

## 하계 동해의 해양폐기물 분포와 조성에 관한 연구

김종화<sup>†</sup> · 김민석 · 김용복\*

(부경대학교, \*해양수산연수원)

### Distribution and Composition of Floating Debris in the East Sea during the Summer Season

Jong-Hwa KIM<sup>†</sup> · Min-Suk KIM · Yong-Bok KIM\*

<sup>†</sup> Pukyong National University, \*Korea Institute of Marine & Fisheries Technology

(Received January 4, 2005 / Accepted January 25, 2005)

#### Abstract

Floating debris was observed using a training ship, KAYA, of Pukyong National University with cruising speed of about 10~12 knot during July 12~25, 2003. The area sampled was the East Sea enclosed by 3 nations, namely, Korea, Japan and Russia, and was divided into 68 unit segments on survey routes [Fig. 1]. Debris fabrication materials were categorized with 6 items, e.g., man-made or natural wood items, paper and cardboard, nylon rope, styrofoam, vinyl and plastic, floating metal and glass containers. All identified items within 100±10 m wide band were recorded but ignored if beyond this boundary.

The results of this study are as follows:

1. The average numbers of debris per unit area, 1 km<sup>2</sup>, were found as 16.3 pieces (items) in the sea.
2. The highest densities of numbers, 32.3 pieces/km<sup>2</sup>, were discovered in vicinity of the Oki strait of Japan, area of 'NEK' in Fig. 1.
3. Especially, styrofoam item only was composed to 63.6% of all in the sea of 'SD', located in the southern part of Dokdo Island, Korea. The item seems to be derive from the Southern Sea of Korea.
4. Therefore, comparing the distribution of debris numbers (the results of above 2 and 3) with flow patterns of Kuroshio currents, it was shown that their relation was good agree each other.

Further more surveys are being conducted and a much wider coverage can be achieved with other countries, then it can be obtained that the East Sea is polluted to some extent, where is the origin of debris, and the finding of floating routes and stationary sea.

**Key Words:** Floating debris, East Sea, Identified items, Styrofoam, Kuroshio currents

---

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-620-6193, kimjh@pknu.ac.kr

## I. 서론

우리나라는 국토면적의 4.5배에 달하는 EEZ, 영해 및 내수면 등의 광활한 관리해역(447,000 km<sup>2</sup>)과 국토면적의 3.5배에 해당하는 대륙붕(345,000 km<sup>2</sup>)을 보유하고 있다. 게다가 세계 5대 갯벌의 하나인 서해안과 남해안 일원은 총 2,393 km<sup>2</sup>의 면적으로 펼쳐져 있는 어류의 산란장, 서식지 및 생산지를 형성하고 있다.

그 결과, 연안 바다로부터 오염의 정화기능, 홍수와 태풍의 조절기능 및 심미적 기능 등 매우 복잡한 생태환경을 통하여 우리에게 말할 수 없는 많은 자연적 혜택을 제공하였다.

그러나 급속한 산업체 형성과 생활형태의 변화로 인해 70년대 말부터 시작하여 중금속 오염, 유류오염, 적조현상 그리고 유해화학합성물질 등의 환경 호르몬성 고형물질로 우리의 바다는 쓰레기 종말처리장으로 변하여 폐사직전에 이르렀다고 진단할 수 있다.

그 동안 각종 용존성 오염물질의 원인과 처리 방법 등 다양한 연구와 정화노력이 있었다. 그럼에도 불구하고 우리의 바다는 회복하기 어려운 국면에 처해지고 말았다.

다행하게도 이러한 다양한 오염원 중 자연환경에 용해되지도 않고 분해되기도 힘든 고형 폐기물에 대한 연구가 우리나라에서는 처음으로 동해 연안해역에서 해양폐기물 종류별 분포와 조성비를 보고한 바 있고(김 등, 1997), 이어서 남해동,중 및 서부해역(김, 1998; 김, 1999)과 진해만의 해저폐기물 조사연구(김 등, 1999; Kim et al., 2001) 그리고 제주도 근해에서 중국 연안까지 부유성 폐기물의 조사 보고가 있었다(김 등, 1999). 또한 플라스틱의 원료로 사용되는 Resin pellets의 해안분포 유무와 수량에 대한 조사연구도 몇몇 해수욕장 등에서 조사연구 되어 왔다(김 등, 2000; 김 등, 2002).

