



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경 영 학 박 사 학 위 논 문

가두리양식장 폐사체 처리시설의
경제적 타당성 연구



부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 수 산 경 영 학 과

김 영 재

경 영 학 박 사 학 위 논 문

가두리양식장 폐사체 처리시설의 경제적 타당성 연구

지도교수 송 정 현

이 논문을 경영학박사 학위논문으로 제출함.



2020년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 수 산 경 영 학 과

김 영 재

김영재의 경영학박사 학위논문을
인준함.

2020년 2월

위 원 장 경 영 학 박 사 김 도 훈 (인)

위 원 수 산 학 박 사 강 종 호 (인)

위 원 이 학 박 사 권 문 경 (인)

위 원 수 산 학 박 사 박 찬 일 (인)

위 원 수 산 학 박 사 송 정 헌 (인)

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구 방법	4
3. 논문의 구성	6
II. 선행연구 검토	8
1. 경제성분석 관련 선행연구	8
2. 축산 및 환경 부문의 유사 사례 선행연구	19
III. 가두리양식장 폐사체 처리시설의 현황	22
1. 국내 및 해외 폐사체 처리관련 제도	22
2. 기존 가두리양식장의 폐사체 처리현황 및 문제점	33
3. 공장형 폐사체 처리시설의 현황	36
4. 자가처리형 폐사체 처리시설의 현황	40
IV. 가두리양식장 폐사체 처리시설의 비용 및 편익추정	43
1. 가두리양식장의 양식 및 폐사현황	45
2. 가두리양식장 폐사체 처리시설의 비용	64
3. 육상 매몰 및 위탁처리에 따른 행정비용 절감 편익	68
4. 유기질비료 생산에 따른 자원의 재활용 편익	70
5. 방역 및 질병 예방 편익	73
6. 해양환경 정화 편익	86
V. 경제적 타당성 분석 결과	93
1. 공장형 모델의 경제성 분석 결과	95
2. 자가처리형 모델의 경제성 분석 결과	105
3. 비교 분석	119

VI. 결론	123
1. 연구결과 요약	123
2. 시사점 및 연구의 한계	127
참고문헌	131
부록	137



〈표 목차〉

〈표 1〉 환경재 가치의 계량화 방법	12
〈표 2〉 국내 폐사체 처리 관련 규정 및 관련 법령	25
〈표 3〉 국외 폐사체 처리 관련 규정 및 관련 법령	32
〈표 4〉 경남 표본 가두리양식장 주요 어종 폐사량 및 거제 폐사체 처리시설 처리량	39
〈표 5〉 가두리양식장 폐사체 처리시설 모델별 비교 분석	42
〈표 6〉 국내 가두리양식장의 경영체 및 양식면적	47
〈표 7〉 국내 및 경남 가두리양식장의 사육량 및 사육무게	49
〈표 8〉 국내 및 경남 가두리양식장의 생산량 및 생산금액	51
〈표 9〉 전국 가두리양식장 주요어종의 최근 5년간 폐사율 및 표본어가수	53
〈표 10〉 전국 가두리양식장 주요어종의 최근 5년간 폐사율 및 표본어가수	53
〈표 11〉 경상남도 가두리양식장 주요어종의 최근 5년간 폐사율 및 표본어가수	54
〈표 12〉 경상남도 가두리양식장 주요어종의 최근 5년간 폐사율 및 표본어가수	54
〈표 13〉 폐사율 평균값 산정식 약어	55
〈표 14〉 전국 가두리양식장 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율	56
〈표 15〉 전국 가두리양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 질병폐사율	56
〈표 16〉 경상남도 가두리양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율	57
〈표 17〉 경상남도 가두리양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 질병폐사율	57
〈표 18〉 전국 조피볼락 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균 피해금액 및 표본어가수	58
〈표 19〉 전국 참돔 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균 피해금액 및 표 본어가수	59
〈표 20〉 경상남도 조피볼락 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균 피해금 액 및 표본어가수	59
〈표 21〉 경상남도 참돔 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균 피해금액 및 표본어가수	60
〈표 22〉 폐사피해금액 평균값 산정식 약어	61
〈표 23〉 전국 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사피해금액	62
〈표 24〉 경상남도 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사피해금액	63
〈표 25〉 거제 폐사체 처리시설 시설투자비 현황	64
〈표 26〉 거제 폐사체 처리시설 2018년 연간운영비용 현황	66
〈표 27〉 폐사체 처리시설의 시나리오별 행정비용 절감효과 편익	69

<표 28> 유기질 비료 시장조사 현황	71
<표 29> 거제, 하동 폐사체 처리시설의 유기질 비료 배출량 및 비료생산금액 ..	72
<표 30> 폐사체 처리시설 전국 확대 시나리오별유기질 비료 배출계수, 배출량 및 비료생산금액	72
<표 31> 거제, 하동 폐사체 처리시설의 기여율	74
<표 32> 공장형 폐사체 처리시설의 지역별 보급현황과 기여율	76
<표 33> 자가처리형 폐사체 처리시설의 지역별 보급현황과 기여율	78
<표 34> 자가처리형 폐사체 처리시설의 가두리양식장 경영체당 보급현황과 기여율 ..	79
<표 35> 공장형 및 자가처리형 폐사체 처리시설의 기여율 비교	80
<표 36> 거제지역 가두리 양식장의 질병 예방에 따른 예상 편익	81
<표 37> 공장형 모델 전국 확대 시나리오 상 질병 예방에 따른 예상 편익	82
<표 38> 하동지역 가두리 양식장의 질병 예방에 따른 예상 편익	83
<표 39> 자가처리형 모델 전국 확대 시나리오 I 상 질병 예방에 따른 예상 편익 ..	84
<표 40> 자가처리형 모델 전국 확대 시나리오 II 상 질병 예방에 따른 예상 편익 ..	85
<표 41> 질소제거비용 산정식 약어	88
<표 42> 폐사체 처리시설의 시나리오별 질소 제거비용	89
<표 43> 폐사체 처리시설의 시나리오별 탄소 제거비용	92
<표 44> 거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) ..	97
<표 45> 간접편익 포함 거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (질병 폐사 감소율: 0.39%)	98
<표 46> 거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과	99
<표 47> 공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) ..	102
<표 48> 간접편익 포함 공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (시 설투입량 : 25대, 질병폐사 감소율: 0.66%)	103
<표 49> 공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과	104
<표 50> 하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) ..	107
<표 51> 간접편익 포함 하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (질병 폐사 감소율: 0.38%)	108
<표 52> 하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과	109
<표 53> 자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) ..	113
<표 54> 간접편익 포함 자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐 름표 (시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:0.36%)	114
<표 55> 자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 분석 결과	115
<표 56> 자가처리형 폐사체 처리시설II 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) ..	116

〈표 57〉 간접편익 포함 자가처리형 폐사체 처리시설Ⅱ 운영에 따른 비용편익 흐름표 (시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:0.99%)	117
〈표 58〉 자가처리형 폐사체 처리시설Ⅱ 운영에 따른 비용편익 분석 결과 (시설투입량: 1,031대)	118
〈표 59〉 거제, 하동 폐사체 처리시설의 경제적 타당성 비교	120
〈표 60〉 폐사체 처리시설 전국 확대 시나리오 상 대안비교	122



<그 립 목 차>

<그림 1> 연구체계도	5
<그림 2> 일본에서 발생한 어류 폐기물의 처리 및 처분 현황	30
<그림 3> 생선폐기물을 활용한 각 품목별 출원건수	31
<그림 4> 폐사율 평균값 산정식	55
<그림 5> 폐사피해금액 평균값 산정식	61
<그림 6> 질소제거비용 산정식	88



A study on economic feasibility of fish carcass processing systems in sea-cage farms in Korea

Abstract

There has been a constantly growing need for proper facilities to process the fish carcasses generated in domestic sea-cage farms. As a result, the fish carcasses, generated from fishing farming, have been recently processed into organic fertilizers primarily by two types of facilities in Gyeongsangnam-do.

So far, fish carcasses, generated from sea-cage farming, have been thrown away illegally in the absence of proper measures to process them properly, leading to accumulation of serious damage to marine environment and fishing grounds environment. Thus, it would have important implications for both industry and environment to ensure proper management of fish carcasses by deploying proper processing system.

Therefore, the fish carcass processing systems for sea-cage farms need to be distributed widely as part of public undertaking, on which the feasibility study should be carried out in advance. For that, the economic feasibility study was conducted to promote spread of fish carcass processing system in currently operational sea-cage farms, involving the cost-benefit analysis used most commonly for feasibility analysis of public undertaking.

The items of benefit arising from operation of the processing systems were classified into the direct benefits, such as administrative cost reduction stemming from onshore burial and entrusted processing, resource recycling benefits brought by production of organic fertilizers, and indirect benefits that included the benefits brought by preventive measures against epidemics, prevention of diseases, and marine environment benefits. Those direct and indirect benefits were converted into monetary value through the process of prediction and selection based on research findings and statistical data related to natural science.

We analyzed the economic feasibility on the two types of models, i.e., the

factory-type model presently operational in Geoje, Gyeongsangnam-do, and self-processing type model installed in Hadong on the basis of their respective current status and performance, and furthermore, examined the efficiency that could be achieved by those two models if they were spread nationwide.

First, the factory-type processing system, currently operational in Geoje, was examined in term of initial investment cost, annual operation cost, and processing performance. Cost-effectiveness analysis was conducted based only on the direct benefits that could be generated from 10-year operation of factory-type processing system, and the results suggested that the factory-type processing system was not economically feasible. When the indirect benefits were factored in, the results of cost-effectiveness analysis showed that the factory-type processing system was partially economically feasible.

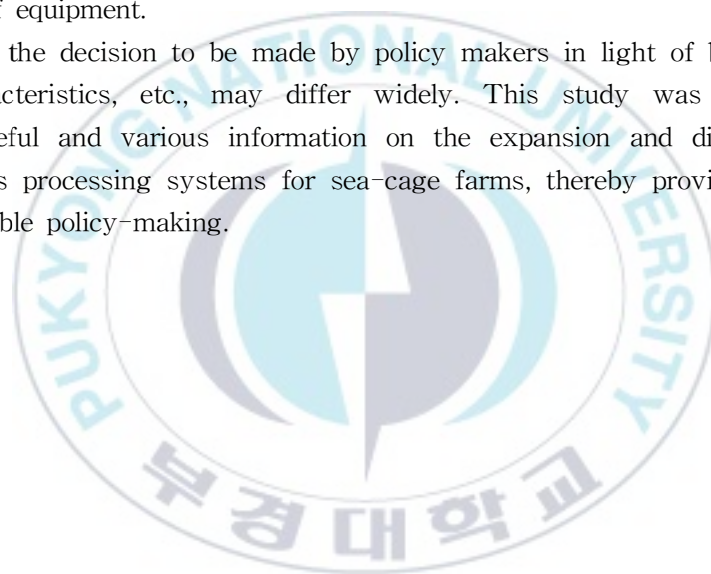
The self-processing type processing system, currently operational in Hadong, was not found to be economically feasible in the cost-effectiveness analysis that considered only the direct benefits to be generated from 10-year operation. When the indirect benefits were factored in, the results of cost-effectiveness analysis showed that the self-processing type processing system was highly economically feasible. Among the two models, the self-processing type processing system in Hadong was found to outperform the factory-type processing system in Geoje and outstrip it significantly in terms of efficiency.

Second, the factory-type model was partially economically feasible when the cost-effectiveness analysis took only the indirect benefits into consideration to evaluate the economic feasibility on the assumption of 10-year operation under the scenario that both factory-type model and self-processing type model were widely spread and distributed nationwide. By contrast, the self-processing type model showed high economic feasibility under the same scenario in the cost-effectiveness analysis that considered the additional factor of indirect benefits, although little economic feasibility could be anticipated when only direct benefits were considered in the cost-effectiveness analysis. Moreover, the self-processing type model was found to be more excellent and efficient than the factory-type model when the two different models were compared with each others.

In conclusion, the fish carcasses generated in sea-cage farms can be

processed by factory-type model and self-processing type model, and the results of analysis showed that both models had little economic feasibility when only direct benefits were factored in. However, when the indirect benefits, such as the benefits brought by preventive measures against epidemics, prevention of diseases, and marine environment benefits, were additionally considered, the self-processing type model was found to have high economical feasibility. The self-processing type model was found to outstrip the factory-type model significantly in terms of economic feasibility, which might be attributable to the fact that the self-processing type model incurred far less operating cost, compared to factory-type model, after the initial purchase of equipment.

However, the decision to be made by policy makers in light of budget scale, local characteristics, etc., may differ widely. This study was intended to provide useful and various information on the expansion and distribution of fish carcass processing systems for sea-cage farms, thereby providing a basis for reasonable policy-making.



I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 양식업이 비약적으로 성장함에 따라 양식업의 환경부하에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 우리나라의 가두리양식업의 경우 1975년 경남 통영에서 방어 축양을 시작으로 1990년대부터 생산량이 급격하게 증가하였으며, 2018년 현재 38,223 M/T의 생산량을 기록하는 중요한 수산업의 분야가 되었다.

어류의 성장을 위해서는 많은 양의 사료가 필요하며 이를 대사시키는 과정과 유실된 유기물에 따른 영향은 상당할 것으로 보고되고 있으며 이에 따른 관련연구는 많이 진행 중이다. 축산산업의 경우 이미 전염병에 의한 폐사가축에 대한 처리방법과 자원으로 재활용, 환경적 영향에 관한 연구가 진행되어 왔다.

하지만 수산양식 특히 가두리 양식장에서 발생하는 폐사체에 대한 효율적 처리방안과 환경적 영향에 따른 관련 연구는 미미한 실정이다.

공유수면관리 및 매립에 대한 법률 제5조 1항, 물환경보전법 제 15조 2항, 폐기물관리법 제8조 2항, 해양환경 관리법, 수산생물질병 관리법 등 많은 법령에서 폐사체의 임의 매립 및 해양투기를 금지하고 있음에도 불구하고 2007년 통영해양수산사무소에서 실시한 가두리 양식장 폐사체 처리현황조사(소규모 및 질병폐사)에 따르면 해양투기 47%, 육지매몰 43%, 소각 5%, 방치 3%, 기타 2%로 조사되었고 최근 경남지역 가두리 양식장 현장

조사에 의하면 대부분의 상시 폐사체가 해양투기 되고 있는 것으로 조사되었다.

무단으로 해양투기된 폐사체는 크게 2가지 측면에서 수서생태계 및 해양 환경에 악영향을 미친다고 할 수 있다.

첫째, 수산생물 질병의 확산과 둘째, 해양환경 오염 유발에 대한 측면이다.

폐사된 어류를 방치하였을 경우 그 병원체가 사육수 중으로 빠르게 확산 되고 기하급수적으로 늘어나는 결과를 보여주고 있으며(국립수산물과학원, 2016), 이를 자주 제거해주는 양식장과 그렇지 않은 양식장의 질병 발생률이 3배이상 차이가 나는 것으로 예측되었다(Jarp, J and E. Karlsen., 1997).

또한, 폐사된 어류의 병원체가 효율적이고 높은 비율로 전파되는 결과가 보고되었으며(Kunttu, Heidi MT *et al.*, 2009), 양식산 어류가 아닌 자연산 어류 및 이매패류에서도 양식어류에서 발병되는 동일한 병원체들이 검출되는 연구사례가 많이 있다.

가두리 양식장에 공급된 유기물은 연안의 저서생태계를 교란시키는 주요인이며, 폐사체 자체가 많은 유기물을 포함하고 있다. 따라서 어장 주변에서 무단투기 되는 폐사체가 지속적으로 많은 양이 축적될 경우 해저면에 유기물이 과다하게 공급되는 결과를 가져오게 되는 것이며, 호기성 분해에 의한 산소의 대량소비는 가두리주변 해역에 빈산소 수괴를 발생시키며 더 나아가 혐기성 분해에 의해 유독성 환원가스인 황화수소, 암모니아, 메탄 등의 부산물을 생성하게 된다(Yoon *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010; Jang and Shin, 2016).

이러한 유독가스들은 양식어류의 건강도에 직접적인 피해를 일으킬 뿐만 아니라, 재생산된 다량의 무기영양염은 위해성 적조 생물의 대량번식을 촉진시키기도 하는 영향을 가져온다(Ng *et al.*, 1993; Stickney, 1994).

또한 해양환경에 지속적으로 공급되는 유기물에 의한 빈산소 수괴 형성 및 해양산성화는 양식 굴과 양식 전복의 성장 및 폐사에도 치명적 영향을 미치는 것으로 보고 있다(Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; 김숙양, 외. 2011; Kroeker *et al.*, 2013).

하지만 제도적 제한과 해양환경을 악화시키는 영향이 많음에도 불구하고 불법적 투기 및 매립이 계속 이어져오는 것은 그동안 중앙 및 지방 정부 해양수산당국에서 이러한 현상에 대한 관심이 다소 부족했으며, 적조· 고수온 등의 원인으로 대량폐사가 발생하였을 경우에 대한 대비책에만 집중하여왔기 때문이기도 하다. 또한 기반연구를 통해 양식 어민들에게 효율적이고 적법한 방법을 제시하지 못한 이유도 있을 것이다.

최근 지구온난화 및 해양환경과 어장환경오염의 가속화로 이러한 폐사체 처리에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이며, 양식 어민들의 대안에 대한 요구도 높아져 가고 있는 실정이다.

국립수산물과학원에서는 다년간에 걸쳐 가두리양식장에서 발생하는 폐사체를 친환경적이고 효율적으로 처리할 수 있는 시스템에 대한 연구를 완료하였으며, 이 결과에 따라 2017년 경상남도에서는 거제지역에 폐사체 처리 시설을 설치하고 운영하기 시작하였다.

이번 연구를 통해 일부 양식현장에서 시행되고 있는 폐사체 처리 시설운용에 대한 현황을 파악하고, 이를 통해서 얻을 수 있는 편익과 타당성에 대한 연구를 실시하여 확대 보급할 수 있는 기초자료 및 근거로 사용되는데 기여코자하며 나아가 ‘지속가능한 수산업’ 발전에 유용한 정책적 정보를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 먼저 국내 현행제도 하 수산양식에서 발생하는 폐사체에 대한 관리 규정과 해외의 관리제도 및 관리대책을 분석하여 현 상황에서의 양식현장이 처하고 있는 문제점을 진단하고 현재 운용중인 폐사체처리시설이 합당한가를 살펴볼 것이다.

최근 운용중인 가두리 폐사체 처리시설을 거제 지역의 공장형 모델과 하동지역의 자가처리형 모델로 분류하고 각 모델 별 초기 시설비용과 연간·월간 운영 비용 및 처리실적을 파악 하고 분석한다.

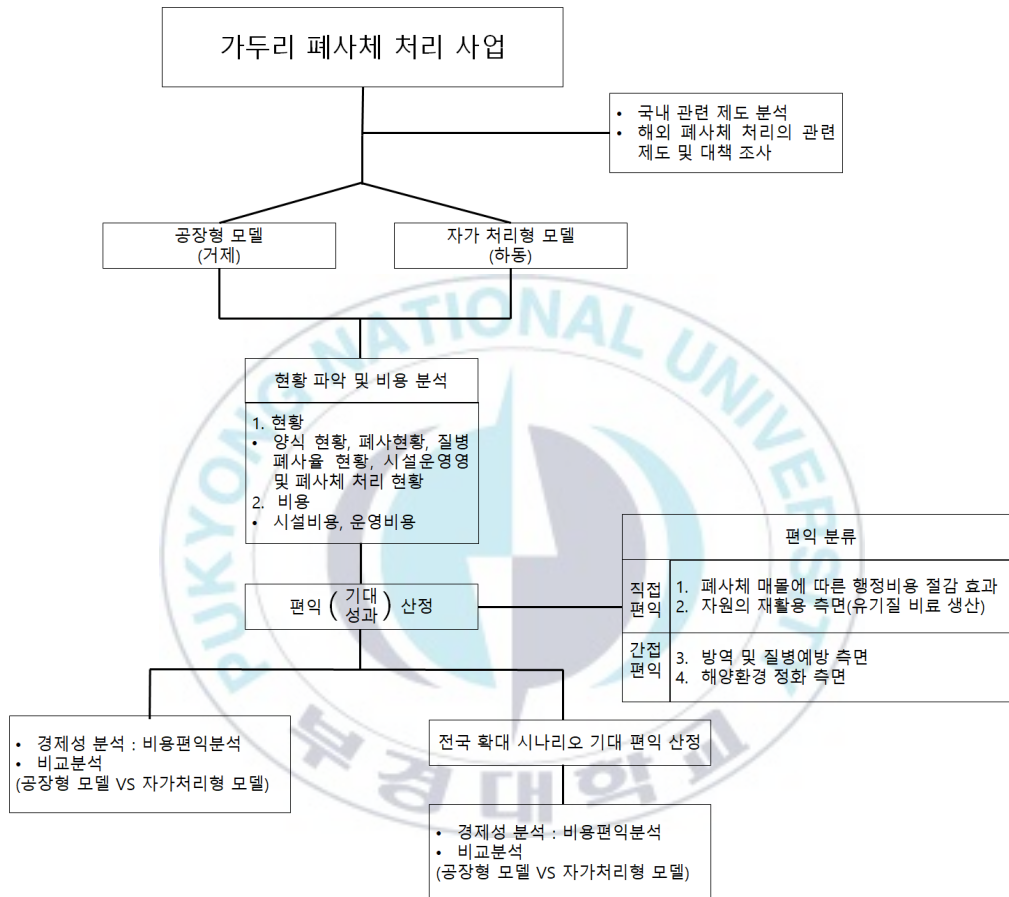
각 모델의 편익을 산정하기 위해 각 지역의 양식생산량, 현사육량, 경영체 수, 어종별 비율 등 어업관련 자료를 수집하여 분석하는 한편, 최근 5년간 가두리 양식 주요 어종(조피볼락, 참돔)에 대한 폐사율 및 폐사금액과 질병에 의한 폐사 비율 및 그 피해 금액을 분석하고 이를 다시 지역별로 분석하고 예측한다.

직접적 편익항목으로 폐사체 육상매몰 및 위탁처리에 따른 행정비용 절감 효과, 유기질 비료 생산과 간접적 편익항목으로 방역 및 질병 예방 측면, 해양환경 정화 측면의 편익으로 분류하고 이에 대한 자료 수집과 분석을 통해 거제 모델과 하동 모델의 1년 운영실적을 바탕으로 편익 및 성과를 산정하고 이에 따른 경제성 분석을 실시하고 이를 비교 분석한다.

또한 각 모델별 전국 확대 보급 시 기대되는 편익을 산정하고 이에 따른 경제성 분석 실시 및 비교 분석을 수행 하고자 한다.

공공사업관점의 타당성 연구에 대한 객관성과 직관성을 확보하기 위해 간접적 편익을 현금단위로 측정할 수 있는 연구에 집중도를 높였으며 이에 대한 다양한 근거를 제시코자 하였다. 이를 토대로 편익/비용 비율(Benefit

Cost Ratio : B/C ratio)¹⁾, 순현재가치(Net Present Value : NPV)²⁾, 내부수익률(Internal Rate of Return : IRR)³⁾을 기본 분석항목으로 설정한 비용편익 분석을 실시하였으며, 이를 통해 경제적 타당성 연구를 진행하였다.



<그림 1> 연구체계도

- 1) 예비타당성조사에서는 편익/비용 비율이 1.0이상($B/C \geq 1.0$)이면 경제성이 있다고 판단한다.
- 2) 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한값이며 순현재가치가 0이상($NPV \geq 0$)이면 경제성이 있다고 판단한다.
- 3) 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인을 R을 구하는 방법으로 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율이다. 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

3. 논문의 구성

본 논문은 총 6장으로 구성된다.

제 2장에서는 2가지 측면에 대한 선행연구를 검토하였다.

첫째, 경제성분석 관련 선행연구에서는 비용편익분석에 대한 개요와 사업실시에 따른 경제적 파급효과를 포함하는 비용편익분석 사례를 살펴보고 편익설정을 위한 환경재가치의 계량화 방법론을 추가적으로 살펴봄과 동시에 편익추정을 위해 자연과학에서 제시하고 있는 여러 연구결과를 통해 가두리양식장에서 발생하는 폐사체가 무단으로 해양 투기되었을 경우 예상되는 질병확산 및 해양환경오염에 대한 근거와 이에 대한 계량화 및 현금가치화 가능성에 대해 검토하였다.

둘째, 축산 및 환경부문의 유사사례 선행연구 검토를 통해 각 산업의 환경오염유발 또는 환경부하 물질의 다양한 처리방식 별 경제성분석에 기초한 타당성 분석사례와 그 분석방법을 살펴보았다.

제 3장에서는 국내의 가두리양식장에서 발생하는 폐사체에 대한 규정과 처리방법의 관련제도를 검토하였고, 해외의 양식장에서 발생하는 폐사체에 관련된 제도 및 처리규정에 대한 조사를 실시하였다.

또한 기존 가두리양식장에서 발생하는 폐사체를 처리하는 현황과 문제점을 알아보았고 가두리양식장 폐사 처리시설의 시설 현황 및 운영실적을 분석하였다. 이를 통해 공장형 폐사체 처리시설과 자가처리형 폐사체 처리시설의 두 가지 모델에 대한 특성을 파악하고, 분석된 자료를 바탕으로 이후 편익추정 및 타당성 분석을 위한 기초자료로 활용하였다.

제 4장에서는 국내 가두리 양식장의 어종별과 지역별 양식현황과 가두리 양식장 주요어종인 조피볼락과 참돔의 지역별 최근 5년간 전체 폐사현황과

질병에 의한 폐사현황 및 각 피해금액을 분석하였으며 이를 다양한 항목의 편익추정 및 타당성 분석을 실시하는 기본 자료로 활용하였다. 예측된 연간 지역별 또는 전국의 가두리양식장의 폐사량 및 질병폐사량, 각 피해금액과 각 모델의 처리실적 및 예상되는 처리실적 자료를 바탕으로 직접적 편익항목으로 육상매물 및 위탁처리에 따른 행정비용 절감 편익과 유기질 비료생산에 대한 편익 간접적 편익항목으로 방역 및 질병예방 편익과 해양 환경 정화측면의 편익을 분석하였다.

제 5장에서는 두 모델의 초기 시설비용과 운영비용에 근거한 지역별 경제성분석을 실시하였으며 이를 전국의 가두리양식장으로 확대시키는 시나리오에 대한 경제성분석을 실시하였다. 또한 두 대안에 대해 각 시나리오별 경제성분석 결과를 비교 분석하였으며, 이는 질병폐사율 감소에 따른 영향의 민감도분석을 기본항목으로 실시하였다.

마지막으로 제 6장에서는 가두리양식장 폐사체 처리시설의 확대보급을 위한 경제적 타당성분석 결과를 종합하고 더불어 정책적 시사점과 향후 과제를 제시한다.

Ⅱ. 선행연구 검토

1. 경제성분석 관련 선행연구

가. 비용편익분석 관련 선행연구

김상봉(2009)은 공공투자분석을 위한 비용편익분석의 실시 과정을 사업의 실시 경우(With case)와 사업의 미실시 경우(Without case)를 고려하여 수요예측을 실시하고 이에 따른 편익과 비용을 산정하고, 잔존가치를 계상, 주어진 계산기간 내의 총편익과 총비용에 대해 사회적 할인율을 이용하여 현재가치화하고 평가지표를 산정하여 이에 따른 분석을 진행하는 것으로 정리하였다.

일반적으로 비용편익분석은 공공투자사업의 경제성을 가장 객관적으로 분석하는 평가방법으로 알려져 있으나, 이에 대한 몇 가지 문제점으로는 첫째, 모든 비용과 편익은 계량화하고 화폐가치화하여야 하나 현실적으로 상당 부문 힘든 점이 많다는 것이며 결국 이와 같은 효과는 분석에서 제외될 수 있으므로 평가의 정확성이 결여될 수 있는 점 둘째, 투자에 대한 최대 편익뿐만 아니라 소득재분배, 시장안정 등 고려해야 할 측면이 많은 점 셋째, 할인율의 결정에 따라 분석결과가 달라질 수도 있다는 점을 들 수 있다.

