

한강 하구역 유영생물의 종조성과 계절 변동

황선도* · 노진구

국립수산과학원 서해수산연구소

Seasonal Variation in Species Composition of Estuarine Fauna Collected by a Stow Net in the Han River Estuary on the mid-western coast of Korea

SUN-DO HWANG* AND JIN-GOO RHOW

West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research Development Institute, Incheon 400-420, Korea

한강 하구의 기수역에서 유영생물의 종조성과 계절 변동을 파악하기 위하여 2009년 2월부터 12월까지 매월 1회 강화 석모 수로에 설치된 연안개량안강망 1틀을 이용하여 24시간 동안 유영생물을 수집하였다. 채집된 유영생물은 총 86종으로 그중 어류가 54종으로 가장 많았고, 새우류 16종, 게류 등의 갑각류 12종, 두족류 3종 그리고 1종의 해파리가 출현하였다. 전체 유영생물 중 밀새우(*Palaemon carinicauda*)가 10회 출현에 개체수로 32.6%로 최고 우점하였으며, 젓새우(*Acetes japonicus*) 15.9%, 그라비새우(*Palaemon gravieri*) 9.9%, 꽃게(*Portunus trituberculatus*) 7.7%, 중국젓새우(*Acetes chinensis*) 6.9%로 이들 갑각류 5종이 총 개체수의 73.0%를 차지하였다. 한강 하구역 유영생물 군집구조는 봄과 가을에 개체수와 양적으로 변성하였고 높은 다양성을 보이는 전형적인 온대 해역의 특징을 보였다. 우점종을 서식처에 따라 구분하면, 웅어(*Coilia nasus*), 가송어(*Chelon haematocheilus*), 송어(*Mugil cephalus*)와 풀망둑(*Synechogobius hasta*), 오셀망둑(*Lophiogobius ocellicauda*), 아작망둑(*Tridentiger barbatus*), 밀새우, 그라비새우는 기수성 주거종으로, 싱어(*Coilia mystus*), 풀반지(*Thryssa hamiltonii*), 풀반댕이(*Thryssa adelae*), 밴댕이(*Sardinella zunasi*), 멸치(*Engraulis japonicus*) 등의 청어목 어류와 꽃게, 젓새우 그리고 황강달이(*Collichthys lucidus*), 병어(*Pampus argenteus*) 등은 연안 회유종으로, 뱀장어(*Anguila japonica*)는 왕복성 어류로 분류된다. 한강 하구의 경우, 기수성 어종이 우점하고, 펄을 서식처로 이용하는 새우류가 어류보다 양적으로 우세하며, 주둥치와 같이 환경이 악화된 해역에 서식하는 종이 채집되지 않음으로써 자연 하구의 생태계 구조를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

Seasonal variation in species composition of estuarine fauna in the Han River estuary was determined using monthly samples collected near Ganghwa Island by a stow net from February to December 2009. Total number of species was 86: 54 species of fishes, 16 species of shrimps of crustacean, 12 species of other crustacean such as crabs and so on, 3 species of cephalopods and 1 species of jellyfish. Of a total of 86 species, *Palaemon carinicauda* (32.6%), *Acetes japonicus* (15.9%), *Palaemon gravieri* (9.9%), *Portunus trituberculatus* (7.7%) and *Acetes chinensis* (6.9%) were predominated in abundance. These 5 crustacean accounted for 73% of total. Abundance, biomass and diversity of Han River estuarine fauna were high in spring and autumn, indicating typical pattern of temperate area. Out of dominant species, the brackish residence species such as *Coilia nasus*, *Chelon haematocheilus*, *Mugil cephalus*, *Synechogobius hasta*, *Lophiogobius ocellicauda*, *Tridentiger barbatus*, *Palaemon carinicauda*, *Palaemon gravieri* were collected almost year-round and predominated in abundance. Coastal migratory fauna species such as *Coilia mystus*, *Thryssa hamiltonii*, *Thryssa adelae*, *Sardinella zunasi*, *Engraulis japonicus*, *Portunus trituberculatus*, *Acetes japonicus*, *Collichthys lucidus*, *Pampus argenteus* were most plentiful from spring through autumn. Their adult coastal migratory entered the estuary in spring and large numbers of their juveniles were grew in summer and autumn until moving out to deeper waters for over-wintering, indicating they use estuary as nursing ground. Diadromous fish such as *Anguila japonica* adults were collected in autumn during their downstream migration. Brackish fauna and crustacean, especially shrimps were predominant, and few contaminant indicator species collected in the Han River estuary, indicating this area maintains the characteristics of natural estuary ecosystem.

Keywords: Han River estuary, Species composition, Brackish residence species, Coastal migratory, Diadromous fish

*Corresponding author: sdhwang@nfrdi.go.kr

서론

하구는 수산 경제적 가치, 산란 및 보육장으로서의 가치, 환경 오염 정화 기능의 가치, 다양성 보전 등 환경 보호 측면에서 생태적 가치, 교육과 관광 산업적 가치 그리고 심미적 가치를 지닌 공해 없는 산업으로 각광 받는 등 하구역의 중요성이 새롭게 인식되고 있다. 하구는 민물과 바닷물이 만나 기수역을 이루면서 담수 유입과 조석 등 영향으로 환경의 단기 변화가 크다(Allen, 1982; Day *et al.*, 1989; Greenwood and Hill, 2003). 반면, 육지로부터 강을 통해 공급되는 영양염의 축적으로 생물 생산력이 높아 연안 회유종과 기수종의 산란장 및 성육장으로 이용된다(Blaber and Blaber, 1980; Potter *et al.*, 1986; Day *et al.*, 1989; Elliott and Dewailly, 1995; 심과 이, 1999; Methven *et al.*, 2001; Franco *et al.*, 2006). 또한, 하구는 해양과 육상 수서 생태계를 연결하는 역할을 함으로써 해산종, 담수종, 기수종 및 왕복성 어종이 공존할 뿐 아니라 어류 및 갑각류, 연체류, 패류가 서식하고 있어 어업 생산성이 높다(Day *et al.*, 1989; Houde and Rutherford, 1993; Maes *et al.*, 1998; 심과 이, 1999; 김과 황, 2003; 황 등, 2005). 우리나라 하구에는 이동성실뿔장어안강망 어업을 비롯하여, 건간망, 개량안강망, 각망, 자망, 통발 및 구획어업 등이 계절에 따라 대상 어종을 달리하면서 연중 조업을 하고 있다. 뿐만 아니라, 갯벌에서 조개류 등을 캐는 마을어업이나 양식어업 등 수산 활동이 왕성하게 이루어지고 있다.

우리나라에는 국가하천규모 하구 13개, 지방1급 규모 3개, 지방 2급 규모 312개의 하구가 있다(지속발전위원회, 2006). 산업화가 진행되면서 우리나라 주요 하구역에는 인공수리시설물 축조, 임해 공업단지 조성 및 간척사업으로 인해 기수역이 상당 부분 변형되었다. 하구역에서 농공업 용수 이용을 목적으로 금강, 영산강, 낙동강 하구에는 하구둑이 건설되었고, 만경강, 동진강 유역에는 새만금 간척사업이 진행되고 있어 자연 하구의 특성이 상실된 상태이며, 한강의 경우 수중보가 건설되어 있으나 섬진강과 함께 자연 하구로 남아 있는 실정이다. 하구역에서 해수 순환 차단 등 해양 환경의 변화는 하구 생태계에 영향을 미치게 된다(최 등, 1995; 양 등, 1999; 이 등, 1999; 김 등, 1998; 권 등, 2001; 안 등, 2006; 황과 김, 2003; 이, 1992; 심과 이, 1999; 이와 황, 1995; 이, 1996, 1998; 이 등, 2003, 2007; 짝과 허, 2003; 황 등, 2005). 이에 따라 하구역 개발과 관련하여 낙동강 하구의 저어류(허와 정, 1999; 짝과 허, 2003)와 낙동강 연안역 어류(허와 안, 2000, 2002; 안과 허, 2002, 2003), 새만금 해역의 저어류(이 등, 2003, 2007), 그리고 금강 하구의 부어류(황 등, 2005)의 종조성 및 양적 변동에 관한 연구가 수행되었다. 최근, 하구둑과 수중보 설치, 조력발전소 건설 및 수변의 난개발 등에 의한 하구 생태계 교란이 예상됨에 따라 대책 마련이 시급하나, 이들 하구에 대한 체계적이고 종합적인 정책 마련이 미흡한 실정으로 하구 기능을 이해하고 미래의 가치를 파악하기 위한 과학적 연구 수행이 절실하다. 하구역에 대한 인간의 인위적 간섭이 높아지는 최근에 정치적, 지리적 여건상 아직은 자연 하구 형태를 유지하고 있는 한강 하구의 유영생물의 군집구조를 파악하여 통합적 하구관리를 위한 기초자료의 구축이 필요한 시점이다.

우리나라 하구역에는 갯벌이 발달하여 어류 이외에 새우류 등

의 서식처로 이용되고 있고, 기수종 및 연안 회유종의 계절에 따른 이동 양상이 활발하다(허와 정, 1999; 황 등, 2003). 따라서 하구역 유영생물의 종조성 및 양적 변동을 파악하기 위해서는 크기가 작은 생물과 회유성 어종을 포함하는 정량적 채집이 고려되어야 한다. 저어류는 부어류에 비하여 상대적으로 유영력이 약해 오터트롤 등의 능동 채집기기를 이용하는 경우가 일반적이다(Livingston, 1976; Horn, 1980; Allen, 1982; 이, 1991, 1993; 황 등, 1998b; 이 등, 2003), 부어류는 시공간에 따른 변화가 심하여 정량채집에는 어려움이 있다(Taylor, 1953; Lenarz and Adams, 1980; 이, 1991, 1993; 이 등, 2003). 조차가 큰 서해에서 강한 조류를 이용한 수동 어구가 부어류를 포함한 유영생물을 반정량적으로 채집할 수 있음이 제시되었고(Lee and Seok, 1984; 황, 1998; 황 등, 1998a;), 황 등(2005)은 금강 하구에서 개량안강망을 어류 종조성 및 계절 변동 분석에 사용 가능한 채집기기로 보고하였다. 따라서 빠른 조류를 이용해서 조업하는 개량안강망을 이용하면 부어류와 저어류를 포함한 어류뿐만 아니라 연성지질에 주로 서식하는 크기가 작은 새우류와 어린 개체 등의 유영생물 전체를 채집할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 서해에 위치하는 한강 하구의 기수역에서 연안 개량안강망을 이용하여 유영생물의 종조성과 계절 변동을 파악하였다. 또한, 낙동강과 금강과 같이 변형된 하구의 어류의 군집구조와 비교하여 자연 하구인 한강 기수역의 생태적 건강 상태를 고찰하였다.

