

생물측정망 운영

- 부산 25개 하천 30개 지점 수생태계 건강성 조사
- 저서동물 수질오염지표를 활용한 생태친화적 수질 평가 실시

1. 조사개요

- 조사근거
 - 물환경보전법 제9조3(수생태계 현황조사 및 건강성 평가)
 - 「2021년 생물측정망 운영 계획」(2021. 1. 29.)
- 조사목적 : 생태적 측면의 물환경 평가 및 생태하천 관리 지원
- 조사시기 : 주요 10개 지점 분기 1회, 30개 지점 반기 1회
- 조사대상 : 25개 하천 30개 지점(그림1)

2. 조사방법

- 조사내용 : 저서동물 균집분석 및 생태지수 산정(붙임1)
- 「수생태계 현황조사 및 건강성 평가 방법 등에 관한 지침(2019. 11.)에 따름



그림 1. 수생태계 건강성 조사 지점

3. 수생태계 현황

- 2021년 25개 하천 30개 지점에 대한 수생태계 건강성 평가결과, A(매우 좋음) 1개소, B(좋음) 5개소, C(보통) 8개소, D(나쁨) 6개소, E(매우나쁨) 10개소
- B 등급 이상 : 총 6개 지점으로 2018 ~ 2020년(7 ~ 10개)보다 감소
 ⇒ 우동천, 구덕천 수생태계 악화(2020년 B등급 → 2021년 C등급)

담당부서 : 물환경생태팀(☎051-309-2916)
 팀장 : 이정규, 담당자 : 김민정

- D 등급 이하 : 총 16개 지점으로 2018 ~ 2020년(7 ~ 11개)보다 증가
 ⇒ 2021년부터 오염 하천(감전천, 대리천, 대연천 등) 추가 조사 영향

표 1. 수생태계 건강성(연도별 평균) 등급 분포

2018년					2019년					2020년					2021년				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	7	5	4	5	1	6	8	3	4	2	8	3	5	6	1	5	8	6	10

※ 2018 ~ 2020 : 동천 2개 지점 제외(하천 공사)

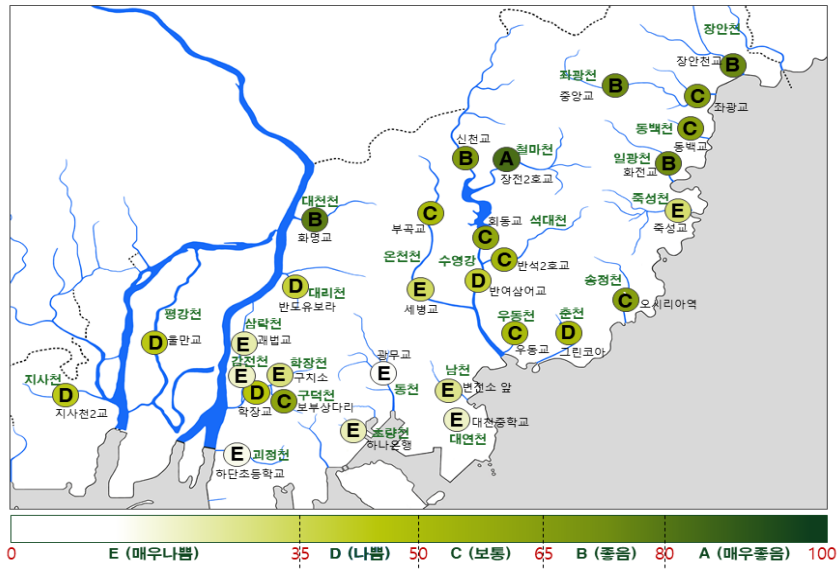


그림 2. 수생태계 건강성 등급 현황(BMI 지수 및 등급, 2021년 평균)

- 출현종수는 철마천(장전2호교)에서 평균 36종으로 최대, 괴정천(하단초등학교)에서 평균 2종으로 최소
- 개체수 밀도는 대리천(반도유보라)에서 오염지표생물(붉은갈따구)의 과다번성으로 최고값(평균 10,696 개체/m², 괴정천(하단초등학교)에서 최저값(평균 83 개체/m²) 보임
- 다양도지수는 철마천(장전2호교)에서 4.3으로 최대, 괴정천에서 0.5로 최소
 ⇒ 괴정천(하단초등학교)는 가장 낮은 출현종수, 개체수밀도, 다양도지수를 보여 아주 열악한 생태적 상태를 보임

