한국해양환경 · 에너지학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environment and Energy
Vol. 17, No. 2. pp. 104-115, May 2014

http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2014.17.2.104
ISSN 2288-0089(Print) / ISSN 2288-081X(Online)

양식장 스티로폼 부자쓰레기로 인한 통영 해변의 오염 평가

홍수연[1,2] · 이찬원[1,2] · 홍선욱[1] · 이종명[1] · 장용창[1]
1(사)동아시아바다공동체오션/한국 해양쓰레기 연구소
[2]경남대학교 도시환경공학과

Evaluation of Beach Pollution by Aquaculture Styrofoam Buoys in Tongyeong, Korea

Su Yeon Hong[1,2], Chan Won Lee[1,2], Sunwook Hong[1], Jongmyoung Lee[1] and Yong Chang Jang[1]
[1]Our Sea of East Asia Network / Korea Marine Litter Institute, Kyungnam 650-826, Korea
[2]Department of city environmental engineering of Kyungnam University, Kyungnam 631-701, Korea

요 약

2013년 가을, 한국 통영의 13개 해변에서 해양쓰레기의 풍도와 조성을 조사하였다. 대형쓰레기(25 mm 이상)의 풍도는 평균 약 30개/m^2, 소형쓰레기(1 mm-25 mm)의 풍도는 평균 26,971개/m^{2}로서 한국의 다른 지역이나 전세계 다른 지역에 비해 매우 높은 편이었다. 스티로폼, 경질플라스틱, 섬유, 금속, 유리, 목재, 기타 등 7개 재질로 구분했을 때 대형쓰레기 중 스티로폼의 갯수가 차지하는 비율은 약 75%, 소형 쓰레기에서는 약 98%였다. 대형 스티로폼 쓰레기 중 원래 부피의 50% 이상이 남아 있는 '완제품' 쓰레기들을 양식용 부자와 기타 완제품 쓰레기로 구분했을 때 양식용 부자가 차지하는 비율은 갯수로 93%였다. 결국 조사된 해변들에서 쓰레기로 인한 해변 오염은 매우 심각한 수준이며, 쓰레기의 발생 원인의 대부분은 양식장에서 사용되는 스티로폼 부자인 것으로 밝혀졌다. 통영 지역은 한국에서 굴 양식장이 가장 많은 곳이므로 굴 양식장의 스티로폼 부자 쓰레기 관리를 개선하는 것은 통영뿐만 아니라, 다른 지역의 해변 오염을 예방하는 데도 중요한 것으로 보인다.

Abstract – Abundance and composition of marine debris on 13 beaches of Tongyeong City, South Korea were surveyed in 2013 Autumn. The average quantity of macro debris (>25 mm) was about 30 particle/m^2 and that of micro debris (1 mm-25 mm) was about 26,971 particle/m^2. This is a very high level compared with other areas of South Korea and the other countries. Among the 7 material types of debris (styrofoam, hard plastic, fiber, metal, glass, wood and others), styrofoam composed a large portion: 75% of macro debris and 98% of micro debris. And among the 'whole' styrofoam debris items whose original volume is remained more than 50%, styrofoam buoy debris composed 93%. This result suggests that the beaches surveyed are seriously contaminated by marine debris, and most of its sources are aquaculture styrofoam buoys. Management of styrofoam buoy debris used for oyster aquaculture in Tongyeong City is important not only for Tongyeong city, but also for other areas, because Tongyeong city hosts the biggest number of oyster aquaculture areas in South Korea.

Keywords: Beach debris(해변쓰레기), Oyster aquaculture(굴 양식), Styrofoam buoy(스티로폼 부자)

서 론

전세계적으로 플라스틱 해양쓰레기로 인한 환경 오염에 대한 우려가 높아지고 있다. 플라스틱은 해양쓰레기의 약 60~80%를 차지하는데(Derraik[2002]), 해양생태계에서 분해되기 어렵기 때문에 (Andrady[2011]), 동물성 플랑크톤에서부터 거대한 고래들까지 먹이사슬의 거의 모든 단계에 있는 해양생물들에게 피해를 준다(Barnes *et al*.[2009]). 특히 플라스틱 쓰레기가 잘게 부서져서 형성된 마이크로플라스틱은 해양생태계의 가장 기초를 이루는 동물성 플랑크톤에게 섭취되어 플라스틱의 유해오염물질 전이와 같은 피해를 입히기 때문에 큰 우려를 낳고 있다(Ivar do Sul *et al*.[2014]). 최근 일부 과학자들은 플라스틱 쓰레기의 위해성이 심각하므로 플라스틱

†Corresponding author: water@kyungnam.ackr

자체를 위험물질로 분류하자고 제안할 정도로(Rochman *et al.* [2013]) 플라스틱 쓰레기의 문제는 심각하다.

한국은 플라스틱 중에서 매우 많은 양의 스티로폼 부자 쓰레기를 해양으로 배출하고 있다. 스티로폼(Styrofoam 또는 Expanded Polystyrene)은 플라스틱의 일종인 폴리스티렌에 공기를 주입하여 팽창시킨 것으로 부유성이 뛰어나서 양식용 부자로 많이 사용되고 있다. 한국에서는 양식장에 흔히 쓰이는 60리터짜리 스티로폼 부자가 연간 약 200만개 생산되고 있으며(Shim[2013]), 이 중 많은 비율이 수거되지 못하고 바다로 유실되는 것으로 추정된다. 스티로폼 부자의 2012년 재활용율은 28%였는데(Choi[2012]), 재활용되지 못한 나머지 72%는 대부분 바다로 버려진 것으로 추정된다. 더욱이 재활용율 28%는 바다에 버려진 후 수거하여 재활용한 것도 포함되므로, 실제로 바다에 버려지는 비율은 72%보다 더 높을 수도 있다. 60리터짜리 스티로폼 부자 한 개가 수백만개의 미세플라스틱으로 부서질 수 있고, 수억개의 나노 크기 입자로 부서질 수 있음(Shim[2013])을 생각할 때, 스티로폼 부자 쓰레기로 인한 문제는 매우 심각하다고 할 수 있다.

한국의 양식장 중에서 스티로폼 부자 쓰레기가 가장 많이 발생하는 곳은 굴 양식장인 것으로 보인다. 부유식 김 양식장에서도 스티로폼 부자를 많이 사용하지만, 부유식 김 양식장은 부자를 포함한 양식 시설을 수확이 끝나는 봄에 육상으로 철거해서 손질한 다음 가을에 다시 바다에 설치하며, 부자 교체 작업도 육상에서 이루어지기 때문에 바다로 버려질 확률은 낮다(Hong *et al.*[2013]). 그에 반해 굴 양식장은 일년 내내 바다에 떠 있기 때문에 부자 교체 작업이 해상에서 이루어져서 해양투기 가능성이 높은 편이다. 부자 교체 작업이 해상에서 이루어질 때 교체된 헌 부자를 육상으로 다시 끌고 오는 것은 추가적인 비용과 노동력을 필요로 하기 때문에 어민들은 부자 교체시 상당수의 헌 부자를 바다에 투기하는 것으로 보인다(Fig. 1). 굴 양식장을 운영하고 있는 통영의 어느 어촌계장은 교체되는 헌 부자의 90% 정도를 바다에 투기한다고 고백했다(Jang *et al.*[2013]).

한국에서 굴 양식장이 가장 많은 곳은 경상남도 통영시이다. 통영시는 한국 굴 생산량의 약 33.0%를 차지하고 있으며(NFRDI [2012]), 위판액만 1천억원이 넘기 때문에 실제 판매액은 수천억원에 달할 것으로 보인다. 통영의 굴 양식장 허가 면적은 1,323 ha로서(Tongyeong city[2012]), 1ha당 스티로폼 부자 사용량을 1,016개로 볼 때 (NFRDI[2013]), 통영 바다에는 1,344,168개의 부자가 떠 있는 것으로 추정된다. 또한 고밀도 부자 보조금 제도를 통해 통영시가 공급한 부자는 2012년의 경우 194,334개였다(Tongyeong city [2013]).

