

# 온천천 적조 조사

- 온천천·수영강 하류 적조생물 자료 축적 및 수질 정책 활용
- 시민 및 관련 기관 적조 관련 정보 제공 및 민원 대응

## 1. 조사개요

- 조사근거 : 온천천 적조 조사 추진계획(2018.12.13.)
- 조사목적
  - 동절기 등 빈발하는 온천천 일대 붉은 물띠 원인 파악
  - 적조에 의한 수질 영향자료 등 확보 및 향후 대응 모색
- 조사시기 : 2019년(월 1회, 총 12회)
- 조사지점 : 총 3지점(연안교, 수영강 합류지점, 원동교)

## 2. 조사방법

- 조사내용 : 적조생물 등 식물성 플랑크톤 개체수, 클로로필 a
- 「수질오염공정시험기준」(국립환경과학원)에 따른 분석

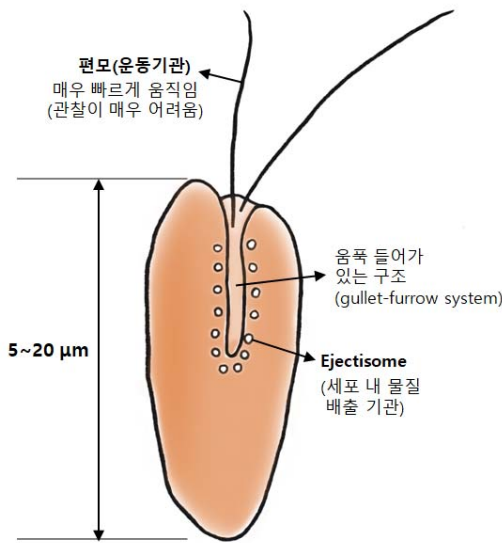


그림 1. 적조 조사지점

적조는 수영강 수계 기수역에서 전반적으로 발생되며, 발생 빈도가 높은 세 지점을 선정, 적조조사 실시

### 3. 적조생물 개요

- 원인생물 : Cryptomonads(은편모조류, 갈색편모조류)<sup>1)</sup>
  - 담수, 해수 등에 서식하는 광합성 단세포 플랑크톤
    - : 국내외 하천 하구(기수역) 등에서 아주 흔하게 관찰됨
  - 약 5~20 μm 길이, 타원형, 한쪽 끝에 2개의 편모(운동기관) 가진
  - 무해성 조류이며 어류, 동물성 플랑크톤 등의 주요 먹이생물임
  - 출현종에 따라 청색, 적색, 갈색 등 다양한 색을 띠며
    - : 부산에서는 대부분 붉은색을 띠는 종들이 관찰됨
- 문제점
  - 하천 경관 저해 : 시각적인 이질감, 폐수배출 등으로 오인
  - 하천 유기물질량 증가 : 조류 생체물질에 의한 BOD 과다 상승



적조생물(Cryptomonads)의 형태



적조 발생 하천수 채수 시, 적조생물이 표면에 부상한 모습



Cryptomonads(200배 확대)



Cryptomonads(1000배 확대)

그림 2. 적조생물(Cryptomonads)의 형태 및 현미경 촬영사진 등

1) Cryptomonads에는 약 200종 이상의 조류가 있으며, 세부 분류에 있어서는 유전자 분석 등 순수 생물학적 연구가 필요하여, 본 조사에서는 대분류군(Cryptomonads) 차원에서 조사 실시

