Journal of Wetlands Research
Vol. 21, No. 1, February 2019, pp. 077-083

ISSN 1229-6031 (Print) / ISSN 2384-0056 (Online)
DOI https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.1.077

수질모의시 적정 탈산소계수 선정을 위한 연구 - 황구지천을 대상으로 -

노희성·안태진*†

한국건설기술연구원 국토보전연구본부
*한경대학교 토목안전환경공학과

A study on rationalized values of deoxygenation coefficient for stream quality modelling in the Hwangguji stream

Huiseong Noh·Taejin Ahn*†

Department of Land, Water and Environment Research, KICT, Korea
**Department of Civil, Safety & Environmental Engineering, Hankyong National University, Korea*
(Received : 25 January 2019, Revised: 18 February 2019, Accepted: 22 February 2019)

요 약

2002년 및 2014년 수행된 황구지천 하천기본계획 수립에 있어서 수질오염농도의 예측을 수행하였지만, 수질 예측모델링 과정에서 관행적으로 적용한 반응계수를 적용함으로써 수질 예측 결과의 신뢰도가 낮은 것으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 황구지천 국가하천 약 7.8 km 본류구간인 세마교와 수직교사이에서의 탈산소계수를 평가하여 기존 수질모델링에서 적용한 탈산소계수와 비교하고자 하였다. 관측자료를 통하여 황구지천 세마교 지점(HGJ2)부터 수직교 지점(HGJ3)구간에서 풍수기간일 경우 탈산소계수는 0.078 day^{-1} ~ 0.748 day^{-1}, 갈수 기간일 경우는 0.053 day^{-1} ~ 0.505 day^{-1} 등으로 산정되었다. 2002년에 수행된 황구지천 수질 예측모델링에서 적용한 탈산소계수는 0.02 day^{-1} ~ 3.4 day^{-1} 범위의 값을 적용하였으며, 2014년에는 0.043 day^{-1}을 적용하였다. 따라서 2002년에는 실제 관측된 수질보다 긍정적으로 예측되었으나, 2014년에는 실제 관측 수질보다 부정적으로 예측되었다. 이는 여러 요인이 있겠지만 적정한 탈산소계수의 적용도 상당한 요인이 작용한 것으로 보이며, 향후 수질예측모델링에서 관측자료가 있는 경우에는 관측자료에 의한 탈산소계수의 결정을 통하여 수행할 필요가 있다고 판단된다.

핵심용어 : 탈산소계수, 수질모델링, 황구지천

Abstract

Stream water qualities have been predicted in the year 2002 and 2014 through providing the Hwangguji Stream Rectification Plan. However, the reliability of result for predicted water quality was relatively lower by applying conventional values of the parameters in model. In this study deoxygenation coefficients between Sema bridge(HGJ2) and Sujik bridge(HGJ3) have been evaluated based on the observed data of water quality and travelling time to compare with the applied value of coefficients in predicting water quality model. The values of deoxygenation coefficient 0.078 day^{-1} ~ 0.748 day^{-1} for normal period and 0.053 day^{-1} ~ 0.505 day^{-1} for drought period have been calculated based of observed data between Sema bridge and Sujik bridge. The values of coefficients 0.02 day^{-1} ~ 3.4 day^{-1} have been applied in predicting water quality model in the year 2002 and 0.043 day^{-1} 2014. Thus, the simulated results of stream water quality were better than the observed data in 2002, and worse in 2014. It has shown that values of deoxygenation coefficient should be properly estimated based on observed data to predict proper stream water quality by model.

Key words : Deoxygenation Coefficient, Water Quality Modeling, Hwangguji Stream

1. 서 론

황구지천은 1989년부터 경기도 화성시 양감면 수직교지점부터 수질을 측정하기 시작하여 주요 지점의 수질을 관측하고 있다. 황구지천 유역은 2012년부터 오염총량관리가 시행되고 있으며, 환경부에서 2011년부터 시·군 경계 등 14개 지점에서 유량과 수질을 측정하고 있다. 타당하고 합리적인 오염총량관리제의 시행을 위해서는 수질과 유량 자료는 기본적이다. 나아가 장기적인 수질관리 방안, 대권역별 물관리종합대책 방안 등의 수립을 위해서는 적정한 방법을 통한 적정한 수질예측 또

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Inha University
E-mail: eorjs0615@naver.com

한 기본적인 절차이라 할 수 있다.

