

녹색 신성장동력 산업화를 위한 빌딩양식산업 도입 기초연구

A Concept Study on Introduction
of Vertical Aquaculture for Green
Growth

2011. 12.

류정곤 · 김대영 · 임경희 · 정명화



경제·인문사회연구회

NATIONAL RESEARCH COUNCIL FOR
ECONOMICS, HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES



한국해양수산개발원

KOREA MARITIME INSTITUTE

2011년 경제·인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서

“녹색 신성장동력 산업화를 위한 빌딩양식산업 도입 기초연구”

1. 녹색성장 종합연구 총서 시리즈

녹색성장 종합연구 총서 일련번호	연구기관 고유 일련번호	연구보고서명	연구기관
11-02-66	기본연구 2011-17	녹색 신성장동력 산업화를 위한 빌딩양식산업 도입 기초연구	한국해양 수산개발원

2. 참여연구진

연구기관		연구책임자	참여연구진
주관 연구 기관	한국해양 수산개발원	류정곤 연구위원	김대영 부연구위원 임경희 전문연구원 정명화 전문연구원
협력 연구 기관	강원도립 대학교	-	김병기 교수
	한국전자 통신연구원	-	한기평 책임연구원 고영철 선임연구원

* 해당 기관 양해 하에 한국해양수산개발원의 기본연구 2011-17을
경제·인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서 11-02-66으로 발간함

◆ 보고서 집필 내역

● 연구책임자

- 류 정 곤 : 제1장, 제2장 1·2절, 제5장, 제8장

● 연구진

- 김 대 영 : 제1장 4절(일부), 제2장 3절,
제3장 1절(일부)·2절(일부), 제7장
- 임 경 희 : 제1장 4절(일부), 제3장 2절(일부),
제4장(일부)
- 정 명 화 : 제3장 1절(일부), 제6장

● 외부 집필진

- 김 병 기(강원도립대학교) : 제4장 1절·5절(일부)
- 한 기 평, 고 영 철(한국전자통신연구원)
: 제4장 4절·5절(일부)

◆ 산·학·연·정 연구자문위원

- 정 관 식(전남대학교 교수)
- 박 성 옥(국립수산물과학원 박사)
- 장 인 권(국립수산물과학원 박사)
- 전 제 천(국립수산물과학원 박사)
- 김 종 현(국립수산물과학원 박사)
- 임 광 희(농림수산물식품부 과장)
- 김 경 남(농림수산물식품부 사무관)

* 연구자문위원은 산·학·연·정 순임

◆ 연구감리자

- 신 영 태(한국해양수산개발원 선임연구위원)

머 리 말

세계 수산업계가 안고 있는 가장 큰 과제 중 하나는 점점 심화되고 있는 수산식량 위기를 극복하면서 지구온난화에 대응할 수 있는 새로운 녹색 성장 동력을 찾는 것이다. 양식업은 20세기에 들어서 수산식량 공급의 중요한 원천으로서 역할을 담당하여 왔다. 1980년 세계 수산물 생산량의 6.5%에 불과하던 양식생산량은 현재는 40%에 육박할 정도로 빠른 속도로 증가하였다. 뿐만 아니라 많은 미래학자들은 양식업을 미래의 주목 받는 산업으로 전망하고 있는데, 그 이유는 미래는 생명산업시대가 될 것이고 이를 뒷받침할 수 있는 산업이 바로 양식업이라는 것이다.

그러나 기존의 해상양식업은 자연재해 영향, 환경오염, 적지 부족, 소비자와의 원거리 생산에 따른 높은 수송비 및 탄소배출로 인하여 한계를 나타내고 있다. 육상양식업 또한 해상양식업을 한 단계 발전시켰지만 여전히 연안수질 오염 및 소비자와의 원거리로 인한 문제를 해결하지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 세계 최초로 소비지에서 생산하여 공급함으로써 탄소배출 및 수송비를 줄이면서도 저비용으로 대량생산을 할 수 있는 새로운 녹색성장 양식업의 대안인 빌딩양식(Vertical Aquaculture)을 제안하게 되었다. 빌딩양식은 2004년 본 연구진이 국내 최초로 공장양식이란 개념으로 제안한 바 있고, 최근 빌딩양식이란 명칭으로 개칭하여 2010년 제3차 수산진흥종합대책에 정부 정책으로 채택된 바 있으나, 세계적으로 아직 정립되지 않은 첨단 육상양식기법이라 할 수 있다.

본 연구는 빌딩양식 개념 정립 및 필요성 확보, 산업화를 위한 기술적 및 사회경제적인 가능성 검증과 산업화를 위한 기본 방향 설정 등 산업화 단계에 앞서 이뤄지는 개념기획 연구의 성격으로 행해졌다.

본 연구의 일차적인 목적은 첫째 세계적으로 초보적인 수준인 빌딩양

식의 산업화 가능성을 분석하여 새로운 녹색 신성장동력 산업으로 도입할 수 있는지를 검증하는 것이다. 둘째는 세계를 선도할 수 있는 신개념의 양식산업으로 빌딩양식산업을 발전시키기 위한 기본 방향을 설정하는 것이다. 셋째는 본 연구 결과를 토대로 상세기획과 파일럿 사업 추진 등 산업화를 위한 단계로 발전시키기 위한 기초를 제공하는 것이다.

하지만 최종적인 연구 목적은 빌딩양식산업을 우리나라 미래 차세대 주력 양식산업으로 발전시켜 안정적인 수산물 공급, 양식업의 부가가치 및 국제경쟁력 제고와 글로벌 녹색성장 국가브랜드 상품화를 통한 세계 수산물 시장 선점을 목적으로 수행되었음을 밝힌다.

이 보고서는 한국해양수산개발원 수산연구본부의 류정곤 연구위원, 김대영 부연구위원, 임경희·정명화 전문연구원이 집필하였다. 본 연구과정에서 많은 분들의 자문이 있었다. 농림수산식품부 임광희 과장과 김경남 사무관, 국립수산물과학원 박성욱·전제천·장인권·김종현 박사, 전남대학교 정관식 교수, 한국해양연구원 김종만 박사, 한국전자통신연구원 한기평·고영철 박사, 대하수산 민병서 대표, 명유수산 유병화 사장, (주)민영엔지니어링 건축사사무소 송병규 대표를 비롯하여 김용우·황진·최창호·최남수·이종영·장경천·임동주·윤귀영·손정웅·공성식 (가칭)빌딩양식연구회원 여러분들께 필자를 대신하여 이 지면을 빌려 감사드리고자 한다.

또한 이 연구 수행과정에서 많은 자문을 아끼지 않으신 포르투갈 AQUACRIA Piscicolas사의 Renata Serradeiro 소장, 스페인의 Akvaplan-niva사의 Victor Øiestad 박사와 미국 콜롬비아대학교 Dickson Despommier 교수에게도 심심한 감사를 드린다.

2011년 12월
한국해양수산개발원
원 장 김 학 소

차 례

Executive Summary	i
-------------------	---

제1장 서론	1
--------	---

1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 목적	3
3. 연구의 범위와 방법	4
1) 연구의 내용 및 범위	4
2) 연구의 방법	5
4. 선행연구 검토	7
1) 식물공장 도입 연구	7
2) 양계산업의 시스템화 연구	8
3) 양식기술 분야 연구	10
4) 본 연구와의 차별성	12

제2장 빌딩양식의 개념 및 관련 제도	15
----------------------	----

1. 개념	15
2. 필요성	19
1) 미래 생명산업으로 양식업 부상	19
2) 해양양식 환경오염 및 적지 부족의 한계	24
3) 고비용 저효율 육상양식 대안 필요	28
4) 기후변화 대응 저탄소 녹색성장 양식업 전환 시급	31
3. 관련 법률 및 제도 검토	31
1) 육상수조식양식장	31
2) 빌딩양식장	36

3) 시사점	40
--------------	----

제3장 국내외 사례 41

1. 빌딩양식 사례	41
1) 울진 빌딩양식장	41
2) EU 빌딩양식	45
2. 타 산업 사례	54
1) 양계산업	54
2) 식물공장·수직농업	60
3) 시사점	66

제4장 빌딩양식의 기술 가능성 검토 69

1. 순환여과식시스템(Recirculating Aquaculture System : RAS)	70
1) 순환여과식 기술의 개념	71
2) 순환여과시스템의 기술 특성	74
3) 순환여과시스템의 구조	75
4) 수처리 대상과 주요 공정	81
2. 저수유수식시스템(Shallow Raceway System : SRS)	90
3. 미생물 총기술(Biofloc technology, 바이오플록)	93
1) 바이오플록의 개념	94
2) 바이오플록의 원리 및 안정화 조건	97
4. 자동화 및 기계화 시스템(IT 중심)	99
1) 자동 급이 시스템	99
2) 환경 모니터링/관리	103
5. 종합 검토	106
1) 순환여과시스템 및 저수유수식 기술	107
2) 바이오플록	109

3) 자동화 및 기계화 시스템	110
4) 기타 기술	115

제5장 빌딩양식의 모형 구상 117

1. 빌딩양식의 기본 모형	117
1) 기본 방향	117
2) 도심지형 빌딩양식	118
3) 도시근교형 빌딩양식	118
2. 빌딩양식 시스템	118
1) 양식 부문	118
2) 가공·유통·판매 부문	122
3) 레저·관광 부문	123
4) 빌딩양식 건축 및 에너지 부문	124
3. 도심지형 빌딩양식 기초설계안	125

제6장 빌딩양식의 사회경제적 효과 분석 129

1. 빌딩양식의 사회경제적 이익	129
1) 재해 대응 안정적 생산 기반 마련	129
2) 온실가스 저감 효과	130
3) 로스올 발생에 따른 추가적 비용 절감	132
4) 신성장동력으로서의 수산기술 발전 도모	133
5) 수산 분야 전후방 산업 발전 유도	134
2. 빌딩양식 가상모델의 경제성 추정	136
1) 가정	136
2) 추정결과	138

제7장 빌딩양식산업 도입을 위한 정책 방향 140

1. 비전 및 목표	140
1) 비전	140
2) 목표	141
2. 추진 방향	142
1) 기본 방향	142
2) 추진 전략	144
3) 빌딩양식 산업화 로드맵	145
3. 추진 과제	147
1) 빌딩양식 요소기술 개발 및 국산화	147
2) 빌딩양식 산업화 체제 구축	148
3) 빌딩양식 시범사업 추진	149
4) 빌딩양식 제도화	151
5) 빌딩양식 홍보	151
 제8장 결론 및 정책 제언	153
1. 요약 및 결론	153
2. 정책 제언	159
1) 빌딩양식산업 국책 사업화 추진	159
2) 빌딩양식 산업화 기본계획 수립 및 상세기획 연구 추진	160
3) (가칭)빌딩양식 산업화 추진단의 구성·운영	161
4) 다부처 공동 협력사업으로 추진	162
5) 빌딩양식 시범사업 추진	162
6) 빌딩양식 산업화를 위한 제도 개선	163
 참 고 문 헌	165
 부 록 : 빌딩양식 관련 기고문	171

표 차례

표 1-1. 빌딩양식 관련 주요 선행연구	13
표 2-1. 빌딩양식업과 기존양식의 비교	16
표 2-2. 세계 수산물 생산 및 활용	21
표 2-3. 우리나라 업종별 어업 생산량	21
표 2-4. 해상양식어업 면허 현황(2010년)	25
표 2-5. 소유자별 양식어업권 현황(2009년)	26
표 2-6. 우리나라 해상양식어업 생산량	27
표 2-7. 양식대상별 자연재해 피해량	27
표 2-8. 양식생물 대상별 자연재해 피해금액	28
표 2-9. 육상양식어업 허가 현황(2010년)	29
표 2-10. 우리나라 육상수조양식 생산 및 원가	31
표 2-11. 육상(수조식)해수양식 허가신청서의 주요 내용	32
표 2-12. 육상(수조식)해수양식의 종류별 양식물의 종류 및 시설기준	33
표 2-13. 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙의 기타 수질오염원	34
표 2-14. 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙의 수산물 양식시설 조치	35
표 2-15. 토지 용도별 빌딩양식장 시설물 건축 여부(서울시 사례)	38
표 2-16. 빌딩양식장의 시설물별 폐수처리 설치 기준 및 관련 법률	39
표 2-17. 빌딩양식장의 시설물별 주차대수 검토(서울시 사례)	40
표 3-1. 울진 빌딩양식장 설비 제원	45
표 3-2. 기존 양식장과 SRS 시스템의 비교	50
표 3-3. 계사의 기본 형태-설계 기준	57
표 3-4. 계사의 기본 형태-내부구조 기준	57
표 3-5. 닭의 사양관리 기기	58
표 4-1. 양식시스템의 구분 및 특성(유영동물양식 기준 구분)	71
표 4-2. 해수순환여과시스템의 유형(예시)	73
표 4-3. 순환여과 양식 시설 내 물리적, 화학적, 생물학적 수처리 방법	76

표 4-4. 아질산성 질소의 양식 품종에 대한 급성 독성 농도	85
표 4-5. 질산성 질소의 양식 품종에 대한 급성 독성 농도	85
표 4-6. Nitrosomonas(NS)와 Nitrobacter(NB) 성장을 위한 적정 수온 범위	89
표 4-7. 수질 관리 기술의 유형	93
표 4-8. 새우양식의 기존방식과 신기술(바이오플록)의 비교	97
표 6-1. 우리나라 산업별 온실가스 배출량 추이	131
표 6-2. 각 부문별 감축목표 확정안	132
표 6-3. 빌딩양식의 전후방 산업	134
표 6-4. 기존 양식 생산과 빌딩양식과의 비교 분석	135
표 6-5. 빌딩양식의 사회경제성 편익 추정	136
표 6-6. 빌딩양식 사회경제성 분석 시나리오	137
표 6-7. 빌딩양식 경제성 추정	138
표 6-8. 제주지역 판매원가에 따른 투자수익률	139
표 7-1. 빌딩양식 분야별 기술 개발 사항	148
표 7-2. 빌딩양식의 시범사업 내용	150
표 7-3. 빌딩양식 관련 홍보 실적	152

그림 차례

그림 1-1. 빌딩양식연구회 분야별 전문가 구성 현황	6
그림 1-2. 연구의 수행체계	7
그림 2-1. 미래 산업 전망	20
그림 2-2. 우리나라 수산물 생산 추이	22
그림 2-3. 우리나라 수산물 자급률 추이	23
그림 3-1. 올진 빌딩양식장의 원리	42
그림 3-2. 올진 빌딩양식장 기본 구조(1)	43
그림 3-3. 올진 빌딩양식장 기본 구조(2)	44
그림 3-4. EU의 빌딩양식장 현황	46
그림 3-5. 포르투갈 빌딩양식장 전경	51
그림 3-6. 포르투갈 빌딩양식장 내부	52
그림 3-7. 포르투갈 빌딩양식장의 오존살균시설 및 오페수 시설	53
그림 3-8. 계사 시설 및 사양관리 기기 관련 사진	59
그림 3-9. 수직농장의 다양한 형태	64
그림 3-10. 수직농장의 다양한 시설물	65
그림 4-1. 순환여과시스템의 특성과 운영 개념	75
그림 4-2. 순환여과시스템의 구성과 수처리 흐름도	81
그림 4-3. SRS 모식도 및 사진	92
그림 4-4. 바이오플록의 생성 구조	95
그림 4-5. 순환여과방식과 바이오플록 기술 방식 비교	98
그림 4-6. JT electric의 자동 급이 시스템 구성도	100
그림 4-7. 다양한 형태의 자동 급이 시스템의 구성도	101
그림 4-8. 자동 급이 시스템 관련 기기 및 시스템 개발 동향	102
그림 4-9. JT electric의 JT MultiControl System	104
그림 4-10. AKVA Group의 시스템	105
그림 4-11. 배출수 제로화를 위한 탈질의 수처리 개념도	108

그림 4-12. 해산어류의 순환여과식양식시스템에 있어 바이오플록 도입 원리	110
그림 5-1. 발당양식 개념도	126
그림 5-2. CG화한 발당양식	128
그림 6-1. 양식어가 수 기준 육상 넙치전국 분포도 및 수송거리	131
그림 7-1. 발당양식 산업화 추진 단계와 비전	141
그림 7-2. 발당양식 산업화 로드맵	146

Executive Summary

A Concept Study on Introduction of Vertical Aquaculture for Green Growth

A research on 'Vertical Aquaculture', a wholly new type of aquaculture method, was carried out for the first time in the world. The study is focused on identifying a concept and reviewing its possibility of an industry, a characteristic of a concept study. The study was driven by needs for the future bio-industry and mass production in aquaculture to meet an increasing seafood demand in the world. It also aims to transform the current aquaculture which is carbon-emitting and environmentally-destructive into a low carbon and green business.

The ultimate goal of the study is to develop vertical aquaculture into the primary aquaculture industry for the next generation. Korean fisheries then will be able to dominate global market in the world, which is possible through providing stable seafood supply and value-added seafood. In addition, Korean fisheries will be able to be equipped with international competitiveness and furthermore have national brand image of green growth. At this time, the study is aimed at verifying the possibility of vertical aquaculture and presenting basic policy direction for its industrialization.

Firstly, it analyzed the industrial possibility of vertical aquaculture which is still at fledgling stage around the world. It verified prospects of the business as a new green growth driver. Secondly, the study presented key policy direction to develop a new type of aquaculture into a leading aquaculture in the world. Thirdly, based on the result, it provided the basics of establishing step by step strategies

for the industrialization of vertical aquaculture including detailed plans and promoting pilot projects.

By and large, the study offered four policy recommendations. First of all, the government needs to constitute ‘The Vertical Aquaculture Industrialization Group (tentatively named)’ in charge of implementing pilot projects and paving the groundwork for the business.

Second of all, the government should take the initiative in implementing pilot projects since vertical aquaculture is firstly proposed and executed in the world. Pilot projects should be about developing core technology and infrastructure for the industrialization.

Third of all, vertical aquaculture is essentially aquaculture. Still, there are high possibilities that it can evolve into ‘a type of multiple aquaculture industry’ at the center of cities. Therefore, the project needs to cooperate with multiple Ministries, such as the Ministry of Knowledge and Economy(MKE) and the Ministry of Science and Technology(MOST), rather than solely carried out by the Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(MFAFF).

Last of all, relevant laws on vertical aquaculture building permission and approval in city commercial zones should be amended and enacted. This research also suggested establishing policies like setting mid- and long-term policies as well as budget compilation based on the study results. For that purpose, it suggested that MFAFF should establish general planning for vertical aquaculture industrialization and carry out studies on detailed planning from 2012.

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

본 연구는 국내외적으로 수산물 수요가 증가하면서 부족한 수산물을 획기적으로 공급함과 아울러 양식산업의 경쟁력을 제고시키기 위한 대안으로서 새로운 양식방법을 강구하기 위한 것이다.

본 연구의 배경은 크게 5가지로 요약된다. 미래 생명산업으로의 양식업의 발전 전망, 세계적인 수산물 초과수요 대응을 위한 양식생산 증대, 환경오염 및 적지 부족에 따른 해상양식의 한계 극복, 높은 폐사율 및 비효율적인 육상양식의 문제 보완 그리고 기후변화에 대응한 저탄소 녹색성장 동력산업의 발굴이다.

