

## 충남 예당저수지를 포함한 10개 저수지의 영양단계 및 부착규조지수를 이용한 수질평가

송미애 · 김지원 · 김현년 · 공동수 · 이옥민\*

(경기대학교 생명과학과)

**Water Quality Assessment using Trophic Status Index and Attached Diatom Index in 10 Reservoirs including Ye-dang Reservoir of Chungcheongnam-do. Song, mi-ae, Ji-won Kim, Hun-nyun Kim, Dong-soo Kong and Ok-min Lee\* (Department of Life Science, College of Natural Science, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea)**

The research assessed water quality using physico-chemical factors, trophic status index and attached diatom index in 10 reservoirs located in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008. The physico-chemical water quality assessments revealed that Dangjin-gun (St. 1~5), which displayed a high chemical oxygen demand (V and VI) and chlorophyll-*a* (Eutrophic-Hypereutrophic), was more polluted than Yesan and Cheongyang-gun. The sample were also hypereutrophic [trophic status index (TSI) 74.6] and  $\beta$ -mesosaprobic [diatom assemblage index to the organic water pollution (DAIpo) 44.47]. Yesan and Cheongyang-gun. Which were mid-level in their pollution status, were eutrophic (TSI 56.9) and  $\alpha$ -oligosaprobic (DAIpo 60.11). TSI correlated strongly with the attached diatom index (of DAIpo 0.60~0.62, and trophic diatom index of 0.72~0.74). Hence, the attached diatom index can be used with the trophic status assessment of lakes using TSI, and lake trophic status index (LTSI).

**Key words : TSI, LTSI, DAIpo, TDI, attached diatom index**

### 서 론

우리나라는 강우가 여름에 집중되어 발생하는 계절적인 수자원 부족 문제를 해결하고자 인공호수를 만들어 수자원을 확보하고 있다. 인공적으로 만들어진 저수지는 상류수역의 비점오염원, 점오염원에 의해 10~30년 지난 먼 부영양호의 수질을 나타낸다(Yoon *et al.*, 2000). 현재 대부분의 저수지는 오염물질의 유입과 여름철 강우시에 유입되는 오염물질의 영향으로 부영양화가 빠르게 진행되고 있으며 남조류의 대발생 또한 증가하고 있다(National Institute of Environmental Research, 1999). 저수지의

부영양화는 수질 악화의 가장 일반적인 현상으로 식물플랑크톤 대발생으로 인한 악취, 독성, 폐사 등의 여러 가지 피해가 야기되며(Reynolds, 1984), 이를 효율적으로 관리하기 위해 이화학적 수질 뿐만 아니라 영양단계평가 및 생물학적 수질평가가 필요하다.

저수지의 영양단계를 평가하는 지표로는 총인, 투명도 및 엽록소 *a*의 값을 이용하는 TSI(Trophic Status Index)가 있으며(Carlson, 1977), TSI와 MTSI(Multiple parameter Trophic Status Index)를 기초로 하여 저수지의 영양등급을 나누고(Yoshimi, 1987) 각 등급을 대표하는 생물지표종을 밝힌 LTSI(Lake Trophic Status Index)가 있다(Yang and Dickman, 1993). 또한 Watanabe *et al.* (1990)

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

이 제시한 부착규조류를 이용한 유기오탁지수(DAIPo: Diatom Assemblage Index to the Organic Water Pollution)와 Kelly *et al.* (1995)의 방법을 따른 영양염지수(TDI: Trophic Diatom Index)를 이용하여 생물학적 수질을 평가할 수 있다.

국내의 식물플랑크톤 군집과 영양단계 평가에 관한 연구는 낙동강 수계 6개의 호소를 대상으로 한 연구(Lee and Kim, 1996)와 전국에 분포하는 주요 10개 댐 호를 대상으로 식물플랑크톤의 종조성과 대발생 현황을 밝힌 연구(Lee *et al.*, 2002)가 있다. 또한 경기도 수원시 10개 호소와 3개 하천을 대상으로 한 연구(Park *et al.*, 2006), 경상북도 경주시의 덕동호(Kim, 1999)와 경상북도 청도군 운문호(Seo *et al.*, 2003)를 대상으로 한 연구가 있다. 한편, 부착규조지수를 이용한 생물학적 수질평가의 연구로는 금강, 영산강, 섬진강을 대상으로 한 연구(Hwang *et al.*, 2006), 금호강의 연구(Lee and Chung, 1992; Chung *et al.*, 1993), 낙동강의 연구(Lee, 1998), 울릉도 수계의 연구(Choi *et al.*, 2004), 그리고 달천과 섬강의 연구(Kim and Lee, 2009) 등이 있다. 이처럼 팔당호, 대청호 등 큰 호소에 대해서는 수질변화, 부영양화, 식물플랑크톤 연구 등이 보고된 바 있으며, 충남 일대 저수지에 대한 연구는 예당저수지에 관한 연구(Lee *et al.*, 1994), 오봉, 매산저수지를 포함한 농업용 저수지에 관한 연구(Kim *et al.*, 2008)와 소규모 저수지를 대상으로 한 연구(Kim and Hwang, 2004) 등이 있다. 또한 이화학적 환경요인에 따른 영양단계와 규조지수를 이용한 수질오염등급을 비교한 연구에 대해서는 하천을 대상으로 한 Kim *et al.* (2009)과 Kim and Lee(2010)의 연구가 있으나 저수지에서의 연구는 미비한 상태이다.

본 연구에서는 2007년 10월부터 2008년 6월까지 충청남도 예당저수지를 포함한 10개의 저수지를 대상으로 이화학적 환경요인을 분석하였다. 이를 바탕으로 TSI와

LTSI를 사용하여 각 저수지의 영양단계를 평가하고, 각 영양단계에 따른 식물플랑크톤의 군집구조를 분석하였다. 또한 각 저수지의 생물학적 수질을 평가하고, 영양단계와 생물학적 수질지수를 비교 분석하여 저수지에서의 수질평가방법의 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 개황

본 연구는 충청남도 당진군에 위치한 초대저수지(St. 1), 송악저수지(St. 2), 오봉제(St. 3), 순성저수지(St. 4), 백미제(St. 5)와 예산군에 위치한 예당저수지(St. 6), 청양군에 위치한 관산저수지(St. 7), 용천저수지(St. 8), 화암제

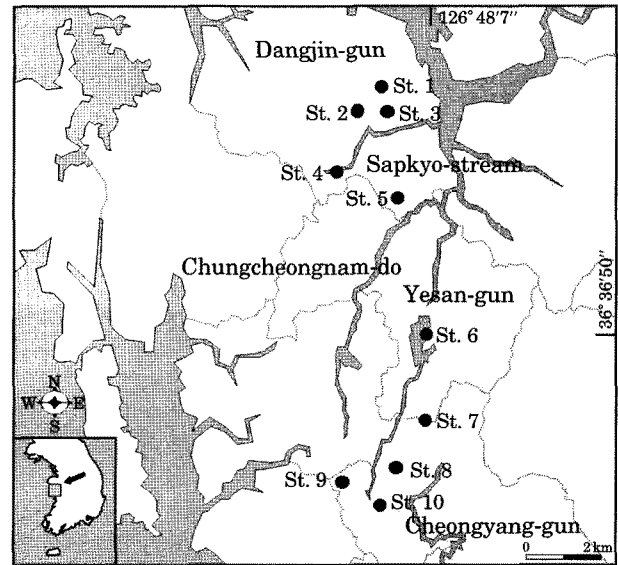


Fig. 1. Map of the 10 sampling sites in Chungcheongnam-do.

Table 1. Limnological and geological features of the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do.

