

# 온천천 수영강 적조 조사

- 수영강 하류 적조생물 모니터링 및 수질 기초자료 제공
- 관리기관 적조 발생 정보 제공 및 민원 대응

## 1. 조사개요

- 조사근거 : 온천천 적조 조사 추진계획(2018.12.13.)
- 조사목적
  - 온천천·수영강 하류 적조 빈발에 따른 원인생물 현황 조사
  - 적조 시 수질 영향자료 축적 및 향후 대응 모색
- 조사시기 : 월 1회 조사(20,000 cells/mL 이상 시 월 2회 조사 강화)
  - ※ 20,000 cells/mL : 조류경보제(친수활동 구간) 관심단계 기준 적용
- 조사지점 : 기수역 총 3개 지점(연안교, 수영강 합류부, 원동교)

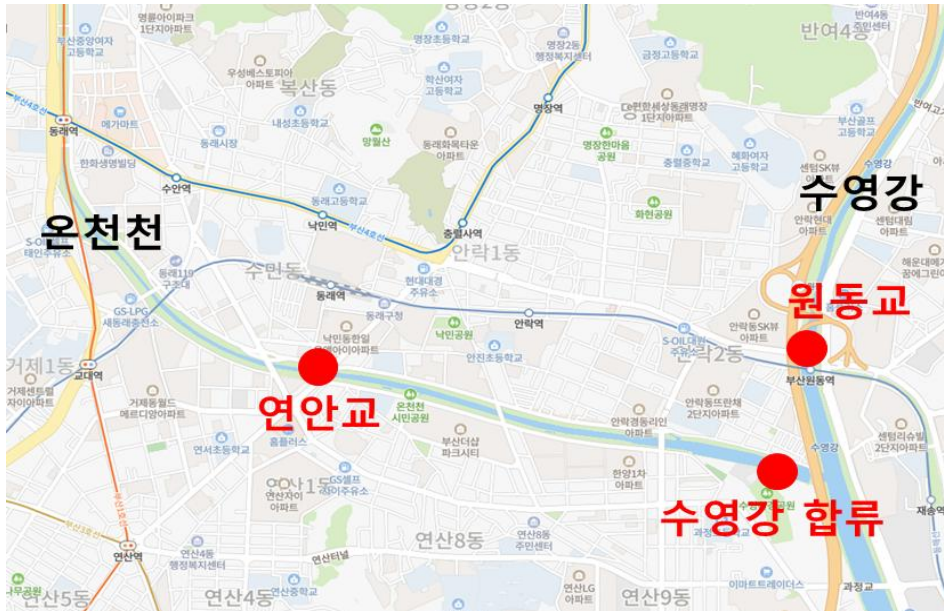


그림 1. 적조 조사지점

## 2. 조사방법

- 조사항목 : 2019년 대비 무기성 영양염류 6항목(N, P) 확대 조사
  - 적조생물 및 기타 3개 조류군(규조류, 남조류, 녹조류), 클로로필-a, 수온, pH, DO, 전기전도도, 염분, T-N, T-P, DTN, DTP, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P 총 16개 항목
- 「수질오염공정시험기준」(국립환경과학원) 및 관련도감에 따른 분석

담당부서 : 물환경생태팀(☎051-309-2911)  
 팀장 : 송복주, 담당자 : 송희진

### 3. 적조생물 개요

- 원인생물 : Cryptomonads(은편모조류, 갈색편모조류)<sup>1)</sup>
  - 약 5~20 μm 길이, 비대칭 찰알모양, 2개의 편모(수직운동) 가짐
  - 광합성을 하고 필요에 따라 저층의 영양분을 섭취함(햇빛이 충분하지 않아도 생존 가능)
  - 염분에 잘 적응하여 기수역에서 흔하게 관찰되는 무해성 조류이며 어류 등에 양질의 먹이생물임
  - 출현종에 따라 청색, 적색, 갈색 등 다양한 색을 띠며
  - : 부산 기수역에서는 붉은색을 띠는 종들이 관찰됨

