

## 서낙동강 기초생태환경 조사

- 부산의 대표적인 하천인 서낙동강의 수질 및 동·식물플랑크톤군집 등의 기초 생태환경을 장기 모니터링함으로써 수생태계에 대한 이해의 폭을 넓히고 하천 수질관리 대책의 기초자료로 제공코자 함

### 1. 조사개요

- 조사근거 : 시 환위 31811-32250(1986.12.23.), 시 환보 67407-20074(1999.01.18.)
- 조사기간 : 2008년 1월 ~ 2007년 12월(월 1회)
- 조사항목 : 이화학적 수질 9개 항목 및 동·식물플랑크톤
- 조사대상 : 서낙동강 3개 지점
  - ▷ 대저수문(상류), 강동교(중류), 녹산수문(하류)

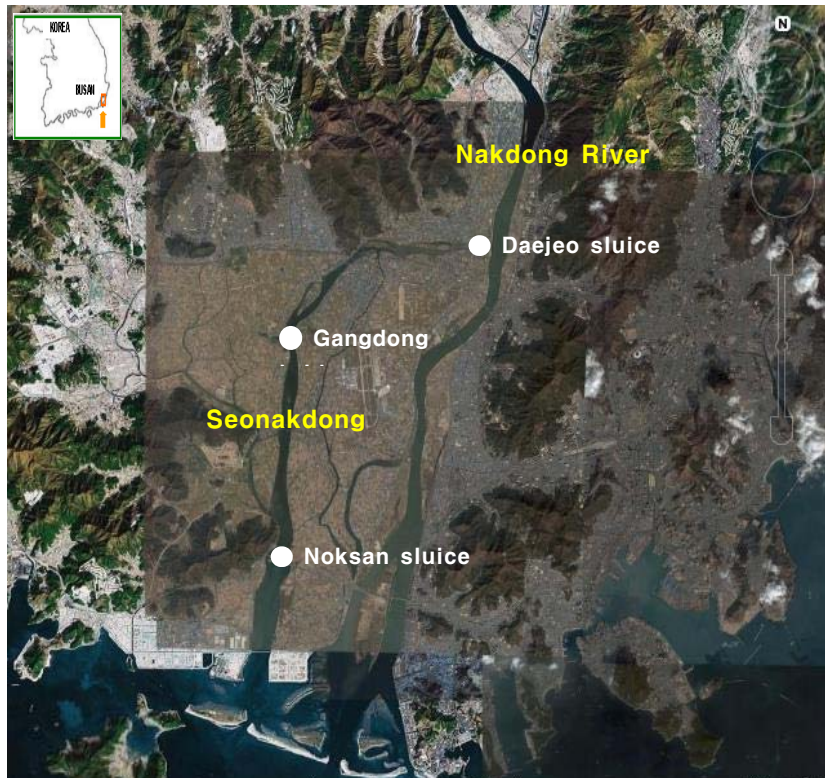


그림 1. 서낙동강의 조사지점

## 2. 조사방법

### ○ 이화학적 분석

- ▷ 현장측정 항목(수온, pH, DO, 전기전도도) : 현장 측정기(YSI-556MPS)를 이용
- ▷ 분석 항목(COD, BOD, T-N, T-P, 클로로필-a) : 수질오염 공정시험기준(환경부, 2008)에 의거하여 분석

### ○ 동·식물플랑크톤 조사

- ▷ 동·식물플랑크톤의 총세포수, 우점종 및 세포수 측정
- ▷ 식물플랑크톤의 정량분석은 2 L의 시료를 Lugol solution으로 고정한 후 1 mL의 세즈윅-라프터 챔버를 이용하여 저배율(×200)에서 계수
- ▷ 정성분석은 중·고배율(×400, ×1000)에서 분리·동정
- ▷ 식물플랑크톤 종의 동정은 한국담수조류도감(정준, 1993), 일본담수조류도감(Hirose and Yamagishi, 1977) 및 수질오염공정시험방법 부록 I.담수조류분류표(환경부, 2001)에 따라 동정
- ▷ 동물플랑크톤의 정량 분석은 2 L의 시료를 20 mL로 농축한 후, 1 mL의 세즈윅-라프터 챔버를 이용하여 저배율(×200)에서 계수하여 단위 체적당 개체수(inds/L)로 환산
- ▷ 종의 동정은 한국담수동물플랑크톤도감(조규송, 1993)을 참고

