

## 부산지역 감조하천에서의 클로로필-a 변동 요인 파악을 위한 다변량 통계분석

김경선<sup>†</sup> · 최성화 · 이승민 · 조은정 · 김영태 · 조정구  
물환경생태과

### Multivariate Analysis of Chlorophyll-a and Water Quality in the Tidal River.

Kim Kyeong-seon<sup>†</sup>, Choi Seong-hwa, Lee Seung-min, Cho Eun-jeong, Kim Yeong-tae,  
Cho Jeong-gu  
*Aquatic Environment & Ecology Division*

#### Abstract

To investigate the dynamics of chlorophyll-a concentration in the tidal river, correlation analysis and T-test of chlorophyll-a and physicochemical parameters was performed at 3 stations of Suyeong river and 1 station of Oncheon stream. The average concentration of chlorophyll-a was 25.89 mg/m<sup>3</sup> higher at the downstream of Oncheon stream and seasonally higher in the upperstream of Suyeong river and the downstream of Oncheon stream from winter to spring. The variation analysis of chlorophyll-a from Correlation analysis and T-test of nutrients showed the negative relation of DTP and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P only in the upperstream of Suyeong river and showed little relation in the section of tidal river. To investigate the variation of chlorophyll-a following the saline water, the correlation analysis of chlorophyll-a along the salinity was resulted to the positive relation between the chlorophyll-a and salinity at the downstream of Oncheon stream. This tendency appeared that the marine water increasingly intruded into some section of the tidal river as the streamflow reduced. In summary, high marine water flow in the dry season blocked the freshwater flow and prolonged the retention time more in the tidal river. Furthermore, Cryptomonads, red tide-causing phytoplankton, had tendency to grow to 10 psu of salinity as the salinity increased and then chlorophyll-a concentration was also high.

**Key words** : Tidal river, Chlorophyll-a, multivariate analysis, physicochemical factors

#### 서 론

수생태계에서 일차생산자로서 주요한 역할을 하고 있는 식물플랑크톤은 도심 내 부영양화된 감조하천에서 과잉증식으로 인한 녹조나 적조의 번성으로 인하여 심미적 측면이나 수생태계 건강성에서 문제를 일으켜 왔다. 조류의 증식은 광, 수온, 염분, 영양염류 등에 의해 영향을 받으며<sup>1)~3)</sup>, 감조하천은 하천유량에 의한 체류시간 변화 영향도 크다<sup>4)</sup>. 미세 조류의 증식을 간접적으로 확인 할 수

있는 클로로필-a(chl-a)는 조류 생체량을 대표하는 지시 인자이다<sup>5)</sup>. 이를 이용하여 물리적 인자인 광, 수온, 전기 전도도와 수문학적인 특징인 유량, 수질학적인 특징으로 질소(N)계열 및 인(P)계열 영양염류 항목의 상관성을 해석하여 chl-a의 변동 파악을 통한 감조하천에서의 미세 조류 성장요인을 간접적으로 확인할 수 있다<sup>6),7)</sup>.

수영강 수계는 석대천(12.5 Km)을 지천으로 하고 수영강 본류(28.59 Km)와 온천천(15.62 Km)으로 구성되어 있다. 수영강 유역의 토지이용은 주거, 상업, 위락 용

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail : Smartsensor@korea.kr

Tel : +82-51-309-2959, Fax : +82-51-309-2739

지가 11.58 %, 공업용지 0.64 %, 공공·교통시설 등이 8.66 %로 불투수층이 20.88 %를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 상류구간인 회동댐 상류의 상수원 보호구역 운영과 도시외곽의 개발제한구역 설정으로 인하여 투수면적이 상류와 외곽에 집중되어 있으며, 온천천과 수영강 중하류는 주거지역, 상업지역 등이 밀집되어 도시화가 많이 진행되어 있다<sup>8)</sup>. 도시화로 인한 하천 수질오염을 개선하기 위하여 수영강-온천천 살리기 개선사업 등으로 물환경 및 생태하천복원 사업이 성과를 크게 이룬 하천이다<sup>9)</sup>. 하지만 아직도 온천천 감조하천 구간에는 겨울봄철에 적조현상이 발생하고, 이를 개선하기 위한 다양한 조사가 이루어지고 있으나 감조하천 구간에서의 적조 발생 매커니즘과 원인에 대한 연구가 부족한 현실이다<sup>10)</sup>.

박(2009)에 따르면 감조하천 하구에서는 조석에 의하여 육지에서 내려온 영양물질이 바다로 빠져나가지 못하여 영양소의 함정이라고 부르는 지역이 있으며, 이곳은 다른 곳에 비해 일차생산력이 높고 적조현상이 발생할 확률도 크다고 언급하였다<sup>11)</sup>. 이(2014)에 의하면 온천천에서 발생하는 적조생물은 cryptomonads로써 염분에 다른 조류보다 성장률이 높다고 보고하였다<sup>12)</sup>. 또한 하구에서 서식하는 식물플랑크톤은 담수유입에 의한 영양염류 변화보다는 불안정한 수괴나 높은 탁도 그리고 급격한 염분 변화 등에 더 민감하게 반응한다<sup>13)</sup>.