Site	Reservoir	Location	Total pondage ( $\times 10^3$ ton)	Watershed area (ha)
St. 1	Cho-dae	Dangjin-gun	1,080	147
St. 2	Song-ak	Dangjin-gun	488	161
St. 3	O-bong	Dangjin-gun	875	367
St. 4	Sun-seong	Dangjin-gun	1,428	257
St. 5	Baek-mi	Dangjin-gun	215	28
St. 6	Ye-dang	Yesan-gun	47,103	6,917
St. 7	Gwan-san	Cheongyang-gun	1,170	156
St. 8	Yong-cheon	Cheongyang-gun	156	36
St. 9	Hwa-am	Cheongyang-gun	414	69
St. 10	Mae-san	Cheongyang-gun	555	102

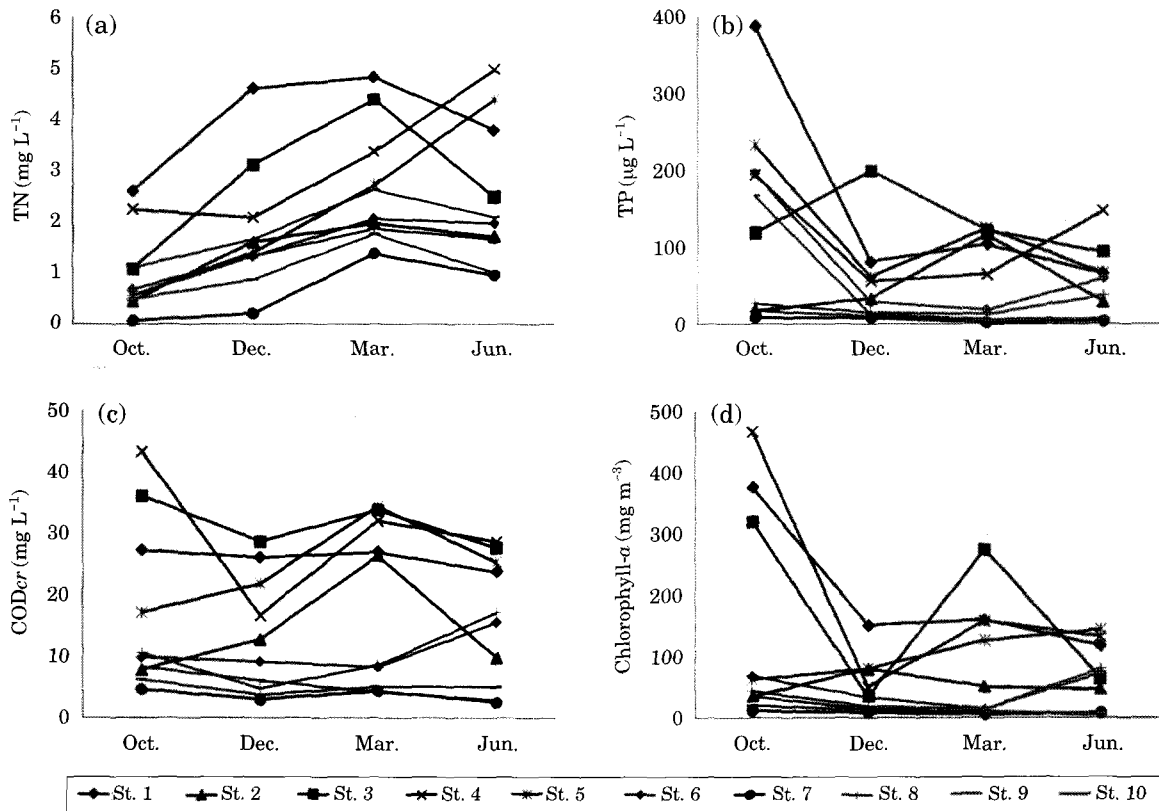
(St. 9), 매산저수지(St. 10)를 대상으로 2007년 10월부터 2008년 6월에 걸쳐 계절별로 조사를 실시하였다. 10개 조사지점의 저수지들은 농경지로 둘러싸고 있으며 일대의 농경수를 공급하고 있다(Fig. 1). St. 8의 총저수량은  $156 \times 10^3$  ton, 수혜면적이 36 ha로 조사지점 중 가장 작은 저수지이며, St. 6의 총저수량은  $47,103 \times 10^3$  ton, 수혜면적이 6,917 ha로 가장 큰 저수지이다. St. 6은 국내에서 가장 큰 저수지로 예산군과 당진군에 농경수를 공급한다(Table 1).

2. 이화학적 수질 측정

수질측정 항목 중 수온, pH 그리고 용존산소(DO)는 D-55(Horiba, Japan)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 총인(TP)과 총질소(TN)의 측정은 자외선 흡광도법과 아스코르빈산 환원법(The Ministry of environment, 1996)을 이용하여 측정하였으며, COD는  $COD_{Cr}$  환원법으로 측정하였다(APHA, 1998). 엽록소 *a*의 농도 측정을 위해 현장에서 채수한 시료를 Whatman GF/C Filter로 여과하

**Table 2.** Physico-chemical factors measured at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 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> )	COD <sub>Cr</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Chl- <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )
Oct. 2007	St. 1	21.1	6.3	3.92	0.44	2.60	387.20	27.3	374.57
	St. 2	21.3	6.6	6.45	0.25	0.45	17.10	7.8	34.95
	St. 3	21.4	6.4	4.04	0.06	1.07	118.62	36.1	318.54
	St. 4	22.0	8.1	7.07	0.36	2.24	193.62	43.4	465.44
	St. 5	21.8	6.4	5.61	0.25	0.55	231.37	17.2	62.45
	St. 6	23.8	7.8	7.62	0.28	0.67	195.97	9.9	68.00
	St. 7	22.5	7.6	8.55	0.78	0.07	7.78	4.6	11.78
	St. 8	23.8	8.3	9.45	0.92	0.56	26.62	10.6	43.19
	St. 9	22.2	7.2	6.96	1.51	0.49	17.45	6.2	19.23
	St. 10	23.0	7.7	8.36	0.97	1.09	166.00	8.3	33.92
Dec. 2007	St. 1	4.4	9.3	14.78	0.33	4.60	81.16	26.1	151.19
	St. 2	4.7	7.9	14.58	0.86	1.60	33.35	12.8	79.17
	St. 3	5.0	7.3	12.43	0.27	3.11	199.16	28.6	34.84
	St. 4	5.5	8.0	13.13	0.23	2.08	56.05	16.7	50.38
	St. 5	5.1	8.5	15.95	0.47	1.40	61.65	21.9	80.31
	St. 6	6.3	7.5	12.62	0.72	1.32	28.77	9.2	32.61
	St. 7	7.4	7.6	10.68	1.28	0.20	7.17	2.9	8.62
	St. 8	6.5	8.0	13.00	0.68	1.33	14.78	4.8	17.13
	St. 9	5.3	8.2	11.06	1.02	0.86	9.58	3.8	12.94
	St. 10	6.8	7.8	11.89	0.82	1.66	11.82	6.0	13.20
Mar. 2008	St. 1	11.7	9.1	12.34	0.33	4.82	103.85	27.0	160.02
	St. 2	11.9	8.0	11.45	0.34	1.98	116.81	26.4	51.12
	St. 3	11.2	9.5	13.47	0.28	4.38	121.95	33.8	272.80
	St. 4	11.8	9.3	13.13	0.29	3.36	64.51	32.0	158.51
	St. 5	12.3	8.8	13.58	0.28	2.70	123.91	34.4	126.51
	St. 6	10.5	8.1	9.91	0.82	2.06	18.35	8.3	13.99
	St. 7	10.6	8.1	11.83	1.35	1.37	1.92	4.3	5.66
	St. 8	11.6	6.7	11.31	0.80	1.86	12.17	8.5	13.29
	St. 9	10.9	9.9	11.14	0.27	1.77	2.80	5.0	11.40
	St. 10	10.8	6.9	11.16	1.40	2.62	5.02	4.1	6.13
Jun. 2008	St. 1	21.0	7.5	4.34	0.47	3.79	65.14	23.8	117.55
	St. 2	21.5	7.5	5.01	0.42	1.71	28.66	9.8	46.51
	St. 3	20.0	8.6	3.27	0.40	2.48	93.19	27.6	63.26
	St. 4	22.0	7.8	7.82	0.15	4.97	147.01	28.7	132.25
	St. 5	21.0	7.5	4.18	0.24	4.39	65.68	25.4	143.33
	St. 6	22.0	8.0	8.33	0.32	1.98	59.02	15.6	72.93
	St. 7	20.0	7.8	10.08	1.43	0.96	3.39	2.5	7.64
	St. 8	22.0	7.8	7.00	0.32	1.65	37.10	17.1	79.52
	St. 9	22.0	8.2	7.73	0.68	1.01	5.97	5.0	4.04
	St. 10	19.5	7.6	5.13	0.96	2.10	6.40	2.8	8.30