#### 4. 적조현황

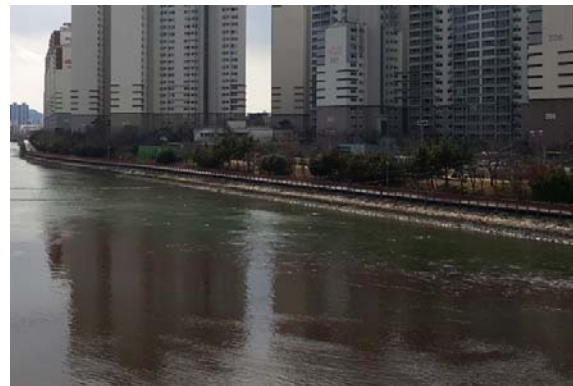
- 조사시기별 출현현황 : 겨울~봄 기간에 밀도 상승
  - 1월, 4월, 5월, 12월에 다소 밀도 높음( 10,000 cells/mL 내외)
    - ※ 관측 결과 약 10,000 cells/mL에서 붉은 색이 감지되기 시작하였음
  - 여름 ~ 가을 기간에는 적조생물이 대폭 감소하였으나 소수의 적조생물은 주로 수영강 합류지점을 중심으로 항상 존재함
- 적조발생 규모 : 2016 ~ 2017년과 유사, 2018년보다는 크게 감소

표 1. 1 ~ 4월 적조생물 평균밀도(2016~2019, 연안교 및 수영강 합류)2)

연도	2016	2017	2018	2019
항목				
적조 밀도(cells/mL)	17,273	17,215	61,948	14,229



띠 모양의 적조(원동교)



과정교 앞 적조(하단 보라색 부분)

그림 3. 적조 발생 현장 사진

- 조사지점별 출현현황 : 온천천 연안교 지점이 가장 밀도 높음
  - 온천천 연안교의 경우 하폭과 수심이 상대적으로 좁고 얕아, 밀물 시 밀려오는 수표면의 적조가 농축되는 경향이 있음
  - 관찰 결과 적조생물 밀도는 조석간만에 따라 시시각각 변동하였으며 따라서 관찰지점에 따라서도 큰 차이를 나타냄
    - 하구에서 생성된 적조생물이 해수 유동에 따라 이동

