

## 수중침적 폐기물 실태조사 및 국내 연안의 항 내 수중침적 폐기물 분포에 관한 연구

강 원 수<sup>(1)</sup>

### The Methodology for Investigation on Seabed Litters and The Distribution of Seabed Litters in Ports around the Korean Coastline

by  
W.S. Kang<sup>(1)</sup>

#### 요 약

최근 연안 해역에서의 대규모 어업 활동과 경제개발로 인한 전반적인 산업화 현장의 확대, 그리고 생활 수준의 향상에 따른 여가 활동의 증가 등 다양한 요인에 의해 해저면의 침적 폐기물, 폐각류, 오염 퇴적물 등 각종 오염 물질의 배출이 해양 자체의 정화 능력을 넘어서는 심각한 상태에 처해 있는 실정이다. 이러한 해저면 폐기물을 그대로 방치해 두게 되면 시간이 경과함에 따라 저서 생태계의 교란을 초래하게 된다. 따라서, 해저면 폐기물에 의한 해양 생태계의 교란을 예방하고, 오염된 해양 환경을 복원하기 위해서는 해저면에 대한 수중침적 폐기물 실태조사를 실시하여 오염실태를 파악하고, 이들 관련자료를 체계적으로 관리 운영함으로써 효율적인 폐기물 수거 방안의 수립을 지원할 수 있는 체계를 갖추어야 한다. 이의 일환으로 본 연구에서는 항 내 수중침적 폐기물의 실태를 파악하기 위한 조사 방법을 확립하고, 이를 토대로 국내 연안의 주요 항만 및 어항에 대한 항 내 수중침적 폐기물 분포 현황을 조사하였다.

#### Abstract

Due to floating marine debris, seabed litters, dead shellfishes and polluted sediments, etc., which are mainly caused by fishery activities in a large scale around the coastline, expansion of industrialized areas from economic development and drastic increase of free time by the improved standard of living, Korean coast is believed to be cast beyond the self purification of marine ecosystem. Seabed litters, if not remedied in a timely manner, will eventually lead to the overall disorder of benthic ecosystem. Thus, in order to prevent marine ecosystem from being thrown into confusion by seabed litters and to restore ocean environments, it is reasonable to investigate the current status of the seabed litters by carrying out an extensive examination on them and to equip ourselves for marine debris with a systemized tool that provides supports to the building process

(1) 정회원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

of an efficient methodology of litters disposal through managing related data appropriately. As an primary step to this goal, a systematic method of investigation is presented in this paper. With this methodology, the present state of the seabed litters is properly understood for the specified list of ports.

Keywords : Investigation on Seabed Litters

## 1. 개 요

해저면은 다양한 저서생물의 생존공간이다. 즉 해조류, 패류, 저서어류 등과 같은 유용 수산자원 뿐만 아니라 기타 다모류, 극피류 등 다양한 저서생물의 서식처로서 작용한다. 이들 저서생물은 생물 종류의 고유하고 독특한 생태계 내 역할을 통해 저서환경으로 유입하는 유기물을 최종적으로 축적 및 분해하여 해양 생태계의 원활한 에너지 흐름과 물질순환을 유지시킨다. 따라서 해저면은 저서생태계 뿐만 아니라 전체 해양 생태계와 연결된 주요한 생태 공간으로 작용한다고 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 최근 연안 해역에서의 대규모 어업 활동과 경제개발로 인한 전반적인 산업화 현장의 확대, 그리고 생활 수준의 향상에 따른 여가 활동의 증가 등 다양한 요인에 의해 해저면의 침적 폐기물, 폐각류, 오염 퇴적물 등 각종 오염 물질의 배출이 해양 자체의 정화 능력을 넘어서는 심각한 상태에 처해 있는 실정이다.

이러한 해저면 폐기물을 그대로 방치해 두게 되면 시간이 경과함에 따라, 폐기물의 종류 및 해저면의 생태적 특징에 따라 그 내용이 다소 달라지겠지만, 일반적으로 다음과 같은 저서 생태계의 교란을 초래하게 된다.

