

## 대청호의 유입지천인 소옥천의 식물플랑크톤 군집 분석 및 수질영양단계 평가

김 옥 진 · 이 옥 민\*

(경기대학교 생명과학과)

Phytoplankton Community and the Evaluation of Water Quality Status in So-ok Stream, the Inflowing Stream to Daechung Lake. Kim, Ok-Jin and Ok-Min Lee\* (Department of Life Science, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea)

The study analyzed the physico-chemical quality of water and the resident phytoplankton community, and evaluated the water trophic status in So-ok stream flowing into Daechung lake from October 2007 to July 2008. Algal blooming by cyanophytes and diatoms continued throughout the year, with *Microcystis aeruginosa* and *Aulacoseira granulata* being prevalent. Ten taxa that are indicators of polluted water, including *Oscillatoria limosa* appeared. Results based on (Trophic status index) TSI and (Lake trophic status index) LTSI evaluations of water quality status indicated mesotrophication.

Key words : algal blooming, phytoplakton indicator, TSI, LTSI

### 서 론

우리나라의 대형 인공호수들은 1970년대 초부터 건설되기 시작하여 다목적 댐으로 운영되고 있다. 수자원 공급원으로 이용되는 대형 호수들은 형태적, 수리 수문학적 그리고 기후적인 특성으로 인해 수중 생태계의 변화와 심각한 수질 오염 상태를 나타내고 있다(Lee *et al.*, 2000). 호수의 수질오염은 녹조현상으로 대변되기도 하는데, 녹조현상은 주로 남조류가 번성하면서 물의 색깔이 녹색을 띄고 악취를 동반한다.

남조류의 번성은 수온(Tilman *et al.*, 1986; McQueen and Lean, 1987)과 pH(Steinberg and Hartmann, 1988), 질소와 인의 비(Smith and Shapiro, 1981; Smith, 1983) 등의 환경요인에 영향을 받으며, 호소내의 계절적 천이, 유역특성, 기후 등이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Sommer *et al.*, 1986; Reynolds *et al.*, 1987; Kimmel *et al.*, 1990; Shim, 2003).

이러한 이유로 호소의 수질에 관한 연구가 지속적으로 이루어져 왔으며, 인과 질소의 측정과 같은 이화학적인 평가 방법들이 개발되어왔다. 호소의 수질을 평가하는 방법으로 Vollenweider (1968)는 엽록소 *a*와 인의 농도에 따라 호소의 영양등급을 나누었으며, Sakamoto (1966)와 Dillon and Rigler (1974)는 엽록소 *a*와 인의 농도가 부영양화와 밀접한 관계가 있음을 보고한 바 있다. Carlson (1977)은 투명도(SD), 엽록소 *a*와 총인(TP)을 사용하여 수질의 영양단계를 평가하는 지수인 TSI(Trophic Status Index)를 제안하였고, Yang and Dickman (1993)은 LTSI(Lake Trophic Status Index)를 제안하였다.

국내 대형 호수의 하나인 대청호는 매년 여름마다 주로 상류수역에서 녹조현상이 시작되며, 녹조현상은 *Microcystis* 및 *Anabaena*와 같은 남조류에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다(Oh and Kim, 1995; Ahn *et al.*, 2002; Park and Lee, 2005; Yu *et al.*, 2006). 대청호의 녹조현상은 유입하천에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있으며(Cheon *et al.*, 2006), 이 중 소옥천이 유입되는 추소리 수

\* Corresponding author: Tel: 031) 249-9643, Fax: 031) 241-0860, E-mail: omlee@kyonggi.ac.kr

역에서 비교적 심하게 나타나고 있다(Chae *et al.*, 2006). 하지만 대청호에 관한 연구는 수질(Kim *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 1985; Oh, 1998; Chung, 1999)과 식물플랑크톤(Chung, 1995; Oh and Kim, 1995; Lee, 1999) 및 환경요인의 변화와 식물플랑크톤(Shin *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2003)의 상관관계에 관한 연구 등 종합적이고 심도 있는 연구들은 대부분 대청호 본류에 집중되어 있으며, 유입하천에 관한 연구는 미약한 편이다.

소옥천의 경우 오염물질 발생 특성연구(Oh *et al.*, 2004)와 수리 동력학 모델에 대한 연구(Chung *et al.*, 2008), 외부유입 부하 특성(Chae *et al.*, 2006)에 관한 연구가 진행되었으나, 소옥천의 투명도, 엽록소 *a*와 총인을 이용한 TSI와 LTSI의 적용과 식물플랑크톤의 종 분석 등은 수행된 바 없다. TSI와 LTSI는 일반적으로 호소의 영양단계평가에 주로 사용되지만, 소옥천의 경우 일부 상류구간을 제외한 대부분의 구간이 유속이 느리며, 정체구간을 형성한다. 또한 남대천의 연구(Kim and Lee, 2010)에서 TSI의 적용결과 상류와 하류의 영양단계의 변화를 잘 반영한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 대청호의 중요 유입지천인 소옥천의 연중 이화화학적 환경 분석을 통해 TSI와 LTSI를 구하여 수질 영양단계를 평가하고, 식물플랑크톤의 출현종에 대한 분석 및 현존량의 연중 동태를 분석함으로써 대청호의 녹조현상 제어 연구에 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사기간

조사지점은 소옥천에 위치한 5개의 정점을 대상으로 2007년 10월부터 2008년 7월까지 계절별로 조사하였다. 소옥천은 대청호로 유입되는 금강의 제1지류에 속하는 하천으로 유로연장은 30.29 km, 유로면적은 180.32 km<sup>2</sup>이다. 정점1은 충북 옥천군 옥천읍 삼청리에 위치한 소정저수지이고, 정점2는 옥천읍 옥각리에 위치한 옥천하수처리장의 처리수가 유입되는 지점이다. 정점3은 군북면 지오리이며, 정점4는 군북면 추소리에 위치하고, 정점5는 군북면 이평리로 대청호에 유입되기 직전에 위치한다(Fig. 1).

