

우리나라 남해안 해수욕장의 미소플라스틱* 분포와 조성

김삼곤 · 김종화 · 박창두*

(부경대학교, *국립수산진흥원)

I. 서 론

우리의 일상 생활에서 널리 사용되고 있는 플라스틱류의 성형 제품의 전 세계 연간 생산량은 약 1억 1천만 톤으로, 이 중에서 미국이 약 2,700만 톤, 일본이 약 1,000만 톤, 우리나라가 약 7백만 톤을 생산하는 것으로 추정되고 있다. 플라스틱류 제품은 강도와 내구성이 우수하고 염가이기 때문에 여러 분야에 활용도가 높아 계속해서 이용분야가 증가되고 있다. 수산업에서는 특히 선박 재료에 활용되는 FRP, 어구 재료인 그물, 그물실, 로프, 부자 등에 사용된다.

반면에 활용도가 높은 플라스틱의 성형 제품은 폐기되어 해저에 침적하거나 부유함에 따라 해양오염에 영향을 미치고, 플라스틱 폐기물을 태울 때 인체에 해로울 뿐만 아니라 썩지 않고 오래 동안 자연에 방치되기 때문에 환경오염의 심각한 문제점으로 지적되고 있다.

특히 이들은 직, 간접으로 강과 선박에서 유입되며, 수산물 생산 및 해상경제 활동에 지대한 영향을 받고 있다. 이들 부유고형물 중에서 비닐봉지 조각, 성형플라스틱 파편 및 미소플라스틱(resin pellets) 등은 바다새, 어류 등에 축적되어 수산 생물은 물론 인간에게 심각한 영향을 미치기 때문에 그 문제점에 대해 많은 보고가 되고 있다(Kanehiro et al, 1995; Forbes,1986; Laist, 1987).

또한 다수의 미소플라스틱이 새와 어류의 위에서 발견될 뿐만 아니라 전 세계 해안에서 출현되고 있기 때문에 해양으로의 유입경로와 그 메커니즘의 분석, 나아가 해양생물의 축적 및 인간에게 미치는 영향과 피해 등에 관한 연구가 국제적으로 활발히 진행되고 있다 (Pruter,1987; Shanghnessy, 1980; Ye & Andrady, 1991).

* 본 논문은 2000년도 부경대학교 기성회 연구비에 의해 연구되었음.

우리 나라에서는 최근 부유성 미소플라스틱에 관한 연구로서 영일만 주변 해수욕장을 대상으로 그 분포와 조성(김삼곤 외 4명, 2000), 침전성의 다양한 플라스틱류로서 진해만의 해저 폐기물 실태를 조사와 병행된 어자원 보호육성을 위한 생육환경 개선에 관한 연구(김삼곤 외 2명, 1999), 그리고 부유성 해양폐기물의 실태를 한국 동해 연안어장과 남해연안 등에서 이미 조사, 연구된 바 있다(김종화 외 3명, 1997; 김종화, 1998 & 1999).

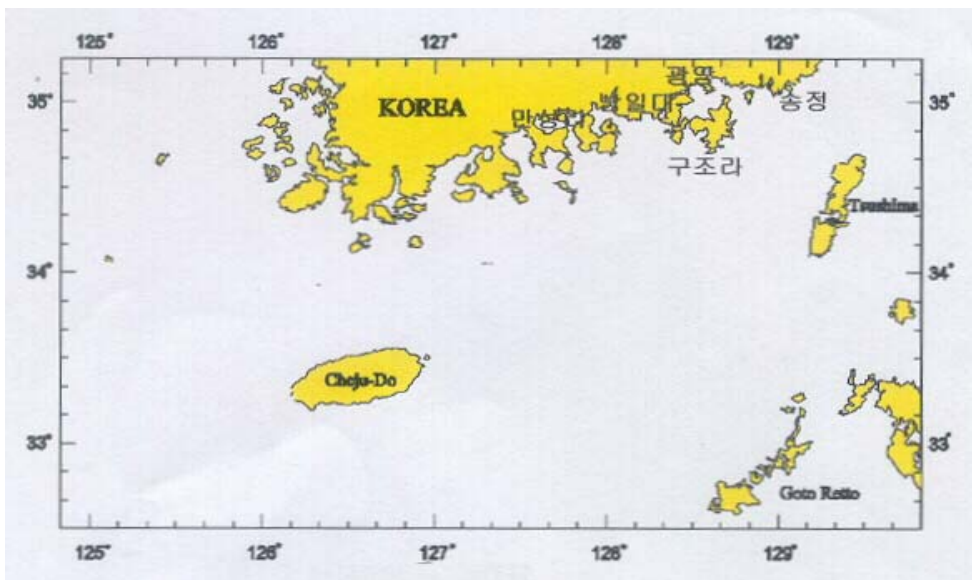
본 연구에서는 이와 같이 문제가 되고 있는 해양의 부유성 고형폐기물 그 중에서도 해안에 밀려온 미소 고형물질을 우리 나라 남해안 해수욕장에서 현장조사하여, 계절별 출현실태와 수량 밀도분포 및 오염정도 등을 정량적으로 분석함으로써 해수욕장에 대한 해양폐기물의 오염실태를 파악하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사대상 장소

조사 지역은 남해안 일원의 해수욕장인 송정(부산), 광암(경남), 구조라(경남), 남일대(경남), 만성(전남)을 대상으로 선정하였다.