## 3. 조사결과

### ○ 환경요인 및 수질현황

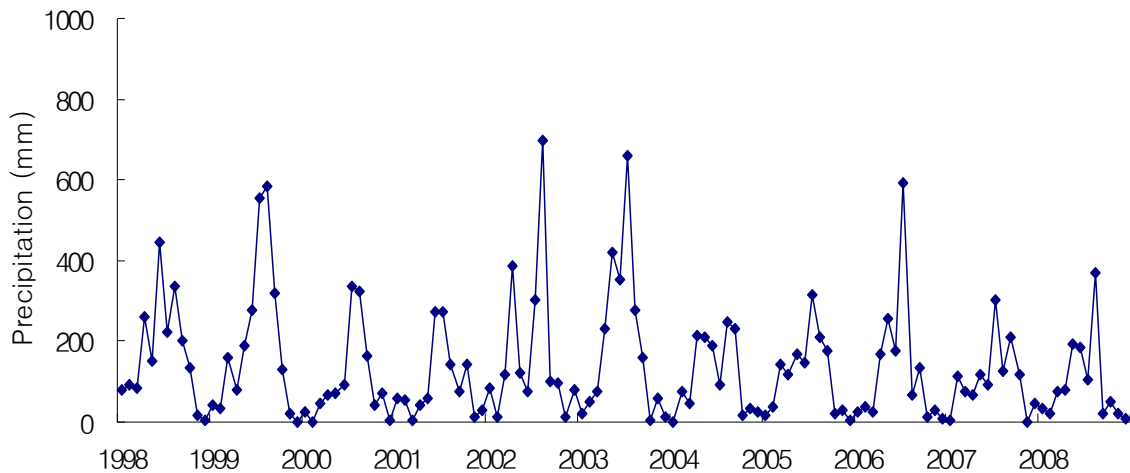


그림 2. 연도별 강수량

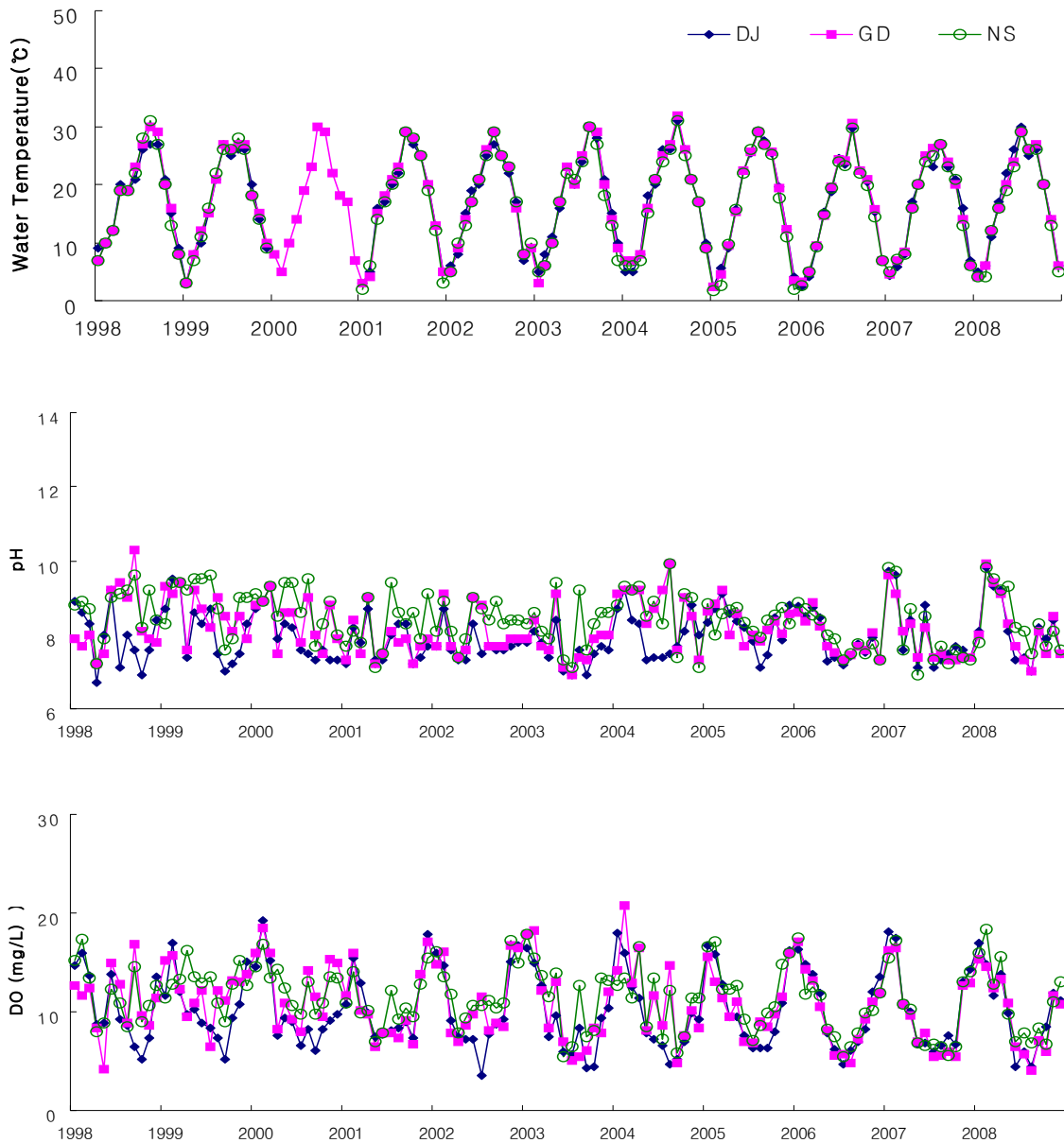


그림 3. 연도별 환경요인 현황

- ▷ 2008년의 강우량은 1,169 mm로서 평년(1,492 mm)보다 다소 적었으며(기상청, 2008),
- ▷ 연평균 수온은 대저수문지점이 17.3 °C, 강동교지점은 17.0 °C 및 녹산수문지점이 16.4 °C로서 1998년부터 2008년까지의 평균값과 비슷하게 나타났다.
- ▷ 지점별 평균 pH는 각 8.2, 8.2, 8.4으로 조사되었으며, 최근 10년동안 가장 높은 값은 10.3으로서 1998년 9월에 강동교와 녹산수문지점에서 남조류가 번성하였을 때였으며, 늦겨울~봄철 규조류의 번성시기에도 높게 나타나 조류번성과 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