하지만 이와 같은 문제점에도 불구하고 비용편익분석은 가장 객관적이며 명료하게 정책판단의 근거를 제시하고 있기 때문에 일반적으로 많은 공공

사업의 평가에 이용되고 있다.

김태영(2014)은 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익추정 및 파급효과 분석에서 CVM(Contingent Valuation Method)을 활용하여 해양 바이오에너지 연구개발사업의 시행에 따른 온실가스 저감에 관한 지불의사액을 조사하고 이를 통해 경제적 편익을 추정하였으며, 거시적 관점에서 타 산업에 미치는 국민경제적 파급효과를 계량화하기 위하여 투입산출분석 방법론을 이용하여 관련 분석을 이행하였다.

그 결과 유·무형 편익을 활용한 경제성 분석 결과 순현재가치, 내부수익율, 편익/비용 비율 등 투자효율성 분석지표가 각각의 평가기준을 상회하여 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 타당성을 입증하였다.

박시용(2015)은 축산 폐수 바이오가스 설비에 대한 투자가 국민들에게 어떠한 편익을 가져오는지 분석하고, 비용과 편익을 추정해봄으로써 투자의 타당성을 평가하였다. 더불어 이러한 설비투자가 국내 주요 산업에 어떠한 경제적 파급 효과를 가져 오는지 비용편익 분석과 산업연관 분석을 통해 분석하였다. 이때 편익의 항목으로는 메탄가스 회수량 추정, 신재생 전력 생산 편익, 열 생산 및 공급 이익, 온실가스 감축 편익, 축산폐수 수거·처리비 및 최종 부산물 생산 편익, 대기오염 물질 감축 및 악취 저감과 같은 사회/환경적 편익을 설정하였다.

또한 학자들 간 이슈되고 있는 사회적 할인율의 5가지 안으로 민감도 분석을 실시하여 결과를 비교분석 하였다.

국립수산물과학원(2017)은 민간수산물방역조직 설립 및 운영을 위한 사전 기초조사에 대한 연구를 실시하였으며 이에 따른 민간수산물방역조직 설립의 타당성을 분석하였다. 사업실시에 따른 편익 항목으로는 폐사율 저감에 따른 수익, 시장가치증대, 약품비용절감, 기존 방역예산 절감 등으로 구분하였고, 폐사율 저감에 따른 편익만을 연간 피해액의 3~20%까지 저감시킨

다는 5가지의 시나리오를 수립하여 비용편익분석을 실시하였으며 이 결과에 따라 사업성을 아주 높게 평가하였다.

이와 같이 비용편익분석을 활용한 경제적 타당성분석을 실시하기 위해서는 적합한 비용과 편익 항목의 설정과 그에 따른 적절한 측정방법의 선택은 가장 근간이 되며, 중요한 사항일 것이다. 이에 따라 결과는 다양하게 나타날 것이며 정책적 판단의 근거자료로 활용 될 것이기 때문이다.

나. 환경재 가치의 계량화 방법론

환경재 가치를 계량화하는 방법론은 시장자료에 기초한 측정방법과 비시장가치를 측정하는 방법으로 나눌 수 있다.

이는 다시 직접적 측정방법과 간접적 측정방법으로 나눌 수 있는데 시장자료에 기초한 직접적 측정방법은 시장가격 조사와 환경재 시장이 명시적으로 존재할 경우 이를 활용하는 방법이다. 시장자료에 기초한 간접적 측정방법은 대체비용을 조사하여 반영하는 방법이 있다.

비시장가치를 측정하기 위한 직접적 측정방법으로는 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method: CVM)이 대표적으로 활용되고 있으며 이는 가상가치측정법이라고도 한다.

조건부가치측정법은 시민에게 특정 평가대상의 가치를 직접 물어보는 가치측정법으로, 존재가치나 선택가치 등 무형의 가치를 평가하는 데 유용성이 있음이 폭넓게 인정되고 있다.

비시장가치를 측정하기 위한 간접적 측정방법으로는 재산가치접근법(Property Value Approach), 헤도닉시장접근법(Hedonic Price Method : HPM), 여행비용접근법(Travel Cost Method : TCM), 회피행위접근법(Averting Behavior Approach) 등이 있다.

재산가치접근법은 환경재에 대한 시장이 존재하지 않는 경우 대리시장으로서 토지시장 혹은 주택시장을 이용하여 환경의 질이 개선되었을 때의 편익을 추정하는 방식이다.

헤도닉시장접근법은 주택을 소비하는 소비자는 효용을 주택 그 자체에서만 얻는 것이 아니라 그 주택이 가지는 여러 가지 특성 등을 통하여 얻어진다는 헤도닉가설을 적용하여 부동산가격에서 환경가치를 분리해 내는 방법을 말한다.

여행비용접근법은 비시장재화의 측정기법 중에서 가장 오래된 기법으로서 레크레이션 시설이나 경승지, 문화유적지 등의 가치를 소비자의 현시적 선호가 실현된 자료를 이용하여 간접적으로 도출하는 방법이다.

회피행위접근법은 구입된 물품의 용도가 예상되는 피해를 완화하기 위한 것이라는 사실에 기초하여 투입물이 환경의 피해를 보상하기 위해 사용되는 한, 환경오염의 조그만 변화의 가치는 변화를 보상하기 위해 사용된 투입물의 가치에 의해서 측정하는 방법이다(김태운, 김상봉, 2004).

이처럼 환경서비스의 가치추정을 위해서 여러 가지 평가방법이 사용되며 그 결과는 정책 결정과정에서 정보를 제공하는 역할을 한다.

이런 결과가 정책 입안가에게 좀 더 충분한 정보를 제공하여 자연 환경에 영향을 미치는 정책 결정을 돕기 위한 기초로 사용되어야 한다.

정책의 결정과정에서 측정불가능하고 수량화 할 수 없는 영향이 고려되고 좀 더 종합적이고 좋은 정보가 제공된다면 사회 전체의 후생은 증가 할 것이다.

환경의 가치를 평가함으로써 얻을 수 있는 이점으로는 첫째, 시장체제 안에서 경제적 왜곡을 수정하는 과정이 된다는 점이며 둘째, 환경을 경제개발의 편익과 동등한 경제적 근거에서 평가함으로써 그 중요성을 화폐가치로 산정 할 수 있는 것 셋째, 사용자 개개인의 선호도를 파악하여 정책

에 반영할 수 있는 점 넷째, 경제개발의 가치와 동등한 수준의 가치를 부여함으로써 환경적 관심의 정도를 제기 할 수 있다는 것이다.

분석 도구와 데이터, 과학적 지식이 개선됨에 따라 환경적 가치평가가 정책입안의 새로운 영역으로 그 이용가능성이 증가하고 있으며, 불완전할 지라도 어떤 방식으로든 환경오염으로 인한 피해 또는 환경개선으로 인한 편익을 평가한다는 것은 필요한 일이다(김광임, 1995).

<표 1> 환경재 가치의 계량화 방법

	시장 자료 기초 측정	비 시장가치의 측정
직접적 측정방법	시장가격 환경재 시장의 명시적 존재	조건부가치 측정법 (Contingent Valuation Method : CVM)
간접적 측정방법	대체비용	재산가치접근법 헤도닉시장접근법 여행비용접근법 회피행위접근법

다. 편익추정을 위한 선행연구

(1) 폐사체 제거의 질병확산 예방 편익 추정

어류의 질병발생 메카니즘은 병원체, 어류의 건강도, 사육환경의 3가지 요소의 상호 유기적 작용으로 발생하고 이를 방지할 수 있는 최선의 방법은 사육환경과 어류의 건강상태를 좋게 유지함으로써 병원생물의 증식과 침입을 방지할 수 있다고 알려져 있다.

하지만 어류질병의 최대의 특징은 숙주가 수생생물이란 점이기 때문에 병원체가 숙주에서 이탈하였을 경우 육상의 공기 중에 비하여 훨씬 오래 수중에서 생존할 수 있다는 것이다. 이 때문에 수생생물이 서식하고 있는 환경인 물을 매개로 하여 전염병의 전파가 쉽사리 일어난다고 볼 수 있다 (박성우 외, 2012).

가두리양식장의 조건은 외부 환경과 극도로 개방된 형태이며, 이러한 연유로 외부 환경과의 병원체 교환 작용이 지대할 것이라는 것은 극명한 사실로 인식할 수 있다. 질병에 의해 발생된 폐사어의 많은 부분이 양식 환경 주변에 방치되는 것으로 파악되었고 주변해역에 많은 양의 병원체들을 상존시키거나 이동시킬 수 있을 것이다.

국립수산물과학원(2017)의 연구에 의하면 병원균에 의해 폐사된 넙치를 수중 방치시키고 1시간부터 96시간에 걸쳐 방치된 해수 내의 병원균이 최대 114,000배까지 증가하는 것을 확인하였으며, 이에 따르면 밀식도가 높은 가두리양식장의 특성상 신속하게 폐사어를 환경 중에서 제거하지 않으면 질병확산에 따른 피해가 높을 것으로 예상된다.

Jarp, J and E. Karlsen(1997)은 대서양연어의 Infectious Salmon Anemia(ISA)질병의 위험요소 중 양식 환경 중 폐사어 제거에 대한 부분을

주요하게 다루고 있으며, 여름철 매일 폐사어를 제거한 그룹과 비교하여 그렇지 않은 그룹에서 ISA 질병 발생율이 3배정도 될 것이라 예측하였다.

Shoemaker(2000)은 수조당 100마리의 틸라피아를 수용하여 5마리의 연쇄상구균증에 의해 죽거나 빈사상태의 어류를 동거 실험한 그룹과 연쇄상구균을 배양하여 직접 침지시킨 그룹의 28일간 실험 결과 폐사율에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 보고했으며, 이를 통해 질병에 의한 폐사어가 효율적으로 병원체를 전달시키는 것을 알 수 있다.

또한 1998년 Alaska의 Lisianski Inlet에서 Pacific herring(*Clupea pallasii*), Pacific hake(*Merluccius productus*), Walleye pollock(*Theragra chalcogramma*)에서 대량폐사가 발생하였고 3종 어류에서 Viral Hemorrhagic Septicemia Virus(VHSV)가 분리 되었다는 보고와(Meyers *et al.*, 1999) 2003년 포항과 부산의 인근 해역, 남해안, 서해안과 2005년 서해안, 남해안과 2012년 완도 인근 해역의 자연산 어류 13종에서 VHSV가 검출되었으며, 2013년에는 울산, 통영 및 서산에서 채집된 2종의 이매패류에서 VHSV가 검출(장민석 외, 2018)된 연구가 있고, 남, 서해안과 동중국해 자연산 어류에서 2003년에는 아귀, 도다리, 줄비늘치, 눈볼대 4종 (4마리)에서 Red Seabream Iridovirus(RSIV)가 검출되었으며, 2005년에는 참조기, 기름가자미, 두툽상어, 살살치, 황돔, 붕장어, 병어, 양태, 숭어 군평선이, 서대, 넙치, 보리멸 13종에서 검출되는 등 자연산 어류에서도 전염성 병원체가 검출되었다는 보고(이월라 외, 2007)를 통해 양식어류에서 기인했을 개연성이 높은 전염성 병원체가 자연산 어류에서도 검출되는 연구 결과를 확인 할 수 있다.

이러한 선행연구를 통해 가두리양식 자체가 질병확산에 있어 취약할 수밖에 없는 구조를 가지고 있으며 이를 예방할 수 있는 가장 중요한 방법 중 하나가 폐사어의 신속한 제거와 양식 환경과 격리하는 적합한 처리에

있다는 결론에 이른다.

표희동(2009)은 해양오염 퇴적물 정화사업을 수행함으로써 발생할 수 있는 경제적 편익을 추정하고 사회경제모델개발의 일환으로 여수선소지역의 수산물에 대한 회복효과를 분석하였다.

수산물생산증가효과와 수산물소비회복효과를 이 사업에 따른 대표적 경제적 편익으로, 수산물생산증가효과를 추정하는 주된 요인으로 수산생물의 질병폐사율 및 감염율을 설정하였다.

이 사업으로 인해 수산생물의 폐사율 및 감염율이 5%수준으로 감소하는 것을 가정하였는데, 이는 해양수산부(2006)의 수산동물 전염병 방역체계 구축방안 연구에서 양식어류의 현재 폐사율 및 감염율이 10%수준이고, 어류 질병관리사업으로 이를 절반정도까지 감소시킬 수 있다고 한 자료를 근거로 질병감소율을 5%로 적용한다고 하였다.

이 연구에서 해양오염 퇴적물 정화사업과 질병관리사업의 폐사율 및 감염율 저감효과를 동일하게 평가하는 것은 비약적 부분으로 생각할 수 있지만, 자연과학의 연구 자료를 적극 활용하여 계량화하기 어려운 편익을 예측했다는 점은 기존 연구와 차별점이 될 것이다.

(2) 해양환경 개선 및 정화에 따른 편익 추정

다량의 폐사어가 해양환경에 투기 또는 방치되었을 경우 많은 양의 유기물을 해양환경이 흡수해야 하며 이를 다시 정화시키기 위한 환경적 부하가 가중될 것이다.

급속한 산업발전에 따라 육지에서 연안으로 유입되는 하천 및 생활하수, 산업용수는 이미 많은 양의 유기물과 오염물질을 함유하고 있어 부영양화를 포함한 해양환경에 악영향을 미치는 요소로 작용한다. 또한 연안이나

내만에서 이루어지는 장기간에 걸친 수산생물의 양식에 따른 어장의 자가 오염을 통한 노화현상이 겹쳐서 미세조류의 대량발생으로 인한 적조 출현과 같은 현상이 확산되는 경향이다. 유해적조생물의 대량발생은 수산생물의 대량폐사를 통한 수산 양식업에 피해를 가하는 요인이 되며 이와 더불어 수산식품위생에 문제점으로 제시되고 있다.

이렇듯 현재 해양환경의 외부오염물질 유입에 따른 자정능력은 이미 임계치를 초과한 수준이며, 해양환경의 오염을 방지하고 개선시키기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있다. 가두리양식장의 경우 사업을 영위하는 방식 자체가 많은 유기물 및 오염물질을 해양환경으로 배출시키고 있는 형태지만 지속적으로 발생되고 해양투기로 이어지는 엄청난 양의 폐사체에 대한 적절한 관리의 노력을 기울여야 한다.

폐사어는 자체를 유기물덩어리라고 보면 될 것이다. 어류는 일반적으로 수분을 제외한다면 주로 단백질, 지방질, 회분으로 구성된다. 유기물의 분해과정에서 탄소, 질소, 인의 화합물을 생성한다.

Holmer and Kristensen(1992)은 가두리양식장 퇴적물의 유기물 함량은 다른 해역보다 최대 10배까지 높은 것으로 확인하였고, Hall *et al*(1990)에 의하면 해저면에 유기물이 과다하게 공급될 경우, 호기성 분해에 의한 산소의 대량 소비는 가두리양식장 주변해역에 빈산소 수괴를 발생시키며 더 나아가 혐기성 분해에 의해 유독성 환원 가스인 황화수소, 암모니아, 메탄 등의 부산물이 생성된다고 했다.

Yoon *et al*(2008)와 Kim *et al*(2010)은 부영양화로 인한 유기물 오염은 저층의 용존산소 결핍을 초래하여 빈산소 수괴 형성에 결정적인 역할을 하며, 어패류의 폐사, 황화수소 및 메탄 발생 등의 악영향을 미친다고 한다.

Ng *et al*(1993)와 Stickney(1994)은 높은농도의 NO_3^- , NO_2 및 PO_4^{3-} 는 양식 시스템을 통해 재순환 용수 및 폐수 배출에서 발견되며, 높은 수준의

영양 음이온(nutrient anions)은 양식어에 독성을 나타내거나 조류 대증식으로 이어져 미세 조류의 빠른 성장을 초래한다고 연구했다.

이렇듯 유기물에서 배출된 질소에 의한 수질환경 피해는 심각하게 여겨지며 이를 감소시키기 위한 노력이 각 분야에서 이루어져오고 있으며, 이를 제거시키는 비용에 대한 경제적 측면의 연구도 고려되었다.

질소제거비용의 경우 3가지 측면을 고려하였으며, 첫 번째 Chopin (2010)에 따르면 캐나다 동부 연안의 Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)프로젝트에 따르면 매년 다시마를 수확하는 것은 생태계에서 질소 35.75 M/T을 제거하는 것과 같고 이러한 Nutrient Trading Credits(NTCs)는 \$ 357,504에서 \$ 1,072,512로 추정됨에 따라 질소 제거 비용은 약 \$ 10 ~30/kg로 예상된다. 두 번째 Neori (2007)에 따르면 덴마크의 어류 양식에서 해조류와 조개류를 이용한 생물 여과 사용하였으며, 이에 따른 질소제거비용은 \$ 44/kg로 예상된다고 보고하였다. 세 번째 Jones et al(2010)에 따르면 농업, 폐수 영양소 거래의 잠재적 경제적 범위를 위한 WRI(World Resources Institute)에서 질소에만 초점을 맞춘 시나리오 3가지가 있으며, 모든 시나리오는 체사 피크만(Chesapeake bay)의 중심부로 전달되는 질소 부하를 반영하였다. 첫 번째 시나리오는 2006년과 2009년 사이 Pennsylvania pre-TMDL의 질소 거래 내 가격으로 \$ 18/kg이며, 두 번째 시나리오는 농장의 초기 기준인 4가지 농산물관리제도(초기 작물, 완충림, 수변완충지, 인공습지)에 대한 연간 운영, 유지 및 기회비용을 근거로 Credits을 판매할 수 있는 최소가격으로 \$ 44/kg으로 나타났으며, 세 번째 시나리오는 도시 분류식 하수시스템(MS4, Municipal Separate Storm Sewer Systems, 빗물과 오수를 각각 다른 관거에 수용하는 형태의 배수시스템)은 Credits을 구입할 수 있으며 WWTP (Waste Water Treatment Plan) 개조 비용이 \$ 200/lb로 나타나 이러한 높은 비용을 피하고자

WWTP 업그레이드 비용 대체 Credits 구입 비용인 \$ 50/lb(\$ 118/kg)을
기꺼이 지불할 것으로 보인다.

Chopin *et al* (2010)은 유기물을 이루는 가장 기본이 되는 물질인 탄소
의 경우 IMTA의 시행에 따라 해양에서 탄소를 저장하는 것이 해수의 pH
를 증가시키고 대기 및 양식생물로부터 이산화탄소를 흡수하는 것으로 인
정될 때 이에 따른 탄소제거비용(Carbon trading credits)은 \$ 30/ton으로
산정 할 수 있다고 하였다.

그렇다면 어류 즉 폐사어가 체중 보유하고 있는 오염 원인이 되는 물질
의 양은 얼마나 되는가에 대한 정보를 취득함으로써 전체 폐사어를 통해
해양에 투입되는 물질의 양을 예측해볼 수 있을 것이다.

S. Sandu and E. Hallerman (2013)은 폐사체 내 질소비율은 어체 내 질
소량을 고려하여 계산하였으며, 어체의 Bio mass $\times$ 어체 내 단백질 비율
 $\times$ 단백질의 질소비율로 어체 내 질소량을 나타낼 수 있다고 하였으며,
Thiex *et al*(2002)의 연구에 따라 단백질에 대한 질소비율 0.16으로 산정
하였다. 어체 내 단백질 비율은 소(18.04 $\pm$ 0.16%), 중(20.75 $\pm$ 0.02%), 대
(22.26 $\pm$ 0.74%)로 나타나 앞선 어체 내 질소량 계산식을 통해 어류 1kg당
33.83g의 질소를 포함하는 것으로 나타났다.

Sterner, R. W. and George, N. B. (2000)은 Cyprinid에서 어체 내 탄소,
질소, 인 비율은 46 : 9.7 : 1.5로 보고하였으며, Czamanski, M *et al* (2001)
은 자연산 어류 15종의 어체 내 탄소, 질소, 인 비율은 43.46 : 11.24 : 2.65
로, 양식산 어류 15종의 어체 내 탄소, 질소, 인 비율은 약 53.0 : 8.8 : 1.8
로 나타난 것으로 밝혔다. 이를 통해 어체 내 탄소는 질소의 약 602%정도
의 수준일 것으로 예상된다.

2. 축산 및 환경 부문의 유사 사례 선행연구

수산업양식장에서 발생하는 폐사어의 처리 방법에 대한 연구는 이제 시작 단계이다. 따라서 이러한 시설의 운용에 대한 경제성 및 타당성 선행연구는 전무하다 볼 수 있다. 그러므로 양식업과 같이 동물을 사육하거나 증식시키는 유사한 산업형태인 축산에서 발생하는 폐사가축에 대한 처리방법과 그 처리시설의 운용과 그에 따른 경제성분석 및 타당성분석에 대한 연구 자료를 살펴볼 필요가 있다.

축산의 경우 최근 조류인플루엔자, 구제역 등의 전염병으로 폐사하거나 살처분한 폐사가축에 대한 처리방법에 대한 관심이 증대하고 있으며, 특히 비매몰법에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

하지만 농촌진흥청(2013)의 친환경 이동식 일체형 가축처리 장비 및 자원 재활용 연구, 한국연구재단(2014)의 환경 친화적 가축사체 처리 시스템 구축 전략, 이동현(2015)의 가금 폐사축 퇴비화 시스템 처리효율 평가 등 현재까지의 연구는 대부분 기술개발과 효율성증대에 대한 연구가 주를 이루고 있다.

송철우(2016)의 다점 증기분사식 열가수분해 반응기를 이용한 가축사체 처리 연구에서는 기존 처리방식의 문제점을 제기하고 자체 개발한 열가수분해 반응기를 이용하여 실제 가축 매몰지의 미분해 사체를 대상으로 실증 실험을 진행하여 운전 및 설계인자를 도출하고, 경제성분석을 실시하여 사업화 가능성에 대해 검토하였다.

축산분야의 폐사체 처리에 대한 이전의 연구와 차별되는 점은 가축 사체 처리 보조금 절감편익을 직접편익항목으로 설정, 매몰부지의 농가환원에 따른 농지환경 편익, 환경오염 절감 편익, 화석연료 대체효과, 온실 가스

감축효과를 간접편익항목으로 설정하고 사업규모별 보조금 지급율을 민감도분석 항목에 설정하여 경제성분석에 따른 사업타당성을 확인한 부분이라고 볼 수 있다.

이처럼 수산양식분야 및 축산분야의 폐사체 처리시설의 타당성 또는 경제성 분석에 대한 연구는 미미한 수준이므로 다른 분야의 환경과 관련된 시설들의 운용과 이와 관련된 공공투자의 타당성 분석 연구를 검토해 볼 필요가 있다.

앞서 말한 바와 같이 가두리양식장에서 발생하는 폐사체를 적절하게 처리하지 않는다면 수산생물질병의 확산, 해양환경악화라는 문제를 야기하며, 이러한 문제가 축적이 될 때 수산업 경쟁력을 상실하는 결과에 이를 수도 있다.

폐사체 처리시설의 운용 및 수산생물 폐사어의 관리대책은 어업생산성 및 국민후생 증대, 어업인의 소득증대를 통한 지속가능한 수산업 실현, 식량안보에 대한 기여, 해양생태계 및 해양환경 개선 등 양식어민에게 주어지는 직접적인 혜택 이상 우리 사회 전반에 걸쳐 영향을 미칠 수 있다.

환경재는 사유재산이 아니므로 이에 대한 오염을 방지하는 경우 국가적 차원의 악영향으로 작용하게 될 것이다. 그러므로 수산양식에서 발생하는 폐사어의 처리에 대해 정부의 개입이 필요하며, 비시장적 가치인 환경적 편익을 포함하여 타당성을 평가하는 공공투자적 접근이 필요할 것이다.

환경부(2011)는 가축분뇨를 공공처리시설과 민간처리시설에서 처리하는 방식에 대한 처리 방법별 경제성분석 및 환경오염 저감 기여율 정도를 분석하는 연구를 통해 가축분뇨 공공처리 시설의 설치·운영을 위한 개선 방안을 마련하였다. 처리시설의 종류를 정화처리 시설, 퇴비화 시설, 액비화 시설, 바이오가스화 시설 4가지로 분류하였다. 각 처리시설의 생애주기비용(LCC)을 고려한 운영비를 산정하였으며, 환경오염저감 기여율을 산정하고,

가상 배출권시장을 상정 및 배출권 가격을 추정함으로써 공공 수역 수질오염 절감편익을 주요 편익으로 설정하여 타당성 분석을 실시하였다.

부기철와 강영훈(2018)은 음식물류 폐기물을 현재 운영 중인 처리시설과 신규 광역음식물류 폐기물 처리시설, 자체 처리시설을 이용하여 처리하는데 소요되는 비용을 분석하고, 정책적 효율성을 제고하는 연구를 수행하였다. 투자비용 및 운영비를 파악하여 비용을 추정하였고 처리 과정에서 발생하는 퇴비, 전기를 판매한 비용은 편익으로 산정, 비용에서 편익을 차감한 순비용을 비교 분석하였다. 이 연구에서는 대기환경오염, 주변지역 환경오염 피해, 쾌적한 환경조성 등 외부불경제에 대한 비용, 편익을 고려하지 않고 정책적 효율성 비교에 집중하였다.

위에서 본 바와 같이 환경오염물질의 배출과 그 처리시설의 타당성평가 관련 연구는 주로 비용편익 분석법에 따르고 있으며, 적합한 편익항목의 설정과 그에 따른 논리적 배경을 주안점으로 삼는다.

본 연구는 가두리양식장 폐사체 처리시설 보급의 공공사업적 관점에서 타당성 연구를 수행하였다. 이에 수산생물질병 확산 예방을 통한 편익, 해양환경 오염을 절감을 통한 편익과 같은 시장가치화 시킬 수 없는 간접적 편익을 화폐가치화 시켜 직관적인 평가를 가능하도록 하였다.

Ⅲ. 가두리양식장 폐사체 처리시설의 현황

1. 국내 및 해외 폐사체 처리 관련 제도

가. 국내 폐사체 처리 관련 제도

국내 법규상 양식과정에서 발생하는 폐사체의 정의와 처리에 대한 명확한 규정은 하나의 법에서 다루고 있지 않는 것으로 파악되며, 유기적으로 관련되어있는 여러 법규를 살펴보면서 이에 따른 관리 대책을 검토해야 한다.

해양환경 보전 및 활용에 관한 법률에서 해양환경은 해양에 서식하는 생물체와 이를 둘러싸고 있는 해양수, 해양지, 해양대기 등 비생물적 환경 및 해양에서의 인간의 행동양식을 포함하는 것으로서 해양의 자연 및 생활상태로 정의하고 있으며, 해양오염이란 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태로 정의하고 있다.

또한 해양환경관리법에서 폐기물을 해양에 배출되는 경우 그 상태로는 쓸 수 없게 되는 물질로서 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 물질을 말한다고 정의하고 있다.

그러나 해양환경에 직접적으로 관련되는 법령은 양식장에서 발생하는 폐사어 대한 부분을 중요하게 다루고 있지 않는 것으로 파악되고 있으며, 해양환경 보전 및 활용에 관한 법률 제 7조에 따라 국가 및 지방자치단체는 오염물질이 해양으로 유입되는 것을 사전에 예방하고 오염물질의 해양에의

배출·처분 등으로 인하여 해양환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 시책을 마련하여야 하고, 오염된 퇴적물이나 해양에서의 폐기물 및 그 밖의 물질 등의 발생을 억제하고, 해양환경에 미치는 피해를 신속하게 복원·복구하며, 해양환경의 개선 및 오염물질의 환경친화적인 관리를 위하여 필요한 대책을 마련하여야 한다고 규정하고 있으나 양식현장에서 발생하는 대한 폐사체에 대한 영향분석과 관리대책에 대한 부분은 미흡한 것으로 파악된다.

