

허베이스피리트호 원유 유출사고 후 태안 만리포 해변의 천해 어류 종조성 변화

이정훈 · 권순열 · 홍지민 · 황학빈 · 이태원*

충남대학교 해양환경학과

Change in Species Composition of Shallow Water Fish in Malipo Beach after Hebei Spirit Oil Spill off Taean by Jung Hun Lee, Soon Yeol Kwon, Ji Min Hong, Hak Bin Hwang and Tae Won Lee* (Department of Oceanography, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

ABSTRACT Change in fish species composition after the Hebei Spirit oil spill in December 2007 off Taean were determined by analysis of samples collected in Malipo beach, 10 km south from the oil spill site and polluted by the crude oil. Fish samples were collected by a beach seine in the shallow water at Malipo beach during the low tide of the new moon from February 2008 to December 2009. Five seine hauls were made during the day and the night in each sampling time. Monthly day and night samples did not show the significant differences in species composition. A total of 21 species, 1,032 individuals and 6,544 g of fish were collected in 2008, and 31 species, 4,206 individuals and 35,659 g of fish in 2009. The species collected were composed of the small-sized fish or juveniles. Abundant fishes were the resident species in coastal water, and the migrants were low in abundance. Among the fish occurred, *Chelon haematochelius*, *Sebastes schlegelii*, *Takifugu niphobles* and *Pleuronectes yokohamae* were predominated in abundance of both years. Monthly fish abundance and species diversity in 2008 were significantly lower than those in 2009. A few number of resident fish were collected from February to June 2008 showing the lowest in May 2008, and fish abundance increased from July 2008. The number of species and abundance of fish in 2009 were increased in spring as the temperature raised, showed a peak in summer and decreased in autumn. This monthly variation in fish species composition and abundance was similar to those in the non-polluted water in other temperate waters. Low fish abundance during several months after oil spill was considered to be related to the residual oil in the water and habitat disturbance due to oil cleaning activity in the beach. Monthly fish species compositions after September 2008 were similar to those of 2009 suggested that the impact on the shallow water fish by the oil residuals was not too significant at least to the fish species composition after September 2008.

Key words : Taean, oil pollution, shallow water fish, species composition

서 론

2007년 12월 7일 태안군 천리포 북서방 약 10km 해상에 투묘 중이던 원유운반선 Hebei Spirit호에서 중동산 원유 12,547kl가 유출되었다. 유출된 원유는 강한 북서풍과 조류를 타고 태안반도 조간대에 표착하였다. 유류 유출 지점에서

가까운 태안군 원북면, 소원면 조간대에는 액상으로 유류가 표착되었으며, 유출된 원유는 독성이 강한 휘발성 물질은 빠르게 휘발되어, 유출 2~3일 후부터 영향을 받은 근흥면 이남 조간대에서는 에멀전이나 타르 상태의 유류가 표착되었다(국토해양부, 2009; Kim *et al.*, 2010). 액상의 유류가 표착한 조사해역인 만리포 조간대에서는 초기 몇 달 동안은 유류를 물리적으로 제거하였으며, 그 후 경성 조간대에서는 잔류 유류를 닦아내거나 고압으로 세척하였고 연성저질에서는 갈아엎거나 골을 파서 유류 제거작업을 계속하였다.

*Corresponding author: Tae Won Lee Tel: 82-42-821-6433
Fax: 82-42-822-8173, E-mail: twlee@cnu.ac.kr

원유 유출 사고 직후부터 정부 부처별로 유류 오염에 따른 영향에 대한 구체적인 조사 및 복원 연구가 지속적으로 수행되었다(국토해양부, 2009, 2010, 2011; 국립공원관리공단, 2009; 농림수산물부, 2010). 이들 연구 결과에 의하면 해수 중에서는 유출된 유류가 시간이 지남에 급격히 감소하였으나(국토해양부, 2009; Kim *et al.*, 2010), 퇴적물의 공극수에서는 점진적으로 감소하였다(Kim *et al.*, 2010). 이에 비하여 연성조간대 저서동물 밀도는 2년이 지난 2009년 12월에 이르러 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다(Hong *et al.*, 2012). 태안 근해에서 어류 근육의 alkyl PAHs는 초기에는 매우 높았으나 2개월 후에는 대조구와 유의한 차이가 없었으나, 쓸개에 저장된 PAHs 산물은 약 1년 후까지 대조구보다 높은 값을 나타내어(Jung *et al.*, 2011), 오염 영향이 서식처나 생물에 따라 시간적 차이를 보였다.

조간대 천해역은 환경 변화가 심하지만 먹이가 많은 편이고 포식자가 적어 이 환경에 적응한 주거어류들과 인접해역 어류들이 어린시기를 보내는 보육장으로 이용된다(신과 이, 1990; 임과 이, 1990; 이 등, 1995, 1997). 조간대 천해역에 서식하는 종들은 심한 환경 변화에 적응된 종들로, 주거종의 수는 적으며, 대부분 조류의 흐름을 따라 이동하는 어류들로 시간에 따른 종조성 변화가 심하다(Modde and Ross, 1981; Brown and McLachlan, 1990; 이, 2001). 조간대는 주변 육지의 이용 정도에 따라 인위적 영향을 크게 받고, 인접 연안의 부유물들이 조류와 바람을 따라 조간대에 쌓인다(노 등, 2009). 태안 유류 오염과 같이 물보다 가벼운 유류도 해안으로 밀려와 해안에 표착하여 유류오염 피해가 조간대에서 가장 심하다. 유출된 유류는 해수 중에서는 분해 확산되어 비교적 빠르게 유류 농도가 감소하지만, 조간대 퇴적물에서는 잔존 유류가 상당기간 존속된다(국토해양부, 2009; Kim *et al.*, 2010). 어류는 냄새에 민감하고 유영력이 커서 고착성인 생물과 달리 오염 수역을 피할 수 있고 종에 따라 오염 물질에 대한 반응이 다를 수 있기 때문에, 유류오염 이후 오염 농도 변화에 따라 어류 종조성이 달라질 것이다. 또, 천해역 어류는 부유생물이나 저서동물을 먹이로 하기 때문에 수중 유류 오염뿐 아니라 저질이나 저서생물의 유류오염도 어류 종조성 변화에 영향을 줄 수 있을 것이다.

본 연구는 태안 유류유출사고로 오염된 만리포 해변에서 2008년 2월부터 2009년 12월까지 지인망(beach seine)으로 천해 어류를 월별로 채집하여, 유류 오염 이후 시간의 경과에 따른 어류 종조성 변화를 분석하고, 서식처의 유류 오염 농도 변화와 연관하여 어류 종조성 변화 원인을 파악하였다.

재료 및 방법

천해 어류는 만리포 해변에서 2008년 2월부터 12월 및

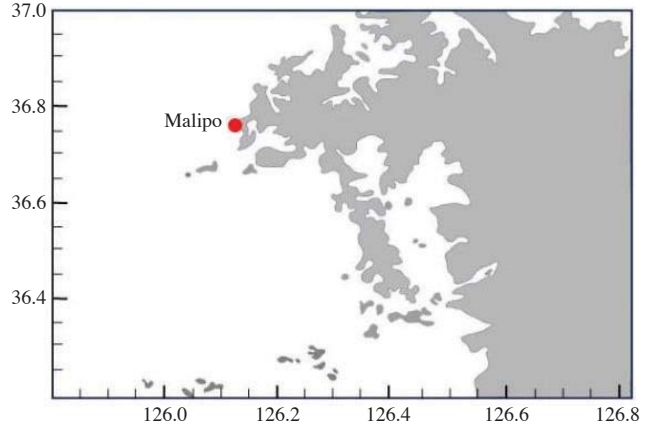


Fig. 1. Map showing the sampling site by beach seine in Malipo beach.

