KOREAN JOURNAL OF ICHTHYOLOGY, Vol. 28, No. 3, 192-199, September 2016
ISSN: 1225-8598 (Print), 2288-3371 (Online)

Received: May 23, 2016
Revised: August 24, 2016
Accepted: September 20, 2016

한강하구에서 조석주기에 따른 웅어속 자치어의 출현량 변동

*김지혜 · 송태윤 · 김병기 · 김병표 · 한경남**

인하대학교 해양과학과

Change in Abundance of *Coilia* spp. Larvae by the Tidal Cycle in the Han River Estuary, Korea ***by Ji-Hye Kim, Tae-Yoon Song, Byung-Gi Kim, Byung-Pyo Kim and Kyung-Nam Han**** (Department of Oceanography, Inha University, Incheon 22212, Republic of Korea)

ABSTRACT The Seokmo and Yeomha channels are representative areas of high tidal energy in the Han River estuary. Surveys of environmental variables and abundance of *Coilia* spp. larvae, an anadromous fish, were carried out following the tidal cycle in August 2007 and August 2008.

It was found that mean water temperature varied by <1°C across flood and ebb tides. A clear difference in salinity was observed between tides, with a high of 15.1 psu during flood tide, and a low of 0.8 psu during ebb tide.

Coilia spp. larvae were significantly more abundant during the ebb tide than the flood tide ($p<0.05$). Since *Coilia* spp. larvae are anadromous fish, it seems that they use the ebb tide as a Selective tidal stream transport (STST) for horizontal movement in order to settle in the estuary (cultivation area), following hatching in the upper/middle courses of the Han River.

A high percentage of larvae with improved swimming ability (measuring ≥13.6 mm in length) was observed during the ebb tide.

Key words: Han river estuary, anadromous fish, *Coilia* spp., larval fish, tidal cycle

서 론

웅어속(*Coilia*) 어종은 청어목(Clupeiformes) 멸치과(Engraulidae) 어류로서, 세계적으로 13종(Whitehead *et al*., 1988), 우리나라에는 2종으로 웅어(*C. nasus*)와 싱어(*C. mystus*)가 보고되어 있다(Youn and Kim, 1996). 이들 종은 우리나라 서해안으로 유입되는 하천의 기수역에 주로 서식하며(Kim and Kang, 1993), 산란기에 강 하구역 중류까지 올라가 산란하고, 산란이 끝나면 하구에서 머물다가 먹이, 성장, 월동을 위해 바다(연안)로 이동하는 소하성 어종이다(Anonymous, 1976; Yuan and Qin, 1984). 부화한 웅어속 어종은 초기생활사 시기부터 성어 개체군에 가입하기 이전까지 하구역을 보육장 및 서식지로 이용하는데(Anonymous, 1976; Ma *et al*., 2004), 이 시기에 자치어가 산란지인 강에서 보육장까지 운반되고 유지되는 메커니즘에 대한 연구는 잘 알려져 있지 않다. 자치어의 유영 능력은 해수의 유속보다 작기 때문에(Churchill *et al*., 1999; Forward *et al*., 1999; Schultz *et al*., 2000, 2003) 스스로 최적의 환경을 찾아 이동하지 못하고 주변해역의 해수거동에 의해 수동적으로 서식장이 결정되어, 밀도분포, 해수유동, 바람 등은 자치어가 어떠한 환경에서 생활할 수 있는가를 결정하는 요인이 된다(Forward *et al*., 1999; Schultz *et al*., 2000). 이와 같이 자치어가 어떤 장소로 어떻게 수송되는지에 대한 문제는 초기 생잔율에 영향을 주기 때문에 자원량과 그 변동을 해명하는 중요한 요소이다.

한강하구역의 주 수로인 석모수로와 염하수로에서는 상류로 갈수록 낙조 시간이 길고, 한강 담수의 유입량이 지속적인 영향을 미쳐 잔차 흐름 또한 낙조방향이 우세한 해역이다(Yoon, 2006). 따라서 한강 하구역에 서식하는 웅어속 자치어의 출현량은 조석 상태와 밀접하게 관련될 것으로 예상된다.

지금까지 우리나라 하구역의 자치어에 대해서는 금강하구(Cha *et al*., 1987), 한강하구(Kim *et al*., 2014), 만경 동진강 하

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

구(Cha and Park, 1991), 영산강 하구(Kim *et al*., 2003), 낙동강 하구(Cha and Huh, 1988) 등에서 연구 되었다. 그러나 이들 연구의 대부분은 군집분석이 주를 이루고 있고, 자치어의 수송에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 한강 하구역에서 조석주기동안 연속 관측을 통해 조석변동이 소하성 어종인 웅어속 자치어의 출현량 변동에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

재료 및 방법

연구 해역인 한강 하구역은 우리나라 서해중부에 위치한 경기만에 속하며, 한강수와 외해수의 유입으로 인하여 물리적 혼합작용이 활발한 해역이다. 조류는 반일주조형으로 1일 2회의 창 · 낙조류가 왕복성을 가지고 나타나며, 20 m 내외의 얕은 수심으로, 평균 최대 유속 1.19 m/s의 강한 조류와 평균 5.7 m의 큰 조차를 보인다(Son, 2001).

조사는 염하수로와 석모수로 상에서 연속 관측이 가능한 각각 1개의 정점을 선정하여, 2007년 8월과 2008년 8월 대조 시에 실시하였다. 조사시기에 따라 8~13시간 연속관측을 수행하였으며, 1시간 간격으로 시료를 채집하였다(Fig. 1).

물리적 환경요인은 YSI-6600를 이용하여 표층에서 수온, 염분, 용존산소(DO) 자료를 측정하였고, 수소이온농도(pH)는 pH meter (YSI Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 부유물질(SS)은 현장에서 표층수를 100~200 mL 여과지에 거른 후 실험실에서 측정하였다.

총 엽록소 *a* 농도의 분석을 위해 현장에서 채수한 해수 500 mL를 여과지(Whatman GF/F)로 여과한 후 형광광도계(TurnerDesigns 10-AU Fluorometer)를 이용하여 측정하였다.

