



표 1. 생태지수 산정공식 등

지수	계산식	지수의 의미		
		지수 범위	등급	상태
저서동물지수(BMI)	$BMI = \left( 4 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25$ <p><i>s<sub>i</sub></i>: 단위오탁지수, <i>h<sub>i</sub></i>: 출현도, <i>g<sub>i</sub></i>: 지표가중치</p>	$80 \leq BMI \leq 100$	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
다양도지수(H')	$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, \quad (p_i = \frac{N_i}{N})$ <p><i>N<sub>i</sub></i>: <i>i</i> 종의 개체수, <i>N</i>: 총 출현개체수</p>	$> 4.00$		매우 양호
		$3.00 \sim 4.00$		양 호
		$2.00 \sim 3.00$		다소 양호
		$1.00 \sim 2.00$		불 량
		$0.00 \sim 1.00$		매우 불량
우점도지수(DI)	$DI = \frac{N_1 + N_2}{N}$ <p><i>N<sub>1</sub></i>, <i>N<sub>2</sub></i>: 제 1, 2 우점종 개체수 <i>N</i>: 총 출현개체수</p>	$< 0.25$		매우 양호
		$0.25 \sim 0.50$		양 호
		$0.50 \sim 0.70$		다소 양호
		$0.70 \sim 0.90$		불 량
		$0.90 \sim 1.00$		매우 불량

\* 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

### 3. 조사결과

#### □ 출현종 분포 (그림 2, 3)

- 2016년도에 17개 하천 23개 지점에 대해, 총 4회에 걸쳐 총 25953개체 89종의 저서동물을 채집 및 동정하였음
- 분류군별로는 절지동물문 곤충강이 전체 개체수의 56%, 총 63종 출현하여 가장 높은 빈도로 출현하였고, 하루살이목, 파리목, 날도래목이 전체 곤충강의 99% 이상을 차지하였고, 잠자리목, 강도래목, 노린재목, 뱀잠자리목, 딱정벌레목은 전체 개체수의 0.3 %에 불과하였으나, 총 17종 출현하였음
- 환형동물문은 전체개체수의 30%로 곤충강 다음으로 높은 빈도로 출현하였으나 종수는 실지렁이와 거머리류 등 총 6종뿐이었고 실지렁이가 전체 환형동물의 92%를 차지하였음
- 연체동물문은 전체개체수의 5.6% 만을 차지하였으나 총 14종으로 상대적으로 다양한 종 구성을 보임

