

경남 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기의 발생량 추정과 저감 방안⁺

A Study on the Annual Inflow and Its Control of Styrofoam Buoy Debris in Oyster Aquaculture Farm in Gyeongnam, Korea

이종명* · 장용창** · 홍수연** · 이종수** · 김경신*** · 최희정*** · 홍선욱****
Lee, Jong Myoung · Jang, Yong Chang · Hong, Su Yeon · Lee, Jong Su ·
Kim, Kyung Shin · Choi, Hee Jung · Hong, Sun Wook

목 차

- I. 서론
- II. 스티로폼 부자 쓰레기 관리 정책
- III. 연구 방법
- IV. 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 발생량 및 발생원인
- V. 페스티로폼 부자 쓰레기 저감 정책 제안

〈초 록〉

해양플라스틱 쓰레기가 전 지구적 환경 문제로 대두되고 있다. 우리나라에 서는 양식장에서 나오는 스티로폼 부자 쓰레기가 연안 환경에 심각한 영향을 주는 것으로 최근 연구에서 나타나고 있다. 본 연구는 경남 지역의 굴 양식 어 업인 심층인터뷰를 통해 페스티로폼 부자 쓰레기의 연간 발생량을 추정하였다. 그 결과 굴 양식장 3,554 헥타에서 연간 약 66만 8천개의 스티로폼 부자 쓰레 기가 발생하는 것으로 나타났다. 부자 사용량은 통영이 가장 많았음에도 불구하고 버려지는 양은 통영이 거제, 고성보다 적었다. 부자 쓰레기 연간 발생량이

⁺ 본 논문은 2015년도 경상남도 재원으로 해양수산부 및 영남씨그랜트센터의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 제1저자, (사)동아시아 바다공동체 오션, 한국해양쓰레기연구소장, 공학박사

** 공동저자, (사)동아시아 바다공동체 오션

*** 공동저자, 한국해양수산개발원

**** 교신저자, (사)동아시아 바다공동체 오션, 대표, oceanook@gmail.com

적은 데에는 양식장의 위치, 바람, 조석 등 생물물리적 조건보다 의무회수율이 라는 제도가 더 큰 영향을 주고 있었다. 부자 쓰레기의 주요 발생원인은 자연 유실, 타 어업과 충돌, 관리 부실 등이었다. 스티로폼 부자 쓰레기를 줄이기 위한 정책으로 의무회수율 상향 조정과 폐부자 회수 운송 지원, 폐부자 정보시스템 구축, 어업인 인식증진을 제안하였다.

키워드: 해양쓰레기, 스티로폼 부자, 양식, 연간 발생량, 심층 인터뷰

〈Abstract〉

Marine plastic debris has grown into a global environmental issue. In Korea, recent researches show that Styrofoam buoys debris generated from oyster aquaculture farms have seriously affected coastal environment. We estimated the annual inflow of Styrofoam buoy debris in the oyster farms in Gyeongnam Province based on the in-depth interviews with fishermen. The inflow was calculated to be about 668,000 buoy debris in 3,554 ha of the oyster farms. The quantity of discarded buoys was relatively lower in Tongyeong than those in Geoje and Goseong, whereas the total number of buoys in use was highest in Tongyeong. This lower production of buoy debris is attributable to institutional factors (obligatory retrieval by fishermen) than biophysical factors (location, wind, tide, etc). Main causes of buoy debris include unintended loss, conflicts with other fishery types, and mismanagement. The study suggests raising the rate of obligatory retrieval, supporting transportation, establishing quantitative information system, and raising the awareness of fishermen to more effectively control used buoys.

Key words: Marine Plastic Debris, Styrofoam Buoy, Aquaculture, Annual Inflow, In-Depth Interview

I. 서론

전 세계적으로 해양쓰레기, 특히 플라스틱 재질의 쓰레기가 중요한 지구 환경문제로 대두되고 있다. 이것이 생태계, 관광산업, 수산업, 항해와 경제에 악영향을 미치기 때문이다(Bergmann et al., eds, 2015). 우리나라에서는 양식장 스티로폼 부자 쓰레기가 연안에서 가장 많이 발견되는 해양쓰레기 중 하나로 꼽힌다(Hong et al., 2014). 해양수산부는 2008년부터 ‘국가 해안쓰레기 모니터링’ 사업을 통해 전국 해안의 쓰레기를 정기적으로 조사하고 있는데, 수량을 기준으로 했을 때 양식용 스티로폼 부자 쓰레기가 2008년부터 2011년까지 계속 1위를 차지했다(info.malic.or.kr). 부피에서도 12가지 분류 기준의 하나인 스티로폼이 2014년 38%를 차지하는 등 심각한 수준이다(해양수산부와 해양환경관리공단, 2014). 스티로폼 부자는 미세플라스틱의 주요 발생원이기도 하다. 스티로폼(Expanded Polystyrene)은 폴리스티렌을 발포시켜 만들기 때문에 강도가 매우 약해서 쉽게 수많은 조각으로 쪼개진다. 2012년~2014년 우리나라 18개 해안 미세플라스틱 오염도를 조사한 결과, 세계 최고 수준(1~5mm, 평균 10,000개/m²)이었으며 조성의 99%가 스티로폼이었다(Lee et al., 2015b). 이 스티로폼 조각들은 굴 양식장 등에서 사용하는 부자에서 떨어져 나온 것으로 추정된다. 스티로폼 부자에 들어있는 독성물질은 훨씬 더 심각한 우려를 일으키고 있다. Odaini et al.(2015)은 진해만에서 브롬계 난연제의 일종인 HBCD(Hexabromocyclododecane)의 농도 분포가 양식장의 위치와 유사하다는 것을 발견했고, 그 이유를 양식용 스티로폼 부자에 HBCD가 들어가 있기 때문으로 추정하였다. HBCD는 신경 독성, 내분비계 장애 등을 일으킨다. 화학물질 규제 국제협약인 스톡홀름 협약에서 사용을 금지하기로 결의하였지만, 아직 대체 물질이 개발되지 않아 사용 금지가 유예되고 있는 상황이다(Odaini et al., 2015).

특히 경남은 양식업이 매우 발달하여 스티로폼 부자 사용량이 많고, 해안 쓰레기 오염도 또한 높은 지역이다. 경남의 양식 생산량은 2010년 기준, 전국 총 생산량의 24.6%를 차지하였고, 굴 양식의 경우 우리나라 굴 산업 상시 고용

인원의 90%를 차지하고 있다(채동렬, 2011). 발달한 양식업에서 나온 스티로폼 쓰레기는 경남 해안을 심각하게 오염시키고 있다(홍수연 등, 2014; Heo et al., 2013; Lee et al., 2013).