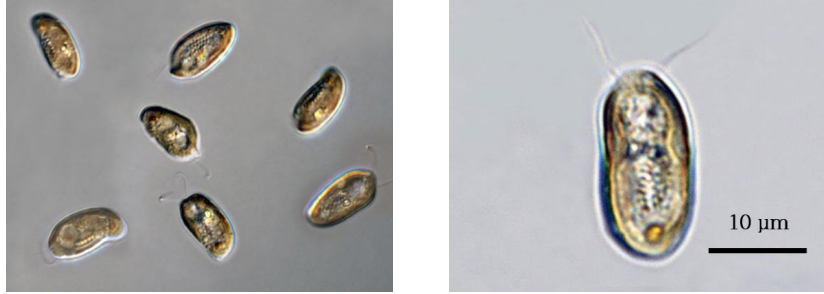


그림 2. 크립토모나드 (현미경 100배 확대사진)

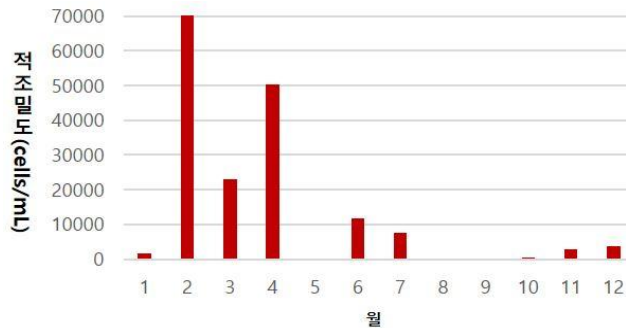
- 문제점
  - 도시의 미관 저해 및 붉은색 하천수로 시민 불안감 조성
  - 장기화 시 연안 생태계 건강 우려

### 4. 적조현황

- 시기별 출현현황 : 겨울~봄철 적조 밀도 상승
  - 20,000 cells/mL 이상 : 2월, 3월, 4월에 집중적으로 밀도 높음
  - ※ 관측 결과 약 10,000 cells/mL에서 육안상 붉은색이 감지

표 1. 2020년 월별 세 지점 평균 적조생물 개체수

월	1	2	3	4	5	6
개체수 (cells/mL)	1,565	70,254	22,893	50,217	6	11,787
월	7	8	9	10	11	12
개체수 (cells/mL)	7,561	2	0	321	2,872	3,653



- 풍수기인 여름 ~ 가을철에는 개체수가 감소하였으나, 크립토모나드는 수영강 하구에 항상 존재함

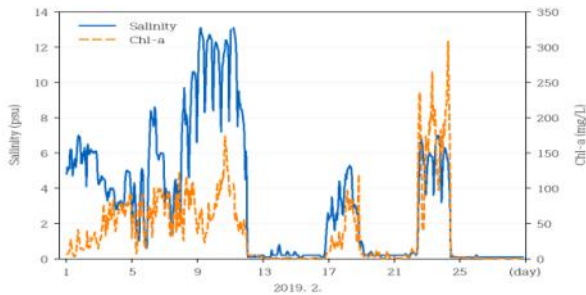
1) Cryptomonads에는 약 200종 이상의 조류가 있고, 본 조사에서는 대분류군(Cryptomonads)차원에서 조사 실시했으며, 세부 분류(종)에 있어서는 유전자 분석 순수 생물학적 연구가 필요함

○ 지점별 적조 출현현황

: 수영강합류부(25,855 cells/mL) > 연안교(8,613 cells/mL) > 원동교(7,337 cells/mL)