▷ 2008년의 지점별 평균 DO 농도는 각각 10.0, 9.9, 11.1 mg/L였으며, 수온이 높은 하절기에 수중 용존산소 농도가 낮았고, 규조류 번성시기인 겨울~봄철에 용존산소 농도가 높은 것으로 조사되었다.

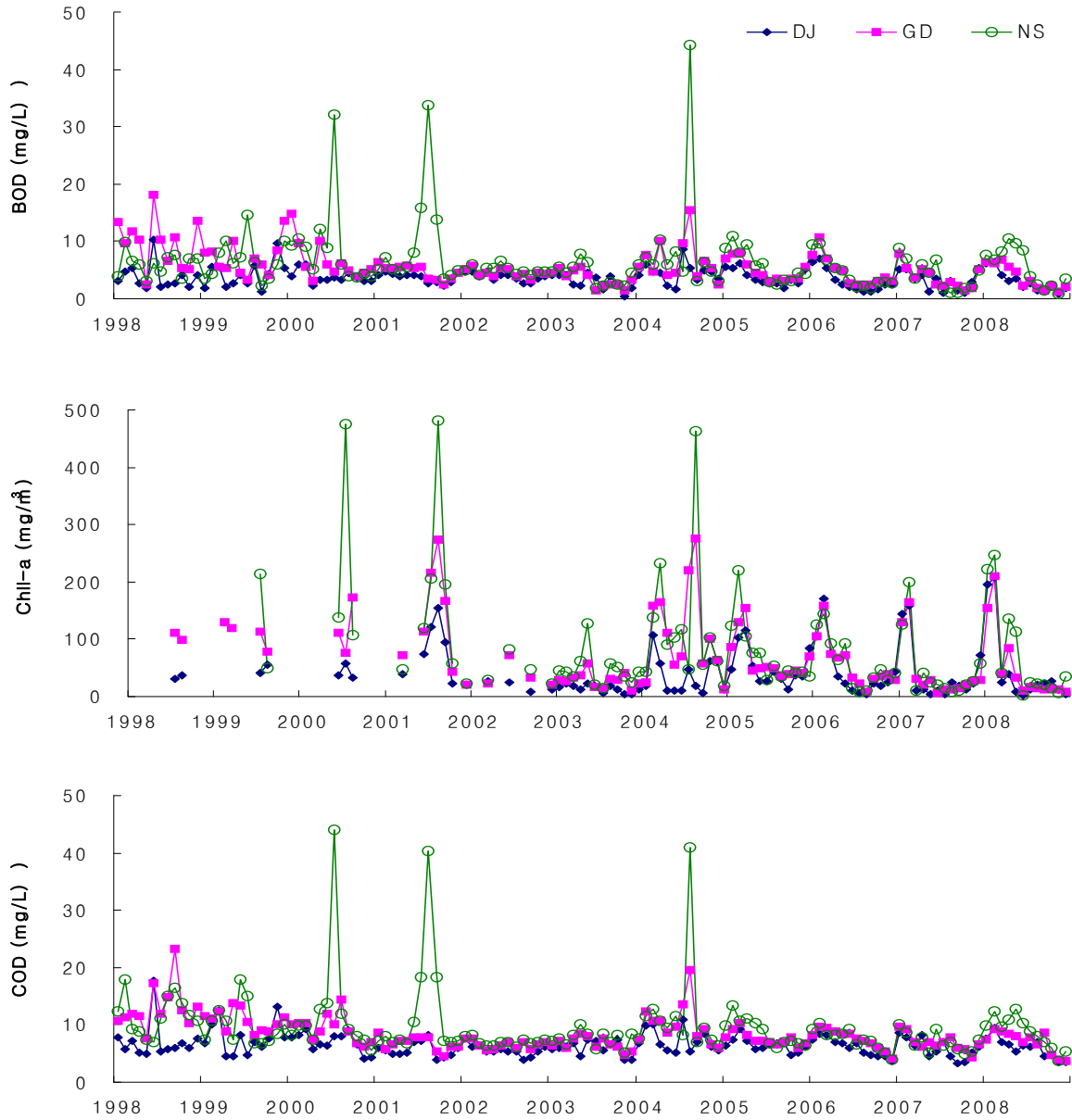


그림 4. 연도별 BOD, Chl-a, COD 결과

▷ 생물화학적 산소요구량(BOD)는 대저수문, 강동교, 녹산수문지점의 2008년 평균값이 각각 3.0, 3.7, 5.5 mg/L, 화학적산소요구량(COD)의 평균값은 6.0, 7.0, 8.7 mg/L로서 최근 10년간 평균값에 비해 낮아졌음을 알 수 있다.