2) 원동교 지점은 2018년부터 분석 시작, 장기데이터가 없어 연안교, 수영강 합류 두 지점에 대해 자료 제시

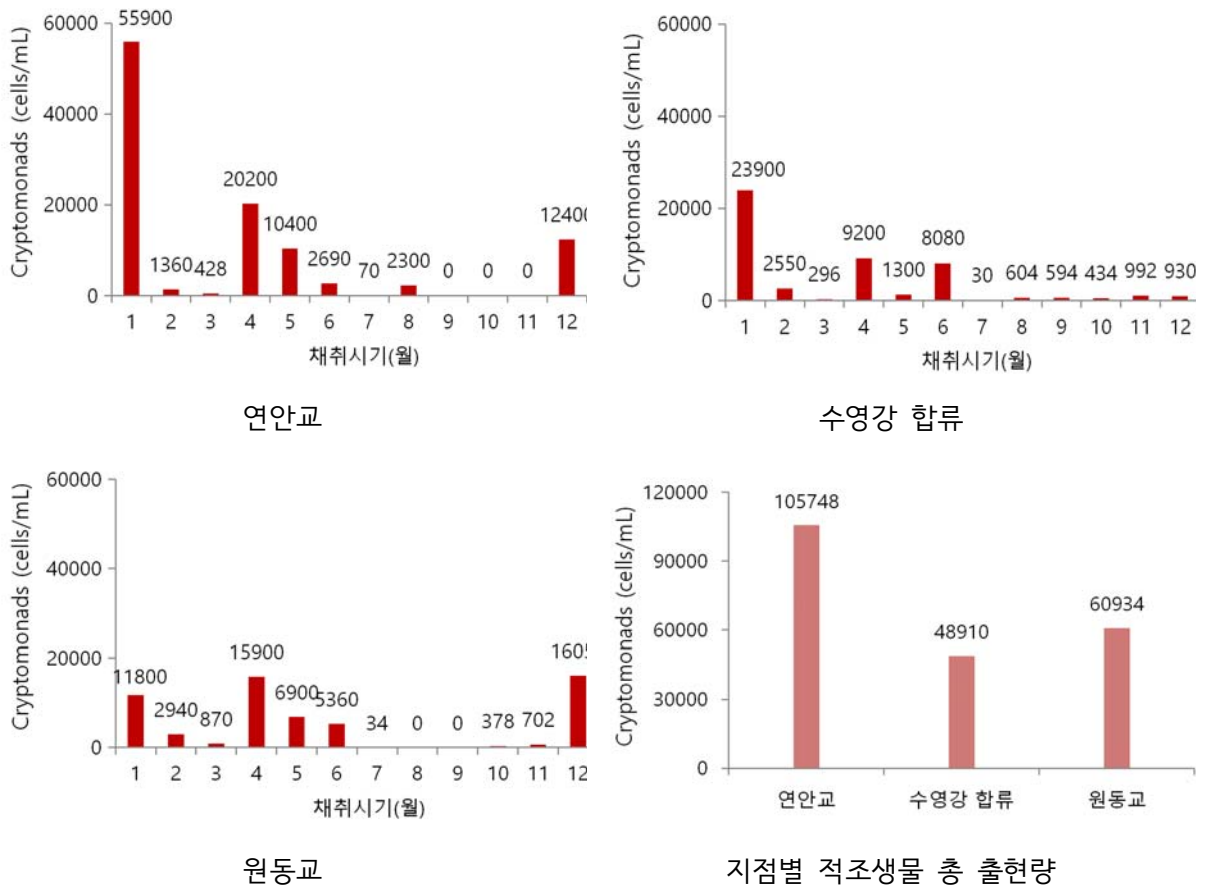


그림 4. 조사지점 및 조사시기에 따른 다른 적조생물 발생(2019년)

○ 조류 종류별 출현 현황(3지점 평균)

- 총 12회 조사 중 1~5월, 12월, 총 6회는 적조생물이 우점
  - ※ 적조생물은 우점하지 않았던 6, 8, 10, 11월에도 약 20 ~ 40 %의 높은 분포 보임
- 여름 ~ 가을의 6, 7, 8, 10, 11월, 총 5회는 규조류가 우점
- 9월에는 남조류(*Microcystis* sp.)가 우점하였는데, 회동저수지에서 번성한 남조류가 저수지 수위 상승으로 댐을 월류하여 하류로 유입되었기 때문임
- 녹조류는 7월 및 10월에 소량 나타남
- 클로로필 a<sup>3)</sup> 농도는 수계의 일차생산량을 간접적으로 나타내는 지표인데, 2019년 6월에 가장 높았음 : 세포 크기가 큰 해양성 규조류 등이 고밀도로 관찰되었기 때문임

3) 클로로필 a는 광합성색소로 모든 조류에 공통적으로 들어 있어, 조류 밀도를 알 수 있는 지표가 됨. 이에 반해 조류 수 측정은 조류마다 크기가 달라 전체 조류량 측정에 있어 단점이 있음

표 2. 온천천.수영강 하구 플랑크톤 출현현황(cells/mL) : 월별 3지점 평균값

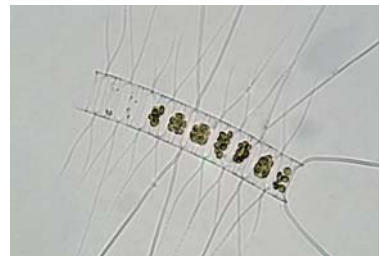
월	클로로필 a	총세포수	적조생물 (Cryptomonads)	규조류	남조류	녹조류
1	61.7	30584	30533 (99.8 %)	51 ( 0.2 %)		
2	6.6	2360	2283 (96.8 %)	77 ( 3.2 %)		
3	11.7	727	531 (73.1 %)	196 (26.9 %)		
4	37.8	15185	15100 (99.4 %)	85 ( 0.6 %)		
5	26.8	6212	6200 (99.8 %)	12 ( 0.2 %)		
6	108.3	26543	5377 (20.3 %)	21167 (79.7 %)		
7	15.4	7425	45 ( 0.6 %)	7352 (99.0 %)		28 ( 0.4 %)
8	18.2	2855	968 (33.9 %)	1887 (66.1 %)		
9	8.0	16565	198 ( 1.2 %)	434 ( 2.6 %)	15933 (96.2 %)	
10	3.6	943	271 (28.7 %)	597 (63.3 %)	58 ( 6.2 %)	17 ( 1.8 %)
11	6.6	1371	565 (41.2 %)	791 (57.7 %)	15 ( 1.1 %)	
12	38.8	10005	9793 (97.9 %)	211 ( 2.1 %)		



