

<특별기고>

해양 저서성 요각류의 다양성 연구 현황과 그 전망

이 원 철* · 송 성 준 · 이 재 성¹

한양대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹한양대학교 대학원 환경과학과

Current Researches on the Diversity of the Marine Benthic Copepods and the Prospects

Wonchoel Lee*, Sung Joon Song and Jae-Seong Lee¹

Department of Life Science, College of Natural Science, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

¹Department of Environmental Science, Graduate School, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract - Copepods play an important role as a primary consumer in the various aquatic ecosystems. Most of marine benthic copepods belong to the Order Harpacticoida, and are known over 3,000 species in the world. Research on the biodiversity of the benthic copepods are important in the development of the new bio-resources, and the genetic resources. The importances and the prospects of biodiversity research on the marine benthic copepods are discussed.

Key words : marine, benthic copepod, Harpacticoida, meiofauna, biodiversity

서 론

수서 생태계 내에서 요각류의 지위는 실로 막강하다. 요각류의 서식처는 생태계의 다양함만큼이나 다양하다고 말할 수 있다. 실제로 해저 1만 m의 수심에서부터 히말라야 산정에 이르기까지 모든 서식처에서 발견된다 (Huys and Boxshall 1991). 요각류는 지금까지 모두 10개 목에 걸쳐서 14,000여 종이 보고되어 있으며, 매우 다양한 생활형을 갖고 있다. 즉, 동물플랑크톤 군집에서도 가장 우점하는 생물이며, 중형저서생물(meiofauna)에서도 선충류(Nematoda)와 함께 가장 우점하는 중요한 생물이다. 또한, 기생성 요각류도 매우 다양하여, 해양에 존재하는 거의 모든 동식물에 요각류가 기생 혹은

편리공생의 형태로 서식을 한다. 그로 인해 연어를 포함한 많은 상업적인 어류에 피해를 주기도 한다. 요각류는 수서 생태계 내에서 1차 소비자로서 중요한 역할을 담당하고 있을 뿐만이 아니라, 원생동물을 제외한 중형동물이상의 생물에서는 그 개체수에 있어서는 이 지구상에서 가장 많은 생물로 인식이 되고 있다.

저서성 요각류의 대부분은 분류학적으로 Harpacticoida 목에 포함되며, 대체로 그 크기가 1mm 미만이다. 따라서, 이들은 중형저서생물에 포함이 되어 저서생태계 물질순환의 중요한 한 단계를 담당하고 있는데, 저서성 어류의 치어 단계에서 매우 선호하는 먹이원으로 알려져 있다. 이들의 서식처로는 모래, 펄, 암반, 해초류 및 해조류 그리고 각종 무척추동물에 이르기까지 다양한 곳에 서식하고, 원생동물, 박테리아, 단세포 및 다세포 조류 등을 주로 포식하는, 1차 소비자로서 생태계에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다 (Huys and Boxshall 1991).

* Corresponding author: Wonchoel Lee, Tel. 02-2290-0951, Fax. 02-2299-3495, E-mail. wlee@hanyang.ac.kr

우리 나라에서는 플랑크톤과 기생성의 요각류를 중심으로 다소 알려져 있으나, 중형저서생물에서 중요한 위치를 차지하는 Harpacticoida에 관한 정보는 매우 미약한 실정이다. 본 연구에서는 저서성 요각류의 다양성과 중형저서생물 내에서의 중요성에 대해서 논의를 하고 우리 나라에서 앞으로 진행되어야 할 연구방향을 제시하고자 하였다.

생물다양성 연구와 요각류

자연계에 존재하는 다양한 생명의 존재를 파악하려는 노력은 우리 인류가 원시시대로부터 꾸준히 행해온 바가 있다. 지금까지 파악된 다양한 생물종들은 동식물을 포함하여, 모두 175만종 가량이 알려져 있는 것으로 추산된다(Bisby 2000). 그러나 이러한 방대한 종 수에도 불구하고, 그것이 실제 자연계에 존재하는 생물들의 극히 일부분에 불과하다는 것이 생물다양성 연구에 헌신하고 있는 많은 전문가들의 공통된 견해이다. 적게는 400만 종에서부터 3,000만 종 이상 더 기재될 것으로 기대되고 있으며, 지금도 속속 새로운 생물이 발견되고 있다. 또한, 오늘날 생물다양성을 파악하고자하는 노력은 1993년 생물다양성 협약의 발효이후에 각 생물자원을 풍부하게 갖고 있는 국가간에 참여한 관심사로서 여러 선진국을 중심으로 이루어지고 있다.

생물다양성의 파악은 단지 다양한 생물상에 대한 정보축적의 차원이 아니라, 오늘날에는 미래의 새로운 생물자원의 개발이란 면에서 그 중요성이 다시 부각되고 있으며, 생태계 내에서 올바른 생물다양성의 파악은 우리가 앞으로 삶을 유지해 나아가갈 환경의 보전에도 매우 중요한 과제가 아닐 수 없다.

우리 나라에서는 아직까지 기초적인 생물상도 파악이 되지 못한 생물군이 많으며, 특히 수서 무척추동물에 관한 정보는 전반적으로 매우 미약한 실정이다. 의심할 여지없이 가장 풍부하고 다양한 해산 무척추동물은 중형저서생물이다(May 1988). 그러나, 대형저서생물에 비해서, 우리 나라에 분포하는 중형저서 생물군에 대한 정보는 매우 미흡한 실정이다. 특히, 저서성 요각류는 중형저서 생물군중에서 선충류에 이어서 가장 우점하는 분류군으로 생태학적, 분류학적으로 매우 중요한 생물이다. 저서성 요각류는 대부분 분류학적으로 Harpacticoida 목에 속하는데, 현재까지 전세계적으로 해산의 경우는 3,000여 종이 알려져 있으나(Bodin 1997; Huys et al. 1996), 우리 나라에서는 60여 종이 알려져 있을 뿐이다.