따라서 계속적 연구의 일환으로 우리나라에서 가장 오염이 심각한 남해안의 부유성 고형폐기물

이 쿠로시오 해류를 따라 흘러 들어가는 것으로 추정되는 동해바다에 대한 조사가 필요함을 인식하였다. 이 곳은 삼면의 바다 중 평균수심이 1,684m로 깊고 해안선이 단조로워 해수의 흐름이 원활하며, 한·난류가 교차하고 인접한 연안 4개 국가들로 포위된 폐쇄적이며 호수와 같은 바다이다. 기 연구된 논문은 우리나라 동해연안을 따라 울릉도까지의 해역에서 조사되었다(김 등, 1997). 그러나 동해의 중심 해역인 대화퇴 어장을 둘러싼 인접 국가간의 항로상에서 떠다니는 부유성 폐기물의 조사는 없었다.

본 연구는 동해의 우리나라 측과 러시아 연안 및 일본을 잇는 항로상에서 조사된 해양폐기물에 대하여 종류와 분포밀도 및 그 조성비를 분석하여 조사해역별로 비교함으로써, 이 해역에서의 주된 오염인자와 오염 정도를 밝히고자 한다.

## II. 조사 방법

본 연구는 부경대학교 실습선 가야호를 이용하여 2003년 7월 12 ~ 14일, 20일 및 24 ~ 25일에 걸쳐 6일 동안 동해 해상에서 표류하는 각종 해양폐기물을 조사하였다. 조사방법으로 트롤어망을 표층에 띄워 채집하는 것과 목측 조사방법에 따라 선박의 조타실에서 목측하는 2가지 방법을 행하였다. 기존의 목측조사는 많이 행해지고 있으며(Dixon, T. J. and T. R., Dixon, 1983), 어망에 의한 표층채집조사는 본 조사에서 처음 시도하였으나 부유성 폐기물이 제대로 채집되지 않아서 실패하였다.

조사해역은 첫째, 일본 히로시마에서 출항하여 러시아 블라디보스톡까지의 3일 낮동안 CTD조사(7 정점)와 병행하여 관측, 조사하였다. 두 번째는 블라디보스톡에서 니이가타 항로상의 중간 해역(대화퇴 어장의 북동쪽)에서 1일간 행하였다. 이 때, 해상상태 불량으로 CTD관측은 할 수 없었다. 세 번째는 니이가타에서 부산까지의 항로상에서 니이가타 근해 1일, 대한해협 북서해역(일

본 오키 해협(북쪽)에서 1일간 조사하였다. 이 항로상에서도 기상상태가 불량하여 CTD관측은 하지 못하였다.

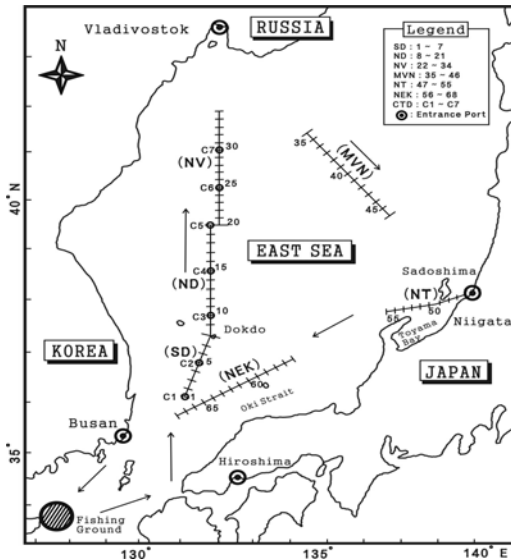
실제로 선박의 항행범위는 매우 좁으므로 선박이 항행 중 육안으로 식별 가능한 주간과 좌·우현 50±5m의 범위(관측의 폭 100±10m)에 한정하여 관측, 기록하였다. 관측범위의 유한성 또는 물체식별의 불확실성을 제거하기 위하여 선박의 항행조건과 기상 및 해상상태를 적절하게 유지시켰다. 이 때, 측자의 눈높이는 해면상 9m로 일정하게 고정하고 항해속도는 해상상태에 따라 다소 변화하였으나 약 10.0 ~ 12.0 knot로 유지되었다.