- 연안교 : 밀물·썰물에 따른 개체수 변동 큼

→ 온천천·수영강 하구에서 번성한 적조생물이 조석에 따라 움직이는 것으로 추정



연안교 지점의 염분과 클로로필-a 항목을 5분 단위 자동측정 결과

: 간-만조시 온천천 내 염분이 올라오는 상부에 위치하고 있어, 밀물에 적조생물 밀도가 높아지고 썰물에 밀도가 낮아지는 결과를 보임

그림 3. 연안교 지점 염분과 클로로필-a의 관계

- 합류부 : 조사지점 중 하폭이 가장 넓어 하천수 체류가 심해 적조생물 번식에 최적화된 지점으로 추정

- 원동교 : 수영강 중류로부터의 담수유입에 따라 적조생물 변동 큼

→ 적조 발생지점은 온천천·수영강 합류지점으로 추정되며, 번성한 적조생물 군집이 조석에 따라 이동하는 양상을 보임

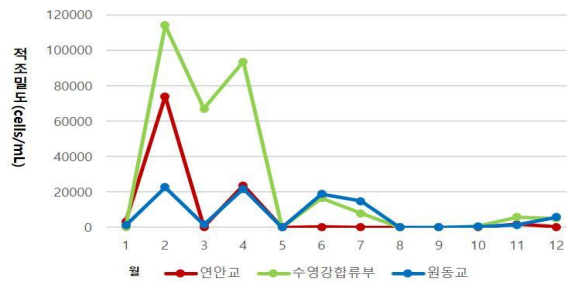


그림 4. 2020년 지점별 적조생물 월 평균밀도

○ 연도별 적조발생 현황 : 2019년 대비 증가, 2018년 보다 감소

표 2. 1~4월 적조생물 평균밀도(2018~2020년)<sup>2)</sup>

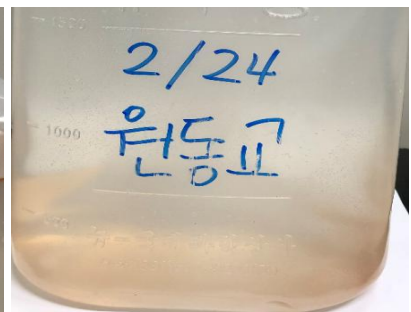
항목	연도	2018	2019	2020
적조밀도(cells/mL)		55,706	12,112	44,818



수영강합류지점



샘플링 된 크립토모나드



크립토모나드 수직운동

그림 5. 적조 대발생(2월) 현장 및 시료병 사진

2) 온천천 적조조사는 2014년부터 조사되었으나, 원동교 지점이 2018년부터 분석 시작되어 2018년부터 2020년에 대한 자료제시

○ 조류 종류별 출현 현황(3지점 평균)

- 총 12회 조사 중 6회(1~4월, 11~12월) 적조생물이 우점
- 풍수기에 총 5회(5~8월) 규조류가 우점
  - ※ 염분이 높아 해양성 규조류가 흔히 관찰됨
- 9월에는 남조류가 우점하였음. 이는 회동저수지에 번성한 남조류가 지속적인 강우로 인해 댐을 월류하여 유입되었음
- 녹조류는 개체수가 적었고, 그 중 8월에 연중 가장 높았음
- 2019년 출현현황과 유사한 패턴이 반복됨
  - ※ 2019년 출현현황 : 적조생물 6회, 규조류 5회, 남조류 1회 우점

표 3. 2020년 온천천.수영강 하구 플랑크톤 출현현황(세 지점 평균)

월	총세포수	적조생물 (Cryptomonads)	규조류	남조류	녹조류
1	1,745	1,565 (89.7 %)	181 (10.3 %)		
2	70,769	70,254 (99.3 %)	515 ( 0.7 %)		
3	23,157	22,893 (98.8 %)	249 ( 1.1 %)		3 ( 0.1 %)
4	50,439	50,217 (99.6 %)	214 ( 0.4 %)		8 ( 0.0 %)
5	203	6 ( 3.0 %)	169 (83.2 %)		29 (13.8 %)
6	55,029	11,787 (21.4 %)	43,192 (78.5 %)		50 ( 0.1 %)
7	21,044	7,561 (35.9 %)	13,482 (64.1 %)		1 ( 0.0 %)
8	547	2 ( 0.4 %)	346 (63.2 %)		199 (36.4 %)
9	896	0 ( 0.0 %)	42 ( 4.7 %)	777 (86.7 %)	76 ( 8.6 %)
10	1,656	321 (19.4 %)	977 (59.0 %)	172 ( 10.4 %)	187 (11.2 %)
11	3,542	2,872 (81.1 %)	436 (12.3 %)	197 ( 5.6 %)	36 ( 1.0 %)
12	4,177	3,653 (87.4 %)	506 (12.1 %)	12 ( 0.3 %)	5 ( 0.2 %)