### 2. 채집 및 분석방법

수온, pH와 DO는 현장측정기(D-55)를 사용하여 측정하였으며, 총인(TP)과 총질소(TN)의 측정은 자외선 흡광도법과 아스코르빈산 환원법(The Ministry of Environ-

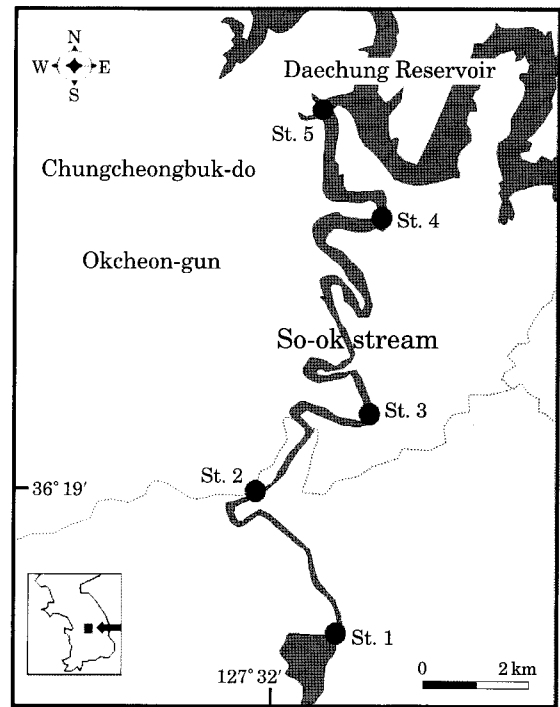


Fig. 1. Sampling sites in So-ok stream.

ment, 2000)을 이용하였다. COD는 COD<sub>Cr</sub> 환원법으로 측정하였고(APHA, 1998), 총질소, 총인과 엽록소 *a*의 농도는 Standard method (Greenberg *et al.*, 2000) 및 수질 오염공정시험법(The Ministry of Environment, 2000)에 준하여 분석하였다. 투명도(SD)는 탁도를 측정 후 전환하는 방법을 사용하였다(Davies-Colley and Smith, 2001). 식물플랑크톤의 현존량을 분석하기 위해 포르말린 20 mL을 처리한 시료 1 L를 24시간 이상 정치하였다. 이후 상등액을 제거하여 남은 시료를 균일하게 섞어준 뒤, Sedgwick-Rafter chamber에 1 mL의 시료를 넣고 독립현미경(Olympus IX 70, Japan)을 이용하여 400배 하에서 세포를 계수하여 측정하였다(Sournia, 1978).

정성적 종 분석을 위해서 부착조류는 각 정점의 수생 식물이나 물에 잠겨있는 돌과 육상식물 등을 훑어내는 방법을 사용하였고, 부유성조류는 현장에서 1 L 이상을 채수하여 침전시킨 후 농축된 시료를 관찰하였다. 규조류는 시료를 세정하여 Pleulax(Wako)로 봉입(mounting) 후 200~1,000배 하에서 검경하였다(USEPA, 2000).

각 정점별로 투명도(SD), 엽록소 *a*와 총인을 측정 후 TSI(Carlson, 1977; Forsberg and Ryding, 1980)와 LTSI(Yang and Dickman, 1983)를 이용하여 수질의 영양단계를 평가하였다. 각 정점에서 출현한 규조류를 제외한 식물플랑크톤은 Hirose *et al.*(1977)의 분류체계에 따라 정리하

였고, Prescott (1962)을 참조하였다. 규모장은 Simonsen의 분류체계 (Ettl *et al.*, 1986, 1988, 1991a, b)에 따랐다.

결 과

1. 이화학적 환경요인

소옥천의 5개 정점에서 조사된 이화학적 환경요인은 Table 1과 같다. 수온은 6.8~27.5°C의 범위로 나타났으며, 동계인 2월 정점2의 경우 하수처리장 방류수의 영향으로 10.0°C 이상의 높은 수온을 나타냈다. pH는 7.0~10.0의 범위로 나타났으며, DO는 3.8~16.6 mg L<sup>-1</sup>의 범위로 10월과 5월에 일부 정점을 제외하고 10.0 mg L<sup>-1</sup> 이상의 농도를 나타냈다. 투명도는 0.2~2.7 m 범위로 조류의 녹조현상이 나타난 7월의 정점1과 정점5에서 0.3 m 이하로 낮게 나타났다.

영양염의 경우 총질소는 1.49~11.93 mg L<sup>-1</sup>의 범위로 나타났으며, 10월의 정점2에서 9.90 mg L<sup>-1</sup>, 2월의 정점2에서는 11.93 mg L<sup>-1</sup>의 농도를 나타냈다. 5월의 정점3에서는 10.77 mg L<sup>-1</sup>의 농도로 계절 중 가장 높은 농도를 나타냈으며, 7월의 경우 정점별로 큰 차이를 보이지 않았고, 정점3에서는 3.29 mg L<sup>-1</sup>의 농도로 가장 높았다(Fig. 2).

총인은 16.20~729.70 µg L<sup>-1</sup>의 범위로 나타났으며, 정점2에서는 10월에 729.70 µg L<sup>-1</sup>, 2월에 551.70 µg L<sup>-1</sup>, 정

점3에서는 5월에 184.50 µg L<sup>-1</sup>의 농도로써 각 계절별 총질소의 농도가 가장 높았던 정점과 일치하는 경향을 나타냈다. 그러나 7월의 경우 정점5에서 119.65 µg L<sup>-1</sup>의 농도를 나타냈으며, 이는 총질소와 달리 최하류 정점에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 또한 총질소/총인 값은 10월과 5월의 정점1과 정점5를 제외하고는 모두 100 이하로 나타났다(Fig. 2).

