

## 육상 김 양식 시스템 개발을 위한 실증화 연구<sup>†</sup>

오호동<sup>1</sup> · 오승섭<sup>2</sup> · 신화수<sup>3</sup> · 신희섭\*

<sup>1</sup>한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원 생명화학공학과 대학원생, <sup>2</sup>(주)해성에이티 대표, <sup>3</sup>(주)해성에이티 연구원, \*한국산업기술대학교 생명화학공학과 교수

### An Empirical Study for Development of Onshore Gim (*Pyropia yezoensis*) Aquaculture System

Ho-Dong Oh<sup>1</sup>, Seung-Seob Oh<sup>2</sup>, Hwa-Soo Shin<sup>3</sup> and Heung-Sop Shin\*

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Chemical Engineering and Biotechnology, Graduate School of Knowledge-based Technology and Energy, Korea Polytechnic University, Siheung, 15073, Korea

<sup>2</sup>CEO, Haesung AT Inc. <sup>3</sup>Researcher, Haesung AT Inc.

\*Professor, Department of Chemical Engineering and Biotechnology, Siheung, 15073, Korea

#### Abstract

As a first step in obtaining the minimum level of data needed to develop smart cultivation technology for Korean seaweed gim (*Pyropia yezoensis*), farming tests have been carried out using onshore aquaculture facilities. The aquaculture facility was built on paddy farmland on the west coast of Chungnam and received seawater from nearby sea. In this paper, we report the overall process and results of the aquaculture trials attempted in Korea's first onshore gim aquaculture facilities. In addition, the industrial possibility of gim production using the onshore aquaculture system will be discussed through the analysis of all expenses incurred in the test form.

Keywords : Gim, Mariculture, Inland, On-farm Demonstration

#### I. 서 론

김은 우리나라 수산물 중 가장 오랜 양식 역사를 가지고 있으며(유영목, 2010), 생산량, 생산금액 양식 어가의 수, 그리고 수출금액 등에서 현재 우리나라 수산업을 대표하는 품목이다(이경현, 2006).

Received 24 February 2020 / Received in revised form 19 May 2020 / Accepted 02 June 2020

<sup>†</sup> 본 논문의 교신저자는 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 연구를 수행함. (과제번호: P0002007), 2019년 산업전문인력역량강화사업) 본 논문은 오호동의 한국산업기술대 박사학위 논문에서 발췌된 내용을 요약, 정리하여 작성됨.

\*Corresponding author : <https://orcid.org/+82-31-8041-0619>, +82-010-4813-5442, E-mail : hshin@kpu.ac.kr

<sup>1</sup> <https://orcid.org/+82-10-5049-5663>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/+82-10-7118-4491>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/+82-10-9487-5442>

© 2020, The Korean Society of Fisheries Business Administration

김 수출은 2010년 1억 달러 달성 이후 연평균 약 20%의 증가세를 보이며, 2017년에는 5억 달러를 넘어섰고, 2018년에는 5억 2,555만 달러로 최고 수출 기록도 경신했다. 이는 우리나라 수산물 중 참치에 이은 2위의 규모이다(김용태, 2015). 과거에는 김을 블랙 페이퍼(black paper)로 부르며 꺼렸던 서양인들도 이제는 김을 웰빙(Well-being) 건강식품으로 재조명하면서 김의 글로벌 소비는 계속 늘고 있다. 현재 우리나라 김은 세계 100여 개국으로 수출되고 있으며(김로원, 2017), 식품 산업의 반도체로 불리고 있다(김승오, 2010).

김병호 등(2016)에 의하면, 우리나라 김 산업의 성장은 김 양식 기술의 발전, 가공 설비의 현대화, 그리고 물김 양식과 마른 김 가공의 산업적 분화 등을 통해 주도되어 왔다(문경환, 2015). 예를 들면, 김 양식 기술 측면에서는 부류식 양식과 인공 채묘 기술의 개발이 물김 생산의 양적 확대에 큰 역할을 했으며(옥영수, 2010), 1978년 국내 본격 도입된 김 자동 건조기 등 가공 설비의 현대화는 마른 김 생산의 생산성을 도약적으로 끌어올리게 되었다(옥영수, 2011).

그러나 마른 김 가공 설비에 필요한 자본 투자를 감당하기 어려웠던 양식 어가들은 외부 가공 업체에 더 많은 양의 물김을 판매해야만 소득이 올라갈 수 있게 되었다(마임영, 2000). 이에 어가들은 점점 외해 어장으로 시설량을 확대하고 부류식 양식, 인공채묘, 김 활성처리제 등 새로운 양식기술을 도입하면서 물김 생산량을 증대하는 것에 집중하게 되었다. 1980년 이후 40년 동안 우리나라 김 생산량은 10 배에 가까운 증가세를 보여 주었다.

