

온천천 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」, 2024. 2. 20.)
- 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(1697.6 mm) 평년²⁾(1576.7 mm)과 유사한 수준
- 동절기(2월) 강우일수는 평년(8.1일)보다 많았으나, 짧고 잦은 강우 내림

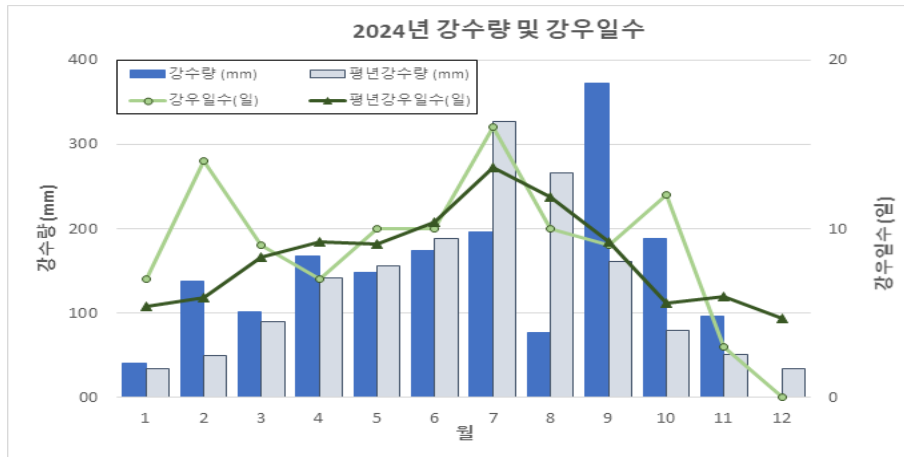


그림 2. 월별 강수량 및 강우일수

- 기온 및 일조시간

- 연평균 기온(16.7 °C)로, 전월(12월 제외) 평년 기온보다 높음
- 동절기(1월, 3월) 일조시간은 평년(11.2~12.2 hr) 대비 높았음

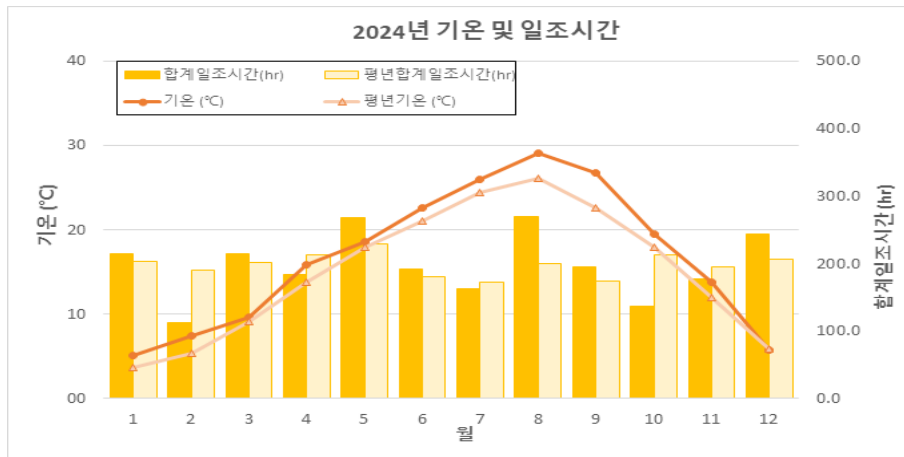


그림 3. 월별 기온 및 일조시간

1) 기후 자료출처 : 기상청 기상자료개방포털, 부산(159) 지점

2) 평년 : 연속된 30년간(1991~2020년) 관측된 자료의 기후학적 평균값

○ 수질 특성

- 영양염류(질소, 인) : 연평균 T-N 3.562 mg/L(2.363 ~ 6.026 mg/L),
연평균 T-P 0.198 mg/L(0.110 ~ 0.297 mg/L)
 - 하천 생활환경기준³⁾(T-P) : 보통(Ⅲ)
 - 영양염류 농도의 잦은 변동으로 경향성 판단 어려움
- 유기물 : 연평균 BOD 6.0 mg/L(2.6 ~ 14.9 mg/L)
연평균 COD 5.6 mg/L(2.8 ~ 10.3 mg/L)
 - 클로로필-a 농도와 비례하여 증감
- 클로로필-a : 연평균 Chl-a 42.0 mg/L(1.9 ~ 126.9 mg/L)
 - 적조 외 다른 식물성 플랑크톤(규조류, 남조류) 영향

