

섬진강 하류계의 요각류 군집에 관한 생태학적 연구

김광수 · 이종빈¹ · 이관식 · 강장원 · 유형빈*

(전남대학교 생물교육과, ¹전남대학교 생명과학부)

Ecological Study of Copepoda Community in the Lower Seomjin River System, Korea. Kim, Kwang-Soo, Jong-Bin Lee,¹ Kwan-Sik Lee, Jang-Won Kang and Hyung-Bin Yoo(Dept. of Biology education, Chonnam National University, ¹Dept. of Biological sciences, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)*

The present study was carried out to clarify the structure and dynamics of copepod community and the relationship between this community and environmental factors during the period from February 1998 to July 1999. Copepods consists of 21 genera and 32 species, monthly variations of number of species were 15 species in May, 1998 and 2 species November, 1998. The number of species were 22 species in station 12 and station 1, 2, 3 occurred nauplii of copepoda only. Average abundance ranged from 8,330 ind./m³ (in June, 1999) to 177 ind./m³ (in November, 1998). Relationships between water temperature and number of species were as follows: 20 species occurred from 20.1 to 25.0°C and nuplii of copepoda only occurred from 0.0 to 5.0°C. The number of species by salinity range were 19 species in 20.1~25.0‰ and 9 species in 0~0.5‰. The number of species by trophic state index (TSIm) of chlorophyll *a* were 25 species in oligotrophic state and 9 species in eutrophic state. Relationships between pH and number of species were as follows: 20 species occurred from 7.6 to 8.0 and from 9.1 to 9.5 was none. The number of species by DO range were 22 species in 6.5 to 7.5 mg/l and 1 species in 14.5 to 15.5 mg/l. The percentage calculated effect by stepwise multiple regression of the pearson correlation coefficient value of environmental factors and copepoda abundance (station 1-station 4) revealed that positive effect was 15.49% in COD, 25.86% in Cl⁻, 19.75% in NO₂-N and negative effect was 28.30% in NO₃-N. Also, Positive effect (station 5-station 12) revealed that 29.49% in water temperature, 28.27% in NO₃-N, 22.87% in NO₂-N and negative effect was 30.18% in conductivity and 13.53% in DO.

Key words : Copepoda, Community, Ecology, Environmental factors, Lower Seomjin River System

서 론

전라북도 진안군 백운면 팔공산에서 발원하여 경상남도 하동군과 전라남도 광양시 경계에서 남해로 흘러드는 섬진강은 인근 지역의 필요한 농업용수 공급원으로

서 주민 생활에 필요한 생활용수로서 유용하게 이용되고 있다. 그러나 최근 들어 섬진강 본류와 지류 주변의 인구의 밀집지역과 농경지 및 목장 등에서 생활하수와 농축산물 오수 유입량이 증가하고 있으며, 지리산 피아골, 쌍계사 계곡 등의 위락 시설에서 섬진강 하류계로 방류되는 오염물질의 양이 많아지고 있다. 또한, 광양만

* Corresponding author: Tel: 062) 530-2504, Fax: 062) 530-2509, E-mail: hbyoo@chonnam.ac.kr

지역을 중심으로 한 공단에서 광양만으로 공장 폐수 및 생활하수가 대량 유입되어 하동 취수장에서부터 광양제철소에 이르는 기수역의 수질 오염이 가속화됨에 따라 수중 생태계가 파괴되어 생물상이 크게 변화되고 있는 실정이다. 기수역은 담수와 해수가 만나는 곳이며, 또한 이들이 혼합되어 만들어진 기수(염분 0.5~30‰)가 존재하므로 하구에는 담수, 해수, 그리고 기수에 서식하는 생물군이 혼재되어 나타나며 (Jefferies, 1962) 이들의 분포양상은 조석의 주기에 따른 감조수역의 변화로 인한 염분에 크게 영향을 받게 된다. 최근 Columbia 강 하구에서 먹이망 구조를 조사한 *Simenstad et al.* (1990)은 동물플랑크톤에 의한 소비율이 전체의 71~83%에 이른다고 하였다. 그러므로 강 하류 생태계의 실상을 파악하기 위해서는 먹이 연쇄의 초기 단계에서 중요한 역할을 담당하고 있는 동물 플랑크톤에 군집에 관한 생태학적 연구가 절실히 필요한 과제라고 할 수 있다.

우리 나라에서 기수역에 대한 연구는 강원도 지방의 기수호(김 등, 1981; 이 등, 1987), 만경·동진강하구(서 등, 1991), 한강 기수해역(명, 1992) 등에서 극히 제한적으로 연구 보고가 있을 뿐이며, 광양만에 대한 연구로는 식물성플랑크톤의 종조성 및 생물량 조사(Choe, 1970; Jhoo and Sheo, 1975; Yang and Kim, 1981; Yang, 1983)와 동물성플랑크톤의 관한 연구(Yang and Kim, 1981; Kim, 1984; 서 등, 1993) 등이 광양제철소 주변 해역에서 수행된 바 있다. 그러나 섬진강 하류계 요각류 군집에 관한 연구보고는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 섬진강 하류계에 서식하고 있는 요각류 군집의 생태학적 특성을 밝히기 위하여 이들의 종조성 및 시공분포, 생물량의 계절적 변동, 수온, 염분도, 수질단계, 수소이온농도, 용존산소에 따른 종조성과 개체군의 밀도 변화를 파악하여 섬진강 하류계에 서식하는 요각류 군집구조의 특성을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 기간 및 조사 정점

요각류의 채집과 이화학적 조사는 1998년 2월부터 1999년 7월까지 매달 실시하였다. 조사 정점은 위도에 따라 구례군 토지면 외곡리 피아골 계곡 합류점(정점 1)에서 광양시 진월면 선소리 앞(정점 12)까지 12개 정점을 선정하여 수심이 얕은 정점(정점 1, 2, 3, 4)들은 강가에서 조사하였으며 수심이 깊은 정점인 전라남도 광양시 다압면 섬진마을(정점 5)부터 하구인 광양시 진월면 선소리 앞(정점 12)까지는 만조시간을 이용하여 모

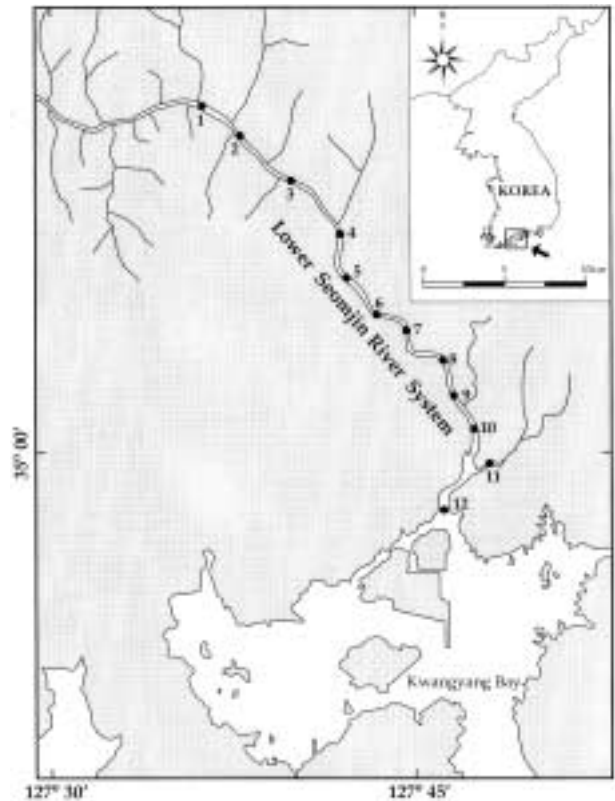


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Lower Seomjin River system.

터보트로 강의 중앙부에서 조사를 실시하였다 (Fig. 1).

