

ORIGINAL ARTICLE

여천천 하구에 설치된 침사지내 퇴적토의 수질영향분석

이상현 · 조홍제^{1)*}

울산발전연구원 기획경영실, ¹⁾울산대학교 건설환경공학부

Impact of Grit Chamber Deposits on Water Quality at the Mouth of Yecheoncheon, Ulsan

Sang-Hyeon Lee, Hong-Je Cho^{1)*}

Planning & Administration Bureau, Ulsan Development Institute, Ulsan 44248, Korea

¹⁾School of Civil & Environ. Engineering, University of Ulsan, Ulsan 44610, Korea

Abstract

Transported deposit was accumulated in a grit chamber built at the mouth of Yecheoncheon in 1987 with the intention of blocking the influx of sediment into the Ulsan-harbor. This study attempted to analyze the effects of the transported deposit on the water quality at Yecheoncheon. Only one episode of dredging has been performed in the approximately 25 years since the grit chamber were built, leading to the formation of stagnant water in the grit chamber due to a large amount of transported deposit. The deposit has a relatively high organic content, in the range of 11.7-25.9% (mean 18.3%). It appears that the main reason for the upstream transport of water pollution from the mouth of the Yecheoncheon is the tides. The effects of organic content and stagnant water on water quality were analyzed using WASP. Moreover, the changes in water quality arising due to the removal of the grit chamber were analyzed. Results indicated that BOD improved by 18.8-100%, while T-P improved by 90.0-617.4%, between the grit chamber and Hanbi-Gyo, which is located 1.3 km away from the grit chamber.

Key words : Grit chamber, Deposits, Water quality change, WASP (water quality analysis simulation program) model

1. 서론

울산광역시 울산만 연안에는 현대자동차의 수출부두를 비롯한 석유화학단지과 국가산업단지내의 각 기업체의 부두시설이 산재해 있다. 울산만은 국가하천인 태화강 하구와 연결되어 있으며, 지류인 동천과 도심하천인 여천천 그리고 외항강 등에서 많은 토사가 유입되고 있어 주기적으로 준설을 통해 선박의 항해에 필요한 수심을 유지하고 있다.

국내 하천의 퇴적토에 관한 오염도 조사의 문헌을 조사하여 보면, 도시 및 공단지역은 주로 중금속에 오염된 반면 해안지역은 중금속과 유기물질에 의해 복합적으로 오염되어 있으며, 용출 평가에 따르면 오염물질이 하천수계로 영향을 미친다고 하였다(Jeong, 2014). 특히, 유기물의 오염에 대한 기존 연구자료를 보면, 제주 외항 퇴적토에 대한 유기물 지표인 강열감량의 경우 외항이 내항의 퇴적토보다 낮게 조사되었으며, 반면 중금속 지표인 구리농도는 내항 쪽으로

Received 8 July, 2016; Revised 22 August, 2016;

Accepted 22 August, 2016

*Corresponding author : Hong-Je Cho, School of Civil & Environmental Engineering, Ulsan University, Ulsan 44610, Korea
Phone : 82-52-259-2262
E-mail : hjcho@mail.ulsan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

높은 농도범위로 분석되었다고 하였다(Lee et al., 2015). 또한 낙동강, 섬진강 및 남강 등 21개 지점의 하천수 및 퇴적토 조사에서도 과불화합물의 농도가 높게 나타난 조사연구가 있다(Yeo et al., 2012). 그리고 도시하천 하류부의 하상퇴적토 준설에 따른 수질 개선효과를 유한차분법에 의해 분석한 결과, 하상퇴적토의 준설이 COD를 비롯한 오염물질에 대한 수질 개선 효과가 크다고 보고한 연구결과물이 있다(Cho et al., 2002).

한편, WASP7 (water quality analysis simulation program 7) 모델은 도시개발 전·후 오염원의 조절을 통한 하천수질변화 및 개선효과 등의 모의에 유용한 예측시스템으로 (Kang, 2010), 안동호의 BOD 및 T-P 등의 수질자료를 이용하여 시행착오법으로 WASP 모델의 매개변수 최적화 하였으며, 이를 이용한 수질예측의 적용성을 확인한 바 있다(An et al., 2007). WASP를 이용하여 강바닥의 퇴적토 준설과 보 설치 전·후의 하천흐름과 수질변화에 대한 예측을 실시하였다(Na, 2011).

본 연구의 주 대상인 여천천의 하구(종점부)에 항만내 유사의 유입을 최소화하여 항만기능을 유지시킬 수 있도록 1987년 침사지를 설치하였다. 침사지 설치 후 2000년 단 한차례만 저니토 준설이 이루어졌으며,

침사지내의 정체수체가 조수간만의 영향으로 여천천의 상류방향으로 역류하여 수질악화와 악취발생의 주된 요인이 되고 있다. 특히, 침사지 설치 이후 여천천 유역의 도시화에 따라 침사지나 유사량 유입이 현저히 감소하여 침사지의 기능이 거의 없어졌으며, 퇴적토는 정체수역과 연계되어 오히려 하천 수질이 악화되는 역기능이 나타나고 있다.

본 연구에서는 침사지가 여천천과 항만에 미치는 수리학적 영향과 환경변화의 조사 및 분석을 통하여 침사지의 철거 가능성을 검토하고, 그에 따른 여천천 본류의 수질개선 방안을 분석하는데 주안점을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 침사지 및 여천천 현황

여천천 침사지는 1987년 약 24,000 m² (185 m x 125 m) 규모이며, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 울산항 항내로 유입되는 하천수에서 토사 등 퇴적분을 침전시켜 울산항으로의 퇴적물 유입을 차단시키는 역할을 하고 있다.

1987년 침사지를 조성한 이후 2000년 12월 한차례 준설이 이루어진 기록이 있으며, 2014년에는 침사지내 수심을 측정한 바 있다. 그 결과에 따르면, 침사지 수심은 -2.15 m~+0.54 m 까지 다양하게 나타나고



Fig. 1. Site location of grit chamber.

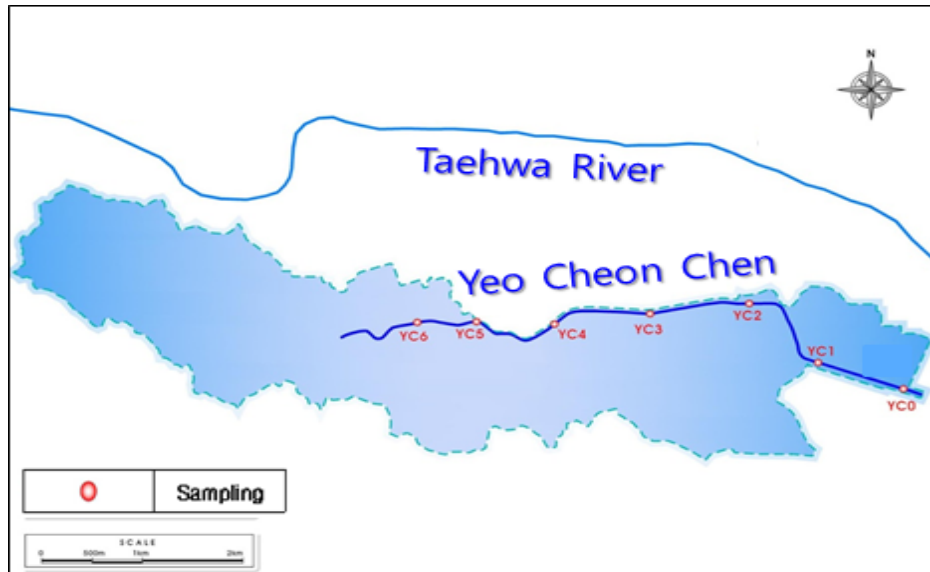


Fig. 2. Location of sampling of bed material.

