

Research Article



CrossMark

Open Access

온천천내 수질 및 Cryptomonads 분포의 시기별 변화

정태욱¹, 정선영^{1**}, 김민정¹, 최유정¹, 조은정¹, 정재은¹, 서동철², 박종환^{3*}

¹부산광역시 보건환경연구원, ²경상국립대학교 환경생명화학학과 & 농업생명과학연구원, ³동아대학교 생명자원산업학과

Seasonal Variation of Water Quality and Cryptomonads Distribution in Oncheon River

Tae-Uk Jeong¹, Sun-Young Jeong^{1**}, Min-Jeong Kim¹, Yoo-Jeong Choi¹, Eun-Jeong Cho¹, Jae-Eun Jeong¹, Dong-Cheol Seo² and Jong-Hwan Park^{3*} (¹Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan 46616, Korea, ²Department of Applied Life Chemistry & Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, ³Department of Life Resources Industry, Dong-A University, Busan 49315, Korea)

Received: 9 August 2022/ Revised: 25 August 2022/ Accepted: 30 August 2022

Copyright © 2022 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

ORCID

Tae-Uk Jeong
<https://orcid.org/0000-0002-0249-242X>

Sun-Young Jeong
<https://orcid.org/0000-0003-2082-6347>

Min-Jeong Kim
<https://orcid.org/0000-0002-5621-2833>

Yoo-Jeong Choi
<https://orcid.org/0000-0003-3425-1134>

Eun-Jeong Cho
<https://orcid.org/0000-0002-1635-4845>

Jae-Eun Jeong
<https://orcid.org/0000-0002-9051-283X>

Dong-Cheol Seo
<https://orcid.org/0000-0001-8515-0670>

Jong-Hwan Park
<https://orcid.org/0000-0001-7296-0439>

Abstract

BACKGROUND: Recently, the inflow of nonpoint pollutants into rivers caused by rapid urban and industrialization promotes the proliferation of algae, which causes eutrophication of rivers. This study was conducted to evaluate the seasonal variation of water quality characteristics and cryptomonads growth in the Oncheon River.

METHODS AND RESULTS: The water quality and distribution characteristics of cryptomonads in the Oncheon River were investigated monthly for 12 months from January 2021. The cell number of cryptomonads was in-

tensively developed in January-April, and it decreased sharply in the summer with heavy rainfall. In particular, cryptomonads moved to the downstream side of the river depending on the time, and as a result, significant differences were shown for each investigation point. The Korean trophic state index (Tsi_{KO}) in Oncheon River was classified as eutrophy all year round, indicating that cryptomonads can grow year-round. Distribution characteristics of cryptomonads in Oncheon River showed high correlations with DO ($r=0.678$), BOD ($r=0.826$) and chlorophyll-a ($r=0.613$) in water.

CONCLUSION(S): In order to reduce cryptomonads in the Oncheon River, it is judged that a complex countermeasure considering the residence time, insolation and precipitation along with water quality factors is required.

Key words: Algae, Cryptomonads, Eutrophication, Korean trophic state index, Non-point sources

* Corresponding author: Jong-Hwan Park
Phone: +82-51-200-7512; Fax: +82-51-200-7505;
E-mail: zoqlsqkr@dau.ac.kr

** Co-corresponding author: Sun-Young Jeong
Phone: +82-51-309-2917; Fax: +82-51-309-2969;
E-mail: jsy0510@korea.kr

서론

비점오염원은 농경지, 축산농가, 퇴적지, 광산부지, 도로 및 철도와 같은 불특정적인 장소로부터 배출되는 오염원을 의미한다. 특히 비점오염원에서 배출되는 오염물질들은 집중강우에 의해 인근 수계로 유입되며, 이와 같은 오염물질은 다량의 질소 및 인과 같은 영양물질을 포함하고 있기 때문에 호소 및 하천내 식물성 플랑크톤의 증식인자가 된다[1,2]. 호소 및 하천의 식물성 플랑크톤의 증식은 부영양화의 원인이 되며, 수중의 용존 산소 농도를 감소시켜 수생생태계의 안정성과 다양성을 저해한다[3]. 뿐만 아니라 식물성 플랑크톤의 자체 독성으로 어패류를 폐사시키거나 조류를 먹이로 섭취하는 생물의 체내에 독성물질을 축적 시킴으로써 먹이연쇄과정에서 축적된 독성물질은 인간의 건강을 직접적으로 위협한다[4].

이러한 이유에서 비점오염원으로 유출되는 오염물질들을 저감하기 위하여 다양한 연구가 수행중에 있으나, 비점오염원의 특성은 광범위한 지역에서 산발적으로 오염물질이 유출되기 때문에 이들을 제어 및 관리하기가 어렵다[5]. 또한 집중강우로 인해 유실되는 비점오염원 오염물질들은 공간적 및 시간적 차이가 있기 때문에 명확한 오염물질의 농도 및 배출량을 예측하는데 어려움이 있다. 이에 많은 연구자들은 조류 증식의 주요 원인이 되는 비점오염원 오염물질을 제거하기 위한 기술개발과 수질관리적 측면에서 이들을 궁극적으로 통제할 수 있는 공간적 및 시간적 데이터 베이스에 축적에 많은 초점이 맞추어져 있다[6,7].

