

論 文

# 표층 예인 부상식 해양 부유폐기물 수거 시스템

장덕종\* · 나선철\*\* · 최명수\*\*\*

\*, \*\*\* 전남대학교 수산해양대학 해양경찰학과, \*\*한국해양오염방제조합 여수지부

## A collect system of marine floating garbages by towing to the surface

Duck-Jong Jang\* · Sun-Cheol Na\*\* · Myung-soo Choi\*\*\*

\*, \*\*\*Department of Maritime Police Science, Chonnam National University, Jeonnam 550-749, Korea

\*\*Branches of Yeosu, Korea Marine Pollution Response Corporation, Yeosu, Jeonnam 550-020, Korea

**요 약 :** 본 연구는 해양에 유입되는 부유폐기물을 효과적으로 수거할 수 있는 시스템을 개발하고자, 우기철에 폐기물의 성상을 조사한 전보의 예비조사와 기초실험 결과를 바탕으로 각 장치의 구조와 규격을 확정하고 해상에서 그 성능 검증을 수행하였다. 그 결과 본 시스템의 수집기구는 전개장치의 전개력에 의해 선박 진행시 1회에 수평방향으로 15m이상의 해역을 소해하는 것으로 나타나 현행 폐기물 수거선박보다는 수거 효율이 매우 높았으며, 폐기물이 최종적으로 유입되는 Net의 수면상 높이는 예인속도 5kt이내에서 50cm 이상을 유지하여 폐기물의 유입성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한 부유 폐기물 수거실험에서는 매 실험 당 평균 약 200kg 정도의 폐기물이 그물망을 가득 채워 본 연구에서 고안한 수거시스템의 성능은 매우 양호한 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 부유 폐기물, 폐기물의 성상, 전개장치, 수거시스템

**ABSTRACT :** It tries to develop a collect system for floating garbage flowed into the sea. Based on the study on the characteristics of floating garbage in rainy season, it confirmed the structure and specification of each device and tested its performance on the sea. It showed that the collection device of this system could sweep more than 15 meters of sea area at a time when a ship moves with the efficiency of the spreading device. It means that it is more efficient in collecting garbage than now in use garbage collecting ships. The water height of the net to which the garbage is finally input maintained more than 50cm within the towing speed of 5kt. It indicates that the garbage input performance is good. The collect system of this research showed good performance collecting 200kg of garbage into the net for each test of collecting floating garbage.

**KEY WORDS :** Floating garbage, Characteristics of floating garbage, Spreading devices, Collect system.

### 1. 서 론

해양 폐기물은 양식장이나 운항중인 선박에서 일부 발생하기도 하지만 인간의 주거생활과 산업활동에서 필연적으로 발생하는 폐기물이 주류를 이루고 있으며, 우리나라의 경우 홍수나 태풍이 이어지는 여름철 우기에 내륙의 강을 따라 육상 폐기물이 집중적으로 해양에 유입되고 있다(해양수산부, 2000; 2002). 특히, 여수를 중심으로 하는 광양만권 해역에서는 여름철에 섬진강 주변과 인근 도시에서 발생한 막대한 양의 폐기물이 연안으로 유입되고 있고 타 지역에 비해 주변에 양식장이 무수히 산재하기 때문에 육상기인의 폐기물과 어업폐기물이 상존하는 형태를 보이고 있다(윤 등, 2005). 이들 폐기물은 유입초기 부유성 재질일지라도 시간이 경과함에 따라 수분함량이 높아지고 해양 미생물이 부착됨에 따라 점차 수중으로 침지되거나(송 등, 2001) 조석활동으로 조간대 수역에 쌓이게 됨으로써 해저나 수변구역을 오염시키는 주요 원인 물질이 되고 있는 실정이다(최 등, 2000).

이에 따라, 가능한 빠른 시간에 해상에서 물리적인 수단을 동원하여 제거하는 것이 해양에 유입된 폐기물의 폐해를 방지하기 위한 현실적인 대안이라 할 수 있다. 그러나 해양 폐기물 수거를 담당하는 부처나 지방자치단체는 여름철 우기에 집중적으로 유입되는 부유폐기물을 수거하는데 인력과 경비가 막대하게 소요되어 매년 재정적으로 부담이 가중되는 실정이다. 국내 해양 부유폐기물 수거 사업은 해당해역을 담당하는 지방자치단체와 해양환경관리기관에서 이루어지는데, 평소에는 항만관리용 폐기물 전용 수거 선박을 이용하지만 폐기물이 집중적으로 유입되는 여름철에는 임시로 일반선박을 동원, 쪽지그물 등을 이용한 수작업으로 이루어지고 있다. 이것은 국내에서 운용되는 부유폐기물 전용 수거선박이 대부분 10~30톤 내외의 컨베이어 수거방식인 쌍동선 형태로 수거범위가 거의 선폭으로 한정되기 때문에 항내만 등 정체수역의 부유폐기물이 주 수거대상이며(강 등, 2002), 우기철에 집중적으로 유입되어 이동하는 부유폐기물에 대해서는 적극적인 대처가 곤란한 실정이다.