있다.

여천천은 유로연장이 10.37 km이고 유역면적이 12.37 km²이다. 토지이용에 대한 구성비는 개활지, 전, 답, 임야 등이 4.15 km² (33.52%), 주거지가 2.76 km² (22.3%), 공업지 및 상업지가 3.12 km² (25.2%) 그리고 포장도로가 1.4 km² (11.31%) 등으로서 전형적인 도심 하천이다. 이는 강우시 유사의 발생량이 산지하천 등과 비교하여 상대적으로 적을 것임을 예상할 수 있다.

2012년 여천천 하천기본계획(변경)시 하도내의 하상 특성과 유사이송 특성 및 하상변동 모의를 위해서 하상재료를 조사하였으며, Fig. 2에 여천천내 7개 지점에 대한 하상재료 채취위치를 나타내었고, 그 분석결과는 Table 1과 같다(UMCN, 2012).

여천천이 위치한 울산광역시 남구의 하수도 보급률은 100%이며, 대부분 분류식이다. 유역내에 발생한 생활하수는 하수관거를 통해 용연하수처리장으로

Table 1. Result of grain size analysis

Site	Item	grain size (Dm)										D _m (mm)	P _m (%)	100-P _m (%)	λ	λ×D _m (mm)
		D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₇₀	D ₈₀	D ₉₀	D ₁₀₀					
Month of Yeocheoncheon (YC ₀)		0.52	1.15	1.90	2.80	3.90	5.30	7.40	11.00	19.00	38.10	9.11	72.30	27.70	0.38	3.49
Before tributary (YC ₁)		0.32	0.73	1.48	2.22	3.35	5.10	7.20	11.50	17.50	38.10	8.75	72.38	27.62	0.38	3.34
Outlet (YC ₂)		0.45	1.50	2.65	3.90	5.50	6.90	8.90	13.00	18.00	38.10	9.89	68.92	31.08	0.45	4.46
Yeocheon Br. (YC ₃)		0.75	1.55	2.25	3.30	4.65	6.30	8.55	13.00	18.90	38.10	9.74	71.28	28.72	0.40	3.92
Before tributary (YC ₄)		0.45	0.80	1.30	1.60	1.95	2.50	3.25	4.40	7.10	38.10	6.15	86.82	13.18	0.15	0.93
Before tributary (YC ₅)		0.38	1.10	1.65	2.30	3.15	4.30	6.20	9.30	18.00	38.10	8.45	73.64	26.36	0.36	3.02
Covered stream (YC ₆)		0.42	0.90	1.60	2.15	2.90	3.90	5.15	6.85	9.20	19.10	5.22	69.22	30.78	0.44	2.32

Table 2. Land pollution loads (kg/day)

Items	2010 year			2015 year			2020 year			2025 year			
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	
Occurrence	Waste	6418.6	1,342.0	157.0	5,800.3	1,212.7	141.9	5,787.4	1,210.0	141.6	5,846.4	1,223.0	143.0
	Land	685.9	122.1	17.3	692.9	122.6	17.4	700.0	123.2	17.6	707.1	123.8	17.8
	Total	7,104.5	1,464.1	174.3	6,493.2	1,335.3	159.3	6,487.4	1,333.2	159.2	6,553.5	1,346.1	160.8
Emission	Waste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Land	685.9	122.1	17.3	692.9	122.6	17.5	700.0	123.2	17.6	707.1	123.8	17.8
	Total	685.9	122.1	17.3	692.9	122.6	17.5	700.0	123.2	17.6	707.1	123.8	17.8

유입 처리되고, 분뇨 또한 최종적으로 용연하수처리장에서 처리된 후 바다로 방류되고 있다. 따라서 계산상 배출부하량의 정량적 수치는 없으나 관거 누수 및 오접 또는 관거의 불완전 분리로 인한 월류 등으로 강우시 생활하수 등이 여천천으로 유입될 개연성은 있다. 따라서 생활계 오염발생부하량은 시가지역 가정인구 발생부하 원단위를 적용하여 산정하였으며, 배출부하량은 하수처리장 및 분뇨처리장 등을 통해 저감처리된 후 여천천으로 방류되는 것으로 추정하였고 Table 2와 같다. 그리고 토지계 오염발생부하량은 지목별 연평균 발생부하 원단위를 적용하여 산정하였으며, 배출부하량은 강우시 유출된 비점오염원이 저감시설 등을 통해 처리된 후 여천천으로 유입되는 양이

다. 현재 여천천에는 이에 대한 저감시설 등이 없으므로 발생부하량 전부가 배출되는 것으로 추정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다(UMCN, 2012).

2.2. 여천천의 수질현황 및 침사지내 퇴적도 조사

여천천에 대한 수질변화를 분석하기 위해 기존의 수질측정자료를 비교분석하였다. 지난 10여 년 동안 2006년, 2011년, 2014년 모두 3차례에 pH, DO, BOD, COD, T-P, T-N 등 6개 주요 인자에 대한 수질 측정과 분석이 이루어졌다. 또한 밀물(rising)과 썰물(ebb)로 구분하여 수질분석을 시도하였으며, 그 결과는 Table 3~Table 5 및 Fig. 3~Fig. 8과 같다(UMCN, 2012).

Table 3. Results of water quality measurement (2006 year)

Time	Site	Distance (km)	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
2006.4.19	Y1	1.4	7.40	1.80	13.00	20.10	18.40	13.00	1.29
	Y2	2.3	7.40	0.90	24.80	30.10	25.60	17.79	1.26
	Y3	5.7	7.70	2.10	32.40	34.20	20.40	10.93	1.44
2006.5.26	Y1	1.4	7.50	6.10	9.50	17.10	20.40	12.10	1.37
	Y2	2.3	7.10	1.90	35.50	31.20	29.60	15.40	1.37
	Y3	5.7	7.30	1.30	22.40	50.30	24.80	11.20	1.17
Average	Y1	1.4	7.45	3.95	11.25	18.60	19.40	12.55	1.33
	Y2	2.3	7.25	1.40	30.15	30.65	27.60	16.60	1.32
	Y3	5.7	7.50	1.70	27.40	42.25	22.60	11.07	1.31

Table 4. Results of water quality measurement (2011 year)