스티로폼 부자를 많이 사용하는 굴 양식장이 통영에 많이 있으며, 어민들의 투기 관행이 멈추지 않는 상황에서 통영 해변의 스티로폼 부자 쓰레기로 인한 심각성에 대한 연구가 필요하다. 그러나 이에 대한 체계적인 연구는 거의 없었다. 그러므로 본 연구는 통영 해변의 오염이 얼마나 심각하며 그 쓰레기들 중 스티로폼 부자가 차지하는 비율이 어느 정도인지 파악하기 위해 통영 지역 해변에서 쓰레기를 조사하였다.

Fig. 1. A beach in Tongyeong city filled with styrofoam buoy debris.

2. 연구 방법

2.1 조사 지역과 조사 시기

통영 지역 13개 해변에서 2013년 9월 30일부터 2013년 10월 25일까지 쓰레기 조사를 수행하였다(Fig. 2). 통영의 해안은 도로 정비와 개발 등으로 인하여 많은 부분이 인공해안으로 되어 있으며, 자연 해안의 경우에도 해안선 위로 급경사 절개지가 발달되어 있어(Park *et al.*[2003]), 조사 가능한 해변을 찾는 것이 쉽지 않았다. 그러나 해양쓰레기 축적은 각 해변의 물리적, 해양적 특성과 오염원과의 지리적 특성 등의 영향을 받는 것으로 추정되므로 본 연구는 통영지역 해변의 다양한 물리·해양적 특성과 오염원과의 거리를 반영할 수 있도록 조사지역을 선택했다. 즉 해변의 물리적인 특성인 모래층, 자갈층, 갈대밭 등의 다양한 지질적인 요소가 포함하도록 하였으며, 오염원의 거리를 고려하여 굴 양식장이 밀집된 지역과 원거리 지점을 포함시켰으며 해변의 정기적인 연안정화 여부도 파악하여 조사지역을 선정하였다(Table1).

조사는 해변별로 1회씩 실시하였다. 하루에 2~3개 해변을 조사하였는데, 조사일자별 조사지역은 다음과 같다(Fig. 2). 9월 30일: (1) 원평리(Won Pyoung), (2) 손덕마을(Son Deok), (3) 예포마을(Ye Po). 10월 13일: (4) 오륜리 서쪽(Oryun E), (5) 오륜리 동쪽(Oryun W), (6) 저산리(Jeo San). 10월 20일: (7) 공설해수욕장(Gong Seol), (8) 도남해수욕장(Do Nam). 10월 24일: (9) 개미목(Ge Mi Mok), (10) 에덴해변(Eden Beach), (11) 유동해수욕장(Yu Dong). 10월 25일: (12) 해간도 남쪽(Hegan S), (13) 해간도 북쪽(Hegan N).

2.3 해양쓰레기의 크기와 재질 분류

수집된 쓰레기는 먼저 크기에 따라 대형 쓰레기(25 mm 이상)와 소형 쓰레기(1 mm~25 mm)로 구분하였다. 세계적으로도 해양쓰레

Table 1. Beach survey area in Tongyeong

	Survey sites	Survey Date	Beach length	Coordinator		Direction	Characteristics of beach
				Latitude	Longitude		
1	Won Pyoung	09.30	60 m	34;54;8	128;27;5	Northward	Reed, clay
2	Son Deok	09.30	60 m	34;52;43	128;25;56	Eastward	cobble, oyster shell
3	Ye Po	09.30	60 m	34;56;36	128;25;40	Eastward	cobble
4	Oryun E	10.13	80 m	34;54;20	128;20;40	North-eastward	oyster shell, pebble
5	Oryun W	10.13	80 m	34;54;25	128;19;20	Northward	pebble
6	Jeo San	10.13	120 m	34;53;53	128;18;17	Southward	cobble
7	Gong Seol	10.20	100 m	34;49;10	128;26;20	Eastward	sand, regular beach cleaning
8	Do Nam	10.20	80 m	34;49;35	128;26;29	Northward	sand, regular beach cleaning
9	Ge Mi Mok	10.24	40 m	34;37;28	128;16;19	Westward	cobble
10	Eden Beach	10.24	100 m	34;37;7	128;14;37	Southward	cobble
11	Yu Dong	10.24	100 m	34;37;25	128;14;34	Northwestward	cobble
12	Hegan S	10.25	50 m	34;51;50	128;28;1	Southward	sand
13	Hegan N	10.25	40 m	34;51;60	128;28;6	Northward	sand, pebble

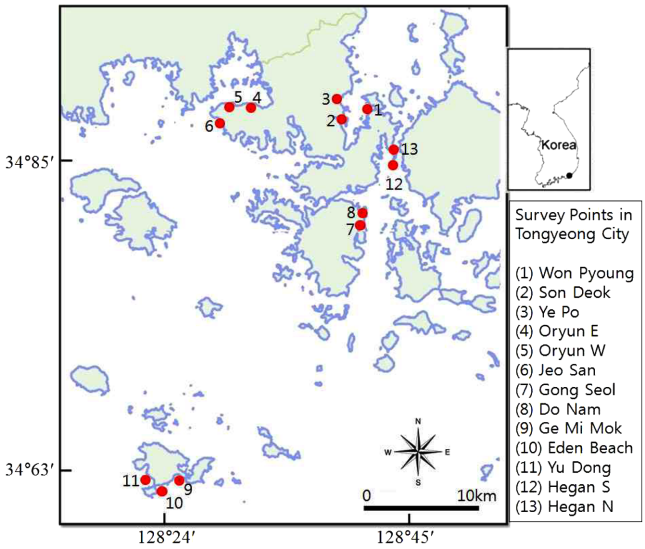

Fig. 2. Beach Debris Survey Points in Tongyeong City, Korea. The serial numbers of the survey points were given following the order of survey dates.

기의 크기를 구분하는 기준은 연구자들마다 다른데, 대형쓰레기는 UNEP/IOC의 권고에 따라 25 mm이상으로 하였다(Cheshire *et al.*[2009]). 소형의 경우 통영 인근 거제에서 수행되었던 과거 연구 사례들(Heo *et al.*[2013]; Lee *et al.*[2013])과 비교하기 쉽도록 1 mm~25 mm로 설정하였다. Heo *et al.*[2013]과 Lee *et al.*[2013]은 1~5 mm의 소형과 5~25 mm의 중형으로 구분하였지만, 조사 결과를 보면 이 두 그룹의 쓰레기의 상관관계가 높게 나타나는 경향이 있기 때문에(Lee *et al.*[2013]), 이 둘을 합쳐서 조사하더라도 조사 지역의 쓰레기 오염 정도를 나타내는데 문제가 없을 것으로 보인다.

또한 쓰레기를 각 크기 그룹별로 스티로폼(styrofoam), 경질플라스틱(Hard plastic), 섬유(fiber), 금속(metal), 유리(glass), 목재(wood), 기타(others) 등 7개 재질로 구분하여 조사하였다. 세계적으로 쓰레기의 재질별 분류도 연구자와 연구 목적에 따라 다양한데(Hidlago-ruz *et al.*[2012]), 본 연구 목적이 스티로폼의 오염실태 파악이기 때문에 전체 플라스틱을 스티로폼, 경질플라스틱, 섬유 등으로 구분하였다. 해양쓰레기의 조성을 연구하는 것은 결국 그 발생 원인을 찾으려는 것인데, 발생 원인을 객관적으로 추정하는 것은 어려운 반면, 재질을 객관적으로 구분하는 것은 쉬운 편이다.

