

하동화력발전소 취수구 스크린에 충돌사망하는 어류에 관한 연구

허 성 회 · 추 현 기* · 백 근 욱¹

부경대학교 해양학과, ¹전남대학교 해양기술학부

Impingement of Fish on Traveling Screens at Hadong Power Plant

Sung-Hoi Huh, Hyun-Gi Choo* and Gun Wook Baeck¹

Department of Oceanography and Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

To investigate the impingement of fish on the traveling screens, fishes were collected from the traveling screens at Hadong Power Plant through the year of 1999. A total of 84 fish species were collected during the study period. The dominant species were *Leiognathus nuchalis*, *Engraulis japonicus*, *Trichiurus lepturus* and *Takifugu niphobles*. These four species accounted for 78.2% of the total number of individuals and 52.0% of total biomass collected. The number of fish species, number of individuals, biomass and species diversity indices fluctuated with the seasons. The number of species and biomass were high in April and August, and the number of individuals was high in April and July. However, the number of fish species, number of individuals and biomass of fishes showed low values in winter.

Key words : fish, impingement, Hadong power plant, traveling screen

서 론

1960년대 이후 산업화가 진행되면서 전력수요가 계속 증가하고 있는 추세이며, 특히 국민 생활수준이 향상됨에 따라 냉난방기의 사용이 보편화 되면서 폭발적인 전력 수요의 증가로 인해 발전소의 추가적 건설과 운영이 더욱 절실해지고 있는 실정이다(최, 1996). 최근에 건설되는 발전소는 대용량화와 집단화되는 경향이 있으며, 그 결과 온배수 방출량이 증가 일로에 있어 이에 따른

발전소 주변의 연안 생태계의 급속한 변화가 예견되고 있다.

많은 발전소가 위치해 있는 만과 하구역은 육지에서 영양염이 지속적으로 유입되어 일차생산력이 높으며, 많은 어류와 대형 무척추동물의 산란장과 성육장으로서 중요한 역할을 하는 곳으로 알려져 있다(Potter *et al.*, 1990; Blaber *et al.*, 1995; Maes *et al.*, 1998; Amara *et al.*, 2000; Amara and Paul, 2003). 우리나라 주변해역에서 실시된 어류의 연구(이와 김, 1992; 이, 1993; 유와 최, 1993; 이와 황, 1995; 이, 1996; 차와 박, 1997; 이, 1998)는 이 같은 사실을 뒷받침하고 있다. 특히 조사해역인 광양만은 생산성이 높은 잘피밭(eelgrass bed)이 형성되어

*Corresponding author: hgchoo@nate.com

있는데 (허와 곽, 1997), 잘피발은 먹이가 풍부하고 숨을 공간이 많아 수많은 무척추동물과 상업성 어종의 치어들이 많이 서식하고 있다 (Thayer *et al.*, 1975; 허와 곽 1997).

화력발전소와 원자력발전소가 주변해역에 미치는 영향은 크게 세 가지로 구분된다. 첫째는 냉각수 취수과정에서 해수와 함께 들어오는 이물질 제거를 위해 설치된 취수구 스크린에 비교적 큰 해양생물이 충돌하여 사망하거나 취수구 스크린을 통과한 작은 해양생물이 냉각계통을 통과하면서 입는 기계적인 영향이며, 둘째는 온배수에 의한 발전소 인접해역의 온도 상승에 따른 영향이고, 셋째로는 온배수와 함께 유출되는 화학물질에 의한 영향이다 (허와 황, 1997).

외국의 경우 취수구 스크린에 충돌 사망하는 생물에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔는데 (Grimes, 1975; Araújo *et al.*, 1998; Araújo *et al.*, 2000; Michaud, 2000; Ringger, 2000; Potter *et al.*, 2001), 특정 어종의 충돌에 관한 연구 (Maes *et al.*, 1998; Pawson and Eaton, 1999; Haines, 2000), 주변해역의 어류와 취수구 스크린에서 채집된 어류의 비교 (Haddingh and Jager, 2002), 취수구 스크린의 형태 개선에 관한 연구 (Ronafalvy *et al.*, 2000), 행동 장애물 설치에 관한 연구 (Brown, 2000; John and Herbinson, 2000; Sager *et al.*, 2000; Thompson, 2000), 취수구 스크린에 사망하는 어류에 대한 모델 연구 (Lorda *et al.*, 2000; Winkle, 2000; Wallberg and Moberg, 2002) 등이 있다. 그러나 수많은 원자력발전소와 화력발전소가 연안에 위치해 있는 우리나라의 경우 취수구 스크린에 충돌 사망하는 어류에 관한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 지금까지 고리원자력발전소에서의 연구 (허와 황, 1997)가 유일한 실정이다.

냉각수의 취수구가 연안에 위치해 있는 발전소의 경우 해양생물의 대량 유입에 따른 발전정지의 가능성이 있으며, 발전소별로 이에 대한 대비책 마련이 필요하다. 본 연구는 해양생물이 취수구에 대량 유입되는 현상을 사전에 방지하는 대책 마련을 위한 기초 자료를 제공하기 위해 하동화력발전소의 취수구 스크린에 의해 충돌 사망하는 어류에 대해 조사를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 발전소와 주변해역의 환경

본 조사가 실시된 하동화력발전소 주변해역인 광양만은 우리나라 남해안의 중앙부에 위치한 만으로 크기는

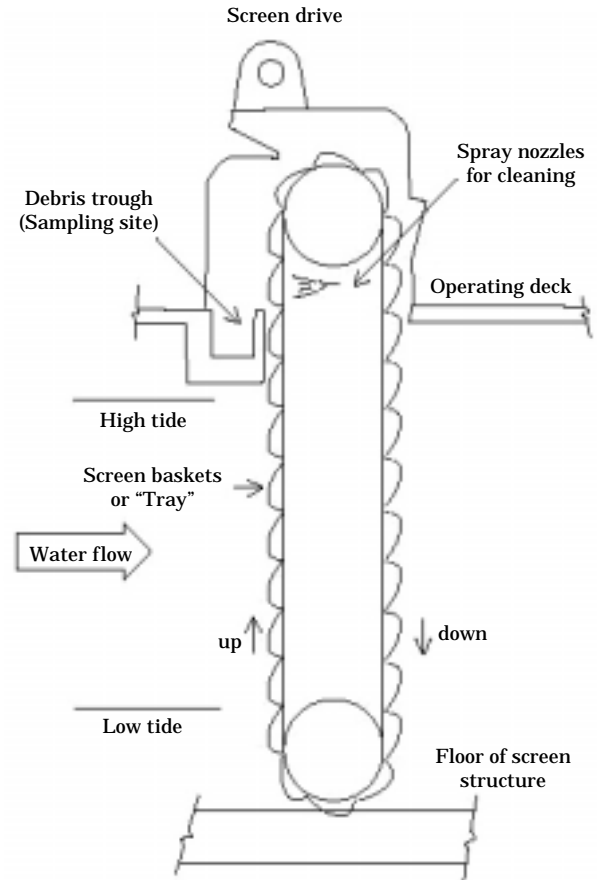


Fig. 1. Schematic representation of conventional vertical traveling screen.

동·서 길이가 27 km, 남·북의 폭이 15 km이며, 여수시, 순천시, 광양시, 하동군 그리고 남해군으로 둘러싸여 있다. 동쪽으로 노량해협을 통해 진주만으로 연결되어 있으며, 남쪽으로는 여수해만과 연결되어 외해로 통해 있다. 그리고 섬진강으로부터 연간 약 28억 8천만 톤의 담수가 광양만 북쪽으로 유입되고 있다.

화동화력발전소는 경상남도 하동군 금성면 가덕리에 위치해 있다. 본 조사 당시 1~4호기가 가동 중에 있었으며, 5, 6호기는 건설 중에 있었다. 시설용량은 각 호기마다 50만 kW이며, 발전형식은 '석탄 전소 기력발전'으로 석탄을 보일러에서 연소시킴으로써 발생된 열에너지로 전기를 생산한다. 이 과정에서 많은 양의 냉각수가 필요로 하기 때문에 해안에 위치하여 바닷물을 냉각수로 사용하고 있다. 따라서 발전소가 정상 가동되기 위해서는 냉각용 해수가 지속적으로 충분히 공급되어야 한다.

냉각수인 해수를 취수하는 과정에서 해양생물이나 이물질이 냉각계통에 유입되는 것을 막기 위해 하동화력

발전소에는 각 호기마다 4개씩 취수구 스크린 (traveling intake water screen, 망목 10×10 mm)이 설치되어져 있다. 이 스크린에 충돌하거나 걸리는 생물체와 오물은 스크린의 흡에 의해 콘베이어 벨트 형태로 상층부로 이동된다 (Fig. 1). 상층부의 내부에서는 강력한 물 분사로서 생물체나 오물을 제거하는데, 제거된 생물체나 오물은 수로를 통해 채집조로 모이게 된다.