스티로폼 부자 쓰레기 오염 문제가 대두되면서 경남지역에서 이 문제에 대응하기 위한 다양한 노력들이 진행되어 왔다. 2011년부터 2013년까지 매년 지자체 공무원, 부자 생산자 등 이해당사자가 참여하는 스티로폼 부자 쓰레기 관리 정책 워크숍이 열렸고, 다양한 아이디어와 정책 제안이 제시된 바 있다(장용창 등, 2013; Lee et al., 2015a). 정부에서도 ‘제2차 해양쓰레기 관리 기본계획(2014~2018)’에서 스티로폼 부자 관리 강화를 중점 과제의 하나로 선정한 바 있다. 그러나 양식용 스티로폼 부자의 정확한 사용량과 사용 실태, 구체적인 쓰레기 발생원인에 대한 진단은 이루어진 적이 없다. 특히, 앞서의 정책들이 제안되는 과정에서 어업인들의 참여를 통한 의견 반영이 없었다는 한계가 지적된 바 있다(장용창 등, 2013).

본 연구의 목적은 경남 지역 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 저감 방안을 도출하는 것이다. 경남 지역 어업인들에 대한 인터뷰를 통해 스티로폼 부자의 지역별 사용량과 쓰레기 발생량, 발생 원인을 파악하고, 그에 기반하여 스티로폼 부자 쓰레기 저감 방안을 도출하였다.

II. 스티로폼 부자 쓰레기 관리 정책

1. 스티로폼 부자 생산과 재활용

우리나라의 연간 스티로폼 부자 생산량은 2010년 1,281톤, 2011년 1,543톤이었다(최주섭, 2012). 사용 후 회수되거나 바다에서 수거된 스티로폼 부자는 주로 ‘감용기’를 통해 재활용 원료가 된다. 스티로폼에 적당한 열을 가해서 내부의 기체를 빼내면 ‘인고트’가 만들어지는데, 이것은 액자, 실내 건축 소재(물

당) 등 재활용품의 원료가 된다. 재활용 실적은 2010년 331톤, 2011년 362톤(최주섭, 2012)으로 재활용률은 30%에도 못 미치며, 연간 약 1천 톤 이상이 재활용되지 않고 있다. 이 중 상당량이 해양쓰레기가 되고 있을 것으로 추정된다. 물론, 많은 양이 여전히 양식장에서 부자로 사용되고 있을 수도 있다.

2. 생산자 책임 재활용 제도

스티로폼 부자는 생산자 책임 재활용 제도의 적용 대상이다. 2008년 6월 이전까지는 폐기물 부담금 제도로, 2008년부터 2010년까지는 자발적 회수재활용 협약 대상이었다(최주섭, 2011). ‘생산자 책임 재활용(Extended Producer Responsibility, EPR)’ 제도는 특정 제품의 생산자에게 일정 비율의 재활용 의무를 부과하는 제도이다. 재활용률을 달성하지 못했을 경우에는 재활용에 소요되는 비용 이상의 재활용 부과금을 부담시킨다(환경부, 2003).

EPR 제도에서 제품과 포장재 폐기물의 재활용률을 달성할 법적 의무는 생산자에게 있다. 그러나 실제로는 소비자·지자체·생산자·정부가 각각 일정 부분 역할을 분담하고 있다. 소비자는 재활용품의 분리 배출, 지자체는 재활용품의 수거, 생산자는 재활용에 용이한 재질의 사용, 중앙정부는 제도의 운용 등의 역할을 한다. 생산자가 제품의 설계, 포장재의 선택 등에서 폐기물의 재활용까지를 고려하여 적극적인 역할을 수행하도록 하자는 취지의 제도이다. 우리나라는 1992년부터 생산자책임 원칙에 의한 ‘예치금’ 제도를 시행하다가, 2003년부터 이전 제도를 보완 개선하여 본격적으로 시행하고 있다(한국환경공단과 (사)한국플라스틱자원순환협회, 2010).

EPR 제도에 따라 환경부는 매년 제품 및 포장재 종류별로 재활용 의무율을 고시하고 있는데, 수산물 양식용 부자가 한 품목으로 포함되어 있다. 스티로폼 부자 생산자들은 (사)한국포장재재활용사업공제조합과 (사)한국순환자원유통지원센터를 통해 스티로폼 부자의 재활용 실적을 공동 관리하고 있다. (사)한국포장재재활용사업공제조합은 스티로폼 부자 생산자들로부터 연간 생산량(출고량)

에 따라 분담금을 걷어서, 이 중 일부를 (사)한국순환자원유통지원센터를 통해 재활용 수거 사업자(주로 지자체)와 재활용 사업자들에게 수거·재활용량 실적에 따라 지원금으로 주고 있다. 환경부가 정한 수산 양식용 부자의 재활용 의무율은 2013년 28.5%, 2014년 28.0%, 2015년 28.1%였다. 양식용이 아닌 일반 스티로폼(발포 합성 수지)의 2015년 재활용 의무율인 79.5%에 비해 매우 낮은 수준이다. EPR 제도를 통한 양식용 부자의 재활용이 매우 저조한 상황인 것을 알 수 있다.

3. 스티로폼 부자 감용기 보급

정부에서는 2002년부터 연안 지자체들에게 어업용 폐스티로폼 부자 감용기의 설치비를 지원해 왔다. 2007년에는 연구개발 사업을 통해 차량 탑재용 ‘이동식 감용기’를 개발하였고, 2008년부터는 이동식 감용기 설치비도 지원하고 있다. 중앙 정부에서는 감용기 설치비만 지원하고, 운영은 지자체에서 담당한다.

전국적으로 약 30대의 어업용 폐스티로폼 부자 감용기가 운영되고 있다. (사)한국발포스티렌재활용협회와 (사)동아시아바다공동체오션(2013)의 조사에 따르면 이들 감용기의 운영이 원활한 상황은 아닌 것으로 평가되었다. 3대는 가동 중단 상태였고, 다수가 폐스티로폼 부자의 입고 물량이 부족하여 가동률이 낮은 상태이거나, 혹은 일반 생활 폐기물인 포장재 스티로폼 등을 처리하고 있었다.

4. 고밀도 및 친환경 부표¹⁾ 보급 사업

고밀도 부표 지원사업은 해양수산부가 어업인들이 사용하는 저밀도 부표의 사용을 억제할 목적으로 도입한 사업이다. 국비 20%, 지방비 20%, 자부담

1) 부표는 항로 표시 등에 사용되는 것으로 양식용은 부자로 부르는 것이 타당하다. ‘친환경 부표’가 해양수산부의 사업명이기 때문에 이 사업의 대상에 대해서만 부표라고 썼다.