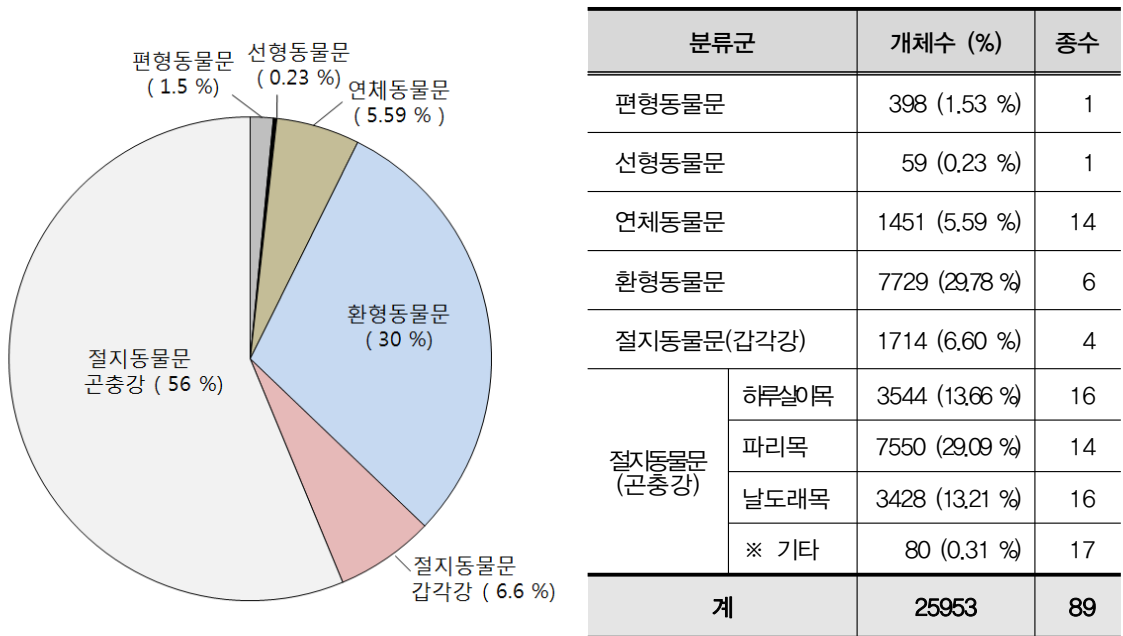


그림 2. 채집 생물 개체수 분포 및 종수

※ 기타 : 잠자리목, 강도래목, 노린재목, 뱀잠자리목, 딱정벌레목

- 지점별 개체수는 죽성천(신천교) 지점이 총 4537개체로 가장 많았고, 이어 온천천(세명교), 학장천(주남교)의 순이었음
- 출현종수는 일광천(화전교)가 총 46종, 대천천(화명교), 철마천(장전2호교)의 순으로 많았음
- 지점별 개체수(individual number)와 종수(species number)는 비례하지 않았는데, 개체수 증가는 오염 등 특이상황에 적응한 일부 종이 과다 증가하는 상황이 대부분이기 때문
- 동천 광무교와 성서교는 하천공사 때문에 총 1회 밖에 채집할 수 없었는데, 채집 당시 1~2종, 2~6개체 정도만 출현하여 거의 저서동물이 출현하지 않았음

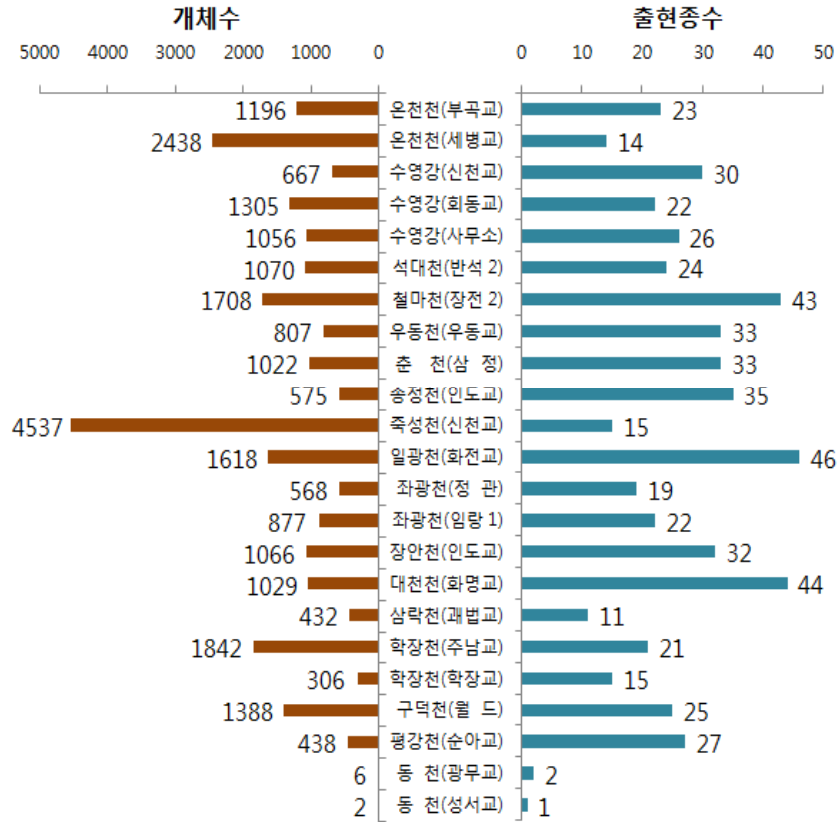


그림 3. 조사지점별 채집 개체수 및 총 출현종수(2016년 전체 합계)

