

온천천·수영강 적조 조사

- 온천천·수영강 적조현상 및 수환경 특성 파악을 위한 자료 활용
- 시민 및 하천 관리기관에 자료 제공을 통한 문의 대처

1. 조사개요

- 조사근거 : 자체계획(「온천천 수영강 적조 조사 계획」, 2023.02.16.)
- 조사목적 : 수계 내 적조 변동 추세 파악 및 출현 현황 조사
- ※ 동절기 온천천 하류 붉은색 수질에 대한 시민 및 관련 기관 문의 급증
- 조사시기 : 12월 ~ 4월(월 2회), 그 외 월 1회 조사
- 조사지점 : 온천천·수영강 수계 7개 지점
 - 온천천(연안교, 연산교, 안락교, 수영강합류부), 수영강(세월교, 원동교, 과정교)



그림 1. 적조 조사지점

2. 조사방법

- 조사항목
 - 조류 : 적조생물(갈색편모조류), 규조류, 남조류, 녹조류
 - 수질 : 수온, pH, DO, 전기전도도, 염분, COD, BOD, T-N, T-P, DTN, DTP, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P, 클로로필-a
 - ※ 수질 7지점 혼합시료 분석(대표성 확보 목적), 적조생물 개별시료 분석

3. 조사결과

○ 기후 특성¹⁾

- 강수량 및 강우일수

- 누적강수량(2191.4 mm) 평년²⁾(1576.7 mm)의 약 1.4배 수준
- 동절기 강수량 평년대비 1월 2.3배, 12월 3배 증가

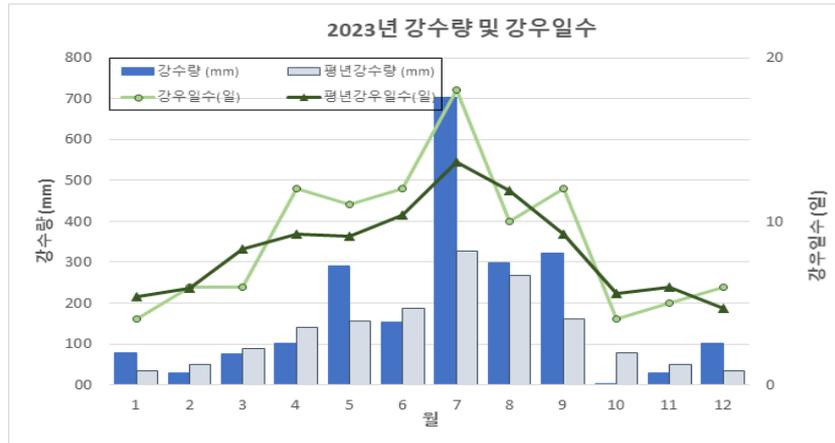


그림 2. 월별 강수량 및 강우일수

- 기온 및 일조시간

- 연평균 기온(16.0 °C) 평년 기온 편차 +1°C
- 3월 평년 대비 +3.2°C로 큰 편차 보임

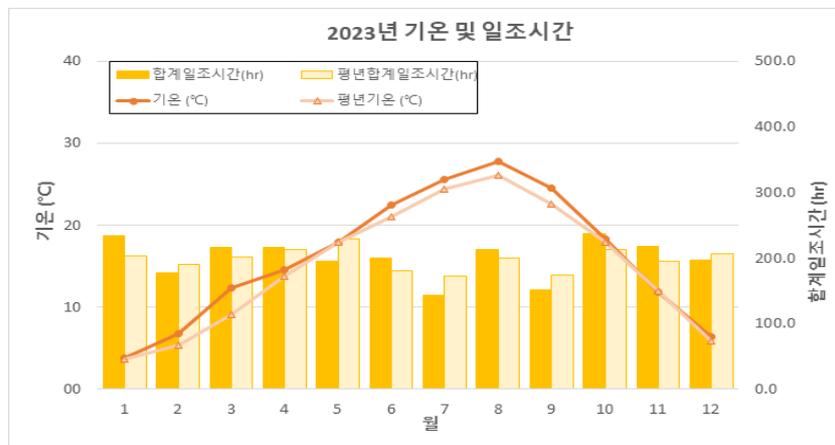


그림 3. 월별 기온 및 합계일조시간

○ 수질 특성

- 영양염류(질소, 인) : 연평균 T-N 3.421 mg/L(2.228 ~ 4.851 mg/L), 연평균 T-P 0.202 mg/L(0.146 ~ 0.283 mg/L)

