

ORIGINAL ARTICLE

부산 온천천의 하계 우수기 수질 및 퇴적물 환경 특성

이영형^{1,2)} · 문창호¹⁾ · 강현정²⁾ · 최성률²⁾ · 김석현³⁾*

¹⁾부경대학교 해양학과, ²⁾주대성기술단, ³⁾한국해양과학기술원 해양환경연구센터

Characteristics of Water and Sediment Qualities in the Oncheon Stream, Busan during Summer Rainy Season

Young-Hyeong Lee^{1,2)}, Changho Moon¹⁾, Hyun-Jung Kang²⁾, Seong-Ryul Choi²⁾,
Suk-Hyun Kim³⁾*

¹⁾Department of Oceanography, Bukyung National University, Busan 48513, Korea

²⁾Daesung Technology Engineering Co., Busan 46253, Korea

³⁾Marine Environmental Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

Abstract

Water and sediment qualities were investigated in the Oncheon Stream and at the Wondong bridge of the Suyoung River, during the summer rainy season, 2019. Dissolved oxygen (DO) showed the lowest levels at 4.7 and 5.0 mg/L, and biogeochemical oxygen demand (BOD) showed the highest at 5.3 mg/L downstream where the tributary flows into the main river. Chemical oxygen demand (COD) increased from 2.0 to 5.9 mg/L on average as it flowed downstream, The COD/BOD ratio decreased gradually as it flowed downstream, reaching 1.0. However, COD/BOD ratio at the Wondong bridge was 5.8-22.2, indicating that easily biodegradable and non-biodegradable organic matter flows into the Oncheon Stream and Suyoung River, respectively. Total nitrogen (T-N) / total phosphorus (T-P) ratio tended to decrease from 72 to 21 as it flowed downstream, measuring 71 to 86 at the Wondong bridge. The water quality index (WQI) generally improved better than grade IV after heavy rainfalls. However, DO and T-P were the parameters that deteriorated the WQI. Ignition loss (IL), COD, T-N, and T-P of sediments had distribution of $1.44 \pm 1.01\%$, $0.35 \pm 0.16\%$, 43 ± 63 mg/kg, and 10.9 ± 21.9 mg/kg, respectively. These were several times lower than the annual averages of IL, T-N, and T-P in 2017 before the dredging project was conducted in the first half of 2018.

Key words : Oncheon Stream, Water quality, Sediment, Water quality index

1. 서론

도심을 흐르는 하천은 용수, 자연생태보전 및 위락장 소로서 경관측면의 기여하는 바가 매우 중요하게 인식되어 왔다(Baschak and Brown, 1995; Gariner, 1997;

Grimm et al., 2008). 도심 하천은 경관과 지역민들 사이의 연결을 제공하는 많은 기능들을 가지며 따라서, 창의적이고 지속가능한 환경에 대한 욕구가 크다(Miller et al., 2006).

온천천은 전형적인 도심 하천으로, 부산의 금정산에서

Received 27 May, 2020; Revised 15 June, 2020;

Accepted 22 June, 2020

*Corresponding author : Suk-Hyun Kim, Marine Environmental Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea
Phone : +82-51-664-3170
E-mail : shkim@kiost.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.

발원하여 금정구, 동래구 및 연제구의 86만명 인구가 거주하는 도심을 관통하는 유로연장 14.13 km, 유역면적 56.28 km², 폭 30~90 m의 하천으로 동남해의 수영만으로 흘러드는 수영강의 가장 큰 지류이다(BMC, 2020a). 온천천은 1994년에 연안교 부근의 BOD가 78.7 mg/L로 극도로 오염되고 생물이 살지 못하는 죽은 하천의 환경상태를 보인 바 있다. 주민의 소득수준이 향상됨에 따라 삶의 질 향상에 대한 기대, 여가문화의 발달, 환경의 중요성에 대한 인식전환 등으로 1995년 온천천 살리기 운동을 기점으로 하천 환경개선사업이 본격적으로 시작되었다. 온천천은 1998년부터 자연친화형 하천 환경개선사업을 지속적으로 펼쳐 왔으며, 2002년 온천천 살리기 마스터 플랜을 수립하고, 2005년부터 낙동강 원수를 온천천 유지용수로 방류하고, 2007년 온천천 정비사업 등을 통하여 이제는 부산의 대표적인 도심생태하천공원으로 자리잡고 있다(BMC, 2020b).

그러나, 온천천은 동절기에서 이듬해 봄까지 붉은 색의 적조현상이 나타나고 있으며, 이는 현미경적 검경을 통하여 붉은 색을 발색시키는 우점종은 해양과 담수가 만나는 기수 생태계에서 흔히 번성하는 것으로 알려진 은편모조 *Cryptomonad*의 번성에 의한 것으로 확인된 바 있다(Nishimura, 1990; Novarino and Lucas, 1993; Lee et al., 2014; Kim et al., 2018). 또한, 최근 하절기에 온천천에서는 물고기의 폐사 현상이 반복되고 있으며, 이는 갑작스럽게 내린 폭우에 하수처리장의 오수처리 용량이 초과되면서 평상시 합류식 하수관로를 통해 하수처리장으로 차집되던 오수가 비가 오면 오염도로 및 공사장 등의 비점오염물질과 함께 하천으로 유입되어 발생된 것으로 확인되고 있다(KJAD, 2017; Busan.com, 2019; KJNP, 2019). 부산시는 온천천 물고기 폐사와 관련하여, 온천천 수계에서의 분류식 하수관로공사를 2025년에서 2022년까지 3년 단축하여 조기에 완료하고, 온천천 비점오염저감시설의 조기준공과 물고기 폐사 다발지역의 조기정비를 통하여 물고기 이동 대피로를 확보하는 계획을 포함하는 종합대책을 발표한 바 있다(BMC, 2019).

온천천은 도심생태하천으로 인근 86만명 주민의 여가 활동과 관련하여 매우 중요한 자산이며, 따라서 지속가능한 환경관리를 필요로 한다. 본 연구는 물고기의 폐사 현상이 나타나는 하계 우수기에 온천천 유역에서의 수질

및 퇴적물의 환경 항목들을 조사하여 온천천의 시·공간적 환경 분포특성을 이해하고, 환경의 지속가능한 관리를 위한 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료 채취

온천천의 상류 지점부터 수영강 합류 지점 인근까지 6개 정점 및 비교 정점으로 수영강의 온천천 합류부 인접 지점을 포함하여 전체 7개의 정점에서 하천수 및 하천 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 온천천의 상류부에 위치한 ST-1은 낙동강원수의 공급이 이루어지는 청룡2호교 정점, ST-2는 구서역 상부의 태광산업 부근 정점, ST-3은 구서역과 장전역 사이의 부곡교 정점, ST-4는 온천장역 정점, ST-5는 교대역 인근 세병교 정점, ST-6은 연안교 인근의 이섭교 정점, ST-7은 수영강의 원동교 정점에서 이루어졌다. 시료 채취는 2019년 7월 4일, 7월 29일 및 8월 5일에 이루어 졌으며, 1차 시료가 채취된 7월 4일은

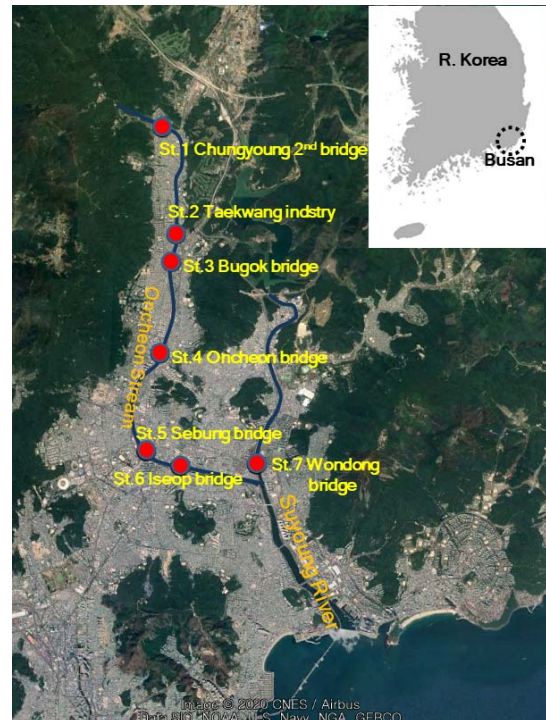


Fig. 1. Map showing sampling stations for water and sediment in the Oncheon Stream and the Suyoung River.