Kim 등[8]은 부산광역시에 소재한 온천천에서 2010년부터 해마다 갈색편모조류(*cryptomonads*)에 의한 적조가 발생된다고 보고하였다. 온천천은 부산지역 도심내의 대표적인 하천으로, 금정구, 동래구 및 연제구의 3개지역에 연결되어 있으며, 14개의 소하천으로 구성되어 있다. 특히 온천천으로 유입되는 비점오염물질은 도로, 공사장 및 주택가에서 집중강우에 의해 지배적인 영향을 받으며, 이는 농촌지역 및 축산농가에서 하천으로 유입되는 비점오염물질과 성상 및 농도적인 측면에서 차이가 있다. 또한 온천천으로 유입된 비점오염물질은 지형학적 및 수리학적 특성상 바다로 쉽게 배출되지 못하고 정체수역이 발생되어 적조가 발생한 것으로 예측되었다[9]. 이러한 이유로 하천의 색이 붉게 변하고, 물고기 폐사, 악취 및 심미적 불쾌감을 조성하는 등 시민들로 하여금 수질 오염으로 오인할 수 있다. 최근 온천천에 대한 영양물질의 분포특성이 적조 플랑크톤인 갈색편모조류 증식에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 보고가 되었지만, 이는 동절기에만 초점을 맞추어 수행되었을 뿐 시기별 및 계절별에 대한 영향은 보고되지 않았다. 온천천 내에 갈색편모조류의 발생이 겨울철에 집중적으로 발생한다 할지라도, 안정적인 하천의 수질관리와 관련 오염물질을 제어/제거하기 위해서는 시기별 하천내 영양염류의 분포특성과 조류발생의 상관관계를 구명하는 것이 중요한 인자가 될 것이다.

이에 본 연구에서는 시기별 및 계절별 수질내에 영양염류의 함량이 조류증식에 어떠한 영향을 미치는지에 상관관계를

분석하고, 부영양화 정도를 평가하여 온천천 수질 관리대책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

조사지점 및 조사시기

온천천은 총 유역면적은 56.28 km²이며 하천연장은 13.24 km, 유역인구 672천여명으로, 수영강 유역의 가장 큰 지류이며, 금정산 범어사 계곡에서 발원하여 금정구, 동래구, 연제구 등 3개구의 밀집주거지역을 관류하여 세병교 지점을 기점으로 남동방향으로 흘러 들어가 수영강으로 유입된다. 또한, 온천천 수질개선을 위하여 2005년부터 온천천 최상류 지역인 청룡2호교 지점에 낙동강 유지용수를 일 평균 30,000~50,000 m³을 공급하고 있다. 이에 온천천내 수질학적 특성과 갈색편모조류의 발생량 조사를 위한 시료는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 비점오염물질의 공간적 이동 및 배출 특성을 고려하여 온천천 [연안교(ST1), 연산교(ST2), 안락교(ST3) 및 수영강합류부(ST6)] 및 수영강 [세월교(ST4), 원동교(ST5) 및 과정교(ST7)]에서 채취하였으며, 시료의 대표성을 확보하기 위하여 7개 지점의 샘플은 혼합하였다. 시료는 연구기간인 2021년 1월부터 12개월간 채취하였으며, 4L의 채수통을 이용하여 표층수를 채취하였다.

수질분석

2021년 1월부터 12월까지 채취된 시료의 수질은 수질오염공정시험에 따라 분석되었다. 수온, pH, 전기전도도(EC) 및 용존산소량(DO)은 현장측정기를 이용하여 분석하였으며, 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD) 및 부유물질(SS)은 수질오염공정시험법에 따라 분석되었다. 샘플의 총 질소 및 총인 분석은 자동총질소/총인 분석기(JP/ACCS, Bltec, Germany)에 의해 분석되었다. 샘플의 클로로필-a(Chl-a)의 함량은 가시광선-자외선 흡광광도계(Cary100, Varian, USA)에 의해 분석되었다.

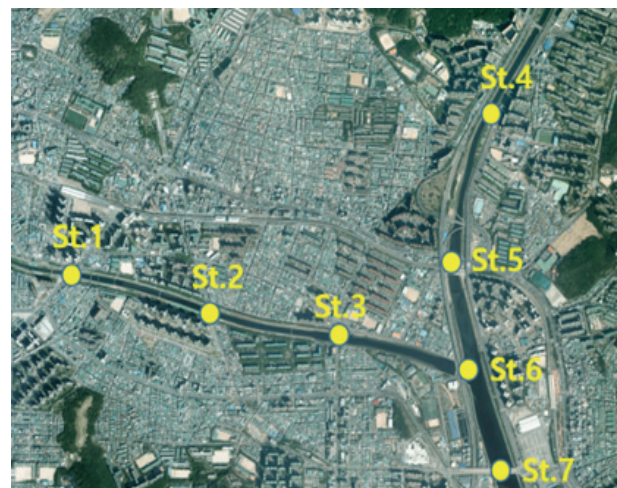


Fig. 1. Sampling site in Oncheon River.

