

# 연안흐름장의 해안에서 표착된 플라스틱 폐기물의 오염 특성

## 1. 부산 송정해수욕장

김 중 화<sup>†</sup>

(부경대학교)

## Pollution Characteristics of Plastic Debris ashore on the Shoreline in the Coastal Flow Field

### 1. Busan Song-Jung beach

Jong-Hwa KIM<sup>†</sup>

(Pukyong National University)

### Abstract

In order to analyze the pollution extent of small plastic debris (SPD) ashore on the shoreline of coastal flow, 12 of survey was conducted at Song-Jung beach of Busan for several years. The sampled beach was divided into 9 sites with unit area (m<sup>2</sup>).

Many of SPD were detected in the southern part of the beach and classified into 11 items as P1 to P11 according to the contents. Average densities of total items' weight were 2.955g/m<sup>2</sup> and weights of P2, P3 item were composed of about 64% among them. And average densities of total items' quantity were 56.259ea/m<sup>2</sup> and quantities of P6 only were composed of about 63%. Seeing the seasonal variation, fall season was abundant extremely whereas nearly nothing in spring. The correlation of weights and quantities have reliable coefficients to some extent on sites and season but nearly don't have reliances on item, tide, wind and precipitation. Many researching data were required if possible in order to discussing about the correlation.

*Key words : Pollution extent, Small plastic debris, Densities, Correlation*

### I. 서론

플라스틱류의 성형 제품은 강도와 내구성이 우수하고 얇기이며, 원료의 다양성으로 인해 우리의 일상 생활용품은 물론 많은 산업분야에서 다양한 형태의 제품으로 만들어질 수 있으므로 그 활용도는 무궁무진하다고 할 수 있다. 때문에 플라스틱의 원료와 제품개발을 통해 계속해서 이용

분야가 증가하고 있는 것은 사실이다. 현재, 플라스틱 원료의 전 세계 연간 생산량은 약 1억 1천만 톤 이상으로, 이 중에서 미국이 약 2,700만 톤, 일본이 약 1,000만 톤, 우리나라가 약 7백만 톤을 생산하는 것으로 추정되고 있다.

반면에 플라스틱 성형 제품이 사용 후 폐기될 경우, 잘 분해되거나 썩지 않고 수백 년씩 자연에 노출되어 방치되므로 토질 및 해양 오염을 야

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-629-5993, kimjh@pknu.ac.kr

기 시키며, 태웠을 경우에는 유독성 가스를 발생시켜 대기 오염을 일으키고 있다. 결국 심각한 환경문제로, 동식물 특히 인간에게 유해한 물질로 지구상에 그대로 남아서 축적되어 가고 있는 것 또한 사실이다. 특히 육상에서 버려진 플라스틱 폐기물인 비닐봉지, 성형플라스틱 파편 및 미소 플라스틱류(Small Plastic Debris, PSD) 등은 강과 하천 등을 통하여 바다로 유입되며, 수산업 또는 해양산업 활동 등으로 인해 폐기된 어구, 로프, 스티로폼 및 FRP로 된 폐 선박 등은 해양 환경에 극심한 오염을 발생시키는 플라스틱류이다.

심지어 이들 플라스틱 폐기물은 피드백되어 수산물 생산, 해상수송 활동 등을 감소시키고, 이들 중 비닐봉지 조각, 성형플라스틱 파편 및 플라스틱 성형제품의 원료인 미소 플라스틱 등은 먹이로 착각하여 바다새, 어류 등의 위에 축적되어 사망하게 됨을 보고 하였다(Baird & Hooker,2000; Bugoni et al.,2001).

그리고 해안에 표착된 미소 플라스틱류에서 PCBs의 농도, 독성분포(Endo et al.,2005), 해안에 매장되거나 폐기된 플라스틱류의 분포(Kusui & Noda,2003), 플라스틱류의 양적 분석 등(McDermid, 2004; Claeroboudt & McMullen, 2004)을 발표하였다.