6월 24일부터 6월 29일까지 총 240 mm 강수 후 4일이 경과된 날이며, 2차 시기인 7월 29일에는 7월 17일부터 21일까지 총 309.6 mm 호우 이후 시료채취 이틀 전인 7월 27일에는 7.3 mm의 강수가 있었다. 3차 시기인 8월 5일에는 2차시기 이후 강수가 없었다(Fig. 2). 하천수는 표층수를 채취하여 수온, pH 및 용존산소(DO)는 현장에서 측정하였으며, 그 외 수질항목 측정을 위하여 채수된 시료를 2 리터들이 폴리에틸렌병에 담아 실험실로 옮겨 분석을 수행하였다. 퇴적물은 Van Veen 채취기를 이용하여 채취하여, 폴리에틸렌 비닐백에 담아 실험실로 옮겨 분석시까지 냉동 보관하였다.

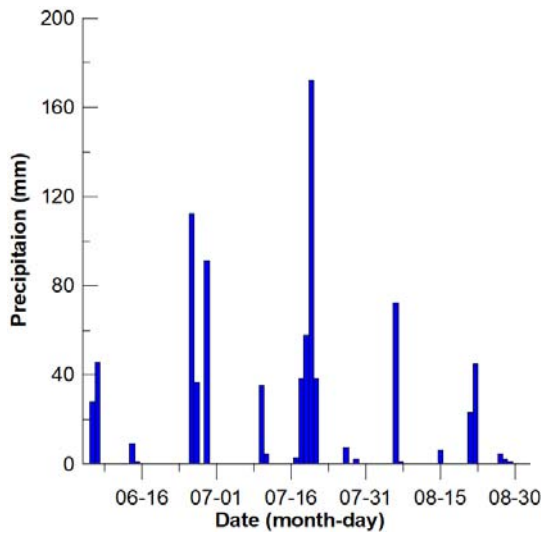


Fig. 2. Daily precipitation in Busan during the period of summer rainy season, 2019 (from Meteorological data open portal of Korea Meteorological Administration).

2.2. 수질 항목 측정 및 분석

하천수질의 측정항목은 pH, 용존산소량(DO) 및 수온, 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 암모니아성 질소(NH₄-N), 질산성 질소(NO₃-N), 인산염 인(PO₄-P), 클로로필-a(Chl-a)로 각 측정항목에 대한 시료채취, 시료보관 및 분석방법은 환경부의 수질오염공정시험방법과 미국 환경청의 Standard Methods에 따라 분석하였다. 각 항목별 분석방법은 다음과 같다.

pH는 HM Digital사의 pH-200L, DO 및 수온은 ISTEK사의 DO-300L로 현장에서 측정하였다, BOD는

BOD 병에 20°C에서 5일간 배양하여, YSI-5000로 소비된 용존산소의 양으로 계산하였다. COD는 과망간산 칼륨법으로 30분간 가열하여 측정하였다. SS는 미리 무게를 단 유리섬유 여과지에 일정량의 시료를 여과시킨 후, 건조시켜 여과 전·후 무게차로 산출하였다. T-N과 T-P는 알칼리성 과황산칼륨으로 유기물을 분해시켜 각각 질산이온과 인산염을, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P는 발색시킨 후 OPTIZEN 2120UV를 이용하여 흡광도법으로 측정하였다. Chl-a는 아세톤 용액을 이용하여 시료를 여과한 여과지로부터 클로로필 색소를 추출하고, 추출액의 흡광도를 663 nm, 645 nm, 630 nm 및 750 nm에서 측정하여 클로로필 a의 양을 계산하였다.

2.3. 퇴적물 항목 분석

하천퇴적물의 측정항목은 강열감량(IL), 화학적 산소요구량(COD), 총유기탄소(TOC), 총질소(T-N), 총인(T-P), 총클로로필(T-Chl)로 T-Chl을 제외한 측정항목에 대한 시료채취, 시료보관 및 분석방법은 수질오염공정시험방법에 따라 분석하였다. T-Chl에 대한 시료채취는 위 항목들과 동일하며 시료 보관 및 분석방법은 해양환경공정 시험기준(MOF, 2018)(해양생물편 제 1항 클로로필 및 총 카로티노이드)에 따라 분석하고 해저퇴적물에서의 광합성 색소 유도체의 분석에 관하여 Chung et al.(1999)을 참고하였다. T-Chl 분석을 위하여 일정량의 시료를 90% 아세톤으로 추출 후 조직파쇄와 원심분리를 거쳐 암실보관 후 상등액을 여과하여 시험액으로 사용하고 흡광도법을 이용한 파장조건은 750, 665, 645, 630, 480 nm로 분석하였다. 퇴적물에서의 항목별 농도는 건중량에 대한 농도를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질 분포 특성

2019년 하계 우수기에 3차례에 걸쳐서 조사된 정점별 온천천 하천수에서의 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P 및 Chl-a의 분포는 Table 1과 같다. 조사기간에 측정된 염분도는 모든 정점에서 0.1psu 로 조석에 의한 해수 유입 영향은 없었다.

수온은 조사 기간에 24.6~34.2°C의 분포를 보였다. 온천천에서는 상류에서 하류로 갈수록 수온이 완만하게 상승하는 경향을 보였다. 이는 온천천에서의 조사가

Table 1. Environmental variables in water summarized as the mean, standard deviation and range for each sampling station

Parameter	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7
Water temp.	25.5 ± 1.1	26.6 ± 0.8	30.5 ± 1.1	30.8 ± 1.9	31.4 ± 2.6	32.3 ± 2.1	29.9 ± 1.4
(°C)	24.6 ~ 26.7	25.8 ~ 27.4	29.4 ~ 31.5	28.8 ~ 32.5	28.9 ~ 34.1	30.1 ~ 34.2	28.7 ~ 31.4
pH	8.0 ± 0.1	8.2 ± 0.2	7.9 ± 0.3	7.9 ± 0.3	7.7 ± 0.1	7.5 ± 0.2	7.8 ± 0.1
	8.0 ~ 8.1	8.0 ~ 8.3	7.7 ~ 8.2	7.6 ~ 8.1	7.7 ~ 7.8	7.4 ~ 7.7	7.7 ~ 7.9
DO	7.7 ± 0.2	7.6 ± 0.2	6.3 ± 1.2	6.1 ± 1.3	6.3 ± 0.4	6.3 ± 0.2	5.5 ± 0.7
(mg/L)	7.6 ~ 7.9	7.5 ~ 7.8	5.0 ~ 7.1	4.7 ~ 7.2	5.9 ~ 6.7	6.1 ~ 6.5	4.9 ~ 6.2
BOD	0.3 ± 0.2	0.5 ± 0.1	1.1 ± 0.7	2.3 ± 2.7	1.9 ± 1.6	2.0 ± 1.1	1.4 ± 0.3
(mg/L)	0.2 ~ 0.5	0.4 ~ 0.6	0.5 ~ 1.8	0.4 ~ 5.3	0.7 ~ 3.7	1 ~ 3.1	1.2 ~ 1.7
COD	2.0 ± 0.2	4.7 ± 0.8	5.0 ± 0.5	4.8 ± 0.3	4.4 ± 0.6	5.9 ± 3.3	16.2 ± 9.1
(mg/L)	1.8 ~ 2.2	4.0 ~ 5.6	4.5 ~ 5.5	4.5 ~ 5.0	3.7 ~ 4.9	3.5 ~ 9.6	9.9 ~ 26.6
SS	0.7 ± 0.3	2.5 ± 1.2	2.0 ± 0.7	2.3 ± 1.3	6.5 ± 7.2	5.7 ± 2.7	15.8 ± 5.2
(mg/L)	0.4 ~ 1.0	1.4 ~ 3.8	1.6 ~ 2.8	1.2 ~ 3.8	2.2 ~ 14.8	3.8 ~ 8.8	10.0 ~ 20.0
T-N	0.43 ± 0.14	1.47 ± 0.23	1.74 ± 0.35	2.57 ± 1.03	2.70 ± 0.62	2.35 ± 0.30	5.17 ± 2.16
(mg/L)	0.3 ~ 0.6	1.2 ~ 1.7	1.4 ~ 2.1	1.5 ~ 3.5	2.1 ~ 3.3	2.1 ~ 2.7	3.3 ~ 7.5
T-P	0.027 ± 0.009	0.068 ± 0.017	0.089 ± 0.025	0.160 ± 0.122	0.189 ± 0.121	0.193 ± 0.089	0.144 ± 0.046
(mg/L)	0.02 ~ 0.04	0.05 ~ 0.09	0.07 ~ 0.12	0.07 ~ 0.30	0.12 ~ 0.33	0.10 ~ 0.27	0.10 ~ 0.19
NH ₄ -N	0.007 ± 0.003	0.013 ± 0.006	0.013 ± 0.013	0.067 ± 0.095	0.066 ± 0.085	0.057 ± 0.033	0.244 ± 0.187
(mg/L)	0.005 ~ 0.010	0.007 ~ 0.018	0.006 ~ 0.028	0.007 ~ 0.176	0.012 ~ 0.164	0.035 ~ 0.095	0.045 ~ 0.416
NO ₃ -N	0.10 ± 0.04	0.50 ± 0.22	0.55 ± 0.26	1.05 ± 0.50	0.85 ± 0.40	0.97 ± 0.46	1.42 ± 0.05
(mg/L)	0.06 ~ 0.14	0.36 ~ 0.75	0.34 ~ 0.84	0.52 ~ 1.52	0.39 ~ 1.13	0.44 ~ 1.29	1.37 ~ 1.47
Chl-a	0.63 ± 0.21	6.67 ± 10.77	1.63 ± 1.72	1.63 ± 1.91	0.77 ± 0.51	6.97 ± 10.70	2.23 ± 1.21
(µg/L)	0.40 ~ 0.80	0.40 ~ 19.10	0.40 ~ 3.60	0.20 ~ 3.80	0.20 ~ 1.20	0.20 ~ 19.30	1.30 ~ 3.60

