

장봉도 갯벌을 이용하는 어류군집의 계절 변화

서인수·홍재상^{1*}

해양생태기술연구소, ¹인하대학교 해양학과

Seasonal Variation of Fish Assemblages on Jangbong Tidal Flat, Incheon, Korea

In-Soo Seo and Jae-Sang Hong^{1*}

Marine Eco-Technology Institute Co., Ltd., Busan 608-830, Korea

¹Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

This study investigated the community structure and seasonal variation of the fish assemblages on Jangbong tidal flat, Incheon, Korea. Fish were collected monthly using a small otter trawl from November 1999 to January 2001. Thirty-six fish species were recorded, with a mean density of 185 individuals and biomass of 2,594.3 gWWt. The most abundant species by number were *Johnius grypotus* (23.7%), *Acanthogobius hasta* (17.8%), and *Cynoglossus joyneri* (10.7%), while the dominant species by catch weight were *Acanthogobius hasta* (21.2%), *Sebastes schlegeli* (16.2%), *J. grypotus* (14.0%), and *C. joyneri* (10.8%). Cluster analysis and non-metric multi-dimensional scaling (nMDS) were applied to assess the seasonal fluctuation in the fish assemblages. Based on the result of the cluster analysis and nMDS ordination, the faunal group could be divided into cold- and warm-water specialist groups. The cold-water specialists included *A. hasta*, *Acanthogobius luridus*, *Triaenopogon barbatus*, *Tridentiger trigonocephalus*, and *Liza haematocheila*. The warm-water specialists were *J. grypotus*, *C. joyneri*, *S. schlegeli*, and *Hexagrammos otakii*. In conclusion, the community structure showed a distinct seasonal trend, which seemed to be related to the seasonal fluctuations in water temperature.

Key words : Fish assemblages, Seasonal variation, Community structure, Tidal flat, Jangbong Island

서 론

갯벌을 포함한 연안역은 해양생물이 이용할 수 있는 먹이원이 풍부하다. 따라서 어류를 포함한 다양한 해양생물의 산란·보육 및 서식장으로서 뿐만 아니라, 연안역 생태계의 생산력을 조절 및 결정하는 역할을 수행한다 (Potter et al., 1983; Boesch and Turner, 1984; Lasiak, 1984b; van der Veer et al., 1990; Levinton, 1995; Santos and Nash, 1995; Nash and Santos, 1998). 또한 갯벌은 조석에 따른 대기로의 주기적인 노출과 잠김현상으로 그 환경적 변화가 비교적 크다. 그럼에도 불구하고, 조하대 지역과 비교하여 상대적으로 은신처로서의 공간이 많거나 또는 넓기 때문에 포식자로부터 섭식 당할 위험이 적다는 장점을 가지고 있다 (McLusky, 1989). 이러한 이유로 내만, 하구역과 갯벌이 잘 발달한 연안역에서는 다양한 해양생물들이 서식한다 (Fujita et al., 2002).

한편 해양생태계의 대표적 유영생물인 어류는 해역 생태계에 서식하는 다른 생물들과의 서식처 및 먹이경쟁 등의 상호작용을 도모하는 갯벌 생태계의 중요한 구성원이다 (Schlacher and Wooldridge, 1996; Irlandi and Crawford, 1997). 이렇듯 갯벌과 그 인근해역에 서식하는 어류군집은 주야, 조석 및 계절에 따라 명확한 주기성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다 (Lasiak, 1984a; Nash et al., 1994). 특히 이동력이

상대적으로 크다는 생물학적 특성으로 인위적인 환경변화가 심하지 않은 해역에서도 시·공간적인 변화가 큰 것으로 파악되고 있다 (Lee, 1996). 지금까지 우리나라 연근해에서 수행된 어류군집의 연구는 공간적인 측면에서는 주로 내만 및 연안역 (Lee, 1993, 1996; Lee and Kim, 1992; Lee and Hwang, 1995; Lee and Gil, 1998; Cha and Park, 1997; Hwang and Lee, 1999; Lim and Choi, 2000; Kim et al., 2000), 하구역 (Huh and Chung, 1999), 도서 인근해역 (Huh and Kwak, 1998; Huh and An, 2000; Choi and Kim, 2000; Han et al., 2001) 및 해초지 생태계 (Huh and Kwak, 1997; Go and Cho, 1999; Lee et al., 2000)에 국한되어 왔다. 반면 갯벌과 유사한 환경에서의 연구는 쇄파대에서 수행된 연구 결과들이 대부분을 차지한다 (Shin and Lee, 1990; Lee et al., 1997, 2000). 반면 시간적인 측면에서는 천수만 대천해빈해역 (Lee et al., 1997), 남해안 진해 용원해역 (Lee et al., 2000), 남해도 연안해역과 광양만해역 (Huh and Kwak, 1997, 1998) 및 가덕도 주변해역 (Huh and An, 2000)의 연구는 본 연구와 동일하게 월별 채집을 시행한 결과들이라는 점에서 공통점이 있다. 지금까지 갯벌에 대한 다양한 생태학적 기능 및 역할의 중요성이 부각됨에도 불구하고, 아직까지 과학적으로 이를 뒷받침할만한 연구는 매우 미약한 수준에 있다. 특히 지금까지 쇄파대를 제외한 갯벌 전역에서 어류군집의 구조와 시간경과에 따른 변화양상을 동시에 밝힌 연구는 없다. 따라서 본 연구는 갯벌생태계 주요 구성생물의 섭식·생

*Corresponding author: jshong@inha.ac.kr

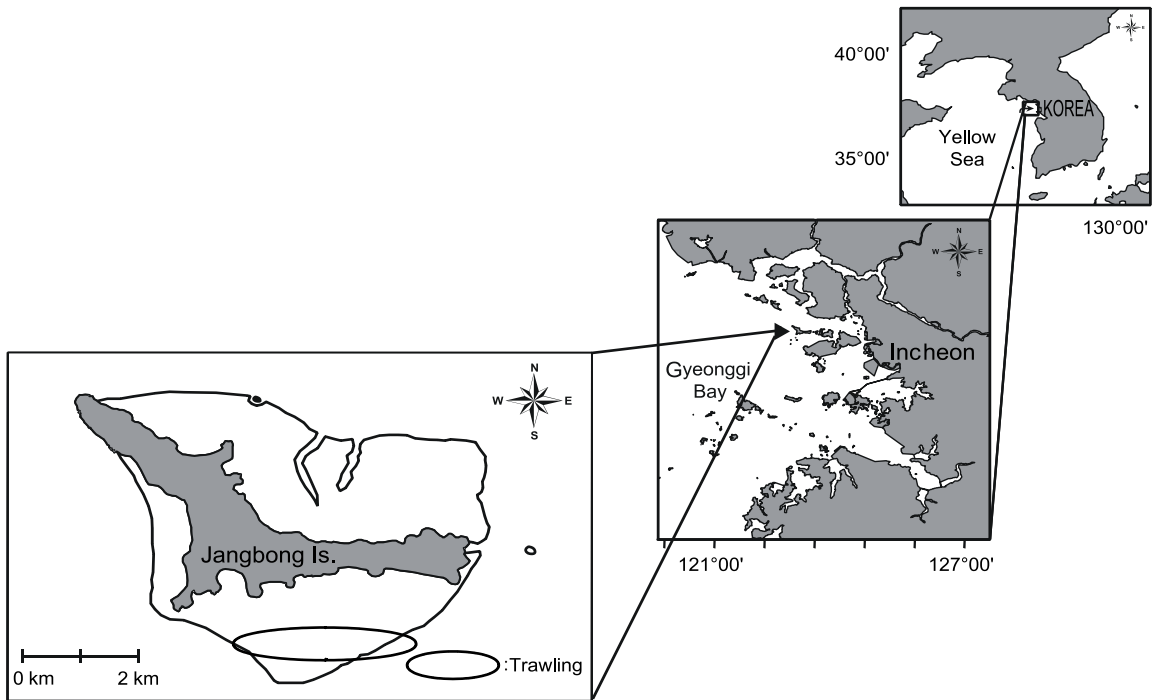


Fig. 1. Location of the sampling sites on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea.

