

양식장 해양쓰레기 자원순환 방안 연구

A Study on Resources Circulation for Marine Debris of
Aquaculture Farm

2018. 12.

김경신 | 이윤정 | 김연수



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

연구진	김경신 한국해양수산개발원 해양연구본부 부연구위원 이윤정 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 김연수 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구원 엄남일 국립환경과학원 연구사 이진환 (주)해양기술ENG 대표
------------	--

보고서 집필 내역	
연구책임자	김경신 제1장, 제2장, 제4장 일부, 제5장 일부, 제6장

연구진	이윤정 제3장, 제4장 일부 김연수 제5장 일부
------------	-------------------------------

외부연구진	엄남일 제4장 일부 이진환 제4장 일부
--------------	--------------------------

산·학·연·정 연구자문위원	조주훈 (사)한국해양폐기물자원순환협회 전문 김정대 한림성심대학교 교수 차봉진 국립수산물과학원 연구관 조동오 한국해양수산개발원 감리위원 명상순 해양수산부 해양보전과 사무관
-----------------------	--

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

최근 국제사회에서 플라스틱 쓰레기를 포함한 해양쓰레기에 대한 관심과 대응이 크게 강화되고 있다. 국제사회가 해양쓰레기 문제를 기후 변화에 준하는 시급한 환경 현안으로 인식하는 배경에는 육상폐기물과 달리 해양에 유입된 쓰레기는 그 영향이 해양 생태계뿐만 아니라 인간의 건강성에도 직접적으로 부정적인 영향을 미치기 때문이다. 해양으로 유입된 쓰레기가 적기에 처리되지 못하는 경우에는 자국과 인접 국가에도 그 영향이 전이된다.

국제사회가 플라스틱 등 폐기물 대응을 위해 최근 주목하고 있는 정책이 자원순환이다. 자원순환은 발생된 폐기물의 효율적인 재활용과 함께 잠재적으로 폐기물이 될 제품을 친환경 소재로 전환, 이용자의 소비 행태 변화를 함께 요구하는 정책이다. 이를 통해 한편으로는 폐기물의 발생을 억제하고 발생된 폐자원은 에너지 등으로 전환하여 천연 자원의 소비를 줄여 궁극적으로는 지속가능한 사회를 유지하는 데 그 목적이 있다. 우리나라는 올 1월부터 「자원순환기본법」이 시행된 데 이어, 9월에 「제1차 자원순환 기본계획(2018~2027)」이 발표되어 자원순환 사회로의 전환을 추진하고 있다.

육상에서 적정하게 처리되지 못해 해양으로 유입되거나 어업, 해양 레저 등 해상 활동에서 발생하는 해양쓰레기 관리를 위해 우리나라는

1990년대부터 법률 정비, 기본계획 수립, 예방-수거-교육-홍보 등 여러 관리 사업을 추진해 오고 있다. 하지만 이미 발생된 해양폐기물의 재활용을 포함한 처리 부분은 육상폐기물에 비해 진전되지 못하고 예전의 관리를 답습하고 있는 상황이다. 특히 어선 어업에서 발생하는 폐기물에 비해 양식장에서 발생하는 폐기물은 매우 많은 기자재가 사용되고 있음에도 관리에 필수적인 발생량이나 처리 현황 등 기초 자료도 부재한 상태이다. 양식장에서 발생하는 폐기물은 해양환경 및 생태계 파괴, 폐 부표에 의한 해안 경관 훼손과 미세 플라스틱 발생, 어망과 로프에 의한 해난사고 등 여러 피해를 유발하고 있어 특별한 관리가 요구되는 분야임은 명확하다.

이 같은 점에서 본 연구가 추구하고 있는 양식장 폐기물의 유형과 발생량 등을 파악하여 자원순환 기반의 양식장 관리에 필요한 개선방안을 마련한 것은 매우 시의적절하다. 또한 해양폐기물에 자원순환 개념을 적용했다는 점에서 우리나라의 해양쓰레기 관리를 한 단계 업그레이드하는 데 크게 이바지할 것으로 기대된다.

이 연구에서 제시된 개선방안 중 양식장 시설·기자재 내구성 평가제도는 양식장에서 사용하고 있는 시설과 기자재의 지속 사용 여부를 어업인이 자발적으로 평가하는 제도로 향후 시범 적용을 거쳐 제도화될 경우 양식장 폐기물 발생 감소에 크게 기여할 수 있다. 또한 양식장에서 발생한 폐기물을 에너지로 전환하여 지역사회에 공급하는 방안은 어촌의 지역 발전과 함께 해양 분야의 자원순환 사회를 앞당길 수 있는 좋은 사례로 작용될 것으로 기대한다.

끝으로 이 연구의 책임을 맡은 해양연구본부의 김경신 부연구위원과 연구진의 노고에 깊은 감사를 표한다. 아울러 이 연구에 자문과 조언을 아끼지 않은 국립환경과학원 엄남일 박사, (사)한국해양폐기물자원순환협회 조주훈 전무, 한림성심대학교 김정대 교수, 국립수산물과학원 차봉진 연구관, 해양수산부 명상순 사무관, (주)해양기술ENG 이진환 대표께 깊은 감사를 드린다. 이 보고서의 감리를 맡아 적절한 지적과 조언으로 완성도를 높여주신 조동오 감리위원과 목진용 본부장, 이 보고서가 출판되기까지 도움을 주신 모든 분께 이 자리를 빌려 감사를 드린다.

2018년 12월
한국해양수산물개발원
원장 양 창 호

목차

❖ 요약 · i

❖ Executive Summary · ix

제 1 장 서 론 · 1

제1절 연구 배경 및 목적	1
1. 연구의 배경과 필요성	1
2. 연구의 목적	5
제2절 연구의 범위와 방법	6
1. 연구 범위	6
2. 연구 방법	8
제3절 선행연구 검토	11

제 2 장 폐기물 및 해양쓰레기 관리 현황 분석 · 15

제1절 폐기물 관리 현황 분석	15
1. 폐기물 관리제도의 변화	15
2. 자원순환기본법	19
3. 폐기물 관련 주요 정책	24
제2절 해양쓰레기 관리 현황 분석	39
1. 해양쓰레기 관리 정책	39
2. 해양쓰레기 재활용 정책	45

제 3 장 양식장 폐기물 관리 문제점 및 해외사례 분석 · 53

제1절 양식업 현황	53
1. 국내 양식어업 현황	53
2. 양식방법과 양식시설	59
제2절 양식장 어구 현황	65
1. 주요 품종별 양식시설과 어구	65
2. 양식장 어구 종합	74
제3절 양식장 폐기물 처리의 문제점	77
1. 양식장 폐기물 처리제도 및 절차	77
2. 연간 발생량 및 처리량	81
3. 부적절한 처리와 해양 유입	82
4. 부적절한 처리의 원인	88
제4절 해외 해양쓰레기 자원순환 사례분석	98
1. 일본 사례	98
2. 미국 사례	103
3. 유럽 사례	110
4. 해외 업사이클링 사례	114
5. 시사점	116

제 4 장 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석과 자원순환 적용 기술 · 121

제1절 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석	121
1. 완도군 양식업 일반 현황	121
2. 조사의 개요	127
3. 완도군 품목별 양식장 시설물 사용량 분석	130
4. 완도군 품목별 양식장 시설물 폐기물 발생량 및 처리 실태 분석	140
제2절 양식장의 자원순환 모델	149
1. 자원순환 개념 및 순환 체계	149

2. 양식장의 자원 순환 흐름과 모델	153
제3절 양식장 자원순환 적용 기술	160
1. 폐기물 재활용 유형	160
2. 양식장 자원순환 적용 기술	163

제 5 장
양식장 자원순환 개선 방안 · 177

제1절 양식장 폐기물 자원순환을 위한 제도 개선	177
1. 양식장 기자재 생산자책임재활용 적용 확대	177
2. 양식장 시설·기자재 내구성 평가제도	179
3. 지자체 책임 강화를 위한 조례 제정	181
제2절 양식장 폐기물 자원순환을 위한 기반 조성	183
1. 양식장 폐기물 배출·처리 가이드라인 마련	183
2. 양식장 폐기물 자원순환 시설 조성 및 운영	184
3. 어업인 등 이해관계자 인식 개선	186
제3절 양식장 자원순환 기술 개발 방향 및 지원	187
1. 양식장 자원순환을 위한 기술 개발 방향	187
2. 자원순환을 고려한 양식장 기자재 기술 개발 지원 정책	190

제 6 장
결론 및 정책 제언 · 199

제1절 결론	199
1. 해양 부문의 자원순환 사회로 이행을 위한 노력은 부족	200
2. 발생량은 줄이고 재활용 시장을 활성화하는 것이 장기적 해결방안 ...	201
3. 양식장 폐기물을 활용하여 지역사회에 에너지로 환원	202
4. 법령 정비 및 기반 구축을 통한 자원순환 효율화 추진	203
제2절 정책제언	205
1. 자원순환 기반의 양식장 관리를 위한 법령 정비	205
2. 양식장 시설·기자재 내구성 평가 기준 마련 및 시범사업 추진	206

	3. 양식장 발생 폐기물의 체계적 조사 시행 206
	4. 해양폐기물 재활용 및 관련 산업 지원을 위한 정부 주도형 정책 필요 207

표 목차

❖	
〈표 1-1〉 연구의 내용적 범위	7
〈표 1-2〉 현장 조사 및 전문가 활용 등 주요 연구 방법과 내용	10
〈표 1-3〉 선행연구 현황	12
〈표 2-1〉 폐기물의 분류	16
〈표 2-2〉 제1차 자원순환기본계획의 추진 과제	23
〈표 2-3〉 폐기물 관련 법령의 주요 정책	24
〈표 2-4〉 재활용 환경성 평가 관련 주요 법령 개정사항	25
〈표 2-5〉 생산자책임재활용제도 대상 품목	26
〈표 2-6〉 제2차 및 제3차 장기 재활용 목표율	27
〈표 2-7〉 생산자책임재활용제도 대상품목별 공제조합 현황(7개)	28
〈표 2-8〉 폐기물 분류별 관리 주체 및 처리 책임	29
〈표 2-9〉 농촌 발생 폐기물의 수거·처리 주체	29
〈표 2-10〉 연도별 영농폐비닐 수거·처리 현황	31
〈표 2-11〉 연도별 영농폐농약용기 수거·처리 현황	31
〈표 2-12〉 1차 에너지 기준 원별 비중 목표	33
〈표 2-13〉 폐기물 재생에너지 생산량(2014~2016년)	34
〈표 2-14〉 주요 친환경에너지타운 지정 현황	37
〈표 2-15〉 해양쓰레기 관련 주요 국제사회의 동향	42
〈표 2-16〉 2016~2018년도 제품·포장재별 재활용 의무율	46
〈표 2-17〉 연도별 수산양식용 부자 재활용 의무 이행 실적 현황	47
〈표 2-18〉 자발적 협약 대상 품목	49
〈표 3-1〉 해역별 특성 및 양식품종	58
〈표 3-2〉 해상양식어업 종류별 양식방법	61
〈표 3-3〉 해상양식어업 종류별 양식방법 및 주요 어구	63

〈표 3-4〉 연구 대상 양식방법 및 양식 품종	64
〈표 3-5〉 주요 양식 품종별·양식 방법별 사용 어구 종류	75
〈표 3-6〉 주요 양식 품종별 플라스틱류 어구의 사용 연수(추정)	76
〈표 3-7〉 양식장 폐기물 처리에 관한 규정	78
〈표 3-8〉 해상 양식장 폐어구, 페스티로폼 부표 발생량 추정량	82
〈표 3-9〉 플라스틱 쓰레기의 자연분해 속도	86
〈표 3-10〉 방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 종류별 처리단가	94
〈표 3-11〉 여수시의 폐기물 중간처분 및 재활용 처리업체 현황	96
〈표 3-12〉 일본의 어업용 폐기물 관련 법령	98
〈표 3-13〉 ‘어업계 폐기물 처리 가이드라인’ 예시	100
〈표 3-14〉 2018년 ‘Fishing for Energy’ Grant fund 지원사업	109
〈표 3-15〉 해외 해양 플라스틱 쓰레기 업사이클 유형 및 사례	115
〈표 3-16〉 주요국의 어업 폐기물 처리 및 자원순환 사례 요약	118
〈표 4-1〉 완도군 어가 및 어가 인구 현황	122
〈표 4-2〉 완도군 어선 보유 현황	123
〈표 4-3〉 완도군 주요 수산물 생산량	123
〈표 4-4〉 완도군 양식 방법에 따른 사육수 면적	125
〈표 4-5〉 완도군 양식어업권 현황 및 비율(2016년)	126
〈표 4-6〉 완도군 읍·면별 양식어업권(2016년)	126
〈표 4-7〉 양식 품목별 조사 내용	129
〈표 4-8〉 완도군 양식 품목별 시설량(2017년)	129
〈표 4-9〉 지주식 김 양식장 시설물 사용량	131
〈표 4-10〉 노출 부류식 김 양식장 시설물 사용량	134
〈표 4-11〉 미역(다시마) 양식장 시설물 사용량	136
〈표 4-12〉 전복 해상가두리 양식장 시설물 사용량	139
〈표 4-13〉 전복 종묘 양식장 시설물 사용량	140
〈표 4-14〉 김 양식장 폐기물 발생량 및 처리율	141
〈표 4-15〉 미역(다시마) 양식장 폐기물 발생량 및 처리율	143
〈표 4-16〉 전복 해상가두리 양식장 폐기물 발생 및 처리율	145
〈표 4-17〉 전복 종묘 양식장 폐기물 발생량 및 처리율	146

〈표 4-18〉 완도군 양식장 폐기물 발생량	148
〈표 4-19〉 완도군 양식장 폐기물 처리량	148
〈표 4-20〉 폐기물, 순환자원, 폐자원 비교	150
〈표 4-21〉 자원순환 및 자원순환 사회 개념 비교	151
〈표 4-22〉 폐기물의 용도별 재활용 유형	162
〈표 4-23〉 바닷물의 총 구성 성분	166
〈표 4-24〉 양식장 폐기물에 적용되는 자원순환 기술 종합	175
〈표 5-1〉 양식장 폐기물 EPR 적용을 위한 개선 추진 과제	179
〈표 5-2〉 양식장 시설·기자재 내구성 평가제도 도입 방안	181
〈표 5-3〉 양식장 폐기물의 자원순환을 위한 조례의 주요 내용	182
〈표 5-4〉 양식장 폐기물 배출 및 처리 가이드라인의 주요 내용	184
〈표 5-5〉 양식장 자원순환 시설 조성 및 운영에 필요한 과제	185
〈표 5-6〉 자원순환 양식장 폐기물 관리를 위한 인식 개선 과제	187
〈표 5-7〉 자원순환을 고려한 양식장 기자재 기술 개발 지원 정책	196

그림 목차



〈그림 1-1〉 일본 대마도 출장	9
〈그림 1-2〉 노르웨이 출장	9
〈그림 1-3〉 연구의 흐름	11
〈그림 2-1〉 폐기물정책 패러다임의 변화	19
〈그림 2-2〉 「자원순환기본법」 개요	22
〈그림 2-3〉 영농폐비닐 수거 및 처리 체계	30
〈그림 2-4〉 폐자원 에너지화 추진 목표	35
〈그림 2-5〉 환경부 선정 친환경 에너지타운 조감도(2016년)	38
〈그림 2-6〉 제2차 해양쓰레기 관리 기본계획의 비전과 추진 과제	44
〈그림 2-7〉 수산 양식용 친환경 부표	45
〈그림 2-8〉 고정식 감용기 및 이동식 압축기	48
〈그림 3-1〉 연도별 천해양식어업 면허 건수 및 면적	54
〈그림 3-2〉 2017년 수산물 품종별 양식면허 면적 현황	55
〈그림 3-3〉 상위 14개 양식 품종(면적기준)	56
〈그림 3-4〉 지자체별·품종별 양식면적 분포도	57
〈그림 3-5〉 양식 절차 흐름도	59
〈그림 3-6〉 수하식 김 양식시설 사진	66
〈그림 3-7〉 지주식 김 양식시설 사진	67
〈그림 3-8〉 연승 수하식 미역 및 다시마 양식시설	68
〈그림 3-9〉 연승 수하식 굴 양식시설 사진	69
〈그림 3-10〉 간이수하식 굴 양식시설 사진	70
〈그림 3-11〉 전복 양식시설(채롱, 연승식 그물, 뗏목) 사진	71
〈그림 3-12〉 가두리 양식시설 사진	72
〈그림 3-13〉 전복 양식시설 사진	73

〈그림 3-14〉 지주식 우렁쟁이 양식시설 사진	74
〈그림 3-15〉 사업장폐기물 처리절차	79
〈그림 3-16〉 영농폐기물 발생-수거-처리 프로세스	80
〈그림 3-17〉 어항에 방치된 연승줄	83
〈그림 3-18〉 해안가에 파쇄된 채 방치된 패각	84
〈그림 3-19〉 전 세계 포장재 플라스틱의 물질 흐름	85
〈그림 3-20〉 해안쓰레기 종류 및 해양쓰레기 수거량	87
〈그림 3-21〉 양식장 폐어구 처리의 본질적 한계	90
〈그림 3-22〉 영농폐기물 수거함 사례사진	93
〈그림 3-23〉 페스티로폼 부표의 펠렛 제조 설비	102
〈그림 3-24〉 가고시마 폐부표를 활용한 자숙용 보일러 현장 사진	103
〈그림 3-25〉 해양쓰레기 프로그램(MDP)의 중장기 전략(2016~2020)	107
〈그림 3-26〉 ‘Fishing for Energy’ 실시 지역 및 폐어구 수거함	108
〈그림 3-27〉 ㈜Nofir의 폐어망 수거·처리 프로세스	113
〈그림 3-28〉 ㈜Nofir의 폐어망 수거·처리 실적	114
〈그림 4-1〉 완도군 어가 및 어가 인구 변화	122
〈그림 4-2〉 완도군 주요 수산물 생산량 변화	124
〈그림 4-3〉 완도군 양식어업권 등록(왼쪽) 및 면적 현황(오른쪽)	126
〈그림 4-4〉 완도군 양식장 폐기물 발생량 및 처리량 조사 프로세스	128
〈그림 4-5〉 완도군 지주식 김 양식장 시설물 모식도	130
〈그림 4-6〉 완도군 노출 부류식 김 양식장 시설물 모식도	132
〈그림 4-7〉 완도군 노출 부류식 김 양식장 시설물	133
〈그림 4-8〉 완도군 미역 양식장 시설물 모식도	135
〈그림 4-9〉 완도군 전복 가두리 양식장 시설물	138
〈그림 4-10〉 전복 종묘 양식장 시설물	140
〈그림 4-11〉 김 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도	142
〈그림 4-12〉 미역(다시마) 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도	144
〈그림 4-13〉 전복 해상가두리 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도	146
〈그림 4-14〉 전복 종묘 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도	147
〈그림 4-15〉 방치 및 폐기된 양식장 폐기물	149

〈그림 4-16〉 자원의 선순환체계	152
〈그림 4-17〉 양식장 플라스틱 폐기물 처리 정책 개선 방향	155
〈그림 4-18〉 양식장 자원순환 흐름	156
〈그림 4-19〉 양식장 폐기물의 자원순환을 위한 단계별 가이드	158
〈그림 4-20〉 양식장 자원순환 모식도	159
〈그림 4-21〉 바이오가스화 생산 단계	172
〈그림 4-22〉 유기성폐기물에서 에탄올 생성 단계	173
〈그림 4-23〉 유기성폐기물 퇴비화 단계	174
〈그림 5-1〉 해외 페어망 등 해양 플라스틱을 이용한 제품	190

요약

양식장 해양쓰레기 자원순환 방안 연구

1. 연구의 목적

- ▶ 양식장에서 발생하는 폐기물의 유형과 발생량 등을 파악하여 자원 순환 기반의 양식장 관리에 필요한 개선방안을 마련하고자 함
 - 이를 통해 양식장 해양쓰레기로 인한 해양환경 및 생태계 파괴, 해안 경관 훼손, 미세 플라스틱 오염, 선박 부유물 얽힘 사고 등의 예방에 기여하고자 함

2. 연구의 범위

- ▶ 양식장에서 사용하는 기자재의 유형별 사용량, 발생량, 처리량 및 처리 현황을 정량적으로 추정하고, 국내·외 해양쓰레기 관련 재활용 또는 자원순환 사례를 파악하여 우리나라 양식장에 적용 가능한 방법을 모색하고 관리 방안을 제시함

〈표 1〉 연구의 내용적 범위

구분	주요 내용
제1장 서론	• 연구의 배경 및 목적 • 연구의 범위와 방법 • 선행연구 현황
제2장 폐기물 및 해양쓰레기 관리 현황 분석	• 폐기물 관리제도 분석 • 해양쓰레기 관리 현황 분석
제3장 양식장 폐기물 관리 문제점 및 해외사례 분석	• 양식업 및 양식장 어구 현황 • 양식장 폐기물 처리의 문제점 • 해외 해양쓰레기 자원순환 사례 분석
제4장 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석과 자원순환 적용 기술	• 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석 • 양식장 자원순환 모델 • 양식장 자원순환 적용 기술
제5장 양식장 자원순환 개선 방안	• 양식장 폐기물 자원순환을 위한 제도 개선 • 양식장 폐기물 자원순환을 위한 기반 조성 • 양식장 자원순환 기술 개발 방향 및 지원
제6장 결론 및 정책제언	• 결론 • 정책 제언

3. 연구 결과

1) 연구 결과 요약

- ▶ 우리나라 폐기물 관리정책의 패러다임은 ‘쾌적한 생활환경 조성을 위한 폐기물 관리’에서 ‘기후변화, 원자재 및 에너지 고갈에 대비한 자원순환 사회 구축’으로 전환
- 「자원순환기본법(2018년 1월 시행)」에 따라 자원순환 성과관리, 폐기물처분부담금, 순환이용성평가 제도를 도입, 매립·소각 지양 및 재활용 촉진

- 신재생에너지의 개발·이용·보급 촉진 정책의 일환으로 폐자원 에너지화 기반 시설을 확충, 환경부 주도로 폐기물을 에너지로 전환하는 ‘친환경에너지타운’을 조성
- ▶ 그러나 양식장 폐기물의 재활용은 스티로폼 부표, 김발장, 폐어망 등 일부만 이루어지고 있어 매우 미흡한 실정
- 처리시설(감용기)이 개발·보급된 스티로폼 부표와 생산자가 한정된 수거가 용이한 합성수지 재질의 김발장, 그리고 일부 폐어망만이 재활용
- 해양쓰레기 소각시설 등은 지자체 협조 미흡 및 운영비 문제로 인한 미상용화, 유성(油性) 폐기물 자원화 등의 기술개발 미착수 등 기술개발 부족과 시설 설치 미흡이 주요 요인임
- ▶ 양식장은 전남과 경남지역에 발달해 있으며, 수하식, 건홍식, 가두리식으로 양식하는 김 등의 해조류와 굴 등의 패류, 그리고 어류 양식장에서 PP, PE, EPS재질의 어구를 사용

〈표 2〉 연구 대상 양식 방법과 품종 및 주요 어구

양식어업 종류		합성수지 재질의 어구	양식 품종
건홍식	부류식	그물 망(PP), 밧줄(PP), 부표(EPS), 노끈(나일론)	김
	지주식	그물 망(PP), 밧줄(PP), 노끈(나일론)	
연승 수하식		밧줄(PP), 노끈(나일론), 코팅사(고무), 부표(EPS)	굴, 우렁챙이,
		밧줄(PP), 노끈(나일론), 부표(PE 등)	미역, 다시마
간이 수하식	수하연	밧줄(PP), 노끈(나일론), 코팅사(고무)	굴
	수평망	밧줄(PP), 노끈(나일론), 플라스틱 망(PE)	
	수평끈	밧줄(PP), 노끈(나일론), 포장끈	

양식어업 종류	합성수지 재질의 어구	양식 품종
가두리식	가두리 본체(PE), 밧줄(PP), 그물(PP, 나일론), 그물 고정틀(PE), 부표(EPS 등), 노끈(PE, PP, PVC)	어류
	가두리 본체(PE), 밧줄(PP), 그물(PP, 나일론), 그물 고정틀(PE), 부표(EPS 등), 노끈(PE, PP, PVC), 헬터(PE, PP, PVC)	전복

- ▶ 양식장 폐어구가 해양쓰레기 발생원이 된 이유는 아래와 같음
 - 수거·처리 비용이 높고, 높은 기술력이 요구되고, 시·공간·연도별 발생량 변동폭이 크고, 폐자원으로서 가치가 낮음
 - 「폐기물관리법」상 폐기물 유형(생활, 사업장) 분류가 모호하고, 어촌현장에 적합한 배출보관시설과 재활용 기반이 미흡하고, 민간처리 업체가 부족하고, 처리단가 규정은 비현실적임
 - 발생량이 작은 양식장 폐기물은 사업성이 낮아 전문 위탁업체 수가 많지 않기 때문에 업체를 선정하기 어려운 것이 현실
- ▶ 미국, 일본, 유럽은 양식장 쓰레기 재활용 제도를 정비하고, 적정 수거·처리 시스템을 구축하고, 해양쓰레기를 자원으로 순환시키고자 노력하고 있음
 - 미국 Fishing for Energy, 일본 어장 표류·표착물 관리 촉진사업, 유럽 Circular Economy Package가 대표적 사례로, 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기에서 에너지를 회수하거나 재생원료를 추출 후 재활용
 - 이를 실행하기 위해 관련 규정을 정비, 지자체 혹은 어업인의 해양쓰레기 처리를 지원, 재활용 기술을 개발, 수거-재활용 시스템을 구축

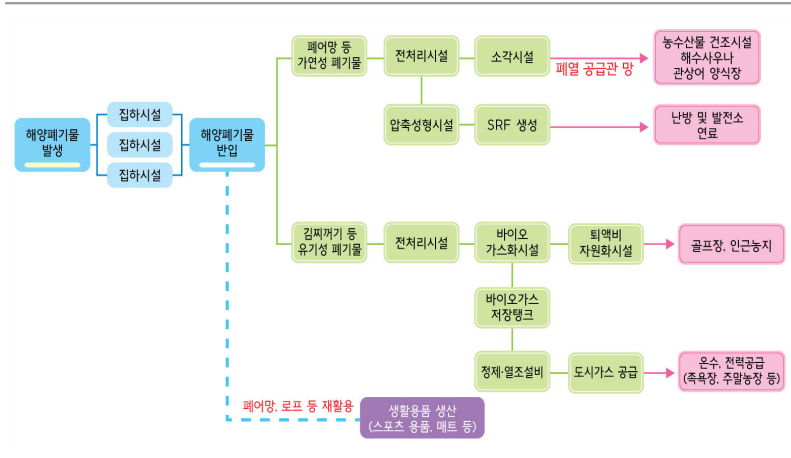
- 최근에는 up-cycling 제품을 개발하여 폐자원으로서 해양쓰레기의 수요를 창출
- ▶ 완도군의 연간 양식장 폐기물 발생량은 25,679톤이며, 이중 70.3%는 재활용, 소각 등 시스템에 의해 처리되나, 24.0%는 육상에 방치, 15.7%는 바다에 유실 및 투기되고 있는 실정임
- 시스템에 의한 처리량 중 51.0%는 재활용, 15.7%는 소각, 3.7%는 지자체 등에 의해 쓰레기로 처리

〈표 3〉 완도군 양식장 폐기물 발생량 및 처리량

양식업		총 발생량 (ton/yr)	폐기물 처리량(ton/yr)				
			유실 및 투기	재활용 및 판매	소각	방치	쓰레기 처리
김	지주식	255	-	-	-	-	255
	노출 부류식	2,040					
미역, 다시마	연승식	4,593	2,772	-	911	820	91
전복	해상 가두리식	16,119	302	10,172	-	5,080	564
전복종묘	육상 수조식	2,672	-	2,672	-	-	-
합계		25,679	3,074	12,844	911	5,900	910
비율(%)		100.0	15.7	51.0	5.7	24.0	3.6

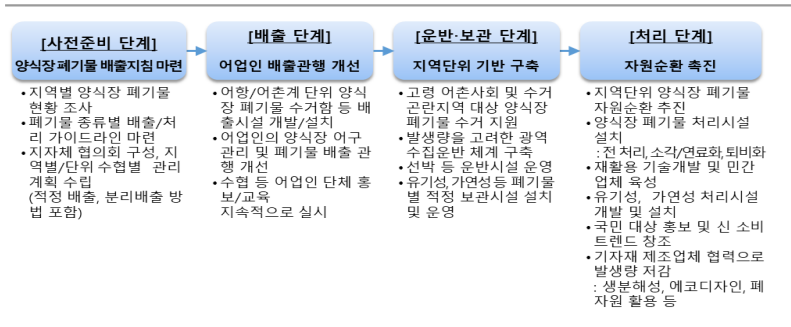
- ▶ 양식장의 자원순환은 양식장 폐기물이 발생하는 지역사회에서 폐기물을 재활용하거나 에너지를 회수하고 그 혜택을 지역주민에게 되돌리는 순환구조를 의미함
- 재생불능자원 및 에너지의 사용을 줄일 수 있어야 함
- 양식장에서 발생하는 폐기물의 양을 줄일 수 있어야 함
- 재사용·재활용이 안 되는 폐기물은 에너지로 회수하여야 함

〈그림 1〉 양식장 자원순환 모식도



- 양식장 자원순환 모델을 성공적으로 정착시키기 위한 단계별 요구 사항은 아래 그림과 같음

〈그림 2〉 단계별 양식장 폐기물의 자원순환 가이드



- ▶ 양식장 폐기물에 적용 가능한 자원순환 기술은 아래와 같음

- 수산양식용 부자 : 고형폐기물 연료화 및 정제연료유, 열분해 및 탄화 가스화, 재활용 제품 소재

- 수산양식용 플라스틱 및 목재 기자재와 시설 : 열분해 및 탄화 가스화, 재활용 제품 소재
- 어망과 로프 : 열분해 및 탄화 가스화, 재활용 제품 소재
- 유기성 폐기물(김 찌꺼기, 폐사 어류 등) : 바이오가스화, 퇴비화

2) 양식장 자원순환을 위한 개선방안

- ▶ 양식장 폐기물 자원순환을 위해서 필요한 제도 개선사항
 - 양식장 기자재 생산자책임재활용 적용 확대
 - 양식장 시설·기자재 내구성 평가제도
 - 지자체 책임 강화를 위한 조례 제정
- ▶ 양식장 폐기물 자원순환을 위한 기반 조성사항
 - 양식장 폐기물 배출·처리 가이드라인 마련
 - 양식장 폐기물 자원순환 시설 조성 및 운영
 - 어업인 등 이해관계자 인식 개선
- ▶ 양식장 자원순환 기술 개발 지원사항
 - 자원순환을 고려한 양식장 기자재 기술 개발 지원 정책
: 생분해성 어구 기술 개발 지속 및 기존 폐어구 회수 강화, 패각 재활용 기술 투자, 유기성 폐기물 자원화 기술 개발, 친환경 양식 기자재 기술 개발
- ▶ 양식장 폐기물의 안정적인 자원 순환 방안
 - 첫째, 자원순환 기반의 양식장 관리를 위한 법령 정비

- 둘째, 양식장 시설·기자재 내구성 평가 기준 마련
- 셋째, 양식장 발생 폐기물의 체계적 조사 시행
- 넷째, 국가 주도로 해양폐기물 재활용 및 관련 산업 지원

3) 정책적 기여 등 기대효과

- ▶ 해양수산부의 ‘자원순환 해양쓰레기 기술개발 기획연구’ 참여
 - 선박해양플랜트 연구소(2018. 9. 18) 주관 전문가 회의에 참석하여 친환경 산업 소재화와 에너지화 방안 관련 논의
 - 해양환경공단(2018. 10. 8) 주관 전문가 회의에 참석하여 해양쓰레기 전 주기별 관리를 위한 기술개발 방향 논의
 - 한국해양과학기술원(2018. 12. 4) 주관 전문가 회의에 참석하여 해양쓰레기 정책 및 재활용 사례 등 발표하고 어망, 플라스틱 쓰레기 재활용 방안 논의
- ▶ ‘제3차 해양쓰레기 관리 기본계획’에 본 과제의 내용을 반영
 - 해양쓰레기 재활용 기술 개발을 위한 정부 과제
 - 해양쓰레기 없는 어촌 시범마을 사업
 - 해양쓰레기 재활용 사업 육성

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on Resources Circulation for Marine Debris of Aquaculture Farms

1. Purpose

- ▶ This study aims to identify the type and volume of marine debris generated in aquaculture farms, presenting improvement measures required for resource circulation- based management of aquaculture farms.
- Through this work, the study intends to contribute to the prevention of the followings; damaging the marine environment and ecosystem resulting from marine debris of aquaculture farms, destroying coastal landscape, microplastic pollution and accidents from entangled rope or floating matter.

2. Scope

- ▶ The scope of this study includes a quantitative estimation of usage, generation, the status and amount of treatment based on the type of aquaculture equipment used in the field. Having identified domestic and foreign cases of recycling and resource circulation relevant to marine debris, the study aims to seek measures applicable to Korean aquaculture farms, presenting management strategies.

〈Table 1〉 Scope of the study

Classification	Major contents
Chapter 1. Introduction	• Background and purpose of the study • Scope and methods • Status of preceding studies
Chapter 2. Analysis of management status of waste and marine debris	• Analyzing waste management system • Analyzing the current status of managing marine debris
Chapter 3. Analysis of problems of waste management in aquaculture farms and foreign cases	• Current status of the aquaculture industry and relevant fishing gear • Problems of waste treatment in aquaculture farms • Analyzing foreign cases of resource circulation for marine debris
Chapter 4. Analysis of generation and treatment volume of aquaculture waste in Wando-gun and resource circulation technology	• Analyzing generation and treatment amount of waste from aquaculture farms in Wando-gun • Resource circulation model of aquaculture farms • Technology applied to resource circulation in aquaculture farms

Classification	Major contents
Chapter 5. Measures to improve resource circulation in aquaculture farms	• Institutional improvement for resource circulation of aquaculture waste • Building the foundation for resource circulation of aquaculture waste • Direction and support for technological development of resource circulation for aquaculture farms
Chapter 6. Conclusion and policy suggestion	• Conclusion • Policy suggestion

3. Results

1) Summary

- ▶ The paradigm of South Korea's waste management policy has shifted from 'waste management for creating pleasant living environment' to 'building resource circulation society for preparing climate change and the depletion of raw materials and energy'.
- In accordance with the Framework Act on Resource Circulation (took effect on January 2018), various measures were introduced including the resource circulation performance management, charge on waste disposal and the Assessment of Resource Circulation Utilization, and avoiding reclamation and incineration, while promoting recycling.
- As part of the policy to promote the development, usage and distribution of renewable energy, the government established the

‘Environmental-friendly Energy Town’. Driven by the Ministry of Environment, this area is equipped with infrastructures for switching waste resource into energy.

- ▶ However, recycling of aquaculture waste is conducted to very limited items including Styrofoam, laver drying screens and derelict fishing nets.
 - Styrofoam buoys are recycled since treatment facilities (Styrofoam volume reducer) have been developed and distributed. Laver-drying screens made of synthetic resins are recycled because producers are easy to collect along with some fishing nets.
 - Incineration facilities of marine debris are not commercialized since local governments have been unwilling to cooperate as well as problems surrounding the operation cost. In addition, technological development for turning waste oil into resource has not begun.
- ▶ Aquaculture farms have grown in South Jeolla and South Gyeongsang provinces. While seaweed such as laver and shellfish such as oysters are cultivated with hanging culture, rack culture and cage culture methods, fish farms are using fishing gears made of PP, PE and EPS.

〈Table 2〉 Aquaculture methods, species and major fishing gear for subjects of this study

Types of aquaculture		Fishing gear made of synthetic resins	Aquaculture species
Rack culture	Buoy type	net (PP), rope (PP), buoy (EPS), string (nylon)	Laver
	Pole type	net (PP), rope (PP), string (nylon)	
Hanging culture with long lines		rope (PP), string (nylon), coated yarn (rubber), buoy (EPS)	Oyster, Sea squirt
		rope (PP), string (nylon), buoy (PE etc.)	Sea mustard, Kelp
Hanging culture at shallow waters	Hanging line	rope (PP), string (nylon), coated yarn (rubber)	Oyster
	Horizontal net	rope (PP), string (nylon), plastic net (PE)	
	Horizontal string	rope (PP), string (nylon), packaging string	
Cage culture		main body of cage (PE), rope (PP), net (PP, nylon), net fixing frame (PE), buoy (EPS etc.), string (PE, PP, PVC)	Fish
		main body of cage (PE), rope (PP), net (PP, nylon), net fixing frame (PE), buoy (EPS etc.), string (PE, PP, PVC), shelter (PE, PP, PVC)	Abalone

- ▶ Derelict fishing gear of aquaculture farms has become the source of marine debris due to the following reasons:
 - Derelict fishing gear needs high cost for collection and treatment, which also requires advanced technology. In addition, the range of generation varies per seasons as well as per year and has low value as waste resource.
 - The classification of the type of waste (domestic waste, industrial waste) is not clear under the Wastes Control Act. The foundation

is not sufficient in terms of disposal and storage facilities befitting to fishing communities as well as recycling. In addition, the number of private treatment companies falls short and the regulation concerning the unit cost of treatment is unrealistic.

- The commercial value of specialized treatment agency for aquaculture waste is low due to its small generation volume. Therefore, selecting an agency for entrusting the treatment is quite difficult.
- ▶ The US, Japan and Europe have made efforts to circulate and turn marine debris into resources. For this purpose, countries rearranged the recycling system for aquaculture waste, building an optimal system from collection to treatment.
- Representative cases include ‘Fishing for Energy’ of the US, promotion project for the management of floating and drifting matters in Fishing grounds of Japan and ‘Circular Economy package’ of Europe. These campaigns aim to recycle marine debris including aquaculture waste after recovering the energy or extracting resource material from the waste.
- Taking these into action, countries rearranged relevant regulations, while supporting the local governments or fishermen to treat marine debris. At the same time, countries have developed recycling technology and established a system from collection to recycling.
- Recently, the development of up-cycling products has generated the demand of marine debris as waste resource.

- ▶ The annual amount of aquaculture waste generated in Wando-gun stands at 25,679 tons, among which 70.3% are treated by systems such as recycling and incineration. However, 24.0% are left on land unattended, while 15.7% are carried away or dumped at sea.
- From the amount treated by the systems, 51.0% were recycled, 15.7% was incinerated while 3.7 was treated as waste by local governments.

〈Table 3〉 The amount of aquaculture waste generated and treated in Wando-gun

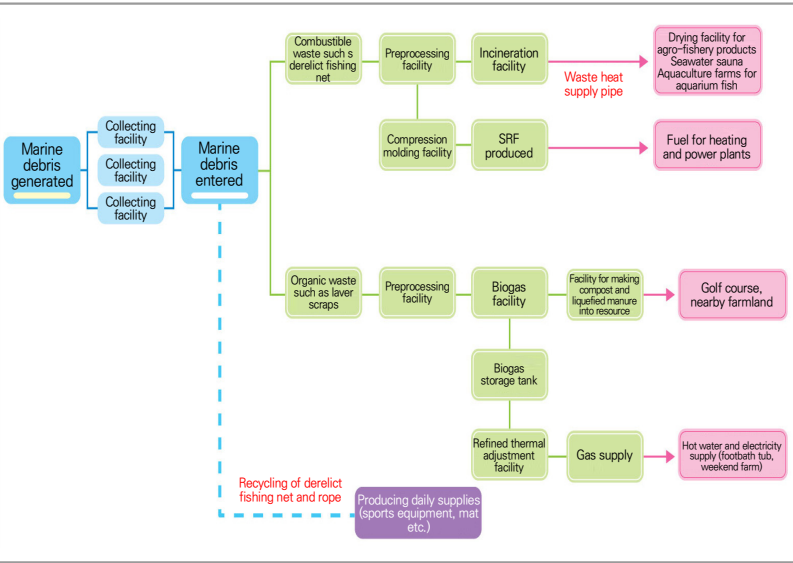
Aquaculture industry		Total generation (ton/yr)	Waste treatment (ton/yr)				
			Wash away or dump	Recycling or sale	Incineration	Leave unattended	Waste treatment
Laver	Pole type	255	-	-	-	-	255
	Exposed Buoy type	2,040					
Seaweed mustard, Kelp	Long line method	4,593	2,772	-	911	820	91
Abalone	Marine cage method	16,119	302	10,172	-	5,080	564
Abalone seed	Ground aquarium method	2,672	-	2,672	-	-	-
Total		25,679	3,074	12,844	911	5,900	910
Ratio (%)		100.0	15.7	51.0	5.7	24.0	3.6

- ▶ Resource circulation of aquaculture farms means having a circulation structure in which a local community, where

aquaculture waste is generated recycles the waste or collects the energy and then gives back the benefit to local residents.

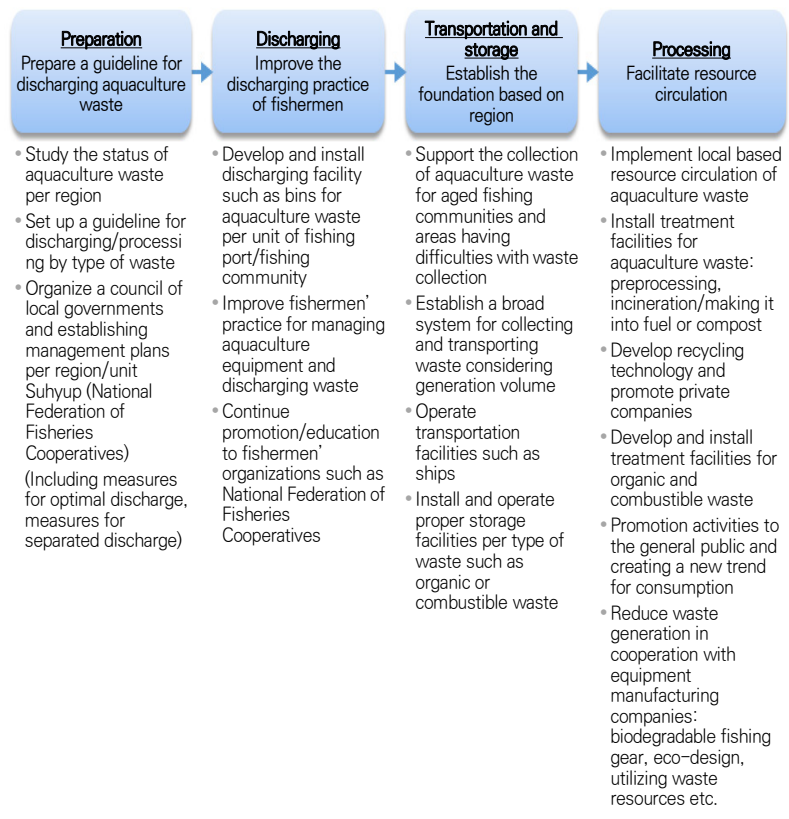
- Able to reduce non-recyclable resources or the use of energy
- Able to cut the amount of waste generated from aquaculture farms
- Able to collect energy from waste, which is not available for reuse or recycling

〈Picture 1〉 Diagram of resource circulation in aquaculture farms



- The successful establishment of resource circulation model for aquaculture farms needs requirements for each step as follows;

〈Picture 2〉 Stage-based guide for resource circulation of aquaculture waste



- Technologies of resource circulation applicable to aquaculture waste are listed below:
- Buoy for fish farming: turning solid waste into fuel and refined fuel oil, thermal decomposition and turning it into hydrocarbon, source for recycled products
 - Plastic and wood equipment and facilities for fish farming:

thermal decomposition and turning it into hydrocarbon, source for recycled products

- Fishing net and rope: thermal decomposition and turning it into hydrocarbon, source for recycled products
- Organic waste (laver scraps, dead fish etc.): turning it into biogas or compost

2) Improvement measures for resource circulation of aquaculture farms

- ▶ Institutional improvements required for resource circulation of aquaculture waste
 - Expand the application of the Extended Producer Responsibility (EPR) to aquaculture equipment
 - Conduct the Durability Evaluation for aquaculture equipment and facilities
 - Establish the ordinance for strengthening the responsibility of local governments
- ▶ Requirements for building the foundation for resource circulation of aquaculture waste
 - Draw a guideline on discharge and treatment of aquaculture waste
 - Build and operate facilities relevant to resource circulation of aquaculture waste

- Improve the awareness of stakeholders including fishermen
- ▶ Support for the technological development of resource circulation in aquaculture farms
 - Policies for supporting the technological development of equipment for aquaculture farms considering resource circulation: (a) continuing the technological development of biodegradable fishing gear and strengthening the collection of derelict fishing gear, (b) investing to technology for shell recycling, (c) developing the technology for turning organic waste into resource and (d) developing environmentally-friendly technology for aquaculture equipment.
- ▶ Strategies for a stable resource circulation of aquaculture waste
 - First, rearranging laws and regulations for managing aquaculture farms based on resource circulation
 - Second, establishing the standards for the durability evaluation for aquaculture equipment and facilities
 - Third, conducting a systematic investigation on wastes generated from aquaculture farms
 - Fourth, supporting the recycling of marine debris and relevant industry driven by the nation

3) Expected benefits including policy contribution

- ▶ Participating in the 'Planning Research on the Technological

Development of Resource Circulation Marine Debris' conducted by the Ministry of Oceans and Fisheries

- Participating in an experts meeting (Sep 18, 2018) organized by the Korea Research Institute of Ships and Ocean engineering (KRISO) and discussing measures to turn waste into the source for eco-friendly industry and energy.
- Participating in an experts meeting (Oct 8, 2018) organized by the Korea Marine Environment Management Corporation (KOEM) and discussing a direction of the technological development for managing the life cycle of marine debris
- Participating in an experts meeting (Dec 4, 2018) organized by Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST) and making presentation on marine debris policies and recycling cases and discussing measures for recycling fishing nets and plastic waste
- ▶ Reflecting the contents of this study into 'The Third Basic Plan on Marine Litter Management'
 - Government tasks for the technological development of marine debris recycling
 - A pilot project for building marine waste-free fishing community
 - Promoting projects for recycling marine debris

제 1 장

서 론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구의 배경과 필요성

최근 해양쓰레기에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 이를 반영하듯 국내외에서 해양쓰레기에 대한 문제가 연일 언론 매체의 기사로 이슈화되고 있다. 해양쓰레기 문제가 우리 사회의 현안으로 자리매김한 배경에는 플라스틱 쓰레기가 야기하는 여러 부정적인 영향과 맞닿아 있다. 육상이나 해상에서 적절하게 관리되지 못한 플라스틱 쓰레기는 강과 하천 등을 통해 해양으로 유입된다. 해양으로 유입된 플라스틱 쓰레기는 그물 얽힘, 해양생물 섭취, 유령 어업(Ghost Fishing) 등으로 해양 생태계와 환경에 부정적인 영향을 야기하고 있다. 특히 바다로 유입된 플라스틱 쓰레기는 풍화 작용과 자외선의 영향을 받아 시간이 지날수록 작은 알갱이로 미세화된다. 이러한 미세 플라스틱은

해양 생물에 물리적·화학적으로 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 먹이 사슬 과정을 거쳐 사람의 건강성도 위협할 수 있다는 우려가 나오고 있는 상황이다.

플라스틱 문제를 해결하기 위한 우리 사회의 노력은 지속가능한 발전과 자연 환경의 조화라는 관점에서 그 균형점을 찾아가는 과정으로 봐야한다. 플라스틱의 생산 및 사용 증가와 이에 필연적으로 수반되는 플라스틱 쓰레기 처리 간의 격차가 없다면 지금과 같은 논란은 존재하지 않을 것이다. 사용 후 폐기된 플라스틱 모두가 완벽하게 친환경적으로 처리되어 다시 우리 사회를 유지하는 자양분으로 재활용된다면 쓰레기 문제는 더 이상 발생하지 않을 것이기 때문이다. 가장 현명한 플라스틱 문제의 해결 방법은 한편으로는 플라스틱 사용을 억제하기 위한 노력을 기울이고 다른 한편에서는 환경에 가장 친화적이고 인간에 효과적인 방법으로 플라스틱 쓰레기를 처리하여 플라스틱 사용과 처리의 간격을 좁혀나가는 방법이 될 것이다.

최근 해양쓰레기 문제에 대처하는 국제사회의 움직임도 매우 빠르게 진전되고 있다. 해양쓰레기에 대한 국제사회의 인식은 한 국가의 관할 육역과 해역 관리나 업계와 시민 사회의 자발적인 노력으로는 문제 해결의 한계에 봉착했기 때문에, 보다 시급하고 광범위하며 구속력 있는 조치가 필요하다는 입장이다. 이 같은 점에 기초하여 2015년과 2017년에 G7과 G20 회원 국가는 해양쓰레기 문제 해결을 위한 실천계획에 합의하였다. 플라스틱 쓰레기의 해양 유입이 높은 아시아 지역의 해양쓰레기 대응을 위해 APEC과 ASEAN에서도 지역 차원의 대응 방안을 논의하고 있다. 이에 한발 더 나아가 유엔환경계획(UNEP)는 지역 차원을 벗어나 국제적으로 구속력 있는 규범을 만들기 위한 논의를 회원 국가들과 진행하고 있다.

국제사회는 자원의 사용과 처리 격차를 줄이기 위한 방안으로 폐기물의 사용과 발생 억제, 발생된 폐기물의 재활용, 폐자원의 에너지 전환을 통한 천연 자원 최소화, 자원순환 사회(경제) 구축 등에 주목하고 있다. 2017년 7월 채택된 ‘G20 해양쓰레기 실행계획’에서는 폐기물의 발생 예방과 자원효율화 증진을 주요한 정책 방향으로 설정한 바 있다. 이를 위해 회원국들이 자원의 순환차원에서 지속가능한 물질 관리(Sustainable Materials Management)를 추진하도록 했다. 또한 폐기물 저감(Reduce), 재사용(Reuse), 재활용(Recycle)과 에너지 회수(Recovery)를 강화하여 폐기물의 유효 활용을 확대하고 재활용이 용이한 제품·재질 혁신과 소비자의 행동 및 관행 개선의 변화도 요구¹⁾했다.

우리나라는 폐기물의 재활용 촉진과 자원의 순환 이용을 위해 관련 제도의 정비에 박차를 가하고 있다. 1986년 「폐기물관리법」을 제정·시행하여 폐기물의 발생 억제와 발생된 폐기물의 재활용 처리를 위한 기반을 마련하였다. 1993년에는 폐기물 발생 억제와 재활용 촉진을 목적으로 일회용품 규제, 생산자책임재활용제도(EPR: Extended Producer Responsibility)를 규정한 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」이 시행되고 있다. 2016년에는 폐기물의 발생 억제와 재활용 관리 정책에서 일보 전진하여 자원의 순환 사용을 촉진하기 위한 「자원순환기본법」을 제정하였고, 동 법률은 2018년 1월부터 시행되고 있다. 재활용 가능 자원의 매립이나 소각을 줄이기 위해 지자체와 사업장에 매립·소각처분 부담금을 부과하고 복합재질이나 분리 및 해제가 어려운 제품 생산자에게 제품의 개선을 권고하는 순환이용성 평가 제도가 시행되고 있다. 또한 이용 가능한 폐자원의 자원 활용을 높이

1) G20 GERMANY 2017, G20 Action plan on Marine Litter, 2017. 7.

기 위해 친환경에너지타운 건립, 폐기물 고형 연료화, 폐기물을 활용한 재생 에너지 생산 등 폐기물의 재활용 촉진과 자원 순환 정책도 강화하고 있다.

해양쓰레기 업무를 주관하고 있는 해양수산부는 1990년대부터 관련 법령 정비와 기본계획 수립을 통해 해양쓰레기 관리를 위한 기반을 구축하고 여러 사업을 추진해 오고 있다. 우리나라의 해양쓰레기 관리는 크게 예방, 수거, 관리, 교육·홍보 등 네 가지 방향으로 추진되고 있다. 예방은 육상이나 해상활동에서 발생한 쓰레기가 해양으로 유입되지 않도록 사전에 억제하는 정책이다. 수거는 이미 강·하천이나 해상 활동을 통해 바다에 유입된 쓰레기를 부정적인 영향이 확산되지 않도록 신속하게 제거하는 정책이다. 그동안 우리나라의 해양쓰레기 정책은 다분히 유입 예방과 신속한 수거에 집중되었고 재활용 분야의 정책이나 연구가 미비한 수준이다.

하지만, 올해 중국의 쓰레기 수입 금지 사례에서 나타나듯이 재활용 가능 자원의 판로 단절은 연쇄적으로 폐자원의 수거 문제까지로 확대되었고, 이로 인한 불편은 궁극적으로는 일반 시민에 전이되어 깨끗한 환경 거주권에 영향을 미쳤다는 점에 유념해야 한다. 즉, 지금까지 유지해 온 예방이나 수거 전략만으로는 해양쓰레기 문제 대응이 원활하게 이루어지지 않기 때문에, 해양쓰레기 분야에도 재활용의 확대나 자원순환 체계로의 이행을 위한 정책이 시급하게 추진될 필요가 있다. 특히 해상기인 쓰레기 중 양식장에서 발생하는 폐기물은 그동안 정책 관리의 사각지대에 놓여 있었다. 양식장에서 어떤 종류의 기자재가 사용되고 그 양은 어느 정도인지, 폐기물 발생량은 어느 정도에 이루는지에 대한 체계적인 조사가 이루어지지 않았다. 나아가 발생된 폐기물을 재활용하거나 에너지 자원으로 이용하기 위

한 단편적인 시도는 있었지만, 이를 촉진하고 뒷받침하기 위한 정책 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

이 같은 점에서 본 연구를 통해 양식장에서 사용하는 기자재와 폐기물 발생량을 사례 지역을 통해 파악하고, 발생된 양식장 폐기물을 재활용과 자원순환을 통해 유용 자원으로 활용하기 위한 정책 방안을 마련할 필요성이 있다.

2. 연구의 목적

양식장에서 발생하는 폐기물은 해양환경 및 생태계 파괴, 폐 부표에 의한 해안 경관 훼손과 미세 플라스틱 발생, 어망과 로프에 의한 해난사고 등의 피해를 유발하고 있다. 본 연구의 목적은 양식장 폐기물의 유형과 발생량 등을 파악하여 자원순환 기반의 양식장 관리에 필요한 개선방안을 마련하는 데 있다.

이를 위해 자원순환과 재활용을 규정하고 있는 관련 법률과 정책 등을 살펴보았다. 국내외 해양쓰레기 관련 재활용 정책과 자원순환 사례를 분석하여 바람직한 자원순환 기반의 양식장 관리 방향을 제시하였다. 양식장에서 사용하는 기자재, 폐기물 발생량과 처리 실태 등을 파악하기 위하여 완도군을 시범지역으로 선정하여 김, 미역(다시마), 전복 양식장의 현황을 파악하였다.

국내외 사례, 완도군 양식장 폐기물 발생 및 처리 실태 등을 토대로 양식장의 자원순환 모델을 정립하고 폐기물 성상 등을 고려하여 적용 가능한 자원순환(재활용) 기술을 제안하였다. 이를 바탕으로 우리나라 양식장의 자원순환 효율화를 위한 개선 방안을 제시하였다.

제2절 연구의 범위와 방법

1. 연구 범위

해양에 대한 이용 행위가 다양화되고 늘어남에 따라 해양쓰레기의 양도 비례하여 증가하고 폐기물 유형도 다양해지고 있다. 여러 해상 활동에서 발생하는 쓰레기가 적절하게 관리되지 못할 경우, 쓰레기는 바다에 침적하거나 인접한 연안에 방치되어 해양환경을 위협하거나 해양 활동을 위축시키는 부정적인 결과를 야기한다.

지금까지 우리나라의 해양쓰레기 관리 정책은 해상에서 발생하는 쓰레기 중 어선에서 발생하는 어망 등 어구와 양식장의 스티로폼 부표가 중심이었다. 특히 양식장에서 사용되는 어구나 닻 등 기자재는 태풍 등 재해기에 일시적으로 발생하는 것으로 인식되어 정책의 관심에서 다소 벗어나 있었다. 정부의 해양쓰레기 투자도 발생한 폐기물을 신속하게 수거하는 부분에 집중하였다. 이 같은 정부의 정책 실행 현상이 육상폐기물 정책에서 중요도가 높아가고 있는 재활용이나 자원순환 차원의 에너지 전환 등에 비해 해양폐기물에서 관심과 투자를 뒤쳐지게 하는 주요 요인으로 작용하고 있다.

본 연구는 다양한 해양쓰레기 중 양식장에서 발생하는 폐기물을 대상으로 한다. 양식장에 사용되는 기자재는 품목별로 다양하나 스티로폼 부표, 어망, 노끈, 닻, 망, 파이프 등이 공통으로 사용되고 있으며 파판, 셀타 등 특정 품목에 전용으로 사용되는 기자재도 있다. 양식장에서 발생하는 폐기물에 대한 관심 부족으로 기자재 유형별로 사용량이나 발생량, 처리 실태 등에 대한 파악도 이루어지지 못한 실정이다.

이 같은 점을 고려하여 본 연구에서는 사례지역인 완도군을 대상으로 양식장에서 사용하는 기자재의 유형을 세부적으로 파악하여 사용량, 발생량, 처리량 및 처리 현황을 정량적으로 추정했다. 또한 국내외 해양쓰레기 관련 재활용 또는 자원순환 사례를 파악하여 우리나라 양식장에 적용 가능한 방법을 모색하고 관리 방안을 제시했다. 완도군 사례를 토대로 양식장의 자원순환 흐름을 파악하고 자원순환 모델을 정립했다. 또한 양식장에서 발생하는 폐기물 양과 재질 등을 토대로 적용 가능한 자원순환(재활용) 유형, 기술개발 방향과 관련 정책을 제안했다. 마지막으로 양식장 폐기물 관리에 대한 종합 분석을 통해 양식장 자원순환 효율화를 위한 개선방안을 제시했다.