따라서, 본 연구는 해양환경에 심각한 폐해를 끼치는 해양 부유폐기물을 해상에 유입되는 초기부터 효과적으로 수거하는 방법을 고려하여 기 보고한 우기철에 유입되는 폐기물의 성상

\*대표저자, 종신회원 jdj@chonnam.ac.kr, 061)659-3182

\*\*비회원, kmprsc@hanmail.net, 061)654-6431

\*\*\*정회원, engine@chonnam.ac.kr, 061)659-3183

을 파악한 결과(장 등, 2007)를 통해 부유폐기물이 해상에 유입되는 초기에 선박을 이용하여 수거하는 방안을 고려하였으며, 조류나 바람의 영향으로 수면 위의 부유폐기물이 넓은 범위에 걸쳐 분포한다는 점을 감안, 먼저 수역에 산재하는 부유폐기물을 효율적으로 구집하면서 Net를 이용하여 수집하는 방법으로 부유폐기물 수거시스템을 고안하고 해상에서 그 성능을 검증하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서 고려한 부유 폐기물 수거시스템은 전보에서 개략적으로 보고한 것처럼 1척의 선박을 이용하여 부유폐기물을 효율적으로 구집하여 수거하는 개념으로, 시스템 구성과 규격은 부유폐기물의 유입량과 성상을 조사하여 분석한 전보의 결과(장 등, 2007)를 토대로 결정하였다. 전체적인 시스템 구성은 해상에 흩어져 있는 폐기물을 모아주는 구집장치와 이를 수평방향으로 벌려주는 전개장치, 최종적으로 폐기물을 수집하는 장치 및 이의 부상장치로 구성되며(Fig. 1), 주요 규격과 기능은 다음과 같다.



Fig. 1. The collect system of marine floating garbages.

### 2.1 시스템 전개장치

전개장치는 본 시스템을 선박 1척으로 운용가능하게 하는 필수 장치로, 선박 예인시 그 전개력에 의해 구집 장치를 수평방향으로 벌려주어 폐기물의 소해범위를 결정하기 때문에 폐기물의 수거 효율을 높이는 기능을 수행한다. 이러한 전개장치의 전개력은 구조 및 규모, 진행각도(예행점) 등에 따라 정해지는데 기본적으로 전개장치의 크기가 가장 큰 요인이며, 규모는 작으면서 전개력은 높은 형태를 도출하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 전보의 모형 전개장치에 대한 전개력 실험 결과를 토대로, Fig. 2와 같이 가로 및 세로가 60×80cm인 스테인레스 재질의 단판이면서 만곡도(Camber 높이/현의길이) 12%인 만곡형 전개판을 제작하였으며, 수중에서의 자세안정과 유효 전개력을 구하고자 진행 영각을 20~30°로 조정토록 하였다. Fig. 3은 전개장치에 의해 전개되는 구집기구의 소해 성능을 파악하고자 레이저 거리측정기(Bushnell, 20-1000)를 이용, 예인속도에 따른 양쪽 전개판간의 거리변화를 측정하는 것을 나타낸다.

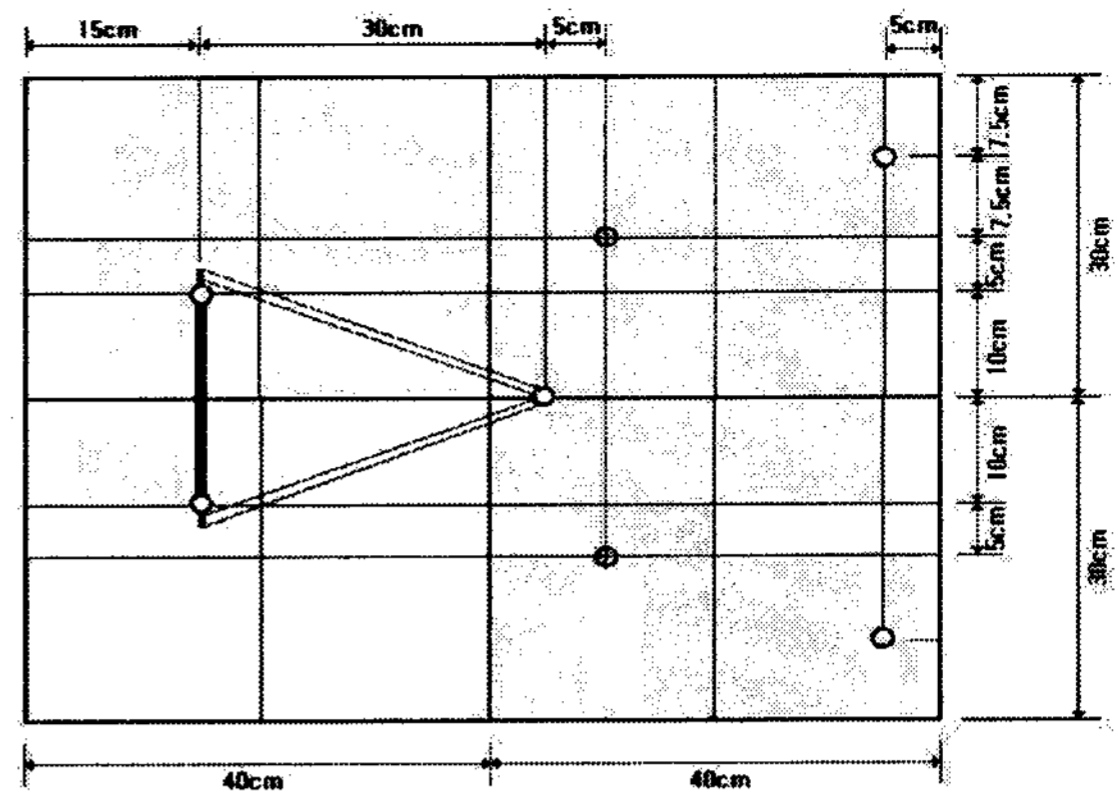


Fig. 2. Construction of spreading device for the collect system of marine floating garbages.