해양 Harpacticoida 목에 대한 계통분류학적 연구는

19세기초에 시작되어 이후 Brady (1880), Lang (1948; 1965), Well and Rao (1987) 등에 의해 중요한 모노그래프가 작성되었다. 이 중에서도 Lang(1948)은 그 이전까지 발표되었던 전세계의 모든 종류의 문헌과 종들을 정리하고 아울러 이들의 계통과 동물지리학적 분포를 고찰하였다. Wells(1967)는 Lang(1948)이후에 기재된 117속 1,415종을 포함하여 분류 검색표를 작성하였는데 이것은 약 30년 동안에 Harpacticoida 목의 종 수가 거의 두 배로 증가했음을 의미한다. 이러한 작업과 별도로 Bodin(1988)은 Lang(1948)이후에 출현한 모든 종들을 종합하여 카탈로그를 작성하였는데 약 10속 200여 종이 동종이명으로 처리되고 5과, 210속, 1755종이 추가되었다. 그 이후 Bodin(1997)의 카탈로그에서는 172편의 문헌을 통하여 12신과, 79신속, 263신종 및 아종이 추가되었음을 알 수 있다. 분류학의 제 분야는 과학기술의 발달에 따른 관찰기구의 발전과 더불어서 그 수준을 높여왔으며, 이것은 요각류에 있어서도 다름이 없었다. 또한, Harpacticoida 목에 대한 계통분류학적인 연구는 1991년 'Copepod Evolution'의 출판(Huys and Boxshall 1991)과 더불어 그 분류학적인 기재의 수준이 한층 높아져서 오늘에 이르고 있으며, 근래에 들어 과거에 채집의 어려움으로 인해서 많이 연구될 수 없었던 심해 열수 지역(Huys and Lee 1999, 2000; Lee and Huys 1999a, c, 2000; Lee and Yoo 1998)이나, 남극 지역(Lee and Huys 1999b) 등으로 연구 대상 지역이 확대되고 새로운 종들이 더욱 빠른 속도로 보고되고 있는 추세이다.

해양 Harpacticoida 목의 요각류는 다른 자유생활을 하는 요각류(Cyclopoida 또는 Calanoida)와 비교해 볼 때 몸길이가 대체로 0.4~0.8mm 범위에 들어서 비교적 작으며, 복잡한 부속지를 지니고 있어서 동정하기가 어려운 까닭에 매우 높은 고유성(endemism)을 나타낸다. 예를 들면, 일본의 경우 북해도에서 35종의 Harpacticoida가 보고되었는데 이 중 24종(68%)이 보고 당시 신종이어서 한 지역에서 매우 높은 고유성을 나타내는 것을 알 수 있다.

한국의 해양 Harpacticoida 목에 대한 연구는 외국과 비교하여 볼 때 미진한 상황이다. 한국산 해양 Harpacticoida 목에 대한 초기 연구는 해양 생태계 조사의 일환으로 수행된 동물플랑크톤 조사의 결과로서 분류학적인 기재 없이 증명만 기록이 되었다. 생태학적 조사과정을 통하여 출현한 종으로는 *Tigriopus japonicus*, *Microsetella norvegica*, *Clytemnestra rostrata*, *C. scutellata*, *Macrosetella glacilis*, *M. rosea*, *Euterpina acutifrons* 등이 있으나, 이들에 대한 보다 자세한 분류학적 재검토가 필요한 실정이다.

한편, 분류학적으로 기재가 된 종은 다음과 같다. Yeatman (1983)은 제주도와 부산에서 *Tigriopus californicus*를 도판과 더불어 보고하였으나 Song and Chang (1993)은 이것이 *T. japonicus*의 오동정임을 확인하였다. Ho and Hong (1988)은 남해 소안도의 미역 양식장에서 엽체에 작은 바늘구멍을 내어 피해를 입히는 생물의 조사 과정에서 *Amenophia orientalis*와 *Parathalestris infestus*를 신종으로 발표하였다. Chang and Kim (1991)은 기수역인 탐진강과 섬진강 일대에서 *Harpacticella itoi*를 신종으로 기재하였다. Yoo and Lee (1993)는 *Lourinia armata*를 보고하였고, Song and Chang (1993)은 Harpacticidae과 8종을 보고하면서 5종을 목록에 추가하였다. Song and Chang (1995)은 진도에서 9종을 보고하면서 6종을 추가하였다. Chang and Song (1995)은 *Eudactylopus* 속 2종을 보고하였다. Yoo and Lee (1995)는 서해안에서 12과 16속 18종을 보고하면서 9종을 추가하였다. Chang and Song (1997a)은 해조류에서 출현하는 2신종(*Paradactylopodia koreana*, *Dactylopus paucarticulata*)을 보고하였다. Chang and Song (1997b)는 우리나라 전 해안에서 출현한 *Parathalestris* 속 6종에 대한 연구를 하였는데 이 중 *P. parviseta*를 신종으로 기재하였다. Kim and Kim (1997)은 해조류에 서식하는 *Porcellidium* 속의 6종을 발표하였다. Song and Yun (1999)는 주로 해조류에 서식하는 *Peltidium quinquesetosum*을 신종으로 발표하였고, Song et al. (1999)은 역시 한국의 해조류에서 빈번하게 출현하는 Diosaccidae과의 3종 *Ambunguipes rufocincta*, *Diosaccus ezoensis*, *Dactylopodamphiascopsis latifolius*를 재기재하며 동물지리학적 분포 및 변이성에 대하여 논하였다. Song et al. (2001)은 역시 해조류에서 빈번하게 출현하는 Thalestridae 과에 속하는 *Phyllothalestris sarsi*와 *Dactylopusia falcifera*를 재기재 하였다.

한편, 자유생활(free-living)을 하는 종류 이외에 다른 무척추동물과 공생하는 종에 대한 국내의 연구를 살펴 보면 다음과 같다. Kim (1991)은 해삼의 피부에 공생하는 *Namakosiramia koreensis*를 보고하였다. Kim and Kim (1996)은 집게에 공생하는 2종을 보고하였는데 *Porcellidium similis*를 포함하고 있다. Kim and Kim (1997)은 나무에 구멍을 뚫고 서식하는 등각류와 공생하는 *Pseudonsiella longicaudata*, *Xylora longiantennulata*를 발표하였다. Kim and Kim (1998)은 해변동물에 공생하는 *Alteuthoides affinis*를 보고하였다. Kim (1998)은 따개비류, 공생성 요각류, 바다거미류 도감에서 집게에 공생하는 *Sunaristes japonicus*를 추가하였다.