2. 시료채집 및 분석

본 연구는 1999년 1월부터 12월까지 하동화력발전소 내에 상주하면서 발전소에 설치되어 있는 취수구 스크린에서 매주 4일씩 조사하였다.

수온은 봉상온도계로 현장에서 0.1°C까지 측정하였으며, 염분은 채수한 해수 약 500 mL를 폴리에틸렌병에 넣어 실험실로 운반한 후 실험실에서 염분계 Salinometer (Tsurumi Seiki Model)를 이용하여 0.1 psu까지 측정하였다.

취수구 스크린에서 채집된 시료는 즉시 실험실로 운반하였다. 실험실에서 어종별로 구분한 뒤 개체수를 계수하였고, 각 개체의 체장 (1 mm)과 체중 (0.1 g)을 측정하였다. 어류의 동정은 Masuda et al. (1984), Nakabo et al. (1993) 등을 참조하였다.

각 월별로 다음 식을 이용하여 Shannon and Wiener의 종 다양도지수 (H')를 구하였다 (Shannon and Weaver, 1949).

$$H = -\sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i}{N} \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right]$$

- ni : i번째 종의 월별 출현개체수
- N : 특정 달에 채집된 종의 개체수
- S : 출현종수

각 출현종에 대한 출현 시기의 유사도는 Pianka (1973)의 중복도지수를 이용하여 구하였다.

$$A_{ij} = \frac{\sum (P_{ih} \times P_{jh})}{\sqrt{\sum P_{ih}^2 \times \sum P_{jh}^2}}$$

- P_{ih} : 채집 시기 h에 채집된 전체 개체수에 대한 어종 i의 개체수 비율
- P_{jh} : 채집 시기 h에 채집된 전체 개체수에 대한 어종 j의 개체수 비율

구해진 유사도를 이용하여 비가중 산술평균에 의한 집괴분석 (cluster analysis)을 실시하였으며 그 결과를 dendrogram으로 표시하였다.

결 과

1. 수온 및 염분

조사기간 중 월 평균 수온은 취수구에서 7.3~26.5°C의 범위를 보였으며, 배수구에서 12.9~28.2°C의 범위를 보였다 (Fig. 2a). 수온의 계절변동을 보면 1월에 가장 낮은 값을 보였으며, 3월부터 점차 수온이 상승하여 8월에 최대값을 보였으며, 9월부터 수온이 하강하는 전형적인 온대 해역의 수온 변화 양상을 보였다.

월 평균 염분은 취수구에서 33.8~26.4 psu, 배수구에서 33.9~24.2 psu의 범위를 보였다 (Fig. 2b). 계절변동을 살펴보면, 1월부터 7월까지 30 psu 이상의 염분을 보이다가 8월에 염분이 급격하게 떨어져 가장 낮은 값을 보였으며, 9월부터 점차 상승하는 양상이었다. 8월에 낮은 염분을 보인 것은 조사기간 중 집중호우를 동반한 태풍 올가의 영향으로 인해 강우량이 급격하게 증가하였기 때문이다.

2. 어류의 종조성

조사기간 동안 하동화력발전소의 취수구 스크린에서 채집된 어종수는 84종이었으며, 개체수는 24,705개체,

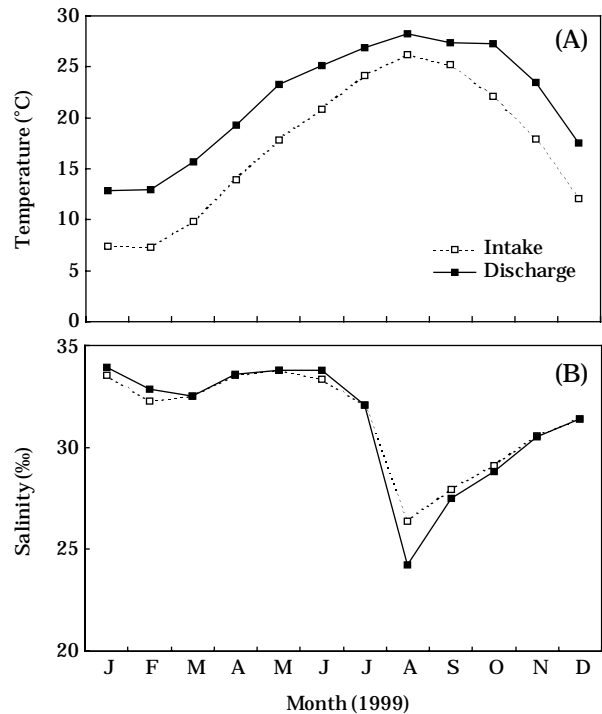


Fig. 2. Monthly variations of temperature (A) and salinity (B) at Hadong Power Plant in 1999.

Table 1. Species composition of fishes collected at traveling screens of Hadong Power Plant in 1999

Scientific name	N	%	W	%	Standard length range (cm)
<i>Leiognathus nuchalis</i>	8,936	36.17	28,017.4	22.18	2.0~10.4
<i>Engraulis japonicus</i>	6,927	28.04	16,680.8	13.21	2.9~13.2
<i>Trichiurus lepturus</i>	2,225	9.01	8,713.6	6.90	5.2~54.9
<i>Takifugu niphobles</i>	1,228	4.97	12,255.5	9.70	1.3~12.7
<i>Thryssa kammalensis</i>	675	2.73	3,602.5	2.85	3.6~15.0
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	467	1.89	2,100.1	1.66	5.8~8.4
<i>Sardinella zunasi</i>	421	1.70	2,503.5	1.98	4.0~12.4
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	371	1.50	2,182.1	1.73	3.1~9.4
<i>Konosirus punctatus</i>	364	1.47	5,412.7	4.29	5.0~16.7
<i>Hyporhamplis sajori</i>	348	1.41	2,589.6	2.05	8.8~24.0
<i>Repomucenus valenciennesi</i>	319	1.29	865.0	0.68	4.1~13.6
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	293	1.19	1,829.6	1.45	2.6~7.4
<i>Rudrius ercodes</i>	187	0.76	343.9	0.27	1.9~11.1
<i>Conger myriaster</i>	176	0.71	9,393.8	7.44	12.9~42.7
<i>Thryssa adelae</i>	144	0.58	773.1	0.61	3.9~19.4
<i>Sillago japonica</i>	143	0.58	711.2	0.56	4.7~16.1
<i>Sphyræna pinguis</i>	126	0.51	1,128.6	0.89	6.2~20.2
<i>Pholis nebulosa</i>	97	0.39	3,428.0	2.71	7.8~25.0
<i>Hexagrammos otakii</i>	83	0.34	614.0	0.49	4.4~14.3
<i>Limanda yokohamae</i>	82	0.33	621.5	0.49	3.0~16.2
<i>Ditrema temmincki</i>	78	0.32	4,317.5	3.42	4.1~21.8
<i>Aulichthys japonicus</i>	68	0.28	372.5	0.29	10.0~14.7
<i>Muraenesox cinereus</i>	55	0.22	3,446.5	2.73	22.9~47.7
<i>Argyrosomus argentatus</i>	53	0.21	500.8	0.40	3.5~7.0
<i>Collichthys lucidus</i>	53	0.21	117.2	0.09	5.6~11.9
<i>Pseudoblennius cottides</i>	50	0.20	600.6	0.48	3.5~17.6
<i>Syngnathus schlegeli</i>	47	0.19	92.4	0.07	11.6~21.4
<i>Champsodon snyderi</i>	44	0.18	116.7	0.09	3.3~9.6
<i>Platycephalus indicus</i>	43	0.17	493.6	0.39	3.4~19.2
<i>Pampus argenteus</i>	42	0.17	294.0	0.23	5.6~8.4
<i>Chaenogobius castaneus</i>	42	0.17	152.5	0.12	5.4~10.2
<i>Chaeturichthys hexanema</i>	40	0.16	249.5	0.20	5.7~11.1
<i>Mugil cephalus</i>	35	0.14	2,989.2	2.37	6.1~42.0
<i>Sebastes inermis</i>	33	0.13	1,364.6	1.08	4.5~14.5
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	33	0.13	712.1	0.56	4.6~14.1
<i>Liparis tanakai</i>	33	0.13	289.9	0.23	4.3~15.2
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	32	0.13	1,063.9	0.84	7.2~17.6
<i>Tridentiger barbatus</i>	25	0.10	319.5	0.25	3.5~10.3
<i>Plecoglossus altivelis</i>	23	0.09	202.0	0.16	5.2~15.9
<i>Upeneus bensasi</i>	22	0.09	179.6	0.14	4.8~10.5
<i>Harpodon nehereus</i>	20	0.08	526.5	0.42	10.9~67.1
<i>Tylosurus acus melanotus</i>	20	0.08	407.2	0.32	6.7~23.1
<i>Myctophum nitidulum</i>	13	0.05	12.4	0.01	3.2~5.0
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>	12	0.05	120.0	0.10	7.2~11.1
<i>Johnius belengerii</i>	10	0.04	196.4	0.16	5.0~6.7
<i>Kareius bicoloratus</i>	10	0.04	87.3	0.07	3.8~7.5
<i>Erisphex potti</i>	10	0.04	40.2	0.03	5.7~10.7
<i>Acentrogobius pflaumi</i>	10	0.04	26.3	0.02	6.2~13.8
<i>Synechogobius hasta</i>	9	0.04	573.8	0.45	2.7~8.7
<i>Cryptocentrus filifer</i>	9	0.04	64.3	0.05	7.2~9.6
<i>Gnathagnus elongatus</i>	9	0.04	51.4	0.04	13.4~31.2
<i>Trachurus japonicus</i>	8	0.03	65.0	0.05	7.6~18.5
<i>Cynoglossus joyneri</i>	8	0.03	63.1	0.05	3.4~15.4
<i>Cynoglossus interruptus</i>	8	0.03	61.3	0.05	4.5~10.4

Table 1. Continued.