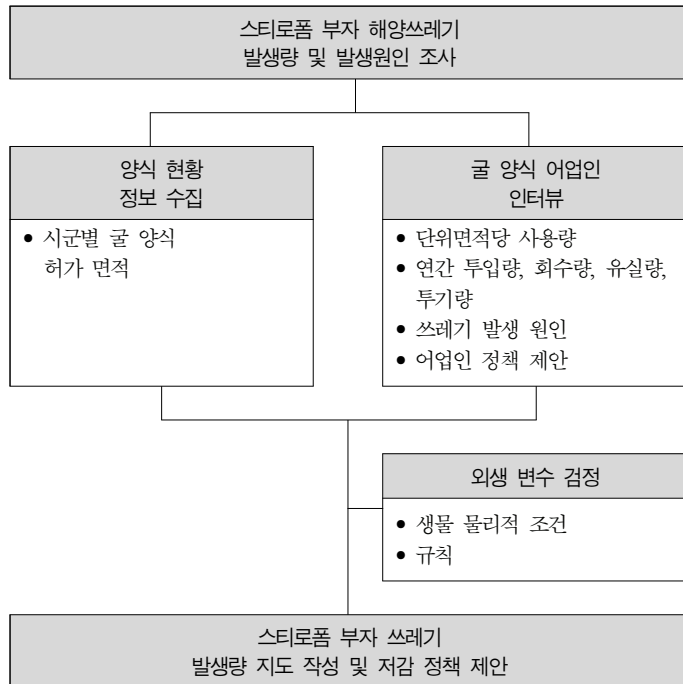
60%의 조건으로 2009년부터 2012년까지 17,371백만 원(지방비 포함)의 부표 구매 비용을 어업인들에게 지원하였고, 그 결과 약 45백만 개의 부표를 교체한 사업이다(해양환경관리공단, 2013). 그러나 부표의 밀도가 표준 수준(0.02g/cm^3)으로서 부스러지는 현상에 대해서 근본적인 대책이 되지 못하고, 부자 쓰레기의 대책으로서는 한계가 있다는 평가를 받았다(해양환경관리공단, 2013). 이런 단점을 개선하기 위해 새롭게 도입된 친환경 부표 보급 사업은 ‘제2차 해양쓰레기 관리 기본계획(2014~2018)’에 따라 2015년부터 적용된 사업이다. 이 사업은 정부에서 정한 기준을 충족하는 부자에 대해서 ‘친환경 부표 인증’을 해주고, 이 제품을 구매하는 어업인에게 보조금을 지급하는 것이다. 친환경 부표는 공인시험기관(한국건설생활환경시험연구원, 한국화학시험융합연구원)의 시험성적서를 공인인증기관(국립수산물학원)에 제출하여 인증을 받을 수 있다. 친환경 부표에 대한 보조금은 국비 35%, 지방비 35%이다. 어업인은 친환경 부표를 제품 가격의 30%만 주고 구입할 수 있는 것이다(해양수산부, 2015).

하지만 친환경 부표 보급 사업으로 스티로폼 부자 해양쓰레기 문제를 해결하기에는 한계가 많다. 먼저, 가장 큰 문제점은 대부분의 친환경 부표들이 기존 스티로폼 부자보다 훨씬 비싸다는 점이다. 대표적인 친환경 부표로 꼽히는 폴리우레아 코팅형 부자의 경우 개당 가격이 2만원으로, 정부 보조금 1만4천원을 받아도 어업인은 6천원을 부담해야 하기 때문에 기존 고밀도 부자에 비해 본인 부담이 두 배에 이른다. 친환경 부표가 성능 면에서 양식 현장에서 어느 정도 수용될지도 아직 불투명한 상황이다. 2015년부터 보급사업을 시작했지만 현재까지 어업인의 반응은 부정적이어서 배정된 예산조차 제대로 사용을 못하고 있는 실정이다(해양수산부 담당자 개인교신). 친환경 부표의 재활용도 아직 해결되지 못한 숙제이다. 특히 재활용에서 가장 관건은 단일 재질이어야 한다는 것인데, 코팅형 부자의 경우 충전 물질과 코팅 물질의 재질이 달라서 기존 시스템으로는 처리가 어렵다는 문제가 있다.

III. 연구 방법

1. 연구 추진 체계

본 연구에서는 경남지역 굴 양식장의 스티로폼 부자 쓰레기 발생량과 쓰레기 발생원인을 조사하고, 이를 바탕으로 저감 방안을 제안하였다(그림 1). 스티로폼 부자는 주로 패류 양식에서 사용하는데, 굴이 2010년 경남 패류 양식 생산량의 82.3%를 차지하기 때문에 경남의 대표적인 양식업이라고 할 수 있다(채동렬, 2011). 또, 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 발생에 영향을 미치는 외생변수로서 ‘생물 물리적 조건’과 ‘규칙’의 영향 여부를 검정하였다.



Ⅰ 그림-1. 연구 체계도 Ⅰ

2. 스티로폼 부자 쓰레기 발생량 추정 모형

연간 부자 쓰레기 발생량(inflow, I_y)은 전체 사용 중인 부자(total buoys in use, T)를 내구연수(service life, S)로 나눈 양 중 유실(유실률, loss fraction, L_f)과 투기(투기율, discard fraction, D_f)에 의해 바다에 버려지는 양이다. 연간 새 부자 투입량(new installation, $N_y=T/S$)은 전체 사용 중인 부자 중 매년 일부 못 쓰게 된 부자를 새 부자로 교체하기 때문에 T 를 S 로 나눈 값과 같다²⁾. L_f 는 자연적으로 또는 외부 요인으로 부자가 탈락되는 비율이고, R_f 는 어업인들이 재활용을 위해 되가져오는 회수율(retrieval fraction)을 말한다. 어업인들이 연간 투기하는 비율(D_f)은 전체 1에서 L_f 와 R_f 를 뺀 값으로 구하였다.

$$\begin{aligned} I_y &= T/S \cdot (L_f + D_f) \\ &= T/S \cdot \{L_f + (1 - L_f - R_f)\} \end{aligned} \quad (1)$$

I_y 의 누적 총량이 현존량이 되는데, 이 연구에서는 1년간을 대상으로 계산했기 때문에 현존량은 구하지 않았다. 바다에 쌓인 누적 총량 중 일부는 바닷가 등에서 지자체가 청소를 통해 수거하기도 하는데, 이렇게 수거된 것도 회수된 것과 마찬가지로 재활용을 위해 감용장으로 보내거나 소각장 등 폐기물 처리 시설로 보낸다³⁾.

부자 쓰레기 발생량 추정에 사용된 수치들은 최신 경남지역 양식장 통계와 어업인 인터뷰를 통해 구했다. 양식장 허가 면적⁴⁾은 경상남도와 각 시군의 통계 책자, 홈페이지, 개인교신 등을 통해 얻었다. 양식장 단위면적당 부자 사용량은 국립수산물과학원 해양수산업연구정보 포털 홈페이지에서 제공하고 있는 양

2) 어업인들에게 연간 '새 부자 구입량'에 대한 설문을 하여 이것이 연간 투입량과 일치하는 경우에만 응답이 신뢰할만하다고 보았다.

3) 이 논문에서 '회수'는 쓰레기가 되기 전에 되가져오는 것을 말하고, '수거'는 쓰레기가 된 후에 해안 청소 등을 통해 모아진 것을 말한다. 즉, 전자는 '사전 예방', 후자는 '사후 대응' 활동으로 구분된다.

4) 양식장 허가 면적과 실제 양식 면적이 차이가 있을 수 있다. 허가만 받아 놓고 양식을 하지 않거나, 혹은 허가 받은 면적 이상으로 양식을 하는 경우도 있다. 두 가지 경우에 대한 정확한 추정이 어렵기 때문에 본 연구에서는 이 둘이 서로 상쇄되는 것으로 가정했다.