조사기간은 계절적 조사를 위하여 2000년 9월부터 2001년 5월까지 9월, 12월, 2월, 5월에 각각 1회씩 해안의 부유성 고형폐기물 등을 조사하였다. 조사대상 해수욕장 위치는 <그림 1>과 같고, 해수욕장별 현황과 특징은 <표 1>에 나타내었다.



<그림 1> 조사한 해수욕장 위치

<표 1> 조사 해수욕장의 현황

해수욕장명	위치	넓이(km ²)	폭(m)	길이(m)	특징
송정 (Song Jung)	부산광역시	120	60	2000	모래와 조개껍질의 풍화작용에 의한 백사장(해안 호안 벽돌)
광암 (Kang Am)	경남 마산시	12	60	200	굴껍질, 자갈, 갯벌로 연결됨 (해안 호안 벽돌)
구조라 (Guzora)	경남 거제시	30	30	1000	내륙형 해안지대, 부드러운 모래(해안 호안 벽돌)
남일대 (Namildae)	경남 사천시	100	200	500	조개껍질, 고운모래 (해안 호안 벽돌)
만성리 (Man Sung Ri)	전남 여수시	18	240	600	검은 모래, 북쪽 자갈밭 (해안 호안 벽돌)

2. 조사방법

본 조사에서는 선정한 해수욕장의 모래에 포함되어 있는 미소플라스틱의 출현과 양, 고형 물질 중에서는 미소플라스틱, 플라스틱 성형 제품의 조각, 담배필터, 스티로폼 등에 관해 분포와 조성을 분석하였다. 목적으로 확인이 가능한 나뭇가지, 목편, 숯, 해조류, 기타 등으로 분류하여 분포와 조성을 조사하였다. 각 해수욕장 별 채집 지점 수는 해수욕장의 길이, 면적을 감안하여 송정 9개소, 광암 8개소, 구조라 10개소, 남일대 7개소, 만성 10개소이었으며, 조사 방법은 영일만 주변 해수욕장의 미소 플라스틱 분포와 조성에 관한 연구(김삼곤 외 3인, 2000)와 같은 방법으로 실시하였다.

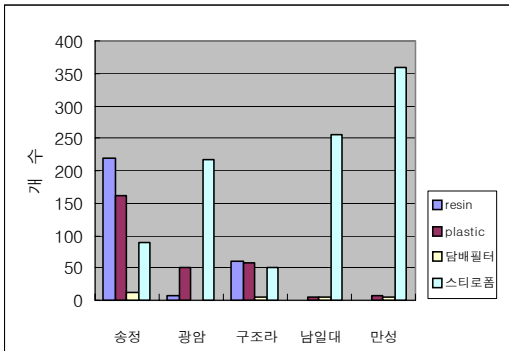
미소플라스틱의 분석과 재질의 판별은 근적외분광분석기(Yukie Mato 등 5인, 2001)를 이용하였다. 그리고 채취된 미소플라스틱의 외관의 상태를 기준하여 고, 중, 신으로 구분하여 해수욕장별 수량을 조사하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

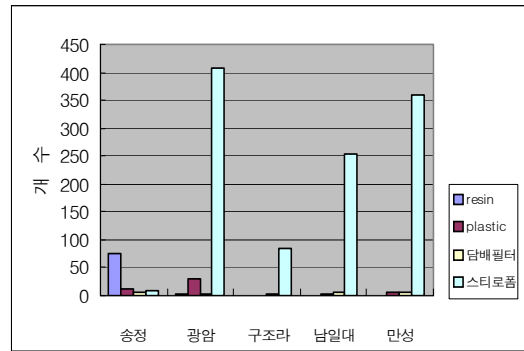
1. 해수욕장별 수량과 변동특성

해수욕장은 해양 레저산업의 대표적인 공간이며, 환경 친화를 위해 기본적으로 활용되는 친수공간으로서 활용도가 높기 때문에 계속적으로 관리가 요구되며, 모래의 질은 각 해수욕장별 차별성과 관리의 영속성을 갖도록 하기 위한 주요한 요소가 된다. 따라서 해수욕장 모래에 포함된 고형물질의 종류와 수 등은 해수욕장의 등급과 수준을 결정하는 데 중요한 자

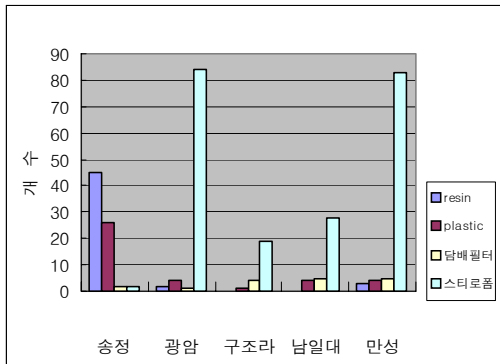
료가 될 것이다. 조사 기간 인 2000년 9월부터 2001년 5월중에 계절별 의미로서 각 해수욕장에서 조사된 자료를 활용하여 플라스틱류 및 기타 고형물질의 종류와 수량을 <그림 2>와 <그림 3>에 나타내었다.