〈표 1-1〉 연구의 내용적 범위

구분	주요 내용
제1장 서론	• 연구의 배경 및 목적 • 연구의 범위와 방법 • 선행연구 현황
제2장 폐기물 및 해양쓰레기 관리 현황 분석	• 폐기물 관리제도 분석 • 해양쓰레기 관리 현황 분석
제3장 양식장 폐기물 관리 문제점 및 해외사례 분석	• 양식업 및 양식장 어구 현황 • 양식장 폐기물 처리의 문제점 • 해외 해양쓰레기 자원순환 사례 분석
제4장 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석과 자원순환 적용 기술	• 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석 • 양식장 자원순환 모델 • 양식장 자원순환 적용 기술
제5장 양식장 자원순환 개선 방안	• 양식장 폐기물 자원순환을 위한 제도 개선 • 양식장 폐기물 자원순환을 위한 기반 조성 • 양식장 자원순환 기술 개발 방향 및 지원
제6장 결론 및 정책제언	• 결론 • 정책 제언

자료: 연구진 작성

2. 연구 방법

1) 문헌 연구

본 연구에서는 양식장에서 발생하는 폐기물의 자원순환 효율화 방안을 도출하기 위해 폐기물 관리제도와 해양쓰레기 관리 정책, 주요 재활용 정책 관련 자료를 수집·분석하였다. 또한 국내외 해양쓰레기 자원순환 사례 분석을 위해 국내 농업폐기물 재활용 사례, 친환경에너지타운 사례, 일본의 어업 폐기물 정책과 페스티로폼 부표 재활용 사례, 미국과 유럽의 어망 재활용 사례, 기타 플라스틱 업사이클 사례를 문헌 자료와 인터넷을 통해 수집하여 분석하였다.

2) 완도군 양식장 폐기물 발생량 및 처리 실태 조사

우리나라 양식장 폐기물 처리 현황을 파악하기 위해 전북, 미역(다시마) 등 양식업이 성행하고 있는 완도군을 시범 조사 지역으로 선정하여 현장 조사를 실시하였다. 현장 조사는 외부 전문기관과 본 과제 연구진 공동으로 2018년 5월에 이루어졌다. 현장 조사를 통해 양식장 기자재 사용 유형과 사용량, 폐기물 발생량과 처리량, 처리 실태 등을 분석하였다. 조사는 양식 품목별로 2~3인의 어업인을 대상으로 직접 면담 조사를 실시하였고 완도군 내 양식 기자재 사용 실태를 파악하기 위해 공무원, 완도군 판매 업체를 방문 조사하였다.

3) 해외 출장

기존 자료와 인터넷을 통해 파악한 해외 해양쓰레기 자원순환 사례 중 일본과 노르웨이를 대상으로 출장 조사를 실시하였다. 본 과제의

연구진은 2018년 1월 일본 대마도에서 열린 페스티로폼 재활용 및 보일러 기술 현장 설명회에 참석하여 개발된 재활용 장비를 파악하고 현지 연구진과 면담을 통해 향후 활용 및 보급 계획 등을 파악하였다.

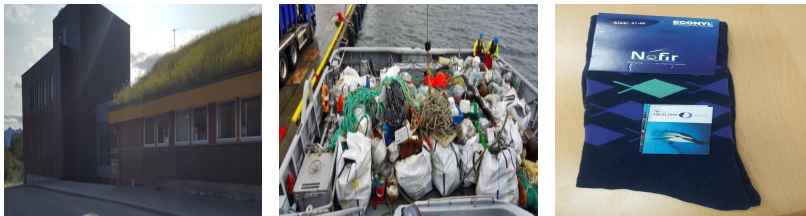
〈그림 1-1〉 일본 대마도 출장



자료: 연구진 촬영(좌) 일본 대마도 연구진 면담, (우) 페스티로폼에서 기름 추출, 2018. 1)

을 8월에는 어선 등에서 발생하는 어망, 로프 등을 회수하여 재생 원료인 원사를 생산하는 업체에 판매하는 어망 폐기물 수거 및 재활용 전문 업체인 Nofir를 방문하여 회수 체계, 회수 방법 등을 파악하였다. 아울러 노르웨이 기후환경부, 무역산업수산부, 환경청, 수산청을 방문하여 해양쓰레기 전반에 대한 정책과 어망 등 폐어구 관리 정책을 파악하였다.

〈그림 1-2〉 노르웨이 출장



자료: 연구진 촬영(좌) (주)Nofir 건물, (중) 어망 수거 현장, (우) 폐어망 재생 제품, 2018. 8)

4) 전문가 활용

양식장 폐기물에 적용할 수 있는 자원순환 기술을 파악하고 기술 방향을 정립하기 위해 국립환경과학원 자원순환 전문가에게 원고 자문을 의뢰하였다. 이를 통해 우리나라의 폐기물 재활용 유형, 양식장에서 발생하는 폐기물의 자원 효율을 높이기 위한 염분제거 기술, 양식장에 적용할 수 있는 자원순환 기술, 향후 재활용과 자원순환을 위한 기술 방향 등을 파악하였다.

해양폐기물 전용 해양쓰레기 종합 처리장 건설 사업의 타당성 연구를 수행한 엔지니어링 업체 관계자와 면담하여 양식장 폐기물 처리 실태를 파악하였다. 또한 해양폐기물 기술 분야 국책연구기관인 선박해양플랜트연구소 전문가를 면담하여 양식장 폐기물의 에너지 전환 분야에 대한 우리나라의 연구 현황과 가능성 등을 논의하였다.

〈표 1-2〉 현장 조사 및 전문가 활용 등 주요 연구 방법과 내용

구분	현장 조사(국내)	사례 조사(해외)	전문가 면담	원고 자문
목적	• 완도군 양식장 폐기물 발생량 및 처리량 분석	• 해외 해양폐기물 재활용 실태 조사 및 분석	• 양식장 폐기물 처리 실태 및 에너지 전환 가능성	• 양식장 폐기물 등에 적용 가능한 기술
내용	• 양식장 기자재 유형 파악, 사용량 추정 • 폐기물 발생량 추정 • 폐기물 처리량 추정, 처리 실태 파악	• 일본 페스티로폼 부표 재활용 기술 파악, 현장 적용 시험 참관 • 노르웨이 어망 재활용 정책 파악, 현황 조사	• 양식장 폐기물 처리 실태 • 양식장 발생 폐기물 에너지 전환 기술 및 가능성	• 폐기물 재활용 기술 • 양식장 폐기물 자원순환(재활용) 기술 • 전처리 기술
기타	• 연구진과 외부 기관 공동(위탁) 조사 • 2018.5 ~ 6	• 일본(2018. 1) • 노르웨이(2018. 8)	• 전문가 방문 면담 (2018. 4, 2018. 9, 2018. 10)	• 외부 전문가 원고 자문(2018. 8)

자료: 연구진 작성

〈그림 1-3〉 연구의 흐름



자료: 연구진 작성

제3절 선행연구 검토

육상 환경이나 농업 분야에서는 2000년대 초반부터 자원순환에 관한 다양한 연구가 이루어져 온 반면에, 해양 분야의 연구는 전무한 실정이다.

환경관리공단(2016)²⁾은 자원순환형 사회구축을 위한 생활폐기물의 적정처리기술을 연구하였다. 이 연구에서는 미국, 일본, 유럽의 자원순환형 폐기물 정책을 분석하고 외국의 생활폐기물 처리 실태를 분석하였다. 생활폐기물의 처리 및 자원화 기술을 전처리기술, 중간처리 기술, 최종처리 기술로 구분하고 생활폐기물을 활용한 SRF 제조기술, 바이오에너지기술, 소각폐열자원화 기술 등을 소개했다.

2) 환경관리공단(2016).

김창길·권태진(2008)³⁾은 북한을 포함한 한반도 전역을 대상으로 자원순환형 친환경농업 발전 방향과 과제를 연구하였다. 이 연구에서는 자원순환형 농업의 의미와 유형을 정의하고 농업생태계의 물질순환 실태를 진단하였다. 남한과 북한지역의 축산 분뇨, 비료 사용 등을 분석하여 농경지의 양분수지 실태를 분석하여 비교하였다. 이를 토대로 한반도 자원순환형 농업 발전을 위한 기본방향과 추진 과제를 제시했다.

서대석·강창용·박영구·최진용(2016)⁴⁾은 농축산물 생산과정에서 발생하거나 배출되는 영농폐기물과 유기성 폐자원의 효율적 자원화 방안을 2년에 걸쳐 연구하였다. 이 연구에서는 영농폐기물을 대상으로 하였는데, 영농폐기물의 발생 및 관리 실태를 분석하고 재활용 경제성 분석을 실시하였다. 영농폐기물 대체제의 개발 현황을 조사하고 해외의 영농폐기물 관리 및 자원화 사례를 소개했다. 이를 토대로 영농폐기물의 효율적 자원화를 위한 개선 방안을 제시하였다.

〈표 1-3〉 선행연구 현황

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명: 어업용 페스티로폼 부표 통합관리체계 구축 (2016년, 2017년) • 연구기관: 한국해양수산개발원(김경신 외) • 연구목적: 양식용 페스티로폼 부표의 해양유입을 근원적으로 차단하기 위한 회수체계 및 생애주기 정보관리	• 페스티로폼 부표의 발생량 추정을 위해 항공영상자료 활용, 어업인 대상 설문조사 실시 • 지자체 페스티로폼 부표 수거/처리 현장조사, 지자체 담당자 면담조사, 전문가 자	• 지역별·품종별 양식장 스티로폼 부표 사용량 추정 • EPS 부표를 사용하는 주요 품종의 페스티로폼 부표 발생량 추정 • 페스티로폼 부표 회수체계 구축

3) 김창길·권태진(2008).

4) 서대석 외(2016).

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
2	체계 구축, 교육프로그램 개발	문회의 실시 • 관련 법제도 분석 및 사례조사	• 스티로폼 부표 정보 관리 시스템 설계 및 구축
	• 과제명: 자원순환형 사회 구축을 위한 생활폐기물의 적정처리기술(2016) • 연구기관: 환경관리공단 • 연구목적: 자원순환형 사회 구축에 이바지할 수 있는 폐기물의 적정처리기술에 필요한 사항을 종합 정리, 정책적·기술적 실천지침서로 활용	• 주요 선진국 및 국제 기구의 자원순환형 폐기물 관리정책 사례조사 • 관련 법제도 및 정책 분석 • 국내 생활폐기물 발생 및 처리 현황 조사	• 생활폐기물 처리 및 자원화 기술 제시 • 자원순환형 폐기물처리 적용 사례 제시
	• 과제명: 한반도의 자원순환형 친환경농업 발전 방향과 과제(2008) • 연구기관: 한국농촌경제연구원(김창길 외) • 연구목적: 한반도 자원순환형 친환경농업 발전을 위한 기본방향과 향후 과제를 제시	• 문헌조사 • 축산업 현황 통계 조사 • 양분(질소, 인산) 수지 분석	• 자원순환형 농업의 의미 및 유형 제시 • 농업생태계의 물질순환 진단 및 평가 • 자원순환형 농업발전을 위한 기본방향 및 과제 제시
본 연구	• 양식장 해양쓰레기 자원순환 방안 연구 • 연구목적: 수산에 적합한 자원순환 모델을 개발, 적용 가능한 재활용 기술 제시, 정책 방향 및 개선과제 제시	• 문헌조사 • 양식장 폐기물 발생량 및 처리 현황 현장 조사 • 해외(미국, 유럽, 일본) 사례조사 • 전문가를 활용하여 양식장 폐기물 재활용 기술 분석	• 폐기물 관리제도 분석 • 양식장 기자재 사용량과 폐기물 발생량 및 처리량 추정 • 양식장 폐자원 물질순환 진단, 자원순환 모델 개발 • 자원순환 효율화를 위한 개선방안 제시

자료: 연구진 작성

제 2 장

폐기물 및 해양쓰레기 관리 현황 분석

제1절 폐기물 관리 현황 분석

1. 폐기물 관리제도의 변화

1) 폐기물의 정의와 분류

폐기물 관련 법령은 해양쓰레기 관리와도 밀접한 연관이 있다. 폐기물의 분류나 폐기물 처리 등은 폐기물 관련 법령의 적용을 받고 있다. 현행 법령 체계에서 폐기물을 정의하고 있는 법률은 「폐기물관리법」이다. 이 법에서는 폐기물을 “사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질로 정의”하고 있으며, 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리 및 동물의 사체 등을 그 예로 규정하고 있다(법 제2조제1호). 폐기물은 “버리는 사람의 용도 폐기 의사에 따라 폐기물로 분류되며, 버려진 폐기물이 활용할 가치가 있어 제3자에게 매

각되어도 배출자가 필요하지 않게 되면 폐기물”⁵⁾에 해당되기 때문에 자원을 활용하는 사람의 의사에 따라 결정된다.

폐기물은 발생원에 따라 생활폐기물과 사업장폐기물로 분류되어 있으며, 생활폐기물은 “사업장폐기물 외의 폐기물 전체”(법 제2조제2호)를 말한다. 사업장폐기물은 “「대기환경보전법」등 관련 법률에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물”(법 제2조제3호)이다. 사업장폐기물은 사업장일반폐기물과 지정폐기물, 건설폐기물로 구분되며, 주변 환경을 오염시킬 수 있는 의료폐기물을 포함한 유해폐기물은 지정폐기물로 지정하여 관리되고 있다.

〈표 2-1〉 폐기물의 분류

폐기물: 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리, 동물의 사체 등으로 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질	생활폐기물: 사업장폐기물 외의 폐기물		
	사업장폐기물: 「대기환경보전법」, 「물환경보전법」 또는 「소음·진동관리법」에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물	사업장일반 폐기물: 사업장폐기물로서 지정폐기물과 건설폐기물을 제외한 폐기물	사업장생활계폐기물: 폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 사업장, 일련의 공사(건설공사는 제외) 또는 작업으로 폐기물을 5톤(공사를 착공하거나 작업을 시작할 때부터 마칠 때까지 발생하는 폐기물의 양을 말한다) 이상 배출하는 사업장에서 발생하는 폐기물
		지정폐기물: 사업장폐기물 중 주변환경을 오염시킬 수 있거나 의료폐기물 등 인체에 위해를	특정시설에서 발생한 폐기물, 부식성 폐기물, 유해물질 함유폐기물, 폐유기용제, 페페인트 및 페라커, 폐유, 폐석면, 폴리플로리네이티드비닐 함유 폐기물, 폐유독물, 의료폐기물

5) 환경부(2017), p. 444.

		출 수 있는 유해한 물질로서 대통령령으로 정하는 폐기물	의료폐기물: 보건·의료기관, 동물병원, 시험·검사기관 등에서 배출되는 폐기물 중 인체에 감염 등 위해를 줄 우려가 있는 폐기물과 인체 조직 등 적출물, 실험 동물의 사체 등 보건·환경보호상 특별한 관리가 필요하다고 인정되는 폐기물로서 대통령령으로 정하는 폐기물 건설폐기물: 「건설산업기본법」 제2조제4호에 해당하는 건설공사로 인하여 건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물(공사를 시작할 때부터 완료할 때까지 발생하는 것만 해당한다)로서 대통령령으로 정하는 것
--	--	---	---

자료: 환경부(2017), p. 445

2) 폐기물 관리제도의 변화

우리나라의 폐기물 제도는 폐기물 관련 법률 정비를 통해 관리 정책의 변화와 발전이 있었다. 1986년 「폐기물관리법」의 제정으로 그동안 생활폐기물(「오물청소법」)과 사업폐기물(「환경보전법」)로 분산되었던 법률 체계를 일원화하였다. 「폐기물관리법」은 폐기물의 정의와 분류, 폐기물 관리의 기본 원칙, 국가와 지방자치 단체의 책임, 폐기물의 배출과 처리, 폐기물처리업, 폐기물처리업자 등에 대한 지도와 감독 등 폐기물의 발생 억제와 발생된 폐기물의 친환경적 처리를 목적으로 하고 있다.

폐기물의 발생 증가와 육상 매립지 관리를 둘러싼 사회적 갈등이 표면화됨에 따라 그동안 폐기물 처리 중심의 관리에 대한 변화가 요구되었다. 이에 따라 우리나라는 1992년 「자원의 절약과 재활용 촉

진에 관한 법률」을 제정하여 폐기물의 발생 억제와 함께 발생된 폐기물 중 재활용이 가능한 자원의 축진을 추진하고 있다. 이 법에 근거하여 폐기물의 발생 억제를 위한 수단으로 포장재 폐기물의 발생 억제, 일회용품의 사용 규제, 폐기물 부담금 등의 정책이 시행되고 있다. 재활용을 촉진하기 위한 수단으로는 재활용 가능자원의 분리수거, 재활용 센터의 설치·운영, 부품 및 빈용기 보증금제도, 생산자 책임재활용제도(EPR), 고형폐기물연료(SRF: Solid Refuse Fuel) 품질 관리, 재활용산업의 육성 등을 추진하고 있다.

1990년대 들어 유럽 등 선진국에서는 폐기물의 적절한 처리와 폐자원의 재활용 촉진, 소각과 매립 방식의 폐자원 처리로는 부족하여 폐기물과 환경 문제의 근원적 문제를 해결하기 위한 대안으로 자원순환 제도 도입이 논의되었다. 자원순환은 천연자원의 사용과 에너지 소비를 줄임으로써 궁극적으로는 환경 보전과 지속가능한 자원순환을 구현하는 것이 목적이다. 기존 「폐기물관리법」이나 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」이 발생된 폐기물의 적정 처리나 폐자원 재활용 등 폐기물 발생 이후에 대한 내용을 중심으로 규정된 것에 비해 자원순환은 천연 자원의 사용 억제와 발생된 폐자원의 재활용, 에너지 전환 등을 통해 다시 자원으로 환원하자는 취지이다. 이 같은 국내외 여건 변화에 따라 우리나라도 2016년에 「자원순환기본법」을 제정하였고, 2018년 1월부터 시행하고 있다.

〈그림 2-1〉 폐기물정책 패러다임의 변화

구 분	그간의 정책	새로운 정책방향
정책여건	폐기물로 인한 환경오염 심화	기후변화, 원자재·에너지 고갈
목 표	쾌적한 생활환경 조성	자원순환사회 구축
추진전략	감량 → 재활용 → 처리	효율적 생산·소비 → 물질재활용 → 에너지회수 → 처리선진화
주요과제	쓰레기종량제, 생산자책임재활용 제도 및 처리시설설치	자원순환성평가, 재활용품질인증, 폐자원 등 에너지화, 처리광역화
핵심개념	폐기물	자원(순환 / 천연)

자료: 환경부(2017), p. 452

2. 자원순환기본법

1) 「자원순환기본법」의 목적과 자원순환의 개념

2018년 1월부터 시행되고 있는 「자원순환기본법」은 “자원을 효율적으로 이용하여 폐기물의 발생을 최대한 억제하고 발생된 폐기물의 적절한 처분을 촉진하여 천연자원과 에너지의 소비를 줄임으로써 환경을 보전하고 지속가능한 자원순환사회를 만드는 것”을 목적으로 한다(법 제1조).

이 법에서는 자원순환과 순환자원을 구분하고 있다. 자원순환이란 “환경정책상의 목적을 달성하기 위하여 필요한 범위 안에서 폐기물의 발생을 억제하고 발생된 폐기물을 적정하게 재활용 또는 처리(「폐기물관리법」 제2조제6호에 따른 최종처분을 말함)하는 등 자원의 순환과정을 친환경적으로 이용·관리하는 것”(법 제2조제1호)으로 정의하고 있다. 순환자원이란 자원순환을 통해 생성된 물질이나 물건을 의미하나, 이 법에서는 “폐기물 중 환경부 장관이 인정하는 물질 또는 물건”(법 제2조제4호)로 한정⁶⁾하고 있다.

이 법률은 폐기물 저감과 재활용 등 기존 폐기물 관련 법령에서 규정하고 있는 사항을 포괄하고 특히 제품의 생산단계에서부터 자원순환을 고려한다는 점에서 폐기물 관련 법령의 기본법적 성격을 띠고 있다.

2) 자원순환과 재활용

「자원순환기본법」은 궁극적으로는 자원순환 사회의 구현을 목적으로 한다. 자원순환 사회는 물질이나 제품의 생산단계에서부터 자원순환이 가능한 소재를 사용하여 폐기물을 억제하는 것과 함께 발생된 폐기물 중 자원으로 재활용이 가능한 폐자원을 재활용함으로써 천연자원의 사용을 최소화하여 지속가능성을 확보하는 사회 공동체이다.

자원순환 사회의 구현을 가능하게 하는 중요한 수단은 재활용이다. 재활용의 개념은 「폐기물관리법」에서 규정하고 있는데, 재활용이란 “폐기물을 재사용·재이용하거나 재사용·재이용할 수 있는 상태로 만드는 활동, 폐기물로부터 「에너지법」 제2조제1호에 따른 에너지를 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만들거나 폐기물을 연료로 사용하는 활동으로서 환경부령으로 정하는 활동”을 말한다(법 제2조 제7호). 이 같이 「자원순환기본법」에서도 재활용이 중요한 수단으로 자리매김함에 따라 향후 폐기물에 대한 재활용 정책은 보다 강화될 전망이다.

6) 순환자원으로 인정받기 위해서는 폐기물 중 ① 사람의 건강과 환경에 유해하지 아니할 것, ② 경제성이 있어 유상 거래가 가능하고 방치될 우려가 없을 것, ③ 그 밖에 대통령령으로 정하는 순환자원의 기준을 충족할 것 등 세 가지 요건을 모두 충족하고 개인 또는 법인, 단체가 환경부장관으로부터 순환자원 인정을 받아야 함(법 제9조).

3) 자원순환기본법의 주요 내용

「자원순환기본법」의 시행에 따라 새롭게 도입되는 제도로는 자원 순환 성과관리, 폐기물처분부담금, 순환이용성평가 등이 있다. 자원 순환 성과관리는 「폐기물관리법」에 따른 국가 자원 순환 목표⁷⁾에 따라 사업장폐기물 배출자에게 자원순환 목표를 부여하고 이행 여부를 평가하는 제도이다.

폐기물처분부담금은 지자체장, 사업장폐기물 배출자가 폐기물을 순환이용할 수 있음에도 소각 또는 매립의 방법으로 폐기물을 처분하는 경우 부담금을 부과하여 매립 또는 소각보다는 재활용 촉진을 유도하기 위한 제도이다. 폐기물처분부담금⁸⁾으로 징수된 재원은 폐기물 처리시설 및 자원순환시설과 주변 지역의 환경개선, 기술 개발 등에 활용된다.

순환이용성평가는 폐기물이 되는 경우 순환이용이 어렵다고 의심되는 제품이나 대기오염 물질 등 사람의 건강과 환경에 유해하다고 의심되는 제품 등에 대해서 해당 제품 등을 생산·가공·수입·판매하는 자에게 유해성 및 순환이용성의 개선을 권고하고 이를 이행하지 아니한 경우 평가 결과를 공개하여 제품의 순환이용을 촉진하기 위한 제도이다.

7) 국가 자원순환 목표는 ① 폐기물 발생량 대비 폐기물 최종처분량의 비율인 최종처분율, ② 폐기물 발생량 대비 폐기물 순환이용량의 비율인 순환이용률, ③ 에너지화 가용폐기물 발생량 대비 에너지화된 폐기물량의 비율인 에너지화수율 등임(법 제14조 제1항).

8) 폐기물처분부담금 징수 대상자가 ① 폐기물 매립지를 직접 조성하고 향후 재활용하기 위하여 일정기간 동안 매립하는 경우, ② 폐기물을 처분하는 과정에서 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조제8호의2에 따른 폐자원에너지를 일정 기준 이상 회수하는 경우, ③ 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제12조에 따른 폐기물부담금이 부과된 경우, ④ 「중소기업기본법」에 따른 중소기업인 경우 등에는 부담금을 감면할 수 있음(법 제21조제2항).

〈그림 2-2〉 「자원순환기본법」 개요



자료: 환경부(2017), p. 90

4) 자원순환기본계획

환경부는 2018년 9월 「자원순환기본법」 제11조에 따라 『제1차 자원순환기본계획(2018~2027)』을 수립·발표했다. 이 계획에서는 자원순환이용률을 70.3%(2016)에서 82.0%(2027)까지 높이고 에너지 회수율을 16.3%에서 20.3%까지 끌어 올리는 반면에 최종처분율은 9.1%(2016)에서 3.0%(2027)로 낮추어 자원순환을 강화한다는 목표⁹⁾를 제시했다.

이를 실현하기 위해 생산 단계, 소비 단계, 관리 단계, 재생 단계별로 추진해야 할 과제를 제시했다. 생산 단계는 자원순환형 소재·디자인 개발 지원 등 9개 과제, 소비 단계는 대체가능한 일회용품 사용 제로화 등 9개 과제를 추진한다. 관리 단계는 폐기물 직매립 제로화 등 9개 과제, 재생 단계는 EPR 제도 강화 등 8개 과제가 추진된다.

9) 관계부처 합동(2018. 9), p. 41.

〈표 2-2〉 제1차 자원순환기본계획의 추진 과제

단계	추진전략	세부과제
생산 단계	업종별 자원생산성 제고	국가 물질흐름 분석 시스템 구축
		업종별 자원생산성 향상 지원
		제조 공정 발생 폐기물의 원료 재사용 촉진
	생산단계 폐기물 원천감량 촉진	사업장별 맞춤형 자원순환 성과 관리
		생산자 중심 폐기물 저장·재활용기술 개발
		산업계 폐기물 감량 이행 지원
	자원순환성을 고려한 제품 설계	재활용 저해제품 순환이용성 평가 및 개선
		포장재, 전기전자제품 등 자원순환형 생산 확산
		자원순환형 소재·디자인 개발 지원
소비 단계	생활 속 폐기물 발생 억제	대체가능한 일회용품 사용 제로화
		불필요한 과대포장 최소화
		지자체별 생활폐기물 감량 강화
	자원효율적인 친환경 소비 촉진	공공·민간부문 친환경 소비 확산
		제품 공유 및 재사용 기반 구축
		제품의 자원효율성 정보제공 확대
	자원순환 문화 조성 및 확산	국민참여형 자원순환 거버넌스 구축
		지역 시민사회 주도 자원순환 실천운동 전개
		수요자 맞춤형 자원순환 교육 및 전문가 양성
관리 단계	재활용 촉진을 위한 배출·수거·선별체계 혁신	재활용을 고려한 분리배출 개선
		재사용과 연계된 안정적 수거체계 구축
		선별효율 개선으로 잔재물 최소화
	폐기물 직매입 제로화 및 처리 최적화	폐기물 직매입 제로화 추진
		지역 거버넌스 기반 폐기물 처리 최적화
		폐기물 처리시설 운영효율 개선
	IT 기반 폐기물 안전관리 강화	IT 기반 폐기물처리 전과정 관리
		유해폐기물 종류별 안전관리 강화
		폐기물 수입 관리 강화로 부적정 처리 예방
재생 단계	미래 고부가가치 재활용 촉진	미래 폐자원 재활용기반 구축
		가치 상향형 재활용 기술·방법
		재생원료 품질기준 마련
	물질 재활용 중심의 재활용 체계 개선	재생원료 수요 확대 및 다변화
		생산자책임재활용제도(EPR) 강화
		폐자원 에너지화 효율성 제고
	재활용시장 안정화 및 산업 육성	재활용시장 안정화체계 구축
		영세 재활용산업 지원 확대

자료: 관계부처 합동(2018. 9), pp. 114~115의 표 재정리

3. 폐기물 관련 주요 정책

앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 폐기물 정책은 관련 법령의 제·개정을 통해 발전해 왔다. 폐기물 분류와 발생된 폐기물의 적정 처리에서 폐자원의 재활용 확대, 매립·소각 억제와 순환이용성 평가 등을 통한 자원순환 촉진 등 일련의 폐기물 관리 정책은 발생 억제와 자원 재활용에 중점을 두고 진행되고 있다.

〈표 2-3〉 폐기물 관련 법령의 주요 정책

구분	폐기물관리법	자원절약법	자원순환기본법
발생 억제	• 생활쓰레기 종량제 • 사업장폐기물 감량화 제도	• 폐기물부담금 • 일회용품 사용 억제 • 과대포장 사용 규제	• 순환이용성평가
자원 재활용	• 재활용 환경성 평가 • 영농폐기물 수거 처리 • 업사이클 센터 운영	• 생산자책임재활용제도 • 플라스틱 폐기물 회수 재활용 자발적 협약 제도 • 재활용 부과금 • 빈용기 보증금 제도 • 제품·포장재 분리배출 표시 • 자원재활용센터 운영	• 폐기물처분 부담금 • 자원순환 성과관리

자료 관련 법령을 토대로 연구진 작성

1) 재활용 환경성 평가

지속적인 산업사회 발전과 제한적인 자원으로 인하여 욕상에 대한 환경오염, 자원고갈, 폐기물증가 등의 문제들에 봉착해 있다. 이 같은 위기를 극복하기 위해 우리나라 정부는 생산, 유통, 소비, 폐기 등 전 과정에서 폐기물 발생 억제, 발생된 폐기물의 대체자원화를 통한 환경오염의 방지, 천연자원과 천연에너지 사용의 최소화 등을 통해 ‘자원순환사회’로의 전환을 시도하고 있다. 하지만 재활용 대상폐기물의 범위가 제한적¹⁰⁾이며 재활용 가능 여부를 판단하는 기준이 명

확하지 않다는 점, 폐기물 재활용 대한 체계적인 절차의 미확립 등으로 재활용 활성화가 더디게 진행되었다.

이 같은 제약을 극복하기 위해 환경부는 2016년 재활용 환경성 평가 체계를 도입하기로 결정하고 관련 법령을 정비하였다. 「폐기물관리법」의 재활용 절차를 보다 간소화하고 폐기물의 유해성 관리를 강화하는 내용이 주요 골자이다. 재활용 시 기존의 용출독성, 부식성, 감염성 등 3가지 항목의 규제항목을 9가지¹¹⁾로 확대하고 재활용 유형에 따른 환경성 평가 절차를 세분화하였다.

〈표 2-4〉 재활용 환경성 평가 관련 주요 법령 개정사항

구분	내용
폐기물관리법 (2015년 7월 20일 개정)	• 폐기물의 재활용 시 환경성평가(제13조의 3) • 재활용환경성평가기관의 지정 등(제13조의 3) • 재활용 제품 또는 물질에 관한 유해성기준(제13조의 5)
폐기물관리법 시행령	• 폐기물의 재활용 준수사항(제7조의 2) • 재활용이 금지 또는 제한되는 폐기물(제7조의 3) • 재활용환경성평가에 따른 재활용의 승인요건(제7조의 4) • 재활용환경성평가기관의 정의(제7조의 5)
폐기물관리법 시행규칙	• 폐기물의 재활용 기준 및 준수사항 등(제14조의 3) • 재활용환경성평가의 절차 및 방법(제14조의 4) • 재활용환경성평가의 대상(제14조의 5) • 재활용환경성평가에 따른 재활용의 승인절차(제14조의 6) • 재활용환경성평가에 따른 재활용의 승인 통보(제14조의 7) • 재활용환경성평가에 따른 재활용의 승인 조건(제14조의 8) • 재활용환경성평가기관의 지정에 필요한 사항(제14조의 9) • 재활용환경성평가기관의 변경지정(제14조의 10) • 재활용환경성평가서의 작성 등(제14조의 11)
환경부 고시	• 폐기물 유해특성의 성질 및 해당 기준(환경부고시 제2016-146호) • 유해특성을 확인해야하는 폐기물의 종류 및 발생업종에 관한 규정(환경부고시 제2016-182호)

10) 예를 들어 육상폐기물은 유해폐기물과 일반폐기물로 분류하여 관리하고 있으며, 유해폐기물일 경우 재활용에 많은 제약이 있었음.

11) 9가지 항목은 용출독성, 폭발성, 인화성, 산화성, 금속성, 부식성, 자연발화성, 감염성, 생태독성 등임.

구분	내용
	• 재활용환경성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 규정(환경부고시 제 2016-144호) • 재활용환경성평가서 작성 기준 및 방법 등에 관한 규정(환경부고시 제2016-145호)

자료: 관련 법령을 표로 정리

2) 생산자책임재활용제도

생산자책임재활용제도(EPR)¹²⁾란 “제품의 생산자들로 하여금 제품의 설계, 제조, 유통·소비 및 폐기 전 과정에 걸쳐 환경친화적인 경제 활동을 유도함으로써 폐기물의 감량(Reduction), 재이용(Reuse), 재활용(recycling)을 촉진하고 자원순환형 경제·사회체계를 도모”¹³⁾하기 위해 도입된 제도이다.

〈표 2-5〉 생산자책임재활용제도 대상 품목

제품	타이어, 윤활유, 전지(수은전지, 산화은전지, 니켈카드뮴전지, 리튬1차전지, 망간·알칼리망간단지, 니켈수소전지), 형광등, 전자제품(TV, 컴퓨터, 냉장고, 에어컨, 세탁기, 휴대폰, 오디오, 프린터, 복사기, 팩시밀리, 자동판매기, 전기정수기, 전기오븐, 전자레인지, 음식물처리기, 식기건조기, 전기다리미, 선풍기, 믹서, 청소기, 비디오플레이어), 양식용 부자, 김발장, 곤포사일리지용 필름
포장재	음식료품, 농·수·축산물, 세제류, 의약품, 화장품류 등의 포장에 사용되는 금속 캔·유리병·종이팩·합성수지포장재(2018년부터 시장에 유통되는 최종단계의 제품에 사용되는 포장재로 한함)

주: EPR 적용 27개의 전자제품은 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률」 적용

자료: 환경부(2017), p. 454

12) EPR은 1992년 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따라 시행되었던 폐기물예치금제도가 2002년 법률 개정에 따라 폐지되고 새롭게 도입된 제도임. 폐기물예치금제도는 제품의 생산자 등이 폐기물의 회수·재활용을 위하여 회수·처리비용을 사전에 예치하고 적정하게 회수 및 처리된 경우 실적에 따라 예치비용을 반환해 주는 제도임. EPR제도가 생산자 등에게 회수·재활용 의무량을 직접 부과하는 것에 비해 예치금 제도는 금액을 예치한다는 점에서 차이가 있음.

13) 환경부(2017), p. 452.

EPR은 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 근거하여 운영되고 있는데, 금속캔 등 4개 포장재와 타이어 등 39개 제품이 적용 대상이다. 환경부는 올해 중국의 폐플라스틱 수입 금지 조치로 촉발된 플라스틱 폐기물 대응을 위해 현재 43개인 대상 품목을 2022년까지 63개로 확대한다는 방침을 발표¹⁴⁾하였다.

환경부장관은 동 법 제17조 및 시행령 제22조에 따라 재활용의무 생산자¹⁵⁾가 제품·포장재의 재활용하는 양의 비율을 고시하고 있다. 재활용 목표율은 5년 단위의 장기 목표율과 매년 재활용 의무율로 구분된다. 그동안 장기 재활용 목표율은 총 3차례 수립되었는데, 1차 장기 재활용 목표율(2008~2012), 제2차(2013~2017)에 이어, 2017년 12월 제3차(2018~2022) 장기 재활용 목표율이 고시되었다.

〈표 2-6〉 제2차 및 제3차 장기 재활용 목표율

품 목				제2차 목표율	제3차 목표율
금속캔	철 캔			0.831	0.831
	알루미늄캔			0.816	0.816
유리병				0.793	0.793
종이팩				0.360	0.360
합성수지 포장재	폴리에틸렌 텔레프탈 레이트병	단일	무색	0.830	0.830
		재질	유색		0.830
			복합재질		0.830
	발포합성수지(폴리스티렌페이퍼 제외)			0.805	0.807
	단일재질 폴리스티렌페이퍼			0.423	0.563
	단일·복합재질 폴리비닐클로라이드			0.733	0.771
	기타 합성수지	용기류·트레이 단일재질		0.845	0.845
		복합재질 및 필름·시트형 단일·복합재질		0.675	0.729

14) 환경부, 재활용 폐기물 관리 종합대책, 2018. 5. 10, p.3.

15) 생산자재활용제도의 대상 품목을 생산하는 제조업자, 수입업자로 포장재는 전년도 매출과 수입액 기준(연간 매출액이 10억 원 이상 또는 연간 수입액이 3억 원 이상), 출고 및 수입량 기준에 부합하는 자임(동 법 시행령 [별표 4]).

품 목		제2차 목표율	제3차 목표율
	윤활유용기	0.790	0.805
	윤활유	0.730	0.760
	타이어	0.770	0.802
	형광등	0.394	0.608
	수산물 양식용부자	0.277	0.324
전지류	수은전지	0.600	0.600
	산화은전지	0.560	0.560
	리튬전지	0.650	0.650
	니켈·카드뮴전지	0.400	0.452
	망간전지·알칼리망간전지	0.213	0.312
	니켈수소전지	0.153	0.153
	곤포사일리지용 필름	-	0.511
	김발장	-	0.848

자료: 2022년도 장기재활용 목표율은 환경부 고시(2017-240호); 2022년도 제품·포장재별 장기재활용 목표율, 2017년도 장기재활용 목표율은 환경부 고시(2012-239호); 2017년도 제품·포장재별 장기재활용 목표율 활용하여 연구진 작성

한편, EPR을 적용받는 재활용의무생산자는 재활용사업공제조합을 설립하여 재활용 의무를 이행하게 된다. 재활용사업공제조합은 EPR 대상 품목별로 (사)한국포장재재활용사업공제조합 등 7개 조합이 설립되어 운영되고 있다.

〈표 2-7〉 생산자책임재활용제도 대상품목별 공제조합 현황(7개)

공제조합	품목
(사)한국포장재재활용사업공제조합	포장재(금속캔, 합성수지재질(발포합성수지재질 포함)), 유리병, 종이팩, 페트병
(사)한국윤활유공업협회	윤활유, 윤활유 용기
(사)한국전지재활용협회	전지류
(사)한국조명재활용사업공제조합	형광등
(사)대한타이어산업협회	페타이어
(사)한국농수산물재활용사업공제조합	곤포사일리지용필름, 김발장, 양식용부자, 비료·사료 포장재
(사)한국전자제품자원순환공제조합	전자제품

자료: 환경부(2017), p. 455

3) 영농폐기물 수거·처리

「폐기물관리법」에서는 폐기물을 생활폐기물과 사업장폐기물로 구분하고 있다. 생활폐기물과 사업장폐기물은 관리 주체와 처리 책임에 차이가 있다. 생활폐기물은 관리 주체와 처리 책임이 지자체에 있는 반면에, 사업장폐기물은 관리 주체는 지자체, 처리 책임은 배출자가 부담한다.

〈표 2-8〉 폐기물 분류별 관리 주체 및 처리 책임

구분	관리 주체	처리 책임
생활폐기물	시장·군수·구청장	시장·군수·구청장
사업장폐기물	시·도지사(시·군·구 위임)	사업장폐기물 배출자

자료: 연구진 작성

농촌에서 발생하는 폐기물은 폐기물의 일반 분류에 따라 생활폐기물, 사업장폐기물, 지정폐기물로 구분된다. 농가에서 발생하는 일반 생활쓰레기는 종량제 대상으로 지자체가 처리 책임을 부담한다. 생활폐기물 중 폐비닐, 폐농약용기 등 영농폐기물은 「폐기물관리법 시행규칙」에 따라 생활폐기물로 분류되어 있다. 영농폐기물의 수거와 처리는 전문기관 체제로 운영되고 있는데, 「폐기물관리법」 제14조제2항 및 「폐기물관리법 시행령」 제8조에 따라 한국환경공단이 전담하고 있다.

〈표 2-9〉 농촌 발생 폐기물의 수거·처리 주체

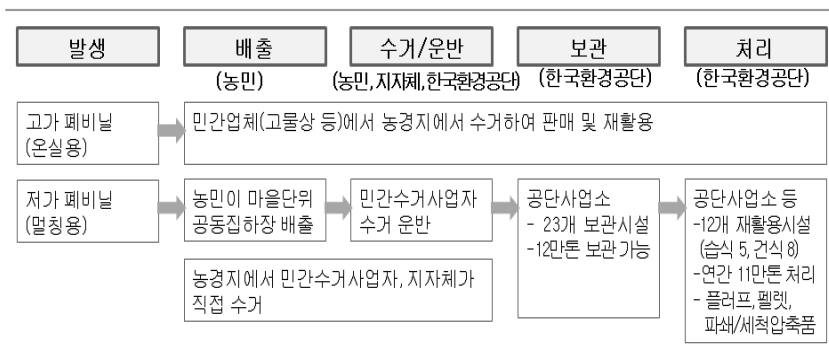
구분	세부분류	배출형태	수거·처리 주체
생활폐기물	생활쓰레기	종량제 대상	지자체
	영농폐기물	민간대행 위탁	한국환경공단(대행)
지정폐기물	석면폐기물	철거·처리 지원	한국환경공단(대행)
	폐유 등	처리업체 등 위탁	배출자
사업장폐기물	사업장폐기물	처리업체 등 위탁	배출자
	임목폐기물	재활용업체 등 재활용	재활용 업체

자료: 환경부(2012), p. 2

한국환경공단은 본부를 포함한 9개 지역 본부에서 영농폐기물 수거 및 처리 업무를 담당하고 있다. 공단은 영농폐기물 보관을 위해 23개의 보관시설을 운영하고 있으며, 수거된 폐비닐의 재활용을 위해 12개 처리 공장을 운영하고 있다. 보관시설과 처리 공장은 2010년부터 민간 위탁방식으로 관리되고 있다. 정부는 영농폐기물의 수거 확대를 위해 수거 등급에 따라 수거 보상금을 농업인에게 지급하고 있다. 영농폐기물의 수거와 처리에 소요되는 비용은 재활용 판매 수익, 국고 보조, 정부 출연금 보조 등으로 충당¹⁶⁾되고 있다.

영농폐비닐 중 하우스용 외피는 상대적으로 이물질이 부착되어 있지 않고 재활용 시장에서 고가로 거래되기 때문에 민간 재활용 업체에서 수거·처리되고 있다. 이물질이 제거되지 않은 저가의 멀칭은 농업인이 이물질을 제거하여 마을 공동집하장을 통해 배출한 후 민간 수거사업자가 공단의 사업소에 운송한다. 한국환경공단은 수거한 폐비닐을 펠릿 등으로 가공하여 유상 판매하고 있다.

〈그림 2-3〉 영농폐비닐 수거 및 처리 체계



자료: 한국환경공단(2017) 내부자료

16) 한국환경공단의 2016년 영농폐기물 수거 및 처리사업 예산은 427억 원에 이른다. 펠릿 등 재활용 제품 판매 수익은 51억 원에 이른다(한국환경공단 내부자료, 2017).

한국환경공단이 관리하고 있는 저가의 영농폐비닐 수거량은 연간 10만~20만 톤에 이르며, 수거량 대비 재활용 비율은 96.7%(2016년 기준)에 이른다.

〈표 2-10〉 연도별 영농폐비닐 수거·처리 현황

단위: 톤

구분	2013	2014	2015	2016
발생량	332,575	329,239	322,964	314,420
수거량	189,306	188,279	186,965	205,951
재활용량	174,181	193,065	211,143	199,254

자료: 환경부(2017), p.500; 한국환경공단(2017), p.49.의 자료를 토대로 연구진 작성

폐농약용기 중 유리병과 봉지류는 공단에서 수거 후 전문 업체를 통해 소각 처리되고 있으며, 플라스틱병은 재활용 업체에 매각하여 처리하고 있다. 폐농약용기의 수거량은 연간 5만 7천~5만 9천 개에 이르며, 수거량 대비 재활용 비율은 99.8%(2016년 기준)로 대부분이 재활용 처리되고 있다.

〈표 2-11〉 연도별 영농폐농약용기 수거·처리 현황

단위: 천 개

구분	2013	2014	2015	2016
발생량	72,350	73,290	71,824	72,458
수거량	57,987	55,953	58,469	59,295
재활용량	56,180	55,890	59,720	59,180

자료: 환경부(2017), p.500; 한국환경공단(2017), p.52.의 자료를 토대로 연구진 작성

3) 폐자원 에너지화와 친환경 에너지타운 조성 사업

(1) 신·재생에너지 관련 정책

우리나라는 신에너지 및 재생에너지의 개발과 이용·보급을 촉진하

기 위해 2004년 기존 「대체에너지 개발 및 이용·보급촉진법」을 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」으로 변경했다. 이 법에서는 신·재생 에너지의 보급 확대와 산업 육성을 위한 5년 단위의 기본계획 수립, 사업비 조성, 발전사업자 등의 신·재생 에너지 공급 의무화, 발전 기준 가격의 고시 및 차액 지원, 전문기관인 신·재생 에너지 센터 운영 등을 규정하고 있다.

이 법에서 규정하고 있는 재생에너지는 “햇빛·물·지열·강수·생물 유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지”이다(법 제2조제2호). 재생에너지로서는 태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지, 생물자원을 변환시켜 이용하는 바이오 에너지, 폐기물 에너지 등이 있다. 폐기물 에너지로는 “① 각종 사업장 및 생활 시설의 폐기물을 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료, ② ①의 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지, ③ 폐기물의 소각열을 변환시킨 에너지¹⁷⁾”가 이에 해당된다.

이 법에 따라 우리나라 정부가 발표한 『제4차 신·재생에너지 기본계획(2014~2035)』¹⁸⁾에서는 2035년까지 1차 에너지의 11%를 신재생 에너지로 공급한다는 목표를 설정했다. 재생에너지원별 신재생에너지 공급량은 폐기물 비중을 축소하고 태양광과 풍력을 핵심에너지원으로 육성하여 2035년에는 전체 전력량의 13.4%를 신·재생에너지로 공급한다는 방침¹⁹⁾이다. 2016년에 발표된 「신재생에너지 보급 활성화 대책」에서는 2035년까지 신재생에너지 공급 목표 비중인 11%를

17) 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 시행령」[별표 1]바이오에너지 등의 기준 및 범위.

18) 수요자 맞춤형 보급·확산정책 추진, 시장친화적 제도운영, 신재생에너지 해외시장 진출 확대, 새로운 신재생에너지 시장 창출, 신재생 R&D 역량 강화, 제도적 지원기반 확충 등 6가지 세부 추진과제 제시.

19) 산업통상자원부(2014), p. 5.

2025년까지 달성한 것으로 보고, 태양광과 풍력의 비중을 2035년 기준 32.3%에서 68%로 확대한다는 계획을 발표했다.²⁰⁾

〈표 2-12〉 1차 에너지 기준 원별 비중 목표

단위: %

구분	2012	2014	2025	2035	연평균 증가율
태양열	0.3	0.5	3.7	7.9	21.2
태양광	2.7	4.9	12.9	14.1	11.7
풍력	2.2	2.6	15.6	18.2	16.5
바이오	15.2	13.3	19.0	18.0	7.7
수력	9.3	9.7	4.1	2.9	0.3
지열	0.7	0.9	4.4	8.5	18.0
해양	1.1	1.1	1.6	1.3	6.7
폐기물	68.4	67.0	38.8	29.2	2.0

자료: 산업통상자원부(2014), p. 5

(2) 폐자원 에너지 정책

산업통상자원부·한국에너지공단(2017)에 따르면, 2016년 우리나라의 신·재생에너지 공급량은 14,178천 toe²¹⁾로 1차 에너지 공급량(294,547천 toe)의 4.81%에 이른다. 신·재생에너지 중 재생에너지 공급량은 13,860천 toe로 신·재생에너지의 97.7%에 달하며, 재생에너지 중 폐기물의 에너지 생산량은 8,742천 toe로 신·재생에너지의 61.7%를 차지하고 있다.²²⁾ 폐기물을 활용한 에너지는 폐가스, 산업 폐기물, 생활폐기물(대형도시쓰레기 포함), 시멘트킬른보조연료, 고

20) 산업통상자원부 에너지자원정책관실(2016), p. 3.

21) TOE(Ton of Oil Equivalent)는 지구상에 존재하는 모든 에너지원의 발생량에 기초해서 이를 석유의 발생량으로 환산한 것으로 석유환산톤을 말함. 1TOE는 1,000만 kcal에 해당(네이버 지식백과(<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=783700&cid=42111&categoryId=42111>, 2018/06/08 검색).

22) 산업통상자원부·한국에너지공단(2017), p. 15.

형연료(SRF), 정제연료유 등에서 생산된다. 폐기물 중 폐가스가 5,189천 toe(59.3%)로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 생활폐기물(949천 toe), 산업폐기물(944천 toe) 순이다.

〈표 2-13〉 폐기물 재생에너지 생산량(2014~2016년)

단위: toe

구분	2014년	2015년	2016년
계	6,904,733	8,436,217	8,742,727
폐가스	4,148,491	5,345,343	5,189,393
산업폐기물	780,801	925,376	944,486
생활폐기물	157,178	972,271	949,551
대형도시쓰레기	725,420	-	-
시멘트킬른보조연료	837,114	807,229	661,278
SRF	58,935	207,638	821,614
정제연료유	196,794	178,360	176,405

주: 대형도시쓰레기는 2015년부터 생활폐기물에 포함

자료: 산업통상자원부·한국에너지공단(2017), p. 25

환경부는 2008년 매립과 소각되던 폐자원을 에너지원으로 재활용하기 위하여 『폐자원 및 바이오매스 에너지 대책』²³⁾을 수립한 데 이어, 2009년에 환경부 등 관계부처가 공동으로 『폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획』²⁴⁾을 발표했다. 이 계획에서는 폐자원의 에너지화, 저탄소 녹색마을 조성, 농림수산 바이오매스 에너지화 등 세 가지 실행과제를 제시했다. 폐자원의 에너지화 관련해서는 폐자원 에너지화 시설 설치, 수도권 ‘환경에너지 종합타운’ 조성, 폐자원 에너지화 기술 개발 등이 실천과제로 제시되었다.

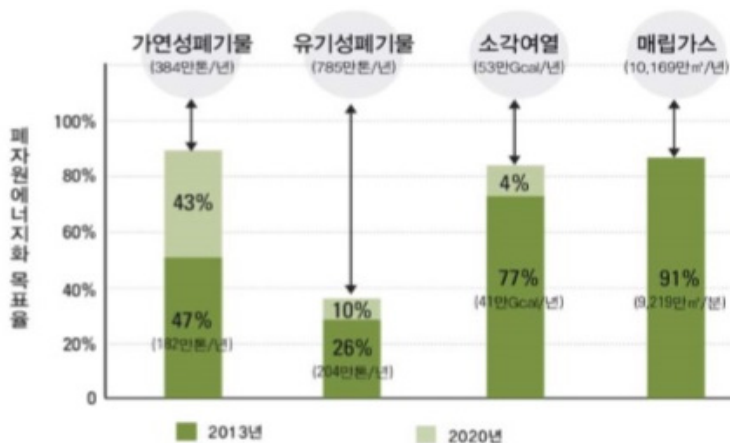
환경부는 2020년까지 “가용 가연성 폐기물의 90%(345만 톤/년), 가

23) 환경부(2008).

24) 교육과학기술부 등 7개 부처(2009).

용 유기성 폐기물의 36%(283만 톤/년)을 에너지화²⁵⁾를 목표로 관련 사업을 추진하고 있다.

〈그림 2-4〉 폐자원 에너지화 추진 목표



자료: 환경부(2017), p. 490

환경부는 폐자원의 에너지화 기반 시설을 확충하기 위해 관련 예산을 지원하고 있는데, 국비 지원을 통해 2016년까지 원주, 부산 등에서 고형연료 시설 14개소가 설립되었고 민간 주도의 제조시설 88개 시설이 가동되는 것으로 나타났다.²⁶⁾ 또한 음식물, 가축분뇨, 하수슬러지 등 유기성폐자원을 활용하여 바이오가스를 생산하는 시설은 수도권매립지, 광주 읍폐수 바이오가스화 시설 등 90개소²⁷⁾에 이른다.

(3) 친환경에너지타운 조성

사람의 생활에서 발생하는 폐기물에 대한 적정 관리 문제는 오랫동안

25) 환경부(2017), p. 490.

26) 환경부(2017), p. 488.

27) 환경부(2016), 「2016 유기성폐자원 바이오가스화 시설 현황」(2018/06/04 검색).

동안 우리 사회의 현안으로 부각되어 왔다. 앞서 언급한 바와 같이 기존의 폐기물 관리 정책은 발생된 폐기물의 적정 관리에서 발생 억제, 발생된 폐기물 중 자원으로 재활용 가능한 자원의 적정 이용으로 발전해 오고 있다.

우리나라는 2016년 「자원순환기본법」을 제정한데 이어, 2018년부터 동 법이 시행되고 있다. 자원순환은 그동안 발생된 폐기물의 적정 관리에서 한발 더 나아가 생산단계부터 제품의 자원순환을 고려, 재질이나 소재를 친환경적으로 전환하여 천연 자원의 사용을 감축하는 한편, 발생된 폐자원은 에너지 전환 등을 통해 궁극적으로는 지속가능한 사회를 구현하는 데 목적이 있다.

친환경에너지타운 조성사업은 “기피·혐오시설인 매립장, 소각장, 유기성폐기물(음식물·가축분뇨 등) 에너지화 시설 등의 폐자원과 바이오매스²⁸⁾를 이용하여 열·전기 등의 에너지를 생산하여 주변지역에 공급함으로써 생활환경을 개선하고 주민 소득도 향상시키는 사업”²⁹⁾이다.

우리나라는 2014년 환경부를 중심으로 11개 부처가 참여하는 「친환경에너지타운 종합계획」을 발표했다. 이 계획에서는 정부 주도로 2017년까지 15~20개소의 친환경에너지타운을 지정하고, 2018년부터는 민간 주도로 확산한다는 계획이다. 이를 위해 정부는 주민 투자비와 지자체의 참여를 유도하기 위한 인센티브를 지원하고 에너지타운을 통해 생산된 에너지의 수익성을 제고하기 위한 판매망을 확충한다는 방침이다.³⁰⁾

28) 바이오매스란 “광합성을 생산되는 동식물의 유기체(BIO) 함량(MASS)으로서, 유기성폐자원, 임목(순환목, 벌채목, 간벌목), 초본류(유채, 옥수수, 벼짚), 해조류 등이 있음(교육과학기술부 등 7개 부·청(2009), p. 4).

29) 환경부(2017), p. 491.

친환경에너지타운 조성사업은 환경부(14개소), 산업통상자원부(6개소), 농림축산식품부(1개소), 미래부(1개소) 등에서 추진하고 있는데, 2017년까지 22개소가 지정되어 있다.

〈표 2-14〉 주요 친환경에너지타운 지정 현황

구분	지역	사업내용	선정연도
환경부	강원 홍천	바이오가스·퇴비생산시설 설치	2014
	충북 청주	음폐수·하수슬러지 바이오가스(도시가스) 공급, 태양광	2015
	충남 아산	소각열 및 바이오가스 발전, 열활용 (세탁공장, 유리온실)	2015
	경북 경주	소각여열 활용 오토캠핑장 + 태양광	2015
	경북 영천	바이오가스 발전, 태양광, 여열활용 유리온실	2015
	제주	유기성폐기물 바이오가스화 시설, 화훼·열대작물 공급	2016
	강원 인제	생활폐기물 소각 시설의 여열 활용, 산나물 등 재배 활용	2016
산업통상 자원부	경남 양산	바이오가스 발전 폐열활용 시설재배, 그린하우스(복지시설)	2014
	전남 순천	하수처리장 인근 태양광 발전(9.3MW)	2015
	경남 하동	폐축사시설 활용한 태양광 발전(2.7MW)	2015
	충남 서산	폐교 리모델링으로 에너지자립 펜션 운영 (태양광, 지열 운영)	2016
미래부	충북 진천	신재생에너지 융복합 설비 구축	2014
농식품부	전북 김제	CT 융합 가축분뇨 바이오가스 발전+태양광, 체험 프로그램	2015

자료: 환경부 보도자료(2016. 12. 16); 한국에너지공단 홈페이지(검색일: 2018. 6. 4); 농림축산식품부 보도자료(2015. 4. 9) 2018.6.4.

30) 국무조정실 등 11개 부·청(2014).

[illegible]

38

제2절 해양쓰레기 관리 현황 분석³¹⁾

1. 해양쓰레기³²⁾ 관리 정책

1) 국외 해양쓰레기 정책 동향

최근 플라스틱 쓰레기를 포함한 해양쓰레기 문제가 국제사회의 이슈로 떠오르고 있다. 해양쓰레기 문제를 바라보는 국제사회의 인식과 대응은 비교적 명확한데, 해양쓰레기의 대부분을 차지하고 있는 플라스틱이 적절하게 관리되지 못할 경우 자연생태계뿐만 아니라 사회 경제에 큰 영향을 미칠 수 있다는 사실에 기초하고 있다. 특히 플라스틱 등이 잘게 부서져서 발생하는 미세 플라스틱은 해양생물뿐만 아니라 인간의 건강성도 위협할 수 있다는 연구 결과가 발표됨에 따라 국제사회를 중심으로 플라스틱 문제를 해결하려는 노력들이 다양하게 이루어지고 있다.

