

고리 원자력발전소 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류에 관한 연구

허 성 회 · 황 선 재 *

부경대학교 해양학과 · * 국립수산진흥원 원양자원과

고리 원자력발전소 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류의 종조성 및 우점종의 출현양상을 1987년 4월부터 1989년 3월까지 2년간 매월 조사하였다. 조사 기간중 채집된 어류는 총 102종이었다. 가장 많이 채집된 어종은 큰가시고기(*Gasterosteus aculeatus aculeatus*)였으며, 그 다음으로 멸치(*Engraulis japonicus*), 밴댕이(*Sardinella zunasi*), 갈치(*Trachirus lepturus*) 순이었다. 이들 네 어종은 총 개체수의 97.4%, 생체량의 92.2%를 차지하였다. 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류는 2월과 3월에 가장 많았으며, 나머지 달에는 적었다. 어류의 사망율에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수온이었는데, 수온이 낮은 시기에 스크린에 의한 어류의 사망율이 크게 증가되었다.

서 론

현재 우리나라에서 생산되는 전력의 30% 정도를 원자력 발전에 의존하고 있다. 우리나라에서 최초로 건설된 원자력발전소는 1978년 4월에 상업가동을 시작한 고리 원자력발전소 1호기(59.5만 kW)이다. 그 이후 영광, 월성 및 울진에 원자력발전소가 건설되어 현재 총 12기의 원자로가 가동중에 있고, 앞으로도 계속 원자력발전소가 건설될 예정이다. 고리 원자력발전소의 경우, 1983년, 1985년 및 1986년에 2호기(65만 kW), 3호기(95만 kW), 4호기(95만 kW)가 각각 건설되어 현재 총 4개의 발전기가 가동중에 있다. 그러나 원자력발전은 발전 단가가 화력발전에 비해 저렴하기 때문에 경제적인 이점도 있지만 한편으로는 안전 문제나 환경 문제를 일으키기도 한다. 특히 환경 문제에 있어서 원자력발전소는 구조상 많은 양의 해수를 냉각수로 이용하므로 이에 따른 냉각수 취수와 온배수의 방출이 주변 해양 생태계에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

냉각수의 취수 및 온배수 방출 과정에서 발생하는 생물의 영향은 크게 세가지로 나눌 수 있다. 첫째는

해양생물이 발전소 취수구 스크린에 충돌 사망하거나 냉각계통을 통과하면서 입는 기계적인 영향이며, 둘째는 온배수에 의한 발전소 인접 해역의 온도 상승에 따른 영향이고, 셋째로 온배수와 함께 유출되는 화학 물질에 의한 영향이다.

취수구 스크린(traveling intake water screen)은 해수를 취수하는 과정에서 해양생물이나 이물질이 냉각계통에 유입되는 것을 막는 1차적인 취수구 보호설비로서 하루에 수 차례 수동으로 작동되고 있다. 취수구 스크린에 의해 제거되는 해양생물은 어류를 비롯한 대형 무척추동물, 해조류 등이 대부분을 차지하고 있는데, 특히 어류에 미치는 영향은 중요한 연구과제로 대두되고 있다.

외국의 경우는 오래전부터 발전소의 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다(Landry and Strawn, 1974; Crotbeck and Bechthold, 1975; Grimes, 1975; Mathur et al., 1977; van den Broek, 1979; Dempsey, 1988; Turnpenny, 1988). 그러나 우리나라에서는 발전소 가동 이후 '사후 환경영향 조사' 차원에서 1년에 1~2차례의 조사가 행해지고 있을 뿐, 아직 까지 이에 대한 구체적인 학술연구가 이루어진 바

없다.

본 연구는 원자력발전소의 가동에 따른 주변 해양 생태계의 영향을 밝히기 위한 종합적인 연구의 일환으로 고리 원자력발전소의 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류에 대해 정량적인 조사를 실시하였다. 즉, 어떤 어종이 고리 원자력발전소의 취수구 스크린에 의해 사망하고 있으며, 이들의 계절적 변동은 어떤 양상을 보이고 있는지를 밝혔다.

재료 및 방법

1987년 4월부터 1989년 3월까지 2년간에 걸쳐 매월 10회 부산광역시 기장군 장안읍에 위치한 고리 원자력발전소(Fig. 1)에서 각 호기별로 가동중인 취수구 스크린에 의해 제거된 어류를 채집·분석하였다.

본 연구에서 취수구 스크린의 가동시간은 1회 1시간을 기준으로 하였으며, 채집시간은 오전 10시부터 오후 3시 사이에 이루어졌다. 취수구 스크린의 가동대수는 1호기의 경우 5대, 2호기의 경우 4대였으며, 발전 용량이 큰 3호기와 4호기의 경우 각 8대였다.

취수구 스크린의 가동 과정을 보면, 우선 취수지의 해수가 취수구 입구에 있는 20cm 간격의 종축형의 바를 통과하면서 큰 이물질이 1차로 제거된

다. 2차로 상하로 회전하는 traveling screen (망목 10×10mm)에 걸리는 해양생물 및 이물질은 콘베이어 벨트 형태로 지상 상층부로 이동되어 수로를 통해 채집조에 모이게 된다.

채집조에서 어류만을 분리한 다음 현장에서 10% 중성 포르말린에 고정시켜 실험실로 운반한 후, 동정·계수하였다. 각 어체별로 체장은 1mm 까지, 그리고 생체량은 0.1 g 까지 측정하였다. 종의 동정에는 정(1977), Masuda *et al.*(1984), 김·강(1993), Nakabo(1993) 등을 이용하였다. 어류 채집물에 대한 종다양도 지수(species diversity index)는 Shannon-Wiener의 식(Shannon and Weaver, 1949)을 이용하여 구했다.

결 과

1. 수 온

취수지에서 수온을 측정한 결과, 수온은 연중 12.7~23.7℃의 범위를 보였다. 겨울에 수온이 낮고 여름철에 수온이 높은 전형적인 온대수역의 계절적 변동 양상을 나타내었다. 연중 최저 수온과 최고 수온을 기록한 시기는 1차년도(1987년 4월~1988년 3월)에는 2월(13.2℃)과 9월(22.5℃)이었고, 2차년도(1988년 4월~1989년 3월)에는 2월(12.7℃)과 8월(23.7℃)이었다(Fig. 2).

2. 어류의 종조성

조사 기간 동안 채집된 어류는 102종에 속하는 총 147,647개체였으며, 생체량은 681.1kg이었다. 가장 많이 채집된 종은 큰가시고기(*Gasterosteus aculeatus aculeatus*)로서 채집된 어류 총개체수의 86.6%와 생체량의 77.7%를 차지하였다(Table 1).

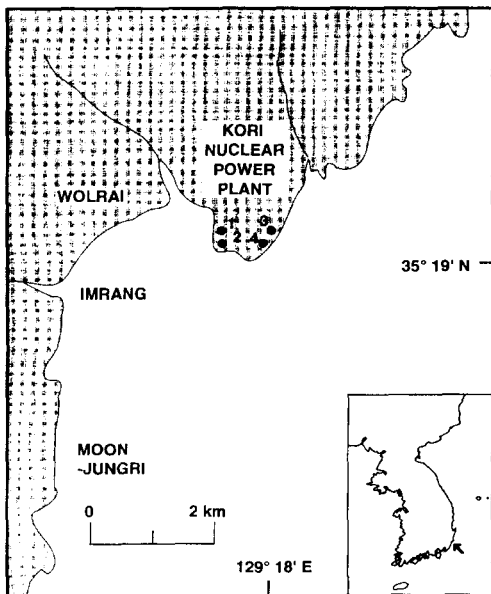


Fig 1. Location of the sampling stations(●).

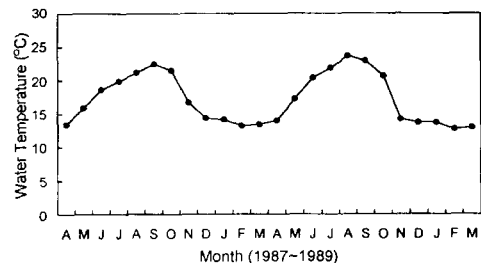


Fig 2. Monthly variation in intake water temperature.