자치어 채집은 망구 60 cm, 망목 303 μm인 표준네트이며, 선상에서 자연 유속에 의해 10분간 수평 채집하였다. 자치어의 정량분석을 위하여 네트 입구의 1/3 지점에 유량계(General Oceanics, Inc.)를 부착하여 단위체적(1,000 m^3)당 개체수로 산출하였으며 채집된 표본은 선상에서 5~7% 중성포르말린으로 고정하여 해부현미경(Olympus, SZH-ILLD)하에서 분류 및 동정하였다.

웅어와 싱어는 외형적으로 유사하고(Youn and Kim, 1996) 종 동정에서 중요한 계수 형질을 관찰할 수 없는 시기의 자치어도 채집되어 정확한 종 동정이 어려워 Okiyama (1988), Kwun (2012)의 연구를 참고하여 웅어속으로 동정하였다. 체장은 만능투영기(Nikon Profile Projector, V-12B)를 이용하여 1 mm 단위로 구분하여 측정하였고, 발달 단계별 웅어속 자치어 체장은 Okiyama (1988), Xu *et al*. (2011) 및 Kwun (2012)의 연구를 참조하였다.

한강하구 환경자료와 웅어속 자치어의 출현량 자료는 통계

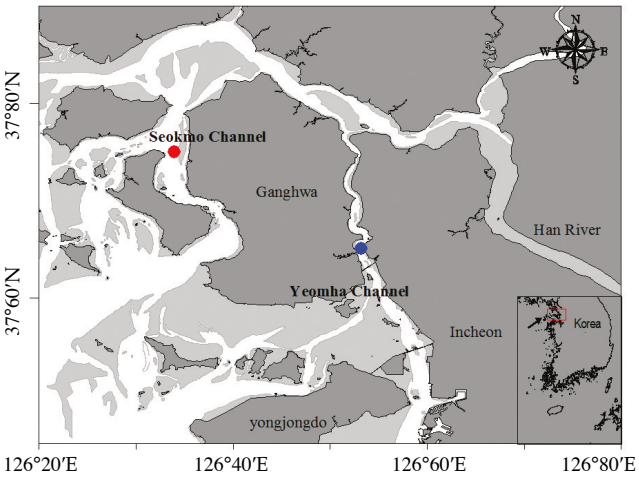

Fig. 1. A map showing the sampling area.

분석 전 정규분포 검정을 실시하였으며, 정규분포의 가정을 위해 자연로그 loge (개체수+1)로 변환하여 분석하였다. 정규분포의 검정은 SPSS (version 18.0)의 Kolmogorv-Smirnov로 실시하였다. 또한 집단 간 평균 비교 시 Levene test을 통해 등분산성을 검정하였다. 수집한 자료는 조사 시간에 따라 큰 차이를 나타내기 때문에 창조(flood tide, 저조에서 고조로 이어지는 모든 관측 자료)와 낙조(ebb tide, 고조에서 저조로 이어지는 모든 관측 자료) 구간으로 구분하였으며, 환경요인 자료와 자치어의 체장은 T-test를 이용하여 조석에 따른 차이를 비교하였다. 또한 조석주기와 각 수로별, 조사년도에 따른 자치어의 출현량 차이는 three-way ANOVA분석을 수행하였다.

결 과

1. 환경 요인

조석변화에 따른 환경측정 결과 수온 차이는 창조와 낙조에 따라 분포양상이 일정하지 않았으며, 1°C 미만의 수온차를 보여주었다. 그러나 2008년 석모수로에서 창조 시 최고수온(24.6°C)과 최저수온(20.5°C)의 차이가 4°C 이상으로 크게 나타났으며, 전체적으로 2007년보다 2008년에 수온이 낮은 경향을 보였다.

한편 염분은 염하, 석모수로 모두 창조와 낙조에 따른 차이를 나타내었으며, 최고 염분(15.1 psu)은 2008년 창조 시 석모수로에서 측정되었고, 최저 염분(0.8 psu) 또한 2008년 낙조 시 석모수로에서 측정되어, 조석에 따른 염분차가 컸다. 평균 염분은 2007년보다 2008년에 낮은 경향을 보여 연도에 따른 양상이 다르게 나타났고, 조석에 따른 차이는 4 psu 이하의 수준을 보이며 창조 시에 더 높았다.

Table 1. Environmental factors in the study area. T-test compared with ebb tide and flood tide data at two channels in Han River estuary. (ns: not significant)

			Total Chl.*a*	Suspended sediment	Temperature	Salinity	pH	DO
YH	2007	Ebb tide	3.52~5.58 (4.77±0.78)	129.01~760.02 (346.20±254.07)	25.20~25.94 (25.63±0.32)	2.63~6.84 (4.95±1.75)	7.38~7.52 (7.43±0.07)	5.08~5.59 (5.31±0.21)
		Flood tide	1.95~6.80 (3.58±2.07)	29.61~934.05 (298.73±312.51)	25.69~26.38 (26.17±0.25)	5.27~13.35 (8.89±3.20)	7.38~7.85 (7.65±0.16)	5.19~6.15 (5.72±0.29)
		p-value	ns	ns	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$
	2008	Ebb tide	1.67~2.67 (2.03±0.46)	191.00~684.00 (375.25±213.75)	20.5~24.63 (23.49±1.99)	0.80~8.55 (3.94±3.80)	7.19~7.31 (7.24±0.06)	5.50~5.82 (5.64±0.15)
		Flood tide	0.96~2.23 (1.60±0.44)	27.4~755.00 (299.48±246.69)	24.49~24.77 (24.62±0.10)	1.47~15.14 (5.91±4.93)	7.17~7.42 (7.29±0.09)	5.30~5.76 (5.58±0.18)
		p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SM	2007	Ebb tide	7.81~9.62 (8.63±0.65)	102.00~315.00 (199.60±84.15)	26.03~26.15 (26.09±0.05)	8.07~11.31 (9.30±1.49)	7.56~7.63 (7.60±0.02)	5.62~6.17 (5.84±0.21)
		Flood tide	8.66~11.81 (10.03±1.34)	42.90~206.00 (132.90±63.01)	26.00~26.23 (26.11±0.08)	8.64~14.05 (11.49±2.08)	7.64~8.16 (7.90±0.20)	5.71~6.87 (6.27±0.43)
		p-value	$p<0.05$	ns	ns	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$
	2008	Ebb tide	0.82~1.92 (1.40±0.46)	61.10~115.00 (86.64±23.22)	24.57~24.95 (24.69±0.15)	3.22~5.84 (4.93±1.14)	7.33~7.44 (7.36±0.05)	5.15~5.26 (5.19±0.04)
		Flood tide	0.73~1.62 (1.20±0.33)	25.60~120.0 (75.80±47.24)	24.37~25.05 (24.81±0.30)	3.07~7.59 (5.17±2.38)	7.34~7.37 (7.36±0.33)	5.17~5.60 (5.34±0.19)
		p-value	ns	ns	ns	ns	ns	ns

