

한강 하구역 자치어 종조성의 계절 변동

김지혜 · 김병기 · 한경남*

인하대학교 해양과학과

Seasonal Variation in Species Composition of the Larval Fish in the Han River Estuary, Korea by Ji Hye Kim, Byung Gi Kim and Kyung Nam Han* (Department of Ocean Science, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

ABSTRACT Seasonal variation and abundance of fish larvae in Han River estuary were determined by analysis of seasonal samples collected from three channels in the Han River estuary from May 2007 to August 2008.

During the study, a total of 3,642 fish larvae were collected belonging to 13 taxa. *Coilia* spp. was the most abundant (48.8%). The highest number of taxa (11 taxa) was collected in the Jangbong channel and abundance was high in the Sukmo channel (2,428 ind./1,000 m³). Brackish-water species were prevailed in the Yumhwa channel and the Sukmo channel, while coastal species were abundant in the Jangbong channel. Canonical correspondence analysis revealed that the environmental factors such as water temperature and salinity had a strong relationship with the abundance of major larvae species.

Key words : Larval fish, Species composition, Seasonal variation, Han River estuary

서 론

한강 하구는 남쪽으로는 강화도 양측의 염하수로와 석모수로를 통하여 경기만과 연결되며, 북쪽으로는 예성강 및 임진강 하구와 합류된다.

이 해역은 수리적으로 부분 혼합의 특성이 약하게 보이거나 수괴의 수직 혼합작용이 활발한 하구에 속하며, 하천류보다 조류에 의한 에너지가 상대적으로 매우 큰 대조차 하구이다(오, 1985; 장, 1989; 김, 1990). 또한 한강 하구역은 국내 4대강 하구역 가운데 유일하게 하구둑이 건설되지 않아 조수의 출입이 자유롭고 군사적인 이유로 인해 민간인의 접근이 통제되어 자연적인 하천지형과 생태계가 비교적 잘 보전되어 있다(서 등, 2008). 그러나 수도권으로부터 유입되는 오폐수와 수도권 매립지, 신공항 건설 및 냉각수 활용시설 등으로 수계 환경이 점차 악화되어 가고 있어 어류 및 다양한 생물들의 산란장, 섭식장, 성육장으로서의 기능이 위협을 받고 있다.

지금까지 한반도 하구역의 자치어에 대해서는 천수만 금강 하구(차 등, 1990), 한강 하구(박과 한, 1997), 만경 동진강 하구(차와 박, 1991), 낙동강 하구(차 등, 1988), 영산강 하구(김 등, 2003) 등에서 연구되었다. 그러나 한강 하구역은 남북한의 군사적 대치상황으로 연구를 위한 접근이 제한적이기 때문에 수생태계의 연구가 많지 않으며, 난자치어의 군집분석과 해양환경이 미치는 영향에 대한 연구 보고는 미흡한 편이다.

본 연구에서는 한강 하구역에서 출현하는 자치어의 시공간적 분포 특성을 파악하고, 시공간 분포특성에 미치는 해양환경 요인을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 연구 지역

자료는 염하수로, 석모수로, 장봉수로 상에서 각 수로를 대표할 수 있고, 어선조사가 가능한 정점에서 2007년 5월, 8월과 11월, 2008년 2월, 5월 및 8월에 수집하였으며, 조석

*Corresponding author: Kyung Nam Han Tel: 82-32-860-7709
Fax: 82-32-862-5236, E-mail: knhan@inha.ac.kr

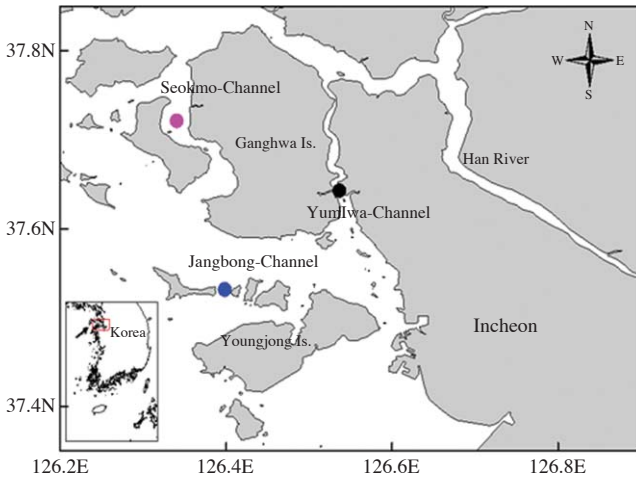


Fig. 1. A map showing the sampling area.

의 영향을 최소화하기 위해 만조때 수집하였다 (Fig. 1).

2. 해양 환경

조사기간 동안에 수온, 염분, 용존산소 (DO)는 YSI-6600으로 측정하였으며, 부유물질 (SS) 분석은 Eaton *et al.* (1995) 및 해양수산부 (2005)를 참고하여 여과 전후의 여과지 중량 차이를 여과한 시료의 부피로 나누어 계산하였다.