※ 총 4회 조사결과와 합이나 좌광천(임랑1교)는 3회, 학장천(학장교)는 1회, 동천(광무교, 성서교)는 1회 조사결과임

□ 주요 출현종 (표 2)

- 전반적으로 꼬마줄날도래(오탁지수 : 0.6), 개똥하루살이(오탁지수 : 1.8), 물달팽이(오탁지수 : 1.6), 깔따구(오탁지수 : 1.7) 등 오탁지수 2이하의 I~Ⅲ급수 출현종의 우점도가 높음
- 그러나 온천천(세병교), 죽성천(신천교), 삼락천(패법교) 지점은 실지렁이(오탁지수 : 3.5), 붉은색 깔따구(오탁지수 : 3.4) 등 오탁지수 3이상의 오염수 출현종이 지속적으로 우점함
- 떡파리(오탁지수 : 0.2), 명주각다귀(오탁지수 : 0.4) 등 청정수 출현종은 대천천(화명교), 수영강(신천교)에서 우점 관찰됨

□ 생태지수 분포

- 수생태계 건강성 등급(BMI 지수) 분포(그림 4)
  - A(매우 좋음) 등급은 상수원 보호구역으로 관리되고 있는 철마천(장전2호교), 북구 대천천(화명교)지점 등 2지점이었는데 연중 양호한 수량과 수질이 지속적으로 유지되고 있는 지점임

- B(좋음) 등급은 총 8지점으로 수영강 수영강 중류의 신천교, 회동교 지점 및 동부산 수계의 우동천 등 5개 지점, 학장천 지류인 구덕천 지점이 이에 해당함
- C(보통) 등급은 온천천(부곡교), 장안천(인도교)로 총 2지점임
- D(나쁨) 등급은 수영강(수영강 사무소) 지점 등 총 5지점임
- E(매우나쁨) 등급은 온천천(세병교) 지점 등 총 6지점인데, 대부분 인구 밀집 지역 하천의 하류로 강우 시 비점오염원 부하 등이 집중되는 지점에 위치함

표 2. 조사지점 및 조사시기별 우점종 현황

하천명	조사지점	1분기	2분기	3분기	4분기
온천천	부곡교	꼬마줄날도래	물벌레	물벌레	갈따구류
	세병교	실지렁이	실지렁이	실지렁이	붉은색 갈따구
수영강	신천교	명주각다귀	명주각다귀	등딱지하루살이	갈따구류
	회동교	꼬마줄날도래	꼬마줄날도래	꼬마줄날도래	꼬마줄날도래
	수영강사무소	물벌레	물벌레	실지렁이	갈따구류
석대천	반석2호교	물벌레	실지렁이	갈따구류	갈따구류
철마천	장전2호교	꼬마줄날도래	꼬마줄날도래	꼬마줄날도래	줄날도래
우동천	우동교	물달팽이	물달팽이	네점하루살이	플라나리아
춘천	삼정그린코아 옆	꼬마줄날도래	물벌레	물벌레	물벌레
송정천	인도교	갈따구류	등딱지하루살이	등딱지하루살이	갈따구류
죽성천	신천교	붉은색 갈따구	실지렁이	실지렁이	실지렁이
일광천	화전교	줄날도래	갈따구류	동양하루살이	갈따구류
좌광천	정관 인도교	갈따구류	개똥하루살이	개똥하루살이	갈따구류
	임랑1교	-	개똥하루살이	개똥하루살이	줄날도래
장안천	은진사 옆	갈따구류	개똥하루살이	개똥하루살이	갈따구류
대천천	화명교	물달팽이	명주각다귀	물달팽이	먹파리
삼락천	괘법교	붉은색 갈따구	실지렁이	실지렁이	실지렁이
학장천	주남교	실지렁이	실지렁이	돌거머리	갈따구류
	학장교	-	-	개똥하루살이	갈따구류
구덕천	월드빌딩 뒤	갈따구류	갈따구류	물벌레	개똥하루살이
평강천	순아교	실지렁이	물달팽이	논우렁이	논우렁이
동천	광무교	실지렁이	-	-	-
	성서교	붉은색 갈따구	-	-	-