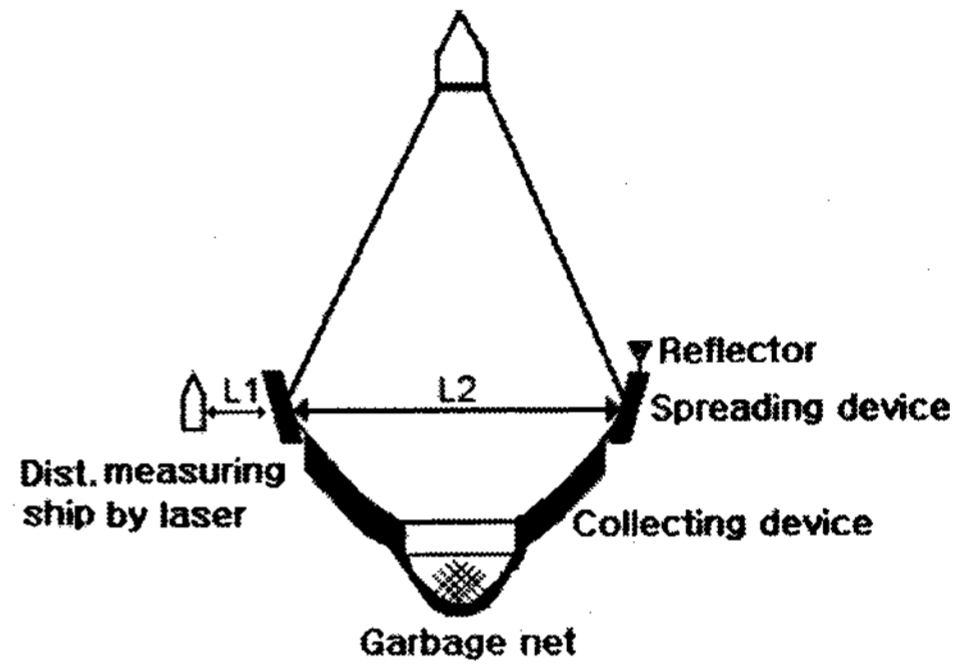


Fig. 3. Schematic diagram of measuring on the horizontal distance of spreading device.

### 2.2 폐기물 구집장치

전개장치에 연결되고 해상에 산재한 부유 폐기물을 밀집시켜 최종적으로 Net에 유입되도록 하는 구집장치는 예인시 부유 폐기물이 빠져나가지 못하도록 수면상하부에서 물리적인 장벽역할을 수행한다. 본 연구에서 수거대상으로 하는 부유 폐기물은 전보에서 보고하였듯이 수면에 일부가 잠겨있으면서 수면상에 노출되는 것들이 대부분이기 때문에 구집장치는 수면상하부에서 동시에 폐기물을 차단할 수 있는 구조여야 하며, 스티로폼처럼 가볍고 부피가 큰 폐기물은 수면위에 노출되는 부분이 크기 때문에 차단벽을 수면위로 높게 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 부유 폐기물의 부피를 분석한 전보의 결과를 토대로 Fig. 4와 같이 구집장치의 수면상 높이가 40cm, 수면하 깊이가 20cm가 되도록 하였으며, 운반 및 보관, 현장 운용의 편의성을 고려하여 전체길이를 4m로 제한하고 고밀도 폴리에틸렌소재(T; 1.0mm)를 사용하여 공기 주입식 부력체와 체인을 이용한 침강체로 제작하였다. Fig. 4는 부유 폐기물 구집장치와 Net 부상장치를 같이 연결한 모식도이다.

### 2.3 폐기물 수집용 Net와 부상장치

구집장치에 의해 모아진 폐기물이 최종적으로 수집되는 장치는 전보에서와 같이 예인시 물의 흐름을 역과시켜 유수저항을 줄일 수 있고 폐기물을 처리하기위해 선박이나 육상으로 인양하는 작업이 쉬우며, 제작비용도 적어 때에 따라서는 폐

기물과 함께 처리될 수 있다는 장점을 보유한 그물망을 사용하였다. 한편, 부유 폐기물은 대부분 수면상하부에 걸쳐있는 것이 대부분이기 때문에 구집장치와 마찬가지로 폐기물을 수집하는 Net도 수면 상하부에 존재하는 폐기물을 동시에 수집할 수 있어야 한다. 특히, 스티로폼처럼 가볍고 부피가 큰 폐기물은 수면위에 노출되는 부분이 크기 때문에 Net의 입구가 수면상에 일정한 높이로 유지되어야만 예인시 구집된 폐기물이 Net 외부로 유출되지 않고 내부로 자연스럽게 유입될 수 있다. 즉, Net 입구하부는 수중에서 일정한 깊이를 유지하여 수중에 일부 잠긴 폐기물이 Net 내로 유입되어야 하고, 입구상부는 수면상의 공기중에 요구하는 높이를 유지하여 수면위의 폐기물을 포집할 수 있어야 한다. 이를 위해 단순히 철봉으로 사각형 입구틀을 제작하여 그것에 그물을 부착하고 입구를 공기중에 노출시키는 방안을 생각할 수 있다. 그러나 선박에서 철봉으로 제작된 입구틀을 다루기란 쉬운 일이 아니기에 본 연구에서는 Net 자체를 수면위로 부상시키는 방안에서 Fig. 5의 Net 부상장치를 채택하였다.