첫째, 미래 생명산업으로서 양식업의 발전전망이 매우 밝다는 것이다. 미래 학자들은 양식업을 미래의 주목 받는 산업으로 전망하고 있고, 각국은 양식산업 발전을 위한 국가계획을 수립하는 한편 집중적인 투자를 하고 있다. 이는 지난 40년간의 성장률을 통해서도 짐작할 수 있다. 즉 1970년 이후 잡는 어업과 축산업의 생산 성장률이 1.2%와 2.8%에 그친 반면 양식업은 8.8% 이상으로 매우 빠르게 성장하고 있다.

둘째, 세계적인 수산물 초과수요 대응을 위한 양식생산 증대이다. 세계적으로 수산물 수요는 계속 증가하고 있다. 그러나 수산물 생산 및 공급 증가는 수요를 따라가지 못하여 수산물 공급력 증대가 세계적인 이슈가 되고 있다. ‘식량’ 하면 곡물이 가장 중요한 위치를 점하고 있지만, 수산식량 또한 제2의 식량으로서 그 역할과 기능은 점차 확대되고 있다. 하지만 전통적인 어로어업을 통한 자연산 공급은 이미 한계에 달하여 양식 외에는 공급력을 제고할 방법이 없는 것이 현실이다.

셋째, 해상양식이 안고 있는 문제와 한계를 극복할 필요가 있다는 것이다. 세계적으로 양식은 수산물 공급의 중요한 원천으로 발전하여 왔다. 그러나 자연재해의 위험, 양식적지의 제한, 해양오염 및 해양공간 이용의 경합 등으로 인하여 해상양식의 발전에는 많은 한계가 있기 때문이다.

넷째, 육상양식의 고비용 저효율 문제를 해결하기 위한 대안이 필요하다. 육상양식어업 중 우리나라 육상수조식넙치양식업은 해상의 한계를 극복한 세계적인 선진사례이다. 하지만 현 육상양식업은 대량의 해수 이용을 위하여 임해지역에 위치함에 따라 해양환경 오염 발생, 집약적인 토지 이용 곤란, 소비지와 원거리로 인한 유통비용 증가, 해수취수 비용 과다 및 탄소 과다 배출 등의 문제점을 안고 있다. 즉 경제적인 문제뿐만 아니라 사회적인 문제가 있어 새로운 형태로의 전환이 필요한 시점이다.

마지막으로 기후변화 대응 저탄소 녹색성장 양식업으로의 전환이 시급하다. 최근 지구온난화에 따라 탄소배출을 최소화할 수 있는 저탄소 녹색성장 산업으로의 전환이 주요 국가정책 어젠다로 부상하고 있다. 그러나 기존의 해상양식과 육상양식은 해양환경 오염, 고비용 양식구조, 고탄소 배출 생산구조 등 저탄소 녹색성장 시대에 부합하지 못하는 산업으로서 미래의 양식산업 발전의 동력으로는 한계가 있다.

따라서 기존의 해상 및 육상양식의 문제점을 해소하고 새로운 사회적 수요인 저탄소 녹색성장에 부합하는 새로운 양식산업 발굴이 필요한 시점이다.

본 연구에서는 생명산업시대에 부응하는 대량 양식, 수산식량 위기 극복, 기존의 해상 및 육상양식의 한계 극복과 더불어 저탄소 녹색 신성장동력 산업으로 발전시키기 위한 새로운 양식업으로의 전환이 필요한 시점이라 할 수 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 최근 유럽을 중심으로 부상하고 있는 저수유수식 양식기법을 발전시킨 빌딩양식을 미래 양식업의 새로운 모델로 제안하고자 한다.

빌딩양식(Vertical Aquaculture)은 기존의 양식기술 외에 순환여과식(Recirculating

Aquaculture Systems) 양식기술 및 저수(低水)유수식(Shallow Raceway System)과 더불어 IT(정보통신기술 : Information Technology), BT(생명공학기술 : Biotechnology Technology), NT(초정밀기술 : Nano Technology), MT(의학기술 Medical Technology), ET(환경공학기술 : Environment Technology) 등을 융합한 첨단 양식기법으로 소비중심 도시 등 육상의 빌딩에서 자동화 방식으로 양식하는 것이다. 최근 저수유수식 양식기술이 개발되고 있고, 순환여과식 방식이 발전하면서 빌딩에서 집약적으로 양식할 수 있는 새로운 방식이 국내외에서 시도 중에 있다.

빌딩양식 개념은 2004년 본 연구진이 국내 최초로 공장양식이란 개념으로 제안한 바 있고, 최근 빌딩양식이란 명칭으로 개칭하여 2010년 제3차 수산진흥종합대책에 정부 정책으로 채택된 바 있으나, 세계적으로 아직 정립되지 않은 첨단 육상양식기법이라 할 수 있다.

하지만 아직 세계적으로 초보 수준인 빌딩양식의 산업화가 가능한지에 대해서는 기술적으로나 사회경제적으로 검증된 바가 없다. 따라서 빌딩양식 개념 정립 및 필요성 확보, 산업화를 위한 기술적 및 사회경제적인 가능성 검증과 산업화를 위한 기본 방향 설정 등의 연구가 필요하다. 즉 본 연구는 빌딩양식 산업화 기술 개발 및 산업화 전략 수립을 통한 산업화 단계에 앞서 이뤄지는 개념기획 연구라 할 수 있다.

2. 연구의 목적

본 연구는 기본적으로 빌딩양식의 개념 설정 및 산업화 가능성을 검증하는 기초연구로서 본 연구의 일차적인 목적은 첫째, 세계적으로 초보적 수준인 빌딩양식의 산업화 가능성을 분석하여 새로운 녹색 신성장동력 산업으로 도입할 수 있는지를 검증하는 것이다. 둘째는 세계를 선도할 수 있는 신개념의 양식산업으로 빌딩양식산업을 발전시키기 위한 기본 방향을

설정하는 것이다. 셋째는 본 연구 결과를 토대로 상세기획과 파일럿 사업 추진 등 산업화를 위한 단계로 발전시키기 위한 기초를 제공하는 것이다.

본 연구의 최종적인 목적은 빌딩양식산업을 우리나라 미래 차세대 주력 양식산업으로 발전시킴으로써 안정적인 수산물 공급, 양식업의 부가가치 및 국제경쟁력 제고, 글로벌 녹색성장 국가브랜드 상품화를 통한 세계 수산물 시장 선점에 있다.

3. 연구의 범위와 방법

1) 연구의 내용 및 범위

본 연구는 도심지 빌딩양식산업 도입 구상 및 이와 관련된 기술적, 사회경제적 타당성 검토를 기본 내용으로 한다. 따라서 연구범위는 기술적 검토의 경우 빌딩양식을 구현함에 있어 요구되는 모든 유무형 기술(하드웨어기술, 소프트웨어기술)을 대상으로 한다. 단, 본 연구가 빌딩양식 산업화와 관련된 최초의 연구인만큼 다양한 기술 중에서도 핵심요소기술을 중심으로 검토하였다.¹⁾

세부적인 내용을 보면 첫째, 농업, 양계 등 유사산업의 사례와 해외의 고밀도 첨단양식산업 사례를 고찰하여 빌딩양식의 기본적 개념 및 필요성을 정립하였다. 둘째, 빌딩양식에 필요한 법·제도 및 기술 실태를 분석하여 타당성 및 한계점을 도출하였다. 셋째, 빌딩양식 모델을 구상하고 기초적인 투자 안을 마련하였다. 그리고 이를 토대로 사회경제적인 효과 또는 타당성을 개략적으로 평가하였다.

1) 일례로 양식관리기술 중에서는 집약적 양식의 핵심요소기술로 분류되는 순환여과식, 저수 유수식 기술을, 빌딩양식시스템화와 관련해서는 비용 절감과 사육관리의 핵심적 기술로 자리매김할 IT기술 등을 대상으로 하였다.

마지막으로는 빌딩양식산업 도입을 위한 국가 정책 기본 방향의 설정과 추진전략을 정책제언 형태로 제안하였다.

2) 연구의 방법

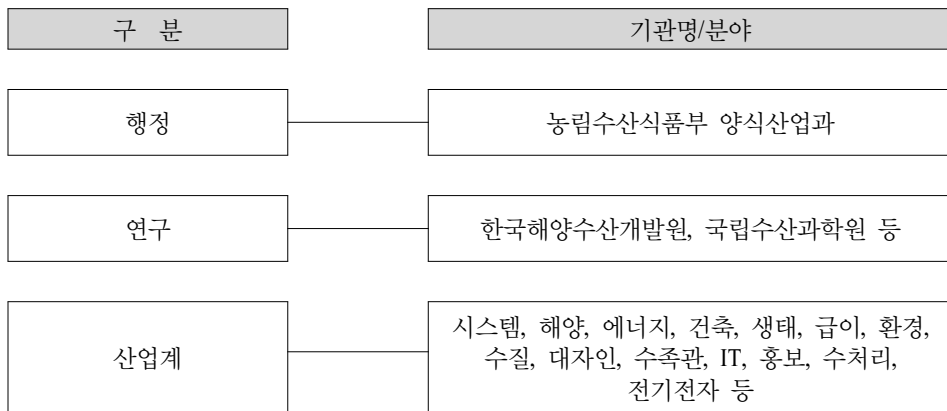
연구의 효율적 추진을 위해 우선 국내외 각종 자료의 수집을 통한 문헌자료 분석을 실시하였다. 본 연구가 빌딩양식을 주제로 시도되는 최초의 연구이기 때문에 연구에 시사점을 줄 수 있는 산업이나 사례를 중심으로 자료를 수집하여 분석하였다. 구체적으로 빌딩양식의 주요 핵심기술이나 산업화와 관련된 농산물, 양계 등의 유사산업 사례를 조사 대상으로 선정하였다. 동시에 육상양식장 등 사례지역과 분야별 전문가를 대상으로 현장 조사와 면담조사도 병행하였다. 특히 해외사례로서는 저수유수식 양식을 하고 있는 포르투갈과 빌딩농업 연구의 선두를 달리고 있는 미국을 대상으로 현지출장조사를 실시하였고, 관련 전문가의 인터뷰 조사 및 자료 수집을 실시하였다.

본 연구의 핵심적 부분은 산업화·실용화 가능한 빌딩양식시스템의 구상 및 설계와 기술적 검증에 있다고 할 수 있다. 이때 빌딩양식 시스템의 가능성 검토와 검증에 있어 양식어업을 비롯한 다양한 분야의 연구 및 기술전문가 참여가 필수적이다. 물론 사업 추진의 주체가 될 행정과 산업계의 참여는 말할 것도 없다. 사업의 성공적 추진을 위해서는 초기에 정부 중심의 산업화 Pilot R&D 과제 형태의 추진이 바람직하며, 주요 민간기업이 동시 참여함으로써 향후 수산 분야의 새로운 녹색성장산업으로 발전할 수 있는 초석을 마련하는 것도 중요한 의의를 지닌다.

이 같은 구상을 바탕으로 다양한 전문가가 참여하는 연구회를 발족하였다. 연구회는 ‘빌딩양식연구회’라는 명칭으로 운영되었으며, 관련 정책을 담당하는 정부부처를 포함해 빌딩양식과 관련된 다양한 분야의 산·학·연

전문가로 구성하였다. 세부적으로는 양식생물학, 시설 및 건축공학, 전자·전기공학, 수처리 및 수질기술, 에너지관리, IT기술, 수산물유통 등 다양한 분야의 전문가가 참여하는 것으로 설계되었다.

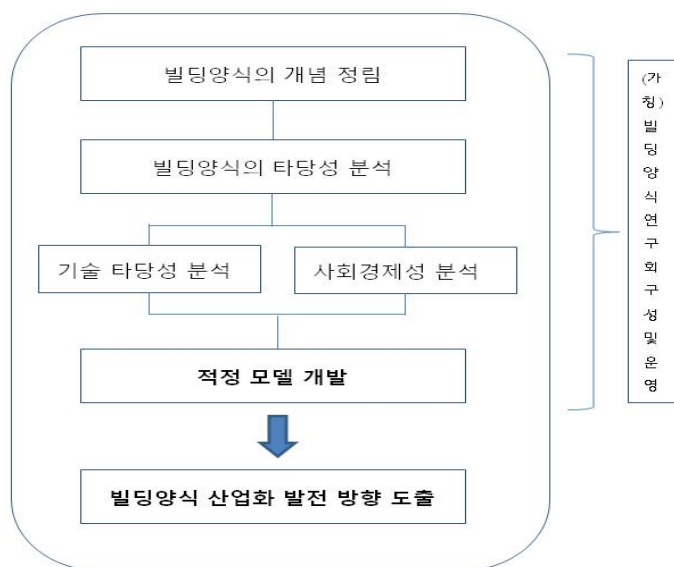
연구회의 구성을 통해 부문별로 전문성이 요구되는 기술적 검토에 대해 자문 및 협의를 실시하였으나, 보다 전문적이고 세밀한 검토가 요구되는 사항에 대해서는 관련 전문 연구소가 부분적으로 참여하였다. 즉, 빌딩양식의 설계와 관련한 하드웨어와 소프트웨어 기술적 사항에 대해서는 전문기관의 자문 및 원고 작성을 통해 수행하였다.



| 그림 1-1 | 빌딩양식연구회 분야별 전문가 구성 현황

그리고 기술 측면의 검토를 통해 최종적으로 도출된 도심지 빌딩양식 시스템에 대한 사회경제적 타당성을 분석하였다. 빌딩양식의 구상안을 바탕으로 B/C분석 등을 활용한 경제성 분석을 실시하였다.

본 연구의 수행체계를 도시화하면 다음의 <그림 1-2>와 같다.



| 그림 1-2 | 연구의 수행체계

4. 선행연구 검토

1) 식물공장 도입 연구

농업 분야에서는 불규칙한 자연환경 변화, 지리적 입지 및 자연 풍토의 한계, 농지 부족 등의 한계를 극복하기 위해 오래전부터 식물공장이란 명칭으로 연구가 수행되어 왔다. 하지만 우리나라의 경우 식물공장이 본격적으로 논의·검토된 것은 1990년대 이후이다.

식물공장은 빌딩양식과 가장 개념이 유사한 사례로서 이 분야의 선행연구 검토는 빌딩양식의 개념 설정 및 정책방향 수립에 많은 참고가 되었다.

강희찬(2009)²⁾은 기후변화에 대응한 신성장동력으로서 식물공장을 검토

2) 강희찬, “기후변화에 대응한 농업의 진화 : 식물농장”, 『SERI 경제 포커스』, 제225호, 삼성경제연구소, 2009. 8. 11. pp. 1~13.

하고 이와 관련된 지원 방향을 제시하였다. 이 연구에서는 각종 문헌 및 자료 분석을 통해 기후변화에 대응하여 식물공장의 필요성을 도출하고 식물공장의 국내외 사례분석을 통해 시사점을 도출하였다. 나아가서 식물공장에 필요한 전후방 산업 고찰과 기술적 타당성을 분석하였다. 이 연구는 본 연구의 빌딩양식과 관련된 기술적 타당성 분석 및 필요성 도출에 많은 참고가 되었다.

김정호(2009)³⁾는 미래농업의 대안으로 식물공장의 사업화 조건과 가능성을 검토한 바가 있다. 이 연구에서는 문헌자료 및 해외사례 분석, 그리고 식물공장의 경제성 분석 등을 적용하여 식물공장의 개념과 의의, 식물공장의 국내외 동향과 실태, 식물공장 사업화 조건과 가능성, 식물공장의 전망 등을 검토하였다. 이 연구는 식물공장의 국내외 현황을 토대로 식물공장의 사업화 가능성 및 전망을 제시하고 있어 본 연구에서 빌딩양식의 기본 방향과 모델을 설정하는 데 유용하게 활용되었다.

2) 양계산업의 시스템화 연구

양계산업은 본 연구진이 양식공장이란 개념을 착안하는 데 가장 많은 시사점을 주었던 산업이다. 방사 형태의 영세소규모 양계업이 첨단화된 양계장 형태로 발전함으로써 현대의 양계산업이 이뤄졌기 때문이다. 우리나라가 경제적으로 낙후되었던 시절, 계란은 대단히 비싼 제품이었다.

그것은 저비용 대량생산이 이뤄지지 않았기 때문에 초과수요로 인하여 가격이 높았던 것이다. 그러나 양계산업 발전으로 인하여 현대의 계란 가격은 대단히 저렴해졌고 우리나라 국민들의 중요한 단백질 공급원으로서 역할을 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 양계산업이 발전하는 과정에서 가장 핵심이 되었던 시스템화를 중심으로 선행연구를 검토하여 빌딩양식 연구에

3) 김정호, “식물공장의 동향과 전망”, 『농정연구속보』, 제61권, 한국농촌경제연구원, 2009. 10. 20. pp. 1~19.

참고하고자 한다. 특히 이번 선행연구 검토에서는 빌딩양식 산업화가 이뤄질 경우 나타날 수 있는 수급불균형으로 인한 경영불안을 방지하기 위해 계열화 및 수직적 통합형 산업화 연구결과를 중심으로 검토하였다.

유철호(1989)⁴⁾는 양계산업⁵⁾의 계열화와 관련해 연구를 수행하였다. 양계는 일찍이 1985년부터 경영 안정과 수급조절 기반 확충을 목적으로 정부의 재정지원하에 계열화 사업이 추진되어 왔다. 이는 양계산업의 고질적 생산 과잉 또는 과소현상을 방지하고 사육농가의 소득 안정화를 위해 추진되어 온 것으로, 이 연구는 양계 계열화 사업의 현황을 검토하고 정착을 위한 발전방향을 제시하였다.

박영인⁶⁾은 양계산업의 안정화 방안으로 개별화되어 있는 관련 사업에 대한 경제통합적 접근, 즉, 수직적 통합에 의한 산업의 경영구조 개선을 도모하였다. 즉, 안정화 방안으로 수직계열화에 의한 중앙집중적 일괄경영체제로의 개선을 제안한 것이다.

양계산업은 상대적으로 사육기간과 비용이 짧게 소요되고 용이하다는 점에서 축산 분야에서도 일찍이 발전을 거듭해 이미 1980년대 초반부터 상당한 기술적 수준에 도달하였다. 이러한 가운데 1980년대 말에서 1990년대에 이르기까지 양계산업의 산업적 특성 강화를 위해 관련 산업과의 계열화 가능성에 대한 연구를 살펴보았는데, 본 연구와 관련해서도 주요 관련 산업·기술과의 효율적 조직화·연계 방안을 모색함에 있어 시사점을 가진다.

4) 유철호, 「양계 계열화사업의 현황과 발전방향에 관한 연구」, 한국농촌경제연구원, 1989. 12.

5) 양계에 관련된 여러 업종으로 정의되는데, 본 연구에서는 계열화의 대상으로 주로 종묘농장, 사료업, 모계생산장, 부화업, 최종가공제품 생산공장, 판매업 등이 검토대상이 됨.

6) 박영인, “양계경영안정화 방안에 관한 연구(양계산업 안정을 위한 경제통합적 접근)”, 『한국축산경영학회지』, 창간호.

3) 양식기술 분야 연구

발당양식과 관련된 양식기술 분야 선행연구는 주요 핵심기술의 기술적 설계나 및 성과·효과를 측정하는 연구에 초점을 맞추었다. 특히 다양한 기술 중에서도 고밀도 양식산업화에 필수적인 요소로 인식되는 기술에 관련된 연구를 중심으로 검토하였다.

