#### **ORIGINAL ARTICLE**

# 서낙동강에서 동ㆍ식물플랑크톤의 총유기탄소 기여율 변동 분석

# 이유정\*

부산광역시보건환경연구원

# Contribution of Phytoplankton and Zooplankton to Total Organic Carbon (TOC) in the Reservoir-river-Seonakdong River, Busan

You-Jung Lee<sup>3</sup>

Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment(BIHE), Busan 46616, Korea

#### Abstract

Carbon biomass of plankton community, Total Organic Carbon (TOC) and Chlorophyll *a* (chl.*a*) concentration were examined in the SeoNakdong river from January to December in 2014, to assess composition of phyto- and zoo-plankton variation, to certify the correlation between chl.*a* and TOC and to determine the level of contribution of plankton carbon content to TOC in the reservoir-river ecosystem. The correlation level between TOC and chl.a was low in the year 2014 but exceptionally was highly correlated only during the period with cyanobacterial bloom. The high level of contribution of plankton carbon content to TOC was attributed to cyanobacterial carbon biomass from May to November and to Cladocera carbon biomass from March to May, November and December despite of its low abundance. These results suggest that there were inter-relationships between phytoplankton, zooplankton and TOC and also subtle consistency of their properties through the year. These patterns should be discussed in relation to the physiochemical and biological characteristics of the environment, as well as to allochthonous organic matters from non-point pollution sources.

Key words: Total organic carbon (TOC), Chlorophyll a (Chl.a), Plankton carbon biomass, SeoNakdong river

#### 1. 서 론

물속의 부유하거나 퇴적물에 침전되는 유기물질은 기원에 따라 유역에서 유입되는 외부기원 유기물 (allochthonous organic matter)과 식물플랑크톤, 부착조류 및 수생식물 등에 의한 내부에서 생산되는 내부생성 유기물(autothchonous organic matter)로 나눌수 있다. 이 중 내부생성 유기물은 일반적으로 정체수역을 이

루는 호수, 하천 하류 및 하구언 등에서 수중 생물의 1차 생산에 주로 기인한다(Owens, 1987; Wetzel, 2001; Sharp, 2007). 또한, 수계로 유입된 유기물은 분해 특성에 따라 생분해성과 난분해성으로 구분되는데 분해가 잘 일어나는 생분해성은 주로 아미노산과 단백질, 탄수화물 등의 저분자 물질로 구성되어 박테리아에 의해 분해가 용이하나 난분해성은 주로 분해가 어려운 부식물질로 구성되어 있으며 토양과 수체 내에 약 70~80%를 차지한

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503

https://doi.org/10.5322/JESI.2020.29.7.691

Received 7 January, 2020; Revised 10 June, 2020; Accepted 20 June, 2020

\*Corresponding author: Lee You-Jung, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment(BIHE), Busan 46616, Korea

Phone : +82-51-309-2775 E-mail : youjung202@korea.kr ② The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
③ 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.



	Study site (TM)
Daejeo watergate (A)	25°13'50.97"N128°59'34.17"E
Gangdong bridge (B)	25°11'29.55"N128°54'27.04"E
Noksan watergate (C)	35°07'18.23"N128°53'47.09"E

Fig. 1. Study sites in the SeoNakdong river.

다(Larson and Hufnal, 1980; Hessen and Tranvik, 1998). 즉 수 중 유기물은 유역의 특성, 계절적 영향 및 영양상태 등에 의해 구성 비율이 다르게 나타난다. 수체의 체류시간이 길거나 부영양화가 진행될수록 전체 유기물 부하 중 1차 생산에 의한 생분해성 유기물의 기여율이높을 수 있으나 강우시에는 유역으로부터 유입된 난분해성 유기물질의 기여율이 증가할 수 있다.

플랑크톤은 수생태계 먹이망의 1차 단계에 기여하며 생태계 전체의 생물 활동에 쓰이는 에너지와 물질을 근본적으로 제공하고 있다(Keckeis et al., 2003; Kim et al., 2003). 플랑크톤 종 구성과 군집구조는 주변 환경의 물리화학적 변화에 민감하게 반응하기 때문에 수생태계의 상태를 반영해주는 생물학적 지표로 이용되고 있다(Leppard and Munawar, 1992; Cairn et al., 1993; Bianchi et al., 2003). 따라서, 수체의 부영양화가 심화되거나 환경 조건의 변화에 동 식물플랑크톤의 번성 정도가 달라지며 내부생성 유기물량에 많은 영향을 미친다.

서낙동강은 상·하류의 수문에 의해 약 24일의 긴 체류시간으로 자유로운 흐름이 방해받아 수체가 정체되고 부영양화가 심한 호소형 하천이다. 이에 서낙동강에 대한 연구는 다양하게 이루어졌다. 강의 부영양화와 정체수역 특성에 따른 수질의 동태(Kim, 1986; Park et al., 2001; Lee et al., 2007), 중금속 분포(Park et al., 1994; Hwang et al., 1997; We et al., 2012), 플랑크톤 군집과 대번성(Jeon and Cho, 2004; Kim et al., 2010), 수생식물(Yoon et al., 2002; Kim and Kim, 2014), 수질 개선 방안(Kang and Lee, 2013) 등에 관해 많은 연구가 되었다. 하지만 서낙동강에 대한 유기물 거동이나 내부 또는 외부기원 유기물질에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 또

한, 국내에서는 플랑크톤의 시공간적 분포 특성을 위주로 한 연구가 활발히 진행되고 있으나(Han et al., 1995; Lee et al., 2002; Choi and Moon, 2005; Seo et al., 2010) 플랑크톤 생체량의 유기물 기여율에 대한 연구는 거의 보고되지 않았다.