이른 아침에 상류에서 하류 방향으로 조사를 진행하여, 기온의 영향이 반영된 결과이며, 1차 시기인 7월 4일에서 3차 시기인 8월 5일로 갈수록 역시 기온의 상승 영향으로 수온 또한 증가를 보였다. pH는 조사 기간에 7.4~8.3으로 상류에서 하류로 가면서 점차 감소하는 경향을 보였다(Table 1, Fig. 3). 이는 환경정책기본법 시행령 제2조 관련 환경기준에서 규정한 하천의 생활환경 기준에서 매우 좋음(Ia) 등급에 해당된다.

DO는 조사기간에 4.7~7.9 mg/L 분포를 보였으며, 대체로 상류에서 하류로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보였으나, 1차 조사시기인 7월 4일에는 부곡교 정점(ST-3)과 온천장역 정점(ST-4)에서 3차례의 조사기간중 가장 낮은 4.7~5.0 mg/L를 보였다. 이 시기에 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서도 4.9 mg/L로 낮은 농도를 보였다(Fig. 3). DO의 5.0 mg/L 이하는 하천의 생활환경기

준에서 약간 좋음(II) 등급 이하에 해당된다. 온천천에서 조사기간 중 DO가 가장 낮은 분포를 보였던 부곡교 정점(ST-3)은 건너천이 유입되는 지점의 아래에 위치해 있으며, 온천장역 정점(ST-4)은 동래천이 유입되는 지점의 아래에 위치해 있다. 1차 조사시기인 7월 4일은 6월 24일부터 6월 29일까지 총 240 mm 강수 후 4일이 경과된 날로서 소하천으로 유입된 도시하수 또는 다량의 강수에 의하여 도로 위의 비산먼지를 포함한 많은 비점원 오염원으로부터 유기물질을 포함한 오염물의 유입에 의한 수층의 용존산소가 일시적으로 소모된 결과로 판단된다. 이들 지점에서의 낮은 DO 농도는 간혹 초기 우수기에 극도로 낮은 DO 농도로 인한 물고기의 폐사로 이어지기도 하였다(KJAD, 2017; KJNP, 2019; Busan.com, 2019).

BOD는 3차례의 조사 기간에서 0.2~5.3 mg/L, 평균

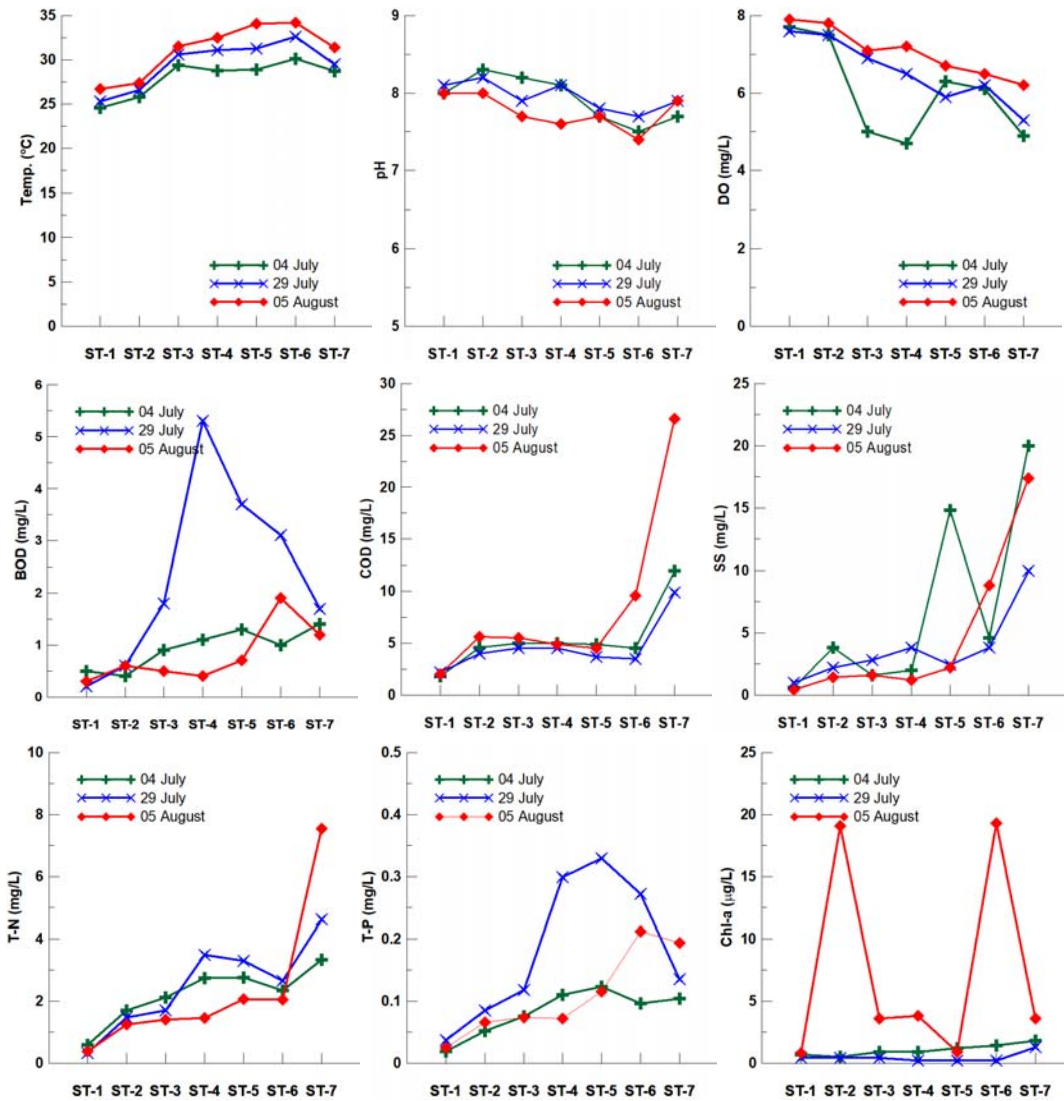


Fig. 3. Temporal-spatial distributions of environmental variables for water at the Oncheon Stream and the Suyoung River in summer rainy season, 2019.

1.33±1.27 mg/L 로 2차 조사시기인 7월 29일에 온천지역 정점(ST-4)에서 가장 높은 값을 보였으며 이후 하류로 가면서 점차 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 3). 이는 온천지역 정점(ST-4)보다 상류에 위치한 부곡교 정점(ST-3)사이의 동래천에서 유입한 분해가 쉽게 이루어지는 도시하수 기원인 다량의 유기물 유입이 있었을 것으로 판단된다. 2차 조사시기의 온천지역 정점(ST-4)에서의 BOD농도는 하천의 생활환경기준에서 보통(III) 등급

에 해당된다. 1차 및 3차 조사시기에서는 상류인 청룡2호교 정점(ST-1)에서 온천천의 하류로 가면서 BOD 농도가 대체로 증가하는 경향을 보였으며, 전체적으로 0.3 ~ 1.9 mg/L 로 하천의 생활환경기준의 매우 좋음(Ia)과 좋음(Ib) 등급에 해당된다.