COD<sub>cr</sub>의 농도는 2.6~22.1 mg L<sup>-1</sup>의 범위로 나타났으며, 7월의 정점2~4는 4.0 mg L<sup>-1</sup> 이하의 농도로써 수질환경기준(The Ministry of Environment, 2006) I~II등급으로 비교적 수질이 양호하게 평가되었고, 5월의 정점1과 5는 5.0~7.0 mg L<sup>-1</sup>의 범위로 III~IV등급으로써 수질이 비교적 오염됨을 나타냈다. 조사기간 동안 7월과 5월의 일부정점을 제외한 모든 정점은 7.0 mg L<sup>-1</sup> 이상의 농도로 나타났으며, 이는 수질환경기준 IV~VI등급으로 전체적으로 소옥천의 수질이 악화되었음을 나타낸다.

2. 식물플랑크톤 현존량 및 출현종

엽록소 *a*에 의한 소옥천의 식물플랑크톤 현존량은 2.1~57.0 mg m<sup>-3</sup>의 범위로 나타났으며, 계절과 정점별로 일정한 경향성을 나타내지 않았다. 10월에는 정점3에서 20.5 mg m<sup>-3</sup>로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 2월의 경우 모든 정점에서 7.0 mg m<sup>-3</sup> 이하로 낮게 나타났다. 5월에

Table 1. Physico-chemical analyses of five sites in So-ok stream from October 2007 to July 2008.

Date	Site	WT (°C)	pH	DO (mg L <sup>-1</sup> )	SD (m)	TN (mg L <sup>-1</sup> )	TP (µg L <sup>-1</sup> )	TN/TP	COD <sub>cr</sub> (mg L <sup>-1</sup> )
Oct. 2007	St.1	21.7	8.1	4.1	0.9	2.34	20.80	112.51	10.0
	St.2	22.9	7.6	6.2	2.1	9.90	729.70	13.56	13.3
	St.3	20.4	7.0	7.8	0.5	2.57	38.20	67.28	16.8
	St.4	21.6	7.2	4.4	0.9	1.97	23.50	83.97	15.9
	St.5	22.8	7.4	3.8	1.1	1.95	17.20	113.27	18.7
Feb. 2008	St.1	7.6	7.9	11.9	1.3	1.66	36.30	45.67	8.1
	St.2	10.2	7.7	8.8	2.7	11.93	551.70	21.62	18.9
	St.3	7.5	7.5	12.3	2.3	7.56	321.70	23.51	11.2
	St.4	8.6	8.6	14.6	1.9	3.88	130.00	29.83	8.3
	St.5	6.8	8.3	10.7	2.9	2.56	45.30	56.45	7.2
May 2008	St.1	19.3	7.3	9.0	0.6	1.69	16.20	104.11	5.3
	St.2	18.5	8.7	12.8	0.9	3.84	75.00	51.24	9.6
	St.3	18.0	8.2	9.4	1.5	10.77	184.50	58.36	10.6
	St.4	19.6	7.7	6.9	0.4	7.44	143.70	51.81	12.5
	St.5	19.6	7.8	8.8	0.9	4.49	23.00	195.03	6.6
Jul. 2008	St.1	26.2	10.0	16.6	0.2	1.49	91.83	16.23	17.9
	St.2	23.7	8.2	12.4	0.8	2.81	60.48	46.39	2.7
	St.3	23.8	7.9	10.4	0.6	3.29	96.90	33.92	3.6
	St.4	24.7	7.5	8.6	0.6	2.11	81.64	25.90	3.9
	St.5	27.5	9.2	11.8	0.3	2.58	119.65	21.56	22.1

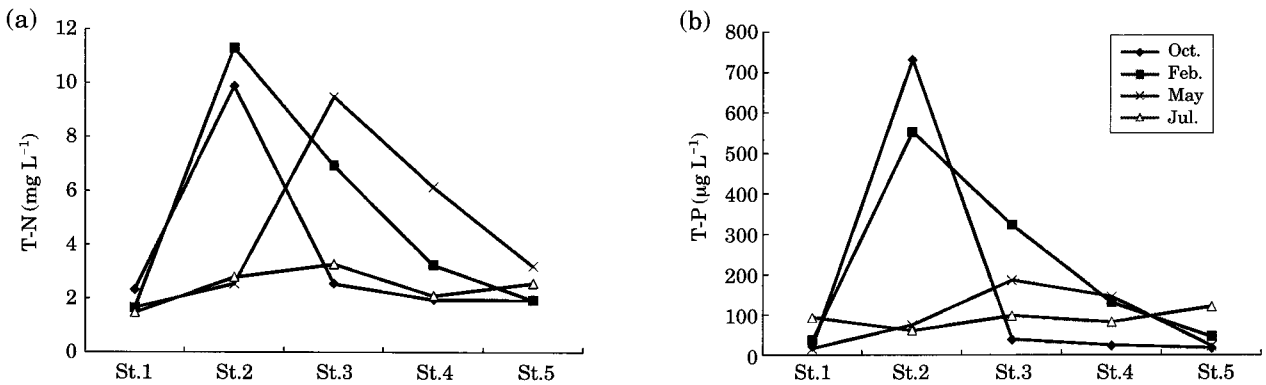


Fig. 2. Seasonal variations of total nitrogen (TN) (a) and total phosphorus (TP) (b) at five sites of So-ok stream from October 2007 to July 2008.

