

한국 제주도와 중국 청도의 항로상에 부유하는 해양폐기물의 분포에 관한 연구*

김민석 · 김종화 · 김삼곤
(부경대학교 수산과학대학)

I. 서론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 해양국으로서 옛날부터 바다에서 많은 혜택을 받아왔지만 귀하기보다는 천한 곳으로 여기며 수산 자원을 관리하는 데 소홀하였다. 그 결과 자원의 고갈과 함께 물으로부터 많은 유해 용존물질과 쓰레기들이 바다로 유입되었다.

특히 황해(서해, Yellow Sea)는 삼면 중 평균수심이 가장 낮아 약 44m에 지나지 않고 중국연안과 인접한 해역으로 군사적 이용은 물론 수산경제학적, 해양학적, 해양환경공학적 및 연안방재차원의 관심이 매우 고조되는 시점에서 주목을 받고 있다.

앞으로 한·중어업협정이 체결되고 공동관할수역이 결정되면 국제적 자원관리를 피하기 어렵다. 이와 때를 같이하여 해양오염 및 방재에 대한 관심도 고조될 것이다.

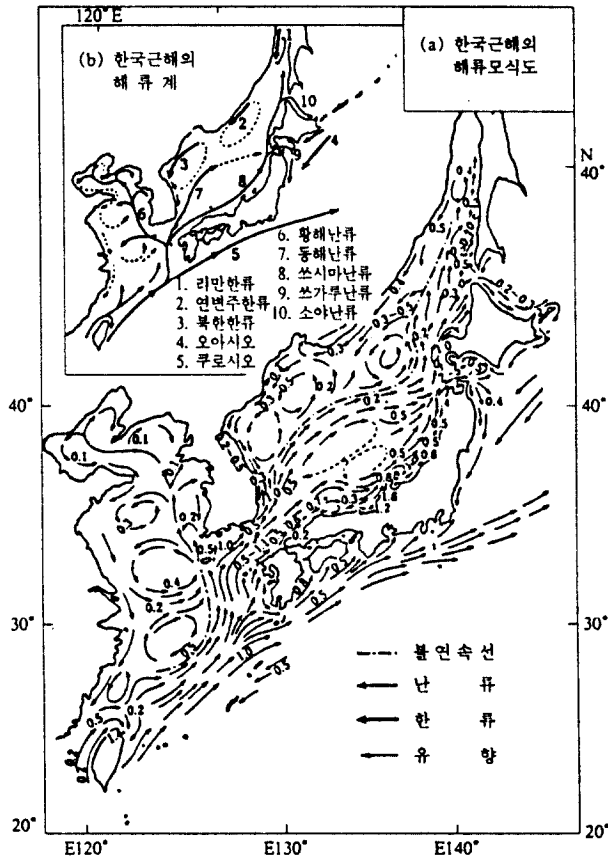
실제로 황해는 대륙적 건지에서 볼 때 한반도와 중국연안으로 둘러싸인 하나의 만(Bay)에 불과하다. 여기에다 중국 동쪽연안에서 동중국해로 유입되는 양자강, 북쪽의 발해만으로 유입되는 황해강(Yellow River), 한국의 압록강과 한강 등이 연결되어 있는 천해이다. 그러므로 황해는 그 입구에 해당하는 동중국해(East China Sea)의 영향이 절대적이다.

따라서 황해의 부유성 폐기물은 천해영역에서 영향을 받기 쉬운 주변연안의 수문기상으로 인한 강물과 동중국해의 해류 및 중국 연안류가 혼합되어 유·출입하는 황해의 해수순환에 따라 거동할 것이다(그림 1). 특히 황해에서는 취송류 또는 와류로 인해 해양폐기물이 어느 한곳으로 이동하는 경우도 뚜렷이 나타날 것이다.

그 동안 세계 곳곳에서 해양폐기물의 분포(Dixon and Dixon,1983; Kanehiro,1995)와 어장의 생물에 미치는 영향과 이동경로(Laist,1987; Merrell,1984; 佐尾和子 등,1995) 등에 관한 연구 보고가 많으며, 한국에서는 동해와 남해에서 부유성 폐기물의 분포양상(김 등,1997; 김, 1998)과 진해만과 남해안의 침전성 폐기물의 분포특성을 밝힌 연구보고(김 등,1999; 김 등, 1999)가 있으

* 이 논문은 1999년도 부경대학교 수산과학대학 연구비 지원에 의해 수행되었음.