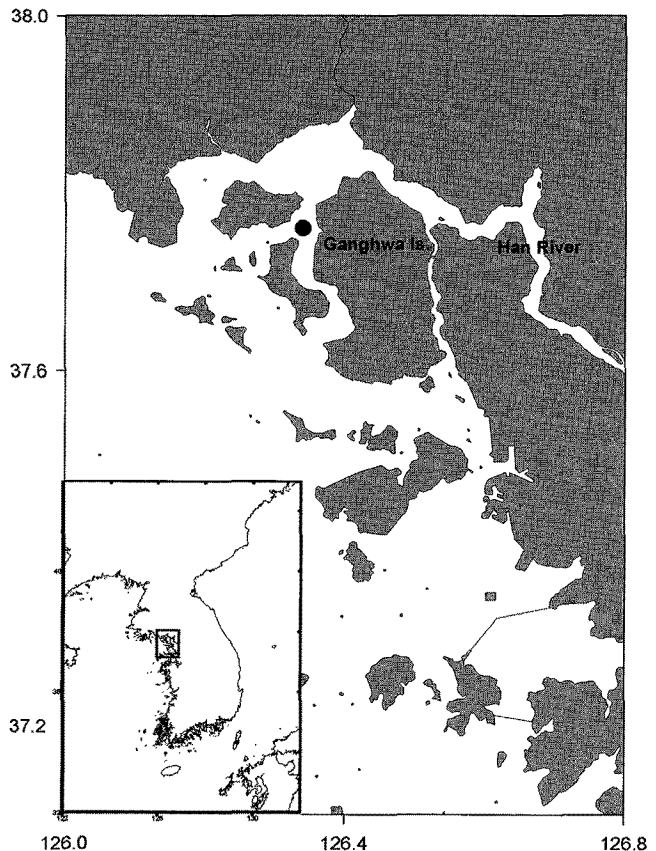


Fig. 1. Map showing the location of sampling site (closed circle) near Ganghwa Island in the Han River estuary on the mid-western coast of Korea.

재료 및 방법

2009년 2월부터 12월까지 매월 대조기에 강화 석모 수로에 설치된 연안개량안강망에서 1일 24시간 어획된 수산생물을 수집하였다. 1틀을 양망하여 전체 어획물 중 일부를 표본 추출한 후 계수하고, 이 표본조사를 1틀 어획물 전체로 환산하였다(Fig. 1). 연안개량안강망의 길이는 50 m, 망구 30 m²(가로 10 m, 세로 3 m), 망목은 몸통그물 30 cm, 끝자루그물 2.5 cm이었다.

채집된 어획물은 현장에 마련된 간이 실험실로 운반한 후 종을 동정하고, 종별 개체수와 생체량을 측정하였다. 각 개체의 체장은 1 mm, 생체량은 0.1 g 단위까지 측정하였다. 종 동정은 김 등(2005), 김 등(2007), 차 등(2001), 홍 등(2006) 등을 이용하였다. 월별 종 조성의 특성을 파악하기 위하여 채집 시기별 종별 개체수를 대상으로 종 다양도 지수(H')를 계산하였다(Shannon and Weaver, 1949). 출현 종간 유사성은 조사 기간 동안 3회 이상 출현한 종을 대상으로 Jaccard의 유사도 지수(J)를 이용하여 수상도를 작성하였다(Jaccard, 1908; Ludwig and Reynolds, 1988). 시기별 군집 구조 변화를 알기 위하여 각 채집 월의 종 조성 자료를 표본 단위로 보고 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 하였다. 주성분 분석은 출현 회수가 3회 이상인 34종을 대상으로 Spearman's rank correlation을 계산한 후, Davis(1978)의 프로그램 "PCA"를 사용하여 분석하였다.

결 과

종 조성

조사 기간 동안 총 86종의 유영생물이 출현하였으며, 총 63,362 마리, 647 kg이 채집되었다. 채집된 어획물을 분류군 별로 보면 어류, 갑각류(새우류, 게류 및 기타 갑각류), 두족류, 해파리류 등이 있는데, 이중 어류가 54종으로 가장 많았고, 새우류 16종, 기타 갑각류 12종, 두족류 3종 그리고 1종의 해파리가 출현하였다(Table 1, Fig. 2). 채집된 유영생물은 잉어(*Coilia nasus*), 상어(*Coilia mystus*), 가슴어(*Chelon haematocheilus*), 송어(*Mugil cephalus*), 풀망둑(*Synechogobius hasta*) 등의 기수성 어류와 그라비새우(*Palaemon gravieri*), 밀새우(*Palaemon carinicauda*) 등의 기수성 새우류, 그리고 청어목 어류와 민어과 어류 등의 연안 회유성 어류가 대부분을 차지하였다.

개체수에서는 밀새우가 20,632 마리로 전체 개체수의 32.6%를 차지하여 가장 많았고, 다음으로 첫새우(*Acetes japonicus*) 15.9%, 그라비새우 9.9%, 꽃게(*Portunus trituberculatus*) 7.7%, 중국첫새우(*Acetes chinensis*) 6.9%, 뱀망이(*Sardinella zunasi*) 4.6%, 상어 4.0%, 황강달이(*Collichthys lucidus*) 3.6%, 잉어 2.8% 순으로 우점하였다(Table 1). 생체량에서는 국내 미기록종 해파리인 *Rhopilema esculentum*이 480 kg으로 전체의 74.2%를 차지하였고, 이어서 밀새우가 42 kg으로 6.5%, 꽃게 4.0%, 황강달이 2.2%, 상어 2.0%, 그라비새우 1.8%, 잉어 1.3%, 뱀장어(*Anguilla japonica*) 1.1%, 뱀망이 1.1% 순이었다(Table 1). 출현 빈도로 보면, 잉어, 그라비새우, 밀새우 등이 10회 이상 출현하였고, 다음으로 오셀망둑(*Lophiogobius ocellicauda*), 아작망둑(*Tridentiger barbatus*), 풀망둑, 황강달이, 꽃게, 상어 등의 기수역 및 연안 가까이에 사는 종

이 채집 기간중 7회 이상 출현하였으며, 그의 77종이 계절에 따라 일시적으로 출현하였다.

계절 변동

월별 종 조성을 보면, 2월에 어류는 13종, 429마리, 2,229.7 g이 채집되었다(Table 1, Fig. 3). 그중 흰발망둑(*Acanthogobius lactipes*)이 259마리로 가장 많았고, 가슴어 80마리, 아작망둑 33마리, 잉어 27 마리 순이었다. 새우류는 5종, 1,664마리, 3,436.3 g이 채집되었는데, 밀새우가 1,484마리로 가장 많았고, 이어서 그라비새우가 172마리로 우점하였다. 그의 애기참게(*Eriocheir leptognathus*)가 115마리, 462.9 g 채집되었다. 3월에 어류는 11종, 424마리, 2,184.5 g이 채집되어 2월과 큰 차이를 보이지 않았다. 그중 잉어가 324마리로 가장 많았고, 송어 67마리, 아작망둑 10마리 순으로 우점하였다. 새우류는 3종, 1,192마리, 2,266.5 g이 채집되었는데, 그라비새우가 948마리로 가장 많았고, 밀새우 232마리, 점박이줄새우(*Palaemon tenuidactylus*) 12마리 순이었다. 그의 꽃게 5마리, 30.2 g이 채집되었다. 4월에 어류는 13종, 923마리, 2,390.9 g이 채집되어 2~4월이 비슷한 수준을 보였다. 그 가운데 잉어가 679마리로 우점하였고, 아작망둑 128마리, 실고기(*Syngnathus schlegelii*) 55마리 순이었다. 새우류는 5종, 1,124마리, 1,400.0 g이 채집되었는데, 그라비새우가 1,067마리로 가장 많았고, 돛대기새우(*Leptocheila gracilis*) 38마리, 밀새우 13마리이었다. 기타 갑각류는 4종, 387마리, 3,433.3 g이 채집되었는데, 꽃게와 갯가재(*Squilla oratoria*)가 주로 채집되었다. 5월에 어류는 19종, 577마리, 3,476.2 g이 채집되어 연중 가장 높은 출현종수를 보였다. 그중 민물두줄망둑(*Tridentiger bifasciatus*) 172마리, 잉어 169마리, 실고기 137마리로 우점하였고, 이어서 오셀망둑 25마리, 문절망둑 20마리 순이었다. 새우류는 5종, 2,520마리, 5,109.0 g이 채집되었는데, 그라비새우가 1,640마리로 우점하였고 갯가딱총새우 500마리, 밀새우 290마리 순이었다. 기타 갑각류는 연중 가장 많은 7종이 채집되어 226마리, 1,668.3 g이 채집되었는데, 꽃게 72마리, 쪽(*Upogebia major*) 70마리, 방게(*Helice tridens tridens*) 59마리가 대부분을 차지하였다. 6월에 어류는 16종, 392마리, 5,457.2 g이 채집되었는데, 그중 잉어가 179마리로 우점하였고, 다음으로 풀반댕이(*Thryssa adelae*) 73마리, 풀반지(*Thryssa hamiltonii*) 38마리, 실고기 25마리, 상어 24마리 순으로 우점하였다. 새우류는 5종 10,760마리, 3,894.0 g이 채집되어 연중 개체수가 가장 많았다. 그중 첫새우가 10,100마리로 대부분을 차지하였으며, 그라비새우 340마리, 밀새우 290마리 순이었다. 그의 납작게(*Gaetice depressus*) 1종이 20마리, 51.0 g 채집되었다. 7월에 어류는 7종으로 채집 기간중 종수가 가장 낮았고, 개체수는 2401마리였으며, 상어와 황강달이 등 한마리의 무게가 큰 어종이 채집됨으로써 생체량이 19,440.1 g으로 연중 가장 높았다. 밀새우 2,150마리, 그라비새우 330마리, 첫새우 1마리 등 3종의 새우류가 2,481마리, 7,340.0 g이 채집되었으며, 꽃게가 60마리, 330.0 g 채집되었다. 8월에 어류는 10종 3,800마리, 10,868.3 g으로 연중 개체수가 가장 많았는데, 이는 뱀망이 2,190마리가 채집되었기 때문이다. 다음으로 병어(*Pampus argenteus*) 731마리, 황강달이 622마리, 상어 154마리, 잉어 96마리 순으로 채집되었다. 새우류는 밀새우(1,355마리, 2,152.5 g)와 중국첫새우(10마리, 2.5 g)가 채집되어 채집 기간중 종수가 가장 적었으며, 게류는 꽃