따라서 본 연구에서는 수영강 및 온천천 감조하천 구간을 대상으로 chl-a의 변동에 영향을 미치는 영양염류 및 물리적인 인자를 평가하여 감조하천에서의 식물플랑크톤 변동 원인을 파악하여 고찰해보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 연구방법

본 연구는 조석의 영향을 받지 않는 1개 지점(신천교[S1])과 조석의 영향을 받는 감조하천 3개지점(동천교[S2], 원동교[S3], 연안교[On1])을 선정하여 조사하였다. 선정된 4개 지점은 부산시 보건환경연구원에서 매월 채수하는 국가망 4개 지점이며, 2010년 1월부터 2014년 10월까지 총 57회 자료(2012년 6월 자료는 누락)를 대상으로 분석하였다.(Fig. 1)

이화학적 분석항목은 수온, 전기전도도(EC), 염분, 화학적산소요구량(COD), 총질소(TN), 용존총질소(DTN), 질산염(NO<sub>3</sub>-N), 암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N), 총인(TP), 용존총인(DTP), 인산염(PO<sub>4</sub>-P), 클로로필-a(chl-a)를 대상으로 하였다.

기상학적 자료인 강수량 및 일조량은 부산시 기상청 자료 (<http://www.kma.go.kr/index.jsp>) 를 이용하였으며, 수문학적 자료인 온천천의 수위자료는 부산대 하천 및 수자원 연구실(<http://210.118.169.13/main/data.jsp>)에서 제공하는 온천천 세병교의 수위 자료를 이용하여 분석하였다.

### 수체의 부영양화지수(TSI<sub>ko</sub>) 분석

조사지역의 부영양화지수(TSI<sub>ko</sub>)의 산정을 위해 수질의 영양상태를 반영하는 수질인자로서 COD, TP, chl-a를 이용하였다. 산정방식은 환경정책기본법(제6조 제2항 제4호) 호소의 부영양화정도 평가식에 따라 산정하였다.

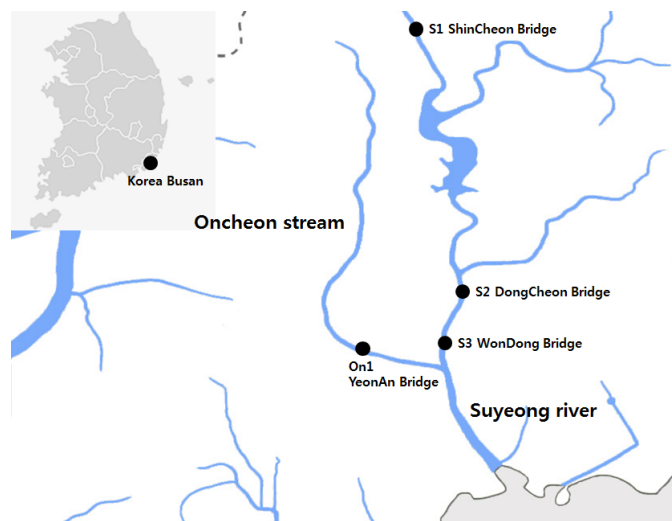


Fig. 1. Study area and monitoring points.

TSI<sub>KO</sub>의 기준은 30미만 빈영양, 30 ~ 50미만 중영양, 50 ~ 70미만 부영양, 70 이상은 과영양 상태로 평가할 수 있다.

$$TSI_{KO} = 0.5 TSI_{KO}(COD) + 0.25 TSI_{KO}(Chl-a) + 0.25 TSI_{KO}(T-P)$$

- o  $TSI_{KO}(COD) = 5.8 + 64.4 \log(COD \text{ mg/L})$
- o  $TSI_{KO}(Chl-a) = 12.2 + 38.6 \log(Chl-a \text{ mg/m}^3)$
- o  $TSI_{KO}(T-P) = 114.6 + 43.3 \log(TP \text{ mg/L})$

분석 자료의 처리

수집된 자료의 도표 처리는 SigmaPlot(ver. 10.0 for Windows)을 이용하였으며, 통계처리를 위해서는 SPSS(ver. 18.0 for Windows)를 사용하였다.

결과 및 고찰

감조하천의 chl-a 변동요인을 파악하기 위하여 물리·화학적 환경인자를 파악하여 보고, chl-a와 상관성을 분석하여 chl-a 변동 수질인자를 파악해 보았다.

물리·화학적 환경요인

1. 물리적 환경인자 변동 특성

2010년 1월부터 2014년 10월까지 조사지역의 일조량

을 보면 5월 일조량이 평균 604 MJ/m<sup>2</sup>로 가장 높고, 강수량은 7월에 평균 604 mm로 가장 높은 것으로 나타났다. 일조량 및 강수량은 우리나라 계절별 분포와 비슷하게 나타났다.(Fig. 2)

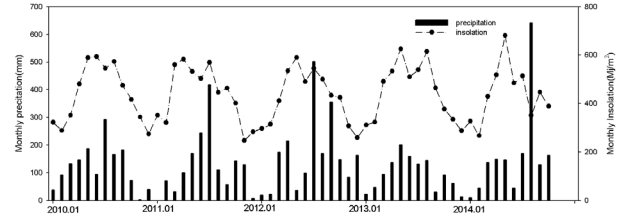


Fig. 2. precipitation and insolation in the study area.