Table 1. Species composition of fishes collected from the traveling screens at Kori Nuclear Power Plant from April 1987 to March 1989

Species	Apr. 1987~Mar. 1988		Apr. 1988~Mar. 1989		Total			
	N	W	N	W	N	%	W	%
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	47,959	200,062.6	79,823	329,318.5	127,782	86.55	529,381.1	77.73
<i>Engraulis japonicus</i>	6,438	35,130.7	3,200	12,887.8	9,638	6.53	48,018.5	7.05
<i>Sardinella zunasi</i>	2,794	14,729.2	2,017	11,788.8	4,811	3.26	26,518.0	3.89
<i>Trichiurus lepturus</i>	73	888.0	1,431	23,256.1	1,504	1.02	24,144.1	3.54
<i>Trachurus japonicus</i>	325	1,186.4	21	449.8	346	0.23	1,636.2	0.24
<i>Scomber japonicus</i>	259	1,838.0	60	1,434.0	319	0.22	3,272.0	0.48
<i>Acropoma japonicum</i>	207	438.0	71	303.2	278	0.19	741.2	0.11
<i>Thryssa kammalensis</i>	104	1,327.3	168	1,922.7	272	0.18	3,250.0	0.48
<i>Thamnaconus modestus</i>	47	2,551.0	165	2,737.9	212	0.14	5,288.9	0.78
<i>Myctophum affine</i>	23	72.0	165	204.4	188	0.13	276.4	0.04
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	50	191.6	127	570.4	177	0.12	762.0	0.11
<i>Hexagrammos agrammus</i>	9	175.2	156	2,437.7	165	0.11	2,612.9	0.38
<i>Rudarius ercodes</i>	103	219.3	58	90.7	161	0.11	310.0	0.05
<i>Neoditrema ransonneti</i>	8	111.9	152	1,863.0	160	0.11	1,974.9	0.29
<i>Ditrema temmincki</i>	111	3,893.0	17	1,154.0	128	0.09	5,047.0	0.74
<i>Hexagrammos otakii</i>	115	2,488.0	11	217.5	126	0.09	2,705.5	0.40
<i>Sillago japonica</i>	37	541.1	66	432.0	103	0.07	973.1	0.14
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	35	972.8	66	1,768.3	101	0.07	2,741.1	0.40
<i>Spratelloides gracilis</i>			95	181.9	95	0.06	181.9	0.03
<i>Pterogobius elapoides</i>	22	121.7	65	320.5	87	0.06	442.2	0.06
<i>Takifugu niphobles</i>	47	1,089.0	38	466.3	85	0.06	1,555.3	0.23
<i>Osmerus mordax dentex</i>			80	483.8	80	0.05	483.8	0.07
<i>Coryphaena hippurus</i>			75	992.0	75	0.05	992.0	0.15
<i>Sphyranea pinguis</i>	9	149.0	64	957.4	73	0.05	1,106.4	0.16
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	53	5,022.8	16	982.0	69	0.05	6,004.8	0.88
<i>Hyporhamphus sajori</i>	49	1,295.7	18	686.6	67	0.05	1,982.3	0.29
<i>Apogon lineatus</i>	43	233.4	17	53.9	60	0.04	287.3	0.04
<i>Cypselurus poecilopterus</i>			36	303.9	36	0.02	303.9	0.04
<i>Takifugu xanthopterus</i>			27	1,126.4	27	0.02	1,126.4	0.17
<i>Pholis fangi</i>	15	270.3	12	263.5	27	0.02	533.8	0.08
<i>Konosirus punctatus</i>	23	368.0	1	28.1	24	0.02	396.1	0.06
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	17	75.0	5	13.2	22	0.01	88.2	0.01
<i>Siganus fuscescens</i>			21	440.4	21	0.01	440.4	0.06
<i>Apogon semilineatus</i>			21	44.1	21	0.01	44.1	0.01
<i>Girella punctata</i>	11	388.5	8	253.0	19	0.01	641.5	0.09
<i>Leiognathus nuchalis</i>	9	24.7	9	75.6	18	0.01	100.3	0.01
<i>Laeops kitaharae</i>	15	140.2	2	9.9	17	0.01	150.1	0.02
<i>Pempheris japonica</i>			16	57.5	16	0.01	57.5	0.01
<i>Upeneus bensasi</i>	1	3.4	14	117.2	15	0.01	120.6	0.02
<i>Conger myriaster</i>	7	167.0	6	178.9	13	0.01	345.9	0.05
<i>Heniochus acuminatus</i>			11	158.9	11	0.01	158.9	0.02
<i>Leiognathus elongatus</i>			10	20.6	10	0.01	20.6	-
<i>Coilia nasus</i>	1	6.7	8	146.7	9	0.01	153.4	0.02
<i>Repomucenus valenciennesi</i>	4	42.0	5	70.2	9	0.01	112.2	0.02
<i>Stichaeus grigorjewi</i>			9	48.0	9	0.01	48.0	0.01
<i>Liparis tanakai</i>	8	1,481.0	1	5.6	9	0.01	1,486.6	0.22
<i>Zeus japonicus</i>	3	12.3	6	13.2	9	0.01	25.5	-
<i>Plecoglossus altivelis</i>	1	8.0	6	36.0	7	-	44.0	0.01
<i>Syngnathus schlegelii</i>	1	2.8	6	15.9	7	-	18.7	-
<i>Cheilodipterus</i> sp.			6	17.9	6	-	17.9	-
<i>Flammeo spinosissimus</i>			6	112.4	6	-	112.4	0.02

- : less than 0.01%

N : number of individuals, W : wet weight(g)

Table 1. (continued)

Species	Apr. 1987~Mar. 1988		Apr. 1988~Mar. 1989		Total			
	N	W	N	W	N	%	W	%
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	2	8.8	3	9.3	5	-	18.1	-
<i>Halichoeres poecilopterus</i>			4	83.1	4	-	83.1	0.01
<i>Priacanthus macracanthus</i>	4	74.9			4	-	74.9	0.01
<i>Chirolophis japonicus</i>	3	51.7	1	155.8	4	-	207.5	0.03
<i>Petroscirtes breviceps</i>			4	18.4	4	-	18.4	-
<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>			4	29.5	4	-	29.5	-
<i>Aulichthys japonicus</i>	4	26.9			4	-	26.9	-
<i>Halichoeres</i> sp.			4	24.2	4	-	24.2	-
<i>Sagamia geneionema</i>	1	10.0	3	19.2	4	-	29.2	-
<i>Hippocampus coronatus</i>			4	27.0	4	-	27.0	-
<i>Paramonacanthus japonicus</i>			4	31.3	4	-	31.3	-
<i>Cynoglossus interruptus</i>			3	49.2	3	-	49.2	0.01
<i>Platycephalus indicus</i>	3	32.0			3	-	32.0	-
<i>Saurida undosquamis</i>			3	37.8	3	-	37.8	0.01
<i>Pictiblennius yatabei</i>			3	11.2	3	-	11.2	-
<i>Cynoglossus joyneri</i>	3	52.0			3	-	52.0	0.01
<i>Pagrus major</i>			3	6.6	3	-	6.6	-
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	1	42.0	2	124.2	3	-	166.2	0.02
<i>Caranx sexfasciatus</i>			3	6.0	3	-	6.0	-
<i>Erisphex potti</i>	1	15.0	2	4.0	3	-	19.0	-
<i>Ocynectes maschalis</i>			2	6.6	2	-	6.6	-
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	2	8.0			2	-	8.0	-
<i>Fistularia villosa</i>			2	65.0	2	-	65.0	0.01
<i>Liza haematocheila</i>			2	36.0	2	-	36.0	0.01
<i>Scorpaenodes littoralis</i>			2	33.1	2	-	33.1	-
<i>Pholis nebulosa</i>			2	89.2	2	-	89.2	0.01
<i>Alectis ciliaris</i>			2	14.4	2	-	14.4	-
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>			2	20.8	2	-	20.8	-
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	1	10.0	1	9.5	2	-	19.5	-
<i>Daicocis peterseni</i>	2	62.2			2	-	62.2	0.01
<i>Microcanthus strigatus</i>			2	37.6	2	-	37.6	0.01
<i>Acanthogobius flavimanus</i>			2	33.2	2	-	33.2	-
<i>Diodon holocanthus</i>			2	49.6	2	-	49.6	0.01
<i>Liparis tessellatus</i>			2	6.2	2	-	6.2	-
<i>Fistularia petimba</i>			1	28.1	1	-	28.1	-
<i>Strongylura anastomella</i>			1	0.8	1	-	0.8	-
<i>Trachinocephalus myops</i>			1	29.2	1	-	29.2	-
<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	1	5.2			1	-	5.2	-
<i>Leiognathus</i> sp.			1	1.5	1	-	1.5	-
<i>Chromis notatus notatus</i>			1	27.3	1	-	27.3	-
<i>Muraenesox cinereus</i>			1	37.2	1	-	37.2	0.01
<i>Repomucenus lunatus</i>	1	10.0			1	-	10.0	-
<i>Aptocylus ventricosus</i>			1	149.0	1	-	149.0	0.02
<i>Chaetodon modestus</i>			1	1.5	1	-	1.5	-
<i>Chromis</i> sp.			1	1.1	1	-	1.1	-
<i>Ammodytes personatus</i>			1	2.5	1	-	2.5	-
<i>Apogon kiensis</i>	1	37.0			1	-	37.0	0.01
<i>Inimicus japonicus</i>	1	13.0			1	-	13.0	-
<i>Chasmichthys gulosus</i>	1	4.3			1	-	4.3	-
<i>Parapercis sexfasciata</i>			1	62.8	1	-	62.8	0.01
Unidentified sp.			1	3.3	1	-	3.3	-
Total	59,068	278,180.6	88,579	402,900.6	147,647	100	681,081.2	100

- : less than 0.01%

N : number of individuals, W : wet weight(g)

그 다음으로 많이 채집된 어류는 멸치(*Engraulis japonicus*), 밴댕이(*Sardinella zunasi*), 갈치(*Trichiurus lepturus*) 순이었는데, 멸치는 총개체수의 6.5%, 생체량의 7.1%를, 밴댕이는 총개체수의 3.3%, 생체량의 3.9%를, 갈치는 총개체수의 1.0%, 생체량의 3.5%를 각각 차지하였다. 이들 네 우점 어종은 총개체수의 97.4%와 생체량의 92.2%를 차지하였다.