unit: Total chl.*a* (μg/L), Suspended sediment (mg/L), Temperature (°C), Salinity (psu), DO (mg/L)
YH: Yeomha channel, SM: Seokmo channel

총 엽록소 *a*는 대체로 낙조 시에 높은 농도를 나타내었으나, 2007년 석모수로에서 창조 시에 높은 농도를 보였다. 부유물질은 낙조 시에 높은 농도를 나타내었고 pH는 창조와 낙조에 따른 차이가 거의 없었다. DO는 조석에 따라 1 mg/L 이하의 차이를 보였다(Table 1).

2. 양적변동

조석주기에 따른 웅어속 자치어의 출현량 조사결과, 2007년 석모수로에서 낙조 시에 1,803.6 ind./1,000 m^3, 창조 시 313.2 ind./1,000 m^3이 출현하여 낙조 시에 더 높았고, 염하수로에서는 낙조 시 136.8 ind./1,000 m^3, 창조 시 35.2 ind./1,000 m^3가 출현하여 낙조 시에 더 높게 출현하였다. 2008년에는 석모수로에서 낙조 시 116 ind./1,000 m^3, 창조 시에 67.2 ind./1,000 m^3이 출현하여 낙조 시에 더 높았고, 염하수로에서 낙조 시 163.6 ind./1,000 m^3, 창조 시 96.8 ind./1,000 m^3 출현하여 낙조 시에 더 높았다. 특히 2007년에는 창 · 낙조에 따라 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

한편 수로에 따라서는 석모수로에서 614.4 ind./1,000 m^3가 출현하였고, 염하수로에서 118.9 ind./1,000 m^3가 출현하여 석모수로에서 더 높은 출현량을 보였으며, 연도별 출현량은 2007년 석모수로에서 1,141.3 ind./1,000 m^3, 염하수로에서 99.9 ind./1,000 m^3 개체가 출현하여 석모수로에서 더 높았고, 2008년에도 석모수로에서 137.9 ind./1,000 m^3, 염하수로에서 87.5 ind./1,000 m^3가 출현하여 석모수로에서 높았다(Fig. 2).

조석주기에 따른 자치어의 출현량 차이를 알아보기 위해 조석주기와 각 수로별, 조사년도에 따른 자치어의 출현량을 three-way ANOVA를 통해 분석 하였다. 그 결과 조석주기에 따른 자치어의 출현량($p<0.011$), 각 수로에 따른 자치어의 출현량($p<0.001$), 조사년도에 따른 자치어의 출현량($p<0.003$) 모두 유의한 차이가 있었으며, 조석주기와 각 수로간의 상호작용효과($p<0.023$), 조석주기와 조사년도간의 상호작용효과($p<0.011$), 각 수로별 조사년도간의 상호작용효과($p<0.001$) 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2). 이에 3가지 요인에 대한 상호작용을 하나의 요인으로 조합한 후 one-way ANOVA를 실시하여 Duncan 사후검정을 실시한 결과, 2007년 석모수로에서 낙조 조합이 다른 조합들과 차이를 보였다($p<0.003$).

3. 체장 변동

조사시기에 출현한 자치어의 체장은 2.9~30.5 mm 범위로 난황자어기부터 치어기까지 다양하였다. 체장변동은 조석변화에 따라서 석모수로와 염하수로 모두 창조 시에 난황자어기(2.9 mm)부터 중기자어(10.2~14.2 mm)까지의 출현이 많았고, 낙조 시에 후기자어기(15.5~23.2 mm)와 치어기(23.8~33.7

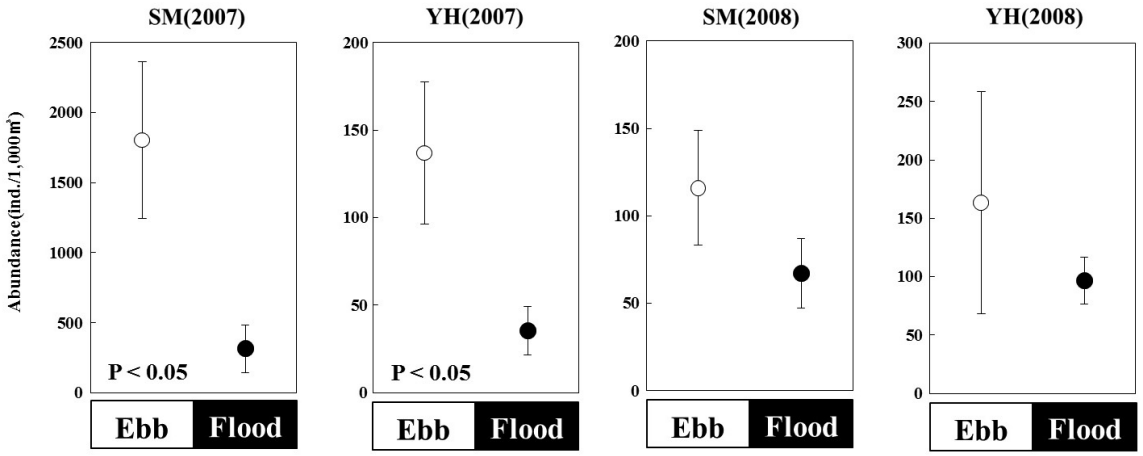

Fig. 2. Mean abundance of *Coilia* spp. larvae during tidal change at two channels (YH: Yeomha channel, SM: Seokmo channel) in Han River estuary. The vertical bars indicate the standard error of the mean.