또한 해면의 파랑과 선체의 횡동요로 인한 좌·우현 10m의 오차범위를 넘지 않는 경우에 조사하였다. 다행히 우리대학 가야호는 총톤수 1,600톤으로 풍속이 어느 정도 강하게 불어도 급격한 횡동요를 보이지 않았고 측자의 눈높이가 크므로 물체식별이 쉬웠다.

따라서 실제 조사해역의 면적은 10마일 간격을 소단위 해구로 정하여 6일 동안 총 68개 단위해구에 걸쳐서 조사된 약 149.6 km<sup>2</sup> 이었다. 주간이라도 풍향풍속으로 인하여 횡동요가 심하여 관측 오차범위를 넘거나 물체식별의 정도가 불확실하게 측정된 자료는 분석에서 제외하였다.

항해 일정별 조사해구의 측정결과를 Table 1과 같다. Table 1에서 보면, 조사일수는 6일이므로 조사 일정별로 6개의 대영역 조사해역(Zone)으

로 분류하였고, 분류된 해역은 ( )안에 약어로 표시하여 두었다. 소단위별 영역(Segment) 번호는 7월 12일부터 7월 25일까지 차례대로 1번부터 68번까지 표시하였다[Fig. 1].



[Fig. 1] Map showing cruising routes and sampling stations.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 동해의 폐기물 수량밀도 분포

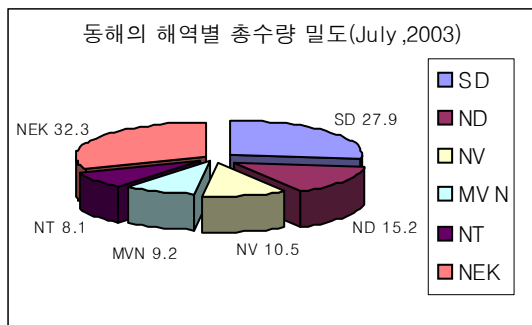
조사 자료에서 얻어진 동해의 폐기물 총수량밀도는 평균 16.9개/ km<sup>2</sup> 으로 나타났다. 조사일정

<Table 1> Survey zone of East Sea on the cruising routes of July, 2003

Date	Zone of East Sea	No. of Segment	Quantity of Segment	Remark
July, 12	Southern part of Tok Is.(SD)	1 ~ 7	7	Cruising 1: From Hiroshima to Vladibostok
July,13	Northern part of Tok Is.(ND)	8 ~ 21	14	"
July, 14	Near Vladibostok (NV)	22 ~ 34	13	"
July, 20	Mid zone of Vladibostok and Niigata (MVN)	35~ 46	12	Cruising 2: From Vladibostok to Niigata
July, 24	Northern part of Toyama Bay (NT)	47 ~ 55	9	Cruising 3 : From Niigata to Busan
July, 25	North eastern part of Korea Strait near Oki Strait (NEK)	56 ~ 68	13	"

과 해역의 특성에 따라 구분된 6개 해역 및 폐기물 종류별로 수량을 분류하여 나타내면 [Fig. 2] ~ [Fig. 6]과 같다.

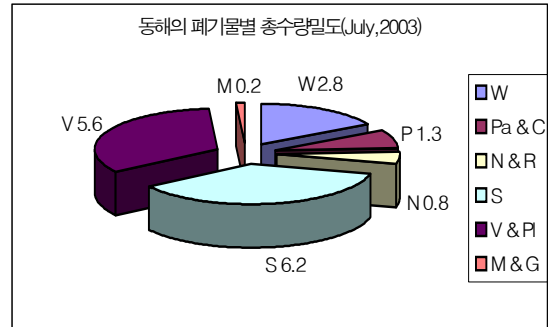
[Fig. 2]는 동해의 중심에 해당하는 해역을 6개의 대영역(해역)별로 나누어 총폐기물의 수량 밀도를  $\text{km}^2$  당 개수로 나타내었다. 그림에 표시된 기호는 대영역별 해역의 약어이다. 해양폐기물의 평균적 밀도가 가장 높은 곳은 'NEK'로 표시된 대한해협 북동부에 위치하고 일본의 서안Oki해협에 가까운 해상이며, 그 밀도는  $32.3\text{개}/\text{km}^2$  이었다. 타 영역에 비해 높은 이유는 첫째, 위치가 대한해협의 바로 위쪽으로 일본연안에 인접한 때문에, 쿠로시오 해류가 해협의 좁은 수로를 북상하여 약간 북동쪽 방향으로 편향하여 흐르는 이 해역의 특성(코리올리의 효과)으로 인해 해류를 타고 온 해상의 폐기물이 모여든 것으로 보인다. 둘째는 우리나라 남해연안의 부유성 폐기물이 다른 연안해역에 비해 월등히 많고, 또한 일본연안의 해상폐기물로 인해 밀도가 현저히 증가한 것으로 추정된다.



