

서낙동강 플랑크톤 조사

- 서낙동강에 대한 수질 및 동식물플랑크톤을 모니터링함으로써 수생태계 변화에 따른 물환경의 특성을 파악하여 수질 평가 및 예측을 통한 하천환경 관리정책에 필요한 자료를 확보하고자 함

1. 조사개요

- 조사근거 : 부산광역시환보 67407-20074(1999.01.18)
- 조사기간 : 2015년 1월 ~ 12월(월 1회)
- 조사항목 : 이화학적 수질항목 9개 항목, 동·식물플랑크톤 종조성 및 분포
- 조사지점 : 서낙동강 3개 지점 - 대저수문, 강동교, 녹산수문(그림 1)

		위치
	대저수문 (A)	25° 13'50.97"N128° 59'34.17"E
	강동교 (B)	25° 11'29.55"N128° 54'27.04"E
	녹산수문 (C)	35° 07'18.23"N128° 53'47.09"E

그림 1. 조사지점(A : 대저수문, B : 강동교, C : 녹산수문)

2. 조사방법

- 이화학적 수질 인자 - 수질오염공정시험기준(2015)에 의함
 - 수온, pH, DO, 전기전도도 : 현장 측정(YSI-556MPS)
 - BOD, COD, T-N, T-P, 클로로필-a
 - ※ 기상 요인(강수량, 일조시간, 일사량) - 기상청 홈페이지 참고
- 동·식물플랑크톤
 - 식물플랑크톤의 정량분석은 2 L의 표층수 시료를 채수고정 후 48시간 이상 침강
 - 지점당 2 L의 표층수 채수고정 후 체($\phi=10 \mu\text{m}$)로 최종 20 mL 농축
 - Sedgwick-Rafter chamber에 1 mL 취하여 현미경(Imager A2, ZEISS) 100-1000 배에서 동정 및 계수
 - 참고 : 한국담수조류도감(정용, 1993), 한국의 조류(국립생물자원관, 2012), 한국담수동물

플랑크톤도감(조규송, 1993) 등 다수

○ 통계분석

- 환경인자 등과 동·식물플랑크톤과의 상호관계는 Pearson' s correlation 이용하여 평가

3-1. 조사결과

○ 환경요인 및 수질현황

- 기상 요인(그림 2)

- 강수량은 1373.3 mm로 5월에 강우량이 많았으나 평년 1519.1 mm보다 적었음
- 일사량은 5062 MJ/m²로 평년 4860 MJ/m² 보다 높았음
- 일조시간은 2541 hr으로 평년 2327.3 hr보다 높았으며 11월을 제외한 모든 월이 평년보다 높았고 3, 5, 10월은 특히 높았음

※ 참고) [http://www.kma.go.kr/관측자료\(기상청\)](http://www.kma.go.kr/관측자료(기상청))