엽록소 *a* 농도의 분석을 위해 현장에서 채수한 해수 500 mL를 여과지 (Whatman GF/F)로 여과한 후 형광광도계를 이용하여 Parsons *et al.* (1984)에 따라 분석하였다. 영양염 시료 채취는 현장에서 Whatman GF/F 여과지로 거른 다음 시료의 일정량을 채취하여 FIA (Flow Injection Analyzer, Quickchem 8000, LACHAT Co.)장비를 이용하여 분석하였다. 강수량 자료는 기상청 홈페이지 (www.kma.go.kr)에서 서울 및 인천지방기상청의 자료를 활용하였다.

3. 종조성과 양적변동

자치어는 망구 60 cm, 망목 303 μ m인 네트로 선상에서 자연 유속을 이용하여 10분간 수평 채집하였으며, 표본은 선상에서 5~7% 중성포르말린으로 고정하였다. 네트 입구에 유량계 (General Oceanics, Inc.)를 부착하여 여과량을 측정하여 채집된 자치어는 1,000 m^3 으로 환산하였다. 자치어는 해부현미경 (Olympus, SZH-ILLD)하에서 정 (1977), Moser *et al.* (1984), Okiyama (1988), 김 등 (2005) 등을 참고하여 종을 동정하였다. 본 해역에서 채집된 자치어의 대부분은 난황자어 또는 전기자어시기로 계수형질을 관찰하기 어려운 발달 단계였고, 조사 현황에 따른 장시간 에탄올 고정으로 인하여 흑색소포에 의한 형질 파악도 명확하지 않았다. 따라서 외부형태만을 이용한 오동정과 잠정적 판단을 피하기 위

하여 두부의 형태, 항문의 위치 등을 관찰하여 속 또는 과 수준까지 동정하였다.

4. 자료 분석

자치어와 환경요인의 상호 연관성을 파악하고 하나의 자각도로 표현하기 위해 정준대응분석 (CCA: canonical correspondence analysis)을 실시하였다. 정준대응분석에서 이용된 자치어 개체수는 정규분포의 가정을 위해 자연로그 $\log(x+1)$ 로 변환하였으며, MVSP (version 3.0)로 수행하였다. Inter-set 상관계수는 환경변수의 중요성을 평가하는데 사용되었고, 요인에 따라 inter-set ≥ 0.4 로 생물학적으로 중요한 것으로 간주하였다 (Rakocinski *et al.*, 1996).

결과 및 고찰

1. 환경요인

조사 기간 동안 강수량은 하계에 집중되는 경향을 공통적으로 보이며 연도별로 수량의 차이가 나타났다 (Fig. 2).

평균 수온은 하계에 24.2~26.2°C로 가장 높았고 동계에 0.4~0.9°C로 가장 낮은 전형적인 계절 변화를 보였으며 정점간 차이가 거의 없었다 (Fig. 2).

조사 시기 동안 3개의 수로에서의 염분은 하계에 낮고 동계에 높았으며, 염하수로에서는 평균 16.6 psu, 석모수로에서는 평균 18.5 psu였으나 장봉수로에서는 평균 28.2 psu로 염하수로 및 석모수로 보다 상대적으로 높아 담수유입 영향이 적은 것으로 추정된다. 일반적으로 한강 하구의 염분 분포는 강수량에 따른 담수 유입량과 조석에 의해 결정되고 (박, 2004) 조류에 의한 담수의 유입에 따라 1~28 psu로 큰 폭의 변화를 보이며, 하천수의 영향으로 조석 비대칭이 심하고 특히 풍수기 동안 담수의 영향이 두드러진다 (오, 1989).

한편 용존산소는 염하수로에서는 5.0~11.4 mg/L의 범위로 평균 7.6 mg/L을 보였고, 석모수로에서는 5.1~11.5 mg/L의 범위로 평균 7.7 mg/L을 보였으며, 장봉수로에서 6.5~11.7 mg/L의 범위로 평균 8.8 mg/L을 나타내 장봉수로에서 높은 경향을 보였다 (Fig. 2). 용존산소는 하계에 낮았고 동계에 높았다.

부유물질 농도는 염하수로와 석모수로에서는 동계에 높고 하계에 낮은 특징을 보였으며, 장봉수로에서는 추계에 높고 하계에 낮은 특징을 보였다 (Fig. 2). 지역적으로는 유속이 강한 염하수로 (200 cm/s)나 석모수로 (184 cm/s)에 비하여 상대적으로 유속이 약한 장봉수로 (125 cm/s)에서 부유물질 농도가 낮았다.

