

부유성 해양 폐기물에 의한 동지나해의 해양 오염(II)

- 종류별 밀도와 조성을 중심으로 -

김 중 화[†]

(부경대학교)

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

- Densities and Composition of each Item -

Jong-Hwa KIM[†]

(Pukyong National University)

Abstract

In order to estimate the densities and composition of floating marine debris (FMD), a sighting survey was conducted from July 1st to July 14th, 2009 in the East China Sea (ECS) using a training vessel "Kaya (1,737 ton)" of Pukyong National University. The sampled zones are divided into 5 transects by observation day during the survey days and the densities and composition in each transect were calculated using the numbers of item per km². The results of distribution of FMD are as follows:

1. During the surveys, a large variety of FMD was discovered and highest densities were found in the Central East(CE) of the East China Sea(ECS) (48.2 items/km²), whereas densities in the less populated transects in Okinawa(OK1, OK2) were comparatively low(3.5 ~ 4.9 items//km²).
2. Among the classified 6 items, styrofoams(Styro) were most abundant and ubiquitous(10.3 items/km², 53% of the total number), except OK2 area. Next abundant item was vinyl and plastics called V & P(4.9 items/km², 25%). Above 2 items of the major proportion of FMD accounted for 78% of the total number of FMD observed through this study.
3. The percentages of manufactured plastics(Styro and V & P) found in the Seas near Korean Peninsula were varied from 87.2% to 69.8%. It was recognized that polluted level is middle value among them.

Key words : Marine pollution, East China Sea, Densities, Composition, Items

I. 서론

오늘날 바다는 육상 및 해상 구조물 등에서 배출된 각종 폐기물로 인한 오염으로 이미 그 포용

한계를 넘어서고 있다. 21세기에 접어들면서 해양을 통한 국가간 물류이동이 급격하게 확대되면서 상선이나 유조선들의 항행에 따른 해양오염이 증가되고 있다. 그리고 어선들의 활동도 활발해

[†] Corresponding author : 051-629-5993, kimjh@pknu.ac.kr

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

지면서 어장 등을 중심으로 무절제하게 방류되거나 투기된 각종 폐기물로 인한 해양오염이 인류의 건강을 심각하게 위협하고 있다.

해양 오염의 주 피해 요인의 하나로 지적되고 있는 플라스틱은 현재 전 세계적으로 그 생산량이 연간 1억 톤에 달하고 있고, 더욱 그 사용량이 증대해 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 한국의 동해, 남해, 서해 연안 그리고 황해 남부, 일본의 규슈 및 남부 연안에서 부유성 해양 폐기물에 관한 몇 가지 조사 보고가 있었다(김,1997; 김,1998 & 1999; 김 등,1999; Shiomoto and Kameda, 2005; 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.

그러므로 본 연구의 목적은 동지나해에서 여름

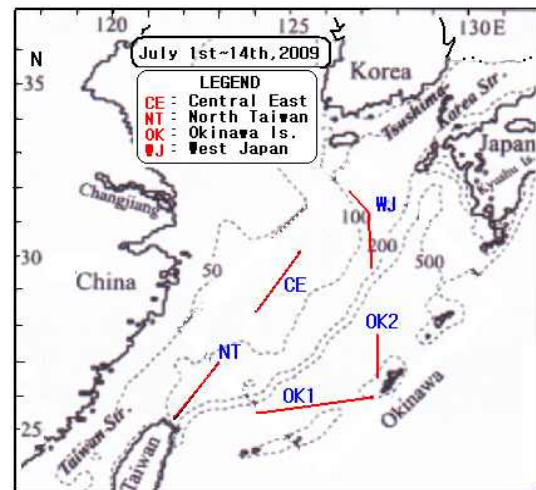
철 부유성 해양 폐기물의 종류와 수량, 밀도 분포 및 종류별 조성을 분석하고, 나아가 한반도 주변해역에서 조사된 수량 밀도 및 조성비와의 비교를 통하여 이 해역의 오염 특성을 밝히고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상해역

본 연구는 중국 남동부에 위치한 동지나 해역(East China Sea, 이하 ECS 라 부른다.)을 대상으로 하였다. 이 해역의 범위는 남쪽에는 대만(Tiwan)과 일본의 류큐열도(Ryukyu Is.), 동쪽으로는 일본의 규슈지방(Kyushu), 그리고 북동쪽에는 한국의 제주도 에 의해 둘러싸여 있다([Fig. 1]).

