

해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성 분석

권영주¹ · 박세현² · 유승훈^{1,†}

¹서울과학기술대학교 에너지환경대학원

²한국해양과학기술원 해양정책연구소

Economic Feasibility Analysis of Marine Debris Pollution Abatement Technology Program

Young-Ju Kwon¹, Se-Hun Park² and Seung-Hoon Yoo^{1,†}

¹Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

²Ocean Policy Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Ansan 426-744, Korea

요 약

정부는 해양쓰레기에 대한 모니터링 및 환경영향평가 등 과학적인 연구사업을 통해 해양쓰레기의 영향을 저감시키고 체계적으로 관리하기 위한 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 시행을 고려하고 있다. 이에 본 연구에서는 이 사업에 대한 경제적 타당성을 분석함으로써 정책판단에 있어서 유용한 정보를 제공하고자 한다. 이를 위해 경제성 분석 지표인 순현재가치, 편익/비용 비율, 내부수익률을 분석하여 제시한다. 분석결과 순현재가치, 편익/비용 비율, 내부수익률은 각각 457억원, 2.72, 17.12%로 산정되어 각각 0, 1.0, 5.5%를 상회하므로 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업은 비용-편익 분석을 통과한다. 따라서 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업을 시행하는 것은 사회적으로 바람직하다.

Abstract – The Korean government is considering the implementation of the marine debris pollution abatement technology program (MDPATP) to mitigate the negative impacts of marine debris and systematically manage marine debris through scientific researches such as monitoring and environmental impact assessment of marine debris. In this regard, this study attempts to analyze the economic feasibility of the MDPATP in order to provide policy-maker with useful information. To this end, the indices for economic feasibility such as net present value (NPV), benefit/cost (B/C) ratio, and internal rate of return (IRR) are presented. The results show that NPV, B/C ratio, and IRR are computed to be 45.7 billion won, 2.72, and 17.12%, respectively, which are bigger than 0, 1.0, and 5.5%, and that the MDPATP passes the cost-benefit analysis. Thus, it is concluded that it is socially profitable to conduct the MDPATP.

Keywords: Marine debris(해양쓰레기), Economic feasibility(경제적 타당성), Net present value(순현재가치), Benefit/cost ratio(편익/비용 비율), Internal rate of return(내부수익률)

1. 서 론

국내·외적으로 이슈가 되고 있는 해양쓰레기는 해안, 해상 및 해저에 존재한다. 해양쓰레기는 강·하천, 해안가, 선박, 해상구조물 등 오염기원이 다양하고, 해양에 유입·배출되면 빠르게 확산되며, 침적시 육안관찰이 불가능하여 발생량을 정확히 산출할 수 없다(Cheshire *et al.*[2009]). 해양쓰레기는 플라스틱류, 유리류, 고무류, 금속류, 나무류, 옷감류의 형태로 분류(Metar and Parida[2004])된다. 이 중에서도 해양쓰레기 생산량의 약 60~80%를 차지하는 플라스

틱은 전세계적으로 1950년대 이후부터 현재까지 지속적으로 증가하고 있으며, 2012년에는 2억 8천만톤에서 2050년까지 330억톤이 생산될 것으로 추정하고 있다(Rochman *et al.*[2013]). 따라서 해양쓰레기의 양도 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다.

해양쓰레기는 해양생태계 피해, 수산업 피해, 해상안전 위협, 해양 관광 자원 훼손, 수거처리 비용 등의 가시적인 영향을 미치고 있다. 생물다양성협약에서 의하면 모든 바다거북 종류, 바닷새의 21%, 세계자연보존연맹 멸종위기종 목록에 등록된 120종의 해양포유류 중 45%가 플라스틱 봉지, 밧줄, 낚시줄, 그물 등에 얽힘으로 해양쓰레기 피해를 입고 있다(Rochman *et al.*[2013]). 또한 해양쓰레기가 저층에 침적할 경우 퇴적층과 수층사이의 산소교환을 방해하여

[†]Corresponding author: shyoo@seoultech.ac.kr

저서생물의 서식환경을 훼손하거나 연안습지의 해양생물 산란, 서식 기능에 영향을 준다. 해양쓰레기는 부유쓰레기의 경우 이동성 때문에 외래종을 이동시킬 수 있고, 부착생물뿐만 아니라 조류와 병원균이 외국의 해역으로 이동하여 생태계를 교란시킬 수 있다(Hall[2000]).

해양쓰레기는 버려지거나 유실된 어구에 의한 생물치사로 수산 자원을 감소시키며 그물에 걸려 수산활동에 피해를 준다(Allsopp et al.[2006]; Hall[2000]; Ten Brink et al.[2009]). 부유하는 해양쓰레기는 선박의 추진기나 키에 얽혀 작동 문제를 일으키거나 냉각수 유입구를 막아 냉각계통에 영향을 줄 수 있어 해상안전을 위협한다. 2005년에 미국 해양 구조대는 해양쓰레기와 관련된 269건의 사고를 구조했는데, 15명의 사망자, 116명의 부상자, 3백만달러(약 36억원)의 재산상 손실을 가져왔다(Moore[2008]).

특히 관광지 해변에 존재하는 해양쓰레기는 심미적 가치에 영향을 미쳐 해변 이용자의 즐거움을 감소시키고 주변 지역의 부동산 가치를 떨어뜨릴 수 있다(Mouat et al.[2010]; Ofiara and Seneca[2006]). 실제로 우리나라의 해변 어느 곳을 방문하여도 쓰레기는 쉽게 발견할 수 있으며, 거제도 해수욕장과 같은 일부 지역은 장마철 이후에 강으로부터 대량으로 유입되는 쓰레기가 여름철 관광객 유치에 큰 영향을 미치고 있다(Jang et al.[2014]). 해양쓰레기의 수거처리 비용은 영국 지방자치단체들의 경우 연간 약 250억원이 소요되고 있으며, 덴마크, 스웨덴, 영국, 노르웨이의 지자체에서는 해안 정화 비용으로 약 53억원이 투입되고 있다(Hall[2000]). 우리나라도 연간 해변 및 침적쓰레기의 일부를 수거하는 데만 연평균 300억원 이상의 비용이 소요된다(MLTM et al.[2008]). 이렇듯 해양쓰레기로 인한 환경적·경제적 피해는 특정 영역(관광, 수산, 선박운항 등)에 종사하는 사업자뿐만 아니라 그 서비스를 이용하는 국민 대다수가 입고 있으며, 생태계의 훼손은 현재는 물론 미래의 세대까지 영향을 끼칠 수 있다.