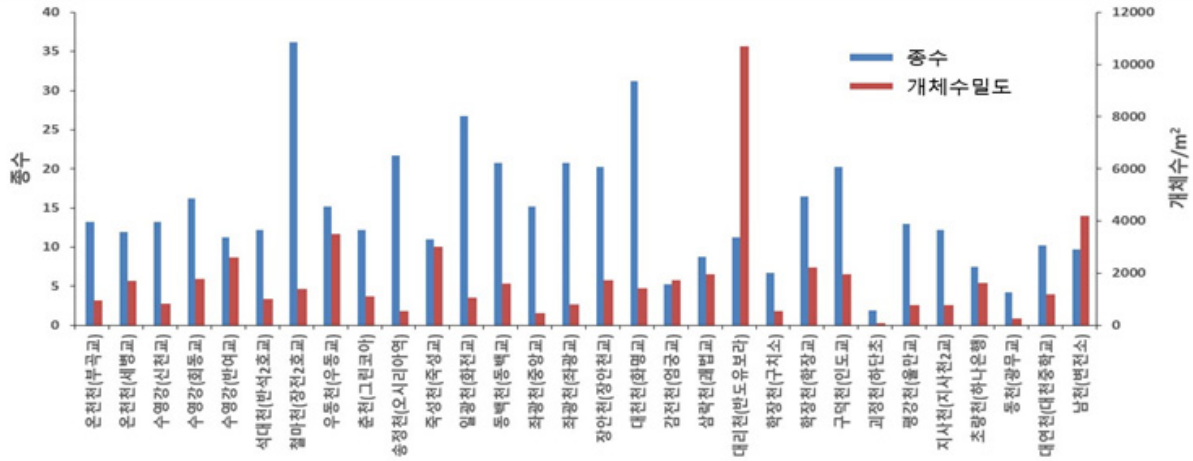


그림 3. 수생태계 건강성 등급 현황(BMI 지수 및 등급, 2021년 평균)



그림 4. 다양도지수 현황(2021년 평균)

4. 수계별 수생태 현황

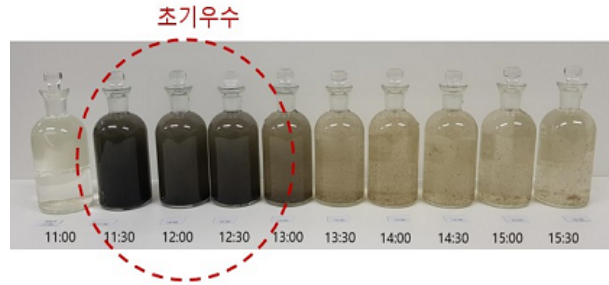
□ 수영강 수계

○ 온천천

- 수질(BOD)은 상류 부곡교에서 평균 3.3 mg/L, 하류 세병교에서 평균 2.0 mg/L으로 상류에서 약간의 오염 관찰됨
- BMI(저서동물지수)는 부곡교에서 평균 C등급이나, 세병교에서 평균 E 등급으로 하류에서 크게 악화됨
⇒ 강우 시 하수유희수(CSOs)와 비점오염물질 유입량이 하류에서 대폭 증가, 하류 생태계에 충격 유발



a. 초기 강우 시 세병교 지점 하천수



b. 초기 강우 시 하천수 색상 변화

그림 5. 강우 시 온천천 세병교 수질 변동(2021. 11. 8.)