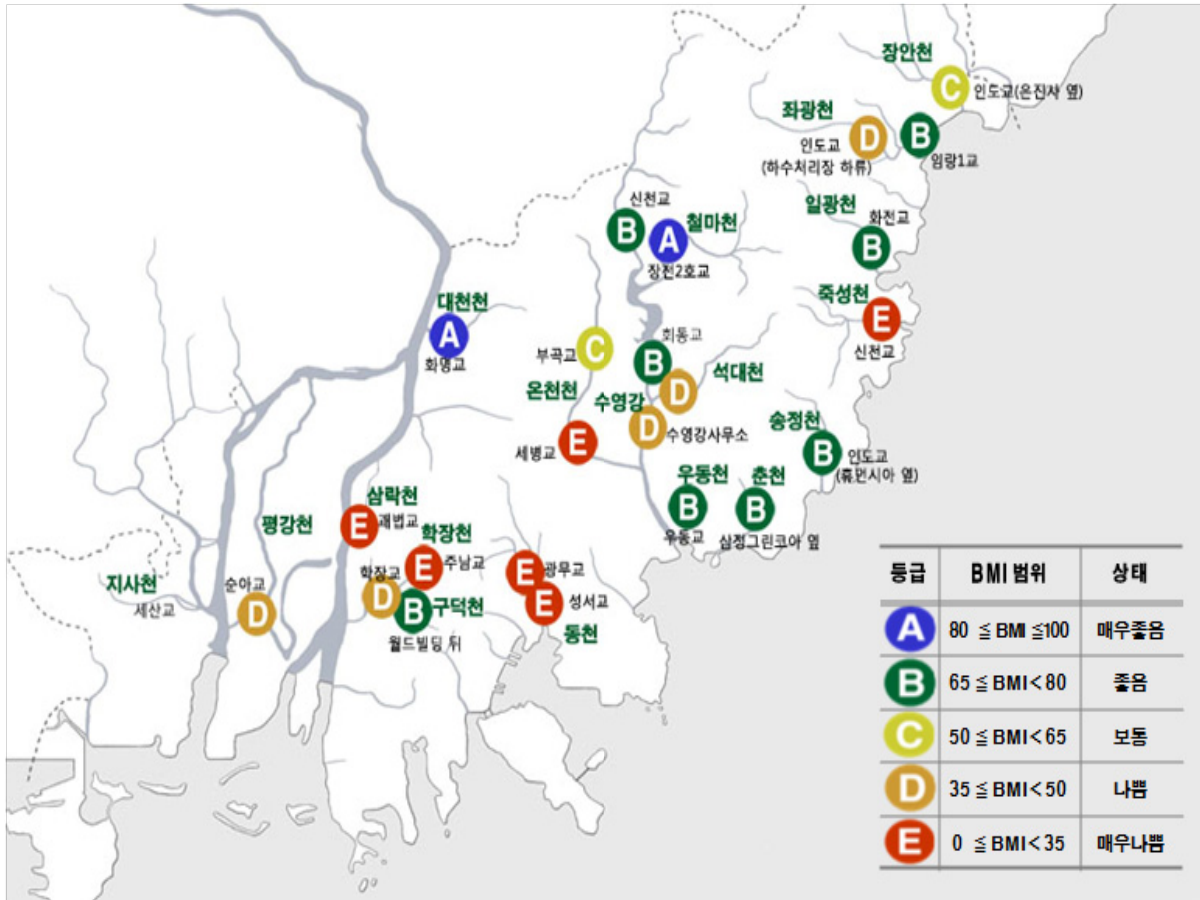


그림 4. 조사지점별 수생태계 건강성 등급 현황(BMI 등급, 2016년 평균)

○ 다양도지수와 우점도지수(그림 5)