정점 1. 전라남도 구례군 토지면 외곡리 피아골 합류점, 정점 2. 경상남도 하동군 화계면 덕은리, 정점 3. 경상남도 하동군 악양면 평사리, 정점 4. 경상남도 하동군 적량면 흥룡리, 정점 5. 전라남도 광양시 다압면 섬진마을, 정점 6. 경상남도 하동군 하동읍 하동대교, 정점 7. 전라남도 광양시 진상면 월길리, 정점 8. 경상남도 하동군 고전면 신월리, 정점 9. 전라남도 광양시 진월면 조사리, 정점 10. 경상남도 하동군 고전면 대덕리, 정점 11. 경상남도 하동군 고전면 섬진대교 옆 지류, 정점 12. 전라남도 광양시 진월면 선소리

2. 재료의 채집 및 처리

요각류의 채집은 정량용 플랑크톤 네트(망구 30 cm, 망목 55 μ m)를 사용하여 10 m씩 수평 채집하였으며, 채집 직후 5%의 중성 포르말린으로 고정시킨 후 실험실로 운반하여 실험 재료로 사용하였다.

종의 동정을 위하여 각 개체를 알코올(8) : 글리세린(2) 혼합 용액에 넣은 다음 1% basic fuchsin으로 12시간

염색 후 hole-slide glass에 시료를 넣고 해부 현미경하에서 외부 형태를 관찰하고, 분류의 특징이 되는 제1촉각(first antenna), 제2촉각(second antenna), 제1~5 흉각(thoracic leg)을 해부한 후 영구 프레파라트를 만들어 광학현미경($\times 100$, $\times 400$)하에서 관찰하였다.

시료의 정량분석은 200 ml로 농축한 시료를 균일하게 섞은 후 1 ml를 취하여 Bogorov 계수판에 넣고 해부 현미경하에서 각 3회 계수한 것의 평균치를 단위 체적당 개체수(ind./m³)로 환산한 후 Standard methods에 의하여 생물량을 나타내었다. 분류 체계는 Bowman & Abele (1982), Nishida & omori (1977), Kim (1985), Chang (1988)의 방법에 의하였으며, 환경 요인은 수온, 투명도, 수소이온 농도, 용존 산소량, 생물학적 산소 요구량, 화학적 산소 요구량, 부유물질, 염분, 염소이온, 전도도, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, T-P, 엽록소 *a* 등을 측정하였다. 그리고 환경요인과 요각류 군집과의 상관관계를 알아보기 위하여 SAS (Statistical analysis system)통계 패키지를 이용하여 단계식 중 회귀 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 이화학적 특성

조사기간 동안 수온이 4.2~26.8°C, 투명도가 0.6~4.3 m, 수소이온 농도가 6.60~9.63, 용존산소량이 6.51~16.20 mg/l, 생물학적 산소요구량이 0.10~6.63 mg/l, 화학적 산소요구량은 0.80~6.71 mg/l, 부유 물질은 0.60~60.3 mg/l, 염분은 0.00~31.20‰, 염소이온 농도가 4.0~23,048 mg/l, 전도도는 43~39,100 μ mohs/cm, 암모니아성 질소는 0.000~0.340 mg/l, 아질산성 질소는 0.00~0.18 mg/l, 질산성 질소는 0.02~2.37 mg/l, 총 질소는 0.40~3.15 mg/l, 총 인은 0.00~1.16 mg/l의 범위로 분포하였으며, 생물학적 요인인 엽록소 *a*는 1.11~42.7 mg/l의 범위를 나타내었다.

2. 종 조성 및 생물량

섬진강 하류계에서 조사 기간동안 출현한 요각류는 21속 32종이었다(Table 1). 전 조사 기간동안 월별 출현종의 분포는 1999년 5월에 15종(*Acartia hudsonica*, *Centropages abdominalis*, *Sinocalanus tenellus*, *Paracalanus parvus*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *Oithona rigida*, *O. similis*, *Harpacticella* sp., *Harpacticus uniremis*, *Moraria varica*, *Enhydrosome* sp., *Corycaeus affinis*, unidentified *Harpacticoida* sp., *Hemicyclops japonicus*, *copepodid*, *nauplius*)으로 가장 많이 출현하였으며,

11월에 가장 적은 2종(*P. parvus*, *copepodid*, *nauplius*)이 출현하였다(Fig. 2). 특정 계절에만 출현한 종으로는 춘계에 9종(*Halicyclops sinensis*, *Acanthocyclops bisetosus*, *Oithona similis*, *Nitocra* sp., *Mesochra hinumaensis*, *Moraria varica*, *Epactophanes* sp., *Corycaeus affinis*), 하계에 3종(*Acartia* sp., *Oithona robusta*, *O. nana*), 추계에 1종(*Acartia southwelli*) 그리고 동계에 2종(*Pseudocalanus minutus*, *Paracalanus aculeatus*)으로 조사되었다. 그리고 특정 1개월에만 출현한 종은 *Acartia southwelli* 외 14종이었으며, 유생(copepodid, nauplius)은 전 조사기간 동안 계속 출현하였다.

정점별 출현종 분포(Fig. 3)는 정점 12에서 22종(*Acartia hudsonica*, *A. omorii*, *A. erythraes*, *A. sp.*, *Centropages abdominalis*, *Pseudocalanus minutus*, *Paracalanus aculeatus*, *P. parvus*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *Eurytemora pacifica*, *Oithona davisae*, *O. rigida*, *O. robusta*, *O. nana*, *Tachidius*(*Neotachidius*) *triangularis*, *Harpacticella* sp., *Harpacticus uniremis*, *Corycaeus affinis*, unidentified *Harpacticoida* sp., *Hemicyclops japonicus*, *copepodid*, *nauplius*)이 출현하여 가장 많았으며, 정점 1, 2, 3에서는 유생(copepodid, nauplius)만 출현하였다. 정점 12와 인접한 광양만 조사에서 출현한 요각류는 1982년에 14속 22종(Kim, 1984), 1992년 조사(서 등, 1993)에서는 부유성 요각류의 우점종이 6종(*Calanus sinicus*, *Paracalanus* sp., *Pseudodiaptomus marinus*, *Corycaeus affinis*, *Acartia omorii*, *Centropages abdominalis*)으로 조사된 바 있다. 조사 기간동안 *Acartia southwelli*(정점 6), *Enhydrosome* sp.(정점 7), *Oithona similis*(정점 8), *Halicyclops sinensis*, *Acanthocyclops*(*Diacyclops*) *bisetosus*(정점 9), *Pseudocalanus minutus*, *Paracalanus aculeatus*, *Corycaeus affinis*(정점 12)는 특정 1개의 정점에서만 출현하였다.

월별 평균 생물량(Fig. 4)은 유생시기를 포함하여 1999년 6월에 평균 8,330 ind./m³으로 최고량을 기록하였는데 이는 *Acartia hudsonica*(404 ind./m³), *A. erythraes*(255 ind./m³) 그리고 *copepodid*, *nauplius*(7,395 ind./m³)가 많은 출현량을 보인 결과이며, 1998년 11월에 177 ind./m³으로 최저량은 *Paracalanus parvus*와 *copepodid*, *nauplius*만이 출현하였기 때문이다. Twombly (1983)은 동물플랑크톤의 갑각류중에서 모든 시기와 지점을 통해서 요각류 유생시기가 가장 높은 밀도로 점유한다고 하였는데 섬진강 하류계에서도 같은 결과를 나타내었다. 월별 평균 생물량의 변동을 살펴보면, 1998년 2월에 753 ind./m³의 양을 기록하고 있으며, 3월부터 감

Table 1. Checklist of Copepoda in the Lower Seomjin River System.