5. 수질특성

○ 수온

- 2~4월의 10~15 °C 사이의 수온에서 가장 적조생물 농도가 높았으나, 7월 이후 여름철 25 °C 내외에서 개체수가 급감하기 시작하여 12월까지 지속됨

○ 용존산소(DO)

- 적조생물이 번성한 2~4월에 6 mg/L 이상의 용존산소 농도를 보여 적조생물 번성에 의한 용존산소 농도는 관찰되지 않음
- 5월과 8월에 약 4 mg/L의 낮은 용존산소 농도를 보였으나, 강우에 의한 하수유입으로 용존산소 감소로 추정

○ 질소

- 총질소(T-N)는 평균 3.677 mg/L였고, 적조생물이 많이 번성한 2~4월은 평균 3.685 mg/L로 총질소와 적조생물 번성은 큰 연관성이 없었음
- 질소는 주로 암모니아성 질소, 질산성 질소였으며, 상호 비슷한 농도로 일반적 하천수 암모니아성 질소 농도보다 높은 값을 나타냄
  - 강우 시 하수유입 등 오염영향 추정

○ 인

- 총인(T-P)는 평균 0.198 mg/L였고, 적조생물이 많이 번성한 2~4월은 평균 0.181 mg/L로 총인 역시 적조생물 번성과 관련 없었음
- 인의 구성은 저수온기인 1~3월 등에서 대부분 인산염인의 용존형태로 존재하였고, 강우량이 높은 하절기에는 강우에 의한 부유물질 증가로 입자성 인의 농도가 증가하는 경향을 보임

○ COD

- COD는 평균 5.7 mg/L였고, 적조생물이 많이 번성한 2~4월은 평균 5.6 mg/L으로 적조생물에 의해 증가하지만, 하절기 강우량 증가시의 하수유입에 의한 유기물 증가량에는 미치지 못함

○ 염분

- 염분은 평균 13.85 psu였고, 적조생물이 많이 번성한 2~4월은 16.70 psu으로 염분농도가 다소 높을 때 적조생물 번성이 활발함  
 - 많은 강우가 발생한 8~9월에는 염분농도가 크게 감소하였고, 적조생물 발생 또한 감소함