국내 김 생산량이 지속적으로 증가하면서 김 산업은 우리나라에서 매우 중요한 해양 수산업으로 발전되어 왔다. 그러나 김 산업의 가장 중요한 토대인 물김 양식업이 향후 지속 가능한 성장을 하기 위해서는 풀고 가야 할 몇 가지 문제들이 있다. 첫째, 김 양식 생산의 안정성을 위협하는 문제들이다. 여기에는 지구 온난화에 의한 겨울철의 이상 수온, 양식 바다의 영양염 부족, 태풍 등 자연현상에 의한 시설물 파손(백은영 등, 2017), 내만 양식장의 장기 사용에 따른 어장의 노화 등이다. 또한 어촌의 노령화 및 인구 감소에 따라 겨울철 고된 노동으로 악명 높은 김 양식 작업에 필요한 노동력을 확보하는 어려움 등이 있다(마창모 등, 2018). 둘째, 김의 품질을 위협하는 문제들이다(유제범, 2019).

특히 김 양식 과정에서 발생하는 각종 병해의 빈발과 이를 처리하기 위해 사용하는 활성처리제의 과다 사용이 큰 문제로 지적되고 있다. 아직도 많은 양식 어가에서 암묵적으로 사용하고 있는 불법적인 무기산 활성 처리제는 김의 식품 안전성에 대한 소비자의 불신으로 인한 소비 위축은 물론 수출에도 영향을 미칠 것으로 우려되고 있다(최심건, 2016). 한편, 국산 물김의 위판가는 2019년 기준 kg당 866원으로 일본의 1/3 수준이고 중국에 비해서도 낮다(최신, 2018). 이렇게 국내 김 양식 어가의 생산 경제성이 낮은 상태에서는 기술 개발 및 시설 개선 등 투자를 통한 국내 김 양식업의 글로벌 경쟁력 확보는 계속 어려워지게 되며, 국내 김 양식업의 지속적인 성장의 한계에 부딪칠 수 있다.

셋째, 김 양식 면적과 규모가 많이 늘어나게 되면서 점점 심각해지는 바다 생태계 교란과 환경오염의 문제이다(이재준, 2013). 일부 어가에서 과다하게 사용하는 김 활성처리제의 바다 생태계에 미치는 영향에 대한 과학적인 연구는 국내에서 아직 제대로 수행되지도 않은 상황이다. 또한 김 양식이 끝난 후 어민들이 김 양식에 사용되었던 어구들을 제대로 회수하지 못하는 경우가 많아서 시간이 지나면 해안가의 쓰레기 문제를 야기할 소지가 있다.

1) 2019년 기준, 전국의 물김 양식 시설은 113만 3,000책이며, 마른 김 생산량은 약 1억 7천7백만 속(1속당 마른 김 100장)이다, 마른 김 생산량은 2014년에 비해서도 약 4천 300만 속 증가했다.

한편, 최근 양식업 분야에는 기계화, 자동화 기반의 첨단 기술을 통한 스마트 양식이 떠오르고 있으며 국가에서도 정책적으로 지원하고 있는 상황이다. 다만, 스마트 양식기술이 개발되기 위해서는 양식 품목에 대한 충분한 생리적 기초 연구가 뒷받침이 되어야 하는데 인공 양식과 관련된 김의 생리적 연구는 매우 부족한 실정이다. 또한 국내에서 김을 본격적으로 연구하는 연구자의 수도 손에 꼽을 정도로 적은 상황이며, 그동안 외형적으로 김 양식업에 큰 발전이 있었지만 김 양식업은 아직도 경험적·노동집약적 산업 단계에 머물러 있다고 볼 수 있다.

현재 국내에서 김 양식 생산규모는 더 이상 늘어나기 어려울 것으로 전망된다. 생산규모의 확장이 어려운 상황에서 미래 김 양식업의 성장 동력이 될 수 있는 새로운 돌파구를 찾아야 한다. 김 양식도 이제 김의 생리적 생육 데이터에 기반하여 양식 환경과 조건을 스마트하게 조절하는 기술을 통해 차원이 다른 고품질의 원료 김을 생산할 수 있는 과학적 접근으로 차별화하는 노력이 필요하다. 스마트 양식을 통해 생산된 김은 일반 김에 비해 5~10배 이상 높은 가격으로 유통하는 마케팅 전략을 사용하여 새로운 시장의 형성을 노려볼 수 있다.

본 연구는 이제 김 양식도 더욱 과학적인 데이터에 기반하여 스마트 생산이 가능한 방향으로 발전해야 한다는 인식으로 기초 연구가 수행되었다. 이에 그동안 바다에서만 진행되던 김 양식 환경을 조절할 수 있는 육상 생산 시스템으로 가져올 수 있는지에 대한 연구에 초점을 두었다. 특히 육상에서 김 양식이 기술적으로 가능한지에 대한 실증적 해법을 찾기 위하여 육상에서 실제 김 양식 실험을 수행하였다. 이를 위해 충남의 서해안에 위치한 어느 농지를 활용하여 김 양식에 필요한 양식 시설과 장비를 구축하였고, 양식에 필요한 해수는 인근 바다에서 끌어왔다. 또한 김 양식이 겨울철에 진행되기 때문에 육상 양식 시설을 활용한 1차 시험은 2018년 11월에서 2019년 2월 사이에 진행되었다.