Scientific name	N	%	W	%	Standard length range (cm)
<i>Paralichthys olivaceus</i>	7	0.03	196.0	0.16	4.1~6.2
<i>Pholis fangi</i>	7	0.03	112.7	0.09	3.9~8.0
<i>Takifugu stictonotus</i>	7	0.03	78.6	0.06	13.5~16.5
<i>Apogon lineatus</i>	7	0.03	30.8	0.02	6.9~20.5
<i>Coelorinchus multispinulosus</i>	6	0.02	74.3	0.06	10.7~19.5
<i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>	5	0.02	41.0	0.03	11.1~13.4
<i>Inimicus japonicus</i>	3	0.01	317.6	0.25	4.4~5.1
<i>Sebastes schlegeli</i>	3	0.01	305.6	0.24	5.5~7.1
<i>Pseudoblennius percoides</i>	3	0.01	144.6	0.11	6.0~12.6
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	3	0.01	123.4	0.10	4.1~12.1
<i>Carassius auratus</i>	3	0.01	73.0	0.06	6.0~12.6
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	3	0.01	51.5	0.04	11.2~15.8
<i>Lateolabrax japonicus</i>	3	0.01	13.5	0.01	8.0~20.9
<i>Acropoma japonicum</i>	3	0.01	6.8	0.01	10.5~18.7
<i>Chirolophis wui</i>	2	0.01	166.3	0.13	6.0~7.2
<i>Cephaloscyllium umbratile</i>	2	0.01	109.5	0.09	4.4~4.7
<i>Therapon theraps</i>	2	0.01	31.8	0.03	6.5~6.7
<i>Scomber japonicus</i>	2	0.01	26.1	0.02	3.9~12.0
<i>Chaenogobius heptacanthus</i>	2	0.01	5.6	+	8.2~9.2
<i>Hemitripterus villosus</i>	2	0.01	5.3	+	20.2~31.0
<i>Hippocampus japonicus</i>	2	0.01	1.5	+	17.8~20.0
<i>Sebastes taczanowskii</i>	1	+	142.2	0.11	
<i>Anguilla japonica</i>	1	+	107.5	0.09	
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	1	+	90.5	0.07	
<i>Nibea albiflora</i>	1	+	56.0	0.04	
<i>Pseudaesopia japonicus</i>	1	+	30.4	0.02	
<i>Chaetodon auripes</i>	1	+	27.8	0.02	
<i>Seriola quinqueradiata</i>	1	+	4.2	+	
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	1	+	1.7	+	
<i>Strongylura anastomella</i>	1	+	1.5	+	
Total	24,705	100	126,313.6	100	

N : number of individuals, W : biomass (g)

생체량은 126,313.6 g이었다 (Table 1). 가장 많이 채집된 어종은 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*)로서 8,936개체, 28,017.4 g이 채집되어 전체 개체수의 36.2%와 전체 생체량의 22.2%를 차지하였다. 다음으로 멸치 (*Engraulis japonicus*)가 6,927개체, 16,680.8 g이 채집되어 전체 개체수의 28.0%와 생체량의 13.2%를 차지하였다. 그리고 갈치 (*Trichiurus lepturus*)와 복섬 (*Takifugu niphobles*)은 각각 전체 개체수의 9%, 5%, 전체 생체량의 6.9%, 9.7%를 차지하였다. 상기의 4종이 전체 개체수의 78.2%, 생체량의 52.0%를 차지하며 우점하였다.

그 밖에 청멸 (*Thryssa kammalensis*), 큰가시고기 (*Gasterosteus aculeatus*), 밴탱이 (*Sardinella zunasi*), 두줄망둑 (*Tridentiger trignocephalus*), 전어 (*Konosirus punctatus*), 학공치 (*Hyporhamplis sajori*), 실양태 (*Repomucenus valenciennesi*), 미역치 (*Hypodytes rubripinnis*)

가 많이 채집되었는데, 이들 8종은 전체 개체수의 13.2%, 생체량의 16.7%를 차지하였다.

상기의 12종이 전체 채집개체수의 91.4%와 채집생체량의 68.7%를 차지하여 채집량의 대부분을 차지하였으며, 나머지 72종은 소량씩 채집되었다.

3. 계절변동

채집된 어종수의 월별 변동을 살펴보면 (Fig. 3a), 조사가 시작된 1~3월까지 매월 30여종이 채집되었으며, 4월에 49종으로 가장 높은 값을 보였다. 5월에서 7월까지 어종수가 다소 감소하였으나, 8월에 45종으로 다시 증가하였다. 그 이후 12월까지 어종수가 감소하였는데, 11월에 23종으로 가장 적은 어종수를 보였다.

채집된 개체수 및 생체량의 월별 변동을 살펴보면

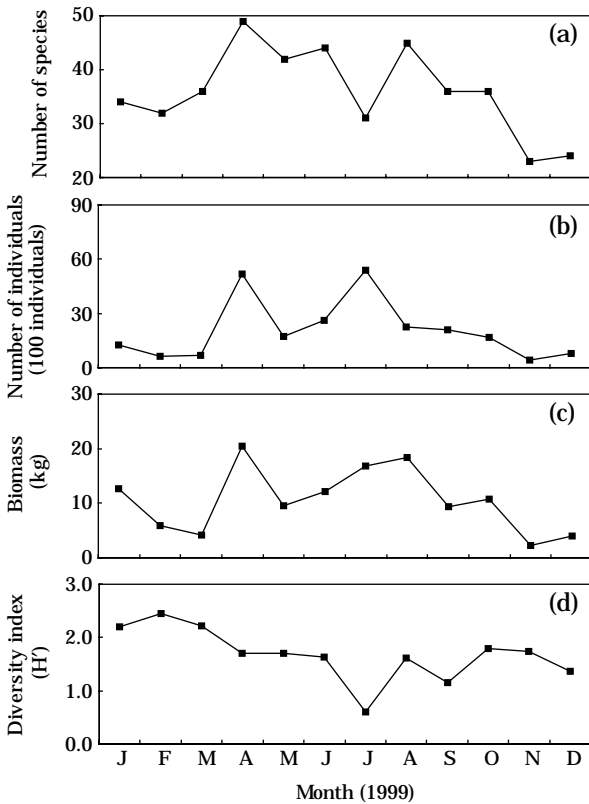


Fig. 3. Monthly variations in number of species (a), number of individuals (b), biomass (c), and diversity index (d) of the fishes collected at traveling screens of Hadong Power Plant in 1999.

(Fig. 3b, c), 1~3월까지 개체수와 생체량은 낮은 값을 보였다. 그러다가 4월에 개체수와 생체량이 급격히 증가하여 두 번째로 높은 개체수(5,166개체)와 가장 높은 생체량(20,423.7 g)을 보였다. 이 시기에 주둥치가 3,000개체 이상 채집되었다. 5월에는 개체수와 생체량이 감소하였으나, 6월에는 다시 증가하는 양상이었다. 멸치가 4,000개체 이상 채집된 7월에는 5,402개체 16,802.8 g이 채집되어 개체수에서 가장 높은 값을 보였다. 8월에는 개체수는 감소하였으나 생체량은 증가하였다. 그 이후 계속하여 개체수와 생체량은 감소하였으며, 11월에는 조사기간 중 가장 낮은 436개체 2,308.1 g이 채집되었다.

종다양도지수는 0.61(7월)~2.45(2월)의 큰 변화 폭을 보였다(Fig. 3d). 1월부터 3월까지 높은 종다양도지수 값을 보였는데, 이는 개체수는 적었지만, 다양한 어종이 채집되었기 때문이다. 한편, 4월부터 12월까지는 비교적 낮은 종다양도지수 값을 보였는데, 이는 주둥치, 갈치, 멸치 등에 의한 우점도가 높았기 때문이다. 특히 7월에는 0.61을 보여 가장 낮은 값을 보인 것은 멸치가 전체 채집량의 86.3%를 차지하며 극우점 하였기 때문이

다.