규조류(*Aulacoseira* sp.)



규조류(*Gomphonema* sp.)



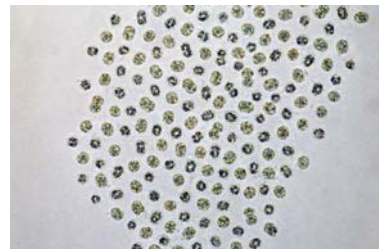
규조류(*Chaetoceros* sp.)



녹조류(*Scenedesmus* sp.)



녹조류(*Staurastrum* sp.)



남조류(*Microcystis* sp.)

그림 5. 적조생물 외, 조사지점에 주로 출현하는 조류 사진

규조류(*Aulacoseira* sp., *Gomphonema* sp.)와 녹조류는 상류 하천에서, 규조류 중 *Chaetoceros* sp. 등은 해양에서, 남조류(*Microcystis* sp.)는 회동저수지에서 각각 유입되는 것으로 생각됨

## 5. 수질특성

### ○ 수온

- 10 °C 내외의 저수온기(1월, 12월)에 적조생물 농도가 높으나, 4월(15.2 °C), 6월(23.7 °C)에도 상당량의 적조생물 번성  
→ 적조생물 번성은 수온과 큰 관련 없음

### ○ 생물화학적 산소요구량(BOD)

- 적조생물이 많이 번성한 1, 4, 5, 6, 12월에 상대적으로 높은 4.2 ~ 15.1 mg/L의 BOD 값을 나타냄  
→ 적조생물(Cryptomonads)는 미생물에 쉽게 분해되어 BOD에 많은 영양을 미침

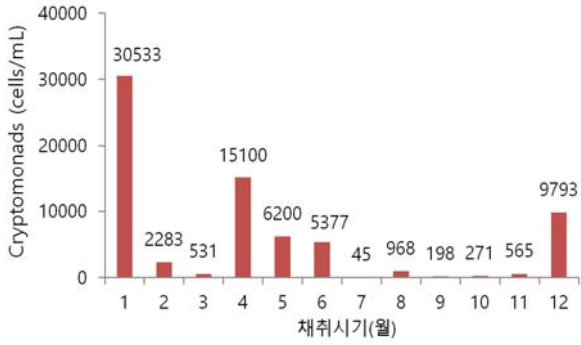
### ○ 영양염류(T-N, T-P)

- 총질소(T-N)는 3.321 ~ 4.397 mg/L 범위로 연중 큰 변화 없었으며 총인(T-P)은 0.073 ~ 0.311 mg/L 범위였고 3월~6월에 약간 상승
- 조사지점의 T-N/T-P 비는 평균 28.4로 질소 과잉이며, 따라서 조류 번성 등 부영양화 제한요인은 총인임<sup>4)</sup>
- 조사기간의 총인 농도는 OECD 기준을 참고할 때 대부분 과영양의 범위이며, 별도 조사한 동절기 수영장 수계 총인 농도도 마찬가지임
- 즉 현재 제한인자로 생각되는 총인 농도 저감으로 적조를 감소하기 위해서는 수영장 하구의 총인 농도를 최소한 0.03 mg/L(중영양 상태) 이하로 감소시킬 필요성이 있음

