

영산강 동계 조류 대발생 기간의 규조류 *Stephanodiscus* spp. 출현양상과 형태적 분류

정병관 · 김용재¹ · 정승원² · 이학영³ · 신용식*

목포해양대학교 환경 · 생명공학과, ¹대전대학교 생명과학과,

²한국해양과학기술원 남해연구소 해양시료도서관, ³전남대학교 생물학과

Temporal Variation and Identification of a Centric Diatom, *Stephanodiscus* spp. during Winter-spring Blooms in the Yeongsan River. Jeong, Byungkwan, Yongjae Kim¹, Seung Won Jung², Hakyoung Lee³ and Yongsik Shin* (Department of Environmental Engineering & Biotechnology, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea; ¹Department of Life Science, Daejin University, Gyeonggi 478-711, Korea; ²South Sea Institute Library of Marine Samples, Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST), Geoje 656-830, Korea; ³Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea)

Abstract We conducted the weekly monitoring (December 2012~April 2013) to evaluate the temporal variation and identification of *Stephanodiscus* spp. that are generally dominant during winter in the Yeongsan River. Phytoplankton species were identified and counted using the optical microscope and scanning electron microscope (SEM). Phytoplankton in the river were grouped into 6 classes (bacillariophyceae, chlorophyceae, cryptophyceae, cyanophyceae, dinophyceae, euglenophyceae), 30 genus and 41 species. Phytoplankton composition showed high abundance of diatoms in winter and *Aulacoseira* sp., *Cyclotella* sp. and *Stephanodiscus* spp. were dominant. Among the species, *Stephanodiscus* spp. was relatively abundant compared to other diatom species. *Stephanodiscus* spp. appeared from December 2012 to April 2013 and their abundance peaked in January. Abundance of diatoms especially peaked (21,080 cells mL⁻¹) in January 15, 2013 when *Stephanodiscus* spp. also bloomed (20,560 cells mL⁻¹). The abundances of *Stephanodiscus* spp. were gradually decreased from March and reached as low as 60 cells mL⁻¹ in April 26. *Cyclostephanos* (*C. invisitatus*), *Cyclotella* (*C. meneghiniana*), *Discostella* (*D. pseudostelligera*, *D. woltereckii*) and *Stephanodiscus* (*S. hantzschii*, *S. minutulus*, *S. parvus*) were classified in the circular diatoms. Abundance of *S. hantzschii* was extremely high compared to *S. minutulus* and *S. parvus*.

Key words: *Stephanodiscus* spp., Yeongsan River, centric diatom, phytoplankton

서론

영산강은 국내 4대강 중에 하나로 우리나라 남서부에 위치하고 있다. 전남 담양군 용면 용추봉에서 시작하여 광주광역시, 나주시 등을 지나 서·남해로 유입되는 강으로 유역면적은 3,468 km², 유로연장은 136.7 km이다.

Manuscript received 11 September 2014, revised 4 December 2014,
revision accepted 17 December 2014
* Corresponding author: Tel: +82-61-240-7312, Fax: +82-61-240-7321,
E-mail: yongsik@mmu.ac.kr

영산강 상류에는 담양댐, 광주댐, 장성댐, 나주댐 등 4개의 다목적댐이 건설되었고, 강 하구에는 농·공업용수의 염해를 방지하기 위해 1981년 방조제가 축조되었다. 최근 2011년에는 4대강 사업으로 인해 광주광역시와 나주시에 승촌보와 죽산보가 건설되었다. 이러한 인공댐, 방조제 그리고 보와 같은 인공물들은 물의 흐름을 정체시켜 수질악화를 가속화시킬 뿐만 아니라 수 환경에서 서식하는 생물군의 변화를 초래할 수 있다(Hummel *et al.*, 1994; Courrat *et al.*, 2009; Ponti *et al.*, 2011). 댐 또는 저수지와 같은 정체된 수역에서 성층 발달 시 수계 저층은 환원적 상태로 전환되어 인산염의 용해도 증가와 혐기성 환경에서 다량의 인이 용출되어 조류 대발생에 기여하게 된다(Fay, 1983; Klapper, 1991). 영산강 역시 방조제 건설 이후 질소와 인 증가에 따른 부영양화 현상과 수계 저층부의 저 산소현상(hypoxic)이 발생되고 있으며(Youn *et al.*, 2003), 계절에 따라 식물플랑크톤의 수화현상이 반복되고 있다(Song *et al.*, 2012). 수 환경에서 식물플랑크톤은 상위 포식자들에게 먹이공급과 탄소순환뿐만 아니라 수중에 산소 공급이라는 긍정적인 역할을 담당하지만(Kemp and Boynton, 1981; Sundback *et al.*, 1990; Thorp and Delong, 1994) 이들의 대발생(blooms)은 공중위생상의 문제(이취미, 조류독소)뿐만 아니라 경제적 손실(여과활동 저해, 정수처리문제, 어류폐사)을 야기 할 수 있으며, 퇴적층에 침전된 다량의 사체로 인해 수질문제의 원인이 될 수 있다(Sundback *et al.*, 1990; Oh *et al.*, 2007). 따라서, 대발생시의 원인 종을 명확하게 규명하고 출현시기와 지속기간에 대한 정보를 확보하는 것은 하천 및 호소 관리에 있어 선행되어야 할 중요한 과제이다.