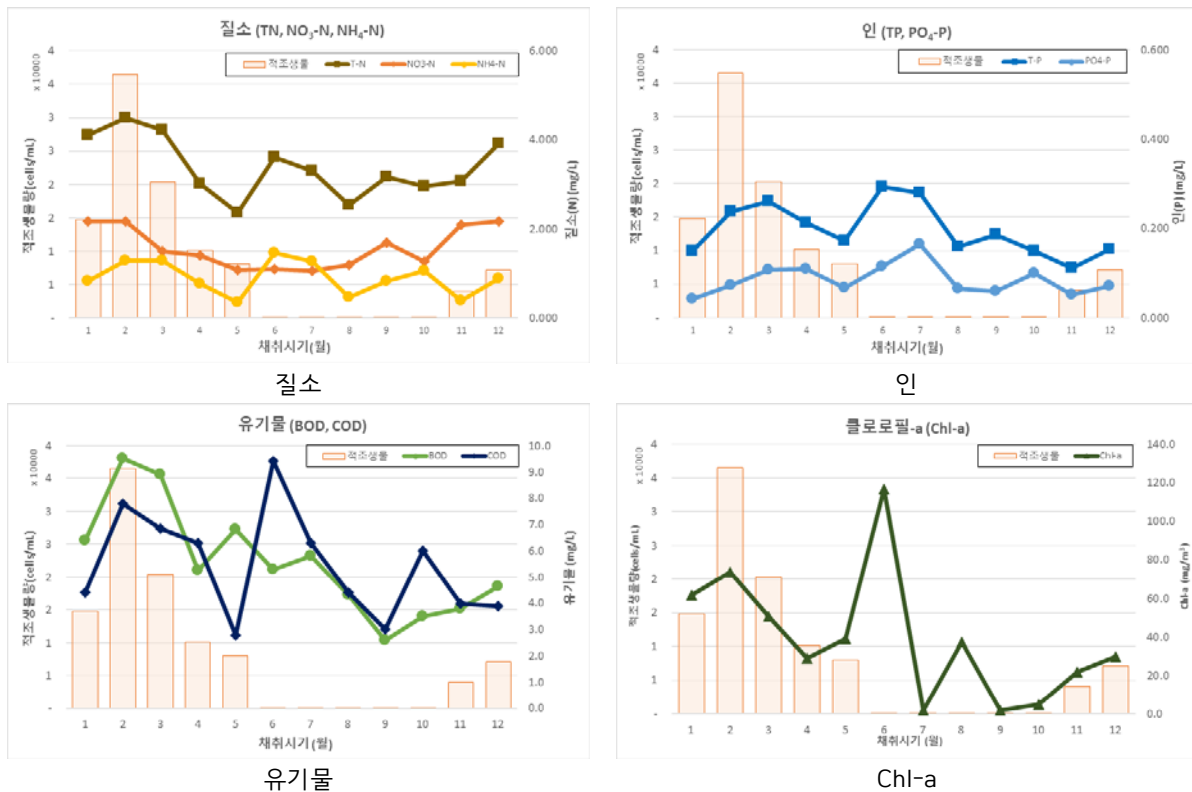


그림 4. 월별 수질 항목 결과

- 한국형 부영양화 지수(TSI_{KO})⁴⁾ : 연평균 63 (부영양상태)
 - 수계 내 항상 부영양화 상태(6월 최대 80)
 - 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)