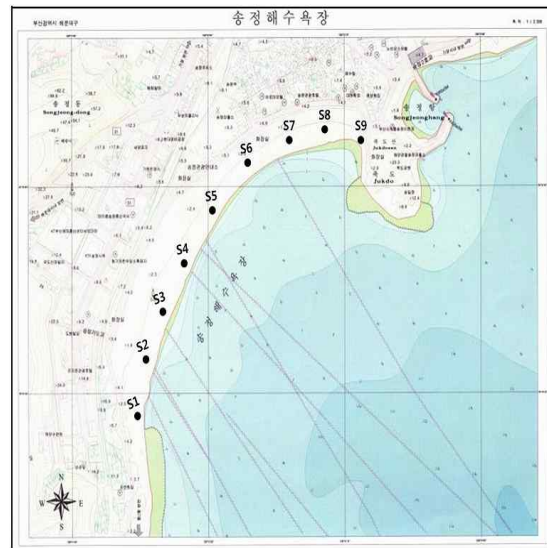
우리나라 미소 플라스틱 폐기물에 관한 연구는 비록 단기간의 1회성이지만 수량적 분포 특성을 보고한바 있다(김 등,2000 & 2002). 그러나 장기간에 걸친 계절적 미소 플라스틱류의 변동, 정량적 분포에 관한 연구는 아직 하지 못하고 있다.

본 연구에서는 조간대 해안에 표착된 미소 플라스틱 폐기물의 계절별로 현장 채집하여 그 성분을 세밀하게 분류하고 그들의 무게, 수량, 밀도 분포 및 상호상관성을 분석하여, 연안 해수욕장에 표착된 미소 플라스틱 폐기물의 오염 정도를 밝히고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상 해수욕장

본 연구의 대상인 송정 해수욕장(Fig. 1)은 부산의 동남해안에 위치하여 모래사장의 길이 1.2km, 폭 57m, 면적 72,000㎡로써 수용능력은 14만 명이며, 해마다 대보름 미역축제와 송정해변축제, 송정죽도 문화제 등 많은 행사가 열리고 있다(www.haeundae.go.kr). 이와 같이 인구가 밀집하고 시민생활과 직결된 송정해수욕장을 연구 대상으로 선정한 것은 인체와 해양생물에 유해한 미소플라스틱 폐기물을 조사, 분석함으로써 해양 환경 의식을 높이기 위함이다. 따라서 1년 이상의 조사기간을 통하여 이 해수욕장에서 표착 또는 버려진 미소 플라스틱의 다양한 종류를 채집, 분석하였다.



[Fig. 1] Survey sites of Song-Jung beach(SJ).

### 2. 조사 방법

해수욕장에서의 채집은 조사 당일의 고조시에 해수가 모래사장에 유입된 끝단과 해안선까지의 범위 내에서 표착된 미소 플라스틱류, 해조류 등

을 9개 정점을 등 간격으로 정하여 채집하였다 (Fig.1). 이 때, 해변의 조간대역의 조사방법, 범위는 기존의 방법을 참고하였다(Otley & Ingham, 2003). 각 정점에서의 채집방법은 정방형(0.5m × 0.5m) 목제를 안에 있는 5cm의 두께 층 모래를

긁어모아 플라스틱 바스켓에 넣고 물을 부어 휘저어서 물에 뜨는 물체를 지퍼가 부착된 비닐봉지에 담았다. 이와 같이 얻어진 현장재료의 조사기간 채집 정점의 수 및 해황 조건은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Survey duration & environmental conditions in SJ

Beach	Area (L×B,m)	Duration		No. of St.	Tide <sup>*1</sup>		Wind <sup>*1</sup>		Precip. <sup>*2</sup> (mm)
		Dates	time		Range (cm)	Age (d)	Dir.	M. sp'd (m/sec)	
Song Jung	1200 × 57	2009-10-12	15:30 ~ 17:00	9(7)	31	24	ENE	0.06	0
		2009-11-16	12:58 ~ 13:58	9(9)	105	30	SW	6.1	0
		2009-12-07	16:10 ~ 17:15	9(9)	88	21	WSW	5.45	0
		2010-01-15	13:13 ~ 14:15	9(9)	97	1	SW	4.01	0
		2011-03-18	13:00 ~ 13:50	9(7)	115	14	SSW	3.36	0
		2011-04-21	14:00 ~ 14:45	9(5)	98	19	SW	6.67	0
		2011-07-09	13:00 ~ 13:42	9(6)	57	9	SSW	4.82	11.5
		2011-09-29	08:30 ~ 09:20	9(7)	136	3	NE	3.03	5.0
		2011-10-28	16:30 ~ 17:10	9(7)	131	2	NE	1.73	0
		2011-11-28	15:30 ~ 16:20	9(9)	108	4	SSE	3.42	0
		2011-12-25	15:10 ~ 15:50	9(6)	120	1	WSW	4.42	0
		2012-01-26	14:00 ~ 14:40	9(6)	108	4	WSW	4.93	0