Phylum Arthropoda	Genus <i>Oithona</i> Kiefer
Class Crustacea Pennant	<i>Oithona davisae</i> Ferrari & Orsi
Subclass Copepoda O. F. Müller	<i>O. rigida</i> Giesbrecht
Order Calanoida G.O. Sars	<i>O. robusta</i> Giesbrecht
Family Acartiidae Sars	<i>O. nana</i> Giesbrecht
Genus <i>Acartia</i> Dana	<i>O. similis</i> Claus
<i>Acartia southwelli</i> Sewell	Order Harpacticoida G.O. Sars
<i>A. hudsonica</i> Pinhey	Suborder Oligarthra Lang
<i>A. omorii</i> Bradford	Family Tachidiidae Sars
<i>A. erythraes</i> Giesbrecht	Genus <i>Tachidius</i> Lilljeborg
<i>A. sp.</i>	<i>Tachidius (Neotachidius) triangularis</i> Shen and Tai
Family Centropagidae Giesbrecht	Family Harpacticidae Sars
Genus <i>Centropages</i> Kroyer	Genus <i>Harpacticella</i> Sars
<i>Centropages abdominalis</i> Sato	<i>Harpacticella</i> sp.
Genus <i>Sinocalanus</i> Burckhardt	Genus <i>Harpacticus</i> Milne-Edwards
<i>Sinocalanus tenellus</i> (Kikuchi)	<i>Harpacticus uniremis</i> Kroyer
Family Clausocalanidae = Pseudoclanidae	Family Ectinosomidae Sars(Part.) & Olofsson
Genus <i>Pseudocalanus</i>	Genus <i>Microsetella</i> Brady & Robertson
<i>Pseudocalanus minutus</i> (Kroyer)	<i>Microsetella rosea</i> (Dana)
Family Paracalanidae Giesbrecht	Family Ameiridae Monard
Genus <i>Paracalanus</i> Boeck	Genus <i>Nitocra</i> Boeck
<i>Paraclanus aculeatus</i> Giesbrecht	<i>Nitocra</i> sp.
<i>P. parvus</i> (Claus) s.1.	Family Canthocamptidae Sars
Family Pseudodiaptomidae Sars	Genus <i>Mesochra</i> Boemk
Genus <i>Pseudodiaptomus</i> Herrick	<i>Mesochra hinumaensis</i> Kikuchi
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i> Burckhardt	Genus <i>Moraria</i> Scott
Family Temoridae Giesbrecht	<i>Moraria varica</i> (Graeter)
Genus <i>Eurytemora</i> Giesbrecht	Genus <i>Epactophanes</i> Mrazk
<i>Eurytemora pacifica</i> Sato	<i>Epactophane</i> sp.
Order Cyclopoida Burmeister	Family Cletodidae Scott
Family Cyclopidae Sars	Genus <i>Enhydrosoma</i> Boeck
Genus <i>Eucyclops</i> Claus	<i>Enhydrosoma</i> sp.
<i>Eucyclops eucanthus</i> (Sars)	Order Poecilostomatoida
Genus <i>Halicyclops</i> Norman	Family Corycaeidae
<i>Halicyclops sinensis</i> Kiefer	Genus <i>Corycaeus</i>
Genus <i>Acanthocyclops</i> Kiefer	<i>Corycaeus affinis</i>
<i>Acanthocyclops (Discyclops) bisetosus</i> (Rehberg)	Sapphire-like Copopida
Family Oithonidae Dana	<i>Hemicyclops japonicus</i> Itoh & Nishida

소하여 4월에는 비교적 적은 369 ind./m³을 나타내었다. 4월 이후부터 증가하기 시작하여 5월에 2,515 ind./m³을 기록하였으며, 5월 이후부터 생물량이 큰 폭으로 증가하기 시작하여 6월에 *A. hudsonica* (181 ind./m³)와 copepodid, nauplius (7,595 ind./m³)가 대량 발생하여 7,965 ind./m³을 나타내었다. 7월에는 *Pseudodiaptomus inopinus* (209 ind./m³), *Oithona davisae* (177 ind./m³) 그리고 copepodid, nauplius (7,549 ind./m³)가 많은 출현량을 보여 8,173 ind./m³을 기록하였으나, 7월 이후 급 감소하여 8월에 1,378 ind./m³, 9월에 998 ind./m³, 10월에 1,164 ind./m³ 그리고 11월에는 최저량인 177 ind./m³을 나타내었다. 12월에는 약간 증가하여 564 ind./m³, 1999년 1월

에 다시 감소하여 355 ind./m³을, 2월에는 증가하여 1,161 ind./m³, 3월에 2,920 ind./m³을 기록하였으며, 4월에는 약간 감소하여 1,940 ind./m³을 나타내고 있으나 4월 이후부터 *A. hudsonica*, *Sinocalanus tenellus*, *P. inopinus*종의 대량 발생으로 5월에 7,592 ind./m³을 기록하였다. 6월에는 최고의 양인 8,330 ind./m³을 기록하였으나 7월에는 5종이 소량으로 출현하여 2,261 ind./m³을 나타내었다. 계절별 평균 생물량 변동 경향을 종합하여 살펴보면, 동계에는 소량 출현하였으며 춘계에 증가하기 시작하여 하계에 가장 많은 양을 기록하였다. 이와 같은 현상은 한강 하류계 (Lim, 1992)와 영산강 수계 (李, 1998)에서도 같은 결과를 나타낸 바 있다.

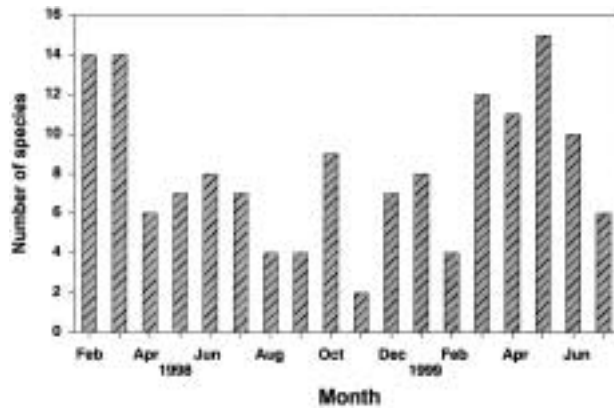


Fig. 2. Seasonal changes in the number of species in the Lower Seomjin River System.

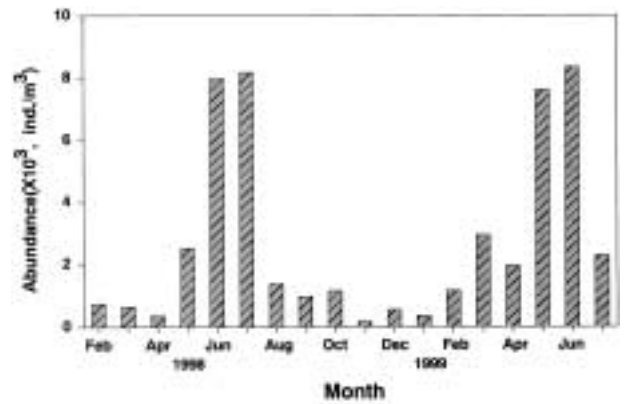


Fig. 4. Seasonal changes in the abundance of copepoda in the Lower Seomjin River System.

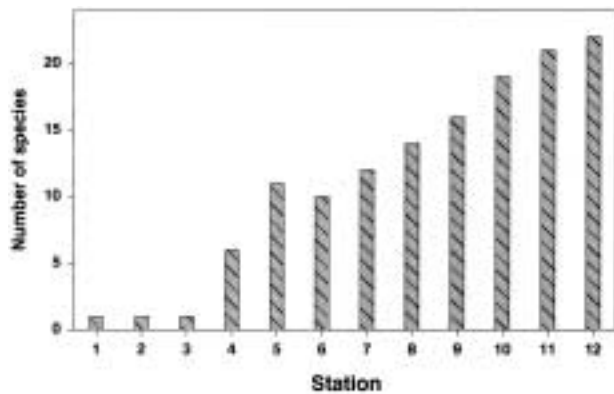


Fig. 3. Variations of number of species by stations in the Lower Seomjin River System.