영양염 농도는 주유입원인 한강 하구로부터 가까운 염하

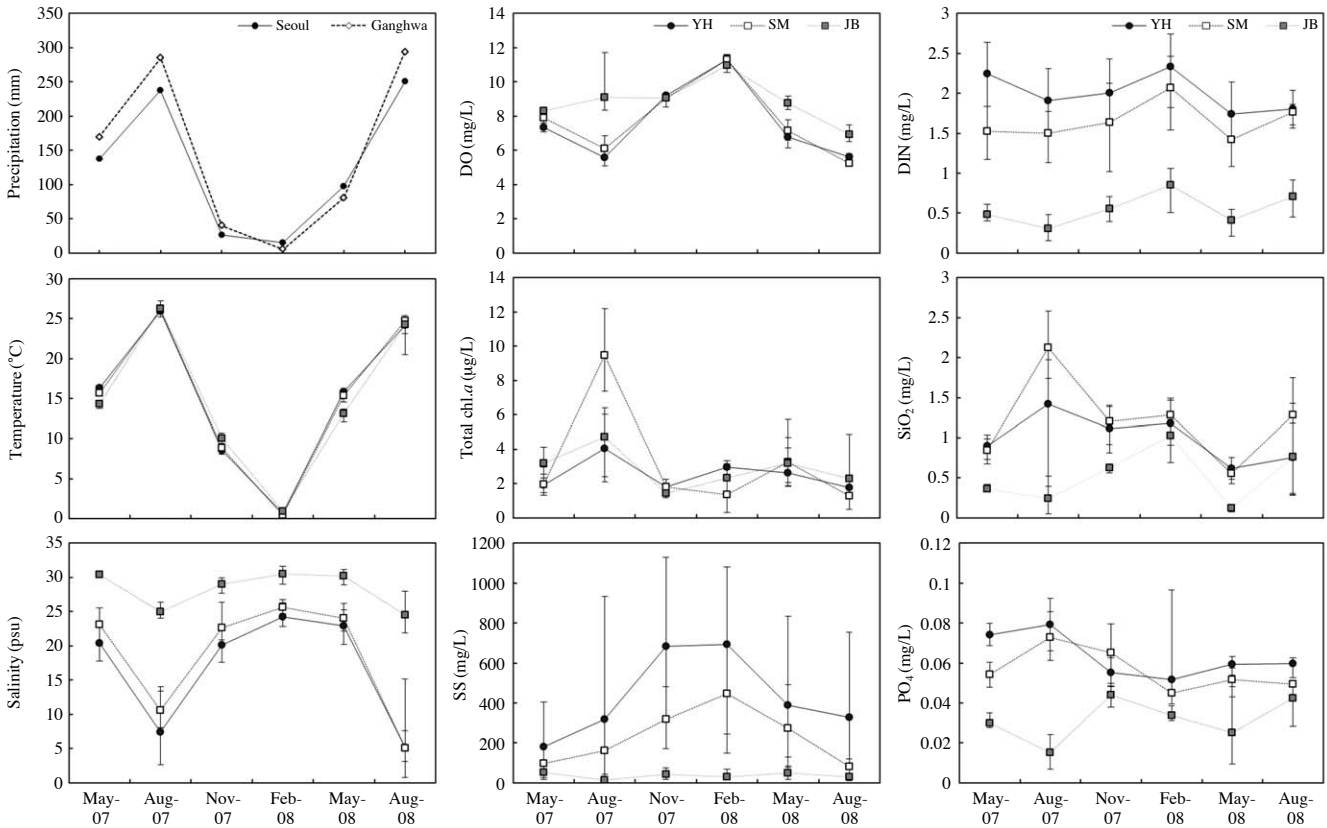


Fig. 2. Seasonal variations of temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), suspended substance (SS), dissolved nitrogen (DIN), phosphate (PO₄) and silicate (SiO₂) and chlorophyll *a* concentration at three channels (YH: Yumhwa channel, SM: Sukmo channel, JB: Jangbung channel) in Han River estuary. The vertical bars indicate the standard deviation of the mean.

수로나 석모수로보다 먼 장봉수로에서 낮았다.

조사 시기동안 엽록소 *a* 농도는 석모>장봉>염하수로 순으로 증가하는 경향을 보였다. 계절별 평균 엽록소 *a* 농도 변화는 하계에 높고 추계에 낮았으며, 2007년 하계보다 2008년 하계에 더 낮았다(Fig. 2). 한강 하구역의 일차 생산력은 엽록소 *a* 농도와 광 조건에 대한 자료를 통해 추정할 수 있으며(명, 2011), 일반적으로 하구역은 높은 영양염과 탁도를 보이는 곳이기 때문에 광의 유용성이 일차생산력을 조절하는 가장 중요한 요인으로 인식되어 왔다(Cadee and Hegeman, 1974; Joint and Pomroy, 1981; Colijn and Ludden, 1983; Wofsy, 1983). 부유물질 농도가 낮은 하구역일수록 생산력이 높으며(Cadee and Hegeman, 1974), 한강 하구역에서도 높은 부유물질에 의한 낮은 광 조건이 연중 낮은 일차생산력을 야기하였고 일차생산력의 계절변화는 식물플랑크톤 생물량 변화와 상관관계를 보였다(권과 최, 1994). 그러므로 한강 하구역에서 엽록소 *a* 농도가 대체로 2007년 하계보다 2008년 하계에 더 낮은 농도 값을 나타낸 것은 부유물질 농도가 2007년 하계보다 2008년 하계에 비해 감소함에 따라 광 환경이 개선된 결과로 판단된다.