UNEP(2016)에 따르면, 2014년에 세계적으로 약 3.1억 톤의 플라스틱³³⁾이 생산되었고, 현재의 생산과 사용이 지속될 경우 2050년에는 플라스틱 생산량이 20억 톤으로 증가³⁴⁾할 것으로 예상했다. Jambeck *et al.*(2015)은 2010년 기준 192개 연안 국가에서 발생한 플라스틱 쓰레기를 2억 7천 5백만 톤으로 산정했고, 이 중 4.8~12.7백만 톤이

31) 본 연구에서 다루고자 하는 양식장 폐기물도 해양쓰레기 중 하나이므로, 이하에서는 해양쓰레기에 대한 전반적인 관리 현황을 살펴보고, 양식장 폐기물에 대한 현황은 관련 부분을 기술함.

32) 현재 우리나라에서는 해양쓰레기에 대한 법적인 정의가 없으나, 해양수산부에서 「해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리법」을 추진하고 있음. 이하에서는 통상적으로 사용하는 해양쓰레기 용어를 사용하되, 양식장에서 발생하는 쓰레기는 양식장 폐기물로 표기함.

33) 플라스틱 재질로는 PE(73백만 톤, 2010년), PET(53백만 톤), PP(5백만 톤), PVC(35백만 톤)가 가장 많으며, EPS를 포함한 PS, PUR 등이 있음(UNEP(2016), p. 26).

34) UNEP(2016), p. 26.

해양으로 유입되는 것으로 추정했다.³⁵⁾ 플라스틱 섭취 및 폐그물 얽힘 등 해양쓰레기로 인한 해양생물의 영향도 날로 증가하고 있다. Kuhn, S. et al.(2015)에 따르면, 거북은 조사 대상 7마리에서 모두 해양쓰레기를 섭취하거나 그물 얽힘으로 영향을 받은 것으로 드러났고, 바다사자(eared seal)는 13마리 중 8마리(61.5%)에서 섭취, 13마리 모두 그물 얽힘(100%)으로 해양쓰레기의 영향을 받은 것으로 조사되었다.³⁶⁾

플라스틱의 사용 증가에 비례하여 사람과 자연환경에 미치는 영향이 가중됨에 따라 국제사회는 플라스틱 쓰레기를 포함한 해양쓰레기 문제 대응을 본격화하고 있다. 그동안 국제사회의 해양쓰레기 대응은 개별 국가의 관할 해역에 대한 철저한 관리가 중심이었다. 최근에는 해양쓰레기에 대한 영향이 확대됨에 따라 바다를 인접한 국가 간의 지역 협력, 국제사회에 공통으로 적용될 수 있는 구속력 있는 규범 체계의 개발로 확대되고 있다.

유엔환경총회(UNEA: United Nations Environment Assembly)는 2014년, 2016년, 2017년 등 세 차례에 걸쳐 플라스틱 쓰레기를 포함한 해양쓰레기 문제 대응을 위한 결의안³⁷⁾을 채택했다. 2017년 제3차 총회에서는 국제적으로 구속력 있는 규범 체계 설립 등 대응 방안을 강구하도록 전문가 그룹 설치를 의결했다. 제3차 결의에 따라

35) Jambeck, J. R. *et al.*(2015), pp. 768-771.

36) Kuhn, S. *et al.*(2015), p. 78, 86.

37) 제1차 총회는 플라스틱 쓰레기를 포함한 해양쓰레기의 심각한 영향에 대한 우려 표명과 마이크로 플라스틱 연구 등 21개 사항 결의(UNEA(2014)). 제2차 총회는 마이크로 플라스틱과 플라스틱 쓰레기의 즉각적인 대응 필요성 인식과 UNEP가 이 문제를 해결하기 위한 방안 마련 등 24개 사항을 결의(UNEA(2016)). 제3차 총회에는 2025년까지 모든 종류의 해양쓰레기 예방과 획기적 저감을 위한 행동을 촉구하고 국제적으로 구속력 있는 조치 등을 마련하기 위한 워킹그룹 설치 등 11개 사항 결의(UNEA(2017)).

2018년부터 정부 대표단(전문가), NGO 등 이해관계자, FAO와 IMO 등 기존 국제기구 등이 참여하는 워킹 그룹이 운영되고 있다. 이번 워킹 그룹에서는 2016년 제2차 결의에 따라 작성된 대응 방안³⁸⁾을 토대로 기존의 국제 협약으로 해양쓰레기 문제를 다룰 수 있는지, 다루지 못한다면 기존 협약을 개정하거나 새로운 국제 협약을 추진해야 하는지 여부를 집중 논의할 것으로 보인다. 2015년 G7 정상회의에서는 해양쓰레기 관리를 위한 ‘G7 Action Plan to Combat Marine Litter’를, 2017년 G20 정상회담에서는 ‘G20 Action Plan on Marine Litter’를 각각 채택했다.

국제사회에서 다루어지고 있는 해양쓰레기 문제는 플라스틱 문제와 플라스틱이 야기하는 미세 플라스틱 영향에 집중되어 있다. 국제사회의 문제 해결 방향은 발생 억제, 발생된 폐기물의 적정 처리, 폐자원의 재활용 촉진을 포함한 순환 사회 구현, 소비자 행동의 변화 등이다. 구체적으로 제시되고 있는 정책으로는 플라스틱의 사용 저감, 미세 플라스틱에 대한 사용 규제, 일회용 제품 사용 억제, 플라스틱 대체 소재 개발 및 제품 혁신(Redesign), 폐자원 재활용 확대 및 에너지 전환, EPR을 통한 폐기물 수거 및 재활용 촉진, 미세 플라스틱에 대한 과학기술 연구 증대, 플라스틱 사용을 줄이기 위한 산업계의 자발적 조치, 소비자 행동의 변화를 유도할 수 있는 인식 변화 교육과 실천 캠페인 등이 있다.

38) UNEP(2017). 이 보고서는 제2차 유엔환경총회 의결에 따라 2017년 전 세계 30개 국가의 전문가로 구성된 워킹그룹을 통해 작성되었음.

〈표 2-15〉 해양쓰레기 관련 주요 국제사회의 동향

구분	주요 내용
UN	2025년까지 육상기인 활동으로부터 발생하는 모든 해양 오염을 포함한 해양쓰레기 예방과 저감을 위한 목표 설정, 국가별로 목표를 달성하기 위한 지표 개발 중
UNEA	플라스틱을 포함한 해양쓰레기에 대한 세 차례의 결의를 통해 국제적으로 구속력 있는 규범체계 마련 등 해양쓰레기 대응 방안 마련을 위한 워킹 그룹 구성 결의, 대응 방안 논의 중
G7	2015년 해양환경 보호를 위한 해양쓰레기 관리에 합의, 부속서로 'G7 Action Plan to Combat Marine Litter' 채택
G20	2017년 우리나라를 포함한 20개 회원국에 적용될 'G20 Action Plan on Marine Litter' 채택, 7가지 정책 41개 과제 제시
APEC	APEC 국가에 적용될 해양쓰레기 대응을 위한 가이드라인 준비 중, 폐기물 관리 효율화를 위한 민간의 시장 진출 장애 요인 해결 방안 논의, 해양쓰레기 역량 강화 워크숍 개최
ASEAN	2017년 11월 처음으로 해양쓰레기 회의 개최, 플라스틱 사용 규제와 재활용 정책 등 논의

자료: 기존 자료를 활용하여 연구진 작성

2) 국내 해양쓰레기 정책

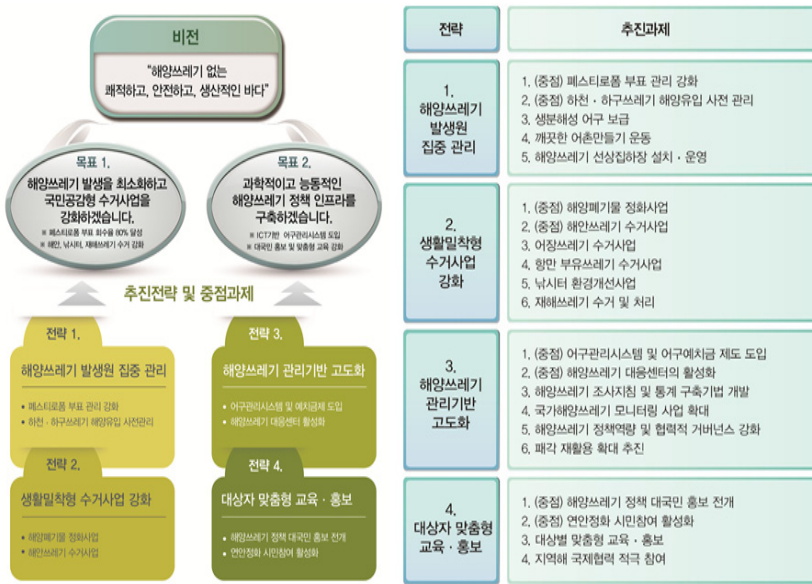
우리나라는 해양쓰레기의 효과적 관리를 위해 국가차원의 기본계획을 수립하고 관련 법령의 정비를 통해 대응해 오고 있다. 해양쓰레기에 대한 체계적인 국가 관리는 2009년부터 본격화되었다. 「해양환경관리법」 제24조제1항에 따라 “해양수산부 장관은 해상에 배출 또는 유입되는 폐기물을 효과적으로 수거·처리하기 위하여 폐기물 해양수거·처리 계획을 수립”하도록 규정하고 있다 이에 따라 2009년에 해양수산부를 중심으로 환경부, 해양경찰청이 공동으로 ‘제1차 해양쓰레기 관리 기본계획(2009~2013)’을 수립하였고 현재는 ‘제2차 해양쓰레기 관리 기본계획(2014~2018)’이 시행 중에 있다.

해양수산부는 해양쓰레기의 체계적인 관리를 위해 2017년부터 두 가지 법률을 제정 중에 있다. 그동안 해양쓰레기 관리의 근거가 되었던 「해양환경관리법」의 분법 형태로 「해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리 법안」을 추진하고 있다. 이 법은 해양폐기물에 대한 실태조사, 하천으로부터 해양유입 차단조치, 유형별 해양폐기물의 수거, 해양폐자원의 유효 활용을 규정하고 있다. 또한 해상기인 폐기물인 어구의 체계적 관리를 위한 「어구관리법」이 입법 과정에 있다. 이 법은 어구의 생산, 판매, 사용, 폐기, 처리에 이르는 생애 주기 관리를 목적으로 하고 있다.

2014년부터 시행 중인 제2차 기본계획에서는 국제사회에서 해양쓰레기 대응을 위한 전략으로 제시된 ‘호놀룰루 전략(Honolulu Strategy)³⁹⁾을 참고하여 해양쓰레기 발생원 관리’ 등 4대 전략 21개 과제로 구성되어 있다. 제2차 기본계획의 전략은 크게 발생원 관리, 생활밀착형 수거 강화, 관리기반 고도화, 대상자 맞춤형 교육·홍보 등 네 가지 전략을 중심으로 구성되어 있다. 네 가지 전략 중 수거 부분은 조업어장이나, 어항과 항만, 해양보호구역, 해변 등 해양쓰레기 발생과 영향이 큰 구역을 중심으로 사업이 진행된다.

39) 호놀룰루 전략은 2011년 미국 하와이에서 열린 제5차 해양쓰레기 국제회의에서 해양쓰레기 대응을 위해 국가차원의 정책을 수립하는 필요한 전략을 제시한 것임. 이 전략에서는 해양쓰레기 발생기원에 따라 육상기인, 해상기인, 현존 해양쓰레기의 양과 영향을 저감하기 위한 세부 과제를 제시하고 있음. 발생 예방과 영향 저감을 중심으로 교육, 연구, 제도 도입 등 다양한 방안이 제시되었으나 재활용에 대한 내용은 다소 부족하였음.

〈그림 2-6〉 제2차 해양쓰레기 관리 기본계획의 비전과 추진 과제



자료: 해양수산부·환경부·해양경찰청(2013), pp. 35~36

2000년대 초반에는 늘어나는 해양쓰레기의 처리와 재활용을 위한 연구개발과 사업이 국가 주도로 추진되었다. 폐 FRP 선박 처리시스템 개발, 폐스티로폼 처리를 위한 감용기 개발, 해양폐기물 전용 소각로 개발, 도서지역의 해양쓰레기 처리를 위한 선상복합처리시스템, 폐각의 자원화 기술 등 해양쓰레기 처리 및 재활용을 위한 연구개발과 사업이 추진되었으나 감용기 사업을 제외하고는 현장 상용화에 이르지 못했다. 그동안 해양쓰레기 관리 정책은 해안에 투기된 쓰레기를 수거하는 데 중점이 있었다. 해양쓰레기 재활용과 처리를 위한 기술 개발 등이 있었으나 연구개발에 집중된 측면이 강하고 이를 체계적으로 뒷받침하기 위한 제도 개선, 폐자원의 에너지 전환 등 변화하는 여건에 대응하기 위한 지속적인 연구개발 투자는 미흡하였다.

2. 해양쓰레기 재활용 정책

(1) 수산양식용 부자⁴⁰⁾ 재활용

해상에서 사용하는 부표는 위치를 표시하거나 수산물을 양식하는데 필요한 부력을 유지하는 데 사용된다. 우리나라에서 사용되는 수산양식용 부자는 고밀도 부표와 친환경 부표로 구분된다. 고밀도 부표는 스티로폼을 발포한 발포 폴리스티렌(EPS: Expanded Polystyrene) 부표로 김, 굴, 미역, 다시마, 전복 등 양식장에 광범위하게 사용되고 있다.

친환경 부표는 기존의 EPS 부표가 미세 플라스틱 발생의 주된 요인이라는 지적에 따라 2015년부터 EPS 부표를 대체하기 위해 보급되는 부표이다. 친환경 부표로는 단일 소재인 사출형 부표와 발포 재질의 발포 프로필렌(EPP: Expanded Polypropylene) 부표, 발포 폴리에틸렌(EPE: Expanded Polyethylene)부표, 피복형(코팅, PE 필름 접착) 부표, 기타 소재를 활용한 부표 등이 해양수산부 인증을 통해 사용되고 있다.

〈그림 2-7〉 수산 양식용 친환경 부표



자료: 해양수산부(2017), 2017년 친환경 부표 계약 현황.

수산양식용 부자는 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따라 2011년부터 생산자책임재활용제도의 적용을 받고 있다. EPR에

40) 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행령」 제18조에서는 수산양식용 부자, 「어장관리법」 제13조, 동법 시행규칙 제5조에서는 부표, 어장 부표라는 용어로 사용되고 있음.

따라 수산양식용 부자의 생산자와 수입자 등 재활용의무생산자는 수산양식용 부자의 회수와 재활용 의무를 부담하게 되는데, 2018년도 재활용⁴¹⁾ 의무율⁴²⁾은 28.7%에 이른다. EPS 부표는 감용기를 통해 잉고트로 생산되어 액자 몰딩, 욕실 발판 등의 재생 연료로 판매되고 있다. 환경부 장관은 재활용의무생산자가 재활용 의무를 이행하지 않는 경우에 재활용 부과금을 부과한다(법 제19조).

〈표 2-16〉 2016~2018년도 제품·포장재별 재활용 의무율

품 목				2016년	2017년	2018년
금속캔	철캔			0.808	0.808	0.810
	알루미늄캔			0.797	0.797	0.797
유리병				0.763	0.763	0.734
종이팩				0.350	0.350	0.321
합성수지 포장재	폴리에틸렌 테레프탈 레이트병	단일재질	무색	0.818	0.818	0.800
			유색	0.829	0.818	0.800
		복합재질		0.818	0.830	0.830
	발포합성수지(폴리스티렌페이퍼 제외)			0.807	0.807	0.807
	단일재질 폴리스티렌페이퍼			0.423	0.423	0.442
	단일·복합재질 폴리비닐클로라이드			0.735	0.733	0.692
	기타 합성수지	용기류·트레이 단일재질		0.833	0.796	0.808
		복합재질 및 필름·시트형 단일·복합재질		0.652	0.653	0.666
	유회용유기			0.793	0.790	0.783
	유회유				0.728	0.730
타이어				0.767	0.767	0.786
형광등				0.356	0.356	0.402
수산물 양식용부자				0.281	0.281	0.287
전지류	수은전지			0.600	0.600	0.600
	산화은전지			0.670	0.670	0.722
	리튬전지			0.726	0.726	0.749
	니켈·카드뮴전지			0.403	0.403	0.419
	망간전지·알칼리망간전지			0.216	0.216	0.225
	니켈수소전지			0.207	0.207	0.219
곤포사일리지용 필름				0.300	0.300	0.313
김발장				0.798	0.798	0.799

자료: 환경부 각년도 재활용 의무율 고시(2015-242호, 2016-248호, 2017-240~241호)

41) 수산양식용 부자 중 발포 재질 부자의 재활용 유형은 ① 폐발포발포합성수지를 사용한 재생연료 제조, ② 폐발포합성수지를 사용한 성형제품 제조, ③ 폐발포합성수지를 사용한 내화제품 또는 섬유 코팅제품 제조, ④ 재활용을 목적으로 한 수출 중의 하나에 해당되어야 함(「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」[별표 6]).

42) 재활용 의무율은 당해 연도 총 출고량 중 회수·재활용하여야 하는 비율임.

수산양식용 부자의 회수와 재활용 업무는 (사)한국농수산재활용사업공제조합에서 담당하고 있다. 2017년 기준 공제조합에 가입되어 있는 재활용의무생산자는 17개 업체이며, 재활용 처리 업체는 19개(지자체 12, 민간 7개)에 이른다. 감용기를 통해 잉고트로 처리되어 판매된 수산양식용 폐부자의 양은 2015년 기준 478톤에 이른다.

〈표 2-17〉 연도별 수산양식용 부자 재활용 의무 이행 실적 현황

구분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
출고량	1,543톤	2,014톤	2,239톤	2,231톤	2,021톤
의무량	427톤	557톤	638톤	624톤	568톤
의무율	27.7%	27.7%	28.5%	28.0%	28.1%
이행실적	362톤	574톤	735톤	519톤	478톤

자료: (사)한국농수산재활용사업 공제조합 내부자료(2017)

해양수산부는 2003년부터 양식장에서 발생하는 EPS 부자를 효율적으로 처리하기 위하여 지자체에 감용기 보급 사업⁴³⁾을 추진해 오고 있다. 감용기는 고정식 감용기와 이동식 압축기로 구분되는데, 고정식 감용기는 페스티로폼 부표의 야적과 전처리를 위한 공간 확보를 위해 생활폐기물 처리시설에 설치되고 있다. 이동식 압축기는 도서 지역이나 처리 시설의 공간 확보가 어려운 지역에 보급되어 차량 또는 선박에 탑재되어 사용되고 있다. 고정식 감용기는 잉고트를 직접 생산하는 것에 비해 이동식 압축기는 페스티로폼 부표를 압축하는 방식이기 때문에 재활용 산출물인 잉코트는 다른 전문 업체에 의해 이루어지고 있다.

2016년 기준으로 25개 지자체에 총 38대의 감용기(고정식 31, 이동식 8)가 보급되었으며, 폐기 등으로 운영이 중단된 15기를 제외하

43) 감용기 보급 사업의 재원은 국비 80%, 지방비 20%로 조성됨.

고 현재 23기가 가동 중에 있다.⁴⁴⁾ 수산양식이 활발한 전라남도과 경상남도, 외부로부터 폐스티로폼의 부표가 유입되는 제주도에서는 민간 재활용 업체에서 총 6대의 감용 시설(고정식)이 운영되고 있다.⁴⁵⁾

〈그림 2-8〉 고정식 감용기 및 이동식 압축기



고정식 감용기(통영)



이동식 압축기(장흥)

자료: 연구진 촬영(2017. 8)

(2) 김발장 및 어망 재활용

물김을 건조하는 데 사용되는 김발장(합성수지 재질에 한함)은 2016년부터 EPR 적용을 받고 있다. 김발장은 수산양식용 부자에 비해 생산자가 한정되어 있으며, 세척 외의 별도의 전처리 과정이 없기 때문에 재활용이 용이하다. 김발장의 2018년도 재활용 의무율은 79.9%에 이르며, 민간 수거 업체나 재활용 업체가 전량 수거하여 딸기 용기 등의 소재로 이용된다.

어망은 2009년부터 자발적 협약 대상 품목으로 관리되고 있다. 자발적 협약은 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」 제12조제2항 제2호에 따라 플라스틱을 재료로 사용한 제품·재료·용기 중 일정한 비율 이상 회수·재활용이 가능하거나 환경부장관과 플라스틱 폐기물

44) 해양수산부(2018), p. 57.

45) 해양수산부(2018), p. 58.

의 회수·재활용에 관한 협약을 체결하고 이행할 경우 폐기물 부담금을 면제하는 제도이다. 2017년 기준 11개 사업자단체에서 15개 품목을 대상으로 협약이 체결되어 있다.⁴⁶⁾ 어망은 (사)한국해양폐기물자원순환협회가 관리하고 있으며, 2017년 재활용 의무율은 39.5%에 이른다. 하지만, 양식이나 조업에서 사용되는 어망은 주문 제작되거나 선구점 등에서 구매하는 경우가 많아 생산자 파악이 어려운 상황이다. 2017년 기준으로 협회에 가입한 회원사는 11개사에 불과하여 어망의 정확한 생산 규모나 처리량, 처리 실태 파악이 불가능하다. 협회에 따르면 발생한 폐어망은 소각, 펠렛으로 성형되거나 중고 제품으로 베트남 등에 판매되는 것으로 알려져 있다.

〈표 2-18〉 자발적 협약 대상 품목

품목	해당 품목 관리 단체
프로파일	(사)한국바이닐환경협회
바닥재	
파렛트	(사)한국파렛트컨테이너협회
컨테이너	
전력·통신선	한국전선공업협동조합
PVC관(이형관 포함)	한국PVC관공업협동조합
로프·안전망	(사)한국해양폐기물자원순환협회
망(어망 등)	
자동차AS용범퍼·몰딩(가니쉬, 언더커버, 워셔탱크, 냉각수탱크 포함)	(사)한국자동차자원순환협회
인조단지	한국재생활라스틱제조업협동조합
PE관	한국PE관공업협동조합
건축용발포폴리스티렌	한국발포폴라스틱공업협동조합
생활용품 (주방용품, 위생용품, 수납용품 등 20종)	(사)한국플라스틱단일재질협회
필터	(사)한국농수산재활용사업공제조합
산업용 PE 필름	

자료: 한국환경공단 홈페이지(<http://www.keco.or.kr/group/group05/bussiness02/contentsid/3061/index.do>, 2017/12/22 검색); 해양수산부(2018), p. 118 재인용

46) 해양수산부(2018), p. 118.

(3) 굴폐각 자원화 지원 등 기타 재활용

굴 양식장에서 대량 발생하는 폐각은 적정 처리되지 못하여 야적되거나 방치될 경우 경관이나 연안환경 훼손, 악취 등으로 지역 주민의 거주 환경을 침해한다. 또한 적정 보관 시설을 갖추지 못하여 야적된 굴폐각은 세척이나 강우 등을 통해 석회 가루가 바다에 유입되어 해양생태계에 부정적인 영향을 야기한다. 굴 폐각은 비료나 사료, 수질 및 어장환경 개선을 위한 객토 소재 등으로 재활용되고 있다. 또한 한국해양과학기술원이 최근 ‘굴폐각 생태블록’ 기술을 개발하여 민간에 기술이전 함으로써 향후 수중 구조물에도 굴폐각을 사용할 수 있게 된다. 해양수산부는 굴폐각 자원화를 지원하기 위해 처리업체에 굴폐각 운송에 소요되는 비용을 지원하는 사업을 시행하고 있다.

또한 해양쓰레기 다발 지역 및 도서 지역의 해양쓰레기 처리를 위해 2010년부터 해양쓰레기 종합처리장 사업을 시행해 오고 있다. 2010년부터 신안군에 건립되는 종합처리장은 296억 원 규모(국비 237억 원, 지방비 59억 원)로 소각시설, 전처리시설, 재활용 선별 시설 등이 설치된다.

(4) 소결

앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 해양쓰레기 재활용 정책은 매우 미흡한 실정이다. 2000년대 초반 해안가에 떠밀려오거나 해양에 부유·침적된 쓰레기를 효율적으로 수거하고 처리하기 위한 기술개발이 추진되어 왔다. 하지만, 수산양식에 사용되는 스티로폼 부표 처리를 위한 감용기 등 일부 개발된 기술은 현장에 보급되어 사용되고 있으나, 해양쓰레기 소각시설 등 일부 기술은 지자체 협조 미흡과 시설 설치에 따른 운영비 문제 등으로 상용화 단계로 이행되지 못했다. 제 1차 기본계획에 포함되었던 어망 등 유성(油性) 폐기물을 자원화하기

위한 기술 개발은 자료의 부족 등으로 연구에 착수조차 되지 못했으며, 제2차 기본계획에서는 해양쓰레기 재활용 기술이나 정책 부분이 전무한 상황이다.

이같이 수산양식용 부자 등 일부 제품을 제외하고는 해양쓰레기 재활용이나 폐자원의 에너지 전환 등 자원 순환 정책이 미흡하게 이루어지는 이유는 무엇보다도 현행 제도상의 한계, 재활용이나 자원 순환에 대한 인식 부족, 육상폐기물과는 차이가 있는 해양쓰레기의 특성이 정책에 반영되지 못한 것에 기인한 것으로 보인다.

해양에서 발생하는 해양쓰레기의 예방과 수거, 폐기물의 해양 배출 등은 「해양환경관리법」에 따라 해양수산부의 소관이지만, 해양쓰레기의 육상 운반과 처리 업무는 「폐기물관리법」에 따라 환경부에 있다.⁴⁷⁾ 해양쓰레기의 발생량은 육상폐기물에 비해 적은 규모이지만 미세 플라스틱을 포함한 해양쓰레기 영향의 심각성이 충분하게 정책에 반영되지 못했다. 또한 염분 함유, 이물질 부착, 복합 재질 사용 등 해양쓰레기의 사용 특성상 전처리와 비용 증가 요인도 소각 중심의 정책을 고수하여 재활용이나 에너지 전환을 더디게 하는 요인이다. 영농폐기물의 경우 위해성과 농촌 특성을 고려하여 「폐기물관리법」에 따라 생활폐기물로 분류되어 한국환경공단이 수거와 재활용 등 처리 업무를 전담하는 전문기관 체제로 운영되고 있다는 점은 해양쓰레기 재활용 정책에도 의미하는 바가 크다. 또한, 양식장에서는 다양한 폐기물이 발생되고 있으나, 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 근거한 EPR 적용 대상은 수산양식용 부자, 김발장(합성수지 재질에 한 함) 등 일부 폐기물에 지나지 않아 적용 대상을 더 확대할 필요가 있다.

47) 「폐기물관리법」은 폐기물의 처리와 처분 업무를 규정하고 있는데, 처리에는 폐기물의 수집, 운반, 보관, 재활용, 처분(폐기물의 소각 및 고형화 등 중간 처분과 매립 등 최종 처분)을 포함하고 있음.

제 3 장

양식장 폐기물 관리 문제점 및
해외사례 분석제1절 양식업 현황⁴⁸⁾

1. 국내 양식어업 현황

1) 천해양식어업 현황

우리나라 바다에서 양식업을 영위하기 위해서는 지자체로부터 면허를 받아야 한다. 2017년 말 현재 발급된 양식면허는 총 9,922건, 160,630ha이며, 이는 2010년 대비 건수 기준으로는 1.8%, 면적 기준으로는 13.9% 증가한 것이다.

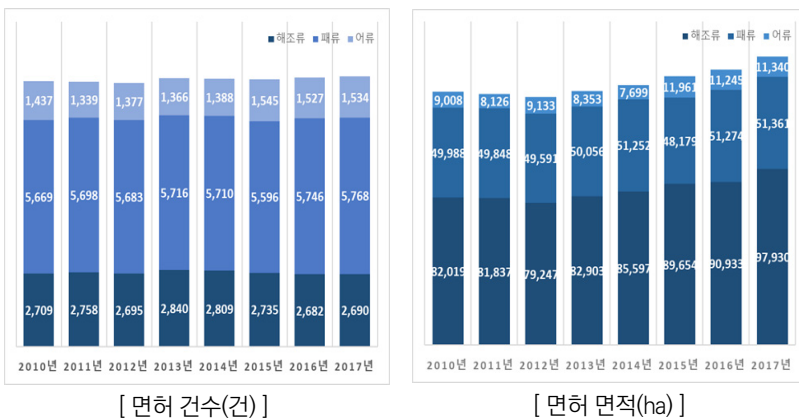
양식어업의 종류는 크게 해조류, 패류, 어류 등 양식으로 나누어지는데, 해조류 양식어업 면허를 받은 자는 김, 미역 등의 해조류를, 패류 양식어업은 굴, 홍합 등의 패류를, 어류 등 양식어업은 어류를 포함하여 해조류와 패류에 해당하지 않는 우렁챙이, 미더덕, 새우 등을

48) 해양수산통계시스템(검색일: 2018. 6. 15) 양식면허 정보를 토대로 작성함.

양식할 수 있다. 복합어업 면허를 받은 자는 해조류, 패류, 어류 등 서로 다른 양식어업 대상 품종을 함께 양식할 수 있다.⁴⁹⁾

2017년 양식종류별 면허 현황을 살펴보면, 해조류 양식이 2,690건, 97,930ha로 가장 넓게 분포해 있으며, 패류 양식은 5,768건, 51,361ha로 발급 건수가 가장 많다. 이는 해조류 양식면허는 주로 어촌계 단위로, 패류 양식은 어업인별로 발급받기 때문이다. 그리고 어류 등 양식은 면적 및 건수 기준으로 가장 작은 1,534건, 11,340ha이다.

〈그림 3-1〉 연도별 천해양식어업 면허 건수 및 면적



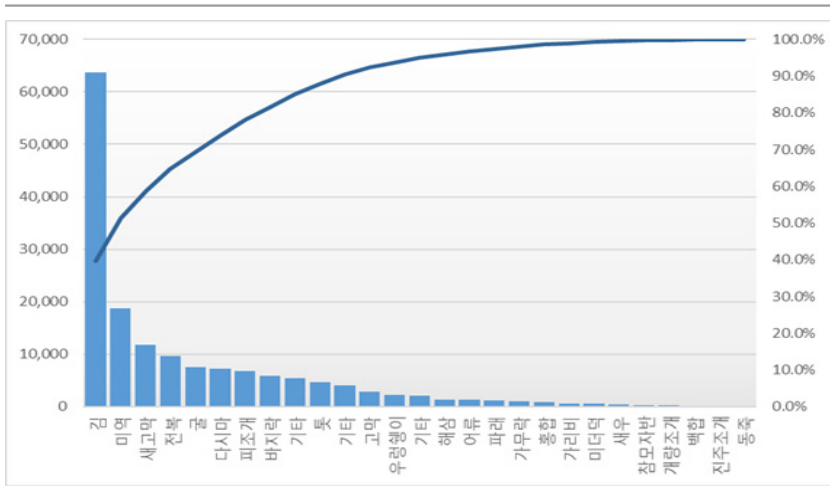
자료: 해양수산통계 시스템(검색일: 2018. 6. 15) 을 토대로 연구진 작성

49) 천해양식어업에 해당하는 마을어업의 경우 양식시설을 설치하기보다는 어업권이 설정된 마을어장에서 맨손어업 방식으로 어업 활동이 이루어진다. 그리고 정치망어업은 어망 등의 어구를 일정한 장소에 설치하여 수산동물을 포획하는 어업으로 일반적인 양식어업과는 다르다. 따라서 본 연구에서는 마을어업과 정치망어업은 제외한다.

2) 품종별 양식 면허 현황

현재 우리나라에서 양식되는 수산물 품종은 해조류 18종, 패류 20종, 어류 22종, 그 외 새우, 우렁쟁이를 비롯한 기타류 7종 등 약 70종에 이른다.

〈그림 3-2〉 2017년 수산물 품종별 양식면허 면적 현황



자료: 해양수산통계 시스템(검색일: 2018. 6. 15) 을 토대로 연구진 작성

이중 가장 넓은 양식 면적을 가진 품종은 약 6만 4천 ha의 김으로 전체 양식면적의 40%를 차지한다. 그 외 최상위 5위권에 속하는 품종은 1만 9천 ha의 미역, 1만 2천 ha의 새고막, 9,5천 ha의 전복, 7,5천 ha의 굴 등이다. 이들 5개 양식품종은 전체 면허면적의 약 70%를 차지한다.

양식면적이 1천 ha인 이상인 14개 품종이 전체 양식면적의 90%를 차지하고 있으며, 해조류 5개 품종, 패류 6개 품종, 어류 등 3개 품종이 여기에 속한다.

〈그림 3-3〉 상위 14개 양식 품종(면적기준)

해조류 (5개 품종)			패류 (6개 품종)			어류 (3개 품종)		
1	김	63,671ha	1	새고막	11,749ha	1	우렁챙이	2,263ha
2	미역	18,813ha	2	전복	9,591ha	2	해삼	1,413ha
3	다시마	7,303ha	3	굴	7,481ha	3	어류	1,354ha
4	톳	4,699ha	4	피조개	6,715ha			
5	파래	1,144ha	5	바지락	5,841ha			
				고막	2,893ha			

자료: 해양수산통계 시스템(검색일: 2018. 6. 15) 을 토대로 연구진 작성

3) 지자체별 양식어업 현황

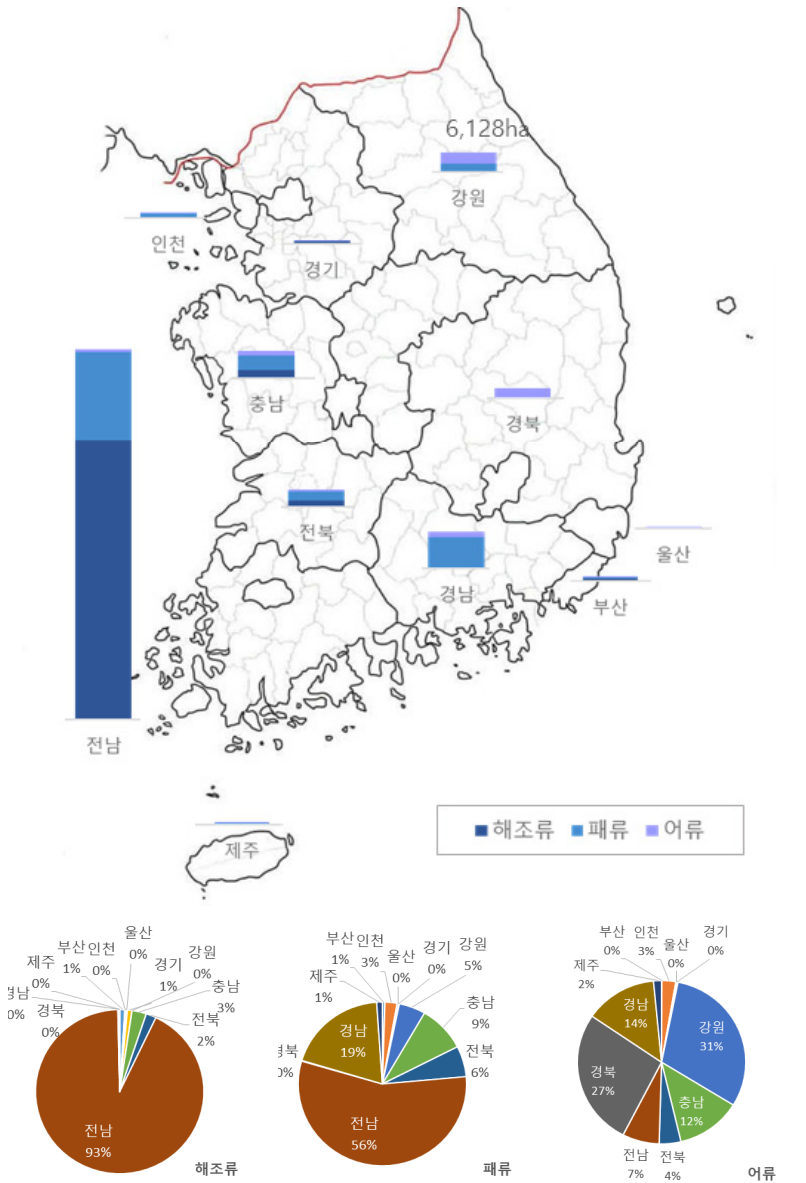
(1) 양식 면허 분포현황⁵⁰⁾

지자체별 양식현황을 살펴보면, 전라남도가 전체 면허 면적의 75%에 이르는 12만 ha의 양식장이 분포해 있다. 이는 해안선이 복잡하고 만이 발달하여 파도의 영향을 많이 받지 않는 정온 수역이 발달하여 양식시설을 설치하기에 적합하기 때문으로 보인다. 그리고 11.7천 ha의 경상남도, 8.8천 ha의 충청남도, 6천 ha의 강원도를 포함한 4개 지자체에 90% 이상의 양식장이 분포해 있다.

해조류 양식장은 전라남도에 93%가, 패류 양식장은 전라남도(56%)와 경상남도(19%)에 75%가 집중 분포하고, 어류 양식장은 강원도(31%), 경북(27%), 경남(14%), 충남(12%)에 고르게 분포한다.

50) 해양수산통계 시스템(검색일: 2018. 6. 15).

〈그림 3-4〉 지자체별·품종별 양식면적 분포도



자료: 해양수산통계 시스템(검색일: 2018. 6. 15) 을 토대로 연구진 작성

(2) 지역별 주요 양식 품종

동·서·남해는 각기 다른 해양환경을 가지고 있기 때문에 양식 품종에 차이가 있다. 남해안은 수온이 높고 수심이 깊지 않으며 만과 작은 도서들로 둘러싸여 수면이 잔잔하여 천혜의 양식조건을 갖추고 있다. 이러한 이유로 양식장이 넓게 분포해있으며, 정온수역에 부표나 그물 등의 시설을 설치하는 수하식 양식이 주로 이루어진다. 주 양식 품종은 김, 미역, 다시마, 톳 등의 해조류이며, 니질 갯벌의 여자만 주변으로는 새고막 양식이 성행한다.

서해안은 수심이 얇고 조수간만의 차가 커서 간석지가 발달해 있는 것이 특징이다. 주 양식 품종은 사질 및 혼합 갯벌에서 자라는 굴(투석식), 피조개, 동족, 백합 등 패류이며, 얇은 수심을 이용한 새우나 수요가 많은 조피볼락 등의 어류 양식이 이루어진다.

〈표 3-1〉 해역별 특성 및 양식품종

해역	해양환경 특징	양식 품종		비고
남해	높은 수온, 복잡한 해안선 및 만 발달(정온 수역)	해조류	김, 미역, 다시마, 톳	
		패류	굴, 피조개, 홍합, 새고막	
		어류 등	조피볼락	
서해	얇은 수심, 간석지 발달	해조류	김(지주식)	
		패류	굴(투석식), 바지락, 동족, 백합	
		어류 등	새우, 조피볼락 등 어류	
동해	낮은 수심, 깊은 수심	패류	큰가리비	
		해조류	미역(경북 이남)	
		어류 등	넙치, 우렁쟁이	

자료: 연구진 작성

동해안은 해안선이 단조롭고 수심이 해안선에서 가파르게 깊어지는 특징이 있어 큰가리비 등 수온이 낮고 깊은 바다에 서식하는 패류, 특히 넙치 등의 어류 양식이 발달해 있다. 울진, 기장 등 경북 이남의 일부 지역에서는 미역을 비롯한 다시마 양식이 성행한다.

2. 양식방법과 양식시설

1) 양식 절차

수산물 양식은 일반적으로 종묘 생산, 해상 양식시설 입식, 양성, 수확 과정을 거친다. 종묘생산 과정은 육상에서, 양식시설 이식 이후 양성은 바다에서 이루어진다. 포자(해조류 씨앗), 치패(어린 패류), 치어(어린 물고기)의 채묘 및 배양은 육상에 위치한 일부 종묘 생산시설에서 이루어지고 있어 본 연구에서는 양성을 위해 해상에 설치한 양식시설에서 발생하는 쓰레기를 대상으로 한다.

〈그림 3-5〉 양식 절차 흐름도



자료: 연구진 작성

2) 양식방법

(1) 양식방법 구분

우리나라는 법에 의해 양식어업 종류별 양식방법이 정해져 있다.

「수산업법」에 의하면 양식업은 “일정한 수면을 구획하여 그 수면의 바닥을 이용하거나 수중에 필요한 시설을 설치하여 해조류, 패류, 어류 등을 양식하는 어업”⁵¹⁾이다. 「어업면허의 관리 등에 관한 규칙」에서는 “양식어업의 종류별로 어장구역의 한계, 어장 사이의 거리, 어장의 시설방법 및 양식방법”⁵²⁾을 규정하도록 하였다.

관련법에서 규정하고 있는 양성과정의 양식방법은 크게 수하식, 가두리식, 바닥식, 축제식으로 구분된다. 수하식 양식은 시설물을 수중에 띄워 양식하는 방법으로, 그 방식에 따라 건홍식, 연승식, 뗏목식, 간이식으로 나뉜다. 가두리식은 그물 등에 수산물을 가두어 양식하는 방법으로 사각형 혹은 원형으로 짜여진 틀에 그물을 연결하는 형태가 일반적이다.

한편 바닥식은 간석지나 해저면 바닥에 시설을 설치하거나 지반을 그대로 이용하여 양식하는 방법으로 인공적으로 가공·제조된 장비의 사용이 덜한 편이다. 축제식은 해수를 이용하기 위해 해안가 가까이에 위치하지만 해역이 아닌 유역에서 이루어지는 양식방법이다.

따라서 본 연구는 해역 공간에서 인공적으로 가공·제조된 시설을 주로 사용하는 수하식과 가두리식 시설을 이용하여 수산물을 양식하는 양식어업을 대상으로 하며, 바다식과 축제식 양식어업은 연구 대상에서 제외한다.

51) 「수산업법」 제8조 제1항.

52) 「어업면허의 관리 등에 관한 규칙」 제10조 제1항 및 [별표 3]

〈표 3-2〉 해상양식어업 종류별 양식방법

양식방법	설명 및 양식방법의 종류	비고
수하식	• 설명: 수중에 밧줄, 지주 등의 시설물을 설치하여 수중에서 수산물을 양식하는 방법 • 세부 방법 - 건홍식: 대나무 등의 지주나 부표에 연결된 그물 형태의 밧줄에 수산물을 부착하여 양식방법 - 연승식: 해수면에 띄운 부유물(부표 등)에 연결한 밧줄을 수면 아래로 내려 수산물을 양식하는 방법 - 뗏목식: 해수면에 띄운 뗏목에 연결한 밧줄을 수면 아래로 내려 수산물을 양식하는 방법 - 간석식: 간석지에 말목을 설치하거나 간석지 위에 수평으로 시설물을 설치하여 수산물을 양식하는 방법	연구 대상
바닥식	• 설명: 바닷가, 갯벌 혹은 바다 밑의 바닥을 이용하거나 바닥에 시설물을 설치하여 수산물을 양식하는 방법 - 투석식: 간·만조 사이 지반에 돌, 시멘트 블록 등의 부착물을 설치한 후 수산물을 부착시켜 양식하는 방법 - 살포식: 양식 수산물이 서식하는 간석지 등에 치어, 치패, 포자 등을 살포한 후 양식하는 방법 - 천해: 천해의 바닥으로 지반의 변동이 없이 수산물을 양식하는 방법 - 침하식: 해저 바닥에 침하시킨 시설물을 이용하여 수산물을 양식하는 방법	-
가두리식	• 설명: 수심이 깊은 해수면에 띄우거나 해중에 매달은 그물에 수산물을 가두어 양식하는 방법	연구 대상
축제식	• 설명: 해안가에 독을 세우거나 웅덩이를 만들어 해수를 교환하면서 양식하는 방법으로, 해수를 이용하지만 양식 공간은 해역이 아닌 육역임	-

자료: 「어업면허의 관리 등에 관한 규칙」을 토대로 연구진 작성

(2) 양식방법별 양식품종 및 주요 어구

「어업면허의 관리 등에 관한 규칙」에서 규정한 어업별 양식방법은 해조류는 수하식과 바닥식, 패류는 수하식, 바닥식, 가두리식, 그리고 어류 등은 가두리식, 수하식, 바닥식, 축제식이 가능하다.

앞서 살펴보았듯이 14개 양식품종이 전체 양식면적의 90%를 차지하고 있다. 이중 김, 파래는 수하식 중 건홍식으로, 미역, 다시마, 툇은 수하식 중 연승식으로 양식하며, 투석식은 법적으로 가능하지만 현실에서는 흔하지 않는 방법으로 우뚝가사리 등 일부 해조류 양식에 시도되고 있다. 지역에 따라 수하식도 다른 방식으로 이루어지는데, 조수간만의 차가 큰 서해는 바닥에 말목 등의 지주시설을 막아서 양식하는 지주망홍식이, 남해는 부표로 그물을 띄워서 양식하는 부류망홍식이 일반적이다.

패류 중 새고막, 고막, 피조개, 바지락 등 갯벌에서 자라는 품종은 특별한 시설이 요구되지 않아 간석지에 치패를 살포하는 방식으로 양식을 한다. 전복은 양식량이 가장 많은 완도에서 가두리식으로 양식하며, 굴의 경우 남해는 수하식으로 양식하지만 조차가 큰 서해는 간이식이나 투석식이 성행한다. 땃목식은 과거에 성행한 방식으로 현재는 찾아보기 어렵다.

그 외 양식면적이 넓은 넙치, 조피볼락 등 어류 양식은 가두리식이 일반적이며, 새우와 해삼은 축제식으로, 우렁챙이는 수하식으로 양식한다. 최근 해저면에 양식시설을 침하시켜 해삼과 우렁챙이를 양식하는 기술이 개발되었지만 일반적이지는 않다. 양식어업 종류별로 가능한 양식방법, 그리고 주요 양식 품종과 어구는 <표 3-3>과 같다.

〈표 3-3〉 해상양식어업 종류별 양식방법 및 주요 어구

양식어업 종류	양식방법(세분류)			14개 주요 품종	주요 어구	비고
해조류	수하식	건홍식	지주망홍	김, 파래	지주(대나무 등), 밧줄, 그물	
			부류망홍		그물, 부표, 밧줄	
			연승식	미역, 다시마, 툇	밧줄, 부표	
	바닥식	투석식	-	암석 등	제외	
		천해	-	-	제외	
패류	수하식	간이식(수하연식, 수평망식/ 수평끈식)		굴(서해)	말목(목재 등), 망(철재 등) 등	
		연승식		굴, 전복	밧줄, 부표, 채롱	
		뿔목식		전복	뿔목, 밧줄, 채롱	과거 방식
	바닥식	살포식 (간석지, 천해)		새고막, 고막, 바지락, 피조개	-	제외
		투석식 등 (간석지, 천해)		굴(서해)	암석, 시멘트 구조물 등	제외
		침하식 (천해, 가두리식)		전복	인공구조물 (철재, 시멘트 등)	제외
	가두리식	-		전복	가두리 시설, 부표 등	
어류 등	가두리식	-		어류(넙치, 조피볼락)	가두리 시설, 부표 등	
	축제식	-		해삼		제외
	수하식	연승식		우렁쟁이	밧줄, 부표	
		뿔목식		-	밧줄, 뿔목	
	바닥식	살포식 (간석지, 천해)		어류	-	제외
		투석식		-	암석 등	제외
		침하식 (천해, 가두리식)		해삼, 우렁쟁이	인공구조물	제외

자료: 「어업면허의 관리 등에 관한 규칙」 [별표2]를 토대로 연구진 작성

3) 연구 대상

본 연구는 양식장에서 발생하는 폐기물의 원활한 처리를 위한 방안을 모색하는 것을 목적으로 하고 있다. 양식방법별로 사용하는 주요 어구를 기준으로 연구 목적에 합당한 양식방법 및 양식 품종은 아래 <표 3-4>와 같다.

해조류 양식방법 중 자연상태 혹은 자연물을 이용하는 바닥식은 제외하고, 그물발을 이용하는 건홍식과 수하연(밭줄)을 이용하여 수하식으로 양식하는 김, 미역, 다시마, 톳으로 연구 대상을 한정하도록 한다.⁵³⁾

패류양식 역시 어구를 사용하지 않거나 암석 등 자연물, 해양환경에 피해가 적은 철재·시멘트 인공구조물을 이용하는 방식은 연구에서 제외하고, 수하식의 굴 양식과 가두리식의 전복 양식으로 한정한다.

<표 3-4> 연구 대상 양식방법 및 양식 품종

양식어업 종류	양식방법		양식품종
해조류	수하식	건홍식(지주망홍, 부류망홍)	김
		연승식	미역, 다시마, 톳
패류	수하식	연승식	굴
		간이수하식	굴
	가두리식		전복
어류 등	가두리식		어류 (넙치, 조피볼락 등)
	연승 수하식		우렁챙이

자료: 연구진 작성

53) 파래는 단일 수산물로 소비가 이루어지기 보다는 김과 섞어서 '파래김'으로 생산 및 소비가 되며, 어업인들은 파래와 함께 김을 양식함. 이로 인해 주요 양식품종을 대상으로 생산량을 관측하는 '수산업관측사업'에서 파래는 제외되어 본 연구 대상에서는 제외하였음.

어류 등 양식어업은 해수면이 아닌 육역 공간을 이용하는 축제식 양식어업과 어구를 사용하지 않거나 암석 등 자연물, 해양환경에 피해가 적은 철재·시멘트 인공구조물을 이용하는 방식은 연구에서 제외한다. 따라서 가두리식으로 양식하는 넙치, 조피볼락 등 어류와 연승 수하식의 우렁쉥이가 본 연구 대상이다.

제2절 양식장 어구 현황

1. 주요 품종별 양식시설과 어구⁵⁴⁾

1) 김 양식

(1) 부류식

부류식 김양식의 보급은 1974~1983년에 이루어졌다. 부류식 김양식은 김발을 수면 밖으로 노출시키는 유무에 따라 노출 부류식과 무노출 부류식으로 구분하며, 뒤집기가 가능한 노출 부류식은 1990년대에 기술이 개발되었다.

현재는 노출 부류식은 가장 보편적인 김 양식방법이며, 무노출 부류식은 김의 성장에 주안점을 둔 양식방법으로 부산, 서천 등 일부지역에서 이루어진다. 김 시설은 ‘책’이라는 단위를 기준하며, 지역에 따라 책당 시설 규모는 다소 차이가 있으나, 기본 시설규모는 1책당 2.2m × 40m이다.

54) 해양수산부 보도자료(2016.3.2), 국립수산물과학원 홈페이지를 참고하여 저자 작성.

〈그림 3-6〉 수하식 김 양식시설 사진



노출 부류식



무노출 부류식

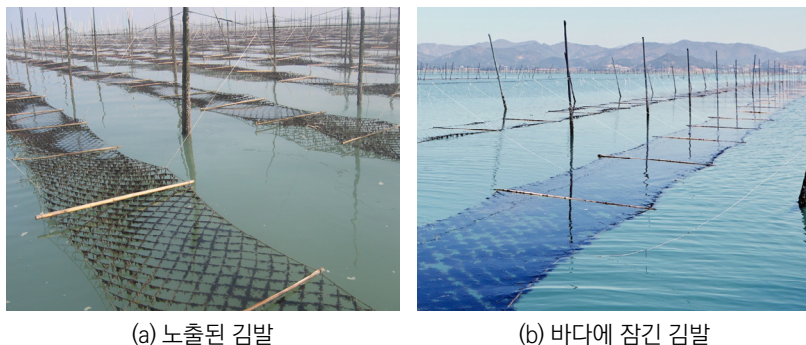
자료: 해양수산부(2017a), 2016년 어업용 폐스티로폼 부표 통합관리체계 구축, p. 17

무노출 부류식 양식장에는 사용되는 어구는 부표, 그물이며, 노출 부류식 양식장에는 그물 망, 스티로폼 부표, 대, 닻(혹은 말목), 밧줄, 노끈이 사용된다. 노출 부류식은 그물망을 뒤집어야하기 때문에 부표는 가벼운 스티로폼 부표를 주로 사용하고, 대는 대나무 혹은 대나무 겉면을 PE 코팅하여 사용한다. 무노출 부류식은 스티로폼 이외 재질의 부표를 사용하기도 하나, 최근 해양수산부가 ‘친환경 부표 보급 사업’을 진행하면서 PP, PE, EPP, EPE 등 재질이 다양해지고 있다.

(2) 지주식

해저 바닥에 지주목을 세운 후 밧을 설치하여 김을 양식하는 방식으로, 밀물에 김밭이 바닷물에 잠기고 썰물에 김밭을 햇볕에 노출시키는 것이 특징이다. 주로 조수간만의 차이가 큰 서해안이나 일부 완도 지역에서 이루어지고 있다. 사용되는 어구는 지주목으로 사용되는 목재, 그물 망, 대나무, 밧줄, 노끈이다.

〈그림 3-7〉 지주식 김 양식시설 사진



자료: (a) 해양수산부(2017a), 2016년 어업용 폐스티로폼 부표 통합관리체계 구축, p. 17

(b) 해양수산부 보도자료(2017)

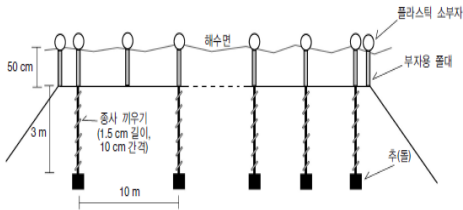
2) 미역, 다시마 양식

미역은 연승줄을 이용하는 수하식이 일반적인 양식방법으로 1971~1975년에 대량 보급되었다. 연승줄에 종사 부착방식에 따라 끼우기식과 감기식으로 나뉘지만, 사용되는 어구에는 차이가 없다.

다시마 양식은 미역보다 다소 늦은 1970년대 후반에 보급되기 시작하였다. 양식방법은 미역과 매우 유사하여 연승줄에 포자를 부착하여 기르는 연승 수하식이 일반적이다.

양식시설은 연승줄을 단위로 책정하며, 공식적인 기준은 100m이다. 수하식 미역 혹은 다시마 양식에 사용되는 어구는 밧줄, 사출형 부표, 종사, 쫄대(대나무), 밧줄, 닻(혹은 말목), 노끈이다. 부표는 크기가 작은 사출형 부표를 주로 사용한다.

〈그림 3-8〉 연승 수하식 미역 및 다시마 양식시설



(a) 연승 수하식 양식시설 도면



(b) 양식시설 현장사진

자료: (a) 국립수산물과학원 남해수산연구소(2016), p. 49

(b) 해양수산부(2017a), 2016년 어업용 페스티로폼 부표 통합관리체계 구축, p. 19

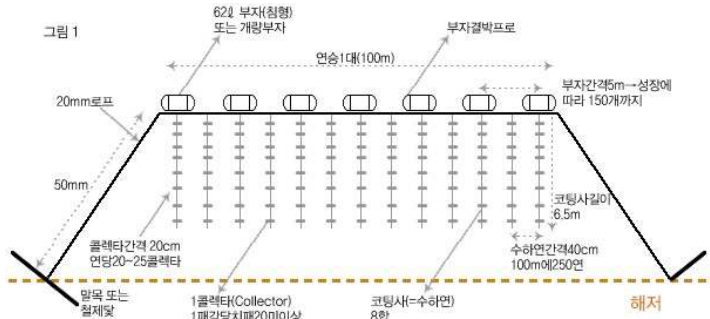
3) 굴 양식

굴은 패류 중에서 역사가 가장 긴 양식 품종으로 1958년에 수하식 굴양식법이 개발되었으며, 1980년대에는 FDA 패류 생산지역으로 지정되면서 전체 패류 생산량의 80%를 차지할 정도로 성행하였다.

(1) 연승 수하식

현재는 연승 수하식이 가장 일반적인 굴 양식방법으로 경남, 전남에 주로 사용한다. 연승줄은 통영, 거제 등은 외줄이나, 여수는 쌍줄을 이용하며 연승줄에 50~70cm 간격으로 수하연을 아래로 매달아 양식한다. 종묘가 붙은 콜렉타는 수하연당 많게는 25개까지 연결된다. 어구는 밧줄, 부표, 코팅사, 닻(혹은 말목), 노끈이며, 콜렉타는 굴 혹은 가리비 패각을 주로 사용한다. 부표는 60ℓ 크기의 스티로폼 부표를 주로 사용하였으나, 최근 ‘친환경 부표 보급사업’으로 그 재질이 다양해지고 있다.

〈그림 3-9〉 연승 수하식 굴 양식시설 사진



(a) 굴 수하시설 모식도



(b) 양식시설의 해중 사진



(c) 양식장 현장사진

자료: (a), (b) 국립수산물과학원(2012), 굴 수하식양식 표준 지침서, p. 24

(c) 해양수산부(2017a), 2016년 어업용 폐스티로폼 부표 통합관리체계 구축, p. 24

(2) 간이수하식

간이수하식은 간석지에 수직으로 말목을 박거나 수평으로 시설을 설치하는 방식으로 조수간만의 차가 커서 연승식이 적합하지 않은 인천, 경기, 충남에서 성행하는 방식이다.

수하연식은 아래로 늘어뜨리는 수하연의 지지대로 말목을 이용하는 방식으로 말목으로는 주로 목재나 철근을 이용한다. 수평망식 혹은 수평끈식은 지면으로부터 50cm 내외 높이로 길게 설치된 철재시설에 플라스틱 망을 올리거나 포장끈을 연결하여 굴을 양식한다.