채집된 개체수가 100개체 이상을 차지한 어종은 전갱이(*Trachurus japonicus*), 고등어(*Scomber japonicus*), 반딧불게르치(*Acropoma japonicum*), 청멸(*Thryssa kammalensis*), 말쥐치(*Thamnaconus modestus*), 샛비늘치(*Myctophum affine*), 미역치(*Hypodytes rubripinni*), 노래미(*Hexagrammos agrammus*), 그물코쥐치(*Rudarius ercodes*), 인상어(*Neoditrema ransonneti*), 망상어(*Ditrema temmincki*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*), 청보리멸(*Sillago japonica*) 및 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)의 14종이었으며, 그 외 어종은 100개체 미만이 채집되었다(Table 1).

각 호기별 어류 채집량은 1, 2호기에 비해 3, 4호기에서 훨씬 많았다(Table 2). 출현 종수의 경우 채집된 총 102종 중 동일한 취수지를 가지는 1, 2호기에는 73종이 채집되었으며, 3, 4호기에서는 이보다 많은 84종의 어류가 채집되었다.

호기별 주요 우점종은 1호기의 경우 멸치, 큰가시고기, 고등어, 전갱이 순이었고, 2호기는 큰가시고기, 멸치, 밴댕이, 전갱이 순이었다. 3호기와 4호기는 큰가시고기, 멸치, 밴댕이, 갈치 순으로 나타났다. 따라서 멸치와 큰가시고기는 1, 2, 3, 4 호기 모든 정점에서 우점한 것으로 나타났다. 그 밖에 많이 출현하는 종을 보면, 전갱이, 고등어는 주로 1, 2 호기에서, 그리고 밴댕이, 갈치, 반딧불게르치, 샛비늘치, 청멸은 주로 3, 4호기에서 많이 채집되었다(Table 2).

Table 3은 조사 기간중 100개체 이상 채집된 18개 어종의 체장 분포를 보여준다. 가장 많이 채집된 큰가시고기는 64~78mm(평균 69.8±3.4mm)의 표준체장(standard length) 범위를 보였으며, 멸치는 39~117mm(평균 83.6±14.4mm)의 범위를 보였다. 밴댕이는 53~117mm(평균 79.7±12.6mm)의 범위를 보였고, 갈치는 전장(total

Table 2. Number of fishes collected from traveling screens at each station from April 1998 to March 1989.

Species	Station				Total
	1	2	3	4	
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	720	2,039	70,323	54,700	127,782
<i>Engraulis japonicus</i>	1,760	838	4,365	2,675	9,638
<i>Sardinella zunasi</i>	57	641	2,262	1,851	4,811
<i>Trichiurus lepturus</i>	19	45	445	995	1,504
<i>Trachurus japonicus</i>	102	205	16	23	346
<i>Scomber japonicus</i>	146	111	5	57	319
<i>Acropoma japonicum</i>	6	6	158	108	278
<i>Thryssa kammalensis</i>	27	60	117	68	272
<i>Thamnaconus modestus</i>	22	36	35	119	212
<i>Myctophum affine</i>	7	5	42	134	188
Others	345	530	699	723	2,297
Total	3,211	4,516	78,467	61,453	147,647

Table 3. Range(RSL) and mean(MSL) of standard length of the dominant fish species collected from traveling screens

Species	RSL(mm)	MSL(mm)±SD
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	64~78	69.8±3.4
<i>Engraulis japonicus</i>	39~117	83.6±14.4
<i>Sardinella zunasi</i>	53~117	79.7±12.6
<i>Trichiurus lepturus</i>	*187~563	*318.3±68.7
<i>Trachurus japonicus</i>	59~168	106.2±31.4
<i>Scomber japonicus</i>	86~157	122.2±20.6
<i>Acropoma japonicum</i>	35~77	51.0±9.4
<i>Thryssa kammalensis</i>	75~132	109.0±8.6
<i>Thamnaconus modestus</i>	25~201	101.8±42.6
<i>Myctophum affine</i>	42~45	44.0±0.5
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	36~63	47.9±7.6
<i>Hexagrammos agrammus</i>	51~171	86.1±20.1
<i>Rudarius ercodes</i>	22~61	36.2±8.3
<i>Neoditrema ransonneti</i>	47~165	84.6±23.9
<i>Ditrema temmincki</i>	99~186	152.1±22.4
<i>Hexagrammos otakii</i>	92~158	116.0±15.5
<i>Sillago japonica</i>	49~171	83.8±27.4
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	25~168	78.9±26.2

* total length

length)을 측정하였는데, 그 범위는 187~563mm(평균 318.3±68.7mm)로 채집된 어종 중 가장 컸다. 그밖에 나머지 어종은 대부분이 표준체장이 100mm 내외의 소형 어류로 이루어져 있었다.

3. 어류의 계절 변동

발전소 취수구 스크린에서 매월 채집된 어류의 조사 결과는 Appendix에 제시되어 있다.

조사기간 동안 채집된 어류의 월별 어종수는 9종(1987년 10월)에서 41종(1989년 2월)의 변동 범위를 보였다. 대체로 겨울부터 여름까지 출현 종수가 많았으나, 가을에는 낮은 출현 종수를 보였다(Fig. 3).

월별 채집 개체수는 1시간 취수구 스크린 가동당 평균 39개체(1987년 10월)에서 5,426개체(1989년 3월)의 변동 범위를 보였다. 변동 양상을 보면, 12월부터 채집량이 증가하기 시작하여 2월과 3월에 연중 최고치를 보였다. 그러나 4월부터는 감소하기 시작하였으며, 연중 최소치를 보인 9월과 10월까지 지속적으로 낮은 채집 개체수를 보였다(Fig. 4).

월별 주요 우점종의 변화를 보면, 1987년 4월부터 12월까지는 멸치가 가장 우점하였으나, 1988년 1월부터 4월까지는 큰가시고기가 계속해서 우점하였다. 그 이후 5~6월에는 멸치가, 7~8월에는 갈치가 우점하였고, 10월부터 12월까지는 다시 멸치가 우점하였다. 그리고 1989년 1월부터 3월까지 1988년과 마찬가지로 큰가시고기가 우점하였다(Table 4).

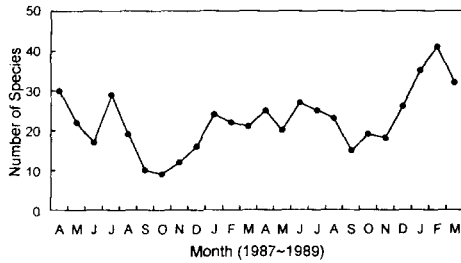


Fig. 3. Monthly variation in number of fish species collected at traveling screens.

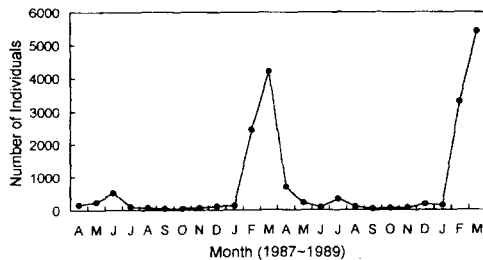


Fig. 4. Monthly variation in average number of fishes collected per day (for an hour operation of traveling screens).

Table 4. Monthly dominant fish species at traveling screens from April 1987 to March 1989

Month	Dominant species
1987 Apr.	<i>Engraulis japonicus</i> , <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i> , <i>Hexagrammos otakii</i>
May	<i>E. japonicus</i>
Jun.	<i>E. japonicus</i>
Jul.	<i>E. japonicus</i> , <i>Scomber japonicus</i> , <i>Trachurus japonicus</i>
Aug.	<i>E. japonicus</i> , <i>Acropoma japonicum</i>
Sep.	<i>E. japonicus</i> , <i>T. japonicus</i> , <i>Rudarius ercodes</i>
Oct.	<i>E. japonicus</i> , <i>T. japonicus</i>
Nov.	<i>E. japonicus</i> , <i>T. japonicus</i>
Dec.	<i>E. japonicus</i> , <i>G. aculeatus</i> , <i>Ditrema temminckii</i>
1988 Jan.	<i>G. aculeatus</i> , <i>Sardinella zunasi</i> , <i>E. japonicus</i>
Feb.	<i>G. aculeatus</i> , <i>S. zunasi</i>
Mar.	<i>G. aculeatus</i> , <i>S. zunasi</i>
Apr.	<i>G. aculeatus</i> , <i>S. zunasi</i> , <i>E. japonicus</i>
May	<i>E. japonicus</i> , <i>S. zunasi</i> , <i>G. aculeatus</i>
Jun.	<i>E. japonicus</i> , <i>H. agrammos</i> , <i>Pterogobius elapoides</i>
Jul.	<i>Trichiurus lepturus</i> , <i>E. japonicus</i> , <i>Thamnaconus modestus</i>
Aug.	<i>T. lepturus</i> , <i>Osmerus mordax dentex</i> , <i>E. japonicus</i>
Sep.	<i>Coryphaena hippurus</i> , <i>E. japonicus</i> , <i>T. lepturus</i>
Oct.	<i>E. japonicus</i> , <i>T. lepturus</i> , <i>Neoditrema ransonneti</i>
Nov.	<i>E. japonicus</i> , <i>T. lepturus</i> , <i>Stephanolepis cirrifer</i>
Dec.	<i>E. japonicus</i> , <i>T. lepturus</i>
1989 Jan.	<i>G. aculeatus</i> , <i>E. japonicus</i> , <i>S. zunasi</i> , <i>T. lepturus</i>
Feb.	<i>G. aculeatus</i>
Mar.	<i>G. aculeatus</i>