2009년 3월부터 12월까지 월별로 지인망(beach seine)을 사용하여 주야로 채집하였다(Fig. 1). 만리포는 최대 조차가 5 m 정도이고, 사리 때 조간대의 최대 거리는 약 100 m 정도이다. 각 조사 시기에 TS meter (TetraCon 325)를 이용하여 현장에서 수온과 염분을 측정하였다.

어류 채집에 이용된 지인망은 2008년에는 길이 10 m, 높이 2.5 m, 망목(stretched mesh size)은 10 mm였고, 2009년에는 높이와 망목은 2008년과 같았으나 길이는 20 m였다. 조간대 하부 천해역 어류는 사리 때 간조면 하부에서 채집하면 그 해역에 서식하는 대부분의 어류를 채집할 수 있음이 밝혀져(이, 2001), 본 연구에서는 원칙적으로 매월 사리 전후 주간과 야간의 간조 때를 택하여 간조선에서 어류를 채집하였다. 한 조사 시기에 같은 장소가 중복되지 않도록 하면서 해안선에서 약 20 m 떨어진 수심 1 m 정도인 곳에 투망하여 해안선에 수직으로 5회씩 예인하였다(이, 2001).

채집된 어류는 냉장 보관하여 실험실에서 전장과 무게를 측정하였다. 종의 동정에는 정(1977), Masuda *et al.* (1984), Nakabo(2002), 김 등(2005) 등을 이용하였고 종명은 김 등(2005)을 따랐다. 종 다양성 지수는 Shannon-Weaver(1949) 식을 이용하여 계산하였다.

각 조사 시기 주야간의 어류 종조성의 순위를 Mann-Whitney U test한 결과 주야간 종조성이 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않아($p > 0.05$) 각 조사시기의 자료는 주야간을 합친 10회 예인 값으로 정리하였다. 2008년에 길이 10 m인 지인망으로 채집하였고, 2009년에는 길이 20 m인 지인망으로 채집하여 채집 면적이 2배로 증가하였다. 어구 크기에 의한 차이를 비교하기 위해서 기존 연구에서 출현종수와 채집량이 가장 많았던 8월(2009년)에 10 m 그물과 20 m 그물을 이용하여 각각 5회씩 예인한 후, 10 m 그물에 채집된 개체수 및 생체량에 2를 곱한 후 평균의 차이를 t-test하였다. 이 결과에 따라 연간 비교에서는 채집면적이 같도록

2008년 채집량에 2를 곱하여 2009년 채집량과 비교하였다. 2008년에는 2월에서 12월까지, 2009년에는 3월에서 12월까지 채집하였기 때문에, 두 해의 월별 자료 비교에서는 채집된 달이 같은 3월에서 12월까지의 월별 출현종수, 채집개체수, 생체량 및 종다양성지수의 차이를 계산하여 paired t-test 방법으로 채집 연도에 따른 차이를 검정하였으며 프로그램은 SAS 9.2를 사용하였다.

채집 연도의 출현종 간의 유사성을 분석하기 위하여, 각 종의 출현 유무에 따라 Jaccard (1908)의 유사도지수를 계산하였으며 PRIMER 6 프로그램을 사용하여 수상도를 작성하였다. 2년간의 조사시기 간의 종조성 차이를 분석하기 위하여 채집월의 자료를 한 개의 표본단위 (sample unit)로 보고 주성분 분석을 하였다. 이 때에 5회 이상 출현한 종만을 대상으로 각 표본단위의 출현개체수로 각 종의 순위를 정하고 Spearman의 rank correlation을 계산한 후, Davis (1978)의 program PCA를 일부 변형하여 계산하였다.

결 과

1. 수온과 염분 변화

수온은 2월 이후 상승하기 시작하여 8~9월에 가장 높았

으며, 이후 감소하는 전형적인 온대 수역 계절양상을 보였다 (Fig. 2). 전반적으로 야간에 비하여 주간에 1~2°C 정도 높았으며, 2009년 9월 주간에 27.1°C로 가장 높았고 2008년 2월 야간에 3.5°C로 가장 낮았다. 염분은 여름철을 제외한 시기에는 30~32 psu 범위로 계절변동은 크지 않았고, 주야 변동의 거의 없었으나 2008년 7월과 9월에 주간 채집 때 비가 와서 25 psu 이하의 값을 보였다.

2. 주야간의 종조성 비교

2008년 낮에는 20종, 423마리, 2522.7 g의 어류가 채집되었으며, 밤에는 16종, 609마리, 4021.5 g의 어류가 채집되어 낮에 비하여 개체수는 1.4배, 생체량은 1.6배 채집량이 많았다. 각 월별 밤낮 종조성을 Mann-Whitney U test로 검정한 결과 유의한 차이가 없었으며, 2008년 총 채집량도 밤낮 종조성도 유의한 차이가 없었다 (Table 1).

2009년 낮에는 22종, 1615마리, 8677.9 g의 어류가 채집되었으며, 밤에는 26종, 2591마리, 26981.7 g의 어류가 채집되어, 낮에 비하여 개체수는 1.6배, 생체량은 3.1배 많이 채집되었다. 그러나 2009년 역시 Mann-Whitney U test로 검정한 결과 각 월의 밤낮 및 연간 총채집량 종조성은 유의한 차이가 없었다 (Table 1). 따라서 각 조사 시기 자료는 주야 자료

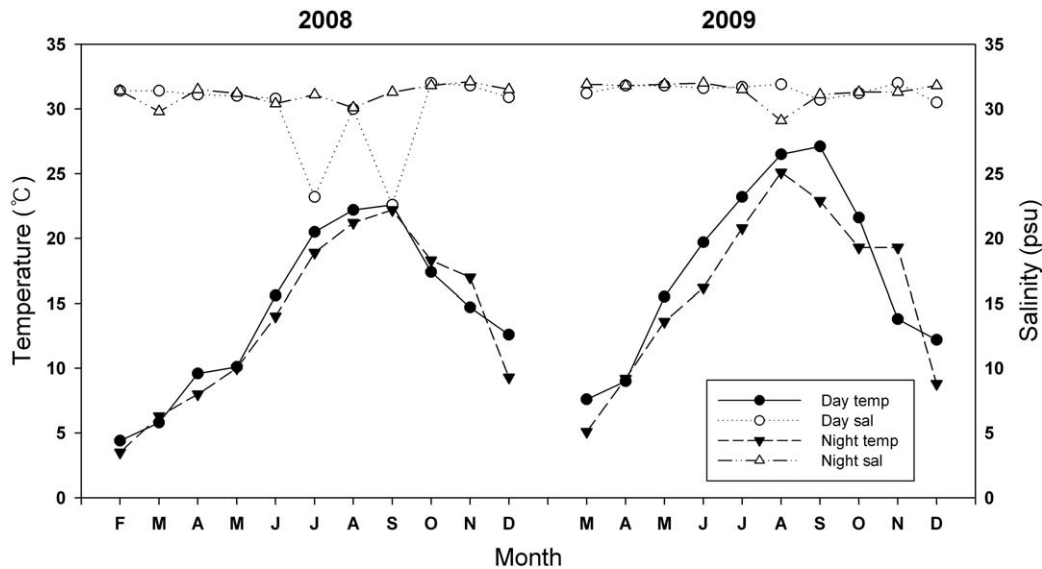


Fig. 2. Monthly variation in water temperature and salinity in Malipo beach in 2008 and 2009.