최근 양식시설 현대화 사업으로 PE 코팅 강관시설 등이 개발되고

있으나 아직 일부에 불과하다. 일반적으로 수하연 간이수하식에서 사용되는 어구는 말목(목재, 철근), 밧줄, 코팅사, 노끈, 패각(콜렉타)이다. 수평망식 혹은 수평끈식은 철재시설, 플라스틱 망 혹은 포장 끈, 노끈을 사용한다.

〈그림 3-10〉 간이수하식 굴 양식시설 사진



자료: (a) 노승국(2010), p.37 / (b) 충청남도(2012), p.6 / (c) 노승국(2011), p.37

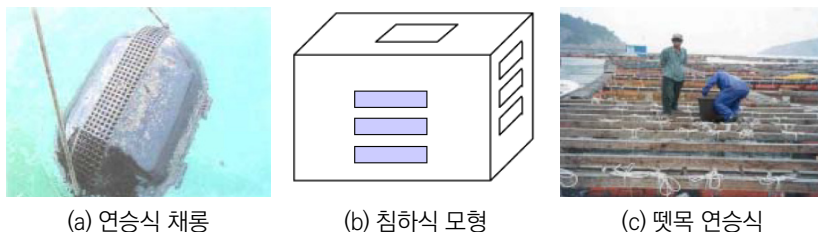
4) 전복 양식

(1) 양식시설 종류

전복 양식은 1970년대 인공종묘 대량 생산의 기틀이 마련되면서 성장하기 시작하였다. 초기에는 천연 해역에 인공종묘를 방류하는 방식으로 양식을 하다가 80년대부터 양식시설을 사용하는 수하식, 뗏목식 양식기술이 개발되어 보급되었다.

가장 먼저 개발된 양식시설은 채룽으로 수하식이나 뗏목식에 사용되고, 90년대에는 육상 수조식, 2000년대에는 침하식, 해상가두리식이 개발되었다. 현재 면허 어장에서 즐겨 사용하는 양식방법은 가두리식이다. 육상수조식은 전복 치패 생산방식으로 이용되고 있으며, 채룽을 이용한 수하식과 침하식(동해)은 극히 일부 지역에서 이뤄진다.

〈그림 3-11〉 전복 양식시설(채롱, 연승식 그물, 뗏목) 사진



자료: 국립수산물과학원(2008), p. 50

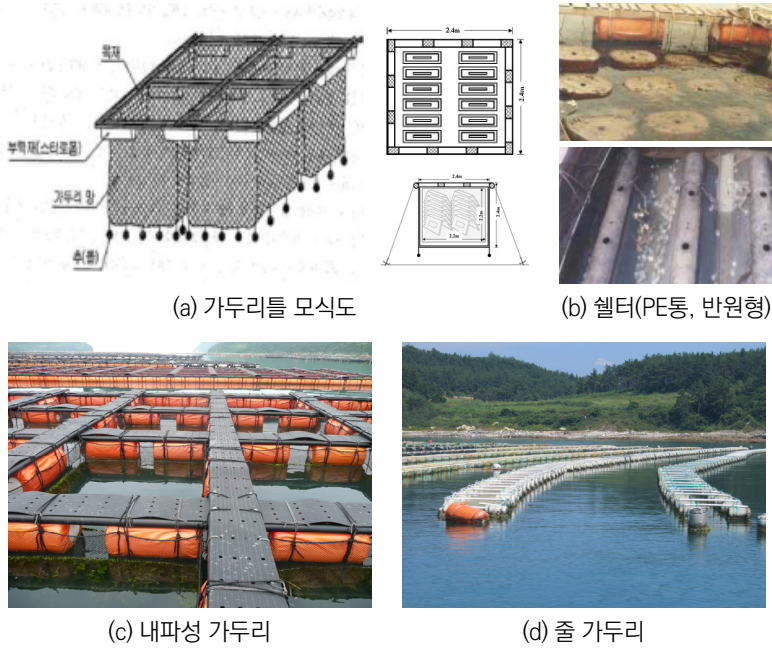
(2) 해상 가두리식 양식

해상 가두리 시설은 위치에 따라 표층 부류형, 반잠수형, 침하형 등으로 나눌 수 있는데, 우리나라는 주로 표층 부류형이 일반적이다. 가장 일반적인 가두리 시설은 크게 가두리 틀, 그물 망, 쉼터(전복집)로 구성된다.

가두리 틀은 과거에는 목재를 사용하였으나 최근에는 PE 파이프를 주로 사용한다. 내파성 가두리는 1칸이 내경 기준으로 $2.4\text{m} \times 2.4\text{m}$ 이며, 칸 연결 방식은 2열, 3열, 4열 등 다양하다. 완도 일부 지역에서 소량으로 양식되는 줄 가두리도 있다. 줄 가두리는 흡사 기차길처럼 1칸을 길게 연결하는 방식으로 1칸은 $1.2\text{m} \times 1.24\text{m}$ 로 내파성에 비해 작다.

가두리 틀은 보트와 너트로 연결하며, 틀 위로는 고무재질의 발판을 깔고, 틀 아래로는 부력을 유지하기 위해 부표를 설치한다. 부표는 500ℓ 이상의 대형을 사용하며, 부표 종류는 주로 스티로폼 부표를 사용하나, 최근 해양수산부에서 ‘친환경 부표 보급사업’을 진행하면서 그 겉면을 PE, PP 등으로 둘러싼 코팅형 혹은 필름형 부표, 공기를 주입한 PE재질의 사출형 부표가 늘어나고 있다.

〈그림 3-12〉 가두리 양식시설 사진



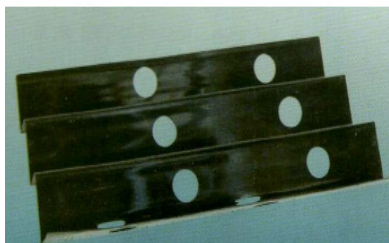
자료: (a~b) 국립수산물과학원(2008), p. 56

(c~d) 해양수산부(2017a), 2016년 어업용 폐스티로폼 부표 통합관리체계 구축, p. 22

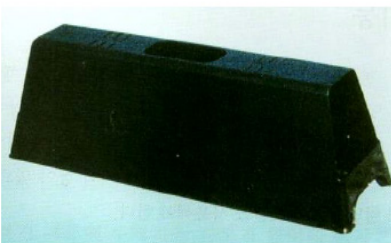
전복 치패를 부착시켜 양성하는 셸터는 골셸터, 일반셸터, 터널셸터, 아파트형 셸터 등이 있으며, PP, PE가 일반적이고, PVC 재질도 사용된다.

가두리식 양식시설에서 주로 사용되는 어구를 정리하면 가두리 본체, 발판, 보트와 너트, 부표, 그물, 그물 고정틀(파이프), 셸터, 밧줄, 닻, 노끈이 있다.

〈그림 3-13〉 전복 양식시설 사진



골셸터



일반셸터



터널셸터



아파트형 셸터

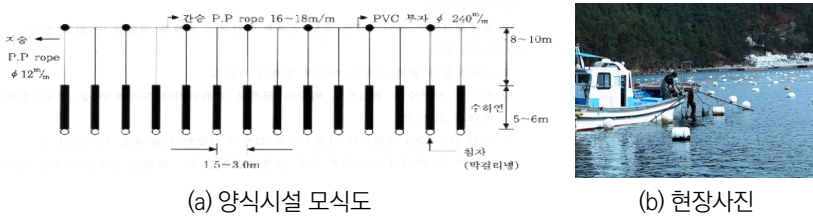
자료: 국립수산물과학원(2008), p. 63

5) 우렁쉥이 양식

우렁쉥이(일명 멧게)는 연승 수하식이 일반적인 양식방법이다. 시설 형태는 연승줄에 수하연을 매어다는 수하식 굴 양식시설과 유사하다. 연승줄 간 간격은 경남은 3~5m이나 파도가 강한 경북과 강원 지역은 20~40m로 간격을 넓혀 설치한다. 부표는 우렁쉥이 자체 부력이 있어 굴에 비해 많이 소요되지 않는다.

우렁쉥이 양식장에서 사용되는 어구는 수하식 굴 양식장과 동일하게 밧줄, 부표, 코팅사, 닻(혹은 말목), 노끈, 막걸리병(침자용) 이다. 부표는 60ℓ 크기의 스티로폼 부표를 주로 사용하였으나, 최근 ‘친환경 부표 보급사업’으로 그 재질이 다양해지고 있다.

〈그림 3-14〉 지주식 우렁챙이 양식시설 사진



자료: (a) 국립수산물과학원 홈페이지 주요 양식시설 - 우렁챙이,
(b) 해양수산부(2017a), 2016년 어업용 페스티로폼 부표 통합관리체계 구축, p. 30

6) 어류 양식

가두리식 어류 양식은 1974년 방어와 참돔 양식으로 시작되었으며, 80년대에 본격화 되었다. 내파성 해상 가두리식으로 양식하는 어종은 참돔, 우럭, 농어 등 다양하며, 시설은 내경 기준으로 1칸의 크기가 5m × 5m으로 전복용 양식시설에 비해서 크다.

가두리식 양식시설에서 주로 사용되는 어구를 정리하면 가두리 본체, 발판, 보트와 너트, 부표, 그물, 그물 고정틀(파이프), 밧줄, 닻, 노끈이 있다.

2. 양식장 어구 종합

양식장 어구는 플라스틱류, 자연물, 기타로 구분된다.

플라스틱류 어구로는 그물망, 부표, 밧줄, 노끈, 플라스틱 망, 코팅사, 쉘터, 가두리 본체 등이 사용된다. 자연물 어구로는 말목용 목재, 부죽, 패각 등이 사용되며, 부죽의 경우 내구 연수를 늘리기 위해 PE 재질로 코팅하기도 한다. 그 외 어구로는 철로 만든 닻, 간이수하식

시설물, 가두리 본체 연결 보트와 너트 등이 있으며, 가두리 본체 위에 놓는 발판은 고무재질이다.

〈표 3-5〉 주요 양식 품종별·양식 방법별 사용 어구 종류

양식어업 종류	양식 품종	양식 방법	사용 되는 어구		
			플라스틱류	자연물	기타
해조류	김	노출 부류식/ 무노출 부류식	그물 망, 부표, 밧줄, 노끈	말목용 목재, (코팅) 부죽	돛
		지주식	그물 망, 밧줄, 노끈	말목용 목재, 부죽	-
	미역, 다시마	연승 수하식	밧줄, 부표, 노끈	말목용 목재, 부죽	돛
패류	굴	연승 수하식	밧줄, 부표, 코팅사, 노끈	패각(콜렉타), 말목용 목재	돛
		수하연 간이수하식	밧줄, 노끈, 코팅사	패각(콜렉타), 말목용 목재	돛
		수평망/ 수평끈 간이수하식	밧줄, 플라스틱 망/포장끈, 노끈	-	철재시설
	전복	가두리식	가두리 틀, 그물, 부표, 쉼터, 밧줄, 노끈	-	돛, 발판(고무), 보트와 너트
어류 등	우렁챙이	연승 수하식	밧줄, 부표, 코팅사, 노끈	말목용 목재	돛
	어류	가두리식	가두리 본체, 그물, 부표, 밧줄, 노끈	-	돛, 발판(고무), 보트와 너트

자료: 연구진 작성

플라스틱류 어구를 사용 연수를 기존 연구자료와 완도군 어업인 면담 결과를 토대로 정리하면 아래 〈표 3-6〉과 같다.

〈표 3-6〉 주요 양식 품종별 플라스틱류 어구의 사용 연수(추정)

양식어업 종류		플라스틱류 어구		주 재질	사용 연수	양식 품종	비고
건홍식	부류식	그물 망		PP	2년	김	
		밧줄		PP	5년	〃	
		부표		EPS	7.6년(5년)	〃	
		노끈		나일론	5년	〃	
	지주식	그물 망		PP	2년	〃	
		밧줄		PP	5년	〃	
		노끈		나일론	5년	〃	
연승 수하식		밧줄		PP	5년	굴, 우렁챙이, 미역, 다시마	
		노끈		나일론	5년	〃	
		코팅사		고무	-	굴, 우렁챙이	
		부표	미역, 다시마	PE 등	10년 이상	미역, 다시마	제외
			굴, 우렁챙이	EPS	8.6년/3.2년	굴, 우렁챙이	
간이 수하식	전체	밧줄		PP	5년	굴	
		노끈		나일론	5년	〃	
	수하연	코팅사		고무	-	〃	
	수평망	플라스틱 망		PE	10년 이상	〃	
	수평끈	포장끈		-	-	〃	
가두리식		가두리 본체		PE	10년 이상	전복, 어류	제외
		밧줄		PP	5년	〃	
		그물		PP, 나일론	3년	〃	
		그물 고정틀		PE	10년 이상	-	제외
		부표		EPS, 그 외	10년 이상	〃	제외
		노끈		나일론	5년	〃	
		웰터		PE, PP, PVC	5년	전복	

자료: 가두리식 - 국립수산물과학원(2012), 부표-해양수산부(2017a), 그 외 완도군 어업인 면담조사 결과

제3절 폐어구 처리 실태 및 문제점

1. 양식장 폐기물 처리제도 및 절차

1) 관련 규정

양식장 폐기물 역시 여타의 폐기물과 동일하게 환경부 소관의 「폐기물관리법」에 의거하여 처리하여야 한다. 동법은 폐기물을 크게 지자체에게 수거·처리의 의무가 있는 생활쓰레기와 폐기물을 배출한 사업장이 수거·처리해야하는 사업장폐기물로 분류한다.

양식장 폐기물 중 폐어망, 양식용 부표, 폐패각은 「폐기물관리법 시행규칙」 별표 4에 의거하여 사업장폐기물로 분류되나, 앞 절에서 다룬 밧줄, 노끈 등 어구 시설 등은 폐기물 관리법에서 처리 주체 및 방법 등을 규정하고 있지 않다. 다만 어업인의 어장관리 의무를 규정한 「어장관리법」 제13조55)에서 그물, 밧줄 등의 어구와 양식시설물은 사업장폐기물에 해당하면 「폐기물관리법」에 따라 처리하도록 하였다.

이를 적용할 경우 그물, 밧줄 등의 폐어구는 생활쓰레기에 해당한다. 해당 법에서는 사업장에서 발생한 폐기물일지라도 1일 평균 발생량이 일정량 이하면 생활쓰레기로 분류하는데 폐어구는 무게 기준으로 연간 발생량이 많지 않기 때문이다. 사실, 우리나라 양식업은 기업이 아닌 개별 어업인들이 영위하기 때문에 「폐기물관리법 시행규칙」에서 사업장일반폐기물 세분류한 폐어망, 양식용 부표, 폐패각 역시 「폐기물관리법」에서 규정한 발생량 기준에 따라 생활쓰레기에

55) 「어장관리법」 제13조: 그물·밧줄 등 어구와 양식시설물 등이 「폐기물관리법」 제2조제3호에 따른 사업장폐기물에 해당하면 같은 법 제18조에 따라 처리하여야 한다.

해당한다. 즉 「폐기물관리법」과 그 하위법령인 「폐기물관리법 시행규칙」이 서로 상충되는 것이다.

실제 폐기물 관리업무를 수행하는 지자체는 양식장 폐기물을 사업장쓰레기로 분류하는 것으로 보인다. 대부분 일반 해양쓰레기나 양식장 발생 폐기물을 지자체 소유의 폐기물처리시설로 반입하여 처리하는 것을 허락하지 않는다. 대신 어장환경 보전업무 담당자들은 양식장 폐기물을 어업인들이 스스로 처리하도록 지도하거나 지자체에서 사업장폐기물 처리업체에 위탁하여 처리하고 있다.

〈표 3-7〉 양식장 폐기물 처리에 관한 규정

구분		법 조항
어장관리법	제13조 어업인의 어장관리 의무	① 어업면허나 어업허가를 받은 자와 그 종사자(이하 이 조에서 “어업인”이라 한다)는 어업 활동 중 그물·밧줄 등 어구와 양식시설물 등을 어장에 버리거나 방치하여서는 아니 된다. ② 어업인이 그물·밧줄 등 어구와 양식시설물 등을 폐기하려면 시장·군수·구청장이 설치·운영하는 장소에서 처리하거나 처리하게 하여야 한다. 다만, 그물·밧줄 등 어구와 양식시설물 등이 「폐기물관리법」 제2조제3호에 따른 사업장폐기물에 해당하면 같은 법 제18조에 따라 처리하여야 한다.
폐기물관리법	제2조 (정의)	3. “사업장폐기물”이란 「대기환경보전법」, 「물환경보전법」 또는 「소음·진동관리법」에 따라 배출시설을 설치·운영하는 사업장이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물을 말한다.
	제18조 (사업장 폐기물의 처리)	① 사업장폐기물배출자는 그의 사업장에서 발생하는 폐기물을 스스로 처리하거나 제25조제3항에 따른 폐기물처리업의 허가를 받은 자, 폐기물처리 신고자, 제4조나 제5조에 따른 폐기물처리시설을 설치·운영하는 자, 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 제21조에 따라 건설폐기물 처리업의 허가를 받은 자 또는 「해양환경관리법」 제70조제1항제1호에 따라 폐기물 해양 배출업의 등록을 한 자에게 위탁하여 처리하여야 한다.
폐기물관리법 시행령	제2조 (사업장 범위)	7. 폐기물을 1일 평균 300킬로그램 이상 배출하는 사업장
폐기물관리법 시행규칙	[별표4]	2. 사업장일반폐기물의 세부분류 및 분류번호 51-03-08 폐어망 51-03-05 양식용폐부자 51-17-04 폐패각

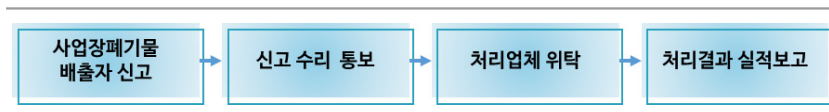
자료: 연구진 작성

2) 처리 프로세스

어업인은 양식장 폐기물을 스스로 처리하거나 사업장폐기물처리업체에 위탁하여 처리해야 한다. 스스로 처리한 사업장에 폐기물 처리시설을 설치하는 것이므로 실제적으로 어업인이 할 수 있는 처리 방법은 ‘사업장폐기물 배출자’로 신고한 후 사업장폐기물처리업체를 선정하여 위탁 처리하는 것이다.

「폐기물관리법」에서는 사업장폐기물을 ‘폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 자’이나, 대부분의 양식 어업인은 이에 해당하지 않으므로 ‘사업장폐기물 배출자’로 신고하는 경우는 없다. 어업인이 ‘사업장폐기물 배출자’로 신고한 후에도 폐기물처리업체를 선정하는 프로세스가 마련되어 있지 않아 어업인이 처리업체를 통한 위탁처리는 현실에 맞지 않다.

〈그림 3-15〉 사업장폐기물 처리절차



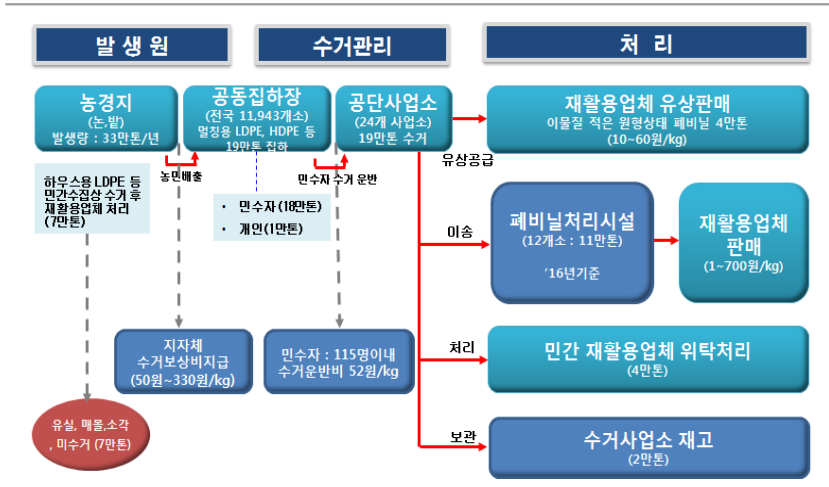
자료: 연구진 작성

일부 지자체에서 이러한 현실을 감안하여 「어장관리법」에 따라 ‘시장·군수·구청장이 설치·운영하는 장소에서 처리’하도록 한다. 거제시는 어장환경 보전업무를 담당하는 어업진흥과에서 폐부표 등을 수거하는 차량을 운행하여 지자체에서 설치·운영하는 감용시설로 운반하여 처리하고 있다. 거제시는 이를 전담하는 인력을 충원하고 시설 및 장비를 구비하였기 때문에 가능하나, 예산이 인력이 많지 않은 여타 지자체에서 직접 수거 및 처리는 쉽지 않을 것이다. 통영시 등은 ‘친

환경 부표 보급 사업'을 통해 부표를 구매하는 어업인에 한하여 직접 감용시설로 폐부표를 운반하도록 지도하고 있다.

이는 양식장 폐기물과 유사한 영농 폐기물의 처리 프로세스와 상당히 다르다. 「폐기물관리법」에서 농업과정에서 발생하는 폐기물 중 재활용이 가능한 폐비닐과 폐농약용기를 영농폐기물로 분류하고 생활폐기물로 처리한다. 즉, 농민은 분리배출, 적정 방법 및 장소에서 배출 등 배출의 의무가 있으며, 수거·처리의 의무는 지자체다. 그러나 지자체가 무단 폐기 및 불법 소각되는 영농폐기물을 관리하는 데 한계가 있어서 가중되는 환경문제를 해소하여 1980년에 영농폐기물 전담기구인 한국자원재생공사(현 한국환경공단)를 설립하였다. 그리고 관련 규정⁵⁶⁾을 변경하여 정부가 영농폐기물을 수거 및 처리하고 있다.

〈그림 3-16〉 영농폐기물 발생-수거-처리 프로세스



자료: 환경부 보도자료(2017. 11. 29)

56) 「폐기물관리법 시행령」 제8조.

고가의 온실용 폐비닐은 고물상 등 민간업체에서 수거하고 있어 한국환경공단은 수익성이 낮은 저가의 멀칭용 폐비닐 대상으로 공동 집하장(11,943개소), 보관시설(24개소)과 재활용시설(12개소)을 포함한 전국단위의 수거·처리 체계를 구축하였다.

2. 연간 발생량 및 처리량

현행 폐기물 관리제도하에서는 양식어업 과정에서 발생한 어업 폐기물을 얼마나 처리하고 있는지 그 현황을 파악하기 어렵다. 폐기물 수집, 운반, 소각, 매립, 재활용을 포함한 일련의 처리업무를 관할하는 환경부는 생활쓰레기와 사업장쓰레기의 발생 및 처리 현황을 파악하며,⁵⁷⁾ 여기에는 농업 폐기물 중 재활용이 가능한 폐비닐과 폐농약용기가 ‘영농폐기물’에 포함된다. 영농폐기물의 경우 처리업무를 대행하는 한국환경공단이 별도로 효과적인 처리를 위하여 재질이나 품질에 따라 구분하여 발생 및 수거량을 집계 및 관리한다.⁵⁸⁾ 그러나 양식장 폐기물 관련 정보는 별도로 분류하여 관리하지 않고 있으며, 영농폐기물과 달리 전국적 규모의 발생량이나 수거량을 집계한 적이 없다.

다만 해양수산부가 ‘어구관리법’ 제정을 준비하면서 2014년에 어망 등의 나일론 재질의 어구 사용량과 연간 유실량을 개략적으로 조사하였다. 국립수산물과학원과 한국어촌어항공단(당시 한국어촌어항협회)의 2014년 추정 결과⁵⁹⁾에 따르면 양식업과 어선업 종사자들이 연

57) 매년 ‘전국 폐기물 발생 및 처리 현황’을 발간함.

58) 발생량은 농가 대상 표본조사를 실시하여 집계하고, 수거량은 수거·처리 전담기관인 ‘한국환경공단’에서 집계함.

59) 해양수산부 보도자료, 바다 생태계 보호 및 어업인 안전 위한 법 만든다, 2016.12.13

간 사용하는 어구는 약 13만 톤이며, 이중 가두리 양식시설에 설치된 그물 등 해상 양식장에서 사용되는 어구는 약 10%를 차지한다.

2017년에는 약 380만개의 EPS(Expanded Polystyrene)재질의 폐부표가 양식장에서 사용 후 폐기되는 것으로 추정하였다. 이는 해양 미세플라스틱의 핵심 원인물질로 주목받은 스티로폼 부표의 해양 유입을 차단하기 위해 폐스티로폼 부표 회수사업 추진을 위한 현황 파악 차원에서 이루어진 것이었다. 그 외 밧줄, 노끈 등의 폐어구 등이 양식장에서 얼마나 발생하고, 어떤 방식으로 처리되고 있는지, 해양으로 얼마나 유입되고 있는지 추정한 적도 없다.

어구의 사용량, 폐기량 등은 정책 수립 및 집행을 위한 기초 정보이므로 양식장에서 어떤 종류의 폐어구가 얼마나 발생하는지에 대한 조사가 필요하다.

〈표 3-8〉 해상 양식장 폐어구, 폐스티로폼 부표 발생량 추정량

구분	연간 사용량	연간 유실량/폐기량	비고
어구	12.5 천 톤	유실량 2천 톤	나일론 재질
스티로폼 부표	약 5,200만 개	약 380만 개	EPS 재질

자료: 해양수산부 보도자료, 바다 생태계 보호 및 어업인 안전 위한 법 만든다, 2016.12.13

해양수산부(2018), p 35

3. 부적절한 처리와 해양 유입

1) 부적절한 폐어구 관리 실태

현재 양식장 폐기물은 체계적인 수거·처리 시스템이 있기보다는 개별 민간처리업체가 수익성이 있는 쓰레기를 종류를 찾아서 처리하고 있는 실정이다. 이러한 이유로 고물상이나 사업장폐기물처리업체

가 가져가는 쓰레기는 처리가 되는 반면, 그렇지 못한 경우 처리할 곳을 찾지 못해 공터에 쌓이거나, 개별적으로 소각하는 등의 방법으로 처리하고 있다. 일부 쓰레기는 육상에서 방치한 후 태풍이나 우기 시 비·바람에 의해 바다로 유실되기도 한다.⁶⁰⁾

일례로 굴양식에 사용하는 연승줄, 일명 코팅사는 고무재질로 2000년대 초반에는 오토바이 진흙받이 원료로 재활용되었지만 최근에는 천연원료의 가격하락으로 경제성이 없어지면서 재활용업체가 수거를 포기하여 방치되어 있는 상황이다.

〈그림 3-17〉 어항에 방치된 연승줄



자료: 연구진 촬영(2016. 8)

굴 패각은 해안가에 야적, 방치되는 대표적인 어업 폐기물이다. 굴은 다른 조개류와 달리 보통 생산지에서 껍질을 벗겨서 유통되기 때문에 어촌 지역에서 패각이 버려진다. 그러나 패각을 처리하기 위하여 패화석 비료를 생산하거나 양식장 저질 개선제, 매립토로 활용할 수 있도록 규정을 변경하고, 최근에는 발전소 탈황원료로 활용하는 방안이 시도되는 것으로 알려져 있다. 그러나 재생자원에 대한 시장 수요 부족, 높은 가공비용 등으로 인해 시장성이 부족한 상태이다. 이로 인해 패각 발생량을 다 처리하지 못해 해안가에 방치되고 있다.

60) 일부 어업인들은 육상에서 처리하기가 어려워 작업과정에서 폐어구를 투기하기도 한다고 응답.

〈그림 3-18〉 해안가에 파쇄된 채 방치된 패각



자료: 연구진 촬영(2015. 7.)

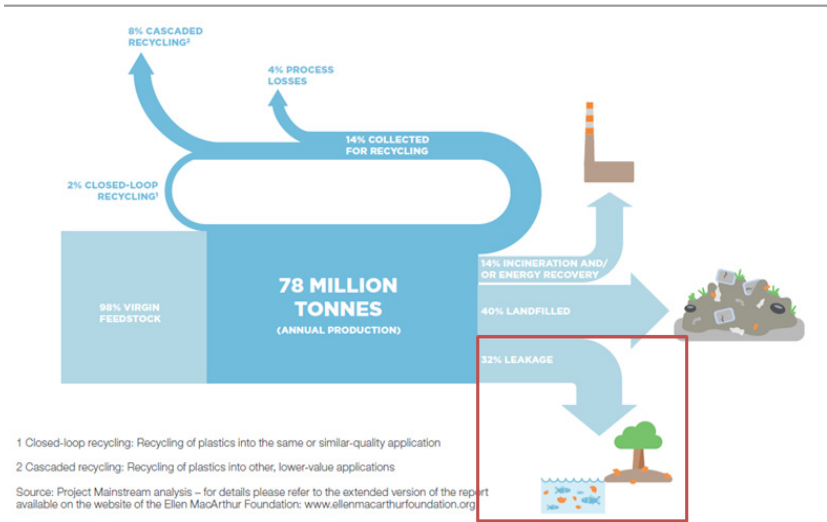
(2) 폐어구의 해양 유입

양식장 어구는 해안가 혹은 해양에서 작업 및 설치되므로 부주의한 관리 혹은 부적절한 처리는 직접적으로 해양쓰레기로 이어진다. 이는 해양쓰레기를 줄이려면 반드시 양식장에서 발생하는 폐어구를 관리하여야 한다는 것을 의미한다. 그러나 우리나라뿐 아니라 대부분 국가에서 폐어구 관리가 미흡한 것으로 보인다. 이에 대해 올 3월에 개최된 제6차 International Marine Debris Conference에서 세션 의장을 맡은 World Animal Protection의 Christina Dixon은 ‘어구가 해양 플라스틱 오염의 오염원이 된 이유는 해안지역에서 수명이 다 되어 폐기되는 어구 쓰레기를 처리하는 인프라가 부족하기 때문’이라고 지적한 바 있다.⁶¹⁾

2016년에 발표된 Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company의 보고서는 수거·처리 시스템이 적절히 작동되지 않을 경우 쓰레기가 해양으로 유입된다는 것을 보여준다.

61) International Marine Debris Conference 2018(검색일: 2018. 7. 15)

〈그림 3-19〉 전 세계 포장재 플라스틱의 물질 흐름



자료: Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company(January 2016), p.27

Ellen MacArthur Foundation⁶²⁾에 따르면 관리가 소홀한 대표적인 플라스틱류인 포장재 쓰레기는 약 32%가 공공 수거-처리 시스템이 아닌 자연으로 누출되어 바다 혹은 토지에서 자연분해 혹은 소멸된다고 한다.⁶³⁾

플라스틱류는 아래 〈표 3-9〉와 같이 분해시간이 매우 길기 때문에 버려진 후 쌓이게 되는 것이다. 예를 들어 주낙이나 낚시인들이 즐겨 사용하는 낚싯줄의 경우 자연재해 혹은 선박 및 어구 간 충돌 등에 의해 유실 혹은 낚시 과정에서 파손되어 수명은 대개 3년을 넘지 않는다. 그러나 이 바다에 버려진 낚싯줄이 자연분해 되어 소멸되기까지 600년 이상이 걸리기 때문에 의도적으로 끄집어 내지 않는 이상 바다에 쌓이게 되는 것이다.

62) 플라스틱 산업 순환경제 개념을 적용한 'New Plastics Economy Initiative'를 제시

63) Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company(January 2016)

양식장에서 많이 사용되는 어구와 유사한 재질의 플라스틱류의 자연분해 시간은 아래 표와 같다. 김, 굴 등 양식장에서 많이 사용되는 EPS재질의 스티로폼 부표는 자연분해되기까지 500년, PE 혹은 PP재질의 플라스틱 부표 역시 80년, 어망이나 노끈 등의 원료인 나일론은 30~40년 이상 소요된다.

〈표 3-9〉 플라스틱 쓰레기의 자연분해 속도

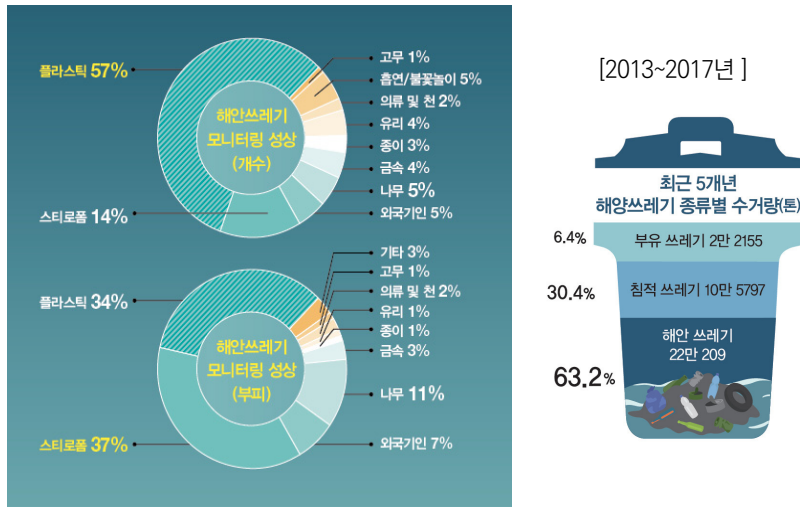
플라스틱류		분해 시간	비고
품목	재질		
낙싯줄	나일론, PE 등	600년	어업인, 낙싯인 사용 낙싯줄
스티로폼 박스	EPS	500년	김, 굴 양식장 부표
플라스틱 병	PET	450년	가두리 시설 등
플라스틱 부표	PE, PP	80년	미역, 가두리 양식장 부표
신발 고무 밑창	고무	50~80년	코팅사 등의 원료
플라스틱 컵	PE, PP	50년	그물, 어망, 밧줄 등
나일론 섬유	나일론	30~40년	그물, 어망, 노끈 등
일회용 비닐주머니	PE	10~20년	가두리 시설 등

자료: U.S. National Park Service; Mote Marine Lab(검색일: 2018. 7. 30)의 자료를 활용하여 연구진 작성

해양에 유입된 폐어구의 일부는 해수면에 부유하거나 해안가에 표착하고, 일부는 중층, 저층 혹은 해저에 침적하게 된다. 매년 실시하는 ‘국가 해안쓰레기 모니터링’을 통해 해변에 버려진 쓰레기 종류를 살펴보면 플라스틱류와 스티로폼이 과반을 차지한다. 플라스틱류에는 주로 각종 뚜껑류, 페트병, 비닐 봉투, 폐어망이고, 스티로폼은 대부분 양식장 부표이다. 한편 중·저층 혹은 해저에 침적된 쓰레기는 연간 평균 2만 톤을 수거하고 있으며, 폐어망이나 밧줄 등의 어업 쓰레기가

대부분을 차지한다. 연간 침적쓰레기 수거량의 차이가 크지 않으므로 최소 수거량만큼의 쓰레기가 바다 속으로 들어가고 있는 것이다.

〈그림 3-20〉 해안쓰레기 종류 및 해양쓰레기 수거량



자료: (좌) 해양환경관리공단 웹진(2017년 12월호)

(우) 위클리공감(2018. 05. 27)

즉, 폐부표, 폐어망, 밧줄 등의 양식장 쓰레기가 매년 지속적으로 바다로 유입되고 있으며, 일부는 수거사업으로 제거되지만 일부는 그대로 바다에 쌓이고 있다. 양식장에서 사용되는 어구는 대부분 분해시간이 길고, 소멸 전에 파도와 자외선에 의해 미세화하게 부서지거나 흩어져 완전히 수거할 수 없기 때문이다. 결론적으로 바다로 일단 유입된 양식장 쓰레기는 상당히 오랫동안 해양환경과 인간에 영향을 미치리라 유추된다.

4. 부적절한 처리의 원인

1) 본질적 한계

양식장 폐어구를 비롯한 해양쓰레기는 육상에서 발생한 쓰레기에 비해 처리가 어려운 다음과 같은 본질적 한계가 존재한다.

첫째, 양식장이 발달한 어촌지역은 우리나라의 말단에 위치하고 있으며 도심에서 멀리 떨어져 연안을 따라 산재되어 있다. 이러한 도심 이격 및 산발적 입지여건으로 인하여 양식장 폐어구는 수집·운반 비용이 많이 소요된다. 어항이나 양식업 활동지는 해안선을 따라 형성되어 있어 수집·운반 차량의 이동거리는 길 수 밖에 없다. 때로는 파도나 바람에 의해 사람의 왕래가 없는 해안가, 접근조차 어려운 절벽, 무인도서 해변에 드문드문 흩어져 인력이나 장비를 동원하여 한 곳에 모으는 작업이 필요하다. 그리고 약 500개의 유인도서를 포함한 3천여 개의 도서에서 발생한 쓰레기는 선박을 이용하여 육지로 운송하는 비용이 추가로 소요된다.

둘째, 양식시설 및 어구는 수산생물이 성장할 때까지 장기간 바다 속에 설치되기 때문에 염분이나 수분을 흡수하고 따개비 등의 부착생물이나 모래·진흙 등에 의해 오염된다. 어업인이 더 이상 사용하지 않는 폐어구를 육상에서 바람직한 방법과 장소에 배출하여 재활용이 아니라 소각, 매립하더라도 양식장 어구의 특성상 전(前) 처리공정을 추가하여야 한다. 양식장 폐어구를 비롯한 해양쓰레기 전용의 전처리 기술 개발은 미흡하고 대량 처리를 위한 자동화 공정이 적용된 사례는 없다. 대부분의 연안 지자체는 인력을 동원하여 추가 비용과 시간을 들여 염분, 수분, 부착생물 등의 오염물질을 제거하고 있다.

셋째, 양식장 폐기물은 소각, 매립도 쉽지 않다. 염분을 함유한 쓰

레기는 연소 시 다이옥신 등의 오염물질이 발생될 수 있고, 양식장 어구에 사용되는 스티로폼 등 합성수지는 발열량이 높아서 일반 육상폐기물 소각시설이 훼손될 수 있다. 그리고 따개비, 모래 혹은 펄 등은 파쇄 혹은 절단시설을 손상시킬 수 있으며, 염분은 재질에 따라 세척·건조에도 100% 제거할 수 없다. 그리고 해조류, 작은 어류 혹은 조갯살 등의 생물이 그물이나 밧줄에 남아 있는 경우 부패로 인한 2차 오염이 발생할 수 있다. 즉, 양식장 폐기물을 소각, 처리, 재활용 하기 위해서는 재질적 특성, 염분 및 수분 함유, 생물 오염 등을 고려한 처리 기술개발이 필요하다. 전 처리작업을 통해 어느 정도 제거할 수 있으나, 해상에서 오염되지 않은 육상쓰레기와 같을 수 없기 때문이다.

넷째, 양식장 폐기물은 하계 집중호우기, 수산물 어획시기 등 특정 시기에 집중 발생된다. 이로 인해 양식장 폐기물 전용 처리시설은 연중 가동할 수 없으며, 악취 및 폐수 발생으로 보관 역시 쉽지 않다. 그리고 태풍, 적조, 수온 상승 등 폐어구 발생에 영향을 미치는 통제 불가능한 요인으로 인해 발생량이 변동된다. 이는 민간업체가 이러한 위험에 감수하면서 특정 시기, 일시적으로 발생하는 양식장 폐기물의 수용 태세를 갖추기는 어렵다.

다섯째, 양식장 폐기물은 상대적으로 발생량이 많지 않고, 폐자원이어서 가치가 높지 않기에 수요자도 많지 않아 시장성이 부족하다. 현재 양식장 폐기물은 폐자원이어서 매력이 부족하여 시장에 의존한 처리에는 한계가 있을 것으로 보인다.

〈그림 3-21〉 양식장 폐어구 처리의 본질적 한계

- 발생지가 도심에서 떨어져, 넓게 산재되어 있다.
- 염분 및 오염물질 제거를 위한 전처리 작업(인력, 비용, 시간)이 필요하다.
- 염분/수분 함유, 고 열량, 높은 오염도, 물질 혼합 등으로 처리가 어렵다.
- 집중호우기 등 특정시기에 발생량이 집중된 반면, 평상시는 많지 않다.
- 해양쓰레기를 폐자원으로 사용하는 수요가 많지 않다.

고 비용

고 기술력

고 위험

낮은 시장성

자료: 연구진 작성

2) 제도 및 정책적 한계

(1) 폐기물 분류 규정

환경부는 발생량이 많은 생활쓰레기 및 사업장폐기물, 관리의 필요성이 큰 지정폐기물, 건설폐기물을 중심으로 폐기물 관리 제도를 발전시켜왔다. 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기는 앞서 살펴본 바와 같이 육상에서 발생하는 쓰레기와는 그 특성이 다르나, 아직 제도적으로 이를 반영하지 못하고 있다.

양식장 쓰레기는 「폐기물 관리법」과 「폐기물 관리법 시행규칙」 간에도 상충된다.⁶⁴⁾ 우리나라는 사업장폐기물과 생활폐기물을 구분할 때 발생지와 함께 발생량을 기준으로 삼고 있다. 다시 말해 사업장에서 발생한 폐기물이라 할지라도 시행령 제2조, 사업장 범위 규정에 따라 1일 평균 300kg 이상 배출하는 사업장의 폐기물만을 사업장폐

64) 〈표 3-7〉 양식장 폐기물 처리에 관한 규정'을 참고

기물로 분류한다. 생활폐기물은 예외조항으로 정의하기 때문에 그 이하로 대부분의 양식 어업인이 배출하는 양식장 폐기물은 생활폐기물이다. 그러나 시행규칙 [별표4]에서 폐어망, 양식용폐부자, 폐패각 등을 사업장일반폐기물로 세분류하였다. 시행규칙이 상위법과 맞지 않는 것이다.

이러한 법률과 시행규칙 간 상충은 지자체에서 양식장 폐기물 관리 업무를 추진함에 있어 혼란을 야기할 뿐만 아니라, 양식장 폐기물을 관리제도의 사각지대로 만들 수 있어 우려가 된다. 법률에 따라 지자체가 양식장 폐기물을 수거·처리하기 위해서는 지정 배출의무가 있는 어업인을 지도하고, 수거·처리 시스템을 갖추어야 하며, 시도 및 국가는 이를 위한 지원을 하여야 한다. 그러나 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기의 원활한 처리를 위한 정책 추진은 찾기 어렵다. 다만 해양수산부에서 스티로폼 부표 처리시설이나 패각 재활용 기술 개발 및 운송비 지원 등 일부 양식장 폐기물에 대한 지원을 하고 있을 뿐이다.

시행규칙에 따라 사업장폐기물로 어업인에게 처리의무가 있는 경우에는 ‘사업장폐기물 배출자’로 신고한 후 자가 처리하거나 처리업체에게 위탁하여 처리하여야 한다. 하지만 현재 발생량이 많은 폐부표나 폐어망을 배출하면서 어업인이 배출자로 신고한 지역은 없는 것으로 파악된다.

즉, 양식장 폐기물의 처리는 현행 환경부의 폐기물 제도로는 적절히 관리되지 않는 것으로 보인다. 이로 인해 폐기물 수거·처리 현황 등 환경부에서 집계 및 발표하는 폐기물 통계나 정책에서 양식장 폐기물에 대한 정보를 찾을 수 없다.

(2) 배출·보관 관련 규정 및 시설

양식장 폐기물은 발생량이 많지 않고, 태풍 등 큰 이벤트성 사건이 아니라면 어업인마다 폐어구를 배출 혹은 폐기하는 시기도 다르고, 배출 혹은 폐기하는 장소도 산재되어 있다. 그리고 양식장 폐기물은 염분, 해양생물 부착, 수분 등으로 인해 악취 및 폐수가 발생할 수 있다.

이러한 배출 특성으로 인해 효과적으로 수집, 운반, 처리하기 위해서는 특정장소에 보관하여야 한다. 지자체 혹은 수협에서 양식장 폐기물 보관장소를 설치하려면 아래와 같이 사업장폐기물의 처리규정에 따라 보관시설을 설치하여야 한다. 즉 지붕과 벽면을 갖춘 보관창고를 설치하여야 한다.

그러나 폐어구 자체 특성으로 인하여 보관창고를 설치하려면 냉동 설비를 갖추거나, 침출수 유출 방지 및 악취 제거 설비를 갖추어야 한다. 이러한 설비가 없을 경우 악취, 부패 등으로 인해 보관이 현실적으로 어려우며, 그로 인해 일부 지자체에서 해양쓰레기 보관시설 설치를 시도하였다가 폐기한 사례도 있다.

어촌지역에서 환경부 규정에 맞는 양식장 폐기물 보관시설을 설치 및 보관하도록 음식물쓰레기 보관시설과 같이 양식장 폐기물의 특성에 맞는 보관시설을 개발하여 보급하여야 한다. 혹은 양식장 폐기물에 맞도록 규정을 현실화하여야 한다.

사업장폐기물의 처리에 관한 구체적 기준 및 방법

- 1) 사업장일반폐기물은 해당 폐기물에 의하여 부식되거나 파손되지 아니하는 재질로 된 보관용기에 보관하여야 한다.
- 2) 자체하중 및 보관하려는 폐기물의 최대량 보관 시의 적재하중에 견딜 수 있고 물이 스며들지 아니하도록 시멘트·아스팔트 등의 재료로 바닥이 포장되고, 지붕과 벽면을 갖춘 보관창고 또는 「건축법」 제20조제3항에 따라 축조신고를 한 가설건축물 중 폐기물이나 침출수의 누출·유출을 방지할 수 있는 구조로 된 컨테이너 또는 이와 비슷한 것으로 된 임시창고(법 제17조제1항에 따른 사업장폐기물 배출자만 해당한다)에 보관하여야 한다.
- 3) 사업장일반폐기물배출자는 그의 사업장에서 발생하는 폐기물을 보관이 시작되는 날부터 90일(중간가공 폐기물의 경우는 120일을 말한다)을 초과하여 보관하여서는 아니 된다.

자료: 「폐기물 관리법 시행규칙」 [별표 5]

그리고 어업인들이 편하게 이용할 수 있는 양식장 폐기물 배출 및 보관시설의 설치도 필요하다. 영농폐기물의 경우 마을회관 앞 등 농촌 지역 주민의 이용이 빈번한 시설이나 공간에 수거함을 설치하여 배출 편의를 개선하였다.

〈그림 3-22〉 영농폐기물 수거함 사례사진



자료: (좌) 열린순창(2017. 8. 24), (중) 김제시민의신문(2010. 10. 10), (우) 매일건설신문(2010. 4. 22)

(3) 처리 단가

지자체가 양식장 폐기물을 비롯한 해양쓰레기를 민간업체에 위탁

하여 수거·처리하고자 할 때는 아래의 방치폐기물 처리단가를 기준으로 가격을 책정한다. 환경부에서 발표하는 ‘방치폐기물 처리이행 보증금 산출을 위한 종류별 처리단가’에는 양식장 폐기물이나 해양쓰레기 항목은 없기 때문에 이와 유사한 폐합성수지 처리단가인 211,000원을 기준가격으로 삼는다.⁶⁵⁾

〈표 3-10〉 방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 종류별 처리단가

폐기물 종류	처리단가(원/톤)	비고
폐유, 폐유기용제(비할로겐족), 폐합성수지, 폐합성고무	211,000	해양쓰레기
폐유기용제(할로겐족)	476,000	
페페인트 및 페락카	261,000	
페농약, 폐유독물	512,000	
페석면	511,000	
폴리클로리네이티드비페닐 함유 폐기물	798,000	
폐산, 폐알칼리	261,000	
폐광재(지정폐기물)	108,000	
소각대상 오니류, 기타 소각대상 사업장일반폐기물	213,000	
매립대상 사업장일반폐기물	88,000	
기타 매립대상 지정폐기물	108,000	
건설폐기물	43,000	
의료폐기물	772,000	

주: 폐기물 수집·운반업자, 중간처분업자, 최종처분업자 및 종합처분업자 대상 적용 단가임.

재활용업자의 폐합성수지 처리단가는 단일품목은 49,000원, 혼합품목은 219,000원임.

자료: 환경부고시 제2013-129호

그러나 앞서 살펴본 양식장 폐기물의 본질적 한계로 인하여 육상에서 발생한 폐합성수지와 동일한 단가로는 위탁처리업체를 찾는 것은 현실적으로 불가하다.

65) 폐기물 종류 처리단가에 열거되지 아니한 폐기물의 경우 적용사업자, 폐기물의 종류 및 처리방법 등을 감안하여 가장 유사한 폐기물의 종류의 처리단가를 적용하여야 한다.

따라서 방치폐기물 처리단가 책정 시, 양식장 폐기물 등 해양쓰레기의 처리단가를 현실화하여야 한다. 그렇지 않을 경우 환경부의 규정을 따르는 공공기관은 해양쓰레기 처리 시 어려움을 겪을 수밖에 없다.

(4) 재활용 정책

쓰레기 처리는 크게 소각, 매립, 재활용으로 구분되는데, 우리나라는 매립을 최소화하고 재활용을 촉진하여 자원순환사회를 구축하고자 노력하고 있다. 이러한 폐기물 관리 정책기조에 따라 매립 부담금을 부과하고 있으며, 「자원순환기본법」을 제정하는 등 재활용을 촉진하고 있으나 아직 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기의 재활용 기반은 부족한 것이 현실이다.

환경부에서 추진하는 ‘폐기물처분부담금’은 지자체나 사업장폐기물 배출자가 폐기물을 재활용하도록 유도하고자 소각, 매립 시 부담금을 부과하는 제도이다. 제도의 취지는 좋으나 재활용 기반이 부족한 해양쓰레기의 경우 지자체의 처리 부담이 커진다. 공정한 제도 추진이 되려면 발생량이 많은 나일론, PE, PP재질의 폐어망, 노끈, 부표 등의 재활용 기술개발 및 재활용 기반 확충을 위한 지원도 함께 이루어져야 할 것이다.

3) 부족한 민간 수거·처리업체

양식장 폐기물 혹은 해양쓰레기가 사업장폐기물로 처리하려면 지자체는 사업장폐기물 배출자로 신고한 후 자가 처리하거나 위탁 처리하여야 한다. 현재 양식장 폐기물 전용 처리장이 없으므로⁶⁾ 민간 처리업체에 위탁하여야 한다.

즉 지자체에 전용시설이 없는 상황에서 양식장 폐기물을 원활히 처리하기 위해서는 위탁할 수 있는 민간처리업체가 존재하여야 한다. 그러나 폐기물이 대량으로 발생하는 단일 사업장에 비해 어촌지역에서 발생하는 양식장 폐기물은 경쟁력이 없기 때문에 위탁업체를 선정하기 어려운 것이 현실이다.

아래 표는 여수시의 사업장폐기물 처리업체를 보여주고 있다. 여수시와 광양시는 산업이 발달하여 폐기물이 발생하는 사업장이 많이 분포해 있는 도시이며, 이에 따라 위탁처리업체도 많은 편이다. 여수시에 소재한 사업장폐기물 처리업체는 총 47개소이나, 이중 해양쓰레기를 처리하는 업체는 중간처분업체 2개소, 종합재활용업체 1개소 등 3개소에 불과하다. 이들 업체도 사업장폐기물을 처리하면서 해양쓰레기도 겸하여 처리하는 것이다.

〈표 3-11〉 여수시의 폐기물 중간처분 및 재활용 처리업체 현황

구분	중간처분업체			중간 재활용업체	종합 재활용업체	합계
	소각	기계적 처리	화학적 처리			
전체	2개소	1개소	1개소	7개소	36개소	47개소
해양쓰레기 겸용 처리	2개소	-	-	-	1개소	3개소

자료: 환경부(2016)을 토대로 연구진 작성

여수시 상황을 고려해 볼 때, 사업장폐기물 처리업체 수가 많지 않거나 해양쓰레기 발생량이 많지 않은 연안지역은 사업장폐기물 처리

66) 해양수산부는 환경부의 지원을 받아 2020년부터 해양쓰레기 전용 전 처리시설을 완도, 태안 등 양식장 폐기물, 해안가 쓰레기 등이 많이 발생하는 연안지역을 대상으로 연차적으로 설치할 예정이다.

업체가 없을 수 있다. 그 경우 해당 시·도 내 타 시·군·구에 소재한 처리업체를 선정할 수 있으나 이 경우 운반 거리가 길어져 처리단가가 상승하게 된다. 재정자립도가 낮은 군 지역에서 양식장 폐기물을 처리하기 어려운 이유 중 하나이다. 실제로 웅진군은 민간처리업체를 찾기 못해 인천시에 해양쓰레기 처리를 의뢰한 적이 있다.

반면, 양식장 폐기물과 유사한 영농폐기물의 경우 영농폐기물의 수거율을 높이기 위해 농민 대신 전문적으로 수거하는 ‘전문수거인 제도’를 도입하였다. 이 제도는 고령의 농민을 대신하거나 산지 및 오지에서 발생하는 폐비닐을 수거하는 데 목적이 있다. 그리고 지난 해에는 영농폐기물이 발생하는 12월에 집중 수거기간을 지정하고, 농촌 지역 기업체, 마을 부녀회나 청년회 등과 협력하여 수거행사를 진행한 바 있다.⁶⁷⁾

양식장 폐기물 역시 영농폐기물과 마찬가지로 무단폐기 및 불법소각으로 인한 환경문제가 발생하며, 고령화 및 접근의 애로 등 지역적 여건도 유사하다. 지자체 및 민간처리업체에 의존한 양식장 폐기물의 수거 및 처리체계의 변경이 필요하다. 양식장 어업인이 어업과정에서 발생하는 쓰레기를 적정 배출한다면 바다 밑, 바다 위, 해안가에서 수거하는 비용이 들지 않아 비용 효과적이다. 이것이 양식장 폐기물의 분리 배출 후 재활용하는 적정 수거-처리 시스템을 갖춰야 하는 이유이다.

67) 환경부 보도자료(2017. 11. 29).

제4절 해외 해양쓰레기 자원순환 사례분석

1. 일본 사례

1) 어업 폐기물 관리제도

(1) 해양쓰레기 관리제도

일본은 초기에는 폐기물처리법과 해양오염방지법에 기반하여 어촌지역의 폐기물을 관리하였으나, 80년대 이후 FRP소재의 방치폐선이 사회적 이슈로 등장하면서 어업활동 과정에서 발생하는 폐기물을 적절히 처리하기 위해 1991년에 ‘어업계폐기물 처리 가이드라인’을 마련했다. 이것이 해양쓰레기에 특정한 최초의 관리제도이다. 이후 2009년에는 해변으로 떠밀려온 쓰레기를 관리하고자 해안표착폐기물처리법을 제정하였다.

〈표 3-12〉 일본의 어업용 폐기물 관련 법령

법령	내용	제정 연도
폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률	일반계 및 사업계 폐기물의 처리방법을 규제	1970년
해양오염 등 해상재해의 방지에 관한 법률	선박 등에서 발생한 유해액체물질로 인한 오염에 관한 사항을 규정	1970년
어업계폐기물 처리 가이드라인	어업 과정에서 발생하는 폐기물의 처리절차 등을 규정	1991년
해안표착폐기물처리법	해안가 쓰레기 처리를 위한 기본방향 및 이념 등을 규정	2009년

자료: 일본 환경성 홈페이지(www.env.go.jp/)를 참고하여 연구진 작성

해안표착폐기물처리법은 지역중심의 해안가쓰레기 관리가 가진 한계를 극복하기 위한 것으로 해안 표착쓰레기 발생억제, 관계기관

및 국제 협력 등의 관리방향 및 관계기관의 역할을 규정하고 있다. 이에 따라 폐어망 등 폐기물의 수거는 환경부의 소관이고, 수산청은 어업용 폐기물 처리 기술개발 및 조사연구를 수행한다.

(2) 어업계 폐기물 처리 가이드라인⁶⁸⁾

일본은 우리나라와 달리 폐기물 배출량과 상관없이 사업장에서 발생하는 폐기물은 ‘사업장폐기물’로 분류한다. 어업계 폐기물 역시 사업장폐기물로 분류하여 어업인 스스로의 책임하에 처리하도록 규정하고 있다. 그러나 그 처리를 어업인에게만 맡기는 것은 기술적, 재정적 등의 각종 문제가 있고, 폐기물 및 그 처리는 지역적으로 그 실태가 다르다 때문에 지역마다 폐기물 처리를 위한 체제를 정비할 필요가 있었다. 이에 수산청은 1990년에 ‘어업계 폐기물 처리 계획 수립 지침 작성위원회’를 전국 어업협동조합연합회에 설치하고, 보건복지부 등 관계 기관의 협조를 받아 각 지역에서 어업 종사자를 중심으로 어업계 폐기물을 처리하기 위한 체제 구축 시 기본지침이 되는 어업계 폐기물 처리 가이드라인’을 작성하였다.

수산청은 어업계 폐기물의 적정처리 대책 마련을 위해 각 도도부현에 처리계획 수립 및 실시를 추진하도록 시달하였고, 더불어 다음과 같은 지원 시책을 강구한다. 첫째, 1991년부터 ‘FRP 처리 계획 수립 사업’을 실시한다. 둘째, 전국 어업계 폐기물 대책 협의회를 구성하고 각 지역에서 처리계획을 수립하도록 지도하였다. 셋째, 처리 계획에 따라 필요한 폐기물 처리시설 및 그 부지의 정비는 연안어업 구조 개선사업, 어항 정비사업 등으로 조성하도록 하였다. 넷째, 어선, 어망 제조, 판매 업체 등에 대한 협조를 요청하였다.

68) 농림수산성 고시·통지(1991년 5월 10일) 「어업계 폐기물 대책의 추진에 대해」를 참고하여 작성함.

이러한 노력의 일환으로 수산청은 어업인이 다양한 재질의 어업용 폐기물의 바람직한 처리방법을 제시한 ‘어업계 폐기물 처리 가이드 라인’을 1991년에 전국 어업협동조합 연합회, 보건복지부 등 관계기관과 협력하여 마련하였다.