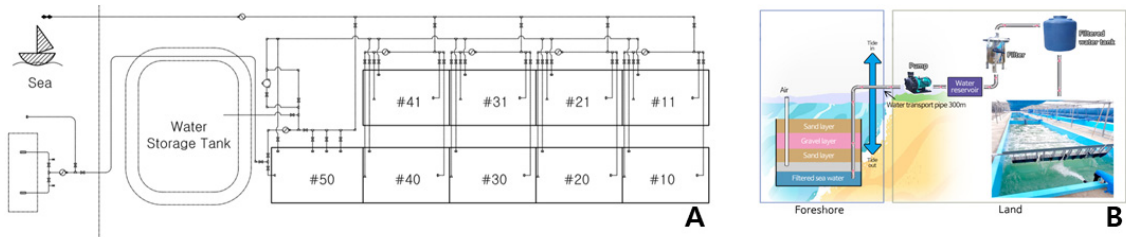
본 논문에서는 국내 최초로 시도한 육상 김 양식 시험의 1차 시험의 수행 결과를 보고하고자 하며, 육상 시스템 구축과 운영에 필요한 경비 분석을 통해 육상형 시스템을 이용한 김 생산 기술이 갖는 경제성을 예측하고자 한다.

## II. 연구 방법 및 결과

### 1. 육상 김 시험 양식 시설의 설계

본 연구에서 사용한 육상 김 시험 양식 시설은 충청남도 서천군 비인면의 해안가와 가까운 곳에 있는 사유 농지인 논(총면적 2,110.5m<sup>2</sup>)에 설치하였다. 시험 양식 시설은 1개의 해수 저장고(403.75m<sup>3</sup> = 9.5m × 17m × 2.5m)와 9개의 단위 양식 수조(43.2m<sup>3</sup> = 3m × 12m × 1.2m)로 구성되도록 설계하였으며, 바다에서 끌어온 해수는 파이프와 밸브 시스템을 통해 저장고를 거치거나 직접 양식 수조로 이동되도록 설계하였다(Fig. 1A).

양식에 필요한 해수는 밀물 때에 바닷가의 모래사장 밑으로 스며드는 과정을 통해 자연 여과된 바닷물을 펌프로 퍼내서 육지로 이동시켜 사용하게 하였다. 이렇게 육지의 저장고로 이송된 해수는 양식 수조에 공급되기 전에 부유물 함량의 정도에 따라서 추가적인 필터 과정을 거칠 수 있도록 설계하였다(Fig. 1B).



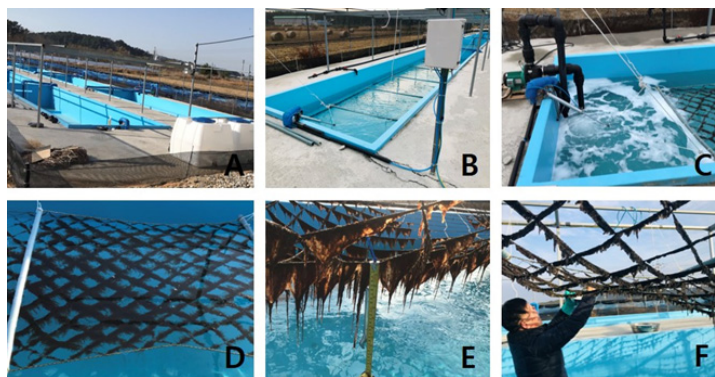
**Fig. 1. Design features of the onshore aquaculture system used for *gim* cultivation study.**

(A) Schematic drawing of aquaculture system with a total of 9 cultivation tank units. Sea water is collected first into water storage tank, then filtered and distributed to each cultivation tank via a system of pumps and pipes. (B) Conceptual drawing of sea water supply system. In the foreshore, a water reservoir is constructed underneath a sandy beach to collect sea water naturally filtered through the layers of beach sand and gravels. The filtered water is then transported to inland water storage tank via pumps and pipes.

## 2. 육상 김 시험 양식의 구축 및 양식 시험

육상 양식 시설을 구축하기 위하여 해수 저장고와 양식 수조는 토지에 매립이 되는 형태가 되도록 농지에 기초 공사를 하였고, 양식 수조의 경우 FRP(Fiber Glass Reinforced Plastic) 재질로 표면 공사를 마무리했다(Fig. 2A). 양식 수조와 양식 수조 사이에는 파이프 시스템을 통해 해수 이동이 조절될 수 있도록 했으며, 양식 수조 내에는 노즐을 설치하고 해수 분사를 통해 조류 흐름이 원활하게 생성 되도록 했다(Fig. 2B & 2C). 2018년 2월 초에 육상 양식 시설의 공사가 완료되었으며, 이후 약 3주 이상 양식 시설의 청소와 소독, 해수 공급과 배출 등 사전 관리 작업을 시행하여 김 시험 양식에 대비하였다.

육상 양식 시설의 준비가 끝난 후 첫 번째 시험 양식은 3월 초에 시도되었다. 종자 구입에서 채묘



**Fig. 2. Cultivation of *gim* using onshore aquaculture system.**

(A) Outdoor tanks were built on a rural paddy farmland close to a coast in Chungnam. (B) The tanks were filled with filtered sea water before setting nets for *gim* cultivation. (C) After setting the seeded-nets in the tanks, water circulation was created by motorized pumps to produce continuous water flow. (D) Growth of *gim* blades became evident after one week of cultivation. (E) The *gim* nets were intermittently exposed to air and dried for several hours to kill competing epiphytes. (F) *Gim* blades were harvested after 3 weeks of cultivation.