1) 기후 자료출처 : 기상청 기상자료개방포털, 부산(159) 지점
 2) 평년 : 연속된 30년간(1991~2020년) 관측된 자료의 기후학적 평균값

- 하천 생활환경기준³⁾(T-P) : 약간나쁨(IV)
- 동절기 잦은 강우로 증감 반복, 경향성 보기 어려움
- 유기물 : 연평균 BOD 5.8mg/L(2.1 ~ 12.8 mg/L)
연평균 COD 6.2 mg/L(4.2 ~ 7.8 mg/L)
- 동절기(1~3월) 이후 감소추세
- 클로로필-a : 연평균 Chl-a 48.9 mg/L(5.7 ~ 99.1 mg/L)
- 적조 외 다른 식물성 플랑크톤(규조류, 남조류) 영향

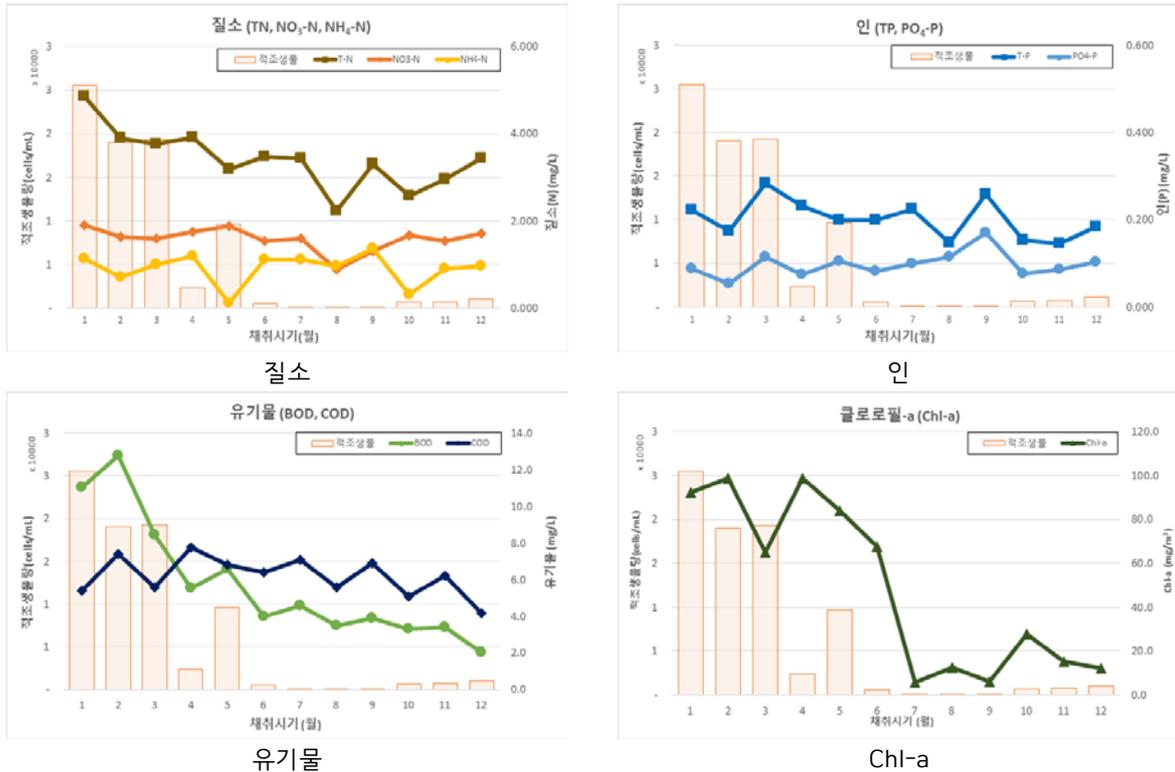


그림 4. 월별 수질 항목 결과

- 한국형 부영양화 지수(TSI_{KO})⁴⁾ : 연평균 66 (부영양상태)
 - 수계 내 항상 부영양화 상태(2월 최대 73)
 - 지표항목 중 Chl-a(조류 밀도 지표) 영향 큼