각 월별로 출현 어종의 종다양도 지수를 구한 결과 0.07~2.22의 범위를 보였다. 종다양성 지수의 월별 변동 양상을 보면, 멸치가 대량 출현하는 5월과 6월, 그리고 큰가시고기가 대량 출현하는 2월과 3월에 아주 낮았으며, 비록 출현 개체수는 작으나 극우점종이 없었던 7~12월 사이에 비교적 높게 나타났다(Fig. 5). 종다양도 지수가 가장 낮은 달은 1989년 3월로서 이 시기에는 큰가시고기 한 어종이 전체 채집 개체수의 약 99%를 차지

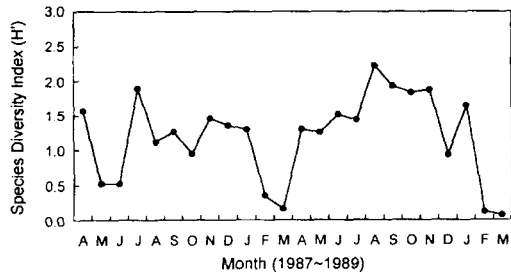


Fig. 5. Monthly variation in species diversity index of screen samples.

하였다.

주요 어종의 출현 변동을 보면 다음과 같다.

큰가시고기 : 수온이 낮은 12월에서 이듬해 5월까지 출현하였다(Fig. 6). 가장 많이 출현한 시기는 2월과 3월이었는데, 이 시기에는 셀 수 없을 정도의 많은 출현량을 보였다. 1차년도(1987.4~1988.3)에는 1987년 12월 16일부터 출현하기 시작하였으며, 1988년 2월 9일까지는 하루(1시간 스크린 가동 기준)에 1,000개체 이하의 채집량을 보였다. 그 이후로 급격히 증가하여 2월 중순경 2,000개체를 넘었으며, 3월 6일에는 8,000여 개체(약 30kg)로 최대 채집량을 보였다. 3월 중순까지 2,000개체 이상을 유지하였으나, 3월 하순경부터는 급격히 감소하여 1,000개체 이하의 채집량을 보이다가 5월 14일 이후에는 전혀 채집되지 않았다.

한편 2차년도(1988.4~1989.3)에는 그 전해보다 약 1개월 늦은 1989년 1월 20일부터 출현하기 시작하였다. 채집량의 변동 양상은 2월 중순부터 3월 중순까지 약 1개월간 지속적으로 많은 양이 채집된 전년도와 비교해 볼때 다소 다른 양상을 보였는데, 2차년도에는 1989년 2월 10일경과 3월 10일경에 20,000개체 이상(100kg 이상)이 채집되어 전년도 최대 채집량에 비해 2배 이상 높은 값을 보인 반면, 그 사이 기간중에는 비교적 낮은 1,000개체 이하의 채집량을 보였다. 본 조사가 진행된 3월말까지 큰가시고기가 계속 출현하였다.

멸치 : 조사 기간중 매월 출현한 종으로 큰가시고기 다음으로 많이 채집되었다. 주로 채집된 시기는 4월부터 8월까지였다. 가을에는 채집량이

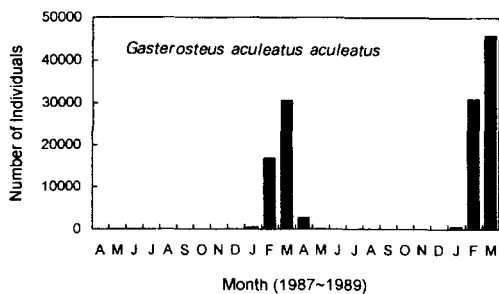


Fig 6. Monthly impingement of *Gasterosteus aculeatus aculeatus* at Kori Nuclear Power Plant.

봄과 여름에 비해 크게 감소하였으며, 겨울에는 다소 증가하는 양상을 보였다. 1차년도와 2차년도를 비교해 보면, 1차년도에 2배 가량 많이 채집되었다(Fig. 7).

밴댕이 : 주로 출현한 시기는 1~5월 사이로 큰가시고기와 비슷한 시기에 많이 출현하는 경향을 보였다(Fig. 8). 그 결과 2월과 3월에는 밴댕이가 상당히 많이 출현했음에도 불구하고 그 시기에 큰가시고기가 대량 출현하여 전체 채집 개체수 중 차지하는 비율은 1% 미만이었다.

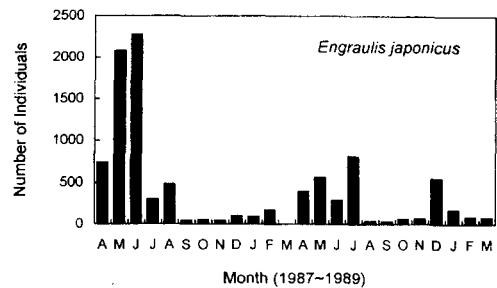


Fig 7. Monthly impingement of *Engraulis japonicus* at Kori Nuclear Power Plant.

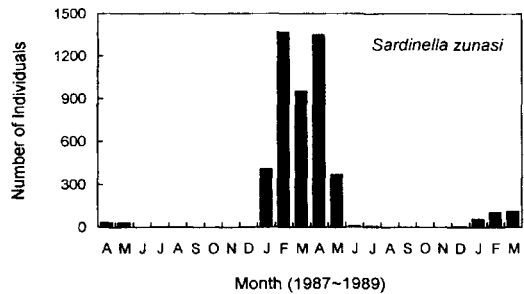


Fig 8. Monthly impingement of *Sardinella zunasi* at Kori Nuclear Power Plant.

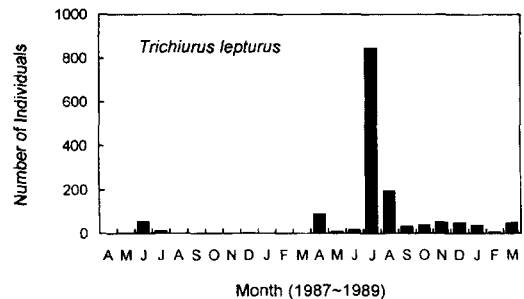


Fig 9. Monthly impingement of *Trichiurus lepturus* at Kori Nuclear Power Plant.

갈치 : 1차년도에는 5~7월과 12월에만 소량으로 채집되었으나, 2차년도에는 연중 지속적으로 채집되었다. 특히 많이 채집된 시기는 수온이 높았던 7월과 8월이었다(Fig. 9).

고 찰

원자력발전소의 가동을 위해서는 많은 양의 냉각수가 필요하며, 냉각수의 취수과정중에 해수와 함께 들어오는 해양생물이나 이물질은 취수구 스크린을 거치게 된다. 고리 원자력발전소의 경우 스크린의 망목이 10×10mm 이므로 망목 크기보다 작은 해양생물은 스크린을 통과하게 되지만, 망목 크기 보다 큰 해양생물 및 이물질은 스크린을 통과하지 못하고 냉각수로부터 분리 제거된다.

본 조사에서 채집된 어류의 표준체장의 범위가 어종에 따라 차이를 보였으나, 대략 30mm 이상의 체장을 지닌 어류가 스크린에 의해 제거되고 있었으며, 특히 60~100mm 사이의 소형 어류가 가장 많았다. 소형 어류가 취수구 스크린에 의해 많이 사망하는 이유는 대형 어류에 비해 유연능력이 빈약한 관계로 취수구 스크린을 통해서 냉각계통으로 흘러 들어가는 냉각수의 유속을 극복하지 못하고 쉽게 휩쓸려 들어가기 때문이다.

본 조사에서 채집된 어종수는 100여종에 달하였다. 이러한 출현 종수는 우리나라의 주변 해역에서 지금까지 보고된 어류 출현 종수와 비교해 볼때, 가로림만의 45종(Hur *et al.*, 1984), 천수만의 64종(Lee and Seok, 1984) 및 32종(이, 1989), 대천해빈 쇄파대에서의 35종(신·이, 1990), 아산만의 49종(이·황, 1995), 충무 한실포 잘피밭의 35종(허, 1986), 제주도 북촌연안의 36종(고·신, 1988), 제주도 화순연안의 36종(고·신, 1990), 삼천포 신수도연안의 32종(김·강, 1991), 그리고 동해 흥해연안의 28종(황 등, 1997)에 비해 상당히 많은 출현 종수를 보였다. 이와같이 많은 출현종수가 기록된 것은 다른 연구들은 대부분 계절별로 1회, 또는 월별로 1회 정도의 빈도수를 가지고 조사를 실시하여 해당 조사해역에 짧은 기간 동안만 나타나거나 출현량이 많지 않은 어종들이 조사당시에 제대로 채집이 안되어 누락된 반면, 본 조사는 2년에 걸쳐 매월 수차례 조사를 실시 했기

때문에 고리원전 주변에 서식하는 어종들의 거의 대부분이 채집되어 이같이 많은 어종이 기록된 것으로 판단된다.