COD은 청룡2호교 정점(ST-1)에서 조사기간에 2.0± 0.2 mg/L로 하천의 생활환경기준의 매우 좋음(Ia) 등급의 경계에 해당되는 값을 보였으며, 이후 하류로 내려

오면서 태광산업 인근 정점(ST-2)에서 세병교 정점(ST-5)까지 4.4~5.0 mg/L 로 청룡2호교 정점(ST-1)에 비하여 약 2배 정도 증가하였으며, 수영강과 합류하기 직전인 연안교 인근 이섭교 정점(ST-6)에서는 5.7±2.7 mg/L로 다시 증가하여 하천의 생활환경기준에서 보통(III) 등급에 해당되는 값을 나타내었다(Fig. 3). 수영강에서 온천천과 합류 지점 인근에 위치한 원동교 정점(ST-7)에서는 16.2±9.1 mg/L로 매우 나쁨(VI)에 해당되는 등급을 보였다. 특히, 원동교 정점(ST-7)에서는 7월 4일과 7월 29일의 조사 시기와 비교하면 8월 5일에 가장 높은 26.6 mg/L의 COD 농도를 보였다.

조사정점들에서의 COD:BOD의 비는 7월 4일과 29일의 조사시기에는 온천천의 상류부에 해당되는 청룡2호교 정점(ST-1)과 태광산업 인근 정점(ST-2)에서 11.0~11.5로 최고값을 나타내었고, 이후 하류방향으로 내려가면서 점차 감소하는 경향을 보여, 이섭교 정점(ST-6)에서는 1 정도로 COD와 BOD 사이에 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 4). 국내의 도심 하천에서는 최근 수십년간 난분해성 유기물 혹은 COD의 증가가 보고되기도 하였다(Joo et al., 1997; Chang, 2008; Lee and Choi, 2009). 그러나, 하계 우수기에 온천천으로 유입되는 유기물의 특성은 도시의 유역을 지나면서 오히려 난분해성 유기물에 비하여 생물학적으로 쉽게 분해가 이루어지는 유기물의 유입이 이루어져 이는 우수기에 하수처리장에서 처리가 이루어지지 않은 생물학적 분해가 용이한 유기물로 구성된 도시하수 유입에 의한 영향으로 사료된다. 반면에 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서는 COD:BOD 비가 온천천 하류인 이섭교 정점(ST-6)보다 3차례의 조사에서 항상 높은 값을 보여, 온천천과 수영강으로 유입되는 유기물의 근원이 다른 특성을 가지고 있다는 것을 보여준다. 이는 수영강 상류지역에 위치한 화훼단지 등에서 사용되는 유기퇴비의 유실에 의한 영향에 의한 것일 수도 있다. 일반적으로 유기성퇴비는 장기간의 퇴비화를 통하여 난분해성 유기물질을 다량 함유하고 있다(Owen et al., 1993).

SS는 3차례의 조사 기간에서 0.4~20 mg/L, 평균 6.1±5.3 mg/L 으로 청룡2호교 정점(ST-1)에서 하류 방향으로 가면서 점차 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 조사 기간의 SS의 전체적인 농도 범위는 하천의 생활환경 기준에서 매우 좋음(Ia)에서 보통(III)에 해당되는 25

mg/L 이하에 해당된다.

T-N은 조사기간에 온천천의 청룡2호교 정점(ST-1)에서 하류의 연안교 인근 이섭교 정점(ST-6)으로 가면서 정점 평균이 0.43±0.14 mg/L 에서 2.70±0.62 mg/L 로 점차 증가하는 경향을 보였으나, 7월 4일과 7월 29일에는 조사정점 중 가장 하류에 위치한 이섭교 정점(ST-6)에 비하여 온천지역 정점(ST-4)과 세병교 정점(ST-5)에서 다소 더 높은 값을 나타내었다(Fig. 3). 수영강에 위치한 원동교 정점(ST-7)에서는 평균 5.17±2.16 mg/L로 온천천 하류의 이섭교 정점(ST-6)에 비하여 약 2배 정도 높았다(Table 1, Fig. 3). 국내 하천의 환경기준에는 T-N을 포함한 질소성분의 하천수 중의 환경기준은 규정되어 있지 않다.

T-P는 T-N과 달리 조사시기 및 정점별 다른 농도 분포 경향을 보였다. 3차례의 조사에서 청룡2호교 정점(ST-1)에서 0.027±0.009 mg/L로 가장 낮은 농도를 보였으며(Table 1), 1차 조사인 7월 4일에는 온천천의 하류로 가면서 점차 증가하여 세병교 정점(ST-5)에서 0.124 mg/L로 가장 높았다. 수영강에 가까운 이섭교 정점(ST-6)에서는 세병교 정점(ST-5)에 비하여 다소 감소한 0.096 mg/L를 보였다. 2차 조사시기인 7월 29일에는 온천천에서는 하류로 가면서 점차 증가하여 온천지역 정점(ST-4), 세병교 정점(ST-5)과 이섭교 정점(ST-6)에서 0.272~0.329 mg/L를 보였고, 부곡교 정점(ST-3)에서의 0.118 mg/L에 비하여 약 2~3배 증가된 값들을 보였으며 가장 높은 T-P의 농도를 보였던 정점은 온천지역 정점(ST-4)이었다. 3차 조사시기인 8월 5일에는 청룡교 정점(ST-1)에서 하류로 갈수록 점차 증가하여 온천천 조사 정점중 가장 하류에 위치한 이섭교 정점(ST-6)에서 0.212 mg/L로 세병교 정점(ST-5)의 0.115 mg/L에 비하여 약 2배 정도 증가한 값을 보였다. T-N은 온천천에 비하여 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서 가장 높은 값을 보인 반면, T-P의 경우는 2차와 3차 조사시기에서 수영천이 인접한 이섭교 정점(ST-6)에서의 농도는 0.212~0.272 mg/L 보다 낮은 0.135~0.194 mg/L의 값들을 보였다(Fig. 3). T-P의 국내 환경기준으로 설정된 하천의 생활환경 기준에서 등급 구분은 청룡2호교 정점(ST-1)이 좋음(Ib), 태광산업 인근 정점(ST-2)과 부곡교 정점(ST-3)에서 약간 좋음(II), 그 외 정점들에서 평균적으로 보통(III)의 범위에 있었으며, 2차 조사시기인 7월 29일

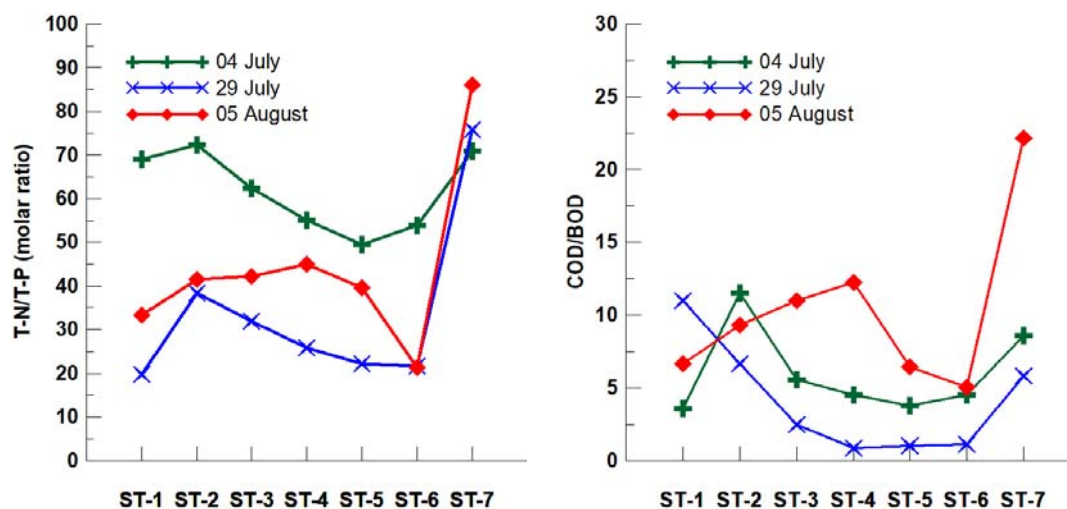


Fig. 4. Temporal-spatial distributions of the ratio of total nitrogen and total phosphorus (T-N/T-P) and the ratio of chemical oxygen demand and biological oxygen demand (COD/BOD) in the Oncheon Stream and the Suyoung River water in summer rainy season, 2019.

조사에서는 온천장역 정점(ST-4), 세병교 정점(ST-5)과 이섬교 정점(ST-6)에서 0.272~0.329 mg/L로 약간나뭇(IV)과 나뭇(V)의 등급을 보였다.