3) 환경정책기본법 시행령 별표 1 환경기준

4) 국립환경과학원에서 개발한 지수로서 각 지표항목(COD, Chl-a, T-P)에 확률분포함수를 비교·적용하여 산정
 종합 TSI_{KO} = 0.5TSI_{KO}(COD)+0.25TSI_{KO}(Chl-a)+0.25TSI_{KO}(T-P)



그림 5. 월별 부영양화 지수

○ 조류 분류군별 현황

- 적조생물(Cryptomonads(크립토모나드), 갈색편모조류)
 - 시기별 출현 현황 : 17 ~ 49,136 cells/mL
 - 동월 개체수 변동폭 큼(1월 최대 47,229 cells/mL)
 - 적조생물은 번성과 소멸 반복, 온천천·수영강 하구에 항상 존재

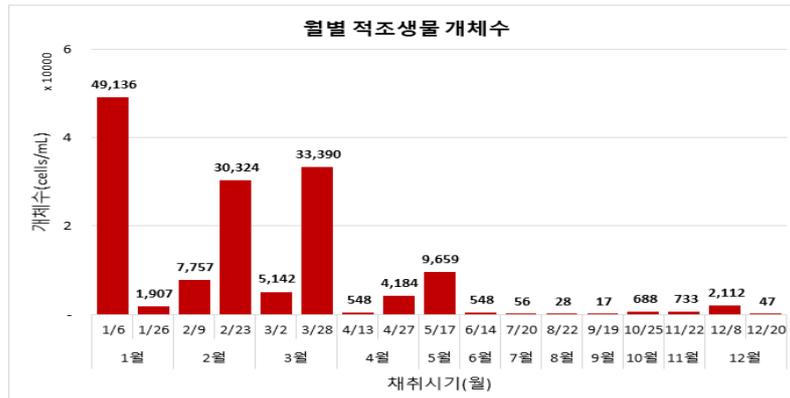


그림 6. 월별 지점 평균 적조생물 개체수

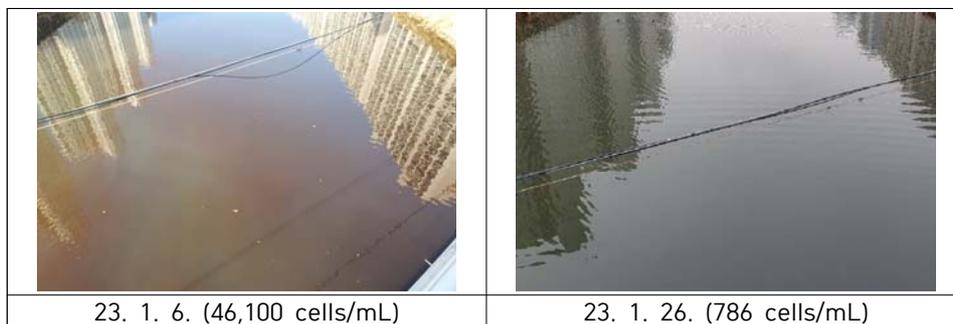


그림 7. 동월 연산교 지점 현장사진(적조생물 개체수)

- 적조 발생규모 : 전년대비 약 3배 감소(23년 8,604 < 22년 20,259)
- 강수 영향 큼(23년 2191.4 mm > 22년 991.6 mm)

표 1. 연도별 평균 적조생물 개체수 및 연강수량

항목 \ 연도	2021년	2022년	2023년
적조생물 개체수 (cells/mL)	3,189	20,259	6,584
강수량 (mm/년)	1807.8	991.6	2191.4