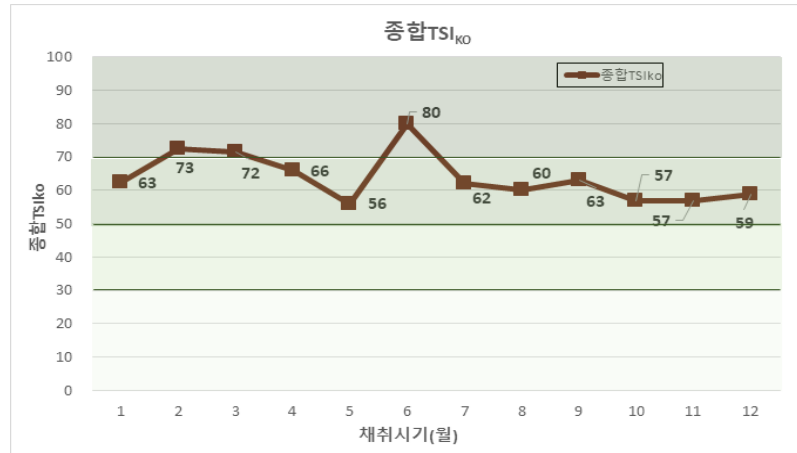


그림 5. 월별 부영양화 지수

○ 조류 분류군별 현황

- 적조생물(Cryptomonads(크립토모나드), 갈색편모조류)
 - 시기별 출현 현황 : 5 ~ 65,866 cells/mL
 - 동월 개체수 변동폭 큼(2월 편차 58,733 cells/mL)
 - 강우에 따른 적조 군집조성 변화 및 생체량 감소
(10일 누적강우량 : (2/13) 19.6 mm, (2/28) 94.7 mm)
 - 적조생물은 번성과 소멸 반복, 온천천·수영강 하구에 항상 존재

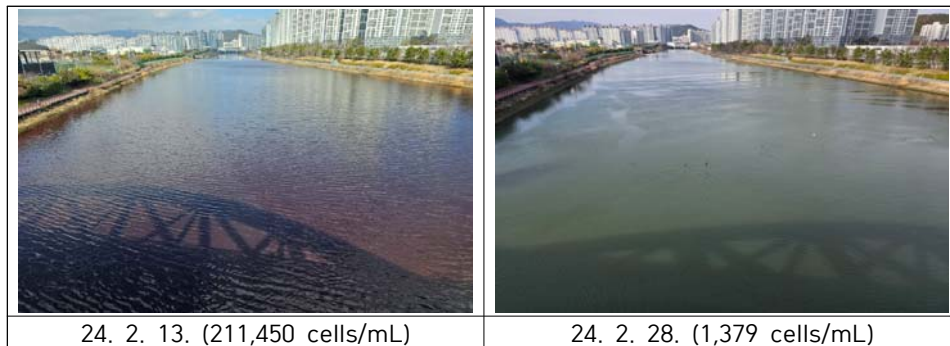


그림 6. 동월 과정교 지점 현장사진(적조생물 개체수)

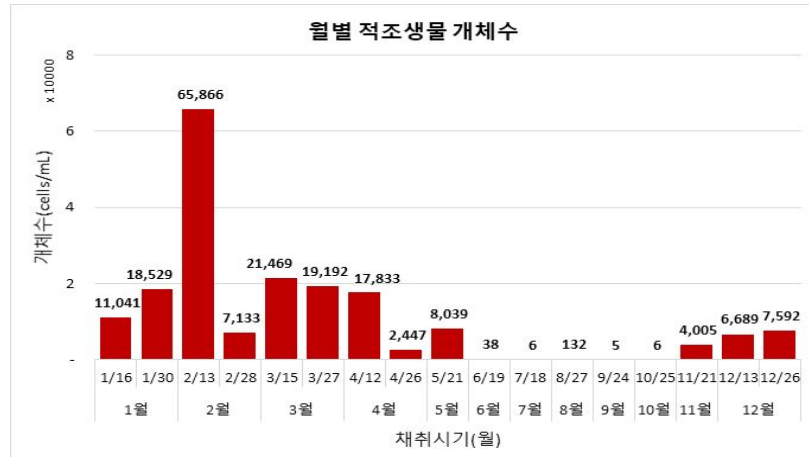


그림 7. 월별 지점 평균 적조생물 개체수

- 적조 발생규모 : 전년대비 약 1.3배 감소(△ 2,574 cells/mL)
→ 강수 영향 (24년 1697.6 mm < 23년 2191.4 mm)