폐기물관리법에서는 폐기물의 정의에 있어 동물의 사체를 포함시키고 있다. 제8조는 폐기물의 투기 금지 등을 규정하고 있으며 2항에 따르면 허가 또는 승인을 받거나 신고한 폐기물처리시설이 아닌 곳에서 폐기물을 매립하거나 소각하여서는 아니 되는 것으로 규정하고 있다. 수산생물질병 관리법의 제17조2항, 제18조, 제25조1항, 제34조1항이 적용되는 수산동물의 사체, 오염된 시설 또는 물건, 수입금지물건 및 검역 불합격품을 적용범위에서 제외하고 있지만 이는 법정전염병의 방역조치 및 검역에 대한 사항으로서 가두리양식장에서 발생하는 상시적 질병 및 비질병 폐사어의 경우 폐기물의 개념으로 생각해야 될 것이며 이에 따라 지정되지 않은 곳에서 매립하거나 소각하는 경우는 위법사항이 발생하는 것이다.

물환경보전법에서는 물환경이란 사람의 생활과 생물의 생육에 관계되는 물의 질 및 공공수역의 모든 생물과 이들을 둘러싸고 있는 비생물적인 것을 포함한 수생태계를 총칭한다고 정의하고 있다. 이 법의 제15조는 배출 등의 금지에 대한 조항으로서 2항에서는 공공수역에 분뇨, 가축분뇨, 동물의 사체, 폐기물 또는 오니를 버리는 행위를 금지하고 있다. 이에 가두리양식장에서 발생되는 폐사어의 해양투기는 위법사항이 발생하는 것이다.

공유수면 관리 및 매립에 관한 법률에 따르면 제5조에서 동물의 사체를 공유수면에서 정당한 사유 없이 버리거나 흘려가게 하는 행위를 금지하고

있으며 이에 대한 벌칙은 3년 이하의 징역 또는 3천만원 이하의 벌금에 처하게 되어있다.

수산생물질병관리법 제17조에서는 병명이 불분명한 질병으로 죽은 수산생물의 수산생물양식자는 수산생물방역관의 지시를 받지 아니하고는 그 수산생물의 사체를 이동·매물 또는 소각하여서는 안된다고 규정하고 있다. 동법 시행령 제11조에서는 해양수산부장관이 정하여 고시하는 고기·뼈 등의 열처리시설에서 수산생물질병의 병원체가 퍼질 우려가 없도록 열처리하여 동물의 사료 및 비료의 원료로만 사용할 수 있도록 하고 있다. 하지만 현재 해양수산부장관이 정하는 열처리시설에 대한 기준 등에 대한 규정은 마련되어있지 않은 상황이다.

비료관리법 제3조에 따르면 수산업을 영위하는 자가 그 영위과정에서 나온 부산물을 이용하여 제조한 부산물비료를 판매하거나 무상으로 유통·공급하는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 이 법을 적용하지 않을 수 있다고 규정하고 있으며, 이는 동법 시행령에서 부산물을 이용하여 1일 평균 1.5 M/T 이하의 부산물비료를 생산하여 판매하는 경우와 부산물을 이용하여 부산물비료를 생산하여 무상으로 유통·공급하는 경우로 정하고 있다.

이렇듯 가두리양식장에서 발생하는 폐사체는 폐기물로 다루어져야 할 것이며, 질병에 의한 폐사어와 비질병 폐사어로 나누어서 생각해야 할 부분으로 여겨진다. 질병에 의해 폐사된 폐사체는 다시 법정전염병 감염여부 판단에 따라 관리가 달라진다. 유기적으로 관련된 여러 법상에서 양식장에서 발생하는 상시 폐사체에 대한 임의적 투기·매물·소각은 금지되고 있으며 절차에 따라 처리해야 함에 불구하고 법정전염병에 의해 폐사된 폐사체가 아닌 경우에는 그 대책 및 관리방안에 대해서는 명확하지 못한 부분이 있다.

비료 등으로 재활용할 수 있는 방안에 대한 규정도 찾아볼 수 있으나, 구체적인 시설과 품질 및 관리 기준이 미흡한 실정이다.

<표 2> 국내 폐사체 처리 관련 규정 및 관련 법령

규정	관련 법령
해양폐기물 및 해양오염에 대한 정의	폐기물관리법 물환경보전법 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률 수산생물질병관리법
해양오염물질의 해양 유입·배출·처분 관리	해양환경관리법 해양환경 보전 및 활용에 관한 법률
임의 투기·매립·소각 금지	해양환경 보전 및 활용에 관한 법률
법정전염병 폐사체에 대한 처리 및 관리	수산생물질병관리법
폐사체의 재활용	수산생물질병관리법 비료관리법

나. 해외 폐사체 처리 관련 제도 검토

수산업과 양식업이 발전한 나라에서는 이미 수산생물의 폐사체에 따른 방역측면과 해양환경오염 측면에 대한 영향을 인식하였으며, 이에 대한 관리규정 및 대책을 수립하여 시행해오고 있는 것으로 조사되었다.

공통적으로 각 국가에서는 1개 또는 2개의 관련제도 및 법에서 양식업에서 발생하는 폐사체에 대한 명확한 관리규정을 두고 있으며 해양투기가 엄격하게 금지되거나 관리되고 있었다. 또한 수거된 폐사체를 위생적으로 처리하여 비료 등으로 재활용하는 방식을 권고하고 있다.

(1) 호주

호주의 사우스오스트레일리아 주의 환경보호에 관한 법률(Environment Protection Act, 1993)에는 'EPA Guidelines'이라는 지침이 있으며, 이 지침은 양식 어민들의 폐사체 처분의 적절한 방법을 선택하기 위해 제정되었다.

EPA 제25조에 따라, 모든 양식어업인은 양식 지역에서 실시한 양식 활동이 환경적 피해의 원인이 될 수 있기 때문에, 폐사체 발생으로 인해 환경을 오염시키지 않도록 합리적이고 실제적인 조치를 취해야 하는 환경적 의무가 있으며, 양식 폐사체의 적절한 관리까지 포함하고 있다. 이 법률에서는 양식 어업인은 폐기물의 수중으로의 방출 및 육상으로의 침출을 막기 위해서 합당한 폐사체 처리를 위해 노력해야 한다는 것을 명시하고 있다. 양식 폐사는 수질정책 4장 파트1에 나와 있는 오염물질에 따라 간주되며, 양식어민은 폐사체 처리를 지표면이나 지하수를 오염시키지 않는 방식으로 처리하여야 하고 폐기물 관리에 관한 체계를 확고히 해야 한다. 따라서 양식어민은 폐사체를 폐기할 시 과정 및 체계를 채택하여 자신의 양식장에서

발생된 폐기물의 최소화 및 재활용 등을 조사해야 한다.

폐사체 처리에는 일상적 폐사 등으로 인한 소량폐사에 적합할 수 있는 폐사체 처리방법이 있는 반면, 대량폐사에 더 적합한 처리방법 등 양식장에서 활용할 수 있는 다양한 폐사체 처리방법이 있다. 효과적인 양식 폐사체 처리를 위해 EPA에서는 퇴비, 폐사체 저장고, 재사용 및 재활용, 현장 매립, 처리 가공공장, 소각과 같은 적합한 방법을 제시하고 있다.

퇴비는 유기 폐기물 및 양식 폐사어를 처분하는 방법으로 인기 있는 방법으로 주목받고 있으며, 현장마다 퇴비통을 공급하여 악취와 침출수의 누출과 관련된 최소한의 환경위험을 억제하고 매일 발생하는 폐사체 처리뿐만 아니라 유기폐기물 역시 처분이 가능하다. 현장에서 퇴비화 할 수 없는 상황이거나 현장에서 퇴비화를 수행하기에는 폐사어가 너무 많거나 클 경우, EPA에 의한 허가를 통해서 상업 퇴비화 시설로 허가받아 퇴비화를 실시할 수 있다.

재사용 및 재활용에서 폐사어 및 조개의 패각은 어분 제품과 비료, 기타 유용한 제품을 만드는 방법이지만 폐사원인에 따라 적절한 선택이 아닐 수도 있으므로 환경피해가 발생하지 않도록 고려하여야 한다.

정제는 단백질 성분과 지방으로 사용할 성분을 추출하고 EPA에 의해 허가된 전문적인 정제 공장에 의해 수행되어야 하는 가열 과정으로 정제 공장은 이용하기 편리한 위치에 있어야 한다.

폐사체 저장고는 대량의 폐사체를 처리를 위해 허가된 폐기물 저장소에서 할 수 있는 실용적인 방법이다. 폐사어를 받는 폐기물 저장소는 EPA에 따라 허가를 받아야 하며, 폐사어 및 자연에서 유사한 폐기물을 수용하도록 설계하여 함께 폐기물을 처리하는 것을 추천하고 있다.

현장 매립은 빠르고 저렴하며, 이용하기 쉬운 장점으로 가장 선호되는 방법이다. EPA에서는 권장하지 않지만, 폐사어의 대량발생으로 인한 폐사

어의 대량처리 시, 시설 또는 현장에서는 EPA 1조 제3항 (1993)에 의거하여 일정부분의 환경승인을 받아야하지만 매일 발생하는 폐사어의 소량 폐기의 경우 법 제1조제3항 (3) (i)에 따라서 환경 인증을 필요로 하지 않는다. 폐사어 매립 시 폐사어의 양, 지표수와 지하수의 접근성, 토양의 투과성 등을 고려하여야 한다. 중요한 점은 EPA에 따르면 양식 폐사체의 매물은 바람직한 방법이 아니며, 매장하기 전 다른 방법이 반드시 고려되어야 한다. 또한 EPA는 대규모 매립지에 대해서 모니터링이 필요할 경우 수행하여야 한다고 명시되어 있다.

소각은 대기오염, 악취 등으로 인해 다른 처리방법이 효과가 없으며, 선택할 다른 방법이 없는 경우에만 고려되어지는 방법이다. 소량의 폐사어에 대한 소각은 특정상황에 따라서 적합할 수 있으며 ‘환경보호정책(소각) (1994)’ 제4항 (2) (c) 에 따라 허용된다.

(2) 노르웨이

노르웨이의 ‘양식장 설치 및 작업과 관련한 조례(The Regulations relating to the Establishment and Operation of Fish Farms)’에서는 어류 세척 및 폐사체 저장은 환경에 중대한 해와 악취를 일으켜서는 안 된다고 규정되어 있다. 이 조례에서는 또한 어류 및 어류 부산물 투기를 금지하고 있다.

죽은 어류는 갈아서 산(acid)에 보관하도록 하고 있으며, 죽은 어류는 여름에는 매일, 겨울에는 이틀에 한번 그물에서 제거해야 하고, 만일 양식장에서 높은 치사율 또는 질병 발생 시, 죽은 어류는 매일 제거하도록 하고 있다. ‘폐기물 처리 조례(The Waste Treatment Regulations)’는 ‘물고기 질병법’에 의거하여 양식부에서 발행되었는데, 전염확산을 방지하기 위한 폐

사체 및 폐기물 처리 방법과 설비를 다루고 있다. 죽은 어류는 소각, 적정 장소에 매립하거나 또는 허가받은 정제공장에서 처분하고 있다.

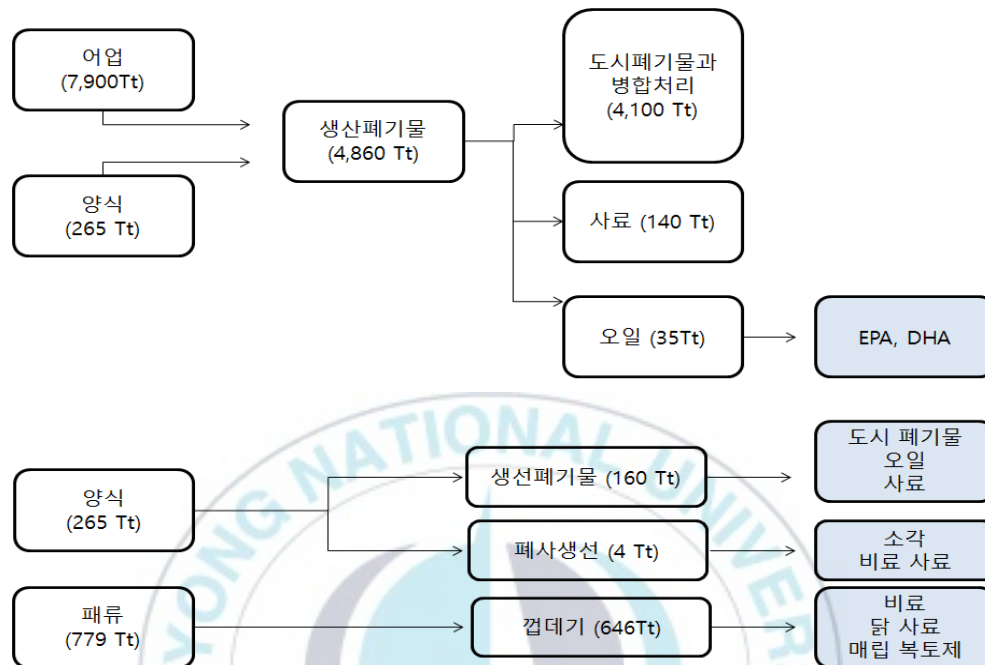
노르웨이에서는 수산폐기물 규제 시스템 중 폐사체 처리와 관련된 사항이 있으며, 양식장에 폐사어를 저장하기 위한 용기가 설치되어야 한다. 죽은 수산생물 또는 수산생물의 일부를 무단으로 버리는 것은 금지되어 있다. 폐사체 및 사용했던 용기는 감염성 폐기물로 간주하고 질병 전파의 위험이 되지 않도록 처리되어야 한다. 폐사어는 매몰되어야 하며, 산성(acid)의 환경에서 보존되어야 하고 매장된 사일리지(silage)의 pH는 4를 초과할 수 없다.

(3) 캐나다

캐나다는 어업법(The Fisheries Act)에 의거하여 평상시에는 죽은 어류를 해양투기 하는 것이 금지되며, 어류 폐사체는 주로 소각, 퇴비 및 정제 공장에서 처리된다. 그러나 긴급 상황이 발생하였을 때 허가를 하고 있다. 폐사체를 해양처분하기 위해서는 질병에 감염되지 않은 폐사체, 용존산소 고갈 및 조류 대증식의 결과로부터 발생된 폐사체, 저수온으로 인해 발생된 폐사체에 한해서 해양투기허가를 발급한다.

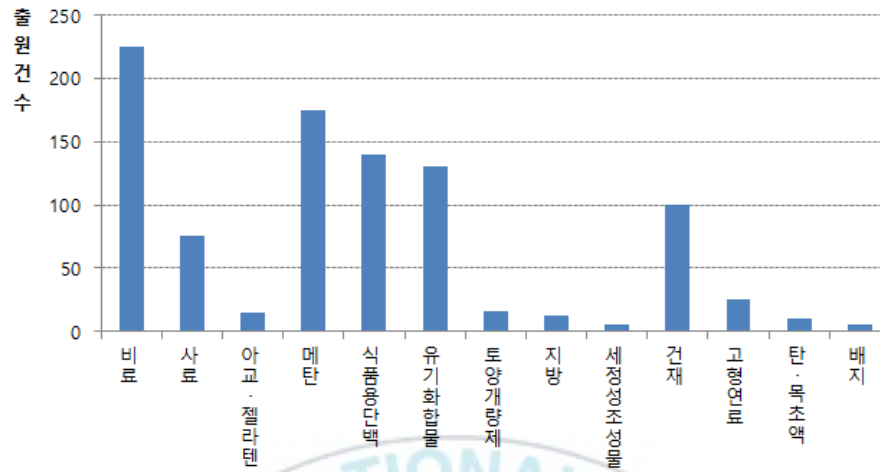
(4) 일본

일본은 폐사어를 포함한 어류 폐기물을 해양투기 하는 일이 거의 없으며, 전량 육상 처리 및 처분하고 있다. 양식장에서 발생되는 폐사어의 경우 소각 및 비료·사료화하며, 발생된 대부분의 생선폐기물(약 85 %)은 도시폐기물과 함께 수집되어 지역별로 건설된 대형 소각로에서 처분되고 있으며, 이와 같은 처분은 ‘폐기물 처리법’에 의거하고 있다.

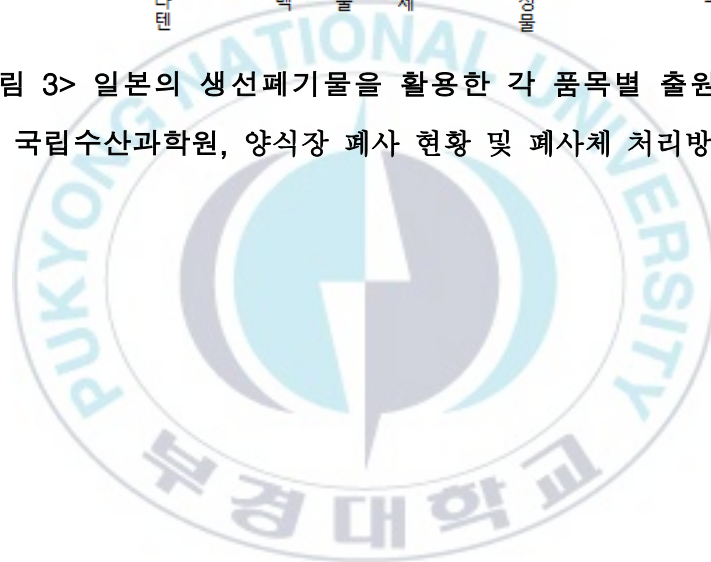


<그림 2> 일본에서 발생된 어류 폐기물의 처리 및 처분 현황
(출처 : 국립수산물과학원, 양식장 폐사 현황 및 폐사체 처리방안 연구)

특징적으로 생선폐기물 중 내장 등을 포함한 일부는 자체 가공처리를 거쳐 애완동물 사료와 오일 등으로 재활용되고 있다는 점이다. 또한 게, 오징어, 문어 등과 같은 연근해에서 잡히는 품종들의 폐사체에 대해서도 다양한 활용을 하고 있다는 것이 특징이다. 출원건수를 살펴보면 생선 폐기물이 부패하기 쉬운 특성으로 인하여 주로 비료, 메탄, 식품용 단백질(아미노산 등), 유기화합물(EPA, DHA, 키토산 등), 건재 및 사료가 대부분을 차지하고 있다.



<그림 3> 일본의 생선펜기물을 활용한 각 품목별 출원건수
(출처 : 국립수산물과학원, 양식장 폐사 현황 및 폐사체 처리방안 연구)



<표 3> 국외 폐사체 처리 관련 규정 및 관련 법령

국가	법률 및 규정	내용
호주	환경보호에 관한 법률 (Environment Protection Act, 1993) EPA Guidelines	양식 어민들의 적절한 폐사체 처분에 대한 지침 폐사체의 적절한 관리 및 폐사체 발생으로 인한 환경 오염 방지를 위한 의무 효과적인 양식 폐사체 처리를 위해 퇴비, 폐사체 저장고, 재사용 및 재활용, 현장 매립, 처리 가공공장, 소각과 같은 적합한 방법을 제시
노르웨이	양식장 설치 및 작업과 관련한 조례(The Regulations relating to the Establishment and Operation of Fish Farms) 폐기물 처리 조례(The Waste Treatment Regulations)	수산폐기물 규제시스템에 의한 폐사체 처리 및 폐사체 저장 방법 양식장 내 폐사체 제거 빈도 규정 전염확산을 방지하기 위한 폐사체 및 폐기물 처리방법 과 설비에 대한 규정
캐나다	어업법(The Fisheries Act)	폐사체 처리방법 해양투기허가 발급
일본	폐기물 처리법	폐사어 처리 및 처분 폐사어 비료·사료화

2. 기존 가두리양식장의 폐사체 처리현황 및 문제점

가. 상시 소규모 및 질병 폐사체의 처리

가두리양식장에서 발생하는 폐사체를 처리시설을 통해 자원으로 재활용하는 방안에 대한 검토는 최근에 이루어진 일이다. 국내의 가두리양식업의 역사가 40년 이상임을 감안한다면 이러한 논의는 해양환경의 오염부하와 어장환경 악화에 직면한 지금 상황에서는 늦은감이 없지 않은 실정이다.

가두리양식업을 운영하면서 발생하는 폐사는 대부분 여과없이 자연환경으로 유출되고 있다.

특히 양식과정에서 발생하는 소량의 질병폐사 또는 빈사상태의 어류는 해양환경으로 대부분 유출된다고 말해도 무방할 것이다.

2007년 통영해양수산사무소에서는 가두리양식장 폐사체 특히 소규모 및 질병폐사에 의한 폐사체의 처리현황을 조사하였다. 이에 따르면 해양투기가 47%, 육지매몰이 43%, 임의소각 5%, 방치 3%, 기타 2%로 조사되었다.

최근 비공식 조사에 따르면 대부분의 상시 소규모 및 질병에 의한 폐사체가 불법적으로 해양투기되고 있었다.

그러한 사례들로는 가두리양식장 밀집지역에서 조금 벗어난 지역에서 해상가두리시설을 하나 만들어 지역의 어민들이 폐사체를 공동으로 버릴 수 있도록 한 것부터 그물에 폐사체를 담고 바위를 매달아 해저로 가라앉히는 방법, 폐사체를 건져내어 가두리 틈틈이 방치함으로써 갈매기등의 조류가 섭식할 수 있게 하는 방법들이 있었다.

하지만 발생하는 폐사체를 가두리양식장 외부로 떠서 버리는 방법이 가

장 많이 이용되는 방법이며 이는 가장 쉬운 방법이기 때문일 것이다.

폐사체가 많이 발생하는 시기에는 어장주변에 어류폐사체가 많이 부유하고 있어서 해양경찰의 감시대상이 되기도 하며, 어민 간 분쟁과 민원의 소지가 되어왔다.

해양환경과 어장환경이 양호했던 과거에는 폐사체에 대한 이러한 인식이 용인되어왔으나 최근 가두리양식업자들의 적절한 폐사체 처리방안에 대한 요구가 높아지고 있는 실정이다.

과거와 달리 무분별한 폐사체의 해양투기를 통해 질병확산이 많이 진행되었으며, 이에 따른 피해가 다시 되풀이된다는 인식은 가두리양식업자 사이 많이 확산되어있는 실정이다.

나. 대규모 폐사체 처리

가두리양식업에서 대규모의 폐사가 발생하는 대표적인 경우는 적조발생에 따른 영향과 고수온 및 저수온에 따른 양식어의 집단폐사의 형태가 있다.

이러한 대량폐사가 발생하는 것은 보상과 관련된 경우도 많으며, 양식업자 개인이 처리할 수 있는 사안을 넘어서는 문제이기 때문에 각 지자체의 수산당국에서 이 문제에 개입하여 처리하고 있으며 이러한 경우 대부분 육상매물에 의존하고 있는 실정이다.

2018년 통영에서는 고수온시기에 약 475만마리 286톤의 양식어류가 폐사하였으며 육지도에서 폐사한 220톤은 육지수협이 자체 매몰지를 확보하여 육상에 매몰하였으며 나머지 66톤 가운데 50톤을 지역의 위탁처리업체, 16톤을 전남의 유기질비료업체에서 처리하였다.

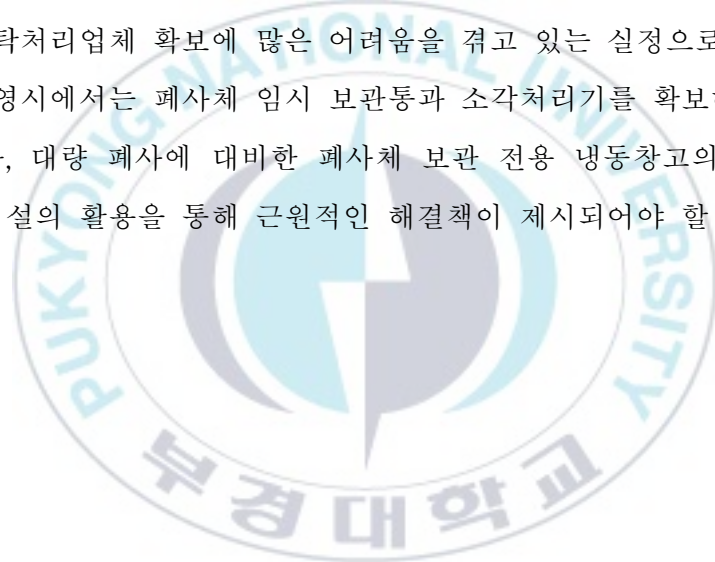
하지만 육상매물 또는 기존유기질 비료 처리방식으로는 많은 문제점이 발생하고 있다.

육상매물의 경우 침출수에 대한 2차오염 문제와 악취발생 등의 환경적 문제를 다시 야기시키고 있으며, 오랜 기간동안 육상매물이 이루어져 지역에서 매물지를 확보하기 어려운 실정에 있다는 것이다.

기존의 퇴비 제조방식을 적용하는 위탁업체 또한 시설주변 악취심화에 따른 주민들의 민원제기 및 기존 퇴비제조방식과 다른 원료물질이 투입되므로 효율성저하와 시설오염 등의 문제점이 야기되고 있어 위탁업체가 폐사체 반입을 거부하고 있는 실정으로 파악되었다.

따라서 가두리양식장이 많이 분포한 지자체에서는 대량 폐사체의 매물지 확보와 위탁처리업체 확보에 많은 어려움을 겪고 있는 실정으로 파악된다.

최근 통영시에서는 폐사체 임시 보관통과 소각처리기를 확보하였다고 보도되었으나, 대량 폐사에 대비한 폐사체 보관 전용 냉동창고의 확충과 폐사체처리시설의 활용을 통해 근원적인 해결책이 제시되어야 할 실정이다.



3. 공장형 폐사체 처리시설의 현황

가. 시설현황

경상남도에서는 가두리양식장에서 발생하는 폐사어를 관리하기 위한 계획을 수립하고, 국립수산물과학원에서 연구한 시스템⁴⁾을 기본 모델로 채택하여 이를 설치하였다.

경상남도수산물기술사업소 거제지소에서 주관하여 거제시 동부면 가배리에 이 시설을 2017년 7월 준공하여 8월부터 시범적으로 가동하였으며 2018년 본격적 운영을 시작하였다.

국립수산물과학원의 연구는 가두리 양식장 밀집지역 해상에 이 시설을 설치하여, 접근성을 높이는 방법으로 진행되었으나, 경상남도에서는 안전성, 안정적 전력 확보 등의 문제점으로 육상에 설치하고 수거선을 통해 직접 폐사체를 수거해오는 서비스를 실시하였다.

투입된 주요 장비 및 시설로는 고온고압멸균기, 파쇄혼합기, 오·폐수 처리시설, 냉동창고, 선박접안시설, 컨베이어 이송장치, 창고 및 관리사, 수거선박, 고온·고압세척장비 등이 있다.

주요 핵심 장비인 고온고압멸균기의 경우 렌더링(rendering)⁵⁾ 방식을 채택한 장치이며 처리조의 내부 압력은 4기압, 온도는 150℃ 이상, 1회 최대 처리용량은 최대 0.5 M/T 이다. 국립수산물과학원의 연구결과에 따르면 이

4) 국립수산물과학원, 2017, 수산물 폐사체의 재활용 처리시스템 최적화 모델 개발

5) 용출법이라고도 한다. 이는 가축사체와 부산물을 균질한 크기의 입자로 분쇄하고 열을 가한 후 지방분, 단백질 및 수분을 유용한 산물로 분리하는 과정을 말한다. 이 방식에서 발생하는 가스 및 악취는 재연소장치, 세척기 및 바이오 필터를 통해 줄일 수 있다(한국연구재단, 2014).

방식에 따라 처리된 폐사체는 수산생물전염병의 사멸이 확인되었다.

파쇄혼합기는 고온고압멸균기에서 처리된 폐사어를 분쇄시키고 톱밥 등을 가미해 비료화 시키는 장비이다. 또한 몇 가지 공정을 거치는 오·폐수 처리시설을 설치하여 처리과정 또는 세척과정에서 발생하는 오·폐수를 깨끗하게 정화시켜 배출시키고 있다.

냉동창고는 25kg짜리 전용용기를 400개 이상 보관할 수 있는 크기로 제작되었다.