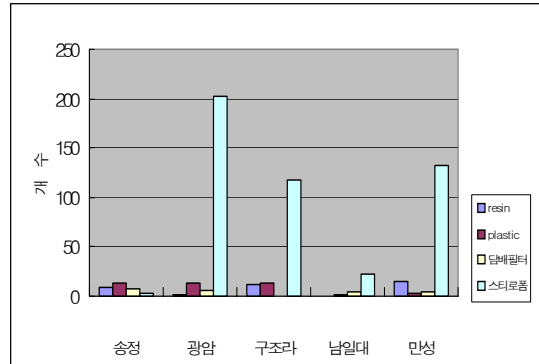
2000년 9월 중



2000년 12월 중



2001년 2월 중

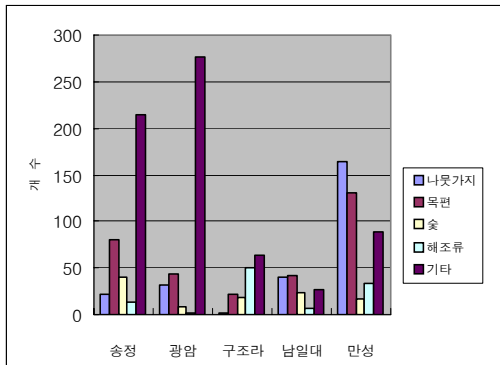


2001년 5월 중

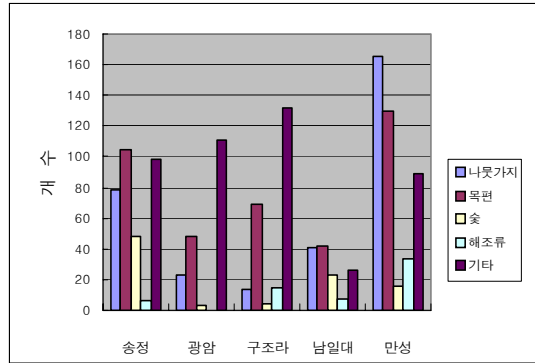
<그림 2> 플라스틱류의 계절별 변화

조사 기간 중 해수욕장에 따라 분류한 종류별 개수는 <표 2>와 같고, 종류별 조성 비율은 <그림 4>와 같다. 각 종류별로 1km²당 개수를 구하면 <표 3>과 같다(단, 기타는 소나무잎, 쫓농, 실종류 등이다).