며, 특히 해류와 수문기상 등의 영향으로 인한 폐기물의 수송에 대한 보고(김,1999)도 있으나, 한국 남해와 중국 산둥반도를 잇는 황해역에서 조사된 부유성 폐기물의 분포특성에 관한 연구 보고는 없다.



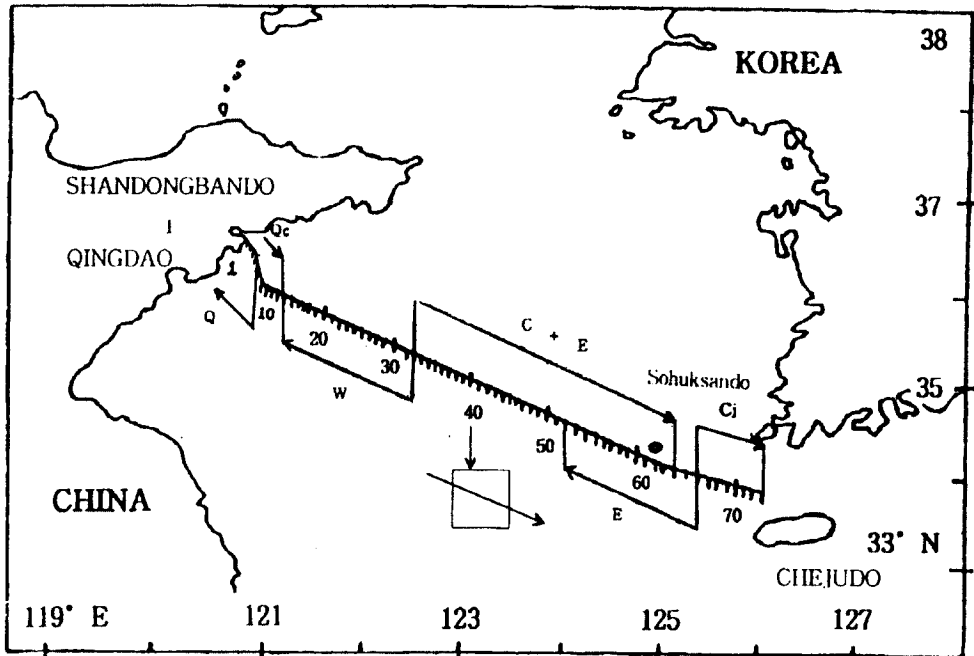
〈그림 1〉 한국주변의 해류도

본 논문의 목적은 황해에서 떠 다니는 부유성 폐기물의 수량 분포밀도와 그 조성을 파악하여 해양폐기물의 분포특성을 밝힘으로써, 황해 어장환경에 미칠 폐기물의 오염정도를 예측하는 기초자료를 제공코자 한다.

II. 조사 및 방법

부경대학교 실습선 가야호가 1999년 7월 19~21일과 24~26일에 걸쳐 원양실습중 제주도 북서해역에서 중국 청도(Qindao) 간의 항로를 왕복하면서 해상에 표류하는 각종 해양폐기물을 조사하였다.

조사해역은 항로를 중심으로 사각형으로 기획된 위도 5'과 경도 5'을 단위해구로 설정하였고, 그 단위면적은 약 70.56 km²이다. 조사된 총 단위해구는 제주도에서 청도 입항까지 38개 해구, 청도 출항에서 제주도 북서해역까지 50개 해구이며, 그 총 면적은 약 6209.28 km²이다(그림 2).



〈그림 2〉 조사위치도

실제로 선박의 항행범위는 매우 좁아서 각 단위해구의 전체면적을 모두 조사하기 어려우므로, 각 해구의 동서로 횡단한 조사범위의 면적으로 대표하였다. 그리고 관측범위의 유한성 또는 물체식별의 불확실성을 제거하기 위하여 선박의 항행조건과 기상 및 해상상태를 적절하게 유지시켰다.