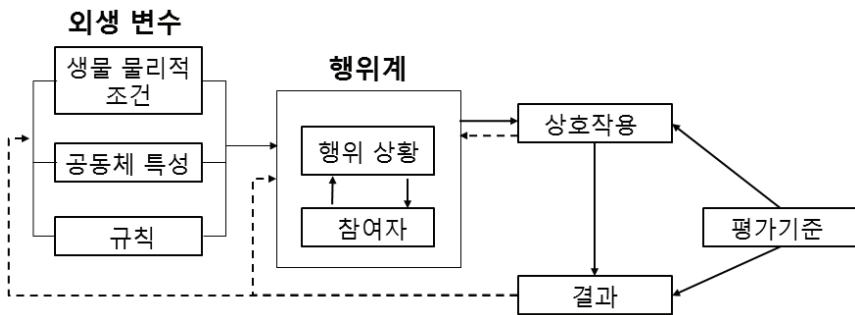
식품종별 표준 설계도를 참고하였다. 양식장 단위 면적 당 부자 사용량은 가장 많이 사용되는 수확 직전을 기준으로 했다. 굴 양식의 경우, 6월경 종패를 부착할 때는 가볍기 때문에 부자가 많이 필요 없다가 8월경 굴이 자라서 무거워지면 부자를 추가로 매단다. 11월 중순 수확하기 전까지 부자를 계속해서 추가해서 달아주며, 수확 때는 부자를 굴과 함께 가지고 온다. 수확은 주로 11월부터 3월까지 진행되지만 일부에서는 6월까지도 한다. 굴 양식장에 스티로폼 부자가 연중 떠 있고 그 수량이 굴 성장과 수확에 따라 변하지만 본 연구에서는 연중 부자의 최대 사용 시점의 개수를 기준으로 하였다. 일단 양식장에 설치되면 패 부자가 될 가능성을 가지고 있기 때문이다.

어업인 인터뷰는 2015년 3월부터 6월까지 실시하였다. 인터뷰 대상은 굴수하식수협 조합원 중에서 양식 면적의 규모, 허가 지역, 업종 등을 고려하여 우선 대상자 45명을 추출하여 인터뷰를 요청하였다. 이들 중 인터뷰를 수락한 21명을 직접 만나 연구진 2명과 어업인 1명이 약 1시간 가량 대화하는 방식으로 설문을 진행하였다. 사업장별로는 통영 7명, 거제 6명, 고성 7명, 남해 1명 등 경남에서 굴 양식이 가장 성행하는 통영시, 거제시, 고성군에 고루 분포하였다. 어업인 인터뷰를 통해 ha당 부자 사용량, 연간 새 부자 구입량, 내구연수(S), 유실률(L), 폐부자 회수율(R)에 대한 정보를 얻었다. 양식장 면적과 ha당 부자 사용량을 곱한 T로부터 전체 연간 새 부자 투입량($N_y=T/S$)을 계산하였다. 또한 부자 쓰레기의 발생 원인, 해양쓰레기 저감을 위해 정부가 해주기를 바라는 정책 등에 대해서도 질문하였다.

3. 외생 변수 검정

본 연구에서는 신제도주의의 제도분석 틀 중 ‘외생변수’들이 과연 양식장 스티로폼 부자 쓰레기의 발생에 영향을 미치는지 검정하였다. Ostrom(2005)은 환경 문제의 분석틀로, 생물물리적 조건, 공동체 특성, 규칙과 같은 외생변수들과 참여자들이 처한 행위 상황의 행위계를 중심으로 제시한 바 있다(그림 2).

우선 본 연구에서는 양식장 스티로폼 부자 쓰레기의 발생에 영향을 미치는 외생변수 중 ‘생물 물리적 조건’은 양식장이 위치한 해역, ‘규칙’은 의무회수율을 다르게 적용하고 있는 시군 집단으로 나누어 분석하였다⁵⁾.



자료: Ostrom(2005)에서 수정

그림-2. 제도 분석 틀

생물 물리적 조건으로 양식장이 위치한 곳이 내만(진해만, 어업인들이 ‘동바다’라고 부름)과 외해(한산만과 거제만, ‘서바다’)냐에 따라 차이가 있는지 검정하였다. 양식장이 외해에 위치할 경우 조류와 해류 등이 더 강하고 내만에 위치한 양식장보다 스티로폼 부자가 더 많이 유실된다는 어업인들의 증언이 있었기 때문이다.

규칙 요인은 각 지자체에서 ‘친환경 부표 보급’ 사업에서 적용하고 있는 폐부자 의무회수 비율이 서로 달라 이에 따른 차이가 있는지 검정하였다. 경남의 일부 지자체들에서 친환경 부자를 구입하는 어업인에게 보조금을 지급하는 대신, 일정 비율만큼의 폐부자를 되가져와 스티로폼 감용장에 입고시키는 의무를 부과하고 있다. 그런데 그 의무회수율이 통영시는 30%, 거제시와 고성군은 10%를 적용하고 있다. 통영의 어업인은 100개의 친환경 부표를 구입하고 보조

5) Ostrom(2005)이 제시한 ‘공동체 특성’ 변수도 적용하여 설계하였으나 실제 굴 양식업이 대부분 개인 사업자 형태로 운영되고 어촌계에 의한 공동체 운영은 일부에 불과하였으며, 어촌계 운영의 경우조차 실질적으로는 공동체 특성이 나타나지 않아 분석 결과에서는 제외하였다.

금을 받으려면 30개의 폐부자를 통영시 어업용 스티로폼 감용장에 입고시켜야 하지만, 거제시와 고성군의 어업인은 10개만 갖다 주어도 보조금을 받을 수 있다.

IV. 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 발생량 및 발생원인

1. 굴 양식장 스티로폼 부자 사용량

굴 양식 어업인들이 보고한 ha당 부자 사용량은 평균 1,650개였다(표 2). 국립수산물품질관리원 해양수산물연구포털의 표준 설계도에서는 ha당 1,016개를 설치하게 되어있으나 실제로는 최소 1,000개에서 최대 2,500개로 훨씬 더 많은 부자를 사용하고 있는 것으로 보인다.

경남에서 바다를 접하고 있는 시군은 창원시, 고성군, 통영시, 거제시, 사천시, 남해군 등 총 6개 시군이다. 굴 양식장이 없는 사천시를 제외한 나머지 5개 시군의 굴 양식장 허가면적은 총 3,554 ha이다(표 2). 이 면적에 위 단위면적당 사용량을 곱하여 경남지역 굴 양식장의 스티로폼 부자 총 사용량을 5,864천 개로 추정하였다(표 2).

2. 스티로폼 부자 연간 투입량과 유실률, 회수율, 투기율

굴 양식 어업인 인터뷰 결과 스티로폼 부자의 평균 내구연수(S)는 7.0년으로 나타났다(최소 5.0년, 최대 9.5년)(표 1). 이는 어업인들의 내구연수에 대한 응답과 연간 새 부자 구입량을 서로 보정하여 얻은 수치이다. 경남 지역 굴 양식장에서 스티로폼 부자의 평균 유실률(L_f)은 0.23, 평균 회수율(R_f)은 0.17이었다. 따라서 투기율($1-L_f-R_f$)은 평균 0.60으로 추정되었다(표 1).