이병헌(1997)⁷⁾은 양식업 발전기를 맞이해 기존의 고투입 양식시스템에서 여러 가지 한계가 나타나게 되자, 담수양식을 중심으로 순환여과식 종합시스템의 개발과 관련해 3가지의 시스템 개발(수처리시스템 개발, 시설물 종합설계 시스템 개발, 종합관리시스템 개발) 연구를 수행하였다. 연구 결과 수처리시스템 개발과 관련해 개선된 결과를 거두었고, 시설물 종합설계시스템 개발에 있어 최적시스템을 제시하였으며, 종합관리시스템과 관련해 경영합리화, 시스템 안정성 및 유연성, 위기관리 능력 등의 측면에 초점을 둔 자동화시스템을 개발하였다.

서근학 외(2001)⁸⁾는 육상수조식양식의 핵심기술인 순환여과식 양식장에 대한 자료를 검토하여 순환여과식 양어장의 순환수 처리시설을 설계하고, 이의 효율적으로 조합을 통한 양식시스템의 패키지형 개발을 목적으로 연구를 추진하였다. 양식시스템 중에서도 어류 생장에 영향을 미치는 오염물(고형물, 암모니아성 질소)의 처리에 중점을 두어 시스템을 제작하고 나일 티라피아를 사육한 뒤, 실증결과를 도출하였다.

허목 외(2002)⁹⁾는 육상수조식 양식기술의 사육수 안전성 확보 및 배출수 관리라는 측면에서 오폐수 고도처리에 이용되어 온 정화법(생물막여과법,

7) 이병헌 외, 『담수양어시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발』, 농림부, 1997. 11. 20.

8) 서근학·김병진·전임기, “순환여과식 양식시스템의 설계 및 개발”, 『한국수산과학회지』, Vol. 34, No. 1, 한국수산과학회, 2001. 1. pp. 70~76.

9) 허목·한지용·강진영, “해산어 양식용 순환여과시스템(Biozone System) 개발을 위한 기초적 실험연구”, 한국물환경학회 공동추계발표회, 2002.

오존산화법)을 순환여과시스템에 도입(Biozone 순환여과시스템)한 기초 실험연구를 추진하였다.

이상의 연구결과는 빌딩양식에서 가장 중요한 폐수 및 노폐물 처리기술의 도입가능성을 판단하는 데 많은 시사점을 주었다. 즉 일부 연구결과를 토대로 볼 때 빌딩양식에 접목 가능한 수처리 및 노폐물 처리 기술 개발이 가능하다는 것이다.

이외에도 과거 담수를 중심으로 진행되어 온 순환여과식을 해수에 적용하여 효율적 시스템을 구현하기 위한 다양한 연구가 지금까지도 꾸준히 추진되고 있다.

한편 빌딩양식의 가장 핵심기술이라 할 수 있는 기술인 저수유수식 기술에 대한 실증실험 연구사례를 들고자 한다. 빌딩양식은 빌딩 내에 기존의 수조식이 아닌 물을 적게 사용하는 선반식 양식시설이 가능할 때 성공할 수 있다. 본 연구진이 양식공장 또는 빌딩양식을 제안할 때 실현가능성을 가늠하게 한 가장 핵심기술이 바로 저수유수식시스템이다.

이와 관련해서는 주로 해외에서 다양한 기술연구가 수행되고 있다. Victor Øiestad(1999)는 해양어류 양식에 SRS 기법을 활용할 수 있는 기술을 검증하는 연구를 수행하였다.¹⁰⁾ 후술하는 바와 같이 Victor Øiestad는 1992년부터 다양한 SRS 시스템 도입을 위한 양식기술 개발을 수행하여 이 분야의 세계 최고 전문가이기도 하다.

Rodrigo A. Labatut(2004)¹¹⁾는 터бот을 대상으로 저수유수 양식시스템과 순환여과식 양식시스템의 결합 양식을 통한 양성 효과를 평가하였다. 본 연구에서 SRS의 장점으로서는 첫째 수조 수심을 어종의 크기에 따라 0.7~25 cm로

10) Øiestad V., Shallow raceway as a compact, resource maximizing farming procedure for marine fish species, *Aquaculture Research* 30, 1999.

11) Rodrigo A. Labatut, Culture of Turbot(*Scophthalmus Maximus*) Juveniles Using Shallow Raceways Tanks and Recirculation, *Aquacultural Engineering* 32, 2004.

아주 낮게 할 수 있다는 것이고, 둘째는 이용가능한 수조바다면의 200~300%를 활용할 수 있어 고밀도(high density) 양식이 가능하다는 것을 들고 있다.

Hans K. Strand(1997)¹²⁾는 저유수식 양식시스템이 터봇의 등급에 미치는 영향을 분석하여 터봇의 등급별 SRS 적용방식을 증명하였다.

이상의 연구는 고밀도 집적형 빌딩양식 산업화와 관련해 중요한 기술 및 시스템의 개발에 대한 설계 및 실증 실험연구로, 빌딩양식에 있어 요구되는 기술의 범주와 종류 그리고 각 기술의 개발 수준·동향에 대한 파악을 가능하게 한다는 점에서 의의를 가지고 있다. 특히 이상의 SRS에 관한 기술 개발과 응용실험 결과는 우리나라에서 빌딩양식 시스템을 개발할 때 SRS를 어떻게 적용하고, 어떤 기술을 적용할 것인가를 보여주고 있다.

4) 본 연구와의 차별성

이상 다양한 분야와 기술에 대한 선행연구를 살펴보았는데, 실제 빌딩양식을 대상으로 한 선행연구는 거의 이뤄지지 않았다. 유사 산업이나 분야를 통해 간접적으로 살펴보았는데, 농업 부문의 경우 빌딩농업인 식물공장의 개념 및 산업화에 대한 연구가 진행되어 왔다. 양계산업과 관련해서는 일찍부터 주요 소득원으로 발전되기 시작한 양계업의 효율적 발전과 관련해 1차 산업인 양계업과 관련 산업 간의 수직계열화 연구가 수행되었다.

한편 빌딩양식업의 경우 그 기초를 이루는 기술(순환여과식, 저수유수식) 시스템 개발 및 안정화 등 기반기술과 관련된 자연과학적 연구는 활발히 추진되는 것으로 조사되었다. 특히 핵심기술인 순환여과식 등의 기술에 대해서는 다양한 측면의 연구가 진행되는 것으로 나타났다. 그러나 빌딩양식과 관련해 사회과학적 연구는 수행된 바가 없는 실정이다. 물론 앞선 연구

12) Hans K. Strand and Øiestad V., *Growth and the Effect of Grading, of Turbot in a Shallow Raceway System, Aquaculture International* 5, 1997.

에서도 고밀도양식 시스템화와 관련해 기술적 설계 및 타당성 평가 이외에 일부 경제성 평가가 이루어진 경우도 있으나, 대체로 생산성 증대나 비용 측면에 중점을 둔 분석으로 본 연구에서 구상하는 대규모 종합 고밀도 시설에 대한 평가와는 차이를 보인다.

본 연구에서는 수산 분야의 신성장동력이자 미래 수산양식 분야의 새로운 대안으로서, 융합한 첨단 저탄소 녹색성장 빌딩양식업의 도입 가능성을 검토하고 사업화 방향을 제시하고자 한다. 이는 수산양식에 관련된 주요 핵심기술을 기반으로 다양한 분야의 핵심기술을 융합하고, 나아가 산업적으로도 제조업이나 관광·문화산업과도 결합하는 대규모 프로젝트라는 점에서 특징을 가지고 있다 하겠다.

| 표 1-1 | 빌딩양식 관련 주요 선행연구

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명 : 식물공장의 동향과 전망 • 김정호(2009.10) • 연구목적 : 식물공장 사업화의 조건과 가능성 검토	• 문헌자료 분석 • 해외사례 분석 • 식물공장 모델의 경제성 분석	• 식물공장의 개념과 의의 • 식물공장의 국내외 동향과 실태 • 식물공장 사업화 조건과 가능성 • 식물공장의 전망
	2	• 과제명 : 기후변화에 대응한 농업의 진화 (식물공장) • 삼성경제연구소(2009.8) • 연구목적 : 기후변화에 대응 식물공장사업 전망	• 문헌 및 자료 분석	• 기후변화와 식물공장의 필요성 • 식물공장의 개념 및 국내외 사례 • 시사점
	3	• 과제명 : 양계계열화사업의 현황과 발전방향에 관한 연구 • 유철호(2008) • 연구목적 : 양계 계열화사업의 장기발전을 위한 기초자료 제공	• 국내외 문헌, 통계자료 분석 • 정부지정 계열화 사업체 및 농가 현지 조사	• 양계산업 구조 • 계열화의 개념과 필요성 • 양계 계열화사업 기능연계 현황 • 양계 계열화사업 경영 분석 • 계열화사업의 당면과제와 발전 방향

| 표 1-1 | 빌딩양식 관련 주요 선행연구(계속)

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
주 요 선 행 연 구	4 • 과제명 : Shallow raceway as a compact, resource maximizing farming procedure for marine fish species • Aquaculture Research 30 • Øiestad V.(1999) • 연구목적 : 해양어류 SRS 이용기술개발	• 실증 실험	• 실험모델 설계 • 탱크 디자인 • 어종별 적정 실험
	5 • 과제명 : Culture of turbot (<i>Scophthalmus maximus</i>) juveniles using shallow raceways tanks and recirculation • Aquacultural Engineering 32 • Rodrigo A. Labatut (2004) • 연구목적 : SRS와 RAS 터봇 적용실험	• 실증 실험	• 실험모델 설계 • 양식기술의 결합 모델 디자인 • 신기술 적용에 따른 양식 효과 평가
	6 • 과제명 : Growth and the effect of grading, of turbot in a shallow raceway system • Aquaculture International 5 • Hans K. Strand & Øiestad V.(1997) • 연구목적 : SRS가 터봇 등급에 미치는 영향 분석	• 실증 실험	• 실험 설계 • 저유수식 양식시스템을 이용한 터봇 양식 실험 • 실험결과 평가
	7 • 과제명 : 순환여과식 양식 시스템의 설계 및 개발 • 서근학 외(2001) • 연구목적 : 패키지형 순환여과식 양식시스템의 설계, 실험	• 실증 실험	• 실험 설계 • 패키지형 순환여과식 양식 시스템 제작 및 설계 • 실험결과 평가
	8 • 과제명 : 담수양어 시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발 • 이병현 외(1997) • 연구목적 : RAS 담수양어 시설 종합시스템 개발	• 시설 설계 • 실증 실험	• 수처리시스템 개발 • 순환여과식 양어시설 • 종합설계시스템 개발 • 종합관리시스템 개발

제 2 장 빌딩양식의 개념 및 관련 제도

1. 개념

일반적으로 양식업(Aquaculture Industry)이라 하면 사회 경제적 편익을 위하여 통제되거나 선정된 환경 하에서 수산생물을 길러서 판매하는 사업이라 정의한다.

이러한 일반적인 양식업의 개념을 활용하여 빌딩양식의 개념을 정의하고자 한다. 우선 빌딩양식(Vertical Aquaculture)이란 사회 경제적 편익을 위하여 육상의 빌딩에서 최적의 환경 및 경제적 조건을 인위적으로 조성하고 소량의 양식수를 사용하여 수산생물을 기르는 것이라 할 수 있다 그리고 빌딩양식업은 빌딩양식장에서 수산생물을 길러서 가공, 판매 및 관련 경제 활동을 통해 사회 경제적 편익을 추구하는 사업이라 할 수 있다.

현재의 양식방법은 자연 상태에서 양식하는 자연양식, 육상수조식, 그리고 최근 시행하고 있는 육상 SRS양식 등이 있는데, 본 빌딩양식은 여러 가지 측면에서 기존의 양식과는 다른 면이 있다.

즉 기존 양식 개념과 비교해 볼 때 빌딩양식은 장소가 육상의 빌딩이라는 점, 환경 및 경제적인 조건을 인위적으로 조성한다는 점, 소량의 양식수를 사용하여 선반식으로 양식한다는 점, 그리고 단순히 수산생물을 증식하거나 길러서 판매만 하는 것이 아니라 가공, 유통 및 관련 사업을 동시에 시행한다는 점에서 다르다.

통상 빌딩양식 하면 빌딩에서 선반식으로 양식하면 되는 것 아니냐는 의견도 있다. 그러나 빌딩양식은 본 연구에서 세계 최초로 제안한 아이디어로서 개발되어야 할 기술도 많을 뿐만 아니라, 도심의 빌딩에서 양식하기 때문에 단순 판매가 아니라 양식물을 이용한 다양한 사업을 동시에 수

행할 수 있는 시스템도 개발되어야 한다. 따라서 빌딩양식은 기존의 양식업과는 전혀 다른 시각에서 접근하여야 할 것이다.

기존의 양식과 빌딩양식을 차이점을 알아보기 위하여 <표 2-1>에서는 장소 등 11개 부문에 대하여 자연양식, 육상수조식양식, SRS양식 그리고 빌딩양식을 비교하였다.

【 표 2-1 】 빌딩양식업과 기존양식의 비교

구 분	자연양식	육상수조식양식	SRS양식	빌딩양식
장 소	해면, 내수면	육상 단층건물	육상 단층건물	육상 고층빌딩
자연환경	자연상태	인위적조성	인위적조성	인위적조성
양식방법	가두리식	단층수조식	단층선반식	복층선반식
양식수량	자연의존	대량	소량	소량
양식수처리	자연의존	대형정화처리	소형정화처리	소형정화처리
소비지와의 거리	원거리	원거리	원거리 (지가문제)	단거리
자동화가능성	소	중	대	극대
기술융복합가능성	소	중	대	극대
대상생물	다수	소수	소수	소수
전력	무	기존전력 대량	기존전력 대량	자체 태양력
사업형태	양식판매	양식판매	양식판매	양식판매/가공/ 레저관광 등

주 : 육상수조식양식은 우리나라 수조식, 모듈양식 등 육상건물의 수조에서 양식하는 모든 양식방법을 통칭하고, SRS양식은 유럽 및 국내 올진에서 현재 사용하는 단층 선반식양식을 일컫음

이상의 빌딩양식의 정의에 의하면 빌딩양식이 성립하기 위해서는 전제가 되어야 할 몇 가지 기본요소가 존재한다. 첫째는 육상의 빌딩에서 양식

하기 위하여 소량의 물을 사용하는 선반식 양식이 가능해야 한다. 선반식 양식은 1990년대 말 유럽에서 개발한 SRS와 같은 양식기술의 도입이 필요하다. 이 기술의 핵심은 기존의 육상수조식양식에서는 약 1m 수심의 수조에서 대량의 자연수를 취수하여 양식하는 방법과는 달리 대상생물이 잠길 정도만의 양식수를 활용하는 것이다. 이러한 기술의 개발로 수조의 깊이가 낮아지고 소량의 양식수만을 사용하게 됨으로서 선반식 양식수조가 가능하게 되는 것이다.

두 번째는 양식수를 재활용할 수 있어야 한다. 수조의 깊이가 낮아져서 소량의 양식수를 사용한다 하더라도 자연수 취수가 어려운 도심 빌딩에서 양식할 경우 절대적으로 많은 양의 양식수를 공급하는 것은 물리적으로나 경제적으로 불가능하다. 따라서 사용한 양식수를 재활용할 수 있는 기술이 전제되어야 한다. 이와 관련해서는 순환여과(Recirculating Aquaculture System : RAS) 기술과 바이오플록 기술과 같은 수처리 및 노폐물 처리기술이 도입되어야 한다. 순환여과기술은 다양하게 개발되어 있고, 바이오플록 기술도 최근 활발하게 개발 중에 있다. 바이오플록 기술이 훨씬 경제적이지만 아직 기술의 안정도는 신뢰하기가 어려운 상황이라 이에 대한 검토가 필요하다.

세 번째는 양식의 자동화가 가능해야 한다는 것이다. 빌딩의 선반에서 양식할 경우 관리해야 할 수조가 수백 개가 넘는다. 인력으로 양식시설물과 양식물을 관리한다는 것은 거의 불가능하다고 할 수 있다. 즉 빌딩양식은 사료의 급이, 사육수 양 및 수질의 관리, 양식어의 선별 및 이송 등을 완전자동화하고, 양식공장의 온도 및 습도 등도 완전히 기계화가 되어 있어야 한다. 또한 질병 발생 시 다른 양식어로의 확산을 방지하고 품질을 높이기 위하여 가능한 소수 단위로 분리입식하고, 출하도 원하는 크기별로 자동시스템을 통하여 양식선반에서 자동으로 선별하여 수확하는 시스템을 구축하여야 한다. 그리고 비용 최소화, 위기 대처능력 제고 및 고품질 고가격을 실현하기 위하여 투입요소 및 출하량의 관리, 양식생물의 정보, 양식

공장의 정보 등을 완전 정보화하는 온라인 생산체제가 구축되어야 한다. 따라서 빌딩양식은 기존의 양식기술 외에 IT, BT, NT, ET 및 MT 등을 융복합한 기술 개발이 이뤄져야 할 것이다.

네 번째는 양식을 위한 빌딩을 설계하고 건축하여야 한다. 수직농장보다도 더 까다로운 조건을 가지고 있는 것이 빌딩양식이다. 즉 물속에서 살아있는 생물을 길러내야 하기 때문에 습도, 온도 및 채광 등을 완벽하게 조절할 수 있는 건축공학기술이 필요하다.

마지막으로는 양식을 위한 전력의 문제이다. 기존 육상수조식에 비하여 단위생산당 전력사용량은 양식수를 적게 사용하기 때문에 낮으나, 고층 빌딩에서 양식할 경우 만만치 않은 전력이 사용된다. 양식을 위하여 기존의 화석연료를 이용한 전력을 사용한다면 저탄소 시대에 맞지 않다. 따라서 빌딩양식이 가지고 있는 장점이 빌딩을 태양력 발전원으로 활용할 수 있는 기술이 있어야 한다.

이상에서 본 바와 같이 빌딩양식은 자연양식, 육상수조식양식, SRS양식과는 다른 새로운 개념의 양식이다. 빌딩양식은 자연재해 및 바다오염을 줄이고, 탄소배출을 줄이고 토지를 집약적으로 이용하여 효율을 극대화하는 것을 목적으로 한다.

빌딩양식 개념은 2004년 본 연구진이 국내 최초로 공장양식이란 개념으로 제안한 바 있고,¹³⁾ 2008년년에는 SRS를 도입하자는 시론을 게재한 바 있다.¹⁴⁾ 그리고 동년 공장양식을 빌딩양식이란 명칭으로 개칭하여 2010년 제3차 수산진흥종합대책에 정부의 정책사업으로 채택된 바 있다. 그러나 빌딩양식은 세계적으로 아직 정립되지 않은 첨단 육상양식기법이라 할 수 있다

13) 류정곤, “공장형 양식을 통한 양식혁명”, 농수축산신문 시론, 2004. 11. 8.

14) 류정곤, “미래 양식산업은 최첨단 Shallow Raceway System(저수유수식시스템)으로 개척한다”, KMI 수산정책연구본부 News Letter 제8호 시론, 2008. 10. 30.