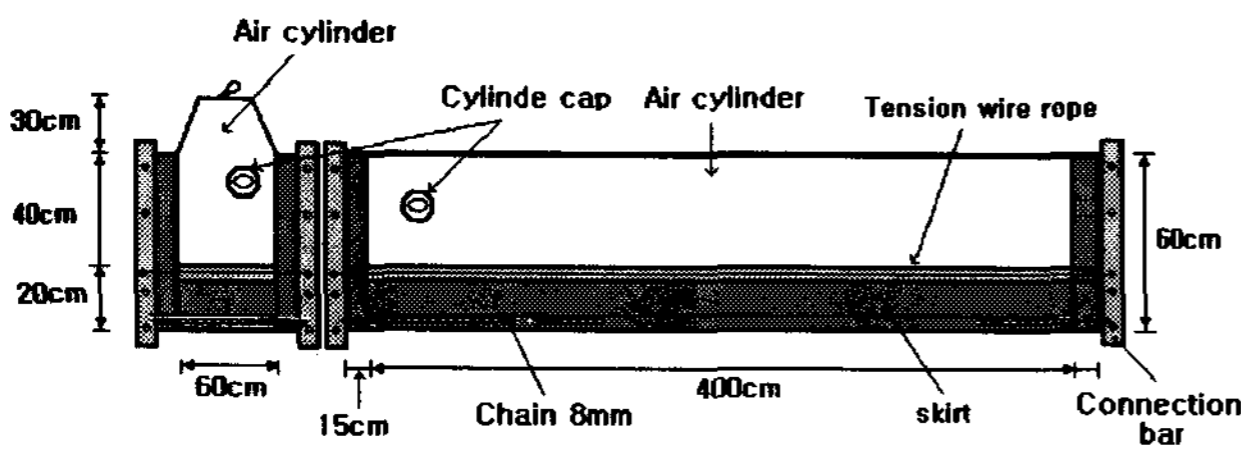


Fig. 4. Schematic diagram of floating garbage collection device.

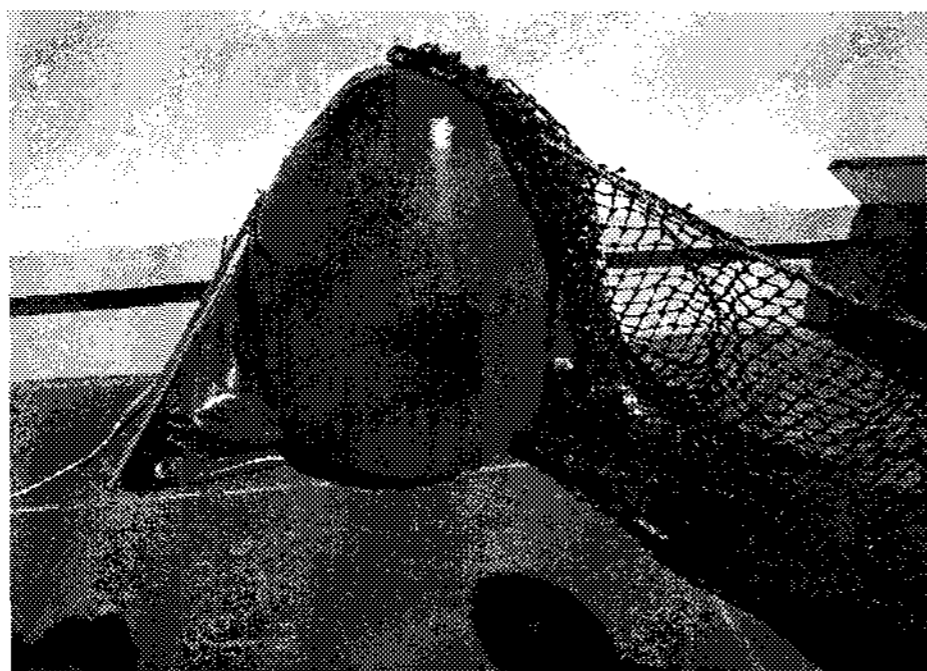
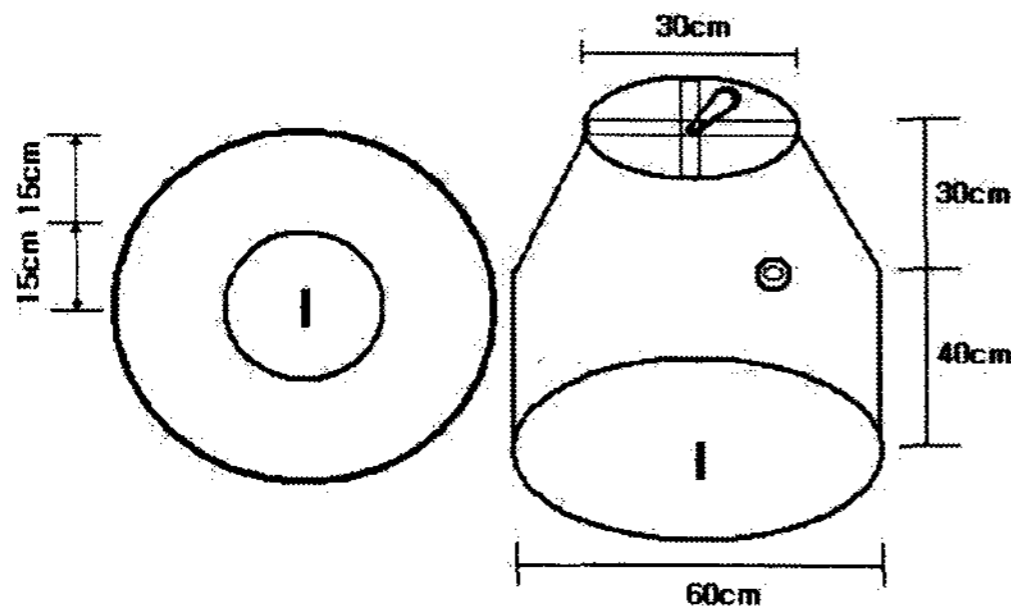