T-N:T-P 비는 온천천에서는 상류에서 인구가 밀집한 도심을 지나면서 점차 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4). 주택과 도로가 밀집한 도심 주거지역을 흐르는 하천에는 일반적으로 질소 계열보다는 인이 상대적으로 더 많이 유출되어 하천으로 유입되는 것으로 알려져 있다(Hobbie et al., 2017). 한편, 수영강 원동교 정점(ST-7)에서는 T-N:T-P 비가 3차례의 조사기간에서 항상 71-86 범위의 값을 나타내었다. 이는 수영강 상류지역에 위치한 화훼지역에서 사용되는 질소비료의 유실에 의한 영향으로 사료된다.

NH₄-N은 1차 조사시기인 7월 4일과 3차 조사시기인 8월 5일에 청룡2호교 정점(ST-1)에서 0.005 mg/L, 이섬교 정점(ST-6)에서 0.040 mg/L로 완만하게 증가하는 경향을 보였으나, 2차 조사시기인 7월 29일에는 온천장역 정점(ST-4)과 세병교 정점(ST-5)에서 0.164~0.176 mg/L로 그 이전 정점인 부곡교(ST-3)에서의 0.028 mg/L에 비하여 몇 배 증가된 농도를 보였다(Table 1). 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서는 조사기간 중에 0.045~0.416 mg/L로 온천천의 다른 정점들에 비하여

높은 농도를 보였고, 시기적으로는 8월 5일에 가장 높았다. NO₃-N의 경우, 청룡2호교 정점(ST-1)에서 조사기간 평균 0.10±0.04 mg/L에서 하루로 갈수록 점차 증가하였으며, 가장 높은 값을 보인 정점은 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서 1.42±0.05 mg/L였다(Table 1, Fig. 3). 조사시기별 가장 높은 값은 8월 5일 온천장역 정점(ST-4)에서 1.515 mg/L였다. T-N에서 NH₄-N 성분이 차지하는 비율은 조사기간 중에 모든 정점에서 2.0±1.8%, NO₃-N가 차지하는 비율은 35.7±20.9%로, T-N에서 용존성 유기물질에 질소 성분이 많은 부분 포함되어 있는 것으로 분석되었다. NO₃-N와 NH₄-N의 비율은 전체 정점에서 평균 46.5±54%로 용존성 무기질소 성분에서는 NO₃-N가 NH₄-N에 비하여 매우 높아 온천천에서의 하절기 우수기간 중 수질은 호기성 상태에 있다는 것을 나타내어 준다.

Chl-a의 경우, 1차 조사시기인 7월 4일에는 청룡2호교 정점(ST-1)에서 온천장역 정점(ST-4)까지 0.5~0.9 µg/L로 1 µg/L 미만, 세병교 정점(ST-5)에서 원동교 정점(ST-7)에서는 1.2~1.8 µg/L의 분포를 보였다. 2차 조사시기인 7월 29일에는 원동교 정점(ST-7)에서 1.3 µg/L으로 가장 높았으며, 그 외 정점들에서는 0.2~0.4 µg/L의 낮은 Chl-a 값을 보였다. 3차 조사시기인 8월 5일에는

Table 2. Environmental variables in sediment summarized as the mean, standard deviation and range per dry weight for each sampling station

Parameter	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7
IL	1.2 ± 0.4	1.6 ± 0.4	1.0 ± 0.3	0.8 ± 0.1	1.6 ± 0.5	2.7 ± 2.4	1.2 ± 0.7
(%)	0.8 ~ 1.6	1.1 ~ 1.9	0.8 ~ 1.4	0.7 ~ 0.9	1.2 ~ 2.1	1.3 ~ 5.4	0.7 ~ 2.0
COD	0.46 ± 0.06	0.34 ± 0.17	0.14 ± 0.14	0.25 ± 0.08	0.39 ± 0.08	0.52 ± 0.19	0.32 ± 0.08
(%)	0.42 ~ 0.53	0.15 ~ 0.46	0.04 ~ 0.30	0.17 ~ 0.32	0.32 ~ 0.47	0.36 ~ 0.73	0.24 ~ 0.39
TOC	0.30 ± 0.15	0.56 ± 0.09	0.37 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.44 ± 0.09	0.76 ± 0.40	0.68 ± 0.30
(%)	0.21 ~ 0.47	0.51 ~ 0.67	0.35 ~ 0.41	0.13 ~ 0.17	0.35 ~ 0.53	0.31 ~ 1.05	0.36 ~ 0.95
T-N	17.4 ± 13.6	17.3 ± 5.7	22.2 ± 6.5	31.9 ± 17.9	31.3 ± 13.7	135.9 ± 140.1	41.4 ± 55.1
(mg/kg)	8.9 ~ 33.1	11.6 ~ 22.9	17.1 ~ 29.6	15.3 ~ 50.9	17.5 ~ 44.9	37.5 ~ 296.3	9.3 ~ 105.0
T-P	2.29 ± 0.57	4.35 ± 0.25	5.74 ± 1.44	6.76 ± 1.50	8.32 ± 0.58	42.70 ± 54.5	6.47 ± 4.90
(mg/kg)	1.85 ~ 2.93	4.11 ~ 4.62	4.46 ~ 7.31	5.79 ~ 8.48	7.89 ~ 8.98	9.66 ~ 105.6	2.27 ~ 11.85
T-Chl	1.63 ± 0.81	4.07 ± 0.55	2.13 ± 0.90	3.03 ± 1.66	3.57 ± 0.68	3.10 ± 1.23	3.57 ± 1.68
(mg/kg)	0.90 ~ 2.50	3.70 ~ 4.70	1.10 ~ 2.70	1.50 ~ 4.80	2.80 ~ 4.10	1.70 ~ 4.00	2.50 ~ 5.50

태광산업인근 정점(ST-2)과 이섭교 정점(ST-6)에서 19.1과 19.3의 매우 높은 Chl-a 값이 나타났고, 그 외 부곡교 정점(ST-3), 온천장역 정점(ST-4)과 원동교 정점(ST-7)에서 3.6~3.8 $\mu\text{g/L}$ 의 농도 분포를 보였다(Table 1, Fig. 3). 우리나라 하천에서는 생활환경 기준으로서 Chl-a가 포함되어 있지 않지만 호소에서 설정된 기준에 따라, 8월 5일의 태광산업 인근 정점(ST-2)과 이섭교 정점(ST-6)에서의 Chl-a의 값은 14~20 $\mu\text{g/L}$ 구간인 보통(III) 등급에 해당되며 전체 조사 기간동안 다른 정점들에서의 농도는 5 $\mu\text{g/L}$ 이하의 매우좋음(Ia) 구간에 해당된다.

3.2. 수질지수평가

하천 수질은 수자원 관리에서 중요한 문제들 중의 하나이다. 1960년대 이후 하천에서 수질상태를 평가하기 위한 도구로서 수질지수(WQI: Water Quality Index)들을 사용하여 왔다(Sutadian et al., 2016). 수질지수는 수질을 간단한 형태로 표현하는 차원이 없는 수로서, 선택한 항목들의 측정값을 집계한 형태로 1965년 하천의 수질 상태를 정의하기 위하여 제안된 바 있다(Horton, 1965). 넓은 의미에서 수질은 물리적, 화학적, 생물학적 세가지 범주로 분류될 수 있으며, 각 범주는 여러 항목들을 포함한다(Swamee and Tyagee, 2007). 본 연구에서는 국내 환경정책기본법 시행령 제2조 관련 별표, 환경기준에서 규정한 하천의 생활환경 기준 항목들 중 측정된

물리·화학 항목들을 대상으로 온천천의 수질상태를 파악하기 위한 수질지수를 적용해 보았다. 수질지수를 환산하는 방법은 그동안 다양하게 개발되어 왔으나, 여기서는 Bascarón(1979)가 개발한 방법을 사용하였다. 이 방법은 식(1)에서와 같이 선택된 항목들의 최종 합산된 값에서 선택된 항목들의 기중치를 나눈 값으로 표현된다. 이러한 집계 방법은 수질지수 평가에 널리 사용되어 왔으며, 추가로 수정되어 사용하기도 하였다(Debels et al., 2005; Abrahao et al., 2007; Sanchez et al., 2007; Kocer and Sevgili, 2014)

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

여기서 WQI는 집계된 지수, n 은 집계에 사용된 항목의 수, C_i 는 각 항목별 정규화된 값, P_i 는 항목들의 상대적 기중치이다. 수질지수 계산에는 목적에 따라 측정되는 항목의 수와 항목들에 대한 기중치를 주는 방법들이 다양하게 개발되어 왔다(Sutadian et al., 2016). 여기서는 국내 환경기준에서 규정한 하천의 생활환경 기준 등급이 구분되어 있는 항목들 중 측정이 이루어진 pH, DO, BOD, COD, SS, T-P의 6개 항목을 사용하였으며, 이들은 수질의 물리·화학적 상태를 파악하기 위한 항목들로

Table 3. Water quality indices (WQIs) in the sampling stations of Oncheon stream during summer rainy season, 2019

Station	2019-07-04		2019-07-29		2019-08-05	
	WQI	Grade	WQI	Grade	WQI	Grade
ST-1	100	Excellent (Ia)	97	Good (Ib)	100	Excellent (Ia)
ST-2	93	Good (Ib)	93	Good (Ib)	92	Good (Ib)
ST-3	90	Good (Ib)	83	Fair (II)	90	Good (Ib)
ST-4	78	Medium (III)	72	Medium (III)	94	Good (Ib)
ST-5	82	Fair (II)	75	Medium (III)	94	Good (Ib)
ST-6	85	Fair (II)	78	Medium (III)	80	Fair (II)
ST-7	65	Medium (III)	77	Medium (III)	76	Medium (III)

구성되어 있다.

