

환경오염 지표생물 로서의 수서곤충

윤 일병 / 고려대학교 교수

1. 서론

생물이나 생물의 반응에 의하여 환경을 파괴하는 것을 생물지표(bio-indicator)라고 하며, 이러한 생각은 기원전부터 오랜 역사를 갖고 있다.

인류는 농사에 있어 파종, 결실, 수확 등의 시기를 생물계절로부터 인식하였고, 토양의 성질도 그 곳에 생육하고 있는 식물을 보고 판단하였다. 이러한 방법이 생물지표에 해당하며, 이때 이용되는 생물을 지표생물(indicator-species) 또는 지표종이라 한다.

지표생물의 이용에 관한 연구는, 미국의 Clements (1874-1945)가 처음으로 학문적으로 확립하였고, 화분 과식물이 무성하게 잘 자라는 지역에서는 보리나 밀과 같은 곡식의 재배가 가능함을 지표해 준다고 하여, 미국 서부개척에 막대한 도움을 준 사실은 잘 알려진 예이다.

2. 생물지표의 근거

일반적으로 생물지표는 대기오염과 토양오염의 판정에도 활용되고 있으나, 여기서는 수질평가를 위한 생물지표에 관하여 설명하고자 한다. 특히 수서곤충은 거의

모든 종류가 담수(육수)에 서식하며 해수에 서식하는 곤충류는 몇몇 종류만이 있을 뿐이어서, 담수에 관한 부분만을 살펴 보기로 한다.

담수는 인류를 포함한 모든 생물의 생활과 직결되어 있어, 항상 좋은 상태의 물로 공급되지 않으면 안된다. 그런데 이러한 물이 도시하수, 공장폐수, 농약, 등에 의하여 오염의 정도가 날로 심해가고 있는 실정이다. 이에 따라 생물이 이용할 수 있는 표면수의 요구가 날로 증가하고 있고 또한 오염된 물의 정화의 필요성이 점점 증대되고 있어, 우리는 수질오염의 정도를 언제나 파악하지 않으면 안되게 되었다.

그러기 위하여 현재에 이르기까지, 수질의 평가는 이 화학적인 방법으로 하는데, 예를 들면 DO, BOD, COD, 그리고 N나 P의 량, 중금속, 농약 등의 량 등이 몇ppm이 용해되어 있다는 식으로 나타내는데, 이는 비교적 쉽게 측정하여 간단한 수치로 나타낼 수 있다고 할 수 있다. 그러나 수질에 영향을 미치는 화학물질의 종류가 많고 또한 이들이 작용하는 농도의 범위도 넓으며, 계속적인 변화가 일어나고 있어, 이화학적인 수질평가는 다만 그 당시의 수질상태만을 나타내며, 가끔 흘러 들

어오는 어떤 물질의 농도는 쉽게 파악할 수 없는 것이다. 특히 흐르는 물에서는 더욱 그렇다.

이에 비하여 생물학적인 수질평가는, 이화학적인 수질의 정도가 그 속에서 생활하는 생물개체나 집단의 구조와 기능의 차이로 정확하게 그리고 측정가능한 결과로 나타낼 수 있다는데 근거를 두고 있다. 즉, 수질오염의 정도는 수중 생물상에 변화를 일으키므로 이를 반대로 어떤 수역의 생물상을 조사하여 그 지점의 수질을 평가할 수 있는 것이다.

3. 지표생물

현재에 이르기까지, 수질오염의 생물학적인 평가는 주로 Bacteria, Protozoa, 어류, 저서성 조류 및 저서성 대형무척추동물 등이 이용되어 왔다. 또한 대형무척추동물 중에서도, 수중으로 유입되는 물질의 영향을 직접받아서 서식환경을 선택하며, 운동력이 많고, 종류수가 많고 몸의 구조와 습성 등이 극히 다양하거나, 현미경적인 미세한 생물보다 동정이나 분석 및 보존하기가 용이한 점등으로 수서곤충을 이용하여 특히 하천의 상태를 평가하려는 학자도 적지 않다.