하천 및 호소의 식물플랑크톤 군집은 일반적으로 수온이 낮은 시기에는 규조류가 우점하며, 수온이 증가하는 시기에는 남조류와 녹조류가 우점하는 것이 보편적이다(Hutchinson and Edmondson, 1957; Bailey-Watts, 1988). 영산강에서도 *Cyclotella*, *Stephanodiscus*속과 같은 소형 중심목 규조류가 저수온기에 우점하였고, 고수온기에는 *Scenedesmus*, *Micractinium*, *Coelastrum*, *Dityosphaerium*속과 같은 녹조류와 *Merismopedia*속의 남조류 등이 우점을 보임으로서 일반적인 하천과 호소의 특징을 나타냈다(Kim, 2003; Jeong *et al.*, 2010; Son *et al.*, 2013). 이 중 *Stephanodiscus*속은 동계에 지속적으로 수화현상을 유발하는 종으로서 한강, 낙동강, 금강뿐만 아니라 외국의 호소에서도 이들의 대발생이 보고된 바 있다(Bailey-Watts, 1988; Cho and Shin, 1998a; Kim *et al.*, 1998; Jung *et al.*, 2003). 또한 원형 중심목 규조류인

*Stephanodiscus hantzschii*는 남조류 *Microcystis aeruginosa*와 함께 담수 생태계의 오염 지표종으로 사용되어 왔고(Reynolds, 1984), 이들의 생태적 거동을 파악하는 것은 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 낙동강의 경우 동계에 대발생하는 *Stephanodiscus*속을 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*와 *Stephanodiscus parvus*로 분류하였으며 대상종의 영양염 반 포화계수와 각 영양염에 대한 반응조사 등이 실시되었다(Cho, 1995; Cho and Shin, 1995; Cho and Shin, 1998). 하지만 영산강의 경우에는 상대적으로 다른 수계에 비해 이들 식물플랑크톤의 변동 및 생태에 대한 연구가 미흡한 실정이다. *Stephanodiscus*속은 영산강에서도 동계에 지속적으로 수화현상을 일으키는 종으로 보고되고 있으나 속 수준의 분류정보만이 주로 제시되었을 뿐(Kim, 2003; Jeong *et al.*, 2010; Son *et al.*, 2013), 종 수준에 분류와 형태적 특징에 대한 정보는 극히 제한적이다. 따라서, 본 연구에서는 동계 대발생 중인 *Stephanodiscus* spp.의 출현시기에 집중적인 모니터링을 실시하여 정확한 출현기간을 파악하고, 전자현미경을 이용하여 출현하는 종을 명확히 동정함으로써 동계 수화현상 해석에 필요한 기초 정보와 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 현장조사 및 자료수집

동계 영산강에서 대증식을 일으키는 원형 중심목 규조류인 *Stephanodiscus* spp.의 출현패턴을 확인하기 위해 영산강 몽탄대교 인근에 한 정점을 선정하여 2012년 12월 4일부터 2013년 4월 26일까지 총 21회의 주 단위(weekly) 모니터링을 표층에서 실시하였다(Fig. 1). 조사 기간 동안의 수온은 하천수 수질측정망(환경부 물환경정보시스템, <http://www.water.nier.go.kr>)의 자료를 이용하였으며, 기온 자료는 기상청(<http://www.kma.go.kr>) 자료를 이용하였다.

2. 식물플랑크톤 분류

식물플랑크톤의 계수 및 동정을 위해 채집된 시료를 1 L 채수병에 담아 Lugol's solution 5 mL을 넣어 잘 혼합한 후 암실에서 약 2~3일 정도 자연침전시켰다. Peristaltic pump(Masterflex, Cole Parmer®)를 이용해 자연침전시킨 시료의 상등액을 제거하고, 남은 여액 200 mL를 잘 혼합하여 50 mL Conical tube에 옮겨 담았다.

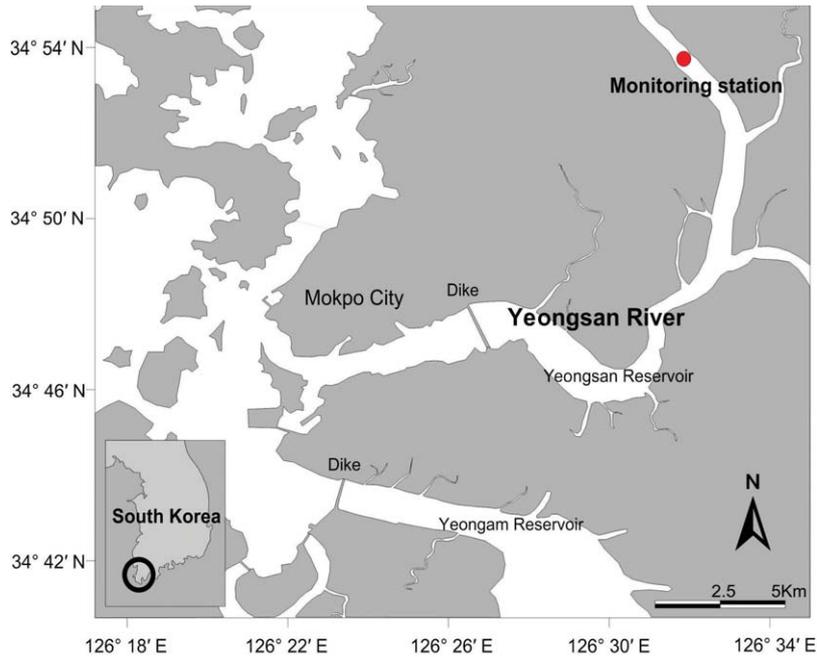


Fig. 1. Monitoring station in the Yeongsan River.

옹겨진 시료를 다시 1~2일 정도 농축시킨 후 45 mL의 상등액을 추가로 제거하고 남은 5 mL의 시료 중 1 mL을 S-R chamber에 넣고 계수하였다. 계수는 광학현미경 Axioskop 2 MAT (ZEISS®)를 이용하였다.