각 항목들에 대한 정규화된 값은 매우 좋음(Ia)을 100, 매우 나쁨(VI)을 0으로 그리고, 좋음(Ib)을 90, 약간 좋음(II)을 80, 보통(III)을 60, 약간 나쁨(IV)을 40, 나쁨(V)을 20으로 설정하고, 항목별 상대적 가중치를 동일하게 두었다. 식(1)을 적용하여 환산된 조사정점들에서의 시기별 수질지수는 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다.

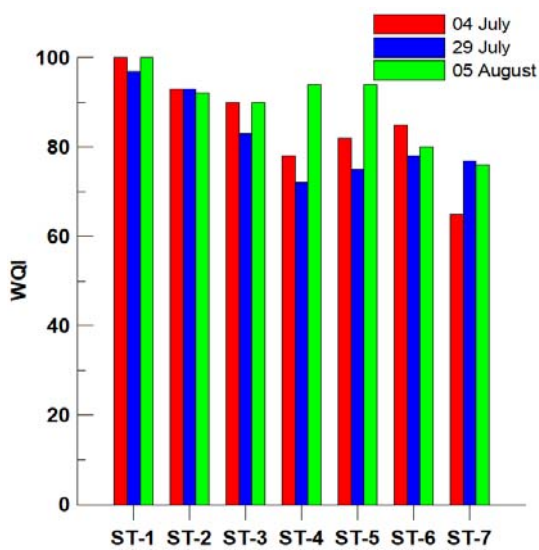


Fig. 5. Water quality indices (WQIs) in the sampling stations of the Oncheon Streams during summer rainy season, 2019.

온천천에서 6개의 수질항목을 대상으로 계산된 수질지수(WQI)값은 7월 4일 조사에서 78~100 범위로 청룡 2호교 정점(ST-1)에서 100으로 매우 좋음(Ia), 태광산업

인근 정점(ST-2)과 부곡교 정점(ST-3)에서 90~93으로 좋음(Ib), 온천장역 정점(ST-4)에서 78로 보통(III), 세병교 정점(ST-5)과 이섭교 정점(ST-6)에서 82~85로 약간 좋음(II), 수영강 원동교 정점(ST-7)에서 65로 보통(III)의 수질지수 분포를 보였다. 동래천이 유입되는 지점의 인접 하류에 위치한 온천장역 정점(ST-4)에서 수질지수를 저하시키는 항목으로는 DO와 T-P로 DO는 5.0 mg/L 미만의 약간 나쁨(IV), T-P는 0.1 mg/L 보다 높고 0.2 mg/L 이하의 보통(III) 등급을 보여, 우수에 의한 인근지역에서의 영양물질의 유입과 용존산소 저하 현상에 대한 집중적인 모니터링과 영양물질 유입을 차단시키기 위한 대책이 필요한 것으로 사료된다. 수영강 원동교 정점(ST-7)에서는 DO가 약간 나쁨(III), COD가 12 mg/L로 매우 나쁨(VI) 등급을 보여 수영강에서는 유기물 오염에 집중적인 감시 및 대책이 요구된다.

7월 29일 조사에서는 청룡2호교 정점(ST-1)에서 부곡교 정점(ST-3)까지는 수질지수가 97~83으로 약간 좋음(II) 이상의 양호한 수질을 나타내었으며, 온천장역 정점(ST-4)에서는 보다 낮은 72, 보통(III)의 수질지수를 나타내었다. 특히, 동래천 유입 지점 아래에 위치한 온천장역 정점(ST-4)에서는 BOD와 T-P가 모두 약간 나쁨(IV)의 등급을 보여 도시하수에 포함된 유기물질 및 영양염류 유입을 차단하거나 관리하기 위한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

8월 5일 조사에서는 청룡2호교 정점(ST-1)에서 세병교 정점(ST-5)까지 100~90 범위의 수질지수 분포를 보였으며, 이는 매우 좋음(Ia)과 좋음(Ib)의 수질지수 등급에 해당된다. 이 시기에는 본 조사에서 온천천의 가장 하류에 위치한 이섭교 정점(ST-6)에서도 수질지수가 80

Table 4. Comparison of annual distribution for Ignition loss (IL), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (T-N) and total phosphorus (T-P) in the sediment of Oncheon and Suyoung Stream in summer rainy season, 2019

Station	Year	IL (%)	COD (%)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	Remarks
Wondong bridge (Suyoung River)	2016	1.72	0.48	1,874	958	BIHE (2017)
	2017	10.29	-	3,135	1,132	BIHE (2018)
	2018	2.55	-	2,261	1,478	BIHE (2019)
	2019	1.20	0.32	41	7	This study
Iseop bridge (Oncheon Stream)	2016	4.38	1.63	1,101	904	BIHE (2017)
	2017	6.38	-	4,247	1,309	BIHE (2018)
	2018	1.40	-	1,551	751	BIHE (2019)
	2019	2.70	0.50	136	43	This study

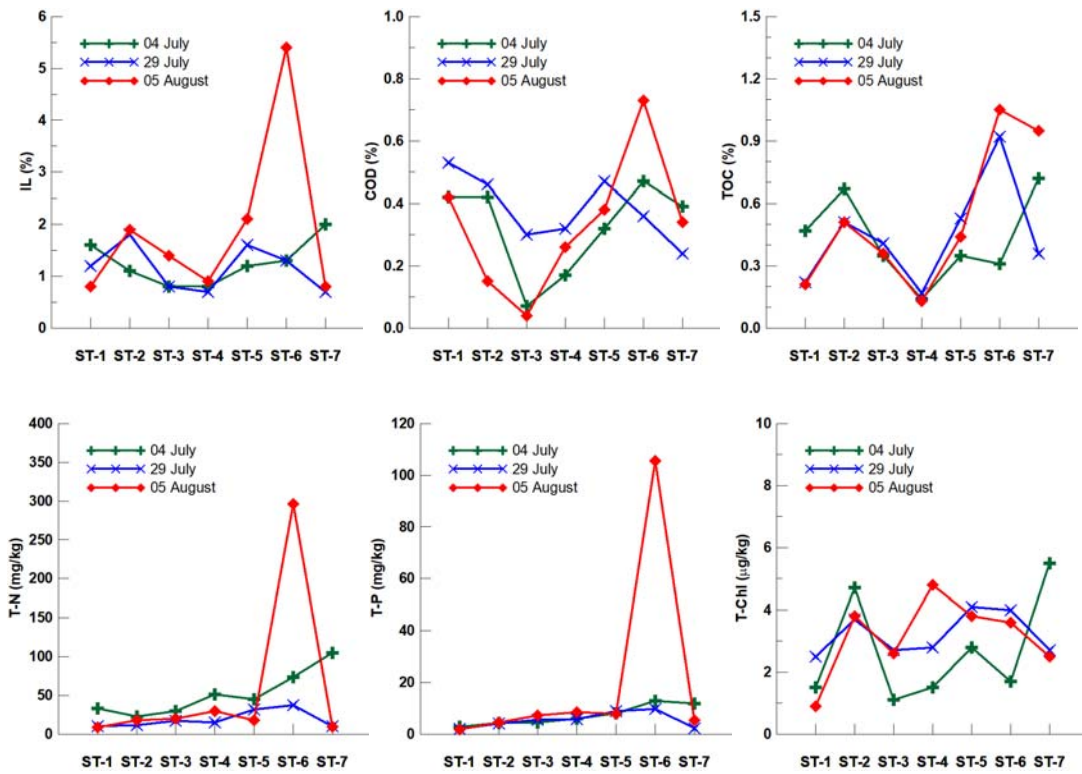


Fig. 6. Temporal-spatial distributions of environmental variables for sediment at the Oncheon Stream and the Suyoung River in summer rainy season, 2019.