4. 주요 어종의 계절별 출현양상

전 조사기간 동안 가장 많이 채집된 주둥치(*L. nuchalis*)의 경우 연중 지속적으로 출현하였으며, 2.0~10.4 cm의 체장 범위를 보였다(Fig. 4a). 겨울에는 다른 계절에 비해 적은 개체수가 채집되었다. 특히 2월에는 가장 적은 개체수(2개체)가 채집되었다. 수온이 상승하는 4월에 개체수가 크게 증가하여 1년 중 가장 많은 3,211개체가 채집되었다. 이 시기에 채집된 주둥치는 5 cm 이하가 대부분이었다. 그 이후 개체수는 점차 감소하였으나 채집된 주둥치의 크기는 점차 커지는 경향을 보여 8월에는 대부분이 6~8 cm의 크기를 보였다. 9월에는 5 cm 이상 크기는 거의 채집되지 않은 반면 4 cm 이하의 작은 개체들이 대량 유입되면서 개체수가 증가하였다. 그러나 그 이후 지속적으로 채집개체수가 감소하는 양상을 보였다.

멸치(*E. japonicus*)의 경우 3월을 제외한 모든 달에 채집되었으며, 특히 여름에 많이 채집되었다(Fig. 4b). 체장은 2.9~13.2 cm의 범위를 보였다. 1월과 2월에는 각각 8개체, 2개체로 소량 채집되었으며, 3월에는 채집되지 않았다. 4월부터 개체수가 증가하기 시작하여 4월에서 6월까지 300개체 내외를 보였으며, 7월에는 가장 많은 개체수인 4,668개체가 채집되었다. 그러나 9월부터는 채집개체수가 점점 감소하는 양상을 보였다.

갈치(*T. lepturus*)는 1월에서 3월을 제외한 모든 달에 채집되었으며, 여름철에 많은 채집량을 보였다(Fig. 4c). 체장은 5.2~54.9 cm의 범위를 보였다. 4월부터 채집되기 시작하여, 6월에는 1,231개체가 채집되어 가장 많은 개체수를 보였다. 그 이후 점차 개체수가 감소하였으며, 수온이 낮은 겨울에는 거의 채집되지 않았다.

복섬(*T. niphobles*)은 연중 출현하였으며, 특히 겨울에 많은 채집량을 보였다(Fig. 5a). 체장은 2.3~12.7 cm의 범위를 보였다. 복섬은 수온이 낮은 1월에 가장 많은 365개체가 채집되었다. 그러나 수온이 상승하면서 개체수가 감소하였으며, 수온이 가장 높았던 8월에 가장 적은 개체수(9개체)가 채집되었다. 하지만 9월부터는 6 cm 이하의 작은 크기의 개체들이 유입되면서 채집개체수가 증가하는 양상이었다.

청멸(*T. kammalensis*)은 2, 11, 12월을 제외한 모든 달에 채집되었으며, 특히 봄에 많은 채집량을 보였다. 체장은 3.6~15.0 cm의 범위를 보였다(Fig. 5b). 3월이 되면서 채집되기 시작하여, 4월에 가장 많은 414개체가 채집되었다. 6월까지의 70개체 이상 채집되었으나, 그 이

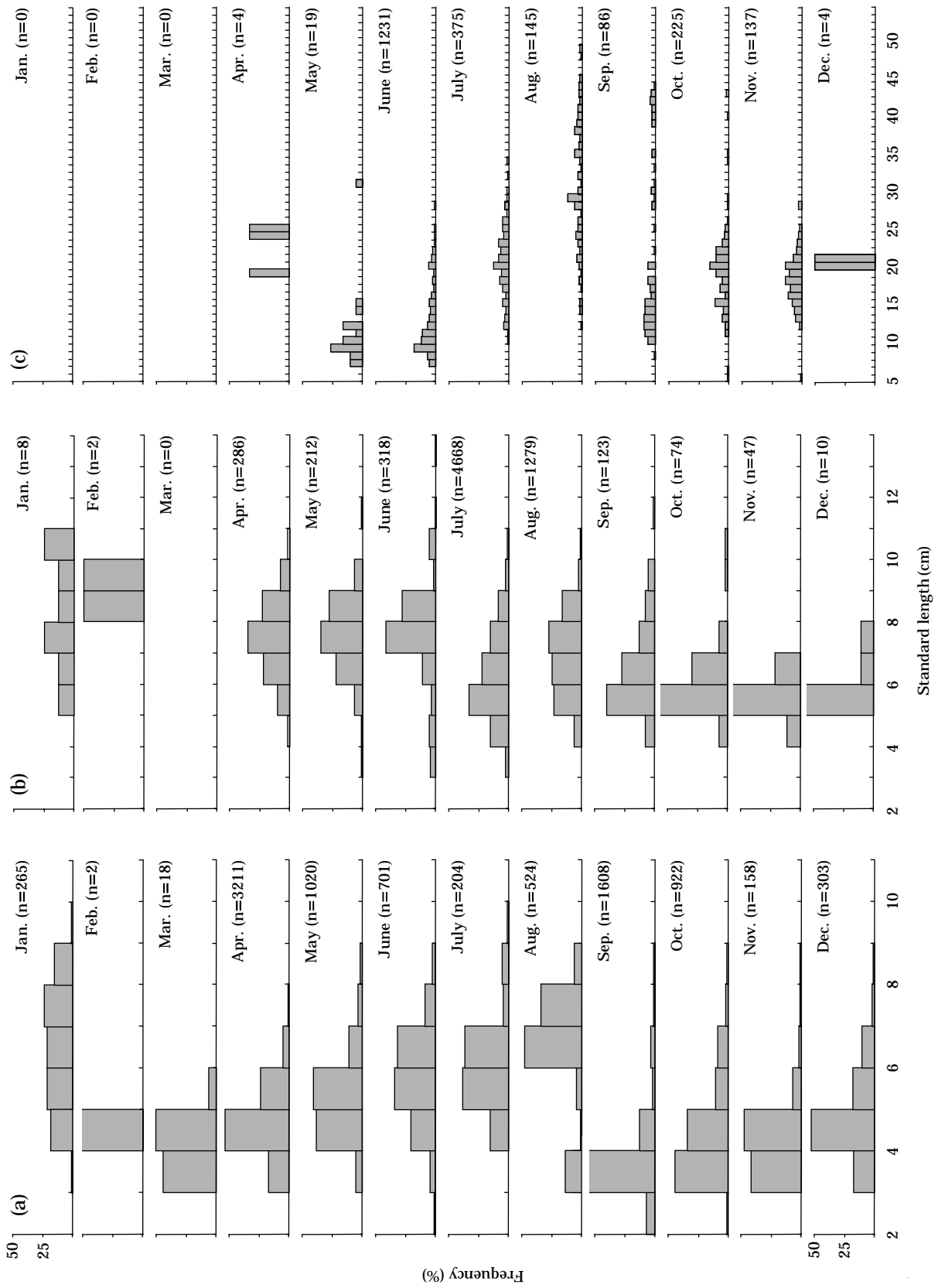


Fig. 4. Monthly variations in body length-frequency distribution of *Leignathus nuchalis* (a), *Engraulis japonicus* (b), and *Trichurus lepturus* (c) collected at traveling screens of Hadong Power Plants in 1999.