- ▷ 조사기간 동안의 BOD 및 COD 변화는 클로로필-a의 증감추세와 거의 일치하고 있어 서낙동강의 BOD 및 COD 부하는 외부오염원보다는 수체내의 조류(algae)에 의한 내부생산 부하에 영향을 받는 것으로 나타났다.
- ▷ 클로로필-a 농도변화의 추세는 BOD 및 COD 증감 패턴, DO 및 pH 변화 그리고 강수량 등과 밀접한 상관성을 보이고 있다. 특히 강수량의 영향을 크게 받는 것으로 나타나, 강수량이 적었던 2000년, 2001년 및 2004년 여름에 남조류가 대량 번성하였으며, 2001년 8월 녹산수문지점의 클로로필-a 농도는 481.0 mg/m<sup>3</sup>까지 나타났다. 또한 2000년 6월에는 474.6 mg/m<sup>3</sup>, 2004년 8월에는 462.2 mg/m<sup>3</sup>로서 정체수역인 녹산수문지점에서 남조류 bloom현상이 자주 나타났으며, 2004년~2007년에는 1~3월경 규조류에 의한 높은 클로로필-a 농도를 나타내었다. 2008년의 지점별 평균 농도는 각각 47.9 mg/m<sup>3</sup>, 50.8 mg/m<sup>3</sup>, 73.8 mg/m<sup>3</sup>로서 다소 정체가 일어나는 녹산수문 지점이 가장 높게 나타났다.

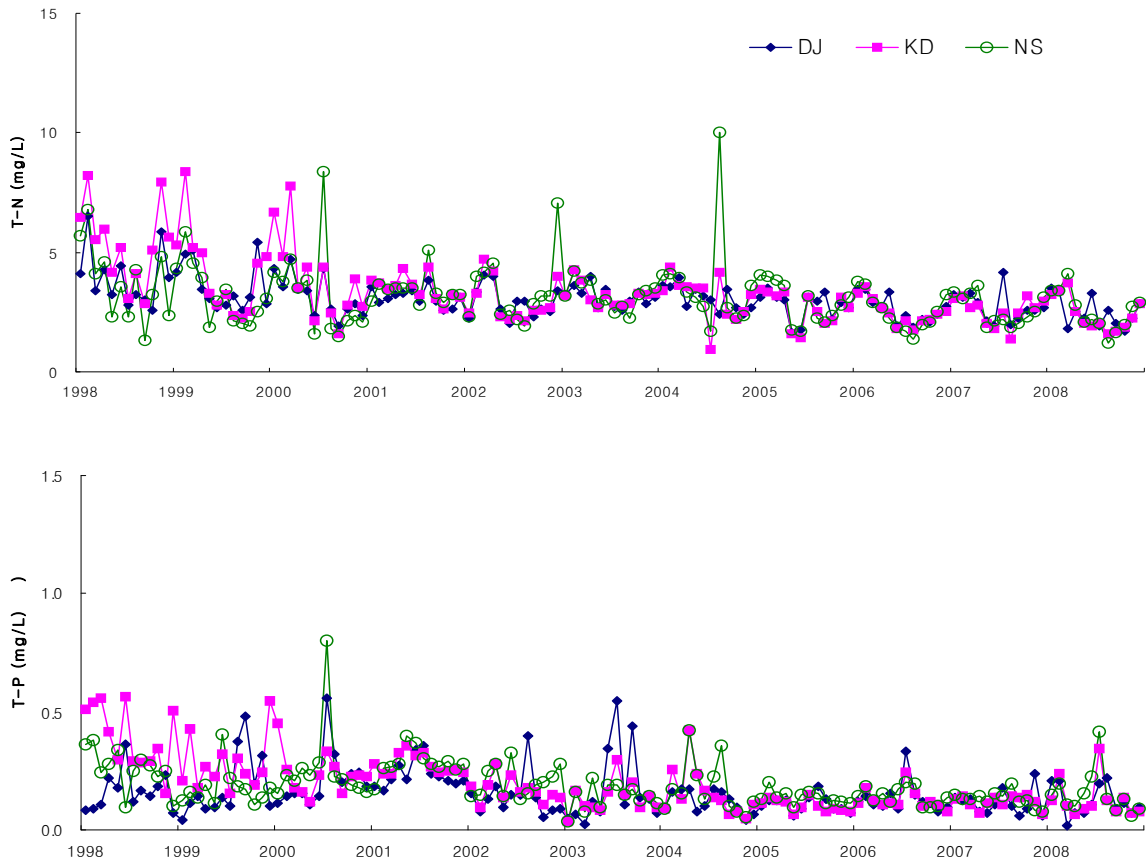


그림 5. 연도별 TN, TP 결과

- ▷ 서낙동강 부영양화의 주요인인 T-N(총질소)의 2008년 평균농도는 각각 2.513, 2.416, 2.538 mg/L, T-P(총인)은 0.122, 0.130, 0.153 mg/L로서 세 지점이 거의 비슷한 추세로 나타났으며, 2000년 이후 일정한 수준의 값을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

- ▷ 특히 2005년 이후로 총질소, 총인의 농도가 10%이상 저감된 것을 알 수 있는데, 이는 2005년 부터 시행된 서낙동강수계 오염총량관리의 영향을 받은 것으로 나타났다.
- ▷ 1998년부터의 각 지점별 이화학적 수질 연평균값을 표 1에 나타내었다.