이 해역의 수심은, [Fig. 1]과 같이, 중국의 동쪽과 대만 사이인 대만해협에서 50m의 등심선이 존재하여 중국 연안을 따라 황해(Yellow Sea)의 중심 해역까지 계속 이어진다. 그리고 ECS의 중앙 해역에는 100M의 등심선이 대만 북단에서 제주도 연안까지 이어진다. 그러나 대만과 Okinawa 사이에는 급경사의 해저지형을 이루며, 200~500m의 등심선이 분포하여 일본 규슈연안까지 이어져



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

있다. 이 해역의 평균 수심은 약 370m이고, 그 면적은 $770 \times 10^3 \text{ km}^2$ 이며, 3/4의 대륙붕이 서쪽에 있으며, 수심이 가장 깊은 오키나와 해구는 약 2,719m에 달한다(Zhang and Su, 2006 ; Liu et al., 2007 ; Chen, 2009).

2. 현장 조사

2009년 7월 1~14일 동안 대상 해역에서 해상

에 떠다니는 표층의 폐기물을 부경대학교 실습선 가야호(1,737톤)를 사용하여 현장 조사를 실시하였다. 조사 영역은 [Fig. 1]에서처럼, 선박의 항해 일정에 따라 동지나해역의 중간부분(CE), 대만의 북쪽해역(NT), 오키나와를 중심으로 한 서쪽과 북쪽 연안(OK1, OK2) 및 일본 큐슈지방의 서쪽 해역(WJ)으로 구분하여 5개 해역으로 나누었다 ([Fig. 1], <Table 1>).

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

Transect of ECS	Observation		#sight (unit)	ship's average speed (kts)	Length (km)	sighting area (km ²)
	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
Total sighting area						96.667

조사의 범위는 선박이 항행하는 동안 선교에서 선수를 기점으로 하여 좌현과 우현으로 나누어 육안으로 물체의 식별이 가능한 좌·우현에서 각각 약 50±5m의 거리를 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 햇빛 반사 등으로 인한 물체의 불확실성을 제거하였다.

각 영역에서 선박이 1시간동안 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>).

따라서 실제 관측 해역의 면적(km²)은 항해길이(Length)에 관측 폭(약 100m)을 곱하여 구하였으며(Thiel et al, 2003), 조사 기간 중에 얻은 총 관측 면적은 약 96.667 km² 이었다.

관측된 해양 폐기물은 일반적인 분류에 따라서 목재류(Woods : W), 종이 및 종이 상자류(Paper & Cardboard : P & C), 나이론 망지 및 로프류(Nylon & Ropes : N & R), 스티로폼류(Styrofoams : Styro), 비닐 및 플라스틱류(Vinyl & Plastics : V & P), 부유성 금속 및 유리 용기류(Floating metal & Glass : FM & G)의 6개 종류(Item)로 구분하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 밀도 분포와 조성비

부유성 해양 폐기물(FMD)의 단위 해구당 수량은 각 해역에서 쿠로시오 해류, 풍향 풍속 등 해양 환경의 변화에 따라 달라진다. 따라서 관측된 해양 폐기물은 수량 분포, 종류별 밀도 등을 객관화하기 위하여 1km²의 면적을 기준으로 계산하여 밀도 분포를 분석하였다.

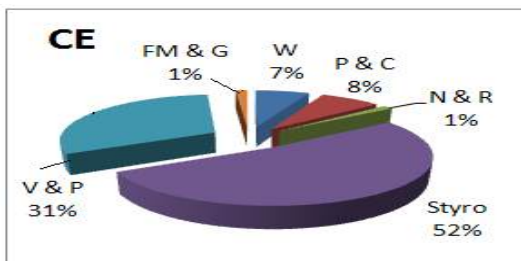
<Table 2> Density distributions of FMD in ECS

(unit : items/km²)

Transect	W	P & C	N & R	Styro	V & P	FM & G	Total
CE	3.2	3.6	0.6	25.1	15.0	0.7	48.2
NT	7.0	1.0	0.6	15.8	3.4	0.3	28.1
OK1	0.6	0.5	0	2.2	1.5	0.1	4.9
OK2	0.8	0.5	0.2	0.8	1.2	0	3.5
WJ	1.2	1.9	0.1	8.6	3.5	0.2	15.5
Mean (items/area)	2.3	1.5	0.3	10.3	4.9	0.3	19.6

그러므로 폐기물의 종류별 수량 밀도는 각 해역(transect)의 관측 면적을 사용하여 단위면적당(km²)의 수량을 <Table 2>에 나타내었다.