국내에서는 윤영삼 등(2006, 2008)이 낙동강 본류를 3구간으로 구분하여 수질 및 유속을 측정하여 탈산소계수를 산정하였다. 이때 구간별 유속을 측정하여 상·하류 구간의 평균유속을 구하고 이를 두 단면사이의 평균유속으로 보고 두 단면사이의 유하시간을 구하였다. 또한, 본 연구의 대상유역인 황구지천을 대상으로 한미덕 등(2014)은 황구지천이 포함된 진위천 수계내 11개 지점에서 관측된 자료를 바탕으로 수질 및 부하량에 미치는 유역내 오염원의 영향을 평가하였다.

2002년 및 2014년 수행된 황구지천 관련 하천기본계획 수립에 있어서 하천수질관리를 위하여 수질오염농도 측정 및 예측을 수행하였다. 그러나 수질 예측모델링 과정에서 외국에서 적용된 반응계수를 관행적으로 적용함으로써 수질 예측 결과의 신뢰도가 저하되고 있다. 미국 환경보전국(EPA)에서 개발한 전산 수질모형인 QUAL2E에서 Brown and Barnwell (1987)이 제시한 탈산소계수의 범위는 상한치는 3.4 day^{-1}이고 하한치는 0.02 day^{-1}이다. 본 연구에서는 황구지천 국가하천 약 7.8 km 본류구간인 세마교와 수직교사이에서의 탈산소계수를 평가하여 기존 수질모델링에서 적용한 탈산소계수와 비교하고자 하였다.

2. 황구지천 유역 및 수질 현황

황구지천은 안성천의 제2지류, 진위천의 제1지류로서 유역면적이 259.70km^2이고 유로연장은 35.12km(지방하천 18.81km, 국가하천 16.31km)이며, 동경 126° 55′ 33″ ~ 127° 05′ 39″ , 북위 37° 05′ 20″ ~ 37° 20′ 55″에 걸쳐 위치하고 있다(Fig. 1 참조). 북쪽으로 군포시 삼성산(EL.181.5m) 및 의왕시 오봉산(EL.204.2m)과 용인시 소실봉(EL.188.2m)이 위치하며 동쪽의 원천리천과 서쪽의 칠보산(EL.238.8m)을 잇는 능선을 경계로 분수령을 이루고 있으며 행정구역은 경기도 군포시·수원시·오산시·의왕시·평택시·용인시·화성시 등 7개시 일부 또는 전체를 포함하고 있다.

황구지천은 진위천 합류점에서 신대황교까지는 국가하천, 직상류인 신대황교에서 왕송저수지까지는 지방하천으로 구분된다. 황구지천은 의왕시 오봉산에서 발원하여 왕송저수지를 지나 서호천과 합류한 후 남동측으로 유하다가 국가하천의 기점인 신대황교지점에서 원천리천과 합류되고 이후 좌안으로 반정천과 삼미천이 합류되며, 우안으로 갈천이 유입되어 남측으로 유하하다 진위천 우안에 합류된다.