2. 자치어의 종조성 및 출현량

1) 종조성 및 출현량

조사 시기 동안 총 13분류군의 자치어가 채집되었다(Table 1). 이중 응어속(*Coilia* spp.)이 총 1,777 개체가 채집되어 전체 출현량의 48.8%를 차지하였고, 그 다음으로 망둑어과(*Gobiidae* spp.) 1,159개체 (31.8%), 밴댕이(*Sardinella zunasi*) 274개체 (7.5%), 걱정이속(*Trachidermus* spp.) 151개체 (4.2%), 민어과(*Sciaenidae* spp.) 145개체 (4.0%), 황줄베도라치과(*Pholidae* spp.) 54개체 (1.5%), 멸치(*Engraulis japonius*) 26개체 (0.7%)의 순이었다.

수로별로는 염하수로에서 7분류군, 석모수로에서 7분류군, 장봉수로에서 11분류군이 출현하여 장봉수로에서 출현 분류군수가 높았다. 출현 개체수는 석모수로에서 8월에 응어속 치어가 대량 채집되어 다른 정점에 비하여 출현량이 가장 높았다. 한편 염하수로와 석모수로에서는 응어속, 밴댕이, 걱정이속 어종과 같은 기수종의 채집량이 많았고, 민어과와 같은 일부 연안종이 혼재되어 출현하였다. 기수종에 의해 자치어의 군집이 유지되는 염하수로 및 석모수로와는 달리 장봉수로에서는 민어과, 양볼락과(*Scorpaenidae* sp.), 돛양태과

Table 1. Species composition and abundance (/1000 m³) of larval fish caught at three channels in Han River estuary from May 2007 to August 2008. 'N' represent the total number of individuals

Species	Yumhwa channel						Sukmo channel						Jangbung channel						Total	
	2007		2008		2008		2007		2008		2008		2007		2008		2008		N	S
	May	Aug	Nov	Feb	May	Aug	Total	May	Aug	Nov	Feb	May	Aug	Total	May	Aug	Total			
<i>Coilia</i> spp.	131			119	250	99	1,428	1,527										1,777	48.8	
Gobiidae spp.	63	63		48	319	11	149	486	167									1,159	31.8	
<i>Sardinella zunasi</i>	6			4	10	17	240	257										274	7.5	
<i>Trachidermus</i> spp.	31			20	51	98	3	101										151	4.2	
Sciaenidae spp.	17			10	27	16	18	36	1	26								145	4.0	
Pholidae spp.								18	20		17							54	1.5	
<i>Engraulis japonius</i>																		26	0.7	
Cynoglossidae spp.					3					6								22	0.6	
Scorpaenidae sp.									4									12	0.3	
Callionymidae sp.											1							7	0.2	
<i>Konosirus punctatus</i>																		6	0.2	
<i>Pholis fangi</i>			3		3						2							1	0.2	
<i>Lateolabrax japonicus</i>																		3	0.1	
Total No. of species	2	5	1	2	7	4	3	7	4	2	1	3	4	7	4	2	1	13		
Total of individuals	94	220	3	165	663	143	170	2,428	192	32	3	176	247	556	247	32	3	3,642		

(Callionymidae sp.) 등 연안종이 주를 이루었다. 따라서 염분 구배가 뚜렷이 나타나는 염하, 석모, 장봉 수로에서는 염분 증가에 따라 기수종, 연안종이 주된 자치어의 구성원으로 변동 출현하는 하구역의 전형적인 분포 특징을 보인다고 할 수 있다. 또한 세 수로 모두 기수 및 연안 등지에 넓게 분포하는 망둑어과 어종이 우점하는 경향을 보였다(Otto, 1971; Blaber, 1974; Martin, 1990).

우리나라 주변 해역의 자치어에 대한 연구는 각기 다른 채집 주기와 채집 방법 등에 의해 차이가 많기 때문에 각 해역의 자치어 군집을 비교하기에는 어려운 점이 많으나, 본 조사시기에 채집된 자치어의 출현종수 및 출현량을 낙동강 하구역과 영산강 하구역, 만경 동진강 하구역 이루어진 기존 연구와 비교해 보았다(Table 2).

낙동강 하구역에서는 총 26분류군으로 멸치, 망둑어과, 돛양태과, 용어속이 우점하였고, 영산강 하구역 주변 해역에서는 총 40분류군으로 망둑어과, 황줄베도라치과, 뱀어과(Salangidae)가 우점하였으며, 만경 동진강 하구에서는 총 18분류군으로 전어, 망둑어과, 뱀망이가 우점하였다. 이상과 같이 출현 종수에 있어서는 한강 하구역에서 총 13분류군으로 낮았지만, 비교적 유사한 어종들이 출현하였다. 또한 출현량에 있어서는 낙동강 하구역에서 493.1개체, 만경 동진강 하구에서는 3,395.7개체, 한강 하구역에서 3,642개체로 낙동강 하구역과 만경 동진강 하구역보다는 높은 출현량을 보였으나 본 조사에서는 일부 시기에만 채집되었고 정점수가 적었다(Table 2). 또한 채집된 대부분의 자치어가 난황 자어이거나 전기 자어시기로 속 또는 과 수준까지 동정되었으므로 향후 분자생물학적 연구를 통해 정확한 종 동정이 이루어진다면 출현종수 및 출현량은 타 하구역에 비해 더 많을 것으로 생각된다.