까지 불가능하여, 동 시험 양식을 위해 업체가 부착된 김 망을 서천 부류식 양식장에서 구입해 육상 김 양식을 시도했다. 양식장에서 부류식 방법으로 양식에 사용되던 김 밭 1책(폭 × 길이 = 2.2m × 40m)을 약 10m 길이 간격으로 4개의 망으로 잘라낸 후 4개의 양식 수조에 나누어서 이식하였다. 이때 김 밭에 붙어 있는 김들은 방금 바다에서 수확을 마친 직후여서 업체의 평균 길이가 대략 5cm 이하로 짧았으며, 업체의 색깔과 탄성 등이 김밭 전체적으로 균일한 상태였다. 한편, 김 밭은 양식 수조 주변에 설치된 트러스(truss) 구조에 밧줄로 연결하여 고정했으며, 밧줄의 길이를 조정하여 김밭이 수면에 잠긴 상태가 되거나 노출되게 할 수 있었다(Fig. 2C). 양식 수조 이식 후 처음 며칠 동안은 김 밭을 수면에 잠긴 상태로 유지하면서 김이 새로운 환경에 적응되도록 했다. 이후에는 하루에 한 번 2~3시간 정도 김 밭을 공기에 노출했으며, 해수는 약 3~4일 간격으로 새롭게 환수하였다. 또한 양식 수조 내 원활한 해수 유동을 위해 수조 바닥 면에 위치한 노즐을 통해 지속해서 해수를 일정한 속도와 방향으로 분사시켜 주었다. 이에 김밭에 부착되어 김 업체의 움직임은 노즐과의 간격 및 위치에 따라 그 정도가 겉보기에도 뚜렷하게 차이가 있었다. 노즐에서 멀리 떨어져 있는 김의 경우에는 거의 정체되거나 간간히 움직임을 보이는 정도로서 노즐 가까이 있는 김의 활발한 움직임에 비해 상대적으로 매우 약한 움직임을 보여 주었다. 이러한 조건은 이 시험에서 사용한 4개의 시험 양식 수조에 동일하게 적용되었다. 한편, 양식 기간이 2주 이상 진행되면서 업체의 색깔이 퇴색되면서 더 자라지 않는 김들이 많이 발생하였다. 현미경 관찰 결과, 많은 김 업체의 표면에서 상당한 양의 구조류 부착이 확인되었고 붉은 껍병으로 의심되는 업체도 간간히 발견되었다. 약 3주가 되었을 때는 거의 모든 김이 김밭에서 쉽게 탈락해 버렸다. 결과적으로 시험 양식은 실패했지만, 시험 양식 과정에서 흥미로운 사실을 관찰할 수 있었다. 이는 겉보기 움직임이 활발했던 김들은 그렇지 않은 김들에 비해 상대적으로 김밭에 부착된 힘이나 업체의 탄력이 강하고 색깔과 크기 등 생육 상태도 좋은 경향을 보여 준 것이었다. 아마 활발한 겉보기 움직임을 보여 주었던 김들은 주위의 해수 유동이 원활했기 때문에 김의 생육에 필요한 양분 등의 공급에서 유리했기 때문으로 추측된다.

두 번째 시험 양식은 11월 중순에 다시 시도했다. 이를 위해 10월 후반에 충남 서천의 양식 어가로 부터 채묘 망을 구매해서 바다에서 약 2주 정도 양성시킨 후 종묘로 사용하였다. 양성된 김 밭은 육상으로 가져와서 약 10m 길이 간격으로 잘라낸 후 4개의 양식 수조에 나누어서 이식했으며, 각각의 김 밭은 수조 표면에 살짝 잠긴 상태가 유지되도록 밧줄을 이용하여 트러스에 고정시켰다. 시험 과정에서 수조의 해수는 이틀에 한 번 간격으로 새로운 해수로 바꾸어 주었으며, 1차 양식 때보다 수조 내 노즐의 갯수를 늘려 유동성이 개선되었다. 또한 이번에는 파도의 효과가 발생할 수 있도록 전기 유압식 실린더를 이용하여 김밭 전체를 주기적으로 당겨주었다가 다시 놓아주는 방법을 사용했다. 이를 통해 양식 중인 김밭을 일정한 속도로 전후 운동하게 하여 파도의 물리적 효과를 모사하게 할 수 있었다. 이렇게 동일한 물리적 조건을 4개의 양식 수조에 모두 적용하였으며, 11월 중순부터 시험 양식을 6주 동안 진행하면서 총 2번의 김 수확 결과를 얻을 수 있었다. 이 양식 기간 대부분의 김은 외형적으로나 현미경적으로도 심각한 껍병 발생이 없었다(Fig. 3). 김 업체를 구성하는 세포들은 매우 오밀조밀한 배열을 유지하며 전반적으로 적갈색을 띠고 있어서 건강한 성장을 확인할 수 있었다. 한편, 수확 하루 전에 김밭에서 무작위적 방법으로 채취한 온전한 형태의 김을 대상으로 측정된 김의 평균 길이와 너비는 각각  $13.0 \pm 43.6\text{cm}$ 와  $36.3 \pm 26.5\text{cm}$ 이었으며, 평균 길이 대비 너비는  $4.9 \pm 3.7\text{cm}$ 로 계산되었다. 마지막으로 수확된 물김의 중량을 측정하여 단위 면적당 생산량을 계산하였다. 물김의 중량은

