

## 층적 대수층내의 미소 생물(meiofauna) 생태고찰 -외국의 연구 사례소개 및 고령군 다산면 강변여과 현장예비 조사-

조주래 · 김형수 · 원이정  
한국수자원공사 수자원연구소  
e-mail : parabath@hanmail.net

### 요약문

본 고에서는 지하 대수층 생태계 및 그에 대한 외국의 연구사례를 개괄하여 소개하고, 지속가능한 지하수 개발에 있어서 대수층 생물이 갖는 의미에 대하여 고찰하였다. 아울러 국내에서 발견된 대수층 생물을 소개하고 향후 연구방향을 설정하였다. 지하 대수층은 다양한 생물로 구성된 독특한 생태계를 가지고 있다. 생물학적 평형상태를 유지하는 경우 이 생태계는 대수층이 장기간 양호한 수질을 유지할 수 있는 기능을 가진다. Parabathynellidae, Parastenocaris 및 선충류의 발견을 통해서 고령군 다산면 대수층이 지하수 생태계 연구를 위한 적합한 대상임이 확인되었다. 향후 연구방향으로서 1) 지하수 동물상 조사, 2) 생태계 구성원에 대한 Autecology 및 Synecology적 접근, 3) Bioremediation 및 Bioindicator 관련 연구 등이 제시되었다.

**key word** : 대수층, 생태계, 미소동물, sloppy feeding

### 1. 서론

세계적으로 인구증가 및 산업화는 사용(특히 음용) 가능한 지표수자원을 감소시키고 있다. 이에 대체 수자원으로서 지하수가 갖는 의미는 매우 크다. 예를 들어 독일에서 소비되는 수돗물의 2/3 이상이 지하수에서 유래하고 있는 등 일부 선진 공업국에서는 상수원수의 대부분을 지하수에서 충당하고 있으며, 이에 따라 지하수에 대한 다각적 연구가 활발하다. 현재 국내에서도 지하수에 대한 관심이 고조되고 있으며, 지하수 수량 및 수질에 대한 다양한 방향의 연구 결과가 프론티어 사업 등을 통해 축적되기 시작하고 있다. 이러한 축적에도 불구하고 지하수가 다양한 생물들로 구성된 고유한 생태계를 가지고 있음은 잘 알려져 있지 않다. 이른바 “지하수선진국”인 독일에서는 1940년대에 이미 지하수생태계에 대한 조사가 시작되었으며 이러한 조사들을 통하여 지하수 내에 미생물(세균, 곰팡이), 원생동물 이외에 다세포 동물인 다양한 미소동물로 구성된 고유한 생태계가 존재함이 밝혀져 왔다. 특히 미소동물은 지하수에 유입되는 입자상 부유물(Detritus)의 일차 분해자임과 동시에 미생물의 포식자로서 자연적인 대수층 뿐만 아니라 강변여과를 이용한 지하수 인공함양 또는 완속여과를 이용한 정수처리의 수량 및 수질 유지에 많은 기여를 하고 있음을 밝히고 있다(Danielopol 1983, 1989). 본 논문은 이러한 외국의 연구사례를 바탕으로 지하수 생태계를 소개하고자 한다. 특히 고령군 다산면 강변여과 현장예비조사에서 도출된 결과와 함께, 지하수 생태학에 대한 향후의 국내 연구 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### - 지하수 생태계의 구성원