따라서, 본 연구는 서낙동강을 대상으로 동·식물플랑 크톤의 중 조성 및 군집을 조사하고 탄소 생물량으로 환산하여 총유기탄소(total organic carbon, TOC) 중 차지하는 비율을 구함으로써 연중 동·식물플랑크톤에 의한 내부생성 유기물이 수 중 유기물질에 대한 기여율 변동 경향을 알아보고자 하였다. 이러한 연구는 향후 부영양화된 수체의 수질 관리에 대한 기초 자료 및 관리 목표설정의 판단 기준을 제공하는데 목적이 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1. 연구대상 지역

서낙동강은 상·하류에 수문이 위치하여 하천의 흐름이 원활하지 못하고 정체 수역이 형성되는 호소형 하천으로 맥도강, 평강천 등의 국가 하천과 조만강, 신어천등의 15개 지방 하천으로 형성되어 있다. 유역면적은 303.09 km², 유로연장 18.5 km, 유역 폭은 최대거리 동서약 19.8 km, 남북약 19.5 km로 원형에 가까운 형태를 나타내는 서낙동강 유역은 상류부 대저수문에서 하류부 녹산수문까지 김해평야의 중요한 농업용수원이나산업단지가 분포하고 있다(WAMIS, 2014). 본연구에서는 서낙동강 상류에서 하류까지 본류 내 3개 지점을 선정하여 조사하였으며 자세한 위치는 Fig. 1과 같다.

#### 2.2. 물리화학적 환경요인

모든 시료는 2014년 1월부터 12월까지 월 1회로 총 12회에 걸쳐 표층에서 채수하였다. 채취한 시료는 현장 측정기(YSI 556MPS, USA)를 이용하여 수온, 용존산 소(Dissolved Oxygen, DO) 등을 현장에서 측정하였 고 4℃ 이하의 냉암조건에 보관하여 실험실로 즉시 운 반하였다. 수질오염공정시험기준(2012), Limnological Analyses (Wetzel and Likens, 2000), Standard Method for the examination of water and wastewater (APHA-AWWA-WEF, 2012)에 준하여 TOC, 총질소 (total nitrogen, T-N), 총인(total phosphate, T-P), Chlorophyll a (Chl.a)를 분석하였다. TOC는 TOC analyzer (TOC-L, Shimadzu, Japan)를 이용하여 비정 화성 유기탄소법으로 분석하였고 T-N과 T-P는 연속흐 름자동분석기(AACS-V, BL TEC)으로 측정하였으며 Chl.a 농도는 90% 아세톤용액으로 엽록소를 추출하여 UV-Spectrophotometer (UV-2450, Shimadzu, Japan) 으로 측정한 흡광도를 얻어 계산하였다. 강우량은 국가 수자원관리 종합시스템(WAMIS, 2014) 및 기상청 (Meteorological office, 2014)에 게재된 운영정보자료 를 참고하였다.

#### 2.3. 동·식물플랑크톤 종 조성 및 탄소 생물량

동·식물플랑크톤의 종 동정 및 계수는 이화학적 수질 항목과 동일한 비교를 위해 표층수 2 L를 채수하여 Lugol 용액으로 고정한 후 10 # pore size 체로 걸러 20 mL로 농축하였다. 이후 균질한 농축 시료 1 mL을 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣고 광학현미 경(AXIO imager A2, ZEISS, Germany)으로 200~400 배율 하에 가능한 모든 플랑크톤을 동정하였다. 식물플 랑크톤의 종 조성은 남조류, 규조류, 녹조류, 편모조류로 분류하여 한국담수조류도감(Jung, 1993), Freshwater algae of North America (John and Robert, 2003), http://www.algaebase.org를 참고하여 동정하고 계수하 였다. 식물플랑크톤의 탄소 생물량은 동정시 출현종의 모양과 사이즈를 측정하여 Kellar et al.(1980), Helmut (1999), Jun and Dongyan(2003)이 제시한 공식으로 세 포체적(V, দ্রা)을 계산하였고 호소환경조사지침(Ministry of Environment, 2013), Strathmann(1967)에 의해 제 시된 식에 세포 체적을 탄소량(µgC/L)으로 환산하였다. 동물플랑크톤은 윤충류, 지각류, 요각류로 구분하여 한국담수동물플랑크톤도감(Cho, 1993), Balcer et al. (1984)에 따라 동정된 출현종의 모양과 사이즈를 측정하였다. 윤충류는 Downing and Rigler(1984)에 의한 식으로 체적( $V, \mu m^3$ )을 계산한 후 비중 1.025로 가정하여습중량을 구하고 습중량의 10%를 건중량으로 하였다. 그러나 윤충류 Asplanchna는 다른 종에 비해 수분함량이 많아 습중량의 4%를 건중량으로 하였다(Dumont et al., 1975). 지각류와 요각류의 건중량은 Length-dry weight 관계식으로 계산하였다(Culver et al., 1985). 동물플랑크톤의 탄소 생물량( $\mu g C L^{-1}$ )은 동물플랑크톤 건중량의 48%로 구하였다(Andersen and Hessen, 1991).

#### 2.4. 분석 자료의 처리

조사된 결과들의 도표는 SigmaPlot (12.5 for windows)을 이용하였고, 조사 항목 간의 선형 회귀분석 및 통계적 유의성 p<0.05을 기준으로 한 Pearson correlation analysis의 상관관계 분석으로 평가하였다 (SPSS 20).

