

# 부유성 해양 폐기물에 의한 동지나해의 해양오염(I)

- 해역별 수량 분포를 중심으로 -

김중화<sup>†</sup> · 김용복

(부경대학교 · 한국해양수산개발원)

## Marine Pollution of the East China Sea by Floating Marine Debris(I)

- Temporal quantity distribution of each zone -

Jong-Hwa KIM<sup>†</sup> · Yong-Bok KIM

(<sup>†</sup> Pukyong National University · Korea Institute of Maritime & Fisheries Technology)

### Abstract

In order to analyze the influence of floating marine debris (FMD) in the East China Sea (ECS), a sighting survey was conducted from July 1st to July 14th, 2009 navigating about 966 km using a training vessel "Kaya (1,737 ton)" of Pukyong National University. The sampled zones are divided into 5 transect by observation day during the survey days and again specified with 45 segments per unit hour on the survey routes. The results of distribution of FMD are as follows:

1. The quantities of FMD at the central China Sea(CE) and northern part of Taiwan(NT) were found as total mean of 90.8 ea/hr, 56.7 ea/hr, respectively, and also 36.8 ea/hr, western part of Kyushu district(WJ), 10.7 ea/hr, 8.0 ea/hr, western(OK1) and northern part(OK2) of Okinawa, respectively.

2. Temporal variation of FMD is represented by depicting the sinusoidal curve as shape as tide in CE and OK1.

3. The higher sea surface temperature (SST) is as likely as if Kuroshio current exists strongly, the less quantities are decreased. On the other hand, the coastal zone of ECS and near of Yellow Sea are increased by lower SST.

*Key words : Marine pollution, East China Sea, Floating marine debris, Temporal quantity distribution*

## I. 서론

오늘날 바다에서의 각종 폐기물로 인한 오염은 이미 그 한계를 넘어서고 있다. 21세기에 접어들어 점차 해양을 통한 국가간 경제교류가 확대되면서 상선이나 유조선들의 항로 또는 조업어선들

의 어장 등을 중심으로 무절제하게 방류된 각종 폐기물들이 해양오염을 주도하고 있는 것으로 알려지고 있다.

해양 오염의 주 피해 요인으로 지적되고 있는 플라스틱은 현재 전 세계적으로 그 생산량이 연간 1억 톤에 달하고 있고, 더욱 그 사용량이 증

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

\* 이 논문은 2009년도 부경대학교 연구년 교수 지원 사업에 의하여 연구되었음(PS-2009-030).

대해 갈 전망이다(Nakanishi et al., 1995; Kanehiro et al., 1999).

그러나 이처럼 갈수록 외양에서 폐기물 오염피해의 개연성이 증대됨에도 불구하고 이 분야의 연구는 소홀히 취급되어져 왔다. 여기에는 해양관측을 위한 인적, 물적 지원에 따른 조사비용의 경제적 규모가 너무 크고, 해양이라는 특수 환경에 따른 관측 수행의 어려움이 수반되기 때문일 것이다.

특히 동지나 해역은 한국, 일본, 중국의 EEZ 해역과 공동수역의 어장을 중심으로 형성된 특수해역이다. 또한 매년 수천 척 이상의 각종 상선이 태평양으로 항해하는 통로이며, 계절마다 다양한 어류의 어장이 형성되고 있어 이들 어선으로부터 방류된 각종 로프류, 플라스틱 어망 등 해양 폐기물은 어장의 생산성 저하, 항로의 위험성 등을 유발시킬 수 있고, 해류(Kuroshio current)를 따라 연안국으로 이동함으로써 해안의 오염과 쓰레기의 국제 분쟁을 일으킬 수 있다.

그럼에도 불구하고, 동지나 해역에 대하여 해양 폐기물의 기초 자료나 연구 문헌을 찾아보기 어려운 실정이다. 다만 일본의 큐슈 및 남부 연안과 한국 남, 서해 연안 그리고 황해 남부 해역에서 부유성 해양 폐기물에 관한 몇 가지 조사보고가 있었다(김,1997; 김,1998 & 1999; 김 등,1999; Kanehiro,1995; Yamashita and Tanimura,2007).