**Fig. 2.** Seasonal variation of nutrients at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008. Symbols: a, total nitrogen (TN); b, total phosphorus (TP); c, chemical oxygen demand (COD<sub>cr</sub>); d, Chlorophyll-a.

였다. 이 여과지를 막자사발로 마쇄하고, 90% 아세톤으로 용해하여 색소를 추출한 뒤 파장 630 nm, 645 nm, 663 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다(APHA, 1998). 투명도는 탁도를 측정한 후 전환하는 방법을 사용하였다(Davies-Colley and Smith, 2001).

### 3. 채집 및 분석방법

식물플랑크톤의 현존량 측정을 위해 표층수 1L를 플라스틱 병에 담아 채집하였으며, Lugol's 용액 10mL로 처리한 시료 1L를 24시간 이상 정치한 후, 상등액을 제거하였다. 남은 시료를 균일하게 섞어준 뒤 Sedgwick-Rafter chamber에 1mL을 넣고 광학현미경(Olympus BX47, Japan)을 이용하여 200~1,000배율로 계수하였다(The Ministry of environment, 2000). 이 때 각 시료 당 10 회씩 반복하여 계수한 후 평균값을 산출하였다. 부착조류의 채집은 수생식물이나 물에 잠겨있는 돌과 육상식물 등을 훑어내는 방법으로 채집하여 침전시킨 후 농축된 시료를 관찰하였다(Sournia, 1978). 규조류는 U.S. EPA (1995)에 따라 시료를 세정 및 봉입 후 영구표본을 제작

하여 분석하였다. 규조강을 제외한 식물플랑크톤은 Hirose *et al.* (1977)에 따라 정리하였다. 규조강은 Simonsen의 분류체계(Ettl *et al.*, 1986, 1988, 1991a, b)에 따라 정리하였으며, Lee(1988)를 참고하였다. 각 식물플랑크톤의 동정은 Chung(1993), Hirose *et al.* (1977), John *et al.* (2002), Patrick and Reimer(1966, 1975), Prescott(1962) 및 Prescott *et al.* (1981, 1982)을 참고하였다.

### 4. 영양단계평가 및 생물학적 수질평가

영양단계평가는 각 정점의 총인, 엽록소 a를 측정하고 투명도를 계산하여 TSI(Trophic Status Index)의 값과 LTSI(Lake Trophic Status Index)를 산출하여 평가하였다(Carlson, 1977; Forsberg and Ryding, 1980; Yang and Dickman, 1993). 또한 Watanabe *et al.* (1990, 2005)이 제시한 부착규조류를 이용한 유기오탁지수(DAIpo: Diatom Assemblage Index to the Organic Water Pollution)와 Kelly *et al.* (1995)의 방법을 따른 영양염지수(TDI: Trophic Diatom Index)를 이용하여 생물학적 수질을 평가하였다. 상관분석은 SPSS(12.0)를 사용하여 영양단계와 생

물학적 수질평가를 비교 분석하였다.

**결 과**

**1. 이화학적 환경요인 분석**

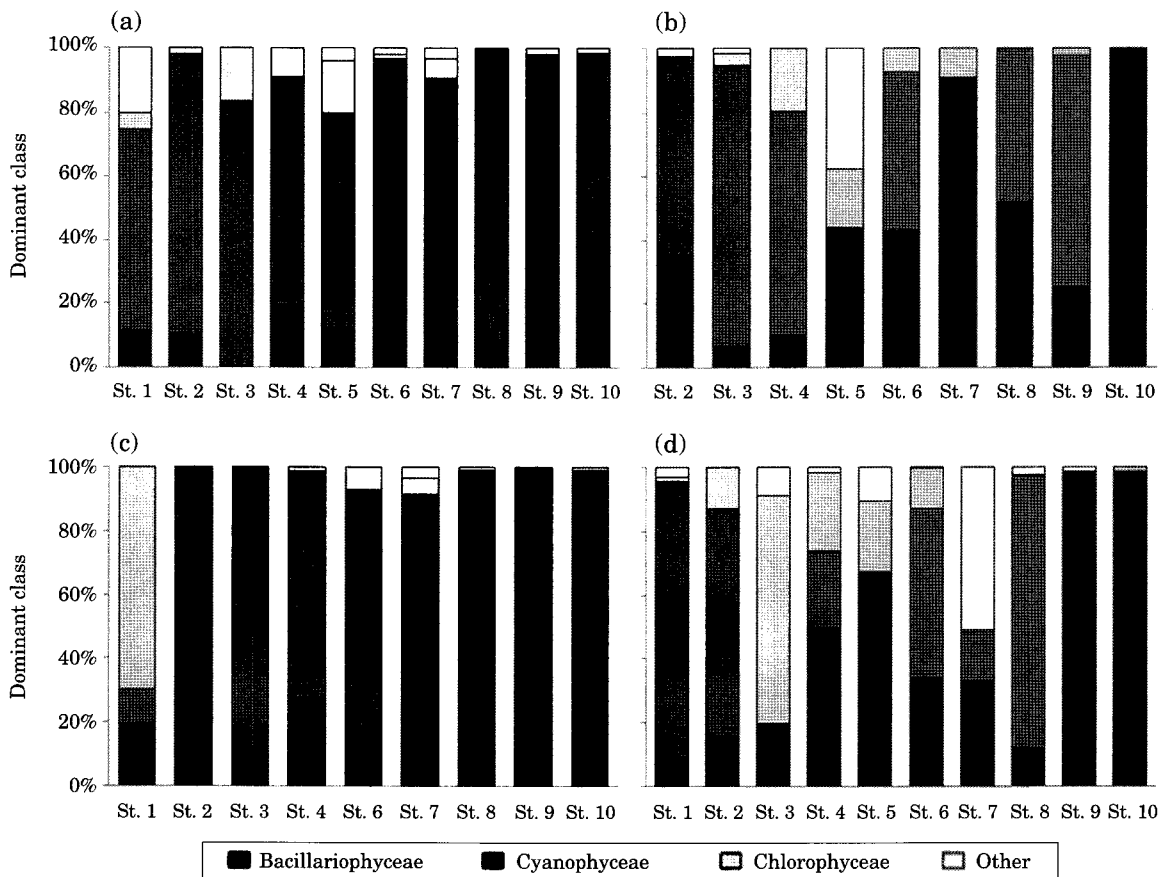
10개 저수지의 수온, pH, 용존산소(DO), 투명도(SD), 총질소(TN), 총인(TP), COD<sub>Cr</sub> 및 엽록소 *a* 등 이화학적