- 해양동물이 폐기물을 섭취하거나 그물에 엉켜 폐사함
- 저서동물 서식공간의 점유
- 일광을 차단하여 해조류의 광합성 저해
- 유기성 폐기물 축적으로 인한 수괴 부영양화 및 빈산소화
- 저층 퇴적물의 오염 심화
- 생물 다양성 감소 및 해역 생태계 불안정

이와 같은 해저면 폐기물에 의한 해양 생태계의 교란을 예방하고, 오염된 해양 환경을 복원하기 위해서는 해저면에 대한 수중침적 폐기물 실태

태조사를 실시하여 오염실태를 파악하고, 이들 관련자료를 체계적으로 관리 운영함으로써 효율적인 폐기물 수거 방안의 수립을 지원할 수 있는 체계를 갖추어야 한다.

이의 일환으로 본 연구에서는 항 내 수중침적 폐기물의 실태를 파악하기 위한 조사 방법을 확립하고, 이를 토대로 국내 연안의 주요 항만 및 어항에 대한 항 내 수중침적 폐기물 분포 현황을 조사하였다.

## 2. 수중침적 폐기물 개략 실태조사

### 2.1 일반

해저면에 침적되어 있는 고형 폐기물의 분포 현황을 파악함과 동시에, 수중침적 폐기물을 수거·처리해야 할 대상지역을 선정하기 위해서는 효율적인 조사 방법이 고려되어야 한다. 특히 조사대상 지역이 광범위하고 많을 경우에 효과적인 조사 방법의 확립은 더욱 중요하다. 잠수사에 의한 해저면 조사 방법은 직접 해저면을 가시적으로 조사할 수 있다는 장점은 있으나, 광범위한 해역을 단시간에 조사한다는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 또한, 지역적 특성에 따라 다소 차이는 있지만, 수중의 부유물이라던지, 오염 상태에 따라 시정 확보가 어려워 시각적인 조사가 어려운 경우도 있다.

따라서, 본 연구에서는 양방향음파탐사기(Side Scan Sonar) 및 DGPS(Differential Global Positioning System)를 연계한 해저면 탐사 기술과 그래프, 코어러를 이용한 폐기물 표본 조사 방법을 이용한 개략 실태조사 체계를 구축하여 이를 토대로 조사대상 지역에 대한 수중침적 폐기물 실태를 조사하였다.

## 2.2 개략 실태조사 방법

항 내 수중침적 폐기물 실태 파악을 위해 본 연구에서는 개략 실태조사를 크게 해지면 상부에 쌓여있는 폐기물 분포 현황을 파악하기 위한 수평분포 실태조사와 해지면 하부에 침적되어 있는 폐기물 현황을 파악하기 위한 연직분포 실태조사로 나누어 각각 수행하였으며, 이들 각각에 대한 조사 방법은 다음에 기술한 바와 같다.

### (1) 수평분포 실태조사

수평분포 실태조사에서는 해지면 상태를 탐사하기 위한 양방향음파탐사기와 탐사 위치 파악을 위한 측위장비인 DGPS(Differential Global Positioning System)가 사용되었다. 양방향음파탐사기는 영국 Ultra Electronic사의 제품(모델명:3050E Widescan)으로서 Fig. 1과 같은 형태를 가지며, Fig. 2와 같은 구조의 체계로 구성되어 있다. 그리고 양방향음파탐사기에 의한 조사시 위치 측정에 사용된 DGPS는 기존의 GPS 장비를 조합하여 구성하였으며 미국 Garmin사의 휴대용 GPS와 Beacon Receiver를 이용하여 구성하였다.