Table 1. Mann-Whitney U test to compare the species composition of fish collected during the day and night time

		Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
2008	z	-0.586	-0.512	0	0.720	0.606	0	-1.112	0.217	1.441	0.092	0.725
	p	0.558	0.608	1	0.472	0.544	1	0.266	0.828	0.150	0.927	0.469
2009	z	0	-0.155	-1.173	-0.956	0.540	-0.066	0.249	-1.537	-1.399	-0.397	0.197
	p	1	0.877	0.241	0.339	0.589	0.947	0.804	0.124	0.162	0.691	0.844

Table 2. Comparison of mean number of individuals and mean biomass of fish collected by 5 beach seine hauls with the net sizes of 10 m and 20 m in August 2009. The catch by the 10 m-net (C_{10m}) were doubled to standardize the hauled area with the catch by the 20 m-net (C_{20m})

	No. of individuals	Biomass (g)
$C_{10m} * 2$	51.6 ± 24.7	230 ± 90.7
C_{20m}	86.3 ± 43.4	530.7 ± 324.0
t-value	0.17	0.06

를 합한 10회 예인 채집량으로 정리하였다.

3. 채집 어구 크기에 따른 종조성 변화

2009년 8월에 밤낮 각각 5회씩 채집한 자료에서 길이 10 m 지인망에 채집된 개체수와 생체량에 2를 곱하여 채집면적이 같게 한 후 길이 20m의 지인망의 채집량과 평균을 비교하였다. 그 결과 평균 개체수와 생체량 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2, $p > 0.05$). 따라서 연도간 채집 개체수와 생체량 비교에서는 채집면적이 같도록 2008년 채집량에 2를 곱하여 비교하였다.

4. 종조성 변화

2008년에는 총 21종, 1,032마리, 6,544.2 g의 어류가 채집되었다 (Table 3). 출현한 어류는 가송어 (*Chelon haematocheilus*), 조피볼락 (*Sebastes schlegelii*), 전어 (*Konosirus punctatus*), 복섬 (*Takifugu niphobles*) 등과 같은 반 부어류 (semipelagic fish), 문치가자미 (*Pleuronectes yokohamae*), 풀망둑 (*Synechogobius hasta*), 날개망둑 (*Favonigobius gymnauchen*) 과 같은 저어류 (demersal fish), 밴댕이 (*Sardinella zunasi*)와 같은 회유성 어류의 유어들이었으며, 거의 대부분이 주거종들이었다. 출현빈도에서는 문치가자미가 11회 계속 출현하였고, 가송어가 9회, 조피볼락과 복섬이 7회, 날개망둑이 6회 출현하였다. 총 개체수에서는 가송어, 조피볼락과 문치가자미가 100개체 이상 출현하여 이 3종이 총 채집개체수의 75.5%를 차지하였다.

2월에는 5종 28마리, 531.1 g이 채집되었으며, 가송어가 우점하였다 (Table 3). 3월과 4월에도 주거종인 가송어, 조피볼락, 문치가자미가 우점하였으며, 2월에 비하여 채집량은 약간 증가하였다 (Fig. 3). 5월에는 3마리만이 채집되어 채집량이 채집 기간 중 가장 적었으며, 6월에도 채집량이 적었다. 7월부터 회유종들이 출현하기 시작하여 채집종수도 많아졌고, 우점종인 가송어와 조피볼락의 채집량이 증가하여 채집량이 많아졌으며, 이러한 경향은 10월까지 유지되었다. 11월 이후 수온이 낮아지며 출현종수와 채집량이 크게 감소하였다. 2008년 천해 어류 채집량은 전반적으로 수온이 낮은 계절에 적었고, 수온이 높은 계절에 높은 경향을 보였으나, 5월

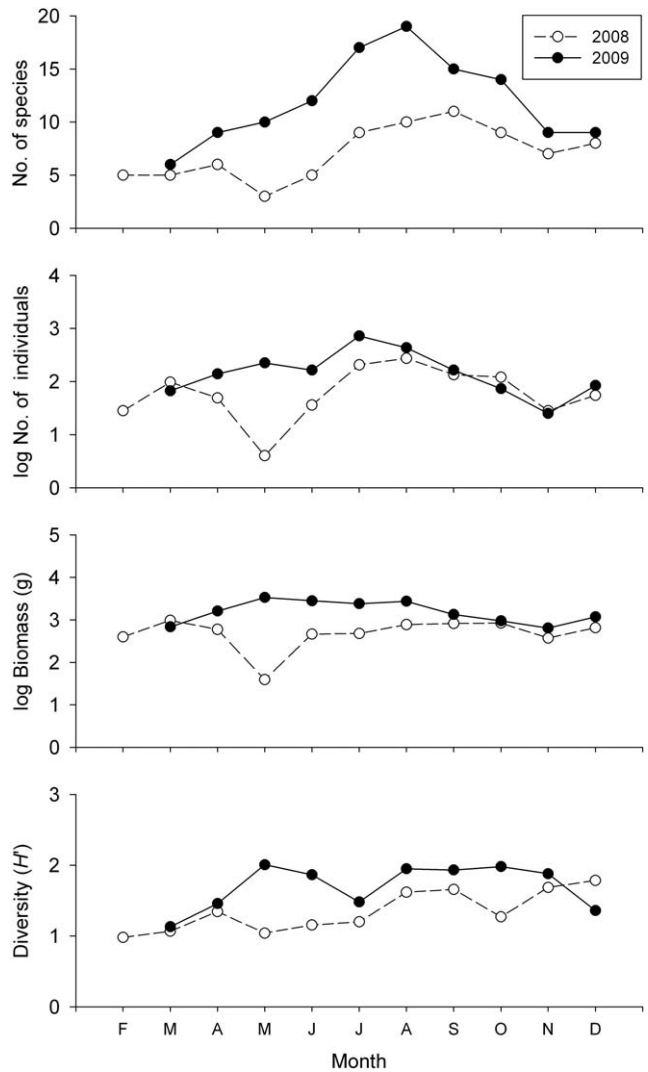


Fig. 3. Monthly variation in number of species, number of individuals (log N), biomass (log W) and species diversities of shallow water fish collected by a beach seine in Malipo beach in 2008 and 2009. The number of individuals and biomass collected by a beach seine (10 m in length) in 2008 were doubled to standardized the hauled area to the 2009 data collected by the same type of net of 20 m in length. The original data in the number of species were left as obtained by the 10 m-net in 2008 and by the 20 m-net in 2009.

과 6월에는 예외적으로 채집량이 적었다.

2009년에는 31종, 4,206마리, 35,659.6 g의 어류가 채집되었다 (Table 4). 2008년에 우점하였던 조피볼락, 문치가자미, 가송어, 넙치가 200마리 이상 채집되었으며, 이 4종이 전체 개체수의 59.9%를 차지하였으며, 이 이외에 학공치 (*Hemiramphus sajori*), 복섬, 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)와 날개망둑이 100마리 이상 채집되었다. 출현빈도에서는 문치가자미, 가송어와 복섬이 10회 모두 출현하였고, 조피볼락이 9회, 넙치가 8회 출현하였다.