현장에서 채집된 시료를 glutaraldehyde 용액으로 고정 (final concentration 1%)한 후 5 mL을 membrane filter (Ø 47 mm, pore size 0.2 µm, Millipore®)에 여과하였다. 여과된 필터지를 108 Auto Sputter Coater (Cressington®)로 전처리를 하였고 전자현미경 (JSM-7600F, JEOL®)을 이용하여 촬영하였다. 전자현미경 촬영에 사용된 표본은 2013년 1월 15일과 3월 8일에 채집된 시료를 이용하였다. 원형 규조류의 형태학적 분류는 Cho (1995), Håkansson (2002), Houk and Klee (2004) 그리고 Jung *et al.* (2010)을 참고하였다.

결과 및 고찰

1. 식물플랑크톤 출현 양상

본 연구에서 실시된 모니터링 결과, 식물플랑크톤 중 조성은 총 6개 강의 (bacillariophyceae, chlorophyceae, cryptophyceae, cyanophyceae, dinophyceae, euglenophyceae), 30속 41종이 출현하였으며, 출현한 식물플랑크톤

의 개체는 850~21,160 cells mL⁻¹의 범위를 나타냈다 (Figs. 2, 3). 출현종 중 규조류는 59~100%의 점유율을 보임으로써 조사기간 중 가장 높은 분포를 보였고, 특히 1월에서 3월 사이에는 평균 97.7%로 극우점하였다 (Fig. 2). 출현 규조류 중에는 *Aulacoseira*, *Cyclotella* 그리고 *Stephanodiscus* (*S. hantzschii* complex)와 같은 원형 중심목 규조류가 주요 출현종으로 동정되었으며, 이 중 *Stephanodiscus* spp.가 현저히 높은 개체수를 보였다 (Fig. 3). 조사기간 중 규조류가 우세한 분포를 보이는 가운데 기온이 증가하는 2013년 3월 후반부터는 남조류, 녹조류 그리고 은편모조류가 증가하는 경향을 보였고 상대적으로 규조류는 감소했다. 2013년 4월 3일 조사에서는 남조류 (*Anabaena* sp.)가 23.0%, 4월 19일에는 은편모조류 (*Cryptomonas* sp.)가 33.1%로 기여율이 증가하였으며, *Coelastrum microporum*, *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus acuminatus*와 같은 녹조류의 점유율도 증가하는 양상을 나타냈다 (Fig. 2). 이와 같은 결과는 남조류와 녹조류는 다른 군집에 비해 높은 수온을 선호한다는 보고 (Fujimoto and Sudo, 1997; Kanoshina *et al.*, 2003; You *et al.*, 2013)와 규조류는 낮은 수온에서 높은 경쟁력을 가진다는 보고 (Tryfon and Moustaka-Gouni, 1997)와 일치하였다.

각 조사시기별 우점종 분포를 보면, 2012년 12월 4일 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira italica*가 3,150 cells

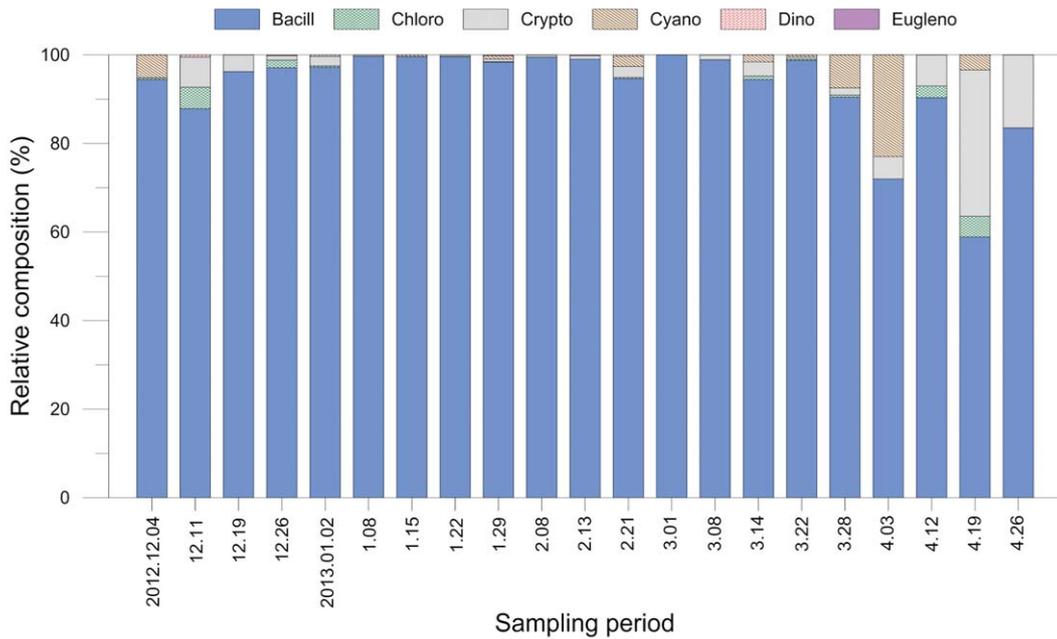


Fig. 2. Relative phytoplankton composition (Bacill; bacillariophyceae, Chlora; chlorophyceae, Crypto; cryptophyceae, Cyano; cyanophyceae, Dino; dinophyceae, Eugleno; euglenophyceae) of Yeongsan River during weekly monitoring.