따라서 수질의 오염 정도에 따라 특정 종류의 유무, 종류수와 개체수의 분포등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 수서곤충은 생물학적 지표로 중요하다고 할 수 있다. 수질의 생물학적인 평가는 1900년대 초 Kolkwitz와 Marsson(1908, 1909)이 처음으로 동식물의 지표종을 사용하여 하천의 유기오염 지역과 회복지역을 표시한것을 시작으로, 그 이후 Schiffman(1953)은 저서성 대형무척추동물을 내성종, 비내성종 및 그 중간종으로 임의 구분하여, 이들 구성을 조사하였으며, Bick(1962)은 하천수질에 대한 우점종(Dominant species)에 의한 오수생물계열(Sapro-biensystem)의 개념을 확립하였다.

이에 따른 수질판정은 지금도 일부 학자들에 의하여 이용되고 있으나, 지역에 따라 생물종이 다르고 환경도 차이가 있으며, 오염정도에 의한 생물종류의 차이가 뚜렷하지 못하여 수질을 정확하게 표현하지 못한다고 할 수 있다. 자연의 생물군집은 일반적으로, 소수의 종류는 다수의 개체를 포함하고 있지만 나머지 대부분의 종류는 소수의 개체만을 포함하게 된다. 따라서 제한요인이

어떤 환경에 유입하게 되면 어떤 종류는 사멸하거나 개체수가 감소하게 될 것이다. 또한 영양물이 갑자기 증가하면 종류에 따라 각각 다른 증가율을 나타내게 된다는 이론적인 바탕을 근거로 하여 최근에 여러가지 수치적인 분석방법이 제시되고 있다. 이 중에서 많이 이용되고 있는 것이 Shanmon-Wiener의 종다양도지수 $H' = -\sum_{i=1}^n (p_i) \log(p_i)$ 라고 본다.

4. 수서곤충의 분류군과 생태

곤충류는 크게 나누어 30여개의 목(Order)들로 분류하는데, 그 중 수서곤충에 해당하는 것은 11개 목에 속한다.

- 1) 강도래류, 날도래류, 하루살이류, 잠자리류, 뱀잠자리류.
- 2) 노린재류, 딱정벌레류.
- 3) 벌류, 파리류, 나비류, 뿔잠자리류.

이 중 1)에 해당하는 것은 모든 종류가 유충시기를 수중에서 생활하는 것이고, 2)는 극히 일부 종류가 유충과 성충시대를 3)은 일부 종류만이 유충시기만을 수중에서 생활한다.

이들 수서곤충은, 육상곤충이 2차적으로 수중생활에 적응한 것으로, 특히 성충이 수중생활하는 종류는 육상생활하는 곤충의 호흡방법을 그대로 지니고 있어, 수면에서 섭취한 공기를 물속으로 갖고 들어가는 수단을 지니게 되었다. 진정한 의미의 수중생활형의 호흡기관을 갖추고 있는 것은 유충들이며, 일부 번데기에서도 볼 수 있다.

어쨌든, 이들 수서곤충은 전체 곤충류에 비하여 종류수가 많지는 않지만(약 4%) 수중에서 생활하는 다른 무척추동물에 비하면 종류도 많고 개체수도 많아서 다종다양하게 이루어져 있다. 이들 수서곤충은 구체적인 환경조건에 따라 서식장소를 선택하는데, 이때 작용하는 요인은 수온, 수질, 유속, 저질, 팽랑 등이라고 할 수 있으며, 이중 수온과 수질은 비교적 넓은 지역적인 요인으로 작용하고, 기타 요인은 국부적으로 차이가 있는 요인들로서 좁은 지역적 요인으로 작용한다.

따라서 수서곤충군집의 질이나 양은 이들 요인에 의하여 결정된다고 할 수 있다.

「군집구성 = f(온도, 수질, 유속, 저질, 수심 또는 탁도)

시간차이] 또한 수서곤충은 운동방법이나 조형물에 의하여 몇 가지 생활형으로 구분되기도 한다.

1) Net-spinning (조망형) ... 날도래류의 Hydrosyptoche, Stenopsycho

2) Attaching (고착형) ... 파리류의 Simuliidae, Blepharoceridae

3) Creeping (포복형) ... 하루살이류의 Epeorus, 뱀잠자리류

4) Case-bearing (휴소형) ... 날도래류의 많은 종

5) Swimming (유영형) ... 하루살이류의 Baetidae

6) Burrowing (굴잡형) ... 하루살이류의 Ephemeroidea

등으로 구분되어 다양한 생활형을 이루고 있다.