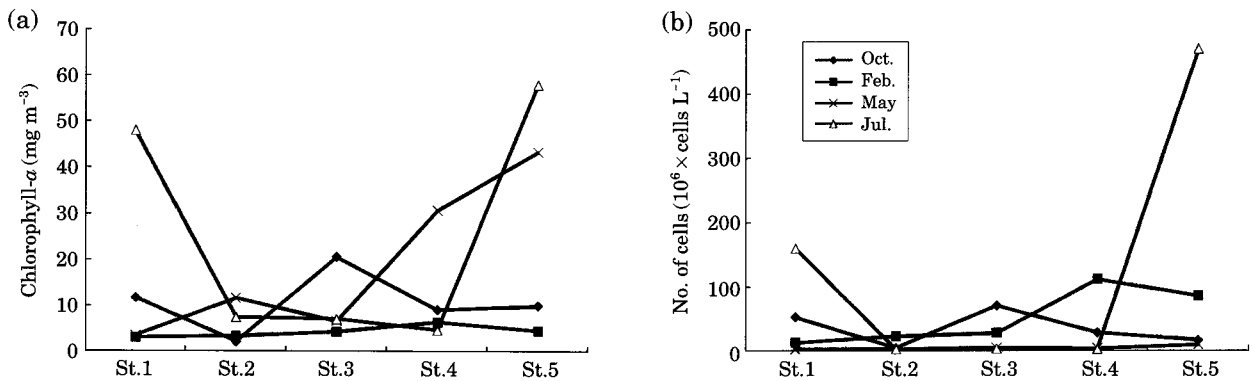


Fig. 3. Seasonal dynamics of standing crops as indicated by chlorophyll-a (Chl-a) concentration (a) and the number of phytoplankton cells (b) at five sites from October 2007 to July 2008.

는 정점3에서 엽록소 a가 감소하였으나, 전체적으로 대청호와 만나는 전이대로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다. 7월의 경우 녹조현상이 발생한 정점1과 정점5는 48.0 mg m<sup>-3</sup>과 57.9 mg m<sup>-3</sup>로 높은 농도를 나타냈으며, 나머지 정점은 10.0 mg m<sup>-3</sup> 이하를 나타냈다(Fig. 3).

세포수 계수에 의한 현존량 측정 결과 3.52 × 10<sup>6</sup>에서 471 × 10<sup>6</sup> cells L<sup>-1</sup>의 범위를 나타냈으며, 대체적으로 엽록소 a와 유사한 경향을 나타냈다. 10월의 경우 정점3에서 71.4 × 10<sup>6</sup> cells L<sup>-1</sup>을 나타냈고, 2월은 정점4에서 113 × 10<sup>6</sup> cells L<sup>-1</sup>로 가장 높았다. 5월에는 엽록소 a가 상류에서 하류로 갈수록 증가한 것과 달리, 세포수는 모든 정점에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 7월에는 정점5에서 471 × 10<sup>6</sup> cells L<sup>-1</sup>로 가장 높았으며, 정체수역인 정점1도 160 × 10<sup>6</sup> cells L<sup>-1</sup>로 높게 나타났다.

소옥천의 5개 정점으로부터 연중 출현한 식물플랑크톤은 총 205분류군으로, 5강 11목 5아목 27과 3아과 70속 167종 33변종 3품종 2미동정종으로 분류되었다.

각 강별 출현종수는 규조강이 125분류군, 녹조강이 53분류군, 남조강이 21분류군, 유글레나강이 5분류군 그리고 와편모조강이 1분류군으로 이 중 규조강이 가장 많은 분류군이 출현하였다. 규조강 중 *Navicula* 속이 21분류군, *Gomphonema*와 *Nitzschia* 속이 10분류군으로 많이 출현하였으며, 녹조강은 *Scenedesmus* 속이 18분류군으로 가장 많이 출현하였다. 남조강은 다양한 종이 출현하지 않았지만, 녹조현상의 원인종인 *Microcystis aeruginosa*가 모든 정점에서 출현하였다(Appendix).

Palmer(1980)의 연구에 의하면 소옥천의 전체 205분류군의 식물플랑크톤 중 *Oscillatoria limosa*를 포함한 15분류군의 식물플랑크톤은 오염수역을 지표하는 분류군이며, *Cyclotella comta*, *Fragilaria construens* 등 2분류군은 이취미를 발생시키는 물질을 분비하는 분류군으로 나타났다. 또한 소옥천의 주요 우점종으로 출현한 *Microcystis aeruginosa*와 *M. Flos-aquae*는 독성물질을 분비하는 분류군으로 나타났다(Table 2).

**Table 2.** Indicators of phytoplankton at five sites in So-ok stream from October 2007 to July 2008.

	Species	Sites (season*)
Clean water algae	<i>Cocconeis placentula</i>	St.3 (W*)
	<i>Oscillatoria limosa</i>	St.2 (F*, W), St.4 (W, Sp*, Su*), St.5 (W, Sp)
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	St.2 (F, W, Sp, Su), St.3 (F, W, Sp, Su), St.4 (F, Sp, Su), St.5 (F, Sp, Su)
	<i>Melosira varians</i>	St.1 (F, W, Sp, Su), St.2 (F, W, Sp, Su), St.3 (F, W, Sp, Su), St.4 (F, W, Sp, Su), St.5 (F, W, Sp, Su)
	<i>Synedra acus</i>	St.1 (W, Su), St.3 (W), St.5 (W)
Water pollution algae	<i>S. ulna</i>	St.1 (F), St.2 (F, W, Sp), St.3 (F), St.4 (F, Sp, Su), St.5 (F)
	<i>Gomphonema parvulum</i>	St.1 (F, Sp, Su), St.3 (W, Sp, Su), St.4 (F, W), St.5 (F, Sp, Su)
	<i>Navicula cryptocephala</i>	St.1 (Sp, Su), St.3 (F, Su), St.4 (F, Sp), St.5 (Sp)
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	St.1 (W, Su), St.2 (Sp), St.3 (Su), St.4 (W), St.5 (Sp, Su)
	<i>Nitzschia palea</i>	St.1 (F, W, Su), St.2 (F, W, Sp, Su), St.3 (W, Sp, Su), St.4 (F, W, Sp, Su), St.5 (F, W, Su)
	<i>Euglena viridis</i>	St.4 (Su)
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	St.1 (Su), St.2 (Su), St.3 (Su)
	Taste and odor	<i>Cyclotella comta</i>
<i>Fragilaria construens</i>		St.3 (Su), St.5 (Su)
Toxic algae	<i>Microcystis aeruginosa</i>	St.1 (F, W, Sp, Su), St.2 (F, Sp), St.3 (F, Su), St.4 (Su), St.5 (Sp, Su)
	<i>M. flos-aquae</i>	St.1 (F), St.3 (F)