따라서 국민의 삶의 질 향상을 위하여 해양쓰레기 저감 및 관리를 위한 방안 수립이 필요하다. 이를 위해 해양쓰레기의 양과 영향을 측정할 수 있는 수단을 개발하고, 이를 활용하여 정책 수립 및 이행에 따른 해양쓰레기 양과 영향의 저감효과를 평가할 수 있는 ‘해양쓰레기 오염대응 기술개발사업’이 기획되었다. 이 사업은 궁극적으로 해양환경에 유해하지 않은 수준으로 해양쓰레기 오염을 저감하고 관리할 수 있는 체계를 구축하고자 한다.

본 연구에서는 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성을 분석하고자 한다. 이를 위한 본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 해양쓰레기 국내·외 동향을 살펴본다. 제3절에서는 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 개요를 설명한다. 제4절에서는 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 편익을 추정한다. 제5절에서는 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성 분석결과를 제시한다. 마지막 절은 결론으로 할애한다.

2. 해양쓰레기 국내·외 동향

해양쓰레기로 인한 사회적·경제적 피해가 증가하고 쓰레기로부터

해양환경 보호를 위한 국제사회의 노력은 강화되고 있다. 해양환경보호와 관련된 국제협약¹⁾ 및 프로그램²⁾이 추진되고 있으며, 특히 2011년 제5차 해양쓰레기 국제컨퍼런스에서는 가장 종합적인 지구적 해양쓰레기 대응 지침으로서 ‘호놀룰루 전략(Honolulu Strategy)’이 채택되었다. 이 지침의 이행을 위해 2012년에는 ‘해양쓰레기 지구적 파트너십(Global Partnership on Marine Litter)’이 구성되었다. 또한 EU에서는 해양전략기본지침(Marine Strategy Framework Directive(2008/56/EC))가 제정되어 EU의 해양쓰레기 관리 정책은 법적근거를 가지게 되었고, 미국은 2006년에 제정된 ‘해양쓰레기 연구·예방·저감법(Marine Debris Research, Prevention, and Reduction Act)’에 따라 해양쓰레기 프로그램(Marine Debris Program)을 해양대기청에서 운영하고 있다.

우리나라는 해양쓰레기에 대한 정책으로서 해양환경관리법을 기반으로 2008년에 ‘제1차 해양쓰레기 관리 기본계획(2009~2013)’을 수립하였다(MLTM et al.[2008]). 하지만 제1차 해양쓰레기 관리 기본계획은 해양쓰레기의 발생을 최소화하고 해양쓰레기 수거·처리능력을 강화하며, 해양쓰레기의 관리기반 구축과 시민참여 및 국제협력 강화를 전략적으로 추진하고자 하였으나 대부분의 성과는 미흡하였다. 이에 2013년에 수립된 ‘제2차 해양쓰레기 관리 기본계획(2014~2018)’에서는 해양쓰레기의 발생 최소화 및 국민공감형 수거사업 강화와 과학적이고 능동적인 해양쓰레기 정책 인프라를 구축하고자 한다(KOEM[2013]).

또한 2011년에 신설된 ‘해양쓰레기대응센터’는 제1차 해양쓰레기 관리 기본계획에 따라 해양쓰레기 관련 연구와 정책의 통합 및 조정하는 역할을 수행하고자 하였지만 시스템과 전담조직의 구축 미비로 정책지원 및 정보제공의 기능이 원활하게 수행되지 못하고 있다. ‘제4차 해양환경종합계획(2011~2020)’에서는 연안유입 오염물질 및 해양쓰레기 관리 강화가 추진 전략에 포함되었고, 해양쓰레기 유입저감을 위한 관리체제 강화와 해양쓰레기 수거·처리 사업의 지속 추진을 제시하였다(MLTM et al.[2011]).

해양쓰레기에 대한 국내 연구자의 연구로는 해변, 부유, 침적쓰레기의 지역적 분포, 성상 등에 관한 연구(Lee et al.[2006]; Lee et al.[2007]; Lee et al.[2013]; Hong et al.[2001]; Song et al.[2001]; Yoo et al.[2007]; Kim and Yoon[2009]; Jang et al.[2012]; Koo et al.[2000])와 해양쓰레기로 인한 피해에 대한 연구(Kim and Kang[2012]; Hong et al.[2013a]; Chae[2011]) 그리고 정책에 대한 연구(Choi[2005], Choi[2009]; Jung et al.[2010]; Hong et al.[2013b]; Jang et al.[2013]) 등이 있다.

해양쓰레기는 종류와 형태가 복잡하여 표준화된 조사기법에 따라 일관되게 조사가 되어야 오염 현황 및 추세 자료를 확보하여 정

¹⁾런던협약(London Convention, 1972), 선박기인 오염 방지 국제협약(MARPOL 73/78, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973)의 부속서 V, 유엔해양법 협약 (UNCLOS, UN Convention on the Law of the Sea, 1982) 등이 있다.

²⁾UNEP 산하의 12개 지역해 프로그램(Regional Sea Conventions and Action Plan)들이 대부분 해양쓰레기 대응 활동을 전개하고 있으며, 정부간 해양위원회(IOC, Intergovernmental Oceanographic Commission)와 공동으로 해양쓰레기 모니터링 가이드라인을 발간하였고(Cheshire et al.[2009]), UN 식량농업기구(FAO, Food and Agriculture Organization)와는 폐 어구 예방과 영향 저감을 위한 보고서를 발간한 바 있다(Macfiadyen et al.[2009]).

책결정에 활용할 수 있으나, 국내의 경우 해안표착 대형쓰레기에 대한 조사법만이 표준화되어 있을 뿐, 부유·해저·침적·미세플라스틱 등의 경우에는 조사기법 및 지침이 없으며, 오염실태 조사 자료도 극히 제한되어 있다. 국내 연안의 해양쓰레기는 이미 해양생태계, 미관훼손, 수산업 및 선박안전 등에 가시적인 피해를 유발하고 있으나, 이들에 대한 과학적인 자료에 근거한 해양쓰레기 저감 및 관리 정책 수립을 위한 기술과 자료는 미비하다.

3. 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 개요

해양쓰레기는 국제적인 해양환경 문제로 대두되고 있을 뿐만 아니라, 국내 연안환경에서 생태계, 관광, 수산 및 선박안전에 가시적인 영향을 주고 있다. 하지만 현재 국내에 해양쓰레기의 오염수준과 환경에 미치는 영향을 평가할 수 있는 기술은 물론 이들에 대한 정량적인 자료가 미약하여 효율적인 해양쓰레기 저감 및 관리 정책을 수립하기 어려운 실정이다. 이에 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업이 기획되었다. 이 사업의 정책목표는 관리체계 구축을 통한 해양쓰레기 양과 영향의 20% 저감이다. 그에 따른 연구개발 목표³⁾는 해양쓰레기 오염과 영향을 관측하고 해양 쓰레기 평가 및 관리기술을 고도화하여 좋은 환경질을 유지할 수 있도록 해양쓰레기를 저감하고 관리할 수 있는 체계를 구축하는 것이다. 이를 위해 쓰레기의 양과 영향을 측정할 수 있는 수단을 개발하고, 이를 활용하여 정책 수립과 이행에 따른 해양쓰레기의 양과 영향의 저감효과를 평가한다. 궁극적으로는 해양쓰레기의 효율적인 예산집행과 관리 방안을 마련하여 해양쓰레기로 인한 경제적 피해규모를 줄일 수 있을 것으로 전망된다.