2) 계절별 종조성 및 출현량

염하수로에서 자치어 개체수는 2007년 하계에 220 ind./1,000 m³로 가장 많았고, 전체적으로 춘계와 하계에 높았고 추계와 동계에는 낮은 특징을 보였다(Fig. 3). 대부분 조사시기에 망둑어과의 출현 개체수가 차지하는 비중이 높았으며, 춘계에는 꺾정어속, 하계에는 용어속과 뱀망이의 점유율이 증가하는 특징을 보였다(Table 1).

석모수로에서 출현한 자치어는 2008년 하계에 1,819 ind./1,000 m³로 가장 높았으나, 2007년 하계에는 143 ind./1,000 m³로 현저히 낮았다. 이는 하계에 높은 출현율을 보이는 용어속이 2007년 8월에 낮게 출현했기 때문이다. 석모수로 또한 염하수로와 비슷한 종조성을 보이고 있으나, 염하수로보다 비교적 높은 출현량을 보였다(Table 1).

장봉수로에서는 2008년 하계에 247 ind./1,000 m³로 가장 높은 개체수를 보였고, 염하수로와 석모수로와 마찬가지로 망둑어과는 대부분 시기에 출현하고 있으며, 2007년과 2008

Table 2. Comparison of fish larval compositions studied from the different estuaries of Korea

Sampling area	No of station	No. of species	Sampling period	Dominant species	% abundance	Reference	Survey period
Nakdong River estuary	8	26	12 month	<i>Engraulis japonius</i>	36.8	Cha and Hur, 1988	1987~1988
				Gobiidae	15.3		
				Callionymidae spp.	15.0		
				<i>Coilia</i> spp.	14.0		
Youngsan River estuary	8	40	6 month	Gobiidae	91.0	Kim et al., 2003	2001
				Pholidae spp.	3.6		
				Salangidae	3.6		
Mankyung Dongjin estuary	9	16	four seasons	<i>Konosirus punctatu</i>	60.7	Cha and Park, 1991	1989~1990
				<i>Sardinella zunasi</i>	13.6		
				Gobiidae	11.8		
				<i>Thryssa</i> spp.	4.6		
Hna River estuary	3	14	2007	<i>Coilia</i> spp.	48.7	Present study	2007~2008
			four seasons,	Gobiidae spp.	31.8		
			2008	<i>Sardinella zunasi</i>	7.5		
			two seasons	<i>Trachidermus</i> spp.	4.1		

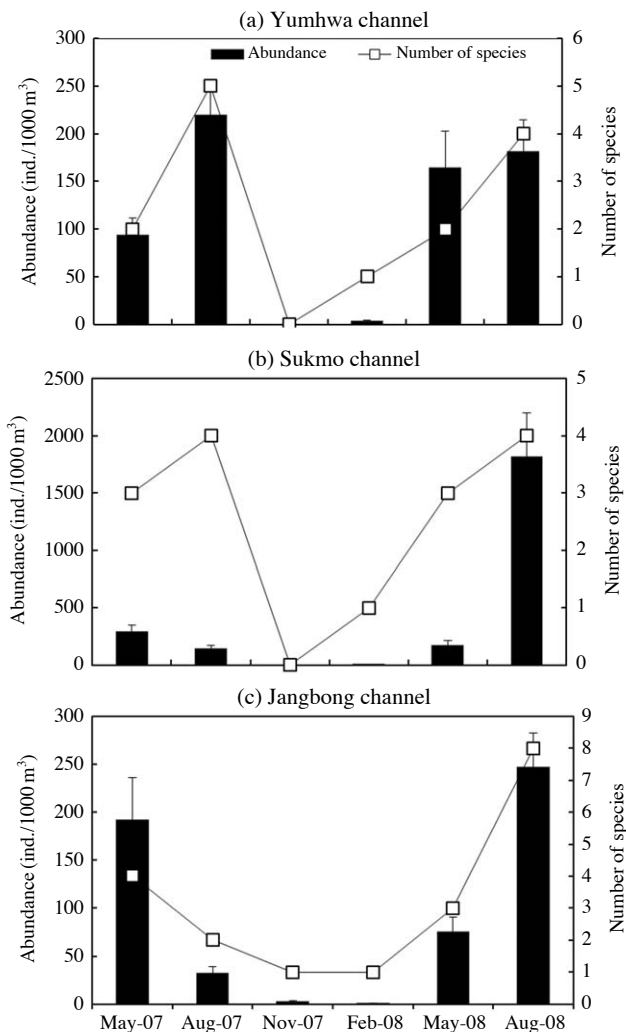


Fig. 3. Seasonal variations of number of taxa and abundance of fish larvae collected at three channels in Han River estuary from May 2007 to August 2008.

년 하계에 공통적으로 민어과의 개체수가 증가하였다. 2008년 하계에는 2007년보다 다양한 어종이 출현하여 민어과 멸치, 양볼락과, 돛양태과 등 개체수가 증가하는 경향을 보였다 (Table 1).