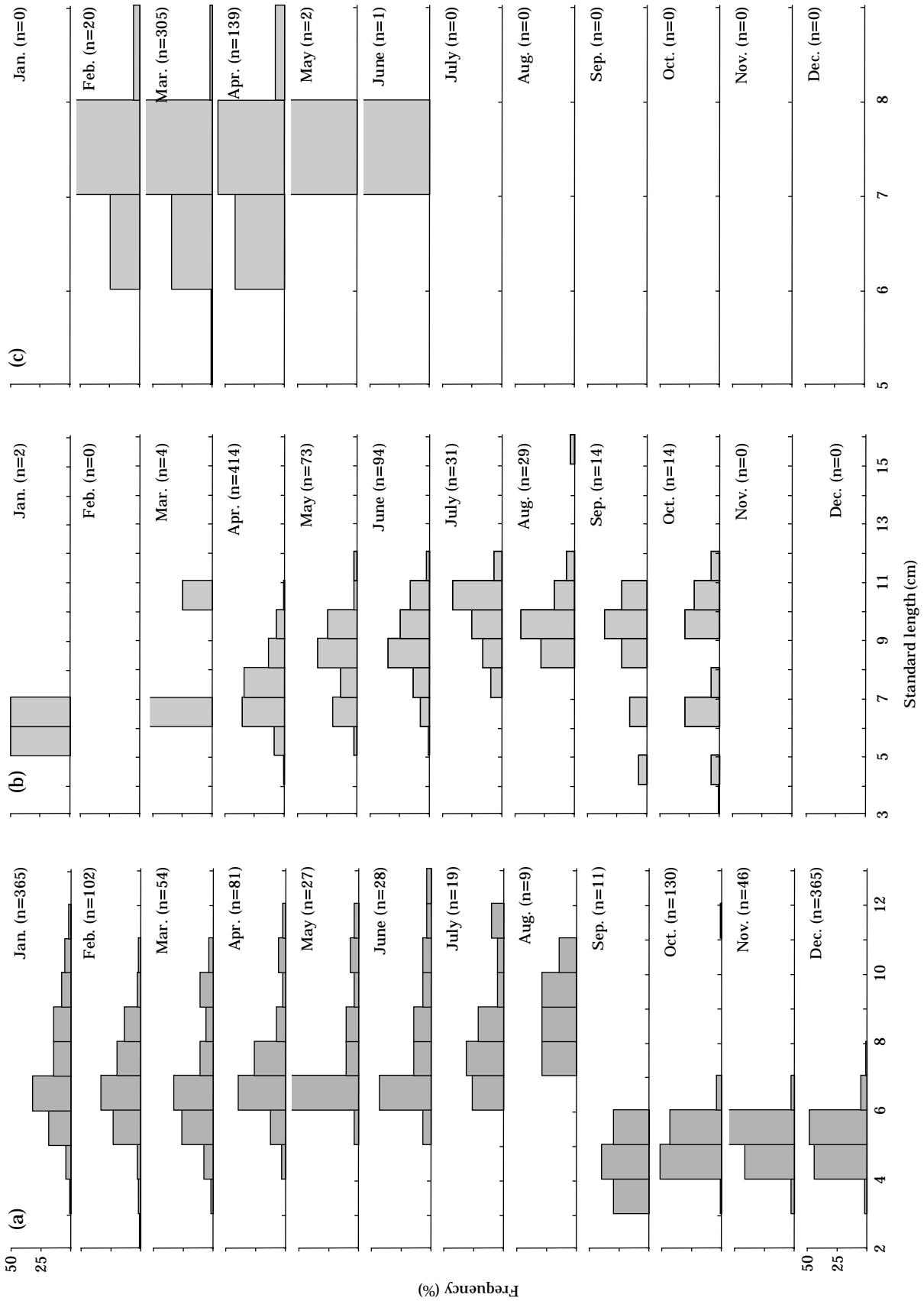


Fig. 5. Monthly variations in body length-frequency distribution of *Takifugu niphobles* (a), *Thryssa kammalensis* (b), and *Gasterosteus aculeatus* (c) collected at traveling screens of Hadong Power Plants in 1999.

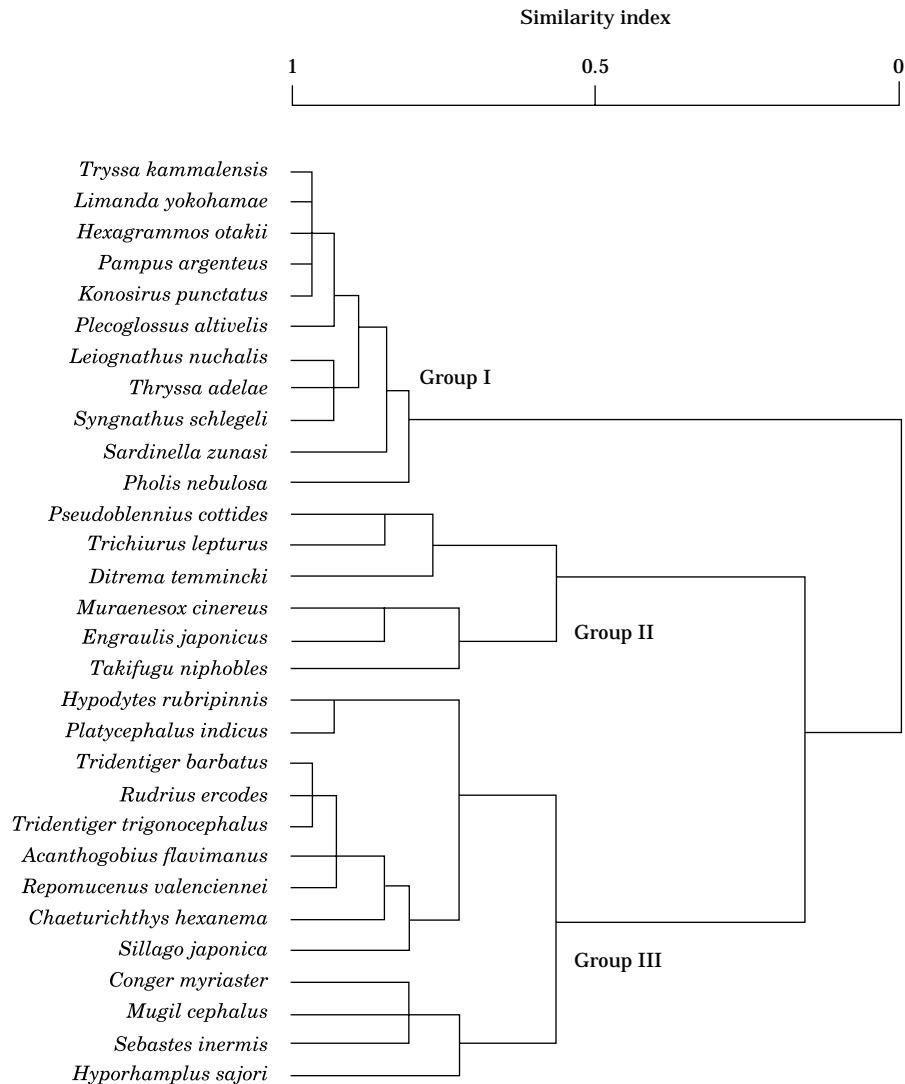


Fig. 6. Dendrogram illustrating the classification of fishes collected at traveling screens in Hadong Power Plant in 1999.

후 급격히 개체수가 감소하였으며, 겨울에는 거의 채집되지 않았다.

큰가시고기 (*G. aculeatus*)는 2월에서 6월까지만 채집되었으며, 체장은 5.4~8.4 cm의 좁은 범위를 보였다 (Fig. 5c). 2월에 20개체가 채집되었고, 3월에 305개체로 가장 많은 채집량을 보였다. 5월부터 급격히 감소하여 6월에 1개체밖에 채집되지 않았으며, 7월에서 1월까지 전혀 채집되지 않았다.

5. 출현양상에 따른 어종의 구분

조사 기간 중 비교적 많이 채집된 어종을 대상으로 출현시기에 대한 중복도지수를 구하여 집괴분석을 시행한 결과, 크게 3개의 무리로 나눌 수 있었다 (Fig. 6).

Group I : 봄에 많이 채집되었던 어종 그룹으로 주둥치, 청멸, 밴댕이, 전어, 풀반댕이 (*Thyryssa adelae*) 등이 이에 속한다. 주둥치와 풀반댕이는 연중 출현하였지만 특히 봄에 출현량이 높았다. 나머지 어종들은 3월까지 전혀 채집되지 않거나 소량 채집되었으나, 4월과 5월에 많은 채집량을 보였으며, 6월 이후 급격히 채집량이 감소하는 양상을 보였다.

Group II : 여름과 가을에 많이 채집되었던 어종 그룹으로 멸치, 갈치, 베도라치, 망상어 (*Ditrema temmincki*) 등이 이에 속한다. 이들 종들은 6월부터 10월까지 많은 채집량을 보였다.

Group III : 주로 겨울에 많이 채집되었던 어종 그룹으로 복섬, 두줄망둑, 실양태, 학공치, 미역치, 봉장어 등이 이에 속한다. 복섬, 봉장어, 학공치는 연중 출현하였지

만, 나머지 어종들은 4월 이후 거의 채집되지 않았다.

고 찰

조사기간 동안 하동화력발전소 취수구 스크린에서 채집된 어류는 84종이었다. 우리나라 동해에 위치한 고리 원자력발전소의 취수구 스크린 조사(허와 황, 1997)에서는 1차년도에 55종, 2차년도에 91종이 채집되어 2년간 100여종이 채집되었다. 한편 외국의 경우 벨기에 Schelde estuary에 위치한 Doel 발전소에서는 42종(Maes *et al.*, 1998)이 채집되었으며, 네덜란드 Ems estuary에 위치한 Ems 발전소에서는 52종(Haddingh and Jager, 2002)이, 영국 Oldbury 발전소에서는 60여종이 채집되었다(Potter *et al.*, 2001). 미국 펜실베이니아주의 Peach Bottom 원자력발전소에서는 33종이 채집되었으며(Mathur *et al.*, 1977), 플로리다주의 Florida 발전소에서는 2년간 73종이 채집되었다(Grimes, 1975). 그리고 Chesapeake Bay에 위치한 Calvert Cliffs 원자력발전소에서는 2년간 73종(Ringger, 2000)이 채집되었다(Table 2). 각 발전소마다 채집 장소, 시기, 횟수가 차이가 있어서 서로 직접 비교하기 어려웠으나, 대체적으로 외국 발전소보다 우리나라 발전소에서 채집 어종수가 많았다. 이처럼 우리나라 발전소에서 채집 어종수가 많은 것은 대규모 화력발전소와 원자력발전소가 어족자원이 풍부한 연안에 위치해 있기 때문이다.