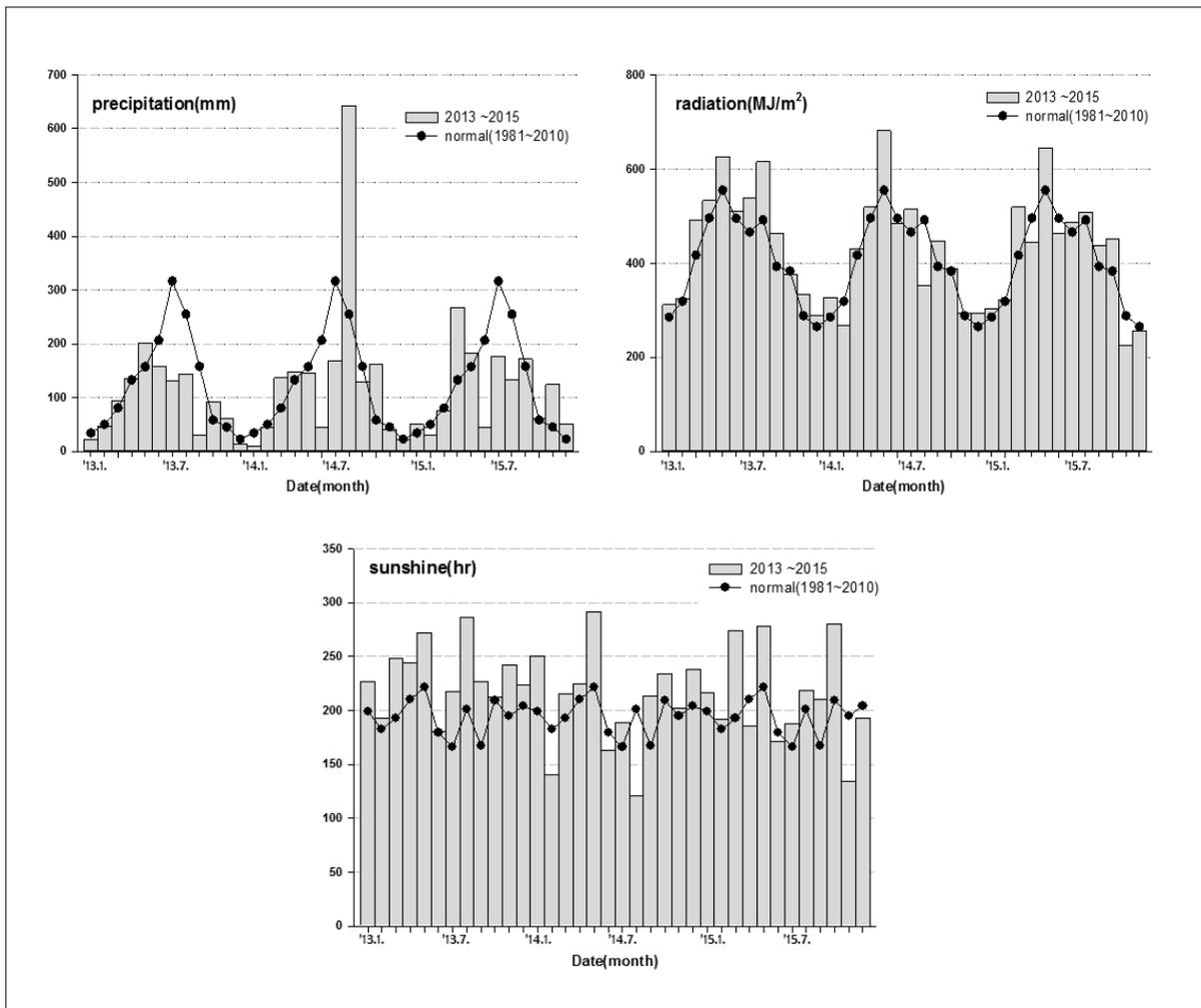


그림 2. 강수량, 일사량, 일조시간(최근 3년)

- 수질현황(표 1, 그림 3)

- 수온은 2.9 °C ~ 31.8 °C로 동절기 수온이 전년도에 비해 높았음
- pH는 7.3 ~ 10.1로 남조류가 우점하는 8월, 10월, 11월이 높았음
- 용존산소(DO)농도는 7.7 ~ 17.6으로 규조류가 우점하는 겨울철 및 남조류가 우점하는 여름철이 높게 나타났음
- 총질소(TN)의 평균 농도는 2.245 mg/L, 총인(TP)의 평균 농도 0.073 mg/L이었으며 TN은 갈수기인 1월 ~ 3월, TP는 강우가 편중된 7월 ~ 8월에 높았고, N/P비는 6 ~ 106으로 남조류가 우점할 가능성 높은 비율을 나타냈음
 ※ 참고) 남조류 우점 가능 N/P비 : 16 ~ 100
- 생물화학적 산소요구량(BOD)는 1.2 mg/L ~ 8.9 mg/L로 일사량이 증가한 4월부터 BOD값이 증가하였으며 8월 남조류 번성이 가장 심하였던 대저수문 지점이 가장 높았음
- 클로로필-a 농도(Chl-a)는 7.1 ~ 270.3 mg/m³으로 4월에서 10월까지 높은 농도로 식물플랑크톤의 번성에 의해 평균 48.0 mg/m³으로 OECD 기준으로 비교한 결과 과영양상태임
 ※ 참고) Chl-a OECD 기준(Harper, 1992) : 빈영양(2.5 mg/m³이하),
 중영양(2.5 ~ 8.0 mg/m³), 부영양(8.0 ~ 25.0 mg/m³),
 과영양(25.0 mg/m³ 이상)

표 1. 이화학적 수질인자

	겨울		봄			여름			가을			겨울	연평균
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월		
수온 (°C)	3.3	4.6	11.0	15.4	23.2	25.6	22.8	31.1	24.0	18.8	14.5	10.3	17.0
pH	8.1	8.3	8.4	8.8	8.4	8.9	7.6	9.7	7.8	8.3	8.3	7.6	8.3
DO (mg/L)	14.0	14.1	12.7	12.1	9.5	11.9	7.9	14.7	8.2	10.1	9.5	10.8	11.3
전기전도도(μm/cm)	374	458	332	487	309	375	450	443	1383	2436	650	517	685
BOD (mg/L)	3.4	2.1	1.8	5.2	2.8	5.0	4.2	7.1	3.4	2.6	2.2	1.7	3.5
COD (mg/L)	6.7	5.8	5.9	7.5	6.9	9.2	9.7	17.2	85	7.4	5.9	8.1	8.2
T-N (mg/L)	3.154	3.077	3.077	2.770	1.927	1.467	2.619	0.802	1.942	1.865	1.948	2.288	2.254
T-P (mg/L)	0.038	0.030	0.070	0.095	0.088	0.064	0.132	0.111	0.065	0.066	0.070	0.048	0.073
Chl-a (mg/m ³)	22.2	26.0	24.8	61.3	40.2	59.5	66.8	152.2	50.8	52.4	9.8	10.5	48.0