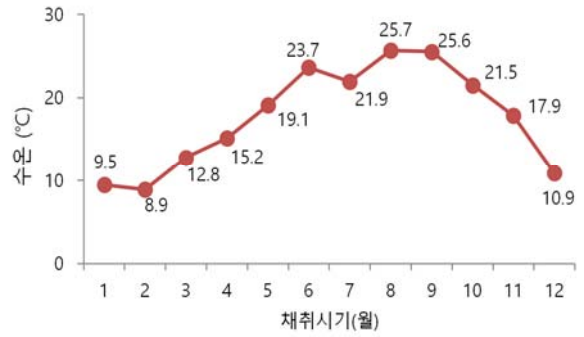
표 3. 호소의 영양상태 기준(OECD 제시)

영양상태	빈영양	중영양	부영양	과영양
항목				
인 농도(mg/L)	0.01 이하	0.01~0.03	0.03~0.10	0.10 이상

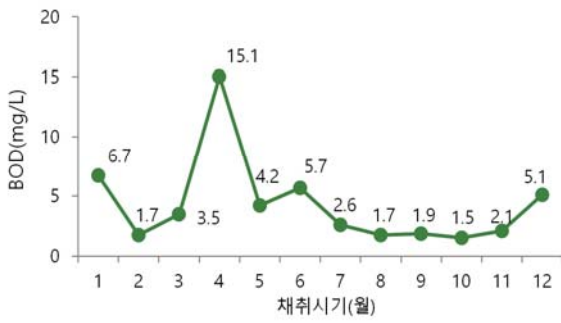
4) 리비히의 최소량의 법칙(Liebig's law of minimum)에 의하면 생물체의 생장은 필요 성분 중 최소량으로 공급되는 양분(제한요인)에 의존됨. 관련 문헌에 의하면 질소/인의 비가 10이하이면 질소가, 10이상이면 인인 제한요인으로 제시됨



적조생물 (평균)



수온



BOD 평균



영양염류(T-N, T-P) 평균

그림 6. 적조생물 출현 밀도와 수질 변화 (월별 3지점 평균)



그림 7. 온천천.수영강 하구의 동계 총질소·총인 분포(2019.12.)

○ 부산 연안의 영양염류 농도

- 수영만의 질소인 농도가 다른 연안에 비해 특히 높으며 부영양 상태임(표 4)
- 연안 지형(만) 특성 및 높은 영양염류 영향으로 적조 및 기타 조류의 발생가능성이 다소 큰 상태임

표 4. 2019년 부산연안 질소인 농도 현황(부산보건환경연구원 자료)

조사정점 항목	해운대	수영만	민락동	남천만	이기대	북외항	부산 대교	자갈치	송도	남외항
용존 무기질소(mg/L)	0.229	1.716	0.692	0.164	0.222	0.095	0.114	0.079	0.041	0.044
용존 무기인(mg/L)	0.029	0.088	0.042	0.22	0.025	0.021	0.026	0.024	0.010	0.012

○ 염분

- 적조 밀도가 높았던 1, 4, 5, 6, 12월에 평균 염분이 10 psu 이상으로 높았으나, 적조밀도가 낮았던 8, 11월도 염분 높음
- 또한 염분은 하천유량 증가 시기에 감소하므로 염분과 적조가 상관성 있다고 말하기는 어려움



그림 8. 월별 염분 변화 (3지점 평균)

○ 강우량

- 강우량이 작았던 1월~6월, 12월에 적조 밀도가 높았으며 강우량이 증가하여 하천유량이 많았던 7월 이후에는 적조생물의 발생이 크게 둔화되었음
- 적조생물 발생이 하천수의 체류 상황과 큰 연관됨