본 조사에서는 선박이 항행 중 육안으로 식별 가능한 주간과 좌·우현 6010m의 범위(관측의 폭 12020m)에 한정하여 관측, 기록하였다. 이때, 측자의 눈높이는 해면상 9m로 일정하게 고정하고 항해속도는 약 13.0 knot로 유지시켰다. 또한 해면의 파랑과 선체의 횡동요로 인한 좌·우

현 10m의 오차범위를 넘지 않는 경우에 조사하였다. 다행히 우리대학 가야호는 총톤수 1600톤으로 풍향풍속이 어느 정도 강하게 불어도 급격한 횡동요를 보이지 않았고 측자의 눈높이가 크므로 물체식별이 쉬웠다.

항해일정별 조사해구의 측정결과는 <표 1>과 같다. 측정해구는 왕복 항행으로 2회 조사된 단위해구의 수가 19개나 되었고, 주간이라도 풍향풍속으로 인하여 횡동요가 심하여 관측오차범위를 넘거나 물체식별의 정도가 불확실하게 측정된 자료는 분석에서 제외하였다. <표 1>에서 보면, 조사일수는 6일이며 조사일정별로 6개의 조사해역으로 분류하였고 단위 해구번호는 청도 외항부터 1번으로 하여 제주도 북서쪽의 조사해구까지 연속적으로 번호를 매겨 73번까지 표시하였다.

<표 1> Survey zone of Yellow Sea on the cruising routes of 1999

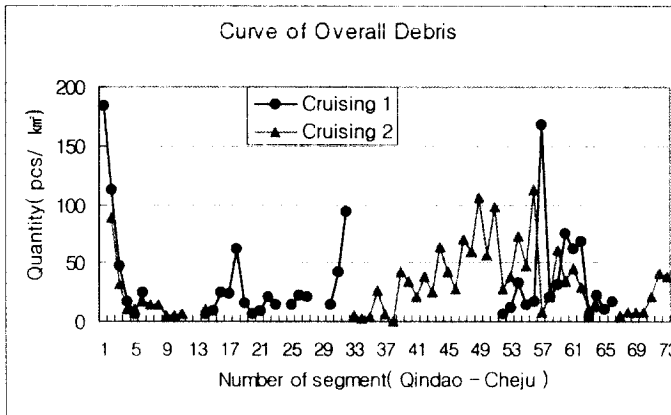
Date	Zone of Yellow Sea	No. of segment	Quantity of segment	Remark
July, 19	Eastern part Of Yellow Sea (E)	66~52	15	Cruising 1: From Cheju Is. to Qindao Hr.
July, 20	Western part of Yellow Sea (W)	32~30, 27~14	17	
July, 21	Near Qindao Hr.(Q)	6~1	6	
July, 24	Coast Qindao Hr. (Qc)	2~11, 14	11	Cruising 2: After leaving Qindao Hr.
July, 25	Central and Eastern part of Yellow Sea (C + E)	33~64	32	
July, 26	Near Cheju Is.(Cj)	67~73	7	

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수량 분포특성

제주도 북서해역에서 청도 입항 전의 제 1차 항로(Cruising 1)와 청도항을 떠나면서 제주북서해역에 이르는 동일한 항로를 왕복하는 제 2차 항로(Cruising 2)의 해상에서 조사된 해양폐기물의 총 수량의 분포곡선은 <그림 3>과 같다.

<그림 3>에서 총 수량의 변동을 보면, 청도항에 가까운 1~3번 해구는 40~184개/km²까지 분포하다가 연안으로 나오면 그 수량도 현저히 줄어들어 11번, 14번 해구까지 20개/km²이하가 된다.



〈그림 3〉 해양폐기물 총 수량의 분포곡선도

그러나 19일과 25일에 관측된 황해의 중앙 또는 동쪽 해구들에서 해양폐기물의 총 수량은 매우 상승하여 40개/km²을 넘는 곳들이 많고 넓은 해역(39~62번 해구)에 이른다. 이 해구들은 한국 서해에 위치한 소흑산군도에 가까운 해역이므로 여름철 어장에서 버려진 폐기물이 상당수 일 것으로 보인다. 그리고 동지나해에서 흘러온 해류가 이 해역으로 일부 유입되므로(그림 1 참고) 와류를 형성하면서 부유성 폐기물이 집중될 가능성이 높은 해역으로 추정된다.

