



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<br/><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

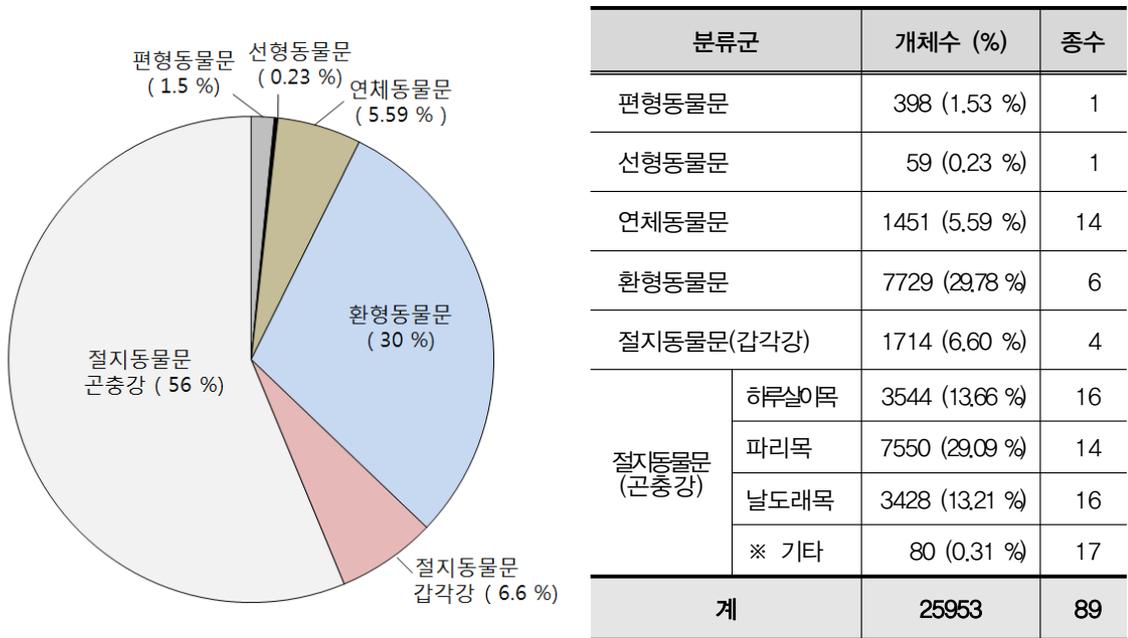


그림 2. 채집 생물 개체수 분포 및 종수

※ 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

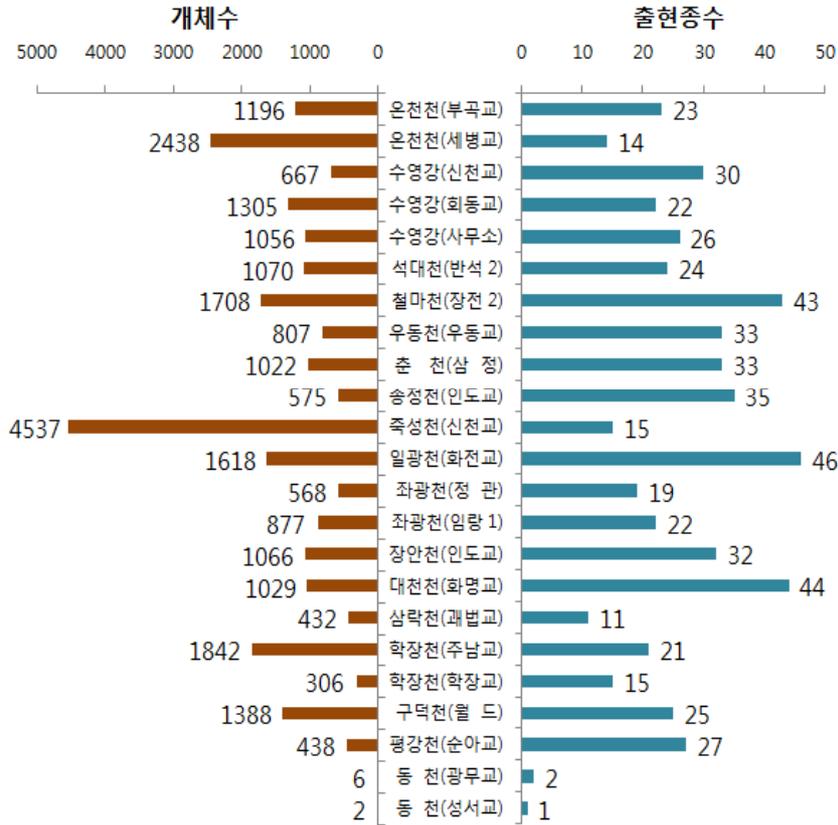


그림 3. 조사지점별 채집 개체수 및 총 출현종수(2016년 전체 합계)