〈표 3-13〉 ‘어업계 폐기물 처리 가이드라인’ 예시

구분			재사용	중간 처분						매립	
				재활용			매립				
				세척	파쇄	융용	소각	세척	파쇄	안정형	관리형
일반 폐기물	목재류	목선			○		○		○		○
		나무상자	○	○			○		○		○
	해산물 찌꺼기	조개	○	○	○						○
		폐사 어류	○		○		○				○
	섬유류	천연섬유 로프류					○				○
		걸레류					○				○
산업 폐기물	플라 스틱, 합성 수지	부표			○		○			○	
		로프류					○	○		○	
		어망류	○	○	○		○	○	○	○	
	폐유	윤활유	○				○				
		찌꺼기					○				
	고철	앵커	○		○			○		○	
		가두리 망		○			○			○	

자료: 일본 수산청 내부자료(2018. 1)

여기에는 어업활동 과정에서 발생한 나무, FRP, 스티로폼, 기타 플라스틱류, 유리, 전선 및 철제류 등 여러 재질의 폐기물을 일반폐기물과 산업폐기물로 분류한 후 각 재질별 처리방법 및 절차를 구체적으로 제시하였다. 어업계 폐기물의 처리는 자가 처리하거나, 지방공

공단체 혹은 민간 처리업체 등을 대상을 위탁 처리하여야 한다. 가이드라인에서 제시된 자가 처리방식은 폐기물 감량화를 위한 파쇄, 탈수, 소각을 실시하거나 적정하게 매립하는 것이다.

(3) 어장 표류·표착물 관리 촉진사업

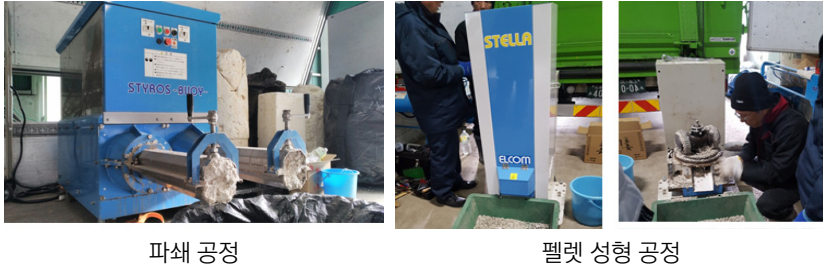
어업폐기물 처리로 인한 어업인의 부담을 경감하고 재활용을 촉진하기 위해 일본은 2003년부터 ‘어장 표류·표착물 관리 촉진사업’을 실시하고 있다. 표류 혹은 표착물의 주요 발생원인 어업용 쓰레기의 발생량을 줄이기 위해 어업인이 적정한 방법으로 보관 및 처리되도록 유도하는 데 목적이 있다. 이 사업은 ‘수산기본계획’⁶⁹⁾에 근거하고 있으며, 민간단체인 ‘바다와 해변 환경미화 유류오염 대책기구’에 위탁 시행한다.

2) 폐부표 재활용 설비 개발 사업

일본 양식장에서는 스티로폼이라 불리는 EPS 재질의 부표를 주로 사용한다. 수산청은 EPS 재질의 폐부표의 원활한 처리를 위하여 ‘어장 표류·표착물 관리 촉진사업’의 일환으로 스티로폼 부표의 파쇄기와 보일러를 개발하였다. 양식장 스티로폼 부표의 파쇄기는 기술개발이 완료되어 현장 적용성을 높이기 위한 실증시험사업을 추진 중이며, 2012년부터 펠렛으로 압축하는 설비와 이를 원료로 하는 해조류 자숙용 증기 보일러, 혹은 족욕탕용 온수 보일러를 개발하였다. 이 사업은 공익재단법인 ‘바다와 해변 환경미화·유류오염 대책기구’가 추진 중이다.

69) 2001년에 「수산기본법」을 제정하면서 5년 마다 수산분야 종합계획인 ‘수산기본계획’ 수립하도록 규정, 1차 계획은 2003년에 수립하였으며 현재는 2012년에 수립한 계획을 추진 중이다.

〈그림 3-23〉 페스티로폼 부표의 펠릿 제조 설비



자료: 연구진 촬영(2018. 1)

폐부표로 펠릿을 제조하는 설비는 부표를 작은 파편으로 분쇄하는 파쇄기와 이를 펠릿 형태로 가공하는 펠릿 성형기로 구성된다. 비교적 제조 공정이 간단하고, 인력 소요도 많지 않아 예산이 부족한 지자체에서 운영하기에 적합하다.

일본은 폐부표로 제작된 펠릿을 소비하기 위하여 이를 원료로 하는 보일러를 제작하였다. 어촌지역에 적합하도록 보일러의 크기는 소형으로 하되, 폐부표 소각 시 발생하는 고열을 견딜 수 있고 다이옥신 등 유해물질이 배출되지 않는 데 집중하여 기술을 개발하였다. 개발된 보일러는 증기를 생산하는 보일러와 온수를 생산하는 보일러 등 2가지 형태이다. 보일러는 페스티로폼 부표에 적합하도록 고온 연소가 가능하고 어촌지역에 설치하기 위해 소형으로 개발되었다. 이를 통해 부피가 큰 폐부표의 수집·운반 및 처리 비용을 절감할 뿐만 아니라, 지역에 저렴한 에너지를 공급하는 것을 목적으로 한다. 증기 보일러는 2015년부터 해조류(김)을 자숙하는 용도로 개발되었다. 현재 일본 가고시마현 나가시마초에서 현장 보급을 위한 실증 시험을 추진 중에 있다.

〈그림 3-24〉 가고시마 폐부표를 활용한 자숙용 보일러 현장 사진



자료: 바다와 해변 환경미화·유류오염 대책기구 내부자료(2018. 1)

개발된 제품 중 온수 보일러는 나가사키현 대마도에 설치될 계획인데, 2018년 1월에 대마도에서 현장 적용 시험을 하였다. 대마도의 경우 도서 지역으로 페스티로폼 처리에 운송비 등 처리 비용이 높아 보일러 온수를 활용한 족탕 시설 운영을 계획하고 있으며, 지역 주민 건강과 관광 자원으로 활용한다는 계획이다.

개발된 제품은 약 2억 원 정도로 어업인 등 수요자가 자비로 구매하여 설치하는 데는 어려움이 있어 지자체에서 일정 비용을 보조금으로 지원하는 방안이 필요하다. 현재 재단은 어업이 발달한 지자체를 대상으로 실증 시험사업을 지속적으로 추진하여 지자체의 관심과 지원을 이끌어갈 예정이다.

2. 미국 사례

1) 해양쓰레기 관리제도

(1) 해양쓰레기법

미국은 만성적 문제로 치부하던 해양쓰레기로 인하여 해양생물 피해나 사회경제적 피해가 지속적으로 발생하자 이에 보다 적극적으로

대응하고자 2006년에 「Marine Debris Research, Prevention, Reduction Act」를 제정하였다. 이 법은 ① 해양쓰레기 문제 확인 및 영향 평가, 제거 및 예방, ② 어구 유실의 감소 및 예방, ③ 이해관계자 및 일반 시민에 대한 홍보 등 3가지 사업을 주요하게 다루고 있다. 그리고 부처 간 협력을 위한 조정기구 설치 및 주 정부에 해양쓰레기 수거 비용을 지원하는 법적 근거도 마련하였다.

동 법은 2012년과 2018년, 두 차례 개정되었다. 최근 개정된 「Save Our Seas Act」, 이하 SOS 법은 해양쓰레기 문제가 심각하며 이를 해결하는 데 있어서 연방 정부, 그리고 외국과 협력이 중요하다는 점을 강조하였다. 주요 개정 내용은 해양쓰레기 피해에 대한 연방정부의 대응 능력 강화, IMDCC의 부처 간 조정기능 확대, 국제적 협력 장려 등이다.

Save Our Seas Act의 주요 내용

- 심각한 해양쓰레기 재난 상황이 발생할 경우, NOAA 관리자는 심각한 해양쓰레기 사고로 선언하고 해양쓰레기 정화 및 대응을 위한 자금을 승인할 수 있으며, 해당 주 정부는 NOAA에 이를 요청할 수 있다.
- NOAA의 해양쓰레기프로그램(Marine Debris Program)을 회계연도 2022년까지 추가적으로 재 인증하여, 해양쓰레기 관련 연구 및 주 정부에 해양쓰레기 대응의 위한 비용을 지원한다.
- 미국의 행정기구가 해양쓰레기를 유발하는 국가의 지도자들과 교섭하고, 폐기물 관리 인프라 개선 및 해양쓰레기 피해를 줄이는 새로운 물질 개발을 지원하며, 해양쓰레기 원인을 조사하고, 새로운 국제 협약을 논의하도록 장려한다.

자료: U.S. Congress 홈페이지('S.3508 - Save Our Seas Act of 2018')

(2) 정부 간 조정위원회⁷⁰⁾

해양쓰레기 정부 간 조정위원회(IMDCC: Interagency Marine Debris Coordinating Committee)는 「The Marine Plastic Pollution Research

70) IMDCC(2016) 보고서를 토대로 작성하였다.

nd Control Act」에 근거하여 1987년에 처음 구성되었으며, 이후 해양쓰레기법의 제정에 따라 2006년에 재설립되었다.

IMDCC는 해양쓰레기로 인한 환경적, 경제적 영향을 줄이기 위한 다양한 분야의 포괄적 접근법을 개발하고 권고할 책임이 있다. 즉, IMDCC는 해양쓰레기의 영향을 확인, 평가, 감소 및 예방하고 해양 환경, 천연 자원 및 선박에 대한 악영향을 완화하기 위한 국가적, 국제적 전략 및 과제를 제안한다. 이를 위해 2008년에 ‘해양쓰레기 발생원, 영향, 전략 및 권고에 관한 기관 간 보고서’를 발간하고, 권고사항에 대한 각 기관의 이행을 점검하고 효과를 분석한 보고서(progress report)를 격년으로 의회에 제출한다. 그리고 일상적 혹은 심각한 해양쓰레기 피해 상황에 대한 각 부처의 대응, 연방기관의 연구 우선순위, 모니터링 기술, 교육 프로그램 및 규제 조치의 조정하는 역할을 수행하며, 이를 위해 필요한 경우 분기별 회의를 개최한다.⁷¹⁾

The Interagency Marine Debris Coordinating Committee(IMDCC)의 구성

[기존 구성원]

- 국립 해양대기청(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) - 의장
- 환경부(EPA: U.S. Environmental Protection Agency) - 부의장
- 공병대(USACE: U.S. Army Corps of Engineers)
- 해군(Navy: U.S. Navy)
- 해안경비대(USCG: U.S. Coast Guard)
- 어류 및 야생동물 서비스(USFWS: U.S. Fish and Wildlife Service)
- 국립공원 서비스(NPS: National Park Service)
- 안전 및 환경 집행국(BSEE: Bureau of Safety and Environmental Enforcement)
- 해양 포유류위원회(MMC: Marine Mammal Commission)

71) 2018년 5월 25일에 개최된 분기별 회의는 2018년 허리케인에 대비하기 위해 해양쓰레기를 대상으로 한 비상대응 활동을 중점적으로 논의하였고, 해양쓰레기 프로그램(MDP) 예산으로 2017년 허리케인의 영향을 받은 지역의 해양쓰레기 평가, 제거 및 처분 자금으로 1,800만 달러 자금을 논의하였다. <https://response.restoration.noaa.gov/interagency-marine-debris-coordinating-committee-quarterly-meeting> (검색일: 2018. 10. 30)

- 내무부 산하 해양 및 북극 사무국(Office of Ocean and Polar Affairs)
- 법무성 산하 환경자원부(Environment and Natural Resources)

[2018년 신규 추가 기관]

- 국무부(DOS: Department of State)
- 내무부(DOI: Department of the Interior)

자료: IMDCC(2016)를 토대로 연구진 작성

최근 개정된 SOS 법은 IMDCC가 미국 자국 정책뿐만 아니라 국제 협력 정책에도 영향을 발휘할 수 있도록 국무부(Department of State)와 내무부(Department of the Interior)를 추가하여 조직을 확대 개편하였다. 이는 해양쓰레기는 특정 국가의 노력만으로는 해결할 수 없는 세계적 문제라는 인식에 따른 것이다. 앞으로 미국은 해양플라스틱의 주요 발생지로 확인된 국가들과 해양쓰레기 문제 해결에 필요한 구체적인 행동을 취할 것으로 보인다.

(3) 해양쓰레기 프로그램⁷²⁾

해양쓰레기 프로그램(Marine Debris Program)은 해양쓰레기 영향의 연구, 예방 및 저감을 목적으로 한 연방정부 사업으로 NOAA에 사무국을 두고 있다. 원래 2006년에 제정된 「Marine Debris Research, Prevention, Reduction Act」에 근거하여 만들어졌으며, 이후 2012년과 2018년 개정법에서 재승인을 받았다.

해양쓰레기 프로그램은 조정, 재난대응, 수거, 예방, 연구 평가 등 다섯 가지 역할을 수행한다. 이 프로그램의 특징은 해양쓰레기를 다루는 지역 접근법을 이끌어 내기 위해 각 지역에 조정관을 파견하여 주 및 지방 정부, 비정부기구, 학계 및 해당 지역의 산업과 파트너십을 구축한다는 점이다. 그리고 지역에서 해양쓰레기 예방 및 수거를 주

72) NOAA Marine debris Program 홈페이지(검색일: 2018. 10. 30)

도할 수 있도록 지자체에서 개발한 우수한 지역사회 기반(Community based) 해양쓰레기 수거 프로젝트, 교육 및 홍보 프로젝트에 예산을 지원한다.

SOS 법은 NOAA가 주도하는 해양쓰레기 프로그램의 예산과 역할을 더욱 강화하였다. 예산은 향후 5년 동안(2018~2022년) 기존 연간 6백만 달러에서 1천만 달러로 증액되었고, 해양쓰레기의 발생원을 다루기 위해 다른 연방 기관에 홍보 및 교육 전략을 공동 추진을 요청할 수 있게 되었다.

미국은 제한된 자금의 제약으로 인해 연방 프로그램이 서로 경쟁하고 있기 때문에 해양쓰레기 프로그램이 개정법에 따라 의회의 재승인은 받았다는 것은 예산 확보가 용이해졌을 뿐만 아니라 예산삭감으로부터 보호받는다는 것을 의미한다. 즉 미국은 회계연도 2022년까지 해양쓰레기 관련 연구, 수거, 예방 사업을 지속적으로 추진할 것으로 예상된다.

〈그림 3-25〉 해양쓰레기 프로그램(MDP)의 중장기 전략(2016~2020)



자료: NOAA Marine Debris Program(2015)을 토대로 연구진 작성

2) 폐어망 대상 에너지 회수 사업⁷³⁾

미국은 Marine Debris Program 예산으로 폐어구를 회수하여 에너지로 회수하는 ‘Fishing for Energy’ 프로젝트를 2008년부터 실시하고 있다. 이 프로젝트는 하와이 Nets to Energy 프로그램을 모델로 개발된 것으로 국립 어류야생동물기금(National Fish and Wildlife Foundation), 폐기물처리업체 Covanta, 금융 재활용업체 Schnitzer Steel Industries 등 민·관이 협력하여 추진한다.

국립 어류야생동물기금은 사업의 주관기관으로 Schnitzer Steel Industries와 Covanta Energy와 함께 주정부 및 지방 정부 기관, 지역 사회 단체 및 지방 항구와 협력하여 폐어구 수거함을 설치할 장소를 선정한다. 설치된 수거함에 어업인이 폐어구를 배출하면 Schnitzer Steel Industries는 가까운 시설로 운반하여 금속 재질을 분리하고 밧줄 또는 그물 등은 절단한다. Covanta Energy는 전 처리된 폐어구를 운반하여 지역 사회를 위한 전기로 전환한다.

지난 10년 동안 Fishing for Energy 프로젝트는 12개 주, 55개 항구에서 총 4백만 파운드의 폐어구를 처리하였다고 한다.

〈그림 3-26〉 ‘Fishing for Energy’ 실시 지역 및 폐어구 수거함



자료: NOAA Marine Debris Program 홈페이지, U.S. National Fish and Wildlife Foundation 홈페이지. (검색일: 2018. 10. 30)

73) U.S. National Fish and Wildlife Foundation 홈페이지(Fishign for Energy 프로젝트를 참고하여 작성함 (검색일: 2018. 10. 30)

어업인은 이 프로젝트를 통해 폐어구를 무료로 처리할 수 있는 기회를 제공받는다. 그 결과 해양으로 유입되는 폐어구의 양은 줄어들게 되어 해양생태계 및 해양생물을 보호하고, 침적쓰레기 수거비용을 절약하는 효과를 얻는다. 뿐만 아니라 폐어구의 재활용이 용이해져 에너지 절약에 도움이 되고, 투기 최소화로 유실어구에 대한 정보를 파악하여 어로장비 혁신에도 기여한다. Fishing for Energy 프로젝트를 추진을 위해 어업인 대상으로 실시하는 홍보 및 교육은 유실어구가 해양환경에 미치는 영향을 알리고 친환경 행동을 유도하기 때문에 어업인의 환경의식에도 긍정적인 영향을 미친다.

2018년 현재 10개 주에서 폐어구를 수집하여 2,200채 이상의 주택에 한 달 동안 공급할 수 있는 전력을 생산하고 있다. 그 과정에서 발생한 수익금으로는 연안 해역에 버려지는 폐어구 저감에 유익한 연구 사업을 지원한다. 회계연도 2018년에는 7건의 프로젝트에 자부담 13.5만 달러를 포함한 약 160만 달러를 투자할 예정이다.

〈표 3-14〉 2018년 ‘Fishing for Energy’ Grant fund 지원사업

프로젝트 명	수행 기관	예산
Puerto Rico지역의 유실 통발 수거 및 효율적 관리	The Ocean Foundation	\$221,862
Southwest Alaska의 해양생물의 혼획 예방 및 서식지 복원	Island Trails Network	\$213,627
Dungeness Crab 통발 생분해성 경첩 탈출 장치(WA, AK)	College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science	\$140,568
Papahānaumokuākea 얕은 해역 산호초 보호를 위한 유실어구 수거(HI)	University of Hawaii – Manoa	\$500,000
Cape Cod Bay의 Right Whale의 유실어구 얽힘 저감을 위한 수거(MA)	Massachusetts Division of Marine Fisheries	\$98,840
해양 서식지의 보전 및 회복을 위한 퓨젯 사운드의 침적 자망 수거(WA)	Natural Resources Consultants	\$174,913
Florida Keys 지역의 허리케인 Irma로 유실된 통발 수거	Florida Fish and Wildlife Conservation Commission	\$155,000

자료: U.S. National Fish and Wildlife Foundation 홈페이지 (검색일: 2018. 10. 30)

3. 유럽 사례

1) 해양쓰레기 관리제도⁷⁴⁾

(1) EU 해양전략기본법

유럽은 2008년에 수립한 ‘해양전략기본법(MSFD: Marine Strategy Framework Directive)’을 토대로 해양쓰레기를 포함한 해양정책을 추진한다. 이 지침은 2020년까지 EU 해역의 ‘바람직한 생태적 상태(GES: Good Ecological Status)’를 달성하고 해양기반 경제 및 사회적 활동의 핵심 자원을 보호하는 것을 목표로 한다. 유럽의 각국이 그 달성 정도를 평가하도록 11개의 성과 지표를 개발하였는데, MSFD 부속서에는 해양쓰레기 상태를 측정할 수 있는 지표⁷⁵⁾도 제시되어 있다.

한편, 유럽 이사회와(European Council) 유럽 의회(European Parliament)는 유럽 2020전략을 비롯한 정책목표를 달성하고자 주요 환경현안에 대한 장기적 실천방향을 제시한 ‘제7차 환경 행동계획(Environment Action Programme)’을 2013년 11월에 채택하였다. 계획에서 제시한 3대 목표는 천연자원의 보전, 자원의 효율적 이용 및 친환경적이고 경쟁력 있는 저탄소 경제로 전환, 환경 압력과 건강 및 복지에 대한 위협으로부터 국민 보호 등이다. 이 목표는 순환 경제(Circular Economy) 개념을 담은 비전에서 도출된 것이다.

‘제7차 환경 행동계획’의 비전

“2050년 우리는 지구의 생태적 한계 내에서 잘 살아간다. 우리의 번영과 건강한 환경은 낭비되는 것이 없고 천연자원이 지속 가능하게 관리되는 혁신적이고 순환적인 경제에서 비롯되며 생물 다양성은 사회의 탄력성을 향상시키는 방식으로 보호되고 가치를 지니고 복원됩니다.”

74) 유럽집행위원회 홈페이지(검색일: 2018. 10. 3)를 토대로 작성하였음.

75) GES Descriptor 10. “해양 쓰레기의 성질 및 양이 해양이나 해양환경에 해를 끼치지 않는다”

(2) EU의 순환경제 패키지 및 플라스틱 전략

유럽 집행위원회 (European Commission)는 2015년 12월 2일에 ‘순환 경제 패키지(Circular Economy Package)’를 채택하였다. 순환 경제(Circular Economy)는 제품을 생산, 사용, 폐기하는 기존의 선형 구조의 경제와 대비되는 개념으로 제품 자체 혹은 그 원료를 재사용, 수리, 재생 및 재활용을 촉진할 뿐만 아니라 에코디자인, 생분해성 원료 등으로 폐기물을 발생을 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서는 기술 개발, 소비자 행동 및 비즈니스 모델 전환, 금융 지원과 함께 관련 법제도의 정비가 필요하다. 2015년에 발표된 순환경제 패키지에는 ‘폐기물 기본지침(Waste Framework Directive)’, ‘매립 지침(Landfill Directive)’, ‘포장 지침(Packaging Directive)’, ‘폐차, 배터리 및 축전지 등 폐 전기제품에 대한 지침(Directives on end-of-life vehicles, batteries and accumulators, and WEEE)’ 등 4가지 입법안이 포함되어 있다. 그리고 이를 보완하기 위한 조치로 ‘음식물 쓰레기 저감을 위한 행동’, ‘2차 원료의 품질 표준 개발’, ‘에코 디자인 작업 계획의 조치’, ‘재활용 비료에 대한 비료에 대한 규정’, ‘폐수 재활용을 위한 최소한의 요구사항에 대한 입법안’, ‘에코 라벨’과 함께 ‘순환경제에서 플라스틱에 관한 전략(Strategy on Plastics in the Circular Economy)’을 제시하였다.⁷⁶⁾

플라스틱 전략은 유럽에서 플라스틱 제품의 설계, 생산, 사용 및 재활용되는 방식을 변화시키고, 해양 플라스틱 쓰레기를 줄이는 것을 목표로 한다. 유럽 집행위원회는 초안을 발표한 이후 2차례 전략을 수정하였으며, 올 2018년 1월 16일에 발표된 새로운 플라스틱 전략(Plastic Strategy)에는 유럽시장에서 사용된 플라스틱 포장재는

76) 유럽의회 홈페이지(검색일: 2018. 10. 31)

2030년까지 모두 재활용하고, 일회용 플라스틱의 소비를 줄이고, 마이크로비즈(Microbeads)의 의도적 사용을 제한한다는 내용이 담겨 있다. 새로운 전략에 따라 유럽은 플라스틱 쓰레기의 해양 유입을 차단하고, 재활용을 통한 수익을 창출하고, 플라스틱 쓰레기의 발생을 억제하고, 정부와 기업은 투자 및 혁신을 추진하고, 전 세계 파트너와 협력하여 글로벌 솔루션 및 국제표준을 개발할 예정이다. 그리고 해양 플라스틱 쓰레기 저감을 위한 실질적 방안으로 항구 쓰레기 수용 시설에 대한 새로운 지침(Directive on port reception facilities)도 채택하였다.

한편 플라스틱 전략 이행을 촉구하고자 EU 및 국가 수준에서 순환 경제로의 전환 과정을 측정하는 10개 지표세트로 구성된 모니터링 프레임 워크를 개발하였다.

2) 어업용 폐기물의 수거-처리 시스템 구축 사업

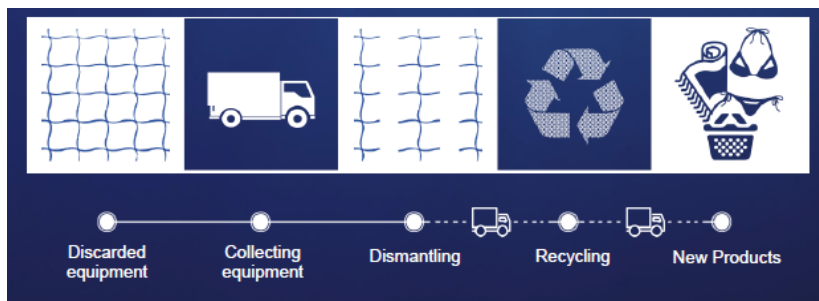
유럽위원회(European Commission)는 유럽 각국에서 폐어망을 수집하여 재활용하는 ‘EUfir 시스템’을 구축하는 프로젝트에 2012년부터 3년간 684,562유로(약 9억 원)를 지원하였다. 프로젝트는 프로젝트 관리체계 구축, 수집 시스템 구축, 분리 해체 프로세스 구축, 재활용 방안 모색, 유럽 국가 간 운반 프로세스 구축, 사업화 계획, 홍보 및 마케팅 활동 등으로 구성되어 있다.⁷⁷⁾

프로젝트 주관기관인 (주)Nofir는 노르웨이 어업 폐기물 처리업체로 2008년부터 어선어업 및 양식업에서 폐기되는 플라스틱 장비를 처리하는 시스템을 운영하고 있다. 어업인, 양식업자, 폐기물수거업

77) 유럽위원회 홈페이지(검색일: 2018. 10. 31)

체, 폐어망 보관시설의 신청으로부터 시작된다. (주)Nofir는 폐어망을 수거·운반하여 분리·선별 작업을 실시한 후 리투아니아와 터키에 있는 공장으로 보낸다. 공장에서는 어망을 분해 및 해체(Dismantling)하여 재생원료로 가공하여 PE(Poly Ethylene), PP(Poly P Propylene) 펠렛 제조 혹은 에너지 회수업체와 나일론 재생원사 생산업체에 판매한다. 재생 나일론 원사로 시장에서 유통되는 카펫, 수영복, 양말 등의 제품을 제작하기 때문에 폐자원으로서 가치는 나일론 재질의 폐어망이 가장 크다.

〈그림 3-27〉 (주)Nofir의 폐어망 수거·처리 프로세스

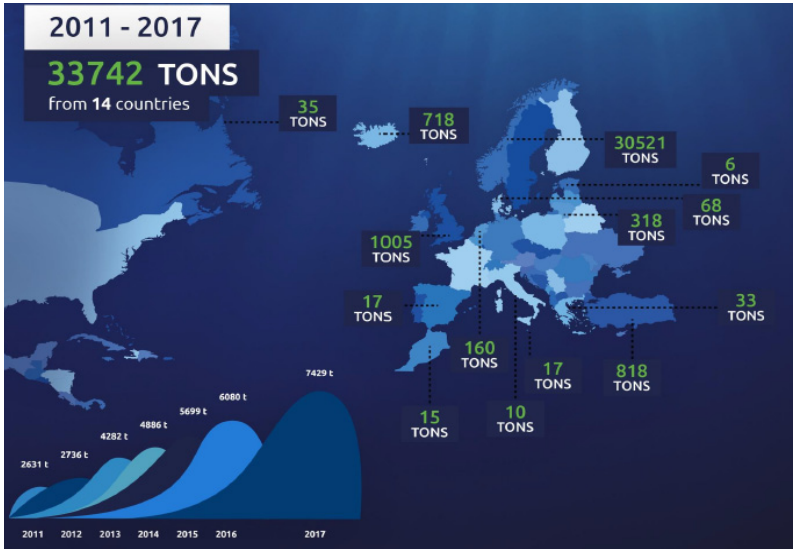


자료: (주)Nofir 홈페이지(검색일: 2018. 10. 31)

Nofir는 폐어망 수집-재활용(Collecting-Recycling) 시스템을 구축한 2011년부터 2017년 말까지 14개국에서 총 33,742톤의 폐어망을 수집 및 재활용하였다. 노르웨이 수산청, 비영리 단체, 그리고 EUfir 프로젝트를 비롯한 여러 폐어망 수거·처리 프로젝트에 참여하여 유럽 여러 지역으로 사업을 확장하여 폐어망 수집량을 매년 확대하고 있다. 수집된 폐어망의 물질 구성은 나일론 76.2%, PP 12.6%, PE 8.7%, 납 1.9%, 철 0.6%로 나일론이 가장 많다. 78)

78) (주)Nofir 내부자료(2018/08/30)

〈그림 3-28〉 (주)Nofir의 폐어망 수거·처리 실적



자료: (주)Nofir 내부자료(2018/08/30)

Nofir 시스템은 폐어망 1kg당 0.8kg를 재활용한다. 전과정 평가(LAC: Life Cycle Assesment)에 따르면, 수거한 폐어망과 동일한 구성의 플라스틱을 신규 제작할 경우에 비해 재생산불능자원(non-renewable resources)은 1kg당 1.7kg, 이산화탄소 배출량은 1kg당 3.6kg을 감소시키는 효과가 있다고 한다.⁷⁹⁾

4. 해외 업사이클링 사례

해양쓰레기를 업사이클하는 시도도 이루어지고 있다. 아디다스가 환경단체인 Parley for the Oceans와 협력하여 만든 운동화 라인

79) (주)Nofir 내부자료(2018/08/30)

‘Addidas×Parples’가 대표적 사례이다. 서핑 보드를 비롯한 해양레저 스포츠용품 제조사인 Volcom은 어망에서 추출한 나일론 원사로 수영복 ‘Simply Solid Swim’를 제작한다. 해변에서 수거한 플라스틱 쓰레기로 현관매트, 선글라스, 스케이트 보드 등을 제작하는 소규모 업사이클 전문업체들이 등장하고 있다. 소비자의 환경의식이 높아지면서 업사이클링 시장도 커지고 있으나 아직 사업성이 있다고 보기는 어렵다.

〈표 3-15〉 해외 해양 플라스틱 쓰레기 업사이클 유형 및 사례

유형	사례		비고
	업체	사업 설명	
제조업체의 업사이클링 상품	Addidas, Parley for the Oceans	Addidas는 환경단체와 해양 플라스틱 쓰레기 활용 운동화 라인, ‘Addidas×Parples’를 출시	협력
	Volcom	해양 플라스틱 쓰레기에서 뽑아낸 나일론 원사 활용 수영복 라인, ‘Simply Solid Swim’을 출시	-
업사이클업 전문업체 개발 상품	Cape Porpoise Trading Company	가재잡이용 로프를 어업인으로부터 기부 및 구매하여 현관용 매트로 제작	-
	Bureo	폐어망을 선글라스와 스케이트 보드로 제작	-
소비재 제조사의 재활용 용기 제작	TerraCycle, Procter & Gamble	소비재업체 Procter & Gamble는 재활용업체와 협력하여 해양 플라스틱 쓰레기로 샴푸병을 제작	협력
	Lush, The Ocean Legacy Foundation	화장품업체 Lush는 환경단체와 협력하여 해양 플라스틱 쓰레기로 병을 제작	협력

자료: 이윤정·김경신(2018), p.4

한편 일부 소비재 제조사들은 해양쓰레기로 자사 제품의 용기 혹은 포장재를 만든다. 화장품업체인 Lush는 환경단체인 The Ocean Legacy Foundation이 수거한 해변 플라스틱 쓰레기로 자사제품의 병을 제작하여 판매하고 있으며, Procter & Gamble은 재활용업체 Terracycle과 손을 잡고 자사 샴푸제품의 용기를 해변 플라스틱 쓰레기로 만든다.

5. 시사점

외국은 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기를 재활용하여 천연자원을 지역 내, 사업 내, 경제 내로 순환시키기 위한 시도들이 이루어지고 있었다. 양식장 폐기물을 재생 자원화하고자 적정 수거 및 처리 시설을 설치하고, 기술을 개발하고, 수요를 확대하고 있다. 이를 위해 각국은 관련 규정을 정비하고, 지자체 혹은 어업인의 해양쓰레기 처리를 지원하고, 재활용 기술을 개발하거나 수거-재활용 시스템을 구축하였다. 이러한 노력을 통하여 앞서 언급한 양식장 폐기물의 내재적 한계, 즉 높은 수거·처리 비용, 요구되는 높은 기술력, 큰 발생량 변동폭, 낮은 시장성 등의 문제를 해소하고 있다.

일본은 어업인들이 다양한 재질의 어업 폐기물을 바람직한 방법으로 처리할 수 있도록 폐기물 종류별로 처리방법을 구체적으로 제시한 가이드라인을 수산청의 주도로 관계 부처와 어업인 단체가 협력하여 마련하였다. 그리고 기술적·재정적으로 어업인을 지원하기 위하여 ‘어장 표류·표착물 관리 촉진사업’을 추진하고 있다. 대표적 지원 사례로 양식장에서 발생하는 주요 폐어구 중 하나인 페스티로폼 부표를 처리하는 파쇄기와 보일러 시설 개발을 들 수 있다. 스티로폼 펠렛 보일러는 부피가 커서 운송비용이 많이 소요되는 페스티로폼 부표를 발생지역에서 재활용하게 함으로써 처리비용을 줄인다. 그리고 고열량의 스티로폼을 소각하여 회수한 에너지를 어업인이 저렴하게 활용할 수 있게 하여 페스티로폼 부표의 적정 수거·처리의 혜택을 어업인 스스로 누리게 한다는 점에서 참고할 만하다.

미국은 공공과 민간이 협력하여 폐어망 수거-재활용 시스템을 구축하였다. 사업 주관기관인 국립 어류야생동물기금은 NOAA의 해양

쓰레기 프로그램(Marine Debris Program)의 예산 지원을 받아 민간 재활용업체, 주정부 및 지방 정부, 지역단체 및 지방항구와 협력하여 전략적으로 우수한 어항에 페어망 수거함을 설치한 후, 어업인이 배출한 페어망을 수거하여 재활용한다. 이 사업은 어업인에게 폐어구를 무료로, 그리고 간편하게 처리할 수 있는 기회를 제공함으로써 부적절한 관리로 해양으로 유실 및 투기되는 페어망을 줄이는 효과가 있다. 침적된 페어망이 감소하면 해양·연안 서식지 훼손 및 Ghost Fishing 등에 의한 해양생물 피해를 예방하고, 침적쓰레기 수거비용을 절감할 수 있다. 그리고 실천 가능한 친환경 행동을 장려하여 지속가능한 어업 관행을 정착시키고, 페어망을 재활용하여 천연자원과 에너지를 절약하는 성과도 얻고 있다. 페어망에서 회수한 금속류는 어업 기자재 생산에 다시 사용되어 자원이 산업 내에서 순환되고, 회수한 에너지는 지역 주민에게 공급되어 지역으로 순환시킴으로써 자원을 절약한다.

유럽은 2015년에 원료를 재사용, 수리, 재생 및 재활용을 촉진하고 폐기물을 발생을 최소화하는 순환경제(Circular Economy)로의 전환을 정책적 방향을 수립하고, 이를 달성하기 위한 방안으로 플라스틱 전략(Plastic Strategy)을 제시하였다. 사용기간에 비해 분해속도가 긴 플라스틱을 재활용하는 것은 해양쓰레기를 줄이는 효과적인 방법이기도 한다. 이를 어업 현장에 적용하여 유럽 각국에 어업 폐기물을 수거하여 재활용하는 시스템을 구축한 사업이 EUfir 프로젝트이다. 유럽에는 페어망으로 재생 나일론 원사를 생산하는 섬유생산업체인 Aquafil, ECONYL®로 수영복, 양말, 카펫을 제작하는 제조업체, 그리고 해양쓰레기 저감에 동참하고자 높은 가격에도 불구하고 제품을 구매하는 소비자로 구성된 시장이 작지만 존재한다.

최근에는 유럽과 미국을 중심으로 해양 플라스틱 쓰레기가 국제적 현안으로 등장하면서 이를 해결하기 위한 실천적 방법으로 해양쓰레기로 업사이클링하는 업체가 늘고 있다. 이들 업체는 해양쓰레기 수거와 재활용을 연결한 시스템을 갖추고 폐기물에 가치를 부여하여 새로운 소비 트렌드를 이끌고 있다.

이들 사례를 통해 양식장 폐기물 및 해양쓰레기에 특화된 수거와 재생자원의 최종 수요까지 고려한 재활용하는 체계가 가능하다는 것에서 시사점을 얻을 수 있다.

아직 우리나라는 해양쓰레기를 재생원료로 하는 소비재 시장이 존재하지 않으므로, EPS, PP, PE 등 열량이 높은 합성수지를 원료로 제작된 폐어구에서 에너지 회수는 가장 효과적인 방법이 될 것이다. 양식장 폐기물의 재활용을 촉진시키기 위해서는 관련 제도 개선, 수거·처리 기술 개발, 민간업체의 시장진입 유도, 수거함 등 처리 기반시설 조성 등도 필요하다.

〈표 3-16〉 주요국의 어업 폐기물 처리 및 자원순환 사례 요약

국가	어업 폐기물 자원순환 관련 제도, 지원 사업, 방식		비고
	구분	주요 내용	
일본	주요 제도	• 1991년 어업계 폐기물 처리 가이드라인 제정: 전국 어업협동조합 연합회, 보건복지부 등 관계기관과 협력, 어업계 쓰레기 종류별 적정 처리방법 제시 • 2009년 해안표착폐기물처리법 제정	제도 개선
	지원 사업	• 어장 표류·표착물 관리 촉진사업 • 폐기물 처리시설 및 그 부지의 정비는 연안어업 구조 개선사업, 어항 정비사업 등으로 지원 • 페스티로폼 부표 처리 기술 개발(파쇄기, 보일러 등)	• 비용 지원 • 시설 설치 • 기술 개발 및 수요 확대
	자원순환 방식	• 에너지 회수 및 지역 내 순환(페스티로폼 부표를 에너지 원료로 활용하는 자숙용 혹은 온수용 보일러 개발, 어촌지역에서 공급)	

국가	어업 폐기물 자원순환 관련 제도, 지원 사업, 방식		비고
	구분	주요 내용	
미국	주요 제도	• Marine Debris Act 2006년 제정, 2012년 및 2018년 개정(부처 간 조정 기능 및 국제협력 강화)	제도 개선
	지원 사업	• Marine Debris Program 실시: 지자체의 연구, 제거, 예방 사업을 지원(예산, 제도정비 등) • 민·관 협력방식으로 폐어망 수거-재활용 시스템 구축 및 운영: Fishing for Energy 프로젝트 실시	• 비용 지원 • 수거·재활용 시스템 구축
	자원순환 방식	• 금속류 재활용 및 산업 내 천연자원 순환 • 폐어망에서 에너지 회수 및 지역 내 순환	
유럽	주요 제도	• EU 해양전략기본법 • EU의 순환경제 패키지 및 플라스틱 전략	제도 개선
	지원 사업	• 어업용 폐기물의 수거 처리 시스템 구축: EUfir 시스템 구축 프로젝트 실시	수거·재활용 시스템 구축
	자원순환 방식	• 업사이클링 및 경제 내 천연자원 순환: 어망에서 나온 일련 재생원사를 추출, 신제품(수영복, 양말, 카펫 등) 제작	
기타	자원순환 방식	• 업사이클링 및 경제 내 천연자원 순환 (1) 기존 제조업체에서 해양쓰레기로 신제품 출시 (2) 기존 소비재업체에서 해양쓰레기로 용기 제작 (3) 신규 업사이클링 업체가 해양쓰레기로 신제품 제작	

자료: 연구진 작성

제 4 장

완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석과 자원순환 적용 기술

제1절 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량 분석⁸⁰⁾

1. 완도군 양식업 일반 현황

1) 일반 현황

전라남도 완도군은 우리나라에서 양식업이 활발하게 이루어지는 지역이다. 완도군은 넙치, 삼치, 감성돔 등 어류 생산이 활발하고 다시마, 김, 미역 등 바닷말류 양식과 전복을 포함한 패류 양식이 성행하고 있다. 특히 전복의 생산량은 2017년 기준 국내 생산량 16,042톤의 67%(10,763톤)⁸¹⁾을 차지하고 있다. 2009년에는 고금면 등 11개 읍면에 완도전복산업특구가 지정되어 인력 양성과 전복연구센터 등

80) 완도군 양식장 폐기물 발생·처리량은 전문 조사 업체((주)해양기술ENG)의 현장 조사 결과(완도군 양식장 폐기물 현황 조사, 2018. 5. 4~2018. 6. 3)를 토대로 연구진이 작성하였음. 완도군은 우리나라에서 다시마, 김, 미역, 전복 등 양식업이 성행하고 있어 양식장 기저재 및 폐기자재 많이 발생 하는 지역으로 본 과제에서 시범조사 대상지역으로 선정하였음.

81) 한국해양수산개발원 수산업관측센터 홈페이지, 「전복 관측 통계」(검색일: 2018. 6. 2).

생산기반을 구축하고 있다. 2010년에는 완도를 죽청리와 신지면 대곡리 일대에 완도해조류 건강·바이오 특구가 지정되어 해조류 연구소, 해양바이오 산업육성센터 등이 건립되어 운영되고 있다.

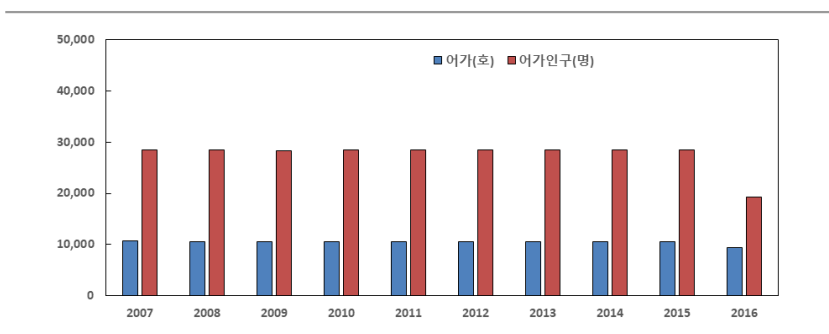
2007년 이후 완도군의 어가인구 및 어가는 소폭 감소하는 수준을 유지하다가 2016년에 큰 폭으로 감소하였다. 어가인구는 2016년 기준 19,324명으로 전체인구의 35.6%에 이르며 어가는 9,310호로 전체가구의 36.2%를 차지하는 것으로 나타났다.

〈표 4-1〉 완도군 어가 및 어가 인구 현황

연 도	세대(호)	인구(명)	어가(호)	어가인구(명)
2007	24,937	56,201	10,671	28,508
2008	24,745	54,999	10,618	28,456
2009	24,977	54,301	10,550	28,404
2010	25,274	54,269	10,573	28,419
2011	25,227	54,037	10,582	28,447
2012	25,215	53,871	10,594	28,451
2013	25,240	53,619	10,603	28,455
2014	25,321	53,174	10,618	28,456
2015	25,535	53,014	10,621	28,452
2016	25,688	54,336	9,310	19,324

자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

〈그림 4-1〉 완도군 어가 및 어가 인구 변화



자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

최근 10년간 어선보유 현황은, 동력선 기준 2007년 9,899척에서 2012년 8,002척으로 동력선 보유량이 약 20% 감소하였으나 최근 5년간 다시 소폭 증가하면서 2016년에 8,479척을 보유하는 것으로 나타났다.

〈표 4-2〉 완도군 어선 보유 현황

연 도	총 계			
	동 력		무동력	
	척 수	톤 수	척 수	톤 수
2007	9,899	15,579	2	1.63
2008	10,021	16,924	229	249
2009	10,018	17,605	233	250
2010	10,149	19,249	226	245
2011	9,608	18,840	222	241
2012	8,002	18,434	215	233
2013	8,182	19,341	213	230
2014	8,107	19,186	213	231
2015	8,226	19,716	213	231
2016	8,479	20,836	217	235

자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

완도군의 주요 수산물 중 전복은 2007년 3,727톤에서 2015년 7,630톤으로 두 배 이상 증가하였다. 다시마는 2007년 96,521톤에서 2016년 211,903톤으로 두 배 이상 증가하였다.

〈표 4-3〉 완도군 주요 수산물 생산량

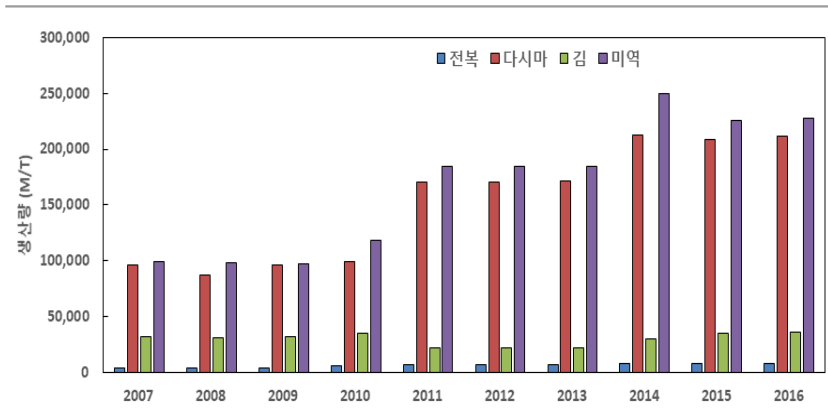
단위: M/T

연 도	전복	다시마	김	미역
2007	3,727	96,521	32,444	98,875
2008	4,300	86,970	31,200	97,800

연 도	전복	다시마	김	미역
2009	4,300	96,642	32,147	97,000
2010	5,800	98,877	35,140	118,000
2011	7,400	170,000	21,924	184,000
2012	7,400	170,000	21,921	184,000
2013	7,395	171,000	21,921	184,100
2014	7,438	212,162	30,163	249,690
2015	7,630	208,335	35,209	225,681
2016	7,682	211,903	36,346	227,353

자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

〈그림 4-2〉 완도군 주요 수산물 생산량 변화



자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

2) 양식업 현황

완도군의 양식업은 최근 10년간 양식 수산물의 여건 변화에 따라 양식 방법에도 변화가 있었다. 2009년 이후부터는 축제식 양식을 하지 않는 것으로 조사되었으며 2010년을 제외하고는 해상 가두리 및 육상수조식은 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 이에 따라 사육

수 면적 역시 2010년을 제외하고 2007년부터 2016년까지 전반적으로 감소하는 추세다.

〈표 4-4〉 완도군 양식 방법에 따른 사육수 면적

연도	계(㎡)	해상가두리(㎡)	육상수조식(㎡)	축제식(㎡)
2007	953,272	107,072	804,650	41,550
2008	952,032	116,990	805,030	30,012
2009	851,186	97,778	753,408	-
2010	1,008,156	106,968	901,188	-
2011	712,929	76,207	636,722	-
2012	726,495	68,134	658,361	-
2013	697,359	65,659	631,700	-
2014	651,314	50,628	600,686	-
2015	638,816	54,017	584,799	-
2016	658,611	52,986	605,625	-

자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

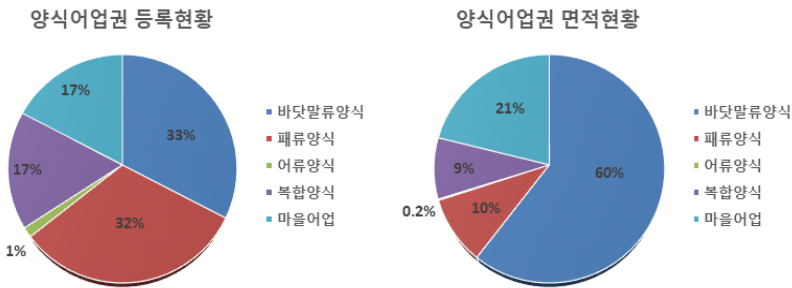
2016년 기준 양식어업권은 총 1,571건으로 나타났고, 어업권별로 비교한 결과, 바닷말류 양식이 512건(32.6%)으로 가장 높았다. 다음으로 패류양식 500건(31.8%), 마을어업 273건(17.4%) 등의 순으로 나타났다. 양식어업권 총 면적은 41,511ha로 조사되었으며, 바닷말류 양식이 25,109ha(60.5%)로 가장 높은 면적을 차지하는 것으로 나타났다. 다음으로 마을어업이 8,776ha(21.1%), 패류양식이 3,950ha (9.5%), 복합양식이 3,597ha(8.7%) 등의 순으로 나타났다. 2016년 양식어업권을 양식업별로 비교한 결과, 등록건수는 바닷말류 양식이 32.6%로 가장 많았고, 패류양식은 31.8%, 마을어업은 17.4% 등의 순으로 나타났다.

〈표 4-5〉 완도군 양식어업권 현황 및 비율(2016년)

구 분	양식어업권(건)	양식어업권(%)	면적(ha)	면적(%)
총 계	1,571	100.0	41,511	100.0
바닷말류양식	512	32.6	25,109	60.5
패류양식	500	31.8	3,950	9.5
어류양식	23	1.5	79	0.2
복합양식	263	16.7	3,597	8.7
마을어업	273	17.4	8,776	21.1

자료: 완도군 통계연보(2016)

〈그림 4-3〉 완도군 양식어업권 등록(왼쪽) 및 면적 현황(오른쪽)



자료: 완도군 통계연보(2007~2016) 자료를 토대로 연구진 작성

읍면별 면적을 분석하면, 노화읍의 양식면적이 6,599ha로 가장 넓은 것으로 확인되었고, 금일면이 5,662ha의 순으로 나타났다. 양식 어장 면적이 가장 좁은 곳은 보길면으로 1,624ha인 것으로 나타났다.

〈표 4-6〉 완도군 읍·면별 양식어업권(2016년)

구분	바닷말류양식		패류양식		어류양식		복합양식		마을어업	
	건	면적(ha)	건	면적(ha)	건	면적(ha)	건	면적(ha)	건	면적(ha)
완도	27	1670	31	230	-	-	16	237	12	201
금일	89	3,418	53	541	2	4	25	311	42	1,388
노화	73	4,543	90	1,071	1	5	10	119	37	861

구분	바닷말류양식		패류양식		어류양식		복합양식		마늘어업	
	건	면적(ha)	건	면적(ha)	건	면적(ha)	건	면적(ha)	건	면적(ha)
군외	42	2,261	56	449	1	1	31	420	24	1,402
신지	24	844	22	123	9	44	48	754	32	716
고금	53	1,367	42	254	8	21	22	221	18	1,147
약산	35	1,748	18	168	-	-	26	402	9	119
청산	37	1,906	38	192	-	-	19	250	33	572
소안	58	3,293	52	293	-	-	20	242	19	739
금당	35	2,695	15	71	2	4	7	60	18	645
보길	20	275	72	413	-	-	35	533	17	403
생일	19	1,090	11	147	-	-	4	50	12	585
합계	512	25,110	500	3,952	23	79	263	3,599	273	8,778

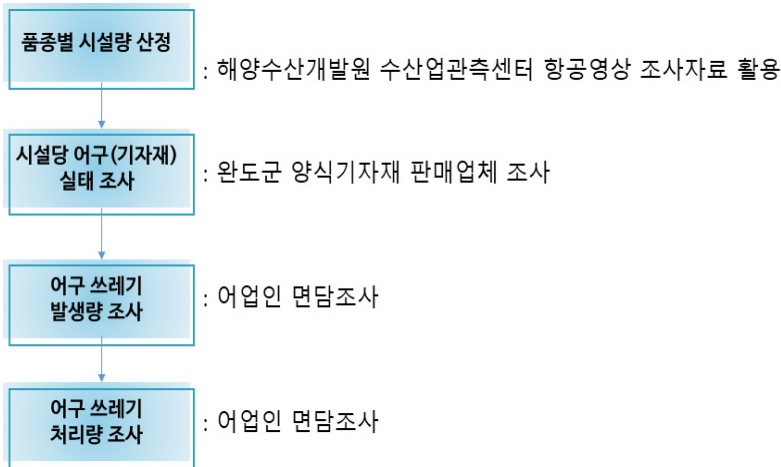
자료: 완도군 통계연보(2016)

2. 조사의 개요

1) 조사의 방법

이번 조사는 완도군 양식장에서 사용하는 기자재 실태를 파악하여 연간 폐기물 발생량과 처리 실태, 처리량을 파악하는 데 있다. 이를 위해 완도군 양식기자재 판매 업체 세 곳을 방문하여 양식장에서 사용하는 기자재(종류, 규격, 무게 등)를 파악하였다. 폐기물 발생량과 처리 실태 등 폐기물 처리 현황을 파악하기 위해 완도군에서 양식업을 하는 어업인을 대상으로 직접 면담 조사를 실시했다. 응답의 신뢰성을 높이기 위해 조사 대상 어업인은 완도군에서 한국해양수산개발원 수산업관측센터의 양식 현장 업무를 지원하고 있는 전문 패널(어업인)을 대상으로 하였다. 품종별 면담 어업인은 시설량을 고려하여 2~3곳의 어촌계에서 2~3인을 선정하였다.

〈그림 4-4〉 완도군 양식장 폐기물 발생량 및 처리량 조사 프로세스



양식장에서 사용되는 어구는 노후·파손, 해상 유실, 태풍 등 기타 요인에 의해서 폐기된다. 태풍은 일시적으로 대규모의 양식장 쓰레기를 유발하지만, 발생이 빈번하지 않고 예측도 어렵다. 본 연구에서는 이벤트성이 아니라 일상적인 양식장 폐기물 발생규모를 산정하고자 한다. 한편 노후되거나 보관 및 어로과정에서 파손되는 어구와 해상에서 유실되는 어구는 어업인 면담을 통해서 파악하였다. 즉 양식장 폐어구 발생량(Q_{fg})은 태풍 등 기타 요인은 제외하고 각 어구 종류별로 선형함수식에 따라 노후·파쇄량과 유실량의 합으로 구한다. 노후·파쇄량은 총 사용량에 사용 연수를 나누어 1년간 발생하는 양을 산정하고, 유실량은 사용량에 유실률을 곱하여 구한다.

$$Q_{fg_i} = f(\exp, derelict; event) = \exp_i + derelict_i$$

$$\text{단, } \exp_i = used_i \div Tyear_i, derelict_i = used_i \times Dratio_i$$

2) 조사 내용

조사 내용은 사전에 파악한 양식 품목별(김, 미역·다시마, 전복(해상 가두리와 종묘 양식장)) 기자재 현황을 토대로 양식 기자재별로 사용량(내구 연수, 단위 사용량)과 폐기물 발생량(폐기 원인, 내구 연수 등)을 파악하였다. 발생한 폐기물의 처리량 및 처리 현황은 지자체 등에 의한 수거, 소각, 방치, 재활용 목적의 판매 등으로 구분하여 파악했다.

〈표 4-7〉 양식 품목별 조사 내용

구분	기자재 사용량	폐기물 발생량	폐기물 처리량
조사 내용	재질, 단위 규격, 무게, 내구 연수	발생률, 폐기 원인((노후/파손), 유실·투기)	처리율(수거, 재활용/판매, 유실·투기, 소각, 방치)

3) 주요 양식 품종의 시설량

양식장 폐기물 발생량과 처리량은 산정된 발생률과 처리율에 단위 시설량(책, 줄, 칸)을 산정하여 전체 양식장 시설량에 적용했다. 양식 품종별 시설량은 한국해양수산개발원 수산업관측센터의 항공 영상 판독 자료(2017년)를 활용하여 산정했다. 완도군 김의 시설량은 94,274책이며 미역의 시설량은 339,732줄, 전복의 시설량은 709,668칸으로 나타났다.

〈표 4-8〉 완도군 양식 품목별 시설량(2017년)

구분	시설량	비 고
김	94,274책	1책은 2.2m × 40m 기준임
미역	339,732줄	1줄은 100m 기준임
전복	709,668칸	1칸은 복도를 제외한 내경 2.4m × 2.4m 기준임
전복 종묘	572,499m ²	완도군청 자료

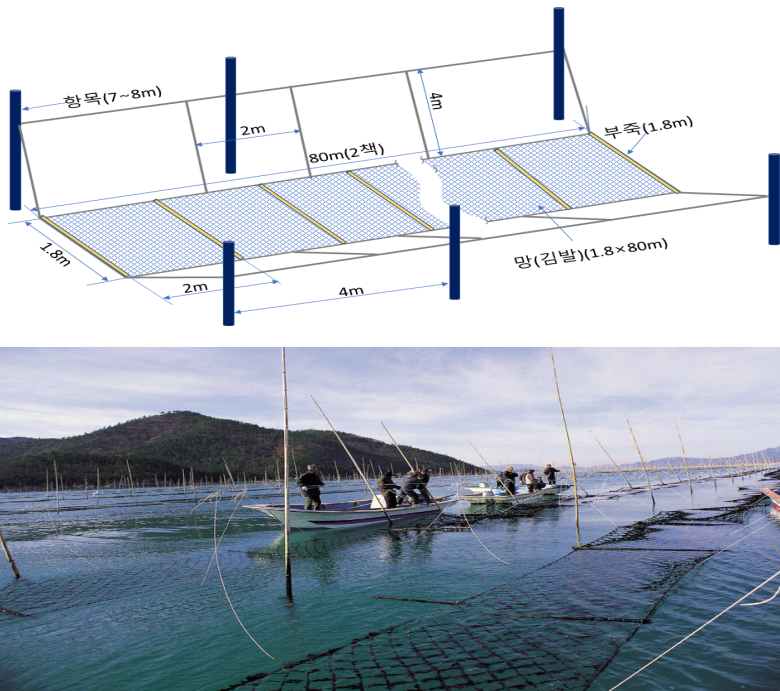
3. 완도군 품목별 양식장 시설물 사용량 분석

1) 김 양식장

(1) 지주식 김 양식장

지주식은 항목(코팅 부죽)을 지주대로 활용하여 항목들 사이에 김발을 설치하여 햇볕에 노출하여 김을 양식하는 방식이다. 지주식은 김발을 고정하는 용도로 항목을 사용하기 때문에 부자는 사용되지 않는다. 지주식에 사용되는 기자재는 부죽, 김발, 항목, 로프 등이 있다.