본 연구는 동지나해의 부유성 해양 폐기물에 관한 몇 가지 새로운 정보를 제공해 줄 수 있다는 점에서 연구의 필요성이 매우 크다고 말할 수 있다.

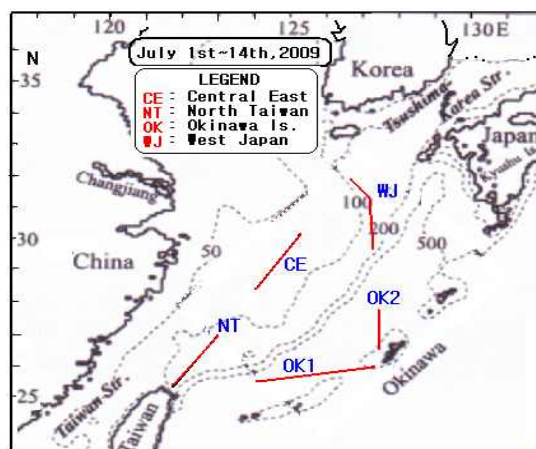
따라서 본 연구의 목적은 동지나해에서 여름철 부유성 해양 폐기물의 시간적 수량 및 분포 요인을 밝히고자 한다.

## II. 재료 및 방법

본 연구는 중국 남동부에 위치한 동지나 해역

(East China Sea, 이하 ECS 라 부른다.)을 대상으로 하였다. 이 해역의 범위는 남쪽에는 대만(Taiwan)과 일본의 류큐 열도(Ryukyu Is.), 동쪽으로는 일본의 큐슈 지방(Kyushu), 그리고 북동쪽에는 한국의 제주도에 의해 둘러싸여 있다 ([Fig. 1]).

대상 해역의 현장조사는 2009년 7월 1~ 14일 동안 항해중 해상에 떠다니는 표층의 폐기물을 부경대학교 실습선 가야호(1,737톤)를 사용하여 실시하였다. 조사 영역은 [Fig. 1]과 같이, 조사 선박이 항해 일정에 따라 동지나해역의 중앙부근(CE), 대만의 북쪽해역(NT), 오키나와를 중심으로 한 서쪽과 북쪽 연안(OK1, OK2), 일본 큐슈지방의 서쪽해역(WJ)으로 5개 해역으로 구분하였다.



[Fig. 1] Observation areas in East China Sea(ECS)

조사는 선박이 항행하는 동안 선교에서 선수를 기점으로 하여 좌현과 우현으로 나누어 육안으로 물체의 식별이 가능한 좌·우현에서 각각 약 50±5m의 범위를 관측, 기록하였다. 이때 측자의 눈높이와 관측범위의 유한성을 유지시키도록 Range finder(Nikon ProStaff 550) 등 관측 폭 제한장치를 사용하였고, 여름철 풍속이 약한 시기를 택하여 파랑에 의한 산란과 햇빛의 산란, 반사 등으로 인한 물체의 불확실성을 제거하였다.

<Table 1>에서처럼 각 해역에서 선박이 1시간

동안 항해하여 얻은 평균 속력(kts)을 1개의 단위 해구(Sight)로 하여 5개 해역에서 총 45개 단위 해구가 조사되었고, 선박의 GPS에 의하여 얻어진 시간당 평균 속력을 이용하여 관측 길이 등을 계산하였다(<Table 1>).

관측된 해양 폐기물의 분류는 일반적 분류 방

법에 따라서 목재류(Woods), 종이 및 종이 상자류(Paper & cardboard), 나일론 망지 및 로프류(Nylon & ropes), 스티로폼류(Styrofoams), 비닐 및 플라스틱류(Vinyl & Plastics), 부유성 금속 및 유리 용기류(Floating metal & glass)의 6개 종류(Item)로 크게 구분하였다.