태학적 관계 구명을 위한 기초자료의 생산을 위하여 최상위 영양단계에 위치하고 있는 어류군집의 구조와 전반적인 변화 양상을 밝힌다는 점에서 의의가 있다.

재료 및 방법

연구해역의 개황

한강 하구역에 위치한 장봉도는 섬을 기준으로 북쪽으로는 강화도와, 남쪽으로는 영종도와 접하여 있고, 인천항에서 북서쪽으로 약 28.8 km 떨어져 있다. 해안선을 따라 남북으로 분포하는 갯벌의 총 면적은 약 19.0 km²이다. 간조 시 노출되는 갯벌의 최대 길이는 서쪽의 한들갯벌이 약 2.0 km이었고, 동쪽의 웅암갯벌이 1.2 km이었다. 방위상으로 서쪽에서 동쪽으로 향할수록 갯벌의 길이가 짧아지는 지형이다 (Fig. 1). 장봉도 해역의 조차는 대조차가 8.2 m, 소조차가 3.6 m로 평균 5.9 m의 조차를 보인다. 본 섬 남쪽해역의 장봉수로에서 밀물은 간조 시 북동으로 흐르며, 대조 시 최강유속이 104~206 cm/sec에 이른다. 썰물은 만조 시 남서방향으로 흐르며, 만조 후 2시간 30분이 경과하면 최강유속이 90~170 cm/sec에 달한다.

한편 장봉도 인근해역은 해양생물을 먹이로 하는 각종 조류(鳥類)가 서식하며, 1988년에는 노랑부리백로 및 팽이갈매기의 번식지로 파악되어 천연기념물 제360호로 지정되었다. 또한 2003년에는 국제적으로 보호가 요망되고 있는 저어새 등의 서식처로서 뿐만 아니라, 생물다양성이 뛰어나 습지보호지역으로 지정·고시되는 등 생태학적으로 매우 가치가 높은 해역이다 (국토해양부고시 제2008-722호). 그럼에도 불구하고,

1990년대부터 인천국제공항의 건설사업과 관련한 다양한 형태의 개발사업이 이루어져 환경의 변화가 심한 해역으로 지적되고 있다 (Lim et al., 1995).

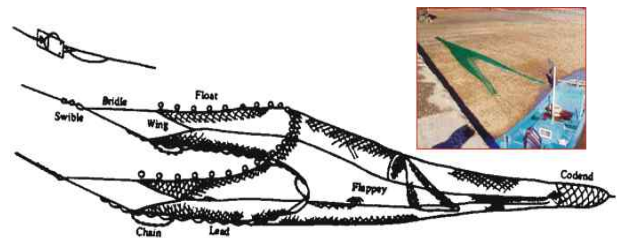


Fig. 2. Sampling apparatus, small otter trawl used for the collection of fish assemblages on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea.

현장조사

본 연구에서 어류는 소형기선저인망 (오테트롤, small otter trawl)을 이용하여 1999년 11월부터 2001년 1월까지 총 15개월 동안 월별로 채집하였다 (Fig. 2). 어류의 채집은 매월 사리 전후 2-3일내를 기준으로 간조 2시간 전에 실시하였다. 소형기선저인망은 목줄 (ground rope)이 20 m, 바닥줄 (bottom rope)이 16 m, 날개그물(wing net)이 좌우 8 m이었다. 당긴그물(stretched mesh size)은 날개그물과 몸통그물이 공통적으로 20 mm를, 자루그물이 16 mm이었다. 그물은 0.5 × 1 m 크기의

전개판에 의해 예인 시 그물이 벌어지게 된다. 한편 본 연구에서 어류 채집을 위한 소형기선저인망의 예인시간과 채집면적은 Lee and Hwang (1995)의 결과에서 기술하고 있는 Lee (1991)의 적정채집법에 준하여 매 조사 시기 당 60분과 9,000 m²로 통일하였다. 현장에서 채집된 어류는 최종농도 10%인 중성포르말린으로 고정한 후, 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 중 동정을 시행한 후, 개체수를 계수하고, 생체량(습중량, gWWt)을 측정하였다.

환경요인의 측정은 어류 채집과 동시에 YSI 85를 이용하여 수온과 염분농도를 측정하였고, 강우량은 기상월보를 참고하였다 (KMA, 1999-2001).

군집구조 분석

어류의 군집구조를 파악하기 위하여, 풍부도 지수 (Margalef, 1958), 다양성 지수 (Shannon and Weaver, 1949)와 균등도 지수 (Pielou, 1975)를 구하였다. 또한 출현 종과 개체수의 자료를 이용하여 Bray and Curtis (1957)의 유사도 지수 (similarity index)를 파악하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 집괴분석 (cluster analysis)에 의한 수지도 (dendrogram)와 다차원배열법 (nMDS ordination)으로 표현하였다. 또한 군집구조 분석에서 개체수는 우점종에 의한 효과를 줄이기 위하여 fourth-root로 변환하였다. 우점종 서열 분석을 위하여 LeBris index (1988)를 이용하였고, 그 식은 아래와 같다.

$$D'_{ij} = F_{ij} \times D_{ij} \times 100$$

$$= \left(\frac{P_{ij}}{P_j} \times 100 \right) \times \left(\frac{\sum_{k=1}^{P_i} \frac{N_{ik}}{N_k}}{P_j} \right) \times 100$$

P_{ij} : j 군집에서 i 종의 출현 횟수

P_j : j 군집의 전체 정점수

N_{ik} : j 군집에서 k 번째 정점에 출현하는 i 종의 개체수 또는 생체량

N_k : k 번째 정점의 전체 개체수

결 과

환경요인

조사 기간 중, 수온은 32°C~25.4°C의 범위에 월 평균 수온은 12.9°C이었다. 2000년 2월에 가장 낮았고, 동년 8월에 가장 높았다. 염분농도는 최소 26.2 psu (2월)에서 최대 31.0 psu (8월)의 범위에 평균 29.7 psu를 나타내었다. 강우량은 최소 1.5 mm에서 최대 591.0 mm의 범위에 수온 및 염분농도의 변화와 동일하게 2000년 2월에 가장 적었고, 8월에 가장 높았다 (Fig. 3).