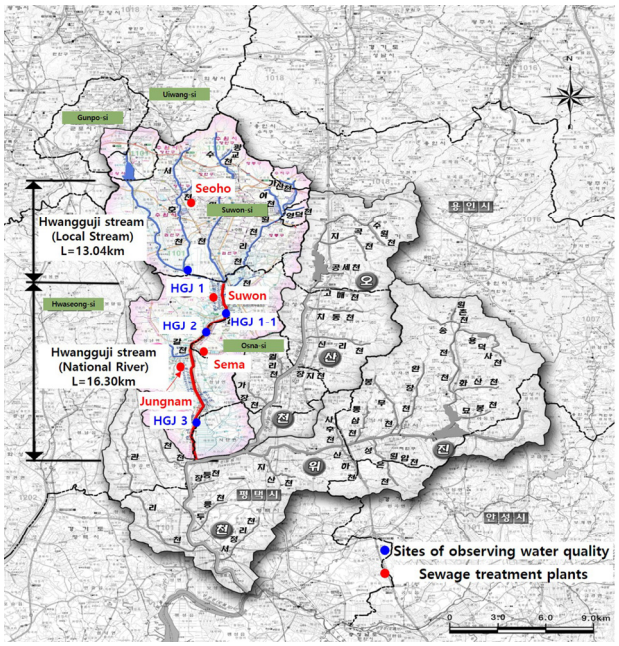

Fig. 1. Watershed of Hwangguji stream

유역내 지질특성은 흑운모편마암과 충적층이 56.60 %를 차지하고 있고 특히 하천 유로를 따라 넓게 분포하고 있는 충적층이 가장 발달한 유역이며 인근 유역과 분수령에 위치한 일부 산지부를 제외하고 배수가 불량한 D TYPE과 배수가 매우 양호한 A TYPE의 토양이 분포하고 있다. 황구지천 유역의 토지이용상황을 살펴보면 2010년 기준으로 도시 및 주거지가 약 36.7%, 농경지 약 29.8%, 임지가 약 29.8%로서 하천주변으로 농경지가 분포되어 있고 유역의 상류 지역에는 농업용 저수지인 왕송저수지가 위치하고 있다. 황구지천 중·하류 지역은 농경지 하천의 특성을 보이고 있으나 상류 지역에는 수원시가 위치하고 있어 도시하천의 특성을 나타내고 있다. 황구지천은 유역내 도심지가 매우 발달한 수원시·용인시·군포시·의왕시가 위치하고 있고 1970년대부터 계속 지속된 개발사업 등으로 도시화율이 매우 높으며, 현재도 광교신도시 택지개발사업 등 택지개발사업 등이 진행중에 있어 도시화율이 높아질 것으로 예상된다. 또한, 2002년 하천기본계획 이후 황구지천은 지속적인 하천환경사업을 통하여 하도정비가 시행되고 습지가 조성되었다.

Table 1은 황구지천에서 관측되는 수질측정 자동측정망이며 화성시 안녕동 세마교(HGJ2) 및 화성시 양감면 수직교

Table 1. Sites of observing water quality in Hwangguji stream

Name of sampling site	Name of Institute	Location of sampling site	beginning year
HGJ1 Hwangguji stream 1	Gyeonggi Institute of Health & Environment	BaeYang bridge, Peongri-Dong Suwon-city, Gyeonggi	since 1992
HGJ2 Hwangguji stream 2	Han_river Institute of Water Environment	SeMa bridge, AnNyeong-Dong Hwasung-city, Gyeonggi	since 1990
HGJ3 Hwangguji stream 3	Han_river Institute of Water Environment	SuJik bridge, Yanggam-Myeon Hwasung-city, Gyeonggi	since 1989
HGJ1-1 Hwangguji stream 1-1	Han_river Institute of Water Environment	SongSan bridge, SongSan-Dong Hwasung-city, Gyeonggi	since 2012

Table 2. Sewage treatment plants in Hwangguji stream

Name of facilities	location of facilities	capacity of facilities, ㎥/day	method of treatmemt	command area (ha)
Seoho plant	Susung-ro Suwon-city, Gyeonggi	47,000	4stage-BNR	502
Suwon plant	Taean-ro, Hwasung-city, Gyeonggi	520,000	TEC-BNR, 4stage-BNR	5,519
Sema plant	Yangsan-ro Osan-city, Gyeonggi	8,300	DeNiPho	183
Jungnam plant	Gajang-ro, Hwasung-city, Gyeonggi	17,000	ACS	1,060

Table 3. Oserved values of annual average BOD at observing sites and sewage treatment plants