환경요인은 다음과 같다(Table 2). pH는 2008년 3월 St. 3에서 9.5로 가장 높았으며, 2007년 3월 St. 1에서 6.3으로 가장 낮았다. St. 1의 경우 2007년 10월 6.3으로 약산성을 나타냈으나, 2007년 12월과 2008년 5월에 9.1~9.3의 범위로 크게 증가하였다. 총질소는 2008년 6월 St. 4에서 4.97 mg L<sup>-1</sup>로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 2007년 10월 St. 7에서 0.07 mg L<sup>-1</sup>로 가장 낮게 나타났다. 총인은 2007년 10월 St. 1에서 387.20 µg L<sup>-1</sup>로 가장 높은

**Table 3.** Seasonal changes of TSI and LTSI at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008.

Date	Site	TSI(SD)	TSI(TN)	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI	LTSI
Oct. 2007	St. 1	71.8 H <sup>6</sup>	68.2 E <sup>5</sup>	90.1 H	97.7 H	81.9 H	17.4 H
	St. 2	80.0 H	42.9 M <sup>3</sup>	45.1 M	74.4 H	60.6 E	10.6 H
	St. 3	100.5 H	55.4 E	73.0 H	96.1 H	81.3 H	18.2 H
	St. 4	74.7 H	66.0 E	80.1 H	99.8 H	80.2 H	17.0 H
	St. 5	80.0 H	45.8 M	82.6 H	80.1 H	72.1 H	15.0 H
	St. 6	78.3 H	48.6 M	80.3 H	80.9 H	72.0 H	14.7 H
	St. 7	63.5 E	16.0 O <sup>1</sup>	33.7 OM <sup>2</sup>	63.8 E	44.3 M	6.5 E
	St. 8	61.2 E	46.0 M	51.4 E	76.5 H	58.8 E	9.7 H
	St. 9	54.0 E	44.1 M	45.4 M	68.6 E	53.0 E	7.4 E
	St. 10	60.4 E	55.6 E	77.9 H	74.1 H	67.0 E	11.8 H
Dec. 2007	St. 1	75.9 H	76.4 H	67.5 E	88.8 H	77.2 H	14.4 H
	St. 2	62.1 E	61.2 E	54.7 E	82.4 H	65.1 E	11.0 H
	St. 3	78.8 H	70.8 H	80.5 H	74.4 H	76.1 H	13.9 H
	St. 4	81.2 H	65.0 E	62.2 E	78.0 H	71.6 H	12.9 H
	St. 5	70.8 H	59.3 E	63.6 E	82.6 H	69.1 E	12.7 H
	St. 6	64.7 E	58.4 E	52.6 E	73.7 H	62.4 E	9.8 H
	St. 7	56.4 E	31.2 OM	32.5 OM	60.7 E	45.2 M	5.3 ME <sup>4</sup>
	St. 8	65.5 E	58.5 E	43.0 M	67.4 E	58.6 E	8.1 E
	St. 9	59.7 E	52.2 E	36.7 OM	64.7 E	53.3 E	6.6 E
	St. 10	62.8 E	61.7 E	39.7 OM	64.9 E	57.3 E	7.2 E
Mar. 2008	St. 1	75.9 H	77.1 H	71.1 H	89.3 H	78.4 H	14.8 H
	St. 2	75.5 H	64.3 E	72.8 H	78.2 H	72.7 H	13.4 H
	St. 3	78.3 H	75.7 H	73.4 H	94.6 H	80.5 H	16.0 H
	St. 4	77.8 H	71.9 H	64.2 E	89.3 H	75.8 H	14.3 H
	St. 5	78.3 H	68.7 E	73.6 H	87.0 H	76.9 H	15.0 H
	St. 6	62.8 E	64.8 E	46.1 M	65.4 E	59.8 E	7.9 E
	St. 7	55.6 E	58.9 E	13.5 O	56.6 E	46.2 M	3.0 M
	St. 8	63.2 E	63.4 E	40.2 M	64.9 E	57.9 E	7.3 E
	St. 9	78.8 H	62.6 E	19.0 O	63.4 E	56.0 E	6.6 E
	St. 10	55.1 E	68.3 E	27.4 O	57.3 E	52.0 E	4.3 ME
Jun. 2008	St. 1	70.8 H	73.6 H	64.4 E	86.3 H	73.8 H	13.3 H
	St. 2	72.5 H	62.1 E	52.5 E	77.2 H	66.1 E	11.1 H
	St. 3	73.2 H	67.5 E	69.5 E	80.2 H	72.6 H	13.2 H
	St. 4	87.3 H	77.5 H	76.1 H	87.5 H	82.1 H	16.1 H
	St. 5	80.5 H	75.8 H	64.5 E	88.3 H	77.3 H	14.5 H
	St. 6	76.4 H	64.3 E	62.9 E	81.6 H	71.3 H	13.0 H
	St. 7	54.8 E	53.8 E	21.7 O	59.5 E	47.5 M	4.0 M
	St. 8	76.4 H	61.6 E	56.2 E	82.5 H	69.2 E	12.5 H
	St. 9	65.5 E	54.5 E	29.9 O	53.3 E	50.8 E	4.9 ME
	St. 10	60.5 E	65.1 E	30.9 OM	60.3 E	54.2 E	5.5 E

Lake Trophic categories; <sup>1</sup>O: Oligotrophic, <sup>2</sup>OM: Oligomesotrophic, <sup>3</sup>M: Mesotrophic, <sup>4</sup>ME: Mesoeutrophic, <sup>5</sup>E: Eutrophic, <sup>6</sup>H: Hypereutrophic



**Fig. 3.** Seasonal changes of dominant phytoplankton classes at 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008. Symbols: a, October 2007; b, December 2007; c, March 2008; d, June 2008.

농도를 나타냈으며, 2008년 3월 St. 7에서  $1.92 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮은 농도를 나타냈다. 전체적으로 겨울에서 봄으로 갈수록 총인 농도가 낮았으며, 여름과 가을에 높은 것으로 나타났다.  $\text{COD}_{\text{cr}}$  값은 2007년 10월 St. 4에서  $43.4 \text{ mg L}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 2008년 6월 St. 7에서  $2.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 엽록소 *a*의 농도는 2007년 10월 St. 4에서  $465.44 \text{ mg L}^{-3}$ 으로 가장 높았으며, 2008년 6월 St. 9에서  $4.04 \text{ mg L}^{-3}$ 으로 가장 낮았다 (Fig. 2).

**2. 영양단계를 이용한 수질평가**

TSI를 이용한 영양단계 평가 결과 2008년 6월 St. 4에서 TSI 최대값이 82.2이며 2007년 10월 St. 7에서 최소값이 44.3이었다. TSI에 의한 영양등급은 중영양등급을 나타낸 St. 7을 제외한 9개의 저수지에서 부영양등급 이상이었다. St. 7의 경우 TSI(SD)와 TSI(CHL)이 부영양등급으로 평가되었으나 TSI(TN)이 2007년 10월과 2007년 12월에 각각 빈영양등급과 중빈영양등급으로, TSI(TP)는

모든 계절 빈영양~중빈영양등급으로 평가되었다.

LTSI에 의한 저수지별 평가 결과는 2007년 10월 St. 3에서 18.3으로 가장 높았으며 2008년 3월 St. 7에서 3.0으로 가장 낮았다. LTSI에 따른 10개 저수지의 등급은 2008년 3월과 6월 St. 7에서 중영양등급이었으며, 2007년 12월 St. 7, 2008년 3월 St. 10, 2008년 6월 St. 9에서 중부영양등급을 나타냈으며, 이를 제외한 저수지에서는 모두 부영양등급 이상으로 평가되었다 (Table 3). 2008년 3월 St. 10과 2008년 6월 St. 9를 제외하면 TSI의 등급과 LTSI의 등급이 동일하거나 LTSI 등급이 더 높았다.