[Fig. 2] The overall distribution and relative densities of each zone.

[Fig. 3]은 조사된 총폐기물의 종류별 수량 밀도를 나타낸 것이다. 6종의 폐기물 중에서 최고수량은 스티로폼(S)으로  $6.2\text{개}/\text{km}^2$  이었다. 그 다음으로 적은 수량은 5.6개로서 비닐류(V & PI)이며, 가장 적은 수량은 부유성 금속 및 유리(M &

G) 종류로 0.2개이었다. 따라서 부유성 폐기물의 대부분은 S와 V & PI인 것으로 나타났다.



[Fig. 3] Relative densities of all debris types.

[Fig. 2]는 동해의 폐기물에 대한 대영역인 해역별 수량 밀도, 그리고 폐기물 종류별 수량 밀도를 각각 나타내었다. 그러나 Fig.4는 세분하여 폐기물 종류별 수량 밀도를 대영역인 6개 해역별로 계산하여 나타내었다.

[Fig. 4(a)]는 우리나라 독도남방(SD) 해역의 폐기물 종류별 수량 밀도를 나타낸 그림으로써, 스티로폼(S)이 다른 폐기물보다 월등히 많이 나타났고 그 수량은  $17.7\text{개}/\text{km}^2$  이었다. 그 다음은 수량 밀도가 현저히 떨어져 비닐류(V & PI)가 5.9개였으며, 나머지는 2개 미만이었다.

ND해역의 수량 밀도를 나타낸 [Fig.4(b)]는 독도북방 해역이며, 최대수량은 스티로폼 8개, 비닐류 4.2개로써, SD해역과는 달리 전체적 수량 밀도가 현저히 적었으며 특히 스티로폼이 현저히 줄어들었음을 알 수 있다. [Fig. 4(c)]는 북한과 러시아 연안해역에 속하며, 스티로폼이 가장 많고 다음이 비닐류가 차지함은 [Fig. 4(a) 및 (b)]와 유사한 패턴이나 수량이 급감하여 각각 4.1개와 3.3개로 밀도가 떨어졌다. 반면에 적은 수량이지만 목재(W)와 종이류(P & C)가 증가하는 특징을 보였다.

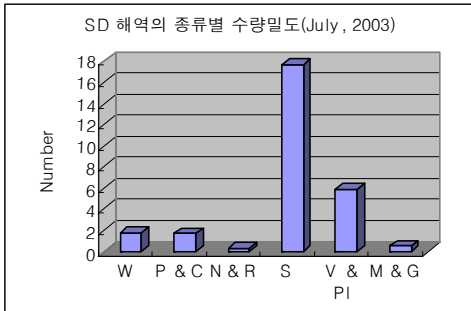
따라서 [Fig. 4(a), (b) 및 (c)]는 폐기물의 종류별 수량 밀도 양상이 일정한 변화를 보였음을

알 수 있다. 이런 현상은 우리나라 독도 남방과 북방 및 북한과 러시아로 이어지는 남북방향의 부유성 폐기물 양상을 잘 나타내었다. 즉 우리나라 등에서 버려진 스티로폼이 해류를 타고 계속 북상함을 보여주었다고 생각된다.

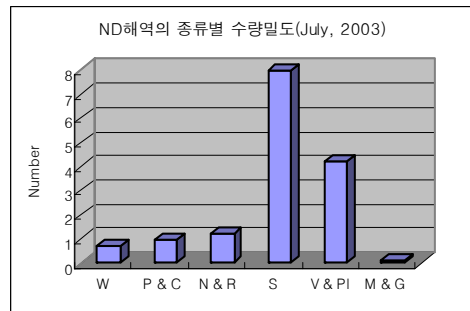
한편 [Fig. 4(d)]는 동해의 중앙해역으로 러시아 블라디보스톡 항에서 일본 니이가타항의 중간에 해당되는 곳으로 비닐류가 가장 많이 차지하

여 5.2개/km<sup>2</sup> 이었다. 다음이 스티로폼으로써 2.1개 정도였다. 나머지 폐기물은 대부분의 해역처럼 1개 미만이었다.