한편 외국에서의 조사 결과와 비교해 보면, 미국의 Crystal River 부근에 위치한 발전소의 경우 73종(Grimes, 1975), Peach Bottom 발전소의 경우 33종(Mathur *et al.*, 1977), 그리고 Kingsnorth 발전소의 경우 49종(van den Broek, 1979)이 보고된 바 있어, 고리 원자력발전소 취수구 스크린에서 채집된 어종수가 이들에 비해서 월등히 많았다.

호기별로 출현 종수 및 채집 개체수를 비교해 보면, 동일한 취수지를 이용하는 3, 4호기에서 84종이 출현하여 1, 2호기의 73종 보다 더 많은 어종이 출현하였으며, 채집 개체수는 3, 4호기가 1, 2호기에 비해 10배 이상 많았다. 3, 4호기가 1, 2호기에 비해 출현 종수나 채집개체수가 많은 현상은 여러 가지 원인에 의해 초래되었다고 생각된다. 첫째 원인으로 호기별 스크린 대수의 차이를 들 수 있다. 1, 2호기는 스크린 가동대수가 1호기는 5대, 2호기는 4대인데 비해 3, 4호기는 가동 대수가 각 8대로 2배나 많았다. 둘째 원인으로 호기별 냉각수 유량의 차이를 들 수 있다. 3, 4호기는 1, 2호기에 비해 발전 용량이 크기 때문에 더 많은 양의 냉각수를 사용하고 있었으며, 이로인해 스크린을 통과하는 유량이 1, 2호기보다 많았다. 또한 지리적으로 1, 2호기 취수 지역이 칠암리로부터 월내리로 이어지는 내만에 위치하고 있는 반면, 3, 4호기의 취수 지역은 비학쪽으로 위치해 있어 외해와 접해있는 관계로 주변 해역에 회유하는 어종이 1, 2호기의 내만쪽 취수구보다는 3, 4호기의 외해쪽 취수구로 쉽게 접근할 수 있는 여건도 한 원인이 될 수 있다고 생각된다.

어류 채집량의 계절 변동을 보면, 채집 개체수는 수온이 내려간 1월부터 급격히 증가하여 3월에 연중 최고치에 도달하였다. 그러나 수온이 증가한 4월부터는 감소하기 시작하였으며, 10월까지 낮은 값을 보이다가 다시 11월부터 1월까지의 소량씩 증가하는 경향을 보였다.

이와같은 계절 변동은 우리나라 연안해역에서 실시된 어류조사 결과와 상당히 다른 양상을 보였다. 일반적으로 연안해역에서는 수온이 높아지는

봄에 어류의 출현량이 크게 증가하여 가을까지 비교적 높은 출현량을 유지하다가 수온이 내려가는 겨울에 최소의 출현량을 보인다(Hur *et al.*, 1984; 허, 1986; 신·이, 1990; 고·신, 1990; 유·최, 1993; 황 등, 1997). 우리나라 연안역에서 겨울에 낮은 어류의 출현량을 보이는 것은 대부분 어류들이 연안의 낮은 수온을 피하여 다른 곳으로 이동하였기 때문이다.

그러나 고리 원자력발전소의 경우, 겨울철에 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류가 크게 증가한 것은 이 시기에 주변 해역의 수온이 낮아지는데 반하여, 발전소 배수구 인접 해역은 온배수의 영향으로 온도가 상승하기 때문인 것으로 나타났다. 즉, 수온이 낮아지는 겨울철에는 주변에 서식하는 많은 어류들이 따뜻한 배수구 인접 해역을 월동장으로 이용하기 위해 배수구 부근으로 몰려오며, 그 결과 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류도 크게 증가한 것으로 나타났다. 이점으로 미루어 보아 발전소의 취수구 스크린에 의한 어류의 사망율에 가장 크게 영향을 미치는 환경 요인은 수온임을 알 수 있었다. 수온이 내려가는 시기에 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류가 증가하는 현상은 온대에 위치한 다른 발전소에서도 보고된 바 있다(Grimes, 1975; Mathur *et al.*, 1977; van den Broek, 1979).

수온 외에도 인근 해역에서의 어류 출현량, 어류의 크기 및 행동습성, 취수구의 위치, 취수량, 취수시 유속, 취수구 스크린 가동시간 해황조건, 기상상태 등과 같은 여러 요인이 취수구 스크린에 의한 어류 사망율에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(IAEA, 1980; Wyman and Dischel, 1984).

취수구 스크린에서의 주요 우점어종의 계절별 채집량을 보면, 큰가시고기와 밴댕이는 수온이 낮은 시기인 2~3월 달에 많이 채집된 반면, 멸치와 갈치는 수온이 높은 시기인 4~8월에 많이 채집되었다. 이와같은 각 우점어종의 채집량 변동 양상은 발전소 주변 해역에서 해당 어종의 출현량 계절 변동 양상(부산수산대, 1989)과 잘 일치하고 있다. 이는 발전소 주변 해역에 해당 어종이 많이 출현할수록 그만큼 취수구 스크린으로 유입되어 사망할 가능성이 증가함을 의미한다.

고리 원자력발전소의 취수구 스크린에 의해 가장 많은 사망 개체수를 보인 큰가시고기는 원래 해산종이 아니고 주로 담수에서 서식하는 종이다(Wootton, 1976). 이 종의 일부(降海型 또는 遡河型)는 가을이 되면 하천을 떠나 인근 연안 해역으로 내려온 뒤 바다에서 겨울을 보내며, 2월 하순~3월 상순 경에 산란을 하기 위해 하천으로 올라오는 것으로 알려져 있다(정, 1977; 김, 1988). 따라서 큰가시고기가 2월과 3월에 고리원자력 발전소 취수구 부근에 대규모로 출현한 현상에 대해 다음과 같은 설명이 가능하다. 즉, 겨울에 월동을 위해 연안으로 내려왔던 큰가시고기들이 이른 봄에 산란을 위해서 인근 하천으로 소상하려 했으나, 오랜 겨울 가뭄으로 하천 입구가 차단되자 일시에 많은 수가 주변해역에 비해 비교적 수온이 높은 발전소 쪽으로 몰려들었을 가능성이 크다(홍 등, 1991). 겨울철에 하천 입구가 바다에 지속적으로 연결되어 있었던 다른 해에는 큰가시고기가 발전소 취수구 스크린에서 잡히기는 했지만, 1988년 및 1989년과 같은 대규모 유입사태는 발생하지 않았다(고리원전, 미발표 자료).

일반적으로 낮보다는 많은 어종의 활동이 크게 저하되는 밤동안 취수구 스크린에서의 어류 사망율이 증가하는 것으로 알려져 있으나(Landry and Strawn, 1974; Grims, 1975), 우리나라에서는 보안상 이유로 원자력발전소에서의 야간조사가 거의 불가능한 상태에 있으므로 야간에 어류의 사망률 증가 여부는 확인하기 어려웠다.

한편, 취수구 스크린에 의해 사망하는 어류의 양이 주변 수역의 어류군집에 미치는 영향은 지역 특성에 따라 크게 다른 것으로 알려져 있다(Mathur *et al.*, 1977; Dempsey 1988; Turnpenny 1988). 하지만 발전소 가동 전후에 실시된 주변 해역의 어류군집에 대한 정밀한 조사 자료가 없었기 때문에 본 조사에서는 취수구 스크린에 의한 어류 사망이 주변 해역의 어류군집에 어느정도 영향을 미치는지 여부를 명확하게 밝히지 못하였다. 이 부분에 대해서는 추후에 연구가 진행되어야 할 것이다.