**3. 식물플랑크톤의 종조성 및 우점종**

본 연구에서 출현한 식물플랑크톤은 6문 7강 14목 6아목 30과 3아과 71속 241종 31변종 1품종 1미동정종으로 총 275분류군으로 나타났다 (Appendix). 남조식물문의 남조강은 2목 2아목 3과 13속 32종 4변종으로 총 36분류군이 나타났으며 녹조식물문의 녹조강은 6목 14과 3아

**Table 4.** Seasonal variation of dominant and subdominant species at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008.

Date	Site	Dominant species (%)	Subdominant species (%)
Oct. 2007	St. 1	<i>Lyngbya martensiana</i> (48.5)	<i>Trachelomonas cervicula</i> (16.7)
	St. 2	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (62.1)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (10.9) <i>Merismopedium punctatum</i> (10.9)
	St. 3	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (77.9)	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (6.4)
	St. 4	<i>Microcystis aeruginosa</i> (59.8)	<i>Synedra acus</i> (13.8)
	St. 5	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (54.0)	<i>Oscillatoria limnetica</i> (18.6)
	St. 6	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (64.3)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (18.3)
	St. 7	<i>Oscillatoria limnetica</i> (67.3)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (11.2)
	St. 8	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (56.5)	<i>Microcystis wesenbergii</i> (39.0)
	St. 9	<i>Oscillatoria limnetica</i> (57.8)	<i>Achnanthes minutissima</i> (18.6)
	St. 10	<i>Microcystis wesenbergii</i> (65.5)	<i>Achnanthes minutissima</i> (17.2)
Dec. 2007	St. 1	–	–
	St. 2	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (38.9)	<i>Cyclotella stelligera</i> (20.6)
	St. 3	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (85.3)	–
	St. 4	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (54.6)	<i>Synechocystis aquatilis</i> (15.6)
	St. 5	<i>Euglena viridis</i> (36.8)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (35.0)
	St. 6	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (49.4)	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (22.9)
	St. 7	<i>Aulacoseira ambigua</i> (26.0)	<i>Cyclotella stelligera</i> (23.7)
	St. 8	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (47.6)	<i>Tabellaria fenestrata</i> (46.8)
	St. 9	<i>Oscillatoria limnetica</i> (72.1)	<i>Tabellaria fenestrata</i> (14.9)
	St. 10	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (43.6)	<i>Nitzschia palea</i> (13.3)
Mar. 2008	St. 1	<i>Stichocystis bacillaris</i> (55.8)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (15.2)
	St. 2	<i>Fragilaria crotonensis</i> (59.4)	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (16.1)
	St. 3	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (96.2)	–
	St. 4	<i>Microcystis aeruginosa</i> (55.4)	<i>Anabaena affinis</i> (16.0)
	St. 5	–	–
	St. 6	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (74.2)	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (7.2)
	St. 7	<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> (42.5)	<i>Asterionella formosa</i> (19.1)
	St. 8	<i>Fragilaria crotonensis</i> (35.6)	<i>Aulacoseira granulata</i> (18.5)
	St. 9	<i>Fragilaria crotonensis</i> (43.0)	<i>Tabellaria fenestrata</i> (24.0)
	St. 10	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (46.7)	<i>Nitzschia palea</i> (12.07)
Jun. 2008	St. 1	<i>Aphanocapsa grevillei</i> (38.4)	<i>Phormidium valderianum</i> (21.0)
	St. 2	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (41.5)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (20.4)
	St. 3	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (17.4) <i>Scenedesmus ecornis</i> (17.4) <i>Scenedesmus intermedius</i> (17.4)	<i>Cyclotella stelligera</i> (13.0)
	St. 4	<i>Synechococcus aquatilis</i> (24.6)	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (21.5)
	St. 5	<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> (22.2)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (11.6)
	St. 6	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (44.3)	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (12.5)
	St. 7	<i>Peridinium anglicum</i> (43.9)	<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> (10.8)
	St. 8	<i>Anabaena macrospora</i> (57.6)	<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (27.6)
	St. 9	<i>Cyclotella stelligera</i> (35.8)	<i>Fragilaria crotonensis</i> (23.1)
	St. 10	<i>Fragilaria crotonensis</i> (70.5)	<i>Synedra acus</i> (11.0)

과 22속 48종 11변종 1품종 1미동정종으로 총 61분류군이 출현하였다. 황갈조식물문의 규조강은 2목 3아목 8과 29속 139종 16변종이며 총 155분류군으로 가장 많이 출현하였다(Fig. 3).

남조강의 경우 사상체인 *Phormidium valderianum* var. *tenuis*가 St. 10을 제외한 9개의 저수지에서 출현하였고,

규조강의 경우 *Cyclotella stelligera*가 St. 5를 제외한 9개의 저수지에서 출현하였다. 총 분류군 중 규조강의 *Navi-cula* 속이 37분류군으로 가장 많았다.

남조강과 규조강이 모든 정점에서 높은 우점율을 나타냈으며, 2008년 3월의 St. 1과 2008년 6월의 St. 3에서 녹조강이 우점 하였다. 2007년 10월의 경우 모든 정점에

**Table 5.** Seasonal water quality assessment using diatom indices at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008.

Date	Site	DAIpo	TDI	Date	Site	DAIpo	TDI
Oct. 2007	St. 1	23.67 D <sup>4</sup>	97.69 D	Mar. 2008	St. 1	46.02 C	62.56 C
	St. 2	63.18 B <sup>2</sup>	29.53 A <sup>1</sup>		St. 2	-	-
	St. 3	40.67 C <sup>3</sup>	85.70 D		St. 3	47.85 C	73.62 D
	St. 4	34.18 D	88.60 D		St. 4	75.12 B	30.27 A
	St. 5	19.90 D	85.86 D		St. 5	50.49 C	65.24 C
	St. 6	44.08 C	92.75 D		St. 6	51.47 C	38.45 A
	St. 7	66.96 B	27.62 A		St. 7	75.72 B	25.92 A
	St. 8	61.57 B	33.71 A		St. 8	-	-
	St. 9	50.96 C	25.59 A		St. 9	56.61 C	30.76 A
	St. 10	74.80 B	35.08 A		St. 10	63.42 B	27.93 A
Dec. 2007	St. 1	44.67 C	86.34 D	Jun. 2008	St. 1	28.98 D	82.51 D
	St. 2	47.13 C	80.02 D		St. 2	50.03 C	37.19 A
	St. 3	44.46 C	73.90 D		St. 3	51.51 C	37.72 A
	St. 4	45.50 C	56.16 C		St. 4	40.66 C	70.36 D
	St. 5	49.39 C	65.82 C		St. 5	41.45 C	35.86 A
	St. 6	51.56 C	37.67 A		St. 6	52.09 C	35.63 A
	St. 7	89.53 A	24.74 A		St. 7	51.11 C	40.74 B
	St. 8	67.53 B	28.84 A		St. 8	63.70 B	35.32 A
	St. 9	59.81 C	42.99 B		St. 9	49.40 C	31.14 A
	St. 10	58.19 C	27.25 A		St. 10	53.58 C	37.93 A

Condition category; <sup>1</sup>A: Optimal, <sup>2</sup>B: Suboptimal, <sup>3</sup>C: Marginal, <sup>4</sup>D: Poor

서 남조강이 50% 이상 우점 하였으며, 2007년 12월에 St. 3, St. 4 및 St. 9를 제외한 7개 정점에서 규조강의 우점율이 크게 증가하였다. 2008년 3월은 St. 2, St. 7, St. 8, St. 9 및 St. 10에서 규조강이 80% 이상 우점 하였으며, 2008년 6월은 St. 9와 St. 10을 제외한 모든 정점에서 규조강의 우점율이 감소하였다(Fig. 3).