Time	Site	Distance (km)	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
2011.7.5	From Sojung Br. to Yeocheon 3 Br.	0	6.90	7.40	18.00	3.90	10.70	8.31	1.63
	Yoohwa Br.	1.0	7.20	7.60	8.00	5.20	7.70	5.37	0.43
	Downstream 400 m from Yeocheon Br.	3.9	7.10	7.70	5.30	4.30	6.30	4.97	0.32
	Low-part of Yeocheoncheon	5.6	7.20	7.70	4.70	3.40	5.00	4.86	0.19
2011.9.7	From Sojung Br. to Yeocheon 3 Br.	0	7.60	8.30	7.00	0.70	4.00	1.91	0.17
	Yoohwa Br.	1.0	7.90	8.30	6.10	0.70	3.20	1.81	0.17
	Downstream 400 m from Yeocheon Br.	3.9	7.90	8.40	7.20	0.60	2.80	1.93	0.14
	Low-part of Yeocheoncheon	5.6	8.00	8.50	6.00	0.60	2.80	1.93	0.16
2011.11.17	From Sojung Br. to Yeocheon 3 Br.	0	7.60	8.30	9.60	1.20	3.60	1.97	0.19
	Yoohwa Br.	1.0	7.70	8.60	7.00	0.80	2.60	1.86	0.12
	Downstream 400 m from Yeocheon Br.	3.9	7.70	8.50	9.20	1.00	2.80	1.92	0.17
	Low-part of Yeocheoncheon	5.6	7.80	8.40	10.30	1.30	3.20	1.91	0.17
Average	From Sojung Br. to Yeocheon 3 Br.	0	7.37	8.00	11.53	1.93	6.10	4.06	0.66
	Yoohwa Br.	1.0	7.60	8.17	7.03	2.23	4.50	3.01	0.24
	Downstream 400 m from Yeocheon Br.	3.9	7.57	8.20	7.23	1.97	3.97	2.94	0.21
	Low-part of Yeocheoncheon	5.6	7.67	8.20	7.00	1.77	3.67	2.90	0.17

Table 5. Results of investigation water quality and deposit in low-part Yeocheoncheon (2014.12.8.~12.18.)

Location	Tide Level	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-P (mg/L)	Salinity (%)
1 station (Habor)	rising	6.8	5.4	6.1	1.7	2.8	2.4	0.146	2.65
	ebb	7.4	7.4	6.2	2.1	3.0	2.7	0.245	2.21
2 station (S. pond)	rising	7.3	6.2	14.9	3.0	3.5	4.5	0.404	1.32
	ebb	7.5	5.2	8.8	2.0	3.2	3.6	0.291	1.71
3 station (Yeocheon 2 Br.)	rising	7.3	5.1	6.8	3.0	3.0	3.5	0.172	1.95
	ebb	7.7	6.9	10.5	2.0	3.0	2.9	0.144	2.15
4 station (Mid section)	rising	7.4	5.8	14.1	3.3	3.3	4.5	0.257	1.47
	ebb	8.0	9.3	8.3	3.0	3.2	4.4	0.262	1.55
5 station (End section)	rising	7.5	7.6	3.5	1.2	2.7	2.2	0.086	2.38
	ebb	8.2	9.9	5.8	1.0	2.2	2.4	0.079	1.71
6 station (Hanbi Br.)	rising	7.6	7.7	2.7	1.2	2.8	2.2	0.078	2.33
	ebb	8.2	7.9	3.6	0.9	2.2	2.1	0.064	1.76

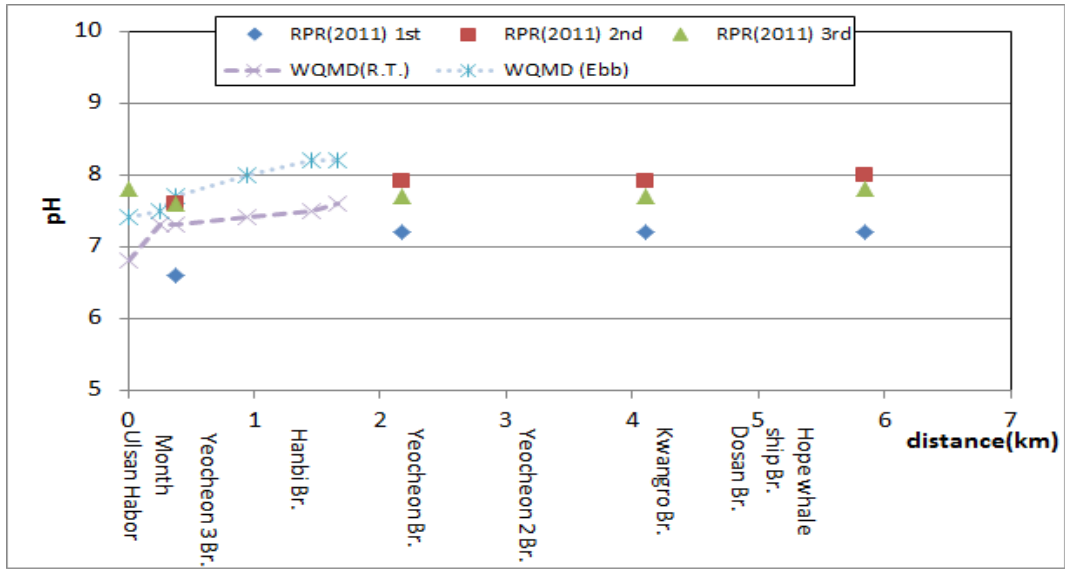


Fig. 3. Comparison of water quality measurement data (pH).

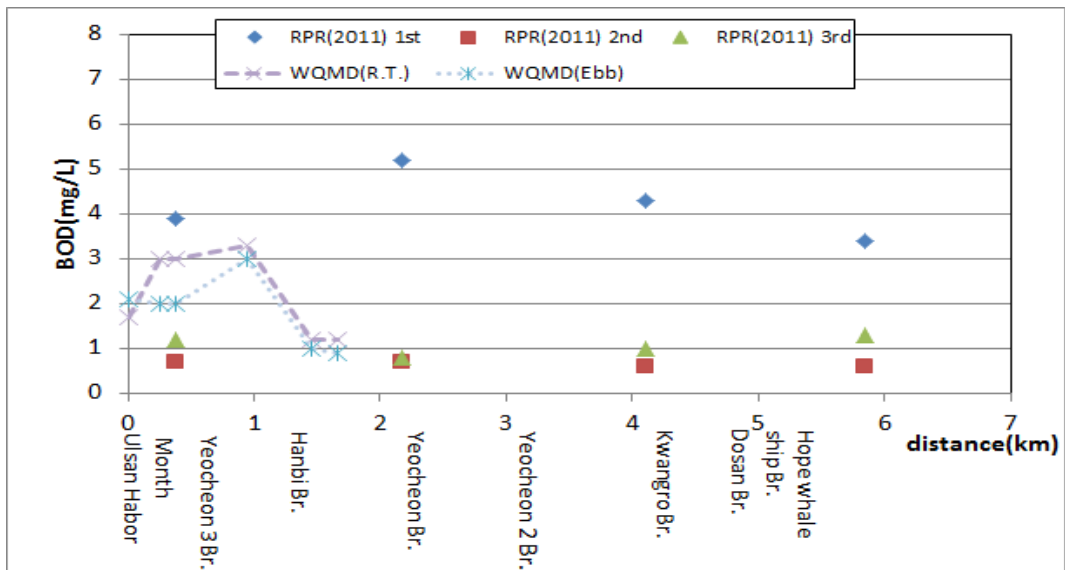


Fig. 4. Comparison of water quality measurement data (BOD).