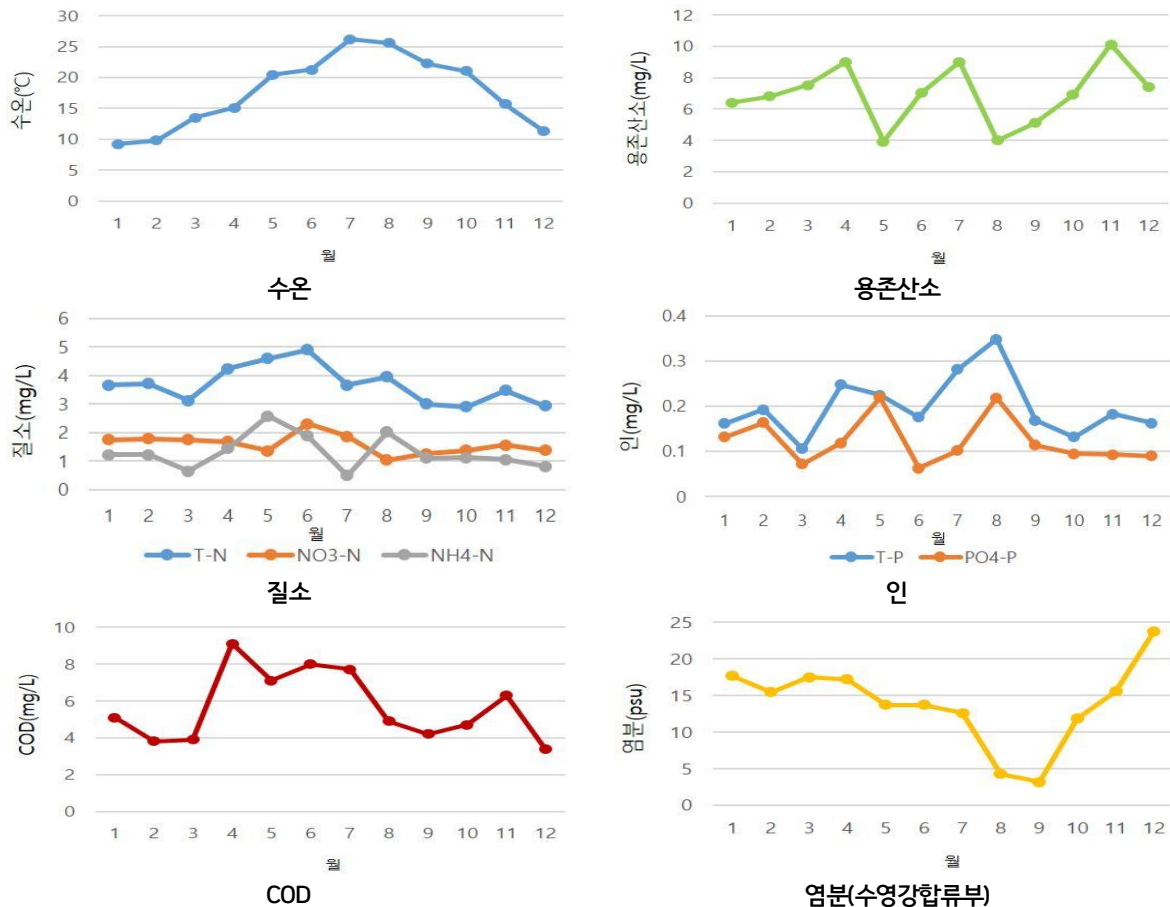


그림 6. 수질 항목 월별 변화(3지점 평균)

○ 호소의 영양상태 기준

- OECD 기준

▷ 조사지점 평균 총인은 0.198 mg/L로 OECD에서 제시한 호소 영양상태 기준의 과영양상태를 유지함

표 4. 호소의 영양상태 기준(OECD 제시)

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

- 한국형 부영양화 지수

▷ 환경부에서 개발한 TSI<sub>KO</sub>(Trophic State Index of Korea)에 의해서도 연평균 58로 부영양상태를 나타냄  
 → 따라서 조류번성에 최적화된 영양상태를 항상 유지함

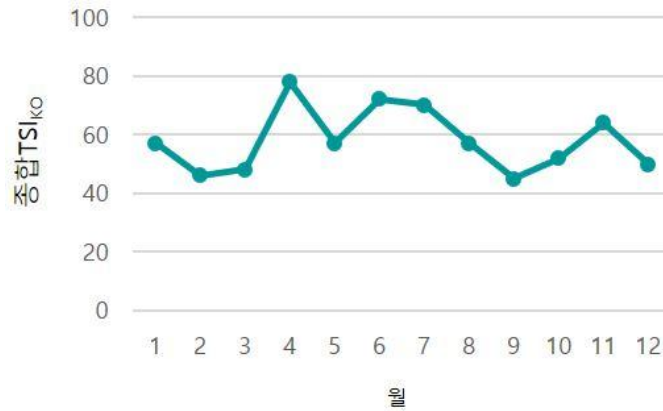


그림 7. 부영양화 지수(조사지점 평균)

$$\text{종합TSI}_{KO} = 0.5 \text{ TSI}_{KO}(\text{COD}) + 0.25 \text{ TSI}_{KO}(\text{Chl-a}) + 0.25 \text{ TSI}_{KO}(\text{T-P})$$