그 다음으로 26일에 조사된 제주해협 가까운 곳(67~70번 해구)까지는 그 수량이 현저히 줄어들어 10개/km²로 분포하다가 다시 71~73해구에서 41개/km²으로 증가하였다.

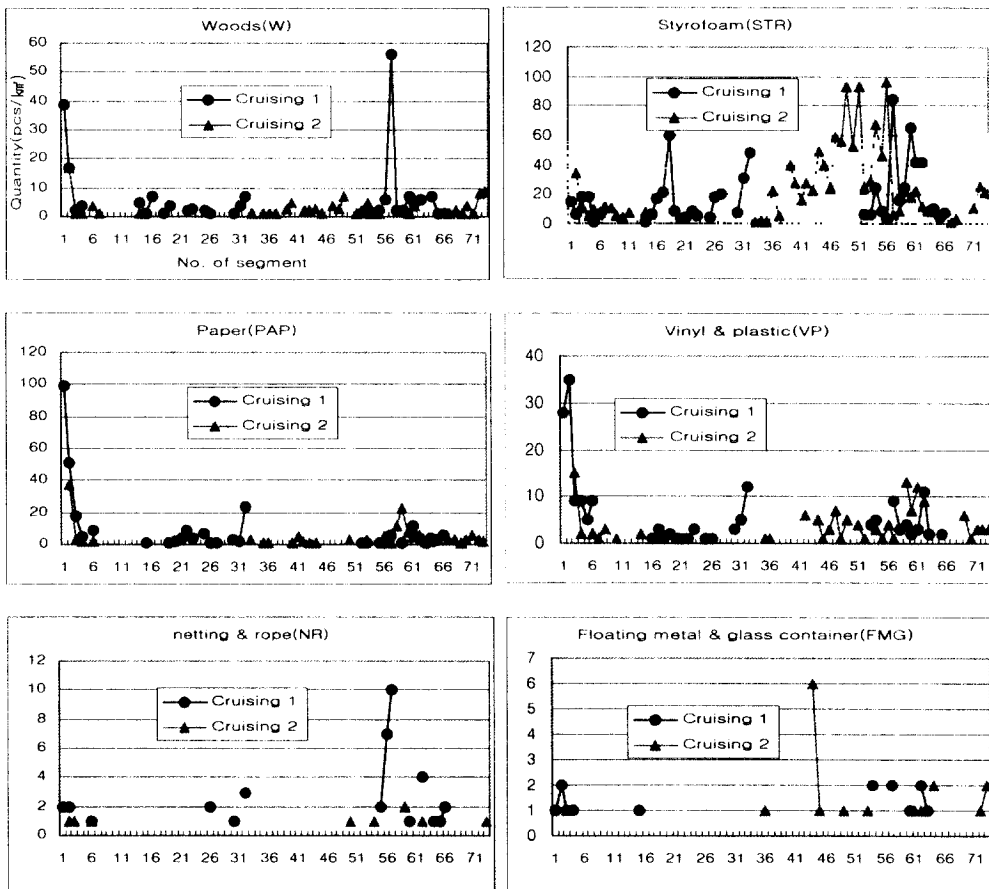
〈그림 4〉는 각 단위해구에서 얻어진 해양폐기물의 수량이며, 재질에 따라 대별하여 목재류, 종이류, 망지 및 로프류, 스티로폼류, 비닐 및 플라스틱류, 부유성 금속 및 유리용기류로서 이들 6가지 종류로 분류하여 나타낸 것이다. 목재류(W)는 전반적으로 10개/km²미만의 분포수량을 나타냈으나, 청도 외항의 1~2번 해구에서 17~39개가 발견되었으며, 특히하게 57번 해구(소흑산 근해)에서 56개를 발견하였다. 청도 부근해역은 물로부터 유입된 것으로 보이나, 소흑산 근해에서 갑자기 인근해구보다 10배 이상 관측된 이유는 확인할 수가 없었다.

종이류(PAP)는 청도 외항인 1~3번 해구에서 18~99개로 매우 많이 발견되었고, 그 외는 황해의 중앙에 위치한 32번 해구에서 24개가 발견되었으나 전반적으로 5개/km²미만이였다. 그러므로 청도 연안에는 종이류가 현저히 많은 것으로 추정된다.