표 1. 연도별 평균 적조생물 개체수 및 연강수량

항목 \ 연도	2022년	2023년	2024년
적조생물 개체수 (cells/mL)	29,929	8,604	11,178
강수량 (mm/년)	991.6	2191.4	1697.6

- 지점별 출현 현황
 - ▷ 과정교 > 원동교 > 수영강합류부 > 안락교 > 연산교 > 세월교 > 연안교
 - ▷ 하류(과정교)에서부터 발생한 적조생물이 하천 중 체류 심한 합류부 구간(안락교~원동교)에서 주로 분포

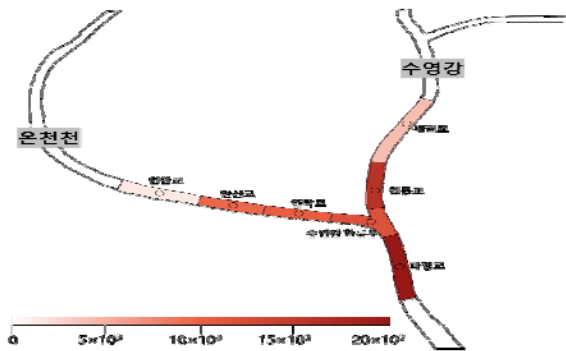


그림 8. 지점별 출현 현황

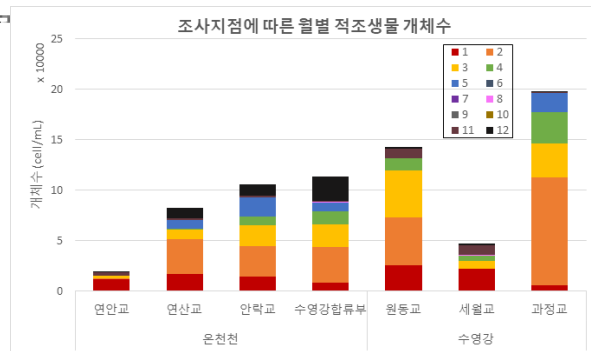


그림 9. 월별 적조생물 개체수

- 조류 분류군별 출현 현황
 - 연중 적조생물 점유율 : 0.1 ~ 96.0 %
 - 동절기(1~5월) 적조 집중 번성(최대 36,500 cells/mL)
 - 적조생물 7회(1~5월, 11~12월), 규조류 3회(3, 8, 10월), 남조류 2회(7, 9월) 우점
→ 전년대비 적조생물 우점횟수 증가(3회)