적정 처리량은 노동강도, 가동시간, 오염물 배출정도를 감안하여 하루에 0.7 M/T 정도로 잡고 있었으며 하루에 처리시스템을 2회 가동하는 것을 기준으로 하였다. 이에 따라 연간 240일을 가동한다고 가정하면 연간 168 M/T을 처리할 수 있는 것으로 계획하고 있었다.

운영인력은 기간제 4명이 근무하고 있었으며 관리자 1명, 수거선 선장 1명, 작업보조자 2명으로 구성되었다.

2018년 수거선박 운항일수는 123회로 5월에 9회, 6월에 10회, 7월에 18회, 8월에 19회, 9월에 17회, 10월에 18회, 11월에 19회, 12월에 13회로 파악되었다.

현재 생산되는 부산물은 퇴비원료로 지역의 종합폐기물 재활용업자와 MOU를 체결하여 무상으로 공급하고 있다.

이 시설의 규모로는 적조 및 고수온 등의 대량폐사가 발생했을 경우 외부업체 도움이 필요한 것으로 파악되었으며, 냉동창고의 확장으로 수거 및 보관량과 작업량을 조절할 수 있을 것으로 판단되었다. 이 처리시설은 국립수산물과학원의 연구 결과 수산생물전염병을 유발하는 미생물에 대한 사멸 효과에 대한 검증이 있었으나 순회 수거선의 위생 및 방역관리가 중요할 것이라 사료된다. 그 외 부가적으로 이 시설의 운용을 통해 지역주민에 대한 일자리 창출효과가 나타난 것으로 조사되었다.

나. 2018년 폐사체 처리 실적

거제지역의 가두리양식장 폐사체 처리 시설에서 2018년 연간 처리한 폐사체의 양은 약 124.9 M/T으로 조사되었다.

처리에 따른 비료원료 생산량은 연간 약 30.3 M/T, 배출량은 약 32.3 M/T으로 조사되었다.

2017년 시범가동이후 이월된 미처리된 폐사체의 재고량이 약 6.8 M/T 비료원료재고량이 약 2.6 M/T 정도 되는 것으로 파악되었다.

마찬가지 2018년 사업종료 후 남은 폐사체의 재고량은 약 3.7 M/T, 비료 원료의 재고량은 약 0.6 M/T 정도 되는 것으로 파악되었다.

시설관리자에 따르면 폐사체를 월간 14 M/T, 연간 168 M/T을 적정처리량에 대한 기준으로 삼고 있으며 이에 따라 가동률을 산정할 수 있다.

치어입식, 수온이 상승하면서 사료 급이량이 많아지는 시기 이와 더불어 고수온에 따른 피해가 발생, 어병이 많이 발생하는 시기인 6월 이후 월별 수거량, 처리량이 많아지고 가동률도 높아지는 것을 알 수 있다. 수온이 본격적으로 하강하면서 12월 이후 이러한 처리량도 감소하는 것으로 나타나고 있다(표 4).

이를 통계학적으로 확인하기 위해 2018년도 월별 경남지역 가두리양식장의 주요 어종에 대한 폐사량 조사와 2018년 거제지역 처리시설의 월별 처리량을 비교하여 이에 대한 상관관계를 살펴보았다.

경남 표본 가두리양식장 주요어종 폐사량과 거제지역 폐사체 처리시설 처리량 간 상관관계를 확인하기 위해 피어슨의 상관관계 분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였다. 그 결과 거제지역 처리시설 처리량은 경상남도 표본 가두리양식장 주요어종 폐사량($r=.637$, $p<.05$)과 유의한 정(+)적 상관관계를 보였다.

당연한 결과이겠지만, 이에 따라 가두리양식장 주요어종의 폐사량이 많은 시기에는 처리량과 가동률이 높아지는 것을 통계적으로 확인할 수 있다.

<표 4> 경남 표본 가두리양식장 주요 어종 폐사량 및 거제 폐사체 처리시설 처리량

단위 : kg

2018년월	경남 표본 가두리양식장 주요 어종 폐사량	거제 폐사체 처리 시설 처리량	비료원료 생산량	가동률(%)
1	9,666	3,570	1,110	26
2	34,211	4,285	1,391	31
3	59,789	5,400	1,781	39
4	46,541	3,157	1,079	23
5	23,620	4,575	1,808	33
6	21,857	9,025	3,888	64
7	36,332	11,300	4,720	81
8	184,334	24,180	4,112	173
9	153,192	16,100	3,328	115
10	13,723	16,505	3,680	118
11	6,184	15,575	1,856	111
12	1,692	3,400	1,568	80
합계	591,141	117,072	30,321	74

출처 : 경상남도 수산기술사업소 거제사무소

4. 자가처리형 폐사체 처리시설의 현황

하동지역의 가두리양식장에서는 대부분 송어류의 양식이 이루어지고 있다. 이 지역의 양식송어는 하동녹차참송어라는 브랜드로 인근 대도시로 많이 출하됨과 동시에 해외로도 수출하고 있다. 기능성 수산식품 생산의 이미지와 위생적 생산관리를 중요하게 부각시키기 위한 노력이 진행되었지만, 양식과정에서 발생하는 폐사체 처리에 대한 고질적인 문제를 안고 있었다.

이에 하동군, 하동수협, 양식어민에 이르기까지 효율적이고 적합한 폐사체 처리방안에 대한 요구가 매우 높았었다.

그러던 중 2016년 국립수산물과학원과 하동수협이 중심이 되어 이 지역 가두리양식장에 해상 폐사체 처리시설 연구 및 시범사업을 실시하였고, 이를 계기로 폐사체 처리에 대한 다양한 방안이 검토되고 시도되었다.

2019년에 이르러 하동군에서는 하동지역의 가두리양식어가 20개소에 음식물처리기형태의 폐사체 처리시설을 보급하였다.

이 장치의 기본사양은 기존 업소용 음식물처리기의 형태를 가지고 있으며, 스테인레스 재질로 제작되어 있으며 외형 규격은 가로 1,867 cm × 세로 896 cm × 높이 1,300 cm이다. 발효방식을 통한 감량화 처리를 하고 있으며, 일괄 또는 부분적으로 투입과 배출이 용이하게 제작되었다. 발효조 내부 규격은 가로 1,202 cm × 세로 730 cm × 높이 960cm로 내부용적은 558L이다. 또한 탈취 부착하여 처리 중 발생하는 악취를 저감시키도록 되어있다.

소비전력은 60kWh/일 (3상 AC380V)이며 가열방식은 열매체유를 사용하는 전기가열식이며, 발효미생물과 수분조정제로 삼나무톱밥을 부가적으로

로 사용하도록 권장하고 있다.

이 장치의 표준처리용량은 200Kg이라고 하나, 현장에서 어류 폐사체를 처리할 경우 24시간 최대 100Kg정도 처리할 수 있는 것으로 파악되었다.

하동지역 가두리양식장에서는 이 시설을 해상의 가두리양식장 관리자 바지선에 설치하여 사용하고 있었다.

하동군에서는 가두리양식장에 20대를 보급하였으며, 1대당 장치비용은 28,500천원 이었고 이 중 30%는 양식어민이 부담하게 하였다.

이 시설을 사용하는 대부분 가두리양식장에서는 사육일지에 따른 폐사량 조사, 폐사체 처리일지에 따른 처리량 조사가 불가능했다. 이에 따라 정확한 평균 처리량 산출이 어려웠다.

따라서 이 시설을 사용하고 있는 가두리양식장 5개소를 대상으로 설문 조사를 실시하였고, 1개월 평균 약 350Kg정도를 이 시설을 이용해서 처리하고 있는 것으로 파악했다.

1일 용량이 초과되거나, 대량으로 폐사가 발생했을 경우 또는 이 시설을 이용하기 귀찮은 경우는 비정기적으로 폐기물관련업체에서 수거하는 것으로 파악되었다.

이에 따라 처리장치 한 대당 연간 4.2 M/T을 처리하게 되며 이장치를 20대 운용하는 하동지역에서 연간 처리하는 폐사체의 양은 84 M/T로 추정할 수 있다.

처리부산물은 양식어가가 소유한 농장 또는 인근 농장에서 유지질비료로 활용하고 있었으며, 효과 및 만족도가 매우 높은 것으로 파악되었다.

자가처리형 처리 모델의 경우 양식어민의 의지에 따라 처리량의 변동폭이 매우 극심할 수 있으며, 다량의 폐사가 발생했을 경우 다른 방식에 의존해야 한다.

또한 양식 어민의 자율적 관리 방식에 따라 장비 수명의 편차가 클 것

이며, 발효방식을 기본적으로 채택하고 있으면서, 대장균과 황색포도상구균 폐렴구균등 대부분의 유해세균에 대한 99.9% 박멸효과가 있어 처리장치 운용에 따른 위생적 문제유발 소지는 없을 것으로 보이나, 어병 유발 병원체 사멸에 대한 검증 자료는 아직 확보되지 않은 것으로 파악되었다.

이와 같이 가두리양식장 폐사체 처리시설의 거제지역 공장형 모델과 하동지역 자가처리형 모델 운용은 기본 현황에서부터 특징에까지 상당한 차이를 보이고 있으며, 이에 대한 기본현황 및 특징은 표 5와 같이 요약하였다.

<표 5> 가두리양식장 폐사체 처리시설 모델별 비교 분석

구분	공장형 모델	자가처리형 모델 (처리시설 20대 설치 기준)
설치장소	거제/육상	하동/해상가두리 바지선 내
연간 처리량	약 125 M/T	약 84 M/T(추정치)
기본 처리방식	열처리 + 분쇄·혼합	발효 방식
특징	· 대량 폐사시 외부 지원 필요 (냉동창고 확장을 통해 조절 가능) · 어병 유발 병원체 사멸효과 검증 有 · 순회 수거선의 위생·방역관리 필요 · 일자리 창출효과	· 대량 폐사시 외부 지원 필수 (처리시설 1기당 처리량이 너무 적음) · 어병유발 병원체 사멸효과 검증 無 · 유해세균에 대한 99.9% 살균 효과 · 양식어민 의지에 따라 처리량의 변동폭이 큼 (객관적 처리량 산출 불가능) · 양식어민의 자율적 관리 방식에 따른 장비 수면의 편차가 큼

IV. 가두리양식장 폐사체 처리시설의 비용 및 편익 추정

본 논문에서는 가두리양식장 폐사체처리시설 운용에 따라 발생하는 주요 편익중 육상매물 및 위탁처리에 따른 행정비용 절감 편익, 유기질 비료생산에 따른 자원의 재활용 편익을 직접적 편익으로 방역 및 질병 예방에 따른 폐사율 저감효과 와 해양환경 정화 편익을 간접적 편익으로 분류하였다.

수산양식업의 산업적 기본 기능 외 외화획득, 취업기회의 제공, 지역사회 및 지역문화의 유지와 보전, 해양환경의 지킴이로써 수산업의 다면적 기능을 고려한다면(김병호 외, 2017), 가두리양식장 폐사체 처리시설의 운용은 공공사업의 성격으로 타당성평가가 이루어져야 한다.

공공부문 사업은 경제적 수익성을 고려하기도 하지만, 주로 사회적 필요성에 의해 제안되고 실행되는 경우가 많으며 미래 세대에 혜택을 주기 위한 방향으로 추진된다. 즉, 민간기업의 활동은 이윤측면에서 평가되는 반면 정부나 공공기업의 활동은 공공복리의 측면에서 평가되어야 한다(김정권 외, 2017).

선행연구의 결과들과 같이 수산생물 양식과정에서 발생하는 폐사체를 적정하게 관리하고 처리하는 것은 방역의 측면, 해양환경의 보전 측면에서 아주 중요한 의미를 가진다.

이에 가두리양식장 폐사체 처리시설을 설치하고 운용하는 공공사업에 대한 타당성분석은 비시장적, 환경적 편익에 대해 충분히 고려되고, 정량화하여 편익항목에 적용시켜야 할 것이다.

해양환경에서 다량의 유기물과 질소유입에 따른 피해는 날로 심각해지고 있으며, 이와 관련된 연구도 많이 진행되고 있다. 과거에는 이러한 부분을 시장적 가치로 계량하기 불가능했지만, 현대에 와서 방법론 및 기술의 발달로 이를 시장가치화 시킬 수 있게 되었다.

비근한 예로 CO₂와 같은 환경재는 질과 양의 변화에 대한 측정 및 추정이 가능해졌고 지구온난화 및 기후변화 완화를 위한 온실가스 규제와 같은 환경규제가 강화됨에 따라 배출권거래제도라는 제도적 장치와 탄소시장이라는 새로운 환경재 시장이 창출됨에 따라 사유화가 가능해졌으며, 거래시장을 통해 시장가격이 형성되었다(박시용, 2015).

또한 수질환경을 악화시키는 질소를 제거하고, 이를 복구시키기 위한 비용과 배출권 및 거래가격에 대한 해외 연구를 통하여 오염유발 물질에 대한 시장가치화가 가능하게 되었다.

따라서 본 논문에서는 해양환경에 방치되는 폐사체가 유발하는 오염물질인 유기물을 구성하는 주성분인 탄소와 질소로 규정하였고, 이에 대한 시장가치화와 편익을 분석항목으로 채택하였다.

1. 가두리양식장의 양식 및 폐사현황

가두리양식장 폐사체 처리시설의 운용에 따른 편익을 산정하기 위해서 가장 우선적으로 사업실시 지역 및 전국 가두리양식산업의 현황에 대한 조사가 시행되어야 한다. 경영체수, 생산량, 사육량 등의 자료를 수집하여 각 분석의 기초자료로 활용 할 수 있다. 또한 양식현황에 따른 가두리양식장의 폐사율과 질병에 의한 폐사율 자료를 확보하여 각 편익을 분석할 수 있는 주요 자료로 활용할 수 있다. 하지만 현재 국내 양식어종의 폐사 및 질병폐사 정보가 지속적이고, 객관적으로 집계되는 자료가 다양하지 않다. 본 논문에서는 가두리양식장의 양식현황은 통계청자료를, 가두리양식장 주요 사육어종의 폐사율 및 질병폐사율의 자료는 국립수산물과학원과 대한수산물질병관리사회의 주요어종 폐사동향 자료를 활용하였다.

가. 양식현황

(1) 가두리양식장의 경영체 및 양식면적

표 9은 국내 가두리양식장의 경영체 및 양식면적을 나타낸 것이다. 2018년 현재 전국의 가두리양식장의 경영체수는 1,031개로 조사되었다.

지역별로는 경상남도가 478개소로 가장 많이 분포하고 있으며, 다음으로 전라남도가 416개소, 충청남도가 124개소로 분포하고 있다. 그 외 경상북도 6개소, 제주도 4개소, 강원도 3개소로 분포하고 있는 것으로 파악된다.

시·군별로 살펴보면 통영시가 312개소로 가장 많았고, 여수시가 239개소로 그 뒤를 따른다.

전국의 가두리양식장 양식면적은 전체 1,046,492m²로 파악되었으며, 경상

남도가 505,349m²로 가장 넓었으며, 그 다음 전라남도가 418,975m², 충청남도가 79,245m²로서 경영체수와 비례하는 것을 알 수 있다.

경영체수 당 전국 평균양식면적은 1,015m²이며 경상남도의 경우 1,057m², 전라남도의 경우 1,007m²로 전국 평균과 비슷한 면적을 나타내는 것으로 파악되었으며, 그 외 지역은 경영체수 당 넓은 면적에서 양식이 행해짐을 알 수 있다.



<표 6> 국내 가두리양식장의 경영체 및 양식면적

행정구역별	경영체수	양식면적(m ²)	경영체 수 당 평균양식면적(m ²)
전국	1,031	1,046,492	1,015
강원도	3	6,986	2,329
삼척시	2	2,967	1,484
고성군	1	4,019	4,019
충청남도	124	79,245	639
보령시	20	11,988	599
서산시	25	15,722	629
홍성군	3	384	128
태안군	59	46,575	789
당진군	17	4,576	269
전라남도	416	418,975	1,007
여수시	239	197,594	827
고흥군	17	11,710	689
무안군	1	2,556	2,556
함평군	1	-	-
완도군	37	43,184	1,167
신안군	121	163,932	1,355
경상북도	6	18,276	3,046
포항시	5	16,022	3,204
경주시	1	2,254	2,254
경상남도	478	505,349	1,057
통영시	312	293,430	940
사천시	11	10,937	994
거제시	54	95,564	1,770
고성군	3	864	288
남해군	65	73,963	1,138
하동군	33	30,591	927
제주도	4	17,661	4,415
제주시	1	-	-
서귀포시	3	17,661	5,887

(출처 : 통계청, 양식방법에 따른 경영체 현황(2018), 시도·시군별 양식
방법에 따른 사육수면적 현황(2018))

(2) 가두리양식장의 사육량

표 10은 국내 및 경남 가두리양식장의 사육량 및 사육무게를 나타낸 것이다. 2018년 상반기 전국 가두리 양식장의 사육량은 마리수로는 약 4억2천만마리, 사육무게로는 약 112,187 M/T으로 집계되었다.

통계청에서 전국 가두리 양식장의 사육량을 상반기 6월 30일, 하반기 12월 30일 기준으로 조사를 실시한다. 대부분의 가두리 양식장에 사육되는 어류는 6월 30일 이전에 입식이 완료되므로 12월의 사육량 조사에 대한 결과는 사육기간 동안의 폐사량 및 출하량이 반영되어 있으므로 2018년의 전체 사육량을 예측하기 위해서는 상반기 통계자료를 이용해야 할 것이다.

전국에서 가장 많이 사육되는 어종은 조피볼락이며, 전체에서 약 62%에 달한다. 그 뒤를 송어류가 약 13%, 참돔이 약 10%, 기타어종이 약 15% 정도 사육되고 있는 것으로 파악되었다.

가두리양식장 폐사체 처리시설을 운용중인 경상남도의 경우 전국 사육량에서 약 52%에 달하는 양식어류가 사육되고 있는 것으로 조사되었으며, 약 2억2천마리 사육량으로는 약 58,570 M/T 정도가 되는 것으로 보고 있다.

공장형 모델을 운용중인 거제의 경우 전체 3천만마리 이상 사육량으로는 약 8,000 M/T 이상이 사육되고 있었으며 조피볼락이 약 48%, 참돔이 약 21%의 비율로 양식되고 있었다.

자가처리형 모델을 운용중인 하동의 경우 전체 2천3백만마리 이상 사육량으로는 약 6,000 M/T 사육되고 있었으며 대부분 송어류를 양식하는 것으로 조사되었다.

<표 7> 국내 및 경남 가두리양식장의 사육량 및 사육무게

행정구역별	어종별	사육량 (천마리)	사육무게 (M/T)	비율 %
전국	계	420,289	112,187	100.00%
	조피볼락	261,938	69,919	62.32%
	송어류	54,885	14,650	13.06%
	참돔	41,362	11,041	9.84%
	기타	62,104	16,577	14.78%
경상남도	계	219,422	58,570	100.00%
	조피볼락	104,941	28,012	47.83%
	송어류	42,997	11,477	19.60%
	참돔	31,248	8,341	14.24%
	기타	40,237	10,740	18.34%
거제시	계	30,262	8,078	100.00%
	조피볼락	14,628	3,905	48.34%
	참돔	6,341	1,693	20.95%
	취치류	3,890	1,038	12.85%
	기타	5,403	1,442	17.85%
하동군	계	23,033	6,148	100.00%
	송어류	22,473	5,999	97.57%
	조피볼락	390	104	1.69%
	기타	170	45	0.74%

(출처 : 통계청, 시도·시군구별 양식방법별 어종별 양식현황(2018))

(3) 가두리양식장의 생산량 및 생산금액

표 11은 국내 및 경남 가두리양식장의 생산량 및 생산금액을 나타낸 것이다. 2018년 전국 가두리 양식장의 생산량은 약 38,223 M/T 이었고, 생산금액은 약 3천8백억원 정도의 규모로 추산되었다. 어종별로는 조피볼락이 약 22,393 M/T, 송어류가 5,946 M/T, 참돔이 5,103 M/T, 기타어종이 약 4,781 M/T 정도 생산된 것으로 조사되었으며, 생산금액은 조피볼락이 약 1천9백억원으로 전체 금액에서 약 50%정도를 차지하고 있으며, 참돔이 약 6백8십억원으로 전체 금액에서 약 18%, 송어류가 약 5백억 정도로 전체 금액에서 약 13%를 차지하는 것으로 조사되었다. 이처럼 생산량은 송어류의 비율이 높지만 생산금액은 참돔의 비율이 높은 것을 통해 참돔 출하가격이 송어에 비해 훨씬 높음을 알 수 있다.

참돔과 송어류의 사육현황과 생산량을 비교하였을 경우 송어류의 사육량 대비 생산량의 비율이 약 40% 참돔의 사육량 대비 생산량의 비율이 약 46% 정도로 참돔의 마리당 출하크기 및 출하무게가 송어류의 마리당 출하크기 및 출하무게 보다 큰 것으로 알 수 있다.

<표 8> 국내 및 경남 가두리양식장의 생산량 및 생산금액

행정구역별	어종별	생산량 (M/T)	비율 %	생산금액 (백만원)	비율%
전국	계	38,223	100.00%	380,590	100.00%
	조피볼락	22,393	58.59%	190,024	49.93%
	송어류	5,946	15.56%	50,686	13.32%
	참돔	5,103	13.35%	68,102	17.89%
	기타	4,781	12.51%	71,778	18.86%
경상남도	계	24,696	100.00%	241,733	100.00%
	조피볼락	11,786	47.72%	89,766	37.13%
	송어류	5,476	22.17%	46,662	19.30%
	참돔	4,666	18.89%	62,168	25.72%
	기타	2,768	11.21%	43,137	17.84%
거제시	계	2,552	100.00%	28,530	100.00%
	조피볼락	1,270	49.76%	10,379	36.38%
	참돔	741	29.04%	10,192	35.72%
	고등어류	124	4.86%	1,531	5.37%
	기타	417	16.34%	6,428	22.53%
하동군	계	3,404	100.00%	28,201	100.00%
	송어류	3,381	99.32%	27,966	99.17%
	감성돔	13	0.38%	145	0.51%
	조피볼락	10	0.29%	91	0.32%

(출처 : 통계청, 시도·시군구별 양식방법별 어종별 양식현황(2018))

나. 폐사현황

양식현황에서 살펴보았듯이 우리나라 가두리양식장의 주요 양식어종은 조피볼락, 참돔, 송어류로 나타난다. 이 3종의 어류의 사육량, 생산량은 전체 가두리양식장 사육어종의 85%를 상회한다. 조피볼락은 사육량, 생산량, 생산금액 등 모든 면에서 가장 높은 대표어종이다. 송어류의 사육량은 참돔에 비해 많지만, 경제적 가치는 낮은 것으로 나타난다.

이에 국립수산물품질관리원에서는 2011년부터 시작된 주요 양식 품종에 대한 폐사율조사에서 조피볼락과 참돔을 가두리 양식장의 주요어종으로 선정하여 폐사동향을 조사하고 있다.

최근 5년간 주요품종의 폐사율과 질병에 의한 폐사비율, 피해금액 등의 자료를 수집하고 이를 분석하였다.

(1) 주요 어종의 최근 5년간 폐사율 및 질병폐사율

가두리양식장의 폐사의 원인은 감염성 질병에 따른 폐사뿐 아니라 기후에 따른 영향, 적조, 자연도태 등으로 나타난다. 이에 폐사율에 대한 조사를 진행하면서 질병에 의한 폐사비율도 함께 조사되었으며 질병에 의한 폐사율을 예측하는 것은 가두리양식장 폐사체 처리시설의 운용에 따른 방역 및 질병예방측면의 편익을 산정할 때 중요한 자료가 된다.

전국 가두리양식 주요어종의 최근 5년간 폐사율과 이 조사의 표본어가수는 표 9와 같다.

<표 9> 전국 가두리양식장 주요어종의 최근 5년간 폐사율 및 표본어가수

		2014	2015	2016	2017	2018
조피볼락	폐사율	17.95%	14.01%	32.28%	14.75%	19.54%
	표본어가수	40	38	34	36	63
참돔	폐사율	16.61%	15.13%	18.39%	18.16%	20.17%
	표본어가수	40	34	34	36	60

전국 가두리양식 주요어종의 최근 5년간 질병에 의한 폐사율과 전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율은 표 10과 같다.

<표 10> 전국 가두리양식장 주요어종의 최근 5년간 질병폐사율과 전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율

		2014	2015	2016	2017	2018
조피볼락	질병폐사율	11.65%	12.40%	22.58%	11.14%	4.89%
	전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율	63.69%	88.49%	72.50%	75.51%	25.03%
참돔	질병폐사율	10.51%	9.84%	10.22%	9.36%	3.09%
	전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율	63.38%	65.01%	55.20%	51.56%	15.37%

가두리양식장 폐사체 처리시설이 운용되고 있는 거제와 하동은 경상남도에 위치하고 있기 때문에 경상남도의 주요 어종에 대한 폐사율과 질병폐사율을 조사하였으며 이를 통해 향후 분석의 현장감 및 객관성을 확보하고자 한다.

경상남도 가두리양식 주요어종의 최근 5년간 폐사율과 이 조사의 표본어가수는 표 11과 같다.

**<표 11> 경상남도 가두리양식장 주요어종의
최근 5년간 폐사율 및 표본어가수**

		2014	2015	2016	2017	2018
조피볼락	폐사율	19.07%	16.29%	31.68%	18.73%	11.80%
	표본어가수	25	24	18	18	28
참돔	폐사율	14.56%	14.92%	17.33%	16.26%	8.55%
	표본어가수	25	23	28	18	34

경상남도 가두리양식 주요어종의 최근 5년간 질병폐사율과 전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율은 표 12와 같다.

**<표 12> 경상남도 가두리양식장 주요어종의
최근 5년간 질병폐사율과 전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율**

		2014	2015	2016	2017	2018
조피볼락	질병폐사율	12.27%	14.36%	13.80%	16.63%	9.20%
	전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율	64.33%	88.14%	74.93%	88.77%	77.92%
참돔	질병폐사율	9.74%	10.34%	9.70%	11.85%	3.76%
	전체 폐사 중 질병 폐사 차지 비율	66.88%	69.29%	55.94%	72.89%	43.91%

(2) 주요 어종의 폐사율 및 질병폐사율 예측

전국과 경상남도의 최근 5년간 주요어종에 대한 폐사율과 질병폐사율의 자료를 통해 평균값을 구할 수 있으며, 이를 통해 편익분석을 위한 기초가 되는 자료로 활용할 수 있다.

단 가두리양식장의 사육어종 중 조피볼락, 참돔에 대한 조사만 이루어졌지만, 대표어종들의 사육비율을 고려하여 평균값을 구하고 이를 전국 및 경상남도의 가두리양식장의 폐사율과 질병에 의한 폐사율로 산정하도록 한다.

연도별 폐사율과 질병폐사율의 평균값을 구하는 방식은 다음과 같이 진행하였으며, 최근 5년 평균값에 대한 평균치가 평균 폐사율, 평균 질병폐사율이 되는 것이다.

$$CAM = \frac{CSM \times CSR + CPM \times CPR}{CSR + CPR}$$

<그림 4> 폐사율 평균값 산정식

<표 13> 폐사율 평균값 산정식 약어

약어	풀어쓰기	한글쓰기
CAM	Average Mortality in Cage Culture	평균 폐사율
CSM	Sebastes schlegeli Mortality in Cage Culture	조피볼락 폐사율
CPM	Pagrus major Mortality in Cage Culture	참돔 폐사율
CSR	Sebastes schlegeli Ratio in Cage Culture	조피볼락 사육비율
CPR	Pagrus major Ratio in Cage Culture	참돔 사육비율

전국 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율 산정을 위한 자료는 표 14와 같이 정리하였다.

<표 14> 전국 가두리양식장 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율

		2014	2015	2016	2017	2018	최근 5년간 평균 폐사율
조피 불락	폐사율	17.95%	14.01%	32.28%	14.75%	19.54%	19.39%
	사육비율	57.89%	65.74%	64.47%	64.40%	59.80%	
참돔	폐사율	16.61%	15.13%	18.39%	18.16%	20.17%	
	사육비율	13.87%	9.21%	10.65%	9.39%	11.41%	
평균 폐사율		17.69%	14.15%	30.31%	15.19%	19.64%	

전국 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 질병폐사율 산정을 위한 자료는 표 15와 같이 정리하였다.