위와 같이 우리나라에서는 자유생활을 하는 53종과

Table 1. Endemic species of the order Harpacticoida in Korea

<i>Harpacticella itoi</i> Chang and Kim, 1991
<i>Porcellidium similis</i> Kim and Kim, 1996
<i>Porcellidium bipartitum</i> Kim and Kim, 1997
<i>Porcellidium wandoensis</i> Kim and Kim, 1997
<i>Porcellidium acutum</i> Kim and Kim, 1997
<i>Porcellidium brevicacum</i> Kim and Kim, 1997
<i>Alteuthoides affinis</i> Kim and Kim, 1998
<i>Amenophia orientalis</i> Ho and Hong, 1988
<i>Parathalestris infestus</i> Ho and Hong, 1988
<i>Parathalestris parviseta</i> Chang and Song, 1997
<i>Dactylopusia paucarticulata</i> Chang and Song, 1997
<i>Paradactylopodia koreana</i> Chang and Song, 1997
<i>Pseudonsiella longicaudata</i> Kim and Kim, 1997
<i>Xylora longiantennulata</i> Kim and Kim, 1997
<i>Namakosiramia koreensis</i> Kim, 1991

공생성 7종, 총 18과 37속 60종 및 아종의 해산종이 보고되어 있다. 이 중에서 우리나라의 고유종은 아직 15종에 불과하여 고유종의 비율도 전체의 25% 정도에 머무르고 있는데 (Table 1), 이는 우리나라에 서식하는 고유종이 많지 않은 것이 아니라, 아직도 다양성 규명연구가 시작 단계에 놓여있는 것에 불과하다는 것을 다시 보여주는 결과이다. 전세계에서 해양 Harpacticoida 목이 3000여 종 기재되어 있는 것에 비하면 국내의 연구는 상당히 미진한 상태이다.

중형저서생물과 요각류

중형저서생물은 저서생물 중에서 그 크기에 따라서 나뉘어지는 그룹으로써, 1 mm의 sieve를 통과하고, 42 μ m의 sieve위에 남는 생물을 말한다(Higgins and Thiel 1988). 따라서 이 생물은 그 크기가 작으므로 생활사의 주기도 매우 짧으며, 주위의 환경변화에 민감하게 반응을 한다. 해양환경의 모니터링에 주로 사용되는 대형저서생물에 비해서 오염에 대한 반응이 매우 빠르고 즉각적이며, 또한 상대적으로 시료의 채집이 매우 용이하고 간단하다. 따라서, 여러 학자들에 의해서 중형저서생물이 환경오염을 감시하는데 적합하다는 제안을 한 바가 있다(Boucher 1980; Coull et al. 1981; Raffaelli and Mason 1981; Warwick 1981). 또한, 오염지역의 Harpacticoida가 야외와 실내배양실험에서 모두 외부의 오염자극에 대해서 예민한 반응을 보이는 indicator로의 가치가 큰 것으로 밝혀진 바 있다(Warwick 1988).

중형저서생물군집의 이용에서 더욱 유용한 것은 Nematoda와 Copepoda의 비율(N/C ratio)이다. 이것은 선

충류가 일반적으로 요각류에 비해서 오염에 더욱 저항성을 갖는데서 기인하는 것으로, 실제로 오염지역에서는 이 비율이 매우 높아짐을 알 수가 있다(Raffaelli and Mason 1981; Raffaelli 1981; Amjad and Gray 1983). 이 방법은 다시 Coull *et al.* (1981)에 의해서 매우 단순화되어서 제안되었다. 물론 N/C ratio는 기질의 입자크기에 반비례하고(Raffaelli and Mason 1981; Amjad and Gray 1983), 지역이나, 포식압 그리고 생식활동 등에 영향을 받는다(Coull *et al.* 1981). 중형저서생물 내에서의 우점도 또한 계절적인 변동이 있으므로 계절에 따라서도 N/C ratio는 변화한다(Marcotte and Coull 1974). 실제로, Warwick (1981)은 기질의 충류와 계절에 따른 N/C ratio를 실제상황과 비교하여 계산한 값을 제시하기도 하였다.

중형저서동물의 종 다양성과 서식밀도는 깊이, 기질의 입자 크기 등의 자연적인 조건이외에도 오염도와 변화에도 큰 관련이 있다(Coull and Fleeger 1977). 각종 유기오염은 종 다양성의 감소를 가져오며, 개체군의 밀도도 현저한 감소를 야기한다(van Es *et al.* 1980). 또한, 그러한 지역은 유기오염에 의해 대형저서생물이 완전히 사라지고, 중형저서생물의 종 다양성은 감소하며 그 밀도는 증가하는 경향이 있다. 중형저서생물의 종 다양성의 감소는 군집 내에 선충류와 요각류가 가장 우점하는 경우가 많으므로 두 분류군의 다양성 감소와 연관이 된다. 중형저서생물군집은 또한 유류 오염에도 영향을 받는다. 즉, 유류 오염에 의해서 중형저서생물의 사망률이 증가하나(Boucher 1980), 선충류의 복원력이 상대적으로 뛰어난데 따라서, 선충류를 제외한 거의 모든 분류군의 상대밀도가 감소한다. 경우에 따라서는 이러한 유류오염이 선충류에 있어서는 밀도 증가의 원인이 되기도 한다(Fleeger and Chandler 1983).