<Table 1> Observation syllabi of East China Sea in year of 2009

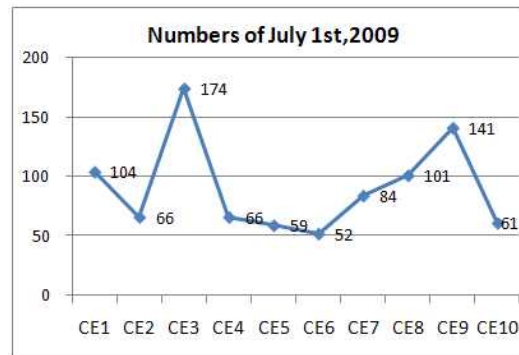
Transect of ECS	Observation		#sight (unit)	ship's average speed (kts)	Length (km)	sighting area (km <sup>2</sup> )
	Date	time (hour)				
Central East(CE)	July 1	08~18	10	10.16	188.163	18.816
Northern Taiwan(NT)	July 2	08~16	8	10.88	161.120	16.112
Okinawa Is.(OK1)	July 8	06~18	12	11.98	266.244	26.624
Okinawa Is.(OK2)	July 13	13~18	5	12.32	114.085	11.409
Western Japan(WJ)	July 14	06~16	10	12.80	237.060	23.706

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 시간적 수량 변동

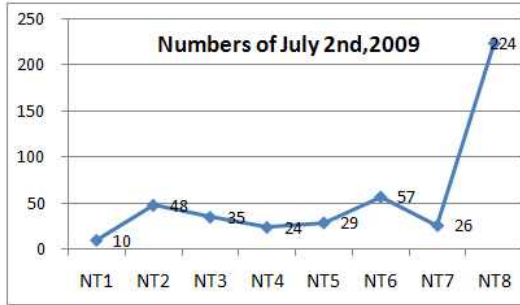
5개 해역에서 1시간 단위로 관측된 폐기물의 수량을 나타내면 [Fig. 2~6]과 같다. [Fig. 2]는 동지나해의 중간에 해당하는 해역(CE)으로 총 10시간 조사되었다. 이 해역에서 10개의 소해구 중 수량의 최고치는 오전 10~11시 사이(CE3)에 174개이며, 다음은 16~17시(CE9)에 141개로 나타났으며, 이들 2개의 첨두치 간의 시간차는 6시간이었다. 가장 적은 수량이 관측된 구간(CE6)은 52개이며, 이를 포함한 인접 소해구(CE4,CE5)에서 비슷한 수량이 발견되었다. 이어서 점점 수량이 증가하다가 두 번째의 정점에 이르고 다시 하락하여 최저치에 가깝게 61개로 떨어졌다. 따라서 이 해역의 폐기물의 시간적 수량을 평활한 곡선으로 이어보면 마치 반일주조의 조위 곡선처럼 변동하였다.

[Fig. 3]은 대만의 기류향을 향하여 항주하면서 대만의 북쪽해역(NT)에서 8시간 동안 조사된 폐기물의 변동을 나타내었다. 일반적으로 시간당



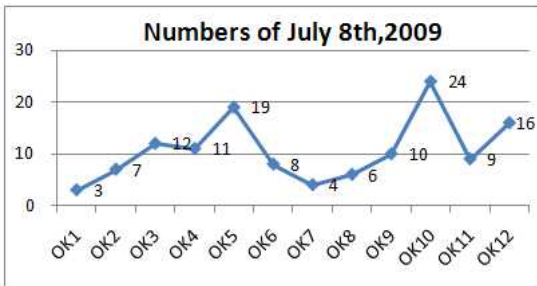
[Fig. 2] Time variation of FMD in CE

50개 정도 또는 그 이하로 수량의 높낮이가 크게 변동하지 않았다. 그러나 NT8의 마지막 소해구에서 224개의 폐기물이 다량 발견되었고, 이들 중 스티로폼류가 134개, 목재류(통나무 및 나뭇가지 등)가 54개로 나타났다. 이런 현상은 기류향 해안에서 불과 3마일 정도 떨어진 연안에 해당되므로, 중국과 대만의 연안 양식장과 홍수 등으로 인하여 많은 폐기물이 해안에 유입되었고 지형적 영향으로 해수의 흐름이 약한 연안에 집중되어 일시적으로 정체해 있는 현상으로 보여진다.