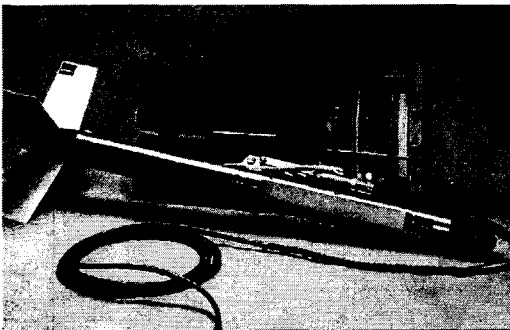


Fig. 1 양방향 음파 탐사기

수평분포 실태조사는 항 내 수중침적 폐기물이 많이 있을 것으로 예상되는 선박 접안 시설 지역의 해저면을 중점적으로 조사하는 것을 원칙으로 하였으며, 조사대상 항의 특성을 감안하여 항 내 중앙부에 대한 해저면을 추가로 조사하였다. 이때 양방향음파탐사기는 선박의 후미에서 바다 속에 입수된 채, 약 2~4노트의 속도로 예인되면서 대상 해역의 해저면을 연속적으로 탐사하게 된다. 해저면 탐사 결과는 컴퓨터에 탐사 위치와

함께 이미지 형태로 기록된다. Fig. 3은 본 수평분포 실태조사 수행 내용에 대한 개념도를 보여주고 있다.

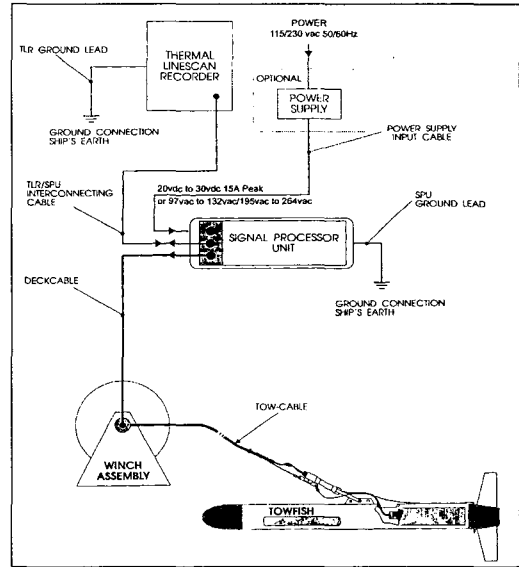


Fig. 2 양방향음파탐사기의 시스템 구성도

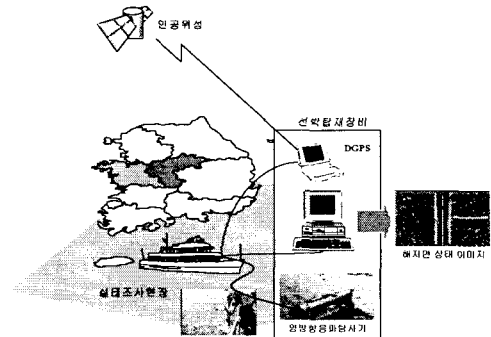


Fig. 3 수평분포 실태조사 현장작업 체계도

Fig. 4는 앞서 설명한 조사 방법에 따라 항 내 수중침적 폐기물 수평분포 실태를 파악하기 위해 실시된 조사경로의 예를 나타내고 있으며, Fig. 5는 양방향음파탐사기에 의한 해저면 탐사 결과 이미지의 예를 보여주고 있다.