표-1. 스티로폼 부자 사용 및 쓰레기 발생 현황 인터뷰 결과

이름	소속 시군	양식장 위치	ha당 사용 개수	내구연수 (S)	유실률 (L_i)	회수율 (R_j)	투기율 ($1-L_i-R_j$)
응답자 1	통영	진해만	1,250	5.0	0.25	0.30	0.45
응답자 2	통영	사랑만	1,400	5.6	0.20	0.30	0.50
응답자 3	통영	진해만	1,052	5.7	0.29	0.30	0.41
응답자 4	통영	사랑만	2,000	8.0	0.40	0.30	0.30
응답자 5	거제	진해만	1,400	7.0	0.25	0.10	0.65
응답자 6	통영	사랑만	1,700	5.0	0.29	0.30	0.41
응답자 7	통영	진해만	2,000	6.7	0.33	0.30	0.37
응답자 8	고성	사랑만	2,000	7.7	0.42	0.10	0.48
응답자 9	고성	사랑만	1,700	5.7	0.10	0.10	0.80
응답자 10	고성	사랑만	1,100	9.4	0.07	0.10	0.83
응답자 11	고성	사랑만	1,300	5.1	0.07	0.10	0.83
응답자 12	고성	사랑만	2,500	9.5	0.18	0.10	0.72
응답자 13	고성	사랑만	1,700	9.1	0.17	0.10	0.73
응답자 14	거제	거제만	1,000	7.5	0.50	0.00	0.50
응답자 15	거제	진해만	2,000	8.5	0.15	0.10	0.75
응답자 16	통영	진해만	2,000	8.9	0.11	0.30	0.59
응답자 17	거제	거제만	1,800	7.2	0.20	0.10	0.70
응답자 18	거제	거제만	1,800	5.2	0.22	0.10	0.68
평균			1,650	7.0	0.23	0.17	0.60

※ 어업인 인터뷰 전체 인원은 21명이었지만 발생량 추정에 관한 답변의 신뢰성이 부족한 3명은 분석에서 제외하였다.

3. 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 발생량 추정

표 1에서 구한 수치들을 각 시군별로 적용하여 스티로폼 부자 쓰레기 발생량을 구하였다. 먼저, 유실률(L_i)에서 통영·거제·고성은 표 1의 값을 적용하였고, 창원에는 응답자가 없어 창원시의 양식장이 위치한 진해만 지역 인터뷰 결과의 평균인 0.23을 적용했다. 남해는 어업인 인터뷰를 통해 얻은 0.10을 적용했다. 회수율(R_j)은 통영·거제·고성의 경우 역시 표 1의 값을 적용하였고, 창원에는

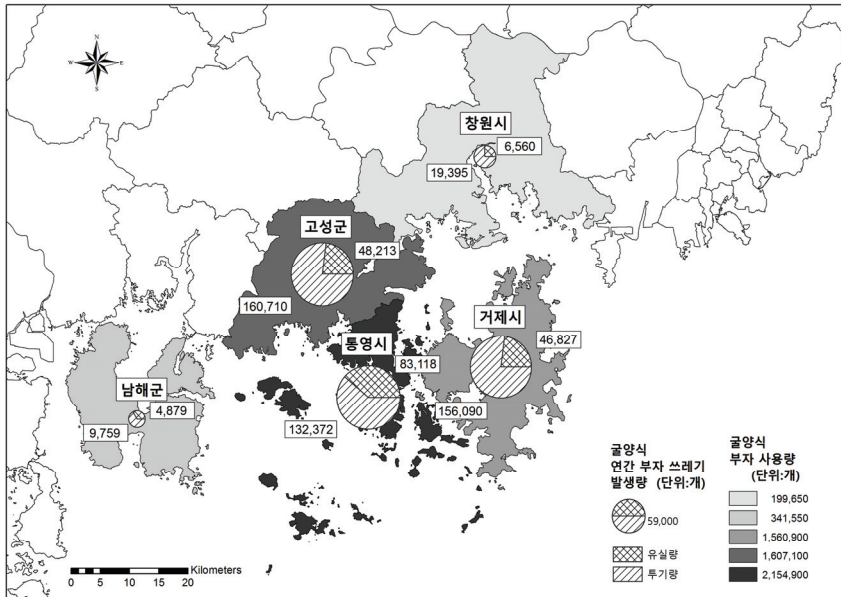
거제·고성과 마찬가지로 의무회수를 10% 제도를 시행하고 있어서 거제·고성과 같은 0.09를 적용했다. 남해의 경우는 남해군 담당공무원의 발표 자료 수치(0.70)를 적용했다(홍선욱 등, 2013).

위 비율을 적용한 결과, 경남 지역 굴 양식장에서 발생하는 스티로폼 부자 쓰레기는 연간 약 668천개로 계산되었다(표 2). 통영시가 약 215천개로 가장 많고(32.3%), 고성군이 약 209천개(31.3%), 거제시가 약 203천개(30.3%), 창원시 26천개(3.9%), 남해군 15천개(2.2%) 순이었다. 이를 시군별 유실량과 투기량으로 나누어 지도상에 표시하였다(그림 3). 이 지도를 통해 통영시가 다른 시군에 비해 총 사용량이 가장 많음에도 불구하고, 투기량은 낮은 것을 알 수 있는데, 이는 유실률이 같은 조건에서 통영시의 회수율(0.30)이 거제시, 고성군(0.09)보다 3배 이상 높기 때문에 나타난 결과이다. 이 연구는 총 21명의 어업인 인터뷰를 통해 얻어진 수치를 사용하였다. 경남 지역을 통계적으로 대표하는 수치를 얻기 위해서는 추가 연구가 필요하다.

▮ 표-2. 경남 지역 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 연간 발생량(I_y) 추정 ▮

시군	굴 양식장 면적 (ha)	총 사용량 (개) T	연간 투입량 (개/년) N_y	연간 유실량 (개/년) $N_y^* L_f$	연간 회수량 (개/년) $N_y^* R_f$	연간 투기량 (개/년) $N_y^*(1-L_f-R_f)$	연간 발생량 (개/년) I_y
창원	121	199,650	28,521	6,560	2,567	19,394	25,954
통영	1,306	2,154,900	307,843	83,118	92,353	132,372	215,490
거제	946	1,560,900	222,986	46,827	20,069	156,090	202,917
고성	974	1,607,100	229,586	48,213	20,663	160,710	208,923
남해	207	341,550	48,793	4,879	34,155	9,759	14,638
경남 전체	3,554	5,864,100	837,729	189,597	169,807	478,325	667,922

※ 시군별 굴 양식장 면적은 시군별 통계자료(남해군(2014), 사천시(2013), 고성군(2011), 통영시(2014), 거제시(2012)) 및 창원시 양식 담당자와 개인교신 정보 적용; 단위 면적당 부자 사용량은 1,650개/ha 적용(표 2)