하동화력발전소 취수구 스크린에서 가장 많이 채집된 어종은 주둥치, 멸치, 갈치, 복섬의 4종으로 전체 채집개체수의 78.2%와 채집생체량의 52.0%를 차지하였다. 주둥치는 4월에서 6월까지 많이 채집되었으며, 멸치와 갈치는 7월과 8월에, 그리고 복섬은 12월에서 2월까지 많이 채집되었다. 이와 같이 발전소 취수구 스크린에 의해 충돌 사망하는 어류가 소수 어종에 의해 우점되는 현상은 국내의 발전소 조사에서도 유사하게 나타났다(Potter *et al.*, 1990; 허와 황, 1997; Maes *et al.*, 1998; Haddingh and Jager, 2002). 그러나 발전소마다 취수구 스크린 어류 조사에서 나타난 주요 우점종은 차이를 보였다. 이처럼 우점종에 있어 차이를 보이는 것은 각 발전소 주변에서 출현하는 어류의 종조성이 다르기 때문으로 판단된다.

하동화력발전소 취수구 스크린에서 채집된 어류 개체수의 계절 변동을 살펴보면, 수온이 낮았던 11월에서 3월까지 적은 개체수를 보이다가 수온이 상승하는 4월에 급격히 증가하여 최고치를 보였다. 이후 7월까지 비교적 높은 값을 보이다가 9월 이후부터 감소하는 양상을 보

였다. 광양만에서 행하여진 어류 조사(허와 광, 1997, 1998; 허 등, 1998)에 따르면 수온이 높아지는 봄부터 어류의 출현량이 증가하여 가을까지 높은 출현량을 보이다가 수온이 내려가는 겨울에 출현량이 감소하는 경향을 보인다. 따라서 발전소 주변 연안역에서의 어류 출현량의 계절 변동이 하동화력발전소 취수구 스크린에서 충돌 사망하는 어류의 채집량에 영향을 미친 것으로 보인다. 겨울에 낮은 채집개체수를 보이는 것은 이 시기에 대부분의 어류들이 연안의 낮은 수온을 피하여 외해로 이동했기 때문이라 생각된다.

취수구 스크린에 의해 충돌 사망하는 해양생물 중에는 간혹 엄청난 양이 한꺼번에 발전소 주변으로 몰려들어 일시적으로 발전정지를 일으키기도 한다. 그동안 우리나라 원자력발전소에서 이와 같은 사고를 몇 차례 경험하였다. 맨 처음 1988년 2~3월경 고리원자력발전소 취수구에 큰가시고기가 대량으로 유입되면서 발전이 일시 정지되는 사고가 발생하였다. 그리고 최근 들어 올린 원자력발전소에서 수차례에 걸쳐 사고가 발생하였는데, 2001년 5월에는 난바다곤쟁이류(euphausiids)가 대량으로 유입되어 발전이 정지되었고, 2001년 8월에는 약 5,000톤에 달하는 해파리가 유입되어 발전 정지를 일으켰으며, 2003년 6월에는 살파(salps)가 대량 유입되면서 전력생산이 감소되는 사고가 발생하였다. 이처럼 냉각수의 취수구가 연안에 위치해 있는 발전소의 경우 해양생물의 유입에 따른 발전정지의 가능성이 상존해 있기 때문에 발전소마다 해양생물이 취수구에 대량 유입되는 현상을 사전에 방지하는 대책 마련이 필요하다고 생각된다.

본 연구 대상인 하동화력발전소는 섬진강이 인접해 있는 관계로 취수구 스크린에서 큰가시고기가 채집된 바 있고, 주둥치, 멸치, 복섬 등이 배수구 인근해역에서 대량으로 출현하고 있어 이 종들이 언젠가는 취수구에 대량 유입될 가능성이 있다고 생각된다. 발전소 취수구에 유입되는 생물들을 효과적으로 저감 또는 차단시키기 위해서는 발전소 건설 전에 발전소 건설 예정지 주변에서 출현하는 해양생물들에 대한 장기적이고 지속적인 조사 자료의 축적이 필요로 하며, 이러한 자료들을 기초로 하여 통계학적 자료 분석과 컴퓨터 시뮬레이션(simulation) 기술 등을 활용하여 어떤 해양생물 종이 어떤 시기에 해당 발전소 취수구에 대량 유입될 가능성이 있는지 사전에 예측해야 한다. 그리고 주요 위험 생물 종에 대한 생활사와 생태학적 특징을 파악하여 발전소의 위치와 취수지의 위치 및 형태를 결정하는데 있어 참고 해야 할 것이다.

Table 2. Comparisons of fish studies carried out at traveling screens of various power plants

Source	Present study	Huh and Hwang (1997)	Maes et al. (1998)	Haddingh and Jager (2002)	Potter et al. (2001)	Grimes (1975)
Site	Hodong Power Plant	Kori Nuclear Power Plant	Doel Nuclear Power Plant (Zeeschelde Belgium)	Emes Power Station (Netherlands)	Oldbury Power Station (England)	Florida Power Corporation's Stations (Florida U.S.)
Study period	Jan. ~ Dec. 1999	Apr. 1987 ~ Mar. 1989	July 1994 ~ June 1995	between 1960 and 1990	July 1972 and June 1977 Jan. 1996 and June 1999	1969 ~ 1970
Sampling frequency	16 days per month	10 days per month	semi-weekly	once a month (24 or 72 hours)	weekly in 1970's semi-weekly in 1990's	monthly
Total number of species	84	102 (55 in first year 91 in second year)	55 6 crustacean (2 shrimp, 4 crab)	52	42 ~ 63 in 1970's 49 ~ 50 in 1990's	73
Total number of individuals	24,705	59,068 ind. in first year 88,579 ind. in second year	not given	not given	29,366 (annual means) in 1970's 95,828 (annual means) in 1990's	5,169 in 1969 4,157 in 1970
Total biomass (g)	126,313.6	278,180.6 g in first year 402,960.6 g in second year	not given	not given	not given	not given
Dominant species	Leiognathus nuchalis Engraulis japonicus Trichurus lepturus Takifugu niphobles Thrysa kammalensis Gasterosteus aculeatus Sardinella zunasi	Gasterosteus aculeatus Engraulis japonicus Sardinella zunasi Trichurus lepturus Trachurus japonicus Scomber japonicus	Pomatoschistus microps Pomatoschistus minutus Pomatoschistus lozanoi Clupea harengus Sprattus sprattus Syngnathus rostellatus	Clupea harengus Gobiidae Syngnathus rostellatus Gasterosteus aculeatus Sprattus sprattus	Pomatoschistus minutus Dicentrarchus labrax Merlangius merlangus Sprattus sprattus Trisopterus esmarkii Liza ramada	Ogcocephalus radiatus Arius felis Bairdiella chrysura Anchoa mitchilli Lagodon rhomboides Eucinostomus gula Anchoa hepsetus Prionotus tribulus
Seasonal variations in						
1) number of species	23 (Nov.) ~ 49 (Apr.)	9 (Oct) ~ 41 (Feb)	not given	not given	not given	not given
2) number of individual	436 (Nov.) ~ 5,402 (July)	39 (Oct) ~ 5,426 (Mar)	not given	not given	not given	not given
3) biomass	2,308.1 (Nov.) ~ 20,423.7 (Apr.)		not given	not given	not given	not given
4) diversity	0.61 (July) ~ 2.45 (Feb.)	0.07 (Feb) ~ 2.22 (Oct)	not given	not given	not given	not given
Environmental factors						
1) temperature	7.3 (Feb.) ~ 26.5 (Aug.)	12.7 (Feb.) ~ 23.7 (Aug.)	4.9 (Feb.) ~ 24.8 (Aug.)	0 ~ 20	not given	not given
2) salinity	26.4 (Aug.) ~ 33.8 (May)	not given	7.99 (mean),	20 ~ 28	not given	not given
3) mesh size of screen	10 mm	not given	4 mm	6 mm	not given	9.53 mm

적 요

하동화력발전소의 취수구 스크린에 충돌 사망하는 어류의 종조성 및 계절변동을 조사하기 위해서 1999년 1월에서 12월까지 1년간 하동화력발전소 취수구 스크린에서 어류를 채집하였다. 조사기간 중 채집된 어종은 총 84종이었다. 가장 많이 채집된 어종은 주둥치 (*Leiognathus nuchalis*)였으며, 다음으로 멸치 (*Engraulis japonicus*), 갈치 (*Trichiurus lepturus*), 복섬 (*Takifugu niphobles*) 순이었다. 이들 네 어종이 전체 채집개체수의 78.2%, 채집생체량의 52.0%를 차지하였다. 어종수, 채집개체수, 생체량과 종다양도지수는 뚜렷한 계절변동을 보였는데, 어종수와 생체량은 4월과 8월에 높은 값을 보였으며, 개체수는 4월과 7월에 높은 값을 보였다. 그러나 겨울에는 채집어종수, 채집개체수와 생체량 모두 낮은 값을 보였다. 발전소 주변 연안역에서의 어류 출현량의 계절 변동이 하동화력발전소 취수구 스크린에서 충돌사망하는 어류의 채집량에 영향을 미친 것으로 보인다.