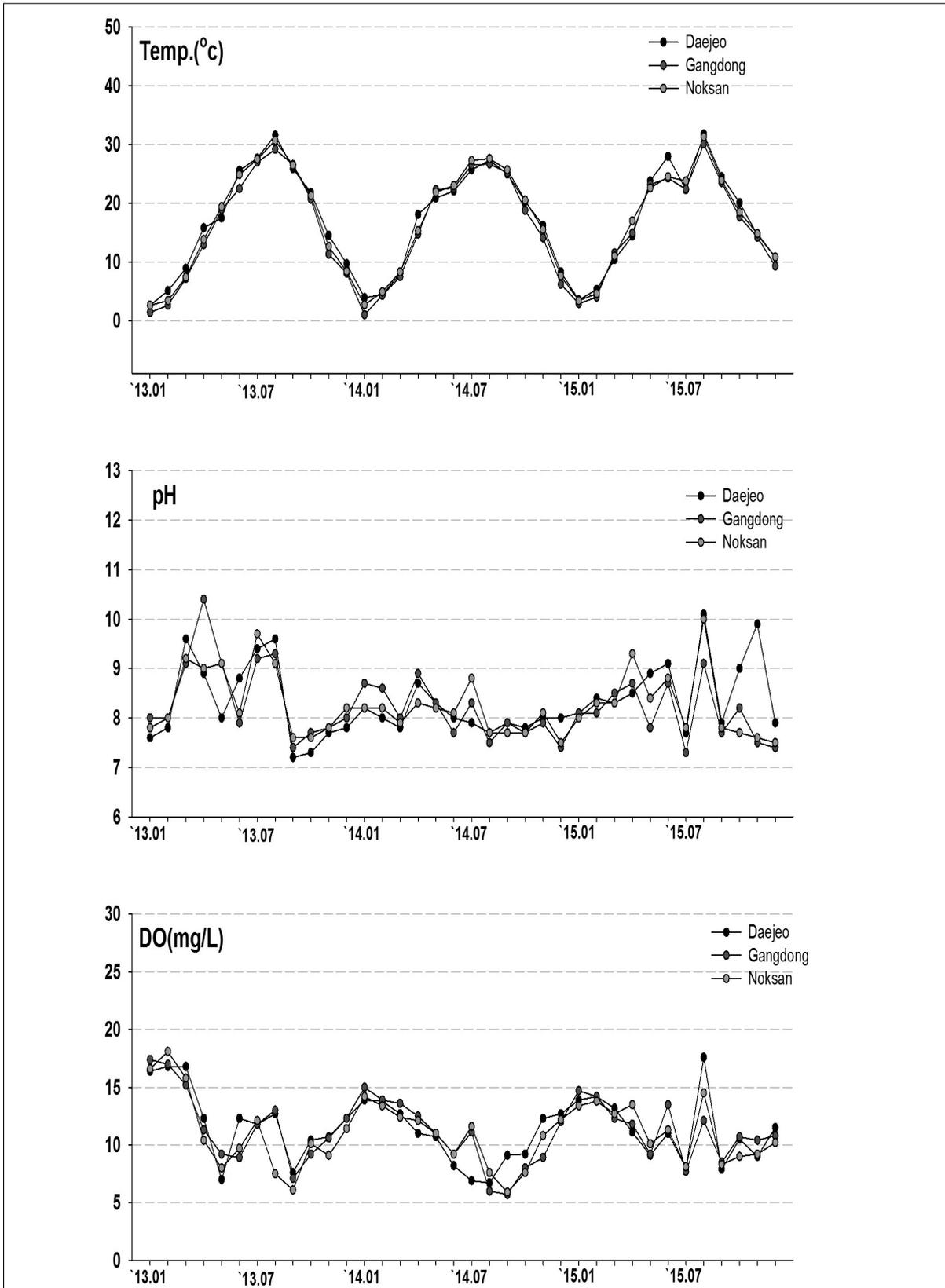


그림 3. 서낙동강의 수온, pH, DO 농도(최근 3년 지점별)