출현 종수, 개체수 및 생체량의 변화

본 연구에서 출현한 어류는 총 36종, 2,768개체와 38,941.7

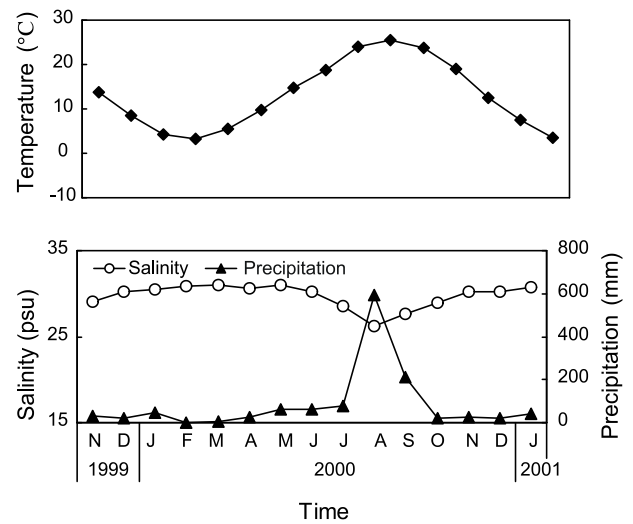


Fig. 3. Seasonal variation of water temperature, salinity and precipitation on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea.

gWWt이었다 (Table 1, 2). 중요 분류군에 따른 출현 종수를 보면, 농어목 (Perciformes)은 17종이 출현하여 전체의 47.2%를 점유하였고, 다음으로 청어목 (Clupeiformes)과 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)이 공통적으로 5종이 채집되어 13.9%를 차지하였다. 이 밖에 가자미목 (Pleuronectiformes)과 상기 4개목을 제외한 기타 분류군이 각각 4종과 5종이 출현하여 11.1%와 13.9%를 나타내었다. 한편 조사 시기에 따른 출현 종수는 5~17종의 범위에 매월 평균 12종 (±4종)이 채집되었다. 2000년 2월과 2001년 1월에 가장 적었고, 2000년 9월에 가장 많았다. 전반적으로 수온이 낮은 2000년 2월부터 4월까지와 2001년 1월에 10종 이하로 적었던 반면, 이를 제외한 시기에는 10종 이상이 출현하여 상대적으로 많았다 (Fig. 4).

개체수는 총 2,768개체가 채집된 가운데 농어목이 1,703개체의 밀도를 나타내 전체의 61.5%를 차지하였고, 다음으로 가자미목, 쏨뱅이목과 청어목의 순으로 각각 304개체 (11.0%), 292개체 (10.6%)와 291개체 (10.5%)가 출현하였다. 이들을 제외한 기타 분류군은 178개체가 채집되어 6.4%의 낮은 점유율을 나타내었다. 조사 시기별로는 최소 52개체 (2000년 2월)에서 최대 419개체 (2000년 9월)의 범위에 매월 평균 185개체 (±130개체)가 출현하였다. 이 밖에 1999년 11월과 2000년 6월에 300개체 이상이 채집되어 상대적으로 밀도가 높았다 (Fig. 4).

생체량은 총 38,914.7 gWWt이 채집되었고, 농어목이 15,723.7 gWWt을 나타내 전체의 40.4%를 점유하였다. 다음으로 쏨뱅이목과 가자미목이 각각 11,699.4 gWWt, 30.1%와 5,831.9 gWWt, 15.0%를 차지하였고, 기타 분류군과 청어목은 각각 3,812.6 gWWt (9.8%)과 1,847.1 gWWt (4.7%)의 생체량을 나타내 상대적으로 낮았다. 조사 시기에 따라서는 128.7~5,444.6 gWWt의 범위에 매월 평균 2,594.3 gWWt (±1,865.7 gWWt)을 나타내었다. 2000년 2월에 가장 낮았고,

Table 1. Seasonal variation in abundance of fish assemblages collected by small otter trawl on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea (inds./9,000 m²)

Species name / Time	1999			2000									2001		Total	
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.		Jan.
<i>Acanthogobius hasta</i>	109	33	20	20	9	93					6	5	5	79	114	493
<i>Acanthogobius luridus</i>			11	28	46	11								6	11	113
<i>Acentrogobius pflaumi</i>							1									1
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	23	18	20	2	8	16				1	22	11	1	14	7	143
<i>Collichthys sp.</i>										1						1
<i>Cynoglossus joyneri</i>	86	4				2	16	21	66	55	30	13	1	3		297
<i>Cynoglossus semilaevis</i>										1	1					2
<i>Engraulis japonica</i>	52						1					21	34			108
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	1						3	1			1					6
<i>Hemipterus villosus</i>	1	1			2							1				5
<i>Hexagrammos otakii</i>	3	4				5	13	31	19	25	9	7	1	9		126
<i>Johnius grypotus</i>	16						6	263	48	21	277	23	3			657
<i>Kareius bicoloratus</i>	1						1	1								3
<i>Konosirus punctatus</i>	1						1	1	5	12	5	2	5			32
<i>Leiognathus nuchalis</i>	1															1
<i>Liparis choanus</i>			1													1
<i>Liza haematocheila</i>		2	1		1									58	3	65
<i>Lophigobius ocellicauda</i>														1		1
<i>Pholis fangi</i>		1				1	1									3
<i>Platycephalus indicus</i>	4						6	13	6	4	6	1				40
<i>Sardinella zunasi</i>	5								1		1	10	6			23
<i>Saurida elongata</i>										1		2				3
<i>Silago japonica</i>									1							1
<i>Takifugu niphobles</i>	12						3	1	4	2	37	24	14			97
<i>Thryssa baelama</i>							9	64	9	26	1					109
<i>Thryssa kammalensis</i>													19			19
<i>Trachidermus fasciatus</i>									1					2		3
<i>Trachyrhampus serratus</i>							3	2	3							8
<i>Triaenopogon barbatus</i>		2		1	1	14			1		4			2		25
<i>Trichiurus leptulus</i>											1					1
<i>Tridentiger obscurus</i>									1	1						2
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>		3			1	5	3			1	2					15
<i>Varasper variegatus</i>		1								1						2
<i>Zoarces gilli</i>			2												1	3
<i>Sebastes schlegeli</i>	3	13		1		9	8	2	16	26	3	10	17	14		122
<i>Repomucenus richardsonii</i>	38	6				6	12	18	135	2	13	1		6		237
Total	356	88	55	52	68	162	87	418	316	180	419	131	106	194	136	2,768

Table 2. Seasonal variation in biomass of fish assemblages collected by small otter trawl on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea (gWWt/9,000 m²)