<표 15> 전국 가두리양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 질병폐사율

		2014	2015	2016	2017	2018	최근 5년간 평균 질병폐사율
조피 불락	폐사율	11.65%	12.40%	22.58%	11.14%	4.89%	11.97%
	사육비율	57.89%	65.74%	64.47%	64.40%	59.80%	
참돔	폐사율	10.51%	9.84%	10.22%	9.36%	3.09%	
	사육비율	13.87%	9.21%	10.65%	9.39%	11.41%	
평균 질병폐사율		11.43%	12.08%	20.83%	10.91%	4.60%	

경상남도 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율 산정을 위한 자료는 표 16과 같이 정리하였다.

<표 16> 경상남도 가두리양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율

		2014	2015	2016	2017	2018	최근 5년간 평균 폐사율
조피 볼락	폐사율	19.07%	16.29%	31.68%	18.73%	11.80%	18.27%
	사육비율	42.94%	51.90%	49.91%	49.02%	45.67%	
참돔	폐사율	14.56%	14.92%	17.33%	16.26%	8.55%	
	사육비율	19.40%	12.93%	14.34%	12.78%	15.31%	
평균 폐사율		17.67%	16.02%	28.48%	18.22%	10.99%	

경상남도 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 질병폐사율 산정을 위한 자료는 표 17과 같이 정리하였다.

**<표 17> 경상남도 가두리양식장의
주요 어종의 최근 5년간 평균 질병폐사율**

		2014	2015	2016	2017	2018	최근 5년간 질병 평균 폐사율
조피 볼락	폐사율	12.27%	14.36%	13.80%	16.63%	9.20%	12.28%
	사육비율	42.94%	51.90%	49.91%	49.02%	45.67%	
참돔	폐사율	9.74%	10.34%	9.70%	11.85%	3.76%	
	사육비율	19.40%	12.93%	14.34%	12.78%	15.31%	
평균 질병폐사율		11.48%	13.56%	12.88%	15.64%	7.83%	

전국 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율 19.39%, 평균 질병폐사율은 11.97%로 조사되었으며, 경상남도 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사율은 18.27%, 평균 질병폐사율은 12.28%로 조사되었다. 전국단위의 평균 폐사율이 경상남도 단위의 평균 폐사율보다 높았으며, 평균 질병폐사율은 경상남도가 높은 것으로 나타났다.

(3) 주요 어종의 최근 5년간 폐사피해금액

가두리양식장에서 발생하는 폐사피해금액을 추정함으로써 위의 자료에서 방역 및 질병 예방 측면의 편익을 산정할 때 중요한 자료가 된다.

폐사피해금액은 국립수산물과학원과 대한수산물질병관리사회에서 조사한 폐사동향 자료를 수집하고 이를 분석하였고 최근 5년간 주요어종의 폐사량, 폐사금액을 통해 폐사 kg당 평균 피해금액을 산정하였다.

전국 가두리양식 주요어종인 조피볼락과 참돔의 최근 5년간 폐사피해금액과 표본어가수는 표 18, 표 19와 같다.

**<표 18> 전국 조피볼락 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균
피해금액 및 표본어가수**

	2014	2015	2016	2017	2018
폐사량(kg)	129,170	208,688	684,249	360,947	450,550
폐사금액(천 원)	1,306,137	1,947,524	4,722,188	2,207,771	6,579,574
조사 어가수	40	38	34	36	63
폐사 kg당 평균 피해금액(원)	10,112	9,332	6,901	6,117	14,603

**<표 19> 전국 참돔 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균
피해금액 및 표본어가수**

	2014	2015	2016	2017	2018
폐사량(kg)	103,653	193,870	219,727	171,752	776,146
폐사금액(천 원)	675,398	1,673,916	2,252,533	1,785,816	9,066,730
조사 어가수	40	34	34	36	60
폐사 kg당 평균 피해금액(원)	6,516	8,634	10,251	10,398	11,682

경상남도 가두리양식 주요어종인 조피볼락과 참돔의 최근 5년간 폐사피
해금액과 표본어가수는 표 20, 표 21과 같다.

**<표 20> 경상남도 조피볼락 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당
평균 피해금액 및 표본어가수**

	2014	2015	2016	2017	2018
폐사량(kg)	74,168	154,042	290,758	146,218	118,995
폐사금액(천 원)	768,884	1,451,097	1,917,685	1,347,634	1,799,835
조사 어가수	25	24	18	18	28
폐사 kg당 평균 피해금액(원)	10,367	9,420	6,595	9,217	15,125

**<표 21> 경상남도 참돔 최근 5년간 폐사량, 폐사금액, 폐사 kg당 평균
피해금액 및 표본어가수**

	2014	2015	2016	2017	2018
폐사량(kg)	57,865	148,611	175,115	119,437	140,663
폐사금액(천 원)	385,715	1,180,346	1,771,261	1,270,402	1,760,249
조사 어가수	25	23	28	18	34
폐사 kg당 평균 피해금액(원)	6,666	7,943	10,115	10,637	12,514

전국 조피볼락 최근 5년간 폐사 kg당 평균 피해금액은 경상남도의 폐사 kg당 평균 피해금액과 비슷하게 조사되었고, 참돔 또한 비슷한 양상으로 조사되었다.

(4) 주요 어종의 폐사피해금액 예측

전국과 경상남도의 최근 5년간 주요어종에 대한 폐사피해금액의 자료를 통해 평균값을 구할 수 있으며, 이를 통해 편익분석을 위한 기초가 되는 자료로 활용할 수 있다.

단 가두리양식장의 사육어종 중 조피볼락, 참돔에 대한 조사만 이루어졌지만, 대표어종들의 사육비율을 고려하여 평균값을 구하고 이를 전국 및 경상남도의 가두리양식장의 폐사피해금액으로 산정하도록 한다.

연도별 폐사피해금액의 평균값을 구하는 방식은 다음과 같이 진행하였으며, 최근 5년 평균값에 대한 평균치가 평균 폐사피해금액이 되는 것이다.

$$KAMC = \frac{SMAC \times CSR + PMAC \times CPR}{CSR + CPR}$$

<그림 5> 폐사피해금액 평균값 산정식

<표 22> 폐사피해금액 평균값 산정식 약어

약어	풀어쓰기	한글쓰기
SMAC	Sebastes schlegeli Mortality Average costs per kg in Cage Culture	조피볼락 폐사 kg당 평균 피해금액
PMAC	Pargus Mortality Average costs per kg in Cage culture	참돔 폐사 kg당 평균 피해금액
KAMC	Average Mortality costs per kg	폐사 kg 평균 피해금액
CSR	Sebastes schlegeli Ratio in Cage Culture	조피볼락 사육비율
CPR	Pagrus major Ratio in Cage Culture	참돔 사육비율

전국 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사피해금액 산정을 위한 자료는 표 23과 같이 정리하였다.

<표 23> 전국 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사피해금액

단위: 원

		2014	2015	2016	2017	2018	최근 5년간 폐사 kg당 평균 피해금액
조피 볼락	폐사 kg당 평균 피해금액	10,112	9,332	6,901	6,117	14,603	9,367
	사육비율	57.89%	65.74%	64.47%	64.40%	59.80%	
참돔	폐사 kg당 평균 피해금액	6,516	8,634	10,251	10,398	11,682	
	사육비율	13.87%	9.21%	10.65%	9.39%	11.41%	
폐사 kg당 평균 피해금액		9,417	9,246	7,376	6,661	14,135	

경상남도 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사피해금액 산정을 위한 자료는 표 24와 같이 정리하였다.

<표 24> 경상남도 가두리 양식장의 주요 어종의 최근 5년간 평균 폐사피해금액

단위 : 원

		2014	2015	2016	2017	2018	최근 5년간 폐사 kg당 평균 피해금액
조피 불락	폐사 kg당 평균 피해금액	10,367	9,420	6,595	9,217	15,125	9,940
	사육비율	42.94%	51.90%	49.91%	49.02%	45.67%	
참돔	폐사 kg당 평균 피해금액	6,666	7,943	10,115	10,637	12,514	
	사육비율	19.40%	12.93%	14.34%	12.78%	15.31%	
폐사 kg당 평균 피해금액		9,215	9,125	7,381	9,510	14,470	

2. 가두리양식장 폐사체 처리시설의 비용

가. 공장평 폐사체 처리시설의 시설투자비 및 연간운영비용

(1) 시설투자비

2017년에 건립된 거제지역의 가두리양식장 폐사처리 시설 건립을 위한 전체 초기투자비용은 약 2억천육백만원 정도로 조사되었다.

설계비는 시설, 전기, 부잔교에 대한 설계비로 책정, 기반공사는 빗물 받이, 출입문, 컨테이너 냉동창고, 창고 및 사무실용 컨테이너, 이동식화장실 등에 대한 비용이 책정되었다. 그 외 부잔교설치비용, 전기공사비용, 차광막설치비용, 수질정화처리시설 설치비용, 폐사체처리시스템 구매 및 설치비용, 기타 항목으로 구성되었다.

초기투자비용 중 폐사체처리시스템에 약 7천2백만원 정도가 소요되어 전체 투자비 중 33.3%정도 차지하였으며 그 뒤로 기반공사 비용이 약 6천2백만원 정도로 약 28.6% 차지하였다.

그 외 부대시설인 부잔교설치를 위한 비용이 약 4천2백5십만원 정도로 약 19.7% 비율로 차지하였다.

<표 25> 거제 폐사체 처리시설 시설투자비 현황

비목	금액(천원)	비율
폐사체 처리시스템	72,050	33.34%
기반공사	61,878	28.63%
부잔교설치	42,530	19.68%
전기공사	13,255	6.13%
수질정화처리시설	8,580	3.97%
기타 시설	7,613	3.52%
설계비	7,351	3.40%
차광막 공사	2,857	1.32%
합계	216,113	100.00%

출처 : 경상남도 수산기술사업소 거제사무소

(2) 2018년 연간운영비용

2018년 연간운영비용은 총 약 1억7천7백만원 정도 소요되었으며 표 5와 같이 정리하였다. 운영비용의 항목은 인건비, 임차료, 소모품, 재료비, 유지보수비, 업무추진비, 공공요금 등의 항목으로 분석하였다.

연간 운영비용에서 인건비가 약 6천7백만원정도 소요되어 37.9% 차지하였고, 그 뒤로 선박임차료가 포함된 임차료 항목이 약 25% 차지하였다. 소모품비가 14.2%로 많은 부분을 차지하였으며 여기에는 폐사체 수거를 위한 전용 수거용기를 제작하는 비용이 포함되었다.

그 외 유지보수비는 약 11.3%를 차지하였으며 여기에는 수거선박에 대한 관리비용이 많은 부분을 차지한 것으로 조사되었다. 운영상 특징적인 것은 선박 임차에 대한 계약이 소모품비용 및 유지보수비용이 별도로 지출되게 되어있으며 결국, 수거선박을 운용하면서 발생하는 비용이 많은 부분을 차지하는 것을 알 수 있다.

<표 26> 거제 폐사체 처리시설 2018년 연간운영비용 현황 (단위 : 천원)

	인건비	임차료		소모품		유지보수비			재료비		업무추진비		공공요금		기타	합계
		선박 임차료	사무 기기	전용 수거 용기	기타 소모품	액상 폐기물 수거 비용	부잔교 및 컨베이어 임시 철거	수거 전박	톱밥	유류비	무인 경비	출장비	상하 수도	전기료		
1월	4,415		167		149	340				1,089	130		45	277	690	7,302
2월	5,710		167		0	170				60	130	740	18	278		7,274
3월	5,285		167		95	170				358	130	0	61	288	90	6,646
4월	5,648		167	3,960		170				358	130	672	21	230		11,355
5월	5,481	3,069	167		1,299					409	130	486	20	216		11,276
6월	5,481	3,410	167		247	340				410	130	638	18	222		11,064
7월	5,677	6,138	167		185	170	600		1,221	358	130	932	22	364		15,964
8월	5,677	6,479	167		800	170				787	130		30	454	90	14,785
9월	5,885	5,797	167			170	600	78		1,250	130		34	483		14,594
10월	5,677	6,138	167		386	170	600	6,675		432	130	344	42	356		21,117
11월	5,481	6,479	167		5,132			347		503	130	989	39	345	1,126	20,737
12월	6,621	4,433	167		12,905	170		8,980		109	130		20	238	758	34,531
합계	67,036	41,943	2,009	3,960	21,197	2,040	1,800	16,080	1,221	6,123	1,560	4,800	369	3,753	2,754	176,644
비율	37.9%	24.9%		14.2%			11.3%		4.2%		3.6%		2.3%		1.6%	100.0%

출처 : 경상남도 수산기술사업소 거제사무소

나. 자가처리형 폐사체 처리시설의 시설투자비 및 연간운영비용

(1) 초기 투자비용

하동지역에 보급된 폐사체 처리장치의 1대당 가격은 28,500천원이었고 총 20대가 이 지역에 보급 되었다.

따라서 하동지역의 폐사체 처리시설의 초기 투자비용은 570,000천원으로 산정하였다.

(2) 연간 운영비용

이 시설의 운용 특성 상 설치 이후 전기요금 외 유지비용이 거의 소요되지 않는다.

따라서 장치 1대당 매월 발생하는 전기요금을 산정하여 연간 운영비용을 예측할 수 있다.

한국전력공사의 전기요금계산에 따르면 양식장용 전기요금은 농사용(을)에 분류되어있으며 이장비의 소비전력인 60kWh를 적용하면 1대당 월간 45,000원 정도의 전기요금이 발생한다.

하동지역에서는 이 장치를 20대 운용하고 있으므로 월 900,000원, 연간 10,800천원의 운영비용이 소요되는 것으로 산정하였다.

3. 육상매물 및 위탁처리에 따른 행정비용 절감 편익

매년 고수온 등의 원인으로 가두리양식장에서 대량폐사가 발생하는 지자체에서는 이 폐사체 처리에 대한 대책에 상당한 어려움을 겪고 있으며 이는 부지를 확보하여 매몰 처리하는 방법, 유기질 비료공장에 처리하는 방법 등을 병행하여 대량폐사에 대한 처리만 시행하고 있었다.

가두리양식장 밀집지역에서는 매년 대량의 폐사가 발생되고 있으며 오랜 기간 대부분 육상 매몰에 의존해왔으나 많은 어려움으로 한계점에 도달한 실정이다.

이처럼 어류 폐사체를 육상 매몰 하였을 경우, 매몰지의 확보 자체도 어렵고 막대한 경제적 손실이 따르는 부분이지만, 이에 따른 주변 토양 및 지하수 오염, 악취 등의 2차 환경오염을 초래하는 문제도 무시할 수 없으며 이는 근원적 해결책이 될 수 없을 것이다.

폐사체 처리시설의 운용을 통해 이러한 문제에 대한 어느 정도 해결이 가능하며, 이에 따라 행정적 비용을 절감 시킬 수 있을 거라 기대된다.

최근 조사되었던 어류 폐사체를 수거했던 업체의 수거비용은 M/T당 200,000원에서 300,000원 정도이며, 행정비용 절감 편익에 반영하는 수거비용은 M/T당 250,000원으로 산정하였다.

거제지역의 공장형 모델에서 처리되는 폐사량은 125 M/T이며, 이에 따라 절감되는 행정비용은 31,222천원으로 산정된다. 하동지역의 자가처리형 모델에서 처리되는 폐사량은 84 M/T이며, 이에 따라 폐사체 절감되는 행정 비용은 21,000천원으로 산정된다. 전국의 가두리양식장에서 예상되는 폐사량은 21,758 M/T이며, 이에 따라 절감되는 행정비용은 5,439,426천원으로 산정된다. 공장형 모델을 전국에 25기 확산 보급하였을 경우 예상되는

폐사체 처리량은 약 2,865 M/T이며, 이에 따라 절감되는 행정비용은 716,373천원으로 산정된다.

자가처리형 모델을 전국에 378대 보급하는 시나리오 상 예상되는 폐사체 처리량은 약 1,580 M/T이며, 이에 따라 절감되는 행정 비용은 394,902천원으로 산정된다. 자가처리형 모델을 전국 각 가두리 양식장 경영체당 1,031대 보급하는 시나리오 상 예상되는 폐사체 처리량은 약 4,301 M/T이며, 이에 따라 절감되는 행정비용은 약 1,075,375천원으로 산정된다.

<표 27> 폐사체 처리시설의 시나리오별 행정비용 절감효과 편익

	처리량(kg)	1 M/T당 절감 비용(원)	행정비용 절감 편익(천원)
전국폐사량	21,757,705	250,000	5,439,426
거제처리량	124,887	250,000	31,222
하동처리량	84,000	250,000	21,000
공장형 시나리오 기여율 (13.17%) 적용시	2,865,490	250,000	716,373
자가처리형 시나리오 I 기여율 (7.26%) 적용시	1,579,609	250,000	394,902
자가처리형 시나리오 II 기여율 (19.77%) 적용시	4,301,498	250,000	1,075,375

4. 유기질 비료 생산에 따른 자원의 재활용 편익

가두리양식장 폐사체 처리시설을 운용을 통해 해양환경 및 해양생태계의 여러 위해요소를 적합하게 제거함과 동시에 행정비용 또한 절감시킬 수 있지만, 부산물로 생산되는 양질의 유기질 비료원료 생산에 대한 측면도 주목할 필요가 있다.

국내법상 폐사체에 대한 재활용규정이 마련되어 있을 뿐 아니라, 해외의 여러 나라에서도 수산생물의 폐사체를 비료 등으로 적합한 처리이후 재활용할 것 것을 권고하고 있다.

어쩌면 해양에서 골치덩어리가 될 폐기물을 처리하여, 농업에 유용한 유기질 비료로 재활용한다는 것은 지구 환경적으로도 기여하는 바가 상당히 클 것이라 사료된다. 만약 비매물 처리방법 중 소각을 통한 방법을 선택한다면 불완전연소로 방출된 다이옥신과 푸란 등의 배출에 따른 환경오염이 유발될 뿐 아니라(한국연구재단, 2014) 과도한 화석연료 및 에너지를 사용하게 되고 처리물을 유용한 자원으로 재활용 할 수 없었을 것이다.

거제 및 하동의 폐사체 처리시설은 이러한 단점들이 없는 친환경적 처리를 통해 유기질 비료를 생산하는 환경 친화적인 처리시스템이다. 국립수산과학원의 연구에 따르면 현재 운영 중인 폐사체 처리 공정을 통해 배출되는 비료의 원료는 양질의 유기질비료로서 가치를 검증했으며, 다수의 이용자들의 만족도 또한 상당히 높은 것으로 파악되었다. 유기질 및 부산물 비료는 다량의 유기물과 소량의 각종 미량원소를 함유하고 있어 작물에 유용하면서도 토양의 물리성, 화학성, 미생물성을 개량하므로 매우 유익한 비료로 알려져 있다.

본 논문에서는 처리시설을 통해 유기질비료를 생산하는 것 자체가 환경

적으로 부가적 편익을 많이 가져오지만 이러한 간접적 편익은 연구대상에서 제외 하였으며, 생산되는 유기질 비료의 시장가를 파악하여 경제적 가치를 편익으로 산정하고자 한다. 이를 위해 먼저 어분을 주원료로 사용하는 유기질비료의 시장조사를 실시하였으며, 생산되는 성분 함량 및 성상이 가장 비슷한 제품을 선정하게 되었다.

그 후 선정된 제품가격을 기준으로 유기질 비료 생산 및 자원 재활용 측면의 편익산정에 이용하기로 한다. 이에 따라 유기질 비료 1Kg당 2,200원의 단가를 책정하여 자원재활용 편익을 산정하고자 한다.

<표 28> 유기질 비료 시장조사 현황

제품명	제조원	어분함량	kg당 가격
장보고	전남서부류양식수협	50%	2,000
마양구	한마음생명산업	60%	1,500
장보고골드	전남서부류양식수협	60%	1,500
황금어장	이에스바이오	22%	1,200
슈퍼올가니아	도트	34%	2,650
나고기	한마음생명산업	80%	2,200

거제지역의 공장형 모델에서 연간 배출되는 유기질 비료는 32,302kg으로 유기질 비료 1kg당 2,200원 단가를 책정하면 71,064,400원의 편익이 산정된다. 하동지역의 자가처리형 모델에서 연간예상되는 유기질 비료의 배출량은 25,200kg으로 유기질 비료 1kg당 2,200원 단가를 책정하면 55,440,000원의 편익이 산정된다.

전국 확대 시나리오 상 유기질 비료의 배출량은 폐사체처리량 대비 비료 배출량 비율을 거제모델과 하동모델의 실적 기준으로 로 배출계수를 정하였으며, 공장형 모델의 경우 배출계수 0.24가 적용되어전국에 25기 확산 보

급하였을 경우 배출되는 유기질 비료는 687,718kg으로 유기질 비료 1kg당 2,200원 단가를 책정하면 1,512,980천원의 편익이 산정된다. 자가처리형 모델의 경우 배출계수 0.3이 적용되어 전국에 378대 보급하는 시나리오 상 배출되는 유기질 비료는 473,883kg으로 유기질 비료 1kg당 2,200원 단가를 책정하면 1,042,543천원의 편익이 산정된다. 자가처리형 모델을 전국 각 가두리양식장 경영체당 1,031대 보급하는 시나리오 상 배출되는 유기질 비료는 1,290,449kg으로 유기질 비료 1kg당 2,200원 단가를 책정하면 2,838,988천원의 편익이 산정된다.

<표 29> 거제, 하동 폐사체 처리시설의 유기질 비료 배출량 및 비료생산금액

	유기질 비료 배출량 (kg)	유기질 비료 시장 형성가 (원/kg)	유기질 비료 생산금액(원)
거제	32,302	2,200	71,064,400
하동	25,200	2,200	55,440,000

<표 30> 폐사체 처리시설 전국 확대 시나리오별 유기질 비료 배출계수, 배출량 및 비료생산금액

	유기질 비료 배출계수*	유기질 비료 배출량(kg)	유기질 비료 생산금액(천원)
공장형 시나리오 기여율 (13.17%) 적용시	0.24	687,718	1,512,980
자가처리형 시나리오 I 기여율 (7.26%) 적용시	0.30	473,883	1,042,543
자가처리형 시나리오 II 기여율 (19.77%) 적용시		1,290,449	2,838,988

* 배출계수 : 시설별 유기질비료 배출량/시설별 폐사체 처리량

5. 방역 및 질병 예방 편익

선행연구에서 확인하였듯이 양식과정에서 발생하는 질병 폐사체는 아주 효율적으로 질병을 전파시키는 매개체가 될 수 있으며, 이를 적절하게 관리함으로써 수산생물 전염병을 효율적으로 예방할 수 있다. 이를 통해 양식산업 전반적 생산성향상의 직접적 효과뿐 아니라 수산생물의 안정적인 생산·공급과 수생태계 보호 및 국민건강의 향상에 이바지하는 효과를 누릴 수 있게 된다(국립수산물품질관리원, 2017).

어병의 발생은 한가지의 요인으로만 발생 또는 확산된다고 할 수는 없지만, 해양환경에 방치된 폐사어는 환경악화 요인임과 동시에 병원체의 저장, 증식, 확산의 주요한 요인이 된다.

하지만 이에 대한 적절한 처리와 관리에 따른 질병확산에 따른 저감 규모를 정확히 추정할 수는 없다.

따라서 전체 가두리양식장의 폐사체를 적절하게 처리하고, 이를 관리한다고 가정하였을 때 이에 따라 질병에 의한 폐사율이 기존보다 5%, 10%, 15% 수준으로 감소한다는 시나리오 하에 각각의 처리시설이 여기에 어느 정도를 기여하고 있는가를 산정한 다음, 이에 따라 편익을 산정하였다.

가. 각 시설별 기여율 산정과 전국 확대 시나리오 상 시설현황

거제에서 운영하고 있는 공장형 모델의 경우, 이 지역 가두리양식장에서 발생하는 연간 예상되는 폐사율은 18.27%이며, 통계청에서 조사된 거제 지역 가두리양식어종의 크기별 사육현황을 통해 전체 사육량을 무게로 환산하고, 이에 따라 예측되는 연간 폐사량은 약 1,605 M/T 정도로 추산된다. 2018년 거제의 처리시설에서 처리한 폐사체의 양은 약 125 M/T이며 이는 거제지역 연간 전체 폐사량의 7.79%에 달하는 폐사체를 처리함으로써 이 지역 폐사체 제거에 기여했다고 할 수 있다.

하동에서 운영하고 있는 자가처리형 모델의 경우, 이 지역 가두리양식장에서 발생하는 연간 예상되는 폐사율은 18.27%이며, 통계청에서 조사된 하동지역의 가두리양식어종의 크기별 사육현황을 통해 전체 사육량을 무게로 환산하고, 이에 따라 예측되는 연간 폐사량은 약 1,112 M/T 정도로 추산된다. 하동의 처리시설에서 연간 처리하는 폐사체의 양은 약 84 M/T 정도로 예상되며, 이는 하동지역 연간 전체 폐사량의 7.55%에 달하는 폐사체를 처리함으로써 이 지역 폐사체 제거에 기여했다고 할 수 있다.

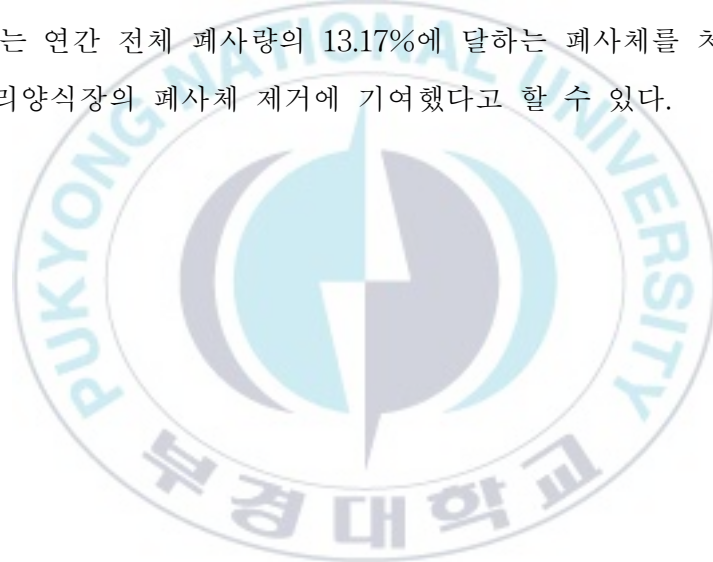
<표 31> 거제, 하동 폐사체 처리시설의 기여율

구분	사육량 (M/T)	폐사율 (%)	예상 폐사량 (M/T)	처리량 (M/T)	기여율* (%)
거제	8,784	18.27	1,605	125	7.79
하동	6,083	18.27	1,112	84	7.55

* 기여율 = 처리량/예상 폐사량

거제지역의 사육량에 따른 처리시설 1기 규모를 기본 규모로 가정하고 이를 전국 시·군단위의 가두리양식현장 인근지역에 공장형 모델을 확대·보급하는 시나리오를 세우게 된다면 전체 25기의 시설을 투입시키게 된다.

전국 가두리양식장에서 발생하는 연간 예상되는 폐사율은 19.39%이며, 통계청에서 조사된 전국 가두리양식어종의 크기별 사육현황을 통해 전체 사육량을 무게로 환산하고, 이에 따라 예측되는 연간 폐사량은 약 21,758 M/T 정도로 될 것이라 추산된다. 거제지역 처리시설의 실적을 통해 이 25기의 처리시설에서 처리할 폐사체의 양은 약 2,866 M/T에 달할 것이라 예측되며, 이는 연간 전체 폐사량의 13.17%에 달하는 폐사체를 처리함으로써 전국 가두리양식장의 폐사체 제거에 기여했다고 할 수 있다.