지점별 염분변동 특성은 상류에 위치한 신천교 지점의 경우 평균 0.1 psu (0.0 psu ~ 0.2 psu)로 해수에 의한 침입이 없으며, 동천교 평균 0.5 psu (0.1 psu ~ 1.6 psu), 원동교 평균 13.0 psu (0.1 psu ~ 26.5 psu), 연안교 평균 0.9 psu (0.1 psu ~ 6.5 psu)로 조사되어 해수에 의해 염분 변화를 나타내는 감조하천의 특성을 나타내었다.(Fig. 3) 특히 수영강 최하류에 위치한 원동교는 조석에 의한 염분의 변화가 크게 나타났으며, 온천천 연안교는 강수량이 적은 동절기에 염수가 유입하는 경향을 나타내었다. 이는 연안교는 동절기에 온천천의 유량이 적어 수위가 낮아져 (Fig. 4), 유량이 적은 동절기에 염수의 유입을 일으키는 것으로 판단하였다. 이러한 갈수기시 하천 유량감소는 하구역에서 영양염류 및 유지용수의 체류시간을 증대시킨다

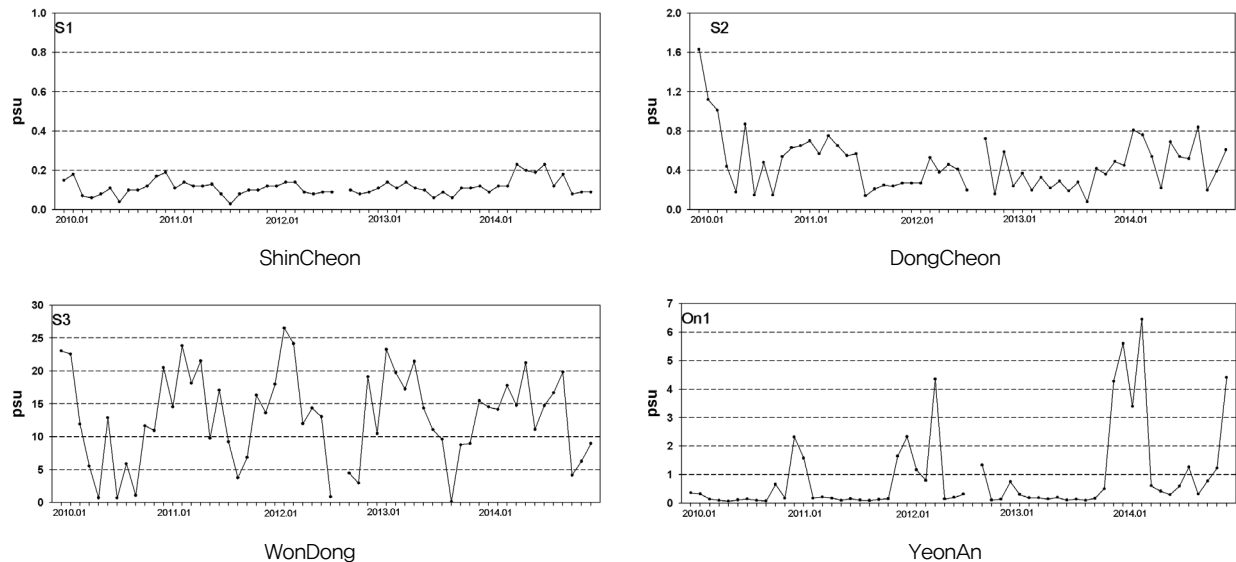


Fig. 3. Temporal and spatial variations of water salinity in study sites.

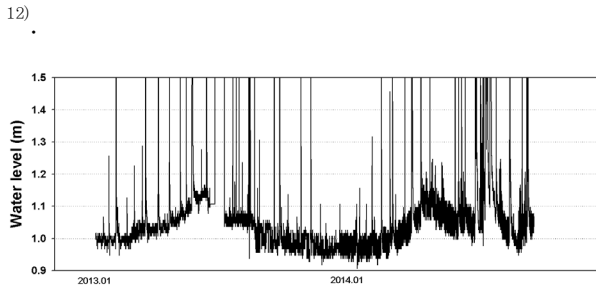


Fig. 4. Temporal variations of water level in Oncheon stream(Sebyeong bridge).

2. 화학적 환경인자 변동특성

조사기간 동안 질소계열 영양염류(TN, DTN, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N)의 평균값은 동천교에서 가장 높게 나타났

다.(Table 1) 계절별로는 모든 지점이 강우가 많은 7월에 질소(N)계열의 영양염류가 낮아지고, 강우가 적은 겨울철에 높아지는 경향을 나타내었다.(Fig. 5) 이는 강우에 의한 하천 희석으로 여름철 질소계열의 영양염류 농도가 낮아진 것으로 판단된다.

인(P)계열 영양염류(TP, DTP, PO<sub>4</sub>-P)는 원동교에서 수치가 가장 높게 나타났다. 계절 변동은 수영강 분류 지점(신천교, 동천교, 원동교)에서는 계절적 변동 상황을 파악하기 어려웠으나, 온천천(연안교)에서는 강우가 집중되는 여름철에 PO<sub>4</sub>-P가 높은 경향을 나타내었다. 이는 온천천의 경우 강우 시 토양에 흡착된 인(P)이 지표 유출수와 함께 유입되어 PO<sub>4</sub>-P농도가 높아진 것으로 판단된다.

하천의 부영양화 특성을 파악하기 위하여 TSI<sub>ko</sub>에 따른 수체의 부영양화 지수 분석에서는 대부분의 지점이 부영

Table 1. Statistic concentration of nutrients in the study area

(unit : mg/L)

	ShinCheon(S1)			DongCheon(S2)			WonDong(S3)			YeonAn(On1)		
	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.
TN	3.169	1.320	4.916	13.529	1.514	36.285	7.139	1.815	17.920	3.587	2.053	7.771
DTN	2.946	1.064	4.355	12.732	1.049	34.860	6.719	1.667	13.975	3.293	1.662	7.203
NO <sub>3</sub> -N	2.017	0.015	3.533	2.781	0.080	7.214	1.773	0.097	4.210	1.749	0.064	3.058
NH <sub>4</sub> -N	0.176	0.000	1.021	8.144	0.090	32.868	4.040	0.349	11.980	0.608	0.052	2.698
TP	0.089	0.045	0.193	0.200	0.064	0.900	0.207	0.063	0.415	0.162	0.044	0.511
DTP	0.061	0.027	0.147	0.120	0.009	0.362	0.152	0.010	0.340	0.112	0.013	0.451
PO <sub>4</sub> -P	0.046	0.003	0.139	0.081	0.000	0.260	0.124	0.009	0.311	0.091	0.003	0.419