지구상에 존재하는 여타의 생물권과 같이 지하수 대수층 생태계는 다양한 생물들로 구성되어 있다. 지표 생태계와는 달리 광합성 식물은 대수층 생태계 속에 존재하지 않으며, 외부에서 유입되는 Detritus가 에너지원으로서 사용되고 있다. 구성원은 그 크기에 따라 Microorganism(<0.5 mm), Meioorganism(0.5 mm ~ 5 mm) 및 Macroorganism(> 5 mm)로 구분된다 (그림 1-a). Microorganism은 박테리아, 원생동물 및 일부 다세포 동물을, Meio-organism는 선충류와 갑각류 등을, Macroorganism은 연체동물과 다모류 등을 각각 포함하고 있다. Microorganism은 지하수 생태계의 큰 부분을 차지하나 미세한 크기로 인하여 연구대상으로서 접근하기 어려운 단점이 있다. 유전학 및 분자생물학적인 기법의 도입을 통한 이들 미생물에 대한 연구결과의 축적이 시급하다. Macroorganism은 육안 관찰이 용이한 장점을 가지고 있으나, 일반적으로 지하수 내에서는 충분한 개체군이 존재하지 않아 생태학적 연구에 적절하지 않다. 이와 비교하여 Meioorganism은 관찰이 비교적 용이하며, 한 생태계 내의 서식밀도가 높아 연구대상으로서의 가치가 높다. 특히 이들은 짧은 Life Cycle로 인해, Disturbance-Recolonization 실험을 통한 지하수 개발의 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다. Illies(1978) 또는 Botosaneanu(1986) 등에 따르면 유럽에서 학계에 보고된 미소 동물은 1,013 종에 이르고 있으며, Sket(1999)는 최근 2,000 종을 넘었다고 보고하고 있다. 독일에서만도 편형동물, 선형동물, 윤형동물, 환형동물, 연체동물, 응애류, 완보동물 및 갑각류. 갑각류에 속하는 496종의 동물들이 지하수에서 발견되었다(그림 1-b). 이들 동물들은 일생의 일부만을 지하수에서 보내는 stygophil한 종과, 일생의 전부를 지하수에서 보내는 stygobiont한 종으로 나뉜다. 예를 들어 독일 지하수에서 발견된 갑각류의 한 무리인 물벼룩(Cladocera) 6종은 모두 stygophil하여 지표수에서도 발견되나, 8종의 옛새우(Bathynellacea)는 stygobiont한 지하수의 전형적인 동물이다. 특히 옛새우는 요각류에 속하는 Parastenocaris와 더불어 "Parastenocaris-Bathynella-Biozoone"라 불리는 잘 발달된 대수층의 지표동물상으로 알려져 있다. 이들은 태양 유입되지 않은 좁은 공극구조 내 서식 환경에 대한 적응의 결과로서 특히 퇴화된 눈 및 색소의 부재, 긴 체장 등의 고유한 특징을 가지고 있다.

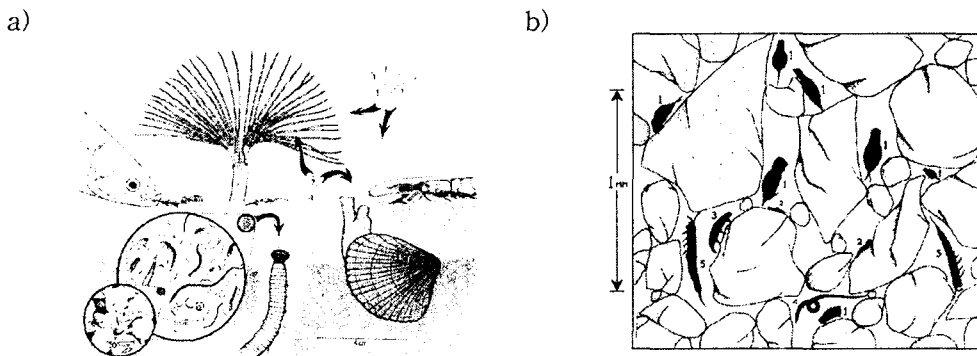


그림 1. a) Microorganism, Meioorganism, Macroorganism의 비교 (After Platt, 1981). b) 대수층 공극 구조 내에 서식하는 Meiofauna (Pennak, 1940)

### - 미소동물의 생태학적 역할

지하수에 서식하는 미소동물의 생태학적 역할에 대한 자료는 세계적으로 부재하다. 한편, Husman(1974, 1976)은 완속여과지와 자연대수층의 동물상을 조사하여 생태학적인 유사성을 밝혀내었다. 따라서 완속여과지를 소재로 한 생태학적 연구결과를 바탕으로 자연대수층에 존재하는 미

소동물의 생태학적 의미가 추론되고 있다. 생물학적 정화기능을 통한 완속여과지의 지속적 유지에 일반적으로 미생물(Schmidt, 1963) 또는 조류(Baars, 1957; Nakamoto et al., 1996)에 의한 것으로 알려져 있다. 그러나 Calaway (1957)은 이미 미소동물을 포함한 다세포 동물이 입상 유기물 및 미생물을 포식함으로써 완속여과지를 유지한다고 추측하였으며 Husman(1968, 1976, 1982)은 완속여과지 속에서 미소동물이 가지고 있는 생태학적 역할에 대한 이른바 "sloppy feeding" 가설을 제시하고 있다(그림 2). 가설에 따르면 물과 함께 유입된 유기물은 미생물 뿐 만 아니라 일련의 다세포 동물에 의해 소비되어 최종적으로 무기화한다. 대형 다세포동물이 커다란 고형유기물을 섭취하고 배설을 통해 다음 단계의 작은 미소동물이 섭취 가능한 작은 고형유기물 상태로 전환시키며, 이는 다시 미생물에 의해 분해된다. 미소동물을 포함한 다세포 동물은 고형유기물과 그에 부착된 미생물 및 이들의 배설물을 섭취하면서, 미생물에 필요한 신선한 환경을 제공한다. 특히 미소동물의 먹이섭취 및 이동을 통해 대수층의 공극구조가 유지된다. 즉, 가설에 따르면 완속여과지는 스스로 생물학적 평형상태를 유지할 수 있으며, 이러한 생태학적 기능은 동일한 미생물 및 미소동물이 존재하는 자연대수층에서도 예측될 수 있다(Schminke & Glatzel, 1988; Marmonier et al., 1993; Plenet et al., 1995; Schminke, 1997).