스티로폼 부자가 해변 쓰레기에 얼마나 기여하는지를 파악하기 위해, 전체 쓰레기 중 스티로폼 부자의 비율도 추정하였다. 스티로폼은 잘 부서지며, 실제로 해변 쓰레기의 많은 부분은 부서진 스티로폼 조각인데, 조각을 가지고는 그 원래 사용 용도를 알 수 없다. 따라서 원래 부피의 50% 이상이 남아 있어서 원래 용도를 알 수 있는 스티로폼 쓰레기를 '완제품' 쓰레기로 구분하고, 나머지를 '조각' 쓰레기로 구분하였다. 스티로폼 완제품 쓰레기를 다시 부자 완제품과 기타 완제품 쓰레기로 구분함으로써 완제품 쓰레기 중 부자가 차지하는 비율을 산정하였다.

2.4 쓰레기의 수집 및 무게와 부피의 측정 방법

조사구간은 전체해변에서 주로 육지쪽 최상부 인근에서 임의로 선정하였으며 이것은 대형쓰레기들이 주로 해변 최상부에 많이 있었기 때문이다. 각 해변에서 대형 쓰레기를 조사하기 위한 방형구(3 m×3 m) 1개를 먼저 설정한 뒤, 이 방형구 내부 중 임의의 지점에 소형 쓰레기를 조사하기 위한 작은 방형구(50 cm×50 cm)를 설치하였다.

대형 방형구 안에서 25 mm이상의 대형쓰레기는 모두 수집하였다. 수집된 쓰레기는 재질별로 구분하고, 스티로폼은 다시 부자 완제품, 기타 완제품, 조각 등 3개 종류로 다시 구분한 후, 갯수, 무게, 부피를 현장에서 측정하였다. 무게의 경우 5 g까지 측정할 수 있는 저울을 이용하였으며, 부피는 쓰레기종량제 봉투(10L단위)를 이용하여 측정하였으며 10L 미만의 부피는 모두 1L로 버림하였다.

소형 쓰레기는 소형 방형구(50 cm×50 cm)에서 2 cm 깊이의 모래와 이물질을 함께 수집하는 방법을 이용하여 수집하였다. 이는 Hidalgo-Ruz *et al.*[2012]에서 언급한 selective, bulk, volume-reduced

방법 중 bulk sampling 방법의 변형된 형태라고 할 수 있다. 현장에서 모래가 아닌 자갈의 경우 2 cm를 측정하는 것은 거의 불가능하며, 갈대 등 식물과 쓰레기가 섞여 있는 경우에도 2 cm 깊이를 측정하는 것은 매우 어렵다. 그러므로 조사자들은 5리터짜리 철제 용기를 준비하여 모래, 자갈, 갈대와 소형 쓰레기 등이 섞인 것을 한꺼번에 5리터(=50 cm×50 cm×2 cm)만큼 쓸어담는 방법을 사용하였다. 이후 이렇게 함께 담긴 표본을 실험실로 가져와, 자갈이나 식물들은 먼저 제거하고 남은 모래 등은 1 mm 채로 쳐서 쓰레기를 걸러냈다. 소형 쓰레기는 수집할 때부터 이물질과 함께 5리터를 채집하였으므로, 부피의 의미는 크지 않아 측정하지 않았으며, 무게는 10^{-3}g까지 측정할 수 있는 저울로 측정하였다.

3. 연구결과

3.1 통영지역 해변의 쓰레기 오염 정도

통영 지역 13개 해변에서 대형 쓰레기(25 mm 이상)의 평균 개수는 29.9개±21.1 개/m^{2}이며, 평균 무게는 1,174.7±1,082.6 g/m^2, 평균 부피는 36.3±8.7 liter/m^{2}이었다(Table 2). 개수 기준으로 가장 많은 곳은 오륜리 서쪽(Oryun W) 해변(73개/m^2)이며, 가장 적은 곳은 공설(Gong Seol)해수욕장(5개/m^2)이었다. 무게기준으로 쓰레기가 가장 많은 곳은 원평(Won Pyoung) (2,987 g/m^2), 가장 적은 곳은 도남(Do Nam) 해수욕장(151 g/m^2)이었으며, 부피 기준으로 쓰레기가 가장 많은 곳도 역시 원평(Won Pyoung) (105 liter/m^2)이며, 가장 적은 곳은 동일하게 7 liter/m^{2}를 보인 저산리(Jeo San), 공설해수욕장(Gong Seol), 도남해수욕장(Do Nam), 해간도 북쪽(Hegan N) 해변이었다.

소형 쓰레기(1 mm~25 mm)의 평균 개수는 26,971개±7,028.5/m^2, 평균 무게는 273.2±61.3였다(Table 2). 개수 기준으로 가장 많은 곳은 욕지도의 에덴해변(Eden Beach) (75,548개/m^2)이며, 가장 적은 곳은 예포(Ye Po) 마을(8,260개/m^2)이다. 무게 기준으로 가장 많은 곳은 오륜리 동쪽(Oryun E) 해변(819 g/m^2)이며, 가장 적은 곳은 저산리(Jeon San) 해변(81 g/m^2)이었다.

3.2 통영지역 해변쓰레기 재질별 조성

대형 쓰레기(>25 mm)를 7가지 물질 종류로 나누었을 때 , 스티로폼 쓰레기는 개수로 74.7%, 무게로 66.3%, 부피로 85.7%로서 대다수를 차지하였다(Fig. 3). 그 외 경질플라스틱이 개수로 14.2%로서 2위이며, 주로 어업용 그물이나 부자를 묶는 끈 또는 장갑 등 천을 포함한 섬유가 갯수로 8.2%로서 3위를 차지하였다. 나머지 금속, 유리, 목재, 종이 등 기타 재질들은 갯수로 볼 때 모두 합쳐도 3%도 되지 않았다.

소형 쓰레기(1 mm~25 mm)의 경우 스티로폼은 갯수로 98.1%, 무게로 94.6%로서 대다수를 차지하였다(Fig. 3). 경질플라스틱의 경우 무게기준으로 4.7%를 차지하였을 뿐, 다른 재질들의 비중은

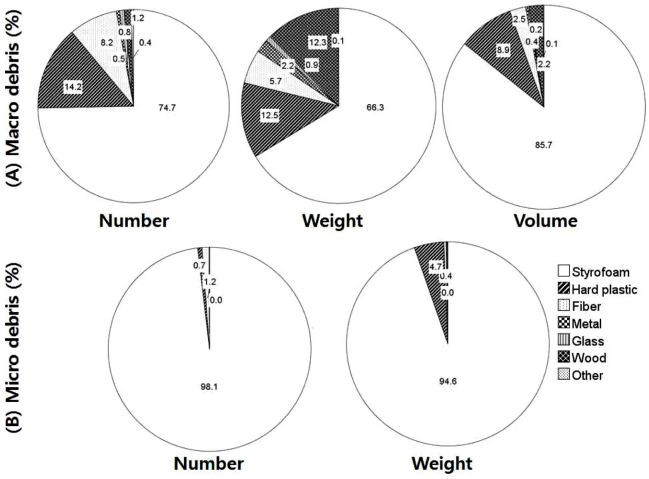

Fig. 3. Material types of composition of marine debris on beaches of Tongyeong area. (A) is material ratio of macro (>25 mm) debris and (B) is that of micro (1-25 mm) debris.