- 다양도지수는 3.0 이상으로 양호한 값을 나타내는 지점이 철마천(장전2호교) 등 총 6개소였고, 2.0~3.0의 값을 나타내는 지점이 온천천(부곡교) 등 총 10개였으며, 2.0 이하로 낮은 다양도지수를 나타내는 지점이 총 7개 지점이었음
- 우점도지수는 0.5 이하로 양호한 값을 나타내는 지점이 철마천(장전2호교) 등 총 6개소였고, 0.5~0.7의 값을 나타내는 지점이 온천천(부곡교) 등 총 9개, 0.7 이상의 높은 우점도지수를 나타내는 지점이 총 8개 지점이었음

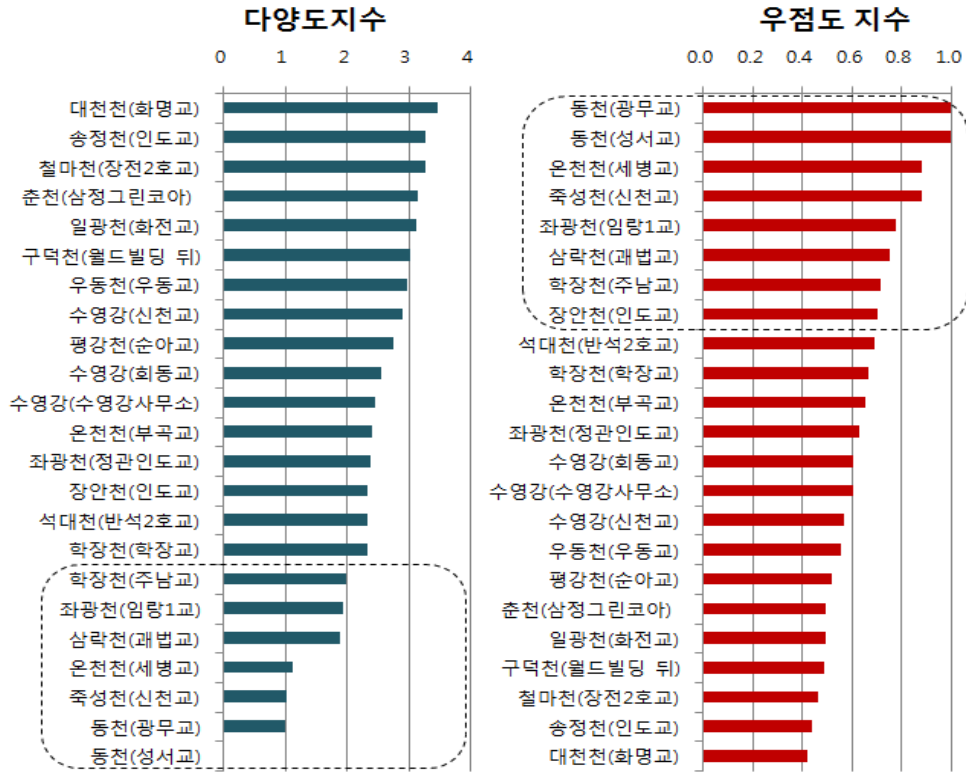


그림 5. 조사지점의 종다양성지수, 우점도 지수의 분포(2016년 평균)

※ 박스 안의 지점(다양도 지수 2.0 이하, 우점도 지수 0.7 이상)은 생태적으로 다소 불안정 상태로 외부 오염 유입 등 수생태계 교란이 추정됨