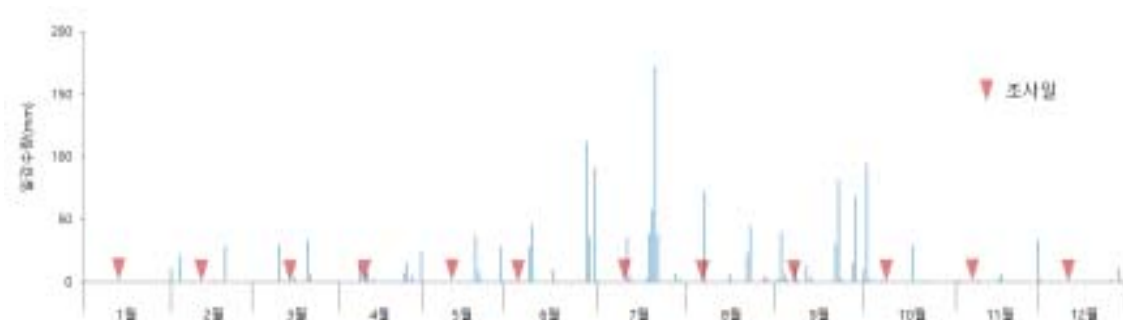


그림 9. 2019년 강우량 분포와 조사시점



## 6. 요약 및 결론

- 적조생물(Cryptomonads)는 1월, 4월, 5월, 12월에 다소 밀도가 높았으며(10,000 cells/mL 내외), 여름 ~ 가을기간에는 대폭 감소
- 적조발생 규모는 2016~2017년과는 비슷했으나, 2018년에 비해서는 대폭 감소하였음
- 조사지점별로는 온천천 연안교 지점에서 가장 높은 적조생물 밀도가 관찰되었음
- 총 12회 조사 중 1~5월, 12월, 총 6회는 적조생물이 우점, 총 5회는 규조류가 우점하였으며, 남조류는 9월에 1회 우점
- 적조 발생 시 적조생물에 의한 하천수 BOD의 현저한 상승이 관찰되었으며, 수온 및 염분과는 큰 관련 발견되지 않음
- 적조 발생과 영양염류 농도와도 큰 관련이 없었는데, 이것은 조사지점 영양염류 농도가 대부분 부영양 ~과영양의 범위에서 변동하여 적조생물 번성에 항상 충분하기 때문임
- 적조 발생은 대부분 강우량이 적은 시기에 발생하였으며, 이는 하천수 체류가 적조 발생과 큰 관련이 있기 때문으로 생각됨
- 적조 생물 방지대책
  - 일반적으로 적조·녹조의 발생요인은 ① 태양광 ② 정체수역 ③ 영양염류의 세가지임
  - 태양광은 온천천·수영강 하류에서 현실적으로 제어 불가
  - 정체수역 해소는 수영강 하류는 하도가 넓어 불가능하나, 온천천 하류는 수영 하수처리장의 하수처리수(약 34만톤)를 활용한다면 가능할 것으로 생각되지만, 경제성·치수안전성·냄새 문제 등 검토 필요
  - 영양염류에 있어서 조사지점은 총인을 제한요인으로 고려해야 할 것으로 생각되며, 적조 농도 제어를 위해서는 총인 농도를 최소한 0.03 mg/L이하(중영양 상태)로 제어 필요
  - 총인 농도 제어를 위해서는 유역의 하수관거 정비를 통한 하천수질 개선, 수영 및 동부하수처리장의 총인 처리효율 증대 등이 가장 중요한 과제임
  - 또한 총인 농도는 외부유입 뿐 아니라, 혐기화된 저층에서의 용출량도 크게 영향을 미치므로 하상 혐기화를 막기 위한 유기성 퇴적물 저감 정책 등도 필요

## 7. 활용방안 및 기대효과

- 하천 수질 모니터링 및 해석을 위한 자료 확보
- 적조 현상 등 새로운 수질 문제에 대한 해석 및 정책적 대응
- 관련 기관에 적조 정보 제공 및 시민들의 막연한 불안감 해소