2008년에 5월 전후 출현종수 및 채집량이 낮은 값을 보인

Table 3. Monthly variation of species composition of surf zone fish at the Malipo beach collected by a beach seine in 2008

Species	Feb.		Mar.		Apr.		May		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Nov.		Dec.		Total	
	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>Chelon haematocheilus</i>	20	221.8	22	148.8	13	182.8			112	96.5	118	184.2	70	203.8	76	111.2	2	32.5	10	154.8	443	1336.4		
<i>Sevastis schlegelii</i>			58	515.9	23	204.1	1	24.8	61	189.6	53	202.7	9	65.5					12	151	217	1353.6		
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	3	48.1	13	240.2	8	128.1	1	11.8	18	342.9	7	53.8	42	123.8	10	65.6	4	67.4	5	28.7	8	110	119	1220.4
<i>Synechogobius hasta</i>									1	2.1	18	68.9	5	17.1	6	28.3	10	189.6	1	5.9			41	311.9
<i>Favonigobius gymnauchen</i>									2	16.2	2	20.8	2	20.8	5	32.1							15	116.2
<i>Takifugu niphobles</i>																								
<i>Hyporhamphus sajori</i>																								
<i>Konosirus punctatus</i>																								
<i>Hexagrammos otakii</i>			3	61.7			12	73.1	1	18.9													30	167.0
<i>Repomucenus beniteguri</i>																							16	153.7
<i>Paralichthys olivaceus</i>	2	52.4	1	3.4	1	25.1																	14	61.3
<i>Repomucenus koreanus</i>																							6	18.1
<i>Acanthogobius flavimanus</i>									1	9.3													10	51.0
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>																							2	23.4
<i>Repomucenus ornatipinnis</i>																							2	30.5
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	2	131.7																					2	9.7
<i>Lateolabrax maculatus</i>																							2	131.7
<i>Mugil cephalus</i>	1	77.1																					1	13.4
<i>Pagrus major</i>																							1	77.1
<i>Sardinella zunasi</i>																							1	17.9
<i>Trachidermus fasciatus</i>																							1	4.8
Total	28	531.1	97	970.0	49	595.3	4	39.2	36	463.7	206	480.7	274	773.2	134	822.9	121	842.7	28	374.2	55	651.2	1032	6544.2
No. of species	5	5	5	6	3	5	9	10	11	9	9	11	11	11	11	11	11	11	7	8	8	21	21	
Species diversity (H')	0.98	1.07	1.34	1.34	1.04	1.16	1.20	1.62	1.66	1.66	1.27	1.68	1.78	1.84	1.78	1.84	1.78	1.84	1.68	1.78	1.84	1.84	1.84	

Table 4. Monthly variation of species composition of surf zone fish at the Malipo beach collected by a beach seine in 2009

Species	Mar.		Apr.		May		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Nov.		Dec.		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Sebastes schlegelii</i>	22	220.6	143	1467.8	21	494.7	86	204.7	406	1335.5	252	1085.8	120	661.2	48	348.8	13	78.8	1111	5897.9		
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	74	597.7	61	1115.3	105	1540.2	37	653.8	258	590.4	207	1075.2	70	553.5	17	166.2	4	25.8	860	6566.5		
<i>Hemiramphus sajori</i>							627	468.8	136	94.1												
<i>Chelon haematocheila</i>	33	520.7	19	273.1	26	232.2	74	343.3	28	36.4	102	254.7	34	73.3	3	12.9	4	21.4	330	1873.2		
<i>Takifugu niphobles</i>	1	5.9	22	148.0	87	567.9	6	68.9	4	29.1	4	29.1	1	4.3	2	14.3	14	215.2	97	600.2	238	1683.0
<i>Paralichthys olivaceus</i>					55	2916.5	28	1603.7	30	1797.5	55	1403.7	17	751.7	7	595.4	9	270.0	16	1043.6	217	10382.1
<i>Hexagrammos otakii</i>			1	2.7	86	326.9	15	123.4	6	117.0	2	68.1	2	56.0					185	694.1		
<i>Favonigobius gymnauchen</i>					16	30.5	69	203.0	45	130.0	11	36.6	2	8.6	1	4.3			144	413.0		
<i>Repomucenus ornatipterus</i>							7	83.2	19	492.6	32	120.7	31	119.5					89	816.0		
<i>Repomucenus beniteguri</i>	2	5.8	15	73.7	22	137.1	13	153.3			26	67.4					1	2.5	79	439.8		
<i>Synechogobius hasta</i>										25	324.6								60	1712.7		
<i>Repomucenus koreanus</i>	2	13.6	12	64.7	29	244.6	5	44.9	2	24.1	2	22.0							52	413.9		
<i>Acanthogobius flavimanus</i>			5	43.1			10	41.2											50	507.8		
<i>Sardinella zunasi</i>																			26	75.9		
<i>Konosirus punctatus</i>							3	9.8	13	50.5									17	69.8		
<i>Kareius bicoloratus</i>			1	36.6	2	248.6	5	220.7			1	16.1							9	522.0		
<i>Conger myriaster</i>							1	35.7	3	100.5	2	145.7							8	335.7		
<i>Scomberomorus niphonius</i>							6	38.4	1	49.9									7	88.3		
<i>Sillago japonica</i>																			5	24.0		
<i>Inegocia japonica</i>													4	22.9					4	22.9		
<i>Platycephalus indicus</i>													1	6.4	1	33.3			3	70.6		
<i>Thryssa kammalensis</i>							3	8.9											3	8.9		
<i>Zebrias fasciatus</i>																			3	8.9		
<i>Engraulis japonicus</i>																			3	224.2		
<i>Ilisha elongata</i>																			2	11.2		
<i>Lateolabrax maculatus</i>																			2	11.2		
<i>Mugil cephalus</i>							2	4.4											2	4.4		
<i>Pholis fangi</i>							2	9.6											2	9.6		
<i>Collichthys lucidis</i>																			2	2085.0		
<i>Cynoglossus joyneri</i>							2	2085.0											2	12.8		
<i>Takifugu pseudoninus</i>																			1	6.7		
																			1	33.6		
																			1	68.4		
Total	134	1364.3	279	3225.0	449	6739.2	341	5740.4	1442	4824.9	863	5480.3	333	2734.1	145	1899.8	52	1299.8	168	2351.8	4206	35659.6
Number of species	6		9		10		12		17		19		15		14		9		9		31	
Species diversity(H')	1.13		1.46		2.01		1.87		1.48		1.95		1.93		1.98		1.88		1.36		2.22	

Table 5. Comparison of species compositions of surf-zone fish collected by a beach sein from Malipo beach in 2008 and 2009

Sampling time Species		2008		2009	
		N	W	N	W
<i>Sebastes schlegelii</i>	조피볼락	217	1353.6	1111	5897.9
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	문치가자미	119	1220.4	860	6566.5
<i>Hemiramphus sajori</i>	학공치	32	155.2	765	585.7
<i>Chelon haematocheila</i>	가송어	443	1336.4	331	1873.2
<i>Takifugu niphobles</i>	복섬	34	257.2	238	1683.0
<i>Paralichthys olivaceus</i>	넙치	10	117.0	217	10382.1
<i>Hexagrammos otakii</i>	취노래미	16	153.7	112	694.1
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	날개망둑	41	311.9	144	413.0
<i>Repomucenus ornatipinnis</i>	꽃돔양태	2	9.7	89	816.0
<i>Repomucenus beniteguri</i>	날돔양태	14	61.3	79	439.8
<i>Synechogobius hasta</i>	폴망둑	51	1008.8	60	1712.7
<i>Repomucenus koreanus</i>	참돔양태	10	51.0	52	413.9
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑	4	62.4	50	507.8
<i>Sardinella zunasi</i>	밴댕이	1	4.8	26	75.9
<i>Konosirus punctatus</i>	전어	30	167.0	17	69.8
<i>Mugil cephalus</i>	송어	1	77.1	2	522.0
<i>Lateorabrax maculatus</i>	점농어	1	13.4	2	335.7
<i>Kareius bicoloratus</i>	돌가자미			9	88.3
<i>Conger myriaster</i>	붕장어			8	24.0
<i>Scomberomorus niphonius</i>	삼치			7	22.9
<i>Sillago japonica</i>	청보리멸			5	70.6
<i>Inegocia japonica</i>	접양태			4	8.9
<i>Platycephalus indicus</i>	양태			3	224.2
<i>Thryssa kammalensis</i>	청멸			3	11.2
<i>Zebrias fasciatus</i>	노랑각시서대			3	4.4
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치			2	9.6
<i>Ilisha elongata</i>	준치			2	2085.0
<i>Pholis fangi</i>	흰베도라치			2	12.8
<i>Cynoglossus joyneri</i>	참서대			1	6.7
<i>Collichthys lucidus</i>	황강달이			1	33.6
<i>Takifugu pseudommmus</i>	흰점참복			1	68.4
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔	2	30.5		
<i>Trachidermus fasciatus</i>	걱정이	1	3.2		
<i>Pagrus major</i>	참돔	1	17.9		
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	두줄망둑	2	131.7		
Total		1032	6544.2	4206	35659.6
No. of species		21		31	
Speciesdiversity (H')		1.84		2.22	