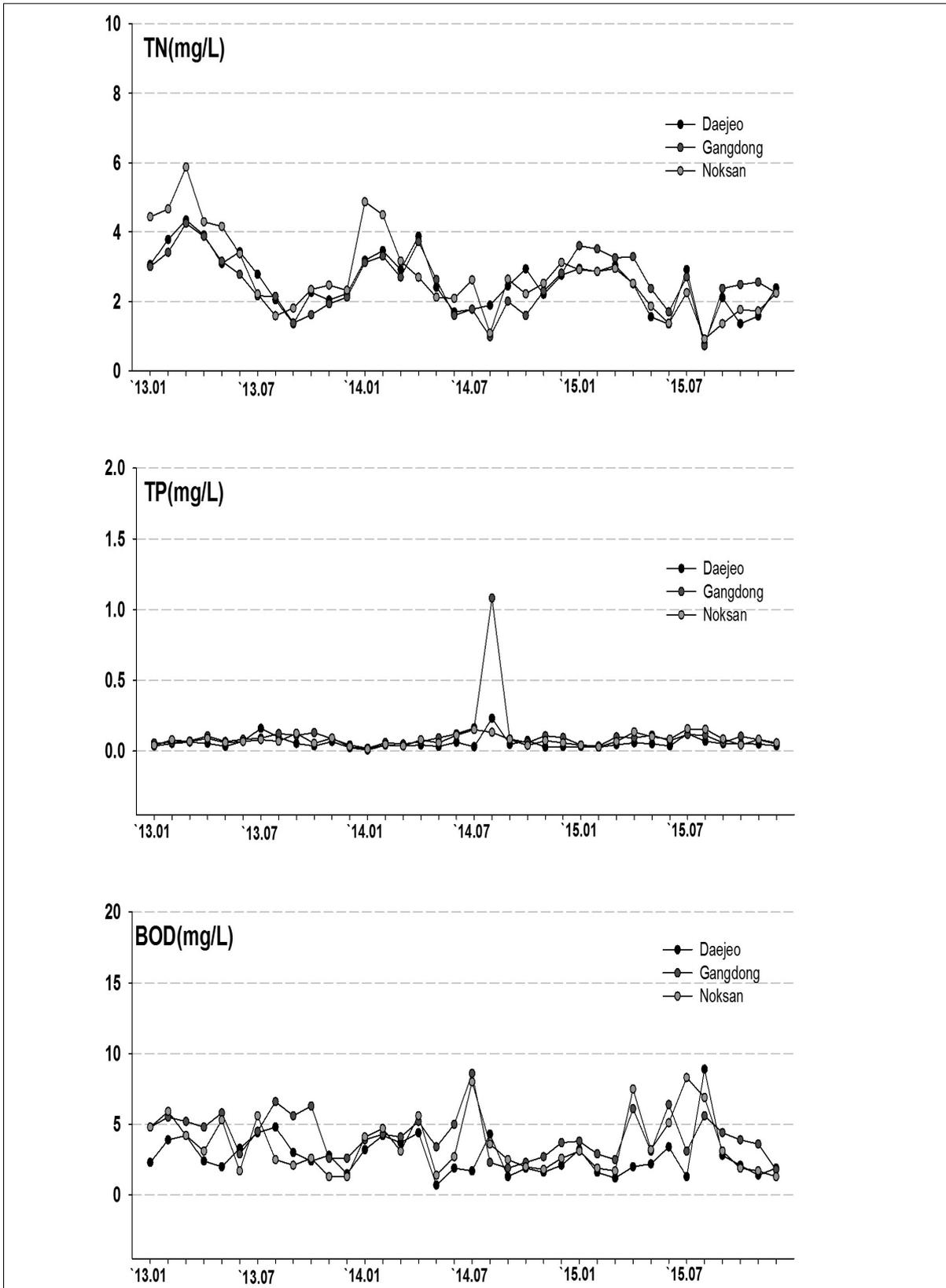


그림 3. 서낙동강의 T-N, T-P, BOD 농도(최근 3년 지점별)

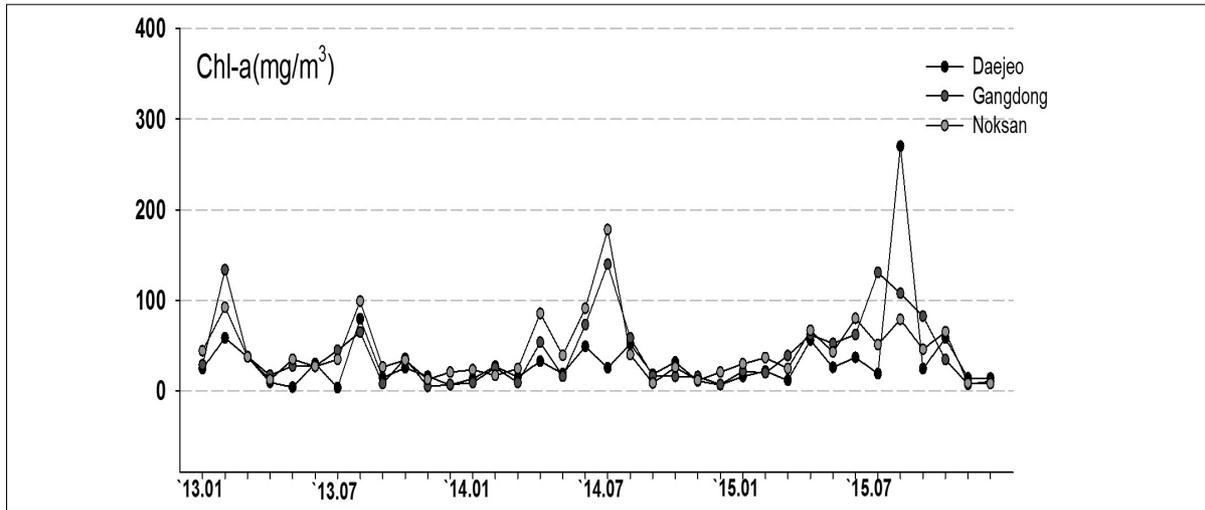


그림 3. 서낙동강의 Chl-a농도(최근 3년 지점별)