인 용 문 헌

- Amara, R. and C. Paul. 2003. Seasonal patterns in the fish and epibenthic crustaceans community of an intertidal zone with particular reference to the population dynamics of plaice and brown shrimp. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.*, 56 : 807~818.
- Amara, R., F. Lagardere, Y. Desaunay and J. Marchand, 2000. Metamorphosis and estuarine colonisation in the common sole, *Solea solea* (L.): implications for recruitment regulation. *Oceanol. Acta.*, 23 : 469~484.
- Araújo, F.G., R.G., Bailey and W.P. Williams, 1998. Seasonal and between-year variations of fish population in the middle Thames estuary: 1980~1989. *Fish. Manage. Ecol.*, 5 : 1~12.
- Araújo, F.G., W.P. Williams and R.G. Bailey. 2000. Fish assemblages as indicators faunistic of water quality in the middle Thames estuary, England (1980~1989). *Estuaries*, 23 : 305~317.
- Blaber, S.J.M., D.T. Brewer and J.P. Salini. 1995. Fish communities and the nursery role of the shallow inshore waters of a tropical bay in the Gulf of Carpentaria, Australia. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.* 40 : 177~193.
- Brown, R. 2000. The potential of strobe lighting as a cost-effective means for reducing impingement and entrainment. *Environ. Sci. Pol.*, 3 : 405~416.
- Grimes, C.B. 1975. Entrapment of fishes on intake water screens at a stream electric generating station. *Chesapeake Sci.*, 16 : 172~177.
- Hadderingh, R.H. and Z. Jager. 2002. Comparison of fish impingement by a thermal power station with fish populations in the Ems Estuary. *J. Fish Biol.*, 60 : 1~20.
- Haines, D.E. 2000. Biological control of gizzard shad impingement at a nuclear power plant. *Environ. Sci. Pol.*, 3 : 275~281.
- John, A.E. and K.T. Herbinson. 2000. Designing a light-mediated behavioral barrier to fish impingement and a monitoring program to test its effectiveness at a coastal power station. *Environ. Sci. Pol.*, 3 : 383~391.
- Lorda, E., D.J. Danila and J.D. Miller. 2000. Application of a population dynamics model to the probabilistic assessment of cooling water intake effects of Millstone Nuclear Power Station (Waterford, CT) on a nearby winter flounder spawning stock. *Environ. Sci. Pol.*, 3 : 471~482.
- 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. and Shelf Sci.*, 47 : 143~151.
- Mathur, D., P.G. Heisey and N.C. Magnusson. 1997. Impingement of fishes at Peach Bottom Atomic Power Plant, Pennsylvania, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106 : 258~267.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Arago, T. Ueno and T. Yoshino (eds.). 1984. *The Fishes of the Japanese Archipelago, Text and Plates*. Tokai Univ. Press, Tokyo, 437 pp. + 370 pls.
- Michaud, D.T. 2000. Wisconsin Electric's experience with fish impingement and entrainment studies. *Environ. Sci. Pol.*, 3 : 333~340.
- Nakabo, T., M. Aizawa, Y. Anomura, Akihito, Y. Ikeda, K. Sakamoto, K. Shimada, H. Senou, K. Hatoooka, M. Hayashi, U. Yamada and T. Yoshino. 1993. *Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species*. Tokai Univ. Press. Tokyo, 1162 pp.
- Pawson, M.G. and D.R. Eaton. 1999. The influence of a power station on the survival of juvenile sea bass in an estuarine nursery area. *J. Fish Biol.*, 54 : 1143~1160.
- Pianka, E.R. 1973. The structure of lizard communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 4 : 53~74.
- Potter, I.C., D.J. Bird, P.N. Claridge, K.R. Clarke, G.A. Hyndes and L.C. Newton, 2001. Fish fauna of the Severn Estuary. Are there long-term changes in abundance and species composition and are recruitment patterns of the main marine species correlated? *J. Exp. Mar.*

- Biol. Ecol., 258 : 15~37.
- Potter, I.C., L.E. Beckley, A.K. Whitfield and R.C.J. Lenanton. 1990. Comparisons between the roles played by estuaries in the life cycles of fishes in temperate Western Australia and Southern Africa. Environ. Biol. Fish., 28 : 143~178.
- Ringger, T.G. 2000. Investigations of impingement of aquatic organisms at the Calvert Cliffs Nuclear Power Plant, 1975-1995. Environ. Sci. Pol., 3 : 261~273.
- Ronafalvy, J.P., R.R. Cheesman and W.M. Matejek. 2000. Circulating water traveling screen modifications to improve impinged fish survival and debris handing at Salem Generating Station. Environ. Sci. Pol., 3 : 377~382.
- Sager, D.R., C.H. Hocutt and J.R. Stauffer Jr. 2000. Avoidance behavior of *Morone americana*, *Leiostomus xanthurus* and *Brevoortia tyrannus* to strobe light as a method of impingement mitigation. Environ. Sci. Pol., 3 : 393~403.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 177 pp.
- Thayer, G.W., Wolfe, D.A. Wolfe and R.B. Williams. 1975. The impact of man on seagrass systems. Amer. Sci., 63 : 289~296.
- Thompson, T. 2000. Intake modifications to reduce entrainment and impingement at Carolina Power & Light Company's Brunswick Steam Electric Plant, Southport, North Carolina. Environ. Sci. Pol., 3 : 417~424.
- Wallberg, P. and L. Moberg. 2002. Evaluation of 20 years of environmental monitoring data around Swedish nuclear installations. J. Environ. Radioact. 63 : 117~133.
- Winkle, W.V. 2000. A perspective on power generation impacts and compensation in fish population. Environ. Sci. Pol., 3 : 425~431.
- 유봉석·최 윤. 1993. 군산 연안 어류의 군집 변동. 한어지, 5 : 194~207.
- 이태원. 1993. 아산만 저어류. III. 정점간 양적 변동과 종조성. 한수지, 26 : 438~445.
- 이태원. 1996. 천수만 어류의 종조성 변화 1. 저어류. 한수지, 29 : 71~83.
- 이태원. 1998. 천수만 어류의 종조성 변화 3. 부어류. 한수지, 31 : 654~664.
- 이태원·김광천. 1992. 아산만 저어류. II. 종조성의 주간 및 계절변동. 한수지, 25 : 103~114.
- 이태원·황선완. 1995. 아산만 저어류 IV. 종조성의 최근 3년간(1990~1993) 변화. 한수지, 28 : 67~79.
- 차성식·박광재. 1997. 저인망에 채집된 광양만 어류의 종조성과 계절변동. 한어지, 9 : 235~243.
- 최종수. 1996. 원자력발전소 온배수에 의한 해양생태계 영향과 수산민원 대책에 관한 연구. 연세대 석사학위 논문, 55 pp.
- 허성희·곽석남. 1997. 광양만 잘피밭에 서식하는 어류의 종조성 및 계절변동. 한어지, 2 : 202~220.
- 허성희·곽석남. 1998. 저인망에 채집된 남해도 연안해역 어류의 종조성 및 계절 변동. 한어지, 10 : 11~23.
- 허성희·김남욱·추현기. 1998. 저인망에 채집된 광양만 대도 주변 어류의 종조성 및 계절 변동. 어업기술, 34 : 419~432.
- 허성희·황선재. 1997. 고리 원자력발전소 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류에 관한 연구. 한어지, 9 : 30~47.