취수구 스크린에 의해 사망하는 해양생물(어류를 비롯한 대형 무척추동물)중 일부는 간혹 엄청난

양이 일시에 발전소 주변에 몰려들어 발전소에 큰 피해를 입히기도 한다. 우리나라에서는 지금까지 세차례에 걸쳐 큰 피해를 경험한 바 있다. 한번은 본 연구가 진행중이던 1988년 2월 말경에 고리 원자력발전소에서 발생하였다. 이때에는 큰가시고기가 취수구에 대량 유입하여 취수구 스크린을 훼손시킴으로서 냉각수 공급이 차단되어 수일간 발전이 중단되었다. 이로 인해 발전소측은 상당한 경제적 손실을 입었다. 나머지 두 번은 최근에 올진 원자력발전소에서 발생하였는데, 1996년 9월에는 엄청난 양의 해파리떼가 일시에 몰려들었으며, 1997년 1월에는 동일장소에 엄청난 양의 크릴떼(euphausiids)가 몰려들어 발전소 가동이 일시 중단되는 사고가 발생했었다. 그럼에도 불구하고 아직까지 효과적인 방지대책이 마련되어 있지 않기 때문에 이와 같은 사고는 또 다시 발생할 가능성이 상존해 있다. 따라서 큰가시고기와 같은 해양생물이 취수구로 대량 유입되는 현상을 사전에 막는 대책 마련이 시급히 필요하다고 생각된다. 외국의 경우에는 취수구 입구에 여러가지 형태의 취수구 스크린(screen)과 같은 물리적인 장애물(physical barrier)을 설치하는 외에도 전기 충격, 음파, 빛 또는 공기방울을 이용한 행동 장애물(behavioral barrier)을 설치하는 등 여러가지 방법을 강구하여 해양생물에 의한 발전소의 피해를 최소화하고 있다(IAEA, 1980). 이와같이 장애물을 설치하여 해양생물의 유입을 차단하는 일도 중요하지만, 각 어종마다 대량 출현 원인이 다르기 때문에 효과적인 대량 유입 방지 대책을 마련하기 위해서는 무엇보다도 주요 출현 어종에 대한 상세한 생활사 및 생태학적 연구가 선행되어야 한다고 생각된다.

사 사

재료수집과 분석을 도와준 부경대학교 해양학과 김관식, 김종빈, 정석근, 곽석남, 추현기, 안용락, 김대지와 어류 분류에 도움을 준 서남대 생물학과 윤창호교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 고유봉·신희섭. 1988. 북촌연안 수산자원 유영생물의 출현과 먹이연쇄에 관한 연구 I. 종조성과 다양도. 한수지 21(3) : 131~138.
- 고유봉·신희섭. 1990. 제주도 남부 화순연안 수산자원 유영생물의 종조성과 다양도. 한어지 2(1) : 36~46.
- 김익수. 1988. 큰가시고기의 생태와 생활사. 양식개발 6 : 3~16.
- 김익수·강언중. 1993. 원색 한국어류도감. 아카데미서적. 477 pp.
- 김종관·강용주. 1991. 삼중자망에 의한 삼천포 신수도 연안 천해어류 군집의 구조. 한수지 24(2) : 99~110.
- 부산수대. 1989. 고리 원자력발전소 온배수 및 취배수 구조물에 의한 영향. 489 pp.
- 신민철·이태원. 1990. 대천해빈 쇄파대 어류군집의 계절변화. 한해지 25(3) : 135~144.
- 유봉석·최윤. 1993. 군산 연안 어류의 군집 변동. 한어지 5(2) : 194~207.
- 이태원. 1989. 천수만 저서성 어류군집의 계절변화. 한수지 22(1) : 1~8.
- 이태원·황선완. 1995. 아산만 저어류. IV. 종조성 및 최근 3년간(1990~1993) 변화. 한수지 28(1) : 67~79.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사. 727 pp.
- 홍유희·유용국·김성률·박제국·김익수·허성희. 1991. 발전소 취수구 어류 유입 방지 대책 연구. 한국전력공사 기술연구원 보고서. 217 pp.
- 황선도·박영조·최수하·이태원. 1997. 삼중자망에 채집된 동해 흥해 연안어류의 종조성. 한수지 30(1) : 105~113.
- 허성희. 1986. 잘피밭에서 서식하는 어류의 종조성 및 출현량의 계절적 변동에 관한 연구. 한수지 19(5) : 509~517.
- Crotbeck, L. M. and J. L. Bechthold. 1975. Fish impingement at Monticello Nuclear Plant. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 101 : 69~83.
- Dempsey, C. H. 1988. Fish impingement at estuaries power stations and its significance to commercial fishing. J. Fish Biol. 33 (Supplement A) : 93~102.

- Grimes, C. B. 1975. Entrapment of fishes on intake water screens at a stream electric generating station. *Chesapeake Science* 16 : 172~177.
- Hur, S. B., J. M. Kim and J. M. Yoo. 1984. Fisheries resources in Garolim Bay. *Bull. Korea Fish. Soc.* 17(1) : 68~80
- IAEA, 1980. Technical Reports Series No. 202. Environmental Effects of Cooling Systems. International Atomic Energy Agency. Vienna. 193 pp.
- Landry, A. M. and K. Strawn. 1974. Number of individuals and injury rates of fishes caught on revolving screens at the P. H. Robinson Generating Station. pp. 263~271. In Jensen, L. D. (ed.). Entrapment and intake screening. Proc. 2nd Entrapment and Screening Workshop. Rep. No. 15, Edison Electric Inst. 347 pp.
- Lee, T. W. and K. J. Seok. 1984. Seasonal fluctuations in abundance and species composition of fishes in Chensu Bay using trap net catches. *J. Ocenol. Soc. Korea* 19(2) : 217~227.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Uyeno and T. Yoshino (eds). 1984. *The Fishes of Japanese Archipelago*. Tokai Univ. Press. Tokyo, Japan. 437 pp+370 plates.
- Mathur, D., P. G. Heisey, and N. C. Magnusson. 1977. Impingement of fishes at Peach Bottom Atomic Power Plant, Pennsylvania. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106 : 258~267.
- Nakabo, T. 1993. *Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species*. Tokai Univ. Pres. 1474 pp. (in Japanese).
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press. Urbana. 117 pp.
- Turnpenny, A. W. H. 1988. Fish impingement at estuaries power stations and its significance to commercial fishing. *J. Fish Biol.* 33 (Supplement A) : 103~110.
- Van den Broek, W. L. F. 1979. A seasonal survey of fish populations in the Lower Medway Estuary, Kent, based on power station screen samples. *Estuarine and Coastal Marine Science* 9 : 1~15.
- Wootton, R. J. 1976. *The biology of the stickleback*. Academic Press. 387 pp.
- Wyman, R. L. and R. S. Dischel. 1984. Factors influencing impingement of fish by Lake Ontario power plants. *J. Great Lakes Res.* 10(4) : 348~357.

Appendix. Number and biomass of fishes collected at traveling screens from April 1987 to March 1989

Species	Apr.(1987)		May		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Acropoma japonicum</i>	3	4.0	14	25.0	82	146.0	58	141.0	50	122.0		
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	13	63.0	2	4.0			1	5.0				
<i>Apogon kiensis</i>			1	37.0								
<i>Apogon lineatus</i>					2	4.0	24	152.0	15	72.0		
<i>Aulichthys japonicus</i>	2	17.0					1	8.0				
<i>Chasmichthys dolichognathus</i>												
<i>Chasmichthys gulosus</i>												
<i>Chirolophis japonicus</i>												
<i>Coilia nasus</i>												
<i>Conger myriaster</i>							4	81.0	2	65.0		
<i>Cynoglossus joyneri</i>	3	52.0										
<i>Dawococcus peterseni</i>												
<i>Ditrema temmincki</i>	36	1503.0	16	1490.0	7	124.0	24	432.0	17	193.0		
<i>Engraulis japonicus</i>	741	4289.0	2086	12351.0	2279	13221.0	301	1196.0	491	1570.0	51	255.0
<i>Erisphex potti</i>							1	15.0				
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	70	356.8	35	119.0								
<i>Girella punctata</i>	7	204.0			1	90.0	1	30.0	1	61.0		
<i>Halichoeres tenuisplinnis</i>									1	10.0		
<i>Hexagrammos agrammus</i>	2	37.0			1	5.0	2	55.0				
<i>Hexagrammos otakii</i>	70	968.0	28	1265.0	12	152.0	2	63.0	1	15.0	1	10.0
<i>Hypodytes rubripinnis</i>												
<i>Hyporhamphus sajori</i>	6	212.0	20	519.0	1	25.0	5	111.0	3	81.0	1	20.0
<i>Inimicus japonicus</i>					1	13.0						
<i>Konosirus punctatus</i>												
<i>Laeops kiiharae</i>	10	62.2	3	70.0	2	8.0						
<i>Leiognathus nuchalis</i>							1	1.0	1	4.0	1	2.0
<i>Liparis tanakai</i>											1	370.0
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	10	1918.0	4	1490.0			1	15.0				
<i>Myctophum affine</i>	11	40.0	1	2.0			9	24.0	2	6.0		
<i>Neoditrema ransonneti</i>												
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	1	42.0										
<i>Pholis fangi</i>	2	46.0	1	12.0	1	65.0	2	27.0			2	15.0
<i>Platycephalus indicus</i>	2	20.0	1	12.0								
<i>Plecoglossus altivelis</i>												
<i>Priacanthus macracanthus</i>							1	12.0				
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	1	5.0				1	3.0					
<i>Pterogobius elapoides</i>	6	38.0	4	15.0	4	24.0	4	23.0	1	7.0	1	7.0
<i>Repomucenus lunatus</i>	1	10.0										
<i>Repomucenus valenciennesi</i>	1	13.0					1	12.0	1	11.0		
<i>Rudarius erodes</i>	6	42.0			69	92.0	8	22.0	3	7.0	5	14.0
<i>Sagamia geneionema</i>	1	10.0										
<i>Sardinella zunasi</i>	32	436.0	29	330.0			1	13.0				
<i>Scomber japonicus</i>							246	1660.0	12	83.0		
<i>Sillago japonica</i>	8	55.0	2	70.0			11	153.0	4	74.0	3	42.0
<i>Sphyranea pinguis</i>	4	87.0										
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	14	570.0	4	153.0			2	62.0				
<i>Syngnathus schlegelii</i>												
<i>Takifugu niphobles</i>	7	179.0	4	90.0	12	289.0	15	270.0	2	50.0		
<i>Thamnaconus modestus</i>	7	1088.0	3	137.0	4	230.0	9	644.0	23	432.0		
<i>Thryssa kammalensis</i>	58	781.0	30	403.0								
<i>Trachurus japonicus</i>					8	31.0	232	710.0	27	77.0	15	96.0
<i>Trichurus lepturus</i>			2	20.0	56	556.0	13	240.0				
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>			1	6.0								
<i>Upeneus bensasi</i>												
<i>Zeus japonicus</i>												
Total	1135	13148.0	2291	18620.0	2542	15075.0	981	6180.0	657	2940.0	81	831.0