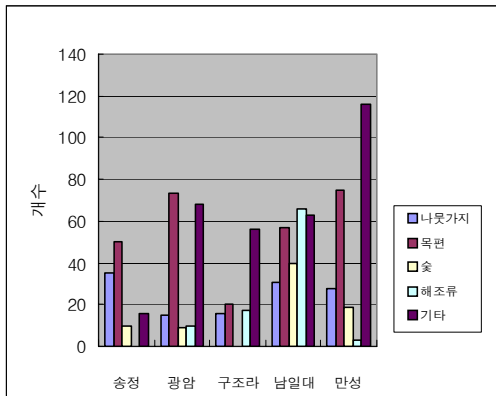
우리나라 남해안 해수욕장의 미소플라스틱 분포와 조성



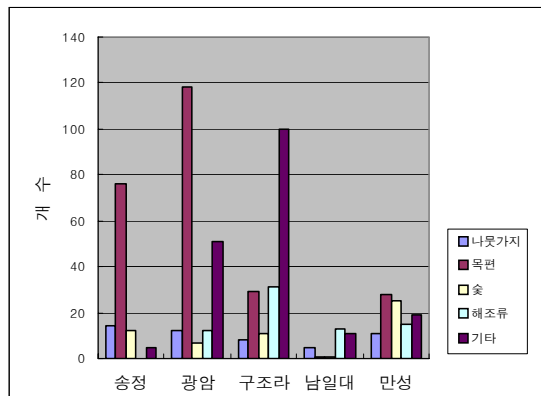
2000년 9월 중



2000년 12월 중



2001년 2월 중

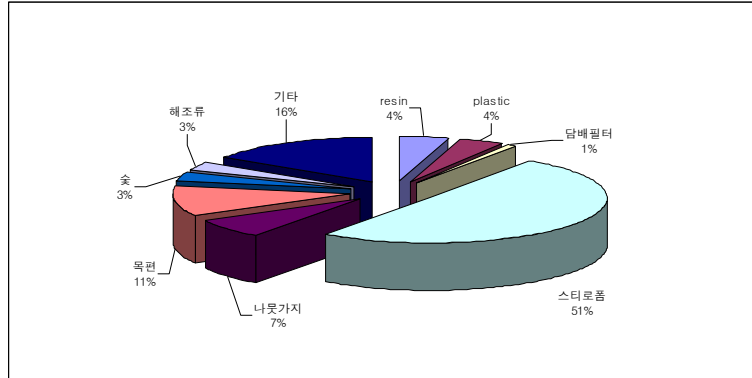


2001년 5월 중

<그림 3> 기타 고형물질의 계절별 변화

<표 2> 조사 기간(1년간) 중 종류별 개수

해수욕장	resin	plastic	담배필터	스티로폼	나뭇가지	목편	숲	해조류	기타
송정	350	245	26	102	149	310	131	20	333
광암	12	99	9	913	81	282	27	23	507
구조라	72	72	12	261	37	134	32	99	335
남일대	9	15	15	3485	221	152	91	93	267
만성	23	27	14	652	239	272	71	91	262
합계	466	458	76	5413	727	1150	352	326	1704



<그림 4> 부유고형물 종류별 조성 비율

<표 3> 해수욕장의 고형물질의 개수 ()는 km²당 개수

종류 지점	resin 개수/면적	plastic 개수/면적	담배필터 개수/면적	스티로폼 개수/면적	기타 고형물질 개수/면적
송정	350/120(2.917)	245/120(2.042)	26/120(0.217)	102/120(0.85)	943/120(7.858)
광암	12/12(1.0)	99/12(8.250)	9/12(0.75)	913/12(76.083)	920/12(76.667)
구조라	72/30(2.40)	72/30(2.40)	12/30(0.4)	261/30(8.7)	637/30(21.2333)
남일대	9/10(0.9)	15/10(1.50)	15/10(1.5)	3485/10(348.5)	824/10(82.40)
만성	23/18(1.278)	27/18(1.50)	14/18(0.778)	652/18(36.222)	935/18(51.944)

<표 2>와 <표 3> 및 이들의 그림에서 지역적으로 보면, 송정 해수욕장은 미소플라스틱이 가장 많았고 적은 수량은 해조류이었다. 그러나 남일대와 광암은 미소플라스틱이 가장 적게 나타났다. 반면에 남일대, 광암 및 만성리 해수욕장은 스티로폼이 월등히 많음을 알 수 있다.

이들에 대한 전반적 조성비는 스티로폼이 51%로서 과반수가 넘었고, 구분이 가지 않는 기타류가 16%, 다음이 목편 11% 순이며 미소플라스틱과 플라스틱 제품은 합하여 8%로 나타났다.

2. 미소 플라스틱류의 계절적 변동

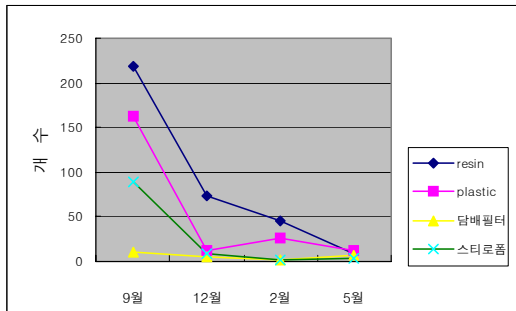
송정, 광암, 남일대, 만성 해수욕장의 미소 플라스틱에 대한 계절별 개수의 변화는 <그림 5>와 같다. (단, 스티로폼이 개수가 지나치게 많은 계절은 제외하였다.)

송정 해수욕장<그림 5의 (a)>은 9월에 4가지 종류중 미소플라스틱과 플라스틱제품이 월등히 많았으며, 12월 2월 및 5월로 갈수록 점점 그 수량이 줄었다. 따라서 송정은 여름철(6~8월)과 가을에 미소플라스틱과 플라스틱제품이 급증하였음을 추정할 수 있다. 이와 같은 경향은 광암, 남일대에서도 볼 수 있었다.

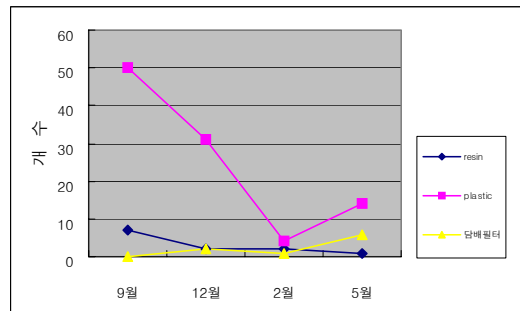
우리나라 남해안 해수욕장의 미소플라스틱 분포와 조성

구조라의 경우<그림 5의 (c)>는 스티로폼의 수량이 대체로 많으나 그 변화 폭은 크다. 역으로 만성리는 9월, 12월 및 2월은 미소플라스틱이 적었으나 5월에 현저히 많이 표착되었다. 이러한 원인은 장소에 따라 다소 변동경향이 다르므로 어떤 결론을 내릴 수 없지만 9월에 그 수량이 많으므로 난류성 해류가 강한 여름철에 해류를 타고 이동해 온 것이 많으리라 짐작된다.