부영양화 지수

조상 대상 하천의 영양단계를 평가하기 위하여 국립환경과학원에서 개발한 한국형 부영양화지수(TSI_{KO})를 이용하였으며, 이 지수를 도출하기 위한 관계식은 Eq.(1)에서 보는 것과 같다.

$$TSI_{KO} = 0.5TSI_{KO}(COD) + 0.25TSI_{KO}(Chl-a) + 0.25TSI_{KO}(TP) \quad (1)$$

식물성 플랑크톤 개체수

적조생물을 포함한 식물성 플랑크톤의 개체수 조사는 현장에서 채취한 샘플 1L를 루골(Lugol) 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하여 24시간 침전시키고 농축하였다. 농축된 시료는 정량분석용 Sedwick-Rafter 챔버에 분취한 후 광학현미경을 관찰하여 개체수를 결정하였다. 식물성 플랑크톤의 동정은 한국담수조류도감[10] 및 수질오염공정시험기준에 의하여 실시하였다.

통계처리 및 상관관계 분석

수질분석 결과의 통계처리와 cryptomonads 세포수와 수질인자 간의 상관관계 분석은 SPSS(ver. 10.0 for window)를 이용하여 수행되었다.

결과 및 고찰

시기별 주변환경 및 수질특성

온천천 지역의 월별 강우량은 Fig. 2A에서 보는 바와 같

이 7월 및 8월 여름철에 가장 높았으며, 12월 및 1월 겨울철에 강우량이 가장 낮았다. 이는 우리나라 특성상 태풍과 장마가 여름철에 집중되어 많은 비가 내리기 때문이다. 김과 이 [11]는 37년간 경기도 지역의 강우량을 통계처리 한 결과 우리의 결과와 유사하게 여름철에 강우량이 집중되는 경향을 보였으며, 여름철 강우량은 월평균 강우량의 2배 정도 높다고 보고하였다. Park 등[12]은 강우량이 많아 지는 여름철에 유실되는 비점오염물질에 의해 수중의 인 농도는 높아지나 식물성 플랑크톤의 개체수는 확연하게 감소한다고 보고하였다. 특히 시기별 강우량의 변화는 하천의 수위변화에 큰 영향을 미치며, 이는 하천의 이화학적특성, 부유미생물상의 구조적인 특성, 식물성 플랑크톤의 구성과 거동에 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다[13].

온천천의 수온변화는 Fig. 2B에서 보는 것과 같이 5.1-26.6°C의 범위로 7월에 가장 높았으며, 이는 우리나라 일반 하천의 계절적 수온변화와 유사하였다[6]. 특히 하천의 수온은 수중의 생물상 및 플랑크톤의 조성 및 생장에 영향을 미치는 중요한 인자이다. Kim 등[8]은 수온이 17°C 이상되는 봄철에 적조생물의 감소로 인하여 하천의 적조가 사라진다고 보고하였으며, Lee 등[14]은 수온이 20°C 이상되는 여름철에 남조류인 *Microcystis*속 나타나기 시작한다고 보고하였다. 이와 같이 하천의 수온은 식물성 플랑크톤의 개체수와 밀접한 연관이 있을 것으로 판단된다.

조사시기별 온천천의 pH 변화는 Fig. 2C에 나타내었다. 온천천의 수중 pH는 시기에 따라 유의적인 차이없이 6.8-7.5의 범위이었다. 수온과 함께 pH는 수중 화학, 물리 및 생물학적 변화에 대한 중요한 지표 중의 하나이다[15]. 하지만 온

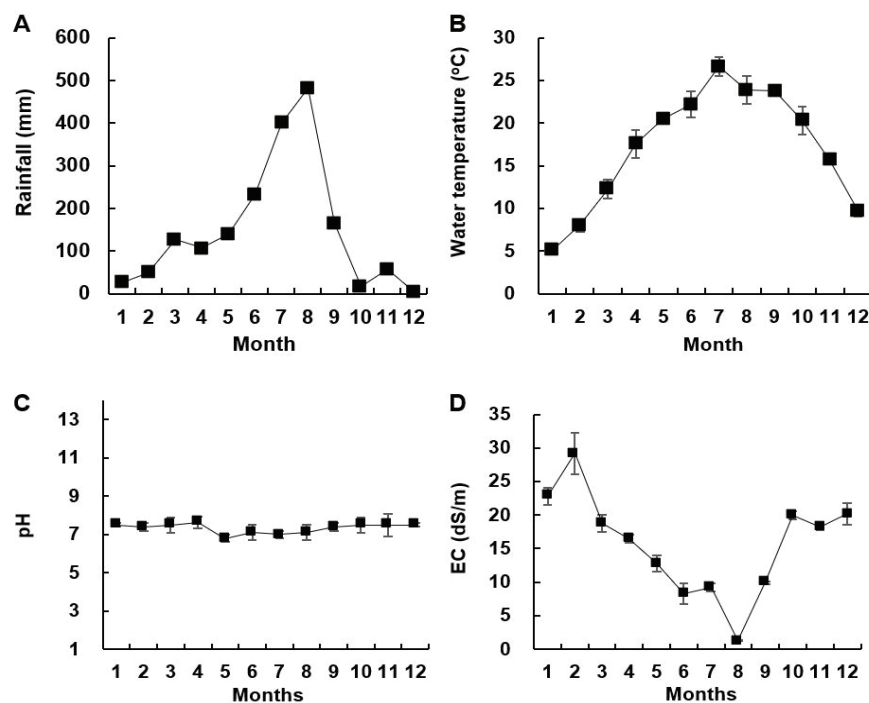


Fig. 2. Seasonal variations of rainfall(A), water temperature(B), pH(C) and EC(D) in Oncheon River.