# 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 물리화학적 환경 요인

조사기간동안의 물리화학적 환경요인은 Fig. 2에 나타냈다. 강수량은 1,693 mm로 평년(1981~2010년) 1,519 mm보다 많았고 계절적으로 여름철(6~8월)에 연강수량의 약 51%(856 mm)로 평년과 유사하였으나, 8월에만 642 mm로 연강수량의 약 38%를 차지하는 집중강우가 있었다. 월평균 수온은 1월에 2.5℃로 가장 낮았고 7~9월에 25.0℃ 이상으로 높게 조사되었다. 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)는 6.8~14.4 mg L¹의 범위로저수온기인 1~3월, 12월에 12.3~14.4 mg L¹으로 높았고 고수온기인 8월과 9월에 6.8 mg L¹로 낮았다. 2002년 서낙동강의 DO 농도는 2.6~14.2 mg L¹의 범위로최저 DO농도의 차이가 있었으나 계절적 변화 패턴은 본조사결과와 유사한 경향을 나타냈다(Yoon et al., 2002).

TOC는 평균  $3.6 \text{ mg L}^{-1}$ 였으며 4월에  $6.1 \text{ mg L}^{-1}$ 로 높았고 2월과 3월에  $1.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났다. 대부분의 유기물질 농도는 봄에 상승하여 여름에 가장 높게 보인 후 가을에 낮아지는 경향이 있다고 하나(Kim et al., 2011) 겨울인 12월과 1월에  $3.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 상승

Table 1. Pearson correlation matrix between precipitation and nutrients in the SeoNakdong river

	precipitation	TOC	T-N	T-P
Precipitation	1.000			_
TOC	.195	1.000		
T-N	602*	251	1.000	
T-P	.940**	.198	655*	1.000

p-value(\*\*<0.01, \*<0.05, n=12)

하다가 봄동안 최저농도에서 평균 농도의 약 2배로 높아 지는 급격한 변화 양상을 보였고 여름에  $4.0~4.9~{\rm mg}~{\rm L}^{-1}$ 로 높아진 이후 가을 동안 낮아지는 경향이 있었다. 영양 염류 중 T-N 농도는  $1.316~3.754~{\rm mg}~{\rm L}^{-1}$ 로 평균  $2.601~{\rm mg}~{\rm L}^{-1}$ 였으며 T-P 농도는  $0.013~0.481~{\rm mg}~{\rm L}^{-1}$ 로 평균  $0.098~{\rm mg}~{\rm L}^{-1}$ 로 조사되었다. 강수량과 TOC, T-N, T-P 의 상관분석시 강수량과 TOC의 관계는 유의하지 않았으나 강수량과 T-N, T-P가 유의관계를 보여 서낙동강 유역의 영양염류는 강우에 따른 비점오염원 영향이 큰 것으로 판단되었고 특히, T-P가 고도의 유의관계 (p<0.01)를 보여 비점오염원이 주요 영양원임을 알 수 있었다(Table 1).

Chl.a 농도는 여름인 70.8 mg m $^{-3}$ 의 6월과 114.3 mg m $^{-3}$ 의 7월에 높았으나 1월 15.0 mg m $^{-3}$ 과 2월 23.1 mg m $^{-3}$ 으로 낮아 겨울철에 높은 Chl.a 농도가 보고되는 기존 연구결과와 달랐다(Lee et al., 2002; Choi and Moon, 2005; Seo et al., 2010). 본 연구 기간 중 1월에 10 mm의 적은 강수량으로 비점오염물질이 서낙동강 유역에 거의 영향을 미치지 못함으로 0.013 mg 0

# 3.2. 동·식물플랑크톤 종 조성 및 군집 변화

식물플랑크톤의 세포수와 동물플랑크톤의 개체수에 따른 종조성 및 군집 구조는 Fig. 3과 Table 2에 나타냈다. 수온이  $20^{\circ}$ C 이상인  $5\sim9$ 월에 남조류 Microcystis aeruginosa, Anabaena spiroides 등이  $0.5\pm0.10$ 으로 우점하였고  $10^{\circ}$ C 미만의 수온이 조사된  $1\sim3$ 월 동안 규조류 Stephanodiscus hantzschii, Synedra acus, Cyclotella meneghiniana 등이  $0.7\pm0.06$ 의 높은 우점을

하였다. 특히 1~2월에 규조류의 개체수가 600×10<sup>3</sup> cells mL¹ 이상으로 높은 이유는 5℃ 미만의 저수온기에 생장 할 수 있는 Stephanodiscus hantzschii의 번성 때문인 것으로 조사되었다(Cho and shin, 1998). 그 밖에 Aulacoseira italica, A. granulata f. spiralis, Fragillaria crotonensis 등과 녹조류 Pediastrum duplex, Scenedesmus quadricauda 등이 연중 출현하였 다. 이를 통해 식물플랑크톤의 종조성은 수온의 영향이 크지만 식물플랑크톤의 세포수는 물환경에 적응된 종에 따라 다르다는 것을 알 수 있었다. 동물플랑크톤은 수온 에 관계없이 윤충류가 연중 출현하여 우점도지수 0.5±0.10으로 조사되었으며 Brachionus calyciflorus, Polyarthra euryptera, Keratella cochlearis, Trichocerca *capucina*가 주로 나타났다. 수온이 15<sup>°</sup>C 이상인 4월, 5 월과 11월에 지각류인 Bosmina longirostris가 일시적 으로 증가하였으나 25℃ 이상의 수온을 나타낸 7~9월에 는 오히려 감소하였다. 지각류가 번성하는 시기에 요각 류인 Nauplius와 Cyclops 속도 조사되었으나 20% 미만 의 낮은 비율을 차지하였다.