※ 숫자는 각각 유실량과 투기량(단위: 개)

■ 그림-3. 경남지역 지자체별 굴 양식장의 부자 사용량(음영표시)과 스티로폼 부자 쓰레기 발생량(파이그래프) ■

4. 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기 발생원인

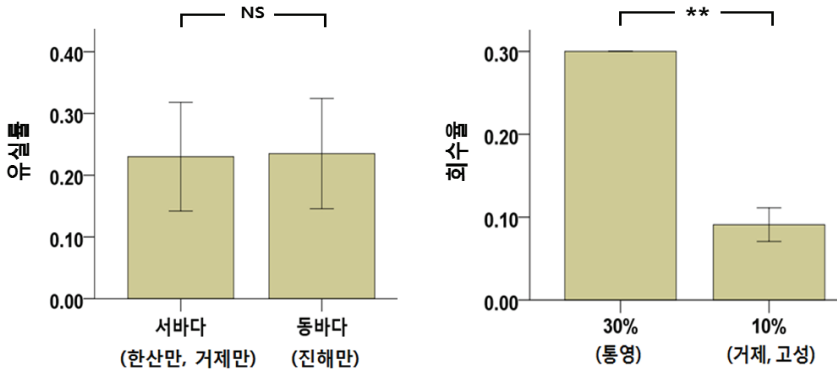
어업인들이 보는 양식장 스티로폼 부자 쓰레기의 발생원인은 자연 유실, 타 어업과 충돌, 그리고 관리 부실에 따른 투기 등으로 나타났다. 강한 바람과 조류 때문에 사용 중인 부자가 유실된다거나, 양식장, 야적장 등에 보관 중인 부자가 바람에 떠내려간다고 응답한 어업인이 5명이었다. 여기에는 고정 로프가 햇빛에 약화되어 강한 물살에 끊어진다고 답한 경우도 포함된다. 낚싯배, 자망 어선 등이 지나가면서 혹은 양식장에 고정했다가 떠나면서 부자를 치고 가는 경우도 많다고 답한 어업인이 2명 있었다. 양식 현장에서 못 쓰게 된 부자를 끌어버린다고 답한 어업인도 5명 있었다. 장기간 수중에 잠겨있던 부자에 부착생

물들이 많이 붙거나, 혹은 수압에 찌그러져 부력을 잃고 사용하기 어려우면 고정 로프를 잘라 버린다는 것이다. 이러한 인터뷰 결과는 Lee et al.(2015a)이 제시한 ‘스티로폼 부자 해양쓰레기 개념모형’과도 잘 부합하는데, 이 모형은 스티로폼 부자 쓰레기의 발생원인을 크게 사용 중 유실, 사용 후 투기, 수거 곤란 등 세 가지로 나누고 있다.

5. 스티로폼 부자 쓰레기 발생량에 미치는 외생변수 검정

본 연구에서 검토한 외생변수 중 하나인 생물물리적 조건, 즉 양식장의 위치는 스티로폼 부자 쓰레기의 발생량의 차이에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 인터뷰에 답한 어업인의 양식장 위치를 동바다(진해만)와 서바다(한산만, 거제만)로 나누어 두 집단의 유실률과 회수율에 차이가 있는지 t-test로 검정한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다($t=-0.080$, $df=16$, $p>0.05$). 특히, 파도와 조류가 강한 서바다의 양식장에서 유실률이 더 높을 것으로 예상되었지만 오히려 평균 유실률은 동바다(0.235)가 서바다(0.230)에 비해 약간 높은 것으로 나타났다.

폐부자 의무회수율이라는 규칙(제도)은 양식장 부자의 회수율에 유의한 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 친환경 부표 보조금 지급 시 폐부자 의무회수율이 30%인 통영시와 의무회수율이 10%인 거제시, 고성군의 실제 부자 회수율에는 유의한 차이가 있었다($t=18.1$, $df=16$, $p<0.01$). 의무회수율이 30%인 통영시의 어업인들은 연간 구입한 부자의 평균 30.0%를 회수하여 스티로폼 부자 감용장에 가져다주는 반면, 의무회수율이 10%인 거제시와 고성군의 어업인들은 평균 9.0%만 회수하여 재활용 시설로 갖고 오는 것으로 나타났다(그림 4).



** : $p < 0.01$, NS : $p > 0.05$

■ 그림-4. 굴 양식장 스티로폼 부자의 해역별 유실률(좌)과 의무회수제도별 회수율(우) ■

6. 어업인들의 폐부자 쓰레기 저감 방안 의견

어업인들이 제안한 폐부자 쓰레기 저감방안에는 폐부자의 수거와 운송을 지자체나 부자 판매 업자가 지원해 달라는 의견이 가장 많았다(14건)(표 3). 또, 지자체에서 어업인들에게 친환경부포 등 보조금을 줄 때 일정 비율 이상의 폐부자를 의무적으로 되가져오도록 하는 의무회수율을 높여야 한다는 의견도 많았다(11건). 폐부자 수매 사업 확대(5건), 공공근로 인력을 활용한 연안청소(2건), 지자체에서 폐부자 야적용 그물망을 배포(2건)해 달라는 건의가 있었고, 폐부자를 많이 반납한 어업인에게 인센티브를 제공하자는 의견(1건)과 새 부자를 팔 때 폐부자를 1:1로 교환하자는 의견(1건)도 있었다.

이전까지 제시되었던 스티로폼 부자 쓰레기 저감 정책들(장용창 등, 2013, Lee et al., 2015b)은 주로 공무원, 민간단체, 연구자, 업계로부터 도출된 것들로서 실제 부자의 구매, 사용, 현장에서 회수를 책임지는 어업인으로부터 저감 방안을 수렴한 경우는 이번이 처음이다.

Ⅱ 표-3. 어업인들의 폐부자 쓰레기 저감 정책 의견 Ⅱ

정책 의견	빈도
지자체 및 부자 판매업자가 마을 단위로 모아 둔 폐부자 운송 지원	14
친환경부표 보조금과 연계하여 폐부자 의무회수율을 높임	11
폐부자 수매사업 확대	5
공공근로 인력을 이용하여 연안청소	2
지자체에서 아적용 그물망을 배포	2
폐부자 반납을 많이 한 어업인들에게 인센티브 제공	1
폐부자와 새 부자 1:1 교환제 실시	1

V. 페스티로폼 부자 쓰레기 저감 정책 제언

1. 의무회수율의 상향 조정과 회수 운송 지원

페스티로폼 부자 쓰레기의 발생량에 가장 큰 영향을 미친 변수는 ‘의무회수율’이었다. 어업인들은 지자체에서 친환경 부표 보조금 지급의 조건으로 정한 ‘의무회수율’만큼만 회수해서 감용장으로 갖고 오는 것으로 나타났다. 따라서 의무회수율을 높이는 것이 폐부자가 해양쓰레기가 되지 않게 하는 가장 효과적인 방법이라고 할 수 있다.