<표 32> 공장형 폐사체 처리시설의 지역별 보급현황과 기여율

행정구역별	시설량	사육량 (kg)	추정 폐사량 (kg)	예상 처리량 (kg)	기여율
전국	25	112,187,208	21,757,705	2,866,375	13.17%
강원도	1	55,788	10,820	10,820	100.00%
충청남도	4	13,568,020	2,631,390	499,548	18.98%
보령시	1	1,322,101	256,409	124,887	48.71%
서산시	1	1,793,231	347,780	124,887	35.91%
태안군	2	9,963,138	1,932,257	249,774	12.93%
전라남도	8	38,954,337	7,554,827	977,849	12.94%
여수시	3	22,214,929	4,308,376	374,661	8.70%
고흥군	1	2,578,538	500,083	124,887	24.97%
무안군·함평군	1	534,393	103,640	103,640	100.00%
완도군	1	3,978,582	771,609	124,887	16.19%
신안군	2	9,647,895	1,871,118	249,774	13.35%
경상북도	1	1,016,200	197,082	124,887	63.37%
경상남도	10	58,570,175	11,359,134	1,248,870	10.99%
통영시	4	29,574,973	5,735,788	499,548	8.71%
사천시	1	1,835,940	356,063	124,887	35.07%
거제시	1	8,077,816	1,566,616	124,887	7.97%
고성군	1	651,308	126,315	124,887	98.87%
남해군	2	12,281,954	2,381,969	249,774	10.49%
하동군	1	6,148,184	1,192,382	124,887	10.47%
제주도	1	22,689	4,400	4,400	100.00%

하동지역의 사육량에 따른 처리시설 20대 규모를 기본 규모로 가정하고 이를 전국 시·군단위의 가두리양식현장에 자가처리형 모델을 확대·보급 하는 시나리오를 세우게 된다면 전체 378대의 시설을 투입시키게 된다.

전국 가두리양식장에서 발생하는 연간 예상되는 폐사율은 19.39%이며, 통계청에서 조사된 전국 가두리양식어종의 크기별 사육현황을 통해 전체 사육량을 무게로 환산하고, 이에 따라 예측되는 연간 폐사량은 약 21,758 M/T 정도로 될 것이라 추산된다. 하동지역 처리시설의 예상되는 실적을 통해 이 378대의 처리시설에서 처리할 폐사체의 양은 약 1,580 M/T에 달할 것이라 예측되며, 이는 연간 전체 폐사량의 7.26%에 달하는 폐사체를 처리함으로써 전국 가두리양식장의 폐사체 제거에 기여했다고 할 수 있다.

하동지역의 자가처리형 모델을 전국의 가두리양식장 경영체에 모두 보급 하는 시나리오를 세우게 된다면 전체 1,031대의 시설을 투입시키게 된다.

전국 가두리양식장에서 발생하는 연간 예상되는 폐사율은 19.39%이며, 통계청에서 조사된 전국 가두리양식어종의 크기별 사육현황을 통해 전체 사육량을 무게로 환산하고, 이에 따라 예측되는 연간 폐사량은 약 21,758 M/T 정도로 될 것이라 추산된다. 하동지역 처리시설의 예상되는 실적을 통해 이 1,031대의 처리시설에서 처리할 폐사체의 양은 약 4,302 M/T에 달할 것이라 예측되며, 이는 연간 전체 폐사량의 19.77%에 달하는 폐사체를 처리함으로써 전국 가두리양식장의 폐사체 제거에 기여했다고 할 수 있다.

<표 33> 자가처리형 폐사체 처리시설의 지역별 보급현황과 기여율

	시설량	사육량 (kg)	추정 폐사량 (kg)	예상 처리량 (kg)	기여율
전국	378	112,187,475	21,757,705	1,579,711	7.26%
강원도	2	55,788	10,820	4,511	41.69%
삼척시	1	1,602	311	311	100.00%
고성군	1	54,187	10,509	4,200	39.97%
충청남도	47	13,568,020	2,631,390	197,400	7.50%
보령시	5	1,322,101	256,409	21,000	8.19%
서산시	6	1,793,231	347,780	25,200	7.25%
홍성군	1	24,024	4,659	4,200	90.15%
태안군	33	9,963,138	1,932,257	138,600	7.17%
당진군	2	465,525	90,284	8,400	9.30%
전라남도	130	38,954,337	7,554,827	546,000	7.23%
여수시	73	22,214,929	4,308,376	306,600	7.12%
고흥군	9	2,578,538	500,083	37,800	7.56%
무안군	2	400,394	77,653	8,400	10.82%
함평군	1	133,999	25,988	4,200	16.16%
완도군	13	3,978,582	771,609	54,600	7.08%
신안군	32	9,647,895	1,871,118	134,400	7.18%
경상북도	4	1,016,200	197,082	16,800	8.52%
포항시	3	890,743	172,751	12,600	7.29%
경주시	1	125,457	24,331	4,200	17.26%
경상남도	193	58,570,175	11,359,134	810,600	7.14%
통영시	97	29,574,973	5,735,788	407,400	7.10%
사천시	6	1,835,940	356,063	25,200	7.08%
거제시	27	8,077,816	1,566,616	113,400	7.24%
고성군	3	651,308	126,315	12,600	9.98%
남해군	40	12,281,954	2,381,969	168,000	7.05%
하동군	20	6,148,184	1,192,382	84,000	7.04%
제주도	2	22,689	4,400	4,400	100.00%
제주시	1	801	155	155	100.00%
서귀포시	1	22,155	4,297	4,200	97.75%

**<표 34> 자가처리형 폐사체 처리시설의 가두리양식장 경영체당
보급현황과 기여율**

	시설량	사육량 (kg)	추정 폐사량 (kg)	예상 처리량 (kg)	기여율
전국	1,031	112,187,475	21,757,705	4,301,770	19.77%
강원도	3	55,788	10,820	4,511	41.69%
삼척시	2	1,602	311	311	100.00%
고성군	1	54,187	10,509	4,200	39.97%
충청남도	124	13,568,020	2,631,390	512,859	19.49%
보령시	20	1,322,101	256,409	84,000	32.76%
서산시	25	1,793,231	347,780	105,000	30.19%
홍성군	3	24,024	4,659	4,659	100.00%
태안군	59	9,963,138	1,932,257	247,800	12.82%
당진군	17	465,525	90,284	71,400	79.08%
전라남도	416	38,954,337	7,554,827	1,747,200	23.13%
여수시	239	22,214,929	4,308,376	1,003,800	23.30%
고흥군	17	2,578,538	500,083	71,400	14.28%
무안군	1	400,394	77,653	4,200	5.41%
함평군	1	133,999	25,988	4,200	16.16%
완도군	37	3,978,582	771,609	155,400	20.14%
신안군	121	9,647,895	1,871,118	508,200	27.16%
경상북도	6	1,016,200	197,082	25,200	12.79%
포항시	5	890,743	172,751	21,000	12.16%
경주시	1	125,457	24,331	4,200	17.26%
경상남도	478	58,570,175	11,359,134	2,007,600	17.67%
통영시	312	29,574,973	5,735,788	1,310,400	22.85%
사천시	11	1,835,940	356,063	46,200	12.98%
거제시	54	8,077,816	1,566,616	226,800	14.48%
고성군	3	651,308	126,315	12,600	9.98%
남해군	65	12,281,954	2,381,969	273,000	11.46%
하동군	33	6,148,184	1,192,382	138,600	11.62%
제주도	4	22,689	4,400	4,400	100.00%
제주시	1	801	155	155	100.00%
서귀포시	3	22,155	4,297	4,297	100.00%

<표 35> 공장형 및 자가처리형 폐사체 처리시설의 기여율 비교

구분	보급시설수	추정 폐사량 (kg)	예상 처리량 (kg)	기여율
공장형모델	25	21,757,705	2,866,375	13.17%
자가처리형모델 지역별 보급	378	21,757,705	1,579,711	7.26%
자가처리형모델 경영체당 보급	1,031	21,757,705	4,301,770	19.77%

나. 공장형 모델의 질병 예방에 따른 예상 편익

(1) 거제지역 가두리 양식장의 질병 예방에 따른 예상 편익

기본적으로 이 지역의 가두리양식장에서 발생하는 전체 폐사체를 적절하게 처리하면 질병발생 및 확산에 대한 폐사를 5%, 10%, 15% 수준으로 감소시킬 수 있다는 가정 하에 편익에 대한 분석을 실시하였다.

2018년 거제지역의 가두리양식장 전체 폐사량 중 폐사체 처리시설 운영에 따른 처리실적이 이에 대한 기여율이 될 것이며 이는 약 7.79% 수준이다.

즉 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방 효과를 5% 수준으로 가정하였을 경우, 이 시설을 통한 질병예방 효과는 0.39% 정도로 추산할 수 있고, 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방 효과를 10% 수준으로 가정하였을 경우, 이 시설을 통한 질병예방 효과는 0.78%, 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방 효과를 15% 수준으로 가정한다면 이 시설을 통한 질병예방 효과는 1.17%로 산정할 수 있다.

이에 따라 본 논문의 가두리양식장의 양식 및 폐사현황에서 알아본 바와 같이 폐사율 및 질병폐사율과 이에 따른 피해금액을 대입시켜 표 36과 같이 그 편익을 산정할 수 있다.

<표 36> 거제지역 가두리 양식장의 질병 예방에 따른 예상 편익

거제지역 사육량 (M/T)	거제지역 질병 폐사율	거제 질병추정 폐사량 (M/T)	폐사량 감소비율	피해 저감 예상액 (천 원)	기여율 적용 시 (7.79%) 폐사량 감소비율	기여율 적용 시 (7.79%) 피해저감 예상액 (천 원)
8,784	12.28%	1,079	5%	536,095	0.39%	41,762
			10%	1,072,189	0.78%	83,523
			15%	1,608,284	1.17%	125,285

(2) 전국 확대 시나리오 상 질병 예방에 따른 예상 편익

공장형 모델을 전국에 25기 보급하여 전체 예상되는 폐사량 중 폐사체 처리시설 운영에 따른 처리실적이 이에 대한 기여율이 될 것이며 이는 약 13.17% 수준이다.

전국의 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방에 따른 질병폐사율 감소 효과를 5%, 10%, 15% 수준으로 가정하였을 경우 이 시설을 통한 그 효과는 각각 약 0.66%, 1.32%, 1.98% 정도로 산정할 수 있다.

이에 따라 본 논문의 가두리양식장의 양식 및 폐사현황에서 알아본 바와 같이 폐사율 및 질병폐사율과 이에 따른 피해금액을 대입시켜 표 37과 같이 그 편익을 산정할 수 있다.

<표 37> 공장형 모델 전국 확대 시나리오 상 질병 예방에 따른 예상 편익

전국 사육량 (M/T)	전국 질병 폐사율	전국 질병추정 폐사량 (M/T)	폐사량 감소비율	피해 저감 예상액 (천 원)	기여율 적용 시 (13.17%) 폐사량 감소비율	기여율 적용 시 (13.17%) 피해저감 예상액 (천 원)
112,187	11.97%	13,432	5%	6,290,815	0.66%	828,500
			10%	12,581,630	1.32%	1,657,000
			15%	18,872,446	1.98%	2,485,501

다. 자가처리형 모델의 질병 예방에 따른 예상 편익

(1) 하동지역 가두리 양식장의 질병 예방에 따른 예상 편익

기본적으로 이 지역의 가두리양식장에서 발생하는 전체 폐사체를 적절하게 처리하면 질병발생 및 확산에 대한 폐사를 5%, 10%, 15% 수준으로 감소시킬 수 있다는 가정 하에 편익에 대한 분석을 실시하였다.

2018년 하동지역의 가두리양식장 전체 폐사량 중 폐사체 처리시설 운영에 따른 처리실적이 이에 대한 기여율이 될 것이며 이는 약 7.55% 수준이다.

즉 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방 효과를 5% 수준으로 가정하였을 경우, 이 시설을 통한 질병예방 효과는 0.38% 정도로 추산할 수 있고, 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방 효과를 10% 수준으로 가정하였을 경우, 이 시설을 통한 질병예방 효과는 0.75%, 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방 효과를 15% 수준으로 가정한다면 이 시설을 통한 질병예방 효과는

1.13%로 산정할 수 있다.

이에 따라 본 논문의 가두리양식장의 양식 및 폐사현황에서 알아본 바와 같이 폐사율 및 질병폐사율과 이에 따른 피해금액을 대입시켜 표 38과 같이 그 편익을 산정할 수 있다.

<표 38> 하동지역 가두리 양식장의 질병 예방에 따른 예상 편익

하동지역 사육량 (M/T)	하동지역 질병 폐사율	하동 질병추정 폐사량 (M/T)	폐사량 감소비율	피해 저감 예상액 (천원)	기여율 적용 시 (7.55%) 폐사량 감소비율	기여율 적용 시 (7.55%) 피해저감 예상액 (천원)
6,083	12.28%	747	5%	371,261	0.38%	28,030
			10%	742,523	0.75%	56,060
			15%	1,113,784	1.13%	84,091

(2) 전국 확대 시나리오 상 질병 예방에 따른 예상 편익

(가) 전국 확대 시나리오 I

하동지역의 사육량에 따른 처리시설 20대 규모를 기본 규모로 가정하고 이를 전국 시·군단위의 가두리양식현장에 자가처리형 모델을 확대·보급 하는 시나리오를 세우게 된다면 전체 378대의 시설을 투입시키게 된다.

자가처리형 모델을 전국에 378대 보급하여 전체 예상되는 폐사량 중 폐사체 처리시설 운영에 따른 처리실적이 이에 대한 기여율이 될 것이며 이는 약 7.26% 수준이다.

전국의 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방에 따른 질병폐사율 감소 효과

를 5%, 10%, 15% 수준으로 가정하였을 경우 이 시설을 통한 그 효과는 각각 약 0.36%, 0.73%, 1.09% 정도로 산정할 수 있다.

이에 따라 본 논문의 가두리양식장의 양식 및 폐사현황에서 알아본 바와 같이 폐사율 및 질병폐사율과 이에 따른 피해금액을 대입시켜 표 39와 같이 그 편익을 산정할 수 있다.

<표 39> 자가처리형 모델 전국 확대 시나리오 I 상
질병 예방에 따른 예상 편익

전국 사육량 (kg)	전국 질병 폐사율	전국 질병추정 폐사량 (kg)	폐사량 감소비율	피해 저감 예상액 (천원)	기여율 적용 시 (7.26%) 폐사량 감소비율	기여율 적용 시 (7.26%) 피해저감 예상액 (천원)
112,187,475	11.97%	13,431,868	5%	6,290,815	0.36%	456,713
			10%	12,581,631	0.73%	913,426
			15%	18,872,446	1.09%	1,370,140

(나) 전국 확대 시나리오 II

하동지역의 자가처리형 모델을 전국의 가두리양식장 경영체에 모두 보급하는 시나리오를 세우게 된다면 전체 1,031대의 시설을 투입시키게 된다.

자가처리형 모델을 전국에 1,031대 보급하여 전체 예상되는 폐사량 중 폐사체 처리시설 운영에 따른 처리실적이 이에 대한 기여율이 될 것이며 이는 약 19.77% 수준이다.

전국의 전체 폐사량 관리에 따른 질병예방에 따른 질병폐사율 감소 효과

를 5%, 10%, 15% 수준으로 가정하였을 경우 이 시설을 통한 그 효과는 각각 약 0.99%, 1.98%, 2.97% 정도로 산정할 수 있다.

이에 따라 본 논문의 가두리양식장의 양식 및 폐사현황에서 알아본 바와 같이 폐사율 및 질병폐사율과 이에 따른 피해금액을 대입시켜 표 40과 같이 그 편익을 산정할 수 있다.

<표 40> 자가처리형 모델 전국 확대 시나리오 II상
질병 예방에 따른 예상 편익

전국 사육량 (kg)	전국 질병 폐사율	전국 질병추정 폐사량 (kg)	폐사량 감소비율	피해 저감 예상액 (천원)	기여율 적용 시 (19.77%) 폐사량 감소비율	기여율 적용 시 (19.77%) 피해저감 예상액 (천원)
112,187,475	11.97%	13,431,868	5%	6,290,815	0.99%	1,243,694
			10%	12,581,631	1.98%	2,487,388
			15%	18,872,446	2.97%	3,731,083

6. 해양환경 정화 편익

선행연구를 통해서 현대 해양환경은 육지에서 흘러들어오는 오염물질에 대한 자정능력의 한계를 드러내고 있으며, 가두리양식장에서 발생되어 해양환경에 방치되는 폐사체 자체는 많은 유기물을 포함하고 있으므로 가두리 양식장에서 해양으로 공급된 유기물은 연안의 저서생태계를 교란시키는 주요인이 되는 것임을 확인했다.

따라서 어장 주변에서 무단투기 되는 폐사체가 지속적으로 많은 양이 축적될 경우 해저면에 유기물이 과다하게 공급되는 결과를 가져오게 되는 것이며, 이는 해양환경을 악화시켜 양식어류의 건강도에 직접적인 피해를 일으킬 뿐 아니라 적조, 빈산소 수괴 형성 등의 결과를 초래한다. 또한 이러한 현상이 지속될 시 주변 굴, 전복 등의 인근 다른 양식산업에도 피해를 가하는 요소가 될 것이며, 나아가 수생태계 및 어장환경에 악영향을 끼치게 되는 결과를 초래한다.

이에 가두리양식장 폐사체 처리 시설을 통해 가두리양식장이 발생시키는 오염원 특히 유기물의 해양 투입에 대한 저감 영향을 분석하고, 이에 따른 환경적 편익을 예측하였다.

앞에서 언급한바와 같이 가두리양식장의 폐사체가 가지는 의미는 해양환경 측면에서도 무시할 수 없는 요소로 확인되고 있으므로 이에 대한 직관적 편익분석이 필수적으로 이루어져야 한다. 현대에 이르러 방법론 및 기술의 발달로 이를 시장가치화 시킬 수 있게 되었으며 본 논문에서는 해양환경에 방치되는 폐사체가 유발하는 오염물질인 유기물을 구성하는 주성분인 탄소와 질소로 규정하였고, 이에 대한 시장가치화와 편익을 분석항목으로 채택하였다.

가. 질소 제거에 따른 편익

해양환경에 유입된 유기물 특히 단백질성분이 분해되는 과정에서 많은 양의 질소화합물이 생성되며, 이는 해양생태계에 악영향을 미치는 원인이 된다.

이에 선행연구를 통해 살펴본 바와 같이 수질환경의 질소제거에 대한 시장가치화 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 질소제거 비용 및 배출권 관련 자료 중 해양환경의 복구에 관련된 연구를 주목하고 이를 채택하여 그에 따른 시장가치화 분석을 실시하였다.

Chopin (2010)의 연구에 따르면 IMTA와 관련된 해양환경 중 질소제거 비용을 10~30\$로 예측하고 있으며, Neori (2007)의 연구에 따르면 해조류와 조개류를 이용한 생물여과장치 적용에 따른 해양환경 중 질소제거 비용을 44\$로 예측하고 있다. 본 논문에서는 오염물의 해양환경 내 복구 및 정화에 관련된 Chopin (2010)의 이론을 채택하고 이 비용의 평균값인 20\$/Kg을 질소제거 비용으로 산정 하였다. 또한 폐사체 즉 어체에 포함된 질소의 양을 측정하기 위해서 과학적이고, 간단한 분석이 용이하여 활용도가 높은 S. Sandu, S. and Hallerman, E (2013) 와 Thiex *et al* (2002)의 연구내용을 채택한 그림 6과 같은 식을 이용하였다.

$$NRC = DFW \times FP \times PNC \times 20\$/kg$$

<그림 6> 질소제거비용 산정식

<표 41> 질소제거비용 산정식 약어

약어	풀어쓰기	한글쓰기
DFW	Weight of dead fish	폐사량(kg)
FP	Protein content of the fish	1kg당 단백질량
PNC	Concentration of nitrogen in protein	단백질 내 질소량
NRC	Nitrogen removal costs	질소제거비용

이에 따라 거제지역의 공장형 모델에서 처리한 폐사량은 약 125 M/T, 이에 따른 질소 제거비용은 연간 100,788천원의 편익이 발생하는 것으로 추정 된다. 하동지역의 자가처리형 모델에서 처리한 폐사량은 약 84 M/T 이라 가정 하였을 때, 질소 제거비용은 연간 71,027천원의 편익이 발생할 것이라 추정된다.

전국의 가두리양식장에서 발생하는 폐사량은 약 21,758 M/T 정도로 추정되며 이에 따라 약 735 M/T의 질소가 발생하는 것으로 예측할 수 있다. 이에 공장형 모델을 전국에 25기 확산 보급하였을 경우 처리예상량은 약 2,865 M/T이며 이에 따른 질소 제거비용은 연간 2,312,646천원의 편익이 발생할 것으로 추정할 수 있다.

자가처리형 모델을 전국에 378대 보급하는 시나리오 상 예상되는 처리량은 약 1,580 M/T, 이에 따른 질소제거비용은 연간 1,274,862천원의 편익이 발생하는 것으로 추정할 수 있으며, 자가 처리형 모델을 전국 각 가두리양

식장 경영체당 1,031대 보급하는 시나리오 상 예상되는 처리량은 약 4,301 M/T, 이에 따른 질소제거비용은 연간 약 3,471,611천원의 편익이 발생하는 것으로 추정할 수 있다.

<표 42> 폐사체 처리시설의 시나리오별 질소 제거비용

	처리량 (kg)	질소량 (kg)	질소 제거비용 (천원)
전국폐사량	21,757,705	731,059	17,560,037
거제처리량	124,887	4,196	100,788
하동처리량	84,000	2,957	71,027
공장형 시나리오 기여율 (13.17%) 적용시	2,865,490	96,280	2,312,646
자가처리형 시나리오 I 기여율 (7.26%) 적용시	1,579,609	53,075	1,274,862
자가처리형 시나리오 II 기여율 (19.77%) 적용시	4,301,498	144,530	3,471,611

*kg당 단백질량 전국, 거제, 각각의 시나리오 : 0.21, 하동 : 0.22

*단백질내 질소량 0.16

*환율 : 1,201원/\$

나. 탄소 제거에 따른 편익

해양환경은 대기중 이산화탄소의 농도 증가를 완충하는 역할을 하고 있으며, 그 과정에서 해양생태계의 역할이 매우 중요한 것으로 인식되고 있다. 대기 중 이산화탄소 농도의 증가는 표층 해수의 용존 이산화탄소증가로 이어지게 된다(이정석 외, 2006).

유기물의 기본적인 구성 성분인 탄소는 최종적으로 곰팡이 및 세균과 같은 분해자에 의해 이산화탄소로 분해되어 대기나 물로 돌아간다. 하지만 대기 중의 이산화탄소증가와 더불어 분해능력 이상의 유기물이 해양으로 유입되면서 자체 분해 및 자정능력을 잃어가고 있다. 이러한 과정이 축적되어 최종적으로 해수산성화에 이르게 되며, 해양생물에 악영향을 미치며 이는 근해 어족자원의 감소 및 양식업 경쟁력 저하로 이어지게 될 것이다. 이에 폐사체 즉 어류가 포함하고 있는 탄소의 양을 추정하고, 이 제거비용을 환경적 편익에 편입하기로 할 것이다.

Chopin (2010)은 IMTA의 시행에 따라 해양에서 탄소를 저감하는 것이 해수의 pH를 증가시키고 대기 및 양식생물로부터 이산화탄소를 흡수하는 것으로 인정될 때 이에 따른 탄소제거비용을 \$ 30/ M/T으로 책정한다고 하였으며 본 논문에서는 이 연구내용을 채택하여 탄소제거에 따른 편익분석에 채택하였다. 2019년 11월 현재 한국거래소의 배출권 시세 또한 이와 비슷하게 형성되어 이산화탄소 저감에 따른 편익을 \$ 30/ M/T으로 산정하였다.

또한 Sterner, R. W and George, N. B (2000)과 Czamanski (2011)의 연구를 채택하여 어체 내 탄소비율이 질소의 약 600%수준으로 산정하였으며, 탄소 원자량과 이산화탄소 분자량에 따른 환산계수 3.67을 적용하여 이산화탄소의 양을 산정하였다.

이에 따라 거제지역의 공장형 모델에서 처리한 약 125 M/T의 폐사체가 발생시킬 수 있는 이산화탄소량은 92,396kg, 이에 따른 탄소 제거비용은 연간 3,329천원의 편익이 발생하는 것으로 추정된다. 하동지역의 자가처리형 모델에서 처리할 것이라 예상되는 약 84 M/T의 폐사체가 발생시킬 수 있는 이산화탄소량은 65,113kg, 탄소 제거비용은 연간 2,346천원의 편익이 발생할 것이라 추정된다.

전국의 가두리양식장에서 발생하는 약 21,758 M/T 정도의 폐사체가 발생시킬 수 있는 이산화탄소는 약 16,098 M/T 정도로 추정되며 이에 따른 탄소 제거비용은 연간 580,008천원의 편익이 발생할 것이라 추정된다.

공장형 모델을 전국에 25기 확산 보급하였을 경우 폐사체 처리를 통해 저감시킨 이산화탄소의 양은 약 2,120 M/T이며 이에 따른 탄소 제거비용은 연간 76,387천원의 편익이 발생할 것으로 추정할 수 있다. 자가처리형 모델을 전국에 378대 보급하는 시나리오 상 폐사체 처리를 통해 저감시킨 이산화탄소의 양은 약 1,169 M/T으로 예상할 수 있으며, 이에 따른 탄소 제거비용은 연간 42,109천원의 편익이 발생하는 것으로 추정할 수 있으며, 자가처리형 모델을 전국 각 가두리양식장 경영체당 1,031대 보급 하는 시나리오 상 폐사체 처리를 통해 저감시킨 이산화탄소의 양은 약 3,183 M/T으로 예상할 수 있으며, 이에 따른 탄소 제거비용은 연간 약 114,667천원의 편익이 발생하는 것으로 추정할 수 있다.

<표 43> 폐사체 처리시설의 시나리오별 탄소 제거비용

	처리량(kg)	탄소량(kg)	이산화탄소량(kg)	탄소 제거비용(천 원)
전국 폐사량	21,757,705	4,386,354	16,097,919	580,008
거제처리량	124,887	25,176	92,396	3,329
하동처리량	84,000	17,742	65,113	2,346
공장형 시나리오 기여율 (13.17%) 적용시	2,865,490	577,683	2,120,097	76,387
자가처리형 시나리오 I 기여율 (7.26%) 적용시	1,579,609	318,450	1,168,712	42,109
자가처리형 시나리오 II 기여율 (19.77%) 적용시	4,301,498	867,180	3,182,551	114,667

*환율 : 1,201원/\$

V. 경제적 타당성 분석 결과

공공사업은 경제적 수익성을 고려하기도 하지만, 주로 사회적 필요성에 제안되고 실행되는 경우가 많으며 미래 세대에 혜택을 주기 위한 방향으로 추진된다. 즉 공공복리의 측면에서 그 평가가 이루어져야 한다. 그런 의미에서 가두리양식장 폐사체 처리시설의 운용은 공공사업적 관점에서 시행되어야 할 것이다.

우리나라에서는 공공부문 사업을 평가하기 위한 대표적인 사례로 예비타당성조사 제도를 실시하고 있고 있으며, 기획재정부의 예비타당성조사 운영지침에 따른 경제성분석인 비용편익 분석을 기본적인 방법론으로 채택하고 있다.

비용편익 분석은 공공사업의 경제적 타당성을 판단하기 위해 가장 널리 이용되는 기법이며, 모든 비용과 결과물을 화폐단위로 표현하고 있다. 이는 완전히 다른 조정 간의 비교가 가능한 장점이 있지만, 후생효과를 화폐 가치로 측정하는 어려움이 있다.

비용편익 분석과 비교되는 비용효과분석은 결과물 본연의 단위 당 비용으로 표현하며, 동일한 결과를 달성하는데 대안 간의 비교가 가능한 장점이 있는 반면 서로 다른 결과를 가져오는 대안간의 비교는 가능하지 않다. 또한 편익을 화폐적 단위로 측정할 수 없는 사업들을 평가하는데 유효하게 사용되는 분석기법이지만 정책판단을 위해 활용되는 정보의 양이라는 측면에서 더 많은 정보를 제공하기 어렵다. 또한 비용편익 분석은 경제적 효율성을 측정하고 있지만, 비용효과분석은 경제적 효율성에 대한 정보를 제공하지 못한다. 비용효과분석을 위해 적절한 대안과 적절한 효과 항목을 선택하는 것은 실제로 복잡하고 어려우며, 어떤 활동이 더 나은 자원 배분을

의미하는지에 대한 답을 제공하기에 한계가 있다(김정권 외, 2017).