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

※ TSI<sub>KO</sub>(Trophic State Index of Korea) : 한국형 부영양화 지수

표 5. 한국형 부영양화 지수 기준표(TSI<sub>KO</sub>)

구분	빈영양	중영양	부영양	과영양
종합TSI <sub>KO</sub>	30 미만	30~50 미만	50~70 미만	70 이상

○ 강우량

- 강우량이 작았던 2~4월에 적조 밀도가 높았으며, 강우가 많은 시기인 6월 이후에는 적조생물의 발생이 크게 둔화되었음
- 풍수기에 적조발생 감소를 확인

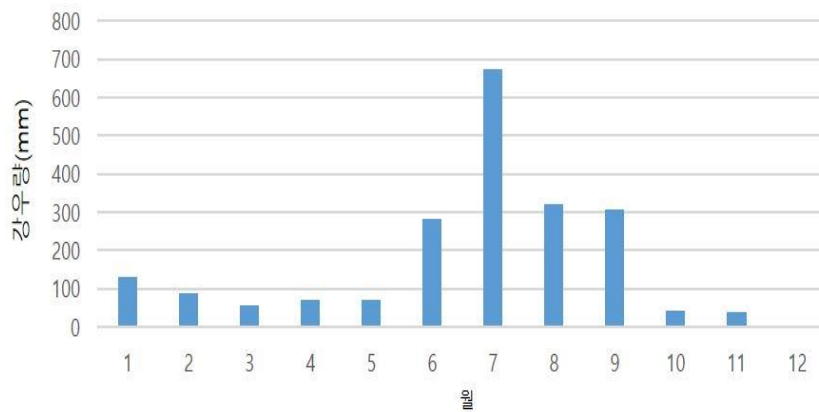


그림 8. 동래구 월별 강우량(2020년)

## 6. 요약 및 결론

- 적조생물(Cryptomonads)는 2월, 3월, 4월에 집중적으로 밀도 높음(20,000 cells/mL 이상), 수온이 높고 강우량이 많은 여름 ~ 가을철에 대폭 감소
- 적조발생 규모는 2019년 대비 증가, 2018년 보다는 감소했으며, 수영강 합류지점에서 가장 높은 적조생물 밀도가 관찰됨
- 총 12회 조사 중 6회(1~4월, 11~12월) 적조생물이 우점, 풍수기에 총 5회(5~8월, 10월) 규조류가 우점, 9월에는 남조류가 1회 우점함(2019년과 유사함)
- 적조 밀도와 영양염류의 상관성은 과영양상태의 지속으로 평가에 애로가 있으며, 적조발생은 주로 강우량의 과다에 따라 발생
- 적조 생물 방지대책
  - 일반적인 적조·녹조 발생요인은 일사량, 하천수 정체, 영양염류임
  - 영양염류 농도 제어를 위해서는 하수관거 정비와 오점방지로 오염수 유입 차단, 수영 및 동부하수처리장의 영양염류 처리효율 증대 등이 중요한 과제이나 경제적 효율성 등을 종합적으로 판단할 필요성이 있음
  - 또한 수영강 하구의 오염된 퇴적물에서 용출되는 영양염류가 크립토모나드 번성에 영향을 미칠 가능성이 높으므로, 비점오염 차단 및 준설 등 하상 혐기화를 막기 위한 유기성 퇴적물 저감 정책도 필요

## 7. 활용방안 및 기대효과

- 적조생물 발생 감시 및 생물 개체수 증가 원인 규명
- 적조 현상 등 새로운 수질 문제에 대한 해석 및 정책적 대응
- 하천 관리기관에 자료 제공을 통한 시민 불안감 해소