망지 및 로프류(NR)는 이 폐기물이 갖는 성질상 장시간 표류할 수 없는 특징이 있으므로 전반적 분포수량은 많지 않으나, 위 (W), (PAP)와는 달리 황해에서 발견되지 않은 해구도 많이 있고 발견되어도 황해의 서쪽해역(중국측)과 중앙해역 및 동쪽해역(한국측)으로 구분되어 발견되었다. 이 현상은 폐기물 자체가 어선의 어로활동과 밀접한 상관이 있으므로 어장에서 버린 것으로 추정된다.

스티로폼류(STR)는 타 폐기물에 비해 그 수량이 월등히 많으며, 집중적으로 발견된 해역은

황해의 동쪽(소호산도 주변해역)에 널리 분포하고 있는 것이 특징이다. 또 한 가지 스티로폼류의 분포양상은 전체 해양폐기물의 그것(그림 3)과 유사한 분포곡선을 그리고 있다는 점이다. 이것은 해양폐기물에서 차지하는 비율이 높음을 의미하므로, 해양폐기물의 분포형태는 스티로폼류가 지배적 영향을 미친다고 할 수 있다. 두 번째로 다른 점은 타 폐기물 분포형태와 달리 중국 청도 외항에서는 스티로폼류가 상대적으로 작다는 점이다. 이 현상은 <그림 1>처럼 황해의 해류패턴으로 짐작할 수도 있지만, 무엇보다도 아직 중국 연안해역에는 한국에서처럼 연안 양식어장이 많지않다는 사실도 이를 뒷받침하는 이유일 것이다.



<그림 4> 폐기물의 종류별 총 수량 분포곡선도

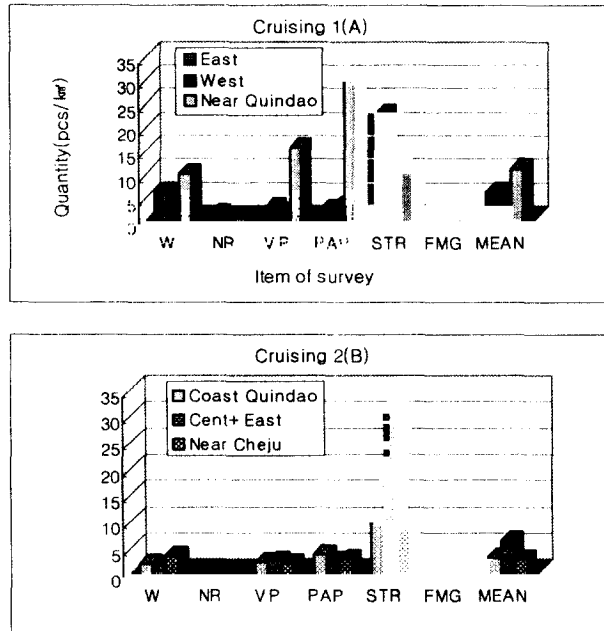
비닐 및 플라스틱류(VP)는 스티로폼류(STR)와 대조적으로 청도 외항의 조사해구가 타 해구에 비해 3~4배 많으며, 전반적 분포형태는 종이류(PAP)와 유사하다.

부유성 금속 및 유리용기류(FMG)는 성질상 파손되기 쉽고 파손이 되면 해수유입으로 가라앉는 경우가 많다. 그래서 전반적으로 그 수량이 매우 적고 발견되기도 어렵다. 여기서 조사된 황해는 거의 대부분 2개/km²이하이며, 발견되지 않은 곳도 많다. 다만 49번 해구에서 6개나 발견된 것이 특이하다. 그 이유는 이 해역을 지나는 선박이 황해중 버렸을 가능성이 높다.

2. 조사시기(해역)별 분포밀도

1, 2차 항해중 조사일정별 또는 해역별(표 1 참고)로 각종 폐기물의 수량을 비교하여 나타내면 <그림 5>와 같다. 이 때 나타난 수량은 구분된 각 해역의 해구에서 얻어진 총 수량을 해구수로 나누어 평균된 값이다. 여기서 해양폐기물은 목재류(W), 망지 및 로프(NR), 비닐 및 플라스틱류(VP), 종이류(PAP), 스티로폼류(STR), 부유성 금속 및 유리용기류(FMG)의 6가지로 분류하여 표시하였다.