표 1. 1998년~2008년간의 이화학적 수질평균 (DJ:대저수문, GD:강동교, NS:녹산수문)

yr.	site	W.T. (°C)	pH	DO (mg/L)	E.C. ( $\mu$ s/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )
1998	DJ	18.0	7.9	10.5	296	3.8	7.2	3.939	0.163	-
	GD	18.3	8.3	11.0	1,505	9.8	13.5	5.348	0.397	-
	NS	18.0	8.7	11.8	2,421	6.1	11.8	3.775	0.258	-
1999	DJ	17.0	8.2	10.5	305	4.3	7.8	3.610	0.264	-
	GD	17.4	8.6	12.1	1,539	7.0	10.7	4.141	0.274	-
	NS	17.2	8.9	12.9	2,856	6.9	10.1	3.211	0.177	-
2000	DJ	-	8.0	10.2	341	3.8	7.0	3.218	0.213	-
	GD	16.8	8.4	12.7	983	6.6	9.3	3.927	0.236	-
	NS	-	8.8	12.7	2,510	9.1	12.3	3.311	0.262	-
2001	DJ	16.8	7.8	10.7	657	3.7	5.9	3.125	0.235	-
	GD	17.0	7.8	10.3	988	4.7	6.8	3.520	0.277	-
	NS	16.4	8.3	10.8	3,113	9.3	12.1	3.422	0.285	-
2002	DJ	16.7	7.7	10.2	312	3.8	5.6	2.915	0.142	-
	GD	16.8	8.0	11.2	537	4.5	6.6	2.962	0.167	-
	NS	16.9	8.4	12.1	2,036	5.0	7.1	3.363	0.206	-
2003	DJ	17.6	7.6	9.1	342	3.0	6.0	3.153	0.176	14.3
	GD	17.2	7.8	10.1	1,845	3.5	6.7	3.204	0.135	29.0
	NS	16.7	8.3	11.6	3,073	4.2	7.6	3.191	0.139	46.8
2004	DJ	17.8	8.1	9.6	298	4.5	7.3	3.093	0.120	35.3
	GD	18.0	8.8	11.5	1,561	6.7	10.2	3.110	0.155	109.6
	NS	17.3	8.7	11.0	3,168	9.6	11.9	3.655	0.177	123.0
2005	DJ	16.5	8.2	10.5	349	3.8	6.5	2.775	0.110	51.2
	GD	16.4	8.3	10.7	1,276	5.0	7.6	2.666	0.103	66.1
	NS	15.8	8.4	12.3	2,643	5.8	8.7	2.894	0.137	73.5
2006	DJ	16.1	7.9	10.3	336	3.1	6.1	2.603	0.136	45.2
	GD	16.5	8.0	10.0	662	4.6	7.5	2.493	0.133	59.0
	NS	15.9	8.1	10.3	1,630	4.5	7.5	2.443	0.144	60.2
2007	DJ	16.4	8.0	10.3	457	3.1	5.9	2.734	0.114	40.8
	GD	16.5	7.9	9.6	590	3.7	6.9	2.553	0.118	41.2
	NS	16.3	8.0	10.0	1,970	4.1	7.0	2.610	0.130	46.6
2008	DJ	17.3	8.2	10.0	363	3.0	6.0	2.513	0.122	47.9
	GD	17.0	8.2	9.9	548	3.7	7.0	2.416	0.130	50.8
	NS	16.4	8.4	11.1	1,966	5.5	8.7	2.538	0.153	73.8
평 균	DJ	17.0	8.0	10.2	369	3.6	6.5	3.062	0.163	41.1
	GD	17.1	8.2	10.8	1,094	5.4	8.4	3.304	0.193	77.9
	NS	16.7	8.4	11.5	2,490	6.4	9.5	3.128	0.188	100.2

○ 식물플랑크톤의 군집변화

- ▷ 2008년에는 클로로필-a 농도 및 식물플랑크톤 개체수도 대체로 저감된 추세를 나타냈으며, 규조류 *Stephanodiscus hantzchii f. tenuis*, *cyclotella comta*의 번성이 나타나, 서낙동강 수생태계는 연중 규조류가 번성하는 특징을 볼 수 있었다.
- ▷ 겨울~봄철까지는 규조류인 *Stephanodiscus hantzchii f. tenuis*와 *Cyclotella comta*가 주요 우점종으로 조사되었으며, 여름철에는 *Cyclotella comta*와 *Microcystis aeruginosa*가 우점으로 조사되었고, 다음으로 *Aulacoseira granulata*, *Cryptomonas sp.* 등이 아우점을 나타내기도 하였다.
- ▷ 2003년부터 서낙동강 식물플랑크톤의 군집 변화상을 살펴보면, 겨울에는 *Stephanodiscus hantzchii f. tenuis*, 봄철에는 *Cyclotella comta*와 *Microcystis aeruginosa*, 여름철에는 *Microcystis aeruginosa* 와 *Aulacoseira granulata*, 가을에는 *Cyclotella comta* 와 *Aulacoseira granulata*가 우점하는 것으로 나타났다.
- ▷ 2003년부터의 각 지점별 계절별 주요 우점종과 평균 우점율을 표 2에 나타내었다.