- * Fundamental planning report for river improvement works (RPR).
- * Namgu water quality measurement data (Rising Tide) : WQMD (R.T.).
- * Namgu water quality measurement data (Ebb) : WQMD (Ebb).

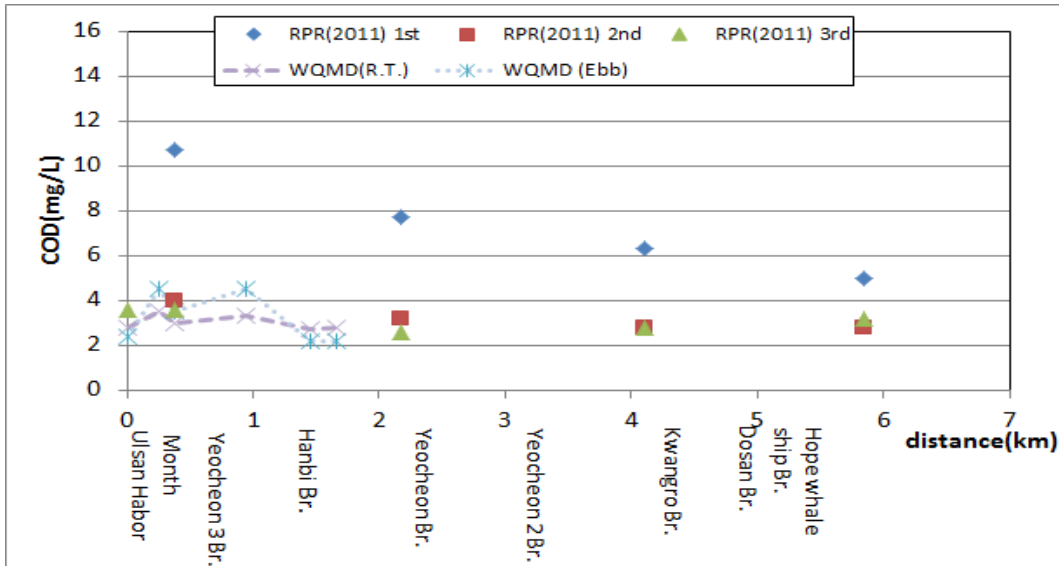


Fig. 5. Comparison of water quality measurement data (COD).

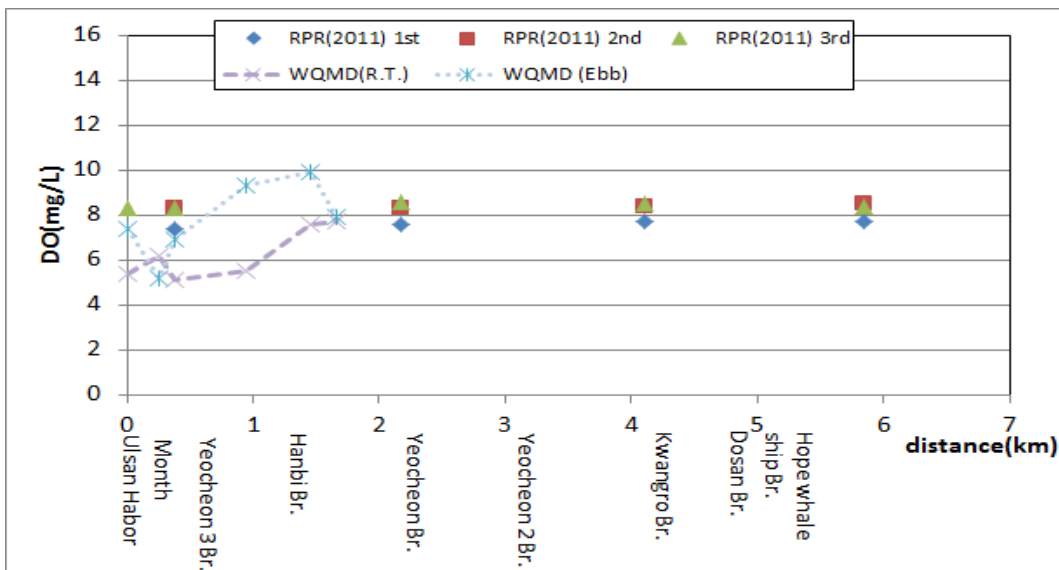


Fig. 6. Comparison of water quality measurement data (DO).

- * Fundamental planning report for river improvement works (RPR).
- * Namgu water quality measurement data (Rising Tide) : WQMD (R.T.).
- * Namgu water quality measurement data (Ebb) : WQMD (Ebb).

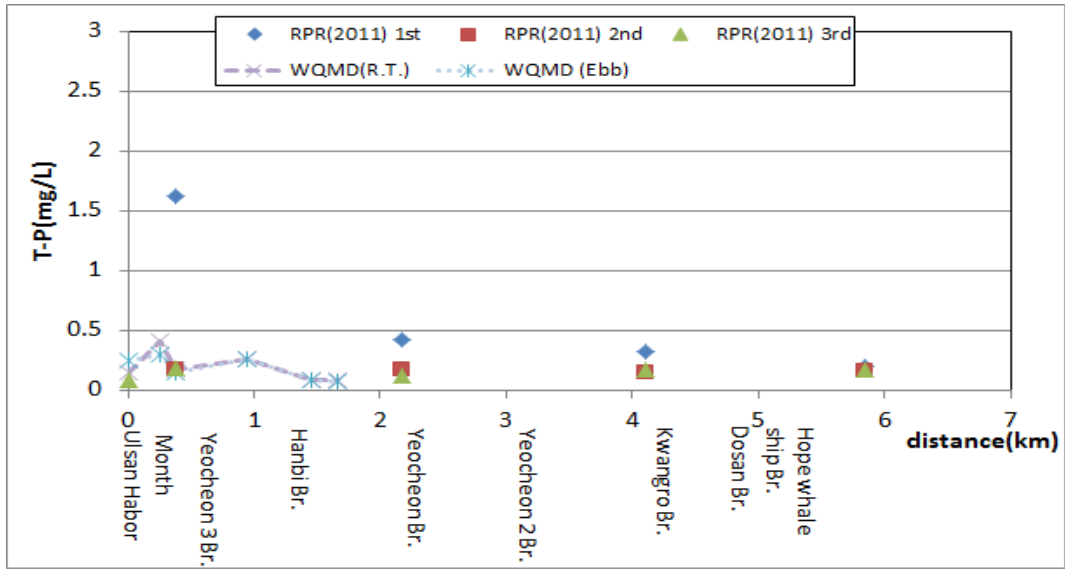


Fig. 7. Comparison of water quality measurement data (T-P).