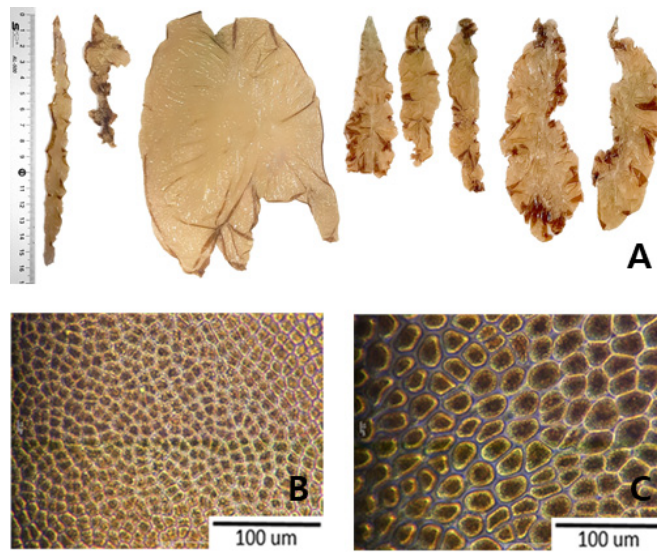


Fig. 3. *Gim* thalli harvested from trial aquaculture.

(A) Samples of *gim* thalli were collected for growth analysis. (B), (C) Microscopic observation of sampled thalli showed a healthy growth at cellular level.

수분 함량에 따라 큰 차이가 나기 때문에 김의 표면에 있는 물은 최대한 제거한 후 김의 중량을 측정했다. 첫 번째 수확에서 얻은 단위 면적당 생산량은 약  $115\text{g/m}^2$ 이었고, 두 번째 수확에서는 이보다 3 배 이상 증가한 약  $352\text{g/m}^2$ 이었다. 이 생산량을 김발 1책에 해당하는 면적 기준  $88\text{m}^2$ 로 환산하면 첫 번째 수확 결과는 1책당 약 10kg 정도에 해당하는 생산량이었으며, 두 번째 결과는 1책당 약 31kg 정도에 해당하는 생산량으로 계산되었다.

### 3. 양식 해수와 김의 화학 분석

양식에 사용한 해수의 수질을 분석하기 위해 해양수산부 고시 해수 공정기준에 따라 주요 중금속 원소의 양을 측정하였다. 화학 분석의 결과, 본 연구의 시험 양식에 사용되었던 충남 서천 해안 지역의 해수는 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 아연(Zn), 구리(Cu) 등 총 5종의 중금속 중에서 사람의 건강 보호를 위해 정한 국토해양부 고시(제2011-972호) 해양 환경기준을 넘는 중금속이 없는 안전한 수질의 양식 수로 판정되었다.

시험 양식으로 생산된 김에 대해서도 화학 분석을 수행하여 주요 원소와 중금속의 함량을 측정하였다. 이때 분석 결과를 비교하기 위해서 시중에서 판매되고 있는 마른 김을 구매하여 대조군 시료로 이용하였다. 분석된 김의 화학 성분에는 인(P), 칼슘(Ca), 철(Fe), 마그네슘(Mg), 칼륨(K), 나트륨(Na) 등 6 종의 주요 원소와 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 등 7종의 중금속이 포함되었다. Table 1에서 요약된 것처럼, 시험 양식으로 생산된 김에서는 인체에 해가 될 수 있는 중금속 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 니켈(Ni) 성분은 전혀 검출되지 않았지만, 시중에서 구매한 김의 경우에는 3개의 시료 중 1개에서 소량의 납(Pb)이 검출되었다. 구리(Cu)는 시중에서 구입한 김에

**Table 1. Contents of major chemical elements in cultured gim samples and commercial market gim samples**

Elements	Mean Contents of Chemical Elements, mg/kg dry weight					
	Cultured Sample 1	Cultured Sample 2	Cultured Sample 3	Market Sample 1	Market Sample 2	Market Sample 3
K	19,434±202	16,249±173	18,245±197	16,170±107	35,362±106	28,309±109
P	2,240.5±7.5	7,961.3±30.8	7,693.1±12.5	6,584.6±12.4	8,326.8±14.6	9,341.3±15.4
Ca	3,057.9±22.5	3,601.8±20.2	3,518.5±21.3	6,548.1±22.1	3,482.3±15.9	2,102.0±9.7
Mg	2,533.1±14.4	2,660.1±17.2	2,992.5±12.4	4,209.0±12.1	4,365.4±16.2	5,180.4±18.3
Na	2,611.3±24.6	1,634.7±25.0	2,419.9±26.3	4,242.1±28.8	6,047.1±32.1	3,820.4±16.4
Fe	219.28±0.50	239.22±0.57	289.87±0.48	228.44±0.58	197.75±0.59	179.78±0.58
Zn	43.92±0.11	ND	ND	44.04±0.13	62.62±0.39	49.49±0.22
Cu	39.03±0.14	29.62±0.14	37.64±0.17	22.19±0.13	20.05±0.11	23.65±0.12
Mn	9.92±0.10	8.03±0.10	7.25±0.08	26.60±0.24	29.99±0.16	11.12±0.7
Pb	ND	ND	ND	ND	0.009±0.001	ND
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\*The numbers represent mean ± standard deviation from triplicate experiments. ND = not detected.