○ 식물플랑크톤 군집 특성

- 식물플랑크톤 주요 우점종 변화(그림 4, 표 2)

- 식물플랑크톤의 군집은 남조류(Cyanophyta) 6속 10종, 규조류(Bacillariophyta) 16속 30종, 녹조류(Chlorophyta) 18속 28종 및 편모조류(Flagellate) 9속 9종으로 총 49속 77종으로 분류
- 연중 규조류가 출현하였으며 겨울철에는 *Stephanodiscus hantzschii*, 봄철과 가을철에는 *Aulacoseira* spp., *Synedra acus*, *Fragilaria* sp. 우점
- 5월 남조류의 출현 이후 여름철 *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wegenbergii*, *Aphanizomenon* sp., *Anabaena* spp.이 우점하였으며 2013년과 2015년은 *Microcystis* spp.의 우점이 11월과 12월까지 지속
- 대저수문 지점은 낙동강 본류가 유입되는 곳으로 *Microcystis* spp. 개체수가 340 cells/mL ~ 186,453 cells/mL로 다른 지점에 비해 특히 높았음

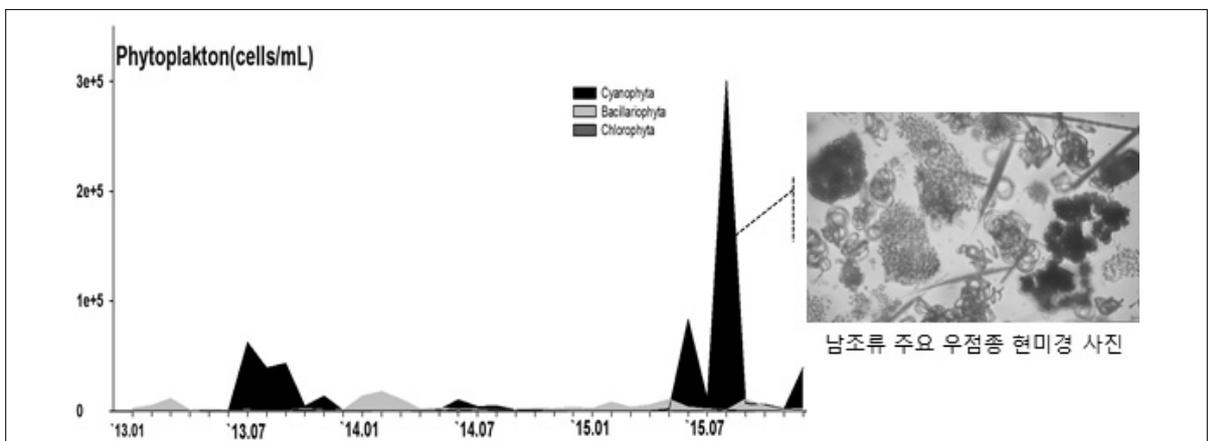


그림 4. 서낙동강 식물플랑크톤 군집별 분포와 개체수(최근 3년 지점별)

표 2. 식물플랑크톤 우점도지수와 우점종 변화(최근 3년)

	우점도지수			제1우점종(우점비율,%)		
	'13	'14	'15	'13	'14	'15
1월	0.93	0.83	0.54	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (82)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (79)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (31)
2월	0.92	0.72	0.75	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (86)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (59)	<i>Asterinella formosa</i> (54)
3월	0.96	0.83	0.78	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (94)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (66)	<i>Fragillaria</i> sp.(44)
4월	0.61	0.73	0.83	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (40)	<i>Synedra acus</i> (60)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (42)
5월	0.25	0.58	0.69	<i>Aulacoseira granulata</i> (15)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (31)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (38)
6월	0.22	0.62	0.96	<i>Aulacoseira italica</i> (13)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (41)	<i>Microcystis</i> spp.(90)
7월	0.96	0.48	0.97	<i>Microcystis aeruginosa</i> (65)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (29)	<i>Microcystis</i> spp.(94)
8월	0.93	0.50	0.99	<i>Microcystis aeruginosa</i> (91)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (32)	<i>Microcystis</i> spp.(99)
9월	0.96	0.36	0.68	<i>Microcystis aeruginosa</i> (79)	<i>Aulacoseira granulata f. spiralis</i> (20)	<i>Microcystis</i> spp.(39)
10월	0.18	0.15	0.76	<i>Microcystis aeruginosa</i> (9.2)	<i>Aulacoseira granulata f. spiralis</i> (10)	<i>Microcystis</i> spp.(48)
11월	0.89	0.62	0.83	<i>Microcystis wegenbergii</i> (49)	<i>Aulacoseira granulata f. spiralis</i> (57)	<i>Microcystis</i> spp.(63)
12월	0.23	0.76	0.97	<i>Aulacoseira italica</i> (13)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (68)	<i>Microcystis</i> spp.(95)

○ 환경인자 및 수질과 식물플랑크톤 주요 우점종간의 상관성(붙임)