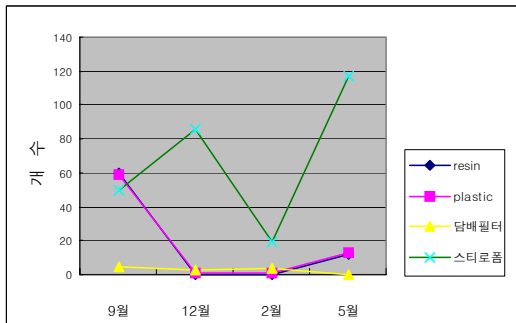
만성리<그림 5의 (e)>의 경우, 플라스틱류는 계절적 수량변동이 송정, 광암 및 남일대와 같이 비슷하나 미소플라스틱의 수량은 5월 급격히 증가한 것으로 나타났다.



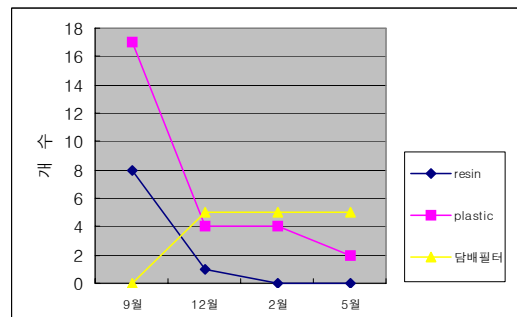
(a) 송정



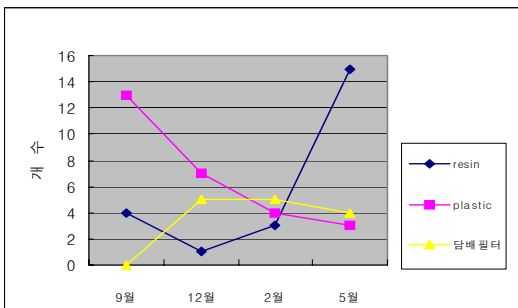
(b) 광암



(c) 구조라



(d) 남일대

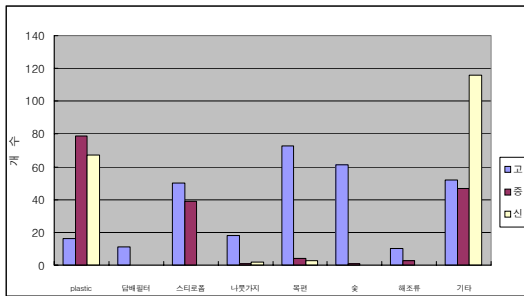


(e) 만성리

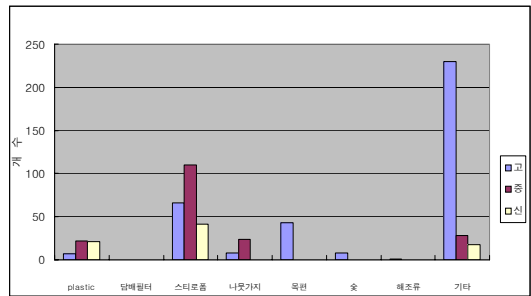
<그림 5> 미소플라스틱류의 계절별 변화

3. 부유고형물질의 오염상태

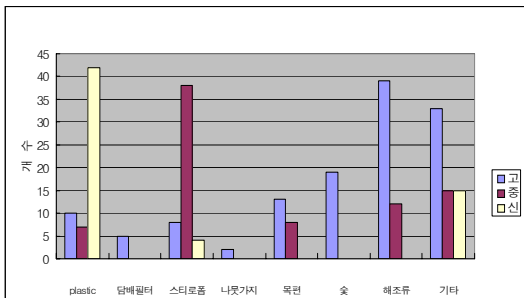
고형물질의 오염정도를 알아보기 위하여 1년간 수집된 부유성 고형물질을 8종류로 분류하여 비교하였다. 분류된 각각에 대한 표면상태의 오염상태를 고(古), 중(中), 신(新)으로 세분하여 그 수량을 나타내면 <그림 6> 과 같다.