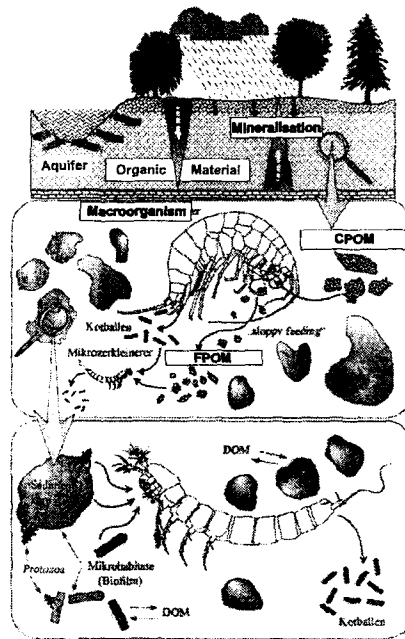


그림 2. 대수층 속 미소생물의 생태학적 역할. C/POM: course/fine particulate organic matter; DOM: dissolved organic matter.

- 다산면 대수층 미소생물 조사 결과

국내의 경우 대수층 미소생물의 존재는 아직 학계에 보고되지 않았다. 본 연구에서는 고령군 다산면 대수층을 대상으로 전형적인 미소동물이 출현하는지 확인하고자 하였다. 조사결과 아직 세계적으로 보고되지 않은 *Parastenocaris*와 *Parabathynellidae* 및 선충류의 신종이 다량 서식하는 것으로 확인되었다 (그림 3).