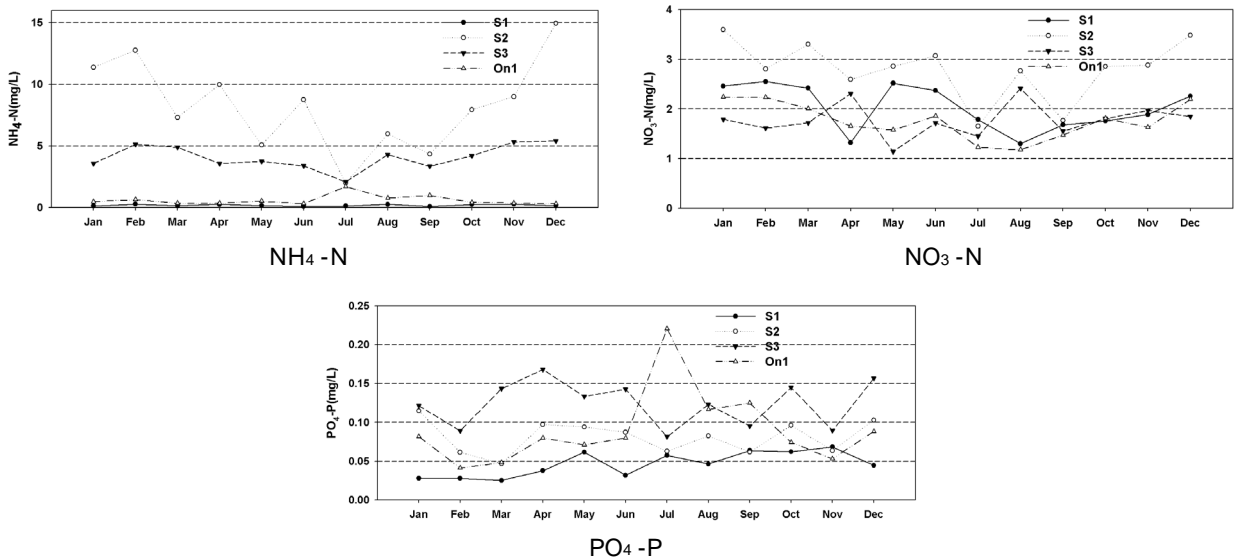


Fig. 5. Temporal and spatial variations of NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P.

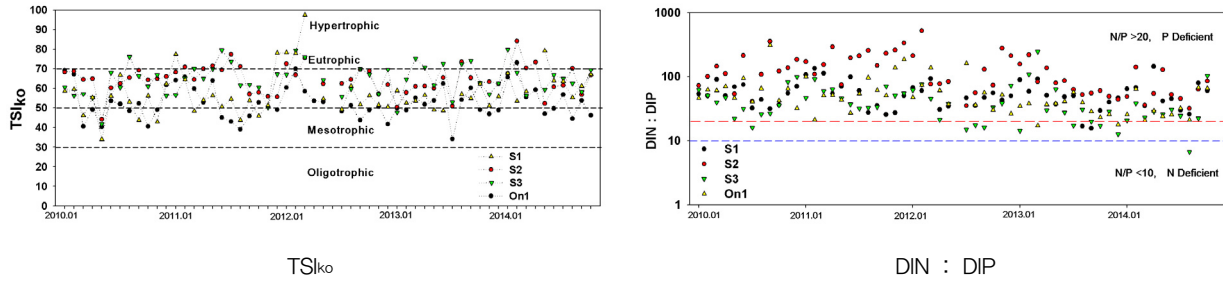


Fig. 6. Scatter plot TSIko and limiting nutrient factor.

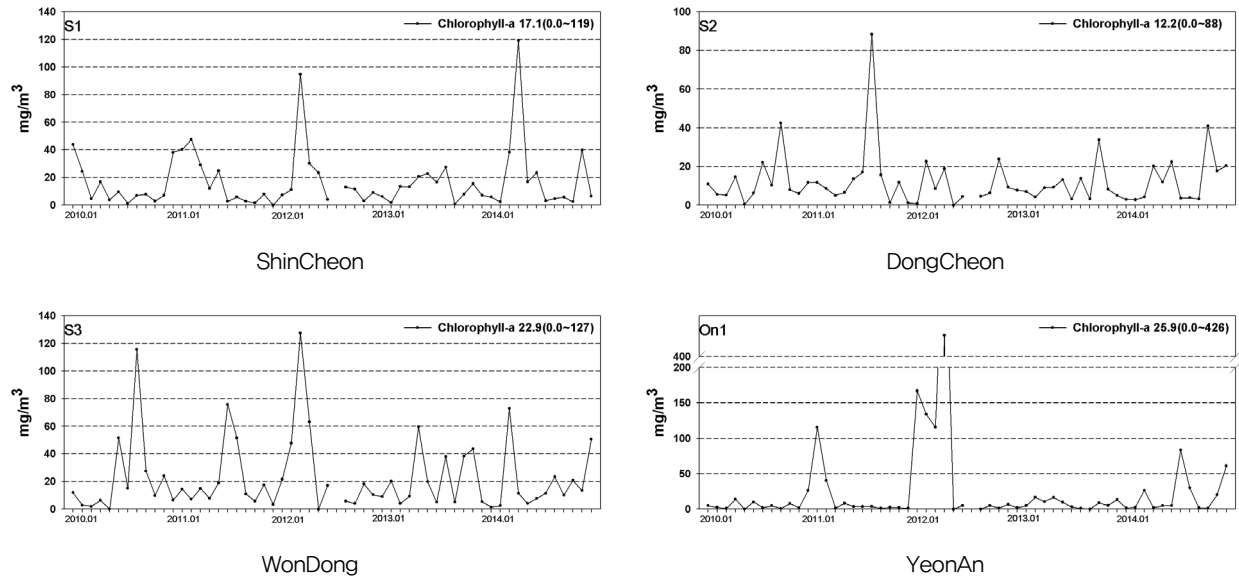


Fig. 7. Temporal and spatial variations of chlorophyll-a.