Species name / Time	1999			2000									2001			Total	
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.		
<i>Acanthogobius hasta</i>	167.1	204.5	92.9	84.5	130.3	812.3						139.9	162.8	209.5	2,440.8	3,789.6	8,234.1
<i>Acanthogobius luridus</i>			7.2	4.7	2.7	5.0								12.4	4.5		36.5
<i>Acentrogobius pflaumi</i>							3.2										3.2
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	18.0	49.1	32.3	22.3	84.4	100.3				2.9	71.6	104.8	5.8	171.6	111.4		774.4
<i>Collichthys</i> sp.										0.4							0.4
<i>Cynoglossus joyneri</i>	28.6	34.0				25.0	426.3	402.6	903.1	1,303.9	660.8	322.1	16.7	78.1			4,201.2
<i>Cynoglossus semilaevis</i>										576.0	156.5						732.5
<i>Engraulis japonica</i>	4.3						15.3					22.9	33.2				75.7
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	2.7						11.9	3.5				2.7					20.8
<i>Hemitripteris villosus</i>	488.0	336.2			599.3							234.4					1,657.8
<i>Hexagrammos otakii</i>	424.8	61.6				130.1	134.3	342.0	623.8	725.4	248.6	189.2	39.1	364.7			3,283.6
<i>Johnius grypotus</i>	79.1						74.9	2,893.2	829.6	366.8	956.3	220.8	30.4				5,451.1
<i>Kareius bicoloratus</i>	485.0						184.3	124.7									794.0
<i>Konosirus punctatus</i>	36.1						22.1	31.5	101.1	247.3	62.4	30.7	155.4				686.7
<i>Leiognathus nuchalis</i>	1.9																1.9
<i>Liparis choanus</i>			18.3														18.3
<i>Liza haematocheila</i>		21.2	5.7		167.8									920.9	43.2		1,158.7
<i>Lophigobius ocellicauda</i>														9.8			9.8
<i>Pholis fangi</i>		6.7				6.8	13.6										27.1
<i>Platycephalus indicus</i>	224.8						170.2	558.6	333.8	319.5	439.3	11.9					2,058.1
<i>Sardinella zunasi</i>	24.2								11.3		11.3	34.8	22.4				104.0
<i>Saurida elongata</i>										187.1		109.4					296.5
<i>Silago japonica</i>									10.0								10.0
<i>Takifugu niphobles</i>	23.3						9.8	15.6	69.5	19.7	203.1	236.7	103.5				681.1
<i>Thryssa baelama</i>							102.6	532.0	80.3	225.6	3.7						944.2
<i>Thryssa kammalensis</i>													36.6				36.6
<i>Trachidermus fasciatus</i>									1.2					26.0			27.2
<i>Trachyrhampus serratus</i>							6.1	2.0	10.4								18.5
<i>Triaenopogon barbatus</i>		13.2		9.6	12.2	28.6				6.3		36.0		24.3			130.2
<i>Trichiurus leptulus</i>												35.5					35.5
<i>Tridentiger obscurus</i>									3.6	3.0							6.6
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>		7.7			4.6	5.6	15.5				3.3	5.7					42.4
<i>Varasper variegatus</i>		95.1									9.1						104.2
<i>Zoarcis gilli</i>			13.7													12.3	26.0
<i>Sebastes schlegeli</i>	37.2	85.5		7.7		50.5	315.4	148.8	1,066.7	1,439.5	249.3	962.5	984.1	965.0			6,312.1
<i>Repomucenus richardsonii</i>	16.0	16.1				8.4	18.6	64.8	536.4	15.2	207.9	8.8		21.7			913.8
Total	2,060.9	931.0	170.1	128.7	1,001.2	1,172.5	1,524.1	5,119.4	4,587.0	5,444.6	3,490.6	2,651.8	1,636.7	5,035.1	3,960.9		38,914.7

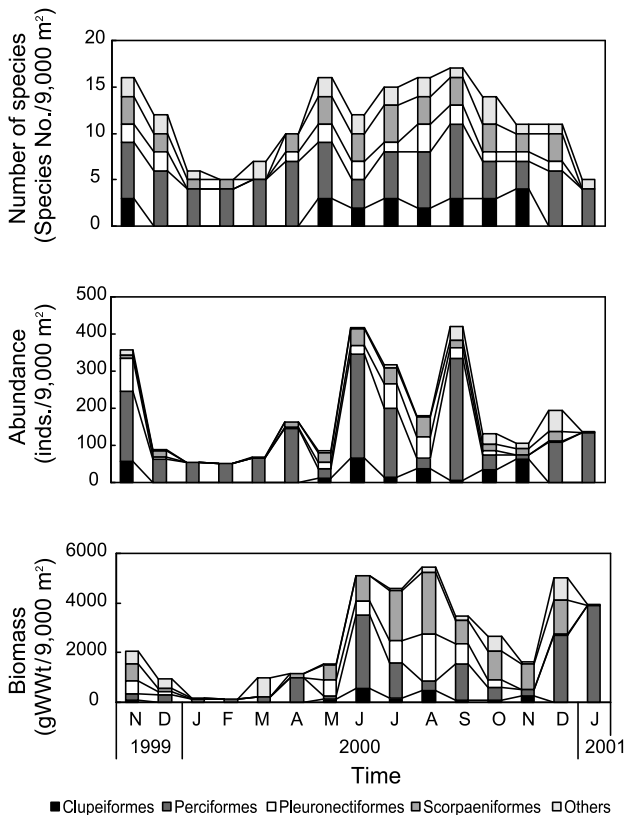


Fig. 4. Seasonal variation of species number, abundance and biomass on the tidal flat around Jangbong Islands, Incheon, Korea.

Table 3. Dominant species ranking in abundance by LeBris index (1988) on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea

Species name	Total abundance	Mean density (inds.)	% of total individuals	Frequency of occurrence	LeBris index
<i>Acanthogobius hasta</i>	493	33±43	17.8	11	170,180.7
<i>Johnius grypotus</i>	657	44±93	23.7	8	66,724.8
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	143	10±9	5.2	12	62,014.0
<i>Cynoglossus joyneri</i>	297	20±28	10.7	11	60,801.7
<i>Sebastes schlegeli</i>	122	8±8	4.4	12	44,735.7
<i>Acanthogobius luridus</i>	113	8±13	4.1	6	42,523.8
<i>Repomucenus richardsonii</i>	237	16±35	8.6	10	40,038.6
<i>Hexagrammos otakii</i>	126	8±10	4.6	11	31,195.5
<i>Takifugu niphobles</i>	97	6±11	3.5	8	17,704.5
<i>Engraulis japonica</i>	108	7±16	3.9	4	11,353.3

Table 4. Dominant species ranking in biomass by LeBris index (1988) on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea

Species name	Total biomass	Mean biomass (gWWt)	% of total biomass	Frequency of occurrence	LeBris index
<i>Acanthogobius hasta</i>	8,234.1	548.9±1,090.6	21.2	11	195,416.9
<i>Sebastes schlegeli</i>	6,312.1	420.8±505.3	16.2	12	115,878.1
<i>Cynoglossus joyneri</i>	4,201.2	280.1±399.3	10.8	11	58,809.4
<i>Hexagrammos otakii</i>	3,283.6	218.9±233.7	8.4	11	51,149.0
<i>Johnius grypotus</i>	5,451.1	363.4±764.8	14.0	8	45,394.4
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	774.4	51.6±53.1	2.0	12	38,425.4
<i>Hemipterus villosus</i>	1,657.8	110.5±203.9	4.3	4	22,842.0
<i>Platycephalus indicus</i>	2,058.1	137.2±191.9	5.3	7	18,407.2
<i>Repomucenus richardsonii</i>	913.8	60.9±141.7	2.3	10	10,842.6
<i>Liza haematocheila</i>	1,158.7	77.2±237.4	3.0	5	9,279.6

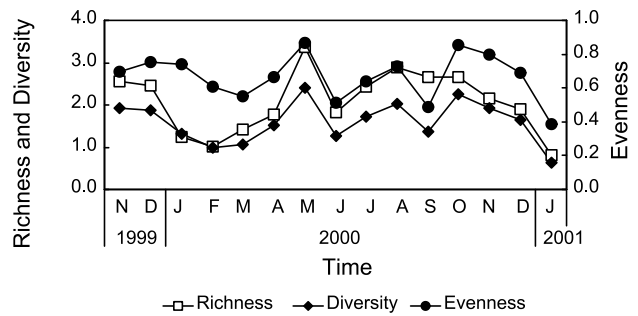


Fig. 5. Species richness, diversity and evenness of fish assemblages on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea.