천천의 경우 연중 pH의 변화는 거의 나타나지 않았기 때문에 이로부터 야기되는 수질오염 및 조류발생에 대한 영향은 미미할 것으로 판단된다. 온천천의 EC는 겨울철 비교적 높게 나타났으며, 봄을 지나 여름철로 갈수록 EC는 감소되었다(Fig. 2D). 하지만 EC는 가을철에 다시 증가되기 시작하였다. 특히 여름철에 EC의 함량이 감소되는 것은 강우량의 증가로 인하여 온천천 내 이온성 물질의 농도가 희석되었기 때문으로 판단된다. Uhm 등[16]이 보고한 전북지역 하천의 시기별 EC에 대한 결과에서 또한 우리와 유사한 결과를 보였다.

DO의 경우 1월, 4월 및 12월에 각각 8.9, 9.2 및 8.2 mg/L로 다른 달에 비해 높게 나타났다(Fig. 3A). 일반적으로 수중의 DO는 수중 온도에 따른 산소포화도와 밀접한 연관이 있는데, 수온이 증가하는 여름철에 산소포화도는 감소되고, 겨울철에는 상대적으로 증가하게 된다[17]. 또는 여름철 DO의 감소는 집중호우로 인한 DO가 낮은 물이 하천으로 유입되거나 수중 생물에 의한 광합성이 감소하기 때문으로 보고되었다. 이와 같이 수중의 DO의 변화는 단일 요인이 아닌 대부분 복합적 형태로 나타난다. 이에 주변환경요인 및 수중 생태를 고려한 온천천의 DO 변화 모니터링에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다. 온천천의 BOD는 1월에 7.2 mg/L로 가장 높았으며 10월에 1.8 mg/L로 가장 낮았다(Fig. 3B). 그 이외에 시기에 따라 BOD는 약간의 차이가 있기는 하였으나 2.5-5.5 mg/L의 범위이었다. 1년간 조사된 BOD의 평균은 3.9 mg/L로 환경정책 기본법의 하천생활환경 기준에 따르면 온천천의 등급은 [보통]으로 분류되었다. 계절별 온천천의 BOD 변화는 대부분 겨울철에 높게 나타나는데, 이때의 평균 BOD는 5.1 mg/L로 앞서 언급된 하천생활환경 기준에 [나쁨]으로 분류되었다. Lee 등[18]의 연구결과에 따르면 한강 유역 하천의 계절별 BOD 평균은 봄과 겨울철이 여름과 가을에 비해 높다고 보고하였으며, 이는 겨울철 강우량이 낮은 반면에 도심지역으로부터 다양한 오염원의 배출량은 일정하기 때문이라고 보고하였다. 온천천 수중 COD는 시기별 유의적인 차이 없이 4.3-8.1 mg/L의 범위였다(Fig. 3C).

온천천 수중의 TN 및 TP 함량은 Fig. 4A 및 4B에서 보는 것과 같다. 온천천의 T-N 함량은 비교적 겨울과 봄철이 여름과 가을에 비해 높게 나타났으며, T-P의 경우 시기별 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 일반적으로 하천 수중의 TN 및 TP의 함량은 집중강우시 비점오염원으로부터 배출되어지는 오염물질에 지배적인 영향을 받는다. 특히 비료가 처리된 농경지와 축산농가로부터 배출되는 유기수에는 다량의 질소 및 인이 포함되어 있으며, 집중 강우에 의해 하천으로 유입되어 하천 수중 TN 및 TP를 증가시키는 것으로 보고되었다[16]. 하지만 온천천의 경우 농촌지역 하천과 달리 도심지역에 위치하고 있기 때문에 여름철 많은 비가 내린다 할지라도 질소 및 인을 함유한 유기수가 하천으로 유입될 가능성은 희박하다고 판단된다. 하천에서 식물성 플랑크톤의 개체수는 수중 TN 및 TP의 농도에 큰 영향을 받으며, 이에 TN 및 TP는 식물성 플랑크톤의 생장의 제한인자로 알려져 있다[19].