인터뷰에 응한 어업인들도 다수가 의무회수율을 높이자고 제안하고 있었다. 스티로폼 부자 쓰레기가 해양 오염을 일으키고 있으며, 이것이 사회적인 이슈로 대두되었을 때 양식업 자체에 악영향을 미칠 것을 어업인들도 알고 있다. 그러나 굴 수확 등의 작업 과정에서 폐부자를 회수하는 데는 상당한 시간과 인력이 필요하기 때문에 자발적으로 폐부자 회수율을 높이는 데는 분명히 한계가 있다는 것 또한 알고 있다. 따라서 어업인들은 보조금과 연계한 의무회수율이라는 제도를 활용하여 양식 어업인 모두가 폐부자를 회수하도록 만들자고 제언을 하고 있는 것이다.

어업인들은 폐부자의 회수 과정을 지원해 달라는 요구도 하고 있다. 스티로폼 부자의 의무회수율을 높이되, 그로 인해 발생하는 어업인들의 운송비 부담 등을 지자체나 부자 생산자가 나누어서 부담해 달라는 요구이다. 어업인의 제안에 들어있는 폐부자 수매 사업의 확대, 폐부자 보관용 그물망 배포 등도 회수와 수거 과정을 지원하는 방법의 일부로 볼 수 있다.

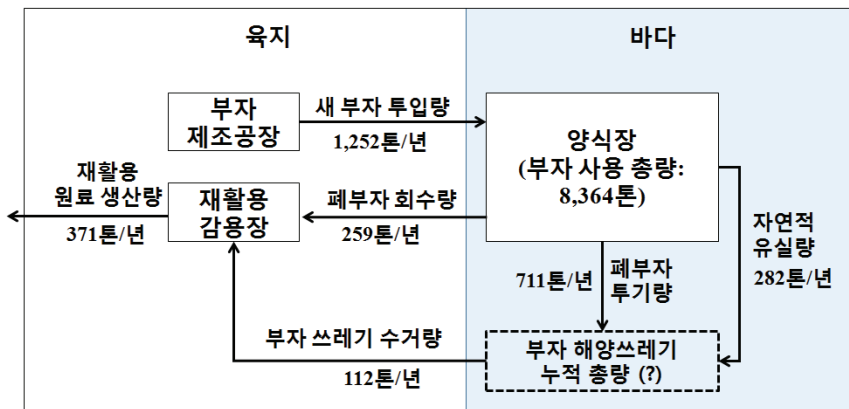
의무회수율 상향과 폐부자 회수 운송 지원을 연계하여 추진하는 것은 중앙정부, 지자체, 어업인, 부자 생산자 등 이해관계자들 사이에 협력 체계를 구축하는 계기를 제공한다. 해양수산부는 의무회수율을 높인 지자체에 한하여 협약 체결 등을 통해 회수 운송 사업을 지원할 수 있다. 또, 회수 운송을 지원하면서 환경부에서 결정하는 양식용 스티로폼 부자 생산자의 책임재활용률 의무율을 높여서 생산자의 역할을 더 강화할 수 있다. 지역 현장에서는 어업인의 여건과 수요에 맞는 회수 운송 지원 체계를 지자체, 생산자, 어업인이 함께 구축할 수 있을 것이다. 현재 정부는 10%의 의무회수율을 지침으로 제시하고 있으나 일부 어업인의 경우 70%까지도 수용할 수 있다고 말한 경우도 있었다.

2. 폐부자 정보시스템 구축

폐부자의 효율적인 관리를 위해서는 폐부자 정보시스템 구축이 필요하다. 폐부자의 회수, 수거, 재활용 등이 지자체 차원에서 진행되고 있지만, 지역 단위의 사용량, 발생량, 수거 처리 능력 등에 대한 정량적 정보는 아직 어디에서도 취합, 관리하고 있지 않다. 이번 연구에서 정부가 제시한 표준지침보다 더 많은 양의 부자가 사용되고 있으며, 사용량, 유실량, 회수량 등에 관해 실제 어업인들로부터 얻어진 정보가 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.

폐부자 쓰레기 발생량 등에 대한 정량 정보는 폐부자 감용기 설치나 폐부자 수거 사업의 지역별 예산 배분, 정책 우선순위 평가 등에 활용될 수 있다. 본 연구에서는 스티로폼이라는 단일 물질, 굴 양식장이라는 단일 용도에 대해 경남지역의 바다를 시스템의 경계로 하여 인터뷰를 통해 정량적 정보를 얻었다.

이것을 동일 시스템 내, 스티로폼 부자를 사용하는 타 양식업종으로 확대하고, 개수 정보를 무게로 환산하여 구한 경남지역 스티로폼 부자 쓰레기 양의 물질 수지는 그림 5와 같다. 2013년 경남의 스티로폼 부자 연간 투입량(1,252톤) 대비 재활용량(371톤, 회수량과 수거량의 합)의 비율은 29.6%이다⁶⁾. 연간 투입량의 60%를 재활용하겠다는 목표를 세운다면 지금보다 훨씬 더 많이 회수 또는 수거를 해야 하고, 폐부자 재활용 설비를 대폭 늘려야 한다는 것을 알 수 있다. 물론, 현재 운용하고 있는 설비들의 가동률 등도 정보 시스템에 반영되어야 합리적으로 처리능력을 관리할 수 있다. 또, 연간 해양으로 유입되는 부자 쓰레기는 993톤(유실량 282톤과 투기량 711톤의 합)인데 비해 해양에서 수거되는 양은 112톤에 불과함을 알 수 있다. 이러한 정량 정보를 스티로폼 부자의 생산, 유통, 사용, 폐기, 재활용 등 전 과정에 걸쳐서 파악하고 관리할 수 있는 시스템을 구축함으로써 폐부자 관리 정책의 효율을 높일 수 있다.



■ 그림-5. 경남지역 양식장 스티로폼 부자의 물질 수지(주요 6개 업종) ■

6) 양식용 스티로폼 부자 사용량 및 쓰레기 발생량 추정 공식을 스티로폼 부자를 이용하는 주요 양식업 6개 업종(굴, 홍합, 전복, 진주담치, 가리비, 우렁챙이) 업종에 적용하여 구한 것이다(굴 이외 타 양식업종의 발생량 산출 근거는 이종명 등(2015)의 '스티로폼 부자 쓰레기 저감방안' 보고서 참조). 62리터 부자 1개의 무게는 1.2kg을 적용했다. 재활용 원료 생산량은 (사)한국순환자원유통지원센터에서 파악한 2013년 경남 지역 시군 어업용 스티로폼 감용장의 생산 실적이다. 부자 쓰레기 수거량은 재활용 원료 생산량에서 폐부자 회수량을 뺀 값이다.