양화로 평가 되었다. 용존무기질소(DIN) : 용존무기인 (DIP)비를 통한 제한영양인자 판별에서는 대부분 지점에서 비가 20을 넘어서 인(P)이 영양염류 중 제한인자로 작용하는 것을 확인할 수 있었다.

**통계분석**

감조하천에서 chl-a 변동 경향을 분석하고, 그에 따른 경향성에 미치는 영향인자를 화학적 환경요인과 물리적 환경요인으로 구분하여 통계분석을 시행하였다.

**1. 하천 클로로필-a 변동 경향 분석**

지점별 chl-a 변동 특성은 상류에 위치한 신천교 지점은 평균 17.1 mg/m<sup>3</sup>(범위 0.0 mg/m<sup>3</sup> ~ 119 mg/m<sup>3</sup>), 동천교는 평균 12.2 mg/m<sup>3</sup>(범위 0.0 mg/m<sup>3</sup> ~ 88.3 mg/m<sup>3</sup>), 원동교는 평균 22.9 mg/m<sup>3</sup>(범위 0.0 mg/m<sup>3</sup>

~ 127.4 mg/m<sup>3</sup>), 연안교는 평균 25.89 mg/m<sup>3</sup>(범위 0 mg/m<sup>3</sup> ~ 426.1 mg/m<sup>3</sup>)로 조사되었다.(Fig. 7)

지점별로는 연안교 지점에서 chl-a 농도가 가장 높게 나타내었으며, 각 지점별 시기적으로는 겨울과 봄철에 신천교, 연안교 지점에서 chl-a 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. 동천교와 원동교 지점에서는 chl-a 변동 패턴을 파악하기 힘들었다.

**2. 화학적 환경요인과 클로로필 상관분석**

조사지점에 대한 chl-a과 무기영양염과의 상관성을 확인하기 위하여 통계분석하고(Table 2), 상관성이 나타난 항목을 대상으로 측정치 : 최대값 비 그래프를 통한 패턴 분석을 수행하였다.(Fig. 8) 신천교(S1), 동천교(S2)지점은 chl-a와 DTP, PO<sub>4</sub>-P에서 약한 음의 상관관계가 나타났으며, 특히 동천교 지점은 chl-a와 DTN, NO<sub>3</sub>-N 항목에서도 음의 상관관계를 나타내었다. 반면 해수의 영

향을 많이 받는 원동교, 연안교 지점에서는 DTP, PO<sub>4</sub>-P, DTN, NO<sub>3</sub>-N 항목에서는 상관관계를 확인할 수 없었다.

신천교, 동천교 지점에서 chl-a와 DTP, PO<sub>4</sub>-P가 유의한 음의 상관관계를 고려할 때, 조류의 증식에 의해 제한영양인자인 인산염(PO<sub>4</sub>-P)이 소비되었을 것으로 판단된다<sup>6)</sup>. 반면, 원동교와 연안교 지점에서 조류의 증식과 영양염의 상관관계가 명확히 나타나지 않는 것은 하구에서의 해수유입에 따른 희석과 조석에 따른 침전과 재부유에 의한 영양염류 유입 등 기타 요인이 chl-a와 영양염류와의 상관성을 떨어뜨리는 것으로 판단된다.

3. 클로로필-a에 따른 화학적 환경요인 t-test

조사지역 별로 chl-a이 높은 시기(10 mg/m<sup>3</sup>이상)와

낮은 시기(10 mg/m<sup>3</sup>미만)의 영양염류 농도분포의 차이를 통한 화학적 환경요인 제한인자를 확인하기 위하여 각 지점별 비교 및 chl-a농도가 높은 곳을 중심으로 다른 지점과 t-test를 시행하였다.(Table 3)

신천교(S1)와 연안교(On1)지점에서는 수온이 낮은 겨울과 봄철에 chl-a 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. 수영강 상류인 신천교(S1) 지점에서만 chl-a 농도가 높은 시기에 DTP, PO<sub>4</sub>-P는 낮아지는 특성을 보였다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 조류의 증식에 따른 인산염(PO<sub>4</sub>-P) 소비로 인한 현상으로 판단된다. 반면 감소하천 구간(동천교, 원동교, 연안교)에서는 chl-a 농도가 높은 시기와 낮은 시기에서 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 감소하천 구간에서는 영양염류가 조류의 성장을 제한하는 인자가 아닌 것으로 추측하였다.

Table 2. Pearsons correlation analysis among chlorophyll-a and nutrients.