시기별 온천천 내 클로로필-a의 함량은 Fig. 4C에서 보는

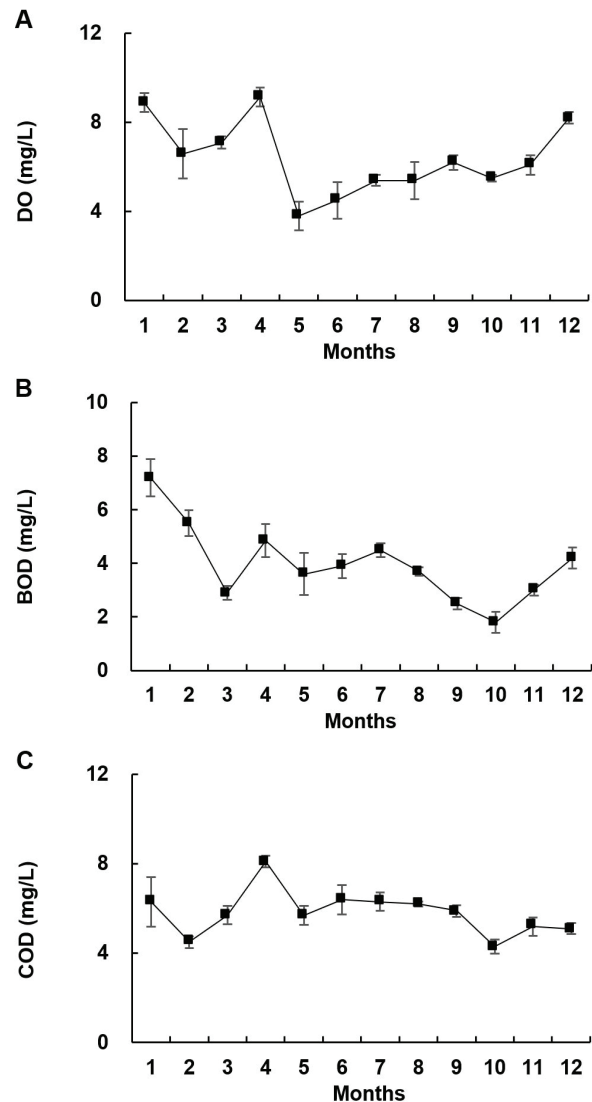


Fig. 3. Seasonal variations of DO(A), BOD(B), and COD(C) in Oncheon River.

바와 같이 1월, 4월, 6월, 7월 및 12월에 각각 21.1, 47.5, 25.1, 22.7 및 21.3 mg/m³으로 다른 달에 비하여 높았으며, 이를 제외한 모든 달에서 7.6-17.5 mg/m³의 범위였다. 일반적으로 클로로필-a는 식물성 플랑크톤의 광합성 과정에 필요한 빛을 흡수하는 색소로 알려져 있다[20]. 이러한 이유에서 수중 클로로필-a의 함량은 식물성 플랑크톤의 분포를 알 수 있는 간접적인 방법으로 호소 및 하천의 부영양화를 평가하는 지표로 활용되어진다. 이와 같이 온천천 수중의 클로로필-a의 함량이 높게 조사된 달은 식물성 플랑크톤의 개체수가 많다는 것을 간접적으로 나타낸다.

부영양화지수

시기별 온천천내에 부영양화 정도를 파악하기 위하여 앞서 제시된 COD, 클로로필-a 및 TP의 결과들을 적용한 한국형 부영양화지수(Tsiko)를 구하였다. 여기에서 부영양화지수를 >30, 30-50, 50-70 및 70≤으로 세분화되어지며, 이는 하

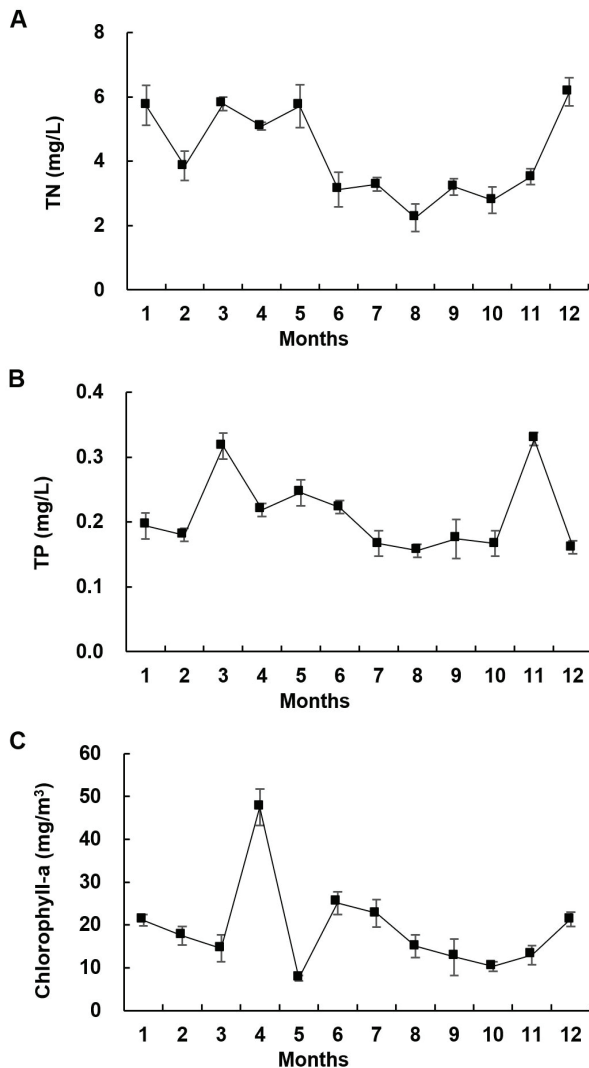


Fig. 4. Seasonal variations of TN(A), TP(B), and chlorophyll-a(C) in Oncheon River.

천내에 부영양화 단계가 각각 빈영양(Oligotrophy), 중영양(Mesotrophy), 부영양(Eutrophy) 및 과영양(Hypereutrophy)이라는 것을 의미한다[21]. 온천천내 한국형 부영양지수는 조사된 모든 시기에 큰 차이 없이 56-67의 범위로 부영양 단계를 나타내었다(Fig. 5). 결론적으로, 온천천은 시기 및 계절에 관계없이 조류 번성에 최적화된 영양상태를 유지하고 있다는 것을 의미한다.