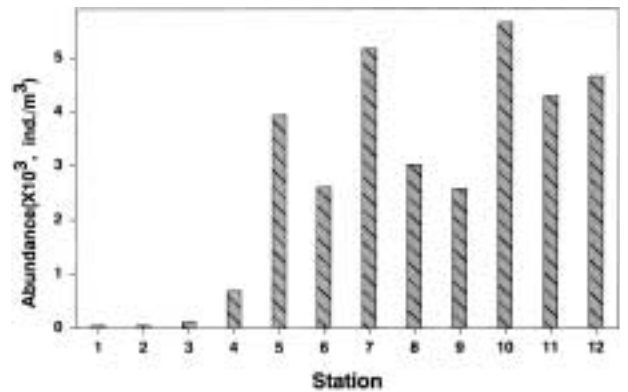


Fig. 5. Variations of abundance by stations in the Lower Seomjin River System.

조사기간 동안 유생시기를 포함한 정점별 평균 총 생물량 (Fig. 5)은 정점 7에서 5,169 ind./m³으로 최고량을, 정점 1과 정점 2에서 55 ind./m³으로 최저량을 기록하였다. 유생시기를 제외한 생물량은 정점 12에서 1,476 ind./m³으로 가장 많은 양을 나타내고 있으며, 정점 1, 2, 3은 출현종이 없었다. 유생시기의 생물량을 제외한 정점별 평균 생물량 변동을 살펴보면, 정점 4에서 343 ind./m³으로 Harpacticoida목에 속하는 3종이 출현하였으며, 이 중 *Moraria varica*가 많은 양으로 출현하였다. 정점 5에서는 기수종인 *Sinocalanus tenellus* (322 ind./m³)와 *Pseudodiaptomus inopinus* (189 ind./m³)가 많은 출현 밀도를 나타내어 비교적 많은 651 ind./m³을 기록하였다. 정점 7에서는 226 ind./m³, 정점 8에서는 290 ind./m³, 정점 9에서는 142 ind./m³, 정점 10에서는 368 ind./m³으로 비교적 적은 생물량을 기록하고 있는데, 이

정점들은 조석의 주기에 따라 담수와 해수의 교차가 심한 곳으로 염분에 대한 생리적 적응 능력이 강한 종만이 소량으로 출현하였기 때문이다. 그리고 정점 11과 정점 12에서는 각각 1,251 ind./m³, 1,531 ind./m³으로 비교적 많은 생물량을 나타내었는데 이들 정점은 섬진강 하구에 위치한 정점으로 연안지역에 서식하는 종들이 많은 출현을 보인 결과이다.

4. 이화학적 요인 변화에 따른 요각류 군집의 변동

1) 수온

수온은 동물플랑크톤의 생리적, 생태적인 측면에서 중요한 요인으로 작용하며 metabolic rate, 생산력, 성체의 크기 등도 온도에 의해 조절된다 (Michael, 1990). 따라서 본 연구 수역에 서식하는 요각류에 대하여 수온에 따른 군집의 밀도를 알아보고자 한다. 수온 범위에 따른

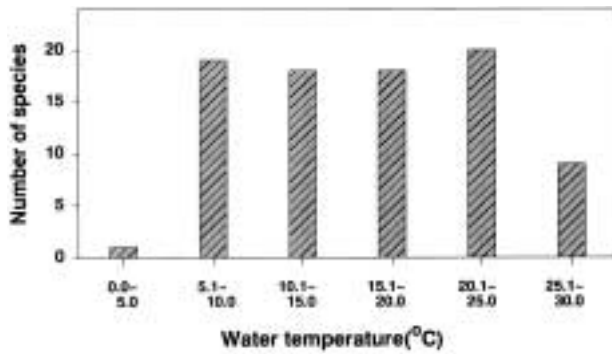


Fig. 6. Relationships between water temperature and number of species in the Lower Seomjin River System.

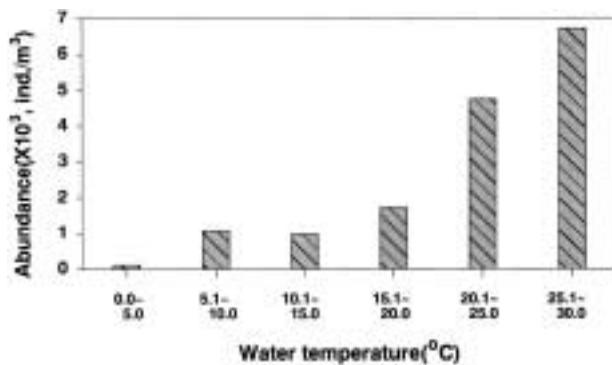


Fig. 7. Relationships between water temperature and abundance in the Lower Seomjin River System.

생물량 변동은 20.1~25.0°C의 범위에서 20종이 출현하여 가장 많았으며, 0~5.0°C의 범위에서는 유생 (copepodid, nauplius)만 출현하여 가장 적었다 (Fig. 6). 군집 밀도는 25.1~30.0°C에서 평균 6,678 ind./m³으로 최고치를, 0~5.0°C에서 126 ind./m³으로 최저치를 나타내었다 (Fig. 7). 조사 기간동안 비교적 많은 개체수로 출현한 종에 대하여 수온에 따른 생물량 변동을 살펴보면, *Acartia*속은 5~25°C의 범위에서 출현하여 5~15°C, 20~25°C의 범위에서 많은 출현 밀도를 나타내었다. *A. hudsonica*는 10~15°C의 범위 중에서 많은 생물량을 기록하였으며, *A. omorii*는 5~18°C의 범위에서 출현하여 5~12°C에서 많은 출현을 보여 전 종에 비하여 낮은 수온에서 부화되는 것으로 판단된다. 본 종은 광양만 조사 (서 등, 1993)에서 8월에 전혀 출현하지 않았으나 수온이 낮아진 12월에 가장 많은 출현을 보였다는 결과와 일치하는 현상을 나타내었다. *A. erythraes*는 21~24°C

의 범위에서 출현하여 연안 난류성 종이었으며, 1993년 진해만 조사 (강 등, 1996)에서 수온이 높은 하계에만 출현하였다. 이와 같이 *Acartia*속에 속하는 종들은 수온에 따라 개체군 변동에 크게 영향을 미치고 있는데, Jeffries (1962)에 따르면 *Acartia*속에 속하는 종들은 수온이 번성에 중요한 요소로 작용한다고 한 바 있다. *Centropages abdominalis*는 8~20°C의 범위에서 출현하고 있으나 15°C 이하에서 출현 분포의 중심을 나타내어 호한성 종이였다. 본 종은 1984년 광양만 조사 (Kim, 1984)에서 겨울과 봄에만 출현하였으며, 1993년 조사 (서 등, 1993)에서는 2월에 최고의 생물량을 기록하였다. 또한, 진해만 (강 등, 1996)에서 2, 3, 4, 5월에 출현하여 4월에 최대량을 보였으며, 천수만 (Shim et al., 1990)에서는 춘계에 우점종이였다. *Sinocalanus tenellus*는 5~27°C의 범위에서 출현하여 14~27°C 범위의 비교적 온화한 수온에서 많은 출현 밀도를 나타내고 있어 호온성 광온종이였으며, *Paracalanus parvus* 또한, 6~24°C의 범위에서 출현하여 15~25°C에서 많은 개체수로 출현하여 호온성 광온종이였다. *P. parvus*는 광양만 (서 등, 1993)에서 최고 수온기인 8월에 내만을 중심으로 대량 번식하였으며, 본 종은 한국의 내만에서 여름철에 특히 대량 번식하는 종으로 알려져 있다. *Pseudodiaptomus inopinus*는 8~27°C의 범위에서 출현하여 21~27°C에서 많은 출현 분포를 나타내었다. 본 종은 만경 동진강 하구 (서 등, 1991)에서 수온이 비교적 낮은 3월과 10월에 우점종으로 보고되었으나 본 연구 수역에서 하계에 대량 발생하는 것으로 보아 높은 수온에서도 잘 적응하는 종으로 판단된다.