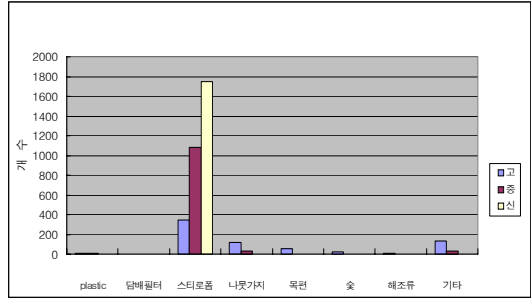
(a) 송정



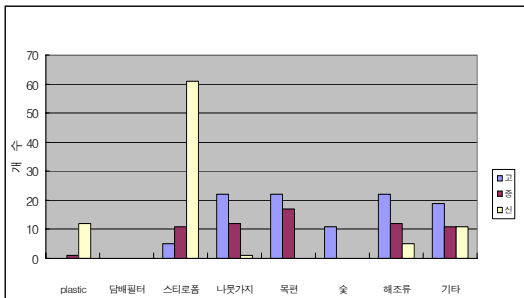
(b) 광암



(c) 구조라



(d) 남일대



(e) 만성리

<그림 6> 부유고형물질의 오염상태

대상 해수욕장의 고형물질은 대체로 송정, 구조라 및 만성리의 경우 다양하게 분포하고 오염상태가 다양하다. 송정(a)의 경우 플라스틱류에 있어서 중(中) 및 신(新)의 상태가 대부분이며 기타물질에도 새것이 훨씬 많았다. 구조라(c) 해수욕장은 오히려 플라스틱류에 있어서 새것이 현저히 크게 나타났다. 그 외의 부유성 고형물질은 고(古) 또는 중간상태가 많음을 알 수 있었다. 만성리(e) 해수욕장은 스티로폼류에서 새것이 두드러지게 나타났다. 한편 부유 고형물질의 조성이 위 3곳의 해수욕장보다 단순한 광암(b) 및 남일대(d)는 일반적 고형물질에서 제외된 기타물질에서 오래되고 오염된 것이 월등히 많았다. 그리고 남일대(d)는 스티로폼류가 대부분으로 그 중에서도 고, 중 및 신의 순으로 증가하여 많이 분포하였다.

따라서 부유성 고형물질은 장소에 따라 차이는 있으나 대체로 플라스틱과 스티로폼이 새것(신)으로 많이 발견되었으며 특히 남일대와 만성리 해수욕장에서 스티로폼 중 새 것이 현저히 많은 것은 인근 양식장에서 사용된 것으로 추정된다. 그러나 이들 물질을 제외한 담배 필터, 목편, 나뭇가지 및 기타류는 대체로 오래된 것(고)이 많았다.

4. 미소플라스틱(Resin pellets)

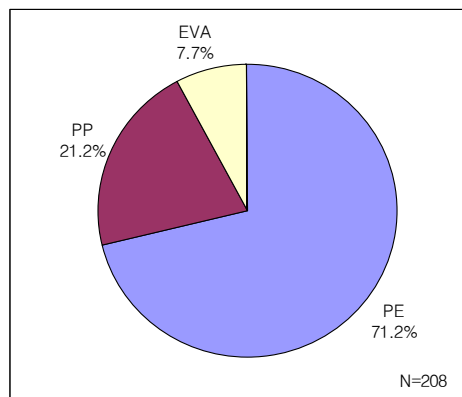
(1) 종류

5개 해수욕장에서 채집된 미소플라스틱의 재질에 따른 종류는 근적외분광을 이용하여 근적외파장 영역의 흡수 스펙트럼에 의해 종류를 판별하였다. 1년 간 5개 해수욕장에서 채집된 미소플라스틱의 개수는 모두 487개이었다.

근적외분석장치에 의한 미소플라스틱의 재질은 PE(polyethylene), PP(polypropylene), EVA(ethylene-vinylacetate copolymer)로서 3종류이었으며, 분류 가능한 총 208개의 조성수량과 비율은 다음의 <표 4> 및 <그림 7>과 같다.

<표 4> 미소플라스틱의 재질별 개수

종류 해수욕장명	PE	PP	EVA	계
송정	72	26	6	104
광암	8	1	2	11
구조라	42	13	6	61
남일대	6	2	1	9
만성	20	2	1	23



<그림 7> 미소플라스틱의 재질별 조성비

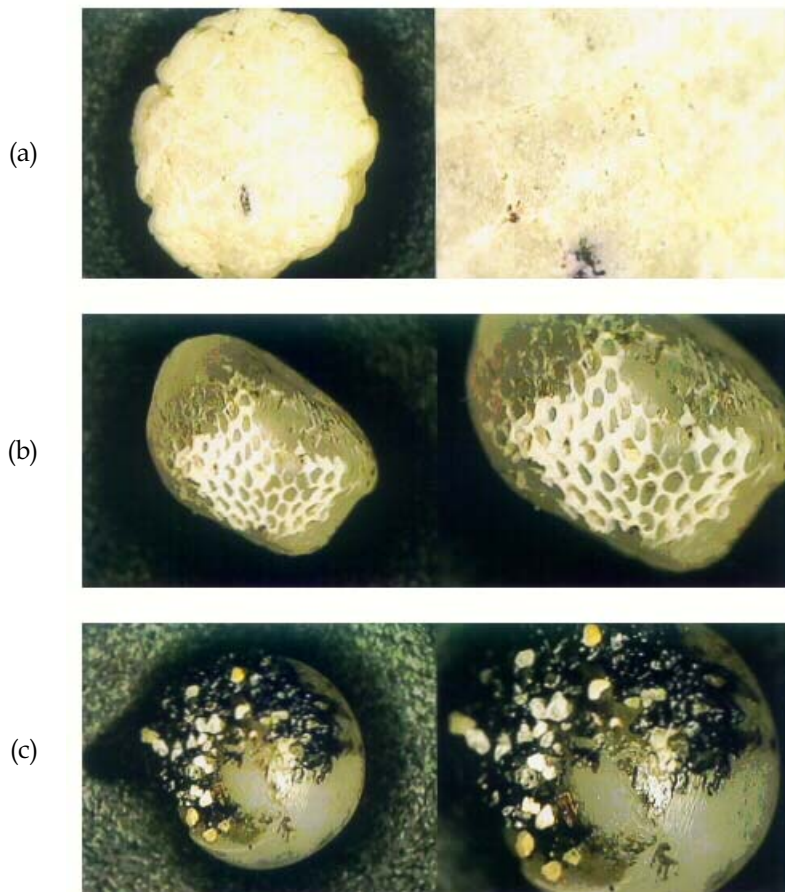
미소플라스틱의 재질별 조성비는 PE가 71.2%로 대부분을 차지하였고, 그 다음이 PP로 21.2%이었으며 EVA가 가장 적은 7.7%이었다.