( ) : actually acquisition site; \*1: www.khoa.go.kr; \*2: www.kma.go.kr

### 3. 재료 분석

현장에서 채집된 재료는 실험실에 바로 운반되었고, 재료의 염분을 제거하기 위하여 Bucher형 깔때기가 달린 흡인 여과병을 사용하여 세정병의 청수로 해수를 씻어 낸 후, 핀셋으로 납작한 유리접시(세균배양용)에 담아 말렸다. 그리고 출현 플라스틱류를 code화 시켜 플라스틱 item별 code에 따라 분류하고, 각 item별, size별로 구분하여 각각 무게를 달았다. 플라스틱 item별 무게는 0.0001g까지 계측 가능한 칭량계(Pioneer, Ohaus

Corp.,USA)를 사용하였고, size의 구분은 내수성 투명 방안지의 mm눈금 위에 올려놓고 크기를 0~10mm를 1mm간격으로 10등분하고 10mm이상은 11로 code화하여 분류하고 수량을 계측하였다. 계측된 재료는 표를 만들어 기입하고, 유리접시 또는 표본병에 보관하였다. 플라스틱 item의 분류(sorting) 등 대부분의 분석은 Haruo Ogi & Yuri Fukumoto(2000)와 같이 하였다(<Table 2>). [Photo 1]은 현장에서 채집된 미소 플라스틱류의 하나의 샘플로서 직경 14.5cm의 배양용 접시에 담아 나타내었다.

<Table 2> Items identified in plastic marine debris(Ogi & Fukumoto,2000)

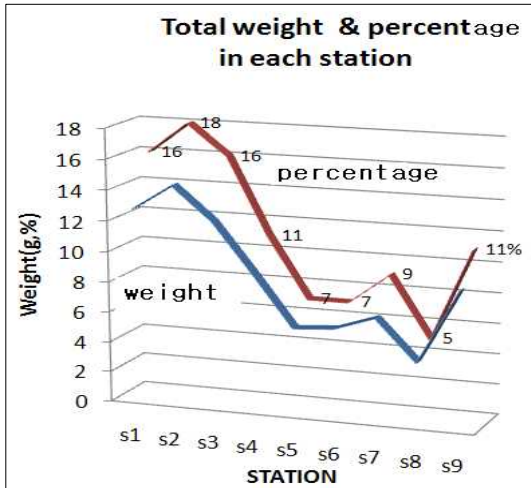
Plastic Item (P-item)	Sub-item	Type of Debris
1 Resin pellets (P1)	1	Resin pellets
	2	Flower-shaped plastic (yellow)
	3	Hard packing tape
	4	Twisted rope
2 Plastic Products (P2)	5	Caps
	6	Pull tabs, Inner caps, Packing
	7	Spherical pellets
	8	Containers
	9	Fishing gear (float)
3 Fragments of Plastic Products (P3)	10	Fragments of plastic products
	11	Straws
	12	Scraped refuse (pale blue color)
	13	Tube
	14	Cord
	15	Hard tape
	16	Spherical pellets
	17	Bubble-type pellets
	18	Fragments of sieve
4 Synthetic rubber (P4)	19	Synthetic rubber
	20	Elastic bands
5 Synthetic Fiber (P5)	21	Mono-filament
	22	String, Soft tape
	23	Fiber
6 Styrofoam (P6)	24	Styrofoam
	25	Styrofoam coated with other materials
7 Sponge (P7)	26	Soft sponge
	27	Hard sponge
8 Plastic sheet (P8) (thickness : < 2mm)	28	Plastic sheet
	29	Tape
	30	Bags
9 Oil ball (P9)	31	Oil ball
10 Paint (P10)	32	Paint
11 Cigaret Filter (P11)	33	Cigaret butts
	34	Fragment of cigaret butts



[Photo 1] Sampling of small plastic debris (SPD) at S6 [Nov.16, 2009].