5. 환경요인과 수서곤충

일반적으로 곤충류는 비오염지역이 오염지역에 비하여 종류수가 많고, 원생동물과 기타 무척추동물은 오염의 정도가 심할수록 증가 하지만 곤충류는 감소하는데, 이는 여러가지 오염물질에 대하여 민감한 영향을 받기 때문이다. 또한 목벌 출현은 비오염지역에서 뱀잠자리류가 3% 정도로 가장 종류수가 적었고, 파리류가 23%로 가장 중수가 많았는데 비하여, 오염지역에서는 잠자리류와 파리류가 증가하는데, 전체적으로 볼때 딱정벌레류와 날도래류를 제외한 나머지 수서곤충은 오염에 대하여 민감한 반응을 보인다고 할 수 있다.

이상은 종류수만을 대상으로 본 것이지만, 실제에 있어서는 종의 변화와 양적인 변화도 중요한 요인으로 보아야 할 것이다. 수서곤충과 환경요인과의 관계를 살펴 보면 다음과 같다. 이 자료는 1951년 미국 Academy of Natural Sciences of Philadelphia의 Limnology Department에서 조사한 것으로, 그 중 pH와 용존산소량(DO) 및 생물학적 산소요구량(BOD)에 대한 반응만을 살펴 보기로 한다.

1) 하루살이류

이 분류군에 속하는 모든 종류는 유충시기를 수중에서 생활하고, 성충은 육상생활을 하지만 1-3일 밖에 생존하지 못하여 순전히 생식을 위한 삶이라고 할 수 있다. 산란은 암컷이 물 속으로 들어가 직접 돌이나 수초에 산란하며, 알기간은 1-2주간이지만 수온에 따라 변

한다. 유충기간은 짧은 것은 5-6주간인 것에서부터 3년 정도의 종류도 있으나 많은 종류는 1년으로 되어 있다. 유충의 링기는 20-30링기를 거치는 것으로 보인다. 하루살이의 유충은 주로 유수에서 생활하며, 특히 돌이나 수초가 있는 곳에서 많은 종류와 개체가 발견된다. 우리나라에는 50여종이 분포한다.

하루살이는 수질오염에 대하여 민감한 곤충으로 알려져 있으며, 대부분의 종류는 pH 5.5-8.8사이에서 발견되지만 pH 5.4에서도 1종이 발견되었다. DO에 대해서는 2종류만이 4ppm 이하인 곳에서 발견되었으나 나머지는 4-14ppm에서 발견되었다. BOD는 5.9ppm 이상에서 10종이 발견되었고, 1종만이 10ppm 이상에서 발견되었다.

2) 강도래류

강도래의 암컷은 물위를 날으면서 물 표면에 산란한다. 알기간은 2-3주간인데 종에 따라서는 3개월이상의 것도 있다. 유충은 22-23 링기를 지나며, 대개는 생활사가 1년이고 소수종은 2-3년인 것도 있다. 우리나라에는 30여종이 알려져 있다. 강도래류는 대체로 높은 pH에는 민감하지 않지만 다른 요인에 대하여는 민감한 편이다. 조사된 23종 가운데, pH가 4.5이하인 곳에서는 전혀 발견되지 않았고, 대부분 pH 5.5-8.0사이에서 생활한다. DO에 경우는 5ppm 이상인 곳에서만 생활하며, BOD에 경우는 5ppm 이상에서는 3종만이 발견되었고 3ppm 이하인 곳에서 주로 서식하고 있다.

3) 잠자리류

이들의 산란습성은 매우 다양하여, 물위에서 산란하는것, 물속의 물체에 산란 부착시키는것, 물밑의 식물조직이나 물위에 떠 있는 나뭇가지 사이에 끼어 놓는것 등이 있다. 알은 대개 13-35일 만에 부화하는데, 온도에 따라 난기가 달라진다. 유충은 10-20링기로, 유충기간은 짧은 것은 36일에서 긴것은 5년이 걸리는것도 있으나 1-2년이 많다. 우리나라에는 90여종이 있다.

65종에 대한 내성을 조사하였는데, 전체적으로 잠자리류가 내성의 범위가 넓은 곤충이다. 우선 pH는 5.6-8.5 사이에서 주로 발견되었고 그 이하와 이상에서는 각각 1종씩만이 발견되었다. DO에 대해서는 3ppm 이하에서는 단 1종만이 발견되었고 나머지는

4-12ppm 범위에서 생활한다. BOD는 5.9-10ppm 사이에서 주로 발견되었고, 1종만이 10ppm 이상에서 발견되었다.