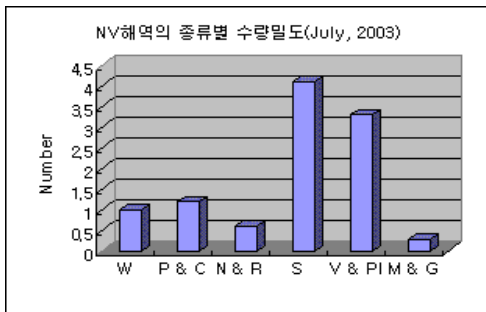
[Fig. 4(e)]는 니이가타항에서 출발하여 토야마 만의 위쪽 해역에서 조사된 것으로서, [Fig. 4(d)]에서처럼 비닐류가 가장 많아서 km<sup>2</sup> 당 3.8개이었고 다음이 스티로폼으로 2.2개 정도이었다. 그리고 Fig.4(f)는 일본 서안의 혼슈우 남서해역



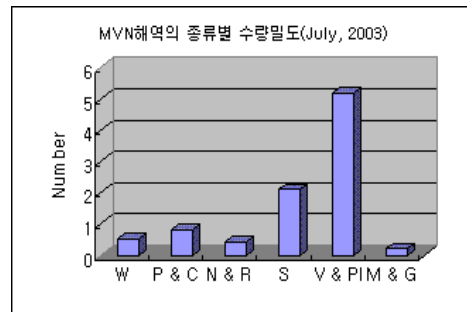
( a )



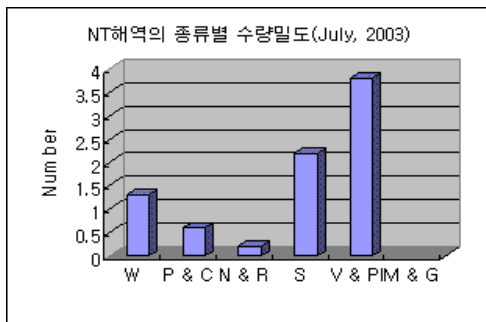
( b )



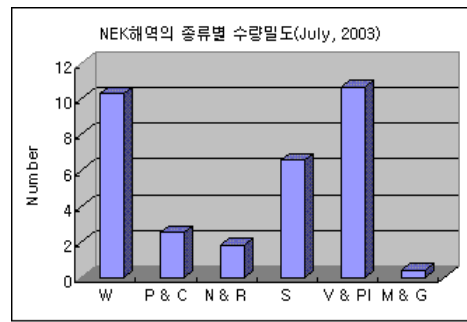
( c )



( d )



( e )

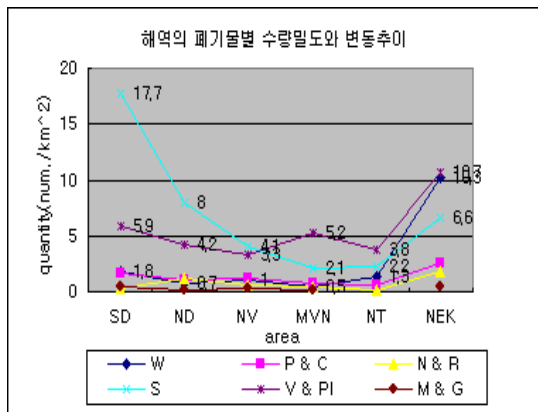


( f )

[Fig. 4] Relative densities of each zone and debris types.

으로 오키 섬이 있는 해상으로서 가장 많은 폐기물이 목재류, 비닐류이며 둘 다 비슷하여 km<sup>2</sup> 당 각각 10.3개, 10.7개로 나타났다. 세 번째가 스티로폼으로 6.6개이었다. 이 해역은 동해의 타 해역과 달리, 전체적인 폐기물의 수량밀도가 독도 남방다음으로 많아서 총 32.3개이며, [Fig. 4(d), (e)]와 비슷한 패턴이나 유독 목재류가 현저히 많이 발견되었다.

[Fig. 5]는 각 해역별로 주요 폐기물의 수량변동 추이를 나타내었다. 이 그림에서 보면 3가지 두드러진 특징을 찾을 수 있다.



[Fig. 5] Variation trend of debris in each zone.