또한, 총 연구기간은 2차 및 3차 해양쓰레기 관리 기본계획이 이행될 2014년부터 2023년까지로 하고, 연구단계를 해양쓰레기 관리 기본계획과 연동시키기 위하여 2단계(1단계: 2014~2018 / 2단계:

2018~2023)로 구분하였다. 연구분야는 1) 해양쓰레기의 유입량과 현존량 평가 분야, 2) 미세플라스틱의 오염과 독성평가 분야, 3) 해양쓰레기에 의한 환경적 및 경제적 영향 평가를 대상으로 한다.

분야별로 간략히 살펴보면, 해양쓰레기의 유입량과 현존량 평가는 해양쓰레기의 유입, 이동, 분포 및 현존량을 관측하고 평가기술 개발과 국내 연안의 유입량과 현존량을 평가한다. 미세플라스틱의 오염과 독성평가는 미세플라스틱의 오염, 미세화, 흡착/침착 오염물질 및 생물독성 평가기술을 개발하고, 국내 연안의 미세플라스틱에 의한 오염과 생태위해성을 평가한다. 해양쓰레기에 의한 환경적 및 경제적 영향 평가는 해양쓰레기에 의한 생물, 환경 및 경제적 영향을 평가할 수 있는 기술을 개발하고, 국내 연안에서의 영향을 평가하는 것을 주요내용으로 한다.

또한 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업은 세부 분야별 전문가들이 도출한 주요 키워드를 활용하여 2002년부터 2011년까지의 전세계 관련 논문 데이터 분석을 통해 주요 세부기술을 도출하였으며, 사업비용은 기술수요조사 및 과제별 유형, 우선순위 설정 및 예산 배분을 통하여 예산규모를 산정하였다. 최종적으로 3개 분야별(해양쓰레기의 유입량과 현존량 평가, 미세플라스틱의 오염과 독성평가, 해양쓰레기에 의한 환경적 및 경제적 영향 평가)의 사업비용은 총 371억원이며 세부적인 비용추정 결과는 Table 1에 제시되어 있다.

4. 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 편익 추정

4.1 편익 추정 방법

해양쓰레기 오염대응 기술개발사업은 정부의 재원으로 수행되어야 할 사업이므로 편익추정 방법을 결정하기 위해서는 먼저 Fig. 1과 같이 국가 R&D 사업의 경제성 분석 절차를 살펴볼 필요가 있다.

편익의 추정과 관련하여 연구개발부문 사업의 예바타당성조사

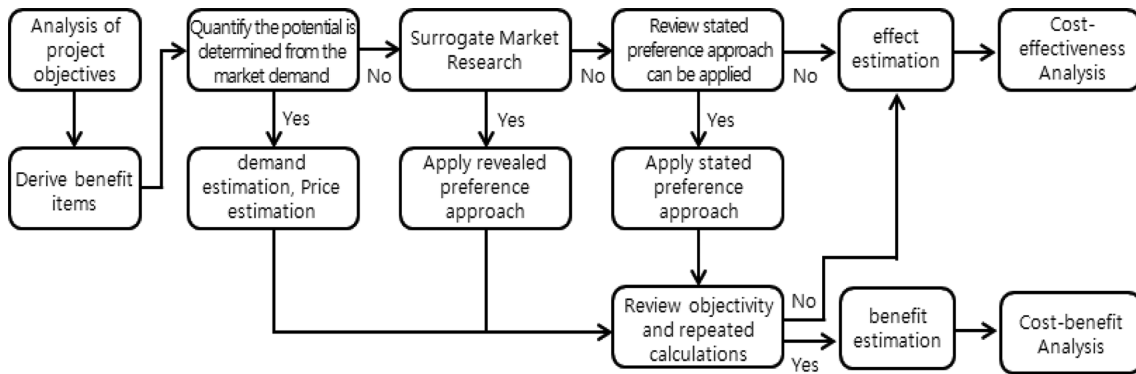
Table 1. Annual cost estimates for development of marine debris pollution abatement technology program

(Unit: 100 million won)

		1 Stage					2 Stage					Total
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Assessment of input, distribution, transportation and standing-stock	Development of indicators for input and standing-stock	14	16	17	19	19						85
	Monitoring and assessment of input and standing-stock						19	19	17	14	13	82
	Sub-total	14	16	17	19	19	19	19	17	14	13	167
Assessment of microplastic pollution and toxicity	Development of indicators for microplastic pollution	8	8	8	10	10						44
	Ecological risk assessment of microplastics						12	10	8	8	8	46
	Sub-total	8	8	8	10	10	12	10	8	8	8	90
Assessment of environmental and economic damage	Development of indicators for damage	10	10	11	12	12						55
	Monitoring and assessment of damage						13	13	12	11	10	59
	Sub-total	10	10	11	12	12	13	13	12	11	10	114
Total												
		32	34	36	41	41	44	42	37	33	31	371

Source: MOF[2013]

³⁾정책목표 및 이와 연계된 연구개발 목표는 ‘호놀룰루 전략(Honolulu Strategy)’과 EU의 해양전략기본지침을 근간으로 하였다.



Source : KISTEP[2011a]

Fig. 1. R&D process in the economic feasibility analysis.

표준지침 연구(제1판)에서는 가능한 몇 가지 편익추정방법을 제시하고 있다(KISTEP[2011a]). 이러한 편익추정방법은 가치를 가치 창출 대 비용감소로 구분하고 있다. 가치창출로 볼 때는 시장수요 접근법(market demand approach)과 로열티 수입접근법(royalty income approach)으로 구분하고 있지만 로열티 수입접근법은 거의 사용되지 않는 방법론이며, R&D 사업에 대한 예비타당성조사에서는 주로 시장수요 접근법이 적용되고 있지만 사업화가 전제되어 있는 R&D 사업이 주된 대상이다. R&D 사업의 경제적 편익을 추정하는 다른 한 축은 비용감소분을 평가하는 것으로서 생산비용 접근법(production cost approach) 및 피해비용 접근법(damage cost approach)으로 구분된다. 전자는 주로 산업체를 대상으로 하여 제품이나 서비스를 생산하는 데 있어서 절감되는 비용감소분을 평가하여 이를 편익으로 간주하는 방법이다. 비용감소분을 다른 생산적인 곳에 투자하면 최소한 비용감소분 만큼의 경제적 편익이 발생할 것이라는 가정에 근거한다. 피해비용 접근법은 R&D의 결과물로 인해 국민들의 피해가 줄어든다면 그 피해감소분이 바로 편익이라고 보는 것으로서 매우 직관적이다. 따라서, 본 연구에 부합하는 편익 항목은 ‘피해비용 감소’라 할 수 있으며, 편익추정 방법론은 피해비용 감소를 평가하는 ‘피해비용 접근법’이라 할 수 있다.