\*W: winter, \*F: fall, \*Sp: spring, \*Su: summer

**Table 3.** Seasonal changes of TSI and LTSI from five sites at So-ok stream from October 2007 to July 2008.

Date	Site	TSI (Chl- <i>a</i> )		TSI (SD)		TSI (TP)		TSI		LTSI	
Oct. 2007	St.1	54.70	E <sup>3)</sup>	61.40	E	57.31	E	57.80	E	7.67	E
	St.2	37.90	OM <sup>1)</sup>	49.32	M	59.92	E	49.05	M	9.04	E
	St.3	60.22	E	69.02	E	58.54	E	62.59	E	9.99	H
	St.4	52.22	E	60.66	E	57.62	E	56.84	E	7.42	E
	St.5	53.06	E	58.07	E	56.75	E	55.96	E	6.86	E
Feb. 2008	St.1	41.52	M <sup>2)</sup>	55.80	E	58.46	E	51.93	E	6.07	E
	St.2	42.21	M	45.63	M	59.90	E	49.24	M	8.91	E
	St.3	44.75	M	47.55	M	59.83	E	50.71	E	8.71	E
	St.4	48.66	M	50.11	E	59.57	E	52.78	E	8.26	E
	St.5	45.23	M	44.34	M	58.77	E	49.45	M	5.80	E
May 2008	St.1	42.61	M	67.25	E	56.55	E	55.47	E	6.20	E
	St.2	54.58	E	60.33	E	59.26	E	58.05	E	9.30	E
	St.3	49.00	M	54.07	E	59.70	E	54.26	E	9.16	E
	St.4	64.12	E	73.08	H	59.61	E	65.60	E	12.73	H
	St.5	67.53	E	61.41	E	57.57	E	62.17	E	9.59	H
Jul. 2008	St.1	68.55	E	78.47	H	59.39	E	68.80	E	13.25	H
	St.2	50.18	E	61.70	E	59.08	E	56.99	E	8.52	E
	St.3	49.65	M	67.20	E	59.42	E	58.75	E	9.61	H
	St.4	45.57	M	65.60	E	59.32	E	56.83	E	8.66	E
	St.5	70.40	H <sup>4)</sup>	77.14	H	59.53	E	69.02	E	13.74	H

Lake Trophic categories; <sup>1)</sup>OM: Oligomesotrophic, <sup>2)</sup>M: Mesotrophic, <sup>3)</sup>E: Eutrophic, <sup>4)</sup>H: Hypereutrophic

### 3. 수질영양단계 평가

소옥천의 TSI 값은 49.05~69.02 범위로 나타났다. 10월과 2월의 정점2와 2월의 정점5는 TSI 값이 50 이하로 중부영양단계로 나타났으며, 두 정점을 제외한 나머지 정점은 모두 부영양단계를 나타냈다. 녹조현상이 관찰된 7월의 정점1과 정점5는 투명도의 경우 80.00에 근접한 값으로 과영양단계로 나타났고, 엽록소 *a*는 70.00 전후의 값으로 부영양 단계 이상으로 나타났으며, 총인은 부영양단계를 나타냈다. 또한 LTSI 평가 결과, 10월의 정점3과 5월의 정점5는 9.50에 근접한 값으로 5월의 정점4, 7월의 정점1과 정점5는 13.00 전후의 값으로 과영양단계로 나타났으며, 나머지 정점은 5.80~9.30으로 부영양단계를 나타냈다(Table 3).

## 고 찰

소옥천의 이화학적 환경요인 분석 결과 DO는 3.8~16.6 mg L<sup>-1</sup>의 범위로 한탄강의 연구(Kim, 2004)에서 8.2~13.2 mg L<sup>-1</sup>의 범위, 금강의 연구(Kim *et al.*, 2000)에서 7.7~11.8 mg L<sup>-1</sup>로 나타난 것과 비교할 때 지점 및 계절에 따른 차이가 비교적 큰 것으로 나타났다.

총질소 농도를 기준으로 수질영양단계평가(Forsberg and Ryding, 1980) 시 7월의 정점1을 제외하고 모든 정점이 과영양단계 기준인 1.50 mg L<sup>-1</sup>를 초과하였다. 질소의 농도는 유역 내 농지의 면적의 비가 높을수록 수체 내 질소 농도가 증가하게 되며(Kim and Hwang, 2004), 소옥천 유역의 약 23%가 농지로 이용되고 있기 때문에(Ye *et al.*, 2009), 토사유출 및 비료 등 과 같은 비점오염원의 영향을 받기 때문으로 사료된다. 정점2의 경우 10월과 2월의 질소 농도가 다른 정점보다 높은 값으로 나타난 것은 옥천하수처리장 방류수에 의한 영향으로 사료된다.

Vollenweider (1968)와 Forberg and Ryding (1980)의 평가 기준에 따라 총인의 농도에 따른 수질영양단계 평가 시 소옥천의 10월의 정점1, 4, 5와 5월의 정점1, 5를 제외한 모든 정점이 25.00 µg L<sup>-1</sup> 이상을 나타냄으로써 부영양단계 이상으로 평가되었으며, 대청호의 수질영양단계 평가 결과(Oh, 1998)와 일치하였다. 총인의 농도는 7월을 제외한 모든 계절에 20.80~729.70 µg L<sup>-1</sup> 범위까지 정점별로 농도차가 크게 나타났으며, 7월의 경우 모든 정점이 60.48~119.65 µg L<sup>-1</sup>의 값으로 변화의 폭이 작았다. 특히 7월의 정점1의 소정저수지와 정점5인 대청호

합류지역은 91.83~119.65 µg L<sup>-1</sup>의 값을 나타냈으며, 두 정점은 7월에 발생한 남조류에 의한 녹조현상과 관련이 있을 것으로 사료된다.