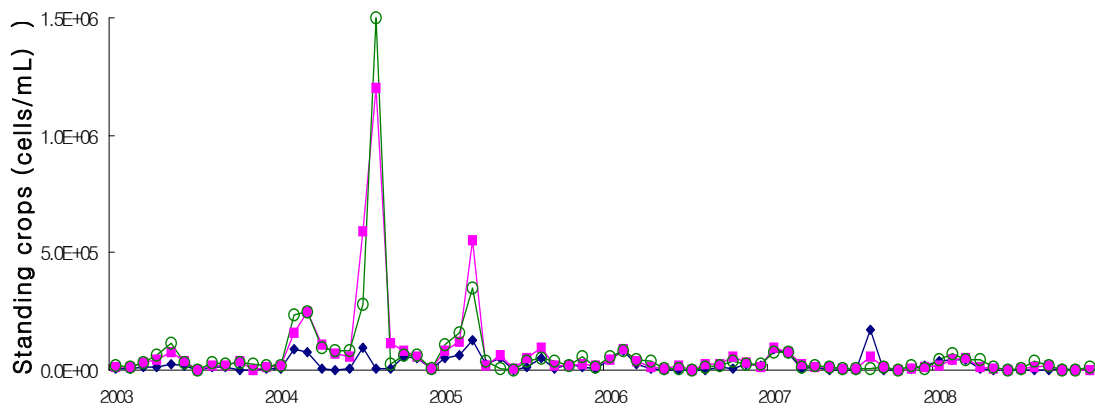
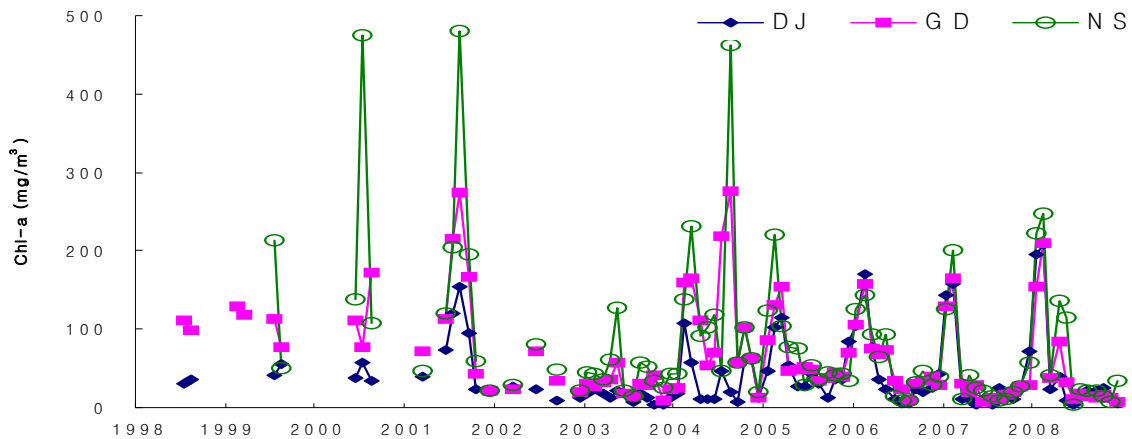


그림 6. 연도별 Chl-a 및 식물성 플랑크톤 개체수

표 2. 2003년~2008년간의 계절별 식물플랑크톤 우점종 (DJ:대저수문, GD:강동교, NS:녹산수문)

		DJ	GD	NS
2003	winter	<i>Stephanodiscus</i> sp.(84%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(88%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(87%)
	spring	<i>Stephanodiscus</i> sp.(66%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(67%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(68%)
	summer	<i>Aulacoseira</i> sp.(30%)	<i>Eudorina</i> sp.(24%)	<i>Microcystis</i> sp.(30%)
	autumn	<i>Aulacoseira</i> sp.(51%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(55%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(44%)
2004	winter	<i>Stephanodiscus</i> sp.(96%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(95%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(96%)
	spring	<i>Cryptomonas</i> sp.(43%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(40%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(43%)
	summer	<i>Eudorina</i> sp.(26%)	<i>Microcystis</i> sp.(92%)	<i>Microcystis</i> sp.(94%)
	autumn	<i>Aulacoseira</i> sp.(55%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(55%)	<i>Cyclotella</i> sp.(42%)
2005	winter	<i>Stephanodiscus</i> sp.(89%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(89%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(90%)
	spring	<i>Stephanodiscus</i> sp.(82%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(80%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(83%)
	summer	<i>Aulacoseira</i> sp.(25%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(29%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(31%)
	autumn	<i>Aulacoseira</i> sp.(62%)	<i>Cyclotella</i> sp.(61%)	<i>Cyclotella</i> sp.(51%)
2006	winter	<i>Stephanodiscus</i> sp.(84%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(81%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(79%)
	spring	<i>Stephanodiscus</i> sp.(86%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(74%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(75%)
	summer	<i>Aulacoseira</i> sp.(50%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(37%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(23%)
	autumn	<i>Cyclotella</i> sp.(49%)	<i>Cyclotella</i> sp.(49%)	<i>Cyclotella</i> sp.(45%)
2007	winter	<i>Stephanodiscus</i> sp.(89%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(90%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(78%)
	spring	<i>Cyclotella</i> sp.(40%)	<i>Cyclotella</i> sp.(46%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(40%)
	summer	<i>Microcystis</i> sp.(58%)	<i>Microcystis</i> sp.(34%)	<i>Cyclotella</i> sp.(72%)
	autumn	<i>Aulacoseira</i> sp.(57%)	<i>Aulacoseira</i> sp.(32%)	<i>Cyclotella</i> sp.(49%)
2008	winter	<i>Stephanodiscus</i> sp.(89%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(87%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(82%)
	spring	<i>Stephanodiscus</i> sp.(75%)	<i>Stephanodiscus</i> sp.(67%)	<i>Cyclotella</i> sp.(54%)
	summer	<i>Cyclotella</i> sp.(33%)	<i>Cyclotella</i> sp.(63%)	<i>Microcystis</i> sp.(62%)
	autumn	<i>Stephanodiscus</i> sp.(39%)	<i>Cyclotella</i> sp.(45%)	<i>Cyclotella</i> sp.(27%)