year	HGJ1		SuWon plant	HGJ2		SeMa Plant	JungNam plant	HGJ3	
	(BOD) (mg/L)	(DO) (mg/L)	(BOD) (mg/L)	(BOD) (mg/L)	(DO) (mg/L)	(BOD) (mg/L)	(BOD) (mg/L)	(BOD) (mg/L)	(DO) (mg/L)
1996	31.5	4.0	9.9	24.9	3.7	-	-	23.1	5.6
1997	25.3	7.3	8.5	20.7	5.1	-	-	16.5	8.2
1998	21.7	7.0	8.0	17.4	4.5	-	-	12.5	6.6
1999	29.9	6.8	8.7	25.1	2.9	-	-	20.8	6.5
2000	50.4	6.8	-	47.8	2.5	-	-	25.9	5.7
2001	35.7	7.5	-	40.5	4.1	-	-	34.9	5.7
2002	30.9	6.0	-	27.1	1.9	-	-	15.6	5.8
2003	24.1	8.4	-	14.8	4.0	-	-	10.8	7.6
2004	14.1	8.0	-	8.6	5.7	-	-	7.5	8.2
2005	24.7	8.3	-	11.4	5.5	-	-	10.2	8.1
2006	14.5	9.1	-	8.2	6.4	-	-	7.4	9.7
2007	15.3	9.4	-	19.5	4.8	-	-	9.6	8.3
2008	16.5	9.5	-	17.3	4.2	-	-	9.8	8.7
2009	12.1	10.8	-	12.9	5.5	-	-	9.5	8.8
2010	8.7	8.8	-	13.2	4.5	-	-	7.5	7.3
2011	9.0	9.9	-	9.0	6.7	-	-	6.6	9.0
2012	8.4	10.8	-	14.1	6.5	-	-	8.7	9.3
2013	7.7	10.1	8.8	8.2	7.1	3.0	3.0	7.3	9.7
2014	8.6	11.2	7.7	7.6	7.7	4,1	3.0	6.2	9.8
2015	8.1	11.3	6.7	5.3	8.0	4.7	3.2	5.7	10.0
2016	6.6	11.0	4.3	5.0	8.5	3.1	3.2	5.4	10.1
2017	6.9	11.3	3,1	3.4	9.3	3.3	2.6	4.2	10.7

(HGJ3) 지점이 포함되어 있다. 수직교 지점에는 수질과 함께 하천수위 및 하천유량을 관측하고 있으며 하천유량을 장기간 보유하고 있다. Table 2에는 황구지천 유역내 설치되어 있는 주요 하수처리시설의 내역을 나타내었으며 각 하수처리장으로터 개략적인 일평균방류량은 수원하수처리장(Suwon plant) 6.018㎥/s, 세마하수처리장(Sema plant) 0.096㎥/s 및 정남하수처리장(Jungnam plant) 0.197㎥/s이 된다. 안성천 하천기본계획(2014)의 유황분석 결과에 의하면 황구지천 하구 기준으로 풍수량 6.88㎥/s, 평수량 4.17㎥/s, 저수량 1.67㎥/s 및 갈수량 0.85㎥/s 이었으며 하수처리장 일평균방류량을 감안할 때, 분석된 유황은 재평가되어야 함을 알 수 있다.

Table 3에는 황구지천 주요지점인 화성시 안녕동 세마교(HGJ2) 및 화성시 양감면 수직교(HGJ3) 지점의 연평균 BOD 및 DO의 값을 나타내었으며 수원하수처리장(Suwon plant), 세마하수처리장(Sema plant) 및 정남하수처리장(Jungnam plant)의 방류수의 연평균 BOD 값을 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 1996년 이후 수원하수처리장의 방류 BOD는 10.0 ppm 이하이었으며 세마 및 정남하수처리장의 방류 BOD는 5.0 ppm 이내이었다. 한편 세마교 지점에서 BOD는 2013년부터 10.0 ppm이하이었으며, 수직교 지점에서 BOD는 2006년부터 10.0 ppm이하였다.

3. 황구지천 수질(BOD) 예측 및 평가

3.1 2002년 수질(BOD) 예측

안성천수계하천정비기본계획(2002, 건설교통부) 수립 시 BOD 조사를 실시한 결과는 Table 4와 같으며 수원하수처리장(Suwon plant)은 수질 관측지점 HGJ1 지점에서 하류로 1.8 km 지점에 있다.

Table 4. Observed value of BOD at sampling sites (2001, 2002)

Name of sites	Location of sampling site	BOD			
		2001.8.30~9.1	2001.10.19~20	2001.12.14~15	2002.3.11~12
HGJ1	Hwasan bridge Hwangkyeo-Dong Hwasung-city, Gyeonggi	13.8	26.5	21.0	30.0
HGJ2	Downstream of Sema bridge Balsan-ri Hwasung-city, Gyeonggi	5.4	7.7	14.0	22.0
HGJ3	Downstream of Sujik bridge MaDu-ri PyeongTaek-city, Gyeonggi	4.8	4.0	10.5	15.0