3~5월과 9~10월에 동물플랑크톤 개체수가 증가할 때 식물플랑크톤의 현존량은 급격히 감소하였는데 Wetzel (2001)이 제시했던 호소에서 식물플랑크톤에 대한 동물플랑크톤의 섭식활동으로 일시적으로 활발히 일어나는 청수현상(clear water phase)이 서낙동강에서도 나타남을 볼 수 있었다(Fig. 4). 이는 강수량이 적고 수온이 상승하는 시기와 일치하였으며 고수온기인 8월은 600 mm 이상의 강우가 집중되어 동식물플랑크톤의 상호 영향관계가 떨어졌다. 따라서 물환경에서 동물플랑크톤의 섭식활동과 번성은 정체된 물환경과 수온에 영향을 받는 것으로 알 수 있었다.

탄소생물량으로 환산된 플랑크톤 우점종 경향을 보면 식물플랑크톤은 1~4월과 12월에 규조류 Stephanodiscus

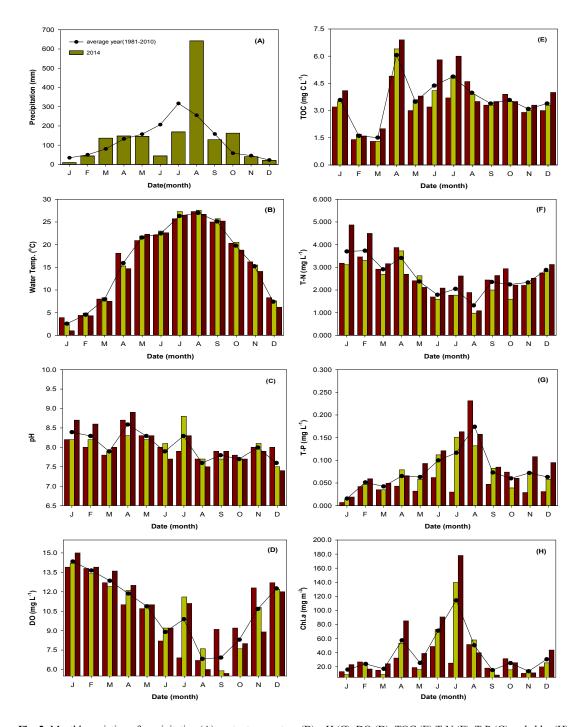
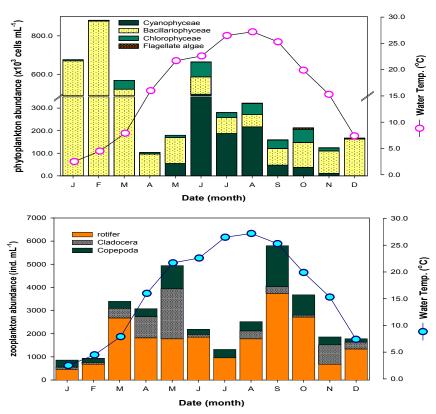


Fig. 2. Monthly variation of precipitation (A), water temperature (B), pH (C), DO (D), TOC (E) T-N (F), T-P (G) and chl.a (H) at Daejeo ( , Kangdong Bri. ( , Noksan ( ) and monthly average ( ) of SeoNakdong river.



**Fig. 3.** Monthly variation of phytoplankton and zooplankton abundance according to water temperature in SeoNakdong river in 2014.

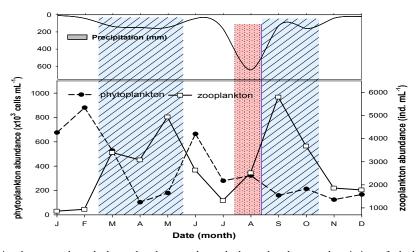


Fig. 4. Interaction between phytoplankton abundance and zooplankton abundance and variation of plankton abundance influenced with precipitation in SeoNakdong river. ( shows the clear water phase from March to May and from September to October and shows the low abundance of phytoplankton and zooplankton influenced with the precipitation in August.)

**Table 2.** Dominant phytoplankton species and dominant zooplankton species according to abundance and carbon biomass in the SeoNakdong river from Jan. to Dec., 2014