## ○ 동물플랑크톤의 동태

- ▷ 동물플랑크톤은 스스로 광합성을 할 수 없는 부유성 종속영양생물로서, 단세포 원생동물로부터 어류의 치어까지 아주 다양하며, 하천에서 주로 출현하는 동물플랑크톤에는 섬모충류, 윤충류, 지각류 및 요각류 등이 있다. 서낙동강에도 이러한 동물플랑크톤이 다양하게 분포하였으며, 계절별, 지점별로 변화가 심하였다.
- ▷ 2004년~2008년간 각 지점별 출현한 동물플랑크톤의 총 개체수는 대저수문지점이 150~13,000 inds/L이었고, 강동교 지점이 130~8,000 inds/L, 녹산수문 지점은 350~8,500 inds/L로서, 대저수문에서 가장 많이 출현하였다. 봄철과 가을철인 4, 5월과 8, 9월에 개체수가 증가하였으며, 겨울철인 10~12월에는 매우 낮은 값을 나타내었다.



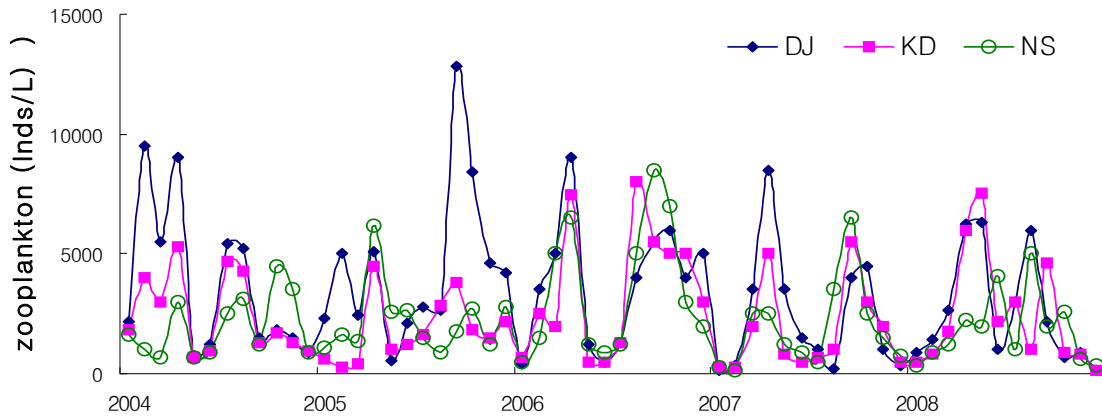


그림 7. 연도별 동물성 플랑크톤 개체수

- ▷ 봄철의 높은 출현시기에는 대저수문지점의 개체수가 가장 많았고 가을철의 높은 출현시기에는 녹산수문지점의 개체수가 비교적 많았다.
- ▷ 출현종은 겨울철에는 *Strombidium* sp., *Tintinnidium* sp. 등의 섬모충류가, 봄철에는 *Tintinnidium* sp., *Brachionus* sp. 등의 섬모충류, 윤충류가 전 지점에서 대부분 우점하였고, 5~6월에는 요각류의 유생인 *Nuplius*가 많이 보였다. 수온이 높아진 7월에는 *Bosmina* sp., *Moina* sp. 등의 지각류 및 성충 요각류가 많이 보였으며, 남조류가 우점하는 시기인 8월에는 윤충류가 다시 우점하였다. 9월에는 다시 지각류(*Bosmina* sp.)와 요각류(*Cyclops*)가 많이 나타났으며, 수온이 낮아진 10월 이후로는 다시 윤충류가 적은 개체수로 출현하였고 *Tintinnidium* sp. 등의 섬모충류가 우점하였다.
- ▷ 지각류 및 요각류의 점유율은 대체로 20~40% 정도였으므로, 지각류 및 요각류가 우점하였을 시기인 7월과 9월에는 동물플랑크톤의 종 다양도가 매우 높았으며, 섬모충류 및 윤충류의 점유율은 평균 50% 이상으로서 그 우점도가 매우 높았다.
- ▷ 2004년부터의 각 지점별 계절별 주요 우점종과 평균 우점율을 표 3에 나타내었다.