[Fig. 3] Time variation of FMD in NT

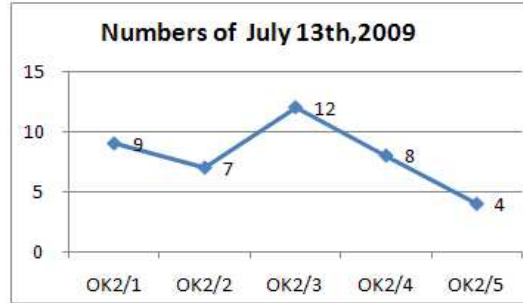
[Fig. 4]는 일본 류큐열도의 오키나와 서쪽인 OK1해역은 대만 기류에서 출발하여 동쪽으로 횡단하면서 12시간 동안 조사한 폐기물의 수량을 1시간 간격으로 그 변동량을 나타내었다. 최고치가 24개이며 다음이 19개로 두 곳에서 첨두치를 보였다. 두 곳의 시간 간격은 5시간이다. 그리고 최저치에 해당하는 곳도 두 곳이며 각각 3개, 4개이었고, 시간차도 6시간이었다. 따라서 12시간의 수량 변동이 [Fig. 2]처럼 조위변동과 유사한 형태를 보였으며, 대체로 부유성 폐기물의 수량이 적게 나타났다.



[Fig. 4] Time variation of FMD in OK1

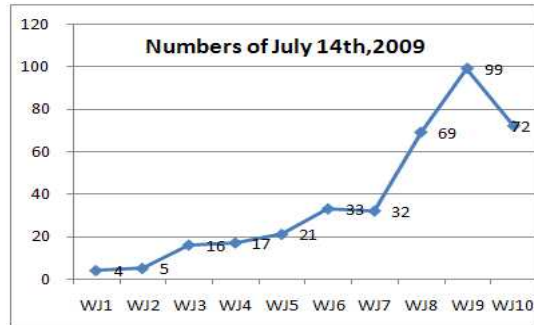
[Fig. 5]는 오키나와의 북쪽 해역(OK2)으로 5시간 조사하였고 연안에 해당한다. 이 해역은 최고치가 12개이며, 적은 곳이 4개이었다. 그러나 동지나해의 CE 및 NT보다는 월등히 적은 수량을 보였다.

[Fig. 6]은 동지나해의 북쪽 끝단에 해당하는 일본 쿠슈지방의 서쪽해역(WJ)에서 10시간동안



[Fig. 5] Time variation of FMD in OK2

관측된 폐기물의 수량을 나타내었다. 남쪽에서 북쪽인 360도 방향으로 항해하면서 조사된 폐기물의 수량은 점점 증가하였으나 그 수량은 크지 않았다. 그런데 328도로 방향을 바꾼 8시간부터 3시간동안은 2배 이상의 수치를 기록하며 최고치가 99개로 피크를 이루며 상당히 높은 수량이 발견되었다. 이런 현상은 이 해역이 쿠로시오 해류와 황해(Yellow Sea)에서 내려온 수괴가 접하는 전선을 횡단함으로써 생긴 결과로 추정된다. 실제로 조사당일 기록된 항해일지에서 수심 3.5m에서 얻은 수온의 시간변화를 보면, 처음 6시간 동안은 28.3℃정도 유지하다가 7시부터 28.0~27.6℃로 하강하였다([Fig. 9]).