데 비하여, 2009년도에는 3월 이후 채집량이 증가하여 7~8월에 최대값을 보이고 그 이후 감소하는 전형적인 온대해역 어류 채집량 변화를 보였다 (Fig. 3). 3월에는 주거종 6종이 채집되었으며 조피볼락, 문치가자미 가송어가 대부분을 차지하였다 (Table 4). 2008년과 달리 4월부터 출현종수와 채집량이 증가하기 시작하였다. 5월에는 우점종뿐 아니라 넙치, 취노래미, 날개망둑 등이 다수 채집되면서 채집량이 증가하였다. 7월에는 주거종인 조피볼락과 문치가자미가 채집량이 크게 증가하였고 학공치 유어가 다량 채집되어 채집 개체수가 1,442마리로 조사 기간 중 가장 많았고, 온수성 회유 종들이 채집되어 17종이 출현하였다. 이러한 높은 채집량은 9월까지 지속되었고, 10월에는 출현종수가 14종으로 약간 줄었고 채집량은 감소하였다. 11월에는 출현종수가 9종으로 줄고 채집량도 52마리로 크게 감소하였다.

5. 종조성의 연간비교

조사기간 동안 3월에서 12월 사이 총 35종의 어류가 채집되었으며, 그 가운데 17종이 두 해 모두에 채집되었고, 한해만 채집된 종들은 출현빈도도 적었고 연간 채집된 개체수가 10마리 미만인 종들이었다 (Table 5). 두 해 자료 중 2008년의 채집량을 2로 곱하여 2009년과 같은 채집면적 당으로 환산하였을 때, 월평균 채집 개체수는 2008년에 비하여 2.1배, 생체량은 3배 정도 많았다 (Table 6).

채집 면적을 표준화한 월별 채집 개체수, 생체량 및 종 다양성지수를 같은 달의 차이를 paired t-test한 결과 개체수는 10% 수준에서 차이가 있었고 생체량과 종 다양성지수는 2008년에 비하여 2009년에 유의하게 높았다 ($p < 0.05$, Table 6). 출현종수는 채집면적에 1차 비례하지 않기 때문에 연간

비교에서 제외하였다.

6. 종간 유사성

2008년과 2009년 각각 3회 이상 출현한 종들의 종간 유

사성은 Fig. 4~5와 같다. 2008년 종조성은 유사도지수(J) 0.45 수준에서 2개 그룹으로 구분할 수 있었다(Fig. 4). 그룹 'A'는 조피볼락, 복섬, 가송어, 문치가자미 등 5종으로, 이 종들은 계절에 관계없이 거의 전 조사기간 동안 출현한 주거

Table 6. Paired t-test of the annual difference in monthly data (mean ±SD) in species compositions of surf-zone fish from Malipo beach. The data obtained from March to December were used for the comparison. The number of individuals and biomass collected by a beach seine (size of 10 m) in 2008 were doubled to compare the 2009 data collected by the same type of net of 20 m in size

	2008	2009	Difference	t-value	p
No. of species	7.3 ± 2.5	12.0 ± 4.0	-4.7 ± 2.9	-5.18	0.0006
No. of individuals	200.8 ± 171.6	420.6 ± 425.8	-219.8 ± 332.9	-2.09	0.0664
Biomass	1202.6 ± 548.3	3566.0 ± 1974.5	-2363.3 ± 2337.7	-3.20	0.0109
Species diversity (<i>H'</i>)	1.38 ± 0.28	1.70 ± 0.32	-0.32 ± 0.40	-2.58	0.0299

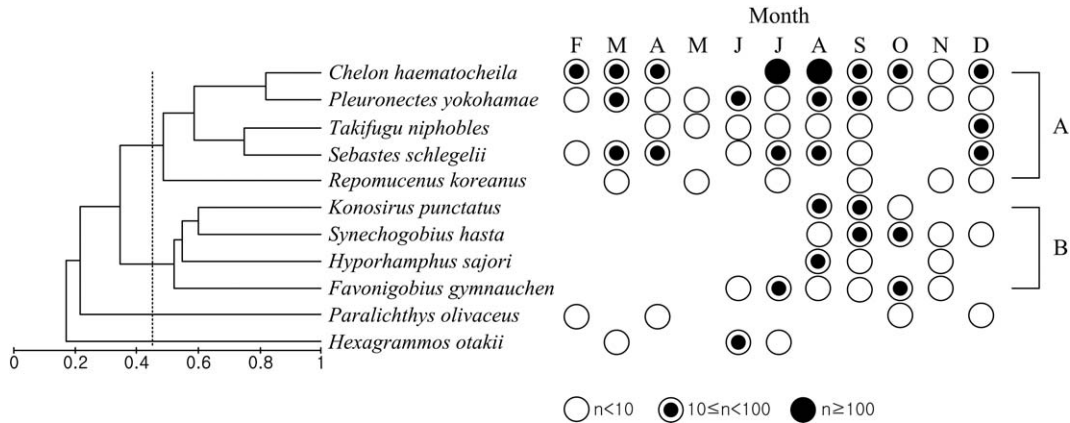


Fig. 4. Cluster analysis of the species composition of shallow water fish in Malipo beach collected by a beach seine in 2008, based on Jaccard's index of similarity (left). Circles represent the monthly relative abundance (right).

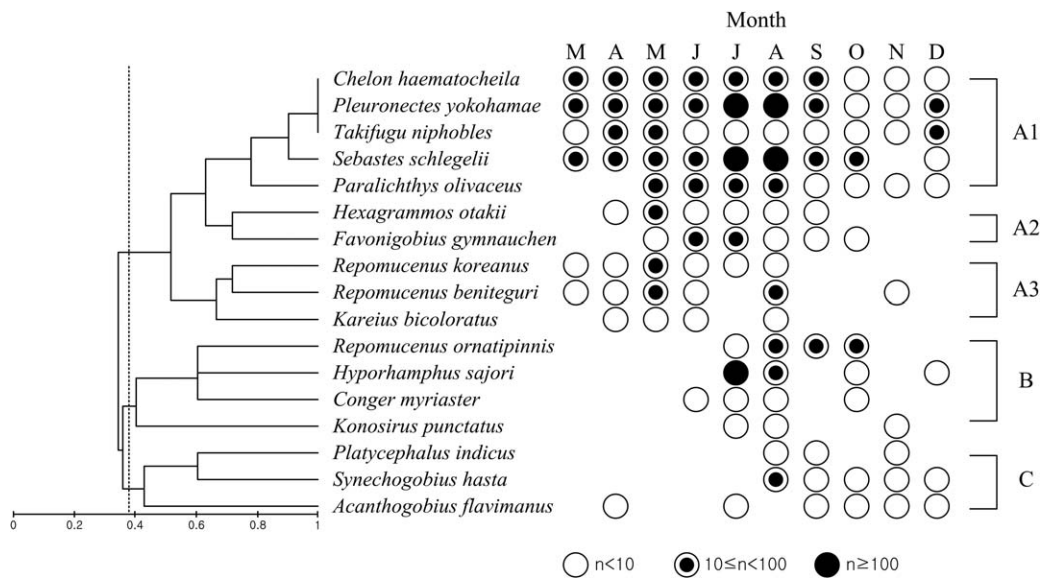


Fig. 5. Cluster analysis of the species composition of shallow water fish in Malipo beach collected by a beach seine in 2009, based on Jaccard's index of similarity (left). Circles represent the monthly relative abundance (right).