Table 2. Results of three-way ANOVA on analysis the abundance of *Coilia* spp. larvae in each channel and year of survey following the tidal cycle

Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Main effect Tide (T)	1587782.195	1	1587782.195	7.217	.011
Channel (C)	2763457.647	1	2763457.647	12.560	.001
Year (Y)	2175171.801	1	2175171.801	9.886	.003
Interactions					
T×C	1235132.068	1	1235132.068	5.614	.023
C×Y	3063277.153	1	3063277.153	13.923	.001
T×Y	1572419.940	1	1572419.940	7.147	.011
Error	8360653.357	38	220017.194		
Total	24441074.000	45			

mm)의 큰 개체들이 출현하는 양상을 나타내었다(Fig. 3). 조석변화에 따라 출현한 웅어속 자치어의 평균 제창은 염하수로의 경우 창조 시 평균 체장 10.0 mm, 낙조 시 21.9 mm, 석모수로의 경우 창조 시 평균체장 11.2 mm, 낙조 시 21.8 mm로 조석변화에 따라 자치어의 체장 변동에 유의한 차이를 보여 ($p<0.05$) 낙조 시에 체장이 큰 자치어가 높게 출현하는 것으로 분석되었다.

고 찰

어류의 초기생활사 시기인 자치어기의 생존율은 개체군의 변동과 직접적으로 관련이 있는 것으로 알려져 있다(May, 1974). 조석의 차가 큰 해역에서는 이러한 요인에 의해 자치어의 분포가 결정되며(Richard and Richard, 1994; Sanchez *et al*., 1996; Grioche and Koubbi, 1997), 특히 하구역에서 자치어의 출현량 변동은 조석주기에 따른 조석전선의 변동과 일치하여 나타난다고 보고된 바 있다(Grioche and Koubbi, 1997). Kingsford and Suthers (1994)는 자치어의 종조성이 창조류와 낙조류 때 각기 다르다는 것을 보고하였으며, 본 연구 정점과 가장 유사한 Park (1990)의 연구에서는 간조 시간대에 자치어의 출현 종수는 줄어드는 반면 싱어, 준치(*Ilisha elongata*) 등의 자치어 출현량이 증가하는 경향을 보였다고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 웅어속 자치어의 출현량은 조석변화에 따라 유의한 차이를 보였으며 낙조 시에 더 높은 출현량을 보였다. 이는 소하성 어종인 웅어속 자치어가 한강 상류 또는 중류에서 부화한 후, 보육장인 하구역에 정착하기 위해서 수평이동 선택적 조수흐름(Selective tidal stream transport (STST))으로 낙조류를 이용하는 것으로 사료된다. 조수 흐름을 수송모드로 이용하는 것은 자치어의 공통 이주전략이며(Boehlert and Mundy, 1988), 특히 up-estuary movement와 down-estuary movement은 STST로써 하구 보육장에 성공적으로 진입하기 위한 행동 메커니즘으로 알려져 있다(Churchill *et al*., 1999; Forward *et al*., 1999; Schultz *et al*., 2000; Forward and Tankersley, 2001; Schultz *et al*., 2003). 이와 관련된 대부분의 연구에서 조수 변화에 따른 자치어의 분포는 STST에 의해 설명되었는데, 조수 흐름에 대한 적합한 행동을 하는 어류로는 juvenile eels (Creutzberg, 1958, 1961; Jellyman, 1977; McCleave and Kleckner, 1982; McCleave and Wippelhauser, 1987), larval eels (Creutzberg *et al*., 1978) juvenile plaice, juvenile sole, European flounder (De Veen, 1978), sockeye salmon (Levy and Cadenhead, 1995), Japanese flounder larvae (Tanaka *et al*., 1989), weakfish larvae (Rowe and Epifanio, 1994), flounder larvae (Burke *et al*., 1998) 등으로 자치어의 출현종과 출현량은 조석에 따라 차이가 있으며, 이는 자치어가 수직 또는 수평이동 달성을 위해 조