대체적으로 3개의 수로의 계절별 전체 자치어 개체수는 춘계, 하계에 높게 출현하였고, 지역적으로는 석모수로에서 출현 개체수가 높은 특징을 보였다. 전체 개체수에서 망둑어과가 차지하는 비중은 3개의 수로에서 공통적으로 높았으며, 춘계에는 걱정이가 염하수로와 석모수로에서 우점하는 경향을 보였다. 추계에는 장봉수로에서 점농어 (*Lateolabrax japonicus*) 1종만이 출현하였으며, 동계에는 흰베도라치가 출현하였다. 웅어속은 염하수로와 석모수로에서 하계에 우점하였고, 석모수로에서 매우 높았다. 장봉수로에서는 민어과 어종이 우점하였으며, 염하수로 석모수로와는 다른 종조성과 출현량을 보였다 (Table 1).

본 조사결과를 낙동강 하구역과 영산강 하구역, 만경 동진강 하구역의 계절별 종조성과 비교하였다. 춘계에는 낙동강 하구역에서 멸치가 우점하였고, 만경 동진강 하구역에서는 전어가 우점하였다. 하계에는 낙동강 하구역에서는 멸치가 우점하였고, 만경 동진강 하구역에서는 밴댕이가 우점하였으며, 한강 하구역에서는 웅어속 어종이 우점하였다. 동계에 한강 하구역에서는 흰베도라치가 우점하고, 남해와 동해에서는 동계에 까나리 (*Ammodytes personatus*)의 우점도가 높았으며 (김 등, 1981; 김, 1983; 김, 1984; 김 등, 1985), 낙동강 하구역에서는 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)가 까나리와 함께 대표적인 겨울 출현종을 이루고 있었다.

이와 같이 계절별로 출현종이 변화되는 이유는 어류의 산란에 영향을 미치는 해양환경이 계절적으로 다르기 때문이며 주된 이유가 수온과 관련된 것으로 알려져 있다 (김과 장, 1994). 또한 자치어의 종조성에 영향을 미치는 것들로

는 크게 무생물학적인 요인과 생물학적인 요인들이 있으며 수온과 포식자에 의한 것과 자치어에 생리 생태적 영향 조건 및 포식능력 등 복잡한 요인에 기인한 것으로 사료된다 (Eduardo Esteves *et al.*, 2000).

3) 자치어와 환경요인과의 관계

정준대응분석 (CCA; Canonical Correspondence analysis) 결과는 CCA₁ (Axis 1)과 CCA₂ (Axis 2)의 고유치 0.52, 0.30로 CCA₁과 CCA₂은 전체 자료 변이의 66.1%를 설명하였다. 따라서 본 분석에서 이용된 환경 변수의 대부분은 주요 자치어의 변이를 비교적 잘 설명하는 것으로 나타났다.

Inter-set 상관계수는 CCA₁축은 수온과 유의한 음의 상관관계, 염분 및 용존산소량과는 유의한 양의 상관관계를 나

타냈으며, CCA₂축은 염분이 유의한 양의 상관관계, 부유물질과 영양염은 음의 상관관계로 분석되었다 (Table 3).

한강 하구역 주요 자치어의 출현양상은 크게 4개 그룹으로 구분 가능되었다.

Group I에 해당하는 용어속, 밴댕이, 민어과는 II상한에 분포하였고, 상대적으로 수온과 염분이 높은 환경에서 주로 출현하였다. 용어속은 암컷의 생식소 발달과 산란에 영향을 미치는 외적 환경요인은 고수온(22.8°C)이며, 전형적인 하계 산란형 어류에 속한다 (Lee *et al.*, 2003). 또한 밴댕이는 봄에 산란 및 섭이를 위하여 내만으로 들어오며 늦가을 수온이 낮아지면 월동하기 위하여 외해로 이동하는 종으로 알려져 있으며 (Tabot and Jonson, 1972; Sakagawa and Kimura, 1976), 민어과 또한 수온의 폭이 비교적 넓고 따뜻한 곳에 서식하는 종으로 알려져 있다 (국립수산진흥원, 1998). Group II에 속하는 꺾정어속과 흰배도라치는 IV상한 분포되었으며 냉수기에 출현하는 종들로 특히 흰배도라치 치어는 서해안의 대표적인 동계성 어종이다. Group III에 속하는 멸치, 양볼락과, 참서대과 (Cynoglossidae spp.), 돛양태과, 황줄배도라치과, 민어과는 주로 장봉수로에서 출현하는 종으로 고온, 고염 환경에서 출현하는 종으로 CCA₂축에서 양의 값을 나타내었고, Group IV에 해당하는 용어속과 밴댕이는 염하·석모수로에서 주로 출현하는 기수종으로 CCA₂축에서 양의 값을 나타내었다 (Fig. 4). 염하·석모수로는 한강 담수의 영향이 크기 때문에 담수영향이 적은 장봉수로와는 환경적으로

Table 3. Inter-set correlations of environmental variables with the first two CCA axes, based on the log-transformed abundance of larval fish assemblages of the Han River estuary. *Inter-set $\geq |0.4|$ corresponding to biologically important variables