Table 5. Adopted values of parameter in the QUAL2E model

	kinematic coefficient	unit	typical range
K1	BOD decay coefficient	1/day	0.02 ~ 3.4
K2	reaeration	1/day	0.0 ~ 100
K3	BOD setting coefficient	1/day	-0.36 ~ 0.36
K4	sediment oxygen demand(SOD)	mg/㎡-day	variable

Table 6. Simulated values of annual average BOD and observed data

Site	observed data	2006		2011		2016	
		20ppm	10ppm	20ppm	10ppm	20ppm	10ppm
HGJ1	22.8	10.06	10.05	4.84	4.83	3.28	3.27
HGJ2	12.3	11.48	6.03	10.59	5.58	8.92	4.9
	corresponding the year	8.2		9.0		5.0	
HGJ3	8.57	8.39	4.41 (III)	7.90	4.16 (III)	6.59	3.47 (III)
	corresponding the year	7.4 (IV)		6.6 (IV)		5.4 (IV)	

하천에서 수질을 예측하기 위한 QUAL2E 모형은 1차원 모형으로서 QUAL-1(Texas Water Board, 1970b)모형으로부터 유래되었다. QUAL-1은 미국 EPA와 Water Resource Engineers에 의하여 QUAL-2로 보완되었고 다시 QUAL-2는 National Council for Air and Stream Improvement에 의하여 QUAL2E로 수정·보완되었다. QUAL2E 모형은 일차적인 물의 흐름, 확산에 의한 물질이동, 물리적 및 생물화학적 변화, 점오염원에 의한 유입, 취수에 의한 유출, 지하수의 침출 등이 포함되었다. 2002년에 실시된 황구지천. 수질예측은 QUAL2E 모형을 적용하여 수행하였으며 적용된 반응계수는 Table 5와 같으며 유량, 수질자료 및 초기조건은 측정된 자료를 이용하였다.

황구지천 수질 예측은 2006년 수원하수처리장 운영 실적을 감안하여 수원하수처리장의 방류수 수질을 BOD 20ppm 및 10ppm으로 구분하여 방류하는 조건으로 하여 2006년, 2011년 및 2016년에 예측된 BOD는 Table 6과 같다. Table 6에서 수원하수처리장의 연평균 BOD 방류수는 10.0 ppm 이내이며 10.0 ppm 이내로 방류할 때 예측된 BOD값을 실제 해당연도에 관측된 BOD값과 비교하여 보면, 실제 BOD보다 낮게 예측되어 실제 이루어진 수질오염도에 비하여 상당히 긍정적으로 평가되었음을 알 수 있다. 즉 HGJ3지점에서 2016년 기준으로 예측된 연평균 BOD는 3.47 ppm이나 관측된 연평균 BOD는 5.4 ppm로 예측된 값을 초과한 것을 보여 주고 있으며, 예측은 3등급 수질이었으나 실제는 4등급 수질을 보여주었다(Table 3 참조). 하천수질은 오염물질의 양, 모의 시 하천유량, Table 5와 같은 여러 매개변수 등의 영향을 받으며, 유입되는 오염부하량이 거의 일정하다면 모의 시 하천유량, 탈산소계수, 포기계수 등의 영향을 받음을 알 수 있다.

3.2 2014 수질(BOD) 예측

진위천권역하천기본계획(2014, 국토교통부) 수립시 BOD 조사를 실시한 결과는 Table 7과 같다.

QUALKO2 모델은 QUAL2E 모델에 WASP5 모델의 장점을 탑재시킨 것으로 QUAL2E 모델에서의 제한된 오염원의 수, 하천구간의 수, 상류경계조건, 계산요소 등의 확장성이 용이하여 대하천이나 수리구조물이 많은 지천에도 적용이 가능하게 되었으며 bottle BOD의 반응기작, 조류활동에 의한 유기물 증가, 탈질화 등 하천의 정체수역에서 일어나는 기작에 적합한 모델로 평가받고 있다.