	Dominant species (%) - Abundance		Dominant species (%) - Carbon biomass	
	Phytoplankton	Zooplankton	Phytoplankton	Zooplankton
Jan.	Stephanodiscus hantzschii (79%)	Polyarthra euryptera (28%)	Stephanodiscus hantzschii (66%)	Bosmina longirostris (51%)
Feb.	Stephanodiscus hantzschii (59%)	Brachionus calyciflorus (21%)	Stephanodiscus hantzschii (48%)	Cyclops copepoda (45%)
Mar.	Stephanodiscus hantzschii (66%)	Polyarthra euryptera (42%)	Stephanodiscus hantzschii (49%)	Bosmina longirostris (51%)
Apr.	Synedra acus (60%)	Keratella cochlearis (38%)	Synedra acus (62%)	Bosmina longirostris (78%)
May	Microcystis aeruginosa (31%)	Bosmina longirostris (42%)	Microcystis aeruginosa (84%)	Bosmina longirostris (79%)
Jun.	Microcystis aeruginosa (41%)	Keratella cochlearis (48%)	Microcystis aeruginosa (49%)	Cyclops copepoda (30%)
Jul.	Microcystis aeruginosa (29%)	Keratella cochlearis (32%)	Microcystis aeruginosa (26%)	Cyclops copepoda (49%)
Aug.	Microcystis aeruginosa (32%)	Polyarthra euryptera (46%)	Microcystis aeruginosa (24%)	Bosmina longirostris(70%)
Sep.	Aulacoseira granulata f. spiralis (20%)	Polyarthra euryptera (30%)	Anabaena spiroides (27%)	Bosmina longirostris (30%)
Oct.	Aulacoseira granulata f. spiralis (10%)	Keratella cochlearis (27%)	Anabaena macrospora (58%)	Cyclops copepoda (24%)
Nov.	Aulacoseira granulata f. spiralis (57%)	Bosmina longirostris (44%)	Anabaena spiroides (56%)	Bosmina longirostris (87%)
Dec.	Cyclotella meneghiniana (68%)	Keratella cochlearis (37%)	Cyclotella meneghiniana (49%)	Bosmina longirostris (68%)

hantzschii, Synedra acus, S. ulna, Aulacoseira italica, Cyclotella meneghiniana 등이 우점하였고 이후 5~11월까지 남조류 Microcystis aeruginosa, Anabaena spiroides 등이 지속적으로 나타나면서 탄소 생물량에서 우점을 보였다. 동물플랑크톤의 탄소 생물량은 개체수에 의한 우점종과 달리 지각류 Bosmina longirostris와 요각류 Cyclops 속이 연중 높게 나타났으며 개체수에 비해 소형인 윤충류 Polyarthra euryptera, Keratella cochlearis가 6월과 8월, 12월에 높게 조사되었다(Table 3). 이는 Kim et al.(2005)와 Uhm and Hwang(2006)의 연구와 유사한 결과로 플랑크톤의 우점 중은 플랑크톤의 종 조성과 우점도에 따른 플랑크톤의 탄소 생물량에 의해 달라지는 경향을 보였다.

#### 3.3. TOC, chl.a 농도와 플랑크톤 탄소 생물량의 상관성

서낙동강의 TOC와 Chl.a의 상관관계를 Fig. 5에 나타냈다. 조사기간 동안 TOC와 Chl.a의 상관도(r)는 0.646 (p<0.05, n=12)으로 유의하나 분산 분석시  $r^2$ =0.418로 TOC와 Chl.a의 상호 영향 관계가 다소 낮음을 보였다. 이는 서낙동강 유역의 강우에 의한 오염 부하의 증가와 영양상태, 계절적 영향, 박테리아의 분해 및 동물플랑크톤의 섭식작용 등이 영향을 미친 것으로 사료되었다(Marta et al., 1999; Gordon et al., 2003). 특히 3

~5월과9~10월의 TOC는 동물플랑크톤의 식물플랑크 톤에 대한 섭식 활동이 커지고 동물플랑크톤의 개체수가 식물플랑크톤의 현존량을 대체하여 Chl.a가 낮아져도 TOC는 영향을 덜 받은 것으로 판단되었다(Fig. 5A). 또 한, Dawidowicz(1990)에 의하면 동물플랑크톤 중 크기 가 비교적 큰 요각류와 지각류는 몸집이 작은 윤충류보 다 높은 섭식율로 상대적으로 낮은 개체수에도 식물플랑 크톤에 상당한 포식압을 주는 것으로 본 연구에서도 적 은 개체수의 요각류와 지각류가 식물플랑크톤의 생물량 감소에 영향을 주었다. 하지만, 6~9월에 TOC와 Chl.a 의 상관도는 0.994 (p<0.01, n=4), r<sup>2</sup>=0.987로 하절기 남조류의 번성은 TOC와 높은 상관관계가 있었다. Ochiai et al.(1979)와 Morten et al.(2000)는 식물플랑 크톤의 번성이 용존 유기물질 부하와 비례하며 식물플랑 크톤 대증식의 산물로 분해과정에서 유기물질이 생성된 다고 보고한 바 있다(Fig. 5B).

동·식물플랑크톤 군집의 탄소량으로 TOC에 대한기여율에서 플랑크톤은 평균22%였으며 7월을 제외한 5~9월 동안 30%이상을 차지하였다. 동·식물 플랑크톤은 1월, 10월과 12월에 10%미만의 낮은 TOC 기여율을 보였으나 5월에 55%의 높은 TOC 비중을 나타냈다. 또한, 식물플랑크톤 탄소량의 TOC 기여율이 높게 나타난 6~8

Table 3. Mean cell volumes of dominant phytoplankton species and dominant zooplankton species

		Phytoplankton	
	Species	Cell volume (µm³ cell-1)	Related equation
Cyanophyta	Anabaena spiroides	575.2(5*50 μm)	logC = 0.758 log V- 0.422 (Bacillariophyta) logC = 0.866 log V- 0.460 (other phytoplankton) C: carbon content (pg C) V: cell volume(μm³)
	Microcystis aeruginosa	58.2	
	Microcystis ichthyoblabe	9.2	
	Aulacoseira granulata f. spiralis	281	
	Aulacoseira italica	571	
	Cyclotella meneghiniana	659	
Bacillariophyta	Fragilaria crotonensis	210	
	Stephanodiscus hantzschii	686	
	Synedra acus	1,650.7	
	Synedra ulna	2,745	
Chlorophyta	Pediastrum duplex	293	
	Scenedsmus quadricauda	155.5	
Flagellates	Cryptomonas sp.	4,400	
	Euglenia sp.	728.2	