- 연중 출현하는 규조류는 수온에 음의 상관성($r=-0.45$, $p<0.01$)으로 겨울철에 우점하는 *Stephanodiscus* sp.에 기인하는 것으로 보이며 DO, TN에 양의 상관성
- 남조류는 수온, pH, BOD, COD, chl-a에 양의 상관, TN에 음의 상관성 *Microcystis* spp. 등의 개체수 증가에 따라 pH, BOD, COD, chl-a 모두 증가

○ 동물플랑크톤 군집 특성

- 동물플랑크톤 주요 우점종 변화(그림 5, 표 3)
 - 동물플랑크톤의 군집은 총 11속이 출현하였으며 윤충류(Rotifer) 6속, 지각류(Cladocera) 3속과 요각류(Copepoda) 2속으로 분류
 - *Brachionus* spp., *Keratella* spp., *Polyarthra* sp. 등의 윤충류가 80.5 %로 연중 출현, *Bosmina* sp. 등의 지각류는 10.5 %, Nauplius 등의 요각류는 9.0 %의 비중을 차지
 - 1월 ~ 3월 사이에는 윤충류가 거의 대부분이고 섭식률이 높은 지각류 *Bosmina* sp.와 요각류의 Nauplius가 4월 이후 출현하여 12월까지 우점
 - 남조류가 우점한 6월 ~ 8월에는 *Trichocerca* sp. 우점으로 종변화
 - 2013년부터 2015년까지 조사시기별 서낙동강의 총 우점종은 총 10종(우점율 10 % 기준)으로 *Keratella* sp., *Polyarthra* sp., *Brachionus* sp., 등의 윤충류는 종의 계절적인 변화가 있었지만 연중 높은 비율로 우점

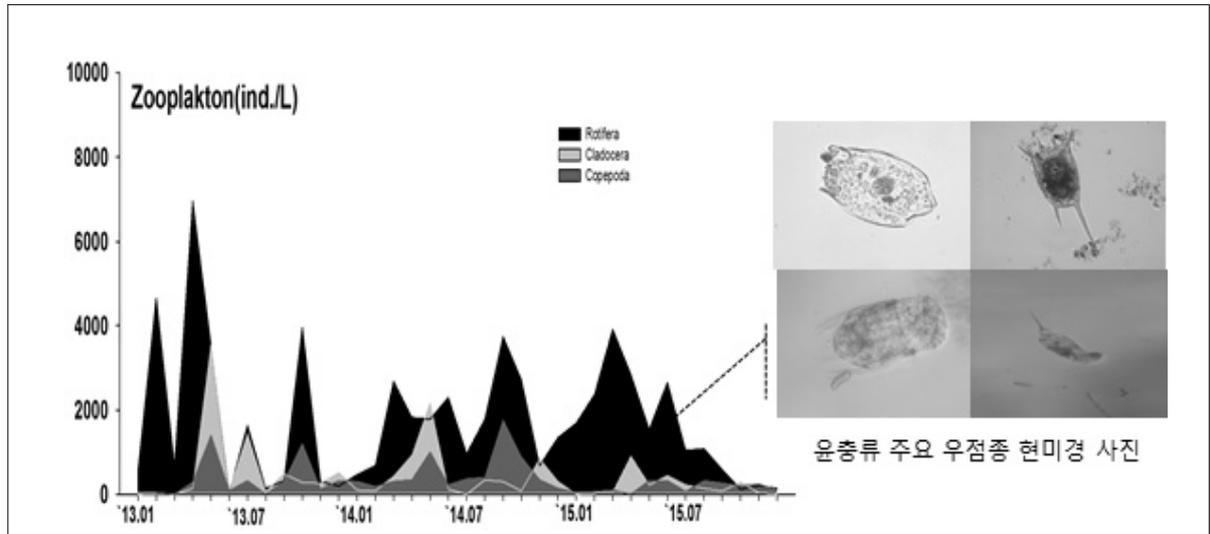


그림 5. 서낙동강 동물플랑크톤 군집의 분포와 개체수(최근 3년 지점별)

표 3. 동물플랑크톤 우점도지수와 우점종 변화(최근 3년)