양방향음파탐사기에 의해 획득된 해저면의 이미지는 Fig. 5와 같이 이동체궤를 따라 좌현쪽과 우현쪽의 해저면 형상을 나타낸다. 중앙의 굵은

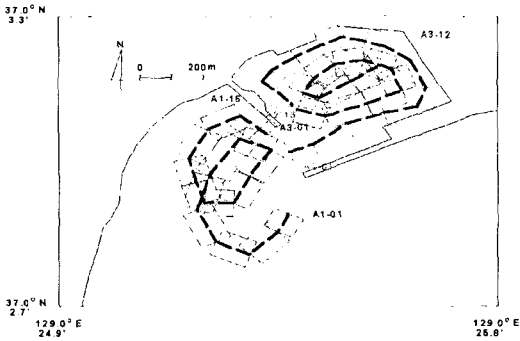


Fig. 4 수평분포 실태조사 경로 예

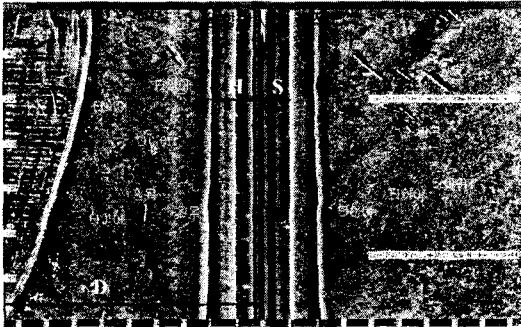


Fig. 5 해저면 이미지의 예

수직 화살표는 양방향음파탐사기가 지나간 궤적을 나타내며, 하단의 검은 띠는 탐사 폭, 띠 안의 숫자는 양방향음파탐사기 궤적으로부터의 거리를 각각 표시하고 있다. 그리고 오른쪽 끝단의 흰 띠는 탐사선의 운항 정보를 나타내는 것으로서 경위도, 탐사선의 진행방향, 속도 등을 보여주고 있다. 또한, 그림 아래쪽에 D로 표시되어 있는 거리는 양방향음파탐사기의 궤적으로부터의 수평 거리를 나타내며, H와 S는 양방향음파탐사기의 해저면으로부터의 고도와 양방향음파탐사기의 수면으로부터의 깊이를 각각 의미한다. 따라서 양방향음파탐사기의 이동 궤적에 따른 수심은 'H+S'로 계산될 수 있다.

한편, Fig. 5의 이미지로부터 타이어, 원목과 같은 고형 침적 폐기물이 해저면에 침적되어 있음을 알 수 있으며, 이들 폐기물의 규모는 앞서 언급한 바와 같이 이미지 상에 나타나는 정보들로부터 추정할 수 있다.

이상과 같은 방법에 의해 실태조사로부터 획득

된 이미지 자료로부터 조사 대상지역에 대한 해저면 상부의 수중침적 폐기물의 분포 실태를 파악하였다.

## (2) 연직분포 실태조사

연직분포 실태조사는 양방향음파탐사기를 이용하여 수평분포 실태조사가 수행된 해역을 대상으로 GPS를 이용하여 조사위치를 정확하게 확인한 후 그랩을 이용하여 표층퇴적물 및 고형 폐기물을 채취하여 고형 폐기물 및 퇴적물은 무게를 측정하고 체(Sieve)를 이용하여 고형 폐기물을 분리한 후 폐기물의 종류, 갯수 및 함량을 측정하는 방식으로 수행하였다. 그랩을 이용하여 폐기물이 채취되지 않을 경우는 실제 물 속으로 입수하여 저층의 폐기물 존재 유무를 확인하였다. Fig. 6은 그랩을 이용한 조사 광경의 일부를 보여주고 있으며, Fig. 7은 채취된 표층 시료의 예를 보여주고 있다.