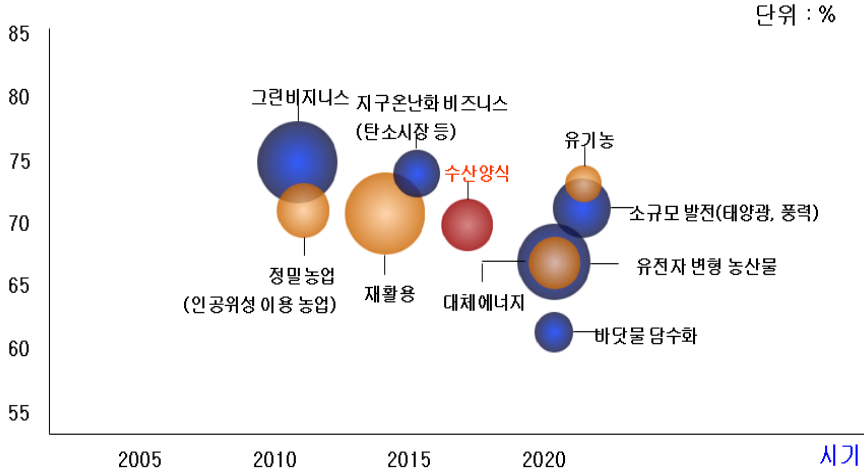
2. 필요성

1) 미래 생명산업으로 양식업 부상

최근 미래 생명산업으로 양식업의 중요성이 부쩍 부각되고 있는 것은 단순히 수산 분야에 종사하는 이들의 희망이나 부풀리기가 아니다. 미래학자나 경제학자 등 일반분야 전문가들을 통해 양식의 중요성이 더욱 강조되고 있는 것이다. 유럽의 미래학자 Patrick Dixon은 2002년 Aquavision Magazine에서 양식을 미래 유망산업으로 전망한 바 있고, William E. Halal은 2018년에는 양식산업 주력산업으로 두각을 나타낼 것이라고 2006년에 전망했다. 이를 요약한 <그림 2-1>의 미래 산업 전망은 많은 시사점을 우리에게 부여하고 있다. 수산양식이 2015년에서 2020년 사이에 중요한 산업으로 자리하고 있다는 점에 주목해야 한다.

이들의 미래 양식산업에 대한 밝은 전망은 지구상의 식량위기와 양식만이 가지고 있는 잠재적 발전동력에 근거를 두고 있다고 할 수 있다. 즉 세계의 식량수급은 잉여에서 부족과 불균형 상태로 전환되면서 글로벌 식량위기가 가속화되기 때문이다. 더욱이 최근 튀니지의 재스민 향기로 불리는 중동사태의 근본적인 원인이 식량 부족으로 인하여 민심이 돌아선 데 기인한다는 분석결과는 식량문제가 얼마나 심각한가를 잘 보여 주고 있다.

전문가 신뢰도



|그림 2-1| 미래 산업 전망

지구상 식량에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 농산물의 경우 기후 변화로 인한 생산의 불안정성과 원천적인 생산부지의 제약으로 인하여 공급이 제한되고, 바이오에너지 생산을 위한 곡물 수요 및 국제 곡물메이저들에 의한 가격개입 등으로 인하여 글로벌 농산물 식량위기는 더욱 가속화되고 있다.

이러한 현상은 농산물과 더불어 세계 2대 식량이라 할 수 있는 수산물의 경우도 비슷한 양상을 보이고 있다. 즉 세계 수산물 생산을 보면 공급의 절대적인 비중을 차지했던 자연산 생산이 1990년대 이후 정체 내지는 감소하여 2008년 현재 약 1억 5,000만 톤 중 9,000만 톤에 불과한 실정이다. 다행히 1980년대부터 증가하기 시작한 양식산이 약 7,900만 톤 정도 생산되면서 현재의 수산물 공급을 주도하고 있다.

| 표 2-2 | 세계 수산물 생산 및 활용

단위 : 백만 M/T

부 문		2004	2005	2006	2007	2008	2009
생산	내수면어업	33.8	36.2	38.5	40.6	43.1	45.1
	어 로	8.6	9.4	9.8	10.0	10.2	10.1
	양 식	25.2	26.8	28.7	30.7	32.9	35.0
	해면어업	100.5	100.1	98.6	99.2	99.2	100.0
	어 로	83.8	82.7	80.0	79.9	79.5	79.9
	양 식	16.7	17.5	18.6	19.2	19.7	20.1
	어로합계	92.4	92.1	89.7	89.9	89.7	90.0
	양식합계	41.9	44.3	47.4	49.9	52.5	55.1
	합 계	134.3	136.4	137.1	139.8	142.3	145.1
이용	식 량	10.4	107.3	110.7	112.7	115.1	117.8
	비식용	29.8	29.1	26.3	27.1	27.2	27.3
	1인당 소비(kg)	16.2	16.5	16.8	16.9	17.1	17.2

자료 : FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*, 2010.

우리나라의 경우를 보면 더욱 이러한 현상이 심화되고 있는데, 1980년 대 중반을 정점으로 연근해산의 생산은 감소를 계속하여 2006년에는 양식 산이 연근해산을 초과하기에 이르렀다.

| 표 2-3 | 우리나라 업종별 어업 생산량

단위 : M/T

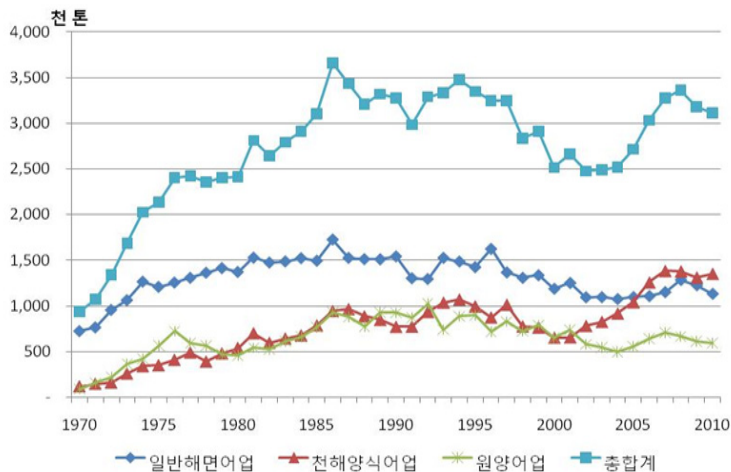
구 분	합 계	일반해면어업	천해양식어업	원양어업	내수면어업
1990	3,198,234	1,471,810	772,731	919,312	34,381
1995	3,348,216	1,425,213	996,451	897,324	29,228
2000	2,514,225	1,189,000	653,373	651,267	20,585
2005	2,714,050	1,097,041	1,041,074	552,096	23,839
2006	3,032,116	1,108,815	1,259,274	639,184	24,843
2010	3,110,634	1,132,536	1,355,000	592,116	30,982

자료 : 통계청, 어업생산통계시스템(<http://fs.fips.go.kr>)

반면 세계 수산물 소비는 매년 증가하여 1996년 6,600만 톤에서 2009년에는 1억 1,800만 톤으로 증가하였고, 1인당 수산물 소비량도 동기간에 13.3kg에서 17.2kg으로 증가하고 있다. 수산물 소비국들도 과거의 아시아 중심에서 유럽, 북미 및 남미와 아프리카 국가들로 확산되고 있어 수산물 소비는 더욱 확대될 것으로 전망된다.

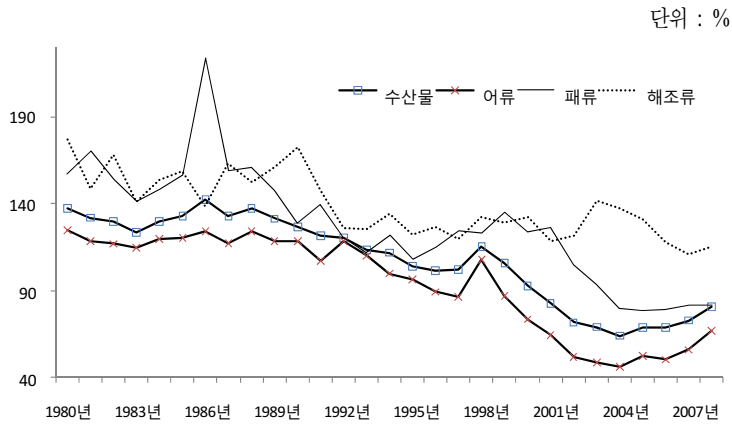
이는 수산물 교역을 통해서도 알 수 있다. 1980년 세계 생산량 대비 29.3%이었던 수출량은 2008년에는 38.9%로 증가하면서 수산물 교역액 또한 314억 달러에서 2,000억 달러 이상으로 증가하여 각국으로 수산물이 수출되어 소비되고 있음을 알 수 있다.

우리나라 수산물 소비 상황은 더욱 심각한데 같은 기간 1인당 소비량이 27kg에서 54.9kg으로 급증하면서 2008년 수산물 자급률은 78%에 그치고 있다.



자료 : 통계청, 어업생산통계시스템(<http://fs.fips.go.kr>)

[그림 2-2] 우리나라 수산물 생산 추이



자료 : 한국농촌경제연구원, 식품 수급표 참조 작성

[그림 2-3] 우리나라 수산물 자급률 추이

또한 미래시대가 생명시대가 될 것이라고 OECD가 전망한 것도 중요한 요인으로 작용하고 있다. 생명산업의 핵심은 생물을 식량 또는 식품뿐만 아니라 기타 산업생산의 원료로 활용하여 새로운 산업을 창출하는 것이다. 즉 의약품, 화장품, 관상어, 신물질 제품 등을 생산하기 위하여 생물을 활용하는 시대가 온다는 것이다. 그러나 문제는 이러한 생명시대의 생물자원을 어떻게 확보하는가인데, 자연에서 이를 확보하는 것은 한계가 있다. 따라서 인류가 가지고 있는 기술과 자본을 투입하여 지속적이고 안정적이면서도 저렴하게 생산하는 방법이 바로 양식업이기 때문이다.

현재 후진국 선진국 가릴 것 없이 세계는 양식산업 육성에 많은 노력을 하고 있는 중이다. 특히 주요 수산선진국들의 양식산업 전략이 두드러지는데 핵심 전략을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 수산물을 저지방 고단백 안전 식품으로서 식량안보 산업화하는 추세에 있다는 것이다. 둘째는 양식산업을 기후변화 대응 및 새로운 국가 발전동력 산업인 저탄소 녹색성장 산업으로 발전시키고자 하고 있다. 셋째는 미래 생명산업화 시대의 다양한 수요에 부응하는 생태 및 수산원료 공급원을 양식에서 찾고 있다는 것이다. 넷째는

친환경 책임양식, 식품안전 및 국제표준화를 통한 지속가능한 글로벌 양식 산업으로 육성하고 있으며 마지막으로 경쟁력 있는 산업으로 양식산업을 발전시키기 위하여 육종기술·신양식기술의 개발 및 기술의 융복합화를 추진하고 있다.

이처럼 세계 각국은 식량 확보와 새로운 발전동력산업 육성을 위하여 양식에 많은 투자를 하고 있고, 양식산업화의 무한경쟁시대가 도래하고 있는 것이다.

세계의 농축산업의 발전양상을 보면 1970년 이후 잡는 어업과 축산업의 생산 성장률이 1.2%와 2.8%에 그친 반면 양식업은 8.8% 이상 성장하고 있다.

이러한 양식업의 성장은 수산물 수요는 증가하고 있으나 수산자원의 감소에 따라 자연산 수산물 공급이 정체 내지는 감소하고 있기 때문이다. 특히 미래 생명산업은 생명자원의 저비용 대량생산에 의하여 달성될 수 있음을 고려할 때 양식산업은 수산식량뿐만 아니라 다양한 생명산업 발전을 위한 원료공급원으로서 그 역할이 증대할 것으로 전망된다.

2) 해상양식 환경오염 및 적지 부족의 한계

해상양식은 세계적으로 수산물 공급의 중요한 원천으로 발전하여 왔다. 그러나 자연재해의 위험, 양식적지의 제한, 해양오염 및 해양공간 이용의 경합 등으로 인하여 해상양식의 발전에는 많은 한계가 있다.

특히, 우리나라 내만 중심 양식업은 신규개발 가능어장이 포화상태이고 연안어장 오염으로 인한 문제, 매년 태풍, 적조 등 자연재해로 많은 손실을 입고 있다. 또한 해상양식어업은 면허어업으로서 대부분 영세한 연안어촌 어업인들에 의하여 이뤄짐으로써 양식업의 규모화 및 새로운 첨단 양식업으로 전환을 통한 경쟁력 확보에 한계가 있다.

2010년 말 기준 우리나라 해상양식어업 면허는 총 9,815건에 면적은 14만

1,015ha이다. 건수 면에서는 패류가 5,669건(58%)으로 가장 많으나, 면적으로는 해조류가 8만 1,019ha(58%)로 가장 넓은 면적을 차지하고 있다. 지역별로는 전남이 건수나 면적 면에서 가장 많은 비중을 차지한다. 그러나 이들 대부분의 어장이 내만이 위치해 있고 양식적지가 거의 없어 더 이상의 생산을 증대시킬 수 있는 여지가 없다는 것이다.

| 표 2-4 | 해상양식어업 면허 현황(2010년)

단위 : 건, ha

구 분		합 계	해조류	패류	어류 등
합계	건수	9,815	2,709	5,669	1,437
	면적	141,015	82,019	49,988	9,008
부산	건수	130	127	1	2
	면적	1,666	1,654	6	7
인천	건수	274	64	161	49
	면적	2,735	908	1,563	264
울산	건수	60	45	10	5
	면적	404	286	99	19
경기	건수	88	31	47	10
	면적	1,842	1,093	717	33
강원	건수	169	11	27	131
	면적	3,659	73	277	3,309
충남	건수	663	47	490	126
	면적	9,940	4,102	4,464	1,374
전북	건수	463	80	312	71
	면적	8,456	4,809	3,109	538
전남	건수	5,278	2,262	2,791	225
	면적	96,372	68,947	26,410	1,015
경북	건수	475	17	179	279
	면적	3,279	33	2,465	781
경남	건수	2,172	24	1,617	531
	면적	11,671	112	9,907	1,652
제주	건수	43	1	34	8
	면적	991	3	971	17

자료 : 농림수산식품부 내부자료

소유자별 해상양식어업 면허 현황을 보면 2009년 말 기준으로 어촌계가 건수와 면적 모두 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 어촌계, 수협 및 영 어조합법인의 어업권은 해조류와 패류가 대부분이고, 개인협업의 어업권은 패류와 어류 등이 대부분이다.

이러한 양식어장의 소유 형태는 새로운 자본 및 인력이 우리나라 해상의 양식어업에 진출할 수 있는 기회가 거의 없다는 것을 의미하고 있다. 즉 면허어업은 물권에 준하는 어업권이고, 대부분 공동체 소유이므로 개인이 이용할 수 있는 기회는 적다. 또한 이용한다 하더라도 이용할 수 있는 어장 면적이 좁아서 대규모 사업화는 불가능한 실정이다.

표 2-5 | 소유자별 양식어업권 현황(2009년)

단위 : 건, ha, %

구 분		합 계		해조류		패 류		어류 등	
		보유량	비율	보유량	비율	보유량	비율	보유량	비율
합 계	건수	9,709	100.0	2,654	27.3	5,635	58.0	1,420	14.6
	면적	139,876	100.0	81,611	58.3	49,506	35.4	8,749	6.3
어촌계	건수	4,666	100.0	1,615	34.6	2,658	57.0	393	8.4
	면적	77,230	100.0	46,267	59.9	26,211	33.9	4,392	5.7
수 협	건수	1,469	100.0	821	55.9	590	40.2	58	3.9
	면적	37,936	100.0	32,544	85.8	5,154	13.6	238	0.6
개 인 협 업	건수	3,412	100.0	174	5.1	2,287	67.0	951	27.9
	면적	23,018	100.0	1,558	6.8	17,430	75.7	4,030	17.5
영 어 조 합	건수	162	100.0	44	27.2	100	61.7	18	11.1
	면적	1,683	100.0	883	52.5	712	42.3	89	5.3

자료 : 상계서

해상양식어업 생산을 보면 생산량 면에서는 해조류가 가장 많으나 금액 면에서는 어류가 가장 많다. 이는 당연한 논리이지만 어류의 가격이 비싸고 초과수요의 정도가 심하기 때문이다. 즉 어류양식을 통한 공급의 증대가 필요한 것이다.

| 표 2-6 | 우리나라 해상양식어업 생산량

단위 : M/T, 백만 원

구 분	2008		2009		2010	
	생산량	생산액	생산량	생산액	생산량	생산액
합 계	1,381,003	1,520,122	1,313,355	1,846,311	1,355,000	1,815,646
어 류	99,006	764,565	109,516	981,609	80,110	867,695
패 류	343,704	368,785	326,544	494,014	355,699	509,406
해 조 류	921,024	336,620	858,659	319,188	901,672	379,001
갑 각 류	1,924	27,719	1,893	28,518	2,731	36,387
기타수산동물	15,345	22,433	16,743	22,981	14,788	23,157

자료 : 상계서

또 하나의 문제점으로는 자연재해의 영향을 많이 받는다는 것이다. 2006년부터 2010년 현재까지 양식어업별 자연재해 피해건수는 약 1,100만 건에 약 7,000만 마리의 생물피해가 발생하였다. 피해대상별로는 해수면양식어류 피해가 가장 많았고, 다음이 패류, 내수면양식어류 순으로 나타났다.

| 표 2-7 | 양식대상별 자연재해 피해량

단위 : 마리

구 분	합 계	2006	2007	2008	2009	2010
합 계	80,667,036	15,103,393	27,535,523	473,019	2,615,002	34,940,098
어 류	133,448	4,186	14,395	1,759	2,500	110,608
패 류	10,432,817	1,432,144	4,753,853	364,000	1,338,642	2,544,178
해수면양식어류	60,711,371	7,002,690	21,701,207	0	440,300	31,567,174
해 조 류	290,332	54,429	89,325	2,708	95,996	47,875
내수면양식어류	8,847,187	6,599,790	850,300	103,800	731,732	561,565
내수면양어장	172,730	8,387	126,063	723	5,682	31,874
부대시설	4,457	376	376	0	151	3,554
기 타	74,695	1,391	4	30	0	73,270

자료 : 중앙재난안전대책본부 소방방재청

2006년부터 2010년까지 피해금액은 생물피해가 약 2,350억 원, 시설부분이 약 730억 원에 이른다. 생물 피해 가운데 해수면양식어류의 피해가 전체 피해액의 65%를 차지하고 있고, 패류와 기타 수생동물의 피해가 각각 19%, 13%를 차지한다. 넙치, 농어, 능성어, 돔, 방어, 복어, 볼락, 송어, 조피볼락, 쥐치 등 주요 양식어류가 피해어종이다.