Table 7. Eigen value, proportion and cumulative percent of the principal components determined by principal component analysis of species composition of fish collected by a beach seine from Malipo beaches in 2008 and 2009

Component	Eigen value	proportion (%)	Cumulative (%)
I	3.44	24.6	24.6
II	2.60	18.5	43.1
III	2.14	15.3	58.4

종들이었다. 그룹 ‘B’는 전어, 풀망둑, 학공치, 날개망둑으로 주로 8~11월 사이에 우점 출현한 종들이었다. 이 종들은 여름에 출현하기 시작하여 수온이 낮아지는 늦가을까지 출현한 어류들이었다.

2009년 종조성은 유사도지수(J) 0.50 수준에서 5개 그룹으로 구분할 수 있었다(Fig. 5). 그룹 ‘A’는 3개의 소그룹으로 나눌 수 있었다. 그룹 ‘A1’는 가송어, 문치가자미, 복섬, 조피볼락, 넙치의 5종으로 전 조사기간 동안 거의 지속적으로 출현한 종들로 넙치를 제외하고는 2008년의 A그룹과 같은 종들이었다. ‘A2’ 그룹에는 쥐노래미, 날개망둑으로 4월~10월 사이에 출현한 종들이었고, 그룹 ‘A3’은 참돛양태, 날돛양태, 돌가자미 3종으로 ‘A2’ 그룹보다 약간 이른 3월~8월 사이에 주로 출현한 종들이었다. 넙치와 쥐노래미는 2008년에는 출현빈도가 적고 계절에 상관없이 출현하여 그룹 외 종이었으나, 2009년에는 채집량과 출현빈도가 증가하며 A그룹에 속하였다. ‘B’ 그룹에 속한 종들은 주로 7월~10월 사이에 출현한 종들로, 2008년의 ‘B’ 그룹과 거의 같은 종들로 연안 회유종들이 주를 이루었다. ‘C’ 그룹 종은 ‘B’ 그룹 종들보다 약 1~2달 정도 늦은 8월~12월에 출현한 종들이었다. 2008년과 2009년 중 간 유사성을 비교하면, ‘A’ 그룹에 속하는 종들은 연안종들은 2008년에는 소수 주거 우점종들만 출현하였으나, 2009년에는 이들 주거종 이외에 출현기간이 짧고 채집량도 적은 연안종들이 채집되었다. 연안회유 종들은 2008년에는 8월 이후에 주로 출현하였으나(그룹 B), 2009년에는 출현종수도 증가하였고 그 출현 기간이 한달 정도 빨라졌다(그룹 B와 C).

7. 주성분 분석

2008년과 2009년 조사시기(월)에 따른 종조성 변화를 비교하기 위해서 총 조사 21회 중 5회 이상 출현한 14종을 대상으로 각 조사시기 채집 개체수 순위의 상관관계(rank correlation)를 이용하여 주성분 분석한 결과, 제1축이 24.6%, 제2축이 18.5%, 제 3축 15.3%를 포함하여, 제3축까지 총 정보의 58.4%를 설명하고 있다(Table 7).

주성분 I-II축에 투영된 채집 시기(채집 월)들은 채집년도와 관계없이 7월에서 12월 사이는 같은 채집 달들이 다른 시기와 분리되어 인접하여 분포하였으나, 3~5월은 서로 섞

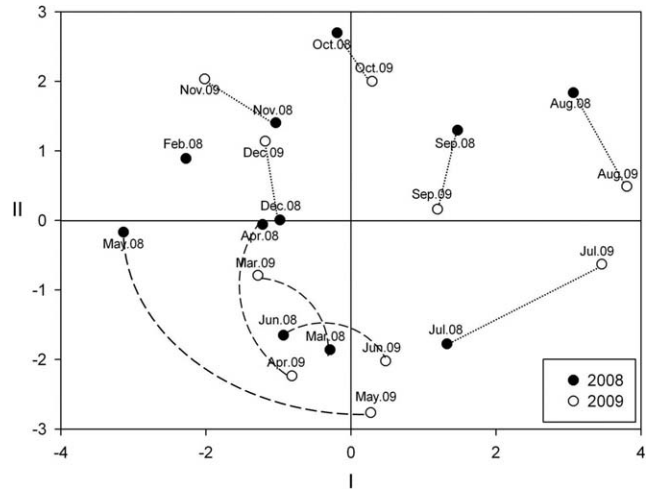


Fig. 6. Scattered diagram of principal component scores of sampling months on principal axes I and II by analysis of monthly species composition of shallow water fish in Malipo beach collected by a beach seine in 2008 and 2009.

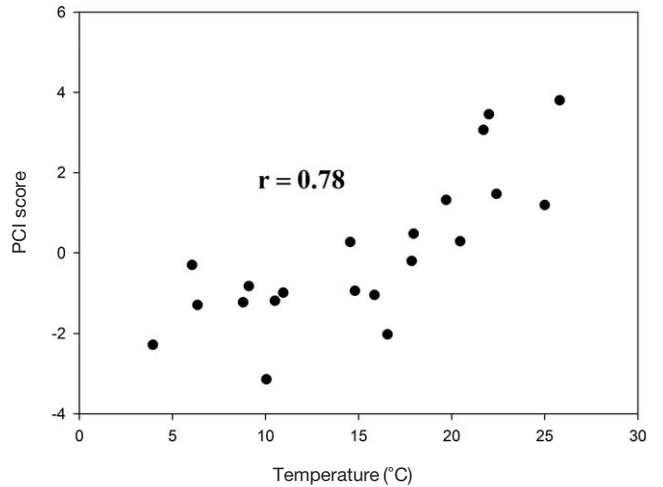


Fig. 7. Scattered diagram showing the first principal component scores versus temperature and correlation coefficient (r).

여 분포하였다(Fig. 6). 3~5월의 달들은 주로 IV 상한에 분포하였고, 7월은 I 상한, 8~9월은 II 상한, 그리고 10~12월은 주로 III 상한에 위치하여 채집월들이 시계반대방향으로 원형을 그리며 분포하여 종조성이 계절에 따라 점진적으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 제 1축에서 수온이 높은 시기인 5~9월의 score가 양의 값을 나타내고 있으며 비교적 수온이 낮은 나머지 시기인 10월~4월까지의 score가 음의 값을 나타내었다. 제1축의 score값(y₁)을 수온(x₁)에 대해 대응시킨 결과 제1성분은 수온과 유의한 양의 상관 관계를 보였다(p<0.05)(Fig. 7).