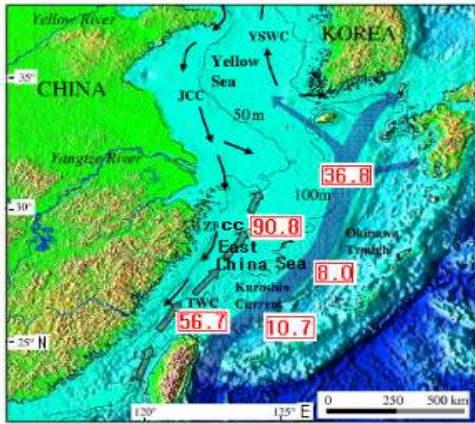


[Fig. 6] Time variation of FMD in WJ

## 2. 흐름, 수온과의 상관성

각 해역의 총 수량과 해저수심 및 해역별 흐름 패턴을 함께 [Fig. 7]에 나타내었다. 우선, 중간

해역이 최고로 많아서 90.8개 정도이고 다음이 대만 북쪽 해역으로 56.6개, 일본 서쪽 해역이 36.8개로 분포하였고, 오키나와 해역들은 약 10개 정도였다. 따라서 총 수량이 가장 많은 해역과 적은 해역의 차는 약 9 ~ 11배를 보였다.



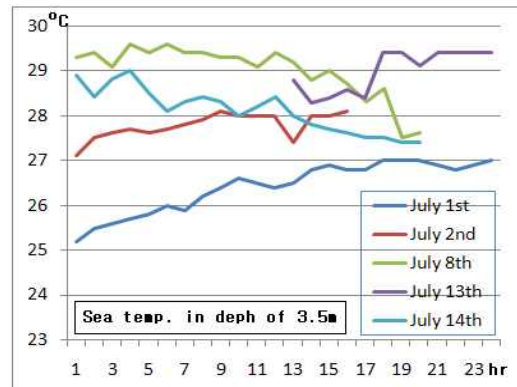
[Fig. 7] All the number of FMD in each transect(Liu et al,2007)

따라서 수량 밀도의 측면에서 오염 정도를 살펴볼 때, 동지나해에서 전체 해역의 폐기물의 총 수량을 시간 평균하여 얻은 평균 수량 밀도가 42.2개이므로 이를 기준으로 비교하면, [Fig. 8]에서 보면 중간해역(CE)과 대만 북쪽 해역(NT)은 전체 평균보다 각 2.1배, 1.3배 이상으로 오염이 심한 해역이 된다. 그 이외의 해역들은 평균 이하의 값이므로 오염이 다소 덜한 해역임을 식별할 수 있다.

또한 부유성 해양 폐기물에 대한 흐름과 지형의 영향을 살펴보면, 평균 이상으로 많은 폐기물이 있는 해역은 대만과 중국 연안을 따라 북서쪽으로 올라가는 대만해류(TWC)와 남하하는 양자강 연안 해류(ZFCC)에 인접한 곳에 분포하였음을 알 수 있었다.

한편, 해수의 수괴분포와 관련하여 부유성 폐기물의 분포 특성을 알려면, 5개 해역에서 관측 기간 동안 수심 3.5m의 층에서 측정된 시간별 수온 값을 비교하면 될 것이다([Fig. 8]). [Fig. 8]에

서 각 해구의 수온 값을 살펴보면 서로 차이를 보이고 있다. 중간 해역인 7월 1일의 수온은 25~27℃를 나타내어 관측기간 중 최저치를 이루고, 다음은 대만 북단에서 관측한 7월 2일이며, 그 다음은 일본 서쪽으로 약 29℃에서 출발하여 점점 하락하는 경향을 보였고 오키나와의 서쪽과 북쪽의 2개 해역은 수온이 가장 높아서 대부분 29℃ 이상이였다.



[Fig. 8] Sea temperature in each transect

이와 같은 수온 값과 앞서 언급한 폐기물의 각 해구별 총 수량([Fig. 7])을 미루어 볼 때, 부유성 폐기물이 집중된 곳은 수온 값이 낮았음을 알 수 있다. 즉 연안으로부터 찬물인 강물이 평상시보다 다량 유입되었음을 시사하고 있다.