1차 항로(A)에서는 청도 외항(Near Qindao)에서 종이류가 가장 많이 밀집되어 분포하고 그 평균수량이 30.3개/km² 이었다. 그 다음이 비닐 및 플라스틱류로서 15.8개였다. 또 한 가지 특징은 스티로폼류의 분포밀도가 청도에서 황해의 서쪽(West)과 동쪽(East)으로 올수록 비례적으로 급격히 상승하는 경향을 보였다.



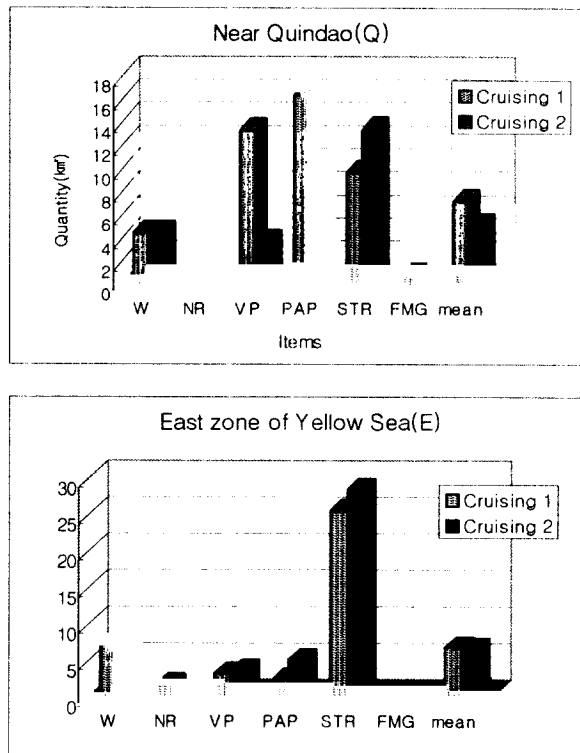
<그림 5> 조사해역별 폐기물의 수량비교

그러나 2차 항로(B)는 조사해역에 관계없이 공통으로 스티로폼류가 제일 많이 발견되었고 특히 황해의 중앙과 동쪽해역에서 현저히 많아 분포밀도는 31.4개/km²였다.

<그림 6>은 본 조사기간 중 1,2차 모두 조사된 해구에 대하여 각 폐기물별로 비교한 것이다. 그림에서처럼 청도 외항에 가까운 2~6번 해구의 평균 수량(Q)과 황해의 동쪽 해구 52~64번 해구의 평균 수량(E)을 나누어 나타내었다.

청도 부근 해구(Q)는 1차 항로는 10개/km²이 넘는 것으로 종이류, 비닐 및 플라스틱류, 그리고 스티로폼 순으로 나타났으나, 2차 항로에서는 스티로폼류가 13.5개/km²이고 그 다음은 8.8개로 종이류였다. 따라서 청도 부근해역은 1, 2차 평균하여 보면 종이류가 12.6개로 가장 많이 발견되었고 그 다음이 스티로폼류가 11.7개, 비닐 및 플라스틱류가 8.6개 정도임을 알 수 있다.

반면에 황해의 동쪽해역(E)은 전체적으로 1, 2차 항로 모두 비슷한 수량의 폐기물이 발견되었다. 여기서 주목할 점은 유독 스티로폼류가 1, 2차 평균 27.2개/km²으로 현저히 많이 발견되었으며, 이에 비하면 타 폐기물은 모두 10개미만 이었다.