Table 2. Abundance of debris on beaches of Tongyeong City, Korea

Survey area	Macro Debris (>25 mm)			Micro Debris (1 mm~25 mm)	
	Number (particle/m^2)	Weight (g/m^2)	Volume (liter/m^2)	Number (particle/m^2)	Weight (g/m^2)
(1) Won Pyoung	39	2,987	105	21,032	249
(2) Son Deok	31	2,873	64	26,340	199
(3) Ye Po	25	1,214	38	8,260	293
(4) Oryun E	22	1,163	38	11,668	819
(5) Oyun W	73	1,193	56	69,040	524
(6) Jeo San	22	163	7	11,288	81
(7) Gong Seol	5	162	7	14,216	123
(8) Do Nam	6	151	7	12,088	100
(9) Ge Mi Mok	55	2,924	78	66,812	306
(10 Eden Beach	52	880	26	75,548	506
(11) Yu Dong	7	338	19	10,412	105
(12) Hegan S	40	1,007	19	9,260	99
(13) Hegan N	11	215	7	14,664	148
Average±SD	29.9±21.1	1,174.7±1,082.6	36.3±8.7	26,971.4±7,028.5	273.2±61.3

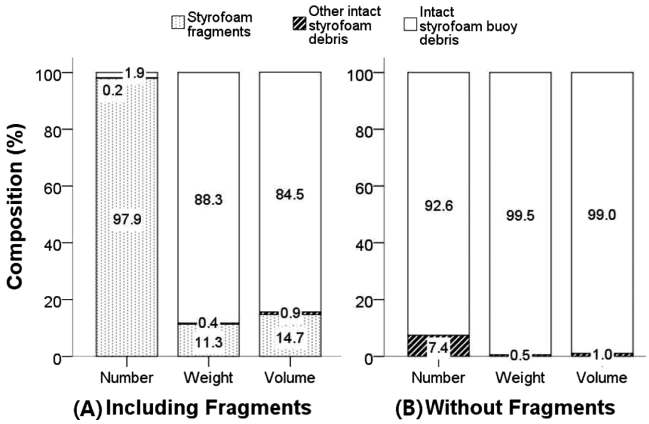

Fig. 4. Ratio of buoys among styrofoam debris. If more than 50% of the original volume of the debris item is remained, the debris item is classified as intact debris, and the other is classified as fragments for this study. (A) included styrofoam fragments and (B) excluded styrofoam fragments.

미미하였다.

3.3 대형 스티로폼 쓰레기 중 부자의 비율

스티로폼 재질의 쓰레기 중 원래 부피의 50% 이상이 남아 있어 그 원래 용도를 알 수 있는 쓰레기와 부서져서 원래 용도를 알 수 없는 쓰레기로 구분하여 조사한 결과, 스티로폼 부자는 갯수로 1.9%를 차지하여 미미하였지만, 무게의 88.3%와 부피의 84.5%를 차지하였다(Fig. 4). 반대로 스티로폼 조각의 경우 갯수로는 97.9%로 대부분을 차지하였지만, 무게(11.3%)와 부피(14.7%)에서 차지하는 비중은 크지 않았다.

스티로폼 조각을 제외하여 비율을 살펴보면 부자가 차지하는 비중이 절대적이다(Fig. 4). 부서지지 않은 스티로폼 쓰레기를 부자와 부자 이외의 다른 쓰레기로 나눌 때, 부자가 차지하는 비율은 개수로 92.6%, 무게로 99.6%, 부피로 99.0%를 차지하였다. 부자 이외에 어상자나 일회용 라면 용기 등 일부 스티로폼 쓰레기가 있지만, 개수는 적었으며, 스티로폼 쓰레기의 절대다수는 부자가 차지하고 있었다.

4. 토 의

4.1 통영 지역 해변쓰레기의 오염 정도

13개 통영 해변 조사에서 대형쓰레기 갯수는 평균 29.9개/m^{2}로, 이는 2012년 9월 거제도의 3개 해변에서 조사된 같은 크기(25 mm 이상) 쓰레기의 평균 개수인 1.3개/m^2(Lee *et al.*[2013])보다 23배 가량 많은 수준이다. 인근 거제 지역보다 월등히 쓰레기가 많은 이유는 버려지는 쓰레기가 많은 이유도 있겠지만, 조사한 해변들이 거제는 해수욕장이라서 청소가 주기적으로 이루어지는 반면, 통영에서 이번에 조사된 지역들은 청소가 거의 이루어지지 않는 곳이기 때문이다. 같은 이유로 통영에서도 공설해수욕장(Gong Seol)과 도남해수욕장(Do Nam), 유동해수욕장(Yu Dong) 등 주기적인 청소가 이루어지는 곳의 쓰레기 풍도는 가장 낮았다.

이번에 조사된 통영 지역 13개 해변의 쓰레기 오염 정도는 전 세계적인 연구결과와 비교했을 때 매우 높은 편이다(Table 3). 대형쓰레기(25 mm 이상)의 면적당 평균 밀도는 약 30개/m^{2}로서 50.5개/m^{2}인 일본 Goto Island(Nakashima *et al.*[2011])를 제외하고는 가장 높은 밀도를 보여주고 있다. 그러나 일본에서 조사대상 쓰레기가 10 mm 이상이었는데, 대체로 해변 플라스틱 크기가 작아질수록 그 숫자가 훨씬 더 많아진다는 사실(Lee *et al.*[2013])을 고려하면, 통영의 조사 결과가 일본의 조사 결과보다 적다고 단순비교해서 말할 수는 없다.

통영지역 소형쓰레기의 평균 개수는 26,971개/m^{2}로서 이는 2012년 9월 거제도의 3개 해변에서 조사된 같은 크기(1 mm~25 mm)의 쓰레기 개수인 27,843개/m^2(Lee *et al.*[2013])와 비슷한 수준이다. 즉, 대형쓰레기는 거제에 비해 23배나 많은데, 소형쓰레기의 풍도가 비슷한 이유는, 거제 해수욕장에서 청소할 때 대형쓰레기만 줍고 소형쓰레기는 모래나 자갈 사이에 거의 그대로 남아 있기 때문으로 추정할 수 있다. 또한 이는 다른 나라와 비교했을 경우 히로

Table 3. Density of marine debris abundance (particle/m^2) on beaches and coasts globally

	item/m^2	Size	
Tongyeong, South Korea	29.85	>25 mm	This Study
Tongyeong, South Korea	26,971	1~25 mm	This Study
Geoje, South Korea	1.03	>25 mm	Lee *et al*. [2013]
Geoje, South Korea	27,843	1~25 mm	Lee *et al.* [2013]
North Carolina, USA	42.78×10^{-4}	>15 mm	Viehman *et al*. [2011]
Goto Island, Japan	50.5	>10 mm	Nakashima *et al*. [2011]
New Jersey, USA	0.43	>10 mm	Thornton *et al*. [1998]
Port Dickson, Malaysia	0.495	-	Khairunnisa *et al.* [2012]
Western Black Sea, Turkey	5.058	>20 mm	TOPÇU *et al*. [2012]
Northern South China Sea, China	32.82×10^{-6}	-	Zhou *et al*. [2013]
Hiroshima Bay, Japan	44,155	>2 mm	Fujieda and Sasaki [2005]
Japan	237	>0.3 mm	Kusui and Noda [2003]
Rusia	4.5	>0.3 mm	Kusui and Noda [2003]
SE Pacific, Chile	27	>1 mm	Hidalgo-Ruz and Thiel [2012]

시마(44,155 개/m^2)를 제외하고 절대적으로 높은 수치이다.

이번에 조사된 해변에서 쓰레기의 밀도가 높은 데에는 여러 가지 이유가 있을 수 있다. (1) 주변 지역 양식장에서 유입되는 양 자체가 매우 높다. 이번에 조사된 지역은 우리나라에서 굴 양식장의 밀도가 가장 높은 곳으로 볼 수 있다. 또한 굴 양식장의 스티로폼 부자 관리가 제대로 되지 않아 유실되거나 투기되는 스티로폼 부자의 양도 매우 많은 것으로 추정된다(Cho[2005]). (2) 이번에 조사된 지역들은 대부분 주기적인 청소가 되지 않는 곳들이다. 이번 조사 지역 중 공설해수욕장과 도남해수욕장, 유동해수욕장을 제외한 10개 해변은 평소 청소가 거의 안되는 곳들이다. 그러므로 여기에는 오랫동안 쓰레기가 쌓였을 가능성이 높다. 특히 거제 조사(Lee *et al*.[2013])의 조사 지역은 주기적인 청소가 이뤄지는 해수욕장임을 감안할 때 더욱 그렇다. (3) 한 해변에서 조사구를 한 개만 설정했기 때문에 대표성이 부족한 문제가 있을 수도 있다. 해양쓰레기는 한 해변에서 수직으로 볼 때 물과 가까운 쪽보다 제방이나 식생대 등 물가의 반대쪽에 더 많이 쌓이는 경향이 있는데(Heo *et al*.[2013]), 이번 조사에서는 물가의 반대쪽에 조사구를 설정했다. 특히 거제 조사(Lee *et al*.[2013])에서는 표착선(strandline)에서 조사를 했는데, Heo *et al*.[2013]에 따르면 표착선보다 상부 제방쪽이 더 많이 쌓이기 때문에, 이번 조사에서 더 많은 쓰레기가 조사된 것일 수도 있다.