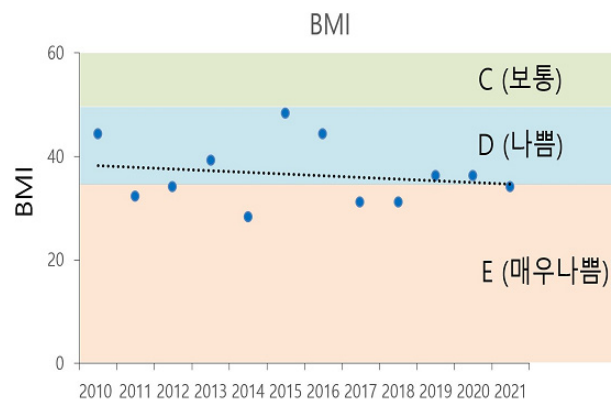
갈수기 초기 강우 시 BOD는 최대 493.0 mg/L까지 상승하였는데, 평상시 수질이 양호해도 강우 시 이러한 오염 현상이 반복되어 수생태계 건강성을 약화시킴

○ 수영강, 석대천

- 수영강 신천교와 회동교 지점은 BOD 평균 2.0 ~ 2.6 mg/L(I b ~ II 등급), BMI B ~ C 등급으로 양호한 수준
- 수영강(반여삼어교)지점은 BOD 7.1 mg/L 및 BMI D등급으로 두 지표 모두 나쁜 상태이며 매년 악화되는 경향을 보임
- ⇒ 맑은 날에도 악화된 수질을 보이고 있어 수영강 중류, 석대천 일대 하수관거, 배출시설 등 점검·보수 필요



a. 수영강 반여삼어교 지점 연도별 BOD



b. 수영강 반여삼어교 지점 연도별 BMI

그림 6. 수영강(반여삼어교)의 BOD와 BMI 장기 추세(..... 추세선)

수영강 반여삼어교 지점의 BOD가 서서히 증가 추세이며 이에 따라 BMI도 D와 E등급에 머물고 있어, 수영강 중류 수질 회복이 수생태 회복에 중요

표 2. 수영강 수계 저서동물 현황 및 생태지수 등(2021년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m ²	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
수영강 수계	온천천	부곡교	13	967	2.563	0.631	51	C	3.3	III
		세병교	12	1,708	2.128	0.678	34	E	2.0	I b
	수영강	신천교	13	835	2.300	0.687	67	B	2.0	I b
		회동교	16	1,781	1.846	0.807	59	C	2.6	II
		반여삼어교	11	2,597	2.147	0.731	35	D	7.1	IV
	석대천	반석2호교	12	1,011	2.508	0.629	56	C	5.0	III
	철마천	장전2호교	36	1,394	4.252	0.327	83	A	0.8	I a

□ 동부산 수계

○ 우동천

- 2021년부터 관측된 하수 월류의 지속으로 BOD 평균 13.3 mg/L(2020년 0.6 mg/L) 및 BMI C등급(2020년 B등급)으로 악화
- ⇒ 우안 유입 하수관거 용량 증설 및 보수 등 조치 필요

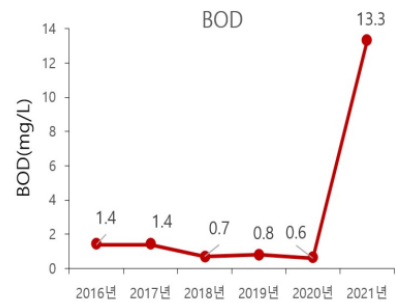


그림 7. 우동천 우안 하수 월류 상황 및 연도별 우동천 수질변화

2000년 이전에는 사진의 ①번 지점으로 흐르는 장산 계곡수가 대부분이었으나 2001년 이후 ②번 지점에서 월류되는 오수량이 증가하여 수질이 급격히 악화

○ 춘천

- 수질은 BOD 평균 1.2 mg/L (I b 등급)으로 양호하나 BMI는 D 등급으로 과거에 비해 악화(2020년 : C등급)
- ⇒ 춘천 재해복구공사(21년 5 ~ 9월 시행)로 인한 하상 교란에 의해 과년도 대비 일시적으로 악화 추정됨

○ 죽성천

- BOD는 평균 4.3 mg/L(III등급)이었으나, BMI는 E등급으로 악화
- 죽성천의 유지용수원인 기장하수처리장의 방류수 BOD가 1.0 mg/L인점을 고려할 때 평상시에도 오수 등의 유입이 추정됨
- ⇒ 죽성천 상류 복개구간 하수유입 저감 및 강우 시 비점오염 저감 등 필요