N : number of individuals B : biomass in gram

Appendix. (Continued)

Species	Oct.(1987)		Nov.		Dec.		Jan.(1988)		Feb.		Mar.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Acropoma japonicum</i>												
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>							1	3.0				
<i>Apogon kiensis</i>												
<i>Apogon lineatus</i>									2	5.4		
<i>Aulichthys japonicus</i>											1	1.9
<i>Chasmichthys dolichognathus</i>									1	5.2		
<i>Chasmichthys gulosus</i>							1	4.3				
<i>Chirolophis japonicus</i>							1	18.0			2	33.7
<i>Coilia nasus</i>											1	6.7
<i>Conger myriaster</i>							1	21.0				
<i>Cynoglossus joyneri</i>												
<i>Daicocus peterseni</i>									2	62.2		
<i>Ditrema temmincki</i>			2	20.0	7	91.0	2	40.0				
<i>Engraulis japonicus</i>	58	186.0	48	162.0	103	348.5	98	386.3	176	1142.6	6	23.3
<i>Erisphex potti</i>												
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>					9	35.0	479	2021.8	16792	70379.5	30574	127150.5
<i>Girella punctata</i>												
<i>Halichoeres tenuisplinnis</i>												
<i>Hexagrammos agrammus</i>			1	20.0	2	43.0					1	15.2
<i>Hexagrammos otaki</i>	1	15.0										
<i>Hypodytes rubripinnis</i>							12	49.5	4	15.7	34	126.4
<i>Hyporhamphus sajori</i>	1	17.0			2	33.0	6	171.0	4	106.7		
<i>Inimicus japonicus</i>												
<i>Konosirus punctatus</i>							9	141.9	14	226.1		
<i>Laeops kitaharae</i>												
<i>Leiognathus nuchalis</i>	1	3.0	2	4.5	1	2.0			2	8.2		
<i>Liparis tanakai</i>	1	250.0	1	290.0	1	300.0	1	250.0	1	7.1	2	13.9
<i>Mugil cephalus cephalus</i>					6	582.0	15	459.5	13	523.8	4	34.5
<i>Mycophum affine</i>												
<i>Neoditrema ransonneti</i>							2	30.5	5	68.2	1	13.2
<i>Oplegnathus fasciatus</i>												
<i>Pholis fangi</i>			4	54.2	1	13.0	1	12.0	1	26.1		
<i>Platycephalus indicus</i>												
<i>Plecoglossus altivelis</i>	1	8.0										
<i>Priacanthus macracanthus</i>							2	44.9	1	18.0		
<i>Pseudorhombus pentopthalmus</i>												
<i>Pterogobius elapoides</i>							1	4.5			1	3.2
<i>Repomucenus lunatus</i>												
<i>Repomucenus valenciennesi</i>					1	6.0						
<i>Rudarius ercodes</i>			3	8.0	2	6.0	1	2.0	4	8.8	2	17.5
<i>Sagamia geneionema</i>												
<i>Sardinella zunasi</i>	1	7.0			1	7.0	408	2075.0	1368	6571.1	954	5290.1
<i>Scomber japonicus</i>									1	95.0		
<i>Sillago japonica</i>			1	23.0	4	63.0	4	61.1				
<i>Sphyranea pinguis</i>									4	49.5	1	12.5
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>					2	25.0	1	35.4			12	127.4
<i>Syngnathus schlegeli</i>							1	2.8				
<i>Takifugu niphobles</i>			2	45.0			1	26.0	3	110.0	1	30.0
<i>Thamnaconus modestus</i>			1	20.0								
<i>Thryssa kammalensis</i>	1	5.0	1	13.0			4	34.5	6	52.0	4	38.8
<i>Trachurus japonicus</i>	17	134.0	19	159.0	4	61.0	2	22.5			1	3.9
<i>Trichiurus lepturus</i>					2	72.0						
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>											1	2.8
<i>Upeneus bensasi</i>											1	3.4
<i>Zeus japonicus</i>									1	1.5	2	10.8
Total	82	625.0	85	818.7	148	1687.5	1054	5917.5	18406	79486.2	31606	132969.7

N : number of individuals, B : biomass in gram

Appendix. (Continued)

Species	Apr.(1988)		May		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Acanthogobius flavimanus</i>												
<i>Acropoma japonicum</i>	11	27.8	2	5.1			18	74.5	31	127.7		
<i>Alectis ciliaris</i>							2	14.4				
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	4	11.2	1	2.0								
<i>Ammodytes personatus</i>					1	2.5						
<i>Apogon lineatus</i>					1	3.0	11	30.6	4	18.2		
<i>Aptocylus ventricosus</i>												
<i>Caranx sexfasciatus</i>							3	6.0				
<i>Chaetodon modestus</i>							1	1.5				
<i>Cheilodipterus</i> sp.												
<i>Chirolophis japonicus</i>												
<i>Chromis</i> sp.									1	1.1		
<i>Coilia nasus</i>	2	11.3										
<i>Conger myriaster</i>					1	35.6						
<i>Coryphaena hippurus</i>									15	180.6	60	811.4
<i>Cynoglossus interruptus</i>							3	49.2				
<i>Cypselurus poecilopterus</i>									36	303.9		
<i>Diodon holocanthus</i>												
<i>Ditrema temmincki</i>									6	407.4	3	245.4
<i>Engraulis japonicus</i>	394	1187.0	565	1273.8	295	1085.8	814	5636.4	43	488.6	41	301.1
<i>Erisphex potti</i>												
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>												
<i>Fistularia petimba</i>												
<i>Fistularia villosa</i>												
<i>Flammeo spinosissimus</i>												
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	2651	11391.8	79	338.8								
<i>Girella punctata</i>							1	38.2				
<i>Halichoeres poecilopterus</i>					1	29.0	3	54.1				
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	1	9.5										
<i>Halichoeres</i> sp.												
<i>Heniochus acuminatus</i>												
<i>Hexagrammos agrammus</i>	2	51.1	11	237.9	37	330.7	29	322.1	7	133.7	2	36.3
<i>Hexagrammos otakii</i>			3	72.3	2	42.7			2	23.7		
<i>Hippocampus coronatus</i>											2	24.4
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	14	41.9	1	10.5	1	12.4					1	3.0
<i>Hyporhamphus sajori</i>	2	62.3			1	53.5						
<i>Konosirus punctatus</i>												
<i>Laeops kitaharae</i>							2	9.9				
<i>Leiognathus elongatus</i>												
<i>Leiognathus nuchalis</i>	1	14.1										
<i>Leiognathus</i> sp.					1	1.5						
<i>Liparis tanakai</i>					1	5.6						
<i>Liparis tessellatus</i>												
<i>Liza haematocheila</i>												
<i>Microcanthus strigatus</i>					2	37.6						
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	4	89.0	2	35.8	1	300.2						

N : number of individuals, B : biomass in gram

Appendix. (Continued)