4.2 통영 지역 해변쓰레기에 미친 양식장 스티로폼 부자의 기여

이번 조사에서 스티로폼 부자가 해변쓰레기 풍도에 기여한 정도는 압도적으로 높다고 할 수 있다. 우선 스티로폼이라는 재질로 볼 때 개수 기준으로 대형에서는 74.7%, 소형에서는 98.1%를 보여주었다. 스티로폼은 플라스틱의 일종일 뿐이고, 세계적인 수준에서 스티로폼의 생산량은 전체 플라스틱의 생산량 중 8.0% 정도만 차지한다는 점(Plastic Europe, [2009])과, 그 중에서도 스티로폼의 많은 부분은 건축내장재로 사용됨을 고려할 때, 이 결과는 놀라운 것으로 볼 수 있다. 이와 가장 유사한 것은 한국의 국가해양쓰레기 모니터링 조사[MLTM, 2012] 결과인데, 여기서는 부피로 볼 때 경질 플라스틱이 약 30%, 스티로폼이 약 30%를 차지한다. 한국에서 스티로폼 쓰레기의 비율이 높은 것은 매우 이례적이며, 이번 조사에서 대형쓰레기에서도 스티로폼이 이렇게 높은 비율을 차지한 것은, 한국 내에서 볼 때도 이례적이다. 특히 국가해양쓰레기 모니터링 통영 정점인 망일봉의 지점에서의 개수 기준으로 스티로폼 재질이 차지하는 비율은 9.4%와 비교했을 때 특출하다(MLTM[2012]).

본 연구의 소형(1~25 mm) 쓰레기를 재질별로 분류했을 경우, 스티로폼은 개수로 98.1%, 무게로 94.6%를 차지하고 있었다. 이러한 상황은 2012년 9월 거제도 3개 해변의 상황과 비슷한데, 개수로 볼 때, 소형쓰레기(1~5 mm)의 96%가 스티로폼이었다(Lee *et al*.[2013]). 스티로폼은 버려지는 양이 많을 뿐 아니라, 다른 재질들에 비해서 훨씬 잘 부서지기 때문에 스티로폼 쓰레기가 소형 쓰레기의 대부분을 차지하는 것은 쉽게 추정할 수 있다.

반면에 세계적으로 볼 때 스티로폼이 해양쓰레기에서 차지하는 비율은 그다지 높지 않다, 일본의 Goto 섬에서 스티로폼이 전체 쓰레기에서 차지하는 비율은 9%, 캐나다 Halifax 항구에서는 12%, 미국 New Jersey에서는 16.4%만 차지하고 있었다(Table 4).

이렇게 이번 조사에서 해변쓰레기 중 스티로폼의 비율이 높은 이유는 주변의 굴 양식장에서 버려진 스티로폼 부자가 가장 큰 원인으로 추정된다. 통영은 굴 양식장의 밀도가 우리 나라에서 가장 높기 때문에 조사 지역 주변에서 버려진 스티로폼 부자들이 해변에 쌓였을 가능성이 매우 높다. 특히 부서지지 않아서 원래 용도를 알아볼 수 있는 스티로폼 대형쓰레기 중 부자와 부자가 아닌 것을 나누어볼 때 부자는 개수 기준으로 92.59%를 보여주었다. 부서진 조각의 경우 그 원천을 알 수 없지만 부서지지 않는 쓰레기의 원천으로 볼 때, 부서진 조각의 원천도 스티로폼 부자가 절대적임을 추정할 수 있다. 한편으로 여름 가을철 태풍 등의 자연재해로 다른지역의 해양쓰레기가 통영지역으로 일시적으로 많은 양의 쓰레기가 유입될 수 있으나 발생원인 측면에서 볼 때 양식장에서의 투기는 같은 행위로 추정된다.

이런 해석은 세계적인 연구 결과와도 일치한다. Abu-Hilal and Al-Najjar[2004]은 해상에 스티로폼이 많은 것은 해상기인활동에 의한 것이라 제시하였다. 특히, Cho(2005)와 Heo *et al*.[2013]는 한국의 많은 스티로폼 쓰레기가 해안가 주변의 양식장에서 비롯된 것이라 하였으며 Fujieda and Sasaki[2005]는 일본 히로시마(Hiroshima)에서 많은 양의 스티로폼 쓰레기는 주변 굴 양식장에서 비롯된 것이라 하였다. Hinojosa and Thiel [2009]는 칠레 남부지역 전체의 부유쓰레기를 조사하면서, 많은 스티로폼 쓰레기를 발견하여 이는 칠

Table 4. Proportions of different types of marine debris in studies on shorelines throughout

	Plastic	Styrofoam	Glass	Metal	Wood	Paper	Other	
Goto Island, Japan	74.0	9.0	0.3	1.0	1.0	0.3	14.5	Nakashima *et al*. [2011]
Halifax Harbor, Canada	53.8	12.0	8.4	12.4	5.2	5.2	3.0	Ross *et al*. [2009]
New Jersey, USA (Island Beach State Park)	73.8	16.4	2.2	2.4	1.3	1.7	2.2	Ribic [1998]
Fog Bay, N. Australia	32.2	8.7	15.6	35.1	1.0	1.5	5.9	Whiting [1998]
New Jersey, USA (Cliffwood beach)	42.5	17.7	29.3	2.5	0	8.0	0	Thornton *et al.* [1998]
Transkei, South Africa	83.4	8.6	3.2	0.5	0.3	1.1	3.3	Madzena *et al*. [1997]
Coquimbo, Chile	81.1	4.9	0.6	1.1	7.7	1.7	2.8	Thiel *et al*. [2013]
Jordania	54.2	8.1	9.0	4.7	14.5	4.4	5.1	Abu-Hilal and Al-Najjar [2004]
Northern South China Sea, China	42.0	6.6	2.4	1.4	33.7	4.2	9.7	Zhou *et al*. [2013]

레남부의 Castro와 Calfuco[1] 지역의 홍합양식장에서 나온 것이라 추정하였다.

4.3 연안 정화 정책의 해변쓰레기 기여도

주기적인 청소가 이루어지는지 여부도 해변 쓰레기의 밀도에 영향을 미치는 것으로 보인다. 이번 조사 지역 중 욕지도의 에덴해변과 개미목의 경우 양식 밀집 지역에서 20 km 정도 떨어져 있고, 해변의 방향도 양식장과 다른 방향임에도 불구하고 쓰레기의 밀도가 높았던 이유는 오랫동안 청소가 이루어지지 않았기 때문이다. 도서지역일 경우, 해변쓰레기 정화를 분기별 1회씩만 진행하고 있으며, 이동이 힘든 도서지역에 사용할 용도로 제작한 이동식 감용기가 있었지만 사실상 인력과 예산문제로 거의 사용하지 않는다고 하였다(통영시[2]). 그 결과 도서지역에서는 해변쓰레기 정화활동을 운행하여도 수거작업이 적절히 진행되지 않아 정화작업을 진행한 해변가조차도 많은 쓰레기들이 방치되어 있다. 그에 반해, 공설해수욕장, 도남해수욕장, 유동해수욕장 등 청소가 이루어지는 곳에서는 대형쓰레기의 밀도가 상대적으로 낮았다. 하지만 청소는 소형쓰레기의 밀도에는 영향이 없는 것으로 보인다. 이번 조사지역에서 소형 쓰레기의 밀도가 청소가 이루어지는 거제 지역 상업적 해변의 소형쓰레기 밀도보다 그다지 높지 않았다는 것이 이를 보여준다. 청소할 때는 대형 쓰레기만 주로 줍기 때문에 소형쓰레기들은 그대로 해변에 축적되는 것으로 보인다.