양식시설물 피해액 중 해조류의 시설물 피해액이 전체 피해액의 58.4%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 주요 어종은 김, 다시마, 톳 등의 피해가 컸다.

| 표 2-8 | 양식생물 대상별 자연재해 피해금액

단위 : 백만 원, %

구 분	2006	2007	2008	2009	2010	합 계
해수면양식어류	5,068	107,988	-	493	39,349	152,898(65.0)
패류	37,241	3,146	273	1,131	3,906	45,697(19.4)
해조류	967	513	0	490	15	1,985(0.8)
기타수생생물	997	5	36	-	30,964	32,003(13.6)
내수면양식어류	1,591	376	83	219	368	2,637(1.1)
합 계	45,864	112,028	392	2,333	74,602	235,220(100.0)

자료 : 상계서

3) 고비용 저효율 육상양식 대안 필요

육상양식어업 엄격한 의미에서는 육상해수양식업 중 우리나라 육상넙치양식업은 해상의 한계를 극복한 세계적인 선진사례이다. 하지만 현 육상양식업은 대량의 해수이용을 위하여 임해지역에 위치함에 따라 해양환경 오염 발생, 집약적인 토지 이용 곤란, 소비자와 원거리로 인한 유통비용 증가, 해수취수 비용 과다 및 탄소과다 배출 등의 문제점을 안고 있다. 즉 경제적인 문제뿐만 아니라 사회적인 문제가 있어 새로운 형태로의 전환이 필요한 시점에 있다.

| 표 2-9 | 육상양식어업 허가 현황(2010년)

단위 : 건, ha

구 분		합계	수조식				축제식				
			소계	어류	전복	기타	소계	어류	새우	해삼	기타
합 계	건수	1,329	999	789	178	32	330	78	232	4	16
	면적	1,416	256	240	13	4	1,160	234	861	4	61
부산시	건수	18	18	18	0	0	0	0	0	0	0
	면적	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
인천시	건수	24	0	0	0	0	24	5	14	1	4
	면적	76	0	0	0	0	76	6	68	1	1
울산시	건수	12	12	11	1	0	0	0	0	0	0
	면적	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
경기도	건수	40	12	12	0	0	28	15	13	0	0
	면적	48	1	1	0	0	47	5	42	0	0
강원도	건수	19	19	5	3	11	0	0	0	0	0
	면적	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0
충남도	건수	103	3	2	1	0	100	22	66	3	9
	건수	364	0	0	0	0	364	95	218	3	48
전북도	건수	34	8	8	0	0	26	12	14	0	0
	면적	82	3	3	0	0	79	44	35	0	0
전남도	건수	545	404	253	136	15	141	24	115	0	2
	건수	657	90	77	10	3	567	84	474	0	9
경북도	건수	83	83	80	1	2	0	0	0	0	0
	면적	17	17	17	0	0	0	0	0	0	0
경남도	건수	113	102	89	11	2	11	0	10	0	1
	면적	38	11	10	0	0	27	0	24	0	3
제주도	건수	338	338	311	25	2	0	0	0	0	0
	면적	125	125	123	2	0	0	0	0	0	0

자료 : 상계서

육상해수양식어업은 인공적으로 조성한 육상의 해수면에서 수산동식물을 양식하는 어업으로서 크게 수조식과 축제식으로 구분되고, 2010년 말 현재 1,329건에 1,416ha가 허가되었다. 본 연구에서 가장 비교대상이 되는 수조식은 총 999건으로 절대 다수이나, 면적으로 축제식이 1,160ha로 대부분을 점유하고 있다. 지역별로는 전남, 제주, 충남, 경북 순이다.

현재 육상수조식양식어업은 어류 789건과 전복 178건으로 대부분을 점하고 있지만, 면적으로 볼 때는 어류가 256ha 중 240ha로 대부분을 점유하고 있다. 지역별로는 전남이 전체적으로는 많지만 어류의 경우는 제주가 가장 많다.

그런데 문제는 이러한 육상수조양식의 위치가 주 소비도시인 수도권과 약 450여 km가 떨어진 완도 및 제주에 밀집돼 있다는 것이다. 수송비 부담, 수송에 따른 탄소배출의 문제 및 양식어 선도의 저하 등 품질 문제가 중요한 문제점으로 지적되고 있다.

또한 대량의 해수를 일정한 장소에서 지속적으로 사용하는 양식으로 인하여 인근 바다 수질이 나빠져 폐사의 원인으로 작용하고 있다. 현재 우리나라 육상수조양식의 폐사율은 40%를 넘는다는 것이 업계의 의견이다. 이러한 높은 폐사는 곧바로 생산성 저하 및 비용압박 요인으로 작용하게 되어 경영악화를 초래하고 경쟁력을 떨어뜨린다.

우리나라 육상수조식 어류양식의 원가는 kg당 약 7,400원으로 상당히 높은 편이다. 노르웨이 연어가격에 비하면 국제경쟁력을 가질 수 없는 요인이다. 또한 전력비가 비용의 약 14%인데 이는 대량의 해수를 취수함에 따른 비용분이 대부분이다.

| 표 2-10 | 우리나라 육상수조양식 생산 및 원가

단위 : kg, 만원, 원/kg

구 분	생산량	생산액	원가
500평 미만	29,624	24,588	8,132
500평 ~ 1,000평 미만	60,175	49,946	7,362
1,000평 ~ 2,000평 미만	116,731	96,887	7,214
2,000평 이상	229,313	190,330	7,027
전체 평균	95,656	79,394	7,434

4) 기후변화 대응 저탄소 녹색성장 양식업 전환 시급

최근 지구온난화에 따라 탄소배출을 최소화할 수 있는 저탄소 녹색성장 산업으로의 전환이 주요 국가정책 어젠다로 부상하고 있다. 그러나 기존의 해상양식과 육상양식은 해양환경 오염, 고비용 양식구조, 고탄소 배출 생산구조 등 문제점이 있고, 저탄소 녹색성장 시대에 부합하지 못하는 산업으로서 미래의 양식산업 발전의 동력으로는 한계가 있다.

따라서 기존의 해상 및 육상양식의 문제점을 해소하고 새로운 사회적 인 수요인 저탄소 녹색성장에 부합하는 새로운 양식산업 발굴이 필요한 시점이다.

3. 관련 법률 및 제도 검토

1) 육상수조식양식장

수산업법에 따르면 수산물을 양식하기 위해서는 시장·군수·구청장의 면허 또는 허가를 받아야 한다. 어류를 양식할 경우, 면허어업에 포함되는 것이 ‘어류 등 양식어업’과 ‘외해양식어업’이 있으며, 허가어업에 ‘육상해수

양식어업’과 ‘종묘생산어업(중간육성 포함)’이 있다.

본 연구의 대상인 빌딩양식과 관련된 수산 법령은 아직 없기 때문에 여기에서는 어류 양식 중에서 양식 장소가 육상으로 같은 육상해수양식어업, 특히, 육상수조식양식을 중심으로 관련 제도를 검토한다.

수산업법(41조)에는 허가를 받아야 하는 육상해수양식어업의 종류는 대통령령(수산업법시행령)에서, 양식물의 종류와 시설기준은 농림수산물부령(어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙)에서 정하도록 되어 있다.

먼저, ‘수산업법시행령’에는 허가어업인 육상해수양식어업의 종류를 육상해수양식어업은 크게 육상수조식과 육상축제식으로 나뉜다. 그리고 ‘어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙’에 따르면, 육상수조식양식을 허가 받기 위해서는 양식시설에 대해 수면을 관할하는 허가권자(시장·군수·구청장)에게 허가신청서와 첨부서류를 제출해서 어업허가를 받아야 한다. 허가신청서의 작성 내용은 양식어업의 종류, 양식물의 종류, 어업의 시기 등을 기재하고, 시설의 계획서(설계도 포함) 또는 배치도와 다른 사람의 시설을 임차한 경우에는 임차사실을 증명할 수 있는 서류를 첨부한다(<표 2-11> 참조).

허가권자는 신청된 허가신청서 등을 검토하여 허가 제한이나 결격사유가 없으면 어업허가증을 발급함으로써 양식할 수 있는 권리가 성립하게 된다.

표 2-11 | 육상(수조식)해수양식 허가신청서의 주요 내용

항 목	주요 내용
신청인 인적사항	성명, 주소, 연락처 등
신청서 내용	양식물의 종류, 어업의 시기, 허가를 받으려는 기간, 허가를 받으려는 시설의 위치, 시설의 종류 및 규모·장비
첨부 서류	시설의 계획서(설계도 포함) 또는 배치도 1부, 다른 사람의 시설을 임차한 경우 임차사실을 증명할 수 있는 서류 1부

주 : 어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙 [서식2]의 내용을 정리한 것임

또한 ‘어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙’에 의하면, 육상해수양식의 종류별 양식물의 종류 및 시설기준을 정하고 있다(<표 2-12> 참조).

표 2-12 | 육상(수조식)해수양식의 종류별 양식물의 종류 및 시설기준

양식 종류	양식물의 종류	시설기준	
		규모	시설 및 장비
육상수조식 해수 양식어업	1. 어류, 패류, 갑각류, 해삼, 그 밖의 유용한 수산동식물 2. 복합양식의 경우에는 어류·해삼, 패류·해삼, 갑각류·해삼	수조면적 100㎡ 이상	1. 수질오염방지시설 : ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙’ 제2조 관련 별표 1 제1호 및 비고, 같은 법 시행규칙 제87조 관련 별표 19 제1호에 따른 시설 설치 등의 조치 2. 적조·고수온 방지시설 : 액화산소공급장치, 고순도산소(순도 90% 이상)발생기, 해수여과시설, 해수저장시설, 지하해수공급시설 중 1개 이상. 다만, 강원도, 전라남도 신안군 이서, 경상북도 울릉군 및 제주특별자치도의 경우에는 이를 적용하지 아니한다.
육상축제식 해수 양식어업	1. 어류, 패류, 갑각류, 해삼, 그 밖의 유용 수산동식물 2. 복합양식의 경우에는 어류·해삼, 패류·해삼, 갑각류·해삼	시설면적 0.2ha 이상	3. 월동시설 : 월동이 필요한 양식물을 양식하려는 경우에는 일정 규모의 월동시설(시설규모, 시설비율, 수심 등에 관하여는 시·도지사가 어업 여건 등을 고려하여 별도로 정하여야 한다)

주 : 어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙 [서식2]의 내용을 정리한 것임

육상수조식양식의 양식물 종류는 어류, 패류, 갑각류, 해삼, 그 밖의 유용한 수산동식물 등이며, 시설기준은 수조면적 100㎡ 이상의 경우 수질오염 방지시설과 적조·고수온 방지시설을 설치하도록 되어 있다.

한편, 육상수조식양식장은 ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률(제2조)’의 규정에 따라 ‘기타 수질오염원’으로 정해져 있다. 기타 수질오염원이란 점오염원 및 비점오염원으로 관리되지 아니하는 수질오염 물질을 배출하는 시설 또는 장소를 말한다.¹⁵⁾ 동 법에 근거하여 육상수조식 양식장은 배출수와 관련한 제한을 받고 있다.

15) ‘점오염원’이란 폐수배출시설, 하수발생시설, 축사 등으로서 관개·수로 등을 통하여 일정한 지점으로 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말하며, ‘비점오염원’이라 함은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말한다.

| 표 2-13 | 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙의 기타 수질오염원

시설구분	대 상	규 모
수산물 양식시설	가. 내수면어업법 제6조에 따른 가두리 양식어장	면허대상 모두
	나. 내수면어업법 제6조 또는 제11조에 따른 양만장 (養鰻場) 또는 일반양어장	수조면적의 합계가 500㎡ 이상일 것
	다. 수산업법 제43조제2항제2호에 따른 육상해수양식 어업 중 수조식양식어업시설	수조면적의 합계가 500㎡ 이상일 것
비고 : 제1호나목 및 다목에 해당되는 시설 중 증발과 누수로 인하여 줄어드는 물을 보충하여 양식하는 양식장, 축제식양식장 및 전복양식장은 제외한다.		

주 : 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 [별표1]에서 양식 부분만 발췌한 것임

이러한 육상수조식양식장을 시설·관리하고자 하는 자는 환경부령이 정하는 바에 의하여 환경부 장관에게 수질오염물질의 배출을 방지·억제하기 위한 시설을 설치하여 신고해야 한다(법률 제60조). 구체적인 신고 내용은 ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙’(제86조)에 규정되어 있는데, 양식장의 명세서 및 도면, 양식장 면적, 수중 용적, 양식수, 면허기간, 양식어종, 사료먹이량, 먹이 횟수 등을 기재하도록 되어 있다.

그리고 ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙’(제87조)에는 육상수조식양식장에서 수질오염원에 대한 시설 설치 등의 조치 내용이 규정되어 있다(<표 2-14> 참조). 이에 따르면 사료찌꺼기·배설물과 슬러지 등을 처리하기 위해 면적이 사육시설면적의 20% 이상이고 깊이가 1m 내지 1.5m인 침전시설(배출수가 1.5시간 이상 체류할 수 있는 경우에는 깊이를 1m 이하 가능) 또는 이와 동등 이상의 효율이 있는 것으로 입증할 수 있는 방지시설을 설치해야 한다. 그리고 침전시설에 가라앉은 침전물에 대하여는 주기적으로 침전물이 확산되지 아니하도록 세목(細目)여과망·모래여과상 등의 여과시설 또는 침전물 탈수시설을 설치해야 하는 것으로 되어 있다.

표 2-14 | 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙의 수산물 양식시설 조치

양식시설	시설 설치 등의 조치
가두리 양식어장	1) 사료를 준 후 2시간 지났을 때 침전되는 양이 10% 미만인 부상사료를 사용한다. 다만, 10cm 미만의 치어 또는 종묘에 대한 사료는 제외한다. 2) 사료관리법 제10조에 따라 농림부장관이 고시한 사료공정에 적합한 사료만을 사용하여야 한다. 다만, 특별한 사유로 시·도지사가 인정하는 경우에는 그러하지 아니하다. 3) 부상사료 유실방지대를 수표면 상·하로 각각 10cm 이상 높이로 설치하여야 한다. 다만, 사료유실의 우려가 없는 경우에는 그러하지 아니하다. 4) 분뇨를 수집할 수 있는 시설을 갖춘 변소를 설치하여야 하며, 수집된 분뇨를 육상으로 운반하여 호소에 재유입되지 아니하도록 처리하여야 한다. 5) 죽은 물고기는 지체 없이 수거하여야 하고, 육상에 운반하여 수질오염이 발생되지 아니하도록 적정하게 처리하여야 한다. 6) 어병의 예방이나 치료를 하기 위한 항생제를 지나치게 사용하여서는 아니 된다.
양만장 및 일반양어장	1) 사료찌꺼기·배설물과 그 밖의 슬러지 등을 적정하게 처리하기 위하여 면적이 사육시설면적의 20% 이상이고 깊이가 1m 내지 1.5m인 침전시설(배출수가 1.5시간 이상 체류할 수 있는 경우에는 깊이를 1m 이하로 할 수 있다) 또는 이와 동등 이상의 효율이 있는 것으로 입증할 수 있는 방지시설을 설치하여야 한다. 다만, 비고 1에 따라 배출수의 수질기준이 적용되는 경우에는 침전시설 또는 방지시설을 다르게 설치할 수 있다. 2) 양식수조를 청소하거나 양식에 사용되는 기계·기구류를 세척할 때에 발생하는 수질오염물질은 1)의 침전시설에 유입시켜 처리하거나 별도의 침전시설 등을 설치하여 처리하여야 한다. 3) 양식수조를 청소할 때에는 청소주기 및 연간 청소횟수를 신고서에 적어야 한다. 4) 1) 또는 2)에 따라 설치된 침전시설에 가라앉은 침전물에 대하여는 주기적으로 침전물이 확산되지 아니하도록 하는 방법으로 제거하여야 하며, 이 경우 세목(細目)여과망·모래여과상 등의 여과시설 또는 침전물 탈수시설을 설치하여야 한다. 5) 죽은 물고기는 지체 없이 수거하여야 하고, 육상에 운반하여 수질오염이 발생되지 아니하도록 적정하게 처리하여야 한다. 6) 어병의 예방이나 치료를 하기 위한 항생제를 지나치게 사용해서는 아니 된다.
수조식양식시설	양만장 및 일반양어장에 정한 조치의 내용과 같다.
비고 : 1. 양만장, 일반양어장, 수조식 양식어업시설에 대하여는 시·도지사가 지역 환경의 특수성을 고려하여 필요하다고 인정하는 경우에는 환경부장관의 승인을 얻어 배출수의 수질기준을 정하고, 별도의 시설 또는 조치를 명령할 수 있다. 2. 산업단지나 그 밖에 사업장이 밀집된 지역에 설치된 기타 수질오염원의 경우에는 그 시설에서 발생하는 수질오염물질을 공동으로 처리하기 위하여 공동처리시설을 설치할 수 있다. 3. 하나의 사업장에 폐수배출시설과 기타 수질오염원이 함께 설치되어 있는 경우로서 기타 수질오염원에서 발생하는 수질오염물질이 배출허용기준을 초과하는 경우에는 이를 방지 시설에 유입하여 처리할 수 있다.	

주 : 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 [별표1]에서 양식 부분만 발췌한 것임

2) 빌딩양식장

한편, 빌딩양식의 경우 아직까지 수산 관련 법령이 마련되어 있지 않다. 빌딩양식장이 바다와 가까운 지역에 위치할 경우, 현행의 ‘수산업법’ 및 ‘어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙’, 그리고 ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률’ 등에서 육상수조식양식과 관련된 규정을 준용하여 적용할 수 있을 것이다. 하지만 빌딩양식장이 바다와 떨어진 도심지역에 건설될 경우 관련 법률의 검토가 있어야 한다.

빌딩양식장의 구성은 크게 양식장, 가공시설, 횃집 등으로 이뤄지는 것으로 하여 도심지역에 건축 가능 여부 및 관련 시설 등에 대한 법률을 검토하였다.

먼저, ‘국토의 계획 및 이용에 관한 법률’(제6조)에 의하면 토지의 이용 실태 및 특성, 장래의 토지 이용 방향 등을 고려하여 국토를 도시지역¹⁶⁾, 관리지역¹⁷⁾, 농림지역¹⁸⁾, 자연환경보전지역¹⁹⁾의 4가지 용도지역으로 구분하고 있다. 이 중에서 도시지역은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역 등으로 구분하고²⁰⁾ 이들 지역은 다시 세분화된 용도지역으로 나누고 있으며, 관리지역도 보전관리지역, 생산관리지역, 계획관리지역으로 구분하고 있다.

16) 인구와 산업이 밀집되어 있거나 밀집이 예상되어 그 지역에 대하여 체계적인 개발·정비·관리·보전 등이 필요한 지역을 말한다.

17) 도시지역의 인구와 산업을 수용하기 위하여 도시지역에 준하여 체계적으로 관리하거나 농림업의 진흥, 자연환경 또는 산림의 보전을 위하여 농림지역 또는 자연환경보전지역에 준하여 관리할 필요가 있는 지역을 말한다.

18) 도시지역에 속하지 아니하는 농지법에 따른 농업진흥지역 또는 산지관리법에 따른 보전산지 등으로서 농림업을 진흥시키고 산림을 보전하기 위하여 필요한 지역을 말한다.

19) 자연환경·수자원·해안·생태계·상수원 및 문화재의 보전과 수산자원의 보호·육성 등을 위하여 필요한 지역을 말한다.

20) 주거지역은 거주자의 안녕과 건전한 생활환경의 보호를 위하여 필요한 지역이며, 상업지역은 상업이나 그 밖의 업무의 편익을 증진하기 위하여 필요한 지역이다. 공업지역은 공업의 편익을 증진하기 위하여 필요한 지역이고, 녹지지역은 자연환경·농지 및 산림의 보호, 보건위생, 보안과 도시의 무질서한 확산을 방지하기 위하여 녹지의 보전이 필요한 지역을 말한다.