우리 나라의 경우에는 최근에 중형저서생물의 군집구조와 N/C ratio의 환경지표로서의 유효성이 가막만(김 등 2000), 그리고 시화호(김과 이 2000, 2001)에서 조사된 바 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 중형저서생물이 환경오염에 매우 민감하여, 오염의 정도를 조사하고 대책을 세우는 데, 매우 유용한 수단이 될 수 있음을 알 수 있으며, 실제로 많은 연구자들이 오염과 관련된 중형저서생물의 영향을 조사 연구하고 있다. 이러한 연구들은 각 지역마다 서로 다른 환경요소들로 인해서 다른 결과와 양상을 보여 주고 있으며, 특정한 지역 내에서 중형저서생물의 동태를 관찰하고 이용하기 위해서는 장기간에 걸친 생태조사가 필수적이다.

환경독성과 요각류

다양한 수서생태계 내에서 요각류가 우점을 하며 중요한 생태학적 지위를 차지하고 있다는 점에 착안하여, 수서환경에서의 독성연구에 요각류를 활용하고자 하는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 예를 들면, Cobalt와 Chromium 등의 중금속에 의한 해산 저서성 요각류 *Tisbe holothuriae*의 개체군 동태에 대한 영향(Miliou *et al.* 2000), Cadmium의 독성이 담수산 플랑크톤인 *Diatomus forbesi*에 미치는 영향(Dutta and Kaviraj 2001), 구리 이온이 부유성 요각류의 섭식 행동에 미치는 영향(Sharp and Stearns 1997), 그리고 미량금속과 요각류를 포함한 중형저서생물의 관계를 고찰한 결과(Burton *et al.* 2001) 등과 같이 수서생태계내의 중금속이 요각류에 미치는 영향이 연구된 바 있다. 한편, Astley 등(1999)은 진주담치(*Mytilus edulis*)나 게종류(*Carcinus maenas*)에서 Biomarker를 검증하기 위한 연구에서도 *Tisbe* 속의 요각류가 다양한 독성물질에 대한 LC₅₀ 값을 도출하는 실험 생물로 사용하였고, 요각류에 미치는 자외선(예, UVB, UVR)의 영향이 연구되기도 하였다(Lacuna and Uye 2000; Stutzman 2000).

환경호르몬의 일종인 nonylphenol, 합성 steroid 호르몬 또는 pentachlorophenol (PCP)가 저서성 요각류인 *Tisbe battagliai*의 생존, 발생, 생식 및 전체 생활사에 미치는 영향도 연구되었으며(Bechmann 1999; Hutchinson *et al.* 1999; Sibly *et al.* 2000), 역시 저서성 요각류들인 *Schizopera knabeni*와 *Coullana* sp.에 대한 polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)의 한종류인 fluoranthene에 의한 독성도 연구되었다(Lotufu 1998). PCP와 1, 2-dichlorobenzene (DCB)가 요각류 알의 생존에 미치는 영향도 조사된 바 있다(Lindley *et al.* 1999). 실험실에서의 배양에 기초한 이러한 연구이외에도 공업단지 주변에 위치한 다양한 독성물질로 인한 오염지역의 수층이나 저질에 서식하는 요각류를 활용한 bioassay가 시도되고 있다(Kirby *et al.* 1998; Kovatch *et al.* 1999; Matthiessen *et al.* 1998; Thomas *et al.* 1999).

요각류에서 DNA분석을 통한 연구는 극히 초보적인 단계에 놓여져 있으며, 지금까지 요각류의 유전자에 대한 연구는 매우 희귀하나, 주로 분자계통학적 접근을 위해 mitochondrial DNA에서 기원된 cytochrome c(Cyb c) 유전자를 분리해서 그 염기서열을 통해 미국 태평양연안에 서식하는 다양한 종류의 *Tigriopus*의 중간 유연관계를 살피는데 이용하였다(Rawson *et al.* 2000). 최근 Kiesling *et al.* (2002)은 개체가 너무 작고 특성이 불분

명해 정확한 동정이 어려운 유생단계에 있는 개체의 동정을 위해 종 특이적으로 hybridization될 수 있는 oligomer에 형광을 붙이는 기법을 통해 특정 종의 유생과 성체의 정확한 동정을 시도하였다. 이러한 기법은 다양한 요각류 및 기타 저서생물 중에도 유용하게 쓰일 수 있으리라 사료된다.

이상 극히 최근의 연구들을 요약했으며 요각류를 환경독성학 연구의 실험동물로 이용하기 위한 시도와 함께 앞으로 요각류에서 다양한 유용 유전자의 클로닝과 그 이용에 관한 많은 논문이 나올 수 있으리라 생각된다.

연구 전망

앞서 언급되었듯이 우리 나라 저서성 요각류의 다양성에 대한 정보는 매우 미흡한 실정이며, 일차적으로 우리 나라에 얼마나 다양한 저서성 요각류가 분포하고 있는지 밝혀내는 일이 매우 시급하다. 저서성 요각류의 다양성의 규명은 우리 인류가 추후에 이용할 수 있는 유용한 신생물자원의 개발이라는 측면에서 매우 중요하고, 다양한 서식처에 잘 적응한 요각류가 가진 유용 유전자를 이용할 수 있는 기초정보를 제공할 뿐 아니라 새로운 유전자원의 발굴에도 크게 기여를 할 수가 있다.

앞으로 추진되어야 할 연구방향은 저서성 요각류의 다양성을 파악하기 위한 연구를 토대로 우리 나라 환경에 적응한 고유종의 생물학적인 특성을 연구하고, 그로부터 유용한 유전자를 검색하는 안이 제시될 수 있으며, 그러한 일련의 연구들이 유기적인 관계 속에서 연관이 되어 그 결과가 종합적인 데이터베이스로서 작성되는 것이 바람직 할 것이다 (Fig. 1).