4.2 편익 발생기간

우리나라에서 R&D 사업의 경제적 타당성 평가와 관련하여 KISTEP[2011a]이 작성한 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)’은 기획재정부의 공식적인 가이드라인으로 활용되고 있다. 따라서 R&D 사업의 경제성 분석은 이 지침에 근거하는 것이 불필요한 논란을 방지할 수 있다.

편익발생 시점은 R&D 사업의 수행 중간에 편익이 발생할 수도 있지만, R&D 사업의 예비타당성조사에서는 특별한 경우를 제외하고 R&D 사업의 기술개발이 완료된 이후 기술의 적용 내지는 시행으로 인해 편익이 발생하는 것으로 다루고 있다. 이것은 R&D 사업 수행 중에 일부 기술의 개발이 완료될 수 있지만 편익이 실현되기 위해서는 아직 개발이 완료되지 않은 다른 기술과 결합되어야 하며 기술개발이 완료되었다고 해서 편익이 실현되는 것이 아니라 정부

가 정책으로 집행을 해야 편익이 실현되므로 R&D 사업이 종료된 다음연도부터 편익이 발생하는 것으로 다루고 있다. 물론 R&D 사업이 종료되어도 플랜트가 필요하여 2~3년의 회임기간이 필요하다면 회임기간까지도 종료된 이후부터 편익이 발생하는 것으로 다룬다. 요컨대 본 연구에서는 국가 R&D 사업의 예비타당성조사 관례에 따라 R&D 사업 종료 직후부터 편익이 발생한다고 간주하였다.

편익 발생기간은 예비타당성조사를 위한 지식기반 및 분석시스템 구축(KISTEP[2011b])에서 2000년부터 2009년까지 미국 등록 특허 155만 여건의 인용정보를 이용해 국제특허분류(IPC) 클래스별 기술수명주기 중위수(median)를 산정하여 제시한 바, 이에 근거하여 편익발생 기간을 결정해야 한다. 그렇다면 본 해양쓰레기 오염대응 기술은 ‘B09 고체 폐기물의 처리; 오염된 토양의 재생(폐수, 하수 또는 슬러지의 처리 C02F; 방사능 오염 고체 물질의 처리)’에 해당하며, 기술수명주기 중위수는 8.5년으로 전체 클래스 중위수 평균값인 11.47년에 비해 낮은 편이다. 편의상 이 값을 반올림한 9년으로 편익발생 기간을 산정한다. 즉 편익은 사업종료 다음 연도인 2024년부터 2032년까지 9년 동안 발생하는 것으로 가정한다. 따라서 경제적 타당성 분석 대상 기간은 R&D 기간 및 편익발생 기간 모두를 포함한 2014년부터 2032년까지의 19년간이다.

4.3 사업기여율

사업기여율은 대응투자액을 정확하게 산정하기 어렵기 때문에 R&D 사업의 경제성 분석에서 자주 논란이 되고 있다. KISTEP[2011a]의 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)에서는 사업기여율과 관련하여 해당부처 혹은 타 부처의 관련 R&D 비용을 수집하여 평가대상 R&D 사업만의 비중을 구할 것을 제안하고 있다. 몇 가지 예비타당성조사 사례를 참고해 보면, KISTEP[2012]의 첨단센서 및 USN기반 하천·물환경 모니터링 기술개발 사업에 대한 예비타당성조사에서는 관련 타 R&D 사업의 비용을 감안하여 84%를 적용함과 동시에 관련성이 약할 수 있기에 대안으로서 100%를 적용하였다. 또한 KISTEP[2011c]이 수행한 정치제도위성개발사업 해양탐체제 분야 R&D 사업 예비타당성조사에서는 해양환경피해 절감편익 산정시 사업기여율 100%를 적용한 바 있다.

본 연구에서는 다소 보수적인 접근을 위해 다음과 같이 사업기여율을 산정하여 적용하고자 한다. 사업기여율의 정확한 추정을 위해서는 관련 사업을 파악해야 하는데, 해양수산부 R&D 사업 중에서는 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업과 직접적으로 관련된 사업이 없다. 다만 추후 본 R&D 사업의 결과물을 토대로 저감정책을 수립하고 이행하는 것과 관련하여 관련된 예산의 집행이 필요할 것이다. 이와 관련하여 본 연구에서는 관련 예산 정보의 구득 어려움을 감안하여, 본 R&D 사업의 예산이 100이라면 대응예산은 본 R&D 예산의 절반정도 수준이라고 가정한다. 즉 본 R&D 사업의 사업기여율을 66.67%(=100/(100+50))라 가정한다.

4.4 편익 추정 원칙

본 사업의 수행을 통한 결과물 중 일부는 해외로 진출하여 성과를 낼 수 있는 부분도 있지만 다소 보수적인 접근을 취한다는 관점에서 국내에서 발생가능한 편익항목만을 대상으로 평가하고자 한다. 따라서 추후 본 사업의 성과물로 해외 진출이 가능하다면 편익은 보다 커질 수 있을 것이다. 편익 추정에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 편익의 개념이 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(5판)(KDI[2008]) 및 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)(KISTEP[2011a])에 부합해야 하는 것이며 편익항목간 이중계산의 문제가 없어야 한다는 것이므로 편익 추정에 있어서 이 2가지 원칙을 견지하고자 하였다.

4.5 피해비용 접근법을 적용한 편익 산정식

본 연구에서는 피해비용 접근법을 적용하여 경제적 편익을 산정하였는 바, 다음과 같은 편익 산정식을 상정할 수 있다.⁴⁾ 여기서 피해저감 목표 20%는 본 R&D 사업의 명시적인 목표이므로 편익 산정식에 그대로 반영한다.