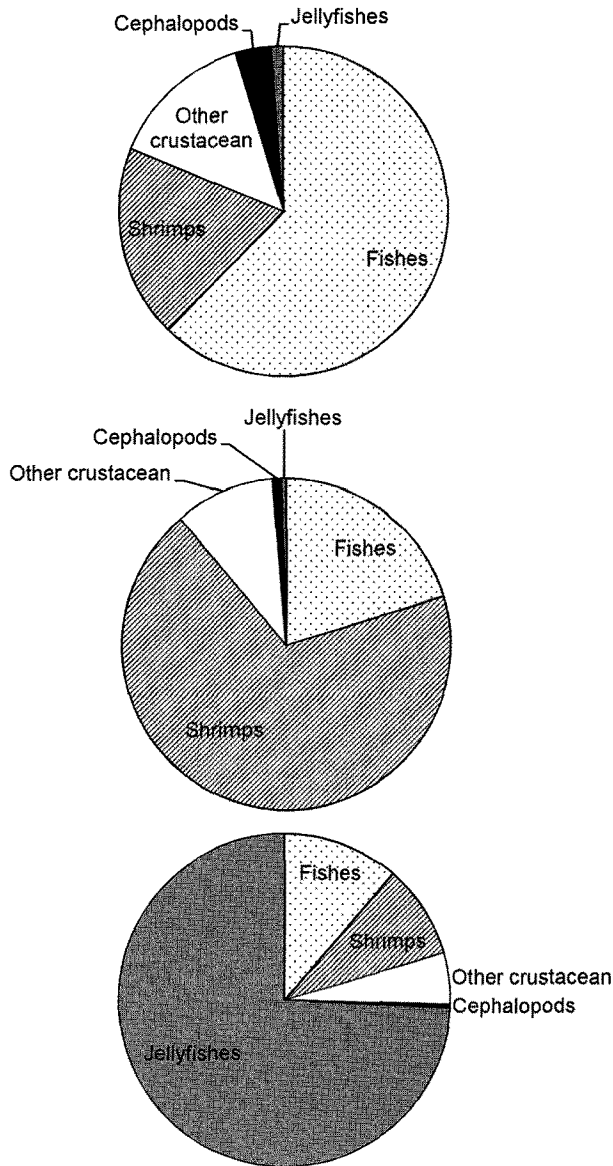


Fig. 2. Comparison of percentages of fishes, shrimps, other crustacean, cephalopods and jellyfishes among estuarine fauna collected by a bag net in the Han River estuary from February to December 2009 by the number of species (upper), number of individuals (middle) and biomass (lower).

계(112마리, 198.6 g)와 납작게(5마리, 3.5 g)만이 채집되어 여름철 갑각류 출현이 저조하였다. 반면, 해파리 미기록종(175마리, 250 kg)이 다량 채집되어 전체 어획물의 생체량이 연중 가장 높았다. 9월에 어류는 11종, 801마리, 3,674.9 g 채집되었는데, 황강달이가 641마리로 대부분을 차지하였고, 싱어 79마리, 웅어 32마리, 청멸(*Thryssa kammalensis*) 16마리, 풀반댕이 15마리 등 청어목 어류가 우점하였다. 새우류는 5종 2,030마리, 3,677.4 g이 채집되었는데, 밀새우가 1,490마리로 우점하였고, 다음으로 그라비새우 400마리, 홈발떡충새우(*Alpheus bisincisus*) 90마리, 중하(*Metapenaeus joyneri*) 30마리, 산모양갈갈새우(*Metapenaeopsis dalei*) 20마리가 채집되었다. 기타 갑각류는 꽃게 817마리와 갯가재 119마리가 채

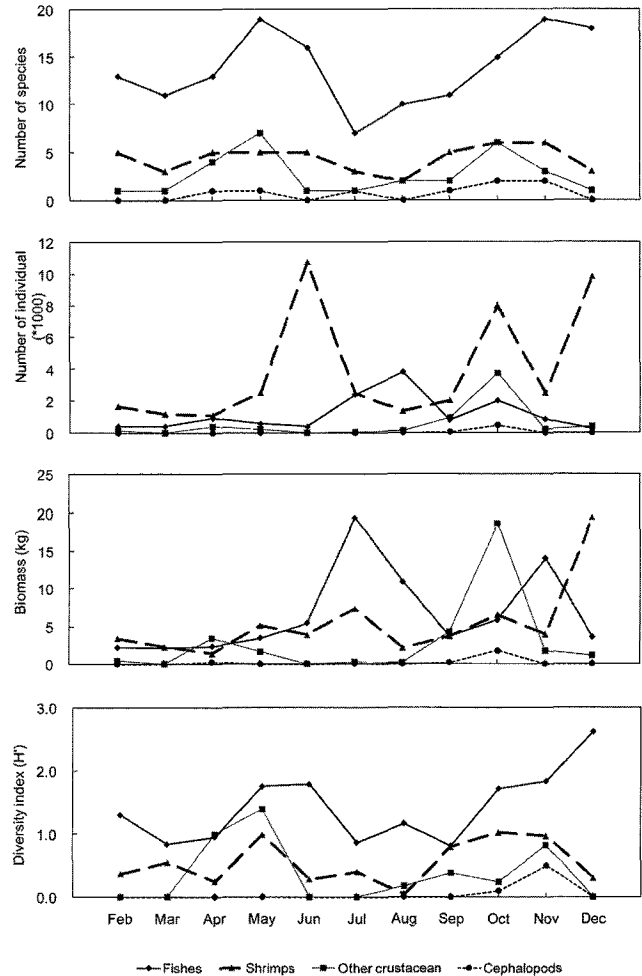


Fig. 3. Monthly variations in the number of species, number of individuals, biomass (kg) and diversity index (H') of fishes, shrimps, other crustacean and cephalopods collected by a bag net in the Han River estuary from February to December 2009.

집되었다. 9월에도 해파리 미기록종(100마리, 200,000 g)이 다량 채집되어 8~9월 여름철 높은 생체량을 보이는데 기여하였다. 10월에 어류는 15종, 2,010마리, 5,829.7 g이 채집되었는데, 그중 밴댕이 729마리, 황강달이 588마리, 멸치(*Engraulis japonicus*) 251마리, 청멸 136마리, 싱어 129마리 등이 우점하였다. 새우류는 6종, 8,000마리, 6,483.0 g이 채집되었는데, 그중 중국젓새우가 4,375마리, 밀새우 2,650마리가 대부분을 차지하여 높은 개체수를 보였다. 기타 갑각류는 6종, 3,717마리, 18,619.1 g이 채집되었는데, 어린 꽃게가 3,536마리로 대부분을 차지하였는데, 이는 당년생 꽃게의 하구 보육장에 채가입함을 의미한다. 두족류는 반원니뿔뚜기(*Loligo japonica*) 470마리, 주꾸미(*Octopus ocellatus*) 10마리 등이 채집되었고, 해파리 미기록종(15마리)가 10월까지 계속 출현하였다. 11월 어류는 19종으로 연중 종수가 가장 많았으나, 개체수는 855마리로 적었으며, 생체량 13,974.4 g로 높아 큰 어종이 다양하게 출현함을 보였다. 그중 싱어 392마리, 웅어 144마리, 오셀망둑 104마리, 가승어 36마리로 우점하였으며, 왕복성 어류인 뱀장어(*Anguilla japonica*) 17마리가 채집되었다. 새우류는 6종, 2,500마리, 3,932.4