□ 각 수계별 수질 및 수생태계 등급 특성

○ 수영강 수계

- 상수원 보호구역인 철마천(장전2호교), 수영강(신천교)지점과 회동댐 하류의 수영강(회동교) 지점은 수질은 I b~II 등급, BMI 등급 A~B 등급으로 양호한 수생태 환경 유지
- 도심 한가운데를 흐르는 온천천의 부곡교와 세병교 지점은 수질은 III등급이나 BMI 등급은 세병교 지점에서 급감(III등급)하는데, 낙동강 유지용수가 공급되는 특성상 맑은 날 수질은 비교적 일정하나 강우 시 비점오염원 등 간헐적 오염부하가 하류에서 매우 커 수생태 환경을 악화시킴
- 수영강(수영강사무소)와 석대천(반석2호교) 지점은 수질은 IV등급, BMI 등급은 D등급으로 낮아, 전반적으로 악화된 수질이 수생태계 건강성을 악화시키는 상태로 하수관거 점검 등 수질 개선조치가 필요한 상태이며, 한편 이 지점들의 다양도지수, 우점도 지수는 수질에 비해 다소 양호한데, 유지용수 공급에 의한 하천 유황 개선이 긍정적으로 작용한 것으로 생각됨

표 3. 수영강 수계 생물출현현황 및 생태지수 등(2016년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m <sup>2</sup>	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
수영강 수계	온천천	부곡교	12	1107	2.411	0.655	58.6	C	3.5	Ⅲ
		세병교	9	2257	1.124	0.882	26.4	E	3.5	Ⅲ
	수영강	신천교	15	618	2.890	0.571	70.4	B	1.8	I b
		회동교	13	1208	2.560	0.605	71.5	B	2.7	Ⅱ
		수영강사무소	12	978	2.452	0.603	44.0	D	7.2	Ⅳ
	석대천	반석2호교	13	991	2.330	0.690	46.8	D	6.5	Ⅳ
	철마천	장전2호교	24	1581	3.268	0.462	80.9	A	1.6	I b

## ○ 동부산 수계

- 우동천(우동교), 춘천(삼정그린코아), 송정천(인도교), 일광천(화전교) 지점은 수질은 I b등급, BMI는 B등급, 다양도지수 3.0 내외, 우점도 지수 0.5 내외로 양호하고 안정된 상태임
- 장안천(인도교) 지점은 BMI는 C등급, 우점도지수 0.704로 인근 지점보다 약간 낮은 생태적 상태를 보이는데, 상류 유역의 산업단지 조성 등에 의한 토사 유입 영향으로 추정됨
- 좌광천의 정관인도교, 임랑1교 지점은 수질은 모두 Ⅲ등급이나 BMI는 정관인도교 지점에서 D 등급으로 하류의 임랑1교 지점보다 낮았는데, 정관인도교 지점은 최근까지 하천정비 공사가 활발하였던 점이 영향을 미쳤을 것으로 생각됨
- 죽성천(신천교) 지점은 수질은 Ⅳ등급, BMI는 E등급, 그리고 다양도지수와 우점도지수 등도 크게 악화 상태였는데, 조사 당시 하상에 유기물이 퇴적되어 점질(粘質)의 피막이 형성되는 등 생물 서식조건이 악화된 상태로 생태환경개선을 위해서는 하천 수질관리에 많은 관심이 필요한 상태임

표 4. 동부산 수계 생물출현현황 및 생태지수 등(2016년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m <sup>2</sup>	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
동부산 수계	우동천	우동교	17	747	2.964	0.554	71.7	B	1.4	I b
	춘천	삼정그린코아 옆	19	946	3.144	0.497	66.8	B	1.8	I b
	송정천	인도교	17	532	3.280	0.440	68.0	B	1.9	I b
	죽성천	신천교	7	4201	1.016	0.880	22.6	E	7.2	Ⅳ
	일광천	화전교	24	1498	3.119	0.493	76.2	B	1.7	I b
	좌광천	정관인도교	11	526	2.370	0.633	49.1	D	3.7	Ⅲ
		임랑1교	13	1083	1.930	0.779	65.7	B	3.1	Ⅲ
	장안천	인도교	16	987	2.339	0.704	64.5	C	1.7	I b