4) 날도래류

날도래류는 집을 짓지 않는 종의 암컷은 물속의 단단한 물체에 실모양으로 산란하며, 집을 짓는 종들은 일단 북부끝에 알덩어리를 만든 다음 돌이나 수초 등에 부착시켜 산란한다. 대부분의 날도래류에서 난기간은 10-24일이며, 유충은 전용이나 휴식기에 들어가기 전에 5-6주기를 거치며, 대부분은 유충상태로 월동하는데 활동이나 섭식은 별로 하지 않는다. 번데기는 물속에서 지나며 2-3주간 걸린다. 성숙된 번데기는 집을 빠져 나와 물 밖의 단단한 물체로 기어나와 성충이 된다. 날도래의 대부분의 종은 생활사가 1년이고 5-10월 사이에 부화한다. 우리나라에는 80여종이 있다.

집을 짓지 않는 종류의 대부분은 pH가 8.5 이상, SO₄로 400ppm 이상, BOD는 5.9ppm 보다 높은 곳에서 생활한다. 이에 비하여 집을 짓는 종류는, 조망형이 BOD가 5.9ppm 이상인 곳에서 중수나 개체수가 많으며, 10ppm 이상인 곳에서는 살지 않는다. 그러나 남은 DO에서는 통날도래과(Psychomyidae)와 나비날도래과(Leptoceridae)만이 발견되고 나머지는 비교적 DO가 높은데서 발견된다. pH의 경우는 4.5보다 낮은 곳에서는 1종만이 발견되었다. 일반적으로 조망형은 유기물오염에 대하여 내성이 큰 것으로 보이거나 독성물질에 대하여는 그렇지 못하다.

5) 노린재류

노린재류는 몇 종류를 제외하고는 성충으로 월동한다. 산란은 주로 수초, 바위 또는 물가의 물체나 물에 떠 있는 물체에 알을 부착시킨다. 난기는 1주 내지 1개월간이며, 유충은 대개 5주기를 지나고 25-50일 정도 걸린다. 유충은 성충과 닮았으며, 같은 서식환경에서 생활한다. 생활사는 1년이 보통이다. 우리나라에서는 45종 가량 밝혀져 있다.

깨알소금쟁이류(Velidae)와 소금쟁이류(Gerridae)는 보다 비내성종에 속하며 pH 5.5-8.5의 범위에서 서식한다. 다른 종들은 pH 5.5-8.8에서 발견되며 pH 5.5 이하에서 발견되는 종도 있다. DO의 경우도

4ppm 이하인 곳에서 위의 2과의 종은 2종만이 발견되었으나 다른 과의 종류로 8종이나 발견되었다. BOD에서는 5.9ppm 이상인 곳에서 많은 종이 서식하고 있다.

6) 뱀잠자리류

이들은 물위에 매달린 물체에 산란한다. 난기는 종에 따라 차이가 있으나 5-6일 또는 9-10일간이며, 부화된 유충은 물속으로 들어가 섭식을 한다. 성숙된 유충은 물 밖으로 나와 흙속으로 들어가거나 썩은 나무 속으로 들어가 번데기 집을 만든다. 번데기의 기간은 2주간 정도이고, 생활사의 기간은 1-3년이 걸리는 것으로 알려져 있다. 뱀잠자리류(Corydalidae)보다 시베리아 뱀잠자리류(Sialidae)가 오염에 대하여 내성이 강한 것으로 알려져 있다. 이종은 pH가 3.3인 산성의 광산폐수에서 흔히 발견되며 유기질의 진흙에서도 자주 발견된다. DO는 5-14ppm, BOD는 0.2-6.0ppm 사이에서 채집되었다.

7) 딱정벌레류

물진드기(Haliplidae), 물방개(Dytiscidae), 물매암이(Gyrinidae) 및 물똥땅이(Hydrophilidae)의 생활사는 서로 비슷하여 1년이며 유충은 3령기를 거친다. 난은 물방개의 경우 수초나 진흙 바닥에 낳으며, 물진드기는 수초에 알주머니(eggcase)를 부착시킨다. 난기간은 5일(물진드기)에서 3주간(물매암이)이 걸리며, 유충기간은 물진드기의 경우 3-4주간인 것으로 보인다. 번데기는 패인 토양이나 물가의 모래에서 용화되며 2-3주간이 걸린다. 월동은 성충으로 하며 유충으로 자라는 종도 있다.