비해서 양식으로 생산된 김에서 높은 함량을 나타냈지만, 망간(Mn)은 반대의 경향을 보여 주었다. 나머지 원소들의 경우에는 측정 오차를 고려해 볼 때 양식된 김과 구입한 김 사이에 함량이 유의적으로 차이가 나는 성분은 없었다.

#### 4. 육상 김 양식의 비용 구조 분석

본 연구에서 얻은 실증적 경험을 토대로 육상 김 양식의 산업적 가능성을 추정하고자 하였다. 이를 위해 경영적으로 의미가 있는 양식 규모를 정하고, 이 규모에 적합한 생산시설을 최소한의 경비로 구축한다는 가정을 기반으로 육상 김 양식에 소요되는 비용 분석을 시도해 보았다. Table 2에서 보여주는 것처럼 육상 양식 비용은 양식시설, 종자 구입, 생산 설비, 인건비, 기타 비용, 토지 구입 등으로 구분되었다.

우선 경영적으로 의미가 있는 육상 김 양식 생산시설의 규모는 김밭 350책을 시설할 수 있는 것을 기본 단위로 설정하였는데, 이것은 국내 김 양식 어가를 대상으로 경영 조사를 수행한 김병호 등의 연구(2016)를 참조한 결과이다. 김병호 등의 연구에서 표본으로 조사된 어가의 경우, 350책의 시설 규모에서 약 252,000kg의 물김을 생산하였을 때 총 판매금액은 167,832,000원이었으며, 연간 비용은 105,597,760원이었다. 따라서 연간 추정 양식 이익이 약 62,234,240원이 발생한다고 분석되었다. 본 연구에서는 김 양식 어가의 경영 구조를 잘 보여 주고 있는 이 표본조사 연구결과를 토대로 350책 규모의 김 양식시설을 육상에 설치하는데 필요한 비용을 분석하였다.

한편, 350책 규모의 양식시설을 바다에 시설하는 경우를 가정한다면 현재 우리나라의 김 양식시설

에 대한 기준에 따라 최소 17.5ha(어장 비율 기준 17.6%)의 어장 면적이 필요하다<sup>2)</sup>. 하지만 아직 육상 양식에 대한 시설 기준이 없기 때문에, 본 연구에서는 350책 양식에 필요한 최소 육상 양식 어장 면적의 추산을 위해 어장 비율을 약 50% 수준(김발의 면적 총합이 양식면적의 50%)으로 높여서 시설 규모를 가정하였다. 이런 가정에 따르면 육상에 구축해야 하는 양식 면적은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{총 육상 양식 면적} = 350\text{책} \times 88\text{m}^2/\text{책} \times 100\%/50\% = 61,600\text{m}^2$$

최소 1개의 양식 수조를 시설하여 위 면적을 만족시키려면 양식 수조 1개의 규격은 폭이 300m일 때 너비가 205.3m가 되어야 한다. 그런데 이렇게 단위 양식 수조의 크기가 커지면 김발 설치, 관리, 김 수확 등 양식 작업이 쉽지 않을 것으로 예상되며, 특히 갯병이 발생되면 양식 수조 전체에 퍼지는 속도가 빠르기 때문에 생산량 관리 등에서 큰 위험이 발생할 수 있다(박우정, 2016). 따라서 기본 단위 양식 수조의 규모는 이보다는 훨씬 작게 설계하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 하지만 단위 양식 수조의 크기를 줄이면 양식 수조의 수가 늘어나게 되어서 시설 비용이 증가하게 된다. 이러한 사항들을 종합적으로 고려하여, 본 연구에서는 단위 양식 조의 규격을 폭 60m, 너비 50m로 정하였고, 이런 양식 수조를 총 20개 설치하는 시스템을 기반으로 양식 시설의 비용을 추산하였다. FRP(Fiber Glass Reinforced Plastic) 재질 양식 수조의 경우, 내용연수 20년을 기준으로 연간 비용이 계산되었으

Table 2. Cost price analysis of onshore gim aquaculture system.