과거의 분류학은 그 기본적인 동정에서부터 많은 노동력을 필요로 했고, 전문적인 분류학자가 아니고서는 그 접근이 매우 어려웠다. 예를 들어, 기존의 종 분류의 검색표의 난해함으로 다른 분야의 연구자들과의 학문교류가 어려웠다. 최근 computer의 발달로 이를 통한 생물종 동정을 위한 검색표를 개선할 수 있는 여건이 향상되었다. 즉, 새로 연구된 분류군들이 타 연구자에 의해서도 쉽게 동정될 수 있는 환경을 구축할 수 있을 것이다. 구체적으로는 인터넷상에 쉽게 이용할 수 있는 네트워크를 구성하여 새로운 종의 정보를 축적하고 공개하는 체제를 갖추어 나가야 한다. 미국 국립과학재단 (NSF)에서 지원하는 차세대 분류학자를 위한 연구계획 (PEET: Partnerships for Enhancing Expertise in Taxonomy)의 예를 들어보면, 모든 분류학적인 연구결과는 추후 인터넷상에 공개하도록 되어 있으며, 우리의 경우

에도 참고를 삼아야 할 것으로 보인다.

저서성 요각류에 대한 생물다양성 정보의 축적과 더불어 진행되어야 할 것은 바로 요각류의 생물학적인 특징을 심층적으로 파악하는 일이다. 현재로서는 요각류의 기본적인 생물학적인 특성들이 잘 알려져 있지 않으나, 요각류에서 최근에 발견되고 있는 사실들은 요각류의 행동과정에서 먹이 섭식 기작, 교미 기작 등을 부유성 요각류인 Calanoida 목의 종들과 저서성 요각류인 Harpacticoida 목을 중심으로 연구가 되고 있다 (Doall *et al.* 1998; Hull *et al.* 1998; Kelly *et al.* 1998; Strickler 1998; Yen *et al.* 1998). 요각류가 어떻게 그 배우자를 찾아내는지는 행동학분야에서 매우 중요한 과제로서 조명을 받고 있다. 이러한 행동학적인 연구이외에도 요각류의 전반적인 생물학도 연구중심과제가 되어가고 있다. Battaglia (1970)가 해산요각류의 유전적, 진화적인 연구를 위한 배양방법에 대한 개요를 제시한 이후, 많은 연구가 있지는 않았으나, 일부 요각류의 기본적인 염색체의 숫자를 밝히는 karyotype 연구가 보고되어 있으며 (Lazzaretto and Libertini 1986, 1987; Lazzaretto *et al.* 1989; Libertini and Lazzaretto 1993), 요각류의 신경전달 기작에 대한 연구도 부유성 요각류를 이용하여 초기 단계에서 진행이 되고 있다 (Lenz *et al.* 2000; Weatherby *et al.* 2000). 저서성 요각류는 비교적 배양이 용이하다. 국내에서도 어류의 먹이생물로서 저서성 요각류 *Tigriopus japonicus*의 유용성을 인식하고 이를 대량배양하기 위한 최적 성장 조건을 찾으려는 다수의 시도가 있었다 (박 등 1998; 정 등 1998). 한편으로 저서성 요각류는 배양을 통한 각종 독성실험용 생물로서 개발이 용이함을 의미한다. 배양을 통한 요각류의 발생단계에 관한 연구는 수서 무척추동물의 발생에 매우 중요한 정보를 더할 수 있다. 아직도 많은 부분에서 요각류의 생리적인 기작은 그 연구 시도조차 되지 못하고 있다. 이러한 연구들에서 밝혀진 새로운 정보들은 다시 더욱 정확한 분류를 위한 피드백의 작용으로서, 다양성 연구에 영향을 줄 수 있다.

나날이 강조되고 있는 환경보전과 그 실태파악의 중요성에 비추어 볼 때, 건강한 생태계를 보존해 나가고 환경을 올바르게 감시할 수 있는 체계의 발달이 매우 시급하다 하겠다. 그러한 환경모니터링 시스템의 개발에는 앞서 언급한 바와 같이 중형저서생물의 활용이 매우 유리한 장점을 갖는다. 중형저서생물은 장, 단기에 걸쳐서 환경을 올바르게 모니터링하는 유용한 수단이 될 수가 있으며, 그 다양성을 파악함으로써 실제적인 적용이 가능해질 수 있을 것이다. 앞으로 선충류와 요각류의 비율 (N/C ratio)을 각 지역별로 비교하여 모니터링하는 방법

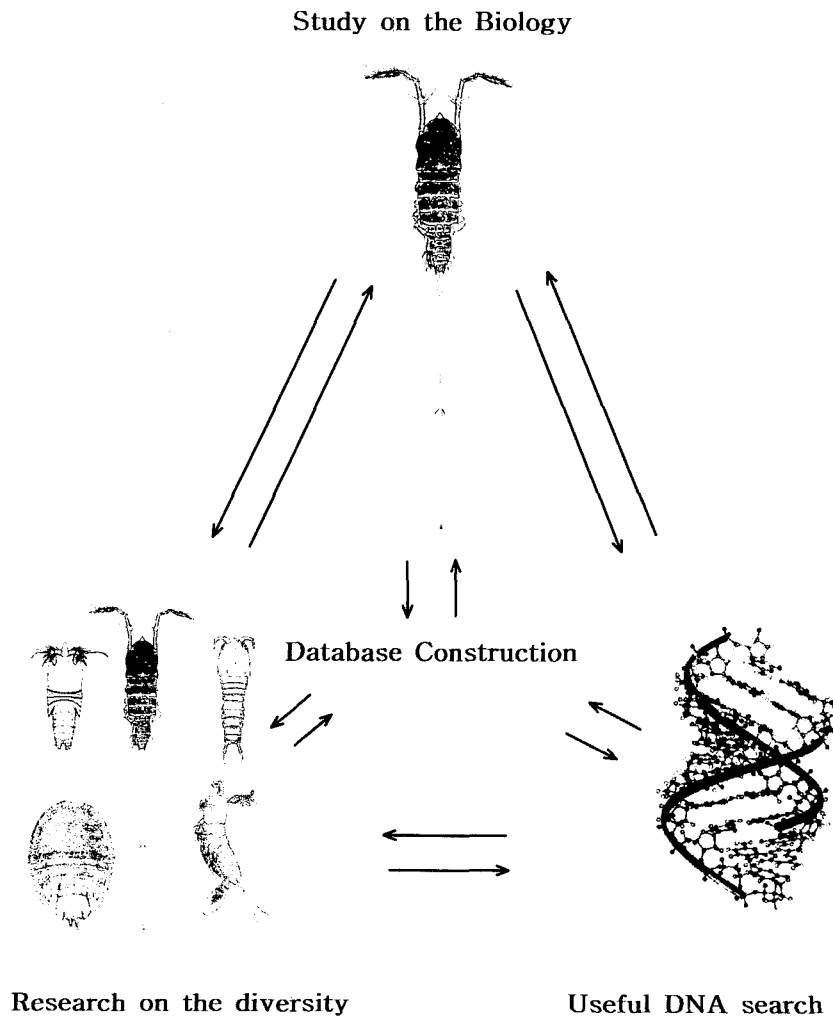


Fig. 1. Schematic concept of the possible research plan for the benthic copepods study.