Fig. 5. The rising equipment of collection net.

수면아래에 존재하는 밑판보다 수면상부에 위치하는 등판이 전방으로 돌출되도록 하면서 옆판과 등판 전방에 날개그물을 부착하였으며, 등판의 날개그물을 Fig. 5의 Net 부상장치 상부에 부착함으로써 전개장치에 의해 구집기구가 수평방향으로 전개되면 Net의 입구가 수면위로 부상되도록 하였다. 이때 Net 부상장치는 상기 구집장치와 같은 재질에 수면상 높이 70cm, 수면하 깊이 20cm로 하였고 수면부 하단을 지름 60cm인 원추형 실린더 형상으로 제작하여 수면에서 안전성을 꾀하였다. 또한, Net는 유입되는 폐기물에 견딜 수 있도록 PE 90 합사의 두꺼운 그물실과 그물코 크기가 50mm인 그물망으로 제작하였으며, 크레인 사용범위를 고려하여 전체길이를 3m, 폭 3.5m로 제한하였고 전보와는 달리 수거된 폐기물의 처리의 편의성을 위해 Net 끝단의 뒤판을 제거하여 폐기물을 쉽게 털어낼 수 있도록 하였다.

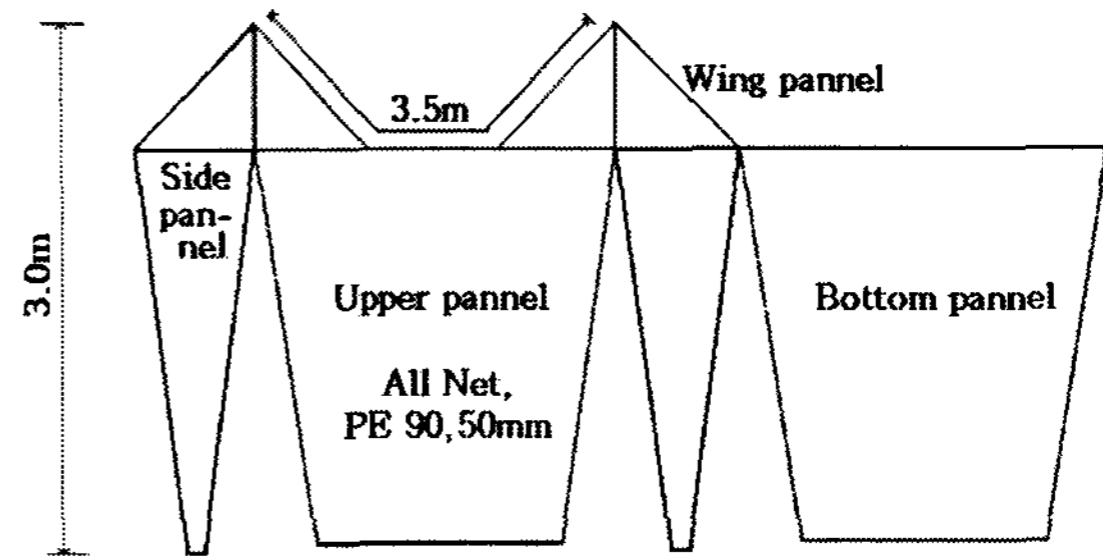


Fig. 6. The collection net of floating garbage

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전개장치 및 구집기구의 소해성능

Fig. 7은 전개장치에 의해 수평방향으로 전개되어 해상에 산재된 폐기물을 Net안으로 유입되도록 모아줌으로써 본 시스템의 수거 효율을 높이는 구집기구의 소해성능을 파악하고자 Fig. 1의 폐기물 수거시스템을 0.5kt에서 5kt까지 예인하면서 속도에 따른 전개장치간의 거리를 측정한 결과이다. 이것에서 보면, 전개장치간의 거리는 1kt 이하의 미속에서 약 15m를 보이다 예인 속도가 증가할수록 약간씩 증가하여 최고 18m까지 전개되었고, 예인속도가 빠른 4kt 이후에서는 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 4kt 이상의 빠른 속도에서는 Net의 폐기물 유입량이 그 만큼 많아지기 때문에 유수저항이 증가하여 전개거리가 감소하는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 예인속도에 따라 차이는 약간 있지만 본 시스템의 구집기구가 선박 진행시 수평방향으로 15m이상의 해역을 1회에 소해하는 것을 의미하는 것으로, 4~5m 정도의 소해 폭을 갖고 폐기물 수거작업을 수행하는 현행 쌍동선 폐기물 수거 전용선박보다는 훨씬 효율적으로 수거 작업이 가능할 것으로 판단된다.