그러나 앞서 언급한 [Fig. 2~5]에서처럼 수온과 폐기물의 상호 시간적 변동 상관은 반드시 일치하지 않았다. 다만 [Fig. 6]과 같은 해역처럼, 쿠로시오가 주류를 이루는 고온 해역과 황해의 보다 찬 수괴와 접하는 저온 해역에서 폐기물의 수량이 현저한 차를 보임을 알 수 있었다([Fig. 6]과 [Fig. 8]).

#### IV. 요약 및 결론

2009년 7월 1~14일의 기간 중 동지나해의 5개 해역에서 부경대학교 실습선 가야호를 이용하여

부유성 해양 폐기물을 1시간 단위로 총 45시간 조사하였다.

1. 폐기물의 해역별 수량은 동지나해의 중간해역(중국 연안)과 대만 북쪽 해역에서 현저히 많은 폐기물이 발견되어 전체 평균된 수량은 각각 90.8개/hr, 56.7개/hr 이었으며, 시간별 최대치는 각각 174개/hr, 224개/hr가 발견되었다. 큐슈지방의 서쪽 해역은 전체 평균이 36.8개/hr이었고, 시간별 최대치는 99개/hr이었다. 그러나 오키나와 해역들은 전체 평균이 각각 10.7개/hr, 8.0개/hr로 비교적 오염 정도가 낮았다.

2. 폐기물의 시간적 변동은 중간 해역과 오키나와 서쪽 해역은 마치 조석변동과 같이 최고치와 최저치의 수량 증감이 뚜렷한 주기성을 보였다.

3. 또한 쿠로시오 해류가 강하게 흐른 고온 해역은 적은 수량이 분포하였고, 상대적으로 저온인 중국 연안에 가깝거나 황해에 속한 해역은 그 수량이 현저히 증대하였다.

이상의 결론을 바탕으로 앞으로의 과제는 부유성 폐기물의 종류별 분포 밀도와 그 조성비를 조사면적에 근거한 보다 정량화된 방법으로 오염의 정도를 제시하고, 여름철 해수 흐름, 연안의 강물 유입량과 해저 지형과의 상관성, 위성 수온 사진 및 폐기물의 유입 패턴 등을 종합적으로 비교분석하는 연구가 필요하다고 사료된다.

## 사 사

본 연구를 위해 현장 조사에 참여한 원양실습생 해양생산학부 학생들과 가야호 직원들에게 심심한 감사를 표합니다.

## 참고 문헌

김종화·김삼곤·박창두·주수동(1997). 한국 동해 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성, 수산해양교육연구, 9(1), 31~39.

김종화(1998). 연안어장의 부유성 폐기물 분포와 조성에 관한 연구 1. 남해 동부해역, 한국어업기술학회지 34(3), 288~293.

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

김민석·김종화·김삼곤(1999). 한국 제주도와 중국 청도의 항로상에 부유하는 해양폐기물 분포 특성에 관한 연구, 수산해양교육연구 11(2), 203~215.

Kanehiro, H.(1995). A problem of floating litter in the Ocean-Condition and composition of ocean pollution caused by plastic litters, Monthly Letters, 124~131. (in Japanese)

Kanehiro H.(1999). Plastic litter pollution in the marine environment, Mass Spectrum, Soc. Japan. 47(6). 319~321.

Liu J.P., K.H. Xu, A.C. Li, J.D. Millimani, D.M. Velozzi, S.B. Xiao and Z.S. Yang(2007). Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea, Geomorphology 85, 208~224.

Shimamoto A. and T. Kameda(2005). Distribution of Manufactured Floating Marine Debris in Near-shore Areas around Japan, Mar. Poll. Bull., 50, 1430~1432.

Yamashita R. and A. Tanimura(2007). Floating plastic in the Kuroshio Current area, western North Pacific Ocean. Mar. Poll. Bull., 54, 464~488.

- 
- 논문접수일 : 2011년 09월 28일
  - 심사완료일 : 1차 - 2011년 10월 14일
  - 게재확정일 : 2011년 11월 16일