▪ 연간 경제적 편익 산정식

$$= \text{해양쓰레기로 발생하는 연간 피해비용 규모} \times \text{① 사업기여율}(66.67\%) \\ \times \text{② 사업화 성공률}(100\%) \times \text{③ 피해저감 목표}(20\%) \quad (1)$$

4.6 경제적 편익의 추정

경제적 편익을 추정하기 위한 식 (1)의 편익 산정식을 적용하는데 있어서 핵심은 해양쓰레기로 발생하는 연간 피해비용의 규모를 산정하는 것이다. 해양쓰레기로 인한 피해비용을 산정하기 위해서는 쓰레기 발생량, 이로 인한 피해에 대한 폭넓은 조사결과 등이 있어야

⁴⁾통상 R&D 사업은 불확실성을 수반하기 때문에 사업화 성공률도 추가적으로 고려하고 있다. 하지만 사업화 성공률은 해당 연구개발사업이 성공적으로 진행되어 원래 의도했던 최종산출물이 만들어지고 이것이 상용화되어 시장에 성공적으로 출시될 확률을 의미하며, 일반적으로 유사한 기존 연구개발사업 중 실제 사업화에 성공한 연구개발사업의 비율이 사용된다. 하지만 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업은 사업화하고는 무관하므로 별도로 사업화 성공률을 고려하지 않거나 아니면 고려하더라도 100%의 수치를 사용하는 셈이 된다.

⁵⁾McIlgorm *et al.*(2011)이 Takehama(1990)의 논문에서 일본의 1985년 어선사고에 지급된 보험금이 일본 전체 수산업 수입의 0.3%에 해당한다는 연구결과를 인용한 것은 아시아-태평양 지역의 해양쓰레기 피해비용 산정시 적용가능한 과학적인 정량적 자료가 거의 없었기 때문이다. 따라서, 본 연구 역시 우리나라의 해양쓰레기로 인한 피해비용 산정을 위한 정량적 자료가 극히 부족하였기 때문에 해당 수치를 적용하여 피해비용을 추정하고자 하였다.

하는데 이에 대한 정보는 전무한 실정이다. 이러한 현실은 바로 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업을 기획하게 된 주요 동기 및 배경이기도 하다.

해양쓰레기로 인해 발생하는 피해비용의 추정과 관련하여 McIlgorm *et al.*[2011]에 제시된 정보를 참고할 수 있다. McIlgorm *et al.*[2011]은 해양쓰레기의 영향을 받는 해양산업으로 어업, 해운, 해양관광 부문으로 제시하였다. 또한 McIlgorm *et al.*[2011]은 일부 국가를 제외한 다른 나라의 경우 해양산업 부문의 GDP 기여 및 해양쓰레기의 영향을 받는 관련 해양부문이 차지하는 비율에 관한 자료가 없기 때문에 호주, 캐나다, 뉴질랜드, 미국의 평균 비율을 이용하여 한국을 포함한 아시아-태평양 지역의 해양쓰레기 피해비용이 평균적으로 관련 해양부문 GDP의 0.3%에 이른다는 점을 밝힌 바 있다.⁵⁾

McIlgorm *et al.*[2011]도 지적했듯이 도서국가와 같이 해양에 노출이 많이된 나라의 경우는 피해비용이 이보다 더 커질 수 있다. 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 경우는 해양쓰레기로 인한 피해비용이 더 클 수 있지만, 보수적인 관점에서 이 산정식을 적용하여 해양쓰레기로 인해 발생하는 피해비용을 산정한다. McIlgorm *et al.*[2011]에서 명시적으로 언급하였듯이, 상기 피해비용에는 직접적인 피해비용만 산정할 뿐 환경과 관련된 비사용가치(non-use value), 즉 휴양손실액, 조류 및 해양생물 등 해양생태계에 미치는 환경비용은 제외되어 있다. 환경과 관련된 비사용가치는 피해비용 수준보다 작지는 않으므로 본 연구에서는 McIlgorm *et al.*[2011]에 제시된 피해비용 수준만큼 해양생태계 피해비용이 발생하는 것으로 본다. 즉 McIlgorm *et al.*[2011]에 제시된 피해비용 산정식에 2를 곱하여 우리나라의 해양쓰레기 피해비용을 다음과 같이 산정한다.

▪ 해양쓰레기로 발생하는 연간 피해비용 규모

$$= 2 \times \text{관련 해양부문 GDP} \times 0.3\%$$

$$= 2 \times \text{관련 해양부문 부가가치 생산액} \times 0.3\% \quad (2)$$

해양부문 GDP의 산정을 위해서는 해양부문이 명확하게 정의되어야 하며 해양부문과 관련된 각종 통계자료가 잘 구축되어 있어야 하지만 우리나라의 경우 해양산업과 관련한 백서 내지는 통계연보가 없는 실정이다. 다만 2008년 산업연관표와 각종 기초자료를 활용하여 해양산업의 규모를 추정한 KIMST[2011]의 보고서를 참고하여 2012년에 한국은행에서 발표한 2010년 기준 산업연관표를 결합하여 2010년 기준 해양산업의 규모를 추계하였다. 그 결과는 Table 2에 제시되어 있다.

2010년 기준으로 해양산업의 부가가치, 즉 McIlgorm *et al.*[2011]에서는 조선부문을 해양쓰레기의 영향을 받는 부문으로 포함했다. 본 연구에서도 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 3대 분야(해양쓰레기의 유입량과 현존량 평가 분야, 미세플라스틱의 오염과 독성평가 분야, 해양쓰레기에 의한 환경적 및 경제적 영향 평가)는 조선 및 해양플랜트 산업의 산출물이 현장에 설치되어 가동되는 과정에서 해양쓰레기의 영향을 받는다는 측면에서 편익에 영향을 줄 수 있기 때문에 조선 및 해양플랜트부문을 포함하여 수산 및 양식

Table 2. Output and value-added of marine sectors in 2010

(Unit : 100 million won)

Marine sectors	Output	Value-added
Fishing and Aquaculture	75,153	32,264
Marine Mining	5,637	3,631
Distribution and Processing of Fishes and Edible Seaweeds	28,350	12,723
Marine food and Medicine and Bio-industry	345,555	32,878
Manufacture of Marine Machinery and Equipment	101,201	26,417
Manufacture of Ships and offshore plants	530,084	159,192
Marine Civil Engineering and Architecture	14,486	9,356
Shipping Industry	6,019	4,047
Harbors industry	42,946	28,057
Marine Research and Development	89,264	23,122
Marine Technical Services	70	31
Marine Public Administration and Education	35,226	17,470
Marine Tourism and Leisure Industry	64,478	29,037
Total	1,338,468	378,226

Source : KIMST[2011]

부문, 해운부문, 해양레저관광 부문을 포함한다.⁶⁾ 따라서, 해양쓰레기의 영향을 받는 우리나라의 해양부문 부가가치 생산액은 전체 해양산업의 GDP 규모 중 약 22조 4,540억원이다. 이 값을 식 (2)에 대입한 결과 2010년 기준 해양쓰레기로 인한 피해비용은 연간 약 1,347억원으로 추정된다.