동경수대의 Kanehiro 교수와의 사진(2001)에 의하면, 일본의 해안에서 미소플라스틱의 조성비율은 PE가 60~65%, PP가 30~35%, EVA가 2~5%로 다소 다르게 분포하고 있음을 알 수 있다.

(2) 오염상태별 분류

미소플라스틱의 경우 신(A)은 새로운 것으로서 오염이 되지 않고 상처가 없으며, 광택이 나는 상태, 중(B)은 광택이 없고 표면에 상처가 있는 상태, 고(C)는 표면에 크랙이 있고 오염이 진행된 것으로 보이며, 백화가 보이는 상태로 각각 구분하였다(사진 1).

Microscope photographs of some pellets degraded(a) and coated by biota(b) and tar(c).



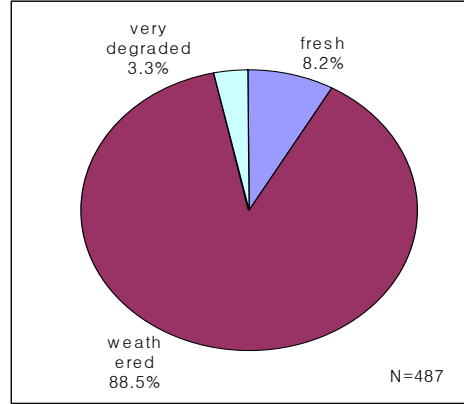
<사진 1> 오염상태의 마이크로스코프 사진(A, B 및 C)

우리나라 남해안 해수욕장의 미소플라스틱 분포와 조성

미소플라스틱의 상태를 해수욕장별로 분류하면 다음 <표 5> 및 <그림 8>과 같다.

<표 5> 미소플라스틱의 상태별 개수

구분 해수욕장명	고(A)	중(B)	신(C)	계
송정	12	342	29	383
광암	1	9	1	11
구조라	3	56	2	61
남일대	0	8	1	9
만성	0	16	7	23



<그림 8> 미소플라스틱의 오염상태별 조성비

미소플라스틱의 오염상태별 분류에서 보면, 전체적 조성비율은 중간에 해당하는 것이 88.5%로 거의 대부분이었다. 그리고 새것이 8.2%이었으며 아주 오래된 것은 3.3%로 매우 적었다.

장소별로 살펴보면, 전체의 조성비율과 다른 곳은 만성리 해수욕장으로 새것이 30.4%를 차지하였고 아주 오래된 것이 많은 곳은 광암으로 9.1%를 차지하였다.

(3) 착색에 의한 분류

미소플라스틱의 착색에 의한 분류를 분석하면 <표 6>과 같다. 대체로 백색과 유백색이 대부분을 차지하였고 구조라 해수욕장에서는 황색도 상당부분 있었다.

<표 6> 미소플라스틱의 착색과 수량 분포

구분 해수욕장명	투명	유백색	백색	흑색	적색	황색	녹색	청색	회색	기타	계
송정	3	170	163	0	4	4	0	0	6	0	350
광암	0	1	4	0	2	1	1	3	0	0	12
구조라	1	38	21	0	0	12	0	0	0	0	72
남일대	1	4	3	0	0	1	0	0	0	0	9
만성	0	9	9	0	0	1	0	0	4	0	23

IV. 요약 및 결론

한국 남해안의 5개 해수욕장에서 1999년 5월~2000년 4월까지 계절별 조사를 통하여 해안의 부유성 고형물질 및 미소플라스틱 등의 조사결과를 분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 해안의 고형폐기물 총량에 대한 수량 밀도는 남일대 해수욕장이 가장 높았으며 대부분 스티로폼으로서 348.5개/km²이었다. 미소플라스틱이 두드러지게 많은 곳은 송정 해수욕장으로 그 밀도는 2.9개/km²이었다.

2. 고형 폐기물의 종류별 조성비는 스티로폼 51%, 기타류 16%, 목편 11%, 미소플라스틱과 플라스틱 제품을 합하여 8%로 나타났다.

3. 계절별 변화를 살펴보면, 장소에 따라 그 변동이 달랐지만 9월에 미소플라스틱이 가장 많았다. 원인은 여러 가지겠지만 주된 원인으로 여름철의 강한 난류성 해류로 인해 이동해 온 것이 많으리라 짐작된다.