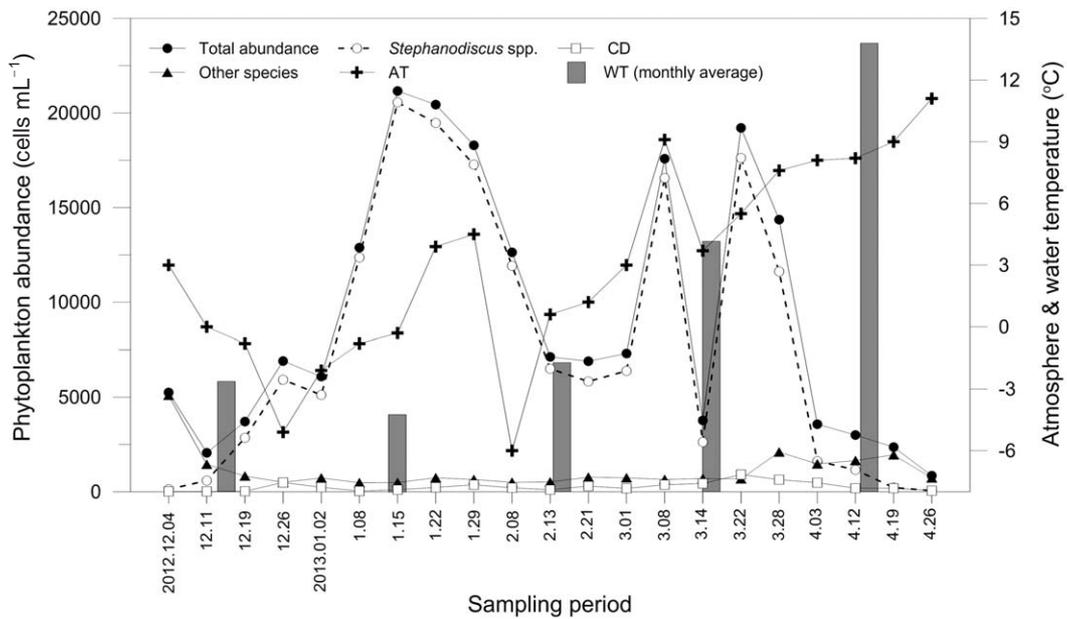


Fig. 3. Weekly variations of phytoplankton abundance (CD; centric diatom except *Stephanodiscus* spp.) and temperature (AT, atmosphere; WT, water) during the monitoring.

mL⁻¹로 전체 출현종의 60%로 우점했다 (Table 1). *A. italica*는 사슬모양의 군체를 형성하는 종으로 부영영화 된 하천이나 호소 등에서 서식하는 종으로 알려져 있으며 (Hutchinson and Edmondson, 1957; Stoermer *et al.*,

1978; Chung, 1993), 한강이나 주암호, 상사호, 옥정호 등에서 동계와 춘계에 자주 출현하는 종으로 보고되었다 (Kim *et al.*, 1997; Hwang *et al.*, 2005; Yoon *et al.*, 2008). 하지만 1주일 뒤인 12월 11일에는 *A. italica*와

Table 1. Dominant and subdominant species in the Yeongsan River during weekly monitoring in the cold season.

Year	Month	Day	Dominance sp.	%	Sub-dominance sp.	%
2012	Dec.	4	<i>Aulacoseira italica</i>	60.0	<i>Fragilaria crotonensis</i>	17.5
		11	<i>Aulacoseira italica</i>	28.6	<i>Fragilaria crotonensis</i>	13.1
		19	<i>Stephanodiscus</i> spp.	76.8	<i>Aulacoseira</i> sp.	7.5
		26	<i>Stephanodiscus</i> spp.	85.7	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	4.2
2013	Jan.	2	<i>Stephanodiscus</i> spp.	84.1	<i>Aulacoseira</i> sp.	4.6
		8	<i>Stephanodiscus</i> spp.	96.0	<i>Aulacoseira</i> sp.	0.9
		15	<i>Stephanodiscus</i> spp.	97.2	<i>Asterionella formosa</i>	0.6
		22	<i>Stephanodiscus</i> spp.	95.3	<i>Asterionella formosa</i>	0.7
		29	<i>Stephanodiscus</i> spp.	94.4	<i>Cyclotella stelligera</i>	1.1
	Feb.	8	<i>Stephanodiscus</i> spp.	94.4	<i>Aulacoseira italica</i>	1.2
		13	<i>Stephanodiscus</i> spp.	91.2	<i>Aulacoseira italica</i>	2.0
		21	<i>Stephanodiscus</i> spp.	84.5	<i>Cyclotella stelligera</i>	2.5
	Mar.	1	<i>Stephanodiscus</i> spp.	87.4	<i>Aulacoseira italica</i>	6.0
		8	<i>Stephanodiscus</i> spp.	94.2	<i>Cyclotella stelligera</i>	1.3
		14	<i>Stephanodiscus</i> spp.	69.8	<i>Cyclotella stelligera</i>	7.4
		22	<i>Stephanodiscus</i> spp.	91.7	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2.1
		28	<i>Stephanodiscus</i> spp.	80.9	<i>Anabaena</i> sp.	6.9
Apr.	3	<i>Stephanodiscus</i> spp.	45.4	<i>Anabaena</i> sp.	23.0	
	12	<i>Stephanodiscus</i> spp.	38.7	<i>Aulacoseira granulata</i>	25.7	
	19	<i>Cryptomonas</i> sp.	33.1	<i>Aulacoseira italica</i>	19.1	
	26	<i>Aulacoseira italica</i>	37.6	<i>Cryptomonas</i> sp.	16.5	