	우점도지수			제1우점종(우점비율,%)		
	'13	'14	'15	'13	'14	'15
1월	0.63	0.51	0.67	<i>Keratella cochlearis</i> (37)	<i>Polyarthra euryptera</i> (28)	<i>Brachionus</i> spp.(38)
2월	0.72	0.43	0.68	<i>Polyarthra euryptera</i> (47)	<i>Brachionus calyciflorus</i> (21)	<i>Brachionus</i> spp.(40)
3월	0.50	0.55	0.84	<i>Keratella cochlearis</i> (32)	<i>Polyarthra euryptera</i> (42)	<i>Polyarthra euryptera</i> (72)
4월	0.72	0.68	0.63	<i>Brachionus calyciflorus</i> (46)	<i>Keratella cochlearis</i> (38)	<i>Keratella</i> spp.(40)
5월	0.67	0.55	0.72	<i>Bosmina longirostris</i> (38)	<i>Bosmina longirostris</i> (42)	<i>Keratella</i> spp.(59)
6월	0.67	0.67	0.74	<i>Bosmina longirostris</i> (42)	<i>Keratella cochlearis</i> (48)	<i>Trichocerca</i> spp.(54)
7월	0.65	0.48	0.74	<i>Bosmina longirostris</i> (40)	<i>Keratella cochlearis</i> (32)	<i>Trichocerca</i> spp.(54)
8월	0.70	0.60	0.61	<i>Asplanchna priodonta</i> (40)	<i>Polyarthra euryptera</i> (46)	<i>Trichocerca</i> spp.(43)
9월	0.55	0.58	0.52	<i>Bosmina longirostris</i> (38)	<i>Polyarthra euryptera</i> (30)	Nauplius(28)
10월	0.36	0.36	0.47	<i>Trichocerca capucina</i> (26)	<i>Keratella cochlearis</i> (27)	<i>Daphnia galeata</i> (30)
11월	0.62	0.57	0.67	<i>Bosmina longirostris</i> (32)	<i>Bosmina longirostris</i> (44)	<i>Polyarthra euryptera</i> (42)
12월	0.67	0.52	0.75	<i>Bosmina longirostris</i> (47)	<i>Keratella cochlearis</i> (37)	Nauplius(42)

- 환경인자 및 수질과 동물플랑크톤 주요 우점종간의 상관성(붙임)
 - 연중 우점하는 윤충류는 환경인자 및 수질에 상관성 없음
 - 지각류는 수온에 양의 상관성
 - 요각류는 chl-a, 윤충류에 양의 상관, DO에 음의 상관성

3-2. 요약 및 고찰

○ 동·식물플랑크톤 군집 특성

－ 식물플랑크톤 주요 우점종 변화

- 2013년 ~ 2015년까지 서낙동강 식물플랑크톤의 우점종수는 총 13종(우점율 3 % 기준)
- 겨울철에서 봄철까지 *Stephanodiscus hantzschii*, *Aulacoseira* spp.가 우점
- 하절기 수온이 올라가면서 *Microcystis* spp. 등 남조류가 대량 우점
- 2014년은 가을철에 다시 규조류인 *Aulacoseira* spp., *Stephanodiscus hantzschii*가 우점하는 계절별 천이를 보였으나 2013년과 2015년은 *Microcystis* spp.가 12월까지 우점
- 남조류의 우점은 수온, 일조시간, 영양염류의 구성비율(N/P비율 6 ~ 106(남조류 우점 가능성 16 ~ 100))과 더불어 대저수문과 녹산수문에 의해 유량이 조절되는 호소형 하천으로 인한 정체수역 등으로 다양한 환경조건이 남조류가 번성하는데 유리
- 대저수문 지점에서 8월과 12월 남조류의 개체수가 특히 높은(그림 6) 이유는 낙동강으로부터 유입된 남조류(창녕함안보 최대 115,852 cells/mL(2015.8.17.))가 대저수문 전후의 정체구역에서 대량번성하기 때문으로 판단됨



그림 6. 대저수문 남조류 우점 사진

- 남조류에 대한 환경 및 수질인자의 상관성 분석 결과, *Microcystis* spp. 등의 개체수와 pH, BOD, COD, chl-a 항목의 상관성이 높은 것으로 나타나 남조류 증식이 BOD부하의 요인으로 작용함을 알 수 있음
- － 동물플랑크톤 주요 우점종 변화
 - 2013년부터 2015년까지 조사시기별 동물플랑크톤의 총 우점종은 총 8종
 - 주요 우점종으로는 *Keratella* spp., *Polyarthra* sp., *Brachionus* spp., *Trichocerca* sp. 등 윤충류는 종구성에 계절적인 변화가 있었지만 연중 높은 비율로 우점
 - 2015년 남조류가 우점한 6월 ~ 8월에는 *Trichocerca* sp.가 우점하여 종변화

- 1월 ~ 3월 사이에는 윤층류가 거의 대부분이며 섭식률이 높은 지각류와 요각류는 4월 이후 출현하여 12월까지 우점
- 동물플랑크톤과 환경 및 수질인자의 상관성은 의미있는 결과 없음

4. 활용방안

○ 관리대책 마련에 활용

- 식물플랑크톤 제거
 - 식물플랑크톤 제거 조치 : 대저수문 전후의 정체구역 등 식물플랑크톤의 번성이 심한 지역에 대한 인위적 제거(걸어냄), 차단막 설치
 - 황토, 철 또는 알루미늄 살포 → 응집효과 증대로 플랑크톤 제거
 - 강제 순환 : 심층 폭기 등 수온약층 파괴
- 배출업소, 하천 주변 비점오염 등에 대한 오염원 단속을 통한 관리 강화
- 발생원리 및 과정이 복잡하기 때문에 효과적인 관리를 위하여 수질과 수량을 관리하는 기관간의 협력 필요