○ 송정천, 일광천, 동백천, 좌광천, 장안천

- BOD 평균 I a ~ III 등급, BMI B ~ C 등급으로 상대적으로 수질 및 생태적으로 양호
- 송정천 및 일광천에서는 멸종위기 야생생물인 기수갈고둥이 발견되어, 전문생태조사 및 보호 조치 필요함



그림 8. 기수갈고둥(송정천)

표 3. 동부산 수계 저서동물 현황 및 생태지수 등(2021년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m ²	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
동부산 수계	우동천	우동교	15	3,491	1.687	0.796	52	C	13.3	VI
	춘천	그린코아 Apt.	12	1,104	2.439	0.688	50	D	1.2	I b
	송정천	오시리아역	22	546	3.431	0.481	64	C	0.7	I a
	죽성천	죽성교	11	3,014	1.518	0.822	32	E	4.3	III
	일광천	화전교	27	1,056	3.235	0.521	70	B	0.6	I a
	동백천	동백교	21	1,596	2.091	0.734	62	C	0.7	I a
	좌광천	중앙교	15	465	2.783	0.594	72	B	1.2	I b
		좌광교	21	800	2.783	0.399	65	C	2.1	II
장안천	장안천교	20	1,722	2.581	0.657	74	B	1.0	I a	

□ 서부산 수계

○ 대천천, 구덕천

- BOD 두 지점 모두 0.6 mg/L, BMI B ~ C등급으로 양호하나 구덕천에서는 BMI 등급 하락(2020년 B등급 → 2021년 C등급) : 구덕천 유역 오수 무단 투기 등 점검 필요

○ 감전천

- BOD 9.6 mg/L(V등급), BMI E등급으로 수질과 수생태 모두 악화
- 유역이 공업단지이므로 배출업소 점검, 오·폐수 관거 및 강우 시 비점오염 관리 등이 수생태계 관리에 중요

○ 삼락천, 학장천

- BOD는 평균 2.3 ~ 3.2 mg/L(II ~ III등급)이나 BMI는 D ~ E 등급으로 악화
- 평상시 수질은 양호하지만 강우 시 유입되는 하수 월류수 및 비점오염에 의한 수질 악화가 수생태 악화의 주요 원인

○ 괴정천

- BOD 평균 4.4 mg/L(III 등급), BMI 평균 E등급으로 수질에 비해 수생태계가 악화되어 있음
- 하상 퇴적물은 검게 혐기화되었으며, 출현종 2종, 개체밀도 83 개체/m²으로 매우 빈약한 상태를 보임
- 하수관거 정비 등을 통한 하수 유입 차단에 집중 필요

○ 평강천(울만교)

- 평강천은 BOD 평균 5.9 mg/L(IV 등급), BMI 평균 D등급으로 수질 및 수생태계 다소 악화
- 평강천은 정체구간으로 유입된 오염물질이 장기간 축적되므로 비점오염 차단 및 유속을 확보하여 정체현상

- 해소 필요
- 대리천(반도유보라)
 - BOD 평균 4.9 mg/L(Ⅲ등급), BMI 평균 D등급으로 다소 악화된 상태
 - 오염지표종인 붉은갈따구가 대량 번식하는 현상이 나타났는데 오수 유입이 원인으로 생각되며 오수 차단에 좀 더 집중 필요
- 지사천(지사천2교)
 - 지사천은 평상시의 수질은 BOD 0.6 mg/L(Ⅰa 등급)으로 양호하나 BMI 평균이 D등급으로 상호 간의 격차가 매우 큼
 - 강우 시 비점오염이 수생태 악화의 원인으로 생각되며 유역 산업단지 배출시설 지도 점검, 비점오염원 감시 등 필요

표 4. 서부산 수계 저서동물 현황 및 생태지수 등(2021년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m ²	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
서 부 산 수 계	대천천	화명교	31	1,417	3.685	0.408	78	B	0.6	I a
	감전천	엄궁교	5	1,724	0.917	0.917	22	E	9.6	V
	삼락천	괘법교	9	1,960	1.693	0.759	23	E	3.2	Ⅲ
	대리천	반도유보라	11	10,696	1.882	0.719	39	D	4.9	Ⅲ
	학장천	구치소 앞	7	541	1.711	0.745	31	E	2.3	Ⅱ
		학장교	16	2,208	2.279	0.710	45	D	2.4	Ⅱ
	구덕천	인도교	20	1,948	2.917	0.582	63	C	0.6	I a
	괴정천	하단초	2	83	0.501	1.000	14	E	4.4	Ⅲ
	평강천	울만교	13	774	2.586	0.586	42	D	5.9	Ⅳ
	지사천	지사2교	12	767	2.312	0.679	43	D	0.6	I a