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 중량 분포



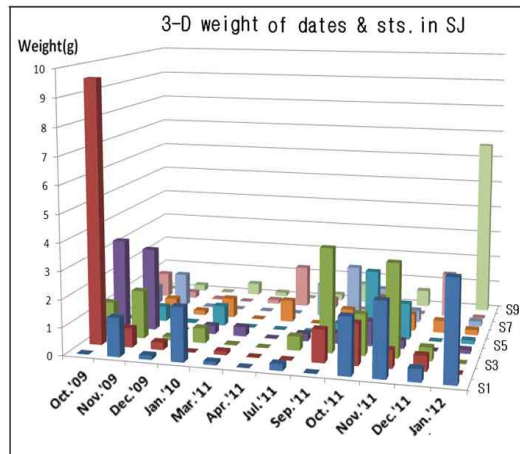
[Fig. 2] Total weight & percentage in each station of Song-Jung (SJ).

[Fig. 2]는 송정 해수욕장의 9개 장소(S1~S9)에서 12회 현장조사를 통해 얻어진 미소 플라스틱류의 총 중량과 그 비율을 나타내었다.

해수욕장의 남부에 위치한 3개의 장소 S1~S3는 12g 이상이며 S2는 14.4g으로 가장 높은 중량을 나타내었다. 가장 낮은 중량이 분포하는 장소는 S8으로 2.5g에 불과하였다.

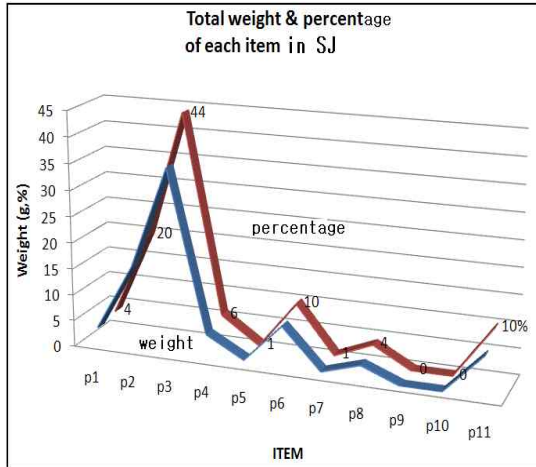
따라서 이 해수욕장의 미소 플라스틱류의 중량 밀도는 2.5~14.4g 까지 넓게 분포하였으며, 해수욕장의 중앙(S5)에서 북쪽의 해수욕장은 중량 밀도가 낮고 남쪽의 해수욕장은 상대적으로 높은 중량이 해안에 표착되어 중량 밀도가 높았다. [Fig. 2]의 위쪽 부분은 장소별 분포비율을 표시하였다. 중량에 비례하여 가장 높은 비율을 보인 곳은 S2에서 18%, 그 다음 S1, S3가 각각 16%로 나타났으며, 이들 3개 장소에서 전체의 50%를 점유하였다. 가장 비율이 낮은 장소는 S8으로 5%에 불과하였다. 따라서 이 해수욕장의 장소에 따른 미소 플라스틱류의 중량 밀도는 약 3배 이상 차이를 보였다.

그러므로 송정해수욕장의 중량 밀도는 남부에서 크고 북부에서는 현저히 적게 분포하였다. 그 결과 장소별 중량 밀도는 단위면적( $m^2$ )으로 환산하면, 최대  $4.804g/m^2$ , 최소  $0.833g/m^2$ 으로 그 차는 3배 이상이며, 총 중량에 대한 전체의 평균 밀도는  $2.955g/m^2$ 이었다.



[Fig. 3] 3-D Weight of dates & Sts. in SJ.

[Fig. 3]은 각 장소에서 계절적 중량 변동량을 나타낸 것이다. 여기서 나타나는 특징의 하나로써, 가을에 해당하는 9~11월이 다른 계절보다 해안에 표착한 미소 플라스틱류가 많았다. 반면에 봄철인 3~4월은 현저히 적거나 없는 곳도 있었고 겨울 중에는 12월이 가장 적게 나타났다.