#### 3.2 수집 Net의 폐기물 유입성능

본 시스템에서 Net 등판의 수면상 높이는 구집기구에 의해 밀집된 폐기물이, 최종적으로 Net에서 유출되지 않고 Net 내

Fig. 6은 본 시스템에서 최종적으로 채택한 Net의 구조로,

부로 쉽게 유입되도록 하는 기능을 수행하기 때문에 본 수거 시스템의 수거성능을 좌우한다고 할 수 있다. 그러므로 본 시스템에서는 전보에서 조사한 주요 폐기물의 성상을 고려하여 Net 등판이 언제든지 수면상에서 일정한 높이를 유지하도록 높이가 70cm인 Fig. 5의 Net 부상장치를 구집장치 끝에 부착하였다. Fig. 8은 Net 등판의 수면상 높이변화를 예인속도에 따라 조사한 것으로, 예인 속도가 0.5~5kt일 때 Net 등판의 수면상 높이는 70~50cm범위로 나타났다. 이것은 1.5kt이하의 저속에서는 Net 부상장치의 자세 변화가 거의 없었지만 Fig. 9의 해상실험 그림에서 볼 수 있듯이 예인속도가 증가함에 따라 Net 부상장치가 직립상태에서 옆으로 누워지는 현상 때문에 Net 등판의 수면상 높이가 점차 감소하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 즉, 2kt이상의 예인속도에서는 저속 예인시보다 Net에 작용하는 유수저항이 커지고, 유입되는 폐기물의 양도 많아져 예인시 Net가 후방으로 처지는 현상이 더욱 심해지기 때문에 Net 부상장치가 수직상태에서 옆으로 약간씩 누워지고, 이로 인해 Net 등판의 수면상 높이가 점차 감소한다고 볼 수 있다. 그러나 5kt의 예인속도에서도 Net 등판의 수면상 높이가 약 50cm정도를 보였으며, 이때 유입되는 폐기물이 Net 밖으로 유출되는 경우를 발견할 수 없었기 때문에 폐기물의 유입성능은 큰 문제가 없음을 확인 할 수 있었다.

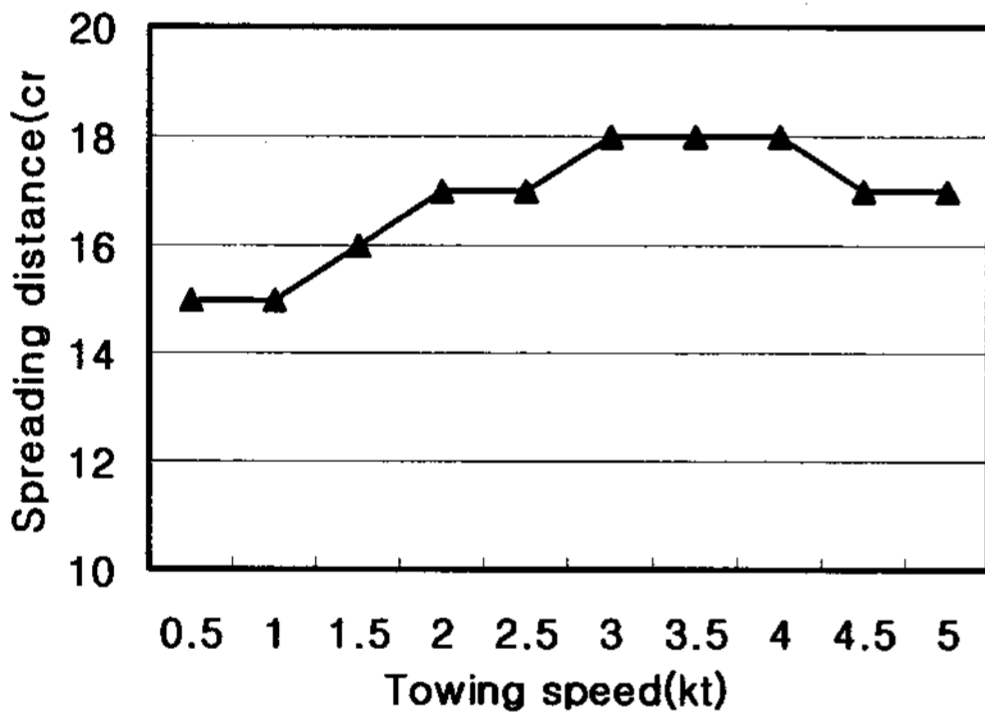


Fig. 7. Variation of spreading distance with towing speed in the field experiments.