	Zooplankton		
	Species	Volume ( $\times 10^3  \mu \text{m}^3$ )	
	Brachionus calyciflorus	600	
Rotifer	Keratella cochlearis	50	
Rottler	Polyarthra euryptera	500	
	Trichocera capucina	100	
Cladocera	Bosmina longirostris	2,000	
Ciadocera	Daphnia galeata	2,500	
Cananada	Cyclops	1,500	
Copepoda	Nauplius	1,000	

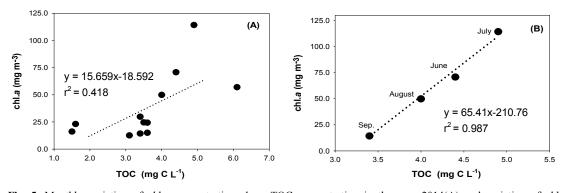


Fig. 5. Monthly variation of chl.a concentration along TOC concentration in the year 2014(A) and variation of chl.a concentration along TOC concentration from June to September, 2014(B).

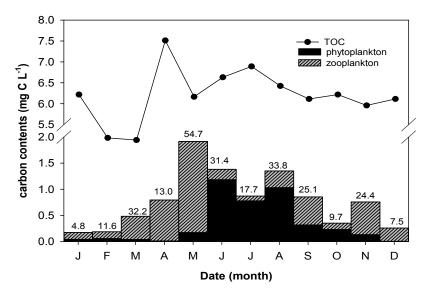
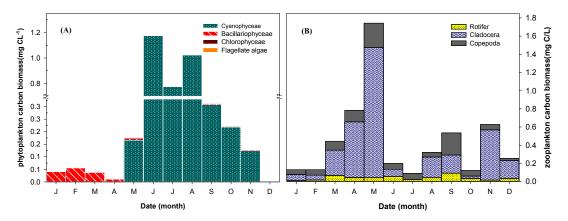


Fig. 6. Variation of phytoplankton carbon biomass and zooplankton carbon biomass along TOC concentration at the SeoNakdong river.



**Fig. 7.** Monthly variation of phytoplankton community carbon biomass (A) and zooplankton community carbon biomass (B) at the SeoNakdong river.

월을 제외한 다른 시기에는 대개 동물플랑크톤 탄소량의 TOC 비중이 높았다(Fig. 6). 식물플랑크톤 군집 중 5~11월까지 남조류의 탄소량이 TOC에 가장 많은 영향을 미쳤으며 동물플랑크톤 군집 중 3~5월과 11~12월에 지각류의 탄소량이 TOC에 높은 비율을 차지하였다 (Fig. 7). 이는 환경 조건에 따라 종조성에 변화가 생긴 동·식물플랑크톤의 탄소량이 다른 비율로 수체 내 유기

물질량에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 또한, Microcystis aeruginosa, Anabaena flos-aquae 등 남 조류의 대번성이 일어나는  $6\sim8$ 월동안 남조류 탄소 생물 량은 전체 TOC의 약 30%를 기여한 바, 이는 외부기원 유기물질이 TOC에 더 많은 영향을 미치는 것으로 판단되었다(Morten et al., 2000).

#### 4. 결 론

부산지역 하천 중 상·하류 수문으로 물의 흐름이 자유롭지 못한 대표적 호소형 하천인 서낙동강의 환경변화를 반영하는 동·식물플랑크톤 종 조성과 특성을 파악하고 이를 환산한 탄소 생물량이 TOC에 미치는 영향을 파악하였다.

1. Chl.a 농도는 6~7월에 가장 높았고 수온이 낮은 1~2월에 낮았으나 서낙동강 식물플랑크톤 번성에 대한 기존 연구 결과와 달랐다. 이러한 결과는 낮은 T-P-농도가 조류생장 제한요인으로 강우에 의해 농경지 등에서 공급될 수 있는 영양염류를 포함한 비점오염원의 유입이 적었던 것으로 유추해 볼 수 있었다. 이는 서낙동강의 식물플랑크톤 성장 억제를 유도할 수 있는 방안으로 인을 포함한 물질 관리와 비점오염원 관리가 매우 중요한 요소임을 시사하였다.

2. 규조류 Stephanodiscus hantzschii 등이 1~3월에 높은 우점을 나타냈으며 5~9월에 남조류 Microcystis aeruginosa 등이 우점하였다. 동물플랑크톤은 윤충류가 연중 출현하였으며 Brachionus calyciflorus, Polyarthra euryptera, Keratella cochlearis가 주로 나타났다. 4~5월과 11월에 지각류인 Bosmina longirostris가 일시적으로 증가하였으며 요각류인 Nauplius와 Cyclops 속이조사되었으나 20% 미만의 낮은 비율을 차지하였다. 식물플랑크톤의 종조성은 수온의 영향이 크지만 세포수는물환경에 적응된 종에 따라 달랐으며 동물플랑크톤의 섭식활동은 수체의 정체와 수온에 영향을 받는 것으로 알수 있었다.

3. 연구 기간동안 TOC와 Chl.a는 다소 낮은 상호 영향관계를 보였으나 남조류가 번성하는 6~9월에는 높은 상관성을 보였다. 식물플랑크톤 군집 중 5~11월까지 남조류의 탄소 생물량이 TOC에 가장 높은 기여율을 나타냈고 동물플랑크톤의 군집 중에서는 3~5월과 11~12월에 지각류의 탄소 생물량이 TOC에 미치는 영향이 가장 컸다. 그러나, 동·식물 플랑크톤의 TOC에 대한 기여율은 평균 22%였고 5~9월까지 동·식물플랑크톤의 탄소생물량은 TOC의 30% 이상을 차지하였다.