	TN	DTN	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	TP	DTP	PO <sub>4</sub> -P
ShinCheon (S1)	.277	.253	.132	.119	-.044	-.294	-.364**
DongCheon (S2)	-.285	-.284	-.282	-.197	-.104	-.301	-.295
WonDong (S3)	.095	.117	-.047	.149	.104	.010	.013
YeonAn (On1)	.347**	.092	.144	-.184	.272	-.153	-.214

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level, \* Correlation is significant at the 0.05 level

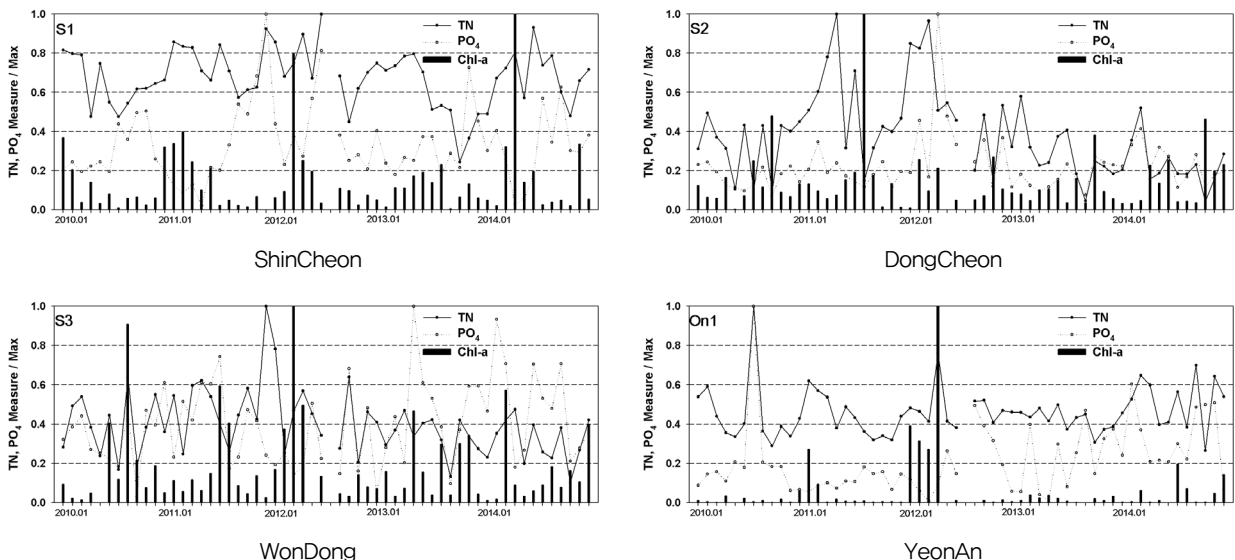


Fig. 8. Temporal and spatial variations between chlorophyll-a and TN, PO<sub>4</sub> measure/max ratio.

Table 3. T-test results of nutrient factors from chlorophyll-a concentration groups, above 10 mg/m<sup>3</sup> and under 10 mg/m<sup>3</sup>

	Chlorophyll-a	ShinCheon (S1)	DongCheon (S2)	WonDong (S3)	YeonAn (On1)
Chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> )	≥10	30.70 ▲	22.05 ▲	34.99 ▲	73.77 ▲
	<10	4.79	5.01	5.03	3.21
Temperature (°C)	≥10	13.4	17.3	17.6	11.0
	<10	20.5 ▲	14.1	15.7	17.4 ▲
EC (uS/m <sup>3</sup> )	≥10	258.6 ▲	860.8	21495.9	3212.7 ▲
	<10	213.1	985.3 ▲	20719.0	1011.9
TN (mg/L)	≥10	3.268	11.315	6.976	3.882
	<10	3.080	15.139	7.381	3.451
DTN (mg/L)	≥10	3.050	10.638	6.631	3.470
	<10	2.853	14.255	6.849	3.211
NO <sub>3</sub> (mg/L)	≥10	2.087	2.377	1.713	2.176 ▲
	<10	1.955	3.063	1.863	1.552
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	≥10	0.183	6.310	4.056	0.535
	<10	0.171	9.477	4.018	0.641
TP (mg/L)	≥10	0.087	0.199	0.203	0.169
	<10	0.091	0.200	0.214	0.159
DTP (mg/L)	≥10	0.052	0.100	0.143	0.094
	<10	0.069 ▲	0.134	0.166	0.120
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	≥10	0.034	0.066	0.117	0.071
	<10	0.057 ▲	0.091	0.134	0.100

▲ High : significant difference(p<0.05)

Table 4. T-test results of nutrients factor at On1 site and S1, S2, S3 site above 10 mg/m<sup>3</sup> of chlorophyll-a concentration at the site On1

	YeonAn (On1)	ShinCheon (S1)	DongCheon (S2)	WonDong (S3)
Chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> )	73.77	24.61 ▼	10.04 ▼	33.1
TN (mg/L)	3.882	3.339 ▼	15.643 ▲	7.067 ▲
DTN (mg/L)	3.47	3.146	14.79 ▲	6.786 ▲
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	2.176	2.354	3.281 ▲	1.856
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	0.535	0.12 ▼	9.909 ▲	4.064 ▲
TP (mg/L)	0.169	0.079 ▼	0.218	0.212
DTP (mg/L)	0.094	0.049 ▼	0.116	0.152 ▲
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	0.071	0.04 ▼	0.081	0.125 ▲

▲ High : significant difference(p<0.05), ▼ Low : significant difference(p<0.05)

또한 연안교를 중심으로 chl-a 농도가 높은 시기(10 mg/m<sup>3</sup>이상 시기)의 영양염류와 다른 지점의 영양염류를 비교 구분하여 t-test를 실시하여 수질학적 차이를 평가하였다.(Table 4) 신천교는 연안교보다 TN, NH<sub>4</sub>-N, TP, DTP, PO<sub>4</sub>-P가 통계적으로 유의하게 낮게 나타났었다. 동천교는 질소계열 TN, DTN, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N이 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 원동교는 TN,

DTN, NH<sub>4</sub>-N, DTP, PO<sub>4</sub>-P가 통계적으로 유의하게 높은 결과를 나타내었다.