식물플랑크톤 우점종은 *Lyngbya martensiana*, *Phormidium valderianum* var. *tenuis*, *Synechocystis aquatilis*, *Oscillatoria limnetica*, *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii* 등 8분류군의 남조강과 *Stichococcus bacillaris*, *Scenedesmus acuminatus*, *S. eornis*, *S. intermedius* 등 4분류군의 녹조강이 우점 하였다. 규조강은 *Aulacoseira ambigua*, *Cyclotella meneghiniana* 등 5분류군이 우점 하였으며 유글레나강과 와편모조강은 2분류군이 우점하여 총 19분류군이 우점종으로 나타났다. 아우점종으로는 *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedium punctatum*, *Phormidium valderianum* var. *tenuis*, *Oscillatoria limnetica* 등 8분류군의 남조강이 아우점 하였고 녹조강은 *Scenedesmus acuminatus*가 아우점 하였다. 규조강은 *Synedra acus*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes minutissima* 등 13분류군이 아우점 하였으며 유글레나강은 1분류군이 아우점하여 총 23분류군이 아우점종으로 나타났다. 남조강의 *Phormidium valderianum* var.

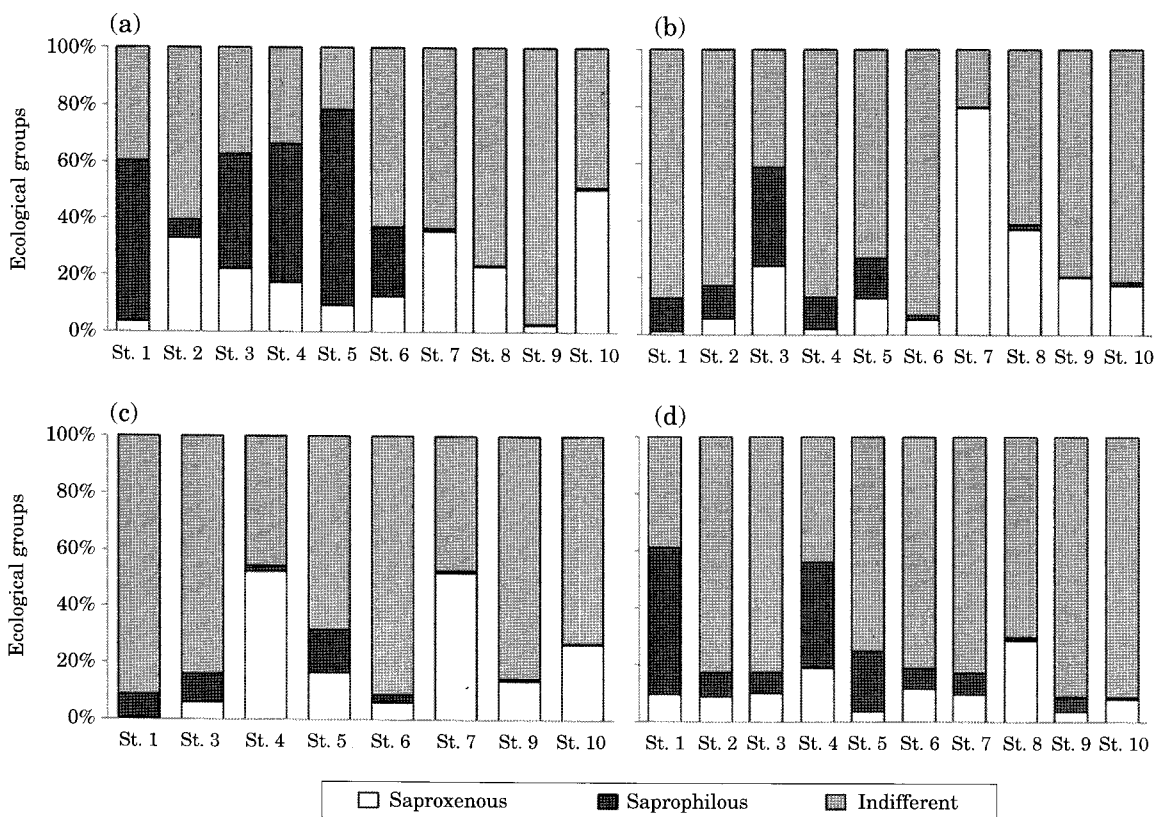
*tenuis*는 2008년 3월에 St. 3의 경우 96.2%로 가장 많이 우점 하였으며 2007년 10월 St. 3과 2007년 12월 St. 3에서 각각 77.9%, 85.3%로 높은 우점율을 나타냈다(Table 4).

#### 4. 생물학적 수질평가

10개의 저수지에서 출현한 호청수성종(Saproxenous taxa), 호오탁성종(Saprophilous taxa), 광적응성종(Indifferent taxa)의 계절적 변동은 전체적으로 광적응성종이 높았으며, 호오탁성종은 2007년 10월 St. 1, St. 4, St. 5와 2008년 6월 St. 1에서 40% 이상의 높은 출현빈도를 나타냈다. 호청수성종은 2007년 10월 St. 10, 2007년 12월 St. 7, 2008년 3월 St. 4 및 St. 7에서 40% 이상 출현하였다. St. 1의 경우 가을에 호오염성종의 출현빈도가 50% 이상으로 높았지만, 겨울과 봄에 10%의 수준으로 낮아졌으며 여름에 다시 50% 이상으로 증가하였다(Fig. 4).

DAIpo는 2007년 12월 St. 7에서 89.53으로 가장 높았으며, 2007년 10월 St. 5에서 19.90으로 가장 낮았다(Table 5). Watanabe and Asai (1990)에 따른 오염등급은 극빈부수성(Xenosaprobic)에서  $\alpha$ -중부수성( $\alpha$ -Mesosaprobic)으로 나타났다. 계절별로 DAIpo 지수가 St. 10을 제외한 전 정점에서 대체적으로 가을에서 겨울, 봄으로 갈수록 높아지다가 여름에 다시 낮아졌다. TDI는 DAIpo와 유사하였으





**Fig. 4.** Ecological groups (%) of water quality indicators at 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008. Symbols: a, October 2007; b, December 2007; c, March 2008; d, June 2008.

**Table 6.** Correlation coefficients between diatom indices (DAIpo, TDI) and trophic status indices (TSI, LTSI) at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008.

	Oct. 2007				Dec. 2007			
	DAIpo	TDI	TSI	LTSI	DAIpo	TDI	TSI	LTSI
DAIpo	1	-0.85**	-0.69*	-0.72*	1	-0.76*	-0.89**	-0.84**
TDI		1	0.88**	0.92**		1	0.83**	0.86**
TSI			1	0.99**			1	0.98**
LTSI				1				1

	Mar. 2008				Jun. 2008			
	DAIpo	TDI	TSI	LTSI	DAIpo	TDI	TSI	LTSI
DAIpo	1	-0.79*	-0.51	-0.49	1	-0.79**	-0.40	-0.34
TDI		1	0.81*	0.81*		1	0.46	0.42
TSI			1	0.99**			1	0.99**
LTSI				1				1

\*P<0.05, \*\*P<0.01, n=10

며, 2007년 10월 St. 1에서 97.69로 가장 높았고, 2007년 12월 St. 7에서 24.74로 가장 낮았다(Table 5).

National Institute of Environmental Research (2007)의 수생태 건강성 평가등급에 따르면 DAIpo는 당진군에

위치한 저수지의 경우 St. 1을 제외하고 C(보통)등급이며, St. 1의 경우는 환경상태가 불량한 것으로 평가되었다. 반면에 예산군과 청양군에 위치한 St. 6과 St. 9는 C(보통)등급이며 St. 7, St. 8 및 St. 10의 경우 B(양호)등급

으로 평가되었다. TDI는 당진군에 위치한 저수지의 경우 St. 2를 제외하고 D(불량)등급이며, St. 6, St. 8 및 St. 10의 경우는 C(보통)등급을 나타냈다. St. 7과 St. 9의 경우는 B(양호)등급으로 평가되었다(Table 5).