그런데 이 금액은 2010년말 기준이므로 경제성 분석의 기준 시점인 2012년말 기준으로 변환하기 위해 GDP 디플레이터를 이용한다. 한국은행(www.bok.or.kr)에 따르면 2010년의 GDP 디플레이터는 112.4(2005년=100)이며 가장 최근인 2012년 3/4분기의 GDP 디플레이터는 117.0(2005년=100)이므로, 2012년 3/4분기 기준 해양쓰레기로 인한 피해비용은 연간 약 1,402억원으로 추정된다. 따라서 연간 경제적 편익은 식 (1)에 대입한 결과 약 187억원이다. 즉 R&D 투자가 완료된 직후 2024년부터 2032년까지 9년 동안 매년 약 187억원의 경제적 편익이 발생한다.

5. 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성 분석

5.1 기본 전제

경제성 분석에 있어 비용과 편익은 모두 사회적 비용 및 편익으로 간주할 수 있으며, 일반적으로 공공사업의 비용은 실질적으로 투자되어 쓰여진 비용을 계상하는 반면 편익은 회수방법을 통한 실제 수익이 아닌 사회적 편익을 기준으로 한다. 본 연구에서도 먼저 비용 및 편익을 산정하고 이로부터 R&D 사업의 경제성을 분석한다. 본 해양쓰레기 오염대응 기술개발 사업의 투자기간은 2014년부터 2023년까지의 10년간이다. 편익은 2024년부터 발생하며 2014년부터 편익이 발생하는 마지막 연도까지가 경제성 분석 대상 기간이다. 또한 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업은 성격상 비용이 초기에 집

중 발생하는 반면, 편익은 건설 후 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 2012년 12월 기준 현재가치로 환산하여 평가한다.

비용과 편익의 미래 흐름을 비교하기 위하여 사용되는 할인율은 자원의 기회비용, 즉 투자사업에 사용된 자본이 다른 투자사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 수익을 추정하게 할 뿐 아니라 사람에 따라 혹은 사회에 따라 그리고 시대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적인 가치를 나타낸다. 할인율 개념의 적용에 있어서는 많은 이견이 있으나 특정 투자사업이 정부에 의해 주도되는 경우에는 사회적 할인율의 개념을 적용하고 민간자본에 의해 추진되는 경우에는 시장이자율에 근거한 재무적 할인율을 적용하는 것이 일반적이다. 사회적 할인율은 통상 시장이자율보다 낮은 수준으로 책정되는데 그 이유는 사회적 할인율을 사용하여 사업타당성을 평가하는 주체가 주로 정부이며, 정부로서는 미래사업의 중요성이 더 높게 평가되어야 하기 때문이다. 대부분의 국가는 투자사업의 특성에 따른 할인율을 자국의 경제성장률, 물가상승률, 경제적 잠재능력 등을 고려하여 개괄적인 방법으로 정부가 추정하여 사용하고 있는데 일반적으로 개발도상국 사회간접자본의 경우는 7~8% 이상, 선진국의 경우는 보통 5~6% 수준을 적용하고 있다. 본 연구에서는 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(5판)에 의거하여 사회적 할인율 5.5%를 적용한다(KDI[2008]).

5.2 분석 결과

사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정기간(일반적으로 현재년도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 ‘현재가치화’라고 한다. 경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 순현재가치(NPV, Net Present Value), 편익/비용 비율(B/C ratio, Benefit-Cost ratio), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return) 등이 있다. 순현재가치, 편익/비용 비율, 내부수익률은 그 분석기법마다의 장·단점을 가지고 있고, 어느

⁶⁾연구수행과정에서 여러 전문가의 자문을 구했는데 조선 및 플랜트 부문도 해양쓰레기의 영향을 받는 해양산업의 범주에 포함되어야 한다는 의견이 많았다.

Table 3. Summary of cost and benefit estimates
(Unit : 100 million won)

Year	Cost		Benefit		Net benefit	
	value	present value	value	present value	value	present value
2014	32	29			-32	-29
2015	34	29			-34	-29
2016	36	29			-36	-29
2017	41	31			-41	-31
2018	41	30			-41	-30
2019	44	30			-44	-30
2020	42	27			-42	-27
2021	37	23			-37	-23
2022	33	19			-33	-19
2023	31	17			-31	-17
2024			187	98	187	98
2025			187	93	187	93
2026			187	88	187	88
2027			187	84	187	84
2028			187	79	187	79
2029			187	75	187	75
2030			187	71	187	71
2031			187	68	187	68
2032			187	64	187	64
Total	371	265	1,683	721	1,312	457

Table 4. Summary of economic feasibility for marine debris pollution abatement technology program

NPV (100 million won)	B/C ratio	IRR (%)
457	2.72	17.12

한 기법만을 가지고 사업의 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있으므로 본 연구에서는 순현재가치, 편익/비용 비율, 내부수익률을 모두 분석하여 경제적 타당성을 분석한다.

경제적 타당성 분석에 사용된 비용 및 편익의 흐름을 자세하게 제시하면 Table 3과 같다. 할인율을 고려하지 않고 비용을 합하면 371억원이지만 할인율을 고려한 2012년 말 기준의 현재가치는 265억원이다. 편익도 마찬가지로 단순합계로는 1,683억원이지만 2012년 말 기준 현재가치는 721억원이다.

해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성 분석 결과는 Table 4에 요약되어 있다. 순현재가치는 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며, 0보다 큰 경우에 경제성이 있다고 판단한다. 순현재가치가 457억원인 본 사업은 0을 상회하므로 경제적 타당성 분석을 통과한다. 편익/비용 비율은 편익을 비용으로 나눈 값이 1보다 크면 경제성이 있다고 판단한다. 본 사업의 편익/비용 비율은 2.72로 1.0을 초과하여 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석된다. 내부수익률은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율을 구하는 방법이다. 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다. 따라서 내부수익률은 17.12%로 사

회적 할인율 5.5%보다 크므로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석된다.

5.3 연구의 한계와 향후 연구방향

본 연구는 다음과 같은 측면에서 한계점을 가지고 있으며 후속 작업으로서 다양한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다. 첫째, 해양쓰레기로 인한 피해비용의 산정이 해양쓰레기 오염대응 기술 개발사업의 경제적 편익을 산정하는 데 있어서 핵심적인 작업인데 본 연구에서 제시한 해양쓰레기로 인한 피해비용은 과대 추정되었을 가능성이 있으므로, 해양쓰레기로 인한 피해비용을 보다 엄밀하게 추정하는 후속연구를 수행해야 한다. 관련 해양산업 전체가 해양쓰레기의 영향을 받는 것으로 가정했는데 실제로는 이중 일부만이 해양쓰레기의 영향을 받을 수 있다는 점에서 과대 추정의 가능성이 있는 것이다. 따라서 추후 전체 해양산업 중 해양쓰레기로 인해 피해를 받을 수 있는 해양산업의 해당 부문을 식별할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 2008년에 수립한 제1차 해양쓰레기관리기 본계획(2009~2013)을 참고하여 해양쓰레기 저감 목표비율로 20%를 사용했는데 이에 대한 명확한 근거를 확보할 필요가 있다. 즉 20%가 실현가능한 목표인지, 본 기술개발사업만으로 이것이 가능한지, 2013년에 수립된 제2차 해양쓰레기관리기본계획(2014~2018)과의 정합성 등 따져볼 부분이 적지 않다.