Stephanodiscus spp.가 28.6%로 공동 우점하였는데 *A. italica*의 개체수는 급격히 감소한 반면, *Stephanodiscus* spp.의 개체는 3배 이상 증가하였다(Fig. 3). Horn *et al.* (2011)은 *Aulacoseira*속 중 일부 종들이 짧은 따뜻한 겨울을 선호한다고 보고하였다. 모니터링을 시작한 이후 기온은 점차 감소하는 추세였고, 당시 조사 시에 3°C에서 0°C로 감소하였다(Fig. 3). 이러한 기온의 변화가 두 종간의 개체 변화에 영향을 준 것으로 판단된다. 2012년 12월 19일에는 *Stephanodiscus* spp. (76.8%)가 단독으로 우점하였고, 이러한 우점현상은 2013년 4월 12일 조사까지 지속되었다(Fig. 3). 12월 중순부터 4월 중순까지 *Stephanodiscus* spp. 최대 97.2%의 우점을 보였으며, 평균 82.8%의 우점을 보였다(Table 1). 선행 연구에서 *Stephanodiscus* sp.는 현장 수온이 4~8°C의 낮은 수온에서 번성하고(Kim *et al.*, 2008; Jung *et al.*, 2009), 온도구배에 따른 배양 실험에서 영양염의 제한이 없는 경우 10°C에서 최대성장률을, 5°C에서 두번째로 높은 성장률을 보였음이 보고된 바 있다(Jung *et al.*, 2011). 또한 Jeong *et al.* (2003)은 *Stephanodiscus hantzschii*의 최적성장 온도는 13°C이지만 적정 환경요인이 충족되면 수온이 3°C로 감소하여도 충분한 성장이 가능한 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 영산강에 출현한 *Stephanodiscus* spp.는 기온과 평균수온이 낮았던 시기에

우점도 및 개체수가 증가하였고, 기온과 평균수온이 증가한 4월에는 우점도 및 개체수가 급격히 감소하였다(Table 1, Fig. 3). 영산강과 같은 부영양 수계에서 동계의 낮은 기온과 수온은 *Stephanodiscus* spp.의 성장에 긍정적인 요인으로 작용하였을 것으로 판단된다. 3월 28일과 4월 3일에는 남조강인 *Anabaena* sp.가 각각 6.9, 23.0%로 차우점종으로 출현하였고, 4월 19일과 26일에는 은편모조강인 *Cryptomonas* sp.가 38.7, 16.5%로 우점종과 차우점종으로 출현함으로써 수온상승이 종 천이에 영향을 미친 것(e.g. Fujimoto and Sudo, 1997; Kanoshina *et al.*, 2003; You *et al.*, 2013)으로 판단된다.

2. 중심목 규조류의 형태적 특성 및 분류

식물플랑크톤의 개체수와 *Stephanodiscus* spp.의 개체수가 높았던 2013년 1월 15일과 3월 8일의 샘플을 전자현미경을 이용해 동정한 결과, 출현한 원형 중심목 규조류에는 *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Discostella*속이 출현하였다. 이 중 원형 중심목 규조류의 대부분이 *Stephanodiscus hantzschii*로 확인되었으며, *Stephanodiscus minutulus*와 *Stephanodiscus parvus*가 일부 동정되었다(Fig. 4). *S. hantzschii*는 주로 단독 또는 짧은 체인을 형성하고 있으며 세포는 원반모양으로