4. 미소플라스틱의 재질별 분류에서 PE(polyethylene)이 71.2%로 가장 많았고, 그 다음이 PP 21.2%였으며, EVA가 7.7%로 가장 적게 나타났다.

5. 오염상태를 보면 고, 중, 신 중에서 중간 정도인 것이 전체의 88.5%를 차지하였다. 그리고 착색에 따른 분류에서 보면, 백색과 유백색 종류가 거의 대부분으로 86.7%이었으며 그 다음으로 황색이 2.6%로 아주 적었다.

따라서 본 연구를 통해 분석된 자료는 새롭게 해양 질서가 재편되고 있는 차체에 우리 나라와 신해양질서 개편에 따른 인접 연안국간의 문제점, 최근 WTO체제의 Green Round에서 요구하고 있는 사안 및 OECD가입 국가의 해양환경 보존에 관한 사안 등 해양오염의 실태 분석에서 보다 차원 높게 활용되며, 또한 각급 학교의 교사활동 및 특별활동을 통해 해양환경 관리를 위한 체험학습에 널리 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

V. 참고 문헌

김삼곤 · 김종화 · 김민석 · 정순범 · 이정태, 영일만 주변해역의 미소플라스틱 분포와 조성에 관한 연구, 수산해양교육연구 12(2), 2000. 12, pp.152~163.

김삼곤 · 김종화 · 박창두, 어자원 보호육성을 위한 생육환경 개선에 관한 연구 2. 진해만의 해저폐기물 실태, 한국어업기술학회지 35(4), 1999. 11, pp.359~365.

김종화, 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성에 관한 연구 2. 남해 중부해역의 폐기물 수송, 한국수산학회지 32(3), 1999. 5, pp.338~344.

김종화, 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성에 관한 연구 1. 남해 동부해역, 한국어업기

- 술학회지 34(3), 1998. 8, pp.288~293.
- 김중화, 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성에 관한 연구 2. 남해 중부해역의 폐기물 수송, 한국수산학회지 32(3), 1999. 5, pp.338~344.
- 김중화·김삼곤·박창두·주수동, 한국 동해 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성, 수산해양교육연구 9(1), 1997. 6, pp.31~39.
- 兼廣春之, 海洋のこみ問題-プラスチック廢棄物による海洋汚染の現状と取組,月刊廢棄物, 1995, pp.124~131.
- Forbes,I.J., The quantity of lead shot, nylon fishing line and other litter discarded at a coarse fishing lake. *Biolog.Conserv.*, 38, 1986, pp.21~34.
- Kanehiro,H., *et al.* : Marine litter composition and distribution on the sea-bed of Tokyo bay. *Fisheries Eng.*, 31(3), 1995, pp.195~199.
- Kim, Jong-Hwa, · Sam-kon, Kim and Jong-kyu, Kim, Distribution Characteristics of Bottom Litter in Chinhae Bay, Korea. *Journal of Fisheries Science and Technology* 4, 2001. 9, pp.150~158.
- Laist, D.W., Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment. *Mar.Pollut.Bull.*, 18(6b), 1987, pp.319~326.
- Pruter, A.T., Sources, quantities and distribution of persistent plastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 18(6b), 1987, pp.305~310.
- Shanghnessy, P.D., Entanglement of Cape Fur Seals with man-made objects. *Mar. Pollut. Bull.* ,11, 1980, pp.332~336.
- Ye, S. and Andrady,A.L., Fouling of floating plastic debris under Biscayne Bay exposure conditions. *Mar. Pollut. Bull.*, 22(12), 1991, pp.608~613.
- Yukie Mato et al, Plastic resin pellets as a transport meduim for toxic chemicals in the marine environment, 2001.

Distribution and Composition of Plastic Pellets and Trash on the Beaches of the Southern Coast at Korea

Sam-kon KIM, Jong-Hwa KIM, Chang-Doo PARK*

(Pukyong National University, *National Fisheries Research and Development Institute)

Abstract

This study was carried out to obtain seasonal fluctuations of marine debris in 5 beaches near the Southern Coast of Korea during May, 1999 - April, 2000. The results are as follows:

1. The density of marine debris was remarkably highest at Namhae beach among 5 beaches. The major part of debris in the beach was styrofoam, with the density of 348.5 ea/ km^2 . But, it was Songjung where the largest amount of resin pellets existed.

2. The composition of styrofoam consisted of 51% of the marine debris, wood & papers was 11%, resin pellets & plastics were 8% and others were 16%.

3. Seasonal fluctuations irregularly change in each beach, but the amount of resin pellets were found to be large only in September. It is estimated that resin pellets are beached upon the coastal beaches by the strong warm currents (Tushima currents) during the summer season.

4. Debris fabrication materials that were found had most of parts made up of PE 71.2%, PP 21.2% and EVA 7.7% through these surveys.

5. In the polluted state, the medium one among the 3 specifications(old, medium and new state) occupied 88.5% or so.