셋째, 본 연구에서는 해양쓰레기 발생량에 대한 과학적 자료의 구득이 어려워 해양산업의 규모를 추정 후 해외 문헌을 활용하고 해양쓰레기 저감 목표비율을 적용하여 본 기술개발사업으로 인한 피해저감 금액을 산출하였지만, 보다 엄밀한 분석을 위해서는 해양쓰레기 저감량을 명확하게 설정한 후 그로부터 발생하는 피해비용의 저감목표를 설정할 필요가 있다. 국내 해양쓰레기 발생량에 대해서는 여전히 개략적 추정에 의존하고 있지만 최근에 Jang *et al.*[2014] 등 해양쓰레기 발생량 추정에 대한 문헌이 증가하고 있는 상황이라 추후 제대로 된 분석이 가능할 것이다.

넷째, 본 연구에서는 자료의 한계 때문에 해양쓰레기 저감으로 인한 비시장적 편익을 명시적으로 추정하지 못하고 이 값이 대략 해양산업 피해저감액(시장적 편익)과 동일할 것이라고 가정하였지만 비시장적 편익이 시장적 편익보다 더 크거나 작을 수 있으므로 이에 대한 엄밀한 분석을 추가적으로 수행할 필요가 있다.

6. 결 론

최근 육상기인 해양유입 쓰레기의 발생량이 크게 늘면서 해양환경의 중요한 이슈로 부각되고 있을 뿐만 아니라 월경성 이동으로 인해 국가간 분쟁의 가능성도 나타나고 있다. 이에 본 연구에서는 해양쓰레기로 인한 해양환경피해의 저감이라는 목표를 갖고 있는 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 타당성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 해양쓰레기가 관련 해양산업에 미치는 피해비용을 추정한 후 여기에다 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업이 목표로 하는 피해저감률을 곱하여 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의

경제적 편익을 추정하고자 하였다.

분석결과 해양쓰레기로 인한 국내 피해비용은 연간 약 1,402억 원으로 추정되었으며, 여기에 피해저감률 20%를 곱하면 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 경제적 편익은 연간 187억 원으로 산정되었다. 할인율의 고려없이 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업(2014년~2023년)의 비용을 단순하게 합하면 371억 원이다. 이렇게 추정된 편익과 비용 정보를 가지고 경제적 타당성을 분석한 결과, 편익/비용 비율은 2.72로 1.0을 초과하며, 순현재가치는 457억 원으로 0을 상회하고, 내부수익률은 17.12%로 사회적 할인율 5.5%보다 큰 것으로 분석되었다. 따라서 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업은 경제적 타당성을 확보하였다. 이러한 정량적 분석결과는 대규모 재정투자가 필요한 해양쓰레기 오염대응 기술개발사업의 시행 여부를 결정하는 데 있어서 중요한 정량적 정보로 활용될 수 있다.

References

- [1] Allsopp, M., Walters, A., Santillo, D. and Johnston, P., 2006, "Plastic Debris in the World's Oceans", Greenpeace, pp. 1-43.
- [2] Chae, D.R., 2011, "The Problems and Reduction Schemes of Marine Litter in Fisheries Management", Environment & Transportation Division, The Journal of Fisheries Resources Management, Vol. 1, No. 1, pp. 125-134.
- [3] Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jetric, L., Jung, R.T., Kinsey, S., Kusui, E.T., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M.A., Sheavly, S., Tkalin, A., Varadarajan, S., Wencker, B. and Westphalen, G., 2009, "UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter", UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series, No. 83, pp. 1-120.
- [4] Cho, D.O., 2005, "Challenges to Marine Debris Management in Korea", Coastal Management, Vol. 33, No. 4, pp. 389-409.
- [5] Cho, D.O., 2009, "The Incentive Program for Fishermen to Collect Marine Debris in Korea", Marine Pollution Bulletin, Vol. 58, No. 3, pp. 415-417.
- [6] Hall, K., 2000, "Impacts of Marine Debris and Oil-Economic and Social Costs to Coastal Communities", KIMO, pp. 1-97.
- [7] Hong, S.W., Lee, J.M., Jang, Y.C., Kim, Y.J., Kim, H.J., Han, D., Hong, S.H., Kang, D. and Shim, W.J., 2013a, "Impacts of Marine Debris on Wild Animals in the Coastal Area of Korea", Marine Pollution Bulletin, Vol. 66, Issues 1-2, pp. 117-124.
- [8] Hong, S.W., Lee, J.M., Jang, Y.C., Kang, D.S., Shim, W.J. and Lee, J.S., 2013b, "The Honolulu Strategy and Its Implication to Marine Debris Management in Korea", Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy, Vol. 16, No. 2, pp. 143-150.
- [9] Jang, S.W., Park, J.M., Chung, Y.H., Kim, D.H. and Yoon, H.J., 2012, "A Study on the Inflow and Seasonal Characteristics of Foreign Debris in the Coastal Area of the West Sea", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 89-100.
- [10] Jang, Y.C., Hong, S., Lee, J., Lee, M.J. and Shim, W.J., 2014, "Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 Marine debris pollution event in South Korea", Marine Pollution Bulletin, Vol. 81, Issue 1, pp. 49-54.
- [11] Jang, Y.C., Lee, J.M., Hong, S.W., Shim, W.J. and Kang, D.S., 2013, "Development and Priority Setting of Policy Measures on Styrofoam Buoy Marine Debris", Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy, Vol. 16, No. 3, pp. 171-180.
- [12] Jang, Y.C., Lee, J.M., Hong, S.W., Mok, J.Y., Kim, K.S., Lee, Y.J., Choi, H.W., Kang, H.M. and Lee, S.H., 2014, "Estimation of the annual flow and stock of marine debris in South Korea for management purposes", Marine Pollution Bulletin, Vol. 86, Issue 1-2, pp. 505-511.
- [13] Jung, R.T., Sung, H.G., Chun, T.B. and Keel, S.I., 2010, "Practical Engineering Approaches and Infrastructure to Address the Problem of Marine Debris in Korea", Marine Pollution Bulletin, Vol. 60, No. 9, pp. 1523-1532.
- [14] KDI (Korea Development Institute), 2008, "A Study on General Guidelines for Pre-feasibility Study (5th Edition)", pp. 303-312.
- [15] Kim, S.D. and Kang, W.S., 2012, "Distribution Characteristics and Cost Estimation of Collection and Treatment of Deposited Marine Debris in Coastal Fisheries around the Southwestern Islands of Korea", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 330-336.
- [16] KIMST (Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion), 2011, "A Planning Research for Marine Industry Classification System established and Analysis of the Role and Growth Prospects", pp. 18-20.
- [17] Kim, Y.J. and Yoon, J.S., 2009, "A Study on the Behavior of Floating Debris and Fresh Water Diffusion According to Discharge of Namgang Dam", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 23, No. 2, pp. 37-46.
- [18] KISTEP (Korea Institute of S&T Evaluation and Planning), 2011a, "A Study on Standard Guidelines for R&D Pre-feasibility Study (1th Edition)", pp. 181-209.
- [19] KISTEP (Korea Institute of S&T Evaluation and Planning), 2011b, "Development of Knowledge-Based Analysis System for R&D Feasibility Analysis", pp. 154-158.
- [20] KISTEP (Korea Institute of S&T Evaluation and Planning), 2011c, "Feasibility Study by the Kistep in 2010", Available at www.kistep.re.kr.
- [21] KISTEP (Korea Institute of S&T Evaluation and Planning), 2012, "Feasibility Study by the Kistep in 2011", Available at www.kistep.re.kr.
- [22] KOEM (Korea Marine Environment Management Corporation), 2013, "The Study of 2nd National Plan for Marine Litter Management (2014-2018)".
- [23] Koo, B.S., Kang, H. and Hur, S.H., 2000, "Study on the Marine Deris on the Seabed in Chinhae Bay, Korea", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 3,