시기별 적조생물 세포수 및 우점도

온천천 내 적조원인 생물인 갈색편모조류(cryptomonads)의 시기별 세포수 특성은 Fig. 6A에서 나타내었다. 온천천 내 갈색편모조류의 세포수는 1월에 13,303 cells/mL로 가장 많았으며, 계절별 발생량은 봄과 겨울에 집중되었다. 7월 및 8월에는 강수량 및 경쟁 조류군의 영향으로 인하여 갈색편모조류의 세포수가 감소되었다. 하지만 조사된 모든 시기에 온천천내 갈색편모조류는 분포되어 있었으며, 이는 적당한 환경조건이 되면 언제든지 갈색편모조류는 증식될 수 있다는 것을 의미한다.

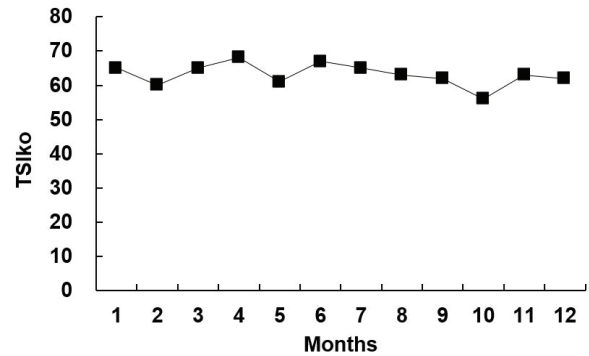


Fig. 5. Seasonal variations of Korean trophic state index in Oncheon River.

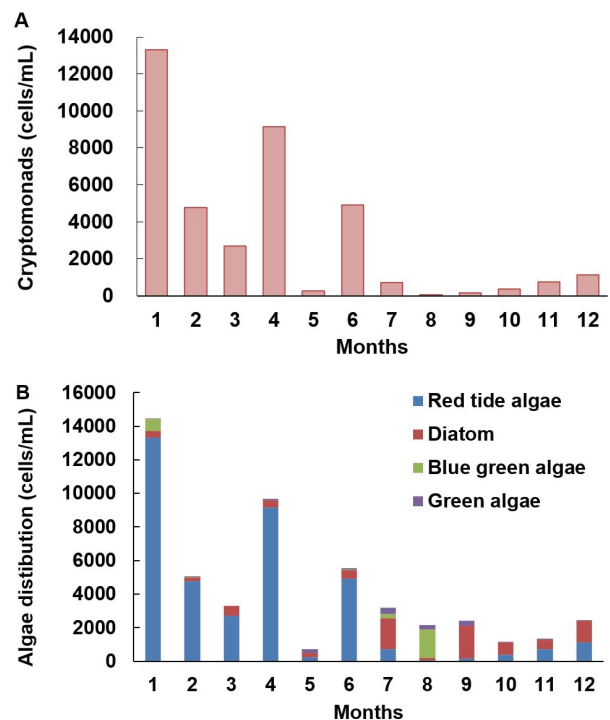


Fig. 6. Seasonal variations of cryptomonads(A) and algae distribution characteristics(B) in Oncheon River.

조류 분류군별 우점도에 대한 결과는 Fig. 6B에서 나타내었다. 앞서 언급된 바와 같이 적조생물은 봄과 겨울철에 집중적으로 나타나며, 1월의 조류 분류군별 우점도는 적조류, 규조류, 남조류 및 녹조류가 각각 92.2, 3.0, 4.7 및 0.1%이었다. 하지만 여름과 가을철에는 규조류의 증식이 왕성하였으며, 7월의 조류 분류군별 우점도는 적조류, 규조류, 남조류 및 녹조류가 각각 22.2, 57.7, 7.9 및 12.2%이었다. 반면에, 수온이 높은 8월의 적조류, 규조류, 남조류 및 녹조류의 우점도는 각각 2.1, 6.9, 79.0 및 12.0%으로 남조류가 우점종으로 조사되었다.

적조생물의 공간적 이동특성에 대한 명확한 정보를 얻기 위하여 7개 조사지점을 대상으로 시기별 적조생물(적조 색소 분석)의 발현특성을 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 7에서 보