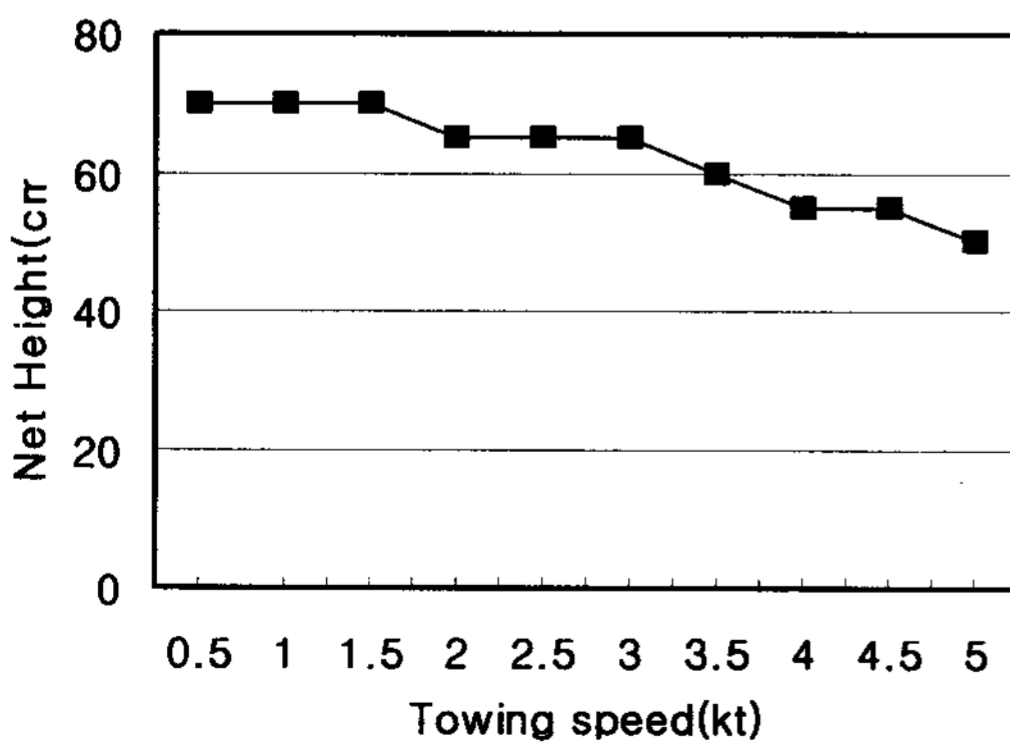


Fig. 8. Variation of net mouse height with towing speed in the field experiments.

### 3.3 부유 폐기물 수거시스템의 성능 검증

Table. 1은 2007년 9월 15일경 우리나라 남해안 지역에 상륙하면서 많은 강우량을 보였던 태풍 나리이후 여수·광양 항계 내에 유입된 부유 폐기물을 대상으로 한국해양오염방제조합 여수지부의 방제선(환경 2호, 총톤수 약 40톤)에 본 연구에서 개발한 Fig. 1의 부유 폐기물 수거시스템을 장착하고 부유 폐기물 수거성능 실험을 5회 실시한 것이다. 이것에서 보면, 매 실험 당 부유 폐기물의 평균 수거량은 약 200kg 정도이고, 수거되는 폐기물의 종류로는 갈대류가 전체 수거량의 약 44%를 차지하고 있으며 기타를 제외하고 목재류, 어망류, 플라스틱류 순으로 나타나고 있다.

Table. 1 The collection characteristics of floating garbage in field experiments

| Exam. No. | 폐기물의 종류(kg) |        |        |        |     |     |     |     | 계     |
|-----------|-------------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|
|           | 갈대류         | 플라스 틱류 | 스티로 폼류 | 어망 로프류 | 비닐류 | 목재류 | 유리류 | 기타  |       |
| 1회        | 95          | 15     | 11     | 35     | 4   | 25  | 2   | 38  | 225   |
| 2회        | 116         | 21     | 8      | 12     | 3   | 30  | 1   | 41  | 232   |
| 3회        | 84          | 14     | 5      | 23     | 5   | 35  | 0.5 | 29  | 195.5 |
| 4회        | 78          | 17     | 6      | 26     | 3   | 25  | 2   | 33  | 190   |
| 5회        | 83          | 13     | 5      | 19     | 3   | 26  | 1   | 36  | 186   |
| 총계        | 456         | 80     | 35     | 115    | 18  | 141 | 6.5 | 177 | 1,029 |

이와 같이 갈대류가 큰 비중을 차지하는 것은 태풍에 동반한 폭우가 섬진강 주변에서 많은 양의 갈대류와 목재류 등을 여수·광양 항계 내로 유입시켰기 때문으로, 강우가 집중하는 여름철에 갈대류의 수거량이 급증한 것으로 나타난 전보의 결과(장 등, 2007)와도 같은 측면으로 볼 수 있다. Table 1의 해상 실험 1회당 약 200kg 정도의 수거량은 Fig. 9의 해상실험 사진에서 볼 수 있듯이 폐기물이 Net에 가득찬 상태일 때 측정된 폐기물의 중량이고, 실험과정에서 구집기구 내의 부유 폐기물이 대부분 Net 내부로 유입되는 것으로 나타나 본 연구에서 고안한 부유 폐기물 수거시스템의 수거 성능은 매우 양호함을 알 수 있었다.