을 개발하기 위해서, 우리 나라에서는 아직까지 일부지역에서만 조사된 중형저서생물 군집의 종조성과 생물량에 대한 기초적인 연구가 선행되어야 할 것이다. 따라서, 저서성 요각류의 다양성에 관한 연구는 차후에 중형저서생물을 이용한 환경모니터링 시스템의 개발에 관련하여 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

이러한 노력을 계속함으로써, 타학문과의 연구협력을 용이하게 만들고, 필요한 분야에서 새로운 생물다양성에 관한 정보를 쉽게 접할 수 있도록 할 수 있을 것이다.

적 요

요각류는 수서생태계 내에서 1차 소비자로서 매우 중요한 생물이다. Harpacticoida 목에 포함되는 대부분의

저서성 요각류는 중형저서생물에 포함되며, 전세계적으로 3,000여 종 가량의 해산종이 알려져 있다. 저서성 요각류의 다양성을 파악하는 일은 기본적으로 새로운 생물자원과 유전자원의 발굴이라는 측면에서도 중요하다. 해산 저서성 요각류 다양성 연구의 중요성 및 앞으로의 연구 전망에 대해서 논의하였다.

사 사

이 논문은 2001년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음을 밝힙니다. 도판 작업에 도움을 준 이강현 군과 논문 교정에 도움을 준 송영희 양(한양대학교 생명과학과)에게 감사를 포함합니다. 끝으로 세세한 내용까지 심사에 심혈을 기울여 주신 두분 심사자께 깊은 감

사를 드립니다.

인 용 문 헌

- 김동성, 이재학. 2000. 시화호 오염수 방류에 따른 중형저서동물의 군집변동. 한국환경생물학회지. 18:279-290.
- 김동성, 이재학. 2001. 시화호 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관하여. 한국환경생물학회지. 19:159-171.
- 김동성, 제종길, 신상호. 2000. 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링. 한국수산학회지. 33:307-319.
- 박흥기, 허성범, 김철원. 1998. 부착성 요각류, *Tigriopus japonicus*의 배양방법 및 먹이 효율. 한국양식학회지. 11:261-269.
- 정민진, 노섭, 김필연. 1998. *Tigriopus japonicus*의 세균 섭이. 한국양식학회지. 11:113-118.
- Amjad S and JS Gray. 1983. Use of the nematode-copepod ratio as an index of organic pollution. Mar. Pollut. Bull. 14:178-181.
- Astley KN, HC Meigh, GA Glegg, J Braven and MH Depledge. 1999. Multi-variate analysis of biomarker responses in *Mytilus edulis* and *Carcinus maenas* from the Tees estuary (UK). Mar. Pollut. Bull. 39:1-12.
- Battaglia B. 1970. Cultivation of marine copepods for genetic and evolutionary research. Helgoländer wiss. Meeresunters 20:385-392
- Bechmann RK. 1999. Effect of the endocrine disrupter nonylphenol on the marine copepod *Tisbe battagliai*. Sci. Total Environ. 233:33-46.
- Bisby FA. 2000. The quiet revolution: Biodiversity informatics and the internet. Science 289:2309-2312.
- Bodin PH. 1988. Catalogue des nouveaux copepodes harpacticoides marin. Univ. Bretagne Occidentale. 289 pp.
- Bodin PH. 1997. Catalogue of the new marine harpacticoid copepods (1997 edition). Studiedocumenten van het K. B.I.N. 89:1-304.
- Boucher G. 1980. Facteurs d'équilibre d'un peuplement de nématodes des sables sublittoraux. Mém. Mus. natn. Hist. nat. Paris. 114:1-81.
- Brady GS. 1880. A monograph of the free and semi-parasitic Copepoda of the British Islands. Roy. Soc. Lond. 2:1-182.
- Burton SM, SD Rundle and MB Jones. 2001. The relationship between trace metal contamination and stream meiofauna. Environ. Pollut. 111:159-167.
- Chang CY and HS Kim. 1991. *Harpacticella itoi*, a new harpacticoid species from Korea (Copepoda: Harpacticoida: Harpacticidae). Korean J. Syst. Zool. 7:73-80.
- Chang CY and SJ Song. 1995. Marine harpacticoid copepods of genus *Eudactylopus* (Harpacticoida, Thalestridae) in Korea. Korean J. Syst. Zool. 11:379-388.
- Chang CY and SJ Song. 1997a. Two new Thalestrid harpacticoids (Copepoda, Harpacticoida, Thalestridae) from Korea. Korean J. Biol. Sci. 1:297-304.
- Chang CY and SJ Song. 1997b. Marine harpacticoids of genus *Parathalestris* (Copepoda, Harpacticoida, Thalestridae) from Korea. Korean J. Syst. Zool. 13:221-231.
- Coull BC and JW Fleeger. 1977. Long-term temporal variation and community dynamics of meiobenthic copepods. Ecology 58:1136-1143.
- Coull BC, GRF Hicks and JBJ Wells. 1981. Nematode-copepod ratios for monitoring pollution: a rebuttal. Mar. Pollut. Bull. 12:378-381.
- Doall MH, SP Colin, JR Strickler and J Yen. 1998. Locating a mate in 3D: the case of *Temora longicornis*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 353B:681-689.
- Dutta TK and A Kaviraj. 2001. Acute toxicity of cadmium to fish *Labeo rohita* and copepod *Diaptomus forbesi* pre-exposed to CaO and KMnO₄. Chemosphere 42:955-958.
- van Es FB, MA van Ankel, LA Bouwman and HGJ Schröder. 1980. Influence of organic pollution on bacterial, macrobenthic and meiobenthic populations in intertidal flats of the Dollard. Neth. J. Sea Res. 14:288-304.
- Fleeger JW and GT Chandler. 1983. Meiofauna responses to an experimental oil spill in a Louisiana salt marsh. Mar. Ecol. Progr. Ser. 11:257-264.
- Higgins RP and H Thiel. 1988. Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 488pp.
- Ho J-S and J-S Hong. 1988. Harpacticoid copepods (Thalestridae) infesting the cultivated Wakame (brown alga, *Undaria pinnatifida*) in Korea. J. Nat. Hist. Lond. 22:1623-1637.
- Hull MQ, AW Pike, AJ Mordue (Luntz) and GH Rae. 1998. Patterns of formation and mating in an ectoparasitic caligid copepod *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer 1837): implications for its sensory and mating biology. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 353B:753-764.
- Hutchinson TH, NA Pounds, M Hampel and TD Williams. 1999. Impact of natural and synthetic steroids on the survival, development and reproduction of marine copepods (*Tisbe battagliai*). Sci. Total Environ. 233:167-179.
- Huys R and GA Boxshall. 1991. Copepod Evolution. Ray Society, London. 159:1-468.
- Huys R., JM Gee, CG Moore and R Hamond. 1996. Marine and brackish water harpacticoid copepods. Part 1.