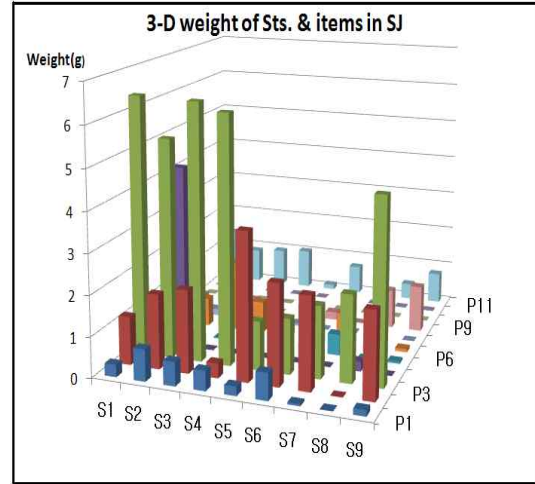


[Fig. 4] Total weight & percentage in each item in SJ.

그리고 미소 플라스틱류의 11개 item별 총중량(아랫선)과 비율(윗선)을 [Fig. 4]에 나타내었다. 각 item중에서 현저하게 많은 중량을 보인 것은 P3(플라스틱제의 폐품)가 35.43g이고 그 다음은 P2(플라스틱 제품) 16.03g이었다. 반면에 P9(기름방울), P10(페인트)은 발견되지 않았다. 그 분포 비율은 P3가 44%, P2가 20%로 전체의 64%를 점유하였다. 따라서 item별 중량 분포 특성을 보면 P3, P2가 전체 item의 64%정도이고 그 외의 item은 매우 적거나 없는 것으로 나타났다. 그러므로 이 해수욕장은 미소 플라스틱 중에서 플라스틱 제품 또는 그 폐품들(P2, P3)이 %정도로 많이 발견된 것이 하나의 특징이다.

한편 이 해수욕장의 장소와 item에 관한 3차원적 중량 분포를 나타내면 [Fig. 5]와 같다. 여기서 P3가 9개 장소에서 모두 나타났음을 알 수 있고 그 중량도 타 item에 비해 훨씬 높았다([Fig.

4]). 그 다음 P2가 P3보다 적지만 7개 장소에서 발견되었다. 특히 S1~S4, S9에서 두드러지게 높게 나타났다. 그러므로 P3, P2 item이 해수욕장에 끌고루 분포함을 알 수 있었다.

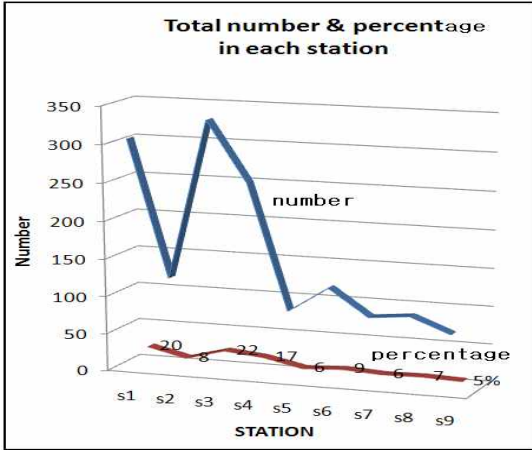


[Fig. 5] 3-D Weight distribution of stations & items in SJ.