Species	Apr.(1988)		May		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Muraenesox cinereus</i>												
<i>Myctophum affine</i>	164	203.1	1	1.3								
<i>Neoditrema ransonneti</i>	6	79.6	3	37.0	22	306.2	59	483.9	24	379.7	9	96.3
<i>Ocynectes maschalis</i>												
<i>Oplegnathus fasciatus</i>												
<i>Osmerus mordax dentex</i>									77	460.1	3	23.7
<i>Pagrus major</i>					1	2.6						
<i>Paramonacanthus japonicus</i>												
<i>Parapercis sexfasciata</i>												
<i>Pempheris japonica</i>												
<i>Petroscirtes breviceps</i>												
<i>Pholis fangi</i>	1	15.1										
<i>Pholis nebulosa</i>					1	43.3	1	45.9				
<i>Pictiblennius yatabei</i>												
<i>Plecoglossus altivelis</i>							2	11.0				
<i>Pterogobius elapoides</i>	1	2.7	8	23.1	28	129.4	26	148.5			2	16.8
<i>Repomucenus valencienni</i>									3	24.0		
<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>							1	17.3				
<i>Rudarius ercodes</i>	1	2.2	2	6.1	4	12.9						
<i>Sagamia geneionema</i>												
<i>Sardinella zunasi</i>	1350	7297.7	368	1973.3	9	59.9	7	142.1				
<i>Saurida undosquamis</i>	1	8.9					2	28.9				
<i>Scomber japonicus</i>					1	7.3	55	1226.8	2	33.9		
<i>Scorpaenodes littoralis</i>												
<i>Siganus fuscescens</i>												
<i>Sillago japonica</i>	40	130.8	3	22.4	3	79.6			11	118.7	2	15.6
<i>Sphyranea pinguis</i>	3	99.6	4	94.1					39	244.1	8	104.1
<i>Spratelloides gracilis</i>												
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	7	58.0	5	112.9	6	271.8	2	22.0	4	43.5	6	82.4
<i>Stichaeus grigorjewi</i>												
<i>Strongylura anastomella</i>									1	0.8		
<i>Syngnathus schlegeli</i>	2	3.9										
<i>Takifugu niphobles</i>	2	39.2			4	108.3	13	79.8	4	24.5	1	5.9
<i>Takifugu xanthopterus</i>									3	711.3		
<i>Thamnaconus modestus</i>			3	143.7	9	99.5	119	900.0	16	370.7	5	316.2
<i>Thryssa kammalensis</i>	117	1329.8	15	176.6								
<i>Trachinocephalus myops</i>												
<i>Trachurus japonicus</i>					1	3.1	3	19.6	4	65.6		
<i>Trichiurus lepturus</i>	91	392.1	9	54.8	19	97.0	849	10000.9	194	6751.6	34	1382.9
<i>Tridentiger tigocephalus</i>			1	2.3					1	3.6		
<i>Upeneus bensasi</i>												
<i>Zeus japonicus</i>					2	9.0	2	2.8				
Unidentified sp.												
Total	4872	22559.7	1086	4623.8	455	3170.0	2028	19366.4	528	10917.0	179	3465.5

N : number of individuals, B : biomass in gram

Appendix. (Continued)

Species	Oct.(1988)		Nov.		Dec.		Jan.(1989)		Feb.		Mar.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Acanthogobius flavimanus</i>									2	33.2		
<i>Acropoma japonicum</i>							3	24.5	2	23.6	4	20.0
<i>Alectis ciliaris</i>												
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>												
<i>Ammodytes personatus</i>												
<i>Apogon lineatus</i>											1	
<i>Apogon semilineatus</i>	1	8.6					6	9.6	14	25.9		
<i>Aptocyclus ventricosus</i>									1	149.0		
<i>Caranx sexfasciatus</i>												
<i>Chaetodon modestus</i>												
<i>Cheilodipterus</i> sp.	4	10.7					2	7.2				
<i>Chirolophis japonicus</i>					1	155.8						
<i>Chromis notatus notatus</i>									1	27.3		
<i>Chromis</i> sp.												
<i>Coilia nasus</i>							2	107.2			4	
<i>Conger myriaster</i>	1	29.5	2	63.2							2	
<i>Coryphaena hippurus</i>												
<i>Cynoglossus interruptus</i>												
<i>Cypselurus poecilopterus</i>												
<i>Diodon holocanthus</i>									2	49.6		
<i>Ditrema temmincki</i>	5	387.5			1	35.2	1	56.1	1	22.4		
<i>Engraulis japonicus</i>	69	138.8	77	255.1	547	1781.8	175	292.4	92	148.4	88	298.6
<i>Erisphex potti</i>									2	4.0		
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>											2	20.8
<i>Fistularia petimba</i>					1	28.1						
<i>Fistularia villosa</i>			2	65.0								
<i>Flammeo spinosissimus</i>			6	112.4								
<i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>							526	2189.9	30855	123457.5	45712	191940.5
<i>Girella punctata</i>	2	94.2			1	16.6					4	104.0
<i>Halichoeres poecilopterus</i>												
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>												
<i>Halichoeres</i> sp.			2	13.6							2	10.6
<i>Heniochus acuminatus</i>			2	25.8	9	133.1						
<i>Hexagrammos agrammus</i>	1	36.9			8	164.0	15	478.7	15	235.3	29	411.0
<i>Hexagrammos otakii</i>	2	13.6							2	65.2		
<i>Hippocampus coronatus</i>							2	2.6				
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	1	2.7			4	13.6	12	67.8	91	403.8	2	14.7
<i>Hyporhamphus sajori</i>					3	70.8	3	123.3	4	289.6	5	87.1
<i>Konosirus punctatus</i>									1	28.1		
<i>Laeops kitaharae</i>												
<i>Leiognathus elongatus</i>							4	7.8	6	12.8		
<i>Leiognathus nuchalis</i>					2	13.8	2	2.3			4	45.4
<i>Leiognathus</i> sp.												
<i>Liparis tanakai</i>												
<i>Liparis tessellatus</i>							2	6.2				
<i>Liza haematocheila</i>			2	36.0								
<i>Microcanthus strigatus</i>												
<i>Mugil cephalus cephalus</i>			2	26.8			4	223.4	2	215.2	1	91.6

N : number of individuals, B : biomass in gram

Appendix. (Continued)

Species	Oct.(1988)		Nov.		Dec.		Jan.(1989)		Feb.		Mar.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Muraenesox cinereus</i>											1	37.2
<i>Myctophum affine</i>												
<i>Neoditrema ransonneti</i>	10	152.3	2	13.0	5	91.3	3	59.9	5	85.9	4	77.9
<i>Ocynectes maschalis</i>									2	6.6		
<i>Oplegnathus fasciatus</i>			2	124.2								
<i>Osmerus mordax dentex</i>												
<i>Pagrus major</i>									2	4.0		
<i>Paramonacanthus japonicus</i>							1	8.1	3	23.2		
<i>Paraperca sexfasciata</i>					1	62.8						
<i>Pempheris japonica</i>			8	23.0			2	9.8	1	3.6	5	21.1
<i>Petroscirtes breviceps</i>			4	18.4								
<i>Pholis fangi</i>					1	34.3	3	45.8	2	54.9	5	113.4
<i>Pholis nebulosa</i>												
<i>Pictiblennius yatabei</i>									3	11.2		
<i>Plecoglossus altivelis</i>									4	25.0		
<i>Pterogobius elapoides</i>												
<i>Repomucenus valencienni</i>											2	46.2
<i>Rhyncoplates oxyrhynchus</i>					1	5.6					2	6.6
<i>Rudarius ercodes</i>			2	1.2	3	2.9	5	4.6	6	5.6	35	55.2
<i>Sagamia geneionema</i>							1	7.2	2	12.0		
<i>Sardinella zunasi</i>					10	103.2	58	495.3	104	889.5	111	827.8
<i>Saurida undosquamis</i>												
<i>Scomber japonicus</i>			2	166.0								
<i>Scorpaenodes littoralis</i>									2	33.1		
<i>Siganus fuscescens</i>							6	56.3	9	234.9	6	149.2
<i>Sillago japonica</i>	2	51.2					1	4.7	4	9.0		
<i>Sphyrana pinguis</i>					5	285.3	1	31.9	3	81.0	1	17.3
<i>Spratelloides gracilis</i>	1	2.9			1	2.5	17	27.1	73	144.1	3	5.3
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	4	427.9	12	344.2	8	170.7	1	12.4	4	109.6	7	112.9
<i>Stichaeus grigorjevi</i>					1	6.4	1	5.0	7	36.6		
<i>Strongylura anastomella</i>												
<i>Syngnathus schlegeli</i>					2	8.8	2	3.2				
<i>Takifugu niphobles</i>	4	64.0									10	144.6
<i>Takifugu xanthopterus</i>					4	37.4	10	233.8	8	83.3	2	60.6
<i>Thamnaconus modestus</i>	4	357.6	2	12.6	3	384.5	5	85.6				
<i>Thryssa kammalensis</i>							4	9.6	16	224.8	14	169.3
<i>Trachinocephalus myops</i>							1	29.2				
<i>Trachurus japonicus</i>	1	11.5	10	311.4							2	38.6
<i>Trichiurus lepturus</i>	38	983.0	54	1784.6	50	815.5	38	452.8	6	129.2	49	411.7
<i>Tridentiger tigonoccephalus</i>											1	3.4
<i>Upeneus bensasi</i>	1	7.6			1	13.2	8	59.0	4	37.4		
<i>Zeus japonicus</i>									2	1.4		
Unidentified sp.					1	3.3						
Total	153	2793.1	192	3464.0	674	4440.5	927	5240.3	31365	127436.8	46120	195423.5

N : number of individuals , B : biomass in gram

Impingement of Fishes on Traveling Screens at Kori Nuclear Power Plant

Sung-Hoi Huh and Seon Jae Hwang *

Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

* Division of Deep-sea Resources, National Fisheries Research and Development Agency
Pusan 619-900, Korea

To investigate the impingement of fishes on the traveling intake water screens, fishes were collected from the traveling screens at Kori Nuclear Power Plant between April 1987 and March 1989. A total of 102 species was collected during the study period. *Gasterosteus aculeatus aculeatus*, *Engraulis japonicus*, *Sardinella zunasi*, and *Trichiurus lepturus* were the four most abundant species, and accounted for 97.4% of the total number and 92.2% of the total biomass of fishes collected. Impingement was very high in February and March, but it was low during the rest of the year. There was an inverse relationship between intake water temperature and fish catch.