빌딩양식장은 이들 토지 용도지역에 따라 건축 가능한 건축물이 다르게 적용된다. 그리고 빌딩양식장의 건설은 ‘건축법’에 적용받는데, 동 법 시행령(제3조4)의 용도별 건축물의 종류를 보면, 빌딩양식장을 구성하는 양식장, 가공시설, 횃집 등은 동물 및 식물 관련 시설 중 축사(양식장), 판매시설, 근린생활시설 등에 해당한다.²¹⁾

이상의 법률을 토대로 토지의 용도지역별로 빌딩양식장의 시설(양어장, 판매시설, 근린생활시설)에 대한 건축 가능 여부를 서울시 사례로 검토해 보면 다음 <표 2-15>와 같다. ‘국토의 계획 및 이용에 관한 법률(동법 시행령)’과 ‘서울시 조례’에 따르면 도시지역에서는 주거지역 중 준주거지역과 공업지역 중 준공업지역, 그리고 녹지지역 중 생산녹지지역과 자연녹지지역에서 양어장, 판매시설, 근린생활시설이 포함된 빌딩양식장의 건축이 가능한 것으로 판단된다. 하지만 그 외의 도시지역과 관리지역, 농림지역 등에서는 빌딩양식장 시설(양어장, 판매시설, 근린생활시설) 전부를 건축하기 힘들다. 또한 지자체 조례에 따라 건폐율 및 용적률 등이 다를 수 있으므로 실제로는 빌딩양식장의 규모 및 시설물 종류 등에 따라서 건축 가능한 건축물의 종류가 다를 수 있다.

21) 건축법 시행령 제3조 4에는 동물 및 식물 관련 시설 중 축사가 들어 있는데 축사에 양어 시설이 포함되어 있으며, 근린생활시설은 제1종과 제2종으로 나뉘지는데 제1종에는 슈퍼마켓과 일용품 건축물, 공중화장실 등이 있고, 제2종에는 일반음식점(횃집), 제조업소 등이 포함된다. 그리고 판매시설에는 도매시장, 소매시장, 상점 등이 포함되어 있다.

| 표 2-15 | 토지 용도별 빌딩양식장 시설물 건축 여부(서울시 사례)

구분	용도지역		건축 가능한 시설물 종류					
			국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령			서울시 조례		
			양식장	판매 시설	근린생활 시설	양식장	판매 시설	근린생활 시설
도시 지역	주거지역	제1종 전용주거						
		제2종 전용주거						
		제1종 일반주거						
		제2종 일반주거						
		제3종 일반주거						
		준주거*	○	○	●	●	●	●
	상업지역	중심상업						
		일반상업						
		근린상업						
		유통상업						
	공업지역	전용공업						
		일반공업						
		준공업**	○	●	●	●	●	●
	녹지지역 (4층이하)	보전녹지	○		○	●		●
		생산녹지***	●	○	●	●	●	●
		자연녹지****	●	●	●	●	●	●
관리 지역	보전관리							
	생산관리							
	계획관리(4층 이하, 일부용도 제외)		●		●	●		●
농림지역(일부용도 제외)			○		●		●	
자연환경보전지역			○					

주: 1) ● 가능, ○ 서울시 조례로 가능, 단, 지자체의 조례에 따라 건축 가능용도 및 건폐율 및 용적률 등이 다를 수 있음

2) * ; 주거기능을 위주로 이를 지원하는 일부 상업기능 및 업무기능을 보완하기 위하여 필요한 지역

** ; 경공업 그 밖의 공업을 수용하되, 주거기능·상업기능 및 업무기능의 보완이 필요한 지역

*** ; 주로 농업적 생산을 위하여 개발을 유보할 필요가 있는 지역

**** ; 도시의 녹지공간 확보, 도시확산 방지, 장래 도시용지의 공급 등을 위하여 보전할 필요가 있는 지역으로서 불가피한 경우에 한하여 제한적인 개발이 허용되는 지역

다음으로 빌딩양식장의 폐수처리 설치 기준은 양식장, 판매시설, 근린생활시설 등의 시설물 용도에 따라 다르다. 양식장은 전술한 바와 같이, ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률(동 법 시행규칙)’에 근거한 폐수처리 시설을 설치해야 한다. 예를 들어, 빌딩양식장이 육상수조식양식장으로 간주되어 수조면적이 500㎡ 이상일 경우, ‘기타 수질오염원’으로 분류되어 사료찌꺼기·배설물과 슬러지 등을 처리하기 위한 사육시설 면적의 20% 이상, 깊이 1~1.5m의 침전시설을 설치해야 하고, 침전물을 처리하기 위해 여과시설과 침전물 탈수시설 등을 설치해야 한다.

하지만, 빌딩양식장의 경우 기존 육상수조식양식장과 달리 RAS와 SRS를 적용하여 사육수를 많이 사용하지 않고 폐수 발생도 낮기 때문에 폐수처리시설의 기준은 현실성 있도록 조정할 필요가 있을 것이다. 그리고 판매시설과 근린생활시설의 경우는 빌딩양식장의 세부적인 시설물의 용도 및 규모 등에 따라 폐수처리시설의 설치 기준이 달라진다.

【표 2-16】 빌딩양식장의 시설물별 폐수처리 설치 기준 및 관련 법률

시설물	설치 기준	관련 법률
양식장	- 폐수처리시설 기준(폐수처리방식, 사업부지, 공사금액에 따라 차이가 있으므로 추후 검토하여 적용) - 지자체 담당부서와 협의하여 추진 필요	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률
판매시설	- 빌딩양식장 세부용도 결정되어야 가능	환경부고시 제2009-197호 건축물의 용도별 오수발생량 및 정화조처리 대상 인원 산정방법
근린생활시설		

주 : 폐수처리 설치 기준은 지자체별로 다르며, 시설물의 구체적인 세부 용도에 따라서도 다름

다음으로 빌딩양식장의 시설물별 가능 주차대수를 서울시 주차장 조례에 근거해 검토해 보면, 양식장은 해당사항이 없으며, 판매시설과 근린생활시설의 면적에 따라 주차장 설치 기준이 다르다.

| 표 2-17 | 빌딩양식장의 시설물별 주차대수 검토(서울시 사례)

시설물	설치 기준	관련 법률
양식장	- 해당 사항 없음	서울시 주차장 조례 [별표2] 부설주차장의 설치대상시설물 종류 및 설치 기준
판매시설	- 시설면적 100㎡당 1대	
근린생활시설	- 시설면적 134㎡당 1대	

주 : 주차장의 주차대수는 지자체별로 다름

3) 시사점

이상으로 빌딩양식장의 관련 법률·제도를 검토하였는데 빌딩양식장은 수산업법과 관련 제도가 확립되어 있지 않고, 관련 법률(국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 건축법, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 등)에서도 명확한 규정이 없는 실정이다.

따라서 도심지역 등에서 빌딩양식장을 건립·추진할 경우, 우선 빌딩양식장에 필요한 시설물을 파악하고 이들 시설물을 용도지역별로 건축이 가능한지에 대한 법률 검토가 선행되어야 한다. 그리고 빌딩양식에서는 양식수의 공급·처리가 매우 중요한데 특히 양식수 처리시설의 종류 및 규모에 대해서도 검토가 이뤄져야 할 것이다. 또한 도시지역의 용도지역에 빌딩양식장 건립이 불가능할 경우 이를 개선하기 위한 법률의 개정도 따라야 할 것이다.

제 3 장 국내외 사례

1. 빌딩양식 사례

1) 울진 빌딩양식장

(1) 빌딩양식의 도입배경

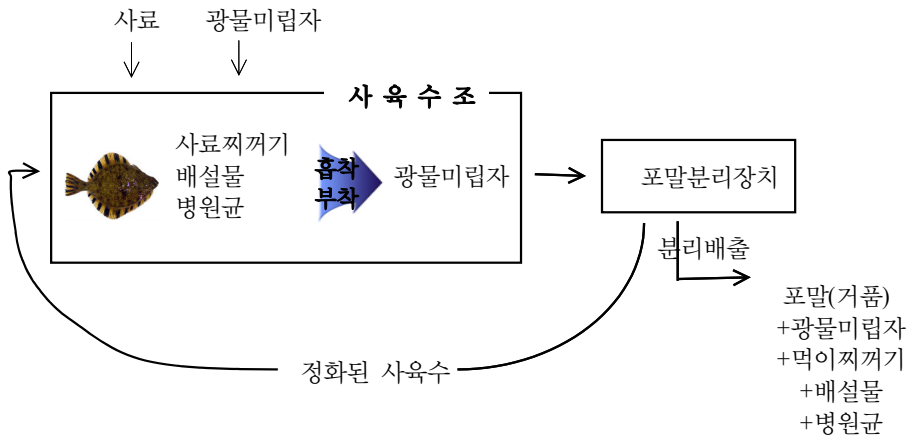
우리나라의 양식장에서도 최근 순환여과식 방식이 발전하면서 저수유 수식 양식기술이 개발되어 양식 현장에 적용되고 있다. 현재 울진에서 초보적인 빌딩양식이 시도되고 있다.

울진의 민병서 박사는 외국의 논문을 검색하다가 EU의 빌딩양식의 개념을 발견하여 이를 자가 양식장에 도입하기로 하였다. 빌딩양식을 도입한 배경에는 울진 지역은 잦은 냉수대가 발생하여 양식수의 수온이 일정하지 않았고, 넙치의 어병으로 인해 폐사율이 높았기 때문이다. 이러한 문제를 해결하고자 민병서 박사는 인터넷에서 입수한 EU의 빌딩양식 모델을 참고로 1999년부터 독자적인 무항생제 양식기술 개발에 착수하였다. 그 이후 2002년에 중소기업벤처 기술개발 자금을 지원받아 R&D를 실시하여 빌딩양식시스템을 바탕으로 광물미립자를 활용한 무항생제 순환여과식 양식을 고안하였다.

(2) 빌딩양식의 원리

동 양식은 2005년부터 빌딩양식시스템을 바탕으로 본격적인 무항생제 순환여과식 시험양식을 실시하고 있다. 현재 동 양식장은 단층 건물의 실내에 2단의 선반식 순환여과식 양성시설 5세트가 있으며, 넙치와 강도다리 등을 양식하고 있다.

빌딩양식을 도입한 이후 지금까지 어병에 걸리지 않았고 항생제 등의 약품을 투여한 적이 없다고 한다. 그 이유는 병원성 미생물, 사료 찌꺼기, 배설물 등을 ‘벤토나이트’라는 광물미립자를 이용하여 순환여과식으로 완벽하게 정화를 하고 있기 때문이다. <그림 3-1>은 올진 빌딩양식장의 원리를 나타낸 것이다.



[그림 3-1] 올진 빌딩양식장의 원리

먼저 광물미립자를 주입하여 사육수에 광물미립자를 주입하여 수육수조에 저수위로 흘려보낸다. 광물미립자가 함유된 사육수는 흐르면서 사료 찌꺼기와 배설물, 병원균 등을 흡착·부착시킨다. 이러한 사육수는 마지막으로 포말분리장치로 이동하여 포말(거품)을 이용하여 광물미립자, 사료찌꺼기, 배설물, 병원균 등이 정화된다. 깨끗이 정화된 사육수는 산소를 공급받아 사육수조를 순환한다. <그림 3-2>는 올진 빌딩양식장의 내부시설을 나타낸 것이다.

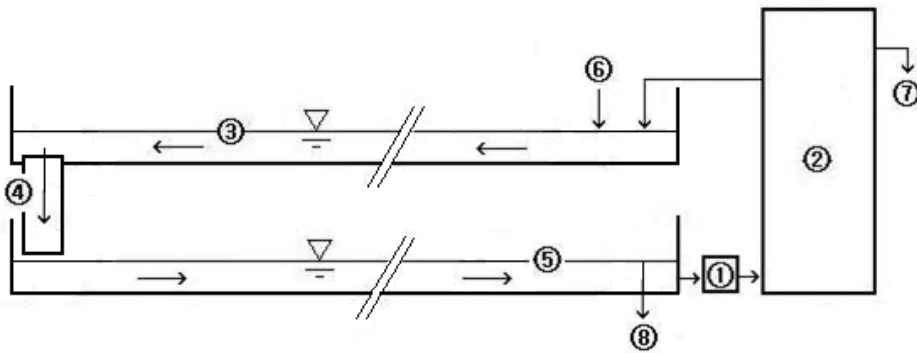


[그림 3-2] 올진 빌딩양식장 기본 구조(1)

동 양식장은 지난 10여 년 동안 빌딩양식시스템의 기술과 이를 정착시키기까지 많은 시행착오를 거치면서 소규모 형태이지만 빌딩양식의 산업화 초기단계를 달성하였다. 그 결과 빌딩양식시스템을 적용한 이후 아직까지 어병에 감염된 적이 없다고 한다. 그리고 금년에는 인근 양식장에 빌딩양식장을 건설하는 데 양식시설과 기술을 이전 중이다.

(3) 빌딩양식의 설비

<그림 3-3>은 올진 빌딩양식장의 형태를 도식화한 것이다. 실내 사육수조는 상층과 하층의 2단으로 이뤄져 있으며, 그 외에 펌프, 포말 분리장치, 산소 공급 장치, 보충수, 포말+찌꺼기 배출구, 수위조절 배수구 등으로 구성되어 있다.



- ① 펌프 ② 포말 분리장치 ③ 상층 사육수조(1m×24m×0.3m) ④ 산소공급장치
⑤ 하층 사육수조 ⑥ 보충수 ⑦ 포말+찌꺼기 배출구 ⑧ 수위조절 배수구

〈그림 3-3〉 올진 빌딩양식장 기본 구조(2)

다음으로 <표 3-1>은 올진 빌딩양식장에 있는 설비 제원을 정리한 것이다. 동 양식장은 2단 수조(1Set)에서 최대 생산량 1.5~2톤, 사료 공급량은 1일 16kg을 기준으로 설계되어 있다. 주요 설비는 사육수조, 포말 분리장치, 정화사육 수량, 순환펌프, 산소용해장치 등이 있다. 빌딩양식의 핵심기술인 환수율과 보충수량은 육상수조식 양식장에 비해 낮은 시간당 5~10회전과 5~6m³이다.

동 양식장과 같이 2단 수조 1Set를 갖추는 데 시설비용은 약 2,000만원이 소요된다. 시설비용에는 토지구입비를 제외한 포말분리장치, 정화사육수 및 보충수, 펌프, 산소용해장치 등을 포함한다. 넙치(1kg)와 강도다리(600~700g)의 양성기간은 1년 6개월이 소요된다.

| 표 3-1 | 올진 빌딩양식장 설비 제원

명 칭	제 원	비 고
사육수조	폭 1m×길이 24m×깊이 0.3m×2층	수심 10~20cm 사육수량 : 4.8~9.6m ³
포말 분리장치	2대/조	FRP
정화사육 수량	40m ³ /시간/조	직경0.6m×높이1.9m, 벤트리식 흡기펌프
순환펌프	1.9kWh×2대/조	20m ³ /시간/대×2대
환수율	5~10회전/시간	120~240회전/일=40m ³ /시간
보충수량	5~6m ³ /시간	
사료공급량	최대 16kg/조/일	
사육가능생체량	최대 1.5톤/조	넙치, 강도다리
산소용해장치	- 규 격 : 0.15×0.6×0.7m (FRP) - 산소용해사육수량 : 40m ³ /시간 - 최대 DO 수준 : 포화DO의 160%	

자료 : 경상북도 경북어업기술센터, 「무항생제 어류양식 시범양식장 자료」, 2010. 8.

2) EU 빌딩양식

(1) EU 빌딩양식 개요

① 빌딩양식의 탄생 배경

유럽집행위원회는 2002년부터 2006년간 진행된 제6차 R&D 지원 프로그램(FP6)에서 SRS 프로젝트를 지원하였다. 본 프로젝트에는 노르웨이 Akvaplan-Niva社를 비롯한 8개 업체와 영국 Portsmouth 대학, 포르투갈, 스페인 대학이 공동 참여하였으며 총 연구비용 140만 유로가 투입되었다(이 중 EC가 89만 유로 지원).²²⁾

22) EU CRAFT Project, A hyper-intensive fish farming concept for lasting competitiveness and superior production(COOP-CT-2005-016869).

본 연구는 SRS의 개념 및 SRS시스템의 과학적 근거 및 비용절감 효과를 제시하였다. 그리고 산업발전에서 소외된 지역의 경제 활성화 및 새로운 개념의 양식생산방법 도입을 통해 EU가 세계시장에서 양식업의 new trend setter로서의 입지를 강화하고자 하는 의지도 나타났다. 더불어 생산비 절감을 위해 EU 내 기존 양식생산이 중국과 동남아 국가로 아웃소싱되거나 수입으로 대체되는 현상도 제어할 수 있다고 밝혔다.



|그림 3-4| EU의 빌딩양식장 현황

빌딩양식의 상용화를 먼저 이룬 것은 노르웨이 Akvaplan-niva사가 고도 집약적 양식시스템인 SRS를 이용하여 육상공장의 선반(Rack)에서 생물을 양식할 수 있는 기법을 최초로 개발하였다. 40만m²의 면적에서 약 1만 톤

생산이 가능하여 기존 육상수조양식면적의 20% 이상의 토지면적 절감과 더불어 사료, 수량, 공기, 에너지 및 노동력 절감 효과가 예상된다.

현재 EU에서는 노르웨이 2개소, 스페인 1개소, 포르투갈 1개소, 네덜란드 3개소가 가동 중이다. EU에서 가장 규모가 큰 빌딩양식장은 스페인 비고에서 운영되고 있다.

② 저수유수식양식시스템(SRS)의 개념 및 장점

저수유수식양식시스템 연구의 선두주자인 노르웨이 Victor Øiestad 박사는 1999년 해면양식어종에 대한 저수유수식 양식방법에 관한 논문을 발표하였다.²³⁾ SRS 양식시스템을 개발하기 위해 5종의 넙치류(flatfish), 3종의 저서어류(bottom-dwelling)를 대상으로 특히 터봇(turbot)을 중심으로 실험이 이뤄졌다.

논문에 따르면 SRS의 주요 장점은 다음과 같다. 첫째, 어류 밀식정도가 100~500kgm⁻³으로 매우 높다. 둘째, raceway를 따라 생기는 해수의 주요 흐름과 역방향인 반류가 전혀 없으며, 가장 멀리 떨어져 있는 어류와 사료에 따라 해수 투입도 조절할 수 있다. 셋째, 자가정화작용(self-cleaning)이 매우 쉽게 이뤄진다. 그리고 마지막으로 SRS에서의 어류 성장률과 생존율은 기존 양식생산과 유사하게 나타났다.²⁴⁾ 이는 학습효과(learning window)로 볼 수 있는데, 치어를 조기에 SRS에 투입할수록 적응력이 높아져 성장률이 좋다는 의미이다. 이는 다양한 어종들이 저수유수식양식시스템에서 생산할 수 있다는 것을 의미하며 수조 간 물의 재사용을 촉진할 수 있도록 수조를 1단이 아닌 여러 단으로 쌓는 것도 가능하다는 것을 시사한다.

23) Øiestad V. and Bjørndal T., Industrial parks for aquaculture, *International Symposium on Integrated Coastal zone Management*, 2007.

24) 어류 체중 2mg~10kg, raceway 너비 0.07~80m²에서 실험한 결과임.

SRS 시스템의 비용절감을 보다 상세히 살펴보면 다음과 같다. 일례로 터בות을 연간 100톤 생산하기 위해서는 1,000m²의 면적이 필요하다. 그러나 8단의 SRS 시스템에서 생산할 경우 필요 면적은 200m²로 80%를 절약할 수 있다. 더불어 다단의 수조에서 사용한 해수를 재사용할 경우 기존 방식에서 요구되는 해수량의 10%만 사용하면 된다. 더불어 raceway가 자가정화기능을 하고 자동급이시설이 설치되기 때문에 투입인력도 최소화할 수 있다. 또한 터בות 1kg당 생산 대비 건설비용도 다른 최신의 양식시설비용보다도 낮은 것으로 나타났다. SRS은 기존 양식장 건물보다 작은 빌딩에서 양식이 가능하고, 수조를 다단으로 쌓아 올릴 경우 건물에 설치하는 해수배관시설 설치도 최소화할 수 있다. 따라서 SRS을 대규모로 운영할 경우 기존 양식 시설보다 적은 비용이 소요되며, 비용절감형 관리를 위해서 충분히 잠재력이 있는 것으로 평가할 수 있다.