동년 8월에 가장 높았다. 또한 2000년 6월과 12월에 각각 5,119.4 gWWt과 5,035.1 gWWt의 생체량을 보여 상대적으로 높았다 (Fig. 4).

생태학적 제 지수

종 풍부도는 0.8~3.4의 범위에 매월 평균 2.1 (±0.7)의 값을 나타내었다. 2001년 1월에 가장 낮았고, 2000년 5월에 가장 높았다. 이 밖에도 1999년의 11월, 12월과 2000년 7월부터 11월까지의 시기에 2.0 이상의 수치를 나타내 상대적으로 높았다. 종 다양도는 최소 0.6 (2001년 1월)에서 최대 2.4 (2000년 5월)의 범위에 매월 평균 값은 1.6 (±0.5)이었다. 균등도는 0.4~0.9 (평균 0.7±0.1)의 범위를 보였고, 전반적으로 풍부도의 경향과 동일하게 2001년 1월에 가장 낮았으며, 2000년 5월과 10월에 높았다 (Fig. 5).

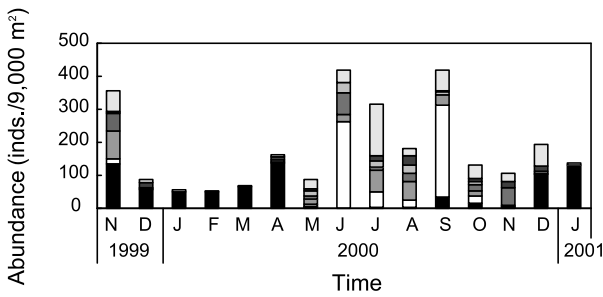


Fig. 6. Seasonal variation of fish assemblages on the tidal flat around Jangbong Island, Incheon, Korea.

우점종의 계절변화

본 연구에서 출현한 어류의 개체수와 생체량 및 그 출현빈도를 고려하여 상위 10위까지의 우점종을 선별하였다 (LeBris, 1988). 개체수에 있어서 행동양태별로 저어류와 부어류가 공통적으로 5종이 상위에 위치하고 있었다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 민태 (*Johnius grypotus*), 풀망둑 (*Acanthogobius hasta*), 참서대 (*Cynoglossus joyneri*), 동갈양태 (*Repomucenus richardsonii*), 쉬쉬망둑 (*Chaeturichthys stigmatias*), 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*), 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*), 비늘흰발망둑 (*Acanthogobius luridus*), *Thryssa baelama* 및 멸치 (*Engraulis japonica*) 등이었다 (Table 3). 이들 상위 10위종들이 차지하는 밀도는 2,405개체로 전체의 86.9%를 점유하였다. 생체량에 있어서도 저어류와 부어류는 각각 5종이 상위에 서열되어 동일하였으나, 출현 종 구성에 있어서는 차이가 있었다. 풀망둑의 생체량이 가장 높았고, 다음으로 조피볼락, 민태, 참서대, 쥐노래미, 양태 (*Platycephalus indicus*), 삼세기 (*Hemiripetus villosus*), 가송어 (*Liza haematocheila*), *T. baelama* 및 동갈양태 순이었다 (Table 4). 이들이 나타내는 생체량은 34,214.8 gWWt으로 전체의 87.9%를 차지하여 생체량의 변화양상을 주도하는 것으로 파악되었다.

한편 조사 기간 중 출현한 중요 어류자원은 망둑어과 (Gobiidae, 9종), 멸치과 (Engraulidae, 3종), 민어과 (Sciaenidae, 2종), 참서대과 (Cynoglossidae, 2종), 청어과 (Clupeidae, 2종), 돛양태과 (Callionymidae, 1종), 쥐노래미과 (Hexagrammidae, 1종)와 양볼락과 (Scorpaenidae, 1종) 등이었다. 이 가운데 망둑어과 어류가 667개체로 가장 많았고, 다음으로 민어과가 658개체의 밀도를 나타내 상기의 2개 과가 전체 개체수의 47.9%를 차지하였다. 이 외에 참서대과, 돛양태과, 멸치과의 종들은 200-300개체 내외의 밀도를 나타낸 반면, 쥐노래미과와 조피볼락이 포함된 양볼락과는 100개체 안팎이 채집되었다. 한편 이들 각 과의 계절 변화양상을 보면, 가장 많은 개체수를 나타낸 망둑어과 어류는 2000년 5월부터 8월까지의 시기를 제외하고는 전반적으로 조사 전 기간에 걸쳐 고른 분포를 나타내었다. 특히 동계 및 추계에 상대적으로 높은 밀도를 보여 특징적이었다. 반면 단일 종으로 가장 높은 밀도를 보인 민태가 속한 민어과 어류는 망둑어과와는 정반대의 경향을 보였다. 즉 하

계인 2000년 7월부터 10월 사이에 갯벌에서 집중적으로 출현하고 있었다. 이러한 경향은 참서대과, 돛양태과, 쥐노래미과 및 양볼락과에서도 동일하였다 (Fig. 6).

군집분석

군집분석은 전체 출현 개체수의 0.5% 이상 (15개체 이상)을 점유하는 18종을 대상으로 실시하였다. 집괴분석 결과, 크게 2개의 그룹으로 대별되었다. 이 가운데 그룹 1은 1999년 12월, 2000년 1월부터 4월까지와 2001년 1월로 구성되었다. 반면 그룹 2는 1999년 11월과 2000년 5월부터 11월까지의 시기로 대표되었다. 한편 각 그룹별 대표종을 보면, 그룹 1은 수온이 낮은 시기에 상대적으로 높은 밀도를 나타내는 풀망둑, 쉬쉬망둑, 비늘흰발망둑, 아작망둑 (*Triaenopogon barbatus*), 두줄망둑 (*Tridentiger trigonocephalus*)과 가송어로 구성되었고, 반대로 그룹 2는 수온이 높은 시기에 개체수가 많았던 참서대, 양태, 동갈양태, 민태, 복섬 (*Takifugu niphobles*), 쥐노래미, 조피볼락, 전어 (*Konosirus punctatus*), 밴댕이 (*Sardinella zunasi*), 풀반지 (*Thryssa kammalensis*), 멸치 및 *T. baelama* 등이 특징적이었다. 이상의 결과로 보면, 연구해역 갯벌 생태계를 이용하는 어류군집의 구조는 수온의 변화에 따라 구분되어 있음을 알 수 있었고, 다차원배열법에 의한 분석에서도 동일한 결과를 나타내어 이를 잘 입증하고 있었다 (Fig. 7).