Environmental variables	CCA ₁	CCA ₂
Temperature	-0.68*	0.01
Salinity	0.62*	0.43*
Chl- <i>a</i>	-0.19	-0.08
SS	0.17	-0.43*
DO	0.66*	0.33
DIN	-0.00	-0.73*
PO ₄	-0.10	-0.63*
SiO ₂	-0.33	-0.57*

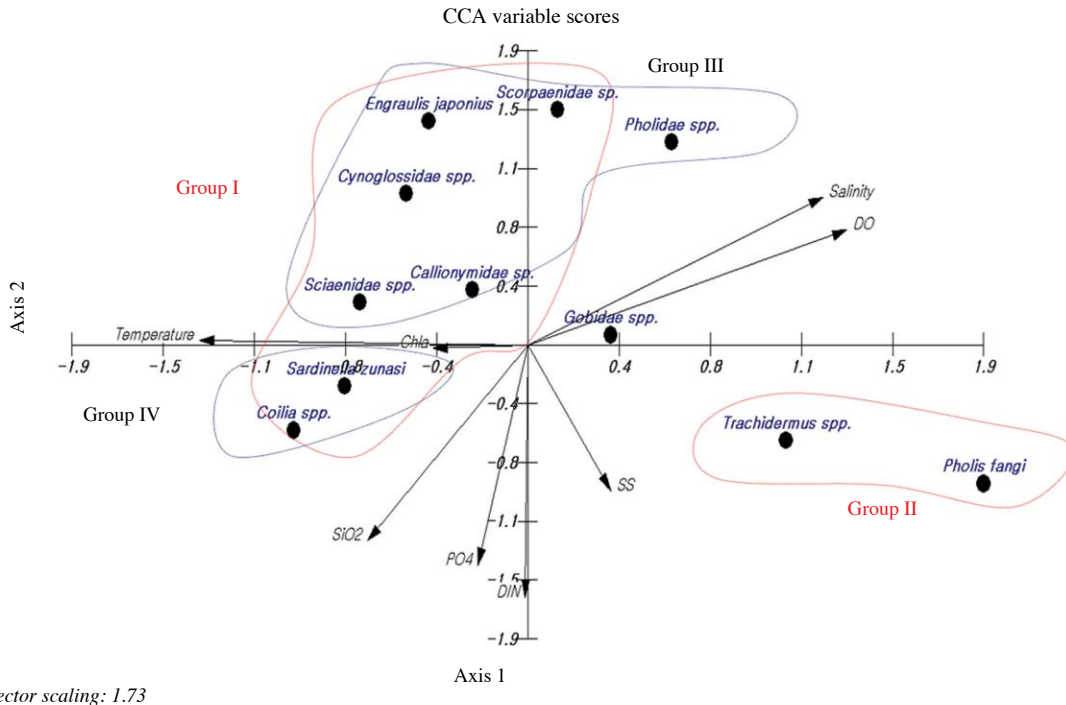


Fig. 4. Biplot diagram of canonical correspondence analysis (CCA) for fish larval species and environmental scores in Han River estuary.

차이가 있어 종조성이 다른 것으로 판단된다. 따라서 한강 하구 자치어의 출현양상은 수온과 담수유입에 의한 염분의 변화에 따라 결정됨을 알 수 있었다.

요 약

한강 하구역에서 출현하는 자치어의 시공간적 분포 특성을 파악하고 해양환경요인과 자치어의 분포 및 출현양상의 연관성을 평가하기 위해 한강 하구역을 대표하는 염하수로, 석모수로, 장봉수로에서 2007년 5월에서 2008년 8월 사이 계절별로 자료를 수집하여 분석하였다. 연구기간 동안 자치어는 총 13개 분류군 총 3,642개체가 출현하였고, 웅어속이 48.8%로 우점하였다. 장봉수로에서 총 11개 분류군이 출현하여 가장 많았다. 석모수로에서는 웅어속이 대량 채집되어 채집량이 2,428개체로 가장 높았다. 춘계와 하계에 출현량이 증가하였으며, 동계에는 흰배도라치만이 출현하였다. 염하수로 및 석모수로에서는 기수종이 주를 이루었고 장봉수로에서는 연안성 어종, 연안 회유성 어종, 연안정착성 어종 등 다양하게 출현하였다. 정준대응분석(CCA) 결과 자치어는 수온 및 염분과 유의한 상관관계를 보였다. 한강 담수 유입에 따른 염분에 따라 주요 자치어는 2개의 그룹(염하·석모수로, 장봉수로)으로 구분되었다.