- 지점별 출현 현황
 - ▷ 세월교 > 원동교 > 안락교 > 수영강합류부 > 과정교 > 연안교 > 연산교
 - ▷ 하천 체류 심한 합류부 구간(안락교~원동교) 적조생물 주로 분포
 - ▷ 염분과 Chl-a 비례하여 증감 : 조석에 따른 적조생물 군집이동 (그림 9 참고)
 - (* 수질자동측정소 이섭교(연안교) 지점 5월 시간자료 활용)

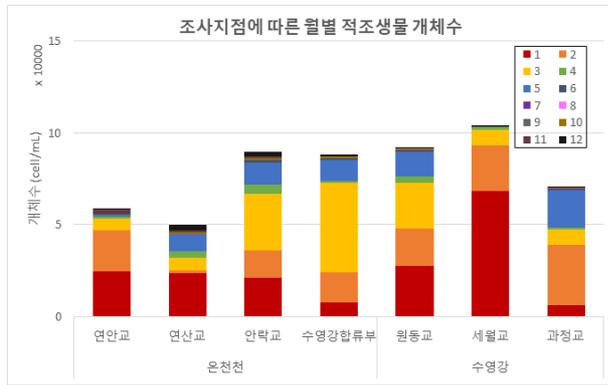


그림 8. 지점별 적조생물 개체수

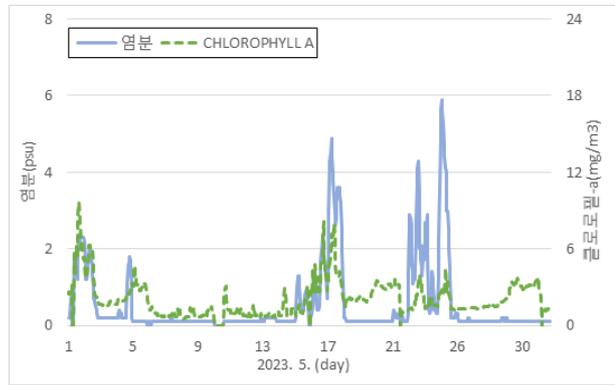


그림 9. 이섭교 지점 염분, Chl-a 관계

- 조류 분류군별 출현 현황 (표 2 참고)
 - 연중 적조생물 점유율 : 0.7 ~ 98.8 %
 - 겨울철(1~3월) 적조 집중 번성(최대 25,521 cells/mL)
 - 적조생물 5월 일시적 증가, 여름철 급격히 감소 후 증가추세
 - 적조생물 4회(1~3월, 12월), 규조류 6회(4~7월, 10~11월), 남조류 2회(8~9월) 우점

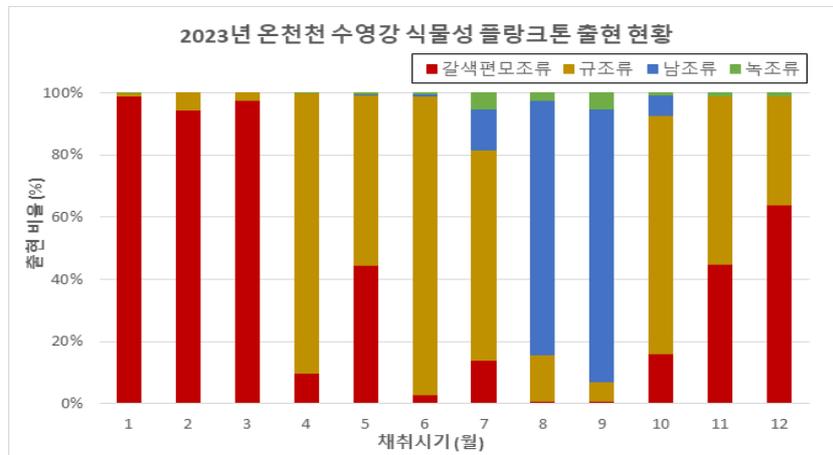


그림 10. 시기별 식물성 플랑크톤 출현 비율

- 적조생물과 수질인자 간 상관성 (표 3 참고)
 - DO, BOD, Chl-a 와의 높은 상관성
 - 조류의 광합성 및 조류로 인한 자생 유기물질 증가
 - 염분과의 상관성
 - 조석에 따른 적조생물 군집이동
 - TN과의 상관성
 - 온천천·수영강 수계는 항상 부영양 상태이므로 조류 발생의 제한인자로 판단하기 어려움
 - 적조 발생요인은 수질인자 외 강수량, 체류시간, 일사량 등과 복합적 평가 필요