〈그림 4-5〉 완도군 지주식 김 양식장 시설물 모식도



자료: (위) (주)해양기술ENG 작성, (아래) 완도군 홈페이지(검색일 2018/05/20)

부죽은 내구성 강화를 위해 코팅된 대나무를 2m 간격으로 쓰며, 단위규격은 약 2m, 무게는 1.04kg, 책당 사용량은 21개이다. 망(김발)은 1.8m×40m의 크기로 1개를 사용하며 무게는 7.05kg이다. 김발을 고정시키는 항목은 길이가 7~8m에 이르는 코팅부죽을 쓰며 단위무게는 7.8kg이다. 항목은 4m 간격으로 총 22개를 쓰나 다른 책과 공유하여 사용하므로 책당 사용량은 11개에 이른다.

지주식 김 양식장 1책당 사용하는 기자재의 총 무게는 책당 124.42kg이다. 완도군내 지주식 김양식은 전체 김 양식(94,274책)의 약 10%에 이르므로 완도군의 지주식 김 양식 시설물의 연간 총 사용량은 1,173톤에 이르는 것으로 조사되었다.

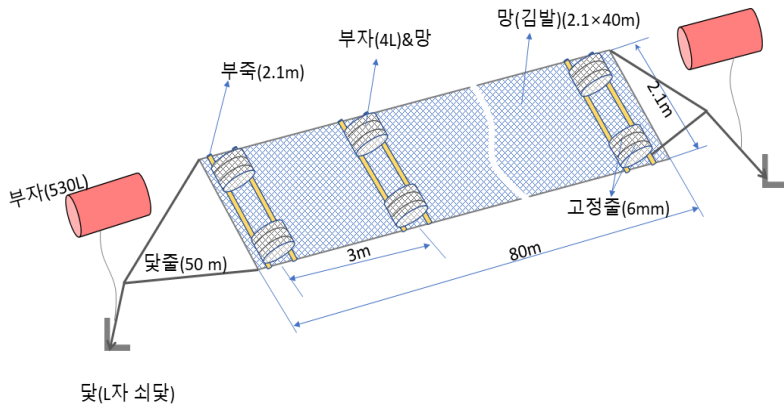
〈표 4-9〉 지주식 김 양식장 시설물 사용량

기자재 종류	재질	단위 규격	단위 무게 (kg)	내구 연수 (년)	단위 사용량 (/책)	단위 사용량 (kg/책)	총 사용량 (ton)
부죽	코팅부죽	2m	1.040	5	21ea	21.84	206
로프	PP	12mm	0.070	5	140m	9.73	92
망(김발)	PP	1.8×40m	7.05	2	1ea	7.05	66
항목	코팅부죽	7~8m	7.80	5	11ea	85.80	809
소계						124.42	1,173

(2) 노출 부류식 김 양식장

노출 부류식은 김발을 수면에 노출시키거나 부자 등을 사용하여 김발을 수면에 띄워 양식하는 방식이다. 노출 부류식 김 양식장에 사용되는 기자재는 망, 부죽, 부자 및 부자망, 닻, 부자연결을 위한 로프 등이 있다.

〈그림 4-6〉 완도군 노출 부류식 김 양식장 시설물 모식도



자료: (위) (주)해양기술ENG 작성, (아래) 완도군 홈페이지(검색일 2018/05/20)

부죽은 내구성 강화를 위해 코팅된 대나무를 쓰며, 단위규격은 약 2.1m, 무게는 1.04kg, 책당 사용량은 27.6개에 이른다. 부죽은 가격이 저렴한 수입산을 약 80% 정도 사용하며 국내산은 20% 정도 사용하는 것으로 조사되었다. 망(김발)은 2.1m×40m 크기로 개당 무게는 8.22kg으로 조사되었다. 부자는 40L 용량의 스티로폼 부자로 부자망(약 2g)을 두 겹으로 씌워 부죽의 양쪽으로 2개씩 책당 27.6개를 사

용하고 있으며 개당 무게는 0.270kg으로 책당 연간 총 사용량은 7.44kg에 달한다.

〈그림 4-7〉 완도군 노출 부류식 김 양식장 시설물



부자와 부자망



코팅부죽



망(김발)



쇠뿔

자료: 연구진 촬영(2018. 5)

부자와 부죽을 고정할 때 사용하는 6mm 나일론 줄의 미터당 무게는 0.035kg으로 부자 1개당 약 2m를 사용하여 책당 110.2m로 사용량은 3.86kg이다. 큰 부자는 용량이 530L로 책당 2개를 사용하며 단위 무게는 7.712kg으로 총 5.42kg을 사용하는 것으로 조사되었다. 뿔은 과거에 소나무를 사용하였으나 현재는 1.4m 규격 약 10kg의 L자형 쇠뿔을 주로 사용하고 있으며, 줄당 2개를 사용하며 총 사용량

은 20kg에 달한다. 닻줄은 16mm PP 로프를 사용하고 수심 및 조류 세기에 따라 변동이 있으나 수심의 약 3배 되는 50m 길이로 양쪽으로 총 100m를 사용한다.

노출 부류식 김 양식장의 1책당 사용하는 기자재의 총 무게는 책당 95.79kg이다. 완도군 내 김 노출 부류식은 전체 김 양식(94,274책)의 약 90%에 이르므로 연간 총 사용량은 8,127톤에 이르는 것으로 조사되었다.

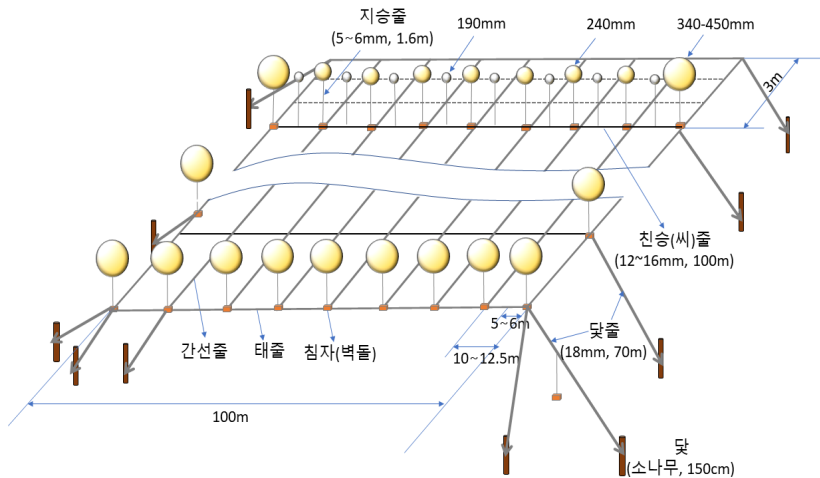
〈표 4-10〉 노출 부류식 김 양식장 시설물 사용량

기자재 종류	재질	단위 규격	단위 무게 (kg)	내구 연수 (년)	단위 사용량 (/책)	단위 사용량 (kg/책)	총 사용량 (ton)
망(김발)	PP	2.1×40m	8.22	2	1ea	8.22	698
망(김발) 고정대	코팅부속	2.1m	1.04	7	27.6ea	28.66	2,432
로프-부자연결	나일론	φ6mm	0.035	7	110.2m	3.86	327
부자-소	스티로폼	40L	0.270	5	27.6ea	7.44	631
부자망	PP	40L					
부자 조임용 나일론 줄	나일론	φ2mm	0.002	5	56.9m	0.085	7
부자-대	스티로폼	530L	7.712	5	2ea	15.42	1,309
닻	철	1.4m(L자)	10.00	3	1ea	20.0	1,697
로프-닻줄	PP	φ16mm	0.121	3	2m	12.1	1,027
소계						95.79	8,127

2) 미역(다시마) 양식장

연승식 미역(다시마) 양식장에 사용되는 기자재는 로프(친승줄(씨줄), 종사줄, 지승줄, 닻줄, 간선줄, 탕줄), 침자, 부자, 닻으로 조사되었다.

〈그림 4-8〉 완도군 미역 양식장 시설물 모식도



자료: (주)해양기술ENG 작성

미역 양식장에 사용되는 친승줄은 미역 종묘를 붙이는 씨줄로 12mm~16mm의 로프를 미역의 생육기간에 따라 규격을 달리하여 사용하며 줄(100m)당 총 사용량 무게는 8.23kg이다. 지승줄은 부자를 연결하는 데 사용하는 5~6mm의 로프인데, 길이는 약 0.8~1.5m로 생육시기 및 품종에 따라 길이를 조절하며 한 줄당 총 사용량은 25.5m에 이른다. 맞줄은 18mm 규격의 로프를 사용하며 줄 양쪽으로 70m씩 총 140m를 사용하는 것으로 조사되었다. 침자는 10m 간격으로 사용하며 줄당 9개와 양쪽 맞줄에 1개씩 총 11개를 사용하고 있다. 부자는 친승줄에 약 5~6m 간격으로 교차해서 사용하는데 190mm, 240mm 사출형 부자와 맞에 사용하는 340~450mm(본 과제에서는 380mm로 계산함)의 사출형 부자를 사용하며 줄당 사용량은 각각 7, 8, 2.4개에 이른다. 맞은 소나무 재질의 150cm 말목을 사용하며 줄당 사용량은 2개로 총 사용량 무게는 12.02kg에 달한다.

미역 양식장에 사용하는 기자재의 총 무게는 줄당 64.52kg이다. 완도군 미역 양식장 시설량은 339,732줄로 연간 총 사용량은 21,920톤에 달한다.

〈표 4-11〉 미역(다시마) 양식장 시설물 사용량

기자재 종류	재질	단위 규격	단위 무게 (kg)	내구 연수 (년)	줄당 사용량 (/줄)	줄당 무게 (kg/줄)	총 시설량 무게 (ton)
로프-친승줄 (씨줄) 70%	PP	12mm	0.070	5	100m	4.87	1,653
로프-친승줄 (씨줄) 10%	PP	14mm	0.094	5	100m	0.94	319
로프-친승줄 (씨줄) 20%	PP	16mm	0.121	5	100m	2.42	822
종사줄	면	2mm	0.00235	1	170m	0.4	136
로프-지승줄 50%	PP	5mm	0.012	1	25.5m	0.15	50
로프-지승줄 50%	PP	6mm	0.018	1	25.5m	0.22	76
로프-닻줄	PP	18mm	0.154	5	140m	21.56	7,325
로프-간선줄	PP	12mm	0.154	5	10m	1.54	523
로프-탯줄	PP	18mm	0.154	5	4m	0.62	209
침자	벽돌	600g	0.600	5	11.0kg	6.60	2,242
부자-대	사출형	240mm	0.680	5	7.0kg	4.76	1,617
부자-소	사출형	190mm	0.370	5	8.0kg	2.96	1,006
부자-닻	사출형	340~450mm	2.270	5	2.4kg	5.47	1,860
닻	닻말목	10×150cm	6.008	5	2.0kg	12.02	4,082
소계						64.52	21,920

3) 전복 양식장

(1) 전복 해상가두리 양식장

전복 해상 가두리 양식장에 사용되는 기자재는 가두리 본체, 닻, 로프, 가두리 그물, 전복집(셸타), 부자와 부자피복 등을 사용하는 것으로 조사되었다. 가두리 본체는 140mm PE 파이프를 사용하여 제작하며, 부속으로 발판, 연결파이프 속관, 파이프 연결 시 고정하는 볼트와 너트류 등으로 구성되며 내구성은 10년 이상이다. 하부틀(2.2m×2.2m)과 고정틀(0.5m×2.15m)은 그물과 전복집(셸타)을 고정시키는 역할을 하며 칸당 각각 1, 2개를 사용하며 내구성은 10년 이상이다.

가두리 닻은 쇠닻(500kg)과 콘크리트 닻(1~10ton 이상)을 사용하며 80칸당 양쪽으로 4개를 사용했으나, 최근에는 40칸당 양쪽에 4개를 사용하는 추세이며, 유실되지 않는 한 계속 사용하는 것으로 조사되었다. 닻줄은 30mm PP 재질의 로프로 50~70m(평균 60m)를 사용하고 있다. 칸당 사용량은 12.0m로 총 사용량은 5.11kg이며 외부로 노출된 10m 정도만 2년 주기로 교체하는 것으로 조사되었다. 전복집(셸타)는 PP나 ABS, 복합재질로 구성되어 있다. 치패는 2골로 된 치패용 셸타 3개, 중패 이상에서는 1골로 된 중패-성패용 셸타 14개를 사용하며 각각의 총 사용량은 9.72kg, 28.56kg으로 10년 정도 사용되는 것으로 조사되었다.

가두리를 부상하는 데 사용되는 부자는 피복형 스티로폼 200~300L 등을 사용하며 무게는 200L 피복형 스티로폼이 2.91kg으로 실측되었으며, 칸당 사용량은 4.7개로 피복만 노후 등의 이유로 5년 주기로 교체하고 스티로폼은 10년 이상 사용하는 것으로 조사되었다. 부자

와 가두리 본체를 고정할 때에는 7.2mm 규격의 PP 재질의 로프를 사용하며 칸당 사용량은 69.8m로 무게는 2.16kg/칸으로 나타났다.

전북 해상가두리 양식장의 칸당 사용 기자재 총 무게는 183.65kg (땃 무게 제외)이다. 연간 시설량은 총 709,688칸으로 연간 총 사용량은 130,331톤에 달한다.

〈그림 4-9〉 완도군 전북 가두리 양식장 시설물



가두리 본체 파이프



고정틀



하부틀



가두리 그물



친환경 부자



전복집(셀타)

자료: 연구진 촬영(2018. 5)

〈표 4-12〉 전복 해상가두리 양식장 시설물 사용량

기자재 종류	재질	단위 규격	단위 무게 (kg)	내구 연수 (년)	단위 사용량 (/칸)	칸당 무게 (kg/칸)	총 시설물 무게 (ton)
가두리본체	PE	2.4m×2.4m	-	10	1.0ea	81.46	57,809
-파이프	PE	140mm	4.75	10	14.1m	66.98	47,530
-발판	PE	450mm	1.5	10	7.1m	10.58	7,505
-연결파이프	PE	80mm, 1.5m	3.03	10	0.5m	1.52	1,075
-연결볼트너트 등	쇠	칸 연결 부위	0.435	10	5.5kg	2.39	1,699
하부틀	PP	2.2m×2.2m	19.0	10	1ea	19.0	13,484
고정틀	PP	0.5m×2.15m	2.3	10	2ea	4.60	3,264
고정줄	나일론	8mm	0.039	5	11.2m	0.43	308
가두리 닻	콘크리트	0.5~10 ton	-	10	0.2ea	-	-
로프-닻줄	PP	30mm	0.426	2	12.0m	5.11	3,628
가두리 그물	PP	2.2×2.2×2.5	17.0	3	1ea	17.0	12,064
전복집(셸타)- 치패	복합	2.1×9.4×2.7	2.04	10	14ea	28.56	20,268
전복집(셸타)- 중패 및 성패	복합	5.0×9.1×2.4	3.24	10	3.0ea	9.72	6,898
부자	피복형 스티로폼	200~300L	2.91	10	4.7ea	13.53	9,603
부자 피복	합성수지	200L용	0.445	5	4.7ea	2.07	1,470
로프-부자연결	PP	7.2mm	0.031	5	69.8m	2.16	1,534
소계						183.65	130,331

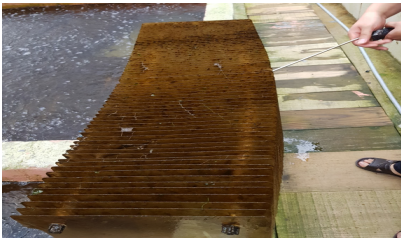
(2) 전복 종묘 양식장

전복 치패 양식장의 주요 기자재는 전복치패가 부착하여 성장하는 파판과 치패전용 전복집(셸타)이다. 파판은 PET 재질로 약 30×30cm 크기의 투명한 판이며 전복 치패가 부착하여 성장하는 곳이다. 파판의 연간 사용량은 9,219톤에 달한다. 치패전용 전복집(셸타)는 내구 연수가 7년 정도로 연간 사용량은 2,569톤에 달한다.

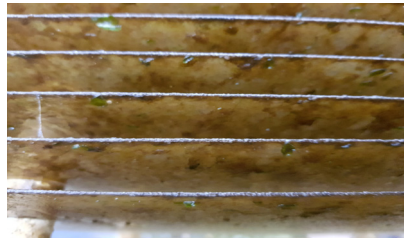
〈표 4-13〉 전복 종묘 양식장 시설물 사용량

기자재 종류	재질	단위 규격	단위 무게 (kg)	내구 연수 (년)	단위면적당 사용량 (개/㎡)	단위면적당 사용량 (kg/㎡)	총 사용량 (ton)
파판	PET	30×30cm	0.103	4	155.8	16.10	9,219
셀타 (치패용)	PP	6.2*9.5*1.1cm	3.455	7	1.3	4.49	2,569
소계						20.59	11,788

〈그림 4-10〉 전복 종묘 양식장 시설물



파판



전복 치패 부착



새 파판



전복집(셀타)

자료: 연구진 촬영(2018. 5)

4. 완도군 품목별 양식장 시설물 폐기물 발생량 및 처리 실태 분석

1) 김 양식장

지주식 김 양식장에서 발생하는 폐기물의 연간 총량은 225톤으로

산정되었다. 부죽과 항목 폐기물은 태풍의 영향을 받아 파손되는 경우를 제외하고는 연간 20% 정도 발생하는 것으로 조사되었다. 망(김발)은 2년 정도 사용하다가 노후로 인해 교체하며 발생량은 연간 50%에 달한다. 발생된 폐기물은 대부분 군에서 시행하는 쓰레기 수거사업에 의해 수거되고 있다. 해상 유실·투기나 육상 보관 중 유실·투기는 없는 것으로 나타났다.

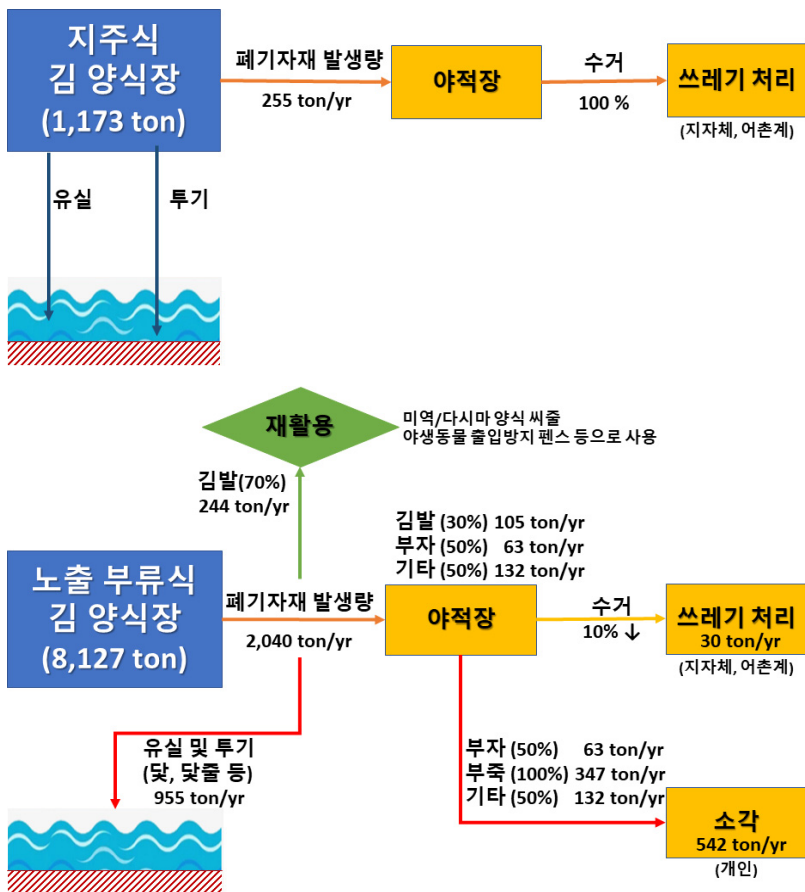
〈표 4-14〉 김 양식장 폐기물 발생량 및 처리율

방법	기자재 종류	폐기자재			폐기 원인(%)			처리율(%)				
		발생률 (%)	발생량 (kg/척)	총 발생량 (ton/yr)	노후/ 파손	유실/ 투기	기타	쓰레기 수거	재활용/ 판매	유실/ 투기	소각	방치
지주식	부죽	20	4.37	41	100	-	-	100	-	-	-	-
	로프	20	1.95	18	100	-	-	100	-	-	-	-
	망(김발)	50	3.52	33	100	-	-	100	-	-	-	-
	항목 (지지대)	20	17.16	162	100	-	-	100	-	-	-	-
	소계		27.00	255	-			-				
노출부류식	망(김발)	50	4.11	349	100	-	-	-	70	-	-	30
	부죽	14	4.09	347	100	-	-	-	-	-	100	-
	로프-부자 고정	14	0.55	47	100	-	-	-	-	100	-	-
	부자 망-소	20	1.49	128	100	-	-	-	-	-	50	50
	나일론 줄	20	0.01		100	-	-	-	-	-	50	50
	부자-대	20	2.91	262	100	-	-	-	-	-	50	50
	돛	33	6.67	566	-	100	-	-	-	100	-	-
	로프-돛줄	33	4.03	342	-	100	-	-	-	100	-	-
	소계		24.05	2,040	-			-				

노출 부류식 김 양식장에서 발생하는 폐기물의 연간 총량은 2,040 톤으로 산정되었다. 망(김발)의 폐기물 발생률은 연간 50%, 교체 주기는 2년으로 조사되었다. 발생된 폐망(김발)의 70%는 미역이나 다시마 씨줄 등으로 재활용하고 30%는 방치되고 있는 것으로 나타났다.

다. 부죽과 부자 고정용 로프의 폐기물 발생률은 연간 14%로 부죽은 대부분 개인소각하고, 로프는 유실되거나 교체 중 투기되는 것으로 조사되었다. 닻과 닻줄의 폐기물 발생률은 연간 33%에 이르며 전량 해상에 유실·투기되는 것으로 조사되었다.

〈그림 4-11〉 김 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도



자료: (주)해양기술ENG 작성

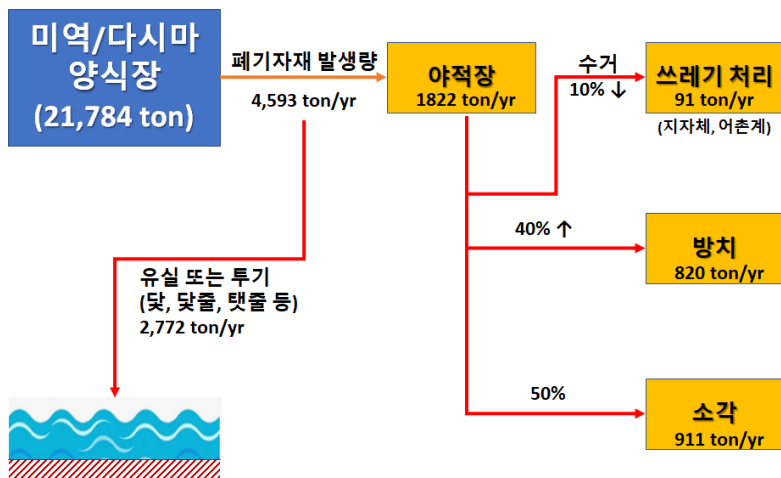
2) 미역(다시마) 양식장

연승식 미역(다시마) 양식장에서 발생하는 폐기물의 연간 총량은 4,593톤으로 산정되었다. 로프의 폐기물 발생률은 20%로 노후와 파손에 의해 발생하는 것으로 나타났다. 페로프는 어촌계에서 지정하는 야적장에 방치하거나 개인적으로 소각하여 처리하는 것으로 조사되었다. 닻과 닻줄, 탯줄, 침자 등은 전량 해양에 유실/투기되는 것으로 나타났는데, 다른 기자재에 비해 무게가 상대적으로 많이 나가고 수중이나 해저에 고정되어 있어 교체시기에 해상에 유실/투기하는 것으로 판단된다.

〈표 4-15〉 미역(다시마) 양식장 폐기물 발생량 및 처리율

기자재 종류	폐기자재			폐기 원인(%)			처리율(%)				
	발생률 (%)	발생량 (kg/줄)	총 발생량 (ton/yr)	노후/ 파손	유실/ 투기	기타	쓰레기 수거	재활용/ 판매	유실/ 투기	소각	방치
로프- 친승줄	20	1.65	559	100	-	-	10	-		50	40
로프- 지승줄	100	0.37	126	100	-	-	10	-		50	40
중사줄	100	0.40	136	100			10			50	40
로프- 닻줄	20	4.31	1,465	100	-	-	-	-	100		
로프- 간선줄	20	0.31	105	100	-	-	10	-		50	40
로프- 탯줄	20	0.12	42	100	-	-	-	-	100		
침자	20	1.32	448		-	-	-	-	100		
부자-대	20	0.95	323	100	-	-	10	-		50	40
부자-소	20	0.59	201	100	-	-	10	-		50	40
부자-닻	20	1.09	372	100	-	-	10	-		50	40
닻	20	2.40	816	100	-	-	-	-	100		
소계		13.51	4,593	-			-				

〈그림 4-12〉 미역(다시마) 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도



자료: (주)해양기술ENG 작성

3) 전복 양식장

(1) 전복 해상가두리 양식장

전복 해상가두리 양식장에서 발생하는 폐기물의 연간 총량은 16,119톤으로 산정되었다. 전복 해상 가두리 양식장의 기자재 중 본체는 태풍으로 파손되지 않는 한 반영구적으로 사용가능하나 10년 정도 지난 후에 노후로 인해 교체하는 곳이 있어 발생률 산정에 이를 반영하였다. 폐본체⁸²⁾는 제조업체 또는 재활용업체가 대부분 수거하여 처리하고 있다. 하부틀과 고정틀의 폐기물 발생률은 10%, 고정줄(로프)은 20%로 조사되었다. 돛줄은 햇빛에 노출되는 10m 정도만 2년마다 교체하며 돛줄 전체의 내구성이 떨어지면 해양에 투기하는

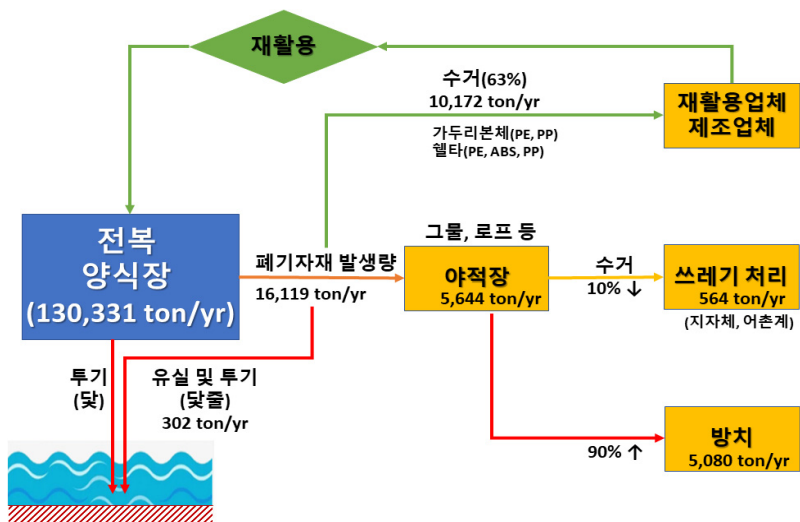
82) 완도군 A업체는 자사의 폐본체(PE, ABS, PP 재질 등)를 어민이 수거해 올 경우, 사후서비스를 통해 수리해 주거나 보상판매 등을 통해 어민의 수거율과 기자재의 재활용을 높이고 있음.

것으로 조사되었다. 전복집(셸타)는 10년 정도의 내구성을 가지며 연간 폐기물발생률은 10%로 조사되었으며, 재활용업체가 수거하여 처리하고 있다.

〈표 4-16〉 전복 해상가두리 양식장 폐기물 발생 및 처리율

기자재 종류	폐기자재			폐기 원인(%)			처리율(%)				
	발생률 (%)	발생량 (kg/줄)	총 발생량 (ton/yr)	노후/ 파손	유실/ 투기	기타	쓰레기 수거	재활용/ 판매	유실/ 투기	소각	방치
가두리본체 -파이프 -발판 -속관 -연결(볼트 등)	10	8.15 6.70 1.06 0.15 0.24	5,781 4,753 750 108 170	100	-	-	-	100	-	-	-
하부틀	10	1.90	1,348	100	-	-	-	100	-	-	-
고정틀	10	0.46	326	100	-	-	-	100	-	-	-
고정줄	20	0.09	62	100	-	-	10	-	-	-	90
가두리 닻	-	-	-	-	-	100	-	-	100	-	-
로프-닻줄	8	0.43	302	100	-	-	-	-	100	-	-
가두리 그물	33	5.67	4,021	100	-	-	10	-	-	-	90
전복집(셸타)- 치패	10	2.86	2,027	100	-	-	-	100	-	-	-
전복집(셸타)- 중패 및 성패	10	0.97	690	100	-	-	-	100	-	-	-
부자	10	1.35	960	100	-	-	10	-	-	-	90
부자 피복	20	0.41	294	100	-	-	10	-	-	-	90
로프- 부자연결	20	0.43	307	100	-	-	10	-	-	-	90
소계		22.71	16,119	-			-				

〈그림 4-13〉 전복 해상가두리 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도



자료: (주)해양기술ENG 작성

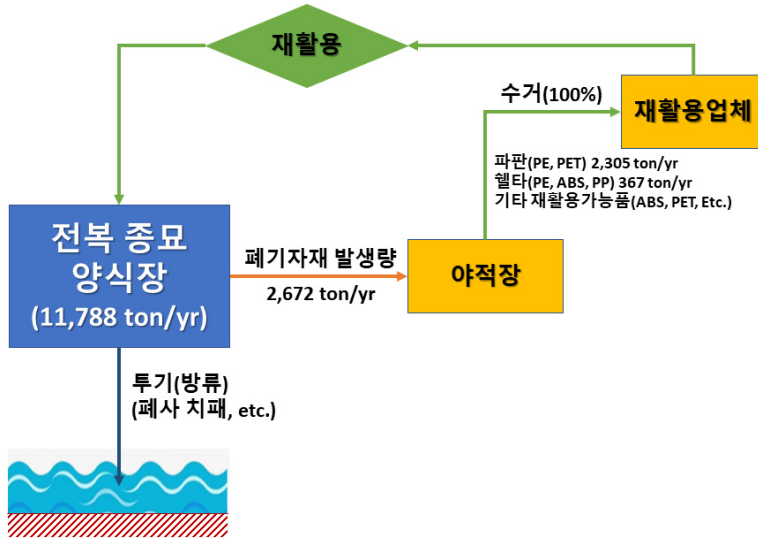
(2) 전복 종묘 양식장

전복 종묘 양식장에서 발생하는 폐기물의 연간 총량은 2,672톤으로 산정되었다. 발생한 폐기물은 재활용업체(고물상)에서 전량 수거하고 있다. 양성과정에서 폐사된 종묘는 바다에 버려지고 있으나 양은 파악되지 못했다.

〈표 4-17〉 전복 종묘 양식장 폐기물 발생량 및 처리율

기자재 종류	폐기자재			폐기 원인(%)			처리율(%)				
	발생률 (%)	발생량 (kg/m ²)	총발생량 (ton/yr)	노후/ 파손	유실/ 투기	기타	쓰레기 수거	재활용/ 판매	유실/ 투기	소각	방치
파판	25	4.03	2,305	100		-	-	100	-	-	-
헬타 (치패용)	14	0.64	367	100		-	-	100	-	-	-
소계		4.67	2,672	-			-				

〈그림 4-14〉 전복 종묘 양식장 폐기물 발생 및 처리 모식도



자료: (주)해양기술ENG 작성

4) 완도군 양식장 폐기물 발생량 및 처리량 종합

완도군 내 김, 미역/다시마, 전복 양식장의 연간 폐기물 발생량은 25,679톤에 달하는 것으로 분석되었다. 지주식 김 양식장의 연간 폐기물 발생량은 255톤(1.0%), 노출 부류식 김 양식장은 2,040톤(7.9%)에 달한다. 미역/다시마 양식장의 연간 폐기물 발생량은 4,593톤으로 전체의 17.9%를 차지하고 있다. 전복 해사가두리 양식장의 연간 폐기물 발생량은 16,119톤으로 가장 높은 62.8%를 차지하고 있다. 전복 종묘 양식장의 연간 폐기물 발생량은 2,672톤(10.4%)에 이른다.

〈표 4-18〉 완도군 양식장 폐기물 발생량

양식업		시설량	양식장 폐기물 발생량		
			단위시설당 발생량 (kg/단위시설)	총 발생량 (ton/yr)	비율 (%)
김	지주식	94,274책	27.00	255	1.0
	노출 부류식		24.05	2,040	7.9
미역/다시마	연승식	339,732줄	13.52	4,593	17.9
전복	해상 가두리식	709,668칸	22.71	16,119	62.8
전복종묘	육상 수조식	572,499㎡	4.67	2,672	10.4
합계				25,679	100.0

발생된 폐기물은 무게가 나가거나 수거가 어려운 닻 등을 제외하고 모두 어민에 의해 수거되어 어촌계가 지정하는 야적장에 방치하거나 개인이 처리(소각)하고 있다. 본 조사에 따르면 연간 완도군에서 발생하는 양식장 폐기물 중 4,029톤(15.7%)은 바다에 유실 또는 투기되고 있고, 약 절반에 해당하는 13,088톤(51.0%)은 재활용 업체에 의해 수거되거나 판매되고 있다. 나머지 폐기물은 소각 1,453톤(5.7%), 지자체 등에 의한 쓰레기 처리량 940톤(3.7%)을 제외하고 연간 6,170톤(24.0%)이 육상에 방치되고 있는 실정이다.

〈표 4-19〉 완도군 양식장 폐기물 처리량

양식업		총 발생량 (ton/yr)	폐기물 처리량(ton/yr)				
			유실 및 투기	재활용 및 판매	소각	방치	쓰레기 처리
김	지주식	255	-	-	-	-	255
	노출 부류식	2,040	955	244	542	270	30
미역/다시마	연승식	4,593	2,772	-	911	820	91
전복	해상 가두리식	16,119	302	10,172	-	5,080	564
전복종묘	육상 수조식	2,672	-	2,672	-	-	-
합계		25,679	4,029	13,088	1,453	6,170	940
비율(%)		100.0	15.7	51.0	5.7	24.0	3.6

〈그림 4-15〉 방치 및 폐기된 양식장 폐기물



노후되어 방치된 닻



파손/노후되어 방치된 전복집(셸타)



투기 및 방치된 시설물



전복 패각



방치된 전복집(셸타)



폐기된 양식장 고정틀과 김 양식시설

자료: 연구진 촬영(2018. 5)

제2절 양식장의 자원순환 모델

1. 자원순환 개념 및 순환 체계

「폐기물관리법」 제2조에서 정의한 폐기물은 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리 및 동물의 사체 등 사람의 생활이나 사업활동

에 필요하지 않게 된 물질을 의미한다. 2018년에 시행된 「자원순환기본법」에서는 폐기물 중에서 일부를 ‘순환자원’으로 인정하고 다른 프로세스로 처리하도록 하였다. 순환자원이란 고철이나 폐지 등 동일 원료로 직접 사용이 가능한 폐기물을 의미하며, 운반이나 사용에 있어서 「폐기물관리법」의 규제를 받지 않는다. 즉 「폐기물관리법」의 규정에 따라 처리되는 폐기물은 제2조에서 정의한 폐기물에서 순환자원을 제외한 것이다.

본 절에서는 용어의 혼돈을 줄이기 위해서 「폐기물관리법」 제2조에서 정의한 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 않게 된 물질을 광의의 폐기물로 ‘폐자원’이라 명명하고, 폐자원에서 순환자원을 제외한 것으로 「폐기물관리법」에 의거하여 처리되는 것을 협의의 ‘폐기물’로 명명하고자 한다.

〈표 4-20〉 폐기물, 순환자원, 폐자원 비교

용어	정의
폐자원	본 보고서에서 폐자원이란 「폐기물관리법」 제2조에서 정의한 폐기물인 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리 및 동물의 사체 등으로 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 않게 된 물질
순환자원	「자원순환기본법」에서는 폐기물 중에서 사람의 건강과 환경에 유해하지 않고, 경제성이 있어 유상거래가 가능하며, 방치될 우려가 없으며, 그 밖의 기준을 충족하는 폐기물이 아닌 물질 또는 물건 - 순환자원으로 천연자원을 대체할 수 있는 물질
폐기물	본 보고서에서는 폐자원(「폐기물관리법」 제2조에서 정의한 폐기물) 중에서 순환자원을 제외한 협의의 폐기물로 「폐기물관리법」 상에서 폐기물 처리 규정에 따라 처리되는 물질

자료: 「폐기물관리법」, 「자원순환기본법」을 토대로 연구진 작성

「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」, 「자원순환기본법」에 근거한 ‘자원재활용기본계획’, ‘자원순환기본계획’에서는 ‘자원순환’, ‘물

질순환’, ‘자원순환사회’, ‘순환경제’ 등의 용어가 사용된다. 자원순환은 경제사회를 기본 구조로 천연자원, 제품을 대상으로 하지만 물질순환은 자연계 내에 속하는 대기, 토지를 포함하는 물질을 대상으로 한다는 차이가 있다. 두 개념 모두 자원이나 물질은 다시 경제사회 혹은 자연계로 되돌리고, 유해한 물질의 발생 혹은 영향은 최소화시킨다는 점에서 일맥상통한다.

〈표 4-21〉 자원순환 및 자원순환 사회 개념 비교

용어	개념
자원순환	• 폐기물의 발생을 억제하고 발생된 폐기물을 적정하게 재활용 또는 처리하는 등 자원의 순환과정을 친환경적으로 이용 및 관리하는 것
물질순환	• ‘물질순환’은 천연자원, 생산과정에서 추가되는 물질, 생산·소비 이후에 발생하는 부산물 및 폐기물을 다시 생산·소비 과정 속으로 투입하여 물질을 지속적으로 이용하는 것 • 이때 ‘물질’은 재료, 재생가능 자원, 재생불가능 자원, 제품·대기·토양·수질에서 발생하는 폐기물, 오염물질 등에서 추출·생산·사용 후에 발생하는 모든 잔여물을 포함
순환경제	• 한정된 천연자원을 적게 사용하면서 지속가능한 성장을 이루고 환경 영향을 최소화하는 것을 목표로 폐기물을 매립, 소각 대신 재활용(에너지 회수 포함)을 통해 환류시키는 경제 구조
자원순환 사회	• 사람의 생활이나 산업활동에서 사회 구성원이 함께 노력하여 폐기물의 발생을 억제하고, 발생된 폐기물을 물질적으로 또는 에너지로 최대한 이용함으로써 천연자원의 사용을 최소화하는 사회

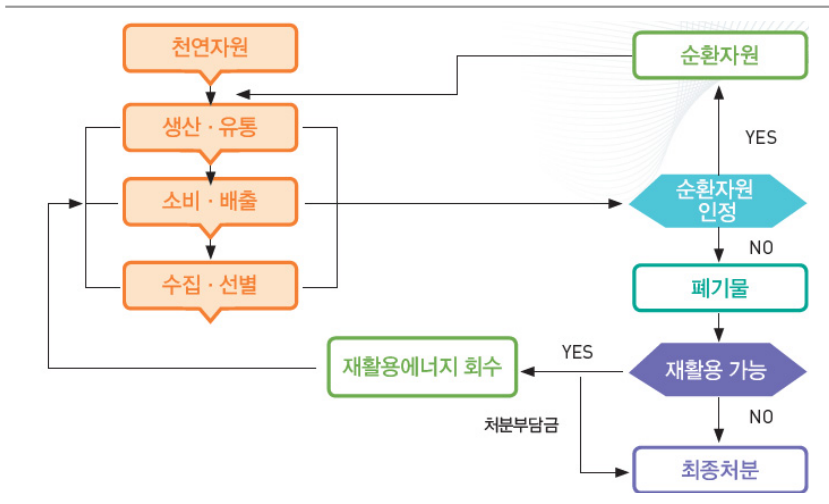
자료: 제4차 자원재활용 기본계획, 제1차 자원순환기본계획, 「폐기물관리법」, 「자원순환기본법」을 토대로 연구진이 작성

‘순환경제(Circular Economy)’는 유럽연합 집행위원회가 2017년 1월에 ‘순환경제 패키지(Circular Economy Package)’를 채택하면서 최근 많이 사용되는 용어이다. 이는 ‘생산-소비-폐기’라는 기존의 선형적 경제구조와 대비되는 생산, 소비, 폐기(재활용) 전 과정에서 환경 영향을 고려할 뿐만 아니라 자원을 폐기하지 않고 경제시스템으

로 환류시키는 순환형 경제를 의미한다. 이는 「자원순환기본법」에서 정의하는 ‘자원순환사회’와 매우 유사하다. 자원순환사회는 폐기물의 발생을 억제하여 환경 영향을 최소화하며, 폐기물을 재활용하거나 에너지로 회수하여 다시 경제시스템으로 환원시켜 천연자원의 사용을 최소화하는 경제를 말한다.

즉, 자원순화사회, 혹은 순환경제는 첫째, 재생불가능한(nonrenewable) 자원 및 에너지의 사용을 최소화하고, 둘째, 생산·소비·유통·폐기 전 과정에서 폐기물의 발생을 억제하며, 셋째, 발생한 폐기물을 재활용하거나 에너지로 회수하는 시스템을 갖추어야 한다.

〈그림 4-16〉 자원의 선순환체계



자료: 환경부(2015), p. 24

자원순환사회에 대한 이해는 환경부에서 제시한 ‘자원의 선순환체계’를 통해 보다 명확히 할 수 있다. 제품 생산에 투입되는 천연자원은 제품 및 포장재의 디자인이나 원료를 변경하거나 생산 및 유통 기

술을 개발하여 줄일 수도 있고, 순환자원을 투입함으로써 줄일 수 있다. 그리고 ‘생산·유통·소비·배출·수집·선별’ 시스템의 개선을 통해서 폐기물 발생을 억제할 수 있다. 일단 발생한 폐기물은 재활용하거나 에너지를 회수하여 ‘생산·유통·소비·배출·수집·선별’ 시스템에 재투입할 수 있다. 이러한 시스템을 갖춘 자원순환사회는 그렇지 않은 경우에 비해서 단순 소각 혹은 매립으로 최종 처분하는 폐기물의 양을 획기적으로 줄일 수 있다.⁸³⁾

2. 양식장의 자원 순환 흐름과 모델

1) 양식장 폐기물 처리 개선 방향

‘폐기물 시장’과 폐기물을 재활용한 ‘재생자원 시장’의 관점에서 양식장 쓰레기 처리를 생각해 볼 수 있다. 재생자원을 ‘생산물’이라 하면 재생자원의 원료가 되는 양식장 쓰레기는 ‘생산요소’가 되며, 생산요소인 양식장 쓰레기의 수요는 생산물인 폐자원의 수요에 의해 유도되는 파생수요이다. 쓰레기의 공급자는 어업인이며, ‘생산요소 시장’은 어업인이 쓰레기를 배출하면, 이를 수거 및 처리하는 폐기물 처리업체에 의해서 형성된다. 폐기물 처리업체는 ‘생산물 시장’에서는 재생자원 공급자이고, 이를 구매하는 소비자에 의해 ‘생산물 시장’이 형성된다. 이 경우 ‘생산물’인 재생자원의 수요가 없으면, 폐기물처리업체는 수익성이 없기 때문에 쓰레기를 수거 및 처리하지 않는다. 최근에 있었던 중국발 쓰레기 대란에서 이러한 프로세스를 확

83) 환경부는 소각 혹은 매립을 억제하고 재활용을 촉진하기 위해서 소각 또는 매립으로 처리하는 폐기물에는 ‘폐기물처분부담금’을 부과 및 징수함.

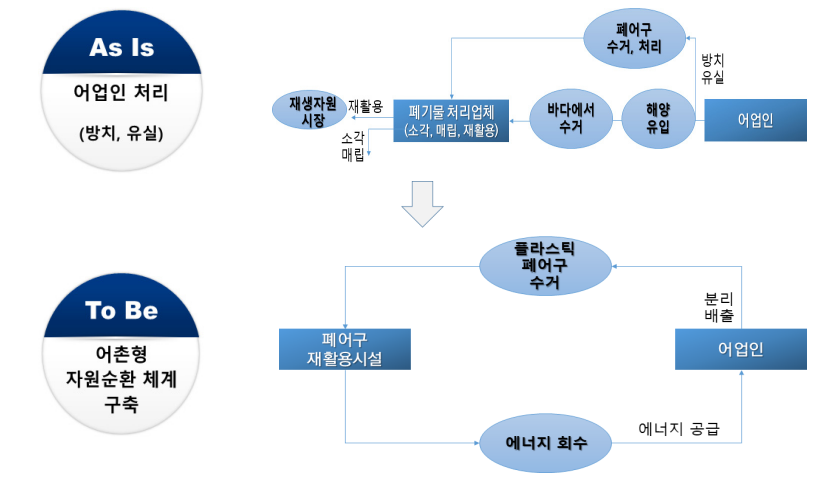
인할 수 있다. 중국의 폐플라스틱 수입 금지는 폐자원 시장의 수요 감소를 의미하며, 생산물인 폐자원의 수요 감소가 원료가 되는 폐플라스틱 쓰레기의 수요 감소로 이어졌으나, 가정에서 배출되는 폐플라스틱은 줄지 않기 때문에 처리하지 못한 쓰레기가 쌓이게 된 것이다.

이를 해결하는 방법은 생산물 시장의 수요를 확대하거나, 생산요소 시장에서 공급을 줄이는 것이다. 후자는 당연히 쓰레기를 덜 버리는 것을 의미한다. 즉 바다에서 자연적으로 분해되는 ‘생분해성 어구 보급’이나 사용 연수가 보다 긴 ‘친환경 부표 보급’사업 등이 이에 해당한다. 전자는 국내외로 양식장 쓰레기를 재활용한 재생자원의 수요를 확대하는 것이다. 전 세계적으로 환경보전에 대한 의식이 고취되면서 수출에 의존한 쓰레기 처리는 한계가 있으므로, 결국 쓰레기 발생량을 줄이는 노력과 함께 자국 내에 재생자원의 수요 확대 및 재활용 시장의 활성화가 장기적인 해결방안이다. 앞서 살펴본 사례는 유럽, 미국, 일본의 이러한 정책 방향을 보여주는 것이다.

현재 양식장에서 발생하는 밧줄, 그물 망, 노끈, 부표 등의 플라스틱 쓰레기는 어업인이 육상에 방치한 것으로 고물상 등의 폐기물처리업자가 수거하여 처리하거나, 바다에 유실된 후 수거하여 대부분 소각, 매립되고, 부표 등 일부 쓰레기는 재활용된다. 이 과정에서 해양생물의 섭식 피해, 경제성 어종의 폐사, 운항 장애, 경관 훼손 등의 피해가 발생할 수 있고, 이러한 피해를 최소화하기 위해 바다에서 수거하는 데 비용이 소요된다.

본 연구에서는 어업인이 분비 배출한 플라스틱 폐어구에서 에너지를 회수하여 지역 주민에게 돌려주는 어촌형 자원순환 체계의 구축을 제시하고자 한다. 이는 비용이 효과적이고 해양환경에 친환경적이며, 어업인에게 경제적 이득을 줄 수 있어 1석 3조의 방법이 될 것이다.

〈그림 4-17〉 양식장 플라스틱 폐기물 처리 정책 개선 방향



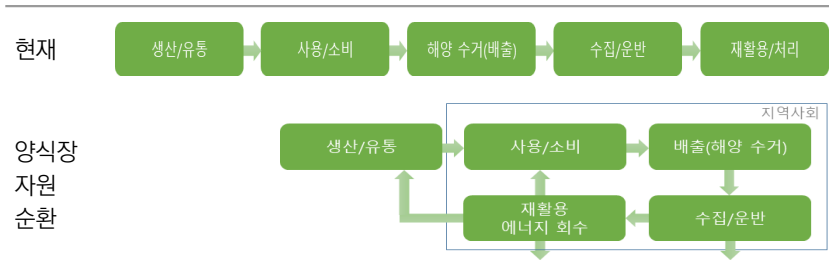
자료: 연구진 작성

2) 양식장의 자원순환 흐름

본 연구에서 다루고자 하는 순환은 양식장에서 발생한 폐기물을 양식장 기자재 산업이 아닌 지역사회로의 순환이다. 지역사회로의 순환이 어업인의 참여를 높여 자원순환 시스템을 성공적으로 구축하는 데 유리하다. 그 이유는 첫째, 자원순환의 혜택을 어촌 지역주민에게 되돌려줌으로써 양식장 쓰레기를 적절히 관리 및 배출한 어업인에게 경제적 보상을 줄 수 있다. 이는 어업인에게 환경친화적 행동의 실천의지를 갖게 하고 바람직한 폐기물 관리관행의 정착을 돕는 효과적인 동기가 될 것이다. 둘째, 어업인의 바람직한 폐기물 관리관행은 방치 혹은 부절적인 관리로 해양으로 유입되는 해양기인 폐기물량을 줄이기 때문에 해양환경 보전에 효과적이다. 셋째, 비용 측면에서도 양식장 폐기물의 자원순환이 필요하다. 양식장은 국토 말단에 위치하여 이동비용이 많이 소요될 뿐만 아니라, 이동 및 보관

시간이 길어지면 염분 및 해양생물 등으로 오염도가 심화되기 때문에 발생지역에서 (전)처리하는 것이 효과적이다.

〈그림 4-18〉 양식장 자원순환 흐름



자료: 연구진 작성

3) 양식장 자원순환 모델

양식장의 자원순환은 양식장에서 발생한 폐기물의 재활용 및 에너지 회수를 양식장에 위치한 지역사회에서 실행하거나 그 혜택을 지역주민에게 되돌리는 순환구조를 의미한다. 기존의 폐기된 어구 및 기자재를 해양 수거-운반-재활용·처리하는 선형구조를 폐자원을 지역사회로 순환시키는 구조로 성공적으로 바꾸기 위해서는 ‘배출’ 단계부터 바꾸어야 한다. 현재는 전문성을 갖춘 민간 및 공공기관에서 해양에 유입된 폐어구를 수거 후 민간 사업장폐기물처리업체⁸⁴⁾를 통해 위탁 처리한다. 이러한 처리 시스템은 해양쓰레기 수거 비용과 민간 사업장폐기물처리업체에 의한 운반·처리비용이 높기 때문에 지역사회로 자원순환의 혜택을 되돌려주기 어렵다. 따라서 양식장 자원순환은 바다에서 수거한 해양쓰레기가 아닌 어업인이 직접 육상 배출한 폐자원을 기반으로 구축한다.

84) 「폐기물관리법」상 바다에서 수거한 해양쓰레기는 지자체가 배출하는 사업장폐기물로 분류되며, 민간 사업장폐기물처리업체를 통해 위탁 처리할 경우 생활계폐기물에 비해 처리단가가 높다.

양식장의 자원순환은 개념적으로는 앞서 언급한 자원순환사회와 동일하다. 첫째, 재생불능자원 및 에너지(nonrenewable resource or energy)의 사용을 줄일 수 있어야 한다. 이를 위해서는 양식장에서 발생하는 폐자원 중에서 아래 표에 제시된 기준에 충족하는 고품질의 고철 등은 '순환자원 인정제도'⁸⁵⁾를 통해 적극적으로 자원화하여야 한다.

둘째, 양식장에서 발생하는 폐기물의 양을 줄일 수 있어야 한다. 사용 연수가 길거나 환경에 덜 유해한 보다 환경 친화적인 기자재의 사용을 장려하고, 해양환경이나 인체 및 수산물 건강성에 위해하지 않는 경우 재사용이나 다른 용도로 활용할 수 있도록 하여야 한다.

셋째, 순환자원이나 재사용이 안 되는 폐기물은 어업인이 적절한 방법으로 배출하도록 유도하여 재활용 및 에너지로 회수하는 시스템을 갖추어야 한다. 원활한 재활용 및 에너지 회수를 위해서는 염분이나 부착된 이물질을 분리하는 전처리 과정이 반드시 동반 설치되어야 한다. 회수된 에너지는 앞서 살펴본 미국 및 일본의 사례와 같이 지역주민에게 되돌려 주어야 한다. 양식장 폐기물을 재활용하여 생산한 제품이나 원료는 지역주민에게 무상 혹은 저렴한 가격으로 판매하여 지역에 혜택이 돌아가야 한다. 그리고 재활용 가능한 폐기물을 제공한 어업인에게는 재활용 제품 및 원료의 경제적 가치에 상응

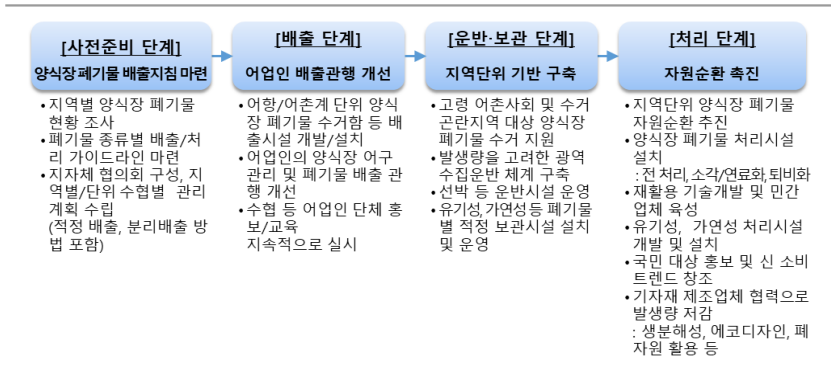
85) 순환자원으로 인정받은 폐기물은 「자원순환기본법」 제9조에 근거하여 폐기물로 보지 않기 때문에 「폐기물관리법」의 배출, 운반, 보관, 처리, 사용 규정에 적용을 받지 않고 유통 및 사용할 수 있다. 그리고 순환자원을 이용한 제품 생산 역시 「폐기물관리법」에 따른 인·허가 없이 사업을 영위할 수 있다.

순환자원의 인정 기준	주요 순환자원
• 사람의 건강과 환경에 유해하지 않을 것 • 경제성이 있어 유상 거래가 가능하고 방치될 우려가 없을 것 • 고체상태, 혼합되지 않고 이물질 없을 것, 직접 제품의 원료 및 재료로 사용 가능한 것, 직접 사용하려는 자에게 공급될 것 등	폐금속, 폐합성수지류, 폐지류, 폐유리류, 폐의류, 폐원단조각, 식물성잔재물 등

하는 수준의 경제적 보상을 지불하여 어업인이 그 혜택을 누리도록 하여야 한다. 전자는 폐각 비료를 생산 및 판매하는 일본사례를, 후자는 노르웨이의 폐어망 회수 및 재활용 사례에 해당한다.

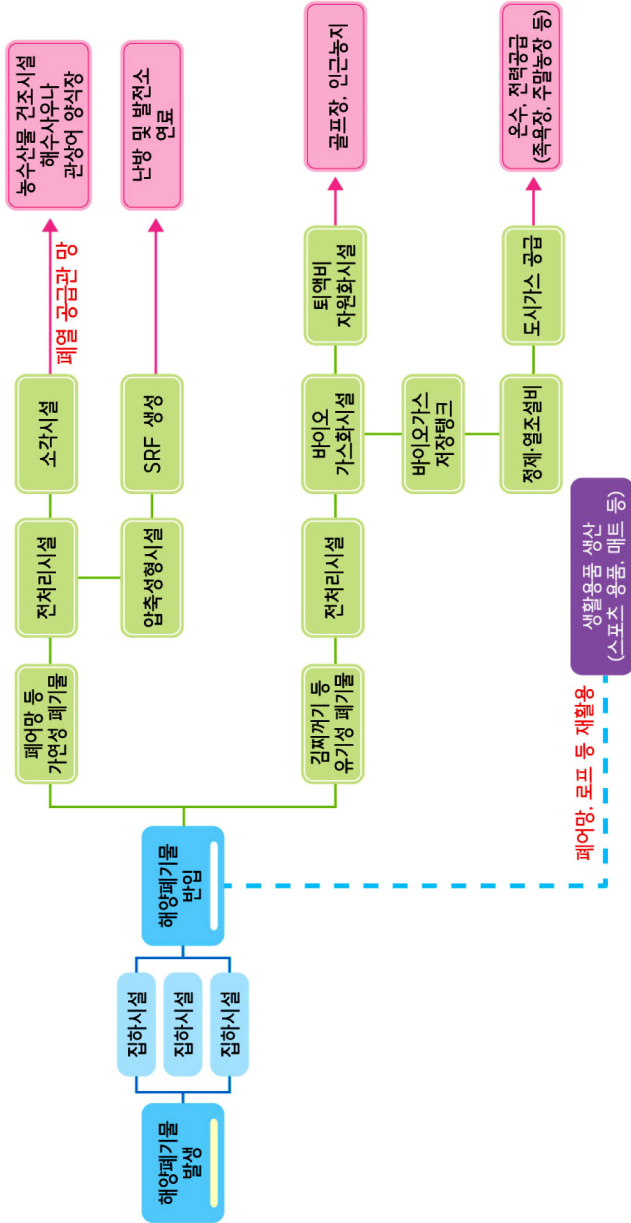
양식장 자원순환 모델을 성공적으로 정착시키기 위해 단계별로 필요한 사항을 정리하면 아래 그림과 같다. 먼저 지역별 혹은 단위 수협별로 발생 폐기물을 조사하여 배출에서 처리까지 관리지침을 마련하고, 지역별 수거처리 현황을 고려한 중장기 계획을 수립한다. 배출 단계에서는 어업인의 배출관행을 개선하기 위해 양식 현장에 적합한 배출시설을 개발 및 설치하고, 배출 방법을 홍보 및 교육하여야 한다. 양식장 폐기물을 재활용하거나 폐자원화하기 위해서는 적정량을 적정시기에 공급할 수 있어야 한다. 이를 위한 냉동, 냉장, 건조 등 폐기물 종류 혹은 자원순환 방법과 발생량에 따른 광역단위 운반 및 보관시설이 필요하다. 마지막으로 전처리, 소각 및 연료화, 퇴비화 등 재활용 기술개발 및 시설 설치가 필요하고, 어구 및 기자재 제조업체와 협력하여 폐기물 발생 저감형 원료와 디자인을 개발하고, 재생 제품의 소비시장을 창출하여야 한다.