연안교(On1)지점이 chl-a 농도가 가장 높으나, 감조 구간에 위치한 동천교(S2)나 원동교(S3)보다는 영양염류 농도가 낮은 것으로 확인되었다. 이는 감조하천에서 조류에 증식에 미치는 영향이 영양염류 보다는 다른 요인에 의하여 영향을 받는 것으로 판단할 수 있었다.

4. 물리적 환경요인과 클로로필 상관분석

조사지역에 대한 염분과 질소계열(TN, DTN, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N), 인계열(TP, DTP, PO<sub>4</sub>-P) 및 chl-a와 상관관계 분석하고(Table 5), chl-a와 염분농도를 대상으로 측정치 : 최대값 비 그래프를 통하여 패턴 분석을 시행하였다.(Fig. 9) 원동교(S3) 지점은 염분에 따른 인계열(TP, DTP, PO<sub>4</sub>-P)이 높게 나타났다. 온천천에 위치한 연안교(On1) 지점은 염분에 따른 TN과 chl-a에서 상관관계가 나타났다.

원동교 지점은 수영만과 가장 가까운 지점으로 해수의 유입이 가장 활발한 지점이다. 따라서 조석에 따른 퇴적과 재부유의 반복이 일어나는데, 밀물 시에 염수의 밀도 차로 하층을 중심으로 해수의 흐름이 유입되며 저층을 재부유시켜 저층 내 인이 용출되며 염수 유입 시 인의 농도를 증대 시킨 것으로 판단된다. 온천천 연안교 지점은 상류의 유량이 적은 갈수기 시에 염분이 높아지는 경향이 나타난다. 따라서 갈수기에 육지의 담수가 해수에 의해 차단되어 상대적으로 체류시간이 길어지고<sup>4)</sup> 이에 따라 일차생산력이 높아져 chl-a 농도가 높아진 것으로 판단된다. 또한 이(2014) 및 Laza(2012)에 따르면 온천천의 겨울철에 번성하는 cryptomonads의 경우 염분이 10 psu에 최적성장률을 온천천에서는 염분이 높아질수록 조류의 성장을 활발하게 하는 한 요인으로 사료된다<sup>12), 14)</sup>.

종합적으로 연안교 구간은 갈수기시 체류시간이 길어지고, 염분이 증가되어 cryptomonads의 증식에 적절한 환경을 조성하여 겨울철 chl-a가 증가하는 것으로 판단된다. 박(2009)에 따르면 하구에는 육지에서 내려온 영양물질이 바다로 빠져나가지 못하여, 다른 곳에 비해 일차생산력이 높고 적조현상이 발생할 확률도 높은 ‘탁도최대지역’이라 부르며<sup>11)</sup>, 온천천 하구에 위치한 연안교 지점도 이 구역에 해당하는 것으로 판단된다.

결론

감조하천의 수질에 따른 클로로필-a 변동요인을 분석하기 위하여 수영강 3개 지점, 온천천 1개 지점을 대상으로 조사를 실시하였다. 클로로필-a를 중심으로 이화학적 항목과 상관성 분석을 시행하고, 그에 따른 그래프 분석을 시행하였다.

수영강과 온천천은 부영양화 상태이며, 용존무기질소(DIN)와 용존무기인(DIP) 비율이 20이상으로 인(P)이 제한영양인자로 작용하고 있었다. 인(P)의 경우에는 수영강 본류의 경우에는 계절에 따른 변동을 보이지 않았으나 온천천의 경우에는 풍수기에 인의 유입이 큰 것으로 보인다. 염분 변동 특성은 하류일수록 해수와의 희석 작용에

Table 5. Pearsons correlation analyses among salinity and nutrients and chlorophyll-a

	TN	DTN	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	TP	DTP	PO <sub>4</sub> -P	chl-a
WonDong (S3)	.163	.170	-.080	.202	.430**	.422**	.323*	.112
YeonAn (On1)	.288*	.215	.354	.045	.230	.149	.092	.394**

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level, \* Correlation is significant at the 0.05 level

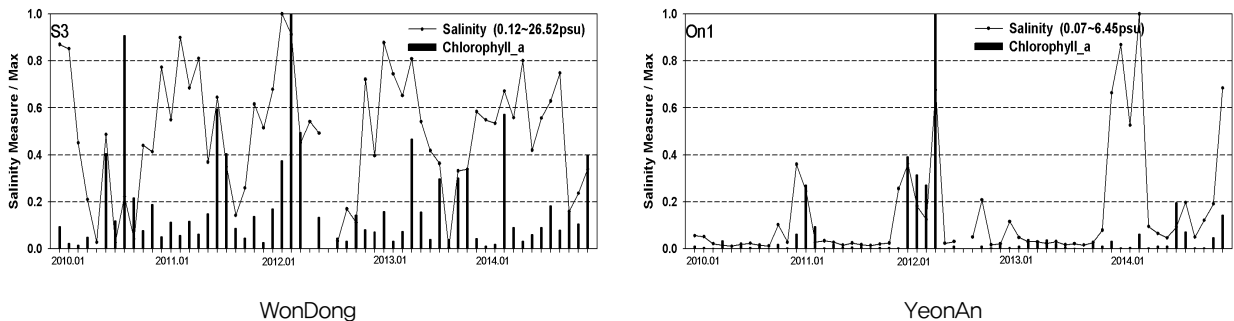


Fig. 9. Temporal and spatial variations between chlorophyll-a and salinity measure/max ratio.