- No. 4, pp. 91-98.
- [24] Lee, D.I., Cho, H.S. and Jeong, S.B., 2006, "Distribution Characteristics of Marine Litter on the Sea Bed of the East China Sea and the South Sea of Korea, *Stuarine Coastal and Shelf Science*", Vol. 70, No. 1-2, pp. 187-194.
- [25] Lee, J.M., Hong, S.W., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., Heo, N.W., Han, G.M., Lee, M.J., Kang, D.S. and Shim, W.J., 2013, "Relationships among the Abundances of Plastic Debris in Different Size Classes on Beaches in South Korea", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 77, Issues 1-2, pp. 349-354.
- [26] Lee, J.M., Jang, Y.C., Hong, S.W. and Choi, H.W., 2012, "Features of Foreign Marine Debris on the Dune Beach of U-i Island, Korea", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 18, No. 2, pp. 167-74.
- [27] Lee, Y.B., Park, S., Ryu, C.R., Kim, H.T. and Yoon, H.S., 2007, "Characteristics of Marine Debris collected from the Coastline of Sandbar in the Nakdong River Estuary", *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 148-154.
- [28] Macfadyen, G., Huntington, T. and Cappel, R., 2009, "Abandoned, Lost or Otherwise Discarded Fishing Gear", *FAO Technical Paper 523/UNEP Study 185*, pp. 1-115.
- [29] McIlgorm, A., Campbell, H.F. and Rule, M.J., 2011, "The Economic Cost and Control of Marine Debris Damage in the Asia-Pacific Region", *Ocean & Coastal Management*, Vol. 54, No. 9, pp. 643-651.
- [30] Metar, S. and Parida, P., 2004, "Littering the Seas", *Samudra*, March, pp. 17-19.
- [31] MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), MOE (Ministry of Environment), MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries), KCG (Korea Coast Guard), 2011, "The 4th Marine Environment Management Master Plan (2011-2020)", pp. 83-85.
- [32] MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), MOE (Ministry of Environment), MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries), KCG (Korea Coast Guard), 2008, "The 1st National Plan for Marine Litter Management (2009-2013)", p. 75.
- [33] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2013, "A Planning Research of Marine Debris Pollution Abatement Technology Program", pp. 1-188.
- [34] Moore, C.J., 2008, "Synthetic Polymers in the Marine Environment: A Rapidly Increasing, Long-Term Threat", *Environmental Research*, Vol. 108, No. 2, pp. 131-139.
- [35] Mouat, J., Lopez Lozano, R. and Bateson, H., 2010, "Economic Impacts of Marine Litter", *Kommunernes Internationale Miljøorganisation*.
- [36] National Oceanic and Atmospheric Administration & United Nations Environmental Program, 2011, "The Honolulu Strategy: A Global Framework for Prevention and Management of Marine Debris", 이종수, 장용창, 이종명, 홍선욱, 이미정 번역(2012), 해양쓰레기 예방과 관리를 위한 호놀룰루 전략, (사)동아시아바다공동체 오션, pp. 1-60.
- [37] Ofiara, D.D. and Seneca, J.J., 2006, "Biological Effects and Subsequent Economic Effects and Losses from Marine Pollution and Degradations in Marine Environments: Implications from the Literature", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 52, pp. 844-864.
- [38] Rochman, C.M., Browne, M.A., Halpern, B.S., Hentschel, B.T., Hoh, E.H., Karapanagioti, H.K., Rios-Mendoza, L.M., Takada, H., The, S. and Thompson, R.C., 2013, "Policy: Classify Plastic Waste as Hazardous", *Nature*, Vol. 494, pp. 169-171.
- [39] Song, M.S., Lee, J.M., Lee, M.J. and Yu, J.S., 2001, "An Experimental Study on Drifting and Sinkage of Marine Debris", *Journal of the Korean Society of Marine Environmental Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 47-62.
- [40] Takehama, S., 1990, "Estimation of Damage to Fishing Vessels Caused by Marine Debris, Based on Insurance Statistics", in Shomura, R.S., Godfrey, M.L., Eds., *Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii*, US Department of Commerce, pp. 792-809.
- [41] Ten Brink, P., Lutchman, I., Bassi, S., Speck, S., Sheavly, S., Register, K., Woolaway, C., 2009, "Guidelines on the Use of Market-based Instruments to Address the Problem of Marine Litter", *Institute for European Environmental Policy (IEEP)*, Brussels, Belgium, and Sheavly Consultants, Virginia Beach, VA, USA, pp. 1-60.
- [42] Yoo, C.I., Yoon, H.S. and Kim, G.T., 2007, "The Behavior of Floating Debris in the Nakdong River Estuary Using a Simple Numerical Particle Model", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 13, No. 4, pp. 9-14.

Received 17 January 2014

1st Revised 17 March 2014, 2nd Revised 5 November 2014

Accepted 10 November 2014