수서성 딱정벌레로 70여종이 알려져 있는데, 물방개류는 지표종으로 적당치 않으며, 진흙벌레(Dryopidae) 줄진흙벌레(Elmidae), 물삿갓벌레(Psephenidae)는 진수성 곤충으로 수질에 대하여 민감하다. 이들의 서식환경은 pH 5.5-8.8, DO 5.14ppm 범위에서 주로 발견되었으며, BOD는 6.0ppm 이하에서만 생활한다.

8) 파리류

수서성 파리류에 대한 생활사는 잘 알려져 있지 않으며 그만큼 변화가 많아서 전체를 종합하기란 어렵다. 각다귀(Tipulidae)의 1종은 물위에서 산란하고 부화는 밑바닥에서 한다. 유충은 주로 바위 표면에서 생활하며

유충으로 월동한다. 번데기 시기는 약 1주간이며, 유충 기간은 대개 수 개월로 되어 있다. 딱따구리(Simulida e)는 보통 급류에서 생활하며, 돌이나 수초에 산란하고 난기간은 3-4일이고, 유충은 6령기를 거치며, 1년에 1회 또는 수세대를 거치는 것도 있다. 번데기는 독특한 구조의 고치(cocoon)을 형성한다. 번데기 기간은 4-7 일간이며, 성충은 공기를 내뿜으면서 난다. 깔다구(Chironomidae)는 2,000여개의 알을 포함하는 알덩이를 물속에다 산란하며, 대개 3-17일이면 부화한다. 유충은 4령기를 거치며 21-48일간 지난다. 번데기는 망사로 된 유충집에서 형성되어 3일 정도면 우화한다. 생활사는 1년에 1세대 또는 2세대를 거치며 1세대가 2년간 생존하는 정도 있으며 월동은 유충으로 한다.

환경요인과의 관계는, 깔다구류가 여러가지 화학물질에 대한 내성이 큰 것으로 알려져 있다. 즉, pH 8.5 이상인 곳에서는 깔다구류만이 생활할 수 있다. DO의 경우는 4ppm 이하에서도 주로 깔다구류가 살고 있고 BOD는 5.9ppm보다 높은 곳에서는 역시 깔다구류가 주로 나타나며, 10ppm 이상인 곳에서도 출현한다.

6. 결론

생물지표에 의한 환경영향평가는 많은 학자들에 의하여 연구되고 있으며, 특히 수중환경에 대한 평가방법은 수중생물의 종이나 군집구조를 간단한 수치로 나타낼 수 있는 방향으로 발전되고 있다. 지표생물 중에서는 저서성 대형무척추동물(Benthic macroinvertebrate)의 가치를 중요시하고 있으며, 이의 중요한 구성생물은 수서곤충이라고 하겠다.

수서곤충류는 전곤충류 중 10여개의 목에 걸쳐 있고 육상생활에서 2차적으로 수중생활에 적응된 것으로 형태나 생리 및 생태적인 다양성을 이루고 있다. 또한 이들은 수질의 화학적 물리적으로인 변화에 대한 내성의 범위가 비교적 좁고, 개체군의 크기도 비교적 커서 수질변화에 대한 반응이 대체로 정확하게 나타난다. 이상에서 볼때 수서곤충류는 지표종으로서 매우 중요하며, 앞으로 이를 이용한 환경평가는 물론, 생리 생태학적인 연구가 많이 이루어져야 된다고 생각한다.*

(이자료는 곤충계통분류 연구센터가 주최한 제1회「곤충과 환경」세미나 자료에 수록했던 것을 발췌·게재한 것입니다.)

회 고

각 회원사에서 일어나고 있는 일들, 연구·개발현황, 공지사항, 제언 그리고 시·수필 등을 200자원고지에 적어 보내주시면 본지에 선별·게재하고 게재된 원고는 소정의 고료를 드립니다. 단, 보내주신 원고는 일체 반환치 않습니다.

보내실곳 : 서울시 중구 남대문로 4가 45 상공회의소 1221호
(사) 환경보전협회 홍보부

T E L : 753 - 7640, 7669