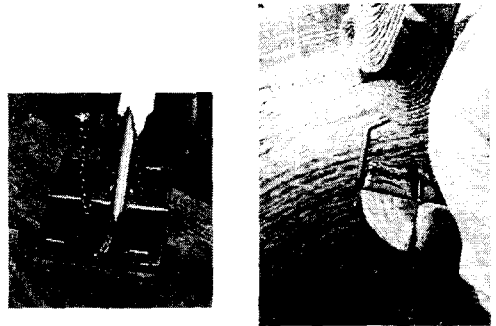


Fig. 6 그랩을 이용한 작업 광경 예



Fig. 7 채취된 표층 시료의 예

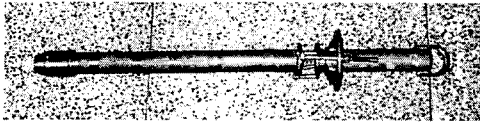


Fig. 8 연직 퇴적물 채취용 코어러

그리고, 표층 고품 폐기물을 채취한 동일한 정점에서 코어러(Fig. 8 참조)를 이용하여 약 1 m 이내의 연직 퇴적물을 채취하였다. 코어의 분석은 코어를 반으로 절단하여 연직적인 사진촬영과 퇴적물의 종류, 색깔, 쓰레기의 존재 및 오염상태 등을 육안 및 현미경하에서 관찰하였고, 깊이에 따른 오염정도를 상·중·하로 구분하고 최종적인 오염깊이를 결정하였다. 오염정도는 코어 절개 후 나타나는 색깔, 폐기물의 존재 및 냄새 등을 기준으로 하여 가장 심한 부분은 악취가 심하며 유기물의 함량이 높아 검은색을 띠는 경우를 상으로, 냄새가 약간 있거나 또는 냄새는 없어도 매우 검은색을 띠는 경우는 중간정도의 오염으로, 냄새가 없고 옅은 색깔을 띠는 경우에는 오염이 거의 되지 않은 하로 구분하였다. Fig. 9는 코어러를 이용하여 채취한 연직 시료의 예를 보여주고 있다.

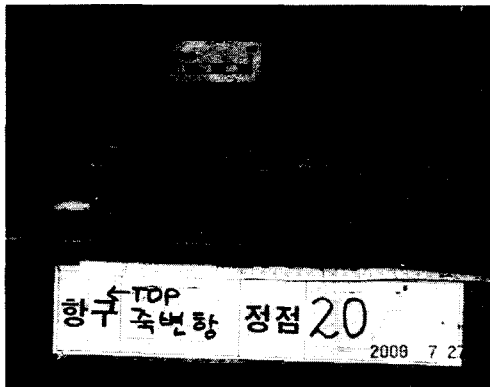


Fig. 9 연직 시료의 예

### 3. 실태조사 대상 지역 및 결과 분석

#### 3.1 조사대상 지역

개략 실태조사는 지난 1999년도부터 2000년까지 2년간에 걸쳐 국내 무역항, 연안항 및 1·3종 어

항을 대상으로 총 137개항에 대해 실시하였다. 항 종류별 및 해역별 대상지역의 수는 Table 1에 나타나 있는 바와 같다.

Table 1 수중침적 폐기물 실태조사 대상 지역

해역	동해안	남해안	서해안
무역항	속초항 외 6개소	부산항 외 12개소	인천항 외 6개소
연안항	주문진항 외 4개소	부산남항 외 11개소	대천항 외 3개소
1종어항	대진항 외 27개소	대변항 외 27개소	삼길포항 외 7개소
3종어항	저동항 외 2개소	안마항 외 11개소	어청도항 외 9개소

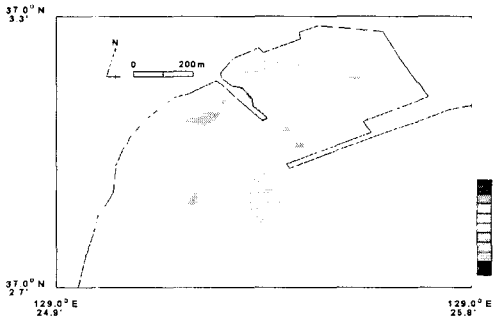
#### 3.2 조사분석 결과

조사대상 지역에 대한 수중침적 폐기물 개략 실태조사의 주목적은 조사 대상 지역의 해저면에 침적되어 있는 고품 폐기물의 분포 현황을 파악하여 침적 폐기물에 의한 오염이 상대적으로 심한 지역을 선정하여 효율적인 수중침적 폐기물 수거처리 사업을 추진할 수 있도록 기본자료를 제공하는데 있다.

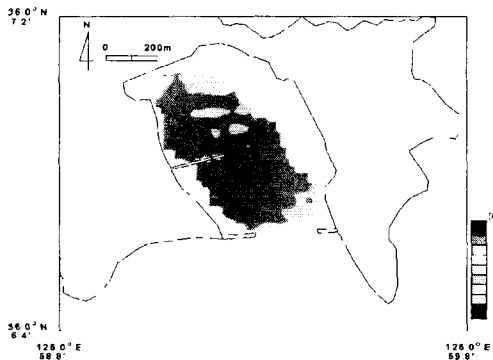
이를 위해 우선 수평분포 실태조사 결과를 토대로 한 해저면 상부 수중침적 폐기물 종류 및 양을 추정하고, 연직분포 실태조사의 그래프에 의한 샘플링 분석 결과와 오염정도에 따른 폐기물 침적 추정계수를 토대로 한 해저면 하부 수중침적 폐기물 종류 및 양을 각각 추정한 후, 이들 조사 결과에 따른 추정물량을 토대로 보간 기법을 이용하여 조사 대상지역에 대한 수중침적 폐기물 분포도를 작성함과 동시에 총 수중침적 폐기물량을 추정하였다. 폐기물 현황을 조사할 경우, 일반적으로 조사된 폐기물의 양을 개수 혹은 중량으로 표시하는데, 본 연구에서는 중량을 기준으로 하였다.