인 용 문 헌

권순기·최중기. 1994. 한강하류 및 하구역의 식물플랑크톤 생태 연구 I. 환경요인과 일차생산력. 황해학회지, 6: 77-99.
국립수산과학원. 1998. 연근해 주요 어종의 생태와 어장. 321pp.
김수암·장창익. 1994. 어류생태학. 서울프레스, 274pp.
김영택. 1990. 한강하구 및 경기만에서의 물리학적 특성. 인하대학교 석사학위논문, 66pp.
김용역. 1981. 한국연근해 어란 및 자치어 도감. 부산수산대학교 해양과학연구소, 109pp.
김용역. 1983. 남해창선해협의 자치어에 관한 연구. 한국수산학회지, 16: 163-180.
김용역. 1984. 대한 해협의 자치어 분포상. 한국수산학회지, 17: 230-243.
김익수·최 윤·이충렬·이용주·김병직·김지현. 2005. 한국어류대도감. 교학사, 615pp.
김종만·유재명·허형택·차성식. 1985. 울산만 및 그 주변 해역의 자치어 분포. 해양연구, 7: 15-22.
김종만·유재명·명정구·임주열. 1986. 한국연근해 어란 치자어 도감. 해양연구소, 369pp.
김진구·최정일·장대수·나종태·김용역. 2003. 영산강 하구역 주변해역의 난자치어 분포. 한국어류학회지, 36: 486-494.
명철수. 2011. 한강 하구역 기초생태환경과 중형동물플랑크톤 군집의 시 공간적 변동. 인하대학교 박사학위논문, 155pp.

박경수·한경남. 1997. 한강하구역 및 경기만에서 어류 자치어의 역학에 관한 연구. 한국해양학회지, 32: 202-207.
박경수. 2004. 한강 하구역의 염분 분포 및 생태환경특성. 한국습지학회, 6: 149-166.
서영덕·진재율·황규남. 2008. 한강 하구역 점착성 퇴적물 침강 속도의 지엽적/공간적 변화. 한국해양공학회지, 22: 37-45.
오재경. 1985. 한강 종합개발 이전의 한강하구에서의 퇴적환경과 광물자원에 관한연구. 과학재단 연구보고서, 88pp.
오재경. 1989. 한강개발이전 한강하구와 경기만에서의 퇴적환경. 황해학회지, 2: 13-20.
장현도. 1989. 한강종합 개발이후 한강하구 및 경기만에서 퇴적 환경의 변화. 인하대학교 석사학위논문, 82pp.
정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, 727pp.
차성식·유재명·김종만. 1990. 황해 중동부 연안역의 치자어 군집의 계절 변동. 한국해양학회지, 26: 47-58.
차성식·박광재. 1991. 만경, 동진강 하구의 부유성 난 자치어의 분포양상. 한국해양학회지, 25: 96-105.
차성식·허성희. 1988. 낙동강 하구부근의 부유성 난 자치어의 출현량 변동. 한국어어업기술학회지, 24: 135-143.
Blaber, S.J.M. 1974. Osmoregulation in juvenile *Rhabdosargus holubi* [Steindacher (Teleostei: Sparidae)]. J. Fish Biol., 6: 797-800.
Cadée, G.C. and J. Hegeman. 1974. Primary production of phytoplankton in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 8: 240-259.
Colijn, F. and E. Ludden. 1983. Primary production of phytoplankton in the Ems-Dollard estuary. In: Colijn, F. (ed.), Primary production in the Ems-Dollard estuary. Drukkerij Van Denderen, Groningen., pp. 38-99.
Esteve, E. and T.M.J. Pedro Andrade. 2000. The distribution of estuarine fish larvae: Nutritional condition and co-occurrence with predators and prey. Acta Oecologica., 21: 161-173.
Faria, A., P. Morais and M.A. Chicharo. 2006. Ichthyoplankton dynamics in the Guadian estuary and adjacent coastal area, South-Est Portugal. Estuar. Coast. Shelf Sci., 70: 86-97.
Joint, I.R. and A.J. Pomroy. 1981. Primary production in a turbid estuary. Estuar. Coast. Shelf Sci., 13: 303-316.
Lee, B.W. and E.Y. Chung. 2003. Histological study on reproductive cycle of *Coilia nasus*. J. Aquaculture, 16: 179-186.
Martin, T.J. 1990. Osmoregulatory in three species of Ambassidae (Osteichthyes: Perciformes) from estuaries in Natal. South African J. Zool., 25: 229-234.
Moser, H.G., W.J. Richards, D.M. Cohen, M.P. Fahay, A.W. Kendall and S.L. Richardson. 1984. Ontogeny and systematics of fishes. The American society of Ichthyologists and Herpetologists, 760pp.
Okiyama, M. 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai University Press, 1154pp.
Otto, R.G. 1971. Effects of salinity on the survival and growth of pre-smolt coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. J. Fish. Res., Bd. Canada, 28: 343-349.
Rakocinski, C.F., J. Lyczkowski-Shultz and S.L. Richardson. 1996.

- Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi sound as revealed by canonical correspondence analysis. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 43: 237-257.
- Sakagawa, G.T. and M. Kimura. 1976. Growth of laboratory-reared northern anchovy, *Engraulis modax*, from southern California. *Bull., U.S.*, 74: 271-279.
- Talbot, G.B. and S.I. Jonson. 1972. Rear in Pacific herring in the laboratory. *The Progressive Fish-Culturist*, 34: 2-7.
- Wofsy, S.C. 1983. A simple model to predict extinction coefficients and phytoplankton biomass in eutrophic water. *Limnol. Oceanogr.*, 28: 1144-1155.