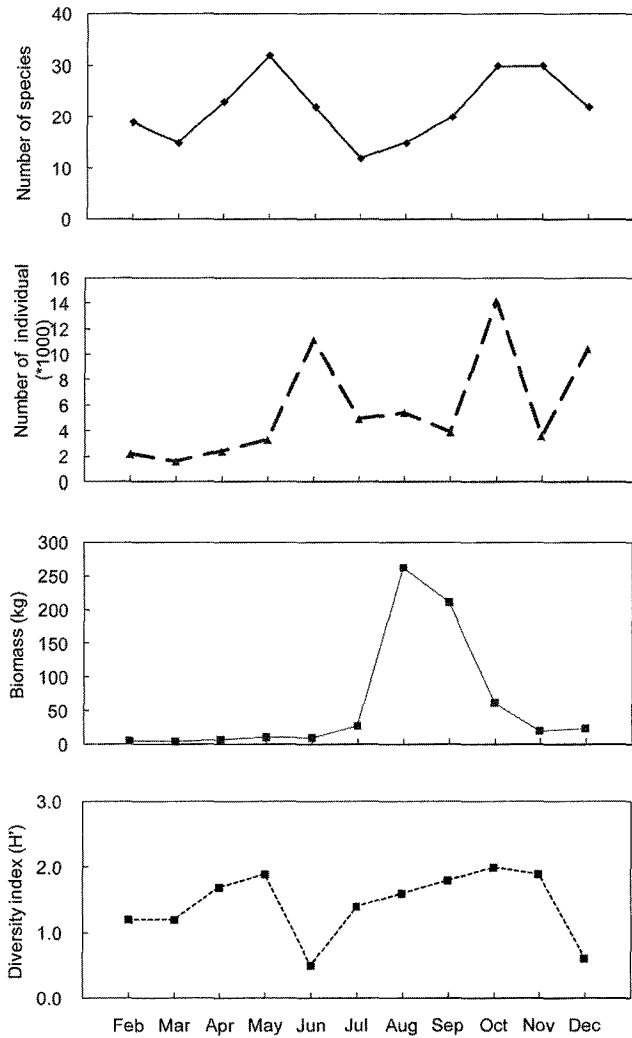


Fig. 4. Monthly variations in the number of species, number of individuals, biomass (kg) and diversity index (H') of all fauna collected by a bag net in the Han River estuary from February to December 2009.

g 채집되었는데, 그중 밀새우 1,760마리, 점박이줄새우 400마리, 그라비새우 180마리 등이 우점하였다. 게류는 꽃게가 164마리 채집됨으로써 8~11월 사이에 어린 개체들이 하구역에 출현하였다. 12월 어류는 18종, 240마리, 3,531.3 g이 채집되었는데, 그중 도화망둑(*Amblychaeturichthys hexanema*) 35마리, 용어 30마리, 참돔양태(*Repomucenus koreanus*) 28마리, 풀망둑 25마리, 열동가리돔(*Apogon lineatus*) 21마리, 가숭어 14마리, 싱어 13마리 등 연중 종이 가장 다양하였다. 새우류는 밀새우 9,150마리, 18,631.8 g, 그라비새우 375마리, 641.0 g, 점박이줄새우 300마리, 132.3 g이 채집되어 종수는 적었지만 개체수와 생체량이 가장 높았다. 이상의 자료를 종합하여 보면, 전체 유영생물의 종수는 5월과 10~11월에 높았고, 개체수는 6월과 10월에 높았다(Fig. 4). 생체량은 8~10월에 높았는데, 이는 해파리 미기록종 출현 때문이고, 이를 제외하면 7월과 10월에 높았다. 종 다양도는 4~5월과 9~11월에 높아 봄과 가을에 유영생물의 군집구조가 다양함을 보였다.

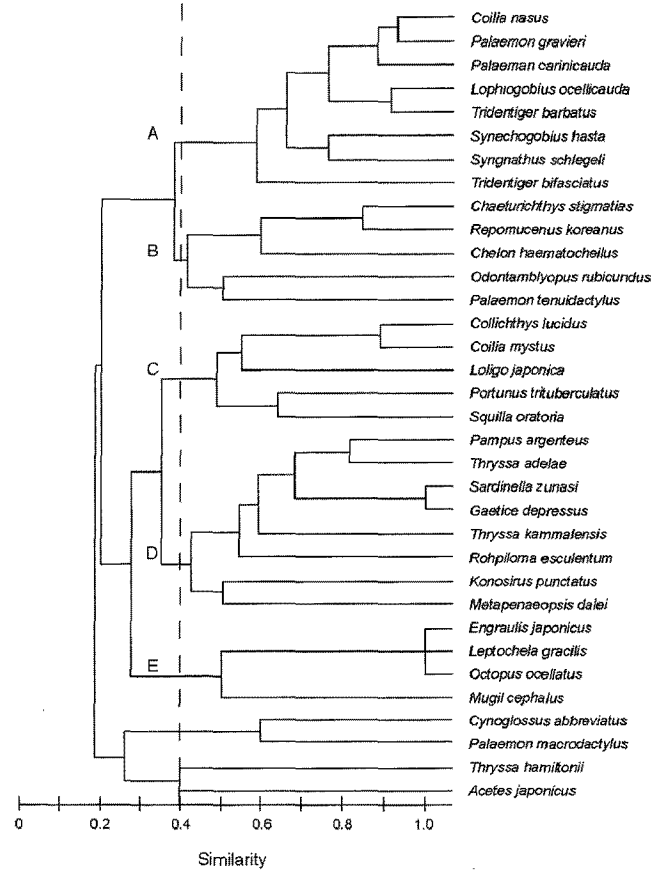


Fig. 5. Cluster analysis of the species composition of estuarine fauna caught by a bag net in the Han River estuary based on Jaccard's index of similarity.

중간 유사성

조사 기간 동안 3회 이상 출현한 34종의 중간 유사성은 Fig. 5의 수상도와 같았다. 유사도 지수 0.4 수준에서 6개 무리로 구분되었다. 무리 'A'는 용어, 그라비새우, 밀새우, 풀망둑 등으로 2~12월 조사 기간 동안 대부분 시기에 출현한 종들로써 기수성 주구종으로 판단된다. 무리 'B'는 쉬쉬망둑(*Chaeturichthys stigmatias*), 참돔양태, 가숭어, 점박이줄새우 등으로 가을부터 다음해 봄까지 저수온기에 출현한 종들이었다. 무리 'C'는 황강달이, 싱어, 꽃게, 갯가재, 반원니꿀뚜기 등 5종으로 봄에서 가을까지 출현한 종들로 구성되었으며, 이들은 겨울철에는 조사해역을 빠져나가는 것으로 판단된다. 무리 'D'는 병어, 벤댕이, 풀반댕이, 청멸, 전어(*Konosirus punctatus*) 등의 어류와 산모양갈갈새우, 납작게 등의 갑각류가 여름철 고수온기에 조사해역에 출현하는 종들이며, 8~10월에 다량 출현하는 해파리 미기록종도 이 무리에 속한다. 무리 'E'는 송어, 멸치, 돛대기새우, 주꾸미 등이 봄과 가을에 출현하는 종으로 구성되었다. 용서대(*Cynoglossus abbreviatus*)와 붉은줄참새우(*Palaemon macrodactylus*)는 간헐적으로 출현하는 종이며, 풀반지와 짓새우는 초여름에 일시적으로 출현하는 종들로 기타 무리로 분류되었다.

중조성 주성분 분석

조사 기간 동안 3회 이상 출현한 34종을 대상으로 월별 중조성

Table 2. Eigen value, variance and cumulative variance of components determined by principal component analysis of species composition of estuarine fauna collected by a stow net in the Han River estuary from February to December 2009

	Eigen value	Variance	Cummulative variance
1	9.9	29.2	29.2
2	5.6	16.6	45.8
3	4.6	13.6	59.4
4	3.4	10.0	69.4
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
34	0.0	0.0	100.0

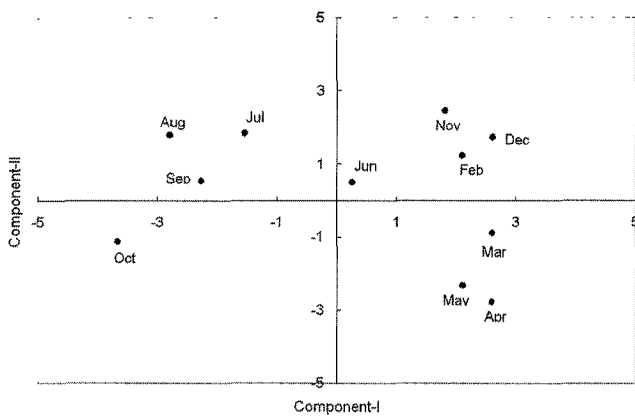


Fig. 6. Scattered diagram showing the sampling months on the I-II axis. They are determined by principal component analysis of species composition of estuarine fauna collected by a bag net in the Han River estuary from February to December 2009.

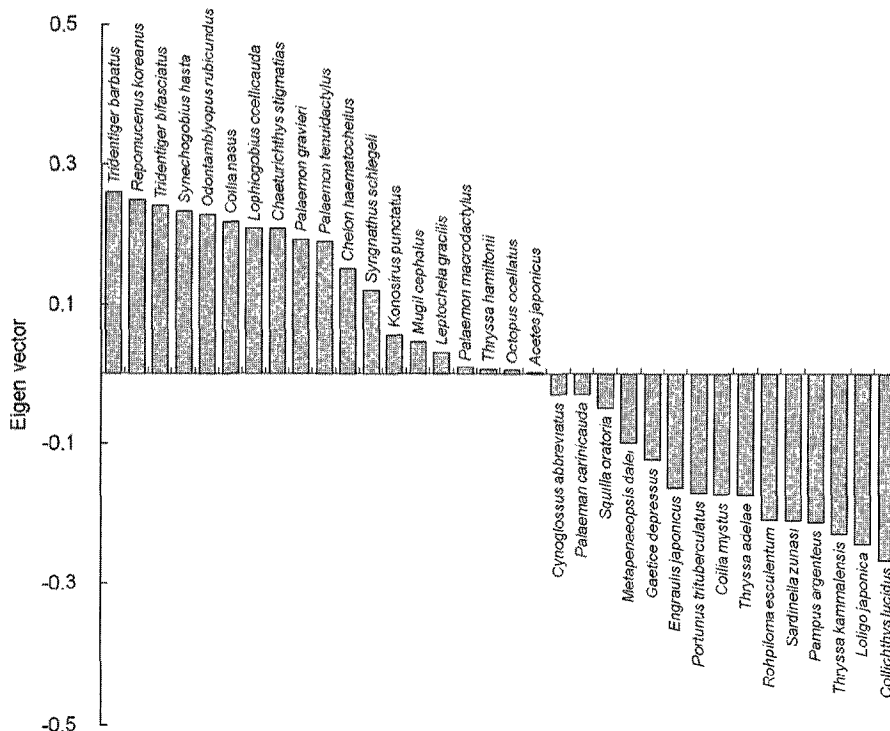


Fig. 7. Loading of variables on the first principal component of estuarine fauna collected by a bag net in the Han River estuary from February to December 2009.