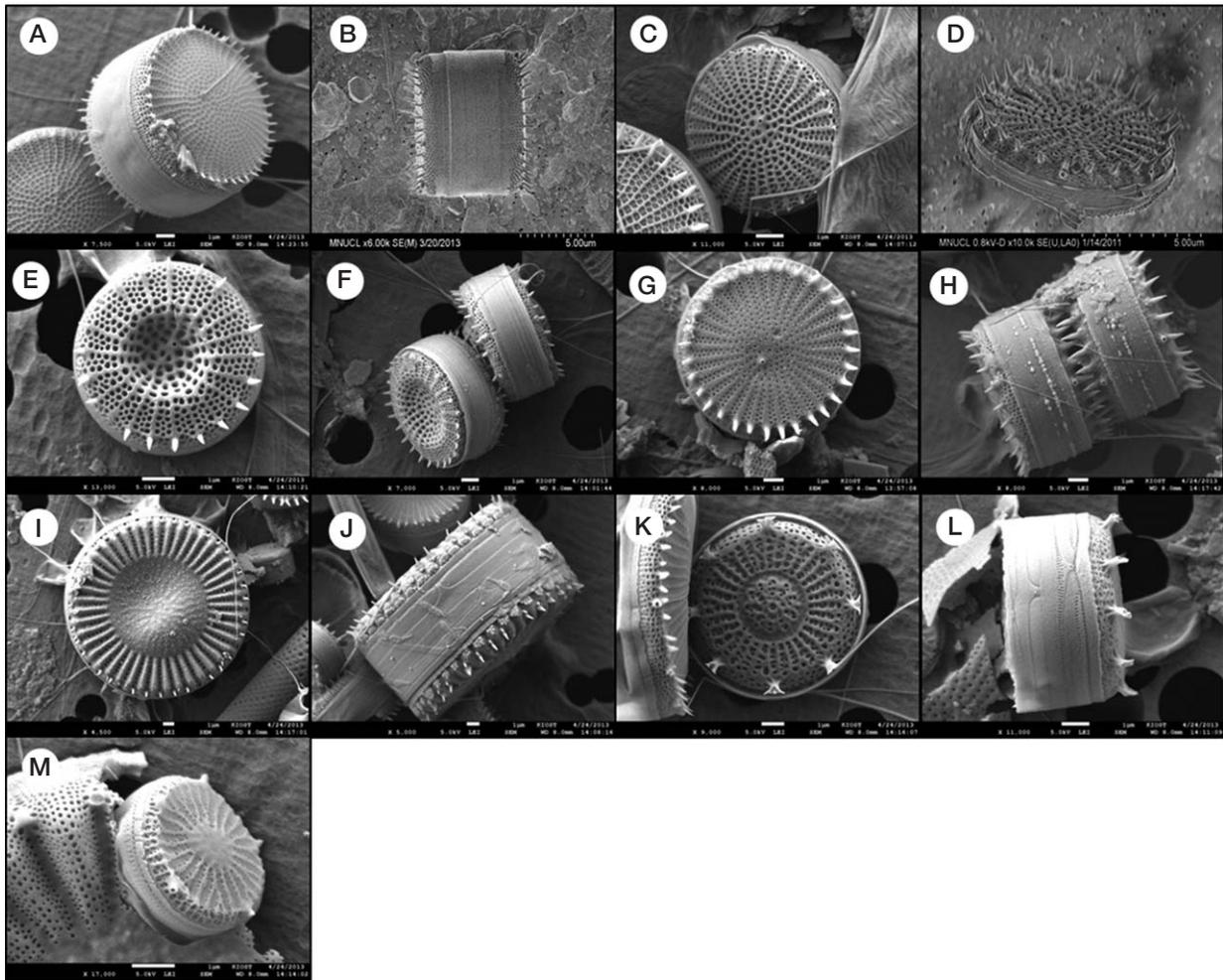


Fig. 4. External valve and girdle view by SEM. Scale bar=1 μm but B, D=5 μm (A, B; *Stephanodiscus hantzschii*, C, D; *Stephanodiscus parvus*, E, F; *Stephanodiscus minutulus*, G, H; *Cyclostephanos invisitatus*, I, J; *Cyclotella meneghiniana*, K, L; *Discostella pseudostelligera*, M; *Discostella woltereckii*).

뚜껑면 (valve face)은 원형이며 세포의 직경은 5~30 μm 이다. 뚜껑의 표면은 굴곡이 없고 점무늬열 (interfascicle)은 뚜껑의 중심에서 가장자리까지 이어지며, 점무늬열이 끝나는 뚜껑의 가장자리인 각투 (valve mantle)에 받침돌기 (strutted process)가 존재한다 (Håkansson, 2002). *S. parvus*는 직경이 5~11 μm 로 뚜껑면 중심에서 약간 빗겨난 위치에 중심받침돌기 (central strutted process)가 존재하며 상대적으로 *S. hantzschii*에 비해 망목 (그물문: areolae)이 넓고 중심부로 갈수록 커지는 형태를 나타낸다 (Cho, 1995; Håkansson, 2002). *S. minutulus*는 직경이 2~12 μm 로 *S. hantzschii*에 비해 크기가 작으며 뚜껑의 표면 중앙이 돌출 또는 함몰되어 있으며 방사성 망목은 중앙에서 불규칙한 배열을 나타낸다. 점무늬열 사이에는 2~3개의 점무늬열다발 (fascicle)

이 존재한다 (Håkansson, 2002).

그 외 원형 중심목 규조류에는 *Cyclostephanos*속의 *C. invisitatus*와 *Cyclotella*속의 *C. meneghiniana*, *Discostella*속의 *D. pseudostelligera*, *D. woltereckii*가 관찰되었으며 (Fig. 4), *S. hantzschii*와 유사한 *C. invisitatus*는 받침돌기의 유무에 따라 구분되었다. 하지만 이와 같은 중심목 규조류들의 개체는 20~910 cells mL^{-1} 의 범위로 *Stephanodiscus*속의 개체수와는 현저한 차이를 보였으며, 출현양상 또한 상이하였다 (Fig. 3).

영산강에서 *S. hantzschii*가 대량으로 발생하기 시작한 시기는 명확하게 제시되어 있지 않으나 Ryu *et al.* (1981)에 의해 실시된 하구둑 건설전 동계 조사 결과에서는 본 속이 출현하지 않았고, 낙동강의 경우에도 방조제 건설 이전에는 본 속의 출현이 보고되지 않았으나

1991년에 대발생한 것으로 보고되었다(Cho and Shin, 1995). 또한 *S. hantzschii*는 형태학적으로 *Cyclotella*와 광학현미경 상으로 유사하기에 오동정 될 가능성도 있다. 따라서 방조제 건설로 하구가 단절된 이후 담수역이 형성됨에 따라 담수 조류인 *Stephanodiscus*속이 출현하기 시작했을 것이라 추정되지만 정확한 출현 및 발생에 대한 기작은 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. 동계-춘계에 걸쳐 영산강에서 발생하는 규조류의 대증식은(조사기간 중 최대 $76.7 \mu\text{g L}^{-1}$) 수계 내 자생 유기물의 과잉상태를 초래하고 분해과정을 통해 용존 산소 고갈과 같은 수질 악화의 원인으로 작용할 수 있으며, 광물질화(remineralization)를 통한 영양염 순환은 추가적인 대발생의 요인으로 작용할 수 있기 때문에 대증식종의 거동을 파악하는 것은 호소 관리에 매우 중요하다. 본 연구에서 수행된 영산강 동계 대발생종인 *S. hantzschii*의 출현기간 및 분포에 대한 정보 및 중심목 규조류에 대한 종 정보들은 영산강에서 발생하는 조류 발생 문제에 대한 정책 마련 및 관리 대상 조류를 선정하는데 유용한 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