출현종의 경우 *Oscillatoria limosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Melosira varians*, *Synedra acus*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptocephala*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea*, *Euglena viridis* 및 *Ankistrodesmus falcatus*가 소옥천의 오염 지표종으로 나타났다(Palmer, 1980). 또한 *Melosira varians*, *Nitzschia palea* 및 *Gomphonema parvulum*의 경우 대부분의 정점과 계절에서 출현하여, 소옥천의 대표적인 오염종 및 지표종으로 나타났다. *Microcystis aeruginosa*는 국내 주요 호소의 수화원인종(Oh and Kim, 1995; Ahn *et al.*, 2002; Park and Lee, 2005; Yu *et al.*, 2006) 및 독성지표종(Palmer, 1980)으로서 정체수역인 정점1에서 연중 출현하였다. *Microcystis aeruginosa*는 2007년 10월과 2008년 7월에 채집된 대부분의 정점에서 우점한 것으로 나타났다. 이것은 영양염의 농도가 높은 소옥천에서 유속의 감소, 정체구간의 형성 등 일정 조건만 갖추어지면 녹조현상이 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 *Microcystis aeruginosa* 외에 규조류의 *Aulacoseira granulata*, *Nitzschia palea*, *Cyclotella stelligera* 및 *Asterionella formosa*는 소옥천에서 출현빈도가 높으며(Table 3), 수화원인종(Lee *et al.*, 2002)으로 분류되어 있는 분류군이다.

이화학적 환경요인을 바탕으로 TSI를 평가한 결과, 중부영양단계에서 부영양단계로 나타났으며, LTSI는 부영양단계에서 과영양단계를 나타냈다. 따라서 소옥천 모든 정점은 중부영양단계에서 과영양단계로 오염이 심화되어 있는 것으로 사료된다.

LTSI의 결과는 TSI에 비해 호수의 수역별 육수학적 특성을 잘 반영하였으며, 3개 항목을 동시에 사용하므로 평가방법이 간단할 뿐만 아니라 7단계로 세분화시켰기 때문에(Aizaki *et al.*, 1981), TSI보다 수질영양단계평가에 적합하다(Park *et al.*, 2005). 하지만 LTSI를 사용하여 평가 시 어떠한 요인으로 인해 영양단계가 평가되었는가를 정확히 확인할 수 없기 때문에 보조적인 수단으로써 TSI를 병행하여 영양단계를 평가하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

대청호의 중요 유입지천인 소옥천의 식물플랑크톤 군집 및 수질영양단계 평가 결과, 수질영양단계는 전체적으로 중부영양단계 이상으로 평가되었으며, 식물플랑크톤은 *Microcystis aeruginosa*, *Aulacoseira granulata*, *Nitzschia palea*, *Cyclotella stelligera* 및 *Asterionella formosa* 등 수화원인종의 출현빈도가 높은 것으로 나타났다. 따라

서 소옥천의 녹조현상을 제어하기 위해서는 유역에서 유입되는 영양염의 관리가 중요할 것으로 판단되며, 지속적인 모니터링을 통한 수질관리 대책이 마련되어야 할 것이라 사료된다.

## 적 요

본 연구는 2007년 10월부터 2008년 7월까지 대청호의 중요 유입지천인 소옥천에 대해 이화학적 수질, 식물플랑크톤 군집을 분석하고 수질영양단계를 평가하였다. 식물플랑크톤은 *Microcystis aeruginosa*와 *Aulacoseira granulata* 등 수화원인종의 출현빈도가 높아 잠재적으로 남조류 및 규조류에 의한 녹조현상이 연중 지속될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 *Oscillatoria limosa*를 포함한 10분류군의 오염수역 지표종이 출현하였다. TSI (Trophic Status Index)와 LTSI (Lake Trophic Status Index)에 의한 수질영양단계 평가 결과, TSI는 중부영양~부영양화 단계, LTSI는 중부영양단계~과영양단계로 평가되었다.

## 사 사

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(2010-0006680)에 의해 지원되었습니다.