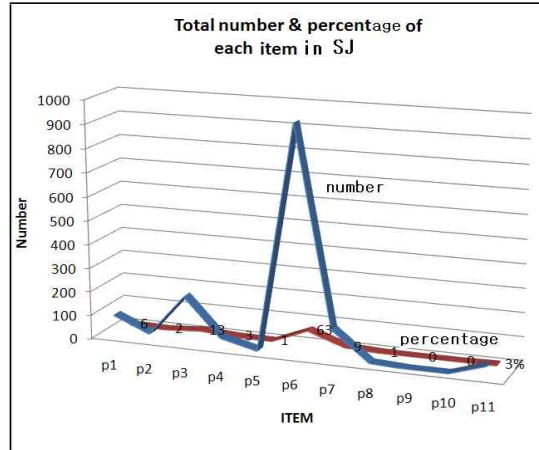
## 2. 수량 분포

송정해수욕장 9개 장소에서 얻어진 미소 플라스틱류의 장소별 총수량(그림의 윗선)과 그 비율(그림의 아랫선)은 [Fig. 6]과 같다. S3에서 최고 많은 수량이 발견되어 총수량은 336개이고, 그 다음이 307개로 S1, 세 번째 S4가 258개로 나타났다. 비율 또한 S3가 22%, S1이 20%, S4 17%로 이들 3개 장소에서 59%를 점유하였다. 그러나 기타 6개 장소에서는 50개에서 100개 전후로 10% 미만으로 나타났다. 즉, 미소 플라스틱류의 총수량에 대한 장소별 분포는 해수욕장의 남부에 위치한 장소에서 많았고, 중앙에서 북부로 갈수록 그 수량은 현저히 줄었다.

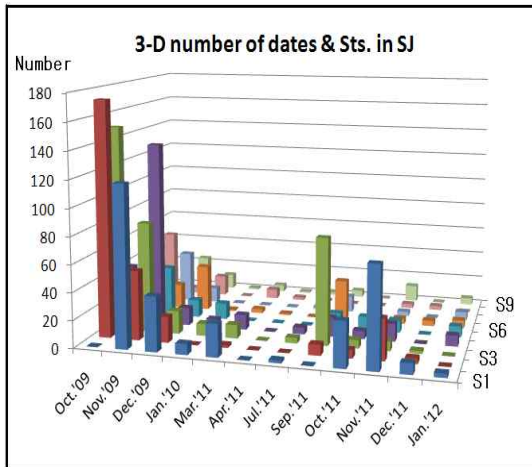
그러므로 이 해수욕장의 수량 밀도는 S3에서 최고밀도 112ea/m<sup>2</sup>를 나타내었으며, 총수량에 대한 전체의 평균 밀도는 56.259ea/m<sup>2</sup>로 분포하였다.



[Fig. 6] Total numbers & percentage in each station of SJ.



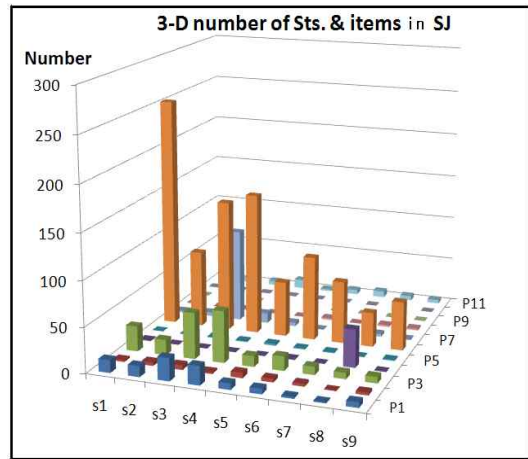
[Fig. 8] Total numbers & percentage in each item in SJ.



[Fig. 7] 3-D numbers of dates & Sts. in SJ.

[Fig. 7]은 조사 일자와 장소에 따른 미소 플라스틱류의 수량 분포를 3차원적으로 나타내었다. 그림에서 가장 많은 수량을 보인 곳은 2009년 10월 S2에서 173개로 나타났다. 그리고 10월~12월 겨울과 봄철은 가을보다 현저하게 작은 수량이 표착되었음을 알 수 있다. 또한 중량과([Fig. 3]) 마찬가지로 해수욕장의 북부에 위치한 S6~S9에서 매우 작은 수량이 나타남을 볼 수 있다.

[Fig. 8]은 송정 해수욕장의 총 수량분포와 비율을 item별로 나타내었다. 가장 많은 수량은 P6로서 900개였다. 그러나 대부분은 200개 미만이었다. item별 비율을 보면, P6가 63%로 미소 플라스틱류의 대부분을 차지하였다. 그 외의 item은 13%이하이거나 없는 것도 있었다. 따라서 [Fig. 4]처럼 중량에서는 P3이 최고였으나 수량에서는 P6 item이 훨씬 큰 63%를 차지하였다.