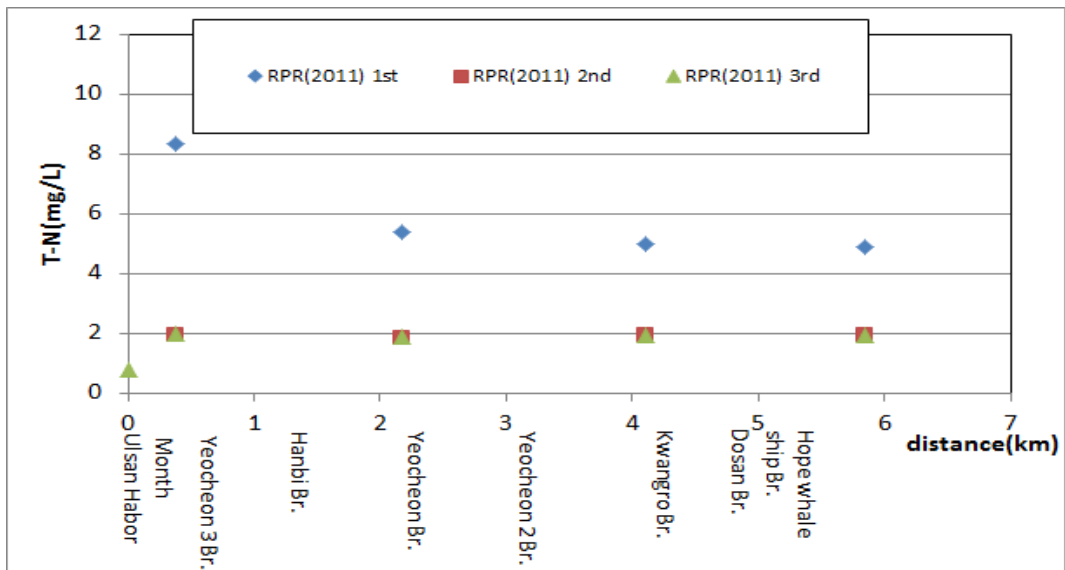


Fig. 8. Comparison of water quality measurement data (T-N).

* Fundamental planning report for river improvement works (RPR).
 * Namgu water quality measurement data (Rising Tide) : WQMD (R.T.).
 * Namgu water quality measurement data (Ebb) : WQMD (Ebb).



Fig. 9. Location of sampling of deposits in the grit chamber.

2006년과 2011년 수질측정 결과에 따르면 pH는 평균 7.25~7.67 로 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, DO는 2006년에는 평균 1.40~3.95 였으나, 2011년에는 평균 8.0 ~ 8.2 로 개선된 것으로 나타났다. BOD의 경우는 2006년에는 평균 18.60~42.25 mg/L이고 최대 42.25 mg/L까지 나타났으나, 2011년에는 평균 1.77~2.23 mg/L이고 최대 2.23 mg/L를 나타내었다. COD도 2006년 평균 19.40~27.60 mg/L이고 최대 27.60 mg/L 였으나, 2011년에는 평균 3.67~6.10 mg/L이고 최대 6.10 mg/L로 개선되었다.

특히 여천천 하구 침사지 부근의 2011년과 2014년의 자료에 의하면, BOD와 T-P가 높게 나타나 여름철 수질이 전반적으로 나쁜 것으로 확인되었다. 이는 침사지 내 퇴적토의 질소와 인이 용출되어 수질에 영향을 미친 것으로 판단되며, 그 정도를 확인하기 위해

퇴적토에 대한 유기물 함량을 강열감량법으로 조사하였다.

침사지내에서 시료채취는 Fig. 9와 같이 총 6개 지점에 실시하였으며, “폐기물 공정시험법”에 대한 강열감량시험 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에 따르면 유기물함량은 11.73~25.94%(평균 18.31%)로 나타나, 국내 하천퇴적토 준설기준(하천공사 표준시방서, 건설교통부)인 10%를 초과한다. 참고로 2011년 여천천기본계획(변경)시의 조사에 따르면 4곳에서 채취된 여천천 하상의 강열감량은 평균 3.9%였고, 하구지점은 3.5%였다. 따라서 침사지 내 퇴적토의 유기물 함량이 여천천 하상보다 매우 높게 나타나고 있으므로, 침사지내 퇴적토에서의 용출이 여천천 하류 수질에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 6. Results of ignition loss inside grit chamber

Item	①	②	③	④	⑤	⑥	Average
Organic Content (%)	25.94	11.73	20.83	21.11	12.64	17.59	18.31

3. 결과 및 고찰

3.1. 조위영향에 따른 여천천 수질변화

여천천은 감조하천이므로 하류는 조위변화에 의한 영향을 받게 되며, 침사지에 정체된 물이나 오염물질이 역류하게 되어 수질을 악화시킬 수 있다. 수질예측 모델을 이용하여 조위에 따른 수질변화를 모의하기 위해서는, 조위가 영향을 미칠 수 있는 범위를 한정할 필요가 있다. Fig. 10은 여천천 하구에 위치한 울산항의 과거 조위기록을 나타낸다.

Fig. 10에 따르면, 최고조위를 기록할 경우 바닷물이 광로교 인근까지 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되나, 평상시에는 평균고조위에 의해 여천교 인근(약 2.3 km) 까지 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 조위변화에 따른 수질예측 모델의 분석범위를 침사지에서 상류 여천교 구간까지로 한정하였다.

3.2. WASP 7 모델을 이용한 여천천 수질변화 예측

WASP 7 모델은 바닷물의 역류로 인해 상·하류에서 유입되는 유량에 대한 모의가 가능하다. 기본방정식은 식(3-1)과 같고, 수체내 수질항목에 대한 물질수지식은 확산, 유동, 생화학적 변환, 외부로부터의 부하

등을 고려할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \\ & + S_L + S_B + S_K \end{aligned} \quad (3-1)$$

여기서, C : 수질항목의 농도(mg/L)

t : 시간(day)

U_x, U_y, U_z : x, y, z 방향의 유속(m/day)

E_x, E_y, E_z : x, y, z 방향의 확산계수(m²/day)

S_L : 직접 부하량(g/m³)

S_B : 경계에서의 부하량(g/m³ day)

S_K : 내부변환량(g/m³ day)

식(3-1)에 대한 프로그램 실행 시 수치해석상의 적합한 운영을 하기 위한 파라미터 조작이 필요하다. 주요 파라미터는 시뮬레이션 시작 시간 및 종료 시간(days)이며, 수치해석상의 오차를 줄이기 위해서는 적분시간 간격의 적절한 선택이 필요하다. 그리고 요소내에서의 안정성을 유지하기 위해서는 유속, 확산, 변환에 의한 질량은 요소 내 질량보다 작아야 하며,