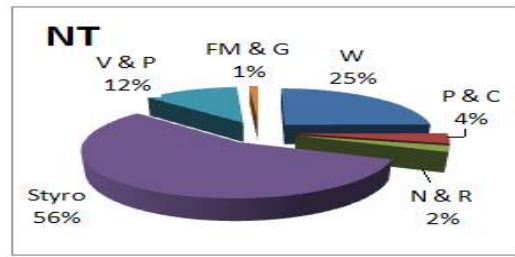
FMD의 종류별 특성을 보면, ECS의 중간해역(CE)은 스티로폼류(Styro)가 25.1 items/km²로 가장 밀도가 높았고, 다음이 비닐 및 플라스틱류(V & P) 15.0 items/km², 가장 적은 나이론 및 로프류(N & R)가 0.6 items/km²이었다. 이 CE해역의 종류별 수량 조성을 [Fig. 2]에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, Styro가 52%로 절반이 넘고, V & P가 31%로 이들을 합하면 이 해역 전체의 83%를 플라스틱제품류가 차지하였음을 알 수 있다.



[Fig. 2] Composition of FMD in CE

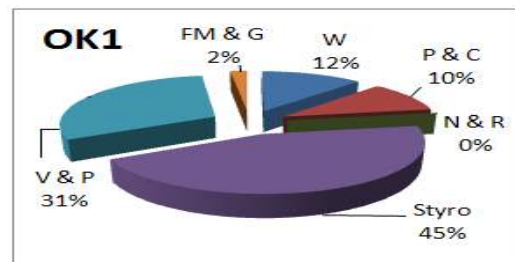
대만 북부해역(NT)에서는 수량 밀도가 제일 높은 종류는 Styro로서 15.8 items/km²이며, 다음이 목재류(W) 7.0 items/km²이고, 가장 적은 것은 부유성 금속 및 유리제품류(FM & G)로 0.3 items/km²에 불과하였다. 이 NT해역에서 종류별 조성을 보면 [Fig. 3]과 같다. 이 그림에서 Styro가 56%, V & P 12%이므로 이들을 합하면 68%가 되어 플라스틱제품류에 속한다. 반면에 이

NT해역은 목재류(W)가 두 번째로 큰 25%를 차지한 것이 특징적이다. 이 현상은 ECS의 서쪽 연안의 표층수는 대만 해협을 통해서 남지나해(SCS)의 수괴와 교환되기 때문에(Lieu et al,2007) 홍수기에 대만의 고산지대의 목재류가 바다에 유입된 것으로 추정할 수 있다.



[Fig. 3] Composition of FMD in NT

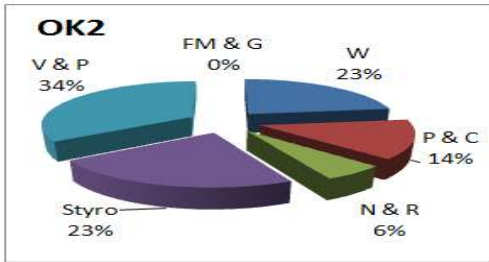
오키나와 해역은 서부해역(OK1)과 북부해역(OK2)으로 나누었다. OK1해역은 Styro가 가장 많지만 2.2 items/km²에 불과하며, 다른 종류들은 모두 그 이하로 아주 적게 분포하였다. 그리고 OK2해역은 OK1해역보다 더 적은 수량밀도를 보이며, 최고치는 V & P가 1.2 items/km²이었다.



[Fig. 4] Composition of FMD in OK1

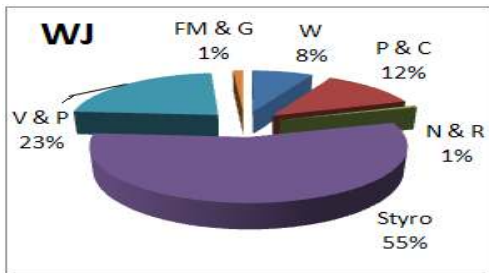
이들 OK1과 OK2 해역의 조성비는 [Fig. 4]와 [Fig. 5]에 나타내었다. 이 그림들에서 보면, OK1 해역은 Styro가 45%로 CE와 NT해역에 비해 적은 조성비를 보였다.

반면에 OK2해역은 V & P의 조성비가 34%로 가장 큰 값을 보였고, Styro는 23%에 불과한 점이 하나의 특징이라 할 수 있다. 이러한 현상은 ECS 동남쪽의 외양에서 유입되는 쿠로시오 해류의 영향으로 추정된다(Isobe et al., 2004).