Categories	Item	Specification	Durable years	Cost price per year, Won
Facilities cost	Culture tank	[50×60×1m <sup>3</sup> ]/tank, 20 tanks (FRP)	20	50,000,000
	Sea water supply & flow generator	pumps, pipes, valves, nozzles, etc.	10~20	6,000,000
	Netting facilities	Floating raft type for 350 units	1~5	30,142,000
	Electricity hardwares	Main controller for 200kW, Lines, etc.	20	3,750,000
Netting cost	350 nets	1 net = 2.1m × 50m	1	8,400,000
Harvesting cost	Machine for harvesting	motorized cutter on a floating ship	20 years	1,000,000
Labor cost	1 regular employment	10 months (2,000,000won/month)	1	20,000,000
Other cost	Sales commission & other payment	4% of sales for commission & 1.5% for gim association payment	1	9,230,760
Land price cost	Bank loan for land purchase (66,000m <sup>2</sup> )	3,000m <sup>2</sup> /tank × 20 tanks and control labs, etc	lending rate 3.5%	70,000,000
Total Cost				198,522,760

2) 현재 국내 김 양식시설의 기준은 “어업면허의 비율 관리 등에 관한 규칙”(해양수산부령 제248호)에 따라 김 양식시설은 어장면적의 5% 이상, 18% 이하로 시설되어야 한다. 예를 들면, 김 양식 어장이 1ha(10,000m<sup>2</sup>)인 경우, 김 발은 20책(1책 = 2.2m × 40m = 88m<sup>2</sup>) 이하로 시설해야 한다. 따라서 350책 시설을 하기 위해 필요한 어장 면적은 최소 17.5ha(175,000m<sup>2</sup>; 어장 비율 17.6%)가 되어야 한다. 1ha당 시설량은 지역과 양식 방법에 따라서 다르게 적용되고 있으며, 본 연구가 수행된 충남 서천의 경우에는 1ha당 약 17.8책을 시설하여 평균 14%의 어장을 사용하고 있다.



며, 펌프, 파이프, 노즐 등 해수 공급에 필요한 시설과 김 망의 부류 장치 및 전기시설 등 기타 시설 들도 구입 비용과 내용 연수를 토대로 연간 비용이 산출되었다.

다른 항목으로는 종묘 구입 비용, 수확에 필요한 김 절단 장비를 구입하는 비용(사용 연한 20년 기준으로 연간 비용을 계산), 인건비, 그리고 기타 비용으로 계산된 위판 수수료와 협회 자조금이 포함 되어 있다.

마지막으로, 토지 구입 비용에 대한 항목인데 본 시험 양식에서 사용했던 논 농지의 가격인 3.3m<sup>2</sup> 당 10만 원을 기준으로 계산하였다. 그런데 앞에서 추산했던 양식 면적 61,600m<sup>2</sup> 이외에도 해수 저장 및 관리 시설과 기타 부대시설 등 구축에 필요한 토지를 포함하여 총 토지면적을 66,000m<sup>2</sup>(20,000평)으로 설정하였다. 그러면 토지 구입 비용은 총 20억 원으로 산출되며, CD 금리 1.9%에 대출 금리를 1.6% 추가 적용하여 연간 비용을 계산하면 연간 7,000만 원이 되었다.

결과적으로, Table 3에서 보여 주는 것처럼, 350책 규모의 육상 김 양식 시설을 구축하고 운영하는 데 들어가는 연간 비용은 198,522,760원으로 추산되었다. 이 금액은 앞에서 설명한 것처럼 김병호 등 연구(2016)에서 동일한 책 수를 양식하는 어가를 대상으로 추산되었던 김 양식 비용인 105,597,760원에 비해서 연간 약 9천여만 원 더 많은 것으로 산출된다. 따라서 육상 양식의 책당 물김 생산량이 바다 양식과 동일하다면, 육상 양식이 바다 양식과 최소 동일한 수준의 수익을 얻기 위해서는 육상에서 생산된 물김의 위판 가격은 바다에서 생산된 것에 비해 2배 이상의 수준에서 결정되어야 한다고 예상된다.

### Ⅲ. 연구 의의 및 결론

본 연구에서는 육상에 구축한 양식 수조 시스템을 이용하여 물김 생산을 시험적으로 수행해 봄으로써 육상 기반 김 양식 기술의 기술적 가능성과 비용구조 분석을 통한 경제성 측면을 살펴보았다. 이를 통해 육상 김 양식과 관련된 몇 가지 기술적·경제적 이슈를 아래와 같이 제시하고 이에 대한 의의를 살펴보았다.

첫 번째, 양식에 필요한 해수의 공급과 양식 해수의 질 관리에 필요한 기술적 이슈이다. 본 연구에서는 충분한 양의 질 좋은 해수를 공급하기 위해서 해안의 모래층을 통해 자연 여과된 해수를 모아서 펌프로 끌어올리는 방법을 사용했다. 이 방식으로 시험 양식 규모에 필요한 해수를 충분하게 얻는 데는 문제가 없었다. 하지만 김 생산 규모를 늘리는 경우, 예를 들면 앞의 비용분석에서 적용했던 350책 생산량 정도, 충분한 해수 공급을 위해서는 더 깊은 바다에서 해수를 끌어와야 할 것으로 예상된다. 따라서 해수 공급에 상당한 비용이 발생할 수 있다. 때문에 본격 육상 김 양식이 수행되기 위해서는 우선 해수 사용을 최소화할 수 있는 순환 여과 양식기술 등 추가적인 기술 개발이 선행되어야 할 것이다.