□ 중부산 수계

- 초량천(하나은행), 대연천(대천중학교)
 - 하천 복원 완료되었으나 각각 BOD 평균이 9.9 mg/L(V등급), 8.8 mg/L(V등급)으로 오수 유입이 의심됨
 - BMI도 두 지점 모두 평균 E등급으로 아직 악화된 상태임
 - 오수 유입 차단 및 비점오염 저감이 생태회복 위해 필요
- 동천(광무교)
 - BOD 평균 10.0 mg/L(V등급)으로 하류 지점보다 수질오염도 높음
 - ※ 2001년 BOD 평균 : 범4호교(4.1 mg/L), 범일교(4.9 mg/L)
 - ⇒ 복개구간에서의 오수 유입 의심되며, 광무교 지점 해수 도수 되지 않기 때문
 - BMI 평균도 E등급으로 아주 악화된 상태임
 - 오수 유입 차단 및 광무교 지점 해수 도수 등의 노력 필요
- 남천(변전소앞)
 - BOD 평균 3.9 mg/L(Ⅲ등급)으로 중부산 수계에서 상대적으로 양호한 수질을 보이나, BMI는 평균 E등급으로 수생태계 악화
 - 오염지표종인 붉은갈따구가 전체의 64.6 %로 나타나 지속적으로 오수 등 유기물이 유입되는 것으로 판단됨
 - 관로 정비 등을 통한 오수 유입 차단 필요

표 5. 중부산 수계 저서동물 현황 및 생태지수 등(2021년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m ²	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
중부산 수계	초량천	하나은행	7	1,613	1.542	0.810	22	E	9.9	V
	동천	광무교	4	255	0.975	0.862	15	E	10.0	V
	대연천	대천중학교	10	1,180	2.059	0.663	22	E	8.8	V
	남천	변전소	10	4,185	1.470	0.772	30	E	3.9	III

5. 요약 및 결론

- 2021년 25개 하천 30개 지점 수생태계 건강성(BMI 등급) 평가 결과, A(매우 좋음) 1개소, B(좋음) 5개소, C(보통) 8개소, D(나쁨) 6개소, E(매우 나쁨) 10개소
 - 과년도에 비해 BMI D등급 이하 지점 다소 증가
 - ⇒ 2021년에 오염하천(감전천, 대리천, 대연천, 남천 등)에 대한 추가 조사
- 수생태계 영향 요인

주요 요인	세부 내역
지속적 오수 유입	- 오수관거 용량부족, 파손, 막힘 - 분류식 관거 미보급 - 관거 오점으로 인한 오수 유입
강우 시 비점오염 및 하수월류수(CSOs) 발생	- 강우 시(특히 갈수기) 고농도 오염수 유입 → 산소고갈, 하상부패 등 생태계 충격 유발
하천수 체류	- 오염물질의 지속적 축적, 입자 퇴적

- 수생태계 건강성 확보 방안
 - 오수 유입 방지 : 분류식 하수관거 확대 및 관거 오점 관리, 관로 정기 점검 등
 - 비점오염 대책 실시 : 우수관거 등 퇴적물 등 제거, 비점오염 저감시설 설치 등
 - 유수용수 확보 및 하천수 흐름 증대

6. 활용방안 및 기대효과

- 수질 뿐 아니라 생태환경을 아우르는 친생태적 수환경 평가
- 생태하천 복원 사업 참고자료 제시 및 성과 모니터링
- 수생태환경 시민 정보 제공 및 친생태 도시로서의 시정 홍보

- 붙임 1. 생태지수 산정공식 등(국립환경과학원 지침)
 2. 조사지점 분기별 우점종(2021년)
 3. 저서동물 출현종 촬영사진(2021년)