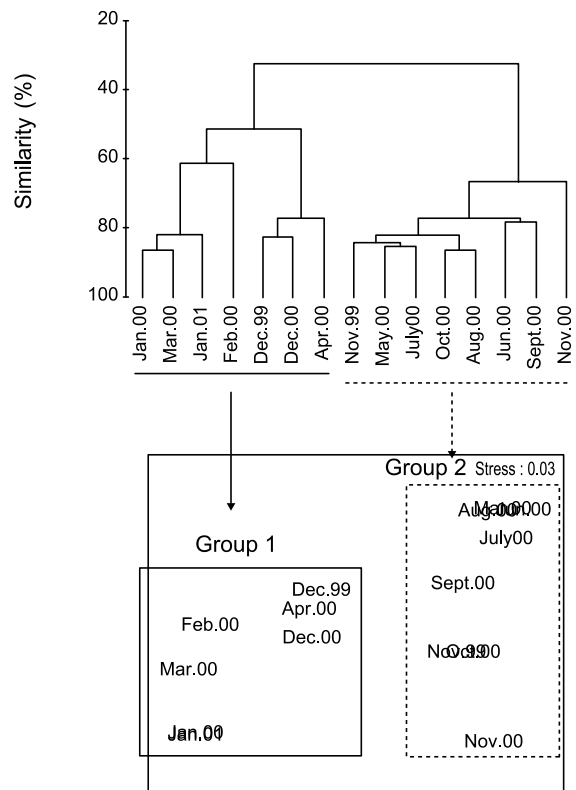


Fig. 7. Dendrogram for hierarchical clustering and 2-dimensional MDS configuration, using group-average linking of Bray-Curtis similarities calculated on fourth-root transformed abundance data.

고 찰

갯벌을 이용하는 어류군집의 채집과 환경특성에 따른 변화

본 연구에 이용된 소형기선저인망 (small otter trawl)은 해양 생물을 채집하는 비교적 능동적인 형태의 어구로 연구해역에서 서식 또는 분포하는 생물을 중에 무관하게 채집할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 지금까지 소형기선저인망을 이용한 연구에서 수심이 따라 얇은 곳일수록 부어류 어획률이 높아지고, 수심이 깊어질수록 반대의 경향을 보인다는 결과가 이미 제시된 바 있다 (Huh and Kwak, 1998). 한편 섭식을 위한 주야의 수직 회유결과로 주간에 상대적으로 부어류 비율이 높을 수 있다는 점, 선박의 이동에서 필연적으로 발생하는 소음과 매우 느린 예인 속도에 따른 어류의 어구도피 행동 등은 대상생물의 채집에 있어 제약이 되고 있다 (Huh and An, 2000). 그러나 본 연구에서는 현장조사 시의 생물채집 수심이 전반적으로 약 3 m 내외를 유지하였고, 결국 저서생태계와 표영생태계를 능동적으로 이용하는 어류를 동시에 채집할 수 있어 갯벌생태계 내의 어류군집에 대한 진단을 보다 정확히 할 수 있었다고 판단된다.

본 연구 결과, 갯벌 생태계를 직·간접적으로 이용하는 어류는 22과 36종이었다. 이렇듯 본 연구해역에서의 출현 종수는 서해안 천수만의 32종 (Lee, 1989)과 54종 (Lee, 1996), 아산만의 39종 (Lee and Kim, 1992), 34종 (Lee, 1993) 및 49종 (Lee and Hwang, 1995), 대천 해변 쇄파대의 26종 (Lee et al., 1997) 및 진해 용원 쇄파대 34종 (Lee et al., 2000) 등과 비교하여 유사하거나 또는 적은 수치를 나타내었다. 반면 남해도 64종 (Huh and Kwak, 1998), 광양만 잘피군락 57종 (Huh and Kwak, 1997) 및 가덕도 주변해역 110종 (Huh and An, 2000) 등과는 큰 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 채집시기, 채집면적, 채집기작, 채집장소 및 해역의 물리적인 환경 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 발생한 결과로 생물다양성을 직접적으로 비교하기에는 불가능한 측면이 있다. 한편 본 연구에서 출현한 우점종에 있어서 상위 10위 우점종들은 각각 전체 출현 개체수와 생체량의 86.9%와 87.9%를 차지하여 매우 높은 우점율을 보이고 있다. 이렇듯 서해안은 남해안과 비교하여 상대적으로 일부 생물들의 우점도가 높게 나타난다. 이것은 물리적인 환경변화가 심하다는 것을 반증하는 것으로 환경요인의 변화가 심한 해역에서 환경에 적응한 일부 소수종이 우점하는 경향이 높다는 결과와 부합된다고 볼 수 있다 (Lee, 1989; Lee and Kim, 1992; Lee and Hwang, 1995, Lim and Choi, 2000). 이 외에 지금까지 수행된 기 연구에서 해역별 주요 우점종을 비교해 보면, 서해안에는 참서대, 민태, 조피볼락, 쥐노래미 등이, 남해안에서는 보구치 (*Nibea argentatus*), 실양태 (*Repomucenus valenciennei*), 볼락 (*Sebastes inermis*), 날개망둑 (*Favonigobius gymnauchen*), 가시망둑 (*Pseudoblennius cottoides*)이 특징적으로 출현하였다. 또한 공간적으로 갯벌 생태계의 일부에 해당하는 쇄파대에서도 서해

안의 대천해역은 날개망둑, 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*), 돌가자미 (*Kareius bicoloratus*)와 청보리멸 (*Sillago japonica*) 등이 우점한 반면 (Lee et al., 1997), 진해 용원해역은 줄공치 (*Hyporhamphus intermedius*), 베도라치 (*Pholis nebulosa*), 날개망둑, 미끈날망둑 (*Chaenogobius laevis*)과 주둥치 등이 대표적으로 출현하여 (Lee et al., 2000) 본 연구결과와 상이하였다. 따라서 이상을 종합하면, 출현 종수는 갯벌과 유사한 환경의 조석영향을 크게 수렴하는 쇄파대 해역과 비교하여 유사하거나 또는 상대적으로 많았던 반면, 남해안의 도서 인근해역 및 만(灣)의 출현 종수와 비교했을 때에는 적었다. 결국 출현 종수의 상대적 인 차이는 갯벌과 만·하구역 그리고 서해안과 남해안의 공간·지역적 해양환경 요인의 차이에서 기인한 바가 크다고 볼 수 있다. 즉 남해안은 서해안과 비교하여 상대적으로 수심이 깊고, 육상으로부터 유입되는 유기물의 유입이 풍부하여 기초생산력이 높다 (Kwak, 1997). 또한 남해안은 대마난류가 흐르는 경로 상에 위치하여 무기환경 요인이 상대적으로 안정되어 다양한 어종들이 서식할 수 있는 환경조건을 갖추고 있다는 점에서도 본 연구결과와 차이가 있다고 볼 수 있다 (Huh and An, 2000). 특히 본 연구에서 제시된 수온변화의 범위가 남해안의 여타 연구에서 제시된 수온변화와 비교했을 때 보다 차이가 크다는 점에서 이를 뒷받침하고 있다 (Huh and Kwak, 1997, 1998; Huh and An, 2000). 결국 본 연구에서 채집된 어류의 생물다양성 및 우점종 조성의 차이는 공간적인 서식환경과 물리적 환경의 특성 차이 (수온)에 그 원인이 있었음을 추정할 수 있었다.