진위천권역하천기본계획(2014, 국토교통부)에서는 황구지천 국가하천 구간인 16.2 km을 200.0 m 등간격으로 나누어 82 요소로 구분하였으며 수질모델링 시 적용한 탈산소계수 K1은 Table 8과 같이 0.043 day^{-1}를 적용하였다. 황구지천 유역은 진위천권역하천기본계획 수립 시 수질오염총량제가 유역 전체에 실시되고 있고 추후 하수처리장의 고도처리 및 산업단

Table 7. Observed value of BOD at sampling sites (2011, 2012)

sites	location of sample sites	BOD			
		2011.4.19~21	2011.7.4~6	2011.11.21~25	2012.1.9~13
W-3-46	downstream of SeMa bridge	7.5	7.7	6.6	5.4
	flow rates (㎥/s)	43.3	359.8	201.0	86.7
W-3-53	downstream if SuJik bridge, NaeChun-ri	8.1	8.4	5.2	4.1

Table 8. Adopted values of parameter in the QUALKO2 model

	kinematic coefficient	unit	typical range	adopted value
K1	BOD decay coefficient	1/day	0.02 ~ 3.4	0.043
K2	reaeration	1/day	0.0 ~ 100	option 3
K3	BOD setting coefficient	1/day	-0.36 ~ 0.36	0.1
K4	sediment oxygen demand(SOD)	mg/㎡-day	variable	0.0

지별 폐수처리시설의 가동을 통하여 목표연도인 2020년에는 황구지천 수질관리목표지점 수직교에서 수질 목표 BOD 6.0 ppm으로의 수질기준을 만족할 것으로 예측되었다. 한편 Table 3에서 보는 바와 같이 2015년 이후 수직교 지점에서 BOD는 6.0 ppm이하로 관측되고 있어 예측치에 비하여 약 5년 일찍 목표수질을 달성하였음을 알 수 있다.

3.3 탈산소계수 평가

용해성 유기물질인 미생물의 산화반응을 1차반응식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\frac{dC}{dt} = \pm Kt \quad (1)$$

여기서 C는 BOD농도, K는 반응율(reaction rate)으로 +는 Source, -는 sink이고 t는 시간이다. 식 (1)을 t=0일 때 $C = C_o$(초기 BOD 농도) 조건으로 적분하여 정리하면 식 (2)가 된다.

$$C = C_o e^{\pm Kt} \quad (2)$$

t일 후 BOD는 식 (3)과 같다.

$$C_t = C_o e^{\pm Kt} \quad (3)$$

한편 하천유량의 변화가 없는 것으로 가정하여 탈산소반응식으로 나타내면 식 (4)와 같이 된다.

$$C_t = C_o 10^{-K_1 t} \quad (4)$$

여기서 C_t는 t일후 잔존 BOD(ppm), C_o는 초기 BOD(ppm), K_1은 탈산소계수(day-1), t는 경과시간(day)가 되고 $K_1 = 0.4343K$이다.

황구지천 세마교 지점(HGJ2)부터 수직교 지점(HGJ3)까지의 탈산소계수를 산정하기 위하여 Table 9와 같이 경과시간(hr)를 산정하였다. Table 9에서 Balsan 및 Yongsu는 각각 발산보 및 용수교 지점을 의미하고 V는 각 지점에서 측정된 평균유속, $\overline{V}$는 각 구간의 평균유속, t는 각 구간별 경과시간을 의미한다. 세마교지점에서 발산보지점까지의 거리는 1,184 m, 발산보에서 용수교까지는 1,192 m, 용수교에서 수직교까지는 5,398 m이어서 세마교에서 수직교까지 거리는 7,764 m이다. 수직교 지점에서 2016년에 제시된 유황분석 결과에 의하면 갈수량 6.03 ㎥/s, 저수량 6.96 ㎥/s, 평수량 7.59 ㎥/s 및 풍수량 8.26 ㎥/s이었으며 산정된 경과시간 9.94 hr ~ 14.71 hr는 풍수량과 갈수량 범위에서의 값으로 추정된다.