### 5. 생물학적 수질평가(DAIpo, TDI)와 영양단계(TSI, LTSI) 간의 상관관계 분석

생물학적 수질평가(DAIpo, TDI)와 영양단계(TSI, LTSI)의 계절별 상관분석 결과, TSI와 LTSI가 0.98~0.99로 가장 높았다. DAIpo와 TDI는 0.76~0.85로 높았으며, DAIpo, TDI는 TSI, LTSI와 2008년 6월을 제외하고 0.49~0.92로 높은 값을 나타냈다. 계절별로 DAIpo와 TSI 및 LTSI는 2008년 6월에 상관성이 다소 떨어지며, 2007년 10월에 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다(Table 6).

## 고 찰

pH는 6.3~9.5의 범위로 나타났으며 특히, St. 1의 경우 pH의 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 pH가 낮은 10월, 조류의 대발생에 의해 광합성량이 증가하여 수중의 중탄산염을 이산화탄소의 공급원으로 이용함에 따라 수소이온의 농도가 낮아져 12월에 pH가 높아진 것으로 사료된다(Raven *et al.*, 1995, 1996). 총인 농도는 전체적으로 10월에 높고 12월에 낮은 농도를 나타냈다. CODcr은 3월 St. 7을 제외하고 가장 낮았으며, 엽록소  $\alpha$ 의 농도는 전체적으로 10월에 높고 12월에 낮은 농도로 대청호(Park, 2005)의 연구와 비슷한 경향을 나타냈다(Fig. 2). The Ministry of Environment(2006) 기준에 따라 CODcr은 St. 7, 8, 9, 10을 제외하고 수질등급이 연중 V~VI등급으로 나타났는데, 이는 팔당호의 CODcr가 2.0~4.0 mg L<sup>-1</sup>인 것(Sin *et al.*, 2003)과 비교할 때 높은 오염도를 나타냈다.

본 연구결과, 당진군에 위치한 저수지(St. 1~5)는 TSI 74.6, DAIpo 44.47로 과영양등급과  $\beta$ -중부수성으로써 높은 오염도를 나타냈다. 또한 예산군과 청양군의 저수지(St. 6~10)는 TSI 56.9, DAIpo 60.11로 부영양등급과  $\alpha$ -빈부수성으로 비교적 중급의 오염도를 보였다.

상관분석 결과 영양단계와 DAIpo는 0.60~0.62, TDI는 0.72~0.74의 상관계수를 나타냄으로써, Kim and Lee(2010)의 연구에서와 같이 영양단계와 생물학적 수질평가지수 간의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 특히 3월과 6월에는 DAIpo와 영양단계 간의 상관계수가 0.34~0.51

로 낮게 나타났으며, 이는 광적응성종의 상대출현빈도가 50% 이상으로 나타나 DAIpo의 변별력이 낮아진 것으로 사료된다(Kim *et al.*, 2009; Kim and Lee, 2010)(Fig. 4).

Carlson(1977)은 TSI가 하천에서도 사용 가능하다 하였으며, U.S. EPA(2000)에서는 TSI를 하천에서 부분적으로 적용하고 있다. 또한 Watanabe *et al.*(1988c)은 DAIpo를 저수지에서의 적용함이 가능하다고 제안한 바 있다. 국내 하구역 연구(Kim and Lee, 2010)에서는 두 지수를 하천연구에 적용한 바 있으며, 영양단계와 생물학적 수질평가가 일치하는 경향을 나타냈다. 따라서 저수지의 수질평가를 위해 영양단계 평가 방법(TSI, LTSI)과 생물학적 수질평가 방법(DAIpo, TDI)이 같이 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 환경기초 조사연구 사업(1300-1333-406-260)과 한국연구재단 기초연구사업(2010-0006680)에 의해 지원되었습니다.

## 인 용 문 헌

- APHA. 1998. Standard method. For the examination of water and wastewater. 20th. New York. 1220 pp.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361-369.
- Choi, J.S., J.W. Park, K.L. Lee, M.S. Yang and H.S. Kim. 2004. Seasonal variation of epilithic diatom community and an assessment of water quality by DAIpo in the water system of Ulleung Island. *Korean Journal of Limnology* 37: 378-384.
- Chung, J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea. Academy Publishing Company. Seoul. 496 pp.
- Chung, J., J.S. Choi and J.H. Lee. 1993. Assessment for water quality of the Kumho River using epilithic diatom assemblage index to organic water pollution (DAIpo). *Korean Journal of Environmental Biology* 11: 43-58.
- Davies-Colley, R.J. and D.G. Smith. 2001. Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *Water Research* 37: 1085-1101.
- Ettl, H., G. Gartner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1991a. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4. Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.

- Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876 pp.
- Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1988. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2. Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin. 610 pp.
- Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1991b. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. -Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin. 596 pp.
- Forsberg, O. and S.O. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish water-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* **89**: 189-207.
- Hirose, H.M., T. Akiyama, K. Imahori, H. Kasaki, S. Kumana, H. Kobayasi, E. Takahashi, T. Tsumura, M. Hirano and T. Yamagishi. 1977. Illustration of the Japanese freshwater algae. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan. 932 pp.
- Hwang, S.J., N.Y. Kim, D.H. Won, K.K. An, J.K. Lee and C.S. Kim. 2006. Biological assessment of water quality by using epilithic diatoms in major river systems (Geum, Youngsan, Seomjin River), Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality* **22**: 784-795.
- John, D.M., B.A. Whitton and A.J. Brook. 2002. The Freshwater Algae Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae. Cambridge University Press and The Natural History Museum, Cambridge. 720 pp.
- Kelly, M.G. and B.A. Whitton. 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* **7**: 433-444.
- Kim, H.S., E.M. Choi, J.H. Park, H.S. Hwang, B.C. Kim, D.S. Kong and S.J. Hwang. 2008. *Journal of Korean Society on Water Quality* **24**: 333-339.
- Kim, H.S. and S.J. Hwang. 2004. Effects of nutrients and N/P ratio stoichiometry on phytoplankton growth in an eutrophic reservoir. *Korean Journal of Limnology* **37**: 36-46.
- Kim, S.C. and H.S. Kim. 2004. Dynamics of phytoplankton community and the physico-chemical environmental factors in Youngchun Dam. *Algae* **19**: 227-234.
- Kim, Y.J. 1999. An assessment of trophic state by LTSI and phytoplankton community in lake Tokdong. *Algae* **14**: 161-167.
- Kim, Y.J. and O.M. Lee. 2009. Assessment of water quality in the Sum-river and the Dal-stream using epilithic diatom-based indices. *Korean Society on Water Quality* **25**: 606-614.
- 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.
- Kim, Y.J., K.A. Shin and O.M. Lee. 2009. Water quality assessed by DAIPo and TDI of Bokha stream and Dal stream in South-Han River. *Korean Journal of Environmental Biology* **27**: 414-424.
- Lee, H.D., B.C. Kang and M.Y. Kim. 1994. On the seasonal variation of water quality of Yedang Reservoir. *Korean Journal of Limnology* **27**: 219-226.
- Lee, J.H. 1998. Epilithic diatoms in the Naktong river and its value of the diatom assemblage index of organic water pollution (DAIPo). *Korean Journal of Limnology* **31**: 38-44.
- Lee, J.H. and J. Chung. 1992. Station variation of epilithic diatoms according to pollution degree from the Kumho River. *Korea Journal of Limnology* **25**: 31-40.
- Lee, J.H. and Y.J. Kim. 1996. Epilithic diatoms and trophic states of dam lakes in the Naktong River system. *Korean Journal of Environmental Biology* **14**: 18-28.
- 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, K. 1988. A check-list of the freshwater diatoms in Korea. *Journal of Applied Phycology* **3**: 29-88.
- National Institute of Environmental Research. 1999. The source book for environment. Second series. ME, Korea. 1329 pp.
- National Institute of Environmental Research. 2007. The research and assessment guidelines of ecowater health. ME, Korea. 163 pp.
- Park, J.C., J.W. Park, D.H. Kim, J.K. Shin and H.M. Lee. 2005. A comparative study of trophic state in Lake Andong, Korea. *Korean Journal of Limnology* **23**: 32-46.
- Park, J.G. 2005. Water environmental factors and trophic states in Lake Daecheong. *Korean Journal of Limnology* **38**: 382-392.
- Park, J.H., B.R. Moon and O.M. Lee. 2006. The phytoplankton compositions and trophic states at several lakes of Suwon-si, Korea. *Algae* **21**: 217-228.
- Patrick, R. and C.W. Reimer. 1966. The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia. 688 pp.
- Patrick, R. and C.W. Reimer. 1975. The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. II part 1. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia. 213 pp.