갯벌을 이용하는 어류군집의 계절분할 전략

본 연구에서 어류군집이 서식처로서 갯벌을 이용하는 데 있어 중요한 요인은 다음의 2가지로 고려할 수 있다. 첫째, 조석주기는 다양한 어류들이 갯벌 생태계로 들어오고 나가는 행동양태를 조절하는 중요한 인자이다. 특히 갯벌에는 중·소규모의 다양한 수로와 조수웅덩이 등이 산재하고 있다. 또한 일부 해역에서 이루어지는 해조류 양식은 어류를 포함한 다양한 해양생물에게 서식, 섭식장소 및 포식자로부터의 도피장소를 제공하기도 한다 (Kneib, 1997). 따라서 이 가운데 몇몇의 해양생물은 조석작용과 무관하게 갯벌의 적절한 장소에 남아 있도록 서식 적응행동을 보이거나, 대부분은 썰물 시기에 조하대로 이동하는 행태를 나타낸다. 이것이 갯벌 생태계를 이용하는 어류군집의 생물다양성, 우점종 조성 및 생물량의 차이를 유발하는 원인이 된다고 추정된다. 이미 Seo and Hong (2007)은 갯벌에서 조석주기가 대형 및 초대형저서동물의 군집구조와 분포에 밀접한 관련성이 있음을 밝힌 바 있어 이를 잘 입증하고 있다. 한편 섭식과 밀접한 관련이 있는 어류군집의 주야 행동주기는 갯벌 내에 서식하는 일부 종들의 밀도차이를 유발하는 직·간접적인 원인으로 알려져 있다 (Rountree and Abel, 1997). 이와 같은 차이는 궁극적으로 생물이 가지는 고유의 특성인 활발한 이동능력과 서식처의 물리적인 환경 특성을 바탕으로 하는 먹이자원 (food resources)의 차이로 고려할 수 있다. 이러한 관점에서 Reise (1985)가 ‘갯벌의 상·

중부에서는 새들에 의한 포식이, 중·하부에서는 어류나 대형 갑각류에 의한 포식이 갯벌 먹이생물 개체군 (prey populations)에 영향을 미친다'라는 포식자 (predators) 분포 가설은 의미하는 바가 크다. 둘째, 우리나라와 같은 온대기후 대에서는 수온의 변화가 계절에 따라 크게 다르기 때문에, 서식하는 생물들도 산란, 보육 및 성장을 위한 월동의 행동양태를 비교적 명확하게 나타내게 된다. 따라서 수온이 상승하는 봄철에 외해에서 월동한 어류들이 내만과 갯벌로 이동하여 일반적으로 어류의 생물다양성은 증가하게 되고, 계절에 따른 군집구조의 차이도 발생한다 (Lee and Seok, 1984; Jin and Tang, 1996). 본 연구에서도 출현 종수, 개체수 및 생체량은 수온이 낮은 겨울철에 가장 낮았고, 늦은 봄부터 늦가을 사이에 높아 어류군집의 계절변동을 밝힌 여타 연구 결과와 잘 일치하였다. 특히 본 연구에서 가장 밀도가 높았던 풀망둑은 동계에만 특징적으로 출현하며, 산란이 일어난 이후의 시기인 5월부터 8월 사이에는 출현하지 않았다. 이러한 출현 양상은 다른 망둑어류에서도 유사하였다. 반면 이를 제외한 대부분의 어류는 상반되는 특성을 보이고 있다. 따라서 본 해역 갯벌을 이용하는 어류 중 민태, 참서대, 조피볼락 및 귀노래미 등은 1999년 11월과 2000년 6월부터 9월 사이의 시기에 우점하는 특성을 나타내 난수기 특징종 (warm-water specialist) 그룹으로 구분할 수 있었던 반면, 동계에 높은 밀도를 보이는 풀망둑 및 쉬쉬망둑 등의 망둑어류는 냉수기 특징종 (cold-water specialist)으로 규정할 수 있는 근거가 되었다. 이렇듯 갯벌 생태계와 관련을 맺는 해양생물들은 일생동안 일시적으로 갯벌을 이용하거나 혹은 생활사의 전 부분을 보내는 생활사 형태를 보인다. 다만 남해안 천해역에서 출현하는 어류군집은 다른해역의 만이나 도서해역에서 출현하는 계절종 (회유종)은 거의 출현하지 않았고, 회유종이 제외된 주거종과 일시 출현종만이 관찰되어 본 연구와 차이가 있었다 (Lee et al., 2000). 이와 같은 결과는 어류가 가지는 활발한 이동능력과 서식처의 물리적인 환경과의 상호작용에서 기인한 바가 크다고 추정된다.

참고문헌

- Boesch DF and Turner RE. 1984. Dependence of fishery species on salt marshes: the role of food and refuge. *Estuaries* 7, 460-468.
- Bray JR and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349.
- Cha SS and Park KJ. 1997. Seasonal changes in species composition of fishes collected with a bottom trawl in Kwangyang Bay, Korea. *Korean J Ichthyol* 9, 235-243.
- Choi Y and Kim JH. 2000. Intertidal fishes of Wooi-Islands, Chollanam-do, Korea in summer. *Korean J Ichthyol* 24, 259-263.
- Fujita S, Kinoshita I, Takahashi I and Azuma K. 2002. Species composition and seasonal occurrence of fish larvae and juveniles in the Shimanta Estuary, Japan. *Fish Sci* 68, 364-370.
- Go YB and Cho SH. 1999. Study on the fish community in the seagrass belt around Cheju Island I. Species composition and seasonal variations of fish community. *Korean J Ichthyol* 9, 48-60.
- Han KH, Yang KS, Jin DS, Yoo DJ, Oh SH and Hwang DS. 2001. Species composition and seasonal variation of the fishes off Koheung Peninsula, Korea. *Korean J Ichthyol* 13, 143-157.
- Huh SH and Kwak SN. 1997. Species composition and seasonal variations of fishes in Eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. *Korean J Ichthyol* 9, 202-220.
- Huh SH and Kwak SN. 1998. Seasonal variations in species composition of fishes collected by an otter trawl in the coastal waters off Namhae Island. *Korean J Ichthyol* 10, 11-23.
- Huh SH and Chung SG. 1999. Seasonal variations in species composition and abundance of fishes collected by an otter trawl in Nakdong River Estuary. *Bull Soc Fish Tech* 35, 178-195.
- Huh SH and An YR. 2000. Species composition and seasonal variations of fish assemblage in Gadeok-do, Korea. I. Fishes collected by a small otter trawl. *J Korean Fish Soc* 33, 288-301.
- Hwang HB and Lee TW. 1999. Seasonal variation in species composition of fish with depth in Asan Bay. *Korean J Ichthyol* 11, 52-61.
- Irlandi EA and Crawford MK. 1997. Habitat linkages: the effect of intertidal saltmarshes and adjacent subtidal habitats on abundance, movement, and growth of an estuarine fish. *Oecologia* 110, 222-230.
- Jin W and Tang Q. 1996. Changes in fish species diversity and dominant species composition in the Yellow Sea. *Fisheries Res* 26, 337-352.
- Kim YH, Jeon BS and Kang YJ. 2000. Seasonal variations in species composition of fish in Suyoung Bay, Korea. *J Korean Fish Soc* 33, 320-324.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 1999-2001. Monthly Weather Report Seoul, Korea.
- Kneib RT. 1997. The role of tidal marshes in the ecology of estuarine nekton. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 35, 163-220.
- Kwak SN. 1997. Biotic communities and feeding ecology of fish in *Zostera marina* beds off Dae Island in Kwangyang Bay. Ph. D. Thesis, Pukyong Univ., Busan, Korea. 1-411.