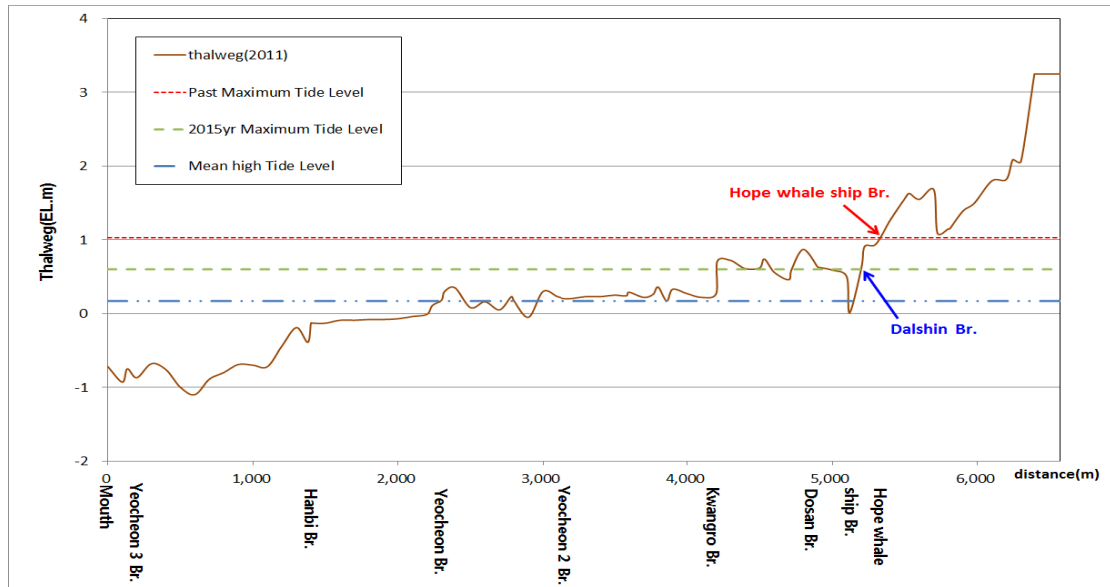


Fig. 10. Range of tidal effect.

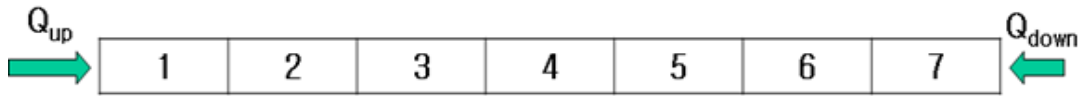


Fig. 11. Segment for water quality simulation of Yecheoncheon.

식(3-2)와 같다.

$$(\sum QC_j + \sum RC_j + \sum SV_j)\Delta t < V_j C_j \tag{3-2}$$

식(3-2)의 안정성조건을 전체요소에 대하여 적용하면, 식(3-3)과 같은 최대 시간 간격원칙을 세울 수 있다.

$$\Delta t_{max} = Min\left(\frac{V_j}{\sum Q_{i,j} + \sum R_{i,j} + \sum (S_{j,k} V_j / C_j)}\right) \tag{3-3}$$

조위의 변화와 그 영향이 미치는 침사지에서 여천교 구간에 대한 상세한 수질변화를 확인하기 위해, 해당 구간을 Fig. 11과 같이 7개 구역(Segment)으로 구성하였다. 그리고 각 구간별 여천천의 지형자료는 Table 7과 같다.

그리고 조위에 따른 여천천의 수질변화를 예측하기 위해, 밀물과 썰물 시에 대한 BOD와 T-P 측정결과를 이용하여 현 상태에 대한 보정을 실시하였다. 입력변수인 T-P값의 모델 민감도분석을 통해 입력변수를 최적화하였으며, 그 결과는 Table 8 및 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다.

입력변수 최적화 결과, BOD의 경우는 바닷물의 영향으로 실측치보다 다소 낮게 모의되었으나, T-P의

Table 7. Input datas of segment of Yecheoncheon downstream (sedimentation pond ~ Yecheon Br.)

Segment No.	Location	Length (m)	Wide (m)	Volume (m ³)	Slope (m/m)	Roughness No.
1	Covered stream	400	20	4000	0.000	0.028
2	Before tributary	500	25	6250	0.0001	0.028
3	Before tributary	400	30	9600	0.0014	0.028
4	Yecheon Br.	500	48	19200	0.006	0.028
5	Outlet stream	400	48	15360	-0.0002	0.028
6	Before tributary	100	46	3680	-0.0021	0.028
7	Month	125	240	24000	0.000	-

Table 8. Optimized result of input datas

Location	Item	BOD				T-P			
		Observed		Simulated		Observed		Simulated	
		Rising	Ebb	Rising	Ebb	Rising	Ebb	Rising	Ebb
Yecheon Br.	-	-	1.1	0.9	-	-	0.165	0.152	
Hanbi Br.	-	-	1.9	1.9	-	-	0.063	0.033	
Yecheon 3Br. +900 m	1.2	0.9	2.0	1.9	0.078	0.064	0.064	0.019	
Yecheon 3Br. +400 m	1.2	1.0	1.9	1.7	0.086	0.079	0.333	0.070	
Yecheon 3Br.	3.3	3.0	1.9	1.6	0.257	0.262	0.402	0.165	
Grit Chamber	3.0	2.0	1.9	1.6	0.172	0.144	0.540	0.212	

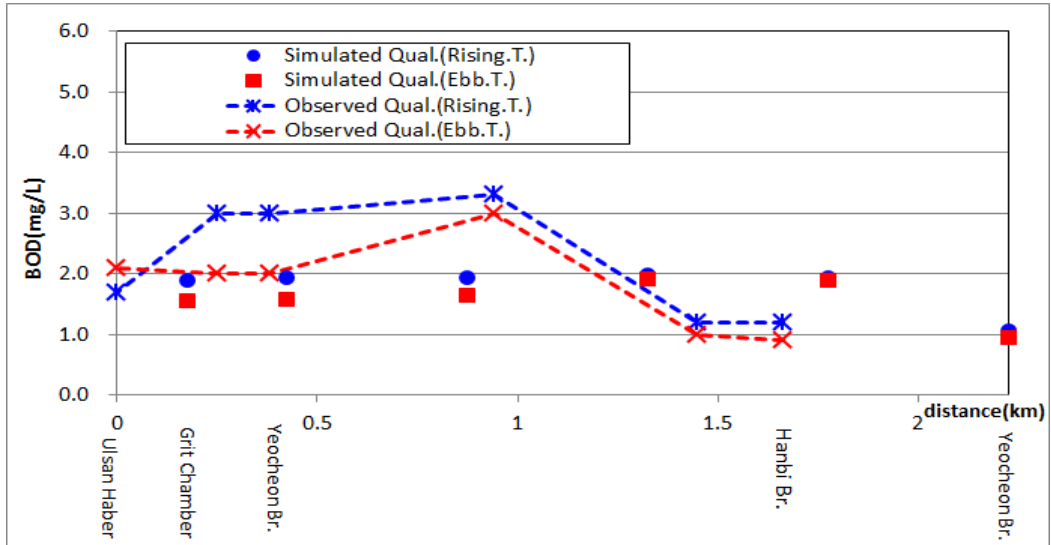


Fig. 12. Optimization of input datas (BOD).