〈그림 4-19〉 양식장 폐기물의 자원순환을 위한 단계별 가이드



자료: 연구진 작성

〈그림 4-20〉 양식장 자원순환 모식도



자료: 연구진 작성

제3절 양식장 자원순환 적용 기술⁸⁶⁾

1. 폐기물 재활용 유형

폐기물의 종류별 재활용 유형은 「폐기물관리법」에서 규정하고 있다. 육상폐기물의 재활용 유형은 재사용, 유용자원 회수, 특정 제품 및 제품의 원료로 제조, 대규모 성토재, 채움재, 복토재 등으로 이용, 열에너지 등으로 다양하게 구분할 수 있다. 이 법에서는 ‘R(Recycling)-1부터 R-10’까지로 재활용 유형을 분류하고 있다. R-1은 원형 그대로 또는 원형 그대로 수리·수선하여 재사용하는 유형으로 폐기물의 재활용 이전 및 이후가 물리·화학·생물학적 성상의 변화 없이 원형 그대로 유지되어 다시 그대로 사용하는 유형을 나타낸다. 물리·화학·생물학적 성상변화가 없어야 한다는 것은 일정한 형태를 띠고 있는 폐기물을 별도의 추가적인 가공 없이 그대로 다시 사용하는 것을 의미한다. R-2는 단순 수리·수선, 세척을 통해 재사용하는 유형을 나타낸다. 폐기물의 원형이 유지된 상태에서 재사용하는 활동을 전제한다는 점은 R-1 유형과 동일하나, 폐기물을 재사용 목적에 부합하도록 본래의 기능을 재생시키기 위한 수리나 수선 및 이물질 등의 제거를 위한 세척 행위 등 단순한 물리적 처리가 필요한 경우가 본 유형에 해당한다.

R-3는 재생 이용할 수 있는 상태로 만드는 유형을 나타내며 유용물질의 회수(순도와 회수율에 의존적임)와 제품에 필요한 원료물질(제품별 원료의 품질에 의존적임)의 제조 등 2가지로 구분된다. 아래의 네 가지가 대표적인 유형에 속한다.

86) 이 부분은 국립환경과학원 엄남일 박사의 원고 자문(2018년 9월)을 토대로 연구진이 작성하였음.

- ① 단순 해체, 분리, 파쇄, 선별 등의 공정을 통해 폐기물에서 금속 또는 비금속 자원을 회수
- ② 용융, 용해, 반응, 추출 등의 공정을 통해 폐기물에서 금속 또는 비금속 자원을 회수
- ③ 분리, 선별, 절단, 파쇄, 분쇄, 용융, 반응 등 공정을 통하여 폐기물을 종이, 금속, 유리, 합성수지 및 섬유, 고무제품의 원료물질로 제조
- ④ 분리, 선별, 절단, 파쇄, 분쇄, 용융, 반응 등의 공정을 통하여 폐기물을 종이, 금속, 유리, 합성수지 및 섬유, 고무제품 이외의 원료물질로 제조

R-4는 직접 재생 이용하는 유형으로 ① 철 또는 비철 등 금속성제품을 제조, ② 골재, 유리, 시멘트, 콘크리트 및 레미콘, 내화물, 요업제품 등 비금속 제품을 제조, ③ 펄프, 골판지, 봉투 등 각종 종이제품을 제조, ④ 재생 유기용제, 재생 윤활유 등 석유 정제물을 제조 등이다.

R-5는 유·무기물질을 농업의 생산에 기여할 목적으로 재활용하는 유형으로 비료(퇴비 포함)와 사료를 생산하는 유형을 나타내며, R-6은 유기물질을 토질개선의 목적으로 재활용하는 유형으로 토지 개량재, 녹화토 등으로 생산하는 유형을 나타낸다. R-4를 포함한 R-5와 R-6은 모두 폐기물을 원료로 하여 직접 재활용 제품을 제조하는 유형으로서 제품의 원료물질을 제조하는 유형인 R-3와는 구분된다. R-7은 성토재, 복토재, 매립시설 복토용도로 재활용하는 유형을 말한다. 말하자면 토양의 기능을 대체할 용도로 쓰이는 활동으로 다른 유형에 비해 비교적 큰 규모의 부지가 필요하며, 넓은 지역에서 직접적으로 토양, 지하수, 지표수, 해수 등과 장기적인 접촉을 하거나 접촉할 가능성이 높은 유형을 말한다.

R-8 또는 R-9는 에너지를 직접 회수하거나 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형을 말한다. R-8(직접적 회수유형)의 경우 시멘트 소성로의 보조연료로 사용하는 유형이거나 소각 열 회수시설을 통해 에너지 회수기준에 적합하게 에너지를 회수하는 유형이 이에 속한다. R-9(간접적 회수유형)의 경우는 정제·유화 등의 가공과정을 거쳐 액상·고상·기상 상태의 연료제품으로 제조하는 유형이다. R-10은 R-3부터 R-9까지의 재활용 유형에 따라 재활용하기 위한 중간 가공 폐기물을 만드는 유형이다.

〈표 4-22〉 폐기물의 용도별 재활용 유형

구분	유형	내용
R-1	원형 그대로 재사용(일정한 규격 용기에 넣거나 포장하여 재사용하는 자에게 제공하는 경우 포함)	재활용 과정에서 원형이 유지되는 것을 전제로 수리, 수선, 세척 가공 시에도 원형을 유지하여 본래의 기능으로 재사용하거나 본래와 다른 용도로 재사용하는 것을 의미
R-2	단순 수리·수선, 세척을 통해 재사용하는 유형	
R-3	재생 이용할 수 있는 상태로 만드는 유형	물리·화학적 공정을 거쳐 유용 자원을 회수하거나 원래의 용도 혹은 다른 용도로 재생하여 제품의 원료물질을 제조 또는 제품을 제조하는 활동
R-4	직접 재생 이용하는 유형	
R-5	유무기물질을 농업생산에 기여할 목적으로 재활용하는 유형	폐기물을 농작물 생육, 가축 사육 등 농업생산에 기여하거나, 토질을 개선하기 위해 재활용하는 활동
R-6	유기물질을 토질개선을 목적으로 재활용하는 유형	
R-7	성토재, 복토재, 매립시설 복토재 용도로 사용하는 유형	폐기물 또는 폐기물과 혼합한 물질이 토양, 지하수, 지표수 등과 직접적으로 접촉할 가능성이 높고 토양의 기능을 대체하거나 개선할 용도로 재활용하는 활동
R-8	에너지를 직접 회수하는 유형	폐기물을 가공하여 에너지 생산을 위해 직접 열원으로 회수하거나 가공하여 회수할 수 있는 상태의 연료를 만드는 활동
R-9	에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형	
R-10	R-3부터 R-9까지의 중간 가공 폐기물을 만드는 유형	

자료: 연구진 작성

2. 양식장 자원순환 적용 기술

양식장 폐기물의 대체 자원화를 위해서는 적절한 처리 방법이 필요하다. 일반적으로 폐기물의 처리 방법은 크게 물리적 처리기술, 화학적 처리기술, 생물학적 처리기술로 구분된다. 화학적 처리기술과 생물학적 처리기술은 가연성 및 유기성 폐자원 에너지 기술이 해당되며, 물리적 처리기술은 세 가지 처리기술 중 가장 기본이 되는 부분으로 다른 처리기술에 비해 장비 및 운영적인 측면에서 매우 단순하다. 또한, 세 가지 처리기술 중 가장 우선시 되어야 하며 화학적·생물학적 처리기술의 효율을 높이기 위해 전처리의 개념으로 물리적 처리를 이용할 수 도 있다. 물리적 처리기술에는 입도크기 분석, 파·분쇄, 중력선별, 비중선별, 부유선별, 자력선별 등이 포함되어 있다

1) 물리적 처리기술

물리적 처리기술은 처리 공정 중 가장 기본이 되는 사항이며, 양식장 폐기물을 재활용하기 위한 전처리 과정이라고 생각할 수 있다. 따라서 특정한 재활용 유형이 아닌 이상 물리적 처리기술 한 가지만 가지고 재활용을 진행할 수 없으며 최종 처리공정으로도 활용하기는 쉽지 않다. 물리적 처리기술은 비교적 그 원리가 단순하다. 외부의 힘을 이용한 분리의 원리를 이용한다. 예를 들어 중력, 전기·자기력, 마찰력 등의 물리적 힘을 이용하여 그 차이에 의해 선별할 수 있다. 따라서 고 순도의 분리·선별을 높이기 위한 기술로는 무리가 있다. 가장 큰 장점은 빠른 시간에 처리가 가능하며 비교적 많은 용량을 동시에 처리할 수 있다. 또한, 물리적 처리 중 화학적 처리나 생물학적 처리를 응용할 수도 있다. 따라서 목적 폐기물에 대한 특성을 파악하

고 재활용의 용도 및 방법에 따라 물리적 선별 방법을 선택해야 한다. 일반적으로 전처리 없이 원형 그대로(R-1 유형) 사용될 수 있는 폐기물일 경우(로프, 닛줄, 그물 등)라도 쉽게 불순물 등으로 오염되거나 원형이 손상되는 등의 문제가 있기 때문에 단순 수리·수선(해체, 분리, 파쇄 등)이 필요한 전처리기술인 물리적 선별이 이용되어야 한다.

(1) 분쇄기술

분쇄는 폐기물을 10mm 이하 입도까지 파쇄하기 위한 공정(파쇄공정)과 파쇄되어 축적된 물질을 더욱 작게, 예컨대 100 μ m 이하로 분쇄하기 위한 공정으로 분리된다. 일반적으로 파쇄에 사용되는 장치는 파쇄기(crusher)라고 한다. 대표적인 파쇄기로는 Double-toggle 조크러셔가 있으며, 미분쇄 장치로는 Ball mill과 Rod mill이 널리 사용되고 있다.

(2) 체질과 분급

체질(Screening)과 분급(Classification)은 폐기물(분립체)을 입자크기에 따라 분리하는 데 사용된다. 체질과 분급을 합하여 입도분리(size separation)라고 하는데, 체질은 망을 이용하여 분리를 하는 데 비해 분급은 공기, 물 등 유체를 매개체로 하여 분리한다. 양식장에서 발생하는 폐기물을 처리하는 데 있어, 두 가지 방법 모두 재활용 대상 폐기물과 이물질의 선별을 위한 사전처리 작업으로 이용된다. 또한 체질과 분급은 분쇄 공정, 에너지화 공정 등에서 요구하는 특정 모양으로 입도를 조정하기 위하여 사용되기도 한다. 체질은 비교적 굵은 입자군에 적합하기 때문에 파쇄공정에 사용되며 분급은 미분쇄

영역(에너지화 공정의 경우 입도가 작을수록 열효율 증가)에서 주로 이용된다.

체질 장치에는 고정식, 회전식, 진동식이 있고 기종도 많지만 진동체(Vibrating screen)가 폐기물 처리 공정에서 가장 많이 사용된다. 진동체는 단시간에 많은 양의 폐기물을 처리할 수 있으며 설치 공간이 다른 체질 장치에 비해 간소화할 수 있는 장점이 있다. 특히, 진동이 이루어지는 과정에서 터는 효과가 있어 불순물을 제거할 수도 있다.

(3) 비중선별

비중선별(Gravity concentration)은 폐기물의 고유한 비중차이를 이용하는 방법이다. 양식장에서 발생하는 폐기물에는 플라스틱, 비닐, 천, 금속 등 확연히 비중의 차이가 나는 제품들이 있기 때문에 분류방법으로 비중선별이 매우 효과적일 수 있다. 비중이 다른 입자가 서로 분리되기 위해서는 각각의 입자가 어느 정도 자유로이 움직일 수 있는 상태로 유지시키는 것이 필요하다. 따라서 비중선별에 있어서는 다른 많은 선별법과 같이 공기 또는 물의 도움을 받는다. 비중선별의 대부분은 습식법이며 수중에서는 부력 때문에 입자 비중이 겉보기로 각각 1씩 작게 되기 때문에 분리해야 할 입자에 작용하는 질량력의 비율이 증대되어 선별에 유리하게 된다.

(4) 자력선별

자력선별(Magnetic separation)은 자선이라고도 하며 물질의 투자율 차이를 이용한 선별법이다. 일반적으로 모든 물질은 그 자기특성에 의하여 상자성체, 반자성체 및 강자성체로 분류된다. 상자성체 및 반자성체 물질이 자력에 의하여 받는 힘은 지극히 미약하기 때문에

보통 자력선별법의 적용은 철, 티탄, 망간 등을 포함한 강자성을 띤 폐기물을 분리 대상으로 할 경우로 제한된다.

(5) 염분제거기술

양식장에서 발생하는 폐기물은 바다에서 사용되기 때문에 염분의 오염도가 크다. 따라서 재활용의 효율을 높이기 위한 전처리기술로 염분제거기술은 물리적 선별기술과 함께 중요한 처리기술이다. 염분은 금속을 부식시키는 매개체 역할을 하기 때문에 염분을 함유한 폐기물을 재활용할 경우 기계를 부식시킬 수 있다. 또한, 직접적으로 열에너지화시키거나 고형연료를 이용한 제품으로 재활용할 경우 소각 시 염분으로 인한 다이옥신의 발생 등에 대한 우려도 나타낸다. 여러 보고서⁸⁷⁾에 따르면 염분으로 인한 육상의 환경적 영향성도 연구되고 있는데, 식물의 성장을 방해하거나 토질을 저하시킨다는 결과도 나타나고 있다. 따라서 양식장 폐기물을 재활용하기 전 염분에 대한 영향성은 반드시 확인해야 할 사항이다.

바닷물 등에 함유되어 있는 소금기인 염분은 해수에 약 34~35%(퍼밀:‰, 해수 1kg 속에 용해되어 있는 고형물질의 전량을 천분율로 나타낸 수치) 정도 나타낸다. 일반적인 바닷물의 총 구성 성분은 아래와 같이 절반이 H₂O 성분이며 그 다음이 Cl(염소) 성분으로 나타난다.

〈표 4-23〉 바닷물의 총 구성 성분

성분	H ₂ O	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	C _T	Br ⁻	B _T	Sr ²⁺	F ⁻
함유량 (mol/kg)	53.6	0.546	0.469	0.0528	0.0282	0.0103	0.0102	0.00206	0.000844	0.000416	0.000091	0.000068

자료: A.G. Dickson & C. Goyet(1994)

87) M. Gryndler, J. Rohlenova, J. Kopecky, M. Matucha(2008); K.S. Wang, K.Y. Chiang, S.M. Lin, C.C Tsai, C.J. Sun(1999).

양식장에서 발생하는 폐기물은 가용성 염화물에 쉽게 노출되어 오염된다. 이러한 가용성 염은 수세공정으로 쉽게 제거될 수 있다. 수세공정에서 가용성 염 제거 요소로는 수세 온도, 가용성 염의 용해도에 따른 고액비, 입도크기 등이다. 문제는 폐기물에 오염된 염분 중에서 난용성 또는 불용성의 염이 앙금의 상태로 존재할 경우이다. 이는 양이온과 음이온이 강하게 결합하여 물에 녹지 않는 앙금의 형태인 불용성의 염으로 생성되는 것으로, 특정한 조건(양식장 폐기물을 적치하거나 전처리 과정 중)에서 가용성 염이 불용성의 염으로 변화될 수 있는 것을 말한다. 현재 널리 이용되고 있는 불용성 염을 제거하는 방법으로는 탄산화 공법이 있다.

양식장에서 발생하는 폐기물의 자원 순환화를 위해서는 염분의 함량, 수세공정으로 제거 가능 여부 판단, 수세공정 전 전처리기술의 적용, 불용성 염의 존재여부 등 염분에 관한 세밀한 분석이 필요하며 이에 대한 효과적인 처리방법에 대한 연구가 필요하다.

2) 가연성 폐자원 에너지화

폐기물의 에너지화 기술은 폐기물의 적정처리에 있어서 많은 기여를 해 왔다. 향후에도 에너지자원의 확보문제와 신재생에너지의 필요성 등을 고려할 경우 가연성 폐기물로부터 에너지 회수의 필요성은 증가할 것이다. 양식장에서 발생하는 가연성 폐기물 역시 가용 가능한 에너지 자원이며 에너지 자원의 확보 측면에서 육상폐기물의 에너지화 기술 도입을 통해 안정적인 확보가 가능하다.

앞서 언급했듯이 폐기물의 에너지회수 유형은 크게 에너지를 직접 회수(R-8)하거나 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형(R-9)

으로 구분된다. 직접적 회수유형의 경우 시멘트 소성로의 보조연료로 사용하는 유형이거나 소각 열 회수시설을 통해 에너지 회수기준에 적합하게 에너지를 회수하는 유형이 이에 속한다. 이 경우 양식장에서 발생하는 가연성 폐기물인 합성수지류 제품(스티로폼을 발포한 발포 폴리스티렌, 폴리에틸렌 등), 목재류 등이 포함되며, 직접적 회수유형으로서 보조연료나 소각 열 회수시설을 통해 에너지 회수가 가능하다.

간접적 회수유형의 경우 정제·유화 등의 가공과정을 거쳐 액상·고상·기상 상태의 연료제품으로 제조하는 유형이 포함된다. 이 경우 가연성 폐기물은 고형연료제품, 정제연료유나 재생연료유로 제조하거나 열분해, 탄화 등의 과정을 거쳐 액체, 기체 및 고체상의 연료 등으로 제조할 수 있다. 한편 유기성 폐기물은 수분의 함량 등을 고려할 때 직접적 회수 유형에는 부적합하며, 생물학적 처리방법으로 기체 또는 액체상의 연료로 제조하는 기술을 이용한다. 또한 모든 가연성 폐기물이 에너지 회수유형으로 사용되는 것은 아니다. 에너지 발생 가능한 성상을 가지고 있어야 하며 에너지 발열량의 효율성도 확인하여 에너지 회수 가능 폐기물을 선별하는 것이 중요하다.

(1) 고형폐기물연료(Solid Refuse Fuel)

SRF는 폐기물 중 폐플라스틱 및 폐고무 등의 가연성 물질만을 걸러내 건조 및 성형과정을 거쳐 만든 고효율의 고형연료를 말한다. 코르크 형태로 제작돼 화력발전소 등의 보조연료로 사용되거나 일반 가정의 난방열로 공급하기도 한다. 일반적인 제조 방법은 크게 전처리, 분쇄, 압축·성형⁸⁸⁾ 등 세 가지로 분류된다. 전처리 공정에서는 수

88) 고형폐기물연료는 전처리 후 성형하여 활용하기도 하나, 성형 없이 단순 파쇄나 압축, 액상 물질의 건조 등을 통해서도 제작될 수 있음.

분, 가연성 이외 불용성 물질이나 염분 등의 불순물을 제거하며, 분쇄를 통해 균질성을 크게 하며 연소율을 높여 준다. 마지막으로 압축·성형을 통해 폐기물을 감용하여 저장 및 운송이 용이해지고 소각시 연소가 잘 될 수 있도록 한다. 가연성 폐기물을 고형폐기물연료로 활용하기 위해 필요한 요소로 발열량, 수분, 회분 함유량, 염소 함유량 등을 확인하여야 하며, 법령상 품질기준으로 명시하고 있다. 따라서 양식장 가용성 폐기물을 이용할 경우 필요 요소를 분석하여 이를 초과할 경우 고형폐기물연료 공정의 첫 번째 단계인 전처리공정을 통해 효과적으로 제거하는 것이 중요하다.

(2) 정제연료유

정제연료유는 폐유나 폐유가 아닌 지정폐기물 중 액체 상태이거나 유동성이 있는 폐기물과 폐유의 혼합물을 열원으로 사용할 수 있도록 균일화시킨 물질로, 시멘트 소성로와 소각시설에서 사용하는 재활용 연료를 말한다. 「폐기물관리법」상 정제연료유는 폐유, 할로젠 족을 제외한 폐유기용제, 페페인트 및 페래커로 한정한다. 최근에는 폐플라스틱으로부터 재생연료유를 생산하는 기술이 개발되고 있다. 플라스틱을 열분해하여 얻어지는 재생연료유는 경유에 비하여 파라핀 성분과 휘발성이 높은 탄화 유기물을 다량 포함하고 있기 때문에 인화점이 높은 장점이 있다.⁸⁹⁾

(3) 열분해 및 탄화 가스화

열분해란 원료물질을 저산소 상태에서 가열하여 가스와 오일, Char로 분해하는 과정으로서 원료+열→기체+액체+고체의 반응물을

89) 유명규·김윤태·김홍근(2014).

어는 생산 공정을 말한다. 탄소가 주성분인 다분자 물질인 석탄, poly화된 플라스틱 등이 포함되고 있으며, 직·간접적으로 열을 가하면 가열속도, 반응온도 및 촉매 등의 조건에 따라 탄소결합이 끊어져 열분해 반응을 일으킨다.

탄화란 가용성 및 유기성 폐기물을 적당한 조건하에서 가열하면 열분해를 거쳐서 탄소가 풍부한 물질, 즉 무정형(무결정형) 탄소를 형성시키는 반응을 말한다. 일반적으로 유기물은 300~400℃로 탄화를 일으키며, 플라스틱 재질은 400℃ 부근에서 분해가 시작되어 먼저 수산기가 물로 얻어지고, 이어서 일산화탄소, 메탄이 벤젠고리를 묶는 메틸렌 결합의 분해로부터 생긴다. 600~700℃ 이상이 되면 벤젠 고리에 직접 결합하는 수소 원자가 수소로 얻어지고, 벤젠 고리끼리의 융합이 시작되어 커다란 방향족 축합고리의 생성으로 옮겨간다. 이것은 가열 온도가 높아짐에 따라서 육각 탄소망 평면의 퍼짐과 겹침이 증가해가면서 무정형의 탄소가 형성된다. 이러한 원리를 통해 폐기물의 탄화 및 열분해 가스화 과정에서 발생된 가스를 연소시켜 에너지화할 수 있는 가스화 연소장치가 개발되고 있다.⁹⁰⁾

3) 유기성 폐자원 에너지화

유기성폐기물의 처리방법은 일반적으로 생물학적 기술을 이용한다. 육상폐기물인 경우, 농업활동에서 발생하는 폐기물, 가축분뇨 폐기물, 인분뇨폐기물, 폐목재, 산업폐수오니, 식품산업폐기물, 생활하수오니 등 다양한 유기성폐기물을 처리하는 데 생물학적 처리 기술을 이용한다. 예를 들어 유기성오니 및 폐수를 처리하기 위해 호기

90) 김필성·이석정(2013).

성·혐기성 반응을 이용한 처리방법, 가축분뇨로 이용, 혐기성소화를 이용한 바이오가스화, 퇴비화 방법 등 다양한 방법으로 자원화를 한다.

양식장에서 발생하는 김 찌꺼기, 미역 및 다시마 부산물, 폐사 전복, 폐어류, 전복 패각 등도 마찬가지로 유기성폐기물에 속하기 때문에 앞서 언급한 생물학적 처리기술을 이용한다면 효과적인 자원화가 이루어 질 수 있다. 만약 직접 태워서 에너지를 발생시키는 직접에너지유형을 고려한다면 양식장에서 발생하는 유기성폐기물에 적용하기는 쉽지 않다. 우선, 수분과 염분을 많이 함유하고 있어 탈수와 탈염을 위한 추가적인 전처리 공정이 필요하다. 또한 직접에너지유형에 적합한 발열량을 확보할 수 있는지 여부도 불투명하다. 따라서 일반적으로 유기성 폐기물에 이용되는 간접에너지유형으로 접근하여 혐기성소화에 의한 바이오가스 생성방법과 셀룰로오스 가수분해에 의한 알코올 생성방법, 에너지화 방법은 아니지만 다소 쉽게 적용 가능한 퇴비화 방법에 대해 기술한다.

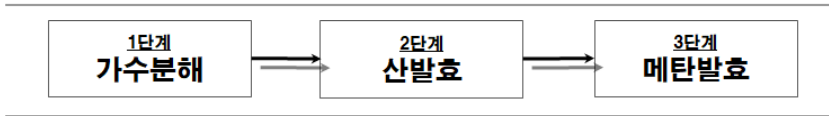
(1) 바이오가스화

바이오가스화 방법은 농업폐기물로부터 바이오가스 회수에 대한 연구가 진행되기 시작되어 현재에는 폐기물처리방법 중 하나인 에너지화 방법으로 이용되고 있다. 바이오가스화 방법은 유기물의 소화 단계에서 발생하는 바이오가스를 회수하여 전기 또는 난방 연료로 사용할 수 있다.

바이오가스화의 핵심반응인 혐기성 소화는 아래와 같이 크게 가수분해단계, 산 생성단계, 메탄 생성단계의 3단계 과정을 통해 생성된다. 1단계인 가수분해는 미생물 슬러지를 아미노산, 당, 지방산 등의 고분자 물질로 분해하는 과정이다. 2단계인 산 발효는 고분자 물질

을 유기산, 알코올, 암모니아 등의 저분자 물질로 분해하여 3단계에서 저분자 물질을 메탄(CH_4), 이산화탄소(CO_2), 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S) 등으로 가스화하고 있다.

〈그림 4- 21〉 바이오가스화 생산 단계



자료: 연구진 작성

바이오가스화 생산을 위해서는 각 단계별로 여러 종류의 미생물이 단계의 특성을 반영하여 사용된다. 유기성 폐기물의 바이오가스화 방법은 고형물 함량, 온도, 소화조의 구성 단계에 따라 구분⁹¹⁾된다.

양식장에서 발생하는 유기성폐기물의 바이오가스화 가능성을 확인하기 위해서는 삼성분 분석, 원소함량분석, CODcr(화학적 산소요구량), 암모니아성질소, 총질소, 총인 분석, 휘발성지방산 분석, 유기인 분석, 생분해도 평가 등이 필요하다.⁹²⁾ 양식장 유기성폐기물의 바이오가스화의 가능성 유무를 확인할 수 있는 방법으로는 잠재 메탄발생량 평가가 있다. 이 방법은 유기물의 잠재 메탄발생량을 평가하는 혐기성 회분식 실험 방법(바이오가스화 실험: Biochemical methane potential (BMP) test)으로 “세륨 재질 병에 분해과정에서 필요로 하는 미생물 및 영양물질을 주입하고 외부온도, pH 등 최적조건을 유지하면서 가스발생량과 조성변화를 파악하는 방식”⁹³⁾이다.

91) 고형물함량에 따라 건식혐기소화와 습식혐기소화로 구분됨. 온도에 따라 중온혐기소화와 고온혐기소화로 구분되고, 소화조의 구성단계에 따라 단상, 이상, 삼상혐기소화로 구분됨.

92) 윤성삼 외(2014).

93) W.F. Owen(1979), pp. 485-492.

(2) 알코올 생성을 통한 에너지 회수

유기성폐기물 내에 존재하는 셀룰로오스는 일반적인 미생물에 의하여 분해되지 않기 때문에, 이를 적절한 방법을 통해 생물학적으로 분해 가능한 단순 물질로 만들어 에탄올을 생성한다. 폐기물 내의 셀룰로오스로부터 에탄올을 생성하는 과정은 가수분해를 통한 글루코스 생성단계와 글루코스에서 혐기성 미생물에 의해 에탄올을 생성하는 단계로 구분된다.

〈그림 4- 22〉 유기성폐기물에서 에탄올 생성 단계



자료: 연구진 작성

1단계에서는 물, 알코올, 에테르, 클로로폼 및 유기성 용매에 불용성을 가지고 있는 셀룰로오스를 물리화학적 방법과 Enzyme에 의한 방법으로 가수분해(당화: Saccharification)시킨다. 2단계에서는 가수분해에서 생성된 글루코스를 맥주효모균(*Saccharomyces cerevisiae*)이라는 혐기성 미생물에 의해 발효시켜 에탄올을 생산한다. 가수분해에 의해 생성된 글루코스는 이론적으로 약 83% 정도 에탄올로 전환이 가능한 것으로 알려져 있다.

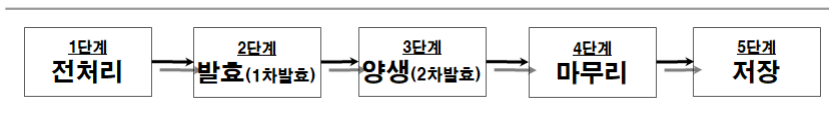
(3) 퇴비화

유기성폐기물은 오랜 기간 자연 상태에 방치되면 토양 미생물에 의해 분해된다. 이와 같이 미생물에 의해 유기성물질을 호기성 조건으로 분해시켜 생물학적으로 유기물을 안정화시키는 자원화 방식을 퇴비화라 한다. 퇴비화 방식은 폐기물처리기술 및 환경의식 부족, 퇴

비화 과정 중 발생하는 악취 문제, 화학 비료 생산 등으로 그 수요가 줄어들었다.⁹⁴⁾ 하지만 최근 폐기물처리기술로서 소각과 매립의 한계성과 폐기물 자원화로의 재활용에 대한 관심이 높아지면서 유기성폐기물의 퇴비화가 다시 부각되고 있다.

유기성폐기물의 퇴비화 단계는 전처리, 발효(1차 발효), 양생(2차 발효), 마무리, 저장으로 이루어져 있다. 발효단계는 1~2시간이며 온도 25~45℃의 중온성 진균, 세균 등의 중온성미생물에 의해 유기물이 분해되는데 이를 초기단계라 부른다. 온도가 40℃ 이상으로 올라가면서 고온성세균과 방선균 등의 고온성미생물로 대체되면서 60~70℃까지 상승하게 되는데 이 단계를 고온단계라 하며, 이 단계를 최소 2주 이상 3~4주를 유지시켜야 한다. 양생단계는 숙성단계라고도 하며 온도가 40℃ 이하로 내려가 중온성미생물이 재정착되고 안정화되는 단계로 3주 이상이 필요하다. 퇴비화를 효과적으로 진행하기 위해서는 미생물의 증식과 분해가 필요한데, 이를 위해 퇴비화가 용이한 재료 선정, 적정 수분함량 유지, 충분한 미생물 유지, PH의 적정한 유지, 공기의 안정적 공급과 발효조의 보온 등이 요구된다.

〈그림 4-23〉 유기성폐기물 퇴비화 단계



자료: 연구진 작성

94) 퇴비화의 감축요인으로는 ① 화학비료의 출현에 따른 경제성문제, ② 퇴비의 N.P.K 함유량의 낮음, ③ 퇴비재료의 다양성으로 인한 품질의 표준화의 곤란, ④ 폐기물처리로의 감량화 정도가 낮음, ⑤ 반입, 반출 등의 운송비가 높음, ⑥ 보관 및 악취문제가 있음, ⑦ 장기간 넓은 부지가 필요함, ⑧ 염분함량과 중금속 문제 등임.

4) 양식장 폐기물 자원순환 적용기술 종합

앞서 언급한 양식장 폐기물에 적용될 자원순환 기술을 종합하면 다음과 같다.

〈표 4-24〉 양식장 폐기물에 적용되는 자원순환 기술 종합

대상 폐기물	적용기술
수산양식용 부자	- 고형폐기물 연료화 및 정제연료유 - 열분해 및 탄화 가스화 - 재활용 제품 소재
수산양식용 플라스틱 및 목재 기자재와 시설	- 열분해 및 탄화 가스화 - 재활용 제품 소재
어망과 로프	- 열분해 및 탄화 가스화 - 재활용 제품 소재
김 찌꺼기, 미역 및 다시마 부산물, 폐사 전복, 폐사 어류 등 유기성 폐기물	바이오가스화 및 퇴비화

자료: 연구진 작성

제 5 장

양식장 자원순환 개선 방안

제1절 양식장 폐기물 자원순환을 위한 제도 개선

1. 양식장 기자재 생산자책임재활용 적용 확대

생산자책임재활용제도(EPR)는 폐자원의 활용을 촉진하기 위해 생산자에게 폐기물의 회수와 처리 책임을 부과하는 제도이다. 이 제도는 자원 순환 이용성 평가, 재활용 환경성 평가와 함께 폐자원의 재활용과 자원 순환을 강화하기 위한 대표적인 제도이다. 자원 순환 이용성 평가가 폐기물이 되기 전 제품 단계에서 재활용을 촉진하기 위한 방안이라면 재활용 환경성 평가와 EPR은 폐기물이 된 이후 폐자원을 활용하기 위한 조치이다.

현재 EPR의 적용 대상은 금속캔 등 4개 포장재와 타이어 등 39개 제품으로, 정부는 2022년까지 63개로 확대한다는 방침이다. 해양에서 발생하는 폐기물로는 수산양식용 부자, 김발장 두 개의 목이 EPR

의 적용을 받고 있으며, 어망과 로프는 자발적 협약 대상으로 관리되고 있다.

양식장에서 발생하는 폐기물로는 EPR의 적용을 받는 수산양식용 부자 외에도 그물망, 쉼터, 파판, 가두리 틀(플라스틱 및 목재), 코팅 사, 코팅 부죽, 로프 등 다양한 제품들이 사용되고 있다. 이 제품들은 나일론이나 PVC 등 플라스틱 재질이 많으며 대체로 일정한 기간 동안 사용 후에는 폐기되는 제품들이다. 파판 등 일부 폐기물을 제외하고는 민간의 재활용 수요가 높지 않기 때문에 소각되거나 연안에 방치되는 실정이다. 또한 자발적 협약 대상인 어망이나 로프를 제외하고는 EPR 체계에 들어와 있지 않으며, EPR의 전환에 필요한 어망이나 로프의 생산자 파악도 이루어지지 않은 상황이다.

앞서 언급한 바와 같이 양식장에서 사용되는 기자재는 플라스틱 재질이 많으며 적절한 전처리 기술이 확보될 경우 소각이나 매립에서 에너지 등 자원으로 활용도가 높은 유용 자원이다. 따라서 양식장 폐기물의 자원 순환을 높이기 위해서는 현재 자발적 협약 대상인 어망과 로프를 EPR의 적용 대상으로 포함해야 한다. 이를 위해 EPR의 적용 대상을 규정하고 있는 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행령」 제18조를 개정하여 대상 품목에 포함하여야 한다. 법률 개정의 시기, 법률 개정에 따른 재활용 의무율(연간 출고량 중 재활용하여야 하는 양의 비율) 산정, 재활용사업 공제 조합의 설립 등은 주관부처인 환경부와 실제로 사용·관리를 담당하고 있는 해양수산부 간의 협력이 필요하다.

또한 현재 자발적 협약 대상인 어망과 로프를 EPR에 포함하기 위해서는 생산자 파악이 필수적이다. 어망과 로프의 자발적 협약 공제 조합인 한국폐기물자원순환협회에 가입한 업체는 11개(2017년 기준)

에 불과하다. 어망은 완제품을 직접 수입하거나 로프를 가공하여 생산업자가 제작·판매하고 있다. 완제품을 직접 수입하는 업체나 출고량이 많은 생산자 파악은 용이한 반면에, 주문자 방식으로 어망을 제작하는 소규모 업체를 파악하는 데는 어려움이 있다. 이 같은 점을 반영하여 자발적 협약 대상인 어망과 로프를 EPR로 전환하기 위해 해양수산부를 포함한 관련 부처가 생산자 파악을 위한 사업을 추진할 필요가 있다.

아울러, 어망과 로프를 제외한 양식장 기자재도 사용 후 폐자원으로 활용가치가 높다. 회수 체계나 재질·구조의 개선, 폐기물 발생량이 많은 제품 등을 대상으로 자발적 협약으로 우선 추진 후 EPR로 전환할 필요가 있다.

〈표 5-1〉 양식장 폐기물 EPR 적용을 위한 개선 추진 과제

구분	내용	비고
어망과 로프 EPR 적용	• 자원절약법 시행령 개정	환경부·해양수산부 협의
	• 재활용 의무율 산정	
	• 재활용공제조합 설립	
	• 생산자 및 유통과정 파악	
기타 양식용 기자재 EPR 적용	• 자발적 협약 추진 후 EPR 전환	환경부·해양수산부 협의

자료: 연구진 작성

2. 양식장 시설·기자재 내구성 평가제도

양식장에서 사용하는 시설과 기자재는 설치 후 폐기물 발생 과정에서 바다와 햇빛에 장기간 노출되어 있다. 한번 해상에 설치된 후에는 생산물을 수확하기까지 오랫동안 바다에 설치되어 있어 결속력이

떨어져 유실되거나 선박 충돌 등으로 본체로부터 탈루되어 해양에 투기되는 경우도 있다. 또한 일정한 부력을 요하는 양식용 부자의 경우 비용절감 등의 이유로 파손된 여러 부표를 연결하여 사용하는 경우도 있다. 해상에 설치되어 있는 기간이 늘어날수록 해양에 유실·투기되는 경우가 많기 때문에 해양쓰레기 발생 예방이나 폐자원 유효 활용 측면에서 내구성 평가를 통해 사용기간을 합리적으로 설정할 필요가 있다.

노르웨이의 경우 수산양식용 그물 등은 양식업자가 2년 정도의 주기로 사용하고 있는 양식 기자재의 내구성을 평가하고 사용이 부적절한 경우 폐기물로 처리한다. 이를 통해 해양쓰레기 발생 예방과 폐기물 재활용 시 자원으로서의 유효 활용도를 높이고 있다.

반면에 우리나라는 양식장에 사용하고 있는 시설과 기자재의 사용기간 설정은 전적으로 어업인 등 사용자가 결정한다. 본 과제의 어업인 면담에 따르면 수산양식용 부자인 EPS 부표의 경우 업종별로 차이가 있으나 5~7년 정도 사용하고 그물망의 경우 2년, 나일론 재질의 노끈은 5년 정도 사용하는 것으로 나타났다.

양식장에 사용하고 있는 시설과 기자재의 사용기간을 설정하기 위해서는 정부가 우선 내구성능 평가를 위한 기준을 마련해야 한다. 내구성 평가를 통해 최종적으로는 지속 사용, 보수, 폐기 등을 결정해야 한다. 내구성 평가 요소로는 양식장 시설물의 전반적인 상태, 기자재 간의 결속 상태, 개별 기자재의 상태 등이 고려될 수 있다. 시행방안으로는 양식업자가 자율적으로 평가를 통해 폐기 여부를 결정하는 방안과 관련 법령 개정을 통해 의무화하는 방안이 있다. 또한 일정 기간 민간 자율에 맡겼다가 제도 도입이 당위성이 확산된 이후 관련 법령 개정을 통해 강제화하는 방안도 있다. 양식장 시설 및 기자

재 내구성 평가제도의 결과는 양식장 면허 갱신이나 양식 재해보험 시 참고자료로 활용할 수 있다. 내구성 평가 기준을 수립하거나 시행을 자율 또는 의무화하는 방안을 수립하기 위해서는 현장 어업인의 충분한 의견 수렴과 논의를 거쳐야 한다.

〈표 5-2〉 양식장 시설·기자재 내구성 평가제도 도입 방안

구분	주요 내용
내구성 평가기준	• 양식장 기자재 지속 사용 여부를 평가하기 위한 기준 마련 • 지속 사용, 보수, 폐기 등 결정 • 양식장 시설물의 전반적인 상태, 기자재 간의 결속 상태, 개별 기자재의 상태 등
평가 및 인증 기관	• 평가 및 인증 전담 기관 지정
활용 방안	• 양식장 재해 보험 또는 면허 갱신 시 자료로 활용
시행 방안	• 민간 자율로 내구성 평가를 시행(1안) • 관련 법령 개정을 통해 의무화하는 방안(2안) • 민간 자율로 시행 후 의무화하는 방안(3안)

자료: 연구진 작성

3. 지자체 책임 강화를 위한 조례 제정

우리나라의 해양쓰레기 관리는 중앙정부가 사업을 편성하고 예산을 지원하는 역할을 하고 지자체는 이를 집행하는 구조이다. 2009년 해양쓰레기 관리 기본계획을 수립한 이후, 다분히 중앙정부 방식의 사업 관리가 이루어졌다. 이 같은 중앙 주도형의 사업 관리는 발생된 폐기물의 신속한 수거, 보편적이고 적용 가능한 제도 수립 등으로 연계되어 해양쓰레기 관리에 큰 진전을 이루었다는 점은 높이 평가해야 한다. 하지만 대부분의 쓰레기 발생이나 수거, 처리가 지역을 중심으로 이행된다는 점에서 보면, 현장을 관리할 지자체의 역량은 이에 미치지 못하고 중앙정부에 의존하는 경향이 높아지고 있다.

양식장에서 발생하는 폐기물의 처리 책임도 일차적으로는 지자체에 있다. 발생한 폐기물을 수거하고 재활용이나 자원 순환이 용이하도록 타 물질과 분리하고 이물질 제거하여 배출하는 작업이 지자체에서 이루어져야 한다. 하지만 지자체는 인력이나 예산의 부족으로 다량의 양식장 폐기물이 연안에 방치되거나 다시 바다로 유입되는 경우가 많다.

지자체의 관리를 강화하기 위해서는 무엇보다도 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기에 대한 조례를 제정하도록 유도할 필요가 있다. 조례를 통해 지역에서 발생하는 해양폐기물을 수거하고 선별, 재처리하는 등 일련의 과정을 지자체의 책임으로 명문화할 필요가 있다. 해양쓰레기에 특화된 조례로는 제주특별자치도의 「해양쓰레기 없는 아름다운 해안 가꾸기 조례」(2017. 6 제정)가 유일한 실정이다.

〈표 5-3〉 양식장 폐기물의 자원순환을 위한 조례의 주요 내용

구분	주요 내용
목적	• 해양쓰레기 관리 목적
용어의 정의	• 해양쓰레기, 양식장 폐기물, 어선 폐기물 등
지자체 장의 책임	• 지자체 장의 행정적, 재정적 지원
발생 폐기물의 수거	• 발생 폐기물의 수거 방법, 신속한 수거 등
폐기물 선별 및 배출 방법	• 양식장 폐기물의 이물질 분리 방법 • 배출 장소 및 적정 배출 방법 등
재활용 및 자원순환 노력	• 재활용 및 자원순환을 촉진하기 위한 지자체 노력
수거의 날 및 수거 주기 명문화	• 폐기물 발생 시기를 고려한 수거의 날 지정 • 수거 주기 명문화 • 어촌계별 수거 협의체 운영
폐기물 보관 시설 확충 및 운영	• 폐기물 임시 보관을 위한 시설 확충 • 보관 시설의 관리 및 운영 주체
교육 등 이해관계자 인식 개선	• 교육 등 이해관계자 인식 개선 프로그램 운영
어업인 등 이해관계자 참여 촉진	• 폐기물 수거 촉진을 위한 포상 등 인센티브

자료: 연구진 작성

양식장에서 발생하는 폐기물의 재활용이나 자원 순환을 촉진하기 위해서는 지자체에서 수행해야 할 일련의 사항들을 조례를 통해 규정하여 지속적인 추진기반을 마련해야 한다. 조례에는 양식장 발생 폐기물의 적정 수거, 폐기물 배출 시 어업인 등에 대한 선별 및 분리 배출 방법 규정, 수거된 폐기물의 재활용 및 자원순환 노력, 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기 수거의 날 및 수거 주기 명문화, 발생된 폐기물의 임시 보관을 위한 보관 시설 확충 및 운영, 발생 예방 및 수거 촉진을 위한 인센티브 도입 등이 포함되어야 한다.

제2절 양식장 폐기물 자원순환을 위한 기반 조성

1. 양식장 폐기물 배출·처리 가이드라인 마련

앞서 언급한 바와 같이 일본은 1980년대부터 어업활동에서 발생하는 폐기물의 감량과 적정 처리를 위한 지침을 마련하여 시행해 오고 있다. 어업기인 폐기물을 분류하고 폐기물별로 재사용 가능 여부, 재활용이나 매립 여부, 배출 및 처리 방법을 표준화하여 어업 현장에서 어업인이 활동하도록 하고 있다.

우리나라는 양식장 폐기물을 포함한 해양쓰레기에 대한 적정 배출이나 처리 지침이 부재한 상태이다. 그동안은 어업인이 배출하면 지자체가 수거한 후 별도의 분리, 선별 과정을 거쳐 처리하고 있는 실정이다. 양식장의 자원순환 효율화를 위해서는 어업인이 이물질 제거하여 배출하고 적정 배출 장소에 보관하는 등 회수(수거)체계를 마

련해야 한다. 어업계 단위별로 추진협의체를 구성하여 지자체와 유기적인 협력 관계를 유지할 필요가 있다. 또한 어업현장의 종사자가 고령인 점을 고려하여 폐기물의 배출을 지원하기 위한 지원 조직을 마련할 필요가 있다. 마련된 지침은 수협이나 어촌계 등을 통해 어업인이 숙지하여 현장에 활용할 수 있도록 조치하여야 한다.

〈표 5-4〉 양식장 폐기물 배출 및 처리 가이드라인의 주요 내용

구분	주요 내용
양식장 폐기물 분류	• 폐기물을 사용용도와 소재의 재질에 따라 분류 • 목재, 플라스틱, 금속, 유리 등
폐기물 처리 방법	• 재사용, 재활용, 소각, 매립 등 구분
배출 방법	• 배출 및 처리 흐름 • 폐기물 배출 절차 • 이물질 제거 등 분리 배출 방법 • 폐기물 결속 방법(마대, 그물망, 노끈 등) • 폐기물의 보관 방법 • 폐기물 배출 시기 및 배출 장소
마을 단위 추진협의체 구성	• 지자체 담당 공무원, 어촌계장 등으로 구성 • 고령 어업인의 배출 등 지원

자료: 연구진 작성

2. 양식장 폐기물 자원순환 시설 조성 및 운영

앞서 제4장에서 양식장에서 발생하는 폐기물의 자원순환 모델을 제시한 바 있다. 본 모델은 완도군 양식장 폐기물 발생량 조사를 토대로 발생한 폐기물을 어업인에게 에너지로 공급하는 방식이다.

이 모델은 전국 단위에도 적용이 가능하나 앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 양식장 폐기물은 품목별/지역별로 차이가 있기 때문에, 모든 지역에 적용되는 것은 아니다. 발생하는 폐기물 양이 육상폐기물에 비해 상대적으로 적기 때문에 양식장이 밀집한 지역을 중심으

로 하거나 여러 지역을 묶어서 광역 단위로 에너지 전환 시설을 건립하는 방식이 타당하다. 에너지 전환 시설은 완도군 등 폐기물 발생량이 많으면서 처리 시설이나 회수 및 수거가 용이하게 이루어지는 지역을 중심으로 우선 시범 사업을 추진하고 그 성과를 고려하여 단계적으로 확대하는 방법이 타당하다.

현재 우리나라의 양식장 폐기물은 주로 지자체가 수거·처리를 담당하고 있다. 하지만 폐기물의 발생 주기가 일정하지 않으며 적정 보관 시설이 마련되어 있지 않기 때문에 친환경 에너지 생산 시설을 건립하기 위해서는 어촌계 단위별로 폐기물 보관시설 건립이 필요하다. 에너지 전환 시설이 건립이 되더라도 그 시설의 운영을 누가 담당할 것인지에 대한 판단도 필요하다. 앞서 환경부 등이 설치한 친환경에너지타운의 경우 수익의 부족 등으로 사업 관리 주체와 예산 지원을 둘러싼 논쟁이 지속되고 있다는 점은 사업 관리 측면에서 고려해야 할 사항이다. 친환경 에너지 시설이 설치된 마을 주민들이 「협동조합 기본법」에 따라 협동조합이나 사회적 협동조합을 설립하여 주민 자치적으로 운영하는 방안도 고려할 수 있다. 이 경우에는 사업이 정착할 수 있도록 일정 기간 사업 운영에 필요한 예산을 지자체나 중앙정부가 분담하도록 할 필요가 있다.

〈표 5-5〉 양식장 자원순환 시설 조성 및 운영에 필요한 과제

구분	주요 내용	비고
양식장 자원순환 시설 건립	• 양식장 폐기물 에너지 전환 시설 건립 • 어촌계 또는 광역 단위로 시설 건립 • 시범사업 추진 후 확대	중앙부처 및 지자체 건립 예산 지원
폐기물 보관 시설 확충	• 어촌계 단위별로 폐기물 보관 시설 건립	중앙부처 및 지자체 지원
시설 운영	• 협동조합 또는 사회적 협동조합을 설립하여 주민 자치 운영	사업 초기 운영비 등 예산 중앙 및 지자체 분담

자료: 연구진 작성

3. 어업인 등 이해관계자 인식 개선

해양에서 발생하는 쓰레기는 육상폐기물과 달리 그 원인자를 특정하기가 어려운 측면이 있다. 강과 하천을 통해 해양으로 유입되는 쓰레기나 해변쓰레기, 해양의 부유쓰레기, 해저의 침적쓰레기 등은 발생 유입원이나 경로는 추정이 가능하지만 그 원인자가 누구인지는 특정하기가 곤란하다. 하지만 폐기물의 성상으로 특정하면 어선이나 양식장에서 발생하는 쓰레기는 대체로 어업 활동에서 발생하기 때문에 어업인이 발생 원인자이다.

본 연구에서 다루고 있는 자원순환 개념을 적용한 양식장의 폐기물 관리를 위해서는 무엇보다도 발생 원인자의 적극적인 참여가 필수적이다. 그동안 해양쓰레기를 줄이기 위한 인식 개선 프로그램의 목적은 다분히 어업인의 지식을 넓히는 방향으로 진행되었다. 이에 비해 자원순환의 개념을 적용한 인식 개선 프로그램은 참여와 실천에 기초하여 어업인의 행동 변화를 이끌어내는 데 중점을 두어야 한다.

기존 프로그램은 폐기물의 발생 예방을 목적으로 구성되어 그 내용이 해양쓰레기에 대한 일반적인 사항들을 다루고 있다. 자원순환 프로그램은 자원순환 및 순환경제의 개념, 폐기물의 자원 활용, 친환경 재질의 양식장 기자재 사용 촉진, 재활용 효율화를 위한 폐기물의 분리·배출 정착, 자원순환을 고려한 양식 관행의 변화 등을 목표로 세부 내용이 구성되어야 한다. 이에 필요한 교육 프로그램 및 교재 개발, 전문 강사단 운영, 실천 문화를 조성하기 위한 캠페인 등에 필요한 행정·재정적 지원은 정부가 담당해야 한다. 프로그램 운영은 업종별 수협 총회, 해양환경교육원 교육 프로그램, 지자체 어업인 교육 프로그램, 사업 설명회 등을 활용할 수 있다.

〈표 5-6〉 자원순환 양식장 폐기물 관리를 위한 인식 개선 과제

구분	주요 내용
프로그램 및 교재 개발	• 자원순환 및 순환경제의 개념 • 양식장 자원 순환 모델 • 친환경 양식장 기자재 사용 촉진 • 폐기물 분리 및 배출 방법 • 어업인의 실천 행동
전문 강사단 구성	• 해양쓰레기, 재활용, 자원순환 전문가 • 친환경 수산 기자재 전문가
실천 캠페인	• 지자체, 수협, 어업인 등이 참여하는 양식장 폐기물 자원순환 촉진 실천행동 전개
프로그램 운영	• 단위 업종별 수협 총회 • 해양환경교육원 교육 프로그램 • 지자체 어업인 교육 프로그램 • 정부 및 공공기관 사업 설명회 등

자료: 연구진 작성

제3절 양식장 자원순환 기술 개발 방향 및 지원

1. 양식장 자원순환을 위한 기술 개발 방향

앞서 제4장 제3절에서 살펴본 바와 같이 현행 폐기물 관련 법령 등에서는 폐기물의 자원 재활용을 높이기 위한 여러 제도를 규정하고 있다. 폐기물의 재활용 유형(R1~R10)을 분류하고 유형별로 재활용이 적합한지를 판단하는 세부 기준과 검사 방법 등이 규정되어 있다. 재활용 환경성 평가 제도를 통해 재활용을 촉진하기 위한 간소화 절차를 마련하였고 재활용 시 발생할 수 있는 유해성 논란을 해소하기 위해 유해성 평가 항목을 생태 독성을 포함한 9개 항목으로 확대하였다. 또한 자원순환 법령에 따라 향후 폐기물이 되는 제품이 사람

의 건강이나 환경에 유해하지 않도록 제품의 소재나 재질을 자원 순환이 용이하도록 개선하는 순환이용성평가 제도가 도입되었다.

양식장에서 발생하는 폐기물도 자원 순환을 통해 유용 자원으로 활용해야 하는 소중한 자원임에는 논란의 여지가 없다. 이 같은 점에서 양식장에서 발생하는 폐기물의 자원 순환을 촉진하기 위해 필요한 기술개발 방향은 다음과 같다.

첫째, 양식장 폐기물의 재활용 또는 자원순환을 촉진하기 위해서는 무엇보다도 양식장에서 발생하는 폐기물을 우리나라의 폐기물 관련 법령에서 정하고 있는 재활용 유형으로 구분하고 폐기물 재활용 유형에 부합하는 기술을 적용하여야 한다.

둘째, 양식장에서 발생하는 폐기물은 육상폐기물에 비해 염분 및 수분을 다량 함유하고 있어 재활용 시에는 탈수와 탈염 등 추가적인 전처리 공정이 필연적으로 수반된다. 특히 양식장 폐기물을 에너지로 전환하는 경우에는 에너지 유형에 적합한 발열량을 확보할 수 있는지 여부가 관건인데, 경제적인 전처리 기술 확보와 함께 자동화 처리 공정 기술 개발도 병행되어야 한다.

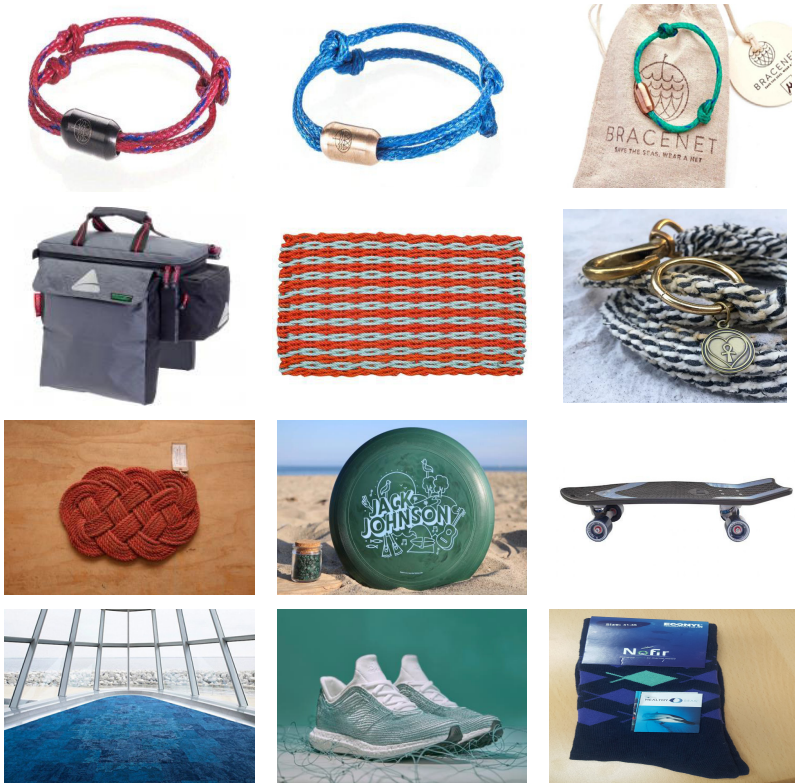
셋째, 양식장에서 발생하는 폐기물은 하나의 단일 재질이 아닌 여러 재질이 혼합되어 있기 때문에 대상 제품별로 재활용하기가 용이하지 않다는 점도 자원순환 기술측면에서 고려해야 한다. 자원 순환의 효율성을 높이기 위해 복합 재질의 제품을 단일 재질로 개선하기 위한 기술 개발이 이루어져야 한다. 어망, 양식장 기자재 등 어업 활동에서 사용되는 제품들이 자원 순환이 용이하도록 바이오매스나 친환경 소재 등으로 개선하여야 하며 이를 위한 대체 제품 개발에 투자를 확대해야 한다.

넷째, 양식장에서 발생하는 폐기물을 포함한 해양쓰레기는 육상폐기물에 비해 공간 및 지역적 제약(바다, 해안, 도서), 시간적 제약(수산물 생산시기), 폐기물 발생 양적 제약이 있다. 따라서 각각의 제품별로 재활용하는 방법과 함께 여러 재질의 폐기물을 묶어서 재활용하는 기술도 개발되어야 한다.