서낙동강 수계는 긴 체류 시간과 함께 봄철 수온 상승에 따른 동물플랑크톤의 증가된 개체수와 하절기 번성하는 남조류가 내부기원 유기물로 전체 유기물질량에 높은

기여율을 보이기도 하였으나 집중 호우에 의한 외부기원 유기물이 또한 영향을 미침을 알수 있었다. 따라서, 수계 의 효율적인 수질관리를 위해서는 TOC에 많은 영향을 미치는 외부기원오염원의 유입을 저감하기 위한 관리 방 안을 마련하고 수생태계의 건전한 순환을 유도하기 위하 여 수계 내의 유기물질농도에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국립환경과학원에서 지원한 「환경분야시 함·검사의 국제적 적합성 기반 구축」 예산으로 수행된 연 구임을 밝힙니다.

#### **REFERENCES**

AlgaeBASE, 2015, http://www.algaebase.org.

Andersen, A., Hessen, D. O., 1991, Carbon, nitrogen and phosphorus contents of freshwater zooplankton, Limnol. Oceanogr., 36(4), 807-814.

APHA-AWWA-WEF, 2012, Standard methods for the examination of water and wastewater, 22<sup>th</sup> ed., APHA-AWWA-WEF, Washington D.C., USA.

Balcer, M. D., Korda, N. L., Dodson, S. I., 1984, Zooplankton of the Great Lakes: A Guide to the identification and ecology of the common crustacean species, University of Wisconsin Press, Ltd., Wisconsin.

Bianchi, F., Acri, F., Aubry, F. B., Berton, A., Boldrin, A., Camatti, E., Cassin, D., Comaschi, A., 2003, Can plankton communities be considered as bio-indicators of water quality in the Lagoon of Venice?, Mar. Pollut. Bull., 46(8), 964-971.

- Cairn, J., McCormick, P. V., Niederlehner, B. R., 1993, A Proposed framework for developing indicators of ecosystem health, Hydrobiologia, 263(1), 1-44.
- Cho, G. S., 1993, Illustrated Book for Korean freshwater zooplankton, Academic Books., South Korea.
- Cho, K. J., Shin, J. K., 1998, Dynamics of inorganic N·P nutrient and planktonic algae during summer and winter in downstream of the Naktong River, Kor. J. Limnol., 31(1), 67-75.
- Choi, C. M., Moon, S. G., 2005, Phytoplankton flora and community structure in the SeoNakdong river, Proceedings of the Korean Environ. Sci. Soci.

- conference, 14(0), 257-259.
- Culver, D. A., Boucherie, M. M., Bean, D. J., Fletcher, J. W., 1985, Biomass of freshwater crustacean zooplankton from length-weight regressions, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42(8), 1380-1390.
- Dawidowicz, P., 1990, Effectiveness of phytoplankton control by large-bodied and small-bodied zooplankton, Hydrobiologia, 200/201, 43-47.
- Downing, J. A., Rigler, F. H. R., 1984, A Manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters, 2<sup>nd</sup> ed., Blackwell Scientific Inc., Boston, USA.
- Dumont, H. J., Van de Velde, I. V., Dumont, S., 1975, The dry weight estimate of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters, Oecologia, 19(1), 75-97.
- Gordon, T. T., Way, J., Scranton, M. I., 2003, Planktonic carbon cycling and transport in surface waters of the highly urbanized Hudson River Estuary, Limnol. Oceanogr., 48(5), 1779-1795.
- Han, M. S., Auh, Y. Y., Rhu, J. K., Yoo, K. I., Choi, Y. K., 1995, Ecological studies on Pal'tang river-reservoir system in Korea-2.Changes in phytoplankton community structure-, Korean J. Limnol. Soc., 28(3), 335-344.
- Helmut, H., 1999, Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae, J. Phyco., 35(2), 403-424.
- Hessen, D. O., Tranvik, L. J., 1998, Aquatic humic substances-ecology and biogeochemistry, Springer, Berlin; New York, 258-278.
- Hwang, S. C., Lee, B. H., Park, W. W., Cheong, Y. E., Park, H. J., Jeong, S. U., 1997, A Study on the relation between riverbed structure and pollutant concentration in down stream of Nakdong River, J. the Korean Envi. Sci. Soc., 6(5), 513-520.
- Jeon, S. I., Cho, S. J., 2004, Primary productivity of phytoplankton in the shallow and hypertrophic river(Seonakdong River), Korean J. Limnol. Soc., 37(1), 57-63.
- John, D. W., Robert, G. S., Patrick, K., 2003, Freshwater algae of North America-Ecology and Classification, 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, USA.
- Jun, S., Dongyan, L., 2003, Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for