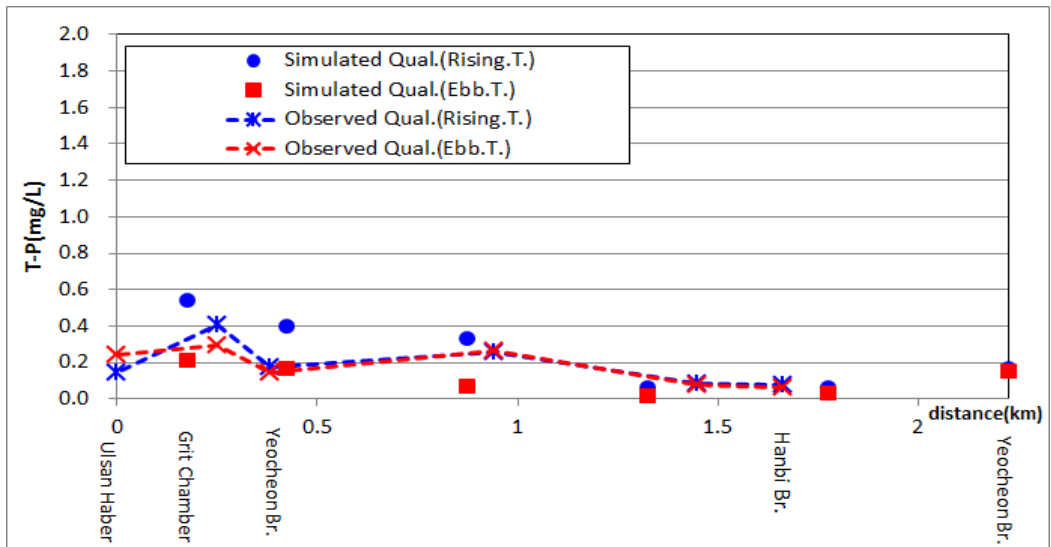


Fig. 13. Optimization of input datas (T-P).

경우는 유사한 경향을 보여 적절한 것으로 판단된다.

침사지 내부의 퇴적토에서 용출되는 T-P에 의한 여천천의 수질영향을 예측하기 위해 용출율이 30% 증가한 경우와 침사지 혐기성화를 가정하여 모의하였으며, 그 결과는 Table 9 및 Fig. 14 및 Fig. 15와 같다.

용출율이 30% 증가시, 한비교까지 T-P농도가 14.4

~25.9%까지 상승하는 것으로 나타났으며, 하절기 혐기성화 시에는 한비교까지 T-P농도가 56.8~101.3% 상승하는 것으로 나타났다. 그리고 조위영향을 고려하여 하절기 침사지 혐기성화에 대한 모의결과는, 실측치와 유사하게 나타났다.

1987년 침사지가 설치된 후 여천천 유역의 지속적인

Table 9. Simulated results for assumed elutions (T-P)

Location	Item	Present		30% Increase		Anaerobic	
		Rising	Ebb	Rising	Ebb	Rising	Ebb
Yeocheon Br.		0.165	0.152	0.165	0.153	0.167	0.157
Hanbi Br.		0.063	0.033	0.078	0.040	0.121	0.061
Yeocheon 3Br. +900 m		0.064	0.019	0.078	0.022	0.121	0.030
Yeocheon 3Br. +400 m		0.333	0.070	0.383	0.088	0.542	0.140
Yeocheon 3Br.		0.402	0.165	0.467	0.208	0.729	0.333
Grit Chamber		0.540	0.212	0.662	0.267	1.023	0.428

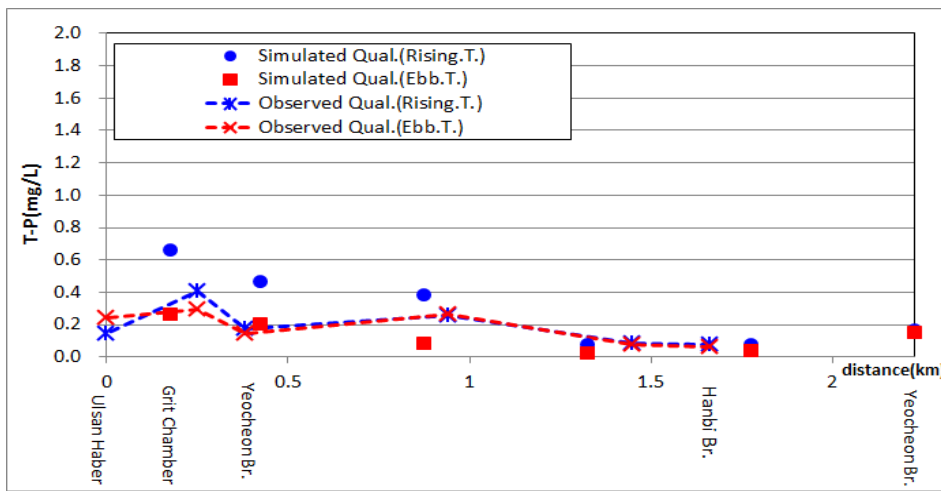


Fig. 14. Simulated result of T-P for 30% increased elution.

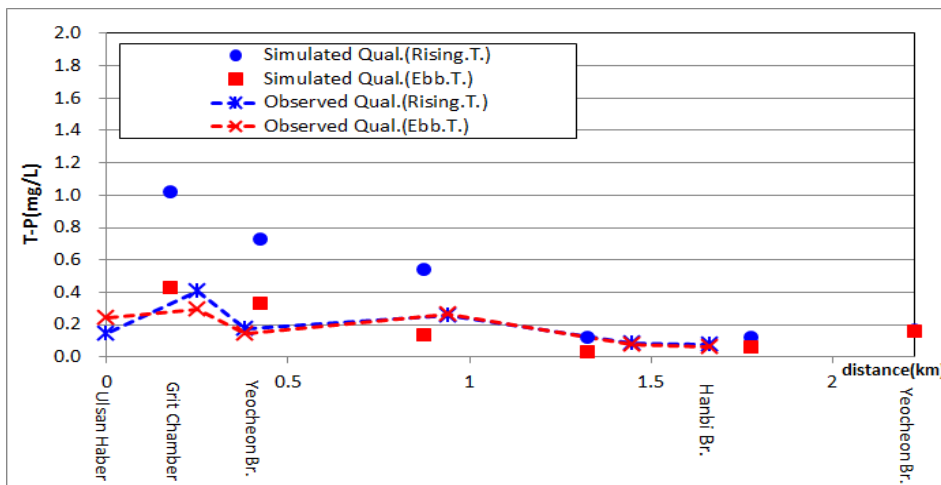


Fig. 15. Simulated result of T-P for anaerobic condition of grit chamber in summer.

Table 10. Simulated result of water quality for Pull down of grit chamber (BOD)

Location	Item	Present		Pull down Sedimentary Pond	
		Rising	Ebb	Rising	Ebb
Yecheon Br.		1.1	0.9	0.9	0.9
Hanbi Br.		1.9	1.9	1.0	1.0
Yecheon 3Br. +900 m		2.0	1.9	1.0	1.0
Yecheon 3Br. +400 m		1.9	1.7	1.1	0.9
Yecheon 3Br.		1.9	1.6	1.4	0.9
Grit Chamber		1.9	1.6	1.6	1.0

Table 11. Simulated result of water quality for pull down of grit chamber (T-P).

Location	Item	Present		Pull down Sedimentary Pond	
		Rising	Ebb	Rising	Ebb
Yecheon Br.		0.165	0.152	0.163	0.146
Hanbi Br.		0.063	0.033	0.017	0.010
Yecheon 3Br. +900 m		0.064	0.019	0.019	0.010
Yecheon 3Br. +400 m		0.333	0.070	0.057	0.012
Yecheon 3Br.		0.402	0.165	0.101	0.023
Grit Chamber		0.540	0.212	0.144	0.030

도시화로 인해 여천천에서 침사지 내로 유입되는 유사량은 미미한 것으로 실측을 통해 확인되었으나, 오히려 침사지내 퇴적토에서의 용출에 의해 여천천의 T-P농도가 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 여천천

의 수질개선대책으로 침사지를 철거하는 경우에 대해 BOD와 T-P에 대한 수질개선효과를 모의하였으며, 그 결과는 Table 10과 Table 11, Fig. 16 그리고 Fig. 17과 같다.