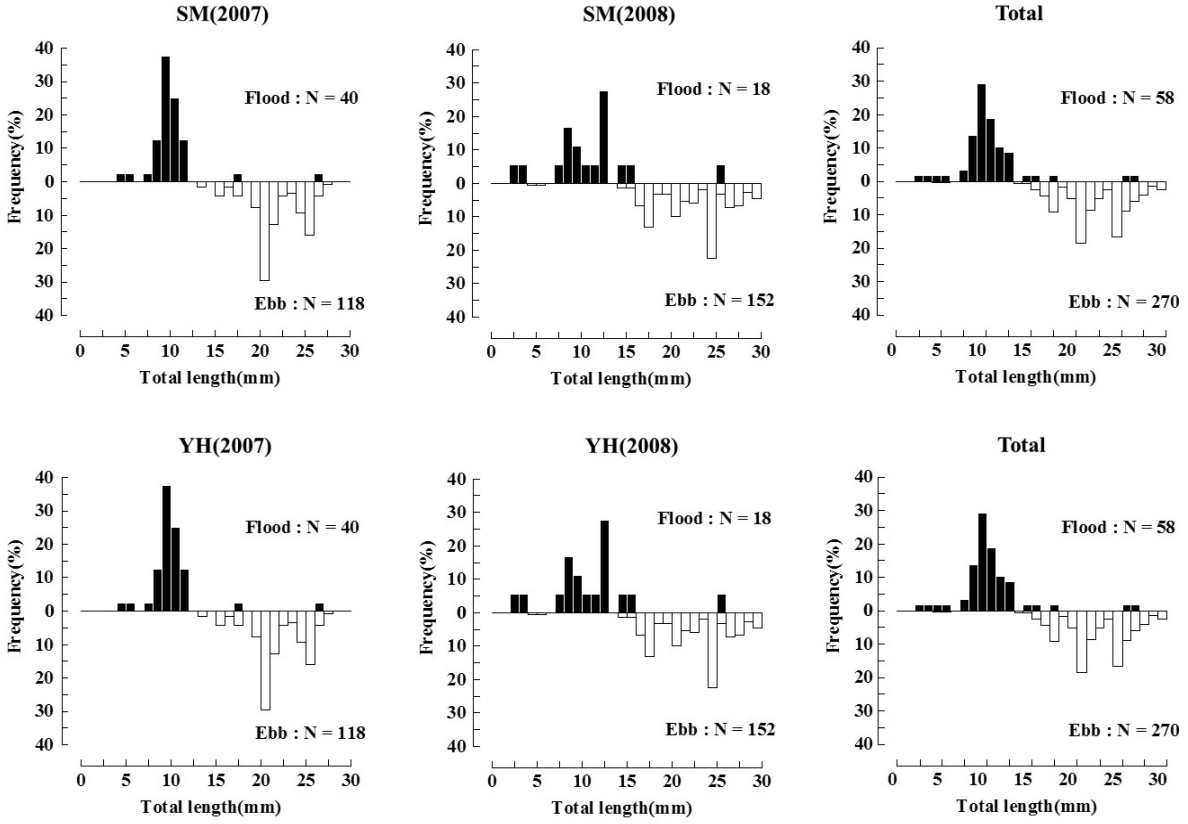

Fig. 3. Length-frequency histograms for *Coilia* spp. larvae on flood and ebb tides in the Seokmo and Yeomha channels.

류를 이용한다고 제안하였다(Gibson, 2003).

Islam *et al.*(2007)은 Chikugo 하구에 출현하는 자치어를 조석변화에 따른 출현량에 따라 2개의 카테고리로 구분하였다. 첫 번째 카테고리의 자치어는 고조에 높은 출현량을 보인 어종으로 연안에서 주로 산란하며 부화한 자치어는 하구를 성육장으로 이용하기 위해 상류로(i.e. 육지쪽으로) 이동 하는 종이며, 두 번째 카테고리의 어류는 저조 동안 높은 출현량을 보인 어종으로 담수 산란형 이며 하류로(i.e. 바다쪽으로) 이동하여 하구에서 주로 생활하는 어종으로 그 예로 *Neosalanx reganius*와 웅어라고 언급하였다.

한편 웅어속 자치어 이동 효율은 체장발달에 따라 유영능력 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 실험실에서 웅어의 난발생과 자어의 발생에 관하여 보고한(Xu *et al.*, 2011) 연구결과를 인용하여 부화한 후 15일 된 웅어속 자치어의 체측근과 지느러미의 발달상황으로 13.6 mm인 후기 자어기부터 지속적인 유영능력이 서서히 증가하고 있음을 추정하였다. Xu *et al.*(2011)의 연구결과를 근거로 13.6 mm를 기준으로 13.6 mm 미만의 것은 유영능력이 미약한 시기의 것, 그 이상의 것은 어느 정도 유영능력이 향상된 시기의 것으로 보고 창조 시와 낙조 시 분석 결과, 창조 시에는 13.6 mm 미만의 자치어의 빈도가 높았고, 낙조 시에는 13.6 mm 이상의 자치어가 주로 출현하여 유영력이 향상된 개체일수록 낙조 시기에 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. Lee and Go (2003)에 의하면 멸치(*Engraulis japonicus*) 자치어의 주야 일주수직이동 현상은 유영력이 향상된 개체일수록 뚜렷하게 나타난다고 보고하였고, Young and Potter (2003)은 창조 시에 높은 출현량을 보였던 *Favonigobius lateralis*가 대형개체의 출현율이 높았다고 보고하였는데 이는 하구에서 산란하는 *Favonigobius lateralis*가 유영능력이 없는 4 mm보다 작을 때, 하구 입구에서 항로를 통해 바깥쪽으로 휩쓸려 갔다가 유영능력이 생기면 창조 시에 하구로 다시 정착하기 때문이라고 보고하였다. 또한 자치어의 높은 유영속도가 낙조 시 최대 흐름과 일치한다고 보고하였고(Krumme, 2004), 유사하게 *Platichthys flesus*도 하류 이동시 낙조류때 가장 높은 유영속도를 보인다고 하였다(Wirjoatmodjo and Pitcher, 1984).

웅어의 산란시기는 4~5월(Choi, 1994), 6~7월(Kim, 1997), 5~6월(Chyung, 1977)로 연구자마다 다르게 보고되어 있으나, Lee *et al.*(2003)은 생식소 발달과 조직학적인 연구로 웅어의 산란기가 6~7월인 하계 산란형 어류라고 제시하였다. 체장이 30±3.40 mm는 부화한지 40일이 된 자어로 보고한 Xu *et al.*

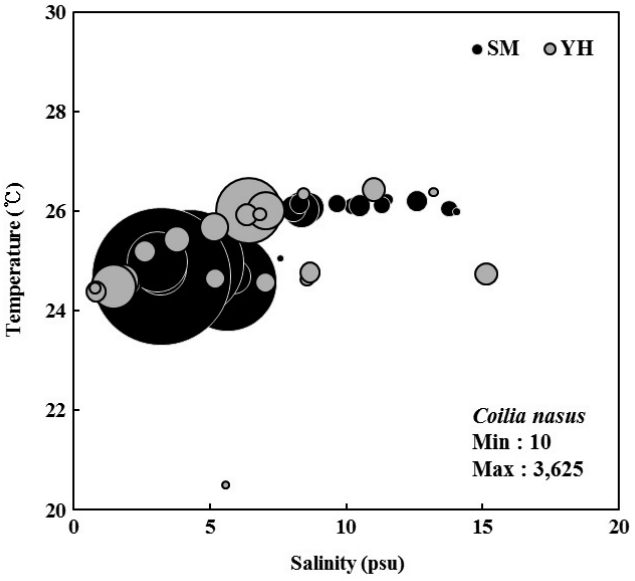

Fig. 4. Abundance - temperature - salinity diagrams of *Coilia* spp. larvae. The units of minimum and maximum abundance are ind./1,000 m^3 (YH: Yeomhwa channel, SM: Seokmo channel).