본 논문에서는 가두리양식장 폐사체 처리시설 운용에 대한 경제적 타당성 연구를 위해 편익산정에 있어 시장정보를 활용하거나, 선행연구의 결과를 분석하고 현 상황에 적용한 결과들을 토대로 계량화 작업과 현금가치화를 실시하였으며, 경제성분석 기법은 비용편익분석을 기본 방법론으로 채택하였다.

또한 정책입안자의 선택의 폭을 넓히고, 많은 정보를 제공하기 위해 직접적 편익과 간접적 편익을 분류하고 간접적 편익을 가감하여 탄력적인 경제성 분석결과를 도출하였다.



1. 공장형 모델의 경제성 분석 결과

가. 거제지역 폐사체 처리 시설

2018년 거제지역에서 운영한 폐사체처리시설의 초기투자 비용, 운영실적 및 처리실적을 토대로 경제성 분석을 실시하였다.

시설물들은 건축물의 형태이기보다는 컨테이너, 천막 등을 이용한 가건물 형태로 구성되었으며, 각 장비들의 수명들을 고려했을 때 전체 시설의 내구연한은 10년이며 이후 잔존가치는 없는 것으로 평가하였다.

경제성 분석을 위한 운영기간은 향후 환경제어기술의 발전을 고려하여 내구연한과 같은 10년으로 설정하였으며 기획재정부의 예비타당성 조사 수행 총괄지침에 따른 사회적 할인율인 4.5%를 적용하였다.

2년차인 2019년부터 경상남도의 예산편성 계획에 따라 운영비가 197,000천원으로 책정되었으며 향후 이 규모의 예산이 8년간 계속 집행된다는 가정 하에 운영비를 산정하였다.

2017년 이 시설의 착공 당시부터 현재까지 경상남도 국유지를 무상으로 이용하는 방식으로 운영되어 오고 있으나, 기회비용을 고려하여 공시지가를 반영하여 토지구입비를 4,860,000원 (공시지가 10,800원 $\times$ 450m²) 책정하였고, 사업 종료시점인 10년 후 잔존가치에 편입시키기로 하였다. 이 때 최근 5년간 공시지가 상승률을 향후 10년간 변동 폭에 적용하여 7,362,000원 (공시지가 16,360원 $\times$ 450m²)으로 책정하였다.

분석결과 직접 편익인 행정비용 절감편익과 유기질비료 생산 편익만 편익항목에 산정하였을 경우 B/C 0.46, NPV - 946,305천원으로 경제성이 없

는 것으로 나타났다.

간접 편익 항목 중 해양환경 편익을 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 B/C 0.93, NPV - 122,457천원, IRR - 10.11%으로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

또한 간접 편익 항목 중 질병예방효과에 따른 폐사율 감소를 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 이 지역 가두리양식장 질병폐사율을 0.39%, 0.78%, 1.17% 감소시킬 수 있다는 가정 하에 10년간 사업수행에 따른 각각 B/C는 0.65, 0.84, 1.03 NPV - 615,854천원, -285,403천원, 45,040천원으로 나타났으며 폐사체 처리시설을 통해 이지역의 질병폐사율을 1.17% 감소시킬 경우 경제성이 있는 것으로 나타났다.

두 가지의 간접편익항목을 모두 포함하여 경제성분석 결과 거제 폐사체 처리시설이 이 지역 가두리양식장 질병폐사율을 0.39% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 1.12, NPV 207,994천원, IRR 21.61%으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 질병폐사율을 0.78% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 1.31, NPV 538,445천원, IRR 43.77%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다. 마찬가지로 이 지역의 질병폐사율을 1.17% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 1.49, NPV 868,888천원, IRR 64.12%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다.

<표 44> 거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) 단위 : 천원

연 차	비용			편익			순편익 (연간편익-연간 비용)
	토지비용	초기 시설투자비	운영비용	행정비용 절감편익	자원재활용편익	잔존가치	
0	4,860	216,113					-220,973
1			176,756	31,222	71,064		-74,470
2			197,000	31,222	71,064		-94,714
3			197,000	31,222	71,064		-94,714
4			197,000	31,222	71,064		-94,714
5			197,000	31,222	71,064		-94,714
6			197,000	31,222	71,064		-94,714
7			197,000	31,222	71,064		-94,714
8			197,000	31,222	71,064		-94,714
9			197,000	31,222	71,064		-94,714
10			197,000	31,222	71,064	7,362	-87,352

<표 45> 간접편익 포함 거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (질병폐사 감소율: 0.39%) 단위 : 천 원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익- 연간비용)
	토지비용	초기 시설투자비	운영비용	행정비용 절감편익	자원재활용 편익	방역 및 질병 예방편익	해양환경 편익		
0	4,860	216,113							-220,973
1			176,756	31,222	71,064	41,762	104,117		71,409
2			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
3			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
4			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
5			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
6			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
7			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
8			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
9			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
10			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117	7,362	58,527

<표 46> 거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

편익항목		질병폐사 감소율(%)	B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.46	-946,305	-
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.93	-122,457	-10.11
해양환경 편익	간접편익				
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.39	0.65	-615,854	-
		0.78	0.84	-285,403	-
방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.17	1.03	45,040	8.66
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.39	1.12	207,994	21.61
		0.78	1.31	538,445	43.77
해양환경 편익 방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.17	1.49	868,888	64.12

나. 전국 확대 시나리오

2018년 거제지역에서 운영한 폐사체 처리시설의 초기투자 비용, 운영 실적 및 처리실적을 기본단위로 전국에 25개소의 시설을 운영한다는 시나리오로 경제성 분석을 실시하였다.

시설물과 투입된 시스템은 거제지역의 처리시설과 동일한 규모와 구성으로 가정하였으며 이에 따라 내구연한을 10년 사업종료 후 잔존가치는 없는 것으로 평가하였다.

경제성 분석을 위한 운영기간은 향후 환경제어기술의 발전을 고려하여 내구연한과 같은 10년으로 설정하였으며 기획재정부 (2019)의 예비타당성조사 수행 총괄지침에 따른 사회적 할인율인 4.5%를 적용하였다.

사업기간 동안 매년 운영비는 경상남도의 예산편성 계획과 같은 197,000천원으로 책정하였다.

처리시설의 토지구입비용은 국토교통부에서 발표하는 평균지가를 기준으로 토지구입비를 650,283,750원($57,803\text{원} \times 450\text{m}^2 \times 25\text{개소}$) 책정하였고, 사업종료시점인 10년 후 잔존가치에 편입시키기로 하였다. 이때 최근 10년간 평균지가 상승률을 향후 10년간 변동 폭에 적용하여 1,169,212,500원($103,930 \times 450\text{m}^2 \times 25\text{개소}$)로 책정하였다.

분석결과 직접 편익인 행정비용 절감편익과 유기질비료 생산 편익만 편익항목에 산정하였을 경우 B/C 0.41, NPV - 26,630,115천원으로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

간접 편익 항목 중 해양환경 편익을 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 B/C 0.83, NPV - 7,726,371천원으로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

또한 간접 편익 항목 중 질병예방효과에 따른 폐사율 감소를 포함하여

이 사업의 경제성분석을 실시하면 가두리양식장 질병폐사율을 0.66%, 1.32%, 1.98% 감소시킬 수 있다는 가정 하에 10년간 사업수행에 따른 각각 B/C는 0.55, 0.70, 0.85, NPV - 20,074,428천원, -13,518,733천원, -6,963,046천원으로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

두 가지의 간접편익항목을 모두 포함하여 경제성분석 결과 가두리양식장 질병폐사율을 0.66% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 0.97, NPV - 1,170,684천원, IRR 0.86%으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 질병폐사율을 1.32% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 1.12, NPV 5,385,011천원, IRR 19.05%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다. 마찬가지로 이 지역의 질병폐사율을 1.98% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 1.27, NPV 11,940,698천원, IRR 34.48%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다.

<표 47> 공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) 단위 : 천원

연 차	비용			편익			순편익 (연간편익-연간 비용)
	토지비용	초기 시설투자비	운영비용	행정비용 절감편익	자원재활용편익	잔존가치	
0	650,284	5,402,825					-6,053,109
1			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
2			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
3			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
4			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
5			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
6			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
7			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
8			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
9			4,925,000	716,373	1,512,980		-2,695,647
10			4,925,000	716,373	1,512,980	1,169,213	-1,526,434

<표 48> 간접편익 포함 공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (시설투입량 : 25대, 질병폐사 감소율: 0.66%)

단위 : 천 원

연 차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익- 연간비용)
	토지비용	초기 시설투자비	운영비용	행정비용 절감편익	자원재활용 편익	방역 및 질병 예방편익	해양환경 편익		
0	650,284	5,402,825							-6,053,109
1			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
2			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
3			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
4			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
5			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
6			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
7			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
8			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
9			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
10			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033	1,169,213	1,691,099

<표 49> 공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

편익항목		질병폐사 감소율(%)	B/C	NPV(천 원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.41	-26,630,115	-
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.83	-7,726,371	-
해양환경 편익	간접편익				
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.66	0.55	-20,074,428	-
		1.32	0.70	-13,518,733	-
방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.98	0.85	-6,963,046	-
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.66	0.97	-1,170,684	0.86
		1.32	1.12	5,385,011	19.05
해양환경 편익 방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.98	1.27	11,940,698	34.48

2. 자가처리형 모델의 경제성 분석 결과

가. 하동지역 폐사체 처리 시설

2019년 공급지원사업 규모를 초기투자비용으로 설정하였으며, 이 시설을 통한 처리실적을 예측하여 경제성 분석을 실시하였다. 초기투자비로 처리장비를 보급하는 예산과 운영비용은 운용을 위해 발생하는 전기요금을 산정하였다.

장비의 내구연한과 사업기간을 10년으로 설정하고, 기획재정부의 예비타당성 조사 수행 총괄지침에 따라 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 경제성 분석을 실시하였다.

분석결과 직접 편익인 행정비용 절감편익과 유기질비료 생산 편익만 편익항목에 산정하였을 경우 B/C 0.92, NPV - 50,609천원, IRR 2.65%로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

간접 편익 항목 중 해양환경 편익을 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 B/C 1.81, NPV 529,971천원, IRR 20.66%로 경제성이 있는 것으로 나타났다.

또한 간접 편익 항목 중 질병예방효과에 따른 폐사율 감소를 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 이 지역 가두리양식장 질병폐사율을 0.38%, 0.75%, 1.13% 감소시킬 수 있다는 가정 하에 10년간 사업수행에 따른 각각 B/C는 1.26, 1.60, 1.94 NPV 171,184천원, 392,978천원, 614,779천원 IRR 10.23%, 16.58%, 22.94%로 모두 경제성이 있는 것으로 나타났다.

두 가지의 간접편익항목을 모두 포함하여 경제성분석 결과 가두리양식장

질병폐사율을 0.38% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.15, NPV 751,764천원, IRR 26.52%으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 질병폐사율을 0.75% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.49, NPV 973,558천원, IRR 32.11%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다. 마찬가지로 이 지역의 질병폐사율을 1.13% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.82, NPV 1,195,359천원, IRR 37.52%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다.



<표 50> 하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) 단위 : 천원

연차	비용		편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	자원재활용편익	
0	570,000				- 570,000
1		10,800	21,000	55,440	65,640
2		10,800	21,000	55,440	65,640
3		10,800	21,000	55,440	65,640
4		10,800	21,000	55,440	65,640
5		10,800	21,000	55,440	65,640
6		10,800	21,000	55,440	65,640
7		10,800	21,000	55,440	65,640
8		10,800	21,000	55,440	65,640
9		10,800	21,000	55,440	65,640
10		10,800	21,000	55,440	65,640

<표 51> 간접편익 포함 하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표 (질병폐사 감소율: 0.38%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익-연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	자원재활용편익	방역 및 질병 예방편익	해양환경 편익	
0	570,000						-570,000
1		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
2		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
3		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
4		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
5		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
6		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
7		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
8		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
9		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
10		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043

<표 52> 하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

편익항목		질병폐사 감소율(%)	B/C	NPV(천 원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.92	-50,609	2.65
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	1.81	529,971	20.66
해양환경 편익	간접편익				
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.38	1.26	171,184	10.23
		0.75	1.60	392,978	16.58
방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.13	1.94	614,779	22.94
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.38	2.15	751,764	26.52
		0.75	2.49	973,558	32.11
해양환경 편익 방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.13	2.82	1,195,359	37.52

나. 전국 확대 시나리오

하동지역의 사육량에 따른 처리시설 20대 규모를 기본 규모로 가정하고 이를 전국 시·군단위의 가두리양식현장에 자가처리형 모델을 378대 확대·보급하는 시나리오와 전국 가두리 양식장 경영체 전체에 1,031대를 확대·보급하는 시나리오를 세워서 하동 모델의 예산지원 및 처리실적 예상치를 기본단위로 설정하여 경제성 분석을 실시하였다.

초기투자비로 처리장비를 보급하는 예산과 운영비용은 운용을 위해 발생되는 전기요금을 산정하였다.

장비의 내구연한과 사업기간을 10년으로 설정하고, 기획재정부의 예비타당성 조사 수행 총괄지침에 따라 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 경제성 분석을 실시하였다.

폐사체 처리시설 378대를 전국에 보급하였을 경우 분석결과 직접 편익인 행정비용 절감편익과 유기질비료 생산 편익만 편익항목에 산정하였을 경우 B/C 0.92, NPV -1,014,047원, IRR 2.54%로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

간접 편익 항목 중 해양환경 편익을 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 B/C 1.76, NPV 9,406,766천원, IRR 19.78%로 경제성이 있는 것으로 나타났다.

또한 간접 편익 항목 중 질병예방효과에 따른 폐사율 감소를 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 가두리양식장 질병폐사율을 0.36%, 0.73%, 1.09% 감소시킬 수 있다는 가정 하에 10년간 사업수행에 따른 각각 B/C는 1.21, 1.50, 1.79, NPV 2,599,764천원, 6,213,636천원, 9,827,485천원, IRR 5.00%, 15.00%, 20.39%로 경제성이 모두 있는 것으로 나타났다.

두 가지의 간접편익항목을 모두 포함한 경제성분석 결과 가두리양식장

질병폐사율을 0.36% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.05, NPV 13,020,607천원, IRR 24.89%으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 질병폐사율을 0.73% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.34, NPV 16,634,448천원, IRR 29.78%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다. 마찬가지로 이 지역의 질병폐사율을 1.09% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.63, NPV 20,248,297천원, IRR 34.52%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다.

폐사체 처리시설 1,031대를 전국에 보급하였을 경우 경제성분석 결과 직접 편익인 행정비용 절감편익과 유기질비료 생산 편익만 편익항목에 산정하였을 경우 B/C 0.92, NPV - 2,815,037원, IRR 2.50%로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

간접 편익 항목 중 해양환경 편익을 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 B/C 1.76, NPV 25,563,934천원, IRR 19.73%로 경제성이 있는 것으로 나타났다.

또한 간접 편익 항목 중 질병예방효과에 따른 폐사율 감소를 포함하여 이 사업의 경제성분석을 실시한다면 가두리양식장 질병폐사율을 0.99%, 1.98%, 2.97% 감소시킬 수 있다는 가정 하에 10년간 사업수행에 따른 각각 B/C는 1.21, 1.50, 1.79, NPV 7,025,963천원, 16,866,963천원, 26,707,971천원, IRR 9.11%, 14.96%, 20.34%로 경제성이 모두 있는 것으로 나타났다.

두 가지의 간접편익항목을 모두 고려하여 경제성분석 결과 가두리양식장 질병폐사율을 0.99% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.05, NPV 35,404,934천원, IRR 24.83%으로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 질병폐사율을 1.98% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.34, NPV 45,245,935천원, IRR 29.72%으로 이 또한 편

익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다. 마찬가지로 이 지역의 질병폐사율을 2.97% 감소시킬 수 있다는 가정 하에서는 10년간 사업수행 시 B/C 2.63, NPV 55,086,943천원, IRR 34.45%으로 이 또한 편익의 상승에 따른 경제성이 있는 것으로 나타났다.



<표 53> 자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) 단위 : 천원

연차	비용		편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	자원재활용편익	
0	10,773,000				-10,773,000
1		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
2		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
3		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
4		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
5		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
6		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
7		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
8		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
9		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325
10		204,120	394,902	1,042,543	1,233,325

<표 54> 간접편익 포함 자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐름표 (시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:0.36%)

단위 : 천 원

연 차	비 용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익-연간 비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	자원재활용편익	방역 및 질병 예방편익	해양환경 편익	
0	10,773,000						-10,773,000
1		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
2		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
3		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
4		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
5		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
6		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
7		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
8		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
9		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
10		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008

<표 55> 자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 분석 결과

편익항목		질병폐사 감소율(%)	B/C	NPV(천 원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.92	-1,014,047	2.54
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	1.76	9,406,766	19.78
해양환경 편익	간접편익				
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.36	1.21	2,599,794	5.00
		0.73	1.50	6,213,636	15.00
방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.09	1.79	9,827,485	20.39
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.36	2.05	13,020,607	24.89
		0.73	2.34	16,634,448	29.78
해양환경 편익 방역 및 질병예방 편익	간접편익	1.09	2.63	20,248,297	34.52

<표 56> 자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 흐름표 (직접편익만 산정) 단위 : 천원

연차	비용		편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	자원재활용편익	
0	29,383,500				-29,383,500
1		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
2		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
3		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
4		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
5		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
6		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
7		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
8		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
9		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691
10		556,740	1,075,443	2,838,988	3,357,691

<표 57> 간접편익 포함 자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 흐름표 (시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:0.99%)

단위 : 천원

연 차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익-연간 비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	자원재활용편익	방역 및 질병 예방편익	해양환경 편익	
0	29,383,500						-29,383,500
1		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
2		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
3		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
4		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
5		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
6		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
7		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
8		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
9		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
10		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886

<표 58> 자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 분석 결과 (시설투입량: 1,031대)

편익항목		질병폐사 감소율(%)	B/C	NPV(천 원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	0.92	-2,815,037	2.50
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	-	1.76	25,563,934	19.73
해양환경 편익	간접편익				
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.99	1.21	7,025,963	9.11
		1.98	1.50	16,866,963	14.96
방역 및 질병예방 편익	간접편익	2.97	1.79	26,707,971	20.34
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.99	2.05	35,404,934	24.83
		1.98	2.34	45,245,935	29.72
해양환경 편익 방역 및 질병예방 편익	간접편익	2.97	2.63	55,086,943	34.45

3. 비교분석

가. 지역단위 대안비교

거제의 폐사체 처리시설과 하동의 폐사체 처리시설의 연간 처리량은 각각 약 125 M/T, 84 M/T으로 예상된다. 이를 통해 거제지역의 가두리 양식장에서 예상되는 전체 폐사량의 약 7.79%, 하동지역의 가두리 양식장에서 예상되는 전체 폐사량의 약 7.55%를 처리할 수 있게 된다.

거제 폐사체 처리시설의 초기 투자비용은 약 220,973천원이 소요되었으며, 연간 약 197,000천원의 운영비용이 소요 될 것이다.

하동 폐사체 처리시설의 초기 투자비용은 570,000천원이 소요되었으며, 연간 약 10,800천원의 운영비용이 소요 될 것이라 예측된다.

각 지역별 모델의 사업을 10년간 실시하였을 경우 하동의 폐사체 처리시설의 경제성이 훨씬 우수한 것으로 나타난다.

거제 모델의 경우 직접 편익만을 고려하여 경제성분석을 실시하거나, 해양환경 편익을 추가적으로 고려하여도 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되나, 질병예방에 따른 폐사율 저감 편익을 고려하게 되면 경제성이 나타나는 것으로 분석되었다.

하동 모델의 경우 직접 편익만을 고려하고 경제성분석을 실시하였을 경우에만 근소하게 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되었지만 간접적 편익을 고려한다면 경제성이 나타나는 것으로 분석되었다.

따라서 두가지 대안 중 하동 모델이 경제적 타당성은 우수한 것으로 판단된다.

<표 59> 거제, 하동 폐사체 처리시설의 경제적 타당성 비교

		거제	하동
처리량(kg)		124,887	84,000
기여율(%)		7.79	7.55
초기투자비용(천원)		220,973	399,000
연간 운영비용(천원)		197,000	10,800
직접편익만 산정하여 경제성 분석			
B/C		0.46	0.92
NPV(천원)		-946,305	-50,609
IRR(%)		-	2.65
간접편익 포함하여 경제성 분석			
B/C	질병폐사율 5% 저감 기여 (0.39%/0.38%)	1.12	2.15
	질병폐사율 10% 저감 기여 (0.78%/0.75%)	1.31	2.49
	질병폐사율 15% 저감 기여 (1.17%/1.13%)	1.49	2.82
NPV (천원)	질병폐사율 5% 저감 기여 (0.39%/0.38%)	207,994	751,764
	질병폐사율 10% 저감 기여 (0.78%/0.75%)	538,445	973,558
	질병폐사율 15% 저감 기여 (1.17%/1.13%)	868,888	1,195,359
IRR(%)	질병폐사율 5% 저감 기여 (0.39%/0.38%)	21.61	26.52
	질병폐사율 10% 저감 기여 (0.78%/0.75%)	43.77	32.11
	질병폐사율 15% 저감 기여 (1.17%/1.13%)	64.12	37.52

나. 전국 확대 시나리오 상 대안비교

공장형 모델을 전국에 25기 설치·운영하는 대안과 자가처리형 모델을 전국에 378대, 1,031대 배치하는 대안을 비교·분석하자면 연간 예상되는 폐사체 처리량은 공장형 모델의 경우 약 2,866 M/T, 자가처리형 378대 배치 시 약 1,578 M/T, 자가처리형 1,031대 배치 시 약 4,302 M/T 이다.

이는 전체 가두리양식장의 예상되는 폐사량의 13.17%, 7.26%, 19.77%에 해당하는 양으로 파악된다.

공장형 모델의 초기 투자비용은 6,053,108천원으로 예상되며 연간 운영비용은 약 4,925,000천원으로 산정하였다.

자가처리형 378대 배치 시 초기투자비용은 10,773,000천원, 연간 운영비용은 204,120천원 자가처리형 1,031대 배치 시 초기투자비용은 29,383,500천원, 연간 운영비 556,740천원 소요될 것으로 예측하였다.

각 모델을 10년간 운영하였을 경우 공장형 모델의 경우 대부분의 시나리오에서 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되었으나, 폐사체 처리시설 운용을 통한 전국 가두리양식장 어종의 질병감소율이 1.32%, 1.98%된다고 가정한다면 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다.

자가처리형 모델을 전국에 보급하였을 경우 행정비용절감효과와 유기질비료생산에 대한 직접 편익만을 고려하여 경제성분석을 실시하였을 경우에만 경제적 타당성이 나타나지 않는 것으로 분석되었으나, 그 외 질병폐사 감소 편익이나 해양환경편익을 고려한다면 충분한 경제적 타당성이 나타나는 것으로 분석되었다.

전국에 보급하는 장치규모의 크기에 따라 NPV의 변동이 있었으며, B/C 또는 IRR의 양상은 유사하게 분석되었다.

이를 통해 자가처리형 가두리양식장 폐사체 처리시설을 전국에 보급하는 대안이 훨씬 우수한 것으로 평가되었다.

<표 60> 폐사체 처리시설 전국 확대 시나리오 상 대안비교

		공장형 모델	자가처리형 모델 I	자가처리형 모델 II
처리량(kg)		2,865,974	1,579,711	4,301,770
기여율(%)		13.17	7.26	19.77
초기투자비용(천원)		6,053,108	10,773,000	29,383,500
연간 운영비용(천원)		4,925,000	204,120	556,740
직접편익만 산정하여 경제성 분석				
B/C		0.41	0.92	0.92
NPV(천원)		-26,630,115	-1,014,047	-2,815,037
IRR(%)		-	2.54	2.50
간접편익 포함하여 경제성 분석				
B/C	질병 폐사율 5% 저감 기여 (0.66%/0.36%/0.99%)	0.97	2.05	2.05
	질병 폐사율 10% 저감 기여 (1.32%/0.73%/1.98%)	1.12	2.34	2.34
	질병 폐사율 15% 저감 기여 (1.98%/1.09%/2.97%)	1.27	2.63	2.63
NPV (천원)	질병 폐사율 5% 저감 기여 (0.66%/0.36%/0.99%)	-1,170,684	13,020,607	35,404,934
	질병 폐사율 10% 저감 기여 (1.32%/0.73%/1.98%)	5,385,011	16,634,448	45,245,935
	질병 폐사율 15% 저감 기여 (1.98%/1.09%/2.97%)	11,940,698	20,248,297	55,086,943
IRR (%)	질병 폐사율 5% 저감 기여 (0.66%/0.36%/0.99%)	0.86	24.89	24.83
	질병 폐사율 10% 저감 기여 (1.32%/0.73%/1.98%)	19.05	29.78	29.72
	질병 폐사율 15% 저감 기여 (1.98%/1.09%/2.97%)	34.48	34.52	34.45

VII. 결론

1. 연구결과 요약

국내 수산업에서 가두리양식업은 과거에 비해 그 위상은 축소되었지만 아직 중요한 비중을 차지하고 있으며, 최근 스마트양식기술 도입, 고부가가치 어종의 양식 등을 통해 새로운 변화를 준비하고 있다. 하지만 양식과정에서 발생하는 폐사체의 적절한 처리에 대한 문제가 제기되어 왔으며, 해양투기에 대한 우려도 많은 실정이다.

육상양식의 경우 이미 지역단위의 수협이 중심이 되어 폐사체를 이용한 어분 또는 비료공장을 운영하면서 이를 상당량 처리하는 사례가 있었으나, 가두리양식장의 폐사체는 2017년에 이르러 경상남도 거제를 시작으로 이를 본격적으로 처리하기 시작하였다.

양식업자 개인이 사업을 영위하는 과정에서 발생하는 폐기물에 대한 처리는 개인이 책임져야 한다고 생각할 수 있지만, 오랜 기간 이를 적합하게 처리할 수 있는 방법을 제시하지 못하여 결국은 우리 해양환경 및 어장 환경에 심각한 피해가 축적되어 왔으리라 생각된다.

국내 수산양식업의 산업적 측면과 다면적 측면에 대한 역할을 고려하고, 해양환경 보전과 지속가능한 수산업의 영위를 통해 전체 국민들과 후대에 혜택을 공유하기 위해서는 이러한 환경재에 대한 국가·지자체의 개입이 필요할 것 이다.

따라서 가두리양식장에서 발생하는 폐사체의 처리는 공공사업 또는 지원

사업의 형태로 이루어져야 하며 이에 따라 타당성 연구가 선행되어야 할 것이다.

공공사업의 타당성분석을 위해 비용편익 분석이 가장 널리 사용되고 있으며 이는 모든 비용과 결과물을 화폐단위로 나타내고 있으므로 완전히 다른 조정 간 비교가 가능하며, 정책판단을 위한 정보의 양이 풍부하며, 경제적 효율성에 대한 정보를 제공한다.

이에 본 논문은 가두리양식장 폐사체 처리시설 운영에 대한 타당성 연구를 위해 비용편익 분석을 방법론으로 채택하였으며, 특히 각 편익들의 실용적이고 직관적 계량화 및 화폐가치화에 대한 연구에 집중하였다.

본 논문에서는 가두리양식장 폐사체 처리시설의 운용에 따른 편익을 직접 편익항목으로 폐사체 육상매몰 및 위탁처리에 따른 행정비용 절감 효과, 유기질 비료 생산과 간접 편익항목으로 방역 및 질병 예방 측면, 해양환경 정화 측면의 편익으로 설정 하고, 자연과학의 연구내용과 통계자료를 활용하여 이를 예측하고 산정하는 과정을 거쳐 화폐가치화 하였다.