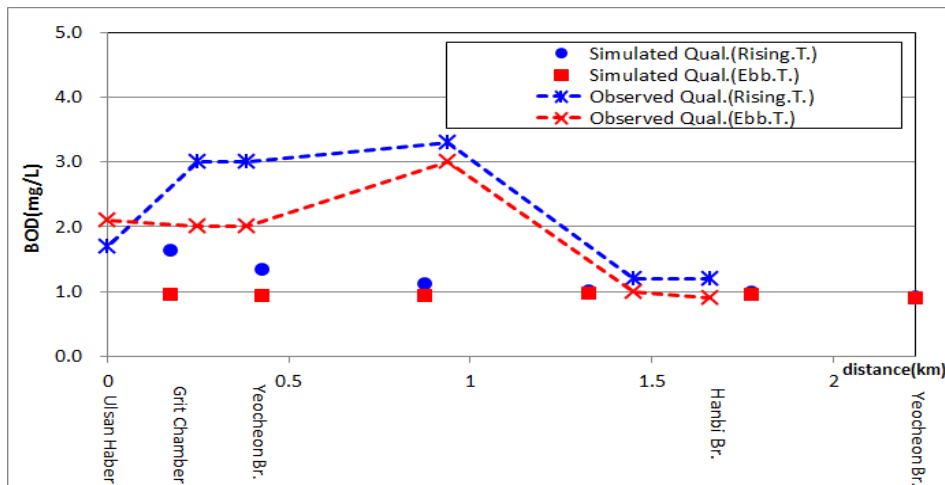


Fig. 16. Improvable effect of BOD by assuming pull down grit chamber.

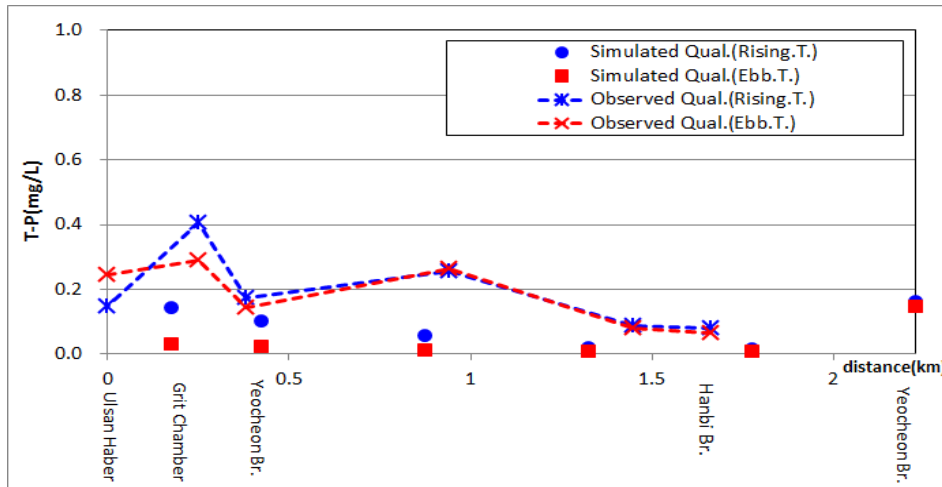


Fig. 17. Improvable effect of T-P by assuming pull down grit chamber.

그 결과 침사지를 완전히 철거하는 경우 BOD는 구간별로 최대 100%까지 개선되는 효과가 있었고, T-P는 한비교 구간까지 90.0~617.4%까지 개선되는 효과를 보이는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 도심하천인 울산시 여천천에서 울산항으로 유입되는 유사량을 최소화하여 선박들의 입출항시 필요한 수심유지와 유지관리를 위해, 1987년 여천천 하구에 설치하였던 침사지의 기능과 침사지 내의 퇴적토의 오염물질에 의한 여천천의 수질 영향분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 여천천 하류 지역의 침사지는 울산항만공사 자료에 의하면 1987년 조성된 이후 2000년 12월에 한차례 준설을 추진한 기록이 있는바, 유사량 과다로 인한 침사지의 기능이 불명확하며, 동시에 여천천 유역의 급속한 도시화로 토사발생 원인이 현격히 부족한 상황에서 침사지의 기능보다는 퇴적토에 의한 수질악화의 개선성이 높을 것으로 판단된다.

2. 침사지 설치 후 약 25년 동안 단 1회의 준설만이 이루어져, 현재 퇴적토의 영향으로 침사지내에 정체수역이 형성되는 것으로 나타났다. 특히, 퇴적토의 유기물함량이 11.7~25.9% (평균 18.3%)로 조사되어, 수

온변화에 따른 혐기성화로 악취유발의 원인이 될 것으로 판단되며, 특히 여천천 수위변화 기록을 분석한 결과, 조수간만의 영향으로 여천교 인근 (약 2.3 km)까지 수질변화의 영향을 줄 것으로 판단된다.

3. 여천천 침사지 철거를 가정한 수질변화를 WASP 7 모델을 통해 예측한 결과, 침사지에서 약 1.3 km 상류에 위치한 한비교 사이에 대한 BOD 개선효과는 18.8~100%인 것으로 예측되었으며, T-P는 90.0~617.4% 개선되는 것으로 나타났다.

REFERENCES

An, S. S., Seo, M. J., Park, N. S., Jang, K. O., 2007, The parameter estimation of wasp model for water quality prediction, J. Environ. Sci. Int., 16(5), 623-632.
 Cho, H. J., Lee, B. H., Kim, J. S., Lee, K. B., 2002, Prediction of quality variation caused by dredging urban river-bed, J. Korea wat. resou. assoc., 36(2), 137-148.
 Hydrologic Engineering Center, 2008a, HEC-RAS River Analysis System, Version 4.0, User's Manual.
 Hydrologic Engineering Center, 2008b, HEC-RAS River Analysis System, Version 4.0, Hydraulic Reference Manual.
 Joung, J. Y., 2014, Characteristic of waterborne sediments and management measures of dredged sediments,

- Master Thesis, Kwangun University.
- Kang, Y. J., 2010, Water quality modeling for downstream from urban areas, Suwon university.
- Lee, S. H., Kim, D. S., Lee, T. Y., 2014, Estimation of contamination level of sediments obtained from the outport of jeju harbor, J. Environ. Sci. Int., 23(6), 1111-1120.
- Ministry of Construction, 1994, Standard guide Specification River Construction.
- Na, C. H., 2011, Water quality prediction after the construction of multi-functional weir in nakdong river, Master Thesis, Kyungbuk University.
- Ulsan Metropolitan City, namhu(UMCN), 2003, Fundamental planning report for river improvement works of Yeocheoncheon(change).
- Ulsan Metropolitan City, namhu(UMCN), 2006, Working design of establishment of ecological streams for Yeocheoncheon.
- Yeo, M. K., Hwang, E. H., Joung, K. H., 2012, Distribution characteristic of fluorinated compound in major river water and sediment, Anal. sci. tech., 25(3), 313- 323.