두 번째, 육상 양식의 생산성을 위해서는 바다에서보다 고밀도 양식이 수행되어야 하는데 갯병의 발생과 확산이 가장 문제가 될 수 있다. 갯병을 조절하고 관리하기 위한 해수의 온도, 조류의 순환, 김밭의 노출 시간, 조도 및 광량 등 여러 가지 양식 조건들에 대한 육상 시스템에서의 연구가 필요하다.

세 번째, 고비용 구조일 수밖에 없는 육상 양식에 의해 생산된 김이 프리미엄 식품 원료로 담보될 수 있는 생산기술 및 관리 시스템의 개발이 있어야 할 것이다. 중금속, 세균 검사 등 기본적인 식품 안전 관리는 물론이고 영양과 기능성이 강화된 최상급 김을 생산할 수 있도록 양식의 전주기 과정을 단계별로 제어하는 생산관리 시스템으로 개발하는 것이 필요하다.

본 연구에서 시험 양식이 수행된 충남 서천은 충남에서 유일하게 물김이 생산되는 지역이다. 서천군의 김 생산 어가는 2013년 433 어가에서 2017년 245 어가로 시설의 규모화와 어가의 고령화로 매년 감소하고 있으며, 이 지역의 겨울철은 서북풍이 매우 강하기 때문에 김 양식 작업에 필요한 노동 인력을 확보하는 데 어려움이 있다. 고된 해상 작업에서 벗어날 수 있는 육상 김 양식 시스템이 개발 되면 노동 인력의 확보도 쉬워질 것이며, 기술력에 기반하여 고품질 김을 안정적으로 생산할 수 있는 대안이 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 육상 김 양식 시스템은 양식 면적과 규모의 증가로 인해 발생할 수 있는 바다 생태계 교란과 환경오염의 문제에서 비교적 자유로운 환경친화적인 김 생산 방식으로 기대된다.

본 연구는 아직 육상 김 양식의 본격적인 산업화 가능성을 논의할 수준으로 진행된 단계는 아니다. 하지만 1차 시험 양식을 통해서 우리는 앞으로 김 양식 기술이 발전해 나갈 수 있는 한 가지 방향으로 육상 시스템의 가능성을 알아볼 수 있었다. 앞으로 추가 연구를 통해 김 양식이 스마트 산업으로 발전할 수 있는 기술적 토대를 확보하게 된다면 김 양식은 지속 가능한 미래 고부가가치 양식 산업으로 발전이 가능할 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- 김로원 (2017), “난균선 갯병의 비산처리 제어 및 내병성 방사무늬김 품종개발”, 박사학위논문, 공주대학교, 1-8.
- 김병호 · 임동훈 · 이주현 (2016), “김 산업의 산업적 분화가 가지는 경제적 의의와 문제점”, *수산경영론집*, 47 (1), 47-61.
- 김승오 (2010), “양식 김의 품종개발과 병해방제”, 박사학위논문, 목포대학교, 1-14.
- 김용태 (2015), “한국산 참김의 녹반병 관련 발현유전체 분석”, 석사학위논문, 공주대학교, 1-3.
- 김종화 · 신우석 (2017), “충남 김 산업 실태분석 및 발전방안”, 충남연구원 전략연구.
- 마임영 (2000), “김 양식 생산 정책방향 연구”, *월간 해양수산*, 190, 40-54.
- 마창모 · 이상철 · 김세인 · 윤미경 (2018), “양식어장 환경개선 방안에 관한 연구”, 한국해양수산개발원.
- 문경환 (2015), “한국 서 · 남해안 김 양식장의 갯병에 대한 병원체 연구”, 박사학위논문, 공주대학교, 1-14.
- 박우정 (2016), “과거 태풍 경로의 대표 경로 추출 및 태풍 피해지역 추정에 관한 연구”, 석사학위논문, 경희대학교.
- 백은영 · 이현동 · 이기영 · 김대영 (2017), “바다의 반도체 김 수출 1조원 달성 전략”, 한국해양수산개발원, p. 61
- 옥영수 (2010), “우리나라 김 산업 발전을 위한 논점과 방안”, *수산경영론집*, 41 (2), 25-44.
- \_\_\_\_\_ (2011), “한일 김산업의 발전과정 분석과 당면과제 연구”, *수산경영론집*, 42 (2), 113-130.
- 유영목 (2010), “홍삼 분말을 첨가한 조미김의 사포닌 함량 및 품질특성”, 석사학위논문, 세종대학교, 4-5.
- 유제범 (2019), “스마트 양식산업의 현황과 향후과제”, *국회입법조사처*, p. 89.
- 이경현 (2006), “김 양식산업의 현황과 발전 방안”, 석사학위논문, 목포대학교, 1-4, 6-8, 12-18.
- 이재준 (2013), “인구구조 변동이 경제구조 변화에 미치는 영향”, 석사학위논문, 창원대학교.
- 최 신 (2019), “한국의 인구구조 변화와 경제성장에 대한 연구”, 석사학위논문, 연세대학교.
- 최심건 (2017), “인구 고령화가 경제 성장, 노동력 및 노동생산성에 미치는 영향, 한국을 사례로 한 실증분석”, 석사학위논문, 고려대학교.