자료를 주성분 분석한 결과, 제 I, 제 II 성분의 분산이 39.2%, 16.6%로 이 두 성분이 총 분산의 45.8%를 차지하였다(Table 2). 각 채집 월의 PC score를 I-II 성분축에 투영한 결과(Fig. 6), 제 I 성분축에는 수온이 낮은 시기의 표본이 양의 값을 가졌고, 고수온기의 표본은 음의 값을 가졌다. 제 I 성분축에 양의 가중치를 준 종들은 가을에서 봄철의 저수온기에 출현량이 많았던 아작망둑, 참돔양태, 민물두줄망둑, 폴망둑, 개소갱(*Odontamblyopus rubicundus*), 용어, 오셀망둑, 쉬쉬망둑, 그라비새우, 점박이줄새우 등으로 Fig. 5에서 “A”, “B” 무리에 속하는 종들이었다(Fig. 7). 반면, 제 I 성분축에 음의 가중치를 준 종들은 여름철 고수온기에 상대적으로 채집량이 많았던 종들로 Fig. 5에서 “C”, “D” 무리에 속하는 여름철 회유종이었다. 이상의 주성분 분석 결과를 종합하면, 한강 하구 유영생물 종조성은 저수온기와 고수온기에 각각 우점하는 종들로 구분되며, 시간에 따라 점진적으로 변화되는 것을 알 수 있다.

주어종 체장 조성 변화

용어: 용어는 2~12월 전 채집 기간 동안 전장 범위 5.8~35.7 cm의 어린 개체부터 성어까지 모두 출현하였는데, 2~5월 사이에 어린 개체가 가입되어 여름을 거쳐 겨울까지 하구역에서 성장하였다(Fig. 8). 이와 같이 하구역에서 전 발달단계가 출현하는 것으로 보아 기수역에서 서식하는 기수종으로 판단된다.

성어: 성어는 용어와 같은 기수종인데, 출현 시기는 6~12월로 한정되었다(Fig. 8). 6~8월에는 주로 큰 개체가 채집되었고, 8월 이후 어린 개체가 출현하여 12월까지 성장하였는데, 이는 같은 속에 속하는 용어와 하구역에서 보육 시기를 달리하는 것으로 추정된다.

가승어: 가승어는 9월에 가랑이체장 9.4~10.0 cm의 어린 개체가 소량 채집되기 시작하여 11~12월과 2월의 겨울철에 8.1~11.6 cm의 어린 개체가 출현하였다(Fig. 8). 같은 채집 지역의 건간망

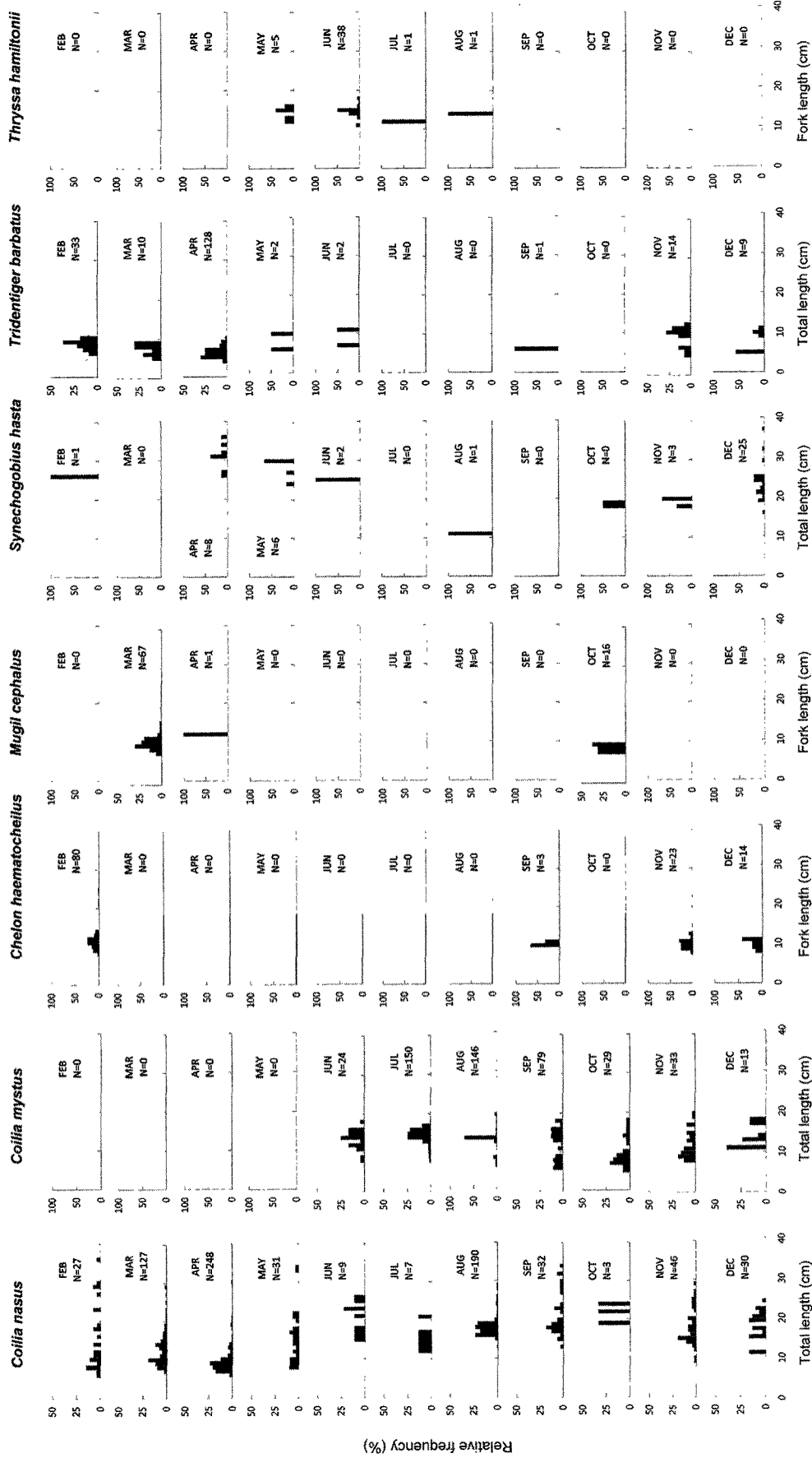


Fig. 8. Monthly variation in length-frequency distribution of the dominant species collected by a bag net in the Han River estuary from February to December 2009.

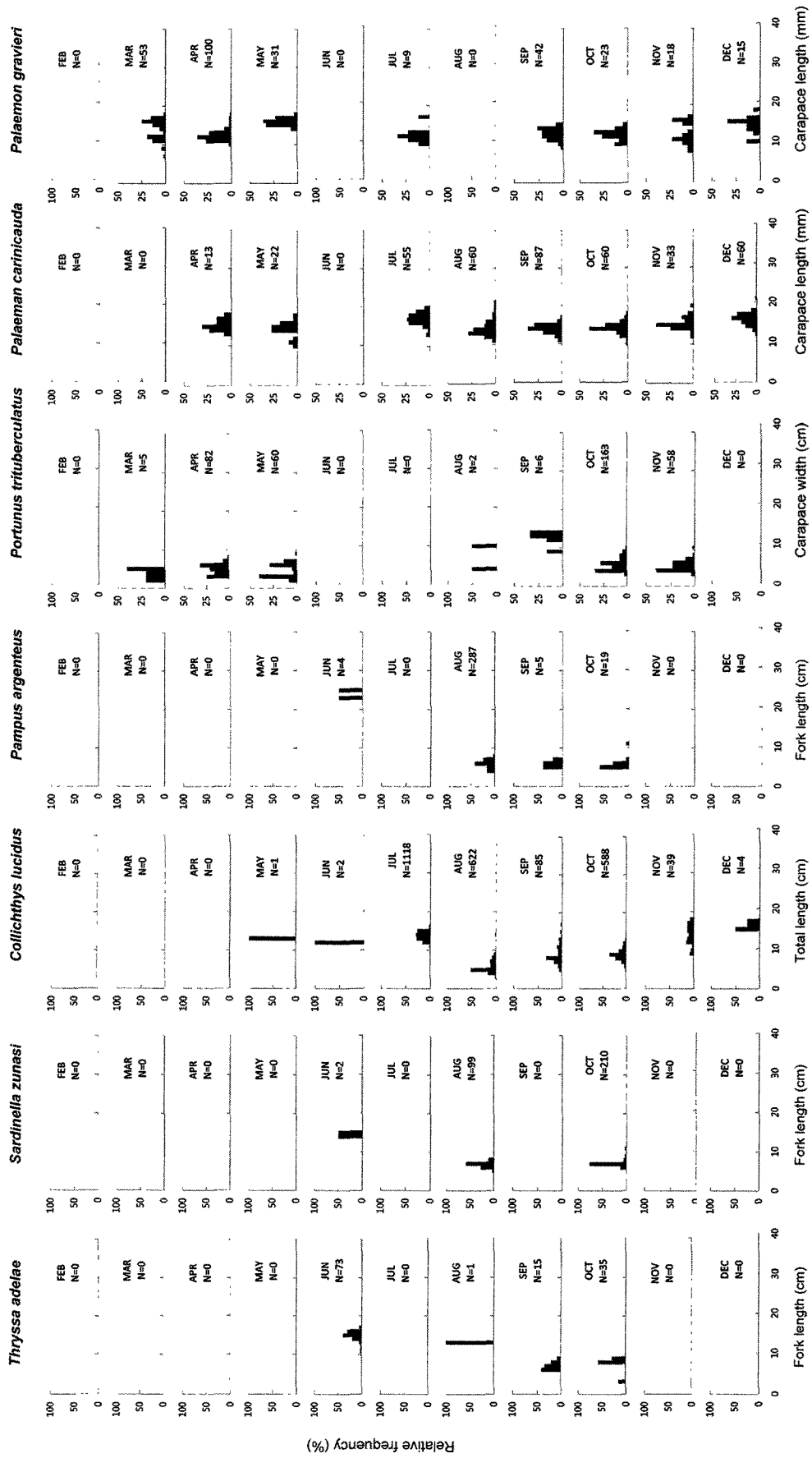


Fig. 8. Continued.