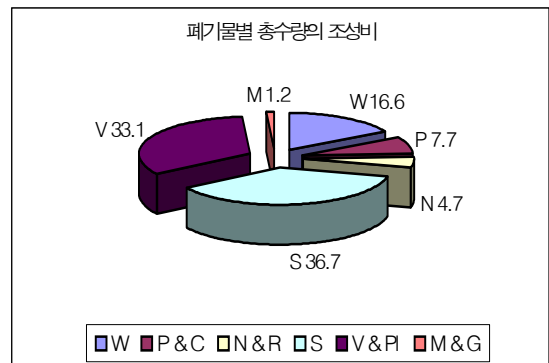
첫째, 가장 수량밀도가 높은 스티로폼은 SD해역인 독도남방에서부터 러시아 연안으로 갈수록 그 수량이 격감하다가 다시 한국과 대마도에 가까운 NEK해역에서 현저히 늘어났음을 볼 수 있다.

둘째는 비닐류가 두 번째로 밀도가 높으며 5개 해역에서 대부분 5개 전후로 발견되었지만 NEK해역에서 수량이 배로 증가하였다. 셋째, 목재류가 대부분 1개 정도로 분포하였으나 NEK해역에서만 10개 정도로 매우 많이 발견되었다. 그 외의 폐기물은 수량이 적게 분포하였다.

## 2. 동해의 폐기물 조성비율

[Fig. 6]은 동해의 폐기물 총수량에 대한 종류별 조성비를 나타내었다. 여기서 스티로폼과 비닐류가 각각 36.7%, 33.1%를 차지하여 가장 높은 조성비를 보였고 이 둘을 합하면 69.8%임을 알 수 있다. 그 다음은 목재류가 16.6%를 차지하였고 네 번째는 종이류로서 7.7%이었다. 따라서 동해의 전체적 조성비는 주로 스티로폼과 비닐류가 약 70%를 차지하고 있음을 보였다.

동해의 총체적 폐기물을 해구별로 나누어 그 조성비의 특징을 [Fig. 7]에 나타내었다. [Fig. 7(a)]는 동해남부의 독도남방 해역으로서 스티로폼이 63.6%로 가장 많으며, 다음이 비닐류로서 21.2%를 차지한다. 이 둘의 비율을 합치면 84.8%이므로 이 해역의 대부분은 스티로폼과 비닐류임을 알 수 있다.

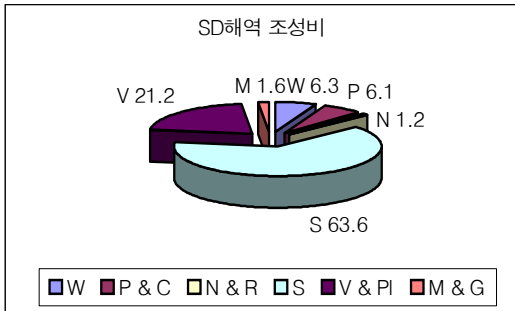


[Fig. 6] Composition of all debris in East Sea.

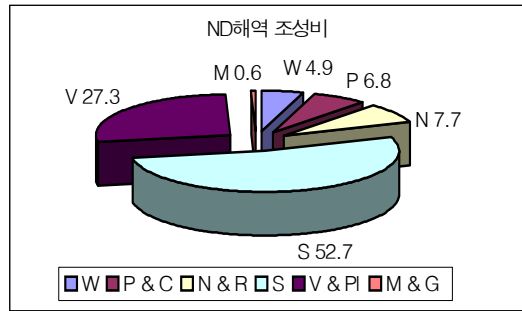
[Fig. 7(b)]는 독도의 북방해역으로서 스티로폼이 52.7%로서 절반을 차지한다. 대신에 비닐류가 약간 높게 나타나서 27.3%이다. 그 이외에는 독도의 남방해역과 비슷한 비율이다.

[Fig. 7(c)]는 동해의 북부해역에 해당하며 블라디보스톡 항의 연안수역으로서 스티로폼이 현저히 줄어들어 그 조성비는 39.1%에 불과하고 대신에 비닐류가 증가하여 31.4%를 차지하였다.