토 의

본 연구에서 2008년에는 길이 10 m, 2009년에는 20 m 지인망으로 채집하여, 두 조사시기 자료의 비교에서는 2008년 10 m 그물 채집량을 2배하여 채집면적이 같게 하였다. 이를 검증하기 위해서 어류 채집량이 가장 많을 것으로 예상되는 2009년 8월에 길이 10 m와 20 m인 지인망으로 같은 방법으로 5회씩 예인한 자료에서 10 m 그물에 채집된 개체수 및 생체량을 2배하여 20 m 그물 채집량 자료와 그 평균을 비교하였다. 그 결과 두 평균 사이에서는 유의한 차이가 없어 (Table 2, t-test, $p < 0.05$), 연도간 자료 비교에서는 2008년 채집량을 2배하여 2009년 자료와 비교하였다. 그러나 채집종수의 경우는 채집면적 증가하면 초기에는 급격히 출현종수가 증가하지만, 이후 채집면적이 증가하며 출현종수 증가는 둔화되어 접근선에 접근한다 (Livingston *et al.*, 1976; Allen, 1982; 신과 이, 1990; 이 2001). 본 연구의 10 m 와 20 m 두 그물 자료만으로는 채집면적 증가에 따른 채집종수 증가 관계를 구명할 수 없어 연도간 채집종수는 직접 비교하지 않고 시간에 따른 경향만을 비교하였다.

본 조사 지역에서는 조피볼락, 문치가자미, 가숭어, 넙치 등 연안 정착성 저어류들이 우점하였고, 대부분 1년 미만의 유어들이었다. 이들은 어릴 때 천해역에서 성장한 후 깊은 곳으로 이동하는 종들이었다. 회유종이나 일시 출현종들 가운데 학공치나 복섬의 유어들이 난수기에 대량 출현하였으며, 청어목 (Clupeiformes) 어류는 일부 출현하였으나 그 비중은 크지 않았다. 이와 같이 주거종이 우점하는 양상은 유류오염 이전 조사해역에 인접한 학암포 해빈과 연포 해빈에서도 비슷하였다 (노 등, 2009). 천수만 이남 서해 조간대 천해 어류는 냉수기에는 연안 정착성 어류들이 우점하였고, 여름에서 가을까지 난수기에는 청어목의 전어, 밴댕이, 멸치 등과 같은 회유성 부어류 유어들이 우점하는 양상을 보였다 (이 등, 1997; 이, 2001; 이와 문, 2002). 청어목 어류나 민어과 어류들은 외해에서 월동하고 봄에 서해 연안으로 몰려와 산란하고 유어들이 천해역에서 가을까지 자라는 어류인데 비하여 (Lee, 1983; Gil and Lee, 1986; 이와 송, 1993), 본 조사에서는 회유종들의 채집량이 적었다. 종합하면, 조사지역 어류 종조성은 수온이 낮은 계절에는 주거종이 소수 출현하여 우점하였고, 수온이 상승하며 주거종의 유어들이 대량 출현하여 우점하였으며, 일부 회유성 어류들의 유어들이 출현하였으나 그 비중은 서해 중남부 천해에 비하여 낮았다.

온대 천해역에서 봄에 수온이 상승하면서 일반적으로 출현어종 및 채집량이 증가하는데, 액상의 유류 오염 영향을 받은 만리포에서는 2008년 6월까지 소수개체만 출현하였다 (Table 3, Fig. 3). 유류오염 초기 만리포 조간대는 독성이 강한 액상의 유류로 덮여 어류를 포함한 수중생물들은 거의

살아남을 수 없었을 것으로 보이며, 본 연구를 시작한 2008년 2월은 유류오염 후 2개월 후로, 만리포 조간대에서 액상의 유류는 제거되었고 독성이 강한 PAHs도 연안 수질 기준 이하로 낮아져 (국토해양부, 2009), 일부 주변에 살던 어류들이 조류를 따라 조간대 천해까지 밀려온 온 것으로 추정된다. 그러나 조간대 퇴적물 공급수에는 잔존 유류들이 남아 해수로 확산되었기 때문에 천해까지 밀려온 일부 어류를 제외하고는 냄새에 민감한 어류들은 이 해역을 피하여 6월까지 낮은 채집량을 보인 것으로 추정된다. 특히 사고 이후 지속적으로 물리적 방제작업이 이루어져 서식처는 계속 교란되었으며, 특히 만리포를 포함한 주변 해수욕장에서는 4~5월에 모래를 갈아엎고 새로운 모래를 뿌리는 작업이 시행되어 이 시기에 서식 환경 교란이 가장 심하여, 5월에 어류의 채집량이 가장 적었던 것으로 보인다. 조사해역인 만리포 모래 조간대에서는 6월에 본격적인 유류방제 작업은 마무리되었고, 해수중의 유류농도도 해수수질 기준인 $10 \mu\text{g/L}$ 이하로 낮아져 (Kim *et al.*, 2010), 7월부터 천해 어류들이 조사해역 천해역으로 들어오기 시작한 것으로 보인다. 본 연구의 채집량을 보면 9월 이후는 2009년과 큰 차이를 보이지 않았다.

2009년의 월별 어류 종조성은 전형적인 온대 천해 어류 변화 양상을 보였으며, 액상의 유류오염 영향을 받지 않은 굴혈포의 천해 어류 종조성 변화 (이태원 외, 미발표 자료)와 큰 차이를 보이지 않아, 만리포 천해 어류는 2009년부터는 종조성 변화 측면에서는 유류 오염 영향이 적은 것으로 보인다. 주성분분석 결과에서 2009년의 천해 어류 종조성은 월별로 반시계 방향으로 점진적으로 변화하였지만 (Fig. 6), 2008년의 월 변화는 3월에서 6월까지의 경향성을 보이지 않았고, 7월부터 2009년과 비슷한 양상을 나타내었다. 2008년과 2009년 월별 어류 채집량 및 종조성 변화를 종합하면, 만리포 천해 어류 종조성은 2008년 8~9월부터는 유류 오염 영향이 크지 않은 것으로 보인다.

태안 근해서 채집된 조피볼락이나 문치가자미 근육의 alkyl PAHs는 초기에는 매우 높다가 2개월 후에는 대조구와 유의한 차이가 없었으나, 간에서 분해되어 쓸개에 저장된 PAHs 산물은 약 1년 후까지 대조구보다 높은 값을 나타내어 퇴적물로부터 용출된 PAHs가 먹이생물을 통해 어류에 공급되는 것으로 추정하였다 (Jung *et al.*, 2011). 이와 같이 퇴적물 내 유류 농도는 장시간 지속되기 때문에 먹이인 저서 생물을 통하여 어류에게 영향을 주게 되고 (Peterson *et al.*, 2003), 유류오염은 어류의 번식이나 내분비계통에 대한 영향을 주기 때문에 비교적 장기간 영향을 미칠 수 있다 (Sol *et al.*, 2000).

이상을 종합하면, 액상의 유류오염을 직접 받은 만리포에서 천해 어류는 초기 몇 달간은 잔존유류의 영향과 조간대 모래 세척 등의 유류 방제 작업에 따른 서식처 교란으로 일

부 주거종들 만이 채집되어 출현종수와 채집량이 적었고, 2008년 7월 이후 채집량이 증가하기 시작하여 2008년 9월부터는 2009년과 채집량의 차이가 적어 잔존 유류 영향이 어류 종조성에 미치는 영향이 크지 않았던 것으로 보인다. 그러나 퇴적물을 잔존 유류의 농도는 점진적으로 감소하여 먹이 저서생물 등을 통해 일부 유류가 어류 체내에 남을 수 있고, 유류는 어류의 내분비나 번식 생리를 교란하여 어류에 대한 영향이 장기간 지속될 가능성은 배제할 수 없다.