붙임 1. 생태지수 산정공식 등

지수	계산식	지수의 의미		
		지수 범위	등급	상태
저서동물지수(BMI)	$BMI = \left(4 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25$	$80 \leq BMI \leq 100$	A	매우 좋음
		$65 \leq BMI < 80$	B	좋음
		$50 \leq BMI < 65$	C	보통
		$35 \leq BMI < 50$	D	나쁨
		$0 \leq BMI < 35$	E	매우 나쁨
<i>si</i> : 단위오탁지수, <i>hi</i> : 출현도, <i>gi</i> : 지표가중치				
다양도지수(H')	$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, \quad (p_i = \frac{N_i}{N})$ <p><i>N_i</i> : <i>i</i> 종의 개체수, <i>N</i> : 총 출현개체수</p>			
우점도지수(DI)	$DI = \frac{N_1 + N_2}{N}$ <p><i>N</i> : 총 출현개체수 <i>N₁</i>, <i>N₂</i> : 제 1, 2 우점종 개체수</p>			

- * 저서동물(저서성대형무척추동물, Benthic Macroinvertebrate)
 - 하천바닥에 서식하는 수서곤충, 조개류, 갑각류, 거머리 등 다양한 무척추동물
 - 생태적 중요성과 환경지표성이 커, 수생태환경 평가에 가장 폭넓게 활용됨
- * 저서동물지수(Benthic Macroinvertebrate Index)
 - 환경 지표생물군(저서동물 군집)을 활용한 생물학적 수질 판정 지수
 - 개별 생물종마다 설정된 오탁지수와 가중치를 통해 산정된 지수를 이용하여 A(매우 좋음) ~ E(매우 나쁨)의 5단계로 구분하여 평가
- * 다양도 지수(Species Diversity Index)
 - 생물 군집 내 종의 다양성, 생태적 안정성 판정지수이며 높을수록 양호 상태
- * 우점도 지수(Dominance Index)
 - 특정 생물종 개체수의 총개체수에 대한 비이며, 환경 악화 시 우점도지수 증가

붙임 2. 조사시기별 우점종(2021년)