*Oithona*속은 20~25°C의 범위에서 많은 출현을 보이고 있으며, *O. robusta*는 24~25°C, *O. nana*는 21~24°C, *O. similis*는 20~21°C의 범위에서만 출현하여 호온성 협온종으로 판단되며, 특히 *O. similis*는 1984년 광양만 (Kim, 1984)에서 봄과 여름에 최 우점종이였다. 또한, *O. davisae*는 분포 범위가 5~27°C로 광온성 종이며 17~27°C에서 많은 출현 분포를 나타내었다. *Harpacticella* sp.와 *Harpacticus uniremis*는 5~26°C의 범위에서 출현하고 있으며 전자는 20~25°C, 후자는 15~20°C의 범위에서 많은 밀도로 출현하였다.

유생 (copepodid, nauplius)은 전 수온 범위에서 많은 출현을 보였으며, 수온이 상승할수록 개체군의 밀도가 증가하여 25.1~30.0°C 범위에서 최대의 생물량을 기록하였다. 이와 같이 수온은 섬진강 하류계의 동물플랑크톤의 군집구조와 개체군 밀도 변화에 중요한 요인이었다. McLaren (1978)에 의하면 요각류의 재생산은 일반적

으로 조류에 의한 혼합이 활발하고 연중 생물 생산이 높은 해역에서 먹이보다 온도에 크게 영향을 받는다고 하였으며, Urabe (1989)는 동계에 수온의 변화가 동물플랑크톤 군집구조를 결정하는 중요한 요인이라고 한 바 있다. 또한, Allan (1976)은 동계에서 춘계까지 일부 동물플랑크톤의 생물량은 수온에 의해 결정된다고 하여 수온과 군집구조 관계를 강조하였다.

2) 염분도

강 하류에서 동물플랑크톤의 염분에 대한 내성은 그들의 군집분포를 결정하는 중요한 요소이며 특히, 작은 강 하류에서는 세로축을 따라 염분의 분포가 달라져 종의 연속성의 변동양상과 우점 출현하는 종의 분포도 염분의 농도와 밀접한 관계가 있다 (Michael, 1990). 따라서 섬진강 하류계에 서식하고 있는 요각류와 염분과의 관계를 알아보려고 한다. 본 연구 수역에서 측정된 염분 분포를 Remane and Schlieper (1971)의 분류체계를 참고하여 담수역 (0.5‰ 이하), 빈염기수역 (0.5~5.0‰), 중염기수역 (5.0~28.0‰), 고염기수역 (28‰ 이상)으로 나누었다. 염분도에 따른 요각류의 출현 분포는 20.1~25.0‰의 구간에서 가장 많은 19종, 0~0.5‰ 범위에서 가장 적은 9종이 각각 출현하였다 (Fig. 8). 평균 생물량은 0.6~5.0‰ 범위에서 최고량을, 0.0~0.5‰ 범위에서 최소량을 기록하였다 (Fig. 9). 또한 빈염기수역에서 4종 (*Sinocalanus tenellus*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *Harpacticella* sp., *Mesochra hinumaensis*), 중염기수역에서 8종 (*Acartia hudsonica*, *A. sp.*, *Paracalanus parvus*, *Eurytemora pacifica*, *Oithona davisae*, *O. rigida*, *Harpacticus uniremis*, *Microsetella rosea*), 고염기수역에서 1종 (*A. omorii*)은 각각의 염분 범위에서 출현분포의 중심을 나타내는 특징을 나타내었다. 조사기간 동안 많은 출현 밀도를 나타낸 종에 대하여 염분 범위에 따른 개체군 밀도의 변화양상을 보면, 기수종인 *Acartia southwelli*는 빈염기수역인 4~5‰에서 소량 출현하였으며, *A. hudsonica*는 1~32‰, *A. omorii*는 18~32‰의 범위에서 출현하여 전자가 후자에 비하여 낮은 염분에서 강한 내성을 가지는 종으로 나타났다. 만경 동진강 하구 (서 등, 1991)에서는 대략 27~28‰를 경계로 저염인 곳에서 *A. hudsonica*, 고염인 곳에서는 *A. omorii*의 분포중심이 나타났으며, 연안 난류성 종인 *A. erythraes*는 비교적 높은 염분 범위인 27~29‰에서 출현하였다. *Centropages abdominalis*는 16~28‰의 범위에서 출현하여 15.0~20.0‰에서 최대 밀도를 나타내었는데, 본 종은 한국의 연안에서 흔히 볼 수 있는 종으로 알려져 있다 (서 등,

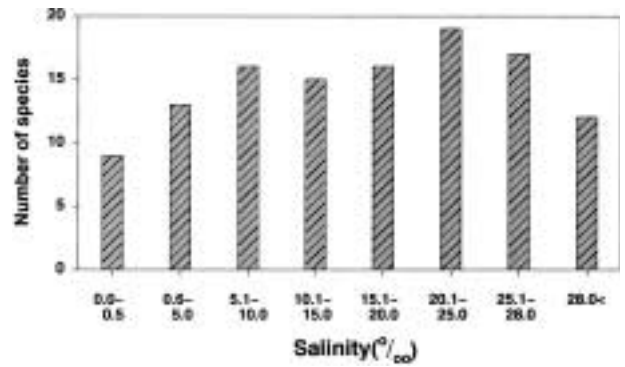


Fig. 8. Relationships between salinity and number of species in the Lower Seomjin River System.

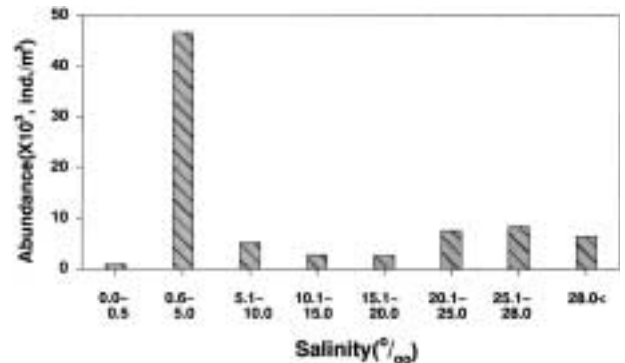


Fig. 9. Relationships between salinity and abundance in the Lower Seomjin River System.