- Lasiak TA. 1984a. Structural aspects of the surf-zone fish assemblage at King's Beach, Algoa Bay. South African: Short-term fluctuations. *Est Coast Shelf Sci* 18, 347-360.
- Lasiak TA. 1984b. Structural aspects of the surf-zone fish assemblage at King's Beach, Algoa Bay. *Est Coast Shelf Sci* 18, 459-483.
- LeBris H. 1988. Fonctionnement des écosystèmes benthiques Cotiers au contact d'estuaires : la rade de Lorient et la baie de Vilaine. These doc., Univ. Bretagne Occidentale Brest, France, 1-311.
- Lee TW. 1989. Seasonal fluctuation in abundance and species composition of demersal fishes in Cheonsu Bay of the Yellow Sea, Korea. *Bull Korean Fish Soc* 22, 1-8.
- Lee TW. 1991. The demersal fishes of Asan Bay. I. Optimal sample size. *Bull Korean Fish Soc* 24, 248-254.
- Lee TW. 1993. The demersal fishes of Asan Bay. I. Spatial variation in abundance and species composition. *Bull Korean Fish Soc* 26, 438-445.
- Lee TW. 1996. Change in species composition of fishes in Chonsu Bay. 1. Demersal fish. *J Korean Fish Soc* 29, 71-83.
- Lee TW and Seok KJ. 1984. Seasonal fluctuations in abundance and species composition of fishes in Cheonsu Bay using trap net catches. *J Oceanol Soc Kor* 19, 217-227.
- Lee TW and Kim GC. 1992. The demersal fishes of Asan Bay. II. Diurnal and seasonal variation in abundance and species composition. *Bull Korea Fish Soc* 25, 103-114.
- Lee TW and Hwang HS. 1995. The demersal fishes of Asan Bay. IV. Temporal variation of species composition from 1990 to 1993. *Bull Korea Fish Soc* 28, 67-79.
- Lee TW and Gil JW. 1998. Seasonal variation in species composition of demersal fish off Yongkwang in 1986-87. *Korean J Ichthyol* 10, 241-249.
- Lee TW, Moon HT and Choi SS. 1997. Change in species composition of fish in Chonsu Bay (II), Surf zone fish. *Korean J Ichthyol* 9, 79-90.
- Lee TW, Moon HT and Huh SH. 2000. Seasonal variation in fish species composition in the sheltered shallow water off Yongwon, Jinhae in the southern coast of Korea. *J Korean Fish Soc* 33, 243-249.
- Lee TW, Moon HT, Hwang HB, Huh SH and Kim DJ. 2000. Seasonal variation in species composition of fishes in the Eelgrass beds in Angol Bay of the southern coast of Korea. *J Korean Fish Soc* 33, 439-447.
- Levinton JS. 1995. *Marine Biology - Function, Biodiversity, Ecology*. Oxford University Press Inc., New York, U.S.A. 1-420.
- Lim HS, Lee JH, Choi JW and Je JG. 1995. Macrobenthic community on the soft-bottom around the Youngjong Island, Korea. *J Korean Fish Soc* 28, 635-648.
- Lim HC and Choi Y. 2000. Fish fauna of the coastal waters off Taean in the West Sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 12, 215-222.
- Margalef R. 1958. Diversidad de especies en las comunidades naturales. *Publnes Inst. Biol. Apl. Barcelona*, 9, 5-27.
- McLusky DS. 1989. *The Estuarine Ecosystem*. Blackie and Son, Ltd., New York, U.S.A. 1-215.
- Nash RDM and Santos RS. 1998. Seasonality in diel catch rate of small fishes in a shallow-water fish assemblage at Porto Pim Bay, Faial, Azores. *Est Coast Shelf Sci* 47, 319-328.
- Nash RMD, Santos RS, Geffen AJ, Hughes G and Ellis TR. 1994. Diel variability in catch rate of juvenile flatfish on two small nursery grounds Port Erin Bay, Isle of Man and Porto Pim Bay, Faial, Azores. *J Fish Biol* 44, 35-45.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley, New York, U.S.A. 1-165.
- Potter IC, Loneragen NR, Lenanton RCJ, Chrystal PJ and Grant CJ. 1983. Abundance, distribution and age structure of fish populations in a Western Australian estuary. *J Zool London*, 200, 21-50.
- Reise K. 1985. *Tidal Flat Ecology - An Experimental Approach to Species Interactions*. Ecological Studies 54, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 1-191.
- Rountree RA and Abel KW. 1997. Nocturnal fish use of New Jersey marsh creek and adjacent bay shoal habitat. *Est Coast Shelf Sci* 44, 703-711.
- Santos RS and Nash RDM. 1995. Seasonal changes in a sandy beach fish assemblage at Porto Pim, Faial, Azores. *Est Coast Shelf Sci* 41, 579-591.
- Schlacher TA and Wooldridge TH. 1996. Patterns of selective predation by juvenile, benthivorous fish on estuarine macrofauna. *Mar Biol* 125, 241-247.
- Seo IS. 2003. Community structure and trophic relationships of macro- and megabenthic assemblages on Incheon macrotidal flat of the Yellow Sea. Ph. D. Thesis, Inha Univ., Incheon, Korea. 1-273.
- Seo IS and Hong JS. 2007. Diurnal and tidal variation

- in the abundance of the macro- and megabenthic assemblages in Jangbong tidal flat, Incheon, Korea. J Oceanol Soc Kor 「The Sea」, 12, 262-272.
- Shannon CE and Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press, Urbana, Illinois, U.S.A. 1-125.
- Shin MC and Lee TW. 1990. Seasonal variations in abundance and species composition of surf zone fish assemblage at Taechon sand beach, Korea. J Oceanol Soc Korea 25, 135-144.
- van der Veer HW, Phil L and Bergman MJN. 1990. Recruitment mechanisms in North Sea plaice *Pleuronectes platessa*. Mar Ecol Prog Ser 64, 1-12.
-
- 2010년 8월 12일 접수
2010년 8월 23일 수정
2010년 10월 11일 수리