으로 약간중음(II) 값을 보였다. 그러나 수영강 원동교 정점(ST-7)에서는 76으로 보통(III)에 해당되는 수질지수를 보였는데, 특히, COD가 17.4 mg/L로 매우나쁨

(VI) 등급을 보였다. 수영강 원동교 지점에서는 3차례의 조사에서 COD가 모두 나쁨(V)에서 매우나쁨(VI) 등급을 보여 온천천과 달리 수영강에서의 유기물 오염이 심각한

것으로 조사되었다.

3.3. 퇴적물 항목 분포 특성

퇴적물에서는 IL, COD, TOC, T-N, T-P와 T-Chl에 대하여 수질과 마찬가지로 동일한 시기에 채취된 퇴적물에서 분석하였다. 조사기간 정점별 각 항목들에 대한 농도 분포는 Table 2에, 조사시기별 정점들에서의 항목별 농도 분포 경향은 Fig. 6에 나타내었다.

IL은 3차례의 조사기간내 전체구간에 걸쳐서 0.7~5.4%의 분포를 보였으며, 3차 조사시기인 8월 5일에 온천천의 가장 하류에 위치한 정점인 이섭교 정점(ST-6)에서 가장 높았으며, 그 외 정점들에서는 3차례의 조사기간에 모두 2.1% 이하의 농도를 보였다(Fig. 6). 이는 부산광역시 보건환경연구원에서 매년 5월과 11월 2차례 조사하는 퇴적물 오염도 조사에서 나타난 2017년의 온천천 이섭교 및 수영강 원동교에서의 각각 평균인 6.38%, 10.29%(BIHE, 2018)에 비하여 매우 낮은 값을 보였으며, 2018년 조사에서의 2지점에서의 평균값인 1.40%, 2.55%(BIHE, 2019)와 매우 비슷한 농도분포에 해당된다(Table 4). 2017년 이후 온천천과 수영강 원동교 정점에서의 퇴적물 강령감량이 현저하게 낮아진 것은 2018년 상반기에 실시된 온천천과 수영강에서의 하천준설사업(BMC, 2018)으로 과거에 퇴적된 표층물질이 상당부분 제거된 결과로 사료된다.

퇴적물의 COD는 3차례의 조사기간에서 전체구간에 걸쳐서 0.04~0.73, 0.35±0.16%의 분포를 보였다. 퇴적물의 COD는 온천천에서는 상류의 청룡2호교 정점(ST-1)과 부곡교 정점(ST-3)구간에서는 하류 방향으로 감소하다가, 이후 이섭교 정점(ST-6)까지 다시 증가하는 추세를 보였다(Fig. 6). 본 연구에서 온천천과 수영강 원동교의 퇴적물에서 조사된 COD는 국가물환경측정망에서 연간 2차례 조사되고 있는 민락교와 수영교 사이의 정점인 수영강5 정점에서의 2015년에서 2018년까지의 4개년 동안 조사된 3.35±1.47%에(ME, 2020) 비하여 약 1/10배 정도 낮은 값에 해당된다.

TOC 농도는 조사기간에 0.13~1.05, 0.47±0.27%의 농도 분포를 보였다. 온천천의 상류에 위치한 청룡2호교 정점(ST-1)에서 0.21~0.47%의 농도분포는 하류로 내려가면서 태광산업 인근(ST-2)에서 다소 증가하다가 온천장역 정점(ST-4)까지 감소하는 추세를 보였다(Fig. 6).

온천장역 정점(ST-4)을 지나면서 온천천 하류에 해당되는 이섭교 정점(ST-6)까지는 다시 증가하는 추세를 보였다.

T-N 농도는 3차 조사시기인 8월 5일에 온천천의 하류에 해당되는 이섭교 정점(ST-6)에서 296 mg/kg 으로 3차례의 조사중 다른 정점의 8.9~105 mg/kg에 비하여 두드러지게 높은 농도를 보였다. 1차 조사시기인 7월 4일에 온천천의 상류에서 하류로 가면서 농도가 증가하는 경향을 보였으며, 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서 온천천 보다 높은 농도를 보였다. 이후 7월 29일과 8월 4일의 조사에서는 수영강 원동교 정점(ST-7)에서의 T-N 농도가 온천천 하류의 이섭교 정점(ST-6)에서의 농도보다 낮았다. 온천천의 2019년 하계의 퇴적물 중 T-N 농도 분포는 국가물환경측정망의 수영강5 정점에서 2015~2018년 기간동안 3,406 ±1,389 mg/kg에 비하여 수십분의 1 정도에 해당된다.

T-P 농도는 T-N 농도와 함께 정점별, 시기별로 동일하게 온천천의 상류에서 하류로 가면서 점차 증가하는 분포를 보였으며, 8월 4일 온천천 하류의 이섭교 정점(ST-6)에서 106 mg/kg으로 가장 높았으며, 그 외 정점들은 3차례의 조사에서 1.85~12.8 mg/kg의 분포를 보였다.

T-Chl 농도는 정점간의 뚜렷한 변화 특징 없이 0.9~5.5, 3.0±1.3 mg/kg 의 분포를 보였다. 퇴적물 중의 TOC:T-Chl 비는 271~3,800 으로 매우 높고 넓은 범위를 보였다. 부영양화된 호소와 연안해역에서의 TOC:T-Chl 비가 27~67인 것에 비하여 온천천 일대 퇴적물에서는 수십배 정도 높은 값에 해당된다(Riemann et al, 1989). 이는 우수기에 온천천 일대 퇴적물의 유기탄소가 생물 식물성플랑크톤 또는 부착조류로부터 기여한 정도가 매우 미약하다는 것을 암시한다.

4. 결론

2019년 하계 우수기에 3차례에 걸쳐서 온천천과 수영강 원동교의 비교 정점에서 수질 및 퇴적물에 대한 조사를 실시하였다. 수질의 경우, DO는 조사 기간에 동래천 등 소하천이 유입되는 정점의 아래 2개 정점인 온천장역, 세병교(ST-4,ST-5)에서 가장 낮은 4.7~5.0 mg/L를 보였다. BOD는 2차 조사시기인 7월 29일에 온천장역 정점

(ST-4)에서 5.3 mg/L로 가장 높은 값을 보였으며 이후 하류로 가면서 점차 낮아지는 경향을 보였다. 그러나, COD는 상류의 청룡2호교 정점(ST-1)에서 2.0 ± 0.2 mg/L로 가장 낮았으며, 이후 하류로 가면서 정점별 평균 값이 4.4~5.9 mg/L로 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나, 수영강 원동교 정점(ST-7)에서는 16.2 ± 9.1 mg/L로 온천천에 비하여 몇 배 높은 COD 값을 나타내었다.

COD:BOD 비는 7월 2차례 조사에서 상류의 청룡2호교, 태광산업 인근 정점(ST-1, ST-2)에서 11.0 정도로 가장 높았으며 이후 하류로 흘러가면서 점차 감소하여 온천천 하류의 이섭교 정점(ST-6)에서는 1.0 정도의 값을 보였다. 그러나, 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서의 COD:BOD 비는 5.8~22.2로 온천천 보다 매우 높아서 수영강과 온천천으로 유입되는 유기물의 종류가 상이하다는 것을 보여 주었다. 온천천의 경우, 생물학적 분해가 쉬운 도시하수의 영향을, 수영강의 경우는 상류 부식퇴비의 사용에 대한 난분해성 유기물의 영향을 암시한다.

T-N:T-P 비는 온천천의 상류에서 하류로 가면서 72에서 21로 대체로 감소하는 경향을 보였다. 그러나, 수영강 원동교 정점(ST-7)에서는 71~86으로 인접한 이섭교 정점(ST-6)에 비하여 몇 배 높았다. 이는 주거 밀집지역을 흐르는 온천천에서는 인의 상대적 유입이 많고, 수영강에서는 상류지역 화훼단지에서의 질소비료의 유실 영향을 암시한다.