○ 서부산 수계

- 대천천(화명교)는 수질은 I a, BMI는 A등급으로 우수한 상태임
- 삼락천(괘법교), 학장천(주남교, 학장교) 지점은 수질은 II~III 등급이나 BMI는 D~E 등급인데, 이 지점들은 평상시는 유지용수로 수질이 유지되나 강우 시는 비점오염원 등이 집중 유입되어 생태환경이 크게 악화되기 때문임
- 구덕천(월드빌딩 뒤) 지점은 엄광산 등으로부터 양호한 계곡수가 유입되어 Ib 등급의 수질과 B 등급의 BMI 등급 보임
- 평강천(순아교) 지점은 수질(III등급)에 비해, BMI가 D로 다소 낮았는데, 조사지점 주위의 에코델타시티 조성사업으로 인한 토사유입 등으로 생태계가 영향을 받았기 때문으로 생각됨

표 5. 서부산 수계 생물출현현황 및 생태지수 등(2016년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m <sup>2</sup>	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)		
						값	등급	값	등급	
서 부 산 수 계	대천천	화명교	24	953	3.468	0.420	80.0	A	1.0	I a
	삼락천	괘법교	6	400	1.895	0.753	21.5	E	4.4	III
	학장천	주남교	12	1706	1.981	0.716	31.9	E	2.9	II
		학장교	11	567	2.324	0.668	45.2	D	3.1	III
	구덕천	월드빌딩 뒤	17	1285	3.013	0.488	68.4	B	1.9	I b
	평강천	순아교	13	406	2.746	0.517	44.3	D	3.9	III

○ 동천

- 동천(광무교, 성서교)는 수질은 II~IV 등급이나, BMI는 E 등급으로 가장 낮았을 뿐 아니라 출현종수도 1~2 종에 불과해 조사지점 중 가장 열악한 생태적 상태를 보임
- 현장 조사 당시 하천바닥에 여전히 검은색의 저질이 퇴적되어 있고 저질에서 악취가 발생하는 등 저서환경이 혐기화되어 생물 서식은 상당히 어려운 상황이었음

표 6. 동천 생물출현현황 및 생태지수 등(2016년 평균)

하천명	조사지점	종수	개체수/m <sup>2</sup>	다양도 지수	우점도 지수	BMI(생태등급)		BOD(수질)	
						값	등급	값	등급
동 천	광무교	2	22	1.000	1.000	21.5	E	2.0	II
	성서교	1	7	0.000	1.000	15.0	E	6.0	IV

○ 수질(BOD)와 수생태계 건강성 등급(BMI) 패턴 비교(그림 6)

- 전반적으로 BOD, BMI 상호 유사한 패턴을 보임  
수영강(회동교), 철마천(장전2호교), 일광천(화전교) 등 비교적 연중 일정한 수질을 유지하는 지점에서는 수질(BOD)와 BMI 등급에 큰 차이를 보이지 않음
- 온천천(세병교) 등 하수월류수 및 비점오염원 영향을 많이 받아 강우 시에 간헐적 오염이 발생하는 지점들에서는 수질에 비해 BMI 등급이 상대적으로 낮아 이들 지점의 하천생태 회복을 위해서는 이러한 오염원들의 관리가 필수적임을 나타냄