마지막으로 SRS의 장점은 응급상황 발생 시 신속히 대응할 수 있다는 점이다. 수조안 해수량이 적고, 산소 공급이 적기 때문에 긴급 상황이 발생하였을 때 신속하게 대응할 수 있다는 점이다.

그러나 실제 어류양식에서 저수유수식양식시스템을 적용하는 것은 여전히 초기단계이다. 유럽의 노르웨이, 포르투갈 등 유럽 일부지역에서 시범적으로 SRS 시설이 갖춘 생산이 이뤄지고 있지만 대규모 상업화가 이뤄지지 않는 것이다. 다만, 최근 스페인 갈리시아 주정부가 320ha 면적에 23개의 양식빌딩이 들어서는 양식산업단지(Industrial park for aquaculture) 설립 계획을 추진 중에 있어 향후 발전 동향을 눈여겨볼 필요가 있을 것이다.

마지막으로 Øiestad 박사는 SRS가 효율적으로 운영하기 위해서는 밀식수준, 해수높이, 조류 패턴(current pattern) 및 속도, 사료의 형태 및 수질 조절이 관건이기 때문에 이에 대한 충분한 검토가 필요하다고 언급하였다.

③ SRS와 기존 양식시스템과의 비교

양식생산에서 생산성을 제고시키기 위해서는 자원 이용 최적화가 필요하다. 그러나 기존의 육상양식의 경우 1m²당 양식생산량은 20~30kg/이다. 1만 톤을 생산하기 위해서는 약 30만m²의 부지가 필요한 셈이다. 이처럼 생산량 확대를 위해서는 넓은 부지를 이용해야 한다는 점은 높은 고정비용을 의미하는 것이기 때문에 향후 양식업 발전의 가장 큰 걸림돌이 될 수 있다.

그러나 SRS 시스템을 통한 집약적 생산이 이뤄질 경우, 동일한 생산량을 생산하면서도 사용 부지면적은 80% 이상 절감할 수 있다. 즉, 기존 양식장과 비교했을 때 6만m²에서 동일 물량을 생산할 수 있다. 이는 양식 생산이 동일 면적당(m²) 30kg 생산에서 150kg으로 생산이 늘어나는 것을 의미한다. 생산액의 경우 기존 양식방식으로 생산한 경우 면적당 생산액이 250유로였으나 SRS 시스템 적용 시 1,000유로 이상 생산할 수 있다.

표는 2007년 통합연안지역관리에 관한 국제심포지엄(International Symposium on Integrated Coastal Zone Management)에서 발표된 기존양식방법과 SRS의 생산비를 비교한 것이다. 기존양식장의 경우 연간 2만 2,500톤을 생산하기 위한 필요 부지는 320ha이며, 이 때 생산액은 1억 8,000만 유로이다. 투입인력은 750명이며, m²당 생산액은 60유로이다. 그러나 동일 물량을 생산하고, SRS 시스템을 적용하였을 경우 필요한 면적은 기존 생산방법의 1/10배인 32ha로 충분하다는 것이다. 그리고 동일 물량 생산 시 투입인력도 기존 양식생산 인력의 40% 수준인 450명이다.

SRS를 적용하여 10만 톤을 생산한다고 가정할 경우에도 필요부지는 150ha로 기존 양식장 부지의 47%에 불과하다. 그러나 생산액은 8억 유로로 기존 양식장 대비 400% 이상 증가하고, 면적당 생산액도 550유로로 기존양식장 대비 900% 증가한다.

| 표 3-2 | 기존 양식장과 SRS 시스템의 비교

구 분	필요부지 (ha)	연간생산량 (톤)	생산액 (백만 유로)*	투입인력 (명)	면적당 생산액 (유로/m ²)
기존 양식장	320	22,500	180	750	60
SRS 적용(기존 양식장 동일 생산량 가정 시)	32	22,500	180	450	600
SRS 적용 (10만 톤 생산 가정)	150	100,000	800	1,800	550
SRS 적용 (기존 양식장 부지면적 전면 이용 가정)	320	220,000	1,760	4,400	550

주 : *의 생산액은 1kg당 8유로 적용, 연간생산량을 금액으로 환산한 것임

자료 : Industrial Parks for Aquaculture, Prof. Victor Øiestad and Prof. Trond Bjørndal,
International Symposium on Integrated Coastal Zone Management, 2007 자료 중 발췌

이상의 내용을 살펴보면 SRS 적용 양식생산은 기존 방식에 비해 사료, 해수, 산소, 에너지, 인력과 같은 투입요소를 절감시킬 수 있다. 또한 노동 생산성의 개선도 주목할 필요가 있다. 기존의 생산방식으로 터봇(turbot)을 생산할 경우, 노동 한 단위당 생산할 수 있는 생산량(output)은 연간 20~50 톤이다. 그러나 SRS 기술을 이용하면 양식장의 전체 크기에 따라 생산성이 달라질 수는 있으나 노동 한 단위당 50~200톤을 생산할 수 있다. 이 같은 높은 생산성은 안정적이고 높은 수익성을 보장할 수 있기 때문에 투자 자본을 유치할 수 있는 좋은 장점이 될 수 있을 것이다.

마지막으로 SRS시스템을 적용한 양식빌딩이 집적하여 단지(industrial park)를 형성하게 될 경우에는 규모의 경제를 누릴 수 있을 것이다. 예를 들면 해수투입(intake) 및 배출, 치어종묘 공동생산 또는 사료 공동구매, 전담 시설유지보수를 위한 공동관리팀 운영 등 공공서비스(common service)를 이용할 수 있을 것이다. 더불어 환경규제, 동물복지(animal welfare), 상품이 이력추적도 보다 용이해질 것이다.

(2) 포르투갈 빌딩양식장

① 빌딩양식 도입 배경

포르투갈에 있는 Aquacria 양식장은 원래 1단 육상수조식 양식을 하고 있었다. 동 양식장이 빌딩양식시스템을 도입한 배경은 전술한 바와 같이, 2002년부터 추진된 EU의 SRS 프로젝트에 참여하게 되면서 SRS 장점을 습득하게 되면서부터였다. 기존 1단 육상수조식 양식을 SRS시스템으로 개조하였는데, 2011년 5월 기준으로 5단의 SRS를 3Set 설치하여 가동하고 있고, 1개는 마무리 공사 중이고 나머지 1개는 설치 중이다.



〈그림 3-5〉 포르투갈 빌딩양식장 전경

② 빌딩양식 개요

빌딩양식장의 규모는 5단 SRS이 5Set로서 전체 수면적은 6,500㎡이다. 기존의 1단 육상수조식의 수면적은 2,000㎡이었으므로 3배 이상 커졌다.²⁵⁾ 수조 수심은 8~20cm이다. 주된 양식품종은 터붓과 혀가자미(sole)이며 양식 생산량의 90% 이상을 스페인과 이탈리아에 수출하고 있다. 양성기간은 솔(3g→350g)과 터붓(5g→1,100g)이 각각 15개월 소요된다.

25) 1개 라인의 길이는 30m, 폭은 1m이다.

사육수 사용량은 순환여과식시스템을 채용하고 있어 매우 적는데 1일 취수량의 2~3%만 재보충하고 있기 때문에 사육수 취수비(전기료)의 절감이 매우 크다. 1개 수조당 시간당 순환 횟수는 3회이다.



[그림 3-6] 포르투갈 빌딩양식장 내부

한편, 수질 관리는 드럼방식, 화학적 처리방식(오존살균), 생화학적 처리방식으로 나뉘어져 사육수와 재사용된다. 또한 이 양식장의 수온은 18~20도를 유지하고 있는데, 사육수를 많이 사용하고 있지 않고 기존 사육수를 재활용하고 있으므로 특별히 가온(加溫)하지 않아 전기료 등이 절감된다.

현재 양식장에 근무하는 인력은 과거 7명이었으나 현재 8명으로 기술자 1명이 늘었다. 하지만 양식장의 생산량은 기존 시스템에 비해 4배 증가하여 노동생산성이 높은 셈이다.

양식어종의 폐사율은 기존 양식에 비해 8%대로서 매우 낮은 것이 특징이다. 이는 각 단별로 사육수를 별도로 관리하기 때문에 다른 라인에 어병이 전염되기 힘든 시스템이다.

동 양식장에 사용하는 사료는 배합사료(EP)이며, 자동급이기를 통해 투여된다. 또한 양식어종의 크기별로 선별할 수 있는 자동선별기를 개발 중에 있다. 자동선별기는 양식어종의 선별뿐만 아니라 백신 등의 예방주사를 접종하는 데도 도움이 된다.

동 회사는 SRS를 도입·구축하면서 많은 시행착오를 거쳤다. 그 결과 현재와 같은 양식시스템을 개발하였고 기술적으로 안정화 단계에 접어들었다. 아직까지 기술적인 측면에서 문제에 봉착한 바는 없으나 현재의 양식시스템을 효율적으로 유지관리하고 미비한 부분을 보완시키는 것이 필요하다. 또한 EU에서는 배출수 규제가 매우 엄격하므로 배출수가 일반수와 같을 정도로 정화하는 기술 개발이 필요하며, 그에 대한 시험을 지속적으로 추진 중에 있다.

본 양식장에 SRS를 도입하는 데 포르투갈 정부의 지원을 받지 않았고 사업비 전액을 자담하였다. 포르투갈에서는 양식업에 대한 정부지원은 없지만 친환경적이고 첨단기술의 개발·적용이 되었다고 판단될 때는 세금감면의 혜택이 있다.



[그림 3-7] 포르투갈 빌당양식장의 오존살균시설 및 오폐수 시설

③ 빌딩양식의 장점

빌딩양식의 장점은 크게 네 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 자연재해 및 바다오염 감소를 위해 육상에서 집약적으로 양식하며, SRS 방식으로 양식수를 최소로 사용하여 전력비 및 바다오염을 저감할 수 있다.

둘째, 사료급이, 사육수 및 수질 관리, 양식어의 선별 및 이송 등을 자동화하고, 양식빌딩의 온도 및 습도 등도 기계화하여 비용을 최소화할 수 있다.

셋째, 질병 발생 시 다른 양식어로 확산을 방지하고 품질을 높이기 위해 가능한 소수 단위로 분리입식하고, 출하도 원하는 크기별로 자동으로 선별 수확함으로써 안전하고 고선도의 수산물을 소비자에게 공급할 수 있다.

넷째, 비용 최소화, 위기 대처능력 제고 및 고품질 고가격을 실현하기 위해 투입요소 및 출하량의 관리, 양식생물의 정보, 양식빌딩의 정보 등을 완전 정보화하여 온라인 생산체제를 갖출 수 있다는 점이다.

2. 타 산업 사례

1) 양계산업

(1) 발전 과정

우리나라 양계산업²⁶⁾은 다른 축종에 비해 역사는 짧지만 사육수 수나, 사육규모, 사양관리 기술면에서 급격한 발전을 이루어 선진국 수준에 도달

26) 양계산업은 닭의 사용용도를 기준으로, 산란계, 종계, 육계 등으로 구분이 가능한데, 일반적으로 채란양계가 육계에 비해 자본집약도 및 기술집약도가 높은 것으로 평가되고 있다.

한 것으로 평가되고 있다. 양계산업은 1970년대 초부터 농가부업 형태에서 전업화로 전환되었으며, 특히 채란양계의 경우 1980년대에 전업 성격의 대규모 채란농가가 크게 증가하여 채란양계의 기업화가 이루어졌다. 육계에 있어서도 채란과 같은 동향을 보였다. 양계산업의 급속한 성장은 일차적으로 농가의 소득 증대와 비교적 저렴한 사료 등에 크게 영향을 받고, 2차적으로는 소비자의 기호가 영합하고, 또한 양계가 가격과 생산 면에서 타 축산물에 비하여 비교적 유리한 조건을 구비하고 있기 때문으로 풀이되고 있다.²⁷⁾ 양계의 발전에 수반해 관련 산업인 사료공정, 종계와 부화업, 기계기구, 도계처리 가공업 등도 크게 발전하여 양계산업으로 일컬을 수 있을 정도이다.

양계산업의 발전 과정과 시설의 변천사를 함께 살펴보면 우리나라의 양계산업은 1980년대까지 개방 계사의 노동집약적 사양관리방식이었으나 1990년 이후 노동력 수급 어려움 확대 등을 배경으로 무창 계사의 개념이 도입되기 시작하였다. 이후 환경 제어 시설 및 설비 자동화에 따른 대규모화가 진행되기 시작²⁸⁾하였지만, 1990년대 초반까지 우리나라의 육계사는 95% 이상이 보온덮개형 간이 계사형태를 취하고 있었다.

그러던 것이 시설에 기인한 사육환경의 악화로 폐사 등이 증가하자 이후 팔목할 만한 수준의 시설 자동화와 현대화가 진행되었다. 특히 가축관리자의 기피 현상과 농촌인구 고령화, 후계자 확보난, 인건비 상승 등을 타개하기 위해 생력자동화도 불가피하게 되었다. 1990년대 초반부터 축사 시설 현대화를 위한 정부의 지원을 계기로 자동화 축사가 급격하게 도입되었다. 이 같은 과정을 거쳐 양계농가가 규모화되고 규모가 커진 양계농가는 생력화를 위해 계사나 닭 사양관리시설을 자동화하거나 외국의 최신시설

27) 오봉국·정근기·여정수·김재홍·민병열·한성욱, “채란양계농가의 경영분석과 생산성 제고 방안”, 『한국가금학회지』, Vol. 9, No. 2, 한국가금학회, 1982.

28) 황보종 외, “무창 계사의 환기시스템이 케이지 사육 육계의 초기 생산성에 미치는 영향”, 『한국가금학회지』, Vol. 33, No. 1, 한국가금학회, 2006. 3.

을 도입하는 등 많은 발전을 거듭해 왔으며, 국내 기자재 산업도 이의 영향으로 큰 발전을 이루었다. 양계산업은 자동화와 기계화를 통하여 기업화와 전업화가 크게 진전된 것으로 평가되고 있다.

실제 2007년 5월 기준으로 전국의 전업농(3만 수 이상 사육농가)을 대상으로 한 조사 결과에서 계사의 시설 현대화 및 자동화가 많이 진행된 것으로 조사되었다. 계사 건축형태의 경우 원치커튼형 개방 계사가 가장 많은 가운데, 기업형 농가(10만 수 이상)의 경우 무창 계사를 절반가량 시설한 것으로 나타났다. 급수기의 경우 사육규모가 클수록 니플형 급수기를, 급이기는 디스크식이 많았다. 케이지는 사육규모에 따라 다른 양상을 보였는데 기업형 농가에서는 직립식이 약 70%를 차지하였다. 그리고 계분의 수거형태로 벨트형이 71%, 집란은 자동집란이 약 50%이며, 기업형 농가의 15%는 자동집란·선란·포장시스템까지 도입하는 것으로 나타났다. 환기방식은 원치커튼을 이용한 자연환기 또는 기계식과의 혼합 비중이 높은 편이었으나 기업형 농가에서는 기계식 환기를 하는 무창 계사가 절반 이상으로 조사된 것이다.²⁹⁾

소프트웨어적인 측면에서도 자동화 시설 관리를 위한 정보시스템 도입이 진행되고 있다. 축산 분야는 농업의 경종, 과수, 전작 등과 비교할 때 전산화에 있어 효과라는 측면에서 상대적 정보화가 빠른 속도로 진행되었다고 평가되는 가운데, 양계업은 여타 축종에 비해 상대적으로 전산화 요구가 적은 편이다. 이는 번식 관리의 개념이 존재하지 않고 대부분 확립된 사양관리 방법에 의해 급이하기 때문으로 알려지고 있다.³⁰⁾ 그러던 것이 최근 직립식 케이지 시설을 위주로 한 시설 자동화가 급속도로 진행되면서 자동화 시설을 관리하기 위한 마이크로프로세서 활용 시스템이 도입되기 시작하였다.

29) 최희철 외, “양계농가의 사육규모별, 지역별 계사 시설 현황 분석”, 『축산시설환경학회지』, Vol. 15, No. 3, 한국축산시설환경학회, 2009. 12.

30) 최연호·이상진·신영수, “양계농가 전산화 실태에 관한 조사 연구”, 『한국가금학회지』, Vol. 23, No. 4, 한국가금학회, 1996.

(2) 시설 및 구조물

닭은 계사시설에서 사육되는데, 계사란 외부 환경으로부터 닭을 보호하고 적절한 온도와 습도를 유지하며 신선한 공기를 충분히 공급해 줌으로써 닭이 가지고 있는 능력을 충분히 발휘하여 소득을 높이는 시설로 정의된다. 계사의 형태 및 종류는 설계나 내부구조물을 기준으로 다음과 같이 구분할 수 있다.

| 표 3-3 | 계사의 기본 형태-설계 기준

구 분	관련 개념
개방 계사	· 환기팬, 단열, 방서시설 등에 대한 고려 요구
무창 계사	· 창이 없는 계사로, 환경 조건을 닭에게 가장 적합하게 유지할 수 있는 계사 · 최근 완전자동으로 환경을 조절 · 환기팬, 인공조명, 인공온도 조절
간이 계사	· 건축비 절감과 단열에 주안점 · 원형지붕식, 각형지붕식, 기타로 구분

자료 : 농촌진흥청, 「양계」 참조 작성

| 표 3-4 | 계사의 기본 형태-내부구조 기준

구 분	개 념
반 슬레이트식 계사	· 계사 바닥 일부에 깔집을 깔고 일부에 슬레이트를 설치
완전 슬레이트식 계사	· 반 슬레이트식과 같으나 수용밀도가 높음
고상(高床)식 계사	· 연중 계분의 제거를 하지 않음 · 케이지식과 슬레이트식
거물형 바닥 계사	· 경사를 설치, 계란이 집란장소로 굴러 모이도록 설치

자료 : 농촌진흥청, 「양계」 참조 작성

계사는 계군을 집단화시켜 관리가 용이한 상태로 구성하고, 계군이 직접 접촉하는 환경을 형성한 것으로 닭의 생산성을 크게 좌우한다. 따라서

닭이 유전적 능력을 효과적으로 발휘할 수 있는 환경조건이 유지되도록 계사 내부 환경을 만들어 주는 것이 중요한 요건으로 다루어지고 있다.

물론 환경과 관련해 다양한 요인이 있으나 그러한 요소들 중에서도 온도, 습도, 환기 관리가 가장 중요한 요소로 고려되고 있으며, 이를 중심으로 내부 환경이 관리되는 경향이 크다. 기본적으로 계사의 이용 효율을 높이고 사양관리 노력을 절감한다는 측면에서 단위면적당 닭의 수용밀도를 높게 유지하기 때문에 여러 요소들 중에서도 온도, 습도, 환기 조절이 중요한 요소로 고려되고 있다.