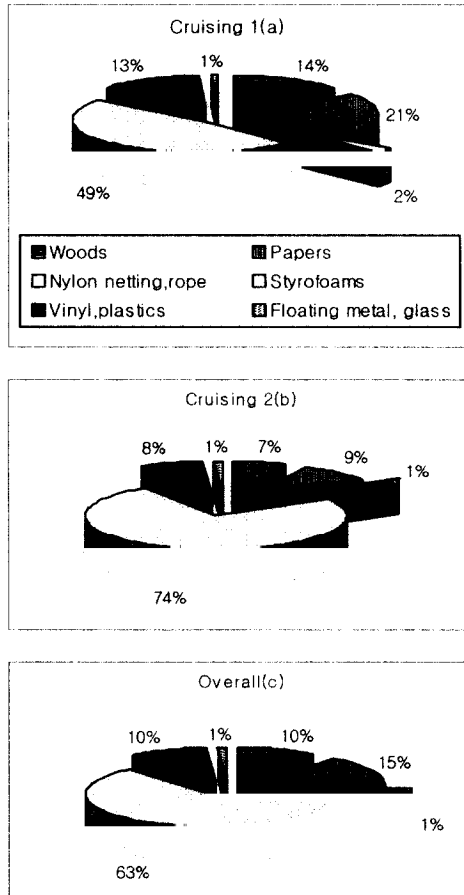
<그림 6> 중복 조사된 해구해역의 폐기물별 수량비교

그러므로 <그림 6>의 두 해역에서 볼 때, 중국의 청도 근해는 종이류와 스티로폼 및 비닐 및 플라스틱류의 3개 폐기물이 주된 성분을 이루고, 황해의 동쪽인 소혹산도 부근은 스티로폼류가 대부분임을 뜻한다.

3. 폐기물의 조성

<그림 7>은 황해에서 1, 2차 항로로 구분된 각종 해양폐기물의 조성비를 (a) 와 (b)로, (c)는 총 수량의 폐기물별 조성비로 나타내었다.

1, 2차 항로에서 스티로폼류는 다른 폐기물에 비해 차지하는 비율이 가장 높으나 그 조성비는 각각 49%, 74%로 나타나서 서로 큰 차를 보이고 있다. 이 현상은 황해는 각종 해양폐기물

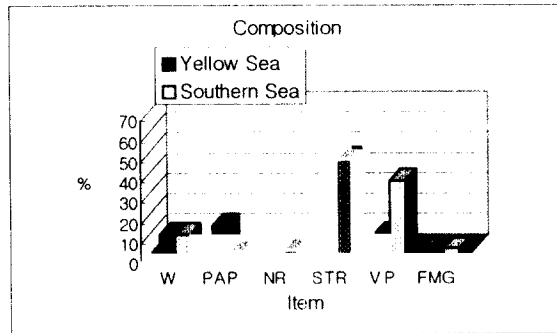


<그림 7> 항차별(a, b) 및 총 수량별(c) 각 폐기물의 조성비 비교

이 수문기상과 해류 등에 따라 변동폭이 심할 것으로 생각되며, 또한 중국과 한국으로 둘러싸인 해역이므로 각 국가에서 사용하던 육상 폐기물의 성분이 다를 수 있음을 암시한다.

황해의 총 폐기물 조성비(c)는 스티로폼류 63%, 종이류 15%, 비닐 및 플라스틱류, 목재류가 각각 10%씩으로 이들 4가지 폐기물이 전체의 98%를 차지한다. 이 조성비를 한국 남해의 해양 폐기물 조성(김, 1999)과 함께 비교하여 나타내면 <그림 8>과 같다.

그림에서 황해는 한국 남해보다 스티로폼류가 15% 정도 많았다. 그러나 비닐 및 플라스틱류는 남해보다 26% 정도 적게 나타났다. 또 한 가지 두드러진 조성비의 특성은 종이류가 한국 남해보다 13% 정도 많이 발견되었다는 점이다.



<그림 8> 황해와 한국 남해의 각 폐기물별 조성비 비교

IV. 요약 및 결론

황해의 부유성 해양폐기물 조사를 위해 한국 제주도에서 중국 청도를 잇는 해상에서 1999년 7월 19~21 및 24~26일에 걸쳐 부경대학교 실습선(가야호)을 사용하여 현장조사를 실시하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 황해의 부유성 폐기물의 총 수량밀도는 최고 184개/km²이며 중국 청도항 입구였고. 다음으로 오염도가 심한 곳은 한국의 소흑산도 부근의 넓은 해역에서 40개/km²가 넘는 많은 수량의 폐기물이 발견되었다.
2. 각종 폐기물과 그 수량의 해역별 특성은 종이류, 목재류, 비닐 및 플라스틱류가 중국 청도 연안에서 다량 발견되었고, 스티로폼류와 나이론 망지 및 로프는 한국의 소흑산도 부근 해역에서 넓게 다량으로 분포하였다.
3. 해역별 분포밀도의 변동은 한국측에 위치한 황해의 동쪽은 수량과 종류가 거의 일정하나, 서쪽인 중국 연안에서는 둘 다 심하게 변하였다.