- Synopses of the British Fauna (New Series). 51. Field Studies Council, Shrewsbury. viii 352 pp.
- Huys R and W Lee. 1999. On the relationships of the Normanellidae and the Recognition of Cletopsyllidae grad. nov. (Copepoda, Harpacticoida). Zool. Anz. 237: 267-290.
- Huys R and W Lee. 2000. Basal resolution of laophontid phylogeny and the paraphyly of *Esola* Edwards. Bull. Nat. Hist. Mus. (Zool.) 66:49-107.
- Kelly LS, TW Snell and DJ Lonsdale. 1998. Chemical communication during mating of the harpacticoid *Tigriopus japonicus*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 353B:737-744.
- Kiesling TL, E Wilkinson, J Rabalais, PB Ortner, MM McCabe and JW Fell. 2002. Rapid identification of adult and naupliar stages of copepods using DNA hybridization methodology. Mar. Biotechnol. 4:30-39.
- Kim IH. 1991. A new species of *Namakosiramia* Ho and Perkins, parasitic on holothurians from Korea (Copepoda: Harpacticoida). Bull. Plankton Soc. Japan, Spec. Vol. (1991):429-435.
- Kim IH. 1998. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 38. Cirripedia, Symbiotic Copepoda, Pycnogonida. Ministry of Education. 1038pp.
- Kim IH and HS Kim. 1997. Harpacticoid copepods of the genus *Porcellidium* associated with marine macroalgae in the seas of Korea. Korean J. Syst. Zool. 13:141-172.
- Kim SH and W Kim. 1996. Two species of Porcellidiidae (Copepoda, Harpacticoida) associated with hermit crabs from Korea. Korean J. Syst. Zool. 12:375-387.
- Kim SH and W Kim. 1997. Two new species of the subfamily Donsiellinae (Copepoda, Harpacticoida, Thalestridae) associated with the isopod from Korea. Korean J. Biol. Sci. 1:1-13.
- Kim SH and W Kim, 1998. *Alteuthoides affinis*, a new peltidiid copepod (Harpacticoida) associated with the sponge from Cheju Island, Korea. Korean J. Biol. Sci. 2:203-208.
- Kirby MF, MA Blackburn, JE Thain and MJ Waldock. 1998. Assessment of water quality in estuarine and coastal waters of England and Wales using a contaminant concentration technique. Mar. Poll. Bull. 36:631-642.
- Kovatch CE, GT Chandler and BC Coull. 1999. Utility of a full life-cycle copepod bioassay approach for assessment of sediment-associated contaminant mixtures. Mar. Poll. Bull. 38:692-701.
- Lacuna DG and S-I Uye. 2000. Effect of UVB radiation on the survival, feeding, and egg production of the brackish-water copepod, *Sinocalanus tenellus*, with notes on photoreactivation. Hydrobiologia 434:73-79.
- Lang K. 1948. Monographie der Harpacticiden. Håkan Ohlssons Boktryckeri, Lund (Sweden) 1682 pp.
- Lang K. 1965. Copepoda Harpacticoida from the Californian Pacific coast. K. svenska vetensk. Akad. Handl. 10:1-566.
- Lazzaretto I and A Libertini. 1986. Karyological comparison among different Mediterranean populations of the genus *Tigriopus* (Copepoda, Harpacticoida). Boll. Zool. 53:197-202.
- Lazzaretto I and A Libertini. 1987. Chromosomal differentiation in two reproductively isolated populations of the Superspecies *Tisbe clodiensis* (Copepoda, Harpacticoida). Biol. Zent. bl. 106:723-729.
- Lazzaretto I, A Libertini and B Zanini. 1989. Nucleolus organizer regions in two sibling species of the genus *Tisbe* (Copepoda, Harpacticoida). Biol. Zent. bl. 108: 167-171.
- Lee W and R Huys. 1999a. *Bathylaophonte* gen. nov. from deep-sea hydrothermal vents and the polyphyly of *Paronychocamptus* Lang (Copepoda: Harpacticoida). Cah. Biol. Mar. 40:293-328.
- Lee W and R Huys. 1999b. New *Tachidiella* (Copepoda: Harpacticoida: Tisbidae) from the Antarctic and Norway including a review of the genus. Zoosystema 21: 419-444.
- Lee W and R Huys. 1999c. New Normanellidae (Copepoda: Harpacticoida) from western Pacific cold seeps including a review of the genus *Normanella* Brady. Cah. Biol. Mar. 40:203-262.
- Lee W and R Huys. 2000. New Aegisthidae (Copepoda: Harpacticoida) from western Pacific cold seeps and hydrothermal vents. Zool. J. Linn. Soc. 129:1-71.
- Lee W and K-I Yoo. 1998. A new species of the genus *Neocervinia* (Copepoda: Harpacticoida: Cerviniidae) from the Hatsushima cold-seep site in Sagami Bay, Japan. Hydrobiologia 377:165-175.
- Lenz PH, DK Hartline and AD Davis. 2000. The need for speed. I. Fast reactions and myelinated axons in copepods. J. Comp. Physiol. 186A:337-345.
- Libertini A and I Lazzaretto. 1993. The karyotype in an antarctic harpacticoid copepod: *Dactylopodia* sp. Polar Biol. 13:97-99.
- Lindley JA, P Dokin, SV Evans, CL George and KF Uil. 1999. Effects of two organochlorine compounds on hatching and viability of calanoid copepod eggs. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 242:59-74.
- Lotufo GR. 1998. Lethal and sublethal toxicity of sediment-associated fluoranthene to benthic copepods: application of the critical-body-residue approach. Aquat. Toxicol. 44:17-30.