3. 어업인 인식 증진

폐부자 쓰레기의 발생량을 줄이는 데는 어업인의 역할이 결정적이다. 평균 투기율이 60%로 유실률 23%의 3배 가까이 높게 나타남으로써 어업인의 행위 관리가 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다. 앞서 제시한대로 보조금과 연계한 의무회수율 제도를 모든 지자체로 확산하고, 또 의무회수율을 높이려고 해도, 어업인이 강력하게 반대하면 이 제도는 실행되기 어렵다. 정부에서 회수한 부자의 운송을 지원하려고 해도 어업인들이 지정된 장소에 폐부자를 모아주어야 한다. 스티로폼 부자가 가진 환경 위해성을 어업인들이 인식해야 규제 정책에 대한 저항이 줄고, 지원 정책에 대한 협조도 늘어날 것이다. 스티로폼 부자로 인한 환경오염에 대한 인식이 높아지면 자연적 요인에 의한 유실량이 줄어드는 것도 기대할 수 있다. 그동안은 값싼 스티로폼 부자가 바람과 물살에 떠내려가는 것을 그냥 내버려 둔 측면도 있기 때문에 부자의 유지 관리를 강화해서 유실되지 않게 하는 노력이 늘어날 것이다. 정부에서 규제와 지원을 함께 늘리고 있으며, 구체적으로 어떤 행동 변화를 통해 이 문제 해결에 동참할 수 있는지 전달해야 한다.

어업인과 만날 수 있는 다양한 공간을 교육 홍보의 장으로 활용하는 프로그램의 개발이 필요하다. 우선 이미 제도적으로 진행되고 있는 교육 공간들이 있다. 연안 지자체에서는 대부분 연초에 연례 어업인 교육을 전체 어업인을 대상으로 진행하고 있다. 수협에서도 어촌계장 교육, 협동조합 교육을 진행한다. 이 공간에서 활용할 수 있는 홍보물 제작 배포 및 홍보 부스 운영, 전문 강사 파견 등을 고려할 수 있다. 더불어, 일반적인 홍보보다 어업인과 소통을 통해 참여를 이끌어내는 참여형 프로그램을 발굴하고 적용할 필요가 있다. 어촌계 모임을 찾아가는 사랑방 좌담회, 자율관리공동체의 자발적 환경관리 활동 지원, 모범 사례 확산 등도 필요하다.

■ ■ 감사의 글

어업인 인터뷰를 도와준 굴수하식수협 임직원들, 양식장 스티로폼 부자 발
생량 지도 제작을 도와주신 경희대학교 문성국 연구원께 감사드립니다.

투고일	2016. 3. 22.
1차 심사일	2016. 5. 27.
게재확정일	2016. 6. 18.

■ ■ 참고문헌

1. 고성군, 2011. 『고성군 통계연보』, <http://newstat.goseong.go.kr/>
2. 거제시, 2012. 『거제시 통계연보』, <http://stat.geoje.go.kr/index.geoje>
3. 남해군, 2014. 『남해군 통계연보』, <http://stat.namhae.go.kr>
4. 사천시, 2013. 『사천시 통계연보』, <http://stat.sacheon.go.kr/html/index.asp>
5. (사)한국발포스티렌재활용협회, (사)동아시아바다공동체오션. 2013. 『지자체 스티로폼 부자 재활용 활성화 연구』. pp. 103.
6. 이종명, 홍선욱, 이미정. 2015. 『양식장 스티로폼 부자 쓰레기 저감 방안』. 해양수산부, 경상남도, 영남씨그랜트센터. pp. 75.
7. 장용창, 이종명, 홍선욱, 심원준, 강대석. 2013. 「스티로폼 부자 해양쓰레기 대응 정책 개발과 우선순위 평가」. 『한국해양환경·에너지학회지』, 제16권 제3호, 한국해양환경·에너지학회, pp. 171-180.
8. 채동렬. 2011. 「경남의 어류양식업 선진화를 위한 과제」. 『경남정책 Brief』, pp. 1-12.
9. 최주섭. 2011. 「수산물 상자 및 양식용 부자 사용현황 및 재활용 활성화 방안」. 『스티로폼 해양쓰레기 재활용 활성화 워크숍 결과보고서』. 통영. pp. 59-62.
10. 최주섭. 2012. 「수산물 양식용 부자 재활용 확대 방안」. 『스티로폼 해양쓰레기 정책 워크숍 결과보고서』. 통영. pp. 72-78.
11. 통영시. 2014. 『통영시 통계연보』, http://newstat.tongyeong.go.kr/html/asp_frame.asp
12. 해양환경관리공단, 2013. 『제2차 해양쓰레기 관리 기본계획 수립에 관한 연구』, pp. 389.
13. 한국환경공단, (사)한국플라스틱자원순환협회. 2010. 『생산자책임재활용제도』. 서울. pp. 15.
14. 해양수산부. 2015. 『2015년도 해양수산사업 시행지침서』
15. 해양수산부, 해양환경관리공단 2014. 『국가 해양쓰레기모니터링 결과보고서』. pp. 144.
16. 홍선욱, 이종명, 장용창, 이미정, 이종수(편집). 2013. 『스티로폼 폐부자 회수 및

- 재활용 활성화 워크숍 결과보고서』. (사)동아시아 바다공동체 오션. pp. 105.
17. 홍수연, 이찬원, 홍선욱, 이종명, 장용창. 2014. 「양식장 스티로폼 부자쓰레기로 인한 통영 해변의 오염 평가」. 『한국해양환경·에너지학회지』, 제17권 제2호, 한국해양환경·에너지학회, pp. 104-115.
 18. 환경부. 2003. 「폐기물 재활용정책 방향」
 19. Bergmann, M., Gutow, L. and Klages, M. (Eds.) 2015. *Marine Anthropogenic Litter* Springer: Berlin, ISBN 978-3-319-16510-3, p. 447.
 20. Heo, N.W., Hong, S.H., Han, G.M., Hong, S., Lee, J., Song, Y.K., Jang, M., and Shim, W.J. 2013. "Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam Beach, South Korea". *Ocean Science Journal*. Vol. 48(2), pp. 225-233.
 21. Hong, S., Lee, J., Kang, D., Choi, H.W., and Ko, S.H. 2014. "Quantities, composition, and sources of beach debris in Korea from the results of nationwide monitoring". *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 84, pp. 27-34.
 22. Lee, J., Hong, S., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., Heo, N.W., Han, G.M., Lee, M.J., Kang, D., 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, pp. 349-354.
 23. Lee, J., Hong, S., Jang, Y.C., Lee, M.J., Kang, D., and Shim, W.J. 2015a. "Finding solutions for the styrofoam buoy debris problem through participatory workshops". *Marine Policy* Vol. 51, pp. 182-189.
 24. Lee, J., Lee, J.S., Jang, Y.C., Hong, S.Y., Shim, W.J., Song, Y.K., and Hong, S. 2015b. "Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 69(3), pp. 288-298.
 25. Odaini, N.A.Al-, Shim, W.J., Han, G.M., Jang, M., and Hong, S.H. 2015. "Enrichment of hexabromocyclododecanes in coastal sediments near aquaculture areas and a wastewater treatment plant in a semi-enclosed bay in South Korea". *Science of The Total Environment*, Vol. 505, pp. 290-298.

26. Ostrom, E.. 2005. Understanding Institutional Diversity. UK: Princeton University Press. pp. 376.
27. 해양쓰레기 통합정보 시스템: info.malic.or.kr (2016.3.1.)