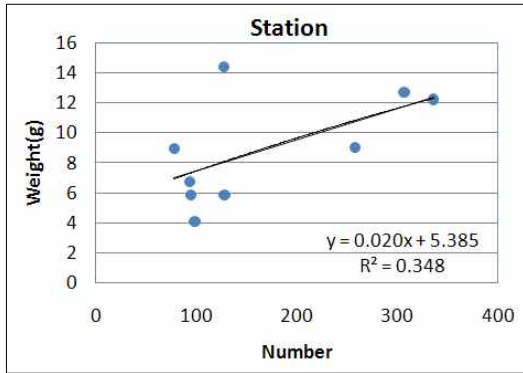


[Fig. 9] 3-D numbers of stations & items in SJ.



[Fig. 9]는 송정의 장소와 item별 수량분포를 3차원적으로 나타낸 그림이다. 눈에 띄는 것은 P6의 item이 해수욕장의 모든 장소에서 채집되었고 그 중에서 가장 많은 양이 표착된 곳은 S1으로 253개이며 북부로 갈수록 점점 작아졌다. 이 현상은 해안의 표층 흐름과 유관할 것으로 생각된다. 그 다음으로 P3가 수량은 작지만 모든 장소에서 나타났고 그 외의 장소에서는 작은 수량이거나 없는 경우가 많았다. 그러므로 Fig.5와 Fig.9를 비교하면 중량과 수량에서 가장 큰 값은 동일한 item이 아닌 P3과 P6임을 알 수 있었다.

### 3. 상호 상관성

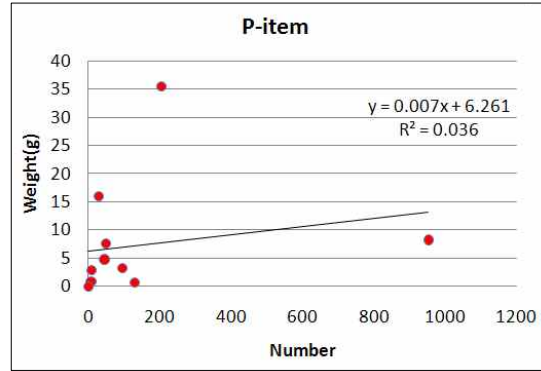


[Fig. 10] Relationship between weights & numbers in each station.

[Fig. 10]은 각 장소에서 무게와 수량에 대한 상관정도를 나타내었다. 비록 9개 장소이지만 결정계수  $R^2 = 0.348$ , 다중계수  $r = 0.59$ 를 나타내었다. 따라서 송정 해수욕장은 수량에 대한 무게의 상관은 어느 정도 있음을 의미한다.

반면에 [Fig. 11]처럼, item에 대한 상관은 다중계수  $r = 0.19$ 로서 상관성이 거의 없음을 알 수 있다.

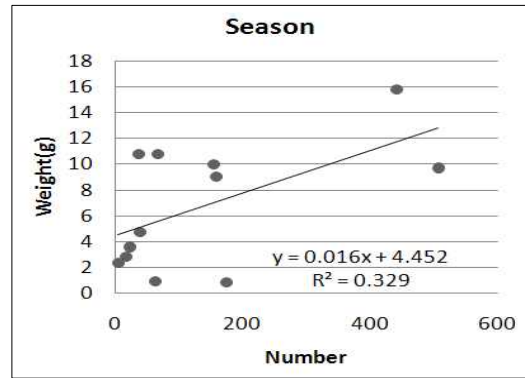
또한 [Fig. 12]는  $r = 0.574$ 로서 조사일자별 상관성은 장소에서 나타난 것과 같이 어느 정도 상관성을 보이고 있다.



[Fig. 11] Relationship between weights & numbers in each item.

한편 <Table 1>에서 제시된 조사 당시의 조석(조차와 월령), 풍향 풍속 및 강수량과 비교하면 대체로 상호상관성을 발견하기가 어렵다. 향후 item별 조사 날짜 및 해황 등을 보다 세밀하게 조사, 분석함으로써 그 관계성을 찾을 수 있을 것이다.

## IV. 요약 및 결론



[Fig. 12] Relationship between weights & numbers in each researching date.

본 연구는 송정 해수욕장을 대상으로, 1년 이상의 조사기간을 통하여 해수욕장에서 표착 또는 버려진 미소 플라스틱의 다양한 종류를 채집, 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.