한편 Fig. 9는 태풍의 영향으로 해상에 다량 유입된 부유 폐기물을 대상으로 Fig. 1의 시스템을 이용하여 폐기물을 수거하는 과정을 보여주고 있다. 그림에서 선박 예인시 양쪽 전개판의 전개력에 의해 구집장치가 좌우로 전개되어 폐기물을 구집하고 전개되는 그 힘으로 Net가 좌우로 당겨지면서 Net 입구 상부가 수면위로 부상하는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 Net 입구에 모여든 폐기물은 그물망을 벗어나지 않고 Net 내부로 쉽게 유입됨을 확인할 수 있었다. 또한, 본 시스템을 이용한 운용방법에서 선미 예인식의 경우 목표 대상인 부유 폐기물을 선수 변침을 통해 선박 진행에 따른 배수류 및 선체 방해없이 선미 현측에서 구집·수거할 수 있음을 확인할 수 있었고, 처음부터 선박의 현측에 본 시스템의 한쪽방향을 고정하여 예인하는 경우도 폐기물을 충분히 수거할 수 있음을

보여주어 현장 적용성이 매우 높은 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구는 해양에 유입되는 부유폐기물을 효과적으로 수거할 수 있는 시스템을 개발하고자, 우기철에 폐기물의 증가상태와 폐기물의 성상을 조사한 전보의 예비조사와 기초실험 결과를 바탕으로 각 장치의 구조와 규격을 확정하고 해상에서 그 성능 검증을 수행하였다. 그 결과 본 시스템의 구집기구는 전개장치의 전개력에 의해 선박 진행시 1회에 수평방향으로 15m이상의 해역을 소해하는 것으로 나타나 4~5m 정도의 소해 폭을 갖는 쌍동선 형태의 현행 폐기물 수거선박보다는 수거 효율이 매우 높았으며, 폐기물이 최종적으로 유입되는 Net 등판의 수면상 높이는 예인속도 5kt이내에서 50cm이상을 유지하여 폐기물의 유입성능이 우수하게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 부유 폐기물의 유입량이 많은 시기에 실시한 해상에서 실시한 폐기물 수거실험에서는 매 실험 당 평균 약 200kg 정도의 폐기물이 그물망을 가득 채워 본 연구에서 고안한 부유 폐기물 수거시스템의 수거 성능은 매우 양호한 것으로 나타났고, 선박의 조종방법에 따라 선미나 현측에서도 폐기물을 충분히 수거할 수 있어 현장 적용성이 매우 높음을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 해양수산부(2002), 해양수산부 백서, 610p
- [2] 해양수산부(2002), 해양폐기물 종합처리시스템개발(Ⅲ), 한국해양연구원 연구보고서, pp621-644
- [3] 윤석표·임학상·박재홍·류필조·김석완(2005), 댐 부유쓰레기적정관리를 위한 사례연구. 한국폐기물학회지 제22권 제4호, pp 326-331.
- [4] 윤성순·조동오(2002), 해양환경분야 전문인력 양성방안연구. 한국해양수산개발원, 105p
- [5] 홍기용·최학선·조일형(2001), 해양유입 부유 쓰레기 차단막 시스템 개발, 한국해양환경공학회지, 제4권 제2호, pp61-67.
- [6] 최동현·최재선(2000), 바다쓰레기 관리대책 수립에 관한 연구, 해양정책연구, 제13권,제2호, pp 20-27
- [7] 송무석·이준목·이문진·유정석(2001), 해양쓰레기 부유 및 침강에 관한 실험적 연구, 한국해양환경공학회지, 제4권 제1호, pp 47-62.
- [8] 장덕종·나선철·최명수·김종수(2007). 여름철 해상 부유 폐기물 수거방안에 관한 연구, 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집, pp2611-2617.

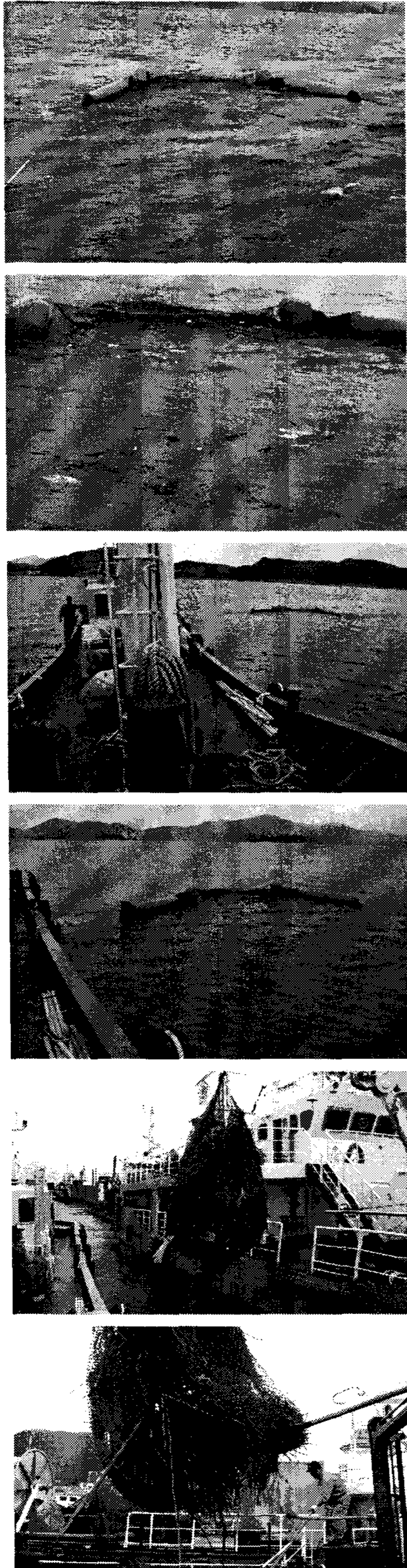


Fig. 9. Photograph of experiments by collect system of marine floating garbages in the sea.