- phytoplankton, J. Plankton Res., 25, 1331-1346.
- Jung, Y., 1993, Illustrated Book for Korean freshwater algae, Academic Books.
- Kang, T. U., Lee, S. H., 2013, Comparison and analysis for water quality improvement alternatives of the Seonakdonggang, J. KOSHAM, 13(3), 227-237.
- Keckeis, S., Baranyi, C., Hein, T., Holarek, C., Riedler, P., Schiemer, F., 2003, The significance of zooplankton grazing in a floodplain system of the River Danube, J. Plankton Res., 25, 243-253.
- Kellar, P. E., Paulson, S. A., Paulson, L. J., 1980, Methods for biological, chemical and physical analyses in reservoirs. Tech. Rep. 5, Lake Mead Limnological res. center, Univ. Nevada, Las Vegas, USA, 234.
- Kim, B. K., Lee, S. R., Lee, J. A., Chung, I. K., 2010, Molecular monitoring of plankton diversity in the Seonakdong river and along the coast of Namhae, J. the Korean Soc. Oceanogr., 15(1), 25-35.
- Kim, G. Y., Kim, J. Y., 2014, Standing crop distribution of aquatic plants in the West Nakdong river and riparian wetlands in the Nakdong river, Korean J. Limnol. Soc., 47(1), 62-69.
- Kim, H. S., Kong, D. S., Hwang, S. J., 2005, Characteristic community dynamics of phyto-and zooplankton in a shallow eutrophoic reservoir, Korean J. Limnol., 38(1), 18-29
- Kim, H. W., Chang, K. H., Jeong, K. S., Joo, G. J., 2003, The spring metazooplankton dynamics in the river-reservoir hybrid system(Nakdong River, Korea):Its role in controlling the phytoplankton biomass, Korean J. Limnol., 36(4), 420-426.
- Kim, T. W., Gil, K. I., 2011, Runoff characteristics of refractory organic matters from Kyongan river watershed during rainfall event and dry season, J. Korean Soc. Wat. Qual., 27(4), 397-404.
- Kim, Y., 1986, Chemical and bacteriological water quality of the Seonakdong River, Bull. Korean Fish Soc., 19(4), 347-355
- Larson, R. A., Hufnal, J. M., 1980, Oxidative polymerization of dissolved phenols by soluble and insoluble inorganic species, Limnol. Oceanogr., 25(3), 505-512.
- Lee, J. H., Kwon, J. N., Yang, S. Y., 2002, Seasonal variation of phytoplankton community in the Naktong river, Algae, 17(4), 267-273.
- Lee, N. J., Kim, Y. D., Kwon, J. H., Shin, C. K., 2007, Two

dimensional numerical modeling of water quality variation by gates operation in the Seonakdong River, J. the Korean Soc. Wat. Waste., 21(1), 101-112.

- Leppard, G. G., Munawar, M., 1992, The ultrastructual indicators of aquatic ecosystem health, J. Aqua. Eco. Heal., 1(4), 309-317.
- Marta, R., Coma, R., Gili, J. M., 1999, Seasonal variation of particulate organic carbon, dissolved organic carbon and the contribution of microbial communities to the live particulate organic carbon in a shallow near-bottom ecosystem at the Northestern Mediterranean Sea, J. Plankton Res., 21(6), 1077-1100.
- Meteorological Office, 2014, http://www.kma.go.kr.
- Ministry of Environment, 2012, Korean standard method for water qualtiy pollution, South Korea.
- Ministry of Environment, 2013, Survey guidelines for reservoir environment, South Korea.
- Morten, S., Borch, N. H., Riemann, B., 2000, Dynamics of biodegradable DOC produced by freshwater plankton communities, Aquat. microb. Ecol., 23(1), 73-83.
- Ochiai, M., Nakajima, T., Hanya, T., 1979, Seasonal fluctuations of dissolved organic matter in Lake Nakanuma, Jpn J. Limnol., 40(185), 185-190.
- Owens, N. J. P., 1988, Natural variation in <sup>15</sup>N in the marine environment, Adv. in Mar. Biol., 24, 389-451.
- Park, H. J., Yoo, S. J., Lee, B. H., Jeong, J. W., An, H. G., Park, W. W., 2001, Pollution characteristics and application of river sediment of the Western Nakdong River, Kor. J. Env. Hlth Soc., 27(1), 51-55.
- Park, H. J., Park, J. K., Park, W. W., 1994, The distribution characteristics of heavy metals in the water, sediment and soil along the West Nakdong River, J. Env. Sci. Int'l, 3(4), 409-416.

- Seo, J. K., Lee, H. J., Chung, I. K., 2010, The community dynamics of microbial food web during algal bloom by Stephanodiscus spp. in the downstream of Nakdong river, Kor. J. Env. Biol., 28(3), 172-178.
- Sharp, Z., 2007, Principles of isotope geochemistry, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, USA, 184-206.
- Strathmann, R. R., 1967, Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume, Limnol. Oceanogr., 12, 411-418.
- Uhm, S. H., Hwang, S. J., 2006, Grazing relationship between phytoplankton and zooplankton in lake Paldang ecosystem, Kor. J. Limnol., 39(3), 390-401.
- WAMIS, 2014, http://www.wamis.go.kr.
- We, S. U., Yoon, C. H., Min, B. Y., 2012, Horizontal distributions and their ecotoxicological implications relating to PCBs, DDTs, HCHs and HCB in sediments in the West Nakdong River, J. Life Sci., 22(3), 332-339.
- Wetzel, R. G., Likens, G., 2000, Limnological Analyses, 3<sup>rd</sup> ed., Springer, USA. 147-188.
- Wetzel, R. G., 2001, Limnology Lake and River Ecosystems, 3<sup>rd</sup> ed., Academic Press. 15-39.
- Yoon, H. S., Kim, G. Y., Kim, S. H., Lee, W. H., Yi, G. C., 2002, Physico-chemical characteristics of water and distribution of vascular hydrophytes in the West Nakdong river, South Korea, Korean J. Ecol., 25(5), 305-313.

Environmental Researcher. You-Jung Lee Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment (BIHE) youjung202@korea.kr