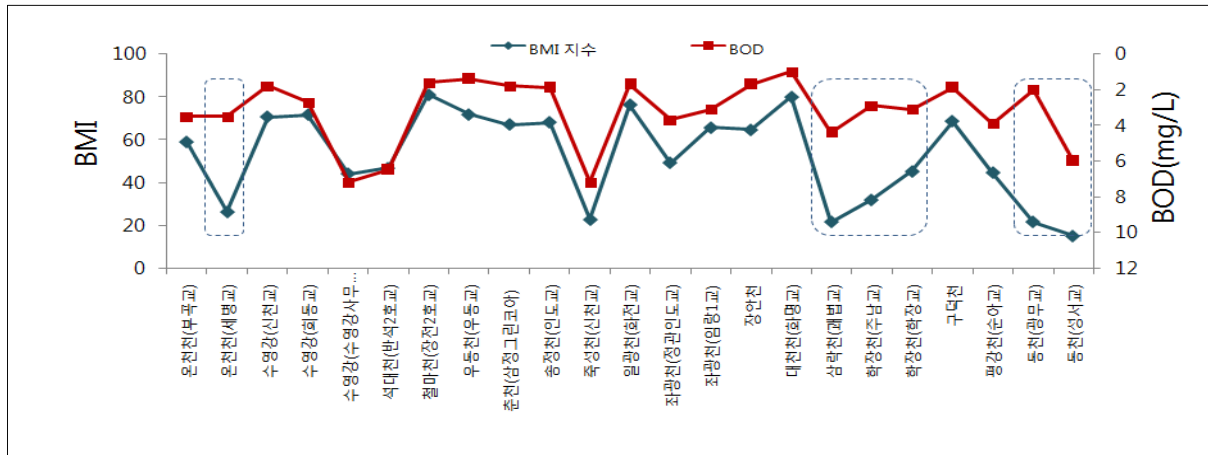


그림 6. 조사지점별 수질(BOD) 및 BMI 점수 패턴 비교

※ 박스 안의 지점 : 수질(BOD)와 BMI 등급이 크게 차이를 보이는 지점

4. 요약

- 2016년도에 17개 하천 23개 지점에 대해, 총 4회에 걸쳐 총 25953개체 89종의 저서동물은 채집 및 동정하였음
- 분류군별로는 절지동물문 곤충강이 전체 개체수의 56%, 총 63종 출현하여 가장 높은 빈도로 출현함
- 지점별 개체수는 죽성천(신천교) 지점이 총 4537개체, 종수는 일광천(화전교)가 총 46종으로 가장 많았음
- 주요 우점종은 꼬마줄날도래, 개똥하루살이, 물달팽이 등 I~III급수 출현종 등이었음
- 수생태계 건강성 등급(BMI 등급) 분포은 A 등급이 2개, B 등급이 8개, C 등급이 2개, D 등
- 온천천(세병교) 등 하수월류수 및 비점오염원 영향을 많이 받는 지점은 BMI 등급이 상대적으로 낮아 이러한 오염원들의 관리가 하천 생태 회복에 필수적임

5. 활용방안 및 기대효과

- 부산시 주요 하천 수생태계 건강성 현황 파악
- 하천 수생태 복원사업의 성과 평가 및 홍보
- 이화학적 수질지표를 보완한 종합적인 수질 평가 실시

첨부 : 저서동물 주요 출현종 사진(2016년)

bar = 5 mm

○ 편형동물문, 선형동물문, 환형동물문



플라나리아(우동천)



선충류(온천천)



실지렁이(좌광천)



조개넙적거머리(우동천)



참거머리(학장천)



돌거머리(석대천)

○ 연체동물문



다슬기(구덕천)



물달팽이(우동천)



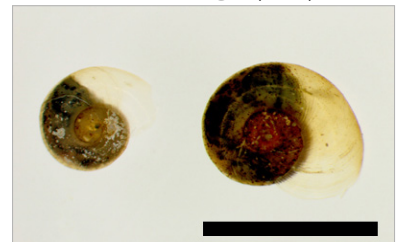
원돌이물달팽이(춘천)



왕우렁이(일광천)



재첩(춘천)



또아리물달팽이(대전천)

○ 절지동물문(갑각강)



민무늬조개벌레(좌광천)



새뱅이(송정천)



물벌레(수영강)

○ 절지동물(곤충강)



개똥하루살이(좌광천)



등딱지하루살이(송정천)



동양하루살이(수영강)



등줄하루살이(일광천)



민무늬하루살이(장안천)



명주각다귀(수영강)



먹파리(수영강)



깎따구(수영강)



붉은색깎따구(죽성천)



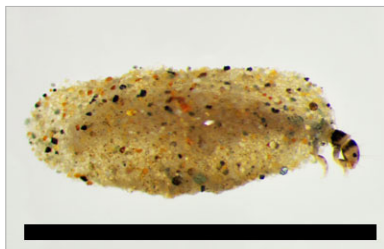
애우묵날도래(구덕천)



흰점줄날도래(철마천)



검은머리물날도래(대천천)



애날도래(일광천)



쇠촉범잠자리(우동천)



꼬마손자물벌레(평강천)