## 인 용 문 헌

- Ahn, C.Y., A.S. Chung and H.M. Oh. 2002. Rainfall, phyco-cyanin, and N:P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir. *Hydrobiology* **474**: 117-124.
- Aizaki, M., A. Otsuki, T. Fukushima, T. kawai, M. Hosomi and K. Muraoka. 1981. Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese and its relationships to other parameters related to trophic stage. *Research Report from the National Institute for Environmental Study* **23**: 13-31.
- APHA. 1998. Standard method. For the examination of water and wastewater. 20th, New York, p. 1220.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic status index for lakes. *Limnology and Oceanography* **22**: 361-369.
- Chae, M.H., S.J. Yu, J.Y. Hwang, S.U. Cheon and J.H. Lee. 2006. Mitigation of algal bloom in Daecheong Reservoir by considering tributary inflow character. *Korean Journal on Water Quality/The joint scholarship conference, Spring* pp. 509-514.
- Cheon, S.U., J.A. Lee, J.J. Lee, Y.B. Yoo, K.C. Bang and Y.J. Lee. 2006. Relationship among inflow volume, water quality and algal growth in the Daecheong Lake. *Korean Journal on Water Quality* **22**: 342-349.
- Choi, J.Y. 1996. The comprehensive development of water quality index, Korea Environment Institute, p. 42-111.
- Chung, S.J. 1995. A study on the phytoplankton community in Dae-chong Lake. *Korean Journal of Environmental Biology* **13**: 83-106.
- Chung, S.J. 1998. A study on the water quality of Daechung Reservoir. *Korean Journal of Environmental Biology* **16**: 425-431.
- Chung, S.W., H.S. Lee, S.W. Yoon, H.Y. Chung and D.G. Oh. 2008. 3D hydrodynamic and tracer simulations for assessing the impact of So-oak Stream load on Daecheong Reservoir water quality. *Korean Journal on Water Quality/The joint scholarship conference, Spring A-7*.
- Davies-Colley, R.J. and D.G. Smith. 2001. Turbidity, suspended sediment, and water clarity; A review. *Water Resources Research* **37**: 1085-1101.
- Dillon, P.J. and F.H. Rigler. 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnology and Oceanography* **19**: 767-773.
- Ettl, H., G. Gartner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1991a. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4. Bacillariophyceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, p. 437.
- Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Bacillariophyceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, p. 876.
- Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1988. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2. Bacillariophyceae. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, p. 610.
- Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1991b. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Bacillariophyceae. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, p. 610.
- Forsberg, C. and V.H. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Wsedish waste-receiving lakes. *Archives of Hydrobiology* **89**: 189-207.
- Greenberg, A.E., L.S. Clesceri and A.N. Eaton. 2000. Standard method for the examination of water and wastewater, 21st ed., American Public Health Association, Washington, D.C. USA.
- Hirose, H.M., T. Akiyama, K. Imahori, H. Kasaki, S. Kumano, H. Kobayasi, E. Takahashi, T. Tsumura, M. Hirano and T. Yamagishi. 1977. Illustrations of the Japanese fresh-

- water algae. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan, p. 932.
- Kim, D.K., Y.S. Seo, J.S. Song, M.H. Lee, J.D. Choi, K.H. Park and K.S. Choi. 1984. The comprehensive study of the eutrophication in Daechung lake. National Institute of Environmental Research, Seoul.
- Kim, H.S. and S.J. Hwang. 2004. Analysis of eutrophication based on chlorophyll-*a*, depth and limnological characteristics in Korean reservoirs. *Korean Journal of Limnology* **37**: 213-226.
- Kim, J.H., S.J. Lee and H.M. Oh. 2000. Dynamics of epilithic algal community in the Geum River, Korea. *Algae* **15**: 287-297.
- Kim, Y.J. 2004. Temporal and spatial dynamics of an epilithic algal community in the Hantan River. *Algae* **19**(1): 15-22.
- Kim, Y.J. and O.M. Lee. 2010. Assessment of water quality in Namdae-Stream, Yeongok-Stream and Sacheon-Stream using trophic status and epilithic diatom indices. *Korean Journal of Limnology* **43**: 117-128.
- Kimmel, B.L., O.T. Lind and L.J. Paulson. 1990. Reservoir primary production, p. 133-194. *In*: Reservoir Limnology: Ecological Perspectives (Thornton, K.W., B.L. Kimmel and F.E. Payne, eds.). John Wiley & Sons jobs, New York.
- Lee, H.K., J.S. Song, H.J. Lee, D. Park and Y.S. Lee. 1985. The research of pollutant of intake source in water supply of Chungju-si, Daechung lake. The research paper of Korea Water Resources Corporation.
- Lee, J.H. 1999. The annual dynamics of phytoplankton community in Daechong lake. *Korean Journal of Limnology* **32**: 358-366.
- Lee, J.H., H.M. Oh and J.S. Maeng. 2000. Water quality and phytoplankton standing crops in the Daechung Reservoir. *Korean Journal of Environmental Biology* **18**: 355-365.
- Lee, J.H., J.G. Park and E.J. Kim. 2002. Trophic states and phytoplankton compositions of Dam Lakes in Korea. *Algae* **17**: 275-281.
- Lee, J.J., J.H. Lee and J.G. Park. 2003. Relationships between the development of cyanobacterial bloom and the changes of environmental factors in Lake Daechung. *Korean Journal of Limnology* **36**: 269-276.
- McQueen, D.J. and D.R.S. Lean. 1987. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **46**: 1171-1175.
- Oh, H.M. and D.H. Kim. 1995. The short-term prediction for water-blooming of cyanophytes in Daechung lake. *Korean Journal of Limnology* **28**: 127-135.
- Oh, I.H. 1998. Ecological studies on Daechung Reservoir (-'97). *Korean Journal of Limnology* **31**: 79-87.
- Oh, Y.T., J.C. Park, D.S. Kim and J.K. Rhyu. 2004. Pollutant characteristics of nonpoint source runoff in Okcheon Stream. *Korean Journal of Water and Wastewater/The joint scholarship conference, Spring* **5**: 549-552.
- Palmer, C.M. 1980. Algae and water pollution. Castle Publication Ltd., UK, 213pp.
- Park, J.C., J.W. Park, D.H. Kim, J.K. Sin and H.M. Lee. 2005. A comparative study of trophic state in Lake Andong, Korea. *Korean Journal of Limnology* **38**: 95-104.
- Park, J.G. and J.J. Lee. 2005. Community dynamics of phytoplankton in Lake Daechong. *Algae* **20**(3): 197-205.
- Prescott, G.W. 1962. Algae of the western great lakes area. Otto Koeltz Science Publishers, Germany, 976pp.
- Reynolds, R.D., R.L. Oliver and A.E. Walsby. 1987. Cyanobacterial dominance: The role of buoyancy regulation in dynamic lake environments. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **21**: 379-390.
- Sakamoto, M. 1966. Primary production by the phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Archives of Hydrobiology* **62**: 1-28.
- Shim, J.H. 2003. The ecology of plankton. The publishing department, SNU, Seoul, 382pp.
- Shin, J.K., K.J. Cho and I.H. Oh. 1999. Dynamics of water environmental factors and phytoplankton in Taechong Reservoir. *Korean Journal of Environmental Biology* **17**: 529-541.
- Smith, V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science* **221**: 669-671.
- Smith, V.H. and J. Shapiro. 1981. Chlorophyll-phosphorus relations in individual lakes. Their importance to lake restoration strategies. *Environmental Science and Technology* **15**: 444-451.
- Sommer, U., Z.M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh water. *Archives of Hydrobiology* **106**: 433-471.
- Sournia, A. 1978. Phytoplankton manual. Unesco, UK, p. 33.
- Steinberg, C.E.W. and H.M. Hartmann. 1988. Planktonic bloom-forming cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers. *Freshwater Biology* **20**: 279-287.
- The Ministry of Environment. 2000. The test methods of pollution process in water quality. M.E., Korea.
- The Ministry of Environment. 2006. The enforcement ordi-



