 약 8%를 초과하여 목표수질을 만족하지 못하고 T-P 농도는 목표수질의 12% 미달하여 목표수질을 만족하는 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구는 QUAL-MEV모형으로 수질을 예측하여 3단계 수질오염총량관리제의 목표수질과 비교하여 목표수질의 만족도를 평가한 결과, 영본 A는 BOD와 T-P 모두 목표수질을 만족하지 못하는 것으로 예측되었으며, 영본 B는 BOD는 만족하지 못하나 T-P는 만족할 것으로 예측되었다, 그리고 영본 C, 영본 D, 영본 E 그리고 황룡 A, 지석 A는 BOD와 T-P 모두가 만족하는 것으로 예측되었다. 또한, 목표수질의 만족정도를 확인할 수 있는 만족도공식을 개발하여 제시하였으며 그 결과, 영본 A의 BOD 만족도는 0.21로 목표수질의 약 21%를 초과하고, T-P 만족도는 0.30으로 목표수질의 약 30%를 초과할 것으로 분석되었으며, 영본 B의 BOD 만족도는 0.08, T-P 만족도는 -0.12으로 BOD는 목표수질의 약 8%를 초과하고 T-P는 목표수질의 12%를 미달하여 목표수질을 만족할 것으로 분석되었다. 영산강수계 3단계 수질오염총량관리제의 성공을 위하여 영본A, 영본B 지점의 목표수질 달성을 위한 추가 수질개선계획의 수립이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구과제는 환경부지정 전남녹색환경지원센터의 연구비지원에 의해 수행한 연구과제입니다.

참고 문헌

1. 박성천, 조기안, 강권수, 광필정, 김정수(2016), 광주광역시 하수종말처리장의 삭감율에 의한 영산강 수질개선효과, 전남대학교 연안환경문제연구소 환경연구논문집 제 16권 pp. 47~60.
2. 국립환경과학원(2013), 하천환경변화를 반영한 수질총량제 적용 모델 최적화 연구, 한림대학교 산학협력단.
3. 국립환경과학원(2013), 영산강·섬진강수계 제3단계 수질오염총량관리 목표수질 설정 연구
4. 전라남도(2015), 제 3 단계 전라남도 영산강 수질오염총량관리 기본계획.
5. 광주광역시(2015), 제 3 단계 광주광역시영산강 수질오염총량관리 기본계획
6. 환경부 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr/main/mainContent.do>).