(2011)의 연구결과는 본 연구에서 출현한 웅어속 자치어의 최대 크기와 비슷하였다. 따라서 본 연구의 채집 시기는 8월이므로, 성어의 산란기를 6~7월로 보고한 Kim (1997), Lee *et al*. (2003)의 연구결과와 일치하였다. 한편 싱어의 경우 산란시기는 봄이라고 알려져 있는데, 이는 중국 양쯔강에서 수행된 연구결과로써 (Anonymous, 1976) 정확한 산란시기 및 생태학적인 연구가 많이 이루어지지 않았다. 따라서 향후 우리나라 싱어의 생태학적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

한편 한강 하구에서의 웅어속 자치어의 출현 수온은 평균 23.4±1.9~26.1±0.2°C이었으며 (Fig. 4), 2007년 (26.0±0.2 °C)이 2008년 (24.45±0.9°C)보다 웅어속 자치어의 출현량이 더 높았다. Lee *et al*. (2003)은 웅어의 산란은 고수온-장일장의 영향을 받는다고 하였다. 따라서 수온이 더 높았던 2007년에 웅어속 어종의 산란이 활발하였던 것으로 사료된다. 또한 2007년에 총 엽록소 *a*의 농도가 높았다. 엽록소 *a*와 소형동물플랑크톤의 현존량 간에 양의 상관관계를 나타내고 (Revelante and Gilmartin, 1983; Godhantaraman, 2001) 높은 수온은 소형동물플랑크톤의 현존량 증가에 기여한다고 보고되어 있다 (Abboud-Abi, 1989; Kamiyama, 1994). 따라서 2008년에 비해 2007년에 총 엽록소 *a*의 농도가 높은 것은 수온의 영향인 것으로 생각된다.

웅어속 자치어의 출현량은 수로별로 큰 차이를 보였는데, 이는 한강 하구역의 수로별 유입, 유출되는 순 수송량 비율이 석모수로와 염하수로의 약 6 : 4 (Yoon and Woo, 2012)로 석모수로에 유입, 유출되는 수송량이 더 높아 석모수로에서 웅어속 자치어의 출현량이 더 높은 것으로 사료된다 (Table 2).

웅어속 자치어는 한강하구 주변해역인 경기만과 인천만에서 채집된 바 없고, Park (1990), Kim *et al*. (2014)의 연구와 같이 한강하구, 강화도 양측 수로 (염하수로, 석모수로)에서 하계에만 출현하였으며, 특히 Park (1990)의 연구에서는 한강의 하류인 김포시 전류리 신곡 수중보 바로 아래 정점에서 웅어속 자치어의 출현이 있었다. 웅어는 갈대밭 등에 산란을 해 (Chyung, 1977; Lee *et al*., 2003) "위어" 또는 "갈대고기"라고 불리 운다. 한강하구에는 성동습지, 시암리 습지, 산남습지, 장항습지 등 생태적으로 우수하며 넓게 우점하는 갈대군락이 있다. 한강하구습지 및 주변생태자원에 관한 연구 (Gyeonggi Research Insitute, 2008)에서 한강하구의 습지생태계의 어류분포를 조사한 결과, 웅어의 출현이 있었으며 본 연구에서 조사된 염하수로 및 석모수로에서 웅어속 자치어의 출현량 및 체장 조성을 분석해 보았을 때, 웅어속 어종은 습지가 많이 분포하는 한강 하류에서 산란이 이루어져, 염하수로, 석모수로에서 자치어의 성장이 이루어지는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 군사 접경 지역에 위치한 한강하구의 지리학적 이유로 낮 동안 한 조석주기 또는 그 이하의 관측 기간 동안 수행되었다는 단점이 있다. 수심이 얕고 조류가 강한 서해 연안역이라 하더라도, 자치어는 층별 출현량이 다를 뿐만 아니라 일주기 수직 이동에 의하여 수직 분포양상이 변하게 되며 그로 인해 주 · 야에 따라 출현양상이 달라진다고 하였다 (Primo *et al*., 2012). 일주기 변화에 따라 자치어의 출현량은 잘피밭 (Mattila *et al*., 1999; Guest *et al*., 2003), 천해역의 모래와 하구환경 (Methven *et al*., 2001; Guest *et al*., 2003) 그리고 석호와 같은 다른 서식처에서 야간에 많은 출현을 보인다 (Ribeiro *et al*., 2006). 따라서 25시간 전 수층에서 함께 수행되어 조석변화에 따른 자치어의 수송 전략을 규명하는 시도가 수행되어야 할 것이라고 사료된다.

요 약

조류에 의한 에너지가 상대적으로 매우 큰 한강 하구역의 대표적인 석모수로와 염하수로에서 2007년 8월과 2008년 8월에 연속 관측을 통해 조석주기에 따른 소하성 어종인 웅어속 자치어의 출현량을 조사하였다. 조석주기에 따른 환경측정 결과, 1°C 미만의 수온차를 보였고, 염분은 창조 시 최고 15.1 psu, 낙조 시 최저 0.8 psu로 조석에 따른 염분차가 컸다. 웅어속 자치어는 창조 시보다 낙조 시 높은 출현량을 보였다 ($p<0.05$). 이는 소하성 어종인 웅어속 자치어가 한강 상류 또는 중류에서 부화한 후, 보육장인 하구역에 정착하기 위해 수평이동 선택적 조수흐름 (STST)으로 낙조류를 이용하는 것으로 사료되며, 특히 낙조 시 13.6 mm 이상의 유영력이 향상된 개체일수록 뚜렷하게 나타났다.