1. 중량 밀도는 남부가 중, 북부보다 크고 장소별 총량이 최대 4.804g/m<sup>2</sup>, 최소 0.833g/m<sup>2</sup>으로 그 차는 3배 이상이며, 총 중량에 대한 전체의 평균 밀도는 2.955g/m<sup>2</sup>이었다.

2. 중량의 계절별 변동을 보면, 가을철이 가장 많이 분포하였다.

3. item별 중량은 P2, P3가 가장 많았고 이들이 64%를 점유하였고 전 해수욕장에 골고루 분포하였다.

4. 수량 밀도는 S3에서 최고밀도 112ea/m<sup>2</sup>를 나타내었으며, 총수량에 대한 전체의 평균 밀도는 56.259ea/m<sup>2</sup>로 분포하였다.

5. 수량의 item별 특징은 P6 item의 수량이 63% 점유하여 전 해수욕장에 골고루 분포하였으며, 가을철에 많고 봄철에는 거의 없었다.

6. 중량과 수량에 관한 상호상관성은 장소와 계절에 대해서는 어느 정도 관련성을 찾을 수 있으나, item에 대해서는 상관계수가 거의 없음을 발견하였다.

그리고 조석, 풍향 풍속 및 강수량과 비교해도 대체로 상호상관성을 찾기가 어려웠다. 이 부분은 향후 item별 조사 날짜 및 해황 등을 보다 세밀하고 장기적인 조사, 분석을 함으로써 그 관련성을 찾을 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구를 위해 현장 조사에 참여하고 분석을 도와준 부경대학교 김동현, 김성원, 정혜영 및 김혜정 학생에게 심심한 감사를 표합니다.

## 참고 문헌

김삼곤 · 김종화 · 김민석 · 정순범 · 이정태(2000). 영일만 주변해역의 미소 플라스틱 분포와 조성에 관한 연구, 수산해양교육연구 12(2), 152~163.  
 김삼곤 · 김종화 · 박창두(2002). 우리나라 남해안 해수욕장의 미소 플라스틱 분포와 조성, 수산

해양교육연구 14(1), 43~56.  
 기상청(www.kma.go.kr)홈페이지.  
 해양조사원(www.khoa.go.kr)홈페이지.  
 해운대구청(www.haeundae.go.kr)홈페이지.  
 Baird, R. W., Hooker, S. K.(2000) Ingestion of plastic and unusual prey by a juvenile Harbour Porpoise, Mar. Poll, Bull, 40, 719~720.  
 Bugoni, L., Krause, L., Petry, M. V.(2001). Marine debris and human impacts on sea turtles in Southern Brazil, Mar. Poll, Bull, 42, 1330~1334.  
 Claereboudt M. R.(2004). Shore litter along sandy beaches of the Gulf of Oman. Mar. Poll, Bull, 49, 770~777.  
 Endo S., R. Takizawa, K. Okuda, H. Takada, K. Chiba, H. Kanehiro, H. Ogi, R. Yamashita and T. Date(2005). Concentration of polychlorinated biphenyls(PCBs) in beached resin pellets variability among individual particles and regional differences, Mar. Poll, Bull, 50, 1103~1114.  
 Haruo Ogi and Yuri Fukumoto(2000). A Sorting Method for Small Plastic Debris Floating on the Sea Surface and Stranded on Sandy Beaches, Faculty of Fisheries Hokkaido University, 51(2), 71~93.  
 Jose G. B. Derraik(2002). The pollution of the marine environment by plastic debris : a review, Mar. Poll, Bull, 44, 842~852.  
 Kusui T. and M. Noda(2003). International survey on the distribution of stranded and buried litter on beaches along the sea of japan, Mar. Poll, Bull, 47, 175~179.  
 McDermid K. J. and T. L. McMullen(2004). Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago, Mar. Poll, Bull, 48,790~794.  
 Otley H. and R. Ingham(2003). Marine debris survey at Volunteer Beach, Falkland Islands, during the summer of 2001/02. Mar. Poll, Bull, 46, 1534~1539.

- 
- 논문접수일 : 2012년 11월 23일
  - 심사완료일 : 1차 - 2012년 12월 17일  
 2차 - 2012년 12월 24일
  - 게재확정일 : 2013년 01월 04일