식 (4)를 활용하여 황구지천 세마교 지점(HGJ2)부터 수직교 지점(HGJ3)까지의 탈산소계수를 산정하기 위하여, 초기 BOD는 세마교 지점에서 관측된 연평균 BOD, 잔존 BOD는 수직교 지점에서 관측된 연평균 BOD 및 Table 9에서 산정된 경과시간을 적용하였다. Table 10에서 보는 바와 같이 수직교 지점에서 풍수량일 경우 탈산소계수는 0.078 day^{-1} ~ 0.748 day^{-1},

Table 9. Observed traveling time from HGJC2 to HGJC3

location	length (m)	2004. 11. 19				2005. 9. 29				2006. 10. 21			
		Q (㎥/s)	V (m/s)	$\overline{V}$ (m/s)	t (hr)	Q (㎥/s)	V (m/s)	$\overline{V}$ (m/s)	t (hr)	Q (㎥/s)	V (m/s)	$\overline{V}$ (m/s)	t (hr)
HGJ2	1,184	5.82	0.08	0.14	2.35	9.45	0.09	0.16	2.05	7.49	0.08	0.175	1.88
Balsan	1,182	5.24	0.20	0.145	2.26	8.14	0.23	0.185	1.77	5.86	0.27	0.19	1.72
Yongs	5,398	7.12	0.09	0.225	6.66	11.18	0.14	0.245	6.12	8.03	0.11	0.135	11.11
HGJ3	-	6.15	0.36			8.95	0.35			6.05	0.16		
Total	7,764				11.27				9.94				14.71

Table 10. Estimated values of deoxygenation coefficient (K1) based on observed data

year	annual precipitation mm	location		deoxygenation coefficient (K1)		
		HGJ2	HGJ3	2004. 11. 19	2005. 9. 29	2006. 10. 21
		BOD (mg/L)	BOD (mg/L)	Q=6.15 ㎥/s t=0.469 day (11.27 hr)	Q=8.95 ㎥/s t=0.414 day (9.94hr)	Q=6.05 ㎥/s t=0.613 day (14.71hr)
1996	906	24.9	23.1	0.069	0.078	0.053
1997	1,309	20.7	16.5	0.209	0.238	0.161
1998	1,609	17.4	12.5	0.306	0.347	0.234
1999	1,601	25.1	20.8	0.174	0.198	0.134
2000	1,250	47.8	25.9	0.566	0.643	0.434
2001	1,074	40.5	34.9	0.138	0.156	0.105
2002	1,251	27.1	15.6	0.510	0.579	0.391
2003	1,474	14.8	10.8	0.291	0.331	0.229
2004	1,102	8.6	7.5	0.127	0.143	0.097
2005	1,396	11.4	10.2	0.104	0.118	0.079
2006	1,382	8.2	7.4	0.095	0.107	0.073
2007	1,301	19.5	9.6	0.659	0.748	0.505
2008	1,284	17.3	9.8	0.525	0.597	0.403
2009	1,453	12.9	9.5	0.283	0.316	0.217
2010	1,475	13.2	7.5	0.522	0.593	0.401
2011	1,932	9.0	6.6	0.287	0.326	0.220
2012	1,712	14.1	8.7	0.446	0.507	0.342
2013	1,209	8.2	7.3	0.108	0.122	0.083
2014	1,004	7.6	6.2	0.188	0.214	0.144
2015	757	5.3	5.7	0.154*	0.175*	0.118*
2016	979	5.0	5.4	0.164*	0.185*	0.125*
2017	1,245	3.4	4.2	0.450*	0.509*	0.344*

* 반응율(reaction rate) + source

갈수량일 경우는 0.053 day^{-1} ~ 0.505 day^{-1} 등으로 산정되어 2014년에 수행된 수질 예측모델링 분석에서 적용한 값 0.043 day^{-1}과는 상당한 차이가 있음을 보여주고 있다. 일반적으로 탈산소계수의 값이 크면 클수록 BOD 개선에 크게 작용된다. 한편 2015년, 2016년 및 2017년은 수직교 지점의 BOD가 세마교 지점의 BOD보다 큰 값으로 나타나 반응률이 양수인 값을 의미하는 Source로 평가된다.