표 2. 연도별 온천천·수영강 하구 식물성 플랑크톤 출현 현황(cells/mL)

월	갈색편모조류 (Cryptomonads)			규조류			남조류			녹조류		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
1	13,303	1,530	25,521 (98.8%)	433	361	312 (1.2%)				18		4
2	4,782	110,436	19,040 (94.6%)	198	298	1,092 (5.4%)				2		
3	2,700	61,550	19,266 (97.6%)	600	789	480 (2.4%)					13	
4	9,141	62,676	2,366 (9.9%)	473	1,892	21,548 (90.0%)			4	42	164	20
5	249	368	9,659 (44.6%)	258	723	11,885 (54.9%)			43	222	123	80
6	4,920	923	548 (2.8%)	519	7,133	18,836 (96.3%)	25	469	134	90	183	46
7	710	20	56 (14.0%)	1,848	835	271 (67.8%)	254	809	52	392	464	21
8	45	3,923	28 (0.7%)	149	1,887	594 (15.2%)	1,716	1,192	3,200 (81.8%)	261	364	92
9	164	26	17 (1.0%)	1,960	15,948	109 (6.1%)		105	1,564 (87.8%)	286	81	91
10	378	298	688 (16.1%)	742	639	3,278 (76.6%)			286	56	45	29
11	739	174	733 (44.7%)	552	778	885 (54.0%)				37	48	20
12	1,131	1,140	1,080 (64.0%)	1,270	335	589 (34.9%)				16	14	21

표 3. 2023년 온천천·수영강 하구 적조생물과 수질인자 간 상관분석

	수온	염분	DO	pH	BOD	COD	클로로필-a
적조생물 개체수	-.670*	.698*	.595*	-.228	.923**	-.027	.687*
	TN	NO ₃ -N	NH ₄ -N	DTN	TP	PO ₄ -P	DTP
적조생물 개체수	.718**	.447	-.092	.567	.336	-.243	.275

* 유의확률 p<0.05, ** 유의확률 p<0.01

○ 요약 및 결론

- 2023년 잦은 강우 및 강수량 증가 따른 적조 군집 조성과 생체량 영향 크게 작용
- 수계 내 항상 부영양화 상태 유지(종합 TSI_{KO} 연평균 66)
- 전년대비 적조 발생규모 약 3배 감소(23년 8,604 cells/mL < 22년 20,259 cells/mL)
 - 강수 영향 큼(23년 2191.4 mm > 22년 991.6 mm)
- 하천 체류 심한 합류부 구간 적조생물 주로 분포
(세월교 > 원동교 > 안락교 > 수영강합류부 > 과정교 > 연안교 > 연산교)
- 적조생물 4회(1~3월, 12월) 우점
- 겨울철(1~3월) 적조 집중 번성(최대 25,521 cells/mL)
- 조석에 따른 군집 이동으로 지점별, 시기별 개체수 변동 큼
- 온천천·수영강 수계는 조류의 광합성 및 자생유기물질 영향
- 적조 발생요인은 수질인자 외 강수량, 체류시간, 일사량 등과 복합적 평가 필요

4. 활용방안

- 시 하천관리과 및 관할구청 적조발생 안내자료 배포
 - 관할구청 현수막 게시 등 민원 대응
- 수질자동측정망 전광판 적조발생 안내문 표출 및 하천 관리기관 SMS 문자 발송

5. 기대효과

- 하천 관리기관에 자료 제공으로 민원 해소 및 현장순찰 유도
- 기수역 부영양화에 대한 해석, 원인진단, 저감대책 및 정책제안