표 3. 2004년~2008년간의 계절별 동물플랑크톤 우점종 (DJ:대저수문, GD:강동교, NS:녹산수문)

	DJ	GD	NS	
2004	winter	<i>Tintinnidium</i> sp.(52%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(57%)	<i>Euplotes</i> sp.(27%)
	spring	<i>Tintinnidium</i> sp.(39%)	<i>Brachionus</i> sp.(49%)	<i>Brachionus</i> sp.(17%)
	summer	<i>Tintinnidium</i> sp.(21%)	<i>Bosmina</i> sp.(34%)	<i>Bosmina</i> sp.(29%)
	autumn	<i>Bosmina</i> sp.(19%)	<i>Brachionus</i> sp.(20%)	<i>Strombidium</i> sp.(40%)
2005	winter	<i>Strombidium</i> sp.(57%)	<i>Strombidium</i> sp.(47%)	<i>Strombidium</i> sp.(46%)
	spring	<i>Strombidium</i> sp.(74%)	<i>Brachionus</i> sp.(41%)	<i>Brachionus</i> sp.(31%)
	summer	<i>Polyarthra</i> sp.(52%)	<i>Polyarthra</i> sp.(25%)	<i>Moina</i> sp.(34%)
	autumn	<i>Polyarthra</i> sp.(75%)	<i>Nauplius</i> (34%)	<i>Euplotes</i> sp.(35%)

표 3. 계속

		DJ	GD	NS
2006	winter	<i>Strombidium</i> sp.(51%)	<i>Strombidium</i> sp.(34%)	<i>Euplotes</i> sp.(27%)
	spring	<i>Tintinnidium</i> sp.(52%)	<i>Brachionus</i> sp.(36%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(32%)
	summer	<i>Bosmina</i> sp.(26%)	<i>Moina</i> sp.(32%)	<i>Moina</i> sp.(42%)
	autumn	<i>Tintinnidium</i> sp.(57%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(71%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(76%)
2007	winter	<i>Tintinnidium</i> sp.(55%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(42%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(36%)
	spring	<i>Tintinnidium</i> sp.(58%)	<i>Brachionus</i> sp.(28%)	<i>Brachionus</i> sp.(21%)
	summer	<i>Bosmina</i> sp.(22%)	<i>Moina</i> sp.(29%)	<i>Moina</i> sp.(31%)
	autumn	<i>Polyarthra</i> sp.(53%)	<i>Polyarthra</i> sp.(35%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(41%)
2008	winter	<i>Tintinnidium</i> sp.(43%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(37%)	<i>Tintinnidium</i> sp.(31%)
	spring	<i>Tintinnidium</i> sp.(46%)	<i>Tintinopsis</i> sp.(50%)	<i>Brachionus</i> sp.(26%)
	summer	<i>Bosmina</i> sp.(30%)	<i>Moina</i> sp.(19%)	<i>Moina</i> sp.(60%)
	autumn	<i>Polyarthra</i> sp.(36%)	<i>Polyarthra</i> sp.(25%)	<i>Moina</i> sp.(46%)

#### 4. 결 론

- 2008년 서낙동강의 기본환경 변화를 살펴 보면, 연간 강우량은 1,169 mm로서 평년에 비해 다소 적었으며, 연평균 수온은 16.9 °C, 평균 pH는 8.3, 평균 DO 농도는 10.3 mg/L였다.
- 생물화학적 산소요구량(BOD)는 대저수문, 강동교, 녹산수문지점의 2008년 평균값이 각각 3.0, 3.7, 5.5 mg/L였으며, 화학적산소요구량(COD)의 평균값은 6.0, 7.0, 8.7 mg/L로서 10년간 평균값에 비해 낮아졌음을 알 수 있으며, 클로로필-a 농도는 각각 47.9 mg/m<sup>3</sup>, 50.8 mg/m<sup>3</sup>, 73.8 mg/m<sup>3</sup>로서 녹산수문지점이 가장 높게 나타났다.
- 서낙동강 부영양화의 주요인인 T-N(총질소)의 2008년 평균농도는 각각 2.513, 2.416, 2.538 mg/L, T-P(총인)은 0.122, 0.130, 0.153 mg/L로서 세 지점이 거의 비슷한 추세였으며, 연도별 추세를 보면 매년 조금씩 낮아지고 있음을 알 수 있다.
- 식물플랑크톤 개체수 또한 수질 오염이 저감되고 부영양화가 개선되면서 감소하는 추세이며, 하절기 남조류 우점의 계절적 특징을 제외하면, 연중 규조류의 우점이 나타났다.
- 동물플랑크톤 개체수도 예년에 비해 다소 감소하였으며, 봄철에는 대저수문 지점에서, 가을철엔 녹산수문 지점에서 많은 군집이 발견되었다.
- 최근 수년간 하절기 남조류 bloom 현상이 없었으나, 2007년에는 7~8월에 일시적으로 남조류 bloom 현상이 나타났으며, 이는 수중 유기물 및 영양염류가 원인이기도 하지만 여름철 강우 빈도 및 일사량과 수온, 수체의 정체 등의 환경요인이 더욱 큰 원인으로 작용하고 있음을 알 수 있다.