적 요

영산강에서 동계 대증식을 유발하는 *Stephanodiscus*속의 출현기간과 종 분류를 위해 2012년 12월부터 2013년 4월까지 주 단위로 21회의 모니터링을 실시하였다. 동계 영산강에서는 규조류가 절대적으로 우세한 군집을 보였으며, 규조강 중 원형규조 *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*속이 주요 출현종으로 동정되었다. 이 중 *Stephanodiscus* spp.는 극우점 규조류로서 12월 초에 출현하기 시작하여 1월에 최대 개체수를 나타냈고, 3월까지 높은 분포를 보였다. 기온이 증가하기 시작하는 4월부터 개체수가 급격히 감소한 반면 녹조강, 남조강, 은편모조강 등이 증가하는 경향을 나타냈다. 우점종은 거의 모든 조사시기에 원형 중심목 규조류(*S. hantzschii*)가 우점 및 차우점종으로 동정되었으며, 3월 말과 4월 중에는 남조강인 *Anabaena* sp.와 은편모조강인 *Cryptomonas* sp.가 우점 및 차우점종으로 출현함으로써 계절 변화에 따른 종 천이가 관찰되었다. 조사시기에 출현한 원형 중심목 규조류의 명확한 종 분류를 위해 전자현미경을 통해 동정한 결과, *Stephanodiscus*속 내의 *S. hantzschii*가 극우점한 가운데 부분적으로 *S. minutulus*와 *S. parvus* 동정되었으며, 그밖에 원형 중심목 규조류에는 *Cyclostephanos*속의 *C. invisitatus*와 *Cyclotella*속의 *C.*

meneghiniana, *Discostella*속의 *D. pseudostelligera*, *D. woltereckii*가 동정되었다.

사 사

규조류 미세구조 관찰을 위한 전자현미경 촬영은 한국해양과학기술원 해양시료도서관의 JSM-7600F 모델을 이용하였음. 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2012R1A1A2044565)이고, 또한 2014년 영산강 수계 환경기초조사사업(영산강·섬진강수계 조류발생 특성 및 대응전략 수립)의 지원으로 수행됨.

REFERENCES

- Bailey-Watts, A.E. 1988. Studies on the control of the early spring diatom maximum in Loch Leven 1981, p. 53-87. *In: Essays in phycology: algae and the aquatic environment* (Round, E.F., ed.). Bristol, Biopress.
- Cho, K.-J. 1995. Fine Structure of Diatom *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* and *S. parvus* from the Naktong River of Korea. *Korean Journal of Phycology* **10**: 69-76.
- Cho, K.-J. and J.-G. Shin. 1995. Persistent blooms of diatom *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* and *S. parvus* in the Naktong River. *Korean Journal of Phycology* **10**: 91-96.
- Cho, K.-J. and J.-K. Shin. 1998a. Dynamics of inorganic N · P nutrient and planktonic algae during summer and winter in downstream of the Naktong River. *Korean Journal of Limnology* **31**: 67-75.
- Cho, K.-J. and J.-K. Shin. 1998b. Growth and Nutrient Kinetics of Some Algal Species Isolated from the Naktong River. *Algae* **13**: 235-240.
- Chung, J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea. Academybook, Seoul.
- Courrat, A., J. Lobry, D. Nicolas, P. Laffargue, R. Amara, M. Lepage, M. Girardin and O. Le Pape. 2009. Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **81**: 179-190.
- Fay, P. 1983. The blue-greens (Cyanophyta-Cyanobacteria). Edward Arnold, London. pp. 1-88.
- Fujimoto, N. and R. Sudo. 1997. Nutrient-limited growth of *Microcystis aeruginosa* and *Phormidium tenue* and competition under various N:P supply ratios and temperatures. *Limnology and Oceanography* **24**: 250-256.
- Håkansson, H. 2002. A Compilation and evaluation of species in the general *Stephanodiscus*, *Cyclostephanos* and *Cyclo-*