에 성숙한 가숭어가 5~6월에 채집됨으로써(unpublished data, Hwang), 봄에 산란된 어린 개체가 하구역에서 자라는 것으로 판단된다.

숭어: 숭어는 3~4월과 10월에 가랑이체장 7.8~15.5 cm의 어린 개체가 채집되어 가숭어와 출현하는 시기를 달리하였다(Fig. 8). 이는 숭어의 산란시기가 늦가을로, 이 시기에 하구역에서 큰 개체가 거의 출현하지 않음으로써 하구 밖에서 산란하는 것으로 추정되며, 산란 이후 어린 개체가 가을부터 봄까지 하구역으로 가입되어 보육되는 것으로 판단된다(pers. comm., 부경대학교 김진구).

풀망둑: 풀망둑은 일부 시기를 제외한 거의 채집 전기간에 출현하였으며, 전장 범위는 10.0~36.3 cm이었다(Fig. 8). 2~5월 사이에는 23.5~35.4 cm의 큰 개체가 출현하였으며, 8월에 10.0 cm 정도의 어린 개체가 채집되기 시작하여 10~11월에는 17.0~19.5 cm로 성장하였다. 이와 같이 하구역에서 연중 서식하면서 성장하는 것으로 보아 풀망둑은 기수역에 주거하는 기수종인 것으로 판단된다.

아작망둑: 아작망둑은 7~8과 10월을 제외하고, 채집 기간 중 대부분의 기간 동안 채집되었는데, 전장 3.9~12.1 cm로 성어였으며(Fig. 8), 하구를 섭이장으로 이용하는 주거종인 것으로 추정된다.

풀반지: 풀반지는 5~8월에 출현하였는데, 채집된 개체들의 가랑이체장 범위는 10.0~17.6 cm의 큰 개체들이었다(Fig. 8). 봄~여름에 하구로 회유하여 들어와 섭이 활동을 하는 계절 회유종인 것으로 판단된다.

풀반댕이: 풀반댕이는 6월에 가랑이체장 9.6~16.7 cm의 큰 개체가 출현하였고, 9~10월에는 2.5~8.6 cm의 어린 개체가 채집되어 같은 속 어류인 풀반지와 달리 가을철에 하구에서 어린 시기를 보내는 것으로 추정된다(Fig. 8).

뱀댕이: 뱀댕이는 6~10월 사이에 간헐적으로 출현하였는데, 6월에는 가랑이체장 13.5~14.2 cm의 큰 개체가, 8월과 10월에는 4.7~10.6 cm의 어린 개체가 다량 채집되었다(Fig. 8), 이는 여름 이후 가입된 어린 개체가 하구역에서 자라는 것으로 판단된다.

황강달이: 황강달이는 5~12월 사이에 채집되었는데, 5~6월은 11.2~12.9 cm 전장 범위의 개체가 소량 채집되기 시작하여 7월에 9.7~19.6 cm의 큰 개체가 다량 출현하였다(Fig. 8). 8월부터는 2.6~16.7 cm의 범위를 보였는데, 어린 개체가 주로 출현하기 시작하였고, 9월 4.5~16.0 cm, 10월 5.4~13.1 cm, 11월 8.0~17.7 cm, 12월 14.0~16.6 cm로 성장하였다. 이로부터 황강달이는 하구역을 보육장으로 이용하면서 성장하다가 12월 이후 겨울에 월동장을 찾아 하구역을 빠져나가 채집되지 않은 것으로 판단된다.

병어: 병어는 6월에 가랑이체장 22.5~24.8 cm의 큰 개체가 소량 채집되었으며, 8~10월 사이에 2.8~10.1 cm의 어린 개체가 출현함으로써 어린 시기를 하구역에서 생활하는 연안종으로 추정된다(Fig. 8).

꽃게: 꽃게는 3~5월에 갑폭 1.0~6.9 cm의 어린 개체가 채집되었고, 8~11월에 2.9~13.3 cm의 어린 개체가 채집되었는데, 특히 10~11월에는 다량 채집되었다(Fig. 8). 어린 개체가 봄과 여름~가을의 2개 모드를 보이는 것은 연안에서 꽃게가 5~6월에 산란하여 가을에는 치계로 성장하는데, 늦게 산란된 꽃게가 저수온기에 탈피하지 못하고 겨울을 보낸 후 다음 해 봄에 여전히 치계로 출현하기 때문이다(pers. comm., 서해수산연구소 임양재).

밑새우: 채집 기간중 대부분 시기에 두흉갑장 9.5~20.3 mm의 밑새우가 다량 채집되어 조사 해역의 우점종이었다(Fig. 8).

그라비새우: 두흉갑장 6.9~17.8 mm의 그라비새우는 8월을 제외한 대부분의 채집 기간 동안 채집되어 밑새우와 함께 하구역에 서식하는 대표적인 기수종이다(Fig. 8).

토 의

하구에는 육상으로부터 퇴적물의 유입으로 갯벌이 발달되어 있으며, 바닥은 연성 지질로 이루어져 있어 이러한 하구 환경은 펠에 서식하는 새우류에게 좋은 서식처로 이용되고 있다(Maes et al., 1998; 황 등, 1998b; 허와 정, 1999; 이 등, 2009). 또한 하구는 연안 회유종과 기수종 및 왕복성 어류의 산란, 보육장과 성육장으로 이용됨으로써 어린 개체가 다량 출현한다(심과 이, 1999; 허와 정, 1999; 황 등, 2005). 따라서 하구 유영생물 생태계의 특성을 파악하기 위해서는 크기가 작은 유영생물을 정량적으로 채집할 필요가 있다. 본 연구에서 연안개랑안강망으로 채집된 한강 하구역 유영생물은 총 86종으로 어류 54종, 새우류 16종, 기타 갑각류 12종, 두족류 3종 그리고 해파리 1종이었다(Table 1). 특히, 크기가 작은 새우류가 전체 유영생물중 중수에서 18.8%, 개체수 68.6%, 생체량 9.1%를 차지하였고(Fig. 2), 그중 밑새우가 전체 11개월중 10회 출현에 개체수로 32.6%로 최고로 우점하였으며, 갯새우 15.9%, 그라비새우 9.9%, 꽃게 7.7%, 중국갯새우 6.9%로 이들 갑각류 5종이 총 개체수의 73.0%를 차지하였다(Table 1), 또한, 유영력이 약한 기수역 주거종만 아니라 시기에 따라 하구를 산란장으로 이용하는 회유성 어류와 보육되고 있는 작은 어린 개체가 함께 채집되었다(Fig. 8). 이 결과로부터 우리나라 서해에 위치하는 하구와 같이 수심이 얕고 조류가 강한 해역에서 그물의 높이가 수 m 이고 그물코가 수 mm~수십 mm인 연안개랑안강망은 거의 전 수층에 걸쳐 유영력이 빠른 어류부터 크기가 작은 생물까지 채집할 수 있어 유영생물의 군집구조를 파악하고자 하는 조사 목적에 적합한 채집기기로 판단된다(황 등, 2005).

한강 하구역 유영생물 군집구조는 봄과 가을에 양적으로 번성하였고 다양성이 높아 전형적인 온대 해역의 특징을 보였다(Fig. 4). 여름철 높은 생체량은 해파리 미기록종의 다량 채집에서 기인한 것인데, 이 시기 서해안 다른 해역에서는 노무라입깃해파리(*Nemopilema nomurai*)가 우점하는 것과 대조적이었다(pers. comm., 서해수산연구소 임동현). 오히려 한강 하구역에서는 노무라입깃해파리가 거의 채집되지 않고 해파리 미기록종인 *Rhopilema esculentum*이 우점하는 특징을 보였는데, 향후 이에 대한 원인을 밝히는 연구가 필요하겠다.

우점 어류를 서식처에 따라 분류하면, 용어, 싱어, 가숭어, 숭어와 풀망둑, 오셀망둑, 아작망둑 등의 망둑어류, 밑새우, 그라비새우 등의 새우류가 저염분의 기수에 연중 또는 시기에 따라 출현함으로써(Table 1, Fig. 5), 기수성 주거종으로 분류될 수 있다(황 등, 2006). 풀반지, 풀반댕이, 뱀댕이, 멸치 등의 청어목 어류와 꽃게, 갯새우 등의 갑각류, 그리고 황강달이, 병어 등은 특정 시기에 어린 개체가 기수역에 출현함으로써(Fig. 5, Fig. 8), 하구를 보육 및 성육장으로 이용하는 연안 회유종으로 판단된다(황 등, 2006). 뱀장어 성어가 가을에 채집되었는데, 이는 산란을 위해 강에서 바다로 강하하는 것이며(황, 2006; 황, 2010), 본 연구에서는 채집되지 않았지만 어린 개체인 실뱀장어는 봄에 바다에서 강으로 소상함

으로써(문, 2002; 황 등, 2005; 황, 2006; 황, 2010), 왕복성 어류로 분류된다. 본 연구에서 이용된 연안개량안강망의 자루그물 그물코가 25 mm로 실뱀장어를 어획하는 이동성실뱀장어안강망의 그물코가 5 mm 이하인 것과 비교하면, 채집기기의 차이 때문에 실뱀장어가 채집되지 않은 것으로 판단된다. 황 등(2005)는 금강 하구에서 담수종의 출현을 보고하였으나, 본 연구에서는 담수종이 채집되지 않았다. 이는 금강의 경우, 채집 정점이 하구둑 아래로 하구 상류 쪽에 위치하면서 담수 대량 방류시 휩쓸려 내려오는 어류를 채집할 수 있었으나, 본 연구의 채집 정점은 하구 입구 쪽이고 채집 시기가 홍수 등 담수의 대량 방류를 피해 채집되었기 때문인 것으로 판단된다.