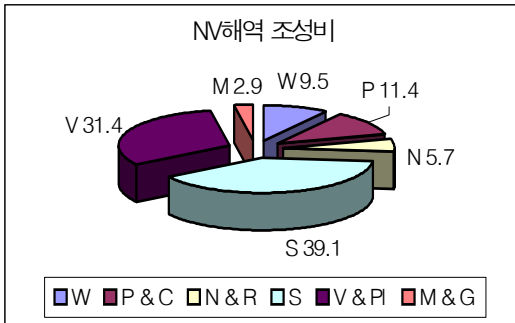
한편 [Fig. 7(d)]는 블라디보스톡과 니이가타의 중간수역으로서 비닐류가 56.5%인 절반 이상을 차지하고 스티로폼이 22.8%를 나타내므로 앞의



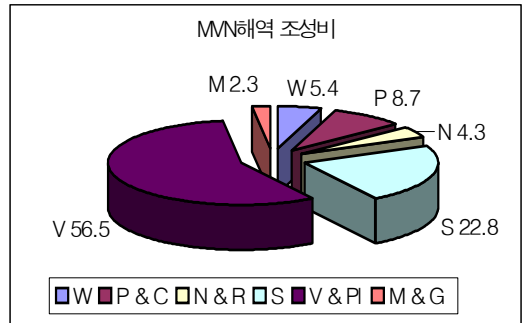
( a )



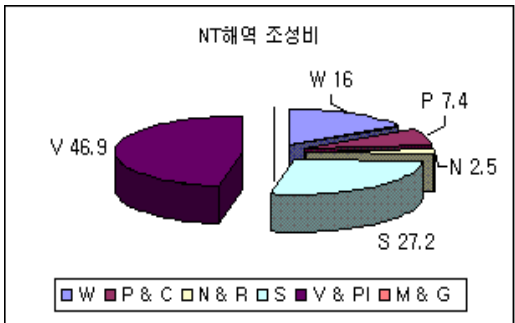
( b )



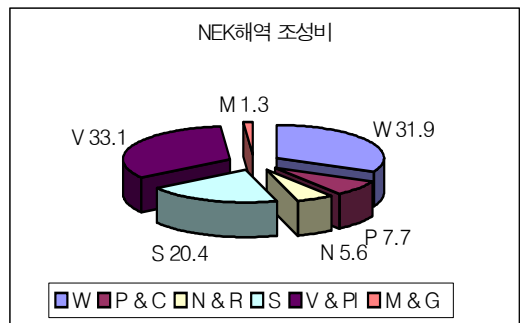
( c )



( d )



( e )



( f )

[Fig. 7] Composition of debris in each zone.

3개 해역과는 다른 패턴을 이루고 있다.

또 [Fig. 7(e)]해역은 니이가타와 토야마 만의 북쪽 연안해역으로서 비닐류가 46.9%, 스티로폼 27.2%로서 [Fig. 7(d)] 해역과 비슷한 패턴을 보였다. 그러나 목재류가 16%를 나타내어 6개 해역 중 목재류가 가장 적은 [Fig. 8(b)]의 해역과

는 대조적이다. [Fig. 7(f)]는 비닐류가 33.1%, 스티로폼 20.4%, 목재류가 31.9%로 폐기물의 조성비는 다른 5개 해역과는 사뭇 다르게 나타나고 있다. 특히 목재류의 비율이 6개 해역 중 가장 높았다. 이 현상은 가장 낮은 북한에 가까운 [Fig.7(b)]와는 매우 대조적이다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 부경대학교 실습선 가야호를 이용하여 2003년 7월 12 ~ 14일, 20일 및 24 ~ 25일의 총 6일간 동해의 여러 해역에서 조사가 이루어졌고, 1시간단위의 소해구를 정하여 총 68개 소해구를 향해하면서 부유성 해양폐기물을 6가지 종류별로 나누어 그 수량을 조사하였다. 조사 자료를 분석하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