요 약

2007년 12월의 태안 Hebei Spirit 유류 유출지점으로부터 약 10 km 떨어진 액상의 유류 오염 피해를 직접 받은 만리포 조간대 천해역 어류의 종조성 변화를 분석하였다. 어류는 2008년 2월부터 2009년 12월까지 월별로 그름 사리 간 조 때 주야 각 5회씩 지인망으로 채집하였다. 월별 주야간 어류 종조성은 유의한 차이를 보이지 않았다. 2008년에는 총 21종, 1,032마리, 6,544.2 g의 어류가 채집되었고, 2009년에는 31종, 4,206마리, 35,659.6 g의 어류가 채집되었다. 출현한 어류는 소형어이거나 유어들이었으며, 채집량이 많은 어류들은 연안 주거종이었고 계절에 따라 출현하는 회유종은 양적으로 적었다. 출현종 가운데 가승어 (*Chelon haematochelius*), 조피볼락 (*Sebastes schlegelii*), 복섬 (*Takifugu niphobles*)과 문치가자미 (*Pleuronectes yokohamae*)가 조사 기간 중 우점하였다. 2008년의 월별 채집생물량과 종 다양성지수는 2009년에 비하여 유의하게 낮았다. 2008년 2월에서 6월까지의 일부 주거종들 만이 채집되어 출현종수와 채집량이 낮았고, 5월에 가장 낮았으며 7월 이후 채집량이 증가하였다. 2009년에는 봄에 수온이 상승하며 출현종수와 채집량이 증가하여 하계에 최대값을 보이고 가을에 낮아지는 전형적인 온대 천해 어류 종조성 변화를 보였으며, 오염 피해가 적었던 곳과 비슷한 양상을 보였다. 만리포에서 오염 이후 초기 몇 달간은 천해어류 출현종수와 채집량이 적었던 것은 잔존유류의 영향과 조간대 모래 세척 등의 유류 방제 작업에 따른 서식처 교란 때문으로 보인다. 2008년 9월 이후 월별 채집량이 2009년의 같은 달 채집량과 큰 차이가 없어 2008년 9월 이후에는 잔존 유류 영향이 어류 종조성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 추정된다.

사 사

본 연구는 국토해양부 지원 ‘유류오염 환경영향평가 및 환경복원 연구’ 사업으로 수행되었습니다. 현장 자료수집과 시료 분석에 도움을 준 충남대학교 해양학과 윤재선, 임형

묵, 정병천에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 국립공원관리공단 국립공원연구원. 2009. 허베이 스피리츠 유류 유출 사고에 따른 생태계 영향 장기 모니터링. 국립공원 연구보고 2009-22, 856pp.
- 국토해양부. 2009. 2008 해양오염영향조사 및 생태계복원연구. No. 11-1611000-000392-01, 801pp.
- 국토해양부. 2010. 2009유류오염 환경영향평가 및 환경복원연구. No. 11-1611000-001143-01, 954pp.
- 국토해양부. 2011. 2010 유류오염 환경영향평가 및 환경복원연구. No. 11-1611000-001643-01, 999pp.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 한국 어류대도감. 교학사, 615pp.
- 노형수 · 육관수 · 황학빈 · 이태원. 2009. 태안 해빈 천해어류 종 조성의 계절변화. 한국해양학회지, 14: 145-154.
- 농림수산식품부. 2010. 태안 어장 정밀조사 및 복원 사업. 농림수 산식품부 국립수산물과학원 서해수산연구소, No. SP-2010-AQ-008, 498pp.
- 신민철 · 이태원. 1990. 대천 해빈 쇠파대 어류군집의 계절변화. 한국해양학회지, 25: 135-144.
- 이태원. 2001. 대천 해빈 쇠파대 어류 종조성의 단기 변화. 한국 어류학회지, 13: 32-39.
- 이태원 · 문형태. 2002. 부안 채석강 해빈 천해역 어류 종조성의 계절 변화. 한국어류학회지, 14: 53-60.
- 이태원 · 문형태 · 최신석. 1997. 천수만 어종의 종조성 변화(2). 쇠파대 어류. 한국어류학회지, 9: 79-90.
- 이태원 · 송해성. 1993. 민태의 분포, 체장 및 연령조성. 한국어류 학회지, 5: 184-193.
- 이태원 · 황선완 · 박승윤 · 조영록 · 정희정. 1995. 천수만 천해어류 군집구조의 변화. 국립수산물과학원연구보고, 49: 219-231.
- 임양재 · 이태원. 1990. 천수만 망둑어과 어류의 계절에 따른 종 조성 변화와 우점종의 생태. 한국어류학회지, 2: 182-202.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, 727pp.
- Allen, L.G. 1982. Seasonal abundance, composition and productivity of the littoral fish assemblage in upper Newport Bay. Fish. Bull. U. S., 80: 769-790.
- Brown, A.C. and A. McLachlan. 1990. Ecology of sandy shores. Elsevier Press, Amsterdam, 186pp.
- Davis, J.C. 1978. Statistical and data analysis in geology. Wiley, New York, 550pp.
- Gil, J.W. and T.W. Lee. 1986. Reproductive ecology of the scaled sardine, *Sardinella zunasi* (Family Clupeidae), in Cheonsu Bay of the Yellow Sea, Korea. Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes. 1986. Ichthyological Society of Japan, 18: 161-168.
- Hong, S., J.S. Khim, J. Ryu, J. Park, S.J. Song, B.O. Kwon, K. Choi, K. Ji, J. Seo, S. Lee, J. Park, W. Lee, Y. Choi, K.T. Lee, C.K.

- Kim, W.J. Shim, J.E. Naile and J.P. Giesy. 2012. Two years after the Hebei Spirit oil spill: Residual crude-derived hydrocarbons and potential AhR-mediated activities in coastal sediments. *Environ. Sci. Technol.*, 46: 1406-1411.
- Jaccard, P. 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat.*, 44: 223-270.
- Jung, J.H., M. Kim, U.H. Yim, S.Y. Ha, J.G. An, J.H. Won, G.M. Han, N.S. Kim, R.F. Addison and W.J. Shim. 2011. Biomarker responses in pelagic and benthic fish over 1 year following the Hebei Spirit oil spill (Taeon, Korea). *Mar. Pollut. Bull.*, 62: 1859-1866
- Kim, M., U.H. Yim, S.H. Hong, J.H. Jung, H.W. Choi, J. An, J. Won and W.J. Shim. 2010. Hebei Spirit oil spill monitored on site by fluorometric detection of residual oil in coastal waters off Taeon, Korea, *Mar. Pollut. Bull.*, 60: 383-389.
- Lee, T.W. 1983. Age composition and reproductive period of the shad, *Konosirus punctatus*, in Cheonsu Bay. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 18: 161-168.
- Livingston, R.J., R.S. Lloyd and M.S. Zimmerman. 1976. Determination of sampling strategy for benthic macrophytes in polluted and unpolluted coastal areas. *Bull. Mar. Sci.*, 26: 569-575.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Ueno and T. Yoshino. 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Tokai Univ. Press, Tokyo. Text and plates: 437pp+370 pls.
- Modde, T. and S. Ross 1981. Seasonality of fishes occupying a surf zone habitat in northern Gulf of Mexico. *Fish. Bull., U.S.*, 78: 911-922.
- Nakabo, T. (ed) 2002. Fishes of Japan with pictorial keys to the species. Tokai University Press, Tokyo, 1749pp.
- Peterson, C.H., S.D. Rice, J.W. Short, D. Esler, J.L. Bodkin, B.E. Ballachey and D.B. Irons. 2003. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science*, 302: 2082-2086.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press. Urbana, 117pp.
- Sol, S.Y., L.L. Johnson, B.H. Horness and T.K. Collier. 2000. Relationship between oil exposure and reproductive parameters in fish collected following the Exxon Valdez oil spill. *Mar. Pollut. Bull.*, 40: 1139-1147.