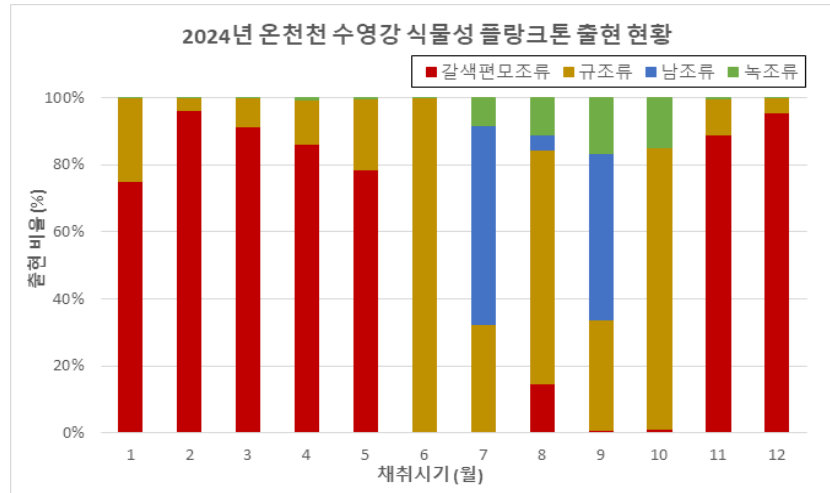


그림 10. 시기별 식물성 플랑크톤 출현 비율

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

월	갈색편모조류 (Cryptomonads)			규조류			남조류			녹조류		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
1	1,530	25,521	14,785 (74.9%)	361	312	4,927 (25.0%)					4	23 (0.1%)
2	110,436	19,040	36,500 (96.0%)	298	1,092	1,501 (3.9%)						28 (0.1%)
3	61,550	19,266	20,331 (91.4%)	789	480	1,878 (8.4%)				13		24 (0.1%)
4	62,676	2,366	10,140 (86.0%)	1,892	21,548	1,566 (13.3%)		4		164	20	79 (0.7%)
5	368	9,659	8,039 (78.4%)	723	11,885	2,168 (21.1%)		43		123	80	52 (0.5%)
6	923	548	38 (0.1%)	7,133	18,836	48,415 (99.7%)	469	134	28 (0.1%)	183	46	62 (0.1%)
7	20	56	6 (0.6%)	835	271	312 (31.9%)	809	52	578 (59.1%)	464	21	82 (8.4%)
8	3,923	28	132 (14.6%)	1,887	594	631 (69.9%)	1,192	3,200	41 (4.5%)	364	92	99 (11.1%)
9	26	17	5 (0.8%)	15,948	109	204 (32.9%)	105	1,564	307 (49.4%)	81	91	104 (16.7%)
10	298	688	6 (1.1%)	639	3,278	471 (83.8%)		286		45	29	84 (14.9%)
11	174	733	4,005 (89.0%)	778	885	478 (10.6%)				48	20	16 (0.4%)
12	1,140	1,080	7,141 (95.6%)	335	589	325 (4.4%)				14	21	4 (0.0%)

- 적조생물과 수질인자 간 상관성 (표 3 참고)
 - DO, BOD, COD, Chl-a 와의 높은 상관성
 - 광영양 조류의 번성과 소멸에 따른 영향 큼
 - 질소계열(TN, DTN, NO₃-N, NH₄-N)과의 상관성
 - 온천천·수영강 수계는 항상 부영양 상태이므로 조류 발생의 제한인자로 판단하기 어려움
 - 적조 발생요인은 수질인자 외 강수량, 체류시간, 일사량 등과 복합적 평가 필요

표 3. 2024년 온천천·수영강 수계 적조생물과 수질인자 간 상관분석

	수온	염분	DO	pH	BOD	COD	클로로필-a
적조생물 개체수	-.478	.249	.688**	.376	.919**	.527*	.659**
	TN	NO ₃ -N	NH ₄ -N	DTN	TP	PO ₄ -P	DTP
적조생물 개체수	.805**	.499*	.508*	.715**	.287	-.301	-.065

* 유의확률 $p < 0.05$, ** 유의확률 $p < 0.01$

○ 요약 및 결론

- 강우에 따른 적조 군집 구성과 생체량 영향 크게 작용
- 수계 내 항상 부영양화 상태 유지(종합 TSI_{KO} 연평균 63)
- 전년대비 적조 발생규모 약 1.3배 증가(2,574 cells/mL)
 - 강수 영향 (24년 1697.6 mm < 23년 2191.4 mm)
- 하류(과정교)에서 발생한 적조생물이 하천 중 체류가 심한 합류부 구간(안락교~원동교) 에서 주로 분포 (과정교 > 원동교 > 수영강합류부 > 안락교 > 연산교 > 세월교 > 연안교)
- 적조생물 7회(1~5월, 11~12월) 우점
 - 동절기(1~5월) 적조 집중 발생(최대 36,500 cells/mL)
- 조석에 따른 군집 이동으로 지점별, 시기별 개체수 변동 큼
- 온천천·수영강 수계는 광영양 조류의 번성과 소멸에 따른 영향 큼
- 적조 발생요인은 수질인자 외 강수량, 체류시간, 일사량 등과 복합적 평가 필요

4. 활용방안

- 시 하천관리과 및 관할구청 적조관련 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