- tella* with a new genus in the family Stephanodiscaceae. *Diatom Research* **17**: 1-139.
- Horn, H., L. Paul, W. Horn and T. Petzoldt. 2011. Long-term trends in the diatom composition of the spring bloom of a German reservoir: is *Aulacoseira* subarctica favoured by warm winters? *Freshwater Biology* **56**: 2483-2499.
- Houk, V. and R. Klee. 2004. The stelligeroid taxa of the genus *Cyclotella* (Kützing) Brébisson (Bacillariophyceae) and their transfer into the new genus *Discostella* gen. nov. *Diatom Research* **19**: 203-228.
- Hummel, H., A.W. Fortuin, R.H. Bogaards, A. Meijboom and L. de Wolf. 1994. The effects of prolonged emersion and submersion by tidal manipulation on marine macrobenthos. *Hydrobiologia* **282**(1): 219-234.
- Hutchinson, G.E. and Y.H. Edmondson. 1957. A Treatise on Limnology: Introduction to lake biology and the limnoplankton. Wiley, New York.
- Hwang, S.O., C.J. Ko, K.S. Lee, J.M. Lee and B.H. Kim. 2005. The plankton of lake in Korea · Lake Juam. Junghaengsa, Korea. pp. 58-60.
- Jeong, E.J., J.E. Na, G.M. Kim, S.S. Shim and H.Y. Lee. 2010. Water temperature and community of phytoplankton in Youngsan River, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **28**: 56-63.
- Jeong, K.S., F. Recknagel and G.J. Joo. 2003. Prediction and elucidation of population dynamics of the blue-green algae *Microcystis aeruginosa* and the diatom *Stephanodiscus hantzschii* in the Nakdong River-reservoir system (South Korea) by a recurrent artificial neural network. p. 195-213. In: Ecological Informatics (Recknagel, F., ed.). Springer Berlin Heidelberg.
- Jung, S.W., H.M. Joo, Y.O. Kim, J.H. Lee and M.S. Han. 2011. Effects of temperature and nutrient depletion and reintroduction on growth of *Stephanodiscus hantzschii* (Bacillariophyceae): implications for the blooming mechanism. *Journal of Freshwater Ecology* **26**: 115-121.
- Jung, S.W., J.H. Lee and J.S. Yoo. 2003. Environmental studies of the lower part of the Han River V. Blooming characteristics of phytoplankton communities. *Algae* **18**: 255-262.
- Jung, S.W., M.S. Han and J.S. Ki. 2010. Molecular genetic divergence of the centric diatom *Cyclotella* and *Discostella* (Bacillariophyceae) revealed by nuclear ribosomal DNA comparisons. *Journal of Applied Phycology* **22**: 319-329.
- Jung, S.W., O.Y. Kwon, J.H. Lee and M.S. Han. 2009. Effects of temperature and silicate on the winter blooming diatom *Stephanodiscus hantzschii* (Bacillariophyceae) growing in eutrophic conditions in the lower Han River, South Korea. *Journal of Freshwater Ecology* **24**: 219-226.
- Kanoshina, I., U. Lips and J.-M. Leppänen. 2003. The influence of weather conditions (temperature and wind) on cyanobacterial bloom development in the Gulf of Finland (Baltic Sea). *Harmful Algae* **2**: 29-41.
- Kemp, W.M. and W.R. Boynton. 1981. External and internal factors regulating metabolic rates of an estuarine benthic community. *Oecologia* **51**: 19-27.
- Kim, B., J.-H. Park, B.-J. Lim, W.-M. Heo, G. Hwang, K. Choi and K.-S. Chae. 1997. The limnological survey of major reservoirs in Korea (1): Lake Okjong. *Korean Journal of Limnology* **30**(4): 431-453.
- Kim, M.C., G.H. La, H.W. Kim, K.S. Jeong, D.K. Kim and G.J. Joo. 2008. The Effect of Water Temperature on Proliferation of *Stephanodiscus* sp. in vitro from the Nakdong River, South Korea. *Korean Journal of Limnology* **41**: 26-33.
- Kim, Y.J. 2003. Dynamics of phytoplankton community in Youngsan River. *Algae* **18**: 207-215.
- Kim, Y.J., M. Kim and S. Kim. 1998. Ecological characteristics of phytoplankton community in the mid-and downstream of the Han River. *Algae* **13**: 331-338.
- Klapper, H. 1991. Control of eutrophication in inland waters. Ellis Horwood Ltd.
- Oh, H.-M., S.-R. Ko, B.-B. Kim, C.-J. Kim, C.-Y. Ahn, C. Yoo, S.-H. Joung and G.-G. Choi. 2007. Practical guidance manual for the control of cyanobacterial bloom. Environmental Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Daejeon.
- Ponti, M., C. Casselli and M. Abbiati. 2011. Anthropogenic disturbance and spatial heterogeneity of macrobenthic invertebrate assemblages in coastal lagoons: the study case of Pialassa Baiona (northern Adriatic Sea). *Helgoland Marine Research* **65**: 25-42.
- Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. pp. 112-120.
- Ryu, I.-K., C.-Y. Lee, B.-H. Kim and Y.-S. Kang. 1981. Studies on the water pollution in Yeong san River. *The Journal of Gwang-Ju Health Junior College* **6**: 21-32.
- Son, M., J.-H. Park, C. Lim, S. Kim and B.-J. Lim. 2013. Seasonal change of phytoplankton community and water quality in Yeongsan River watershed. *Korean Journal of Environmental Biology* **31**: 105-112.
- Song, E., S. Jeon, D. Park and Y. Shin. 2012. Long-term trend analysis of chlorophyll *a* and water quality in the Yeongsan River. *Korean Journal of Limnology* **45**: 302-313.
- Stoermer, E.F., T.B. Ladewski and A. Robertson. 1978. Phytoplankton Associations in Lake Ontario During IFYGL. Great Lakes Research Division, University of Michigan.
- Sundback, K., B. Joensseon, P. Nilsson and I. Lindstroem. 1990. Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallow-water sediment system : An experimental study. *Marine Ecology Progress Series* **58**: 261-274.
- Thorp, J.H. and M.D. Delong. 1994. The Riverine Productivity Model: An Heuristic View of Carbon Sources and Organic Processing in Large River Ecosystems. *Oikos* **70**: 305-308.
- Tryfon, E. and M. Moustaka-Gouni. 1997. Species composition

- and seasonal cycles of phytoplankton with special reference to the nanoplankton of Lake Mikri Prespa. *Hydrobiologia* **351**: 61-75.
- Yoon, S.-A., N.-Y. Kim, B.-H. Kim and S.-J. Hwang. 2008. Relative Immigration activity of the hibernal diatom community in eutrophic waters. *Korean Journal of Limnology* **41**: 311-319.
- You, K.-A., M.-S. Byeon, S.-J. Youn, S.-J. Hwang and D.-H. Rhew. 2013. Growth characteristics of blue-green algae (*Anabaena spiroides*) causing tastes and odors in the North-Han River, Korea. *Korean Journal of Limnology* **46**: 135-144.
- Youn, S.-T., Y.-K. Koh, K.-H. Oh, B.-C. Moon and H.-G. Kim. 2003. Water quality assesment of the lower Yeongsan River system. *Journal of Environmental Impact Assessment* **12**: 259-270.