의해 변동 폭이 크고, 겨울철과 봄철에 온천천 하류에서 염분이 증가하는 것을 확인하였다. 클로로필-a 평균 농도 분포는 연안교 25.89 mg/m<sup>3</sup>, 원동교 22.9 mg/m<sup>3</sup>, 신천교 17.1 mg/m<sup>3</sup>, 동천교 12.2 mg/m<sup>3</sup> 순으로 조사되었다. 계절적 변동은 수영강 상류(신천교)와 온천천 하류(연안교) 지점에서만 겨울과 봄철 갈수기에 클로로필-a 농도가 증가하는 것을 확인하였다.

화학적 요인에 의한 클로로필-a 변동 제한인자 파악에서는 상류에 위치한 신천교 지점에서만 클로로필-a 증가에 따라 제한영양인자인 인(P)이 감소되는 패턴을 확인할 수 있었다. 반면 염수유입을 받는 원동교, 연안교 지점에서는 클로로필-a와 상관관계가 명확히 나타나지 않았다. 클로로필-a 농도가 가장 높은 연안교 지점과 다른 지점의 영양염류를 비교한 결과 연안교 지점이 영양염류가 낮은 농도임에도 클로로필-a 농도 분포가 높게 나타나, 부영양화된 감조하천에서는 조류의 성장에 영양염류가 제한인자로서 작용하지 않는다고 판단된다.

물리학적 요인에 의한 클로로필-a 변동 제한인자 파악에서는 염분이 해수에서 주로 유입되는 점을 이용하여 염분과의 상관관계를 분석한 결과, 온천천 연안교 지점에서는 염분이 증가됨에 따라 클로로필-a 높아지는 상관관계(r=0.394)를 확인하였다. 이는 연안교 지점이 해수유입이 높아지는 갈수기에는 담수가 차단되어 체류시간이 길어지고, 염분이 높아짐에 따라 온천천 적조 원인조류인 cryptomonads가 10 psu까지는 성장률이 높아지는 경향에 의해 클로로필-a 농도가 높아진 것으로 판단된다.

이에 따라 감조하천에서는 높은 조류의 성장을 할 수 있는, 체류시간이 길고 특정 염분농도의 농도범위를 가지는 구간이 있을 것으로 판단하였다. 수영강 수계에서는 온천천 연안교 지점이 겨울철과 봄철에 조류 번성에 유리한 구간으로 판단된다.

감조하천 구간에서 발생하는 적조를 해소하기 위해서는 장기적으로는 점·비점오염원관리를 통한 영양염류가 하천에 유입되는 것을 방지하는 것이 최적이지만, 비용과 시간적인 측면이 많이 요구된다. 본 연구에서 확인할 수 있었듯이 갈수기 감조하천 구간 조류 제어를 위해서는 하천의 체류시간 감소를 위한 유지용수 확보가 보다 더 유용하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. 권오윤, 정승원, 이진환, “한강 하류의 환경학적 연구

VIII. 식물플랑크톤 군집의 변화에 미치는 물리 화학적 요인”, *대한육수학회지*, 39(3), pp.340~351(2006).  
 2. 김종민, 허성남, 노혜란, 양희정, 한명수, “호소형 및 하천형 댐 호의 육수학적 특성과 조류발생과의 상관관계”, *대한육수학회지*, 36(2), pp.124~138(2003).  
 3. 박미옥, 이재성, “섬진강 하구를 통한 용존무기영양염 유출량 변동”. *한국환경과학회지*, 12(6), pp.1049~1060(2014).  
 4. 이인철, 김진혁, 공화훈, “광양만의 홍수기 및 갈수기의 오염물질 체류시간 산정”, *한국해양공학회지*, 22(6), pp.20~26(2008).  
 5. 한명수, 정원화, 박준대, “팔당호에서 식물플랑크톤 군집 동태와 수질과의 상관성”, *한국육수학회지*, 38(2), pp.217~224(2005).  
 6. 송은숙, 전송미, 이어진, “통계적 경향 분석을 통한 영산강의 클로로필 a와 수질 변동 해석”, *한국하천호수학회지*, 45(3), pp.1976~8087(2012).  
 7. 정병관, 지성, 신용식, “청계만 식물플랑크톤의 종조성과 개체수의 계절적 변동”, *한국환경과학회지*, 21(3), pp.313~326(2012).  
 8. 신선교, 백경훈, “수영강 유역통합관리 시스템 구축 방안”, *부산발전연구원*, pp.27~29(2013).  
 9. 권동민 등, “다변량분석법을 이용한 수영강수계의 수질특성평가”, *부산광역시보건환경연구원보*, 18(1), pp.98~107(2008).  
 10. 손은락, 박정임, 이보라, “태화강 하류에서 겨울철 조류 발생과 수질의 공간적 특성”, *미생물학회지*, 49(1), pp.30~37(2013).  
 11. 박석순, “수질관리학”, 2009, 209-210, 해치, 서울.  
 12. 이유정, 김경선, 박정옥, 김영태, 조정구, 유평중, 김기곤 “부산 지역 온천천의 적조 발생 특성” *한국환경과학회* 포스터발표(2014).  
 13. Fisher, T. R., Harding, L. W., Jr., Stanley, D. W., Ward, L. G., “Phytoplankton, nutrient and turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries”, *Mar. Ecol Prog*, 19, pp.123~139(1998).  
 14. Laza-Martínez, “URGORRI COMPLANATUS GEN. ET SP. NOV. (CRYPTOPHYCEAE), A RED-TIDE-FORMING SPECIES IN BRACKISH WATERS”, *Journal of Phycology*, 48(2), pp.423~435(2012).