Fig. 10은 각 조사대상 항에 대한 항 내 수중침적 폐기물 분포를 분석한 결과 중의 하나인 폐기물 분포도의 한 예로서, 동해안의 죽변항과 서해안에 위치해 있는 어청도항에 대한 수중침적 폐기물 분포 현황을 보여주고 있다. 이러한 분포도는 항 내 수중침적 폐기물의 분포 양상을 쉽게

파악할 수 있어 수거처리 사업을 위한 기본자료로 활용할 수 있도록 하였다.



(죽변항)



(어청도항)

Fig. 10 수중침적 폐기물 개략 분포도 작성 예

참고로, 조사 대상지역에 대한 수중침적 폐기물 분포 현황은 개략 실태조사 작업이 이루어진 지역에 대한 것으로서, 실태조사 시 해당 항의 지형적 특성에 의해 조사가 이루어지지 못한 구역, 예를 들면 수심이 얕아 조사가 어려운 구역, 선박이 과도하게 정박되어 있는 구역, 양식장 시설이 있는 구역 등에 대한 수중침적 폐기물 분포 현황은 고려되어 있지 않다.

개략 실태조사 분석 결과로부터 조사 대상 지역인 국내 항만 및 어항에 대해 약 35,000톤 이상의 고형 폐기물이 해저면에 침적되어 있는 것으로 추정되었으며, 이에 대한 폐기물 종류별 구성 현황을 살펴보면 페타이어 5%, 와이어로프류 16%, 로프류 25%, 폐목류 8%, 금속류 22%, 기타

폐기물 21%인 것으로 나타났다.

개략 실태조사의 추정 결과로부터 항 내의 수중침적 폐기물 발생원은 육상에서 유입되는 폐기물 보다는 어업 기인에 의한 것이 많은 비중을 차지하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 11은 모든 조사대상 지역에 대한 개략 실태조사 결과로부터 추정된 폐기물의 종류별 구성 현황을 보여주고 있으며, Fig. 12는 각 해역별로 추정된 수중침적 폐기물 종류별 비교 현황을 보여주고 있다. 그리고, 해역별 항 내 수중침적 폐기물 분포 실태는 Fig. 13에 나타나 있는 바와 같다.