2002년에 수행된 황구지천 수질 예측모델링에서 적용한 탈산소계수는 0.02 day^{-1} ~ 3.4 day^{-1} 범위의 값을 적용하여, Table 6와 같이 수직교 지점에서 BOD를 2006년 4.41 ppm, 2011년 4.16 ppm 및 2016년 3.47 ppm으로 예측하였으나, 관측된 BOD는 예측치보다 높은 2006년 7.4 ppm, 2011년 6.6 ppm 및 2016년 5.4 ppm이었다. 한편 0.043의 탈산소계수를 적용한 2014년에 수행된 황구지천 수질 예측모델링에서 2020년에 도달하면 수직교 지점에서 BOD 6.0 ppm를 달성할 수 있을 것으로 전망하였으나 관측자료에 의하면 대략 2015년에 BOD 6.0 ppm 이내 수질을 달성하고 있어 예측수질보다 약 5년 빠른 시간 내 목표수질을 달성한 것으로 보인다. 2002년에는 실제 수질보다 긍정적으로 예측되었으나 2014년에는 실제 수질보다 부정적으로 예측되었다. 이는 여러 요인이 있겠지만 적정한 탈산소계수의 적용도 상당한 요인이 된 것으로 판단된다. 2002년 및 2014년 하천기본계획수립 과정에서 축적된 관측자료에 의하여 수질예측 모형의 매개변수를 결정하였다면 보다 실제에 근접한 모의 결과를 도입하고 그에 따른 오염원 관리, 수질오염총량관리정책, 환경기초시설 설치 등과 같은 수질관련 정책에 대하여 보다 타당한 계획을 수립할 수 있을 것으로 보인다. 그러므로 향후 수질예측모델링에서 관측자료가 있는 경우에는 관측자료에 의한 탈산소계수의 결정을 통하여 수행할 필요가 있다고 판단된다.

4. 결 론

황구지천 세마교 지점(HGJ2)부터 수직교 지점(HGJ3)구간에서 풍수량일 경우 탈산소계수는 0.078 day^{-1} ~ 0.748 day^{-1}, 갈수량일 경우는 0.053 day^{-1} ~ 0.505 day^{-1} 등으로 산정되었다. 한편 2015년, 2016년 및 2017년은 수직교 지점의 BOD가 세마교 지점의 BOD보다 큰 값으로 나타나 반응률이 양수인 값을 의미하는 Source로 평가된다.

2002년에 수행된 황구지천 수질 예측모델링에서 적용한 탈산소계수는 0.02 day^{-1} ~ 3.4 day^{-1} 범위의 값을 적용하였으

며 2014년에는 0.043 day^{-1}을 적용하였다. 각 예측모형에 의한 예측 결과를 살펴보면 2002년에는 실제 관측된 수질보다 긍정적으로 예측되었으나 2014년에는 실제 관측 수질보다 부정적으로 예측되었다. 이는 여러 요인이 있겠지만 적정한 탈산소계수의 적용도 상당한 요인이 작용한 것으로 보이며, 향후 수질예측모델링에서 경과시간, 수질오염농도 등과 같은 관측자료가 있는 경우에는 관측자료에 의한 탈산소계수의 결정을 통하여 수질예측을 수행할 필요가 있다고 판단된다.

References

Brown, L., T.O. Barnwell, Jr., (1987). The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual. *Report EPA/600/3-87/007. U. S. EPA, Athens, GA*. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=NERL&dirEntryID=41777

Han, Mideock, Son, Jeeyoung, Ryu, Jichul, Ahn, Kihong, Kim, Yongseok (2014). The effects of pollutants into sub-basin on water quality and loading of receiving streams, *J. of Kor. Soc. Environ. Eng.*, 36(9), pp. 648-658. http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE06753034

Texas Water Development Board (1970b). Simulation of water quality in streams and canals: Texas Water Devel. Board, QUAL-1, pp. 64. https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/R128/R128.pdf

The Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2002) in Korea. Ansung Stream(including HwangGuJi-Cheon stream) rectification plan.

The Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2014) in Korea. JinWi Stream(including HwangGuJi-Cheon stream) rectification plan.

The Korean National Institute of Environmental Research (2013). Monitering of flow and water quality in the Jinwi watershed.

The Korean National Institute of Environmental Research (1995-2017). Monitering of water quality in the HwangGuJi-Cheon stream.

Yoon, Yongsam, Yu, Jaejung, Lee, Chulgu, Kim Moonsu, Shin, Chanki (2006). A study on deoxygenation parameter by laboratory method and field estimation, *Proc. of Kor. Soc. Environ. Eng.*, pp. 1119-1122. http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE06758406

Yoon, Yongsam, Yu, Jaejung, Shin, Chanki (2008). A Study of Carbonaceous BOD Decay Rates for the Nakdong River Water System, *J. of Kor. Soc. Environ. Eng.*, Vol.17 No.8, pp. 833-840. http://210.101.116.15/kiss5/viewer.asp