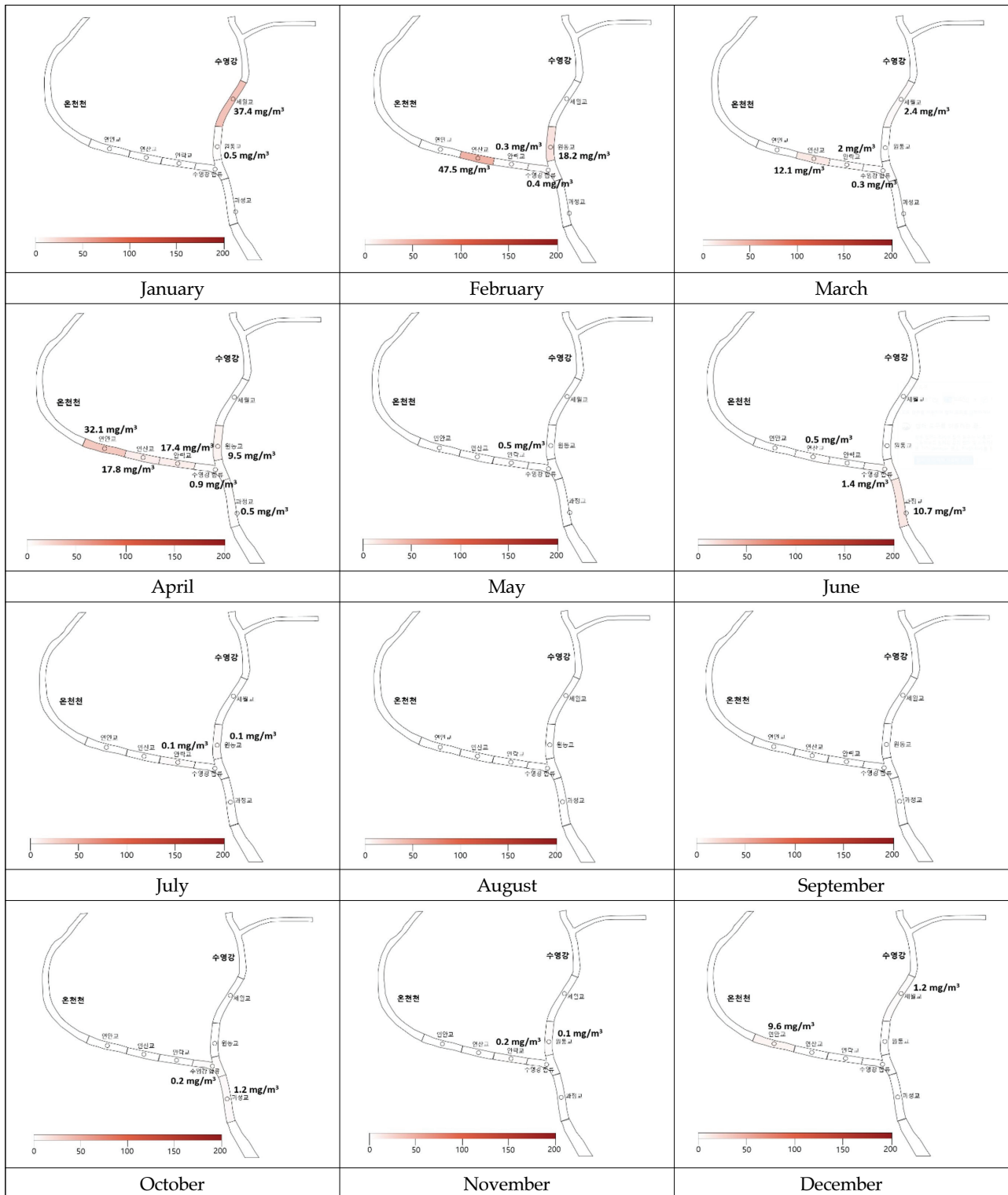


Fig. 7. Seasonal behavior characteristics of cryptomonads in Oncheon River.

는 것과 같다. 온천천 내 적조 생물은 조석에 따른 군집 이동으로 지점별 개체수 변동 큰 것으로 조사되었으며, 조사시기에 따라 최대 적조 번성지점은 세월교에서 연안교로 확대 이동되었다. 또한 수온이 높아질수록 일부 지점에 적조가 집중적으로 나타났으며, 하류 쪽으로 점진적으로 이동되었다. 8월

및 9월 높은 수온과 강수량에 의해 적조미생물은 감소되었다. 2018년에 보고된 선행연구결과에서 온천천 내에 갈색편모조류의 발생은 겨울철에 집중적으로 나타난다 보고하였다[8]. 그로부터, 5년이란 시간이 경과하였음에도 불구하고 여전히 온천천내 갈색편모조류의 발생량은 겨울철에 집중되어 나타

Table 1. Pearson's correlation coefficient between cryptomonads and water characteristics

Water temp.	DO	pH	BOD	COD	EC	TN	TP	Chl-a
-0.504	0.678*	0.419	0.826**	0.535	0.409	0.350	-0.094	0.613*

* and ** Correlation is significant at the 0.05 and 0.01 levels.

난다. 이에 겨울철 발생하는 온천천내 적조 현상을 방지하기 위해서는 수질인자, 체류시간, 일사량 및 강수량을 고려한 복합적 대응 방안이 필요할 것으로 판단된다.

시기별 수질인자와 적조생물의 상관관계

적조생물의 발생에 수질인자가 미치는 영향을 판단하기 위하여 상관관계 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 1에 서 보는 것과 같다. 온천천내 적조생물의 발생량은 수중 DO($r=0.678$), BOD($r=0.826$) 및 클로로필-a($r=0.613$)와 높은 상관관계를 보였다. 적조생물과 클로로필-a 및 BOD가 높은 상관성을 보이는 것은 적조생물 성장에 따른 자생 유기물 질과 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다. 일반적으로, 조류 증식에 의한 광합성량이 증가함에 따라 수중의 무기탄산 성분은 소모되어 수중의 pH는 상승한다고 보고하였는데, 본 연구결과에서 적조생물과 pH는 높은 상관관계를 나타내지 않았다. 일반적으로 하천의 TN 및 TP는 조류의 성장과 높은 상관을 보인다고 하였는데, 본 연구결과에서는 유의적인 수치를 나타내지 않았다. 이는 온천천 내에 TN 및 TP는 조류 성장에 제한인자로 작용하지 않을 만큼 충분하기 때문으로 판단된다.