Received: April 26, 2006

Accepted: July 18, 2006

Appendix I. Monthly variation in abundance of fishes collected at traveling screens in the Hadong Power Plant in 1999

Scientific name	January		February		March		April		May		June		July		August		September		October		November		December	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	6	248.7	12	317.6	4	82.0	2	95.7	3	137.7	2	50.5	1	2.5	2	79.6	1	48.0	1	52.1				
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>							1	67.5					1	2.5	28	555.2	2	48.0	1	38.9				
<i>Acentrogobius pflaumi</i>	1	2.2	1	3.6			3	8.4			2	3.4	1	3.7	1	2.7	1	2.3						
<i>Acropoma japonicum</i>									1	1.9	2	4.9												
<i>Anguilla japonica</i>											1	107.5												
<i>Apogon lineatus</i>									2	5.4	3	12.3	2	13.1			3	16.6	46	453.1	4	31.1		
<i>Argyrosomus argentatus</i>	1	3.6	31	159.0	20	114.4	16	95.5																
<i>Aulichthys japonicus</i>																								
<i>Carassius auratus</i>			2	109.5											3	73.0								
<i>Cephaloscyllium umbratile</i>					2	16.1	36	122.1	4	14.3														
<i>Chaenogobius castaneus</i>							2	5.6																
<i>Chaenogobius heptacanthus</i>																								
<i>Chaetodon auripes</i>	1	27.8																						
<i>Chaeturichthys hexanema</i>	4	18.8	11	67.2	9	53.1	7	44.5	4	34.9	2	16.7									3	14.3		
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	1	90.5																						
<i>Champsodon snyderi</i>							20	65.7	20	40.7	2	5.0	2	5.3										
<i>Chirolophis wui</i>	1	56.2	1	22.5	1	110.1	2	19.6																
<i>Coelrinchus multispinulosus</i>																								
<i>Collichthys lucidus</i>														11	25.1	42	92.1				2	19.3	1	12.9
<i>Conger myriaster</i>	18	827.2	9	388.6	7	208.4	15	542.3	17	890.3	17	921.8	18	1,265.7	15	1,054.0	11	693.1	23	1,493.8	11	729.9	15	378.7
<i>Cryptocentrus filifer</i>	1	7.5					1	5.0	1	5.0	4	27.3			3	24.5								
<i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>																								
<i>Cynoglossus interruptus</i>	6	29.1	1	12.9	1	19.3																		
<i>Cynoglossus joyneri</i>	1	11.2	2	14.7																				
<i>Ditrema temmincki</i>	1	24.8	6	419.0	1	49.8	1	30.6	1	52.3	9	162.6	4	120.1	17	925.0	27	1,924.0	11	609.3				
<i>Engraulis japonicus</i>	8	57.8	2	19.3			286	895.4	212	680.7	318	1,085.8	4,668	10,164.2	1,179	3,232.6	123	306.3	74	147.6	47	73.5	10	17.6
<i>Erisphex potti</i>	1	3.1	4	21.1	1	5.9	1	2.7	1	1.4	1	2.3			1	3.7								
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>	10	97.9					1	8.0																
<i>Favonigobius gymnauchen</i>							1	1.7																
<i>Gasterosteus aculeatus</i>			20	98.2	305	1,373.1	139	613.9	2	9.8	1	5.1												
<i>Gnathagnus elongatus</i>					1	16.0	1	17.1																
<i>Harpodon nehereus</i>	7	215.7					1	16.7	1	12.8														
<i>Hemirhamphus villosus</i>							2	5.3																
<i>Hexagrammos otakii</i>			1	0.9	3	6.4	44	127.7	22	175.6	7	76.2			2	79.0	1	23.5	3	124.7				
<i>Hippocampus japonicus</i>							2	1.5																
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	168	1,015.8	27	171.6	11	64.3	28	170.6	7	49.7	9	70.9	1	7.3	2	19.8			4	18.6	3	23.0	33	218.0
<i>Hyporhamphus sajori</i>	59	226.7	32	110.3	22	94.6	37	143.5	15	61.9	5	26.7	7	25.0	122	1,344.5	30	435.8	4	67.5	1	4.5	14	48.6
<i>Inimicus japonicus</i>							2	271.4	1	46.2														
<i>Johnius belengerii</i>							4	78.6	2	34.2	2	34.2			2	44.8	1	29.1	1	9.7				
<i>Kareius bicoloratus</i>							7	49.1	1	7.2	1	9.5	1	7.2	1	9.5	1	21.5						
<i>Konosirus punctatus</i>			1	51.4	10	104.1	291	3,784.1	24	497.4	3	60.4	4	89.5	15	428.5	4	99.7	10	288.0	1	5.7	1	3.9
<i>Lateolabrax japonicus</i>							3	13.5																
<i>Leiognathus nuchalis</i>	265	2,067.8	2	4.6	18	27.1	3,211	7,652.2	1,020	3,319.3	701	3,419.0	204	1,135.9	524	4,129.6	1,608	2,683.2	922	2,331.4	158	336.9	303	910.4
<i>Limanda yokohamae</i>	1	63.5					51	59.6	11	18.0	6	110.1			1	2.5	4	218.3	8	149.5				
<i>Liparis tanakai</i>					5	19.6	28	270.3																

(N: Number of individuals, W: weight)

Appendix I. Continued.

Scientific name	January		February		March		April		May		June		July		August		September		October		November		December			
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W		
<i>Mugil cephalus</i>	5	433.1	5	681.4	1	25.8	5	277.4	6	119.0	1	19.8	1	25.8	3	913.2	5	351.8	2	125.6						
<i>Muraenesox cinereus</i>																										
<i>Myctophum nitidulum</i>			2	1.6	1	1.0	10	9.8	5	346.0	3	237.0	13	670.6	19	1,195.4	7	439.1	5	320.6	1	93.3	2	138.5		
<i>Nibea albiflora</i>									1	56.0																
<i>Oplegnathus fasciatus</i>																										
<i>Pampus argenteus</i>					1	5.7	24	148.0	13	68.7																
<i>Paralichthys olivaceus</i>									1	7.5	2	18.9														
<i>Pholis fangi</i>									2	25.9																
<i>Pholis nebulosa</i>	7	200.4	6	157.5	3	89.5	5	91.5	10	286.7	30	1,011.2	1	32.3	2	43.6										
<i>Platycephalus indicus</i>	13	157.7	15	131.3	8	79.6	3	33.0	1	30.6	1	30.6			1	52.1	1	6.8								
<i>Plecoglossus altivelis</i>			2	17.1	5	45.0	11	64.2	3	30.5	1	9.6			1	35.6										
<i>Pleuronichthys cornutus</i>									1	5.0																
<i>Pseudaesopia japonicus</i>	5	114.6	1	23.1					12	21.6	12	29.8	8	274.2	3	46.4	2	11.4	6	76.1						
<i>Pseudoblennius cottides</i>																										
<i>Pseudoblennius percoides</i>	128	268.3	47	101.7	39	84.3	72	224.4			17	96.7	3	33.2	4	24.7	4	24.5	4	5.7						
<i>Repomucenus valenciennesi</i>	48	128.4	93	146.5	33	43.8	8	9.0																		
<i>Rudrius ercodes</i>	1	5.5							109	634.1	174	1,083.3	62	369.5	22	119.0	11	89.4	12	27.1	25	161.0	2	7.0	3	7.6
<i>Sardinella zunasi</i>																										
<i>Scomber japonicus</i>	7	277.6	5	312.9	1	79.9	5	416.7			5	103.0			2	23.3										
<i>Sebastes inermis</i>																										
<i>Sebastes schlegeli</i>																										
<i>Sebastes taczanowskii</i>																										
<i>Seriola quinqueradiata</i>																										
<i>Sillago japonica</i>	39	184.2	10	35.9	4	11.8	45	142.3	10	38.9	4	38.5	5	55.1	4	65.4										
<i>Sphyræna pinguis</i>																										
<i>Strongylura anastomella</i>																										
<i>Synechogobius hasta</i>					3	285.5	4	185.7	2	102.6																
<i>Syngnathus schlegeli</i>					4	5.8	19	33.7	2	4.1	12	26.6	3	8.4	5	10.7	1	1.2								
<i>Takifugu niphobles</i>	365	5,429.6	102	1,153.2	54	607.4	81	976.2	27	331.8	28	540.6	19	380.2	9	255.8	11	62.1	130	601.9	46	217.3	356	1,699.4		
<i>Takifugu stictionotus</i>					3	45.4	1	18.6							2	8.8	1	5.8								
<i>Therapon theraps</i>																										
<i>Thryssa adalae</i>	5	19.7	3	9.7	10	40.7	59	358.9	1	3.7	3	16.0	1	3.7	4	52.8	15	84.1	37	166.0	3	7.6	3	10.2		
<i>Thryssa kammalensis</i>	2	5.1			4	17.7	414	1,483.8	73	408.2	94	838.0	31	354.3	29	269.3	14	111.5	14	114.6						
<i>Trachurus japonicus</i>									3	6.5	3	39.3	1	16.2												
<i>Trichiurus lepturus</i>									3	15.9	19	27.3	1,231	2,071.3	375	1,914.6	145	2,621.1	86	727.2	225	918.2	137	403.2	4	14.8
<i>Tridentiger barbatus</i>	7	71.0	8	106.9	6	60.5	1	17.6			2	34.7	1	28.8												
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	50	294.8	181	1,011.2	62	342.3	54	381.9	9	60.3	2	16.9	1	5.1	11	261.3	8	49.7								
<i>Tylosurus acus melanotus</i>									1	96.2																
<i>Upeneus bensasi</i>																										
Total	1,243	12,685.9	645	5,882.0	664	4,237.7	5,166	20,423.7	1,749	9,494.3	2,621	12,118.9	5,402	16,802.8	2,233	18,320.2	2,113	9,334.9	1,660	10,801.2	436	2,308.1	773	3,903.9		

(N: Number of individuals, W: weight)