- nance of environmental policy, environmental standard for water quality, special table 1. M.E., Korea.
- Tilman, D., R. Kiesling, R. Sterner, S.S. Kil-man and F.A. Johnson. 1986. Green, blue-green and diatom algae: taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. *Archives of Hydrobiology* **106**: 473-485.
- USEPA. 2000. Nutrient criteria technical guidance manual: Lakes and reservoirs. USEPA. EPA-822-B00-001.
- Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication, OECD Technical Report. DAS/CSI/68. 27,1.
- Yang, J.R. and M. Dickman. 1993. Diatom as indicators of lake trophic status in Central Ontario, Canada. *International Society for Diatom Research* **8**: 179-193.
- Ye, L., S.W. Jung, D.G. Oh and S.W. Yoon. 2009. Impact of climate change on water cycle and soil loss in Daecheong Reservoir watershed. *Korean Journal on Water Quality* **25**: 821-831.
- Yu, S.J., J.Y. Hwang, M.H. Chae and S.Y. Kim. 2006. The relationship between algae transport and current in the Daecheong Reservoir. *Korean Journal on Water Quality* **2**: 887-894.

(Manuscript received 14 December 2010,  
Revision accepted 9 June 2011)







Appendix. Continued.

Species	Season															
	St.1			St.2			St.3			St.4			St.5			
	Fa	Wi	Sp	Su	Fa	Wi	Sp	Su	Fa	Wi	Sp	Su	Fa	Wi	Sp	Su
<i>G. truncatum</i>				+												
<i>Gyrosima acuminatum</i>	+															
<i>Navicula bacillum</i>							+									
<i>N. capitatoradiata</i>																
<i>N. cincta</i>																
<i>N. cryptocephala</i>																
<i>N. cryptotenella</i>																
<i>N. cuspidata</i>																
<i>N. decussis</i>																
<i>N. gallica</i> var. <i>perpusilla</i>																
<i>N. gregaria</i>																
<i>N. minima</i>																
<i>N. notha</i>																
<i>N. pseudolanceolata</i>																
<i>N. pupula</i>																
<i>N. pupula</i> var. <i>capitata</i>																
<i>N. pupula</i> var. <i>elliptica</i>																
<i>N. subminuscula</i>																
<i>N. texana</i>																
<i>N. trivalis</i>																
<i>N. viridula</i> var. <i>rostellata</i>																
<i>Neidium affine</i>																
<i>N. iridis</i>																
<i>Pinnularia appendiculata</i>																
<i>P. biceps</i>																
<i>P. borealis</i>																
<i>P. gibba</i>																
<i>P. viridis</i>																
Fam. Epithemiaceae																
<i>Epithemia adnata</i>																
<i>Rhopalodia gibba</i>																
Fam. Nitzschiaceae																
<i>Bacillaria paradoxa</i>																
<i>Hantzschia amphioxys</i>																
<i>Nitzschia amphibia</i>																
<i>N. dissipata</i>																
<i>N. fonticola</i>																
<i>N. frustulum</i>																





Appendix. Continued.

Species	Season																
	St.1			St.2			St.3			St.4			St.5				
	Fa	Wi	Sp	Su	Fa	Wi	Sp	Su	Fa	Wi	Sp	Su	Fa	Wi	Sp	Su	
<i>S. flavescens</i>																	
<i>S. incrassatulus</i>	+				+												
<i>S. intermedius</i> var. <i>balatonicus</i>							+										
<i>S. longispina</i>																+	
<i>S. ovalternus</i> var. <i>graevenitzii</i>	+																
<i>S. quadricauda</i> var. <i>maximus</i>																	
<i>S. spinosus</i>																	
<i>S. spinosus</i> var. <i>bicaudatus</i>	+				+												
Ord. ZYGNEMATALES																	
Fam. Zygnemataceae																	
Subfam. Spirogyroideae																	
<i>Spirogyra halina</i>																+	
Fam. Desmidiaceae																	
Subfam. Closterieae																	
<i>Closterium acerosum</i> var. <i>tumidum</i>																+	
Subfam. Cosmarieae																	
<i>Cosmarium circulare</i>																	
<i>C. hammeri</i>																	
<i>C. rectangulare</i>																	
<i>Staurastrum dickiei</i>																	
<i>S. gracile</i> var. <i>nanum</i>	+																
<i>S. pseudosedald</i> var. <i>basidenticulatum</i>																	
<i>S. tetracerum</i> var. <i>subexcautum</i>																	
<i>Actinotaenium turgidum</i>																	
<i>Euastrum verrucosum</i>																	
<i>Hyalotheca mucosa</i>																	
<i>Phymatodocis nordstedtiana</i>																	
<i>Xanthidium antilopaenium</i>																	
Phylum DINOPHYTA																	
Cl. DINOPHYCEAE																	
Ord. PERIDINIALES																	
Fam. Peridiniaceae																	
<i>Peridinium marchicum</i>																	
Total	41	29	23	40	50	25	36	36	44	26	26	35	39	39	29	38	31