##### (A) 수량분포에서

1. 동해의 폐기물 총수량 밀도는 평균 16.9개/km<sup>2</sup> 이었다.
2. 가장 수량밀도가 높은 해역은 대한해협 북동부에 위치하고 일본의 서안 Oki해협에 접한 NEK에 해당하는 곳으로써 32.3개/km<sup>2</sup> 이었다. 그 이유는 이 해역이 쿠로시오 난류가 대한해협을 지난 후 동해에 진입하면서 들로 나누진 남쪽 지류가 통과하는 해역이며 이때 한국 남해와 일본 연안에 따 다니는 폐기물이 이동한 것으로 분석된다.
3. 폐기물의 종류별 최고 수량밀도는 스티로폼으로써 평균 6.2개/km<sup>2</sup> 이며, 그 다음이 비닐류 5.6개/km<sup>2</sup>, 목재류 2.8개 순으로 적게 나타났다.
4. 동해의 각 해역 및 폐기물 종류별 수량밀도의 뚜렷한 분포패턴은, 첫째 스티로폼은 독도의 남방 해역에서 km<sup>2</sup> 당 17.7개이었으나 러시아 연안으로 갈수록, 그리고 대화퇴 해역에서 수량이 2.1개로 격감하였다. 그러나 일본 연안인 Oki해협에서는 다시 증가하여 6.6개로 나타났다. 두 번째 특징은 목재류가 6개 대영역 중 5개 해역은 km<sup>2</sup> 당 1개 정도로 분포하였지만 Oki해협에서는 10.7개으로써 그 수량이 높게 나타났다.

##### (B) 조성비율에서

5. 동해의 폐기물 총수량에 대한 평균 조성비는

스티로폼과 비닐류가 각각 36.7%, 33.1%를 차지하여 가장 높게 나타났다. 이 두 폐기물이 차지하는 비율이 69.8%이었다. 그 다음이 목재류로써 16.6%, 종이류 7.7% 순으로 나타났다.

6. 해역별 폐기물 종류에 대한 조성비에서 두드러진 특징은 독도 남방 해역(SD)에서 스티로폼이 63.6%를 나타내어 가장 높은 비율을 차지하였다. 반면에 수량면에서는 약간 높지만 해역 중에서 가장 작은 조성비율을 나타낸 해역은 20.4%로서 Oki해협인 NEK해역이었다. 이 해역은 타 폐기물이 비교적 골고루 분포함이 또 다른 특징이기도 하다.

이상을 종합하여 보면 동해에서 한국과 일본에 인접한 해역에서 수량밀도가 높았고 독도 남방 해역은 스티로폼이, 일본의 Oki해상에서는 비닐류, 목재류 및 스티로폼이 각각 33%에서 20%까지 비교적 비슷한 수량이 분포함을 알 수 있었다. 이 현상은 부유성 폐기물과 해류, 하천수 및 바람의 영향이 있음을 시사하는 것으로 사료된다.

따라서 금후의 과제는 우리나라, 일본, 러시아 등의 연안 국가들의 폐기물 조사를 계속함과 동시에 동해의 해상 오염 정도를 상세히 파악하고, 해류와 하천수의 유입에 의한 폐기물의 이동경로와 이동 속도 등을 함께 조사, 연구할 필요가 있다고 본다.

#### 감사의 글

본 연구는 2003년도 부경대학교 기성회 연구비의 지원과 실습선 가야호 직원들의 현장조사로 이루어졌으므로, 이에 감사를 드린다.

#### 참고 문헌

- 김중화, 김삼곤, 박창두, 주수동. 한국동해 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성, 수산해양교육연구, 9(1), pp.31~39, 1997.
- 김중화. 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조



- 성에 관한 연구 1. 남해 동부해역, 한국어업 기술학회지, 34(4), pp.287~293, 1998.
- 김종화. 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성에 관한 연구 2. 남해 중부해역의 폐기물 수송, 한국수산학회지, 32(3), pp.338~344, 1999.
- 김삼곤, 김종화, 박창두. 어자원 보호육성을 위한 생육환경 개선에 관한 연구 2. 진해만의 해저폐기물 실태. 한국어업기술학회지, 35(4), pp.359~365, 1999.
- 김종화, 김민석, 김삼곤. 한국 제주도와 중국 청도의 항로상에 부유하는 해양폐기물의 분포에 관한 연구. 수산해양교육연구, 11(2), pp.203~213, 1999.
- 김삼곤, 김종화. 영일만 주변해역의 미소플라스틱 분포와 조성에 관한 연구, 수산해양교육연구, 12(2), pp.152~163, 2000.
- 김삼곤, 김종화. 우리나라 남해안 해수욕장의 미소플라스틱 분포와 조성. 수산해양교육연구, 13(2), pp.178~193, 2002.
- Dixon, T. J. and T. R. Dixon. Marine litter distribution and composition in the Sea. Mar. Pollution Bull. 14, pp.145~148, 1983.
- Kim, J. H., S. K. Kim and J. K. Kim, Distribution Characteristics of Bottom Litter in Chinhae Bay, Korea. J. Fish. Sci. Tech. 4(3), pp.150~158, 2001.