싱어, 풀망둑, 풀반대이, 뱀대이, 황강달이, 병어, 꽃게는 대체로 여름 이후에 어린 개체가 출현하였는데(Fig. 8), 이는 하구역을 산란장 및 보육장으로 이용하는 것으로 판단된다(Lee and Seok, 1984; 황 등, 2003). 가숭어는 봄(5~6월)에 포란된 어미가 출현하고 그 해 가을부터 겨울 사이(9~2월)에 유어들이 출현함으로써 이들 어류 또한 하구를 보육장으로 이용하고 있다(황 등, 2003). 전어, 멸치는 외해에서 월동, 연안에서 산란, 천해역에서 보육하며, 청멸 등은 하구역을 산란장으로 이용한다(Lee and Seok, 1984; 황 등, 2003). 풀망둑은 하구 갯벌 천해역에 서식, 연안에서 산란, 조간대 부분에서 보육하며, 개소갱, 참서대(*Cynoglossus joyneri*) 등은 썰을 선호하는 것으로 알려져 있다(황 등, 1998a; 황 등, 2003; 황 등, 2005). 이와 같이 주거종과 회유종, 왕복성 어류 등이 하구역에서 일생중 일정 시기를 보내면서 산란하고, 보육하며 성장함으로써 하구가 산란장 및 보육장을 기능을 가지고 있음을 보여주었다.

국내 하구역에서 정치성 어구에 의한 어류 종조성 및 계절 변화는 낙동강 하구와 금강 하구에서 조사 되어 있어(허와 안, 2002; 황 등, 2005), 이들 결과와 본 연구의 우점종 특성을 비교하여 한

강 하구의 생태적 건강 상태를 고찰할 수 있다. 한강 하구에 출현한 어류의 종수(54종)는 금강의 73종(황 등, 2005), 낙동강의 136종(허와 안, 2002)과 비교하여 적은 종수를 보였다(Table 3). 금강과 낙동강 하구에서는 어류만 대상으로 하여 전체 유영생물을 직접적으로 비교할 수는 없었으나, 그들 하구에서는 갑각류가 어류보다 우점하지는 않았다(pers. comm., 한국해양연구원 황선완). 그러나, 한강 하구에서 전체 유영생물중 새우류가 종수에서 18.8%, 개체수 68.6%, 생체량 9.1%로 어류보다 종수는 적었으나 개체수에서 높았고(Fig. 2), 그중 밀새우가 개체수(32.6%)로 최고 우점하였으며, 다음으로 젓새우 15.9%, 그라비 새우 9.9%, 꽃게 7.7%, 중국젓새우 6.9%로 이들 갑각류 5종이 총 개체수의 73.0%를 차지하였다(Table 1). 이는 금강과 낙동강 하구는 하구 둑 건설로 부분혼합형 하구로 변형되어 내만 형태의 어류 생태계로 변하였으나(황 등, 2005; 허와 안, 2002; 광과 허, 2003), 한강 하구는 새우와 같은 갑각류가 서식하기에 적합한 갯벌이 발달한 하구의 특성을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

한강 하구에는 기수성 주거종인 싱어, 웅어 및 망둑류와 연안 회유종인 뱀대이, 황강달이, 병어 등이 우점하였다. 금강 하구의 우점종은 뱀대이, 전어, 멸치 등 연안 회유종이었고, 가숭어, 민태, 청멸, 풀망둑, 참서대, 웅어, 개소갱 등 기수종 및 연안 주거종이 뒤를 이었다. 반면에 남해에 위치한 낙동강 하구역에서는 전갱이, 전어, 병어, 고등어, 갈치 등의 외해성 어류의 출현이 특징적이었고, 다음으로 송어, 주둥치, 등줄송어 등의 기수종 및 연안종이 출현하였다. 이와 같이 한강 하구에는 기수성 주거종이 우점하는 것과 비교하여 금강과 낙동강 하구에는 연안 및 외양에 출현하는 어류가 우점종에 포함됨으로써(Table 3), 한강 하구가 기수역의 특성을 더 잘 보여주고 있다. 특히, 주둥치는 해수의 순환이 차단되어 인위적인 환경의 변화가 일어난 아산만, 천수만, 새만금 해역

Table 3. Comparison of the number of species and dominant species of the fishes sampled in estuaries of Korea

	This study		Hwang <i>et al.</i> (2005)			Huh and An (2002)		
	Han River estuary	Dam	Geum River estuary	N (%)	W (%)	Nakdon River estuary	N (%)	W (%)
Sampling area	Han River estuary	Absent	Geum River estuary			Nakdon River estuary		
Dam	Absent		Present			present		
Sampling gear	Stow net		Bag net			Fyke net		
Sampling interval	Monthly		Monthly			Monthly		
Sampling period	Feb.-Dec., 2009		Feb.-Dec., 2003			Jan.-Dec., 1998		
Mesh size (mm)	25		1-5			15		
Number species								
Fishes	54		73			136		
		N (%) W (%)		N (%)	W (%)		N (%)	W (%)
	<i>Sardinella zunasi</i>	22.7 9.4	<i>Sardinella zunasi</i>	26.1	19.8	<i>Trachurus japonicus</i>	28.3	4.1
	<i>Coilia mystus</i>	19.9 17.7	<i>Konosirus zunatus</i>	13.9	17.0	<i>Konosirus punctatus</i>	21.8	11.0
	<i>Collichthys lucidus</i>	17.8 19.7	<i>Engraulis japonicus</i>	11.5	1.7	<i>Mugil cephalus</i>	13.6	67.9
	<i>Coilia nasus</i>	13.6 11.6	<i>Chelon haematocheilus</i>	8.8	6.2	<i>Leiognathus nuchalis</i>	8.1	0.8
	<i>Pampus argenteus</i>	6.8 5.8	<i>Johnius grypotus</i>	6.9	9.4	<i>Pampus argenteus</i>	5.8	0.9
	<i>Tridentiger bifasciatus</i>	2.1 1.2	<i>Thrtssa kammattensis</i>	5.1	1.7	<i>Scomber japonicus</i>	3.5	0.5
	<i>Acanthogobius lactipes</i>	2.0 0.10	<i>Synechogobius hasta</i>	5.1	11.0	<i>Trichiurus lepturus</i>	2.2	0.9
	<i>Engraulis japonicus</i>	2.0 0.5	<i>Anguilla japonica</i>	2.9	0.1	<i>Chelon affinis</i>	2.0	1.3
	<i>Syngnathus schlegeli</i>	1.9 0.6	<i>Cynoglossus joyneri</i>	2.6	3.6	<i>Apogon lineatus</i>	25.0	0.1
	<i>Tridentiger barbatus</i>	1.6 1.3	<i>Coilia nasus</i>	2.1	1.2	<i>Nibea alviflora</i>	1.4	1.5
	<i>Lophiogobius ocellicauda</i>	1.3 1.6	<i>Taenioides rubicundus</i>	1.9	5.4	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	1.2	2.4

등에 서식하는 종으로 알려져 있는데(이와 황, 1995; 이, 1996; 이 등, 2003), 본 연구 해역인 한강 하구역에서는 채집되지 않음으로써 아직까지 해수 순환에 원활한 상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 하구둑이 건설되어 부분혼합형 하구의 특성을 보이는 금강 및 낙동강은 하구보다 만이나 연안의 특성을 보인 반면, 한강과 같이 완전혼합형 하구의 경우, 기수성 어종이 우점하였다. 특히, 하구둑이 건설되어 있지 않은 한강의 경우 육지로부터 퇴적물의 유입이 많아 바닥이 갯벌과 같이 연성지질로 되어 있어 펄을 서식처로 이용하는 새우류가 어류보다 양적으로 우점하는 특성을 보임으로써, 한강 하구는 우리나라 서해의 전형적인 자연 하구 생태계 구조를 유지하고 있는 것으로 판단되며, 이는 유일한 자연 하구를 보존해야 하는 이유가 될 것이다.