이에 따라 경상남도 거제에서 운영 중인 처리시설과 하동에 보급된 처리시설의 현황 및 실적을 토대로 이 시설들의 경제성분석을 실시하고 여러 가지 시나리오를 설정하여 전국에 확산·보급하였을 경우 이에 따른 타당성 평가를 위한 경제성분석을 실시하였으며 대안간 비교를 통해 효율성을 검토하였다.

먼저 거제에서 운영 중인 공장형 처리시설의 초기투자비용, 연간운영비용, 처리실적을 파악하여, 이에 따른 편익과 비용을 근거로 이 시설을 10년간 운영한다면 이 시설의 초기투자비용은 약 220,973천원, 연간 운영비용은 약 197,000천원 투입되며 거제지역의 가두리양식장 전체 폐사의 7.79%를 처리할 수 있는 것으로 추정하였다.

이에 따른 경제적 타당성분석 결과 직접편익항목만 산정하였을 경우 경

제성이 없는 것으로 평가되었고, 간접편익항목을 추가적으로 산정하였을 경우 경제성이 있는 것으로 평가되었다.

하동에서 운영 중인 자가처리형 처리시설의 초기투자비용과 처리실적을 파악하여, 이에 따른 편익과 비용을 근거로 이 시설을 10년간 운영한다면

이 시설의 초기투자비용은 570,000천원 투입되며 연간 10,800천원의 운영 비용이 발생하는 것으로 예측되었으며 하동지역의 가두리양식장 전체 폐사의 7.55%를 처리할 수 있는 것으로 추정하였다.

이에 따른 경제적 타당성분석 결과 직접편익항목만 산정하였을 경우 경제성이 없는 것으로 평가되지만, 간접편익항목을 추가적으로 산정하였을 경우 경제성이 우수한 것으로 평가 되었다.

또한 경제적 타당성 면에서는 거제 모델보다 훨씬 효율적이고 우수한 대안으로 평가되었다.

거제의 공장형 처리시설과 하동의 자가처리형 처리시설을 전국에 확대 보급하여 처리 할 수 있는 시나리오를 수립하고 3가지의 대안을 비교한 결과는 다음과 같다.

공장형 처리시설을 거제지역의 양식현황과 처리시설 규모를 고려하여 동일한 시설을 전국에 25개소 설치하는 시나리오와 자가처리형 처리시설은 하동지역의 양식현황과 장비보급량을 고려하여 동일한 장비를 전국에 379대 보급한다는 시나리오와 함께 전국의 가두리양식장 경영체 전체인 1,031대를 보급한다는 시나리오를 수립하였다.

공장형 처리시설을 전국에 25개소 설치하여 10년간 운영하였을 경우 초기 투자비용은 약 6,053,109천원, 연간 운영비용은 약 4,925,000천원 소요되는 것으로 예측하였으며 전국 가두리양식장 전체 폐사의 13.17%를 처리할 수 있는 것으로 추정하였다.

이에 따른 경제적 타당성분석 결과 직접편익항목만 산정하였을 경우 경

제성이 없는 것으로 평가되었고, 간접편익항목을 추가적으로 산정하였을 경우 전국 가두리양식장의 질병 폐사감소 효과가 1.32%, 1.98% 있다고 가정한다면 경제성이 있는 것으로 평가되었다.

자가처리형 처리시설을 전국에 378대 보급하여 10년간 운영하는 시나리오 상 초기 투자비용은 약 10,773,000천원, 연간 운영비용은 204,120천원 소요되는 것으로 예측하였으며 전국의 가두리양식장 전체 폐사의 7.26%를 처리할 수 있는 것으로 추정하였다.

또한 자가처리형 처리시설을 전국에 1,031대 보급하여 10년간 운영하는 시나리오 상 초기투자비용은 29,383,500천원, 운영비용은 556,740천원 소요되는 것으로 예측하였으며 전국의 가두리 양식장 폐사의 약 19.77%를 처리할 수 있는 것으로 추정하였다.

자가처리형 처리시설의 두 시나리오 모두 경제적 타당성분석 결과 직접 편익항목만 산정하였을 경우 경제성이 없는 것으로 평가되었지만 공장형 처리시설의 평가치 보다는 훨씬 높았으며 질병폐사 감소 편익이나 해양환경편익의 간접편익을 추가한다면 충분한 경제적 타당성이 나타나는 것으로 평가되었다.

또한 전국에 보급하는 장치규모의 크기에 따라 NPV의 변동이 있었으며, B/C 또는 IRR의 양상은 유사하게 분석되었다.

이를 통해 자가처리형 가두리양식장 폐사체 처리시설을 전국에 보급하는 대안이 훨씬 우수한 것으로 평가되었다.

결론적으로 전국 가두리양식장 폐사체 처리시설의 공장형 모델과 자가처리형 모델 두 대안 중 자가처리형 모델이 훨씬 경제적 타당성이 높은 것으로 나타나며, 이는 초기 투자비용은 공장형 모델에 비해 훨씬 많이 투입되지만 자가처리를 통한 운영비 투입이 공장형 모델에 비해 아주 적은 구조에 기인한다고 볼 수 있다.

2. 시사점 및 연구의 한계

본 논문은 사업의 쟁점을 파악한 다음 경제성 분석이 이루어지고 이후 정책성 분석, 지역균형발전 분석, 계층화 분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)에 따른 종합평가가 이루어져야하는 타당성조사의 기본수행절차 중 일부분만 진행된 연구이다. 하지만 정책적 판단을 위한 유용한 정보를 다양하게 제공하고자 노력하였다.

연구결과에서 보여주듯이 가두리양식장의 폐사체 처리시설을 설치·운용하기 위해서는 거제의 공장형 모델과 하동의 자가처리형 모델을 고려할 수 있으며 정책입안자의 판단에 따라 공장형 모델의 경우 간접편익을 고려한다면 어느 정도 경제적 타당성이 인정되나 직접적 편익만을 고려한다면 경제적 타당성은 낮은 것으로 평가되었다.

이에 비해 자가처리형 모델이 훨씬 경제성과 효율성이 뛰어난 대안으로 평가되며, 이는 초기 보급이후 자율적 처리 방식에 따라 이후 운영비용이 공장형 모델에 비해 아주 적게 발생하는 구조에서 기인하는 것으로 파악된다.

하지만 사업예산규모 및 사업의 성격, 지역적 특성과 지리적 특성 등을 고려한다면 이에 대한 결정은 완전히 달라질 수 있다.

설사 경제적 타당성이 확보되지 않는다 하더라도 우리사회의 우선적이고 중요한 가치실현을 위해 꼭 필요한 일이면 수행되어야 할 것이다.

그런 면에서 수산양식관련 다량의 현황자료를 분석·정리하고, 자연과학의 연구에서 객관적 편익추정과 이에 대한 근거를 찾고자 시도한 점은 앞으로 더욱 발전시켜 나가야 할 부분이라 여겨지며 이를 통해 더욱 유용하고 다양한 정보를 정책입안자에 제공할 수 있을 것이다.

특히 사업실시에 따른 질병예방효과를 편익으로 채택하고, 질병감소율을 가정하여 경제성분석을 실시하고자한다면 최근 질병에 따른 경제적 피해규모를 객관적이고, 현실적으로 예측할 필요가 있다.

피해규모에 대한 예측자료가 더욱 정확하고, 현실적이고, 객관적일수록 추정된 편익에 대한 신뢰도는 증가할 것이다.

본 논문은 지역별, 어종별 폐사율과 질병폐사율 그리고 그에 따른 경제적 피해규모를 분석함에 있어 여타 연구에 비해 세부적이고, 객관적이고, 현실적 자료를 생산하기 위해 많은 노력을 기울였다.

공장형 모델의 운용에 따른 어촌사회의 일자리창출 효과 같은 사회적으로 중요한 편익이 이번 연구에서는 그 가치가 매몰되는 사례와 같이 본 논문의 연구는 공공사업의 타당성 분석 성격의 연구임에 불구하고 거시적 관점의 사회·경제적 파급효과에 대한 연구로 확장하지 못했다는 점은 한계점으로 남을 것이다.

지자체의 수산당국에서 가두리 양식장 폐사체의 처리 방안을 위해 정책을 입안함에 있어, 타당성 분석을 위해 본 논문의 거제 모델과 하동 모델의 경제성 분석 자료를 참고하는 것이 도움이 될 것이다.

또한 국가 단위의 가두리 양식장 폐사체 처리 방안을 위한 정책을 입안할 때, 본 논문의 공장형 모델과 자가처리형 모델의 경제성 분석 자료를 참고하는 것이 도움이 될 것이다.

정책 입안자의 판단에 따라 방역 및 질병예방 편익과 해양환경 편익을 가감하여 경제적 타당성을 분석 할 수 있을 것이다.

자가처리형 모델의 경우 양식어민의 의지에 따라 처리량의 변동폭이 크며, 자율적 관리방식에 따른 장비수명의 편차가 클 것이라 예상되며 이에 따라 노동투입 및 가동률, 처리실적에 대한 객관적 자료를 확보하기 어려워 이 부문에 대한 구체적이고 객관적 분석이 어려웠던 부분은 본 논문

의 큰 한계점으로 지적 될 수 있을 것이다.

이에 본 논문에서 자가처리형 모델의 타당성분석을 위해 실제로 하루에 100Kg을 처리할 수 있는 장비 1대당 폐사체의 월간 평균 처리용량을 아주 보수적으로 350Kg으로 설정한 것도 그러한 연유이다.

하지만, 이 장비의 가동률과 전체 폐사량에 따른 처리 기여율은 사용자의 의지에 따라 충분히 상승할 소지가 많고 이에 따른 경제성 및 효율성은 실제적으로 훨씬 높을 수도 있다고 여겨진다.

공장형 모델의 경우도 냉동창고 규모의 변동과 시스템 상 설비의 추가를 통해 가동률 상승 및 경제성과 효율성이 훨씬 높아질 수 있는 효과를 가져올 것이라 보이며 여기에 대한 추가적 연구도 아쉬운 부분으로 남는다.

본 논문에서 사용한 가두리양식장의 주요 어종에 대한 폐사율 및 질병 폐사율에 대한 정보는 조피볼락과 참돔의 자료를 반영하여 전체 상황을 대표하게 하였다. 이는 현재 주요 양식어종의 폐사율 및 질병폐사율에 대한 공식적인 정보가 제한적이기 때문이다. 물론 이 두 어종의 사육량 및 생산량이 전체 가두리 양식장 생산어종의 75%가량을 차지하고 있지만 가두리 양식장 어종 중 조피볼락에 이어 두 번째 사육량이 많은 송어류에 대한 공식적인 폐사율 집계도 이루어 져야 할 것이다.

현재 운영 중인 두 모델의 폐사체 처리시설에서 배출되는 유기질비료는 현재 무상으로 인근 농장이나 개인에 제공되고 있지만, 이에 대한 판매를 통해 수익을 발생시키기 위해서는 법적검토와 더불어 판매구조를 구축하는 작업 또한 이루어져야 할 것이다.

공장형 모델과 대조적으로 자가처리형 모델에 대한 어병유발 병원체 사멸효과에 대한 검증에 대한 연구가 추가되어야 할 것이다. 물론 여러 병원균들을 살균하는 효과가 있는 것으로 알려져 있지만 가두리양식장에 질병 예방 목적으로 보급한다는 정책적 판단 하에서는 더욱 신뢰도를 얻기 위한

추가 검증이 필요한 것이다.

자연과학의 많은 자료에 의하면 가두리양식장 폐사체 처리장치가 우리 해역에 확산 보급된다면 질병감소 효과가 충분히 있을 것이라 판단되었지만 정확하게 어느 정도 규모일 것이라는 예측은 어려웠기 때문에, 질병 예방효과를 편익으로 산정하는 연구사례를 통하여 그 편익의 크기를 추정했다는 점은 이 논문의 한계라 볼 수 있겠다.

그러므로 본 논문의 연구와 더불어 향후 폐사체 처리시설이 운용중인 지역과 비설치 지역의 폐사율 조사 및 수질조사가 지속적으로 이루어져 폐사체 처리시설의 운용에 따른 다각적 효과분석을 통해 가두리양식장 폐사체 처리시설을 확산·보급하는 정책적 결정에 더욱 객관적 자료로 활용되길 기대한다.



참고문헌

- 강동현, 통영시, 올 여름 어류폐사체 처리공백 어찌나, 경남일보, 2019년 7월 9일, <http://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=416096>
- 국립수산물과학원 (2014), 양식장 폐사 현황 및 폐사체 처리방안 연구
- 국립수산물과학원 (2016), 친환경 수산생물 폐사체 처리시스템 개발
- 국립수산물과학원 (2017), 수산생물 폐사체의 재활용 처리시스템 최적화 모델 개발
- 국립수산물과학원 (2017), 민간수산방역조직 설립 및 운영을 위한 사전 기초조사
- 국립수산물과학원 (2018), 국내 주요 양식어종 연간 폐사동향(2014-2018)
- 국립축산과학원 (2013), 친환경 이동식 일체형 가축처리장비 및 자원재활용 연구
- 기획재정부 (2019), 예비타당성조사 수행 총괄지침
- 김광임 (1995), 폐기물 매립장의 경제적 가치측정 연구, 기본연구보고서, 1995, 1-113.
- 김병호, 강일권, 조영제, 오철웅 (2017), 수산의 이해, 블루엔 노트
- 김상봉 (2009), 공공투자분석, 세창출판사
- 김성호, 통영시, 어류폐사체 매몰지 확보 안간힘, 한남일보, 2019년 7월 9일, <http://www.hannamilbo.com/news/articleView.html?idxno=242244>
- 김숙양, 전상호, 이영식, 이용화, & 김병만. (2011). 가막만 빈산소 발생 시 해수-퇴적물 경계면에서 인산염플럭스 특성. 한국환경과학회지, 20(9), 1069-1078.
- 김정권, 최주석, 이미숙 (2017), R&D 예비타당성조사를 위한 비용효과분석 적용방안 마련 연구. 한국혁신학회지, 12(3), 1-22.
- 김태운, 김상봉 (2004), 비용·편익분석의 이론과 실제 - 공공사업평가와 규제 영향분석, 박영사

농촌진흥청, (2013), 친환경 이동식 일체형 가축처리 장비 및 자원 재활용 연구

박성우, 오명주 (2012), 수산생명 질병학 첫걸음, 바이오사이언스

박시용 (2015), 축산폐수 바이오가스 설비투자의 비용편익 분석과 경제적 과
급효과 연구, 동의대학교 경제무역대학원

부기철, 강영훈. (2018). 음식물류 폐기물 처리방식별 비용편익 분석을 통한
효율성 평가-제주 지역 사례를 중심으로. 한국지방행정학보 (KLAR),
15(2), 1-26.

송철우 (2016), 다점 증기분사식 열가수분해 반응기를 이용한 가축사체 처리,
광운대학교 환경공학대학원

윤용현, 경남도, 양식폐사어류 재활용으로 청정수역 관리한다, 2018년 4월 5일,
http://www.thedailynews.co.kr/sub_read.html?uid=72029§ion=sc7

이동현 (2015), 가금 폐사축 퇴비화 시스템 처리효율 평가, 충남대학교 낙농
대학원

이월라, 김석렬, 윤현미, 정성주, 오명주 (2007), 남, 서해안과 동중국해 자연
산 어류에서 Red Sea Bream Iridovirus (RSIV) 의 검출. 한국어병학
회지, 20(3), 211-220.

이정석, 이규태, 김찬국, 박건호, 이종현, 박영규, 강성길 (2006), 해수 중 용존
CO2 농도 증가가 해양생물 및 해양생태계에 미치는 영향: 국내외 사
례 연구. 한국해양환경공학회지, 9(4), 243-252.

장민석, 김종오, 오명주, 김위식. (2018). 2001-2016 년 까지 바이러스성출혈
성패혈증바이러스 (viral hemorrhagic septicemia virus) 의 국내 검출
동향 분석. 한국어병학회지, 31(1), 49-55.

정래홍, 윤상필, 권정노, 이재성, 이원찬, 구준호, 박성은 (2007), 해상 가두리
양식이 저서 다모류군집에 미치는 영향. 한국해양학회지 바다, 12(3),
159-169.

- 조규대, 이충일, 김동선, 양윤정 (2002), 육상 양식장 인접해역의 해양학적 환경특성. 한국환경과학회지, 11(4), 297-308.
- 표희동, (2009), 해양오염 퇴적물 정화사업의 어업자원회복 및 수산물 소비회복효과분석, 수산경영론집, 40(3), 29-49.
- 하청일, 어류 폐사체 처리 근본 대책 절실, 2019년 7월 10일,
<http://www.idomin.com/news/articleView.html?idxno=702270>
- 한국연구재단 (2014), 환경친화적 가축사체처리 시스템 구축 전략
- 환경부 (2011), 가축분뇨 처리시설 종류별 평가를 통한 경제성 분석과 설치 운영 개선 방안 등에 관한 연구
- Chopin, T., Troell, M., Reid, G. K., Knowler, D., Robinson, S. M. C., Neori, A., ... & Pang, S. (2010). Integrated Multi-Trophic Aquaculture Part II. Increasing IMTA Adoption. global aquaculture advocate, 13, 17-21.
- Czamanski, M., Nugraha, A., Pondaven, P., Lasbleiz, M., Masson, A., Caroff, N., ... & Tréguer, P. (2011). Carbon, nitrogen and phosphorus elemental stoichiometry in aquacultured and wild-caught fish and consequences for pelagic nutrient dynamics. Marine Biology, 158(12), 2847-2862.
- Hall, P. O., Anderson, L. G., Holby, O., Kollberg, S., & Samuelsson, M. O. (1990). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. Marine Ecology Progress Series, 61-73.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Knowl M/T, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. science, 318(5857), 1737-1742.

- Holmer, M., & Kristensen, E. (1992). Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 80(2), 191-201.
- Jang, S.Y., and Shin, H.-C., (2016), Differences in the Community Structures of Macrobenthic Polychaetes from Farming Grounds and Natural Habitats in Gamak Bay, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 19(4), p297-309.
- Jarp, J., & Karlsen, E. (1997). Infectious salmon anaemia (ISA) risk factors in sea-cultured Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 28(2), 79-86.
- Jones, C., Branosky, E., Selman, M., & Perez, M. (2010). How nutrient trading could help restore the Chesapeake Bay. *World Resources Institute Working Paper*.
- Kim, J. B., Park, J. I., Jung, C. G., Choi, W. J., Lee, W. C., & Lee, Y. H. (2010). Physicochemical characteristics of seawater in Gamak Bay for a period of hypoxic water mass disappearance. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 16(3), 241-248.
- Kohfeld, K. E., Quere, C. L., Harrison, S. P., & Anderson, R. F. (2005). Role of marine biology in glacial-interglacial CO₂ cycles. *Science* 308, 74e78.
- Kroeker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R., Hendriks, I. E., Ramajo, L., Singh, G. S., ... & Gattuso, J. P. (2013). Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global change biology*, 19(6), 1884-1896.
- Kunttu, H. M., Val M/Ten, E. T., Jokinen, E. I., & Suomalainen, L. R.

- (2009). Saprophytism of a fish pathogen as a transmission strategy. *Epidemics*, 1(2), 96–100.
- Meyers, T. R., Short, S., & Lipson, K. (1999). Isolation of the North American strain of viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV) associated with epizootic mortality in two new host species of Alaskan marine fish. *Diseases of Aquatic Organisms*, 38(2), 81–86.
- Neori, A., Troell, M., Chopin, T., Yarish, C., Critchley, A., & Buschmann, A. H. (2007). The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 49(3), 36–43.
- Ng, W. J., Kho, K., Ong, S. L., Sim, T. S., Ho, J. M., & Tay, S. H. (1993). Preliminary estimation of tropical ornamental fish metabolite production rates. *Aquaculture*, 110(3–4), 263–269.
- Sandu, S., & Hallerman, E. (2013). Biodegradation of nitrogen in a commercial recirculating aquaculture facility. In *Biodegradation-Engineering and Technology*. IntechOpen.
- Shoemaker, C. A., Evans, J. J., & Klesius, P. H. (2000). Density and dose: factors affecting mortality of *Streptococcus* infected tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 188(3–4), 229–235.
- Sterner, R. W., & George, N. B. (2000). Carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of cyprinid fishes. *Ecology*, 81(1), 127–140.
- Stickney, R. R. (1994). *Principles of aquaculture*. John Wiley and Sons, Inc..
- Thiex, N. J., Manson, H., Anderson, S., & Persson, J. Å. (2002). Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and

oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85(2), 309-317.

Yoon, S. P., Kim, Y. J., Jung, R. H., Moon, C. H., Hong, S. J., Lee, W. C., & Park, J. S. (2008). Benthic environments and macrobenthic polychaete community structure in the winter of 2005-2006 in Gamak Bay, Korea. *The Sea*, 13(1), 67-82.



〈부록〉

가두리양식장 폐사체 처리시설의 시나리오 별

비용편익 흐름표 및 비용편익 분석 결과

거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 0.39%) 단위 : 천원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익-연간비용)
	토지비용	초기시설투자비	운영비용	행정비용 절감 편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익		
0	4,860	216,113							-220,973
1			176,756	31,222	71,064	41,762	104,117		71,409
2			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
3			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
4			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
5			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
6			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
7			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
8			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
9			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117		51,165
10			197,000	31,222	71,064	41,762	104,117	7,362	58,527

거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 0.39%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.46	-946,305	-
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	0.93	-122,457	-10.11
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익 유기질비료 생산 편익	직접편익	1.12	207,994	21.61
해양환경 편익 방역 및 질병예방 편익	간접편익			

거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 0.78%) 단위 : 천원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익-연간비용)
	토지비용	초기시설투자비	운영비용	행정비용 절감 편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익		
0	4,860	216,113							-220,973
1			176,756	31,222	71,064	83,524	104,117		113,171
2			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
3			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
4			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
5			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
6			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
7			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
8			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
9			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117		92,927
10			197,000	31,222	71,064	83,524	104,117	7,362	100,289

거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 0.78%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.46	-946,305	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	0.93	-122,457	-10.11
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	1.31	538,445	43.77
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 1.17%) 단위 : 천원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익-연간비용)
	토지비용	초기시설투자비	운영비용	행정비용 절감 편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익		
0	4,860	216,113							-220,973
1			176,756	31,222	71,064	125,285	104,117		154,932
2			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
3			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
4			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
5			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
6			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
7			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
8			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
9			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117		134,688
10			197,000	31,222	71,064	125,285	104,117	7,362	142,050

거제 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 1.17%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.46	-946,305	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	0.93	-122,457	-10.11
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	1.49	868,888	64.12
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 0.66%) 단위 : 천원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익-연간비용)
	토지비용	초기시설투자비	운영비용	행정비용 절감 편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익		
0	650,284	5,402,825							-6,053,109
1			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
2			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
3			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
4			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
5			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
6			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
7			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
8			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
9			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033		521,886
10			4,925,000	716,373	1,512,980	828,500	2,389,033	1,169,213	1,691,099

공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 0.66%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.41	-26,630,115	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	0.83	-7,726,371	-
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	0.97	-1,170,684	0.86
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 1.32%) 단위 : 천원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익-연간비용)
	토지비용	초기시설투자비	운영비용	행정비용 절감 편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익		
0	650,284	5,402,825							-6,053,109
1			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
2			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
3			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
4			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
5			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
6			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
7			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
8			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
9			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033		1,350,387
10			4,925,000	716,373	1,512,980	1,657,001	2,389,033	1,169,213	2,519,600

공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 1.32%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.41	-26,630,115	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	0.83	-7,726,371	-
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	1.12	5,385,011	19.05
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 1.98%) 단위 : 천원

연차	비용			직접편익		간접편익		잔존가치	순편익 (연간편익-연간비용)
	토지비용	초기시설투자비	운영비용	행정비용 절감 편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익		
0	650,284	5,402,825							-6,053,109
1			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
2			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
3			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
4			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
5			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
6			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
7			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
8			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
9			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033		2,178,887
10			4,925,000	716,373	1,512,980	2,485,501	2,389,033	1,169,213	3,348,100

공장형 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 1.98%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.41	-26,630,115	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	0.83	-7,726,371	-
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익	1.27	11,940,698	34.48
행정비용 절감 편익	직접편익			
유기질비료 생산 편익	직접편익			
해양환경 편익	간접편익	1.27	11,940,698	34.48
방역 및 질병예방 편익				

하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 0.38%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	570,000						- 570,000
1		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
2		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
3		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
4		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
5		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
6		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
7		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
8		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
9		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043
10		10,800	21,000	55,440	28,030	73,373	167,043

하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 0.38%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-50,609	2.65
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.81	529,971	20.66
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.15	751,764	26.52
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 0.75%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	570,000						- 570,000
1		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
2		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
3		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
4		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
5		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
6		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
7		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
8		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
9		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073
10		10,800	21,000	55,440	56,060	73,373	195,073

하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 0.75%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-50,609	2.65
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.81	529,971	20.66
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.49	973,558	32.11
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 흐름표

(질병폐사 감소율: 1.13%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	570,000						- 570,000
1		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
2		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
3		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
4		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
5		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
6		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
7		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
8		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
9		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904
10		10,800	21,000	55,440	84,091	73,373	223,904

하동 폐사체 처리시설 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(질병폐사 감소율: 1.13%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-50,609	2.65
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.81	529,971	20.66
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.82	1,195,359	37.52
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐름표

(시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:0.36%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	10,773,000						-10,773,000
1		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
2		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
3		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
4		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
5		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
6		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
7		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
8		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
9		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008
10		204,120	394,902	1,042,543	456,713	1,316,970	3,007,008

자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:0.36%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-1,014,047	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.76	9,406,766	19.78
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.05	13,020,607	24.89
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐름표

(시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:0.73%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	10,773,000						-10,773,000
1		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
2		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
3		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
4		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
5		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
6		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
7		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
8		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
9		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721
10		204,120	394,902	1,042,543	913,426	1,316,970	3,463,721

자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:0.73%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-1,014,047	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.76	9,406,766	19.78
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.34	16,634,448	29.78
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 흐름표

(시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:1.09%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	10,773,000						-10,773,000
1		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
2		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
3		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
4		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
5		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
6		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
7		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
8		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
9		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435
10		204,120	394,902	1,042,543	1,370,140	1,316,970	3,920,435

자가처리형 폐사체 처리시설 I 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(시설투입량: 379대, 질병폐사 감소율:1.09%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-1,014,047	-
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.76	9,406,766	19.78
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.63	20,248,297	34.52
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 흐름표

(시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:0.99%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	29,383,500						-29,383,500
1		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
2		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
3		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
4		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
5		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
6		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
7		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
8		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
9		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886
10		556,740	1,075,443	2,838,988	1,243,694	3,586,501	8,187,886

자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:0.99%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-2,815,037	2.50
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.76	25,536,934	19.73
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.05	35,404,934	24.83
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 흐름표

(시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:1.98%) 단위 : 천원

연차	비용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	29,383,500						-29,383,500
1		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
2		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
3		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
4		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
5		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
6		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
7		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
8		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
9		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580
10		556,740	1,075,443	2,838,988	2,487,388	3,586,501	9,431,580

자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:1.98%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-2,815,037	2.50
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.76	25,536,934	19.73
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.34	45,245,935	29.72
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				

자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 흐름표

(시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:2.97%) 단위 : 천원

연 차	비 용		직접편익		간접편익		순편익 (연간편익- 연간비용)
	초기	운영	행정비용 절감편익	유기질 비료 생산	방역 편익	해양 환경 편익	
0	29,383,500						-29,383,500
1		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
2		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
3		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
4		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
5		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
6		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
7		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
8		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
9		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275
10		556,740	1,075,443	2,838,988	3,731,083	3,586,501	10,675,275

자가처리형 폐사체 처리시설 II 운영에 따른 비용편익 분석 결과

(시설투입량: 1,031대, 질병폐사 감소율:2.97%)

편익항목		B/C	NPV(천원)	IRR(%)
행정비용 절감 편익	직접편익	0.92	-2,815,037	2.50
유기질비료 생산 편익				
행정비용 절감 편익	직접편익	1.76	25,536,934	19.73
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
행정비용 절감 편익	직접편익	2.63	55,086,943	34.45
유기질비료 생산 편익				
해양환경 편익	간접편익			
방역 및 질병예방 편익				