※ 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 | -       | -       | -       |

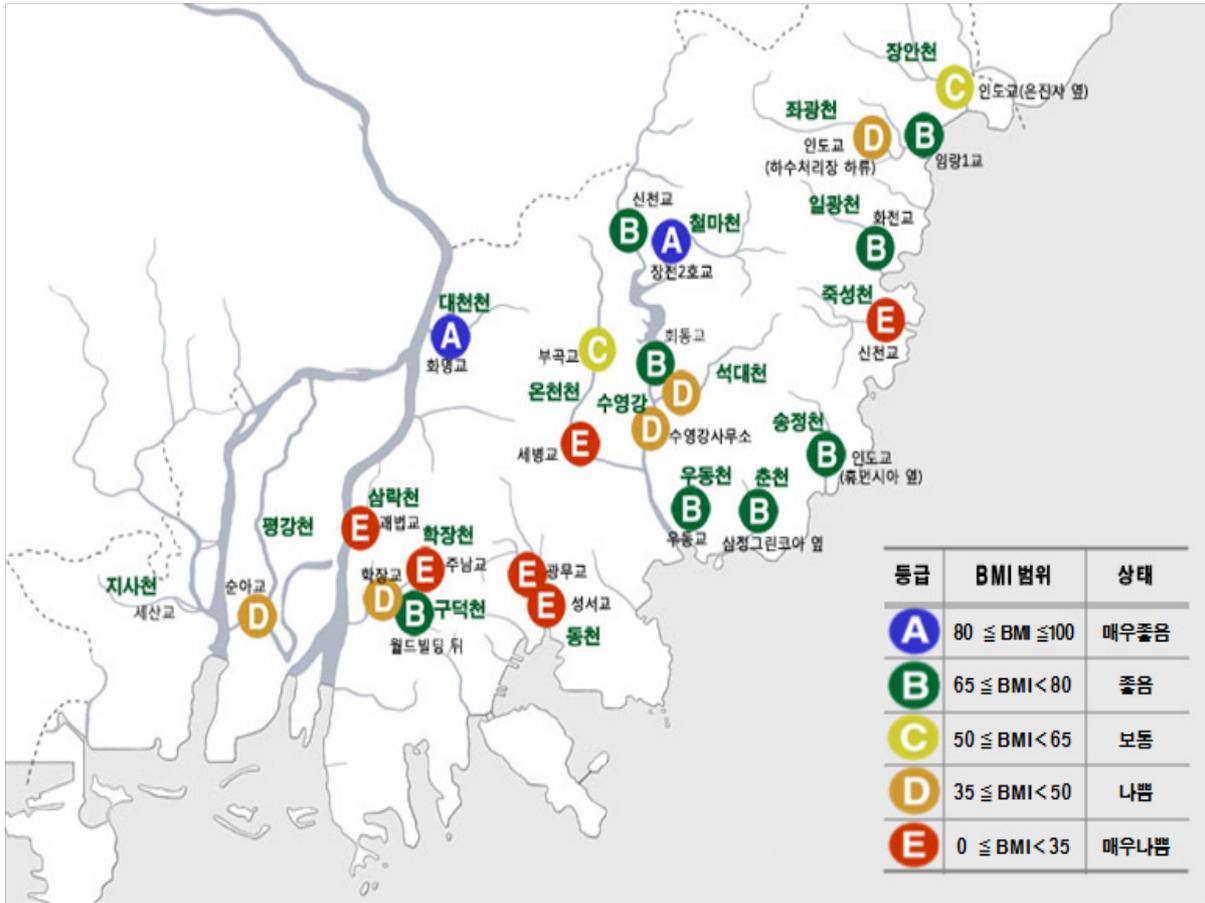


그림 4. 조사지점별 수생태계 건강성 등급 현황(BMI 등급, 2016년 평균)