사 사

시료채집에 협조해준 강화 창후리 형제호 유만상 선장님과 실험을 도와준 전정순, 김시엽, 이선미, 이요셉, 배광진, 어택환, 김태돈, 박지영에게 감사를 드립니다. 또한, 어류를 동정하여 주신 국립생물자원관 김병직 박사와 논문 작성에 도움을 주신 서해수산연구소 임양재, 임동현 박사께 고마움을 표합니다. 연구는 국립수산물과학원 서해수산연구소 경상과제 '서해연안어업자원조사'의 지원으로 국립수산물과학원 연구사업(RP-2010-FR-006)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 곽석남, 허성희, 2003. 낙동강 하구역 어류의 종조성 변화. 한국수산물학회지, **36**: 129-135.
- 권정노, 김중구, 고태승, 2001. 장기관측자료에 의한 금강하구둑 수문조작에 따른 수질 변화 평가. 한국수산물학회지, **34**: 348-354.
- 김익수, 최윤, 이정렬, 이영주, 김병직, 김지현, 2005. 한국어류대도감. 교학사, 서울. pp. 615.
- 김종식, 황선도, 2003. 새만금 갯벌의 패류 생산량. 한국수산물학회지, **36**: 757-761.
- 김진구, 유정화, 김정년, 김영혜, 2007. 유사어종 식별가이드. 국립수산물과학원, 부산. pp. 101.
- 김중구, 유선재, 권정노, 1998. 금강하구둑 건설후의 수질변화. 한국수산물학회지, **31**: 685-694.
- 문형태, 2002. 실뱀장어 이석의 미세구조와 어획 자료를 이용한 뱀장어 *Anguilla japonica*의 초기 생활사. 충남대학교 대학원 박사학위논문, pp. 111.
- 심광수, 이충렬, 1999. 새만금 일대의 어류상. Korean J. Environ. Biol., **17**(3): 293-303.
- 안순모, 이재학, 우한준, 구본주, 이형곤, 유재원, 제종길, 2006. 새만금 방파제 공사로 인한 조하대 환경과 저서동물 군집 변화. Ocean. Polar Res., **28**: 369-383.
- 안용락, 허성희, 2002. 가덕도 주변 해역 어류의 종조성과 계절 변동. 3. 꽃게통발에 의해 채집된 어류. 한국수산물학회지, **35**: 715-722.
- 안용락, 허성희, 2003. 가덕도 주변 해역 어류의 종조성과 계절 변동. 4. 저층자망에 의해 채집된 어류. 한국수산물학회지, **36**: 686-694.
- 양재삼, 정주영, 허진영, 이상호, 최진용, 1999. 한국해양학회지 바다, **4**: 71-79.
- 이상호, 권효근, 최현용, 양재삼, 최진용, 1999. 하구인 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 II. 염분구조와 하구 유형. 한국해양학회지 바다, **4**: 255-265.
- 이종희, 이재봉, 김정년, 이동우, 신영재, 장대수, 2009. 낙동강 하구에서 새우조망으로 채집된 생물의 계절별 종 조성. 한국어류학회지, **21**: 177-190.
- 이충렬, 1992. 금강하구의 아구역 건축 이후 어류군집의 변화. Korean J. of Limnol., **25**: 193-204.
- 이태원, 1991. 아산만 저어류 I. 적정채집방법. 한국수산물학회지, **24**: 248-254.
- 이태원, 1993. 아산만 저어류 III. 정점간 양적 변동과 종조성. 한국수산물학회지, **26**: 438-445.
- 이태원, 1996. 천수만 어류의 종조성 변화 1. 저어류. 한국수산물학회지, **29**: 71-83.
- 이태원, 1998. 천수만 어류의 종조성 변화 3. 부어류. 한국수산물학회지, **31**: 654-664.
- 이태원, 문형태, 김광진, 2003. 방조제 건설중인 2001-2003년 새만금 하구역 어류 종조성의 계절 변동. 한국수산물학회지, **36**: 298-305.
- 이태원, 황선완, 1995. 아산만 저어류 IV. 종조성의 최근 3년간(1990-1993) 변화. 한국수산물학회지, **28**: 67-79.
- 이태원, 황학빈, 황선완, 2007. 새만금 방조제 물막이 완공 후인 2006-2007년 새만금호 어류 종조성의 변화. 한국해양학회지 바다, **12**: 191-199.
- 지속가능발전위원회(이창희, 김종일, 김홍상, 남정호, 이원찬, 우한준, 신성교, 옥곤, 이종명, 황선도, 신용식, 이삼희, 이혜근, 김현태, 이광야, 진승수, 정갑식, 신영규, 강대석, 한동욱), 2006. 지속가능한 하구역 관리체계 구축방안 연구 보고서. 대통령 자문 지속가능발전위원회, pp. 405.
- 차형기, 이상욱, 박치수, 백철인, 홍선윤, 박종화, 이동우, 최영민, 황강석, 김장근, 최광호, 손호선, 손명호, 김대현, 최정화, 2001. 한국새우류도감. 국립수산물과학원, 부산. pp. 188.
- 최진용, 최현용, 서만석, 1995. 하구인 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성 변화. 한국해양학회지, **30**: 262-270.
- 허성희, 정성근, 1999. 낙동강 하구해역에서 저인망에 의해 어획되는 어류의 종조성 및 계절 변동. 한국어업기술학회지, **35**: 178-195.
- 허성희, 안용락, 2000. 가덕도 주변 해역 어류의 종조성과 계절 변동. 1. 소형기선저인망에 의해 채집된 어류. 한국수산물학회지, **33**: 288-301.
- 허성희, 안용락, 2002. 가덕도 주변 해역 어류의 종조성과 계절 변동. 2. 삼각망에 의해 채집된 어류. 한국수산물학회지, **35**: 366-379.
- 황선도, 1998. 서해 고군산군도 연안 낭장망 어획 수산생물의 종 조성 및 주야, 계절 변동. 한국어류학회지, **10**: 155-163.
- 황선도, 김종식, 2003. 새만금 간척사업에 따른 갯벌 패류의 군집 구조 변화. 한국수산물학회지, **36**: 708-715.
- 황선도, 임양재, 김용철, 차형기, 최승호, 1998a. 서해 영광 연안 수산자원 I. 주목망 어획자원의 종조성. 한국수산물학회지, **31**: 727-738.
- 황선도, 임양재, 송홍인, 최용석, 문형태, 1998b. 서해 영광 연안

- 수산자원 II. Otter trawl 어획자원의 종조성. 한국수산학회지, **31**: 739-748.
- 황선완, 2006. 금강과 만경강 하구 어류의 출현양상과 서식처 이용. 충남대학교 박사학위논문, pp. 145.
- 황선완, 김종관, 이태원, 2003. 강화도 갯벌 천해의 건간망 어획 어류의 계절변동. 한국수산학회지, **36**: 676-685.
- 황선완, 황학빈, 노형수, 이태원, 2005. 개량안강망에 채집된 금강 하구 어류종조성의 계절변동. 한국수산학회지, **38**: 39-54.
- 황학빈, 2010. 금강과 만경강 하구에서 채집된 뱀장어 *Anguilla japonica*의 성비, 연령, 성장과 서식처 유형. 충남대학교 박사학위논문, pp. 95.
- 홍성윤, 박경양, 박철원, 한창희, 서해립, 윤성규, 송춘복, 조수근, 임현식, 강영실, 김덕재, 마채우, 손민호, 차형기, 김광봉, 최상덕, 박기열, 오철웅, 김두남, 손호선, 김정년, 최정화, 김미향, 최인영, 2006. 한국해양무척추동물도감. 아카데미 서적, 서울. pp. 479.
- Allen, L. G., 1982. Seasonal abundance, composition and productivity of the littoral fish assemblage in upper Newport Bay, California. Fish. Bull. U.S., **80**: 769-790.
- Blaber, S.J.M. and T.G. Blaber, 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. J. Fish Biol., **17**: 143-162.
- Day, J.W., C.A.S. Hall, W.M. Kemp and A.Yanez-Arancibia, 1989. Estuarine Ecology. John Wiley & Sons. U.S.A. pp. 558.
- Davis, J. C., 1978. Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley, New York. pp. 550.
- Elliott, M. and F. Dewailly, 1995. The structure and components of European estuarine fish assemblages. Neth. J. Aquat. Ecol., **29**: 397-417.
- Franco, A., P. Franzoi, S. Malavasi, F. Riccato, P. Torricelli and D. Mainardi, 2006. Use of shallow water habitats by fish assemblages in a mediterranean coastal lagoon. Estuar. Coast. Shelf Sci., **66**: 67-83.
- Greenwood, M.F.D. and A.S. Hill, 2003. Temporal, spatial and tidal influences on benthic and demersal fish abundance in the Forth estuary. Estuar. Coast. Shelf Sci., **58**: 211-225.
- Horn, M. H., 1980. Diel and seasonal variation in abundance and diversity of shallow-water fish populations in Morro Bay, California. Fish. Bull. U.S., **78**: 759-770.
- Houde, E.D. and E.S. Rutherford, 1993. Recent trends in estuarine fisheries: Predictions of fish production and yield. Estuaries, **16**: 161-176.
- Jaccard, P., 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat., **44**: 223-270.
- Lee, T. W. and K. J. Seok, 1984. Seasonal fluctuations in abundance and species composition of fishes in Cheonsu Bay using trap net catches. J. Oceanol. Soc. Korea **19**: 217-227.
- Lenarz, W.H. and P.B. Adams, 1980. Some statistical considerations of the design of trawl surveys for rockfish (Scopaeidae). Fish. Bull. U.S., **78**: 659-674.
- Livingston, R. J., 1976. Diurnal and seasonal fluctuations of organisms in a north Florida estuary. Est. Coast. Mar. Sci., **4**: 373-400.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds, 1988. Statistical Ecology. John Wiley & Sons. pp. 337.
- Maes, J., A. Taillieu, P.A. Van Damme, K. Cottenie and F. Ollevier, 1998. Seasonal patterns in the fish and crustacean community of a turbid temperate estuary (Zeeschelde estuary, Belgium). Estuar. Coast. Shelf Sci., **47**: 143-151.
- Methven, D.A., R.L. Haedrich and G.A. Rose, 2001. The fish assemblage of a Newfoundland estuary: diel, monthly and annual variation. Estuar. Coast. Shelf Sci., **52**: 669-687.
- Potter, I.C., P.N. Claridge and R.M. Warwick, 1986. Consistency of seasonal changes in an estuarine fish assemblage. Mar. Ecol. Prog. Ser., **32**: 217-228.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. The Mathematical Theory of Communication, Univ. Illinois Press, Chicago. pp. 117.
- Taylor, C.C., 1953. Nature of variability in trawl catches. Fish. Bull. U.S., **54**: 145-166.

2010년 3월 19일 원고접수

2010년 5월 31일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출