REFERENCES

Abboud-Abi, S.M. 1989. Distribution and ecology of tintinnids in the plankton of Labanese coastal waters (eastern Mediterranean). J. Plank. Res., 2: 203-222.

Anonymous. 1976. Fishes in the Yangtze River. Fish Laboratory, Institute of Hydrobiology, Hubei Province. Science Press, Beijing, China. (in Chinese)

Boehlert, G.W. and B.C. Mundy. 1988. Roles of behavioral and physical factors in larval and juvenile fish recruitment to estuarine nursery areas. Am. Fish. Soc. Symposium, 3: 51-67.

Burke, J.S., M. Ueno, Y. Tanaka, H. Walsh, T. Maeda, I. Kinoshita, and M. Tanaka. 1998. The influence of environmental factors on early life history patterns of flounders. J. Sea. Res., 40: 19-32.

Cha, S.S. and K.J. Park. 1991. Spatio-temporal distribution of the Ichthyoplankton in the Mankyong-Dongjin Estuary. J. Korean Soc. Oceanogr., 26: 47-58. (in Korean)

Cha, S.S. and S.H. Huh. 1988. Variation in abundances of ichthyoplankton in the Nakdong River Estuary. Bull. Kor. Fish. Tech. Soc., 24: 135-143. (in Korean)

Cha, S.S., J.M. Yoo and J.M. Kim. 1987. Key for the identifiaction of the ichthyoplankton in the mid-east coastal waters of the yellow sea. The Sea: J. Korean Soc. Oceanogr., 22: 236-245. (in Korean)

Choi, K.C. 1994. One hundred species of Korean freshwater fishes. Hyunam Co., 356-359. (in Korean)

Churchill, J.H., R.B. Forward, R.A. Luettich, J.L. Hench, W.F. Hettler, L.B. Crowder and J.O. Blanton. 1999. Circulation and larval transport within a tidally dominated estuary. Fish Oceanogr., 8: 173-189.

Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Ilji-Sa, Korea, pp. 118-120. (in Korean)

Creutzberg, F. 1958. Use of tidal streams by migrating elvers (Anguilla vulgaris Turt). Nature, 181: 857-858.

Creutzberg, F. 1961. On the orientation of migrating elvers (Anguilla vulgaris Turt) in a tidal area. Neth. J. Sea Res., 1: 257-338.

De Veen, J.F. 1978. On selective tidal transport in the migration of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*) and other flatfish species. Neth. J. Sea Res., 12: 115-147.

Forward Jr., R.B., K.A. Reinsel, D.S. Peters, R.A. Tankerslev, J.H. Churchill, L.B. Crowder, W.F. Hettler, S.M. Warlen and M.D. Green. 1999. Transport of fish larvae through a tidal inlet. Fish. Oceanogr., 8: 153-172.

Forward, R.B. and R.A. Tankersley. 2001. Selective tidal stream transport of marine animals. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 39: 305-353.

Gibson R.N. 2003. Go with the flow: tidal migrations in marine animals. Hydrobiologia, 503: 153-161.

Godhantaraman, N. 2001. Seasonal variations in taxonomic composition, abundance and food web relationship of microzooplankton in estuarine and mangrove waters, Parangipettai, southeast coast of India. Indian J. Mar. Sci., 30: 151-160.

Grioche, A. and P. Koubbi. 1997. A Preliminary study of the influence of a coastal frontal structure on ichthyoplankton assemblages in the English channel. ICES J. Mar. Sci., 54: 93-104.

Guest, M.A., R.M. Connolly, N.R. Loneragan. 2003. Seine nets and beam trawls compared by and night for sampling fish and crustacens in shallow seagrass habit. Fish Res., 64: 185-196.

Gyeonggi Research Insitute. 2008. A study on the conditions of the wetland and water-front ecological resources at the estuary of Han river, 213 pp.

Islam, M.S., M. Hibino and M. Tanaka. 2007. Tidal and diurnal variations in larval fish abundance in an estuarine inlet in Ariake Bay, Japan: Implication for selective tidal stream transport. Ecol. Res., 22: 165-171.

Jellyman, D.J. 1977. Invasion of a New Zealand freshwater stream by glass-eels of two Anguilla spp. NZ J. Mar. Freshwater Res., 11: 193-209.

Kamiyama, T. 1994. The impact of grazing by microzooplankton in northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea of Japan. Mar. Biol., 119: 77-88.

Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Freshwater Fishes, 37: 148-149. (in Korean)

Kim, I.S. and E.J. Kang. 1993. Coloured fishes of Korea. Academic Pub. Co. Seoul, pp. 135-136. (in Korean)

Kim, J.H., B.K. Kim and K.N. Han. 2014. Seasonal variation in species composition of the larval fish in the Han River Estuary, Korea. Kor. J. Ichthyol., 26: 125-132. (in Korean)

Kim, J.K., J.I. Choi., D.S. Chang., J.T. Na and Y.U. Kim. 2003. Distribution of fish eggs, larvae and juveniles around the Youngsan River Estuary. J. Kor. Fish. Soc., 36: 486-494. (in Korean)

Kingsford, M.J. and I.M. Suthers. 1994 Dynamic estuarine plumes and fronts: importance to small fish and plankton in coastal waters of NSW, Australia. Continental Shelf Research, 14: 655-672.

Krumme, U. 2004. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder. Fish. Res., 70: 1-15.

Kwun, N.L. 2012. Morphological development of larvae and juveniles of the estuary tailfin anchovy, *Coilia nasus* from Korea. Master Thesis, Pukyong national University, Busan, 26pp. (in Korean)

Lee, B.E., E.Y. Chung and J.Y. Lee. 2003. Histological study on the reproductive cycle of *Coilia nasus*. J. Aquaculture, 16: 179-18. (in Korean)

Lee, S.J. and Y.B. Go. 2003. Distribution of the Eggs and Larvae of Anchovy, Engraulis japonica, and Its Relationships with Environmental Factors Around Jeju Strait in Summer - 2. Relationship with Environmental Factors. J. Kor. Fish. Soc., 15: 162-174.