그러므로 도서지역은 해류 및 조류의 영향으로 해양쓰레기가 쉽게 모이는 곳임에도 불구하고 예산문제로 정기적인 정화활동이 이루어지지 않아, 해양쓰레기의 취약지점으로 추정되고 있다. 이 문제를 개선하기 위해서는 도서지역의 대표적인 해변을 중심으로 월별 해변쓰레기 모니터링을 실시하여 시기별 해변정화활동의 우선순위를 결정하는 연구 작업이 필요하다.

4.4 연구의 의의, 한계 및 과제

본 연구는 우리나라에서 가장 심각한 해양쓰레기 문제 중 하나로 떠오르고 있는 스티로폼 쓰레기의 현황을, 그 발생원인 굴 양식장이 가장 많은 통영 지역에서 조사함으로써 보여주었다는 데 의의가 있다. 결과적으로 통영 지역은 쓰레기의 발생원이면서 그 피해자일 가능성이 매우 크기 때문에, 스티로폼 부자 쓰레기 문제를 해결하기 위한 통영시의 노력이 절실하다.

본 연구에서는 각 해변별로 조사구를 1개씩만 설정했으며, 조사 회수도 1회에 그쳤다는 한계를 가지고 있다. 해변의 소형쓰레기들은 이미 많이 축적되어 있고, 청소로도 제거가 안되기 때문에 시간의 흐름과 큰 상관이 없을 가능성이 높기 때문에, 조사 회수의 문제는 크지 않을 수도 있다. 또한 조사구를 1개씩만 했지만, 쓰레기들은 해변의 육지쪽 한계라 할 수 있는 제방이나 식생대 인근에 많이 쌓여 있기 때문에 제방 인근에서 조사구를 설정하면 해변의 쓰레기 오염 중 가장 심각한 면을 강조해서 보여주게 된다. 그러므로 본 연구의 1회 조사는 통영지역 해양쓰레기의 현존량 파악을 가능하나 유입량을 파악하기에는 힘들지만 본 연구는 스티로폼 부자로 인한 통영지역 해변쓰레기의 정량적·정성적 분석이기에 1회 조사로도 통영지역 해변지역의 해변쓰레기의 현존량을 파악은 가능하다. 특히 특정시점의 현존량을 조사하는 것은 항목별 구성과 발생원인, 영향의 범위를 파악할 수 있는 유익한 정보를 제공할 수 있다(Ryan *et al.*[2009]). 하지만 향후 조사구를 늘려서 해변의 횡단면과 종단면에 따른 쓰레기의 축적이 다른지 여부를 조사하는 것은 과제라고 할 수 있다.

또한 조사된 13개 지역이 통영의 전체 상황을 대표하는지에 대한 의문은 제기될 수 있다. 특히 조사 지역을 선정함에 있어 현장에서 대형쓰레기가 눈에 띄는 경우에 우선적으로 선정했기 때문에, 본 조사 결과는 통영의 여러 해변들보다 쓰레기가 상대적으로 많은 곳에 대한 조사일 수 있고, 그러므로 통영 해변의 오염도를 과장되게 표현할 수도 있다. 그러므로 향후 통영 지역 해변의 쓰레기 오염도를 일반적으로 보여주기 위해서 조사 지역을 늘릴 필요가 있다. 특히 양식장과 가까운 곳과 먼 곳 등을 비교하는 것도 양식장으로 인한 오염 실태를 규명하는 데 도움이 될 것이다.

5. 결 론

굴 양식장이 밀집한 곳에 스티로폼 부자가 많을 것이라는 점은 쉽게 예상할 수 있다. 하지만 이제까지 통영 지역의 해변 조사가 거의 이뤄지지 않아 이를 과학적으로 증명한 적이 없었다. 본 연구에서는 2013년 가을 통영 지역 13개 해변에서 쓰레기 조사를 통해 양식장 스티로폼 부자 쓰레기로 인한 해양 오염이 심각함을 보였다. 조사 결과 대형쓰레기의 경우 평균 약 30개/m^2로서, 통영지역은 다른 나라는 물론 우리 나라의 다른 지역에 비해서도 해변의 쓰레기 밀도가 매우 높았다. 특히 부서지지 않아서 원래 형태를 알아볼 수 있는 스티로폼 완제품 쓰레기를 부자와 부자외 기타 완제품으로 나눌 때, 부자쓰레기는 갯수의 92.6%를 차지하여, 스티로폼 쓰레기의 대부분은 부자에서 기인하였음이 밝혀졌다.

이렇게 통영 지역에서 쓰레기가 많고, 그 대부분이 스티로폼 부자에서 기인한 것은 통영이 우리나라에서 굴 양식장이 가장 많기 때문이다. 하지만, 아무리 굴 양식장이 많더라도 어민들이 폐부자를 버리지 않는다면, 이것들이 쓰레기가 되지는 않을 것이다. 통영시는 지금까지 부자 쓰레기를 수거해서 재활용하는 사업을 열심히 하고 있고, 성과를 내고 있지만, 조사 결과에서 보는 것처럼 청소가 이뤄지지 않는 지역의 오염은 심각하다. 이는 청소사업의 한계를 보여주는 것이다. 즉, 해양쓰레기 문제를 해결하려면 청소도 중요하지만, 먼저 원천적으로 버리지 않도록 막는 예방 사업이 훨씬 더 중요하다.

References

[1] Abu-Hilal, A.H. and Al-Najjar, T., 2009, Marine litter in coral

[1] Castro와 Calfuco은 칠레에서 약 75%의 홍합양식장을 가지고 있는 지역이다(Plaza et al. [2005] 재인용).

[2] 2013년 11월 18일 통영지역 해변쓰레기 수거와 관련 통영시 연안보전 담당자와 심층 인터뷰 결과.

reef areas along the Jordan Gulf of Aqaba, Red Sea. J. Environ. Manage. 90, 1043-1049.

[2] Andrady, A.L., 2011, Microplastics in the marine environment, Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596-1605.

[3] Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R. and Barlaz, M., 2009, Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philos. Trans. R. Soc.B. 364, 1985-1998.

[4] Cheshire, A.C., E. Adler, J. Barbiere, Y. Cohen, S. Evans, S. Jarayabhand, L. Jeftic, R. T. Jung, S. Kinsey, E. T. Kusui, I. Lavine, P. Manyara, L. Oosterbaan, M. A. Pereira, S. Sheavly, A. Tkalin, S. Varadarajan, B. Wenneker, and G. Westphalen, 2009, UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series, No. 83: xii, p. 120.

[5] Cho, D.O., 2005, Challenges to marine debris management in Korea. Coastal Management 33, 389-409.

[6] Choi. J.S. 2012, Increase of collection and recycling of styrofoam buoy in Hong, S., Lee, J.M, Jang, Y.C, and Lee, J.S., 2012, Result report of 2012 policy workshop for marine debris, Our Sea of East Asia Network Inc., Korea Foam-styrene Recycling Association, Yongnam Sea Grant.

[7] Derraik, J.G.B., 2002, The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, Marine Pollution Bulletin, 44(9), 842-852.

[8] Fujieda, S. and Sasaki, K., 2005, Stranded debris of foamed plastic on the coast of ETA Island and Kurahashi Island in Hiroshima Bay, Nippon Suisan Gakkaishi 71, 755-761.

[9] Heo, N.W., Hong, S.H., Han, G.M., Hong, S., Lee, J., Song, Y.K. and Shim, W.J., 2013, Distribution of small plastic debris in croo-section and high strandline on Heumgnam beach, south Korea, Ocean Sci. J. 48(2), 225-233.