- Marcotte BM and BC Coull. 1974. Pollution, diversity and meiobenthic communities in the North Adriatic (Bay of Piran, Yugoslavia). *Vie Milieu* 24:281–300.
- Matthiessen P, S Bifield, F Jarrett, MF Kirby, RJ Law, WR McMinn, DA Sheahan, JE Thain and GF Whale. 1998. An Assessment of sediment toxicity in the river Tyne estuary, UK by means of bioassays. *Mar. Environ. Resear.* 45(1):1–15.
- May RM. 1988. How many species are there on Earth? *Science* 241:1441–1448.
- Miliou H, G Verriopoulos, D Maroulis, D Bouloukos and M Moraitou-Apostolopoulou. 2000. Influence of life-history adaptations on the fidelity of laboratory bioassays for the impact of heavy metals (Co^{2+} and Cr^{6+}) on tolerance and population dynamics of *Tisbe holothuria*. *Mar. Pollut. Bull.* 40:352–359.
- Raffaelli D. 1981. Monitoring with meiofauna—A reply to Coull, Hicks and Wells (1981) and additional data. *Mar. Pollut. Bull.* 12:381–382.
- Raffaelli DG and CF Mason. 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.* 12:158–163.
- Rawson PD, DA Brazeau and RS Burton. 2000. Isolation and characterization of cytochrome c from the marine copepod *Tigriopus californicus*. *Gene* 248:15–22.
- Sharp AA and DE Stearns. 1997. Sublethal effects of Cupric ion activity on the grazing behaviour of three calanoid copepods. *Mar. Pollut. Bull.* 34:1041–1048.
- Sibly RM, TD Williams and MB Jones. 2000. How environmental stress affects density dependence and carrying capacity in a marine copepod. *J. Appl. Ecol.* 37:288–397.
- Song SJ and CY Chang. 1993. Eight Harpacticoid Species of Harpacticidae (Copepoda, Harpacticoida) from Korea. *Korean J. Syst. Zool.* 9:203–220.
- Song SJ and CY Chang. 1995. Marine harpacticoid copepods of Chindo Island, Korea. *Korean J. Syst. Zool.* 11:65–77.
- Song SJ, W Kim and CY Chang. 2001. Redescriptions of two Thalestrid copepods, *Phyllothalestris sarsi* Sewell, 1940 and *Dactylopusia falcifera* Willey, 1935 (Copepoda, Harpacticoida, Thalestridae) in Korea. *Korean J. Syst. Zool.* 17:229–243.
- Song SJ and SG Yun. 1999. A new species of Peltidium quinquesetosum (Copepoda: Harpacticoida: Peltidiidae) on the marine macroalgae in Korea. *Korean J. Syst. Zool.* 15:67–74.
- Song SJ, SG Yun and CY Chang. 1999. New records on three harpacticoid copepods associated with marine macroalgae in Korea. *J. Fish. Sci. Tech.* 2:189–198.
- Strickler JR. 1998. Observing free-swimming copepods mating. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 353B:671–680.
- Stutzman PL. 2000. An examination of the potential effects of food limitation on the ultraviolet radiation (UVR) tolerance of *Diaptomus minutus*. *Freshwat. Biol.* 44:271–277.
- Thomas KV, RE Benstead, JE Thain and MJ Waldoek. 1999. Toxicity characterization of organic contaminants in industrialized UK Estuaries and coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 38:925–932.
- Warwick RM. 1981. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.* 12:329–333.
- Warwick RM. 1988. Analysis of community attributes of the macrobenthos of Fierfjord/Langesundfjord at taxonomic levels higher than species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 46:167–170.
- Weatherby TM, AD Davis, DK Hartline and PH Lenz. 2000. The need for speed. II. Myelind in calanoid copepods. *J. Comp. Physiol.* 186A:347–357.
- Wells JBJ. 1967. The littoral Copepoda (Crustacea) of Inhaca Island, Mozambique. *Trans. Roy. Soc. Edinb.* 67:189–358.
- Wells JBJ and GC Rao. 1987. Littoral Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) from Andaman and Nicobar Islands. *Mem. Zool. Surv. India* 16:1–385.
- Yeatman HC. 1983. Copepoda from microhabitats in Fiji, Western Samoa, and Tonga. *Micronesica* 19:57–90.
- Yen J, MJ Weissburg and MH Doall. 1998. The fluid physics of signal perception by mate-tracking copepods. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 353B:787–804.
- Yoo K-I and W-C Lee. 1993. A marine harpacticoid copepod, *Lourinia armata*, new to Korea. *Korean J. Syst. Zool.* 9:115–121.
- Yoo K-I and W-C Lee. 1995. Marine harpacticoid copepods from the Korean waters. *J. Yellow Sea* 1:34–49.

(Received 10 January 2002, accepted 20 February 2002)