Levy, D.A. and A.D. Cadenhead. 1995. Selective tidal stream trans-

port of adult socheye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the Fraser River Estuary. Can. J. Fish. Aqua. Sci., 52: 1-12.

Ma, C., M. Liu, L. Ma, F. Zhang and Y. Chen. 2004. Genetic diversity in *Coilia ectenes* by RAPD analysis. Mar. Fish. Res., 25: 19-24. (in Chinese with English abstract)

Mattila, J., G. Chaplin, M.R. Eilers, K.L. Jr. Heck, J.P. O'Neal and J.F. Valen-tine. 1999. Spatial and diurnal distribution of invertebrate and fish fauna of a Zostera marina bed nearby unvegetated sediments in Damariscotta River Maine (USA). J. Sea. Res., 41: 321-332

May, R.C. 1974. Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In: Blaxter, J.H.S. (ed.), The early life history of fish. springer-verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 3-20.

McCleave, J.D. and G.S. Wippelhauser. 1987. Behavioral aspects of selective tidal stream transport in juvenile American eels (*Anguilla rostrata*). Am. Fish. Soc. Symp., 1: 138-150.

McCleave, J.D. and R.C. Kleckner. 1982. Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eels (*Anguilla rostrata*). J. Conseil Int. l'Eploration Mer., 40: 262-271.

Methven, D.A., R.L. Haedrich and G.A. Rose. 2001. The fish assemblage of a New found land estuary: diurnal monthly an dannual variation. Estuar, Coast. Shelf Sci., 52: 669-687.

Okiyama, M. 1988. An atlas of the early stage fishers in Japan. Tokai University Press, 1154pp

Park, K.S. 1990. A study on the fish community in the lower Han River and Han River Estuary. Master Thesis, Inha University, 63pp. (in Korean)

Primo, A.L., U.M. Azeiteiro, S.C. Marques, P. Ré and M.A. Pardal. 2012. Vertical patterns of ichthyoplankton at the interface between a temperate estuary and adjacent coastal waters: Seasonal relation to diel and tidal cycles. J. Mar. Syst., 95: 16-23.

Revelante, N. and M. Gilmartin. 1983. Microzooplankton distribution in the northern Adriatic Sea with emphasis on the relative abundance of ciliated protozoans. Limnol. Oceaogr., 21: 24-38.

Ribeiro, J., L. Bentes, R. Coelho, J.M.S. Goncalves, P.G. Lino, P. Monteiro and K. Erzini. 2006. Seasonal, tidal and diurnal changes in fish assemblages in the Ria Formosa lagoon (Portugal). Estuar, Coast. Shelf Sci., 76: 461-474.

Richard, C.R.S. and F. Richard. 1994. Ichthyoplankton abundance along a recruitment corridor form offshore spawning to estuarine nursery ground. Estuar. Coastal and Shelf Science, 39: 421-450.

Rowe, P.M. and C.E. Epifanio. 1994. Tidal stream transport of weakfish larvae in Delaware Bay, USA. Mar. Ecol. Prog. Ser., 110: 105-114.

Sanchez-Velasco, L., C. Flores. Coto and B. Shirasago. 1996. Fish larvae abundance and distribution the coastal zone off terminos laggon, campeche (Southern Gulf of Mexico). Estuar, Coast. Shelf Sci., 43: 707-721.

Schultz, E.T., K.M.M. Lwiza, M.C. Fencil and J.M. Martin. 2003. Mechanisms promoting up- river transport of larvae of two fish species in the Hudson River estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser., 251: 263-277.

Schultz, E.T., R.K. Cowen, M.W. Kamazima, M. Lwiza and A.M. Gospodarek. 2000. Explaining advection: do larval bay anchovy (*Anchoa mitchilli*) show selective tidal-stream transport? ICES J. Mar. Sci., 57: 360-371.

Son, J.W. 2001. Characteristics of organic compounds in the coastal environments. Master Thesis, Inha University, Inchon, 81 pp. (in Korean)

Tanaka, M., T. Goto, M. Tomiyana, H. Sudo and M. Azuma. 1989. Lunar-phased immigration and settlement of metamorphosing Japanese founder larvae into the nearshore nursery ground. Rappots et proces-verbaux des reunions international council for the exploration of the Sea, 191: 303-310.

Whitehead, P.J.P., G.J. Nelson and T. Wongratana. 1988. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). In: An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Fish Synopsis, Synopsis, Rome, 579pp.

Wirjoatmodjo, S. and T.J. Pitcher. 1984. Flounders follow the tides to feed: evidence from ultrasonic tracking in an estuary. Estuar. Coast. Shelf Sci., 19: 231-241.

Xu, G., X. Tang, C. Zhang, R. Gu, J. Zheng, P. Xu and G. Le. 2011. First studies of embryonic and larval development of *Coilia nasus* (Engraulidae) under controlled conditions. Aquaculture Res., 42: 593-601.

Yoon, B.I. 2006. Estuarine circulation and dynamics of a shallow, tidallydominated Han River Estuary in the Gyeonggi bay. Master Thesis, Inha University, Incheon, 93pp. (in Korean)

Yoon, B.I. and S.B. Woo. 2012. Numerical study on spring-neap variability of net volume transport at Yeomha Channel in the Han River Estuary. J .Korean Soc. Coast. Ocean Engineers, 24: 257-268. (in Korean)

Youn, C.H. and I.S. Kim. 1996. Taxonomic study of the Family Engraulidae (Pisces:Clupeiformes) from Korea. Korean J. Ichthyol., 8: 33-46. (in Korean)

Young, G. and I. Potter. 2003. Do the characteristics of the ichthyoplankton in an artificial and a natural entrance channel of a large estuary differ? Coast. Shelf Sci., 56: 765-779.

Yuan, C. and A. Qin. 1984. Ecological habits and distribution of *Coilia* along the Chinese coast and its changes of output. Mar. Sci., 5: 35-37. (in Chinese)