1991). *Sinocalanus tenellus*는 우리나라 강 하구에서 출현하는 대표적인 기수종으로 0~14‰의 범위에서 출현하여 0.6~5.0‰의 빈염기수역에서 출현 분포의 중심이 나타내었다. 본 종은 담수인 영산호 (Yoo et al., 1987)에서도 출현한 바 있다. *Paracalanus parvus*는 2~29‰의 구간에서 광범위하게 분포하여 염분이 증가함에 따라 출현 밀도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 본 종은 한강 하구 기수해역 (명, 1992)에서 14~32‰의 염분 범위에 분포하여 주로 27‰ 이상에서 많은 양이 출현하였다. *Pseudodiaptomus inopinus*는 기수종으로 1~29‰의 범위에서 출현하고 있으나 0.6~5.0‰에서 분포 중심이 나타났다. 본 종은 만경 동진강 하구 (서 등, 1991)에서 7월에 염분이 0.7‰인 곳에서 많은 출현 밀도를 기록하였으며, 담수인 영산호와 한강 하류계 (Yoo and Lim, 1991)에서도 출현한 바 있다. *Eurytemora pacifica*는 11~32‰의 범위에서 고르게 출현하는 양상을 나타내었으며, *Halicyclops sinensis*는 한강 하류계 (Lim,

1992)의 담수역에서 출현하였으나 본 조사 수역에서는 7.6%의 염분에서 출현하였다. 본 종이 연안의 저염분 기수에서 서식하며 中國의 廣東省의 廣州와 江蘇省의 無錫 및 天津에서 출현하였다(水野, 1982). *Oithona davisae*는 7~32%의 범위에서 출현하여 20% 이상의 염분에서 많은 출현 분포를 나타내었다. 그리고 *Harpacticus uniremis*는 0~30%의 범위에서 출현하여 전 염분 범위에서 고른 밀도로 분포하고 있는 것으로 보아 염분에 대한 생리적 적응 범위가 큰 종으로 사료되며, 유생(copepodid, nauplius)은 특히 0.6~10.0%의 범위에서 가장 많은 밀도로 출현하였다. 일반적으로 환경 변화가 심한 강 하구 생태계에서 동물플랑크톤의 분포 및 군집 변동은 그 지역의 다양한 환경과 밀접한 관계를 보이고 있는데, 본 조사 수역에서는 그 중 염분에 의해 크게 영향을 받고 있는 것으로 조사되었다. 한편 Collins and Williams (1982)는 영국 남서부 연안의 동물플랑크톤 군집 분포를 결정하는 가장 중요한 요인이 염분이라고 한 바 있다.

3) 부영양화 단계

본 연구에서 부영양화도 지수는 엽록소 a의 농도를 Aizski 등이 제안한 수정지수를 사용하여 계산하였다. 지수의 계산 공식은 다음과 같다.

$$TSIm(Chl) = 10 \left(2.46 + \frac{\ln(Chl)}{\ln(2.5)} \right)$$

여기서 Chl은 엽록소 a의 농도(mg/l)이다.

수질 단계에 따른 출현종은 빈 영양상태에서 25종으로 가장 많았으며, 부 영양상태에서 9종으로 가장 적었다(Fig. 10). 그리고 빈영양 상태에서 6종, 중영양 상태에서 3종, 중-부영양상태에서 3종은 각 수질 상태에서만 출현하였으며, 평균 생물량은 중영양 상태에서 3,453 ind./m³으로 최고량을, 중-부영양상태에서 1,118 ind./m³으로 최저량을 기록하였다(Fig. 11). 비교적 많은 개체수로 출현한 종에 대하여 부영양에 따른 평균 생물량 변동을 살펴보면, *Acartia hudsonica*와 *A. erythraes*가 빈 영양 상태에서 많은 생물량을 나타낸 반면, *A. omorii*는 중-부영양 상태에서 출현 밀도의 중심을 보여 전자에 비해 오염에 대한 내성이 강한 종으로 나타났다. *Acartia* 군집은 수체가 정체되어 있고 부영양화가 진행되는 내만 해역의 유기오염 지표종으로 가치가 있다고 보고(Park and Lee, 1882; Yamazi, 1956)된 바 있으며, 홍등(1994)은 부산항 해역에서 *A. omorii*의 출현량으로 오염의 진행 정도를 밝힌 바 있다. *Centropages abdo-*

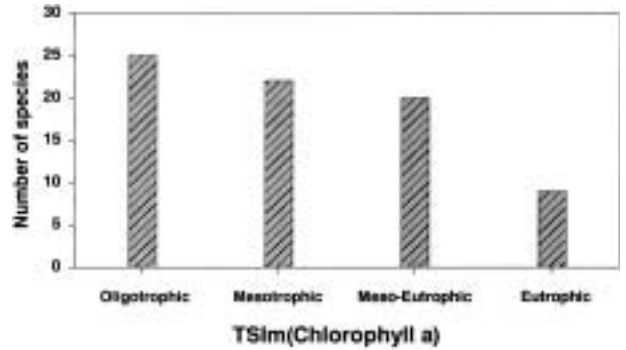


Fig. 10. Relationships between TSim and number of species in the Lower Seomjin River System.

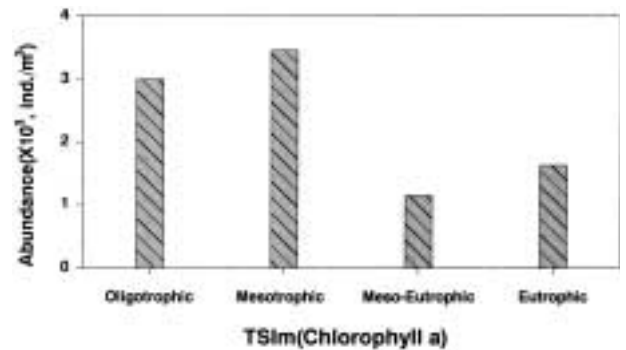


Fig. 11. Relationships between TSim and abundance in the Lower Seomjin River System.

*minalis*는 중영양 상태에서, *Sinocalanus tenellus*는 빈 영양 상태에서 높은 출현 밀도를 보였으며, *Pseudodiaptomus inopinatus*는 빈영양과 중영양 상태에서 많은 출현량을 나타내었다. *Paracalanus parvus*는 빈영양 상태와 부영양 상태에서 많은 생물량을 기록하고 있으며, *Oithona davisae*는 부영양 상태에서, *O. rigida*는 중영양 상태에서 *O. nana*는 빈영양 상태에서 각각 많은 밀도로 출현하였다. *Harpacticella* sp.는 부영양 상태에서, *Harpacticus uniremis*는 중-부영양 상태에서, *unidentified Harpacticoida* sp.는 빈영양 상태에서 많은 출현 밀도를 보이고 있으며, 유생(copepodid, nauplius)은 빈영양과 중영양 상태에서 출현 분포의 중심을 나타내었다.

4) 수소이온농도(pH)

수소이온농도 범위에 따른 종 조성은 pH 7.6~8.0의 범위에서 가장 많은 20종이었으며, pH 9.1~9.5의 범위에서는 출현종이 없었다(Fig. 12). 유생시기를 포함한 생물량은 pH 7.6~8.0의 범위에서 평균 3,646 ind./m³으로

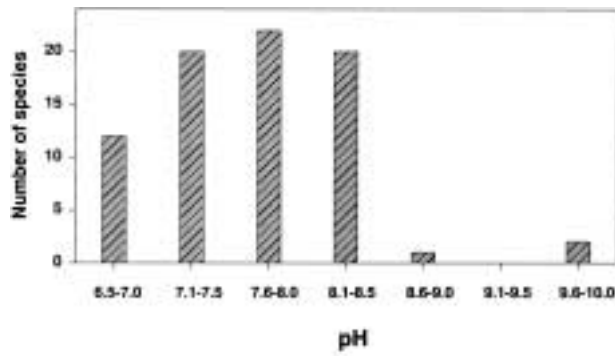


Fig. 12. Relationships between pH and number of species in the Lower Seomjin River System.

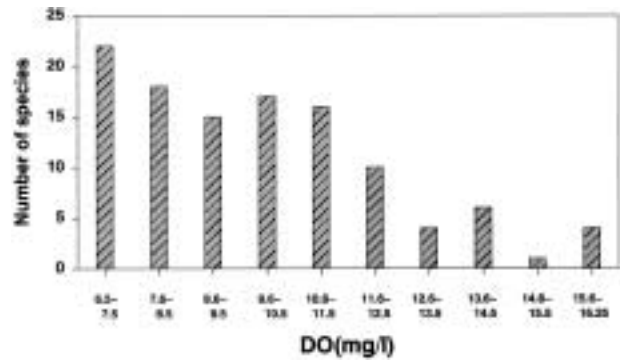


Fig. 14. Relationships between DO and number of species in the Lower Seomjin River System.