5. 기대효과

- 식물플랑크톤에 대한 지속적 모니터링을 통해 대량 발생 예측 시 강서구청 등 유관기관에 통보하여 제어방안 모색
- 플랑크톤에 대한 지속적 모니터링으로 시책사업 추진 지원

[붙임] 상관성 분석 결과

	강수량	일사량	일조시간	Temp	pH	DO	BOD	COD	EC	TN	TP	chl	Cyanophyta	Bacillariophyta	Chlorophyta	Rotifera	Cladocera	Copepoda
강수량	1																	
일사량		1																
일조시간			1															
Temp				1														
pH					1													
DO						1												
BOD							1											
COD								1										
EC									1									
TN										1								
TP											1							
chl-a												1						
Cyanophyta													1					
Bacillariophyta														1				
Chlorophyta															1			
Rotifera																1		
Cladocera																	1	
Copepoda																		1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
 * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		강수량	일사량	일조시간	Temp	pH	DO	BOD	COD	EC	TN	TP	chl	Cyanophyta	Bacillariophyta	Chlorophyta	Rotifera	Cladocera	Copepoda	
강수량	피어슨 상관계수	1																		
	Sig. (2-tailed)																			
일사량	Pearson Correlation	.262	1																	
	Sig. (2-tailed)	.123																		
일조시간	Pearson Correlation	-.266	.532**	1																
	Sig. (2-tailed)	.117	.001																	
Temp	피어슨 상관계수	.464**	.610**	-.009	1															
	Sig. (2-tailed)	.004	.000	.960																
pH	Pearson Correlation	.026	.494**	.257	.195	1														
	Sig. (2-tailed)	.879	.002	.130	.256															
DO	Pearson Correlation	-.446**	-.249	.097	-.663**	.362*	1													
	Sig. (2-tailed)	.006	.142	.573	.000	.030														
BOD	Pearson Correlation	.154	.274	-.136	.240	.507**	.314	1												
	Sig. (2-tailed)	.369	.105	.427	.159	.002	.062													
COD	Pearson Correlation	.209	.384**	-.021	.645**	.430**	-.035	.708**	1											
	Sig. (2-tailed)	.221	.021	.902	.000	.009	.840	.000												
EC	Pearson Correlation	-.067	-.008	.122	.010	-.115	-.053	.074	.044	1										
	Sig. (2-tailed)	.699	.964	.478	.955	.504	.758	.668	.799											
TN	Pearson Correlation	-.252	.066	.158	-.708**	.159	.560**	.027	-.472**	-.069	1									
	Sig. (2-tailed)	.139	.701	.356	.000	.355	.000	.877	.004	.690										
TP	Pearson Correlation	.863**	.066	-.391*	.445*	-.095	-.395*	.134	.283	-.097	-.380*	1								
	Sig. (2-tailed)	.000	.701	.018	.007	.581	.017	.437	.094	.572	.022									
chl-a	Pearson Correlation	.198	.310	-.106	.427**	.340*	.163	.752**	.795**	.216	-.310	.244	1							
	Sig. (2-tailed)	.247	.066	.540	.009	.042	.342	.000	.000	.207	.066	.151								
Cyanophyta	Pearson Correlation	-.018	.161	-.020	.417*	.461**	.157	.505**	.752**	-.089	-.480**	.085	.593**	1						
	Sig. (2-tailed)	.916	.347	.908	.011	.005	.359	.002	.000	.606	.003	.622	.000							
Bacillariophyta	Pearson Correlation	-.145	-.144	-.018	-.449**	.038	.360*	.066	-.253	.124	.414*	-.248	-.118	-.209	1					
	Sig. (2-tailed)	.400	.403	.918	.006	.824	.031	.701	.137	.470	.012	.145	.493	.221						
Chlorophyta	Pearson Correlation	.246	.152	-.212	.606**	-.014	-.338*	.175	.508**	-.149	-.545**	.370*	.350*	.457**	-.367*	1				
	Sig. (2-tailed)	.148	.376	.213	.000	.937	.044	.308	.002	.386	.001	.027	.036	.005	.028					
Rotifera	Pearson Correlation	.124	.225	.069	-.049	.140	.033	.071	-.134	-.141	.280	.013	-.013	-.118	-.096	.078	1			
	Sig. (2-tailed)	.471	.186	.690	.778	.415	.851	.682	.435	.413	.098	.942	.938	.492	.576	.651				
Cladocera	Pearson Correlation	.186	.453**	.302	.186	.188	-.226	.058	-.045	-.017	.047	-.020	-.160	-.043	-.189	-.058	.168	1		
	Sig. (2-tailed)	.277	.005	.073	.276	.273	.184	.735	.793	.921	.787	.907	.352	.804	.269	.737	.327			
Copepoda	Pearson Correlation	.167	.257	.172	.328	-.147	-.478**	-.159	-.055	-.031	-.153	.000	-.194	-.051	-.192	.365*	.374*	.519**	1	
	Sig. (2-tailed)	.331	.130	.317	.051	.392	.003	.355	.751	.856	.372	1.000	.258	.769	.263	.029	.025	.001		

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