[Fig. 5] Composition of FMD in OK2

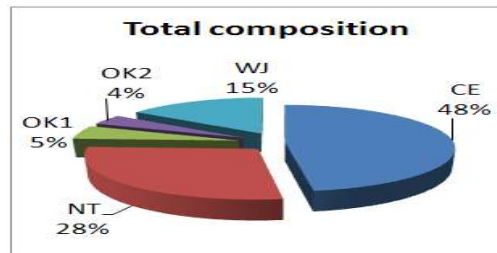
일본 서쪽해역(WJ)은 Styro가 최고치를 나타내어 8.6 items/km²이므로 오키나와 해역들(OK1, OK2)보다 수량 밀도가 높지만 CE나 NT해역보다는 적게 나타났다. 이 WJ해역은 다. 조성비를 보면 [Fig. 6]에서처럼, Styro가 55%, V & P 23%를 합하면 78%가 되어 CE나 NT에 가까운 패턴을 보인다.



[Fig. 6] Composition of FMD in WJ

한편, ECS에서 조사된 5개 해역의 총 수량 밀도를 보면, 동지나해의 중간 해역(CE)이 48.2 items/km², 다음이 대만 북쪽으로 28.1 items/km², 가장 적은 곳은 오키나와 해역들로써 3.5~4.9

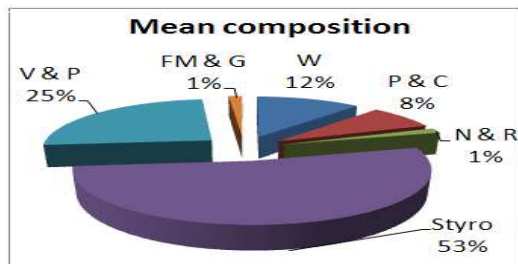
items/km²을 보였다. 그리고 ECS의 전반적 오염도를 나타내는 총 수량에 대한 총 조사면적을 나눈 평균값은 19.6 items/km²로 나타났다. 따라서 이 값을 조사기간 중의 평균 오염지표로 사용한다면 해역별 오염의 강도를 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, ECS에서 오염이 심한 해역은 이 평균값보다 많은 CE와 NT이고, WJ는 15.5 items/km²으로 중간에 가깝고 OK1과 OK2는 오염도가 현저히 낮다고 할 수 있다.



[Fig. 7] Total composition of FMD in each transect

FMD의 각 해역별 총 수량의 밀도 조성비로 나타내면 [Fig. 7]과 같다. 그림에서 보면, 5개 해역에서 CE해역이 전체의 절반에 가까운 48%를 차지하였다. 그와는 반대로 오키나와 해역은 9%의 조성을 보였다. 이 밀도 조성비를 보아도 ECS에서 CE해역이 오염이 심각함을 보여준다.

또한, ECS의 전반적 평균 FMD의 종류별 수량 밀도는 Styro가 10.3 items/km², 다음이 4.9 items/km²으로 나타났고(<Table 1>), 그 조성비는 [Fig. 8]처럼, Styro가 53%, V & P가 25%로 두 종류를 합하면 78%를 차지하였다.



[Fig. 8] Mean composition of each item in ECS

2. 오염도 비교

ECS의 오염도를 파악하기 위하여 한국의 동해안 및 남해안, 일본 연안 및 황해에서 조사, 보고된 평균 수량 밀도와 대표적 오염 지표인 플라스틱제품류(Styro, V & P)의 조성비를 Table3에 나타내었다(김 등,1997; 김,1998 & 1999; 김 등,1999; 김 등,2005).

<Table 3>에서 보면, 한국의 남해안(Southern Sea)은 홍수기에 조사된 것으로 평균 수량은 74.7~110.2 items/km²로 가장 큰 값을 보여 매우 심각하게 오염되었음을 알 수 있다. 플라스틱제품류의 조성비도 역시 가장 높은 수치로 83.5~87.2%를 차지하였다. 이러한 현상은 밀집한 연안

양식장과 홍수기의 낙동강에서 유입된 FMD가 혼합된 것으로 보인다.

반면에 두 차례의 조사에서 알 수 있듯이, 동해(East Sea)의 오염도는 타 해역에 비해 수량이 16.9 items/km², 69.8~81.1%로 비교적 적은 값을 보였다.