온천천 수질평가를 위하여 6개의 수질항목들을 대상으로 계산된 수질지수(WQI)는 240 mm의 높은 강수 이후 4일이 경과된 7월 4일 조사에서 온천천 정점들에서 78(보통:III)~100(매우 좋음: Ia), 4일간 309.6 mm의 강수가 있는 지 5일이 경과되고 이후 7.3 mm의 약한 강수를 보인지 2일이 경과된 시점인 2차 조사시기인 7월 29일에는 72(보통: III)~97(좋음: Ib), 2차 조사시기 이후 7일이 경과하기까지 강수를 보이지 않았던 3차 조사일인 8월 5일에는 80(약간 좋음: II)~100(매우 좋음: Ia)을 보였다. 온천천에서는 전반적으로 우수기 집중호우가 있는 이후의 수질은 보통(III) 이상의 대체로 양호한 수질을 보였다. 온천천에서 수질지수를 저하시키는 항목으로는 DO와 T-P였으며, 특히 동래천이 유입되는 정점 인접 하류에서 나타났다. 온천천에서는 유입되는 지천의 도시하수 등의 관리가 요구된다. 수영강의 원동교 정점(ST-7)에서는 3차례의 조사에서 모두 보통(III)의 수질지수를

보였으며, 수질지수 하락에 가장 큰 기여는 COD인 것으로 나타나 수영강에서는 상류로부터 난분해성 유기물의 유입차단을 위한 집중적인 감시와 대책이 요구된다.

우수기 퇴적물에서 측정된 IL, COD, T-N, T-P는 각각 0.7~5.4(1.44 ± 1.01)%, 0.04~0.73(0.35 ± 0.16)%, 8.9~296(43 ± 63) mg/kg, 그리고 1.8~105.6(10.9 ± 21.9) mg/kg 의 분포를 보였다. 이는 2018년 상반기에 실시된 도심하천에서의 준설사업이 이루어지기 전인 2017년의 연평균 IL, T-N, T-P 들에 비하여 평균적으로 수분의 1에 해당되는 값이었다. 정점별 분포경향은 IL, COD, TOC 가 전반적으로 부곡교 정점(ST-3) 혹은 온천장역 정점(ST-4)에서 가장 낮아 이들 지역에 준설의 영향이 크게 나타났다. 그리고, 하계 집중호우가 종료되고 약 2주일이 경과된 8월 5일에 채취된 퇴적물에서는 온천천의 하류에 해당되는 이섭교 정점(ST-6)에서 IL, COD, T-N, T-P가 그 이전 2차례 실시된 조사시기 보다 현저히 높았으며, 이섭교 정점(ST-6)보다 상류에 위치한 정점들에 비하여 증가된 값을 보였다. 이는 우수기 이후 온천천 하류지역에는 도심지역으로부터 유입된 유기물 등의 축적이 이루어질 수 있다는 것을 시사하고 있다.

감사의 글

본 연구를 위하여 시료채취 및 현장조사에 수고해 주신 (주)대성기술단 해양부의 천지은, 최지호, 문병진 연구원과 실험실의 이선미 측정분석사, 양정희 측정분석사, 홍현아 연구원, 위수빈 연구원, 최윤정 연구원, 박성훈 연구원, 박상민 연구원 등 수고해 주신 관계자 여러분들께 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Abrahão, R., Carvalho, M., da Silva Junior, W. R., Machado, T. T. V., Gadelha, C. L. M., Hernandez, M. I. M., 2007, Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents, *Water SA*, 33, 459-466.
- Bascarón, M., 1979, Establishment of a methodology for the determination of water quality, *Boletín Informativo del Medio Ambiente*, 9, 30-51.
- Baschak, L. A., Brown, R. D., 1995, An Ecological framework

- for the planning, design and management of urban river greenways, *Landscape and Urban Planning*, 33, 211-225.
- Busan Institute of Health & Environment (BIHE), 2017, Report on water environment network operation result, 2016, <http://heis.busan.go.kr/data/data007.aspx>.
- Busan Institute of Health & Environment (BIHE), 2018, Report on water environment network operation result, 2017, <http://heis.busan.go.kr/data/data007.aspx>.
- Busan Institute of Health & Environment (BIHE), 2019, Report on water environment network operation result, 2018, <http://heis.busan.go.kr/data/data007.aspx>.
- Busan Metropolitan City (BMC), 2018, <http://www.busan.go.kr/nbtnews/1307137>.
- Busan Metropolitan City (BMC), 2019, <http://www.busan.go.kr/nbtnewsBU/1390483>.
- Busan Metropolitan City (BMC), 2020a, http://busan.grandculture.net/Contents?local=busan&dataType=01&contents_id=GC04213421.
- Busan Metropolitan City (BMC), 2020b, <https://www.busan.go.kr/environment/ahriver0303>.
- Busan.com, 2019, <http://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2019092219201771894>.
- Chang, H., 2008, Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea, *Water Research*, 42, 3285-3304.
- Chung, C. S., Kim, S. H., Kang, D. J., Park, Y. C., Yoon, C. H., Hong, G. H., 1999, A Study on the evolution of eutrophication in Masan bay by analyses of pigment derivatives from a sediment column, *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 4, 101-106.
- Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., Niell, X., 2005, Evaluation of water quality in the Chillan River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified Water Quality Index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 110, 301-322.
- Gardiner, J. L., 1997, River Landscapes and Sustainable Development: A Framework for Project Appraisal and Catchment Management, *Landscape Research*, 22, 85-114.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J. G., Bai, X. M., Briggs, J. M., 2008, Global change and the ecology of cities, *Science*, 319, 756-760.
- Hobbie, S. E., Finlay, J. C., Janke, B. D., Nidzgorska, D. A., Miletch, D. B., Baker, L. A., 2017, Contrasting nitrogen and phosphorus budgets in urban watersheds and implications for managing urban water pollution, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 4177-4182.
- Horton, R. K., 1965, An index number system for rating water quality, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37, 300-306.
- Joo, G. J., Kim, H. W., Ha, K., Kim, J. K., 1997, Long-term trend of the eutrophication of the lower Nakdong River, *Korean Journal of Limnology*, 30-Supplement, 472-480.
- Kim, M. H., Ji, H. S., Cho, J. G., Cho, S., 2018, Identification of red tide-causing organism and characteristics of red tide occurrence in the Oncheon down stream, *Busan, Journal of Korean Society on Water Environment*, 34, 285-292.
- Koçer, M. A. T., Sevgili, H., 2014, Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms, *Ecological Indicators*, 36, 672-681.
- Kookje News Paper (KJNP), 2019, <http://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=0300&key=20190729.22009013939>.
- Korea JoongAng Daily (KJAD), 2017, <https://news.joins.com/article/21840911>.
- Lee, H. W., Choi, J. H., 2009, Temporal analysis of trends in dissolved organic matter in Han River water, *Environmental Engineering Research*, 14, 256-260.
- Lee, Y. J., Kim, K. S., Park, J. O., Kim, Y. T., Cho, J. K., Yoo, P. J., Kim, K. G., 2014, Study on the red-tide formation at Oncheon stream, Busan, *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*, Daegu, 23, 595-597.
- Miller, L., Rowland, G., Williams, C. A., 2006, *Handbook for stream enhancement & stewardship*, The Izaak Walton League of America, 2nd ed., McDonald and Woodward Publishing Company, Newark, OH, 188.
- Ministry of Environment (ME), 2020, Water information system, <http://water.nier.go.kr/publicMain/mainContent.do>.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2018, Marine environmental process test standard, MOF-Notification, 2018-143.
- Nishijima, T., 1990, Growth characteristics of *Plagioselmis* sp. (strain 87) causing freshwater red tide in the lower part of the Nakasuji River, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 56, 353-359.
- Novarino, G., Lucas, I. A. N., 1993, Some proposals for a

- new classification system of the Cryptophyceae, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 111, 3-21.
- Owen, D. M., Amy, G. L., Chowdhury, Z. K., 1993, Characterization of natural organic matter and its relationship to treatability, *Foundation and American Water Works Association*, Denver, CO, 250.
- Riemann, B., Simonsen, P., Stensgaard, L., 1989, The carbon and chlorophyll content of phytoplankton from various nutrient regimes, *Journal of Plankton Research*, 11, 1037-1045.
- Sanchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., Garcia, M. G., Travieso, L., Borja, R., 2007, Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution, *Ecological Indicators*, 7, 315-328.
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., Perera, B. J. C., 2016, Development of river water quality indices-a review, *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 58.
- Swamee, P., Tyagi, A., 2007, Improved method for aggregation of water quality subindices, *Journal of Environmental Engineering*, 133, 220-225.
-
- CEO. Young-Hyeong Lee
Daesung Technology Engineering Co.
Doctor's course.
Department of Oceanography, Bukyung National University
lehy1028@hanmail.net
 - Professor. Chang-Ho Moon
Department of Oceanography, Bukyung National University
chmoon@pknu.ac.kr
 - Principal Researcher. Hyun-Jung Kang
Daesung Technology Engineering Co.
khj0214@gmail.com
 - Researcher. Seong-Ryul Choi
Daesung Technology Engineering Co.
dsetec@hanmail.net
 - Principal Research Scientist. Suk-Hyun Kim
Marine Environmental Research Center, Korea Institute of
Ocean Science & Technology
shkim@kiost.ac.kr