이상의 결과를 미루어 볼 때, 온천천내 적조의 발생은 수질인자 뿐만 아니라 지역환경에 지배적인 영향을 받는 것으로 판단된다. 이에 온천천내 cryptomonads를 저감하기 위해서는 수질인자와 함께 체류시간, 일사량 및 강수량 등 지역환경을 고려한 복합적인 관리대책이 필요할 것으로 판단된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported by the international suitability infrastructure project of test and examination in environmental field funded by National Institute of Environmental Research.

References

1. Dupas R, Delmas M, Dorioz JM, Garnier J, Moatar F, Gascuel-Oudoux C (2015) Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators*, 48, 396-407.
2. Zhou Y, Wang L, Zhou Y, Mao XZ (2020) Eutrophication control strategies for highly anthropogenic influenced coastal waters. *Science of The Total Environment*, 705, 135760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135760>.
3. Bektas N, Akbulut H, Inan H, Dimoglo A (2004) Removal of phosphate from aqueous solution by electro-coagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 106, 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2003.10.002>.
4. Kong X, Koelmans AA (2019) Modeling decreased resilience of Shallow Lake ecosystems toward eutrophication due to microplastic ingestion across the food web. *Environmental Science and Technology*, 53, 13822-13831. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03905>.
5. Shen Z, Zhong Y, Huang Q, Chen L (2015) Identifying non-point source priority management areas in watersheds with multiple functional zones. *Water Research*, 68, 563-571. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.034>.
6. Go SM, Im HB, Jung EH, Kim TY, Kim JK, Choi JL, Lee HJ, Oh JG (2019) Investigation of Zooplankton communities in streams in Northern Gyeonggi-do province. *Journal of Environmental Health Sciences*, 45(5), 426-433. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2019.45.5.426>.
7. Lee J, Jung Y, Choi J (2018) Spatial and temporal appearance of filamentous Cyanobacteria and periphyton composition in restored urban streams. *Journal of the Environment*, 13(1), 1-9.
8. Kim MH, Ji HS, Cho JG, 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(3), 285-292. <https://doi.org/10.15681/KSW E.2018.34.3.285>.
9. Kim KS, Choi SH, Lee SM, Cho EJ, Kim YT, Cho JG (2014). Multivariate analysis of chlorophyll-a and water quality in the tidal river. *Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment*, 24(1), 101-109.
10. Jeong J (2006). Illustration of the Freshwater Algae

- of Korea, pp. 314-316, 1st edition, Academic Books, Korea.
11. Kim I, Lee J (2018) Influencing factor analysis on groundwater level fluctuation near River. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 5(2), 72-81. <https://doi.org/10.17820/eri.2018.5.2.072>.
 12. Park JC, Park JW, Kim JD, Shin JK (2005) Spatial and temporal variations of environmental factors and phytoplankton community in Andong Reservoir, Korea. *Algae*, 20(4), 333-343. <https://doi.org/10.4490/algae.2005.20.4.333>.
 13. Kim HW, Choi JY, La GH, Jeong KS, Joo GJ (2010) Relationship between rainfall and Zooplankton community dynamics in a riverine wetland ecosystem (Upo). *Korean Journal of Ecology and Environment*, 43(1), 129-135.
 14. Lee JH, Kwon JN, Yang SY (2002) Seasonal variation of phytoplankton community in the Nakdong River. *Algae*, 17(4), 267-273. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2002.17.4.267>.
 15. Tripathi M, Singal SK (2019) Use of principal component analysis for parameter selection for development of a novel water quality index: A case study of river Ganga India. *Ecological Indicators*, 96, 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.025>.
 16. Uhm MJ, Moon YH, Ahn BK, Shin YK (2008) Assessment of water quality and pollutant loads agricultural watershed in Jeonbuk Province. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(2), 111-119. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.2.111>.
 17. Yun JJ, Kang SW, Park JH, Seo DC, Kim HW, Cho JS (2020) Assessment of seasonal variation in water quality in Daedong Lake. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 39(3), 197-203. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2020.39.3.23>.
 18. Lee YJ, Park M, Son J, Park J, Kim G, Hong C, Gu D, Lee J, Noh C, Shin KY, Yu SJ (2017) Spatial and seasonal water quality variations of Han River tributaries. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 26(6), 418-430. <https://doi.org/10.14249/eia.2017.26.6.418>.
 19. Son HJ (2013) Long-term variations of phytoplankton biomass and water quality in the downstream of Nakdong River. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 35(4), 263-267. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2013.35.4.263>.
 20. Domagalski J, Lin C, Luo Y, Kang J, Wang S, Brown LR, Munn MD (2007) Eutrophication study at the Panjiakou-Daheiting Reservoir system, northern Hebei Province, People's Republic of China: Chlorophyll-a model and sources of phosphorus and nitrogen. *Agricultural Water Management*, 94, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.08.002>.
 21. Park J, Kal B, Lee C, Hong S, Choi M, Seo H (2018) Analysis of the Trophic characteristics of the SoOak River watershed using the Korean trophic state index. *Journal of Wetlands Research*, 20(4), 330-337. <https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.4.330>.