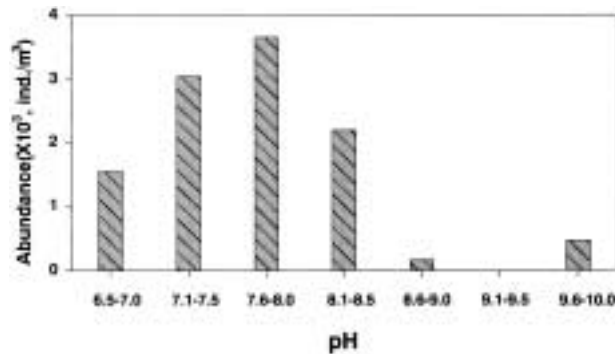


Fig. 13. Relationships between pH and abundance in the Lower Seomjin River System.

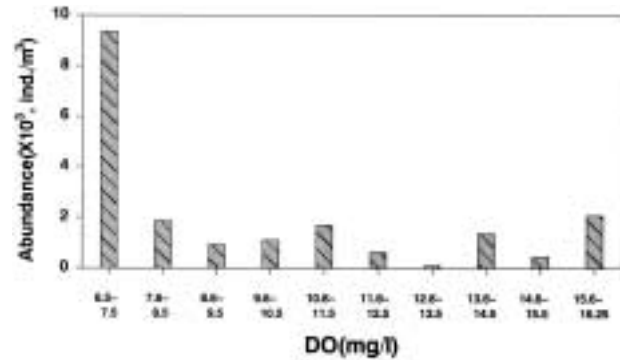


Fig. 15. Relationships between DO and abundance in the Lower Seomjin River System.

최고량을 나타내었으며 (Fig. 13), 유생시기를 제외한 최대 밀도는 pH 8.1~8.5의 범위에서 830 ind./m³이었다. 개체수가 비교적 많이 출현한 종에 대하여 pH 변화에 따른 개체군 밀도 변화를 살펴보면, *Acartia hudsonica*와 *A. erythraes*는 pH 7.6~8.0의 범위에서 최대 밀도를 나타낸 반면, *A. omorii*는 pH 8.1~8.5의 범위에서 가장 많은 밀도를 나타내었다. *Sinocalanus tenellus*, *Pseudodiaptomus inopinus*는 pH 6.5~7.0의 범위에서, *Paracalanus parvus*는 pH 8.1~8.5의 범위에서 각각 최대 밀도를 기록하였으며, *Oithona*속은 pH 7.6~8.0, Harpacticoida목은 8.1~8.5, 유생 (copepodid, nauplius)은 pH 7.6~8.0의 범위에서 각각 출현 분포의 중심이 나타났다. 전반적으로 pH 6.5~8.0의 범위에서는 수소 이온 농도가 높아짐에 따라 개체군의 밀도도 증가하는 양상을 나타내었는데 한강 하류계 (Lim, 1992)에서도 같은 결과를 얻은 바 있다.

5) 용존산소량 (DO)

용존산소에 따른 요각류 출현 분포는 6.5~7.5 mg/l의 범위에서 22종으로 가장 많이 출현하였으며 14.5~15.5 mg/l 범위에서 1종으로 가장 적게 출현하였다 (Fig. 14). 평균 생물량은 6.5~7.5 mg/l의 범위에서 9,346 ind./m³으로 최고량을 기록하였으며 (Fig. 15), 유생시기를 제외한 생물량은 10.6~11.5 mg/l의 범위에서 가장 많은 820 ind./m³을 나타내었다. 조사기간 동안 비교적 많은 생물량을 기록한 종에 대하여 용존산소의 변화에 따른 평균 개체군 밀도의 변동을 살펴보면, *Acartia hudsonica*는 15.6~16.5 mg/l 범위에서, *A. omorii*는 13.6~14.5 mg/l의 범위에서 각각 215 ind./m³으로 최고의 밀도로 출현하였다. *Sinocalanus tenellus*는 9.6~10.5 mg/l의 범위에서 평균 161 ind./m³으로 가장 많은 생물량을 기록하고 있으나 *Paracalanus parvus*는 6.5~12.5 mg/l의 범위에서 고르게 분포하는 경향을 나타내었다. 그리고 *Oithona*속은 용존산소 6.5~8.5 mg/l의 범위에서, Harpacticoida목은 7.6~11.5 mg/l의 범위에서 비교적 많은 생물량을 기

록하였으며, 유생 (copepodid, nauplius)은 용존산소 6.5 ~ 7.5 mg/l의 범위에서 가장 많은 8,240 ind./m³의 개체 수를 나타내었다. 전반적으로 용존산소 7.6 ~ 16.5 mg/l의 범위에서는 용존산소 변화에 따른 생물량의 변동에는 뚜렷한 경향성을 나타내지 않았다.

5. 환경요인과 동물플랑크톤 군집의 동태

요각류의 생물량과 환경요인과의 상관관계를 살펴보기 위해 단계적 변수 선택법 (stepwise method)으로 설명변수를 추출하여 환경요인이 요각류 생물량에 미치는 영향도를 엽분도에 따라 담수역, 기수역으로 구분하여 살펴보았다.

담수역 (정점 1~정점 4)에서 환경요인이 요각류에 미치는 영향으로는 COD (15.49%), 엽소이온 (25.86%), NO₂-N (19.75%)순으로 양 (positive)의 영향을 미치고 있는 반면, NO₃-N (28.30%)는 음 (negative)의 영향을 미치고 있는 것으로 나타났으며 회귀식은 다음과 같다.

$$y = 82.24 + 288.96[\text{COD}] - 35.17[\text{Chl-}a] - 436.90[\text{NO}_3\text{-N}] + 13.51[\text{Cl}^-] \quad [R^2 = 0.27]$$

특히, *Acartia hudsonica*에는 NO₃-N (22.49%)가 양의 영향을 주고 있으며, 유생 (copepodid, nauplius)에는 엽록소 *a* (25.78%)가 양의 영향을, NO₃-N (28.68%)가 음의 영향을 미치고 있었다. 기수역 (정점 5~정점 12)에서는 수온 (29.49%), NO₃-N (28.27%), NO₂-N (22.87%)가 양의 영향을 미치고 있으며, 전도도 (30.18%), 용존산소 (13.53%)가 음의 영향 주었다. 회귀식은 다음과 같다.

$$y = 2330.86 + 316.65[\text{Tem}] - 581.66[\text{COD}] + 93141.84[\text{NO}_2\text{-N}] - 3660.43[\text{NO}_3\text{-N}] \quad [R^2 = 0.30]$$

주요 출현종의 생물량과 환경요인과의 관계를 보면, *Acartia hudsonica*에는 엽분 (32.73%)이 양의 영향으로, 엽록소 *a* (31.66%)가 음의 영향으로 작용하고 있으며, *Sinocalanus tenellus*에는 엽분 (10.87%)이 양의 영향을, NO₃-N (4.44%)가 음의 영향을 주었다. *Paracalanus parvus*에는 전도도 (20.83%)가 양의 영향을 주고 있으며, *Pseudodiaptomus inopinus*에는 투명도 (9.66%)가 양의 영향으로 NO₃-N (2.92%)가 음의 영향으로 작용하였다. *Oithona davisae*에는 NH₃-N (21.77%)가 양의 영향을, 전도도 (14.62%)가 음의 영향을 주었으며, 유생 (copepodid, nauplius)에는 수온 (28.75%)이 양의 영향을, NO₃-N (26.76%)가 음의 영향을 미치고 있었다.