따라서 ECS 해역은 수량이 황해(Yellow Sea)의 20.3~31.4 items/km²보다 적었으나, 플라스틱제품류의 조성비는 약간 높게 나타났다. 황해가 플라스틱제품류의 조성비가 73%이지만 종이류가 15%를 점유하고 있는 것이 ECS와 크게 다르다. 그러므로 ECS는 한국 주변의 해역들 중에서 중간정도의 오염지수를 나타내었다.

<Table 3> Comparison of total FMD and composition in each area of near Korean peninsula

Each area	Observation date	Mean quantities (items/km ²)	Composition of plastics (%)	Remarks
East Sea	Aug. 1996	16.9	81.1	Korean coast of East Sea
Southern Sea (east part)	Jul. 1997	110.2	87.2	Korea after Flood
Southern Sea (middle part)	Jul. 1997	74.7	83.5	Korea after Flood
Yellow Sea	Jul. 1999	Quindao 20.3 Western Sea 31.4	73.0	From Quindao to near Jeju Is.
East Sea	Jul. 2003	16.9	69.8	Dokdo, North part of East Sea, near Japan
East China Sea	Jul. 2009	19.6	78.0	This study

IV. 요약 및 결론

2009년 7월 1~14일의 기간 중 동지나해의 5개 해역에서 부경대학교 실습선 가야호를 이용하여 부유성 해양 폐기물을 총 45시간 조사하였으며, 종류별 밀도와 조성비는 다음과 같다.

1. 조사기간 중 5개 해역에서 부유성 해양 폐기물(FMD)의 변화가 해역에 따라서 크게 변동하였다. 가장 오염이 심한 해역은 중간해역(CE)으로 그 수량 밀도가 48.2 items/km²이었고, 가장 적

게 분포한 해역은 오키나와 해역들(OK1,OK2)로서 3.5~4.9 items/km²이었다.

2. FMD의 종류별 밀도는 Styro가 가장 많았고 다음이 V & P로서 각각 10.3 items/km², 4.9 items/km²으로 나타났다. 이들의 조성비는 Styro 53%, V & P 25%로 분포하여 플라스틱제품류가 전체의 78%를 차지하였다.

3. ECS의 전체에서 평균 수량 밀도는 19.6 items/km²이었으며, 한국 주변해역과 비교하면, 한국 동해 16.9 items/km²보다 약간 많았지만 남해

(Southern Sea)와 황해(Yellow Sea)에 비하면 훨씬 적었다. 그리고 플라스틱제품류의 조성비도 남해의 최고 87%보다 훨씬 낮았지만, 황해 73% 보다는 5% 정도 높았다.

따라서 ECS의 오염은 우리나라 동해와 비슷하거나 약간 덜한 것으로 나타났다.

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 제주도과 중국 청도의 항로상에 부유하는 해양폐기물 분포 특성에 관한 연구, 수산해양교육연구 11(2), 203~215.

김종화 · 김민석 · 김용복(2005). 하계 동해의 해양 폐기물 분포와 조성에 관한 연구, 수산해양교육연구 17(1), 58~66.

Chen C.T.A.(2009). Chemical and physical fronts in the Bohai, Yellow and East China Seas, Jour. Mar. Sys., 78, 394~410.

Isobe A. Fusiwara E., Chang P.H., Sugimatsu K., Shimizu M., Matsuno T. and Manda A.

(2004). Intrusion of Less Saline Shelf Water into the Kuroshio Subsurface Layer in the East China Sea, Jour. Oceanography, 60, 853~863.

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. Milliman, 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.

Nakanishi, H., H. Ogi, N. Kanazaki and K. Omuta(1995). The sea of plastics: Marine life threatened and endangered, Ocean Eng. Res., Tokyo, Japan, 300p (in Japanese)

Shimoto A. and T. Kameda(2005). Distribution of manufactured floating marine debris in near-shore areas around Jour. Mar. Poll. Bull., 50, 1430~1432.

Thiel M., I. Hinojosa, N. Vasquez, E. Macaya (2003). Floating marine debris in coastal waters of the SE-Pacific (Chile), Mar. Poll. Bull., 46, 224~231.

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

Zhang J. and J.L. Su(2006). Nutrient dynamics of the China Sea: The Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea and South China Sea, Part A, Panregional Syntheses and the Coasts of North and South America and Asia, Vol. 14, 637~671.

-
- 논문접수일 : 2011년 10월 31일
 - 심사완료일 : 1차 - 2011년 11월 29일
 - 게재확정일 : 2011년 12월 06일