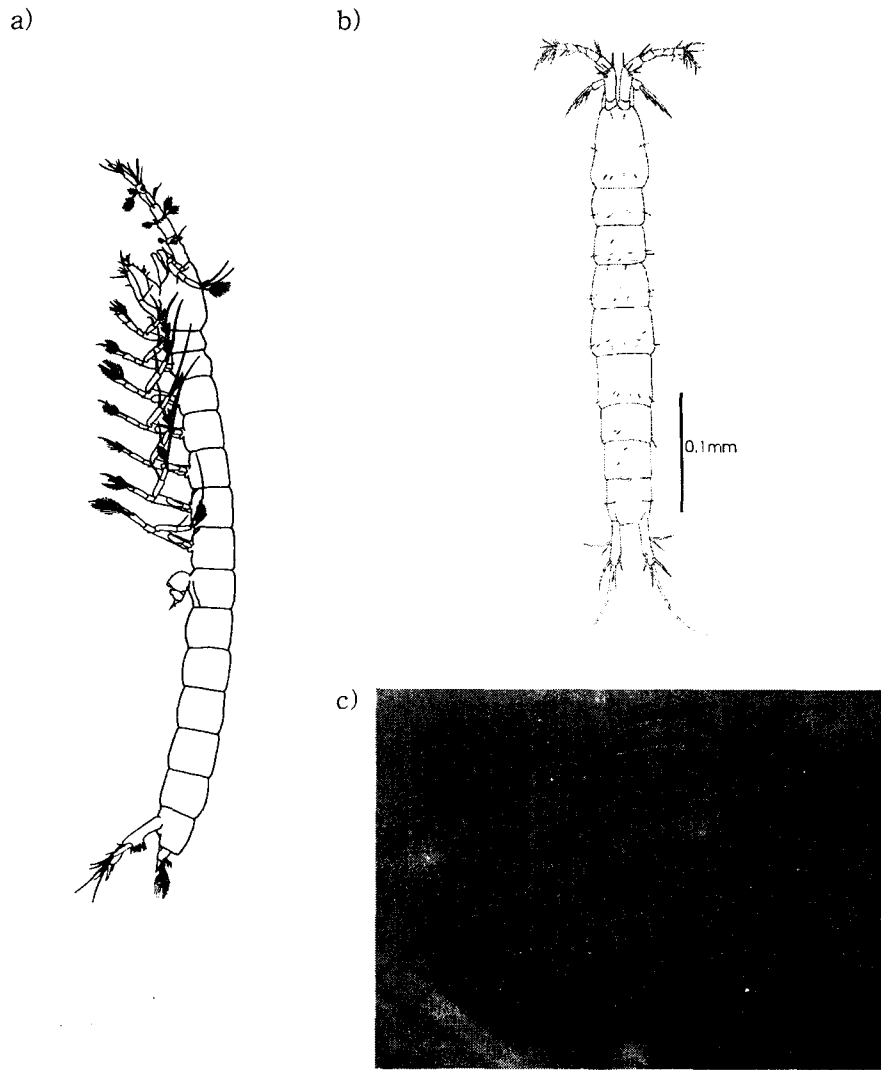


그림 3. 고령군 다산면 대수층에서 확인된 Parabathynellidae (a), Parastenocaris (b) 및 선충류 (c) 신종.

### 3. 결론

외국의 연구현황은 지하수 생태계에 대한 자료의 축적이 지하수의 지속가능한 개발에 필수적인 한가지 접근방식임을 보여준다. 이러한 자료는 1) 지하수 동물상 조사, 2) 생태계 구성원에 대한 Autecology 및 Synecology적 연구접근, 3) Bioremediation 및 Bioindicator 관련 연구 등에서 도출될 수 있다. 특히 동물상의 조사는 종다양성 확보 문제와 관련이 있으며, 발견될 거의 모든 종이 학계에 보고되지 않은 만큼 학문적인 의의가 크다 하겠다.

### 4. 사사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 사업단 측에 감사드린다.

## 5. 참고문헌

- Baars, J. K. (1957): Artificial groundwater production by biofiltration in fine sandy soils. *J. Sci. Food. Agri.*, 8: 610-616.
- Botosaneanu, L. [Ed.] (1986): *Stygofauna mundi*. 740 S., J. Brill, Leiden.
- Danielpol, D. L. (1983): Der Einfluß organischer Verschmutzung auf das Grundwasser-ökosystem der Donau im Raum Wien und Niederösterreich. *Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Umweltschutz und Gewässerökologie*, 160 S.
- (1989): Groundwater fauna associated with riverine aquifers. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1): 18-35.
- Husman, S. (1968): Langsamfilter als Biotopmodelle der experimentalökologischen Grundwasserforschung. *Gewäss. Abwäss.*, 46: 20-49.
- (1974): Die ökologische Bedeutung der Mehrzellenfauna bei der natürlichen und künstlichen Sandfiltration. *Wissenschaftliche Berichte der Unters. Plan. Stadtwerke Wiesbaden AG 2*: 173-183.
- (1976): Langsamsandfilter als Lebensräume von Grundwassertieren mit Befunden aus Wiesbaden-Schierstein. *Wiss. Ber. Unters. Plan. Stadtwerke Wiesbaden AG. 3*: 83-92.
- (1978): Die Bedeutung der Grundwasserfauna für biologische Reinigungsvorgänge im Interstitial von Lockergesteinen. *Gewäss. Abwäss.*, 6: 293-302.
- Marmonier, P., Bodergat, A.M., Fontvieille, D. and Gilbert, J. (1993): Ecological consequences of anthropic perturbation on groundwater-surface water interfaces. *International Workshop on Groundwater/Surface water Ecotones*. 5.- 9. July, 1993 Lyon, France.
- Nakamoto, N., Yamamoto, M., Sakai, M., Nozaki, K., Iwase, N., Yasuda, M. and Kitada, T. (1996): Role of filamentous diatoms as an automatic purifier in a slow sand filter. In: Graham, N. and Collins, R. [Eds.]: *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. J. Wiley & Sons. Chichester. 139-148.
- Pennak, 1940. *Ecology of the Microscopic Metazoa Inhabiting the Sandy Beaches of Some Wisconsin Lakes*. *Ecological Monographs*, 10: 537-615.
- Platt, 1981 *Meiofaunal Dynamics and the Origin of the Metazoa*. In: Forey, P.L. ed., *The Evolving Biosphere*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Plenet, S., Gibert, J. and Marmonier, P. (1995): Biotic and abiotic interactions between surface and interstitial systems in rivers. *Ecography*, 18: 296-309.
- Schminke, H. K. (1997): Heintzelmännchen im Grundwasser. *Biologie in unserer Zeit*, 27(3): 182-188.
- Schminke, H. K. & Glatzel, T. (1988): Besonderheiten und ökologische Rolle der Grundwassertiere. *Z. dt. geol. Ges.* 139: 383-392.