지점명	채집시기		1분기		2분기		3분기		4분기	
			우점종 (오탁지수)	출현률 (%)	우점종 (오탁지수)	출현률 (%)	우점종 (오탁지수)	출현률 (%)	우점종 (오탁지수)	출현률 (%)
수영강수계	온천천	부곡교	-	-	플라나리아 (0.7)	41.2	-	-	갈따구 (1.7)	56.9
		세병교	실지렁이 (3.5)	84.5	갈따구red (3.4)	28.7	물벌레 (2.3)	31.7	실지렁이 (3.5)	51.8
	수영강	신천교	-	-	갈따구 (1.7)	54.6	-	-	갈따구 (1.7)	52.2
		회동교	-	-	갈따구 (1.7)	50.0	-	-	갈따구 (1.7)	69.9
		반여삼어교	실지렁이 (3.5)	56.7	갈따구red (3.4)	47.0	갈따구 (1.7)	47.0	갈따구 (1.7)	41.1
	석대천	반석2교	-	-	갈따구 (1.7)	34.5	-	-	갈따구 (1.7)	46.7
	철마천	장전2교	-	-	네점하루살이 (0.6)	29.9	-	-	애널도래 (0.8)	17.0
동부산수계	우동천	우동교	-	-	갈따구red (3.4)	86.5	-	-	원돌이물달팽이 (2.7)	35.4
	춘천	그린코아	-	-	-	-	-	-	갈따구 (1.7)	47.3
	송정천	오시리아역	-	-	갈따구 (1.7)	42.0	-	-	갈따구 (1.7)	27.4
	죽성천	죽성교	실지렁이 (3.5)	91.6	실지렁이 (3.5)	37.5	물달팽이 (1.6)	73.3	갈따구 (1.7)	58.8
	일광천	화전교	-	-	물달팽이 (1.6)	40.7	-	-	꼬마줄날도래 (0.6)	29.0
	동백천	동백교	-	-	물달팽이 (1.6)	56.8	-	-	물달팽이 (1.6)	77.5
	좌광천	중앙교	-	-	명주각다귀 (0.4)	31.6	-	-	갈따구 (1.7)	41.6
		좌광교	-	-	갈따구 (1.7)	27.1	-	-	갈따구 (1.7)	17.9
	장안천	장안천교	-	-	갈따구 (1.7)	62.1	-	-	갈따구 (1.7)	42.0
서부산수계	대천천	화명교	-	-	갈따구 (1.7)	21.8	-	-	갈따구 (1.7)	32.8
	감전천	엄궁교	실지렁이 (3.5)	91.5	실지렁이 (3.5)	99.7	갈따구red (3.4)	38.2	실지렁이 (3.5)	47.6
	삼락천	괘법교	실지렁이 (3.5)	97.7	갈따구red (3.4)	39.2	조개넙적거머리 (3.0)	36.0	실지렁이 (3.5)	39.0
	대리천	반도유보라	-	-	갈따구red (3.4)	73.7	-	-	물벌레 (2.3)	27.6
	학장천	구치소	-	-	갈따구 (1.7)	45.8	-	-	갈따구 (1.7)	70.6
		학장교	실지렁이 (3.5)	58.4	갈따구 (1.7)	42.3	갈따구 (1.7)	31.3	물벌레 (2.3)	43.6
	구덕천	보부상다리	-	-	개똥하루살이 (1.8)	32.2	-	-	실지렁이 (3.5)	39.3
	과정천	하단초	나방파리 (3.5)	81.5	-	-	나방파리 (3.5)	100	나방파리 (3.5)	75.0
	평강천	울만교	실지렁이 (3.5)	53.5	갈따구 (1.7)	38.1	논우렁이 (1.8)	21.7	원돌이물달팽이 (2.7)	56.4
	지사천	지사2교	-	-	실지렁이 (3.5)	35.6	실지렁이 (3.5)	50.3	-	-
중부산수계	초량천	하나은행	갈따구red (3.4)	95.8	갈따구red (3.4)	59.1	실지렁이 (3.5)	53.8	원돌이물달팽이 (2.7)	53.6
	동천	광무교	실지렁이 (3.5)	50.0	실지렁이 (3.5)	37.3	실지렁이 (3.5)	100	실지렁이 (3.5)	96.7
	대연천	대천중학교	-	-	실지렁이 (3.5)	64.9	-	-	갈따구red (3.4)	26.2
	남천	변전소앞	-	-	갈따구red (3.4)	90.3	-	-	개똥하루살이 (1.8)	36.3

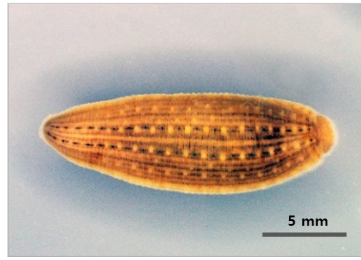
※ 오탁지수 : 0.0 ~ 4.0 범위 값을 가지며, 오염지표생물일수록 그 값이 커짐,

※ 1분기, 3분기 : 10개 지점에 대해서 조사 실시

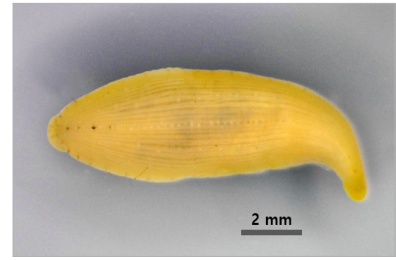
붙임 3. 저서동물 출현종 촬영사진(2021)



실지렁이(죽성천)



갈색넙적거머리(동백천)



조개넙적거머리(수영강 반여삼어교)



수정또아리물달팽이(죽성천)



원돌이물달팽이(좌광천 중앙교)



다슬기(일광천)



물벌레(우동천)



새뱅이(송정천)



검은물잠자리(대천천)



동양하루살이(수영강 신천교)



너도나방파리(동천)



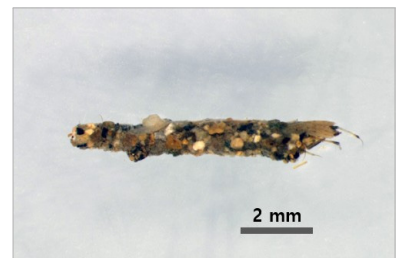
별모기(대천천)



꼬마줄날도래(온천천 세병교)



애날도래(수영강 신천교)



청나비날도래(장안천)