[10] Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. and Thiel, M., 2012, Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. Environmental science & technology, 46(6), 3060-3075.

[11] Hinojosa, I.A. and Thiel, M., 2009, Floating marine debris in fjords, gulfs and channels of southern Chile. Marine pollution bulletin, 58(3), 341-350.

[12] Hong, S., Lee, J.M., Jang, Y.C., Lee, M.J. and Lee, J.S., 2013, Proceeding for the 2013 workshop to increase collection and recycling of styrofoam buoy debris, Changwon, South Korea, Our Sea of East Asia Network Inc.

[13] Ivar do Sul, J.A. and Costa, M. F., 2014, The present and future of microplastic pollution in the marine environment. Environmental Pollution, 185, 352-364.

[14] Jang, Y.C., Hong, S., Lee J.M., Lee, M.J. and Lee, J.S., 2013, Design and assessment of system to amend EPR of Styrofoam buoys, Korean Association of Public Adminstration, Winter academic presentation, 897-925.

[15] Khairunnisa, A.K., Fauziah, S.H. and Agamuthu, P., 2012, Marine debris composition and abundance. A case study of selected beaches in Port Dickson, Malaysia. Aquat. Ecosyst. Health Manage. 15, 279-286.

[16] Kusui, T. and Noda, M., 2003, International survey on the distribution of stranded and burried litter on beaches along the Sea of Japan, Marine Pollution Bulletin, 47(1), 175-179.

[17] Lee, J., Hong, S., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., and Shim, W.J., 2013,. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea, Marine pollution bulletin, 77(1), 349-354.

[18] Madzena, A. and Lasiak, T., 1997. Spatial and temporal variations in beach litter on the Transkei coast of South Africa. Marine Pollution Bulletin, 34(11), 900-907.

[19] MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012, The result report of the Korean National Marine Debris Monitoring in 2012, p. 41.

[20] Nakashima, E., Isobe, A., Magome, S., Kako, S. and Deki, N., 2011. Using aerial photography and in situ measurements to estimate the quantity of macrolitter on beaches. Marine pollution bulletin, 62(4), 762-769.

[21] NFRDI(National Fisheries Research & Development Institute and) and Ministry of Agriculture and Fisheries, 2012, Standard Manual of pacific oyster hanging culture, p 10.

[22] Park, W.K., Yoon, J.O., Hwang, J. and Lee, J.O., 2003, Study on coastal erosion characteristics in Korea, academic presentation of Korean society of coastal and ocean engineers, 227-232.

[23] Plastics Europe, 2009, The compelling facts about plastics 2009: an analysis of european plastics production, demand and recovery for 2008, p. 24. Brussels, Belgium.

[24] Plaza, H., Ortuzar, Y., Gonzalez, M. and Aros, J., 2005. Estado de situacion y perspectivas de la industria del chorito. Fishing Partners Ltda. Pto. Montt, Chile.

[25] Ribic, C.A., 1998, Use of indicator items to monitor marine debris on a New Jersey beach from 1991 to 1996. Marine pollution bulletin 36(11), 887-891.

[26] Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A. and Moloney, C.L., 2009, Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1999-2012.

[27] Rochman, C.M., Browne, M.A., Halpern, B.S., Hentschel, B.T., Hoh, E., Karapanagioti, H.K., Rios-Mendoza, L.M., Takada, H., Teh, S. and Thompson, R.C., 2013. Policy: Classify plastic waste as hazardous. Nature 494, 169-171.

[28] Ross, J.B., Parker, R. and Strickland, M., 1991. A survey of shore line litter in Halifax Harbour 1989. Marine Pollution Bulletin 22(5), 245-248.

[29] Shim, W.J., 2013, Effect of Expanded Polystyrene Buoys in marine environment in Hong, S., Lee J.M, Jang, Y.C, and Lee. J.S. 2013, Proceeding for the 2013 workshop to increase collection and recycling of styrofoam buoy debris, Changwon, South Korea, Our Sea of East Asia Network Inc.

[30] Thiel, M., Hinojosa, I.A., Miranda, L., Pantoja, J.F., Rivadene-

ira, M.M. and Vsquez, N., 2013, Anthropogenic marine debris in the coastal environment: A multi-year comparison between coastal waters and local shores. Marine pollution bulletin 71, 307-316.

[31] Thornton, L. and Jackson, N.L., 1998. Spatial and temporal variations in debris accumulation and composition on an estuarine shoreline, Cliffwood Beach, New Jersey, USA. Marine Pollution Bulletin, 36(9), 705-711.

[32] Tongyeong city, 2012 Statistic report.

[33] Tongyeong city, 2013, Report of environmental buoy supply (since 2009).

[34] Topçu, E.N., Tonay, A.M., Dede, A., Öztürk, A.A. and Öztürk, B., 2012. Origin and abundance of marine litter along sandy beaches of the Turkish Western Black Sea Coast. Marine environmental research. 85, 21-28.

[35] Viehman, S., Vander Pluym, J.L. and Schellinger, J., 2011. Characterization of marine debris in North Carolina salt marshes. Marine pollution bulletin 62(12), 2771-2779.

[36] Whiting, S.D., 1998, Types and sources of marine debris in Fog Bay, Northern Australia. Marine pollution bulletin 36(11), 904-910.

[37] Zhou, P., Huang, C., Fang, H., Cai, W., Li, D., Li, X. and Yu, H., 2011. The abundance, composition and sources of marine debris in coastal seawaters or beaches around the northern South China Sea (China). Marine pollution bulletin, 62(9), 1998-2007.

2014년 2월 6일 원고접수
2014년 3월 24일 심사수정일자
2014년 3월 27일 게재확정일자

부록: 해변 쓰레기 조사 결과

1. 대형쓰레기(25 mm이상) 조사 결과

(1) 갯수

Table 1. Types and abundance (number of debris/m^2) of macro(>25 mm) marine debris on the surveyed beaches in 2013. Among styrofoam debris, if more than 50% of original volume is remained, the item is classified as 'Whole debris' and the other is classified as ‘fragments’

(unit: particle/m^2)

	Styrofoam buoys (whole)	Other styro-foam (whole)	Styrofoam Fragments	Hard plastic	Fiber	Metal	Glass	Wood	Others	Total
(1) Won Pyoung	1.3	0.0	25.2	10.9	0.9	0.0	0.1	0.4	0.0	38.9
(2) Son Deok	0.8	0.0	20.6	5.0	2.3	0.0	1.2	0.7	0.1	30.7
(3) Ye Po	0.4	0.0	7.0	12.6	3.9	0.1	0.1	0.2	0.3	24.7
(4) Oryun E	0.6	0.2	10.3	2.7	8.1	0.1	0.0	0.0	0.0	22.0
(5) Oryun W	0.7	0.2	56.9	8.2	5.7	0.7	0.1	0.1	0.0	72.6
(6) Jeo San	0.1	0.0	17.4	1.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.6
(7) Gong Seol	0.1	0.0	1.4	0.4	2.1	0.0	0.0	0.2	0.3	4.7
(8) Do Nam	0.1	0.0	3.8	2.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	6.4
(9) Ge Mi Mok	0.6	0.0	46.7	6.3	0.6	0.4	0.0	0.9	0.0	55.4
(10) Eden Beach	0.2	0.0	47.2	3.0	0.3	0.4	0.1	0.7	0.2	52.2
(11) Yu Dong	0.3	0.0	5.8	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3
(12) Hegan S	0.2	0.0	35.2	1.1	2.8	0.1	0.1	0.9	0.0	40.4
(13) Hegan N	0.1	0.0	6.3	1.3	1.2	0.1	1.2	0.4	0.4	11.2
Average	0.4	0.0	21.8	4.2	2.5	0.2	0.2	0.4	0.1	29.9
Standard Deviation	0.4	0.1	18.9	4.1	2.3	0.2	0.4	0.3	0.2	21.1
Minimum	0.1	0.0	1.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
Maximum	1.3	0.2	56.9	12.6	8.1	0.7	1.2	0.9	0.4	72.6
TOTAL	5.6	0.4	283.9	55.0	31.9	2.1	3.1	4.6	1.6	388.1
	1.4%	0.1%	73.2%	14.2%	8.2%	0.5%	0.8%	1.2%	0.4%	100.0%