○ 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

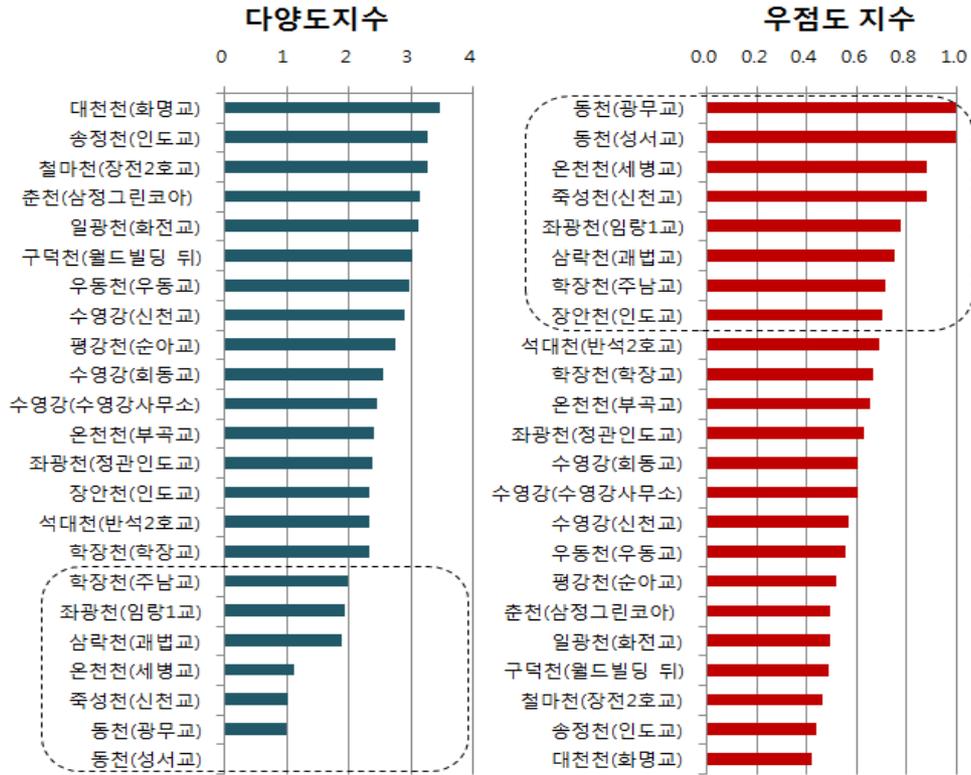


그림 5. 조사지점의 종다양성지수, 우점도 지수의 분포(2016년 평균)

※ 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<br>부<br>산<br>수<br>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<br>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

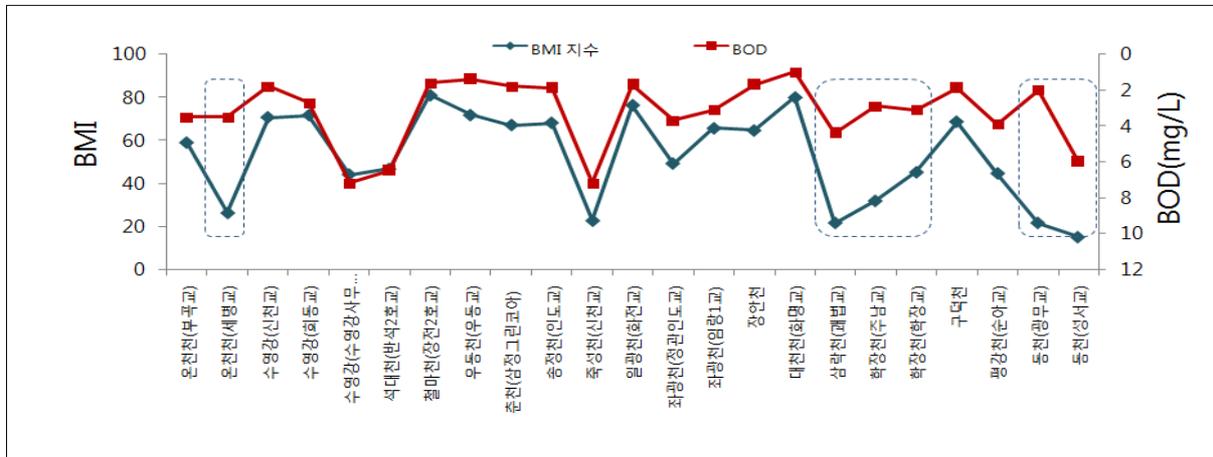


그림 6. 조사지점별 수질(BOD) 및 BMI 점수 패턴 비교

※ 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 등급
- 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)



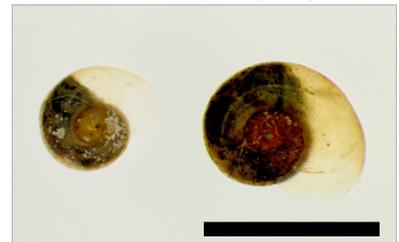
왼돌이물달팽이(춘천)



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)



갈따구(수영강)



붉은색갈따구(죽성천)



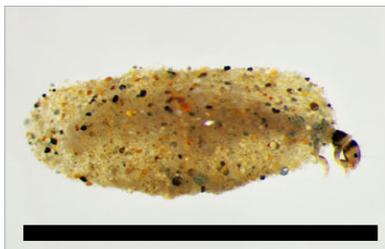
애우묵날도래(구덕천)



흰점줄날도래(철마천)



검은머리물날도래(대천천)



애날도래(일광천)



쇠촉범잠자리(우동천)



꼬마손자물벌레(평강천)