한국 제주도와 중국 청도의 항로상에 부유하는 해양폐기물의 분포에 관한 연구

4. 폐기물의 조성비의 특징은 스티로폼류가 63%, 종이류 15%, 목재류와 비닐 및 플라스틱류가 각각 10%씩으로 이들 4가지 폐기물이 황해 전 폐기물의 98%를 차지하였다.

V. 참고문헌

- 김삼곤, 김종화, 박창두 : 어자원 보호육성을 위한 생육환경 개선에 관한 연구 2.진해만의 해저 폐기물 실태, 한국어업기술학회지, 35(4), pp.359~365, 1999.
- 김민석, 김삼곤, 김진건, 정순범, 조현정 : 남해동부해역에 있어서 해양오물의 분포에 관한 연구, 한국어업기술학회지, 35(4), pp.386~390, 1999.
- 김종화, 김삼곤, 박창두, 주수동 : 한국 동해 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성, 수산해양 교육학회지, 9(1), pp.31~39, 1997.
- 김종화 : 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성에 관한 연구 1.남해 동부해역, 한국어업기술학회지, 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
- 佐尾和子, 丹後玲子, 根本 : プラスチックの海, 海洋工學研究所 出版部, pp.74-88, 1995.
- Dixon, T.J. and T.R. Dixon : Marine litter distribution and composition in the North Sea, Mar. Pollution Bull. 14, pp.145~148, 1983.
- Kanehiro,H,T.Tokai & K.Matuda : Marine litter composition and distribution on the sea-bed of Tokyo Bay, Fish.Engineering, 31(3), pp.195~199, 1995.
- Merrell, T. R., Jr.: A decade of change in nets and plastic litter from fishes off Alaska. Ma. Pollution Bull.15(10), pp.378~384, 1984.
- Laist, D. W.: Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment. Mar. Pollution bull.18(6b), pp.319~326, 1987.

The Distribution Characteristics of Floating Debris on the Cruising Routes from Cheju Island to Qindao Harbor in the Yellow Sea

Min-Suk KIM · Jong-Hwa KIM · Sam-Kon KIM
(Pukyong National University, College of Fisheries Science)

Abstract

Floating debris was recorded from a training ship, Kaya, of Pukyong National University with about 12 knots speed at July 19~21,1999 and July 24~26. The sampled area is the Yellow Sea (YS) connected from Cheju Is. of Korea to Qindao harbor of China, divided into 88 unit segments on survey routes. Debris fabrication materials were categorized with 6 items using the following; man-made or natural wood items, paper and cardboard, nylon netting and rope, styrofoams, vinyl and plastics, floating metal and glass containers. All identified items within a 120 ± 20 m wide band were recorded but ignored if beyond this boundary.

The results of distribution of floating debris in the area are as follows:

1. The greatest quantities of marine debris discovered during the survey were 184 pieces per km^2 near Qindao harbor. The next polluted areas, Sohuksan islands, positioned in the eastern part of YS were scattered in about 40 pieces/ km^2 or so.
2. Among items, woods, paper and cardboard, vinyl and plastics were found out near Qindao Coast of China. On the other hand, there were many styrofoams, nylon netting and rope near the area of Sohuksan islands in the eastern part of YS.
3. The distribution densities of western part of YS near Qindao are varied with largely range in items and quantities but those of the eastern part, near Sohuksan islands were nearly constant.
4. Styrofoams were composed of 63% among all debris in YS, next paper and cardboard 15%, and wood item, vinyl and plastics each 10%.

Therefore, marine debris of YS is revealed that distribution characteristics and

한국 제주도와 중국 청도의 항로상에 부유하는 해양폐기물의 분포에 관한 연구

composition are very different in each area. These phenomena are concluded that they largely depend on the life styles in land and the utilities of the sea. And of items, styrofoams is dominated by the distribution pattern of YS. Furthermore, surveys are continuously being investigated, and from this it is hoped that a much wider coverage can be achieved, perhaps all sites of the YS and contributed to the finding sources, the stationary area and removal method of debris joined the flow patterns.