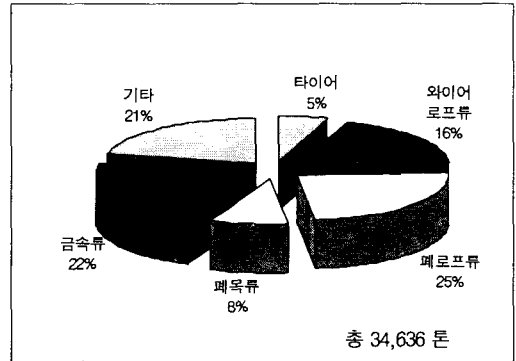


Fig. 11 동서남해 및 제주도 해역의 항 내수중침적 폐기물 종류별 구성 현황

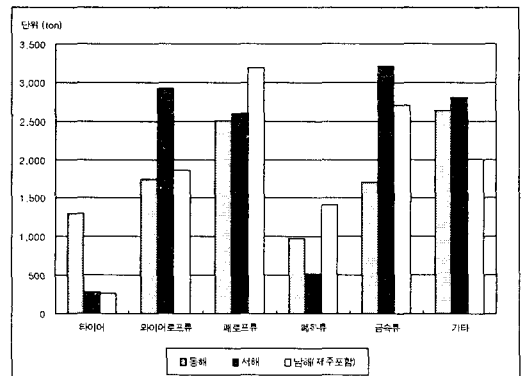
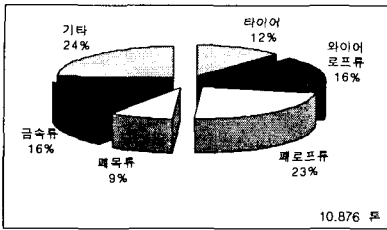
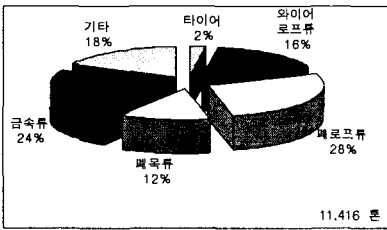


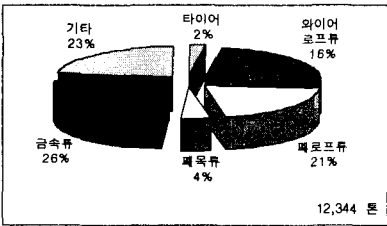
Fig. 12 해역별 수중침적 폐기물 종류별 추정량 비교 현황



(a) 동해안



(b) 남해안(제주도 포함)



(c) 서해안

Fig. 13 해역별 항 내 수중침적 폐기물 종류별 구성현황

#### 4. 결 론

해양은 21세기 인류 번영을 위한 귀중한 자산이며 소중한 삶의 터전으로 인식되고 있으며, 특히 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 경우 해양을 어떻게 보전하고 이용하느냐에 따라서 나라의 장래가 좌우될 수 있는 위치에 있다고 해도 과언은 아니다. 이러한 해양을 보전하고 그 중요성을 새롭게 인식하는 차원에서 해저면에 쌓여있는 수중침적 폐기물에 대한 실태조사는 국가적인 관심과 국민생활과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 이러한 배경에서 본 연구를 통해 국내 연안의 무

역항, 연안항, 1·3종 어항에 대한 수중침적 폐기물의 분포 실태를 파악하고, 정부의 효율적인 수중침적 폐기물 수거처리 사업의 추진을 위한 기본자료로 활용할 수 있도록 조사대상 항에 대한 수중침적 폐기물 개략 분포도를 작성하였다. 한편, 본 연구로부터 국내 연안의 항 내 수중침적 폐기물은 어업 활동과 밀접한 관계가 있는 폐로프류만 고려해도 전체 폐기물 추정량 중 차지하는 비율이 40% 이상인 것으로 나타났으며, 이외의 폐기물 분포 현황을 고려해 볼 때 어업기인에 의한 수중침적 폐기물이 전체 폐기물 중에서 약 70% 이상인 것으로 추정되었다.

본 연구는 국내 연안에 위치해 있는 주요 항만 및 어항의 항 내 수중침적 폐기물의 실태를 파악한 것으로서, 추후 어류 등 해양 유용생물의 산란장 및 서식지 등 수산학적, 생태적으로 중요한 연근해 지역에 대한 수중침적 폐기물에 대한 실태조사도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 해양수산부의 연구비 지원에 의해 수행된 “항만 및 어항 등에 대한 수중침적 폐기물 실태조사” 사업 연구 결과의 일부입니다.

그리고, 현장 연구 수행에 도움을 주신 각 지방해양수산청, 한국어항협회 소속 지원 선박의 모든 승조원 분들과 본 연구 사업의 자료 분석과 결과 도출에 노고를 아끼지 않으신 모든 참여 연구원들에게 진심으로 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 강창구 외, “수중침적 폐기물 정화사업 실태조사 및 분포도 작성”, 한국해양연구소 연구보고서, 1999. 12.
- [2] 강창구 외, “항만 및 어항 등에 대한 수중침적 폐기물 실태조사”, 한국해양연구원 연구보고서, UCM00905-2297, 2001. 2.
- [3] Ultra Electronics, “Handbook for model 3050E Widescan”, 1996.
- [4] James M. Coe, Donald B. Rogers, “Marine Debris: Sources, Impacts, and Solutions”, Springer, NY, 1997.