(2) 무게

Table 2. Types and weight (g/m^2) of macro (>25 mm) marine debris on the survey beaches in 2013. Among styrofoam debris, if more than 50% of original volume is remained, the item is classified as 'Whole debris' and the other is classified as ‘fragments’

(unit: g/m^2)

	Styrofoam buoys (whole)	Other styrofoam (whole)	Styrofoam Fragments	Hard plastic	Fiber	Metal	Glass	Wood	Others	Total
(1) Won Pyoung	2,194	0	342	244	66	0	14	127	0	2,987
(2) Son Deok	1,584	0	106	274	276	0	78	552	2	2,873
(3) Ye Po	664	0	76	184	200	13	1	74	1	1,214
(4) Oryun E	934	16	58	65	87	4	0	0	0	1,163
(5) Oryun W	706	25	147	156	84	29	1	47	0	1,193
(6) Jeo San	105	0	36	13	9	0	0	0	0	163
(7) Gong Seol	161.67	0	0.11	0.11	0.11	0	0	0.11	0.11	162
(8) Do Nam	141	0	1	8	0	2	0	0	0	151
(9) Ge Mi Mok	1,458	0	139	764	67	36	0	460	0	2,924
(10) Eden Beach	260	0	112	147	2	248	14	92	5	880
(11) Yu Dong	274	0	36	27	1	0	0	0	0	338
(12) Hegan S	311	0	92	12	69	2	1	521	0	1,007
(13) Hegan N	147	0	3	11	2	2	32	9	9	215
Average	687.6	3.1	88.3	146.5	66.3	25.8	10.9	144.8	1.4	1,174.7
Standard Deviation	672.8	7.9	91.5	209.2	85.2	67.8	22.4	213.5	2.8	1,082.6
Minimum	105.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	150.9
Maximum	2,193.9	25.0	342.2	764.4	276.1	247.8	78.3	551.7	9.4	2,987.2
TOTAL	8,938.9	40.6	1,148.4	1,905.1	862.4	335.0	141.2	1,881.8	18.0	15,271.4
	58.5%	0.3%	7.5%	12.5%	5.7%	2.2%	0.9%	12.3%	0.12%	100%

(3) 부피

Table 3. Types and volume (Liter/m^2) of macro marine debris on the survey beaches in 2013. Among styrofoam debris, if more than 50% of original volume is remained, the item is classified as 'Whole debris' and the other is classified as 'fragments'

(unit: Liter/m^2)

	Styrofoam buoys (whole)	Other styro-foam (whole)	Styrofoam Fragments	Hard plastic	Fiber	Metal	Glass	Wood	Others	Total
(1) Won Pyoung	84.7	0.0	14.4	4.4	0.1	0.0	0.1	1.1	0.0	104.9
(2) Son Deok	48.2	0.0	3.3	6.7	3.3	0.0	0.1	2.2	0.1	64.0
(3) Ye Po	27.6	0.0	3.3	3.3	3.3	0.1	0.1	0.1	0.1	38.0
(4) Oryun E	33.3	0.1	1.1	1.1	2.2	0.1	0.0	0.0	0.0	38.0
(5) Oryun W	40.0	3.3	5.6	5.6	1.1	0.1	0.1	0.1	0.0	55.9
(6) Jeo San	6.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
(7) Gong Seol	6.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	7.2
(8) Do Nam	6.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	7.3
(9) Ge Mi Mok	42.2	0.0	13.3	16.7	0.1	1.1	0.0	4.4	0.0	77.9
(10) Eden Beach	13.3	0.0	7.8	3.3	0.1	0.1	0.1	1.1	0.1	26.0
(11) Yu Dong	14.4	0.0	4.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	19.1
(12) Hegan S	11.1	0.0	5.6	0.1	1.1	0.1	0.1	1.1	0.0	19.2
(13) Hegan N	6.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	7.4
Average	26.3	0.3	4.3	3.2	0.9	0.2	0.1	0.8	0.1	36.3
Standard Deviation	6.4	0.3	1.3	1.3	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	8.7
Minimum	6.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Maximum	84.7	3.3	14.4	16.7	3.3	1.1	0.1	4.4	0.1	104.9
TOTAL	341.6	3.4	59.3	41.8	12.0	1.9	0.9	10.4	0.7	472.0
	72.4%	0.7%	12.6%	8.9%	2.5%	0.4%	0.2%	2.2%	0.14%	100%

2. 소형쓰레기(1 mm이상 25mm이하) 조사 결과

(1) 개수

Table 4. Types and abundance (number of debris/m^2) of small debris on the survey beaches. Percentage represents relative abundance (%) of each debris type

(unit: particle/m^2)

	Styrofoam	Hard plastic	Fiber	Metal	Glass	Wood	Others	Total
(1) Won Pyoung	17,940	1,088	2,004	0	0	0	0	21,032
(2) Son Deok	25,872	140	324	0	0	0	4	26,340
(3) Ye Po	7,392	216	644	0	8	0	0	8,260
(4) Oryun E	10,680	232	756	0	0	0	0	11,668
(5) Oryun W	68,980	52	8	0	0	0	0	69,040
(6) Jeo San	11,172	32	76	0	0	0	8	11,288
(7) Gong Seol	14,100	16	84	0	16	0	0	14,216
(8) Do Nam	12,012	16	52	0	8	0	0	12,088
(9) Ge Mi Mok	66,572	224	16	0	0	0	0	66,812
(10) Eden Beach	75,376	168	0	0	4	0	0	75,548
(11) Yu Dong	10,328	76	8	0	0	0	0	10,412
(12) Hegan S	9,192	56	8	0	0	0	4	9,260
(13) Hegan N	14,348	140	92	4	0	0	80	14,664
TOTAL	343,964	2,456	4,072	4	36	0	96	35,0628
	98.1%	0.7%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
Average	26,458.8	188.9	313.2	0.3	2.8		7.4	26,971.4
Standard Deviation	7,069.1	78.1	157.2	0.3	1.4		6.1	7,028.5

(2) 무게

Table 5. Types and weight (g/m^2) of small plastic debris on the survey beaches. Percentage represents relative weight (%) of each debris type (unit: g/m^2)

g/m^2	EPS	Hard plastic	Fiber	Metal	Glass	Wood	Others	Total
(1) Won Pyoung	154.4	91.9	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	248.8
(2) Son Deok	194.8	3.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	198.9
(3) Ye Po	277.7	10.0	3.0	0.0	2.2	0.0	0.0	292.9
(4) Oryun E	779.6	36.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	819.0
(5) Oryun W	519.5	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	523.7
(6) Jeo San	79.5	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	81.1
(7) Gong Seol	119.5	0.1	2.1	0.0	1.6	0.0	0.0	123.3
(8) Do Nam	99.5	0.1	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	100.2
(9) Ge Mi Mok	299.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	305.5
(10) Eden Beach	499.5	5.7	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	505.6
(11) Yu Dong	104.1	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	105.5
(12) Hegan S	94.1	3.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.5	98.9
(13) Hegan N	139.5	4.0	0.7	2.4	0.0	0.0	1.8	148.3
Total	3,361.3	166.9	13.7	2.3	4.5	0.0	2.9	3,551.6
	94.6%	4.7%	0.4%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	100.0%
Average.	258.6	12.8	1.1	0.2	0.4	0.0	0.2	273.2
Standard Deviation	59.7	7.1	0.3	0.2	0.2	0.0	0.1	61.3