다섯째, 가연성 폐자원 에너지 및 유기성 폐자원 에너지는 폐기물 관련 법령이 정하고 있는 R-8 및 R-9의 방법과 기준을 충족할 수 있도록 적정 기술 개발이 이루어져야 한다. 에너지유형뿐만 아니라 물리·화학적 기술을 이용한 특정 제품 또는 원료물질로 제조(R-3~R-7)하는 방법은 오염의 정도에 따라 복잡한 공정이 필요하고 인력과 에너지 소비가 크며, 2차 폐기물의 발생 우려도 있으므로 기술 개발 시 이를 고려해야 한다.

여섯째, 원형 그대로 또는 원형 그대로 수리·수선하여 재사용하는 유형(R-1)과 단순 수리·수선, 세척을 통해 재사용하는 유형(R-2)에 대한 기술 투자도 필요하다. 이 유형은 다른 유형에 비해 복잡한 기술이 필요 없으며, 에너지 소비효율이 낮고 2차 폐기물의 발생여부도 적다. 또한 단순 물리적 처리로 원형의 변화가 크게 없으며, 복잡한 화학·생물학적 처리가 필요 없기 때문에 비교적 복잡한 기술개발이 필요하지 않은 재활용 유형이라 할 수 있다. 해외에서는 폐어망을 활용하여 여러 생활용품을 제작·판매하는 사례도 늘어나고 있기 때문에, 폐기물 저감과 재활용 산업 육성이라는 측면에서 이 부분에 대한 기술개발 정책 지원도 반영되어야 한다.

〈그림 5-1〉 해외 페어망 등 해양 플라스틱을 이용한 제품



자료: M. Charter, R. Carruthers, S.F. Jensen(2017), pp.8-28.

2. 자원순환을 고려한 양식장 기자재 기술 개발 지원 정책

1) 생분해성 어구 기술 개발 지속 및 기존 페어구 회수 강화

해양수산부는 어구 유실 시 발생하는 유령어업, 해양생태계 파괴 및 수산자원 손실을 저감하기 위해 2007년부터 ‘생분해성 어구 개발 및 보급사업’을 추진 중이다. 이에 따라 국립수산물과학원은 ‘친환경

수산자재 및 어구어법 개발’ 연구를 통해 해중에 유실되더라도 일정 기간 후 미생물에 의해 분해가 되는 친환경 생분해성 어구 개발을 추진하였다. 2007년부터 2015년까지 해역별 주요 어업에 적합한 생분해성 자망 12종, 통발 8종, 수산자재 1종 등 총 21종의 어구가 개발되었다. 현재는 동 과제를 발전 및 상용화하는 신규 수지 개발 사업을 해양수산과학기술진흥원에서 수행하고 있다.

‘생분해성 어구 개발 및 보급사업’을 통해 개발된 생분해성 어구에 대해 어획 성능 시험을 실시한 결과, 기존의 상업어구와 해상에서 대등한 실적을 나타낸 것으로 보고되었다.⁹⁵⁾ ‘2015년 FTA 국내보완대책 어업인 지원 성과분석 보고서’에 따르면 2015년 사업 수혜 어업인 150명(경북 63.6%, 강원 28.0%, 경남 8.7% 등)을 대상으로 생분해성 어구 사용 실태, 만족도, 개선사항 등에 대해 설문한 결과, 생분해성 어구 보급 사업 전반에 대한 평가 역시 75.8점으로 대체로 만족하는 것으로 조사되었다.⁹⁶⁾ 만족 사유는 ‘어구 구입비 절감(51.8%)’, ‘어장 환경보호 기여(27.7%)’, ‘생분해성어구 성능(12.8%)’ 등으로 나타났다.

그러나 생분해성 어구의 성능, 어장환경 보호 효과에도 불구하고, 어업인들은 생분해성 어구가 기존 어구에 비해 비싸 정부 지원물량을 소진한 뒤에는 여전히 나일론 어구를 사용하는 것으로 조사되었다. 또한 현재 보급되고 있는 생분해성 어구가 해양에서 완전히 생분해되는 재질인지에 대한 논란도 여전히 회자되고 있다.

생분해성 어구의 현장 보급을 강화하고 생분해성 어구의 친환경적 효과를 강화하기 위해서는 정부의 기술 개발에 대한 지속적인 투자가 뒷받침되어야 한다. 더불어 정부가 생분해성 어구를 지원하는 경

95) 국립수산물과학원(2015), p. 89.

96) 대한민국 정부(2016), p. 188.

우, 지원을 받은 어업인이 기존 폐어구를 일정량 의무적으로 반납하도록 하고 초과하여 반납하는 경우에는 지원 예산이나 보급 물량에 우선권을 주는 등 생분해성 어구의 낮은 경제성을 극복할 수 있는 제도적 유인책도 수반되어야 한다.

2) 폐각 재활용 기술 투자

우리나라에서는 한해 약 30만 톤의 굴 폐각이 발생하고 있다.⁹⁷⁾ 하지만 전체 발생량의 약 절반가량만 비료 등으로 자원화 되고, 나머지 절반은 처리되지 못한 채 연안에 적재되고 있는 실정이다.⁹⁸⁾ 연안에 적재된 폐각은 마을의 관광 가치를 저하시킬 뿐 아니라, 악취를 유발해 주민불편을 초래하며, 폐각 침출수는 연안오염의 원인이 되기도 한다. 이 때문에 폐각의 자원화는 양식장 해양쓰레기 발생 저감뿐만 아니라 폐자원의 재활용 측면에서도 매우 중요한 현안이다.

현재까지 폐각 자원화에 성공해 상용화 단계에 이른 것은 폐화석 비료에 불과하다. 폐화석 비료의 원료인 굴 껍질은 칼슘 성분을 다량 함유하고 있어 산성 토양을 중성화하는 데 효과가 있다. 폐각의 활용이 미흡한 것은 낮은 경제성으로 폐각 재활용 자원에 대한 수요가 높지 않고, 제2차 해양쓰레기 관리 기본계획(2013~2017) 수립 당시까지만 해도 폐각을 재활용할 수 있는 법적 근거가 제한적이었기 때문이다. 이에 2014년 환경부는 ‘폐기물의 재활용도 및 방법에 관한 규정’을 개정해 굴폐각을 일반 토사류 등과 혼합하여 공유수면 매립 성토재로 사용할 수 있도록 하였고, 2015년 ‘폐기물관리법’ 개정을 통해 폐기물 재활용 규제방식을 원칙허용·예외금지 방식으로 변경하였다.

97) 환경부(2011), p. 3.

98) 환경부(2011), p. 3.

개정된 법률에 따라 폐각(「폐기물관리법」상 사업장일반폐기물에 해당)은 원형 그대로 본래의 용도와 다른 용도로 재사용하거나, 단순 수리 수선, 세척을 통해 다른 용도로 재사용하는 것이 가능해졌다. 또한 분리, 선별, 압축, 감용, 절단, 파쇄, 분쇄, 용융, 반응, 증발·농축 등의 공정을 통해 종이, 금속, 유리, 합성수지 또는 섬유, 고무제품 이외의 원료물질을 제조하는 것도 가능하다.

관련 규정의 개정으로 폐각을 재활용할 수 있는 제도적 기반은 마련되었으나, 아직까지 비료, 성토제를 제외한 폐각 재활용 기술은 다양하지 않은 실정이다. 2018년 한국해양과학기술원이 개발해 민간 기업에 이전한 ‘굴폐각 생태블록’⁹⁹⁾ 기술을 제외하면 법 개정 이후에도 폐각 재활용 기술 개발은 더딘 편이다. 아직 상용 가능한 수준에 이르지지는 않았지만, 폐각은 인체에 무해한 파이프 코팅제, 열용사, 발열제 등 다양한 곳에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.¹⁰⁰⁾ 양식장 및 가공시설 주변에 적재되어 환경적, 경제적으로 많은 문제를 야기하는 폐각을 가치 있는 자원으로 다시 순환하기 위해서는 관련 기술의 꾸준한 개발과 상용화·산업화 지원이 필수적이다.

3) 유기성 폐기물 자원화 기술 개발

양식장에서 발생하는 김 찌꺼기, 미역 및 다시마 부산물, 폐어류 등 유기성 폐기물도 훌륭한 자원으로 재탄생할 수 있다. 2015년 국립수산물과학원은 폐사한 어류를 퇴비화할 수 있는 친환경 수산생물 처리장치를 개발했다. 이 시설은 양식장에서 폐사한 물고기를 수거

99) ‘2018년 해양수산 기술사업화 Festival 투자박람회’를 통해 한국해양과학기술원이 국내 비료생산 전문기업에 이전한 기술로, 굴폐각을 재활용해 만든 자연친화적 건축자재로 해양 구조물, 인공 어초 등을 건축하는 데 사용 가능함.

100) 환경부(2011), pp. 173~174.

해 멸균처리한 뒤 혼합·파쇄하여 분말형 퇴비 원료로 만드는 설비로 양식어류 폐사체의 친환경적인 재활용을 가능하게 한다.

우리나라에서는 경상남도가 2016년부터 거제, 통영 등 경남 남해 안에 양식장 폐사체 처리시설을 구축하여 운영 중이다.¹⁰¹⁾ 경상남도의 연간 양식어류 생산량은 약 23,000톤인데,¹⁰²⁾ 경상남도에 따르면 하루 최대 1.2톤 정도의 폐사체를 처리할 수 있다.¹⁰³⁾

국내에서 활용되고 있는 양식장 폐사체 처리시설은 양식장에서 일상적으로 발생하는 폐사체를 처리할 수 있는 친환경적이고 상용가능한 방법이다. 다만 이 기술은 현재 경상남도 지역에서만 소규모로 활용되고, 매년 적조나 고수온 등으로 점차로 증가하고 일시에 다량 발생하는 폐사체 처리에는 한계가 있다는 점이 문제로 지적된다.

특히 양식장에서 통상적으로 발생할 수 있는 어류사체가 아닌 대량폐사가 발생하는 경우에는 아직까지 육상매립 이외에는 이렇다 할 처리 방안이 마련되어 있지 않다. 전국에서 분산적으로 발생하는 양식장 집단폐사는 수온이 높은 여름에 집중적으로 발생하기는 하나, 매년 반복적으로 발생하는 만큼 일시적인 사고로 처리할 수는 없는 일이다. 따라서 현재 일부 지역에서 제한적으로 활용되고 있는 양식장 폐사체 처리시설을 지역별로 규모화하고 처리방법도 비료, 사료, 에너지(바이오가스화) 등으로 다각화할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

4) 친환경 양식 기자재 기술 개발

국립수산과학원은 2015년까지 ‘친환경 수산자재 및 어구어법 개

101) 한국경제(2016. 7. 21), 환경이슈신문(2017. 10. 16).

102) 통계청(2017. 3. 30), p. 20(검색일: 2018. 10. 19).

103) 한국경제(2016. 7. 21).

발’ 연구를 통해 21종의 생분해성 어구를 개발했다. 하지만 어업용 추, 로프와 같이 양식장이나 어선에 기자재로 사용되는 제품에 관한 기술 개발은 친환경 해중립 조성용 로프 등 1종에 불과하다. 이마저도 상용화 단계로 이어지지 못하고 연구가 종료되어 국내 친환경 수산기자재 기술은 거의 전무하다고 볼 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 양식장에서는 여러 재질의 제품이 혼합되어 사용되고 있다. 자원순환을 용이하게 하기 위해서는 무엇보다도 시설이나 기자재의 재질을 단순화하고 친환경적인 소재로 대체해야 한다. 혼합 재질의 제품은 향후 폐기물 발생 시 별도의 선별 과정을 거쳐 재활용을 저해하는 요인으로 작용하므로 가급적이면 단일 재질로 기자재를 개발할 필요가 있다. 예컨대, 김 양식장에 사용되는 부력체(부표, 부죽(대나무+코팅), 부자망, 노끈으로 구성)는 4~5개의 단일 제품을 연결하여 사용하거나 하나의 제품이 여러 재질로 구성되어 있는데, 이를 단일 또는 2개 이내의 재질이나 제품으로 단순화하는 기술개발이 필요하다.

5) 단순 재활용 제품 활성화 및 산업 지원

유럽 등 선진 외국에서는 해양에서 발생하는 폐어망을 원형 또는 원형 그대로 수리·수선하여 재사용하거나, 단순 수리·수선, 세척을 통해 재사용하는 단순한 형태로 재활용이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 유형의 재활용 산업은 고도의 기술개발을 요하지 않으며 비교적 진입장벽이 낮고, 친환경 제품이라는 이점이 있기 때문에 창업이 용이하다. 그러나 재활용 시장, 특히 수산폐기물 자원 시장은 타 산업에 비해 규모가 영세할 뿐 아니라, 어구에 사용되는 재질이 천차

만별이어서 영세, 신규 사업자로서는 복잡한 기술개발이 필요 없는 단순한 형태의 재활용이라 하더라도 일정한 규모의 재활용 자원을 수집하는 일부터 쉽지 않다. 또한 소비자가 폐자원 재활용 제품을 사용하는 것이 보편화된 선진국에 비해 우리나라는 다소 이에 미치지 못한다는 점은 사업화에 걸림돌로 작용한다. 이 때문에 양식장에서 발생하는 폐기물의 효율적인 자원 순환을 위해서는 해양쓰레기 재활용 연구에 투자가 확대되어야 하며 영세 사업자의 사업화에 대한 재정 및 세제 지원, 해양 폐자원 재활용 업계의 집적화, 해양 폐자원 수거의 전문화, 재활용 제품에 대한 소비자의 인식 개선 등이 함께 이루어져야 한다.

이를 위하여 양식장 폐기물의 민간 재활용 기술 개발 지원, 재활용 원료인 해양폐기물 공급 안정화, 기술 검증·제품 생산·상용화까지 할 수 있는 재활용 산업 클러스터를 조성하는 방안도 양식장 폐기물 재활용 사업이 갖는 영세성을 극복하는 데 도움이 될 수 있다. 그 밖에 관련 기업에 대한 벤처기업 지정, 세제 혜택, 스타트업 지원, 친환경 인증, 공공기관 우선 구매 물품으로 지정 등 재활용 제품 상용화를 위한 다양한 지원 방안을 적극 추진해야 한다.

〈표 5-7〉 자원순환을 고려한 양식장 기자재 기술 개발 지원 정책

구분	현황 및 문제점	개선사항
생분해성 어구 기술 개발 및 보급 확대	• 자망 12종, 통발 8종, 수산자재 1종 등 총 21종의 기술 개발되었으나 자원물량 소진 후에는 여전히 나일론 어구 사용	• 상용화 기술 추가 개발 및 반납 조건부 생분해성 어구보급 지원과 같은 제도적 유인책 마련
패각 재활용 기술 투자	• 관련 규정은 개정되었으나, 아직 까지 상용화 기술은 비료, 성토제 등에 한정	• 코팅제, 열용사, 발열제 등 재활용 기술 다각화 및 상용화·산업화 지원 필요

구분	현황 및 문제점	개선사항
유기성 폐자원 자원화(퇴비화) 기술 개발	경남 지역에서 일상 폐어류 사체 처리 시설(퇴비화) 운영 중	매년 반복적인 집단폐사에 대응할 수 있도록 처리시설의 규모화가 필요하며 처리방식의 다각화(비료, 사료, 에너지 등) 요구
친환경 양식 기자재 기술 개발	추, 로프 등 수산자재 관련 기술은 아직 상용화된 바 없음	- 두 개 이상의 단일 제품·재질을 하나 또는 복합 제품·재질로 대체 - 관련 연구 개발에 대한 지원
재활용 민간 기업의 육성	- 해양폐기물 자원은 전국적으로 분산 발생해 규모가 영세 - 재활용 제품에 대한 소비자 인식 부족	- 해양폐기물 재활용 산업 클러스터 조성 등을 통한 집적화 - 재활용 산업 지원 - 해양폐기물 재활용 제품에 대한 소비자 인식 개선

자료: 연구진 작성

제 6 장

결론 및 정책 제언

제1절 결론

본 연구는 양식장에서 발생하는 기자재 폐기물의 유형과 발생량을 파악하여 자원순환 기반의 양식장 관리를 위한 개선 방안을 마련하는 목적으로 수행되었다. 국제사회가 플라스틱 해양쓰레기 문제의 해결 방안으로 주목하는 정책은 우리 사회의 자원순환 또는 순환경제로의 전환이다. 이 정책은 한편으로는 폐기물이 될 제품을 친환경 제품으로 대체하여 폐기물 발생 자체를 억제하고 발생된 폐기물을 유효 자원으로 활용하여 궁극적으로는 자원이 순환하는 사회를 조성하는 것이다.

우리나라도 2018년 1월 「자원순환기본법」이 시행된 데 이어, 9월에는 정부의 구체적인 목표와 전략이 담긴 ‘제1차 자원순환기본계획(2018~2027)’이 발표됐다. 본 연구에서 다루고 있는 양식장 외에 폐기물이 발생되고 있는 어선에서도 당연히 자원순환 방안은 적용되어

야 한다. 이번 연구에서 중점적으로 다루고 있는 양식장은 그동안 해양쓰레기 관리 정책에서 다소 손길이 미치지 않았던 사각지대였다. 발생하는 폐기물의 유형, 발생량, 폐기물 처리 현황 등 정책 수립에 근거가 되는 기초 자료조차 조사되지 않았다. 이 같은 점에서 본 연구를 통해 양식장에서 발생하는 폐기물을 파악하여 이에 적용할 수 있는 자원순환 기술을 제시하고 궁극적으로는 자원순환 기반의 양식장 관리를 위한 개선 방안을 마련한 것은 매우 시의적절하고 타당한 것으로 평가할 수 있다. 본 연구의 핵심적인 검토 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 해양 부문의 자원순환 사회로 이행을 위한 노력은 부족

플라스틱을 포함한 해양쓰레기가 야기하는 여러 부정적인 영향으로 플라스틱 해양쓰레기를 줄이려는 노력들이 범지구적으로 전개되고 있다. 이 문제는 한 나라의 노력만으로 해결될 단편적인 문제가 아니라는 인식에서 출발하고 있는 국제 사회의 노력은 전 세계 보편적으로 적용하기 위한 국제 규범을 준비하고 있는 것과 함께 G7이나 G20과 같은 다자간 협력체를 통한 지역 해 관리차원에서도 성과가 가시화되고 있다.

국제사회는 플라스틱 폐기물의 영향을 저감하면서 천연자원의 지속가능한 이용을 촉진하는 자원순환 정책에 주목하고 있다. 우리나라는 폐기물 관련 법령 정비, 자원순환 사회로의 전환을 위한 제도 마련, 폐기물의 에너지 이용 강화, 재활용 촉진을 위한 재활용 유형 정립 및 절차 간소화, 폐기물이 될 제품에 대한 친환경 대체 소재 유도 등을 통해 자원순환 사회로의 이행을 뒷받침하고 있다.

육상 부문이 관련 제도 정비를 통해 재활용이나 자원순환으로의 이행을 진전하는 것에 비해, 해양 부문의 관련 정책 이행은 매우 미흡한 상황이다. 수산양식용 부자에 대한 전주기 관리를 통해 생산에서 처리에 이르는 전 과정 관리를 체계화한 것은 매우 바람직한 정책으로 평가될 수 있다. 하지만 여전히 어망이나 양식장 기자재와 시설 부분에 대한 정책은 다분히 수거 위주로 편향되어 있고 재활용이나 친환경 대체 제품 개발, 자원순환 사회로 이행에 필수적인 어업인의 참여나 관심은 다소 미흡한 실정이다.

2. 발생량은 줄이고 재활용 시장을 활성화하는 것이 장기적 해결방안

국내 양식어업의 면허와 양식장 면적은 매년 소폭이나마 증가하는 추세이다. 그러나 앞서 살펴보았듯 「폐기물관리법」은 어업인이 양식장 폐기물을 효율적으로 처리할 수 있는 프로세스를 마련하고 있지 않다. 이러한 현실을 감안해 타 법률에서 지자체를 통한 처리를 가능하게 하였으나, 이러한 정책은 지자체 역량 의존도가 높아 예산이나 인력이 많지 않은 지역에서는 효과적인 양식장폐기물 처리를 어렵게 한다. 폐기물 처리가 민간에 맡겨지게 되면 수익성 없는 폐기물은 공터에 적재되거나 태풍이나 우기 때 비바람에 의해 바다로 유실되어 해양쓰레기를 유발하기도 한다.

국제사회는 최근 중국발 쓰레기 대란에서 민간을 통한 쓰레기 처리방식의 한계를 목격하였다. 이에 각국에서는 쓰레기 발생량을 줄이려는 노력과 함께 자국 내에서 재생자원의 수요 확대 및 재활용 시장의 활성화를 도모할 수 있는 정책을 도입해 운영하고 있다. 유럽,

미국, 일본의 사례에서 살펴보았듯, 선진어업국가들은 어업 쓰레기 수거, 염분을 제거하는 전처리 등의 과정에 국가가 적극 참여하고, 폐자원을 통해 생산된 지원을 지역으로 환원하는 시스템을 구축하고 있다.

국내 양식장에서 발생하는 플라스틱 쓰레기는 민간 폐기물 업체가 수거해 처리하거나, 바다에 유실된 뒤 수거해 대부분 소각, 매립되고, 일부 쓰레기만 재활용되고 있는 현실이다. 이 과정에서 해양생물의 섭식 피해, 경제성 어류의 폐사, 경관 훼손, 유실 어구 회수 비용 초래 등 수많은 환경적·경제적 피해가 야기됨은 물론이다. 이에 우리나라도 어업인이 배출하는 쓰레기의 수거, 전처리 과정부터 국가가 체계적으로 관리하고, 이로부터 에너지를 회수해 지역 주민에게 돌려주는 어촌형 자원순환 체계를 구축해야 한다.

3. 양식장 폐기물을 활용하여 지역사회에 에너지로 환원

완도군 김, 미역, 다시마, 전복 양식장에서 사용하는 시설 및 기자재는 그물망, 쉼터, 파판, 가두리 틀(플라스틱 및 목재), 코팅사, 코팅부족, 로프 등이다. 이들 제품들은 나일론, PP, PE 등 플라스틱이 많았고, 연간 폐기물 발생량은 25,679톤에 이른다.

양식장의 자원순환은 양식장에서 발생한 폐기물의 재활용 및 에너지 회수를 양식장에 위치한 지역사회에서 실행하거나 그 혜택을 지역주민에게 되돌리는 순환구조를 의미한다. 양식장의 폐기물을 지역사회로 순환하기 위해서는 에너지 회수에 걸림돌로 작용하는 이물질 등을 적정하게 분리하는 등 배출 단계의 개선이 필요하다.

양식장에서 발생하는 가연성 폐기물인 합성수지류 제품(스티로폼을 발포한 발포 폴리스티렌, 폴리에틸렌 등), 목재류 등이 포함되며, 직접적 회수유형으로서 보조연료나 소각 열 회수시설을 통해 에너지 회수가 가능하다. 김 찌꺼기, 미역 및 다시마 부산물, 폐사 전복, 폐 어류, 전복 패각 등 유기성폐기물은 생물학적 처리기술을 이용하여 바이오가스나 퇴비를 생산할 수 있다. 양식장에서 발생하는 폐기물의 자원 순환화를 위해서는 염분의 함량, 수세공정으로 제거 가능 여부 판단, 수세공정 전 전처리기술의 적용, 불용성 염의 존재여부 등 염분에 관한 세밀한 분석과 효과적인 처리방법에 대한 연구가 필요하다.

4. 법령 정비 및 기반 구축을 통한 자원순환 효율화 추진

양식장에서 발생하는 폐기물도 적정 처리 기술이 확보될 경우 유용한 자원으로 활용이 가능하다. 앞서 언급한 바와 같이 육상부문에 비해 해양의 자원순환 정책은 다소 미흡한 실정이다. 양식장에서 발생하는 폐기물의 재활용을 높이고 제품 단계에서부터 친환경적인 재질로 개선하기 위해서는 정부와 산업계, 어업인 등 이해관계자의 적극적인 노력이 병행되어야 한다.

본 연구에서 제시한 양식장 자원순환 모델은 특정 지역을 기초로 제시되었지만, 자원순환 개념을 처음으로 적용했다는 점에서 매우 의미가 있는 성과이다. 양식장의 자원 순환 효율화를 위해서는 자발적 협약 대상인 어망과 로프를 법령 개정을 통해 EPR로 전환하여야 한다. 또한 양식장에서 사용하는 플라스틱 기자재도 점진적으로 EPR 체제에 포함시킬 필요가 있다. 발생된 폐기물의 재활용을 촉진하기

위해 보관 시설 확충과 회수 체계를 개발하고, 내구성 평가 제도를 통해 폐기물의 해양 투기 예방과 자원으로서의 유효 활용도를 높일 필요가 있다.

양식장에서 발생하는 폐기물 양은 육상폐기물에 비해 상대적으로 적기 때문에 양식장이 밀집한 지역을 중심으로 하거나 여러 지역을 묶어서 광역 단위로 에너지 전환 시설을 건립하는 방식이 타당하다. 에너지 전환 시설은 완도군 등 폐기물 발생량이 많으면서 처리 시설이나 회수 및 수거가 용이하게 이루어지는 지역을 중심으로 우선 시범 사업을 추진하고 그 성과를 고려하여 단계적으로 확대하는 방법이 타당하다. 친환경 에너지 시설의 관리주체로는 마을 주민들이 「협동조합 기본법」에 따라 협동조합이나 사회적 협동조합을 설립하여 주민 자치적으로 운영하는 방안도 고려할 수 있다. 이 경우에는 사업이 정착할 수 있도록 일정 기간 사업 운영에 필요한 예산을 지자체나 중앙정부가 부담하도록 할 필요가 있다.

정부는 자원순환에 익숙하지 않은 어업인을 포함한 이해관계자의 인식 개선에도 지원을 아끼지 말아야 한다. 이를 통해 어업인의 친환경 제품 사용 촉진, 폐기물 수거 확대, 폐기물의 분리 배출 정착, 어업 관행 개선 등 자발적인 자원순환 문화가 정착되도록 해야 한다. 또한 양식장 폐기물업무를 담당하고 있는 지자체 단위에서 자원순환이 효율적으로 이루어지도록 정부는 표준 조례를 마련하고 지자체가 이를 적극 시행할 있도록 유도하여야 한다.

정부는 양식장의 자원순환을 촉진하기 위한 기술 개발과 민간 기업의 지원에도 투자를 확대해야 한다. 양식장 시설·기자재에 대한 친환경 소재 개발과 관련 제품의 현장 보급 확대, 폐기물의 에너지 전환을 위한 기술 개발과 시범사업 추진, 재활용 기업의 기술 창업과

사업화 지원, 해양폐기물 재활용 제품에 대한 소비자 인식 개선 등 정부의 행정 및 재정적 지원이 요구된다.

제2절 정책제언

1. 자원순환 기반의 양식장 관리를 위한 법령 정비

앞서 제시한 바와 같이 양식장에서 발생하는 폐기물은 자원으로서의 활용 가치가 높다. 양식장 폐기물의 안정적인 자원 순환을 위해서는 이를 뒷받침하기 위한 제도가 마련되어야 한다. 우리나라는 39개 제품과 포장재에 대한 생산자책임재활용제도를 적용하고 있으며, 향후 적용 대상 품목을 확대한다는 방침이다.

발생량이 상대적으로 많고 사용 지역이나 형태가 정형화된 그물과 어망은 현재의 자발적 협약에서 EPR로 전환해야 한다. 이를 위해서는 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행령」을 개정해야 한다. 동 법률은 환경부 소관이므로 사용 관리를 담당하는 해양수산부와 협의하여 적용 여부, 적용 시기, 재활용 의무율 등을 결정해야 한다. 이와 함께 어망 생산자에 대한 정확한 통계가 확보되어 있지 않기 때문에 어망 생산자(국내 생산자 및 수입업자) 조사를 실시하여야 한다.

아울러, 양식장 면허와 폐기물 처리를 담당하고 있는 지자체가 수거, 분리 및 배출, 보관 시설 설치 등을 통해 폐기물의 자원 순환을 체계적으로 추진할 수 있도록 조례 제정을 유도해야 한다. 이를 위해 해양수산부가 표준 조례를 만들고 지자체와 협의를 통해 조례 제정을 확산하도록 정책을 지원해야 한다.

2. 양식장 시설·기자재 내구성 평가 기준 마련 및 시범사업 추진

양식장에서 사용되는 시설과 기자재의 지속 사용 여부를 판단하기 위해서는 판단의 근거가 되는 세부기준이 마련되어야 한다. 우리나라의 양식장에서 사용되는 시설이나 기자재는 양식 품목별/지역별로 차이가 있으며, 시설 등의 상태가 설치 해역의 환경에 영향을 받는다.

이 같은 점을 고려하여 평가 기준은 표준화하되 지역이나 품목 특성을 반영하는 방향으로 마련되어야 하며, 평가 기준 마련에 현장 어업인의 의견을 반영할 수 있도록 충분한 협의를 거쳐야 한다.

마련된 평가 기준을 양식 현장에 보편적으로 적용하기 위해서는 실증 시험과 이를 통한 개선, 제도의 보편화를 위한 어업인 참여 확대 등이 필요하다. 이를 위해 특정 지역이나 품목을 선정하여 시범사업을 실시해야 하며 이 과정에서 어업인의 적극적인 참여를 이끌어 내도록 평가보다는 시설이나 기자재의 상태를 진단하는 차원에서 접근할 필요가 있다. 또한 내구성을 평가하는 비용은 일정기간 국가에서 부담하고 이후 국가와 어업인이 관련 비용을 분담하는 방식으로 진행되는 것이 사업의 조기 정착에 효율적일 것으로 판단된다.

3. 양식장 발생 폐기물의 체계적 조사 시행

본 연구에서는 자원순환 기반의 양식장 관리를 위해 완도군을 대상으로 사용 시설·기자재의 종류와 재질, 폐기물 발생량, 처리 현황 등을 파악했다. 수산양식이 활발하게 이루어지고 있는 완도군 사례 조사를 토대로 우리나라 양식장에서 발생하는 폐기물의 발생량을 추정하고 이를 토대로 양식장에 적용되는 자원순환 모델을 제시했다.

앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 양식장에서 사용하는 시설과 기자재는 지역이나 품목별로 차이가 있다. 완도군의 경우에도 동일한 품목을 양식하더라도 어촌계별로 사용하는 시설이나 기자재가 차이가 있으며, 같은 어촌계라도 어업인별로 차이를 보였다. 완도군이 우리나라를 대표하는 수산양식 지역이기는 하지만, 여러 특성상 우리나라 전체를 대표한다고 판단하기에는 한계가 있는 것이 사실이다.

따라서 양식장에서 발생하는 시설·기자재의 사용량과 재질, 폐기물 발생량, 폐기물의 처리 경로 및 현황 등을 파악하기 위해서는 전국을 대상으로 체계적인 조사가 이루어져야 한다. 이를 위해 본 연구에서 완도군에 적용했던 조사 방법을 기초로 양식 시설이나 생산량이 많은 지역을 중심으로 조사를 확대하여야 한다. 본 조사를 통해 획득한 자료는 향후 양식 생산량 추정이나 양식장 주변 해양의 오염도 측정, 해양쓰레기 발생량 산정 등 정책의 기초자료로 활용도가 높을 것이다.

4. 해양폐기물 재활용 및 관련 산업 지원을 위한 정부 주도형 정책 필요

그간 우리나라의 해양쓰레기 관리 정책은 대체로 발생된 폐기물의 수거 분야에 집중되어 왔다. 발생된 폐기물의 재활용 등 처리나 최근 플라스틱 쓰레기를 저감하는 데 효과적인 수단인 생산자책임재활용 제도와 재활용, 자원순환 정책은 다분히 육상폐기물을 중심으로 진행되어 왔다. 발생된 폐기물의 처리나 자원순환 정책이 환경부 소관이라는 현실적 제약이 있기는 하지만, 이 분야에 대한 해양수산부의 정책은 정체되어 있었다.

앞서 외국의 사례에서 나타났듯이, EU를 포함한 미국과 일본 등은 플라스틱 해양쓰레기 문제 해결의 일환으로 발생한 폐기물의 재활용 기술에 주목하고 있다. 민간 기업이 어망을 에너지로 전환하거나 의류 등의 소재로 재활용하기 위한 기술 개발을 지원하고 전국에 산재되어 있는 해양폐기물을 효과적으로 수거·운반하는 데 필요한 지원을 민간과 협력하여 시행하고 있다. 우리나라는 수산양식용 부자 등 일부 제품을 제외하고는 효과적인 회수(수거) 체계나 재활용 정책이 마련되어 있지 않다. 이 같은 정책의 부재는 민간의 시장 진입을 저해하는 요인으로 작용하고 폐기물 기반시설의 부재에 따른 처리 비용의 증가는 고스란히 국가의 책임으로 전가되는 악순환이 되풀이되고 있다.

최근 해양수산부가 이 같은 현실을 반영하여 해양쓰레기 기술 개발에 대한 큰 틀을 마련하고 있다. 수거 기술, 예방 기술, 재활용 기술, 친환경 소재 개발 등 국제사회의 대응 노력에 맞추어 기술 개발에 대한 청사진과 투자를 계획·추진한다는 점은 다소 늦었지만 매우 긍정적인 정책 방향으로 평가된다.

우리나라는 육상폐기물에 비해 해양폐기물 시장이 협소하고 민간의 시장 진입이 용이하지 않기 때문에, 정부가 화차의 위치에서 객차를 끌어가는 정부 주도형 정책이 타당하다. 해양폐기물 재활용을 강화하고 관련 산업을 육성하기 위해서는 민간의 참여를 유인할 수 있는 정책이 필요하다. 이를 위해 현재 준비되고 있는 해양쓰레기 기술 개발 분야에서 재활용이나 자원 순환 부분의 기술 개발에 우선적인 투자가 이루어져야 한다. 다음으로 정부는 민간에서 필요로 하는 폐기물 원료의 안정적 공급을 위해 폐기물 보관시설 설치, 적정 회수(수거) 체계 구축 등 기반 시설에 대한 투자도 해야 한다. 또한 매트,

스포츠용품 등 비교적 복잡한 기술을 요하지 않으면서 소비가 지속적으로 이루어지는 재활용 생활용품을 생산하는 친환경 기업을 지원하고 육성하는 정책이 필요하다. 해양폐기물 재활용에 익숙하지 않은 소비자나 투자자 등을 위한 정책도 필요하다. 재활용 기술 박람회, 재활용 제품 전시회, 재활용 제품의 소비 촉진을 위한 공익 캠페인 등은 소비자의 인식 개선과 소비 및 투자 촉진하는 데 유용한 활동이다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 관계부처 합동, 『제1차 자원순환기본계획(2018~2027)』, 2018.9.
- 국립수산물과학원, 『굴 수하식양식 표준 지침서』, 2012.
- 국립수산물과학원, 『전복 양식 표준 지침서』, 2008.
- _____, 『친환경 수산자재 및 어구어법 개발』, 2015.
- 국립수산물과학원 남해수산연구소, 『넓미역 양식』, 2016.
- 김창길·권태진, 『한반도의 자원순환형 친환경농업 발전 방향과 과제』, 한국농촌경제연구원, 농촌경제, 제31권 제1호, 2008.
- 김필성·이석정, 「폐기물의 탄화 및 열분해 가스화 연소장치」, 특허, WO2013125928 A1, 2013.
- 교육과학기술부 등 7개 부·청, 『폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획』, 2009.
- 국무조정실 등 11개 부·청, 『친환경에너지타운 종합계획』, 2014.
- 노승국, 「갯벌 개체굴 양식 현장을 찾아서」, 현장르포, 월간 KMI 수산동향, 1월호, 2010.
- _____, 「서산 굴양식 현장을 다녀와서」, 현장르포, 월간 KMI 수산동향, 8월호, 2011.
- 농림축산식품부 보도자료, 「버려지는 자원을 활용한 상생형 친환경에너지타운 조성 추진」, 2015.4.9.
- 대한민국 정부, 『2015년 FTA 국내보완대책 어업인지원 성과분석 보고서』, 2016.
- 산업통상자원부, 『제4차 신·재생에너지 기본계획』, 2014.
- 산업통상자원부 에너지자원정책관실, 「신재생에너지 보급 활성화 대책」, 2016.
- 산업통상자원부·한국에너지공단, 『2016년 신·재생에너지 보급 통계』, 2017.

- 서대석·강창용·박영구·최진용, 『농축산 폐자원의 효율적 자원화 방안 연구(1/2차년도)』, 한국농촌경제연구원, 2016.
- 완도군, 『완도군 통계연보』, 2007~2016.
- 유명규·김윤태·김홍근, 「폐플라스틱으로부터 생산된 재생 연료유의 경유 및 중요 엔진 발전용 개선 장치 및 그의 개선 방법」, 특허, KR20150112565A, 2014.
- 윤성삼·이수영·손준익·황동건·이동진·이수웅·강준구·김영란·김기현·오길중 (2014). 『폐기물 특성별 통합처리 가능성 연구(유기성폐기물을 중심으로)』, 국립환경과학원 보고서, NIER-RP2014-350.
- 이윤정·김경신, 「해양 플라스틱 쓰레기 재활용 정책 확대해야」, KMI 동향 분석, vol. 85, 2018.
- 통계청, 『2016년 어류양식동향조사 결과』(http://www.kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/2/7/1/index.board?bmode=read&bSeq=&aSeq=359717&pageNo=1&ro, 2018/10/19 검색), 2017.
- 충청남도, 「3농혁신 전략품종(참굴) 기술지원단 토론회 결과」, 2012.
- 해양수산부a, 『2016년 어업용 페스티로폼 부표 통합관리체계 구축』, 2017.
- _____, 『2017년 어업용 페스티로폼 부표 통합관리체계 구축』, 2018.
- _____, b, 「2017년 친환경 부표 계약 현황」, 2017.
- 해양수산부 보도자료, 「바다 생태계 보호 및 어업인 안전 위한 법 만든다-「어구관리법」 제정안 13일 국무회의 통과」, 2016.12.13.
- _____, 「세계 7위 양식대국 100년 발자취, 수산양식 역사서 발간」, 국립수산물과학원, 2016.3.2.
- _____, 「완도 지주식 김 양식어업, 제5호 국가중요어업유산 지정」, 2017.
- 해양수산부·환경부·해양경찰청, 『제2차 해양쓰레기 관리 기본계획(2014~2018년)』, 2013.
- 한국환경공단, 『영농폐기물조사』, 2017.

- _____, 『자원순환형 사회구축을 위한 생활폐기물의 적정처리기술』, 2016.
- 환경부 고시(2015-242호, 2016-248호, 2017-240~241호), 「각년도 재활용 의무율」.
- 환경부 고시(2017-240호), 「2022년도 제품·포장재별 장기재활용 목표율」.
- 환경부 고시(2012-239호), 「2017년도 제품·포장재별 장기재활용 목표율」.
- 환경부고시(2012-254호), 「방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리단가」, 2013.
- 환경부, 『농어촌폐기물 적정관리 대책 연구』, 2012.
- _____, 『굴 껍질 등 패각에서 회수한 탄산칼슘을 이용한 고기능성 나노고분자세라믹 코팅기술 개발에 관한 연구』, 2011.
- _____, 『2017 환경백서』, 2017.
- _____, 「자원순환사회로의 전환, “미래세대를 위한 선택”」, 환경정책 Briefs, vol. 05, 2015.
- _____, 『폐자원 및 바이오매스 에너지 대책』, 2008.
- _____, 『재활용 폐기물 관리 종합대책』, 2018.
- _____, 『2015년 전국 폐기물 발생 및 처리현황』, 2016.
- 환경부 보도자료, 「홍천 친환경에너지타운 1년의 성과! 전국으로 확산」, 2016. 12. 16.
- _____, 「영농폐기물 집중 수거에 나선다」, 2017.11.29.

〈국외 문헌〉

- A.G. Dickson & C. Goyet, Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water, DOE, 1994.

- Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics, World Economic Forum, January 2016.
- G20 GERMANY 2017, G20 Action plan on Marine Litter, 2017.
- Interagency Marine Debris Coordinating Committee, 2014-2015 Progress Report on The Implementation of The Marine Debris Act', United States Secretary of Commerce & NOAA, 2016.
- Jambeck, J. R. et al., Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223), 2015.
- Kuhn, S. et al., Deleterious effects of litter on marine life In Marine anthropogenic litter, Springer International Publishing, 2015.
- K.S. Wang, K.Y. Chiang, S.M. Lin, C.C Tsai, C.J. Sun, Effects of chlorides on emissions of toxic compounds in waste incineration: Study on partitioning characteristics of heavy metal, Chemosphere, 38, 1833-1849, 1999.
- M. Charter, R. Carruthers, S.F. Jensen, Products form waste fishing nets: accessories, clothing, footwear, home ware, recreation, Circular Ocean, 2017.
- M. Gryndler, J. Rohlenova, J. Kopecky, M. Matucha, Chloride concentration affects soil microbial community, Chemosphere, 71, 1401-1408, 2008.
- NOAA Marine Debris Program, 'Strategic Plan(2016-2020), NOAA, 2015.
- UNEA, "List of documents adopted by the United Nations Environment Assembly of the UNEP at its first session (23 – 27 June 2014)" – Marine Plastic debris and microplastics(UNEP/EA.1/L.8)', 2014.
- UNEA, Marine Plastic debris and microplastics(UNEP/EA.2/Res.11), 2016.
- UNEA, Marine litter and microplastics(UNEP/EA.3/Res.7), 2017.
- UNEP, MARINE PLASTIC DEBRIS & MICROPLASTICS – GLOBAL LESSONS AND RESEARCH TO INSPIRE ACTION AND GUIDE POLICY CHANGE, 2016.

UNEP, Combating marine plastic litter and microplastics: an assessment of the effectiveness of relevant international, regional and subregional governance strategies and approaches, 2017.

W.F. Owen, D.C. Stuckey, J.B. Healy, L.Y. Young, P.L. McCarty, Bioassay for Monitoring biochemical methane potential & anaerobic toxicity, Water Resources, 13, 485-492, 1979.

농림수산성(일본) 고시·통지, 어업계 폐기물 대책의 추진에 대해, 1991. 5. 10.

〈인터넷 자료〉

국립수산물연구원 홈페이지 주요 양식시설 - 우렁챙이, https://www.nifs.go.kr/page?id=culture_etc (검색일: 2018. 6. 4)

국립수산물연구원 홈페이지, <https://www.nifs.go.kr> (검색일: 2018. 7. 2)

네이버 지식백과(<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=783700&cid=42111&categoryId=42111>) (검색: 2018. 6. 8)

유럽 집행위원회 홈페이지, <http://ec.europa.eu/environment/> (검색일: 2018. 10. 31)

유럽의회 홈페이지, <http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-new-boost-for-jobs-growth-and-investment/package-circular-economy-package> (검색일: 2018. 10. 31)

일본 환경성 홈페이지(www.env.go.jp/) (검색일: 2018. 4. 5)

환경부, 2016 유기성폐자원 바이오가스화 시설 현황, 2017. (www.me.go.kr/m/mob/policy_data/read.do?menuId=40&seq=7099) (검색일: 2018. 6. 4)

한국에너지공단 홈페이지, www.knrec.or.kr/business/energytown.aspx (검색일: 2018. 6. 4)

한국해양수산개발원 수산업관측센터 홈페이지, www.foc.re.kr/web/obstats/stats.do?rbsIdx=86 (검색일: 2018. 6. 2)

- 한국환경공단 홈페이지, <http://www.keco.or.kr/group/group05/bussiness02/contentsid/3061/index.do> (검색일: 2017. 12. 22)
- 해양환경공단 웹진, 우리나라 바닷가에서 발생하는 쓰레기, 얼마나 될까요?, 2017. 12월호, http://hzine.co.kr/hzine/hzine_detail.php?wr_id=64 (검색일: 2018. 7. 28)
- 해양수산통계시스템, <https://www.mof.go.kr/statPortal> (검색일: 2018. 6. 15)
- (주)Nofir 홈페이지, <https://nofir.no/lca> (검색일: 2018. 10. 31)
- International Marine Debris Conference 2018 홈페이지, <http://internationalmarinedebrisconference.org/> (검색일: 2018. 7. 15)
- NOAA Marine Debris Programa, <https://marinedebris.noaa.gov/> (검색일 : 2018. 10. 30) <https://response.restoration.noaa.gov/interagency-marine-debris-coordinating-committee-quarterly-meeting> (검색일: 2018. 10. 30)
- U.S. Congress, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/3508/text> (검색일: 2018. 10. 30)
- U.S. National Park Service: Mote Marine Lab. <https://mote.org/research/research-library> (검색일: 2018. 7. 30)
- U.S. National Fish and Wildlife Foundation, https://www.nfwf.org/fishingforenergy/Documents/FfE_2009-2015_ListofProjects.pdf. (검색일 : 2018. 10. 30)
- Weekly 공감, 해양쓰레기 일제 수거, 깨끗한 바다 만든다, 2018.05.27, <http://gonggam.korea.kr/newsView.do?newsId=01148CCHoDGJM000> (검색일: 2018. 7. 28)
- <http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-new-boost-for-jobs-growth-and-investment/package-circular-economy-package> (검색일: 2018. 10. 31)
- <https://response.restoration.noaa.gov/interagency-marine-debris-coordinating-committee-quarterly-meeting> (검색일: 2018. 10. 30)
- <https://www.nfwf.org/fishingforenergy/Pages/home.aspx> (검색일: 2018.10.30)

〈기사〉

김제시민의신문, 「죽산주민자치위, 영농폐기물 수거함 설치(2008/10/10)」 <http://www.gitimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=11531>(2018/10/01)

매일건설신문, 「충북도, 깨끗한농촌환경 만들기 팔 걷어(2010/04/22)」, http://www.mcnews.co.kr/sub_read.html?uid=14322§ion=sc59§ion2=%EC%A7%80%EC%97%ADNET(2018/10/01)

열린순창, 「인계면 폐농약병 수거함 설치(2017/8/24)」, <http://www.openchang.com/news/articlePrint.html?idxno=18550>(2018/10/01)

한국경제, 「퇴비로 부활하는 양식장 폐사 물고기(2016/7/21)」, <http://news.hankyung.com/article/2016072142081>(2018/10/21)

환경이슈신문, 「경남도, 양식어류 폐사체 시범 처리장 본격 가동(2017/10/16)」, http://www.hkisnews.com/sub_read.html?uid=4384#(2018/10/19)

기본연구보고서 발간목록

2018년

01	해양환경영향평가제도의 실효성 확보를 위한 개선 연구	박수진
02	공유수면매립 정책의 개선과 전환에 관한 연구	윤성순
03	도서지역 해양관광 발전전략 연구 - 관광행태 분석을 통한 수요 대응을 중심으로 -	홍장원
04	양식장 해양쓰레기 자원순환 방안 연구	김경신
05	수산업 전망모형 「KMI-FOSIM」 구축연구 - 양식산업 전망모형 구축을 중심으로 -	이현동
06	수산업 주요 연관산업의 글로벌 경쟁력에 관한 연구	임경희
07	인구소멸 시대의 어촌사회 정책 연구	박상우
08	국내 가두리 양식장 어장환경개선 방안	마창모
09	어업여건 변화에 대응한 연근해 어업의 허가제도 개선 방안	엄선희
10	과학적 해양사고조사체계 도입 및 구축기반 연구	박한선
11	컨테이너 해상물동량 예측 모형 구축방안 연구	고병욱
12	해운기업의 경영성과에 미치는 영향분석 연구	황진희
13	건설용 모래 공급사슬관리(SCM) 방안 - 바다모래 가치 재산정을 중심으로 -	이연경
14	항만산업 종합통계 연구	하태영
15	항만 위험물 컨테이너 공급사슬 관리방안 연구	최나영환
16	국내 컨테이너항만의 비용 함수 추정 및 효율성 연구	최석우
17	신규 해사산업 진흥을 위한 법제도 개선방안	박한선
18	환동해권 물류 및 지역개발 기업진출 사례 분석 및 추진전략	이기열

2017년

01	미래 수산업·어촌 발전을 위한 정책방향 연구	김대영
02	연안침식 대응정책의 개선방안 연구	윤성순
03	해양준조세 산정체계 개선방안	장정인
04	해역의 효과적 관리를 위한 도서 활용 방안 연구	최지연
05	반려동물산업 성장에 따른 수산분야 펫푸드 산업 활성화 방안	장홍석

06	강마을 지역경제 활성화를 위한 전략	박상우
07	Post-2020 국제기후변화 규범체계에 대응한 해양정책 개선방안 연구	박수진
08	한국 수산식품 세계화 전략 수립 연구 -수산물 수출을 중심으로-	임경희
09	양식산업 재난 위기관리에 관한 연구	마창모
10	해운기업의 선박투자 행태 분석과 대응방안	김태일
11	IMO 지속발전 전략계획(SP) 대응방안 연구	박한선
12	컨테이너 해운산업 구조개선을 통한 경쟁력 제고 방안 연구	고병욱
13	동북아 전자상거래 해상운송 전환수요 분석	이기열
14	컨테이너 해운기업의 환적 패턴 분석과 항만의 대응방안	김은수
15	현장수요기반 IoT/빅데이터 항만하역 안전시스템 구축방안 연구	전형모
16	지진에 대비한 항만기능 유지의 필요성과 추진방안	김우선

수시연구보고서 발간목록

2018년

01	선화주 상생발전을 위한 해운산업투자 확대방안 연구	윤재웅
02	새로운 어선등록제 도입을 위한 제도 개선방안 연구	엄선희
03	낙시관리 실행력 제고 방안 연구	이정삼
04	해양생태도의 정책 활용도 제고방안 연구	박수진
05	국내 항만 대기오염물질 배출 저감조치의 운영실태 조사 및 개선방안연구	안용성
06	농축산물 등의 관세행정 제도개선을 통한 항만배후단지내 FTZ활성화 방안연구	조지성
07	최저임금상승이 항만연관산업에 미치는 영향 및 대응방안	이기열
08	수산업·어촌분야 공익적 가치 평가체계 수립 및 사회적 경제 도입방안 연구	류정곤

2017년

01	파나마운하 확장에 따른 해운물류환경변화와 정책대응 방안	박용안
02	해양문화정책 방향에 관한 연구	홍장원
03	4차 산업혁명과 해운산업 정책방향	황진희
04	제주도 항만거버넌스 개선방안 연구	김근섭

05	수산물 산지경매사 직무 및 시험체계 개발	장홍석
06	한·중·일 신선물류산업 활성화 방안	장홍석
07	연안항 지정기준 개선방안 연구	김근섭
08	지속가능한 갯벌어업을 위한 로드맵 마련 연구 -갯벌어업 패류양식을 중심으로 -	마창모
09	해양수산 공공부문 인재육성 정책 방향	홍현표

현안연구보고서 발간목록

2018년

01	미얀마 국립수산대학 설립 추진 방안 연구	정명화
02	연안여객 해상교통의 대중교통체계 구축 방안 연구	김태일
03	해조류 국제양식규범확산에 따른 국내 김산업 수용태세 분석 -ASC인증을 중심으로-	이상철
04	청년일자리 창출을 위한 해양수산 인력양성 방안 연구 -국제물류 청년인력을 중심으로 -	박광서
05	컨테이너 화물 해상운송계약 개선방안 연구	윤재웅
06	청년 물류인력 해외진출 정주 지원사업 구상 연구	김은수
07	자율운항선박 도입 관련 대응정책 방향 연구	박혜리
08	연안토지매입 동향과 도입 가능성 검토	윤성순
09	강릉선 KTX 개통에 따른 해양관광 수용태세 개선방안 연구	최일선
10	선박관리산업 육성을 통한 청년 일자리 창출 방안 연구	최영석
11	시민 참여형 연안·해양정보 생산·활용방안	정지호
12	부산항 배후지 부가가치활동 확대를 통한 일자리 창출 연구	하태영
13	해양바이오 산업화를 위한 국가연구개발사업 추진 방향 연구	한기원
14	근로시간 단축제도 시행에 따른 해양수산업 고용영향 분석	장정인
15	어린물고기 남획실태 및 보호정책 연구	이정삼
16	남북관계 개선에 따른 항만물류 부문의 협력사업 발굴	이기열
17	한국 제조기업의 SCM 역량 강화 방안에 관한 연구	신수용
18	제3자 물류산업 발전방향 연구-대기업 물류자회사의 역할을 중심으로	고병욱
19	신남방정책 이행을 위한 한-베트남 수산식품·가공분야 개발협력 방안 연구	정명화

01	우리나라 해운금융의 한계 및 발전방향	전형진
02	한투발루 협력 증진을 위한 참다랑어 외해양식 투자의 타당성 분석	마창모
03	AMP 설치 수요조사 및 추진과제 연구	이연경
04	해외 진출 무역업체의 한국인 포워더 수요 추정 연구	신수용
05	선박교통관제(VTS) 운영효율화 방안 연구	박한선
06	부산 영도구·중구 도시재생사업 추진방안 -한진중공업·자갈치시장 사례 중심-	최나영환
07	수산시장의 소비자 신뢰 제고를 위한 정책 지원방안 연구	이현동
08	산업정책적 관점에서의 주요국 해운정책 분석 및 정책방향 연구	고병욱
09	연안형 도시재생 기본구상 -부산 원도심 및 영도지역 사례 분석-	최지연
10	갯벌 복원 수요 확대에 따른 복원 표준모형 개발 방향	육근형
11	항만보안 관리체계 효율화 방안 연구	김찬호
12	전자상거래 기반 상업항 개발전략	최상희
13	항만 내 여항구 개발과 관리제도 개선방안에 관한 연구	한광석
14	해운 얼라이언스 개편과 부산항 신항 환적 운영 개선 방향 연구	김은수
15	PA관할 항만 항계 확장에 따른 어업피해보상비 분담기준 마련	김근섭
16	페루 수산시장 현황 및 진출방안	정명화
17	러·일 간 남쿠릴 열도 분쟁의 최근 동향	현대송
18	부산항 신항 혼합형 전용터미널(Hybrid liner terminal) 시스템 도입방안 연구	김근섭
19	해양경비 여건 분석과 역량 강화 방안	윤성순
20	바닷모래의 이용실태와 관리 개선방향	윤성순
21	우리나라 구조조정 정책사례 및 시사점 -한진해운을 중심으로-	황진희
22	한국 컨테이너선대 육성의 필요성	김태일
23	어촌지역 고용지표 통계생산을 위한 기초연구	한광석
24	우리나라 항만산업 고용통계 조사 연구	하태영
25	뉴질랜드·노르웨이의 양식 수산물 수출 전략	임경희
26	빅데이터 적용 해운항만산업 연구분석 우선순위 연구	최종희
27	해양수산 생명자원정책의 개선방향에 관한 연구	박수진
28	미·중 수산물 수출 비관세장벽 동향 및 대응 방안	임경희
29	도시-어촌 상생협력 인식도 조사	이상철

30	크루즈산업의 일자리 창출 규모와 정책과제	황진희
31	내항여객운송사업 운영체계 개선방안	김태일
32	우리나라의 배출규제해역(ECA) 도입 방안 연구	이기열
33	친환경에너지 정책 추진강화에 따른 항만의 신재생에너지 확대방안	심기섭
34	해양수산 일자리 창출분야 및 고용효과 분석	박광서
35	선박에 의한 대기오염물질 배출량 산정체계 개선 방안	안용성
36	해양휴양복지 활성화 정책방안 연구	홍장원
37	G20 해양쓰레기 실행계획의 국내 이행 방안	김경신
38	물류기업 해외진출 지원사업 평가 및 실효성 제고 방안	신수용
39	2018 국내 물류기술 수요조사 및 분석	최상희
40	도시청년 일자리 창출을 위한 도시형 어촌 개발 콘텐츠 발굴 연구	박상우
41	4차 산업혁명시대 항만물류산업 고도화 방안 연구	이연경
42	원양어선 승무 선원의 스트레스 분석에 관한 연구	이승우
43	일자리 창출을 위한 우리나라 항만 경제특구 발전 방향	박성준
44	해양주권 강화를 위한 무인도서 기초정보 개선 연구	정지호
45	세계경영을 위한 해외 터미널 및 물류시설 투자방안	박주동
46	연안 소규모 하·폐수 처리시설의 관리 문제점 및 개선방향	장원근
47	거대선사의 시장지배력 확대에 대한 국적선사의 대응 방향	전형진
48	해양법 관련 최근 판례 및 동향 분석 - 남중국해 분쟁 등 해양법 판례 중심 -	최지현
49	화주 관점의 항만배후단지 역할 제고 방향	김은수

일반연구보고서 발간목록

2018년

01	전라남도 작은 SOC사업 활성화 방안 - 소규모 항·포구 개선사업 -	김근섭
02	2019 국내 물류기술 수요조사 및 분석	최상희
03	러시아 ARCTIC LNG-2 사업 참여 방안 연구	김민수
04	물류기술 R&D 추진동향 분석 연구	강무홍

05	우리나라 기업의 일대일로 물류분야 협력방안 연구	김형근
06	북한 동해 해양관광 활성화 방안	윤인주
07	해양수산 분야 북극권 4차 산업기술 수요조사 및 분석연구	김민수
08	경상북도 논 생태양식 육성 방안	이상철
09	남북관계 변화에 따른 해운협력 기반 구축 방안	황진희

양식장 해양쓰레기 자원순환 방안 연구

인 쇄 | 2018년 12월 29일 인쇄

발 행 | 2018년 12월 31일 발행

발 행 인 | 양 창 호

발 행 처 | 한국해양수산개발원

49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

연 락 처 | 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등 록 | 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 | 크리커뮤니케이션 (02-2273-1775)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel : 394-0337
정가 15,000원