- Prescott, G.W. 1962. Algae of the western great lakes area. Otto Koeltz Science Publisher, Germany. 976 pp.
- Prescott, G.W., H.T. Croasdale and W.E. Vinyard. 1982. A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 4. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. 700 pp.
- Prescott, G.W., H.T. Croasdale, W.E. Vinyard and C.E.M. Bicudo. 1981. A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 3. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. 720 pp.
- Raven, J.A., J. Beardall, A.M. Johnston, J.E. Kübler and I. Geoghegan. 1995. Inorganic carbon acquisition by *Homosira banksii* (Phaeophyta: Fucales) and its epiphyte *Notheia anomala* (Phaeophyta: Fucales). *Phycologia* **34**: 267-277.
- Raven, J.A., J. Beardall, A.M. Johnston, J.E. Kübler and S. McInroy. 1996. Inorganic carbon acquisition by *Xiphophora chondrophyll-a* (Phaeophyta: Fucales). *Phycologia* **35**: 83-89
- Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press, London. 384 pp.
- Seo, J.K., J.J. Yu, J.J. Lee, S.Y. Yang and I.K. Chung. 2003. Phytoplankton community dynamics and evaluation of trophic state in the lake Unmoon. 2003. *Algae* **18**: 135-143.
- Sin, J.G., S.J. Hwang, C.G. Kang and H.S. Kim. 2003. Limnological characteristics of the river-type Paltang reservoir, Korea: Hydrological and Environmental Factors. *Korean Journal of Limnology* **36**: 242-256.
- Sournia, A. 1978. Phytoplankton manual. Unesco. UK. 337 pp.
- The Ministry of Environment. 1996. The standard methods. Donghwa Technology Publishing Company, Seoul. 355 pp.
- The Ministry of Environment. 2000. The standard methods of Water pollution. ME, Korea. 423 pp.
- The Ministry of Environment. 2006. The fundamentals and ordinances of Environmental Policy. ME, Korea. 9 pp.
- U.S. EPA. 1995. Generic quality assurance project plan guidance for programs using community-level biological assessment in stream and wadeable rivers, U.S. Environmental Protection Agency, Office of water, Washington, D.C. EPA 841-B-95-004.
- U.S. EPA. 2000. Nutrient criteria technical guidance manual river and streams. Washington, DC. 151 pp.
- Watanabe, T. and K. Asai. 1990. Numerical simulation diatoms assemblage of organic pollution in stream and lakes. *Rev. Inq. and Res.* **52**: 99-139.
- Watanabe, T., T. Ohtsuka, A. Tuji and A. Houki. 2005. Picture book and ecology of the freshwater diatoms. ed. T. Watanabe. Uchida-rokakuho, Tokyo. 666 pp.
- Watanabe, T., T. Yamada and K. Asai. 1988c. Application of diatom assemblage index to organic water pollution-DAIpo-to standing waters. *Japan Journal of Water Pollution Research* **11**: 765-773.
- Yang, J.R. and M. Dickman. 1993. Diatoms as indicator of lake trophic status in Central Ontario, Canada. *Diatom Research* **8**: 179-193.
- Yoon, T.K., T.I. Yoon, C.G. Kim and S.J. Park. 2000. The application of URC process for water quality management of an artificial eutrophicated lake. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **22**: 2025-2036.
- Yoshimi, H. 1987. Simultaneous Construction of single parameter and multiparameter trophic states indices. *Water Research* **15**: 1505-1511.

(Manuscript received 24 February 2011,  
Revision accepted 11 May 2011)

Appendix. Species list of phytoplankton at the 10 reservoirs in Chungcheongnam-do from October 2007 to June 2008.

Species	Seasons		St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8		St. 9		St. 10			
	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J
Phylum CYANOPHYTA																								
Cl. CYANOPHYCEAE																								
Ord. Chroococcales																								
Fam. Chroococcaceae																								
<i>Synechocystis aquatilis</i>																								
<i>Dactylococcopsis acicularis</i>																								
<i>Dactylococcopsis fascicularis</i>																								
<i>Microcystis aeruginosa</i>																								
<i>Microcystis flos-aquae</i>																								
<i>Microcystis protea</i>																								
<i>Microcystis viridis</i>																								
<i>Microcystis wesenbergii</i>																								
<i>Aphanocapsa rivularis</i>																								
<i>Aphanocapsa grevillei</i>																								
<i>Aphanothece nidulans</i>																								
<i>Aphanothece castagnei</i>																								
<i>Chroococcus minutus</i>																								
<i>Chroococcus minor</i>																								
<i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>minor</i>																								
<i>Merismopedium punctatum</i>																								
<i>Merismopedium glaucum</i>																								
Ord. Nostocales																								
Subord. Nostochineae																								
Fam. Nostocaceae																								
<i>Cylindrospermum muscicola</i>																								
<i>Anabaena macrospora</i>																								
<i>Anabaena affinis</i>																								
Subord. Oscillatoriineae																								
Fam. Oscillatoriaceae																								
<i>Spirulina major</i>																								
<i>Spirulina subsalsa</i>																								
<i>Oscillatoria limosa</i>																								
<i>Oscillatoria tenuis</i>																								
<i>Oscillatoria tenuis</i> var. <i>asiatica</i>																								
<i>Oscillatoria tenuis</i> var. <i>tergestina</i>																								
<i>Oscillatoria limnetica</i>																								
<i>Oscillatoria chlorina</i>																								
<i>Oscillatoria angustissima</i>																								
<i>Phormidium valderianum</i>																								
<i>Phormidium uncinatum</i>																								
<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i>																								
<i>Phormidium treleasei</i>																								
<i>Lyngbya martensiana</i>																								
<i>Lyngbya putealis</i>																								
<i>Lyngbya hieronymusii</i>																								
Subord. Raphidineae																								
Fam. Eunotiaceae																								
<i>Eunotia arcus</i>																								
<i>Eunotia curvata</i>																								
<i>Eunotia diodon</i>																								
<i>Eunotia exigua</i>																								
<i>Eunotia major</i>																								
Fam. Achnanthaceae																								
<i>Achnanthes clevei</i>																								
<i>Achnanthes convergens</i>																								
<i>Achnanthes hungarica</i>																								
<i>Achnanthes lanceolata</i>																								
<i>Achnanthes laterostrata</i>																								









Appendix. Continued.

Species	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8		St. 9		St. 10																					
	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J	O	D	M	J																
<i>Staurastrum apiculatum</i>																																								
<i>Staurastrum subcruciatum</i>																																								
<i>Staurastrum tetracerum</i>					+										+																									
<i>Staurastrum tetracerum</i> var. <i>subexcavatum</i>																					+																			
<i>Staurastrum manfeldtii</i> var. <i>annulatum</i>																																								
<i>Spondylosium ellipticum</i>																																								
Total taxa	49	43	35	49	31	26	9	34	51	44	41	34	47	39	41	35	39	42	29	58	52	36	31	46	44	35	38	47	27	35	18	50	29	39	36	57	36	28	40	41