이와 같이 섬진강 하류계에서 담수역과 기수역에서

요각류의 생물량에 영향을 주는 요인이 각각 다르게 나타나고 있는데, 이는 몇몇 환경요인에 의해 요각류 군집 구조가 결정되는 것이 아니라 복합적인 이화학적 요인에 의하여 결정되고 있음을 시사한다.

적 요

섬진강 하류계 요각류 군집의 생태학적 연구를 위하여 1998년 2월부터 1999년 7월까지 매달 채집하였다. 본 연구 수역에서 요각류는 21속 32종로 조사되었으며, 1998년 5월에 가장 많은 15종, 1998년 11월에 가장 적은 2종이 출현하였다. 정점별로는 정점 12에서 22종으로 가장 많았으며, 정점 1, 2, 3에서는 유생만 출현하였다. 월별 평균 생물량은 177 ind./m³ (98년 11월) ~ 8,330 ind./m³ (99년 6월)에서 변동하였다. 수온에 따른 종 분포는 20.1 ~ 25.0°C 범위에서 가장 많은 20종이 출현하였으며, 0.0 ~ 5.0°C 범위에서는 유생시기만 나타났다. 엽분도에 따른 종 조성으로는 20.1 ~ 25.0‰ 범위에서 19종, 0.0 ~ 5.0‰ 범위에서 4종으로 각각 최고, 최저 출현 분포를 보였다. 부영양화 단계 (TSIm)에 따른 종 분포는 빈영양화 단계에서 25종이었으며, 부영양화 단계에서는 9종이 출현하였다. pH에 따른 종 분포로는 7.6 ~ 8.0 범위에서 20종으로 가장 많은 출현을 보였지만 9.1 ~ 9.5 범위에서는 출현종이 없었다. 그리고 용존산소량에 따른 분포로는 6.5 ~ 7.5 mg/l 범위에서 22종, 14.6 ~ 15.5 mg/l 범위에서 1종이 출현하여 각각 최고, 최저 출현 분포를 나타내었다. 각 환경요인이 요각류 생물량에 미치는 영향으로는 담수역 (정점 1~정점 4)에서 COD (15.49%), Cl⁻ (25.86%) 그리고 NO₂-N (19.75%)가 양의 영향을, NO₃-N (28.30%)가 음의 영향을 미치고 있으며, 기수역 (정점 5~정점 12)에서는 수온 (29.49%), NO₃-N (28.27%) 그리고 NO₂-N (22.87%)가 양의 영향을 미치고 있는 반면, 전도도 (30.18%)와 DO (13.53%)는 음의 영향을 미치고 있었다.

인 용 문 헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용. 1996. 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지 **29**: 415-430.
- 김종만, 리순길, 허성범, 김동엽, 이재학, 이진환, 허형택. 1981. 동해안 기수호 (향호, 송지호, 영랑호)의 해양 생태학적 연구. 해양연구소보 **3**: 29-37.
- 명철수. 1992. 한강하구 기수해역의 동물플랑크톤 군집에 관

- 한 생태학적 연구. 인하대학교 석사학위 청구논문, pp. 1-88.
- 서해립, 서호영, 차성식. 1991. 만경동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지 **26**: 181-192.
- 서호영, 서해립. 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절 변동. 한국환경학회지 **11**: 26-34.
- 李寬植. 1998. 榮山江水系の 動物플랑크톤 群集에 관한 生態學的 研究. 全南大學校 博士學位請求論文, pp. 1-113.
- 水野壽彦. 1982. 中國/日本·淡水産 橈脚類. 東海大學出版會, pp. 183-350.
- 홍성윤, 마채우, 강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. 한국해양학회지 **29**: 132-144.
- Allan, J.D. 1976. Life history patterns in zooplankton. *Am. Nat.* **110**: 165-180.
- Bowman, T.E and L.G. Abele. 1982. Classification of the recent Crustacea. in: Abele, L.G. (ed), *The Biology of crustacea : 1*. New York. pp. 1-27.
- Chang, C.Y. 1988. The freshwater copepods (Crustacea) of Korea. Ph. D. thesis, Seoul National Univ., pp. 1-234.
- Choe, J.S. 1970. Diatom of South and West Coasts of Korea in Autum. Thesis Collect. *Yeosu Fish. Tech. Coll.* **4**(2). pp. 9-17.
- Collins, N.R. and R. Williams. 1982. Zooplankton communities in the Bistol Channel and seven estuary. *Mar. Ecol.* **9**: 1-11.
- Jefferies, H.P. 1962. Copeped indicator species in estuaries. *Ecology.* **43**: 730-733.
- Jhoo, H.K. and H.J. Sheo. 1975. Physical and Chemical study on the Water Quality of Estuary of Seomjin River and Gwangyang Bay. *Kor. J. Lim.* **8**: 7-12.
- Kim, D.Y. 1985. Taxanomial study on calanoid Copepod (Crustacea: Copepoda) in Korea water. Ph. D. thesis Univ. Hanyang, pp. 1-135.
- Kim, W.S. 1984. An Ecological study on the zooplankton community in Kwangyang Bay, Korea. Master thesis, Univ. Seoul, pp. 1-76.
- Lim, B.J. 1992. Ecological studies on zooplankton community in the lower Han River system, Korea ph. D. Thesis Univ. pp. 1-192.
- McLaren, I.A. 1978. Generation Kengths of some temperature marine copepods: estimation, prediction, and im-plications. *J. Fish. Res. Bd Can.* **35**: 1330-1342.
- Michael J. Kennish. 1990. Ecology of Estuaries, volume II, Biological Aspects. CRS Press pp. 117-140
- Nishida, S.O. Tanaka and M. Omori. 1977. Cyclopoida copepods of the Family Dithonidae in suruga Bay and adjacent waters. *Oceanic Research Institute, Japan*, **3**(1): 43-82.
- Park, J.S. and S.S. Lee. 1982. Distribution and composition of chaetognaths and copepods and their characteristics as biological indicators to assess environmental pollution lkevels in the South Coast of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency.* **28**: 89-126.
- Remame, A. and C. Schlieper. 1971. Biology of brackish water. Wiley-Interscience, N.Y., 372 pp.
- Shim, J.H. and K.H. Yun. 1990. Seasonal Variation and production of zooplankton in chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.* **25**: 229-239.
- Simenstad, C.A., L.F. Small and C.D. McIntire. 1990. Cor-rumption processes and food web structure in the Columbia River estuary. *Prog. Oceanog.* **25**: 271-297.
- Twombly, S. 1983. Seasonal and short term fluctuation in zooplankton abundance i tropical Lake Malawi. *Limnol. Oceanogr.* **28**: 1214-1224.
- Urabe, J. 1989. Relative importance of temporal and spatial heterogeneity in the zooplankton community of an artifioical reservoir. *Hydrobiologia* **184**: 1-6.
- Yamazi, I. 1956. plankton investigation in inlet water along the coast of Japan. XIX. Regional charactericties and classification of inlet waters based on the plankton communities. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* **2**: 157-196.
- Yang, H.C. 1983. On Seasonal changes of the Numbers of Appearance of spawn and Fry in Kwangyang Bay, Korea. *Bull. Yeosu Nat. Fish. Coll.* **4**: 33-37.
- Yang, M.C. and Y.K. Kim. 1981. Seasinal changes in Abundance and Composition of plankton in the Kwangyang Bay, Korea. Thesis Collect. *Yeosu Nat. Fish. Coll.* **15**: 33-45.
- Yoo, K.I. and B.J. Lim and C.I. Choi. 1987. Ecological Studies on Zooplankton Community in Lake Yongsan, Korea. *Kor. J. Limnol.* **20**: 61-72.
- Yoo, K.I. and B.J. Lim. 1991. Seasonal variation in the zooplankton community structure of the lower Han River system. *Kor. J. Limnol.* **24**: 85-91.