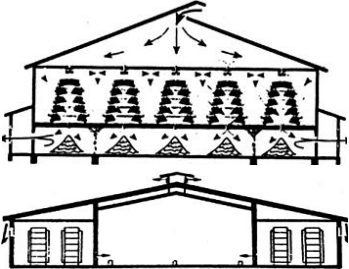
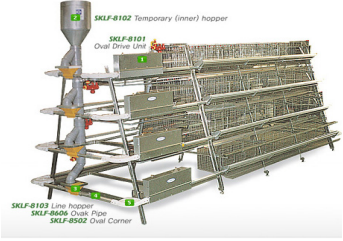
양계산업의 발달로 양계산업에 있어 기계화·자동화가 진전되면서 사양관리 방식 및 기기도 함께 진화하고 있다. 사양관리기기는 각 부문별로 다음 표에서 제시하는 것이 주요 기기인데, 닭의 용도별(산란계, 종계, 육계)로 3가지 요인의 사양관리 표준이 일찍부터 마련되어 있다.

| 표 3-5 | 닭의 사양관리 기기

구 분	세 부 사 항
케이지	·닭의 운동을 제한하여 운동에 필요한 에너지를 절약 ·좁은 면적에 많은 마리수를 기르고 균형적인 배합사료 급여로 계란을 경제적으로 생산하기 위해 고안
급이기	·케이지용 급이기, 평사용 급이기 ·호퍼 이동식, 평 체인식, 링크 체인식
급수기	·닭의 생산성에 밀접한 관련 ·케이지 부착 홈통형, 니플형, 컵형, 원통형
환기기구	·환기팬
점등기구	·타이머, 광도계, 광도조절기, 감광장치

자료 : 농촌진흥청, 「양계」 참조 작성

현재 양계산업은 시설적인 측면에서 환경 제어 시설 및 설비 자동화에 따른 대규모화가 진전되고 있는데, 생산성 증대, 품질 수준 제고 등과 관련해 계사의 시설(하드웨어) 및 운영방식(소프트웨어) 등에 대한 다양한 기술적 연구가 계속 진행되고 있다.

구 분	관련 사진 및 이미지	
개방형 계사	유럽의 다단계 복지형 개방 계사  현대축산뉴스	무창 계사(직립식 케이지)  현대축산뉴스
무창 계사	 월간 Poultry	
케이지	디스크식 케이지(자동급이시스템)  성광시스템	육추형케이지 

자료 : 현대축산뉴스(www.hyunchuk.co.kr/); 대한양계협회(월간양계 www.poultry.or.kr/); 성광시스템(www.skls.co.kr/)

| 그림 3-8 | 계사 시설 및 사양관리 기기 관련 사진

2) 식물공장·수직농업

최근 국내외 각국은 농업의 심각한 기후변화, 식량위기에 대응하여 안정적인 식량 확보 차원에서 채소, 과일, 곡물 등을 안정적으로 재배할 수 있는 식물공장(Plant Factory)을 주목하고 있다. 세계 각국에서는 과학기술을 식물공장에 접목하여 더욱 발전시키고 있으며 현재는 입체적 빌딩을 도시에 건립하는 수직농장(Vertical Farm)을 검토 중에 있다. 이하에서는 식물공장의 현황과 발전과정을 정리하고 본 연구의 주제와 유사한 빌딩농장의 실태를 검토해 둔다.

(1) 식물공장(Plant Factory)

식물공장이란 용어는 1950년대 유럽에서 채소 위주로 시설 재배가 성행하면서 땅에 뿌리를 내리지 않는 수경 재배를 공장식으로 짓는 것을 보고 불렀다고 한다. 식물공장이란 공장제 농업생산시스템인데, 작물에 대해 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온도 및 습도, 이산화탄소 농도, 배양액 등의 환경 조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 관계없이 자동적으로 연속 생산하는 시스템이다.³¹⁾

세계적 추세로 볼 때, 식물공장의 발전단계는 크게 도입기, 초기 실용화기, 성장 실용화기로 구분된다. 먼저, 도입기(1950~1970년)는 유럽과 미국 등에서 식물공장이 처음 등장하게 된 시기로서, 주로 태양광을 이용하는 유리 온실에 고압나트륨램프로 보관하는 형태가 일반적이었으며, 작물 재배시스템은 평면식과 입체상하 이용식이 이용되었다. 작업효율의 향상을 위해 컨베이어시스템이 도입되었다는 점에서 기존 유리 온실과는 차이가

31) 식물공장이 가시화된 때는 새싹 채소를 컨베이어 방식으로 생산하면서부터라고 한다.(김정호, “식물공장의 동향과 전망”, 『농정연구속보』, 제61권, 한국농촌경제연구원, 2009. 10. 20. p. 3.

있다. 초기 실용화기(1971~1990년)는 재배시설에 대한 기술 개발이 진전되었는데, 유럽과 미국에서 마이크로컴퓨터를 이용한 온실 온도계측 및 조절 시스템이 도입되었다. 그리고 파종장치가 노즐식, 흡착식 등으로 다양하게 개발되었다. 일본에서는 고압나트륨램프 이용이 실용화되고 메탈할라이드 램프도 이용되었으며 V자 형태의 재배판넬, 고도수경형 2단 재배 등이 도입되었다.

성장 실용화기(1991년 이후)는 식물공장의 기초기술이 거의 완성되어 상업적으로 이용되는 시기이다. 인공조명 분야에서는 형광등 이용이 실용화되었을 뿐만 아니라 열과 전기의 소모가 적은 LED(발광다이오드)와 레이저광(LD) 등 차세대 인공조명의 실용화가 진전되었다. 또한 우레탄매트용 파종장치가 개발되고 더 발전된 형태의 컨베이어 이동방식이 도입되었으며, 컴퓨터 환경제어가 정착되기에 이르렀다.

한편 우리나라에서 식물공장의 도입은 선진국에 비해 상당히 늦은 것으로 알려지고 있다. 우리나라에서 식물공장이 본격적으로 도입된 때는 1996년 농촌진흥청에서 식물공장시스템을 설계하여 재배시험에 착수하였고, 2005년에 식물공장시스템을 확립하여 현재 시험장을 운영하고 있고, 일부 현장에 기술보급도 추진되고 있다. 아직까지 식물공장이라고 부를 수 있는 상업적인 시설농업은 존재하지 않으며, 농업연구기관 등에서 식물공장에 적합한 작물을 선발하고 최적 재배 조건을 규명하기 위한 R&D가 지속되고 있다.³²⁾

최근에는 이러한 기술을 바탕으로 도심지 내에서 식물공장을 건설하고자 하는 움직임이 활발히 이뤄지고 있다. 대표적인 사례가 미국에서 검토되고 있는 빌딩농장(Building Farm) 또는 수직농장(Vertical Farm)이다.

32) 김정호, 전계서, p. 10.

(2) 수직농장(Vertical Farm)

① 수직농장 도입 배경

수직농장은 컬럼비아대학교 딕슨 데포미어(Dickson Despommier) 교수가 1999년에 식량난과 농경지 부족 문제를 해결하기 위한 대안으로 제시된 개념이다. 수직농장은 인구가 밀집된 도시의 고층건물을 농장으로 활용하여 다양한 작물을 재배하는 것을 의미한다. 즉, 고층건물 농장인 수직농장에서 는 수경 재배로 다양한 농작물을 기를 수 있고, 태양과 바람 등 재생에너지 만을 이용하여 농작물 재배에 필요한 에너지를 얻을 수 있게 설계되며, 건물 안에서 재배되는 만큼 온도·습도·빛·농업용수 등 농사에 영향을 주는 모든 조건을 통제하면서 농작물을 재배할 수 있다.

국제식량농업기구(FAO)에서는 2050년이 되면 지구 인구는 92억 명으 로서 이들의 약 80%가 도시에 거주할 것으로 예측하였고, 이들 인구를 먹 여 살리기 위해서는 기존의 농업방식인 경우 약 10억ha³³⁾의 토지가 필요할 것으로 추산한 바가 있다. 하지만 현재 경작 가능한 토지의 80% 이상이 개 발되어 사용되고 있기 때문에 데포미어 교수는 기존의 수평적인 농업에서 도심지에서 입체적인 농업으로 전환을 하는 것을 검토하였다.

향후 20년 이후가 되면 도시근교에는 인구가 밀집하고, 환경오염이 증 가하여 현재와 같은 농업을 할 수 있는 토지가 많이 부족할 것으로 예상하 고 있다. 따라서 수직농장은 새로운 토지를 개간하거나 삼림을 파괴하지 않고 집약적인 농업이 가능하기 때문에 지구 환경에 미치는 영향을 최소한 으로 할 수 있고 국제식량위기에 대응한 친환경적인 새로운 농업의 대안이 라 할 수 있다. 수직농장은 도심지에서 이뤄지므로 지대(토지 가격)가 비싸 지만 자연환경 파괴를 최소화할 수 있어 장기적으로는 경제적인 이익을 창

33) 브라질 면적보다 20%나 넓은 면적이다.

출할 수 있을 것으로 보고 있다. 즉 도심형 수직농장을 건설하여 운송 거리를 대폭 단축해서 물류비용을 절감할 수 있고 대신 비싼 토지 구매 부담은 고층 건물형태로 해결하자는 아이디어가 반영된 것이 수직농장이다.

② 수직농장 장점

수직농장의 장점에 대해서 테포미어 교수는 다음과 같이 주장하고 있다.

i) 수직농장은 지속적이고 안정적 생산이 가능하며 전통적인 농업에 비해 생산성이 높다.³⁴⁾ ii) 수직농장은 가뭄, 홍수, 해충 등의 자연재해에 따른 흉작을 극복할 수 있다. iii) 수직농장의 작물은 무농약, 무제초제, 비료사용 최소화 등의 유기농법으로 재배되어 안심하게 먹을 수 있다. iv) 수직농장에 사용된 오수 및 폐수를 재사용함으로써 배출되는 오염물질이 거의 없다. v) 수직농장은 기존의 토지를 자연으로 환원함으로써 자연 생태계를 복원하는 기능을 한다. vi) 수직농장은 전통적인 농업에 비해 전염병의 발생을 감소시킨다. vii) 수직농장은 트랙터, 쟁기 등 농기계의 운전이 불필요하기 때문에 탄소배출을 줄임으로써 저탄소 녹색성장에 부합한다. viii) 수직농장은 도시의 버려진 땅을 집약적으로 이용할 수 있으므로 자급자족 가능한 환경을 만들 수 있다. ix) 빌딩농업은 국민들에게 새로운 일자리 기회들을 창출한다. x) 수직농장은 수(水)자원이나 토지 등의 확보를 위한 국가 또는 농업인 간의 갈등이나 분쟁을 줄일 수 있다.

다음 <그림 3-9>는 테포미어 교수가 운영하고 있는 웹사이트에 있는 다양한 수직농장의 형태를 나타낸 것이다.

34) 테포미어 교수에 따르면, 1에이커(1에이커 = 1,224.2평)의 빌딩농업은 생산 작물에 따라 차이가 나지만 일반 노지농업의 4~6에이커 또는 그 이상의 생산이 가능하다고 한다.



자료 : www.verticalfarm.com

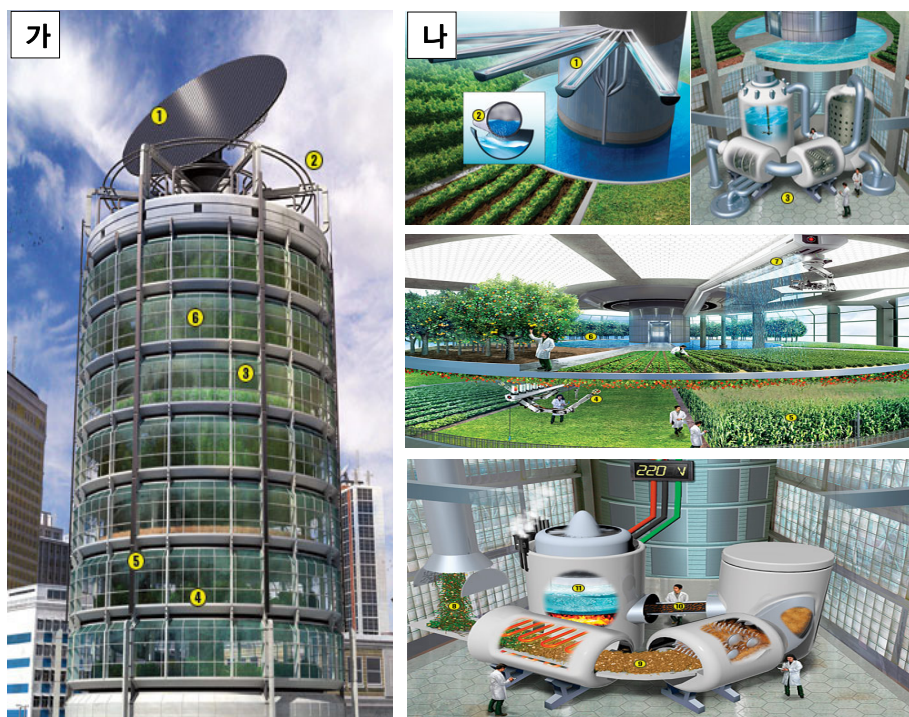
| 그림 3-9 | 수직농장의 다양한 형태

③ 수직농장의 추진 현황

최근 농업에 대한 지속성, 안정성, 먹거리 안심성에 대한 관심이 높아지고 있는데 수직농장은 자연환경 위험을 극복할 수 있고 무농약 재배가 가능하며 안정적인 생산량 예측이 가능함에도 불구하고 아직까지 산업화는 달성되고 있지 못한 것이 현실이다. 즉, 수직농장에서 생산되는 농작물의 가격이 비싼 점, 기존 농업의 집약화 및 생산성 향상, 초기 투자비의 고비용 등이 원인이다. 따라서 현재 빌딩농업은 R&D 단계이며 산업화가 되기 위해서는 다양한 요소기술의 개발을 통한 저비용 구조가 실현되어야 할 필요가 있다.

수직농장의 약점으로는 아직 건설된 적이 없다는 점이다. 수직농장을 가동하기 위해서는 층간 에너지 및 자원 순환을 처리할 일종의 통합 생태계 제어기술의 개발이 핵심이지만 아직까지 R&D 단계에 있다.

<그림 3-10>은 수직농장에 필요한 다양한 설비를 나타낸 것이다. 수직농장에는 작물을 재배하는 데 필요한 물, 발전시스템을 최대한 자급자족하는 형태로 이뤄져 있다. 주요 시설로는 태양열 패널, 재배수 회수시스템, 하수처리, 작물쓰레기 발전시스템, 작물 수확기계 등이 있다.



가	①태양광 패널, ②풍(침)탑, ③유리창, ④통제실, ⑤건축설계, ⑥재배작물
나	①중발수 회수시스템, ②파이프, ③하수처리시스템, ④작물 수확기, ⑤농지, ⑥물 수집 풀, ⑦물과 빛 공급기, ⑧작물쓰레기 발전시스템, ⑨~⑩작물연료 공정

자료 : www.verticalfarm.com

|그림 3-10| 수직농장의 다양한 시설물

3) 시사점

(1) 빌딩양식 사례

EU는 2002년부터 2006년간 진행된 R&D지원 프로그램(FP6)에서 SRS 프로젝트를 지원하였다. 본 프로젝트에는 노르웨이, 영국, 스페인 등 다양한 회원국이 참여하였고, 참여주체도 민간업체, 대학, 연구기관 등 다양하다. 개념 및 시스템의 과학적 근거 및 비용절감 효과를 제시하기 위한 목적의 SRS 프로젝트는 산업발전에서 소외된 지역의 경제 활성화 및 새로운 개념의 양식방법을 도입함으로써 EU가 세계시장에서 양식업의 new trend setter로서의 입지를 강화하고자 하는 의지를 잘 나타내고 있다. 더불어 양식생산의 비용을 절감함으로써 해당 기술을 특허, 기술 이전함으로써 기존의 양식생산 강대국인 중국과 동남아 국가에 대한 우위의 경쟁력을 확보하고자 하는 의도로 해석된다. 이 같은 EU의 사례는 우리나라 양식정책에 시사하는 바가 크다고 할 수 있겠다.

한편 빌딩양식의 사례로서 검토한 울진의 빌딩양식장은 EU의 빌딩양식에 비해 아직까지 초보적이지만 빌딩양식장시스템을 독자적으로 개발하여 양식어종을 출하하고 있다는 면에서 우리나라에서 빌딩양식의 산업화의 가능성을 확인할 수 있었다. 빌딩양식의 장점으로 동일 면적의 토지를 기존 육상수조식양식보다 집약적으로 이용할 수 있다는 점,³⁵⁾ 적조 및 태풍, 냉수대 등의 자연재해를 극복할 수 있다는 점, 어병 발생이 거의 없어 항생제를 사용하지 않아 약품비 등의 비용이 절감되는 점, 폐사율이 낮아 수익성이 그만큼 높아진다는 점을 들 수 있다.

35) 예를 들어, 약 100평의 양식장이 있는 경우, 기존 육상수조식 양식장은 60평을 사용하는 데 비해 빌딩양식장은 80평을 사용할 수 있다고 한다.

(2) 타 산업 사례

양계산업의 경우 양식수산과 양계와의 생물학적 특성이 다른 만큼 양성에 있어 최우선적으로 고려되는 환경 요인이나 기술 등에 차이가 있다. 고밀도 양계의 경우 온도, 급도, 환기를 중심으로 한 핵심기술의 구성이 관건이 된다면, 고밀도 양식에서는 사육수의 공급·순환과 이의 핵심기술이 중요하다. 그러나 생산이 일정한 공간에서 집약적으로 이루어진다는 측면에서 기술적 시스템의 구성 및 운영 방식 등에서 빌딩양식에 대한 벤치마킹의 사례로 이용 가능할 것으로 보인다.

한편 식물공장에서 가장 발전한 형태인 도심지 수직농장은 아직까지 산업화가 진전하지 않았음에도 불구하고 주목해야 하는 이유는 다양한 산업, 기술이 접목되어 전후방 효과를 기대할 수 있는 융복합형 사업이란 점을 들고 있다.³⁶⁾ 수직농장의 설치와 운영에는 건물 설계, 시공을 위한 건축업, 식물 재배 설비를 위한 기계 산업, 환경 조건을 인공적으로 구현, 제어하기 위한 IT산업과 재배 기술을 위한 농업 및 적합한 종자 개발을 위한 종자 산업 등이 모두 밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 또한 최근 추진되고 있는 지속 가능한 성장을 위한 녹색성장 정책과도 부합된다. 농업 자체가 녹색 산업일 뿐더러 식물공장 운영에 필요한 전기, 물 등의 자원 소요량을 줄이는 데 개발 중인 신재생 에너지 기술 및 수처리 기술 등 녹색산업 관련 기술들이 중요한 역할을 할 수 있다.

본 연구의 대상인 빌딩양식이 도심지에서 성립하기 위해서는 양식시스템이 SRS 및 RAS로 전환이 전제되어야 한다. 아울러 IT와 BT 등의 첨단기술과 결합을 통한 양식기술의 업그레이드도 필요하다. 이러한 측면에서 농업 분야의 수직농장은 본 연구에 있어서 빌딩양식 모델 및 관련 기술의 적

36) 진석용, “농업과 제조업의 만남, 식물공장”, 『LG Business Insight』, 제22호, 2010. 9. 15. p. 33.

용 가능 분야를 검토하는 데 유용하게 활용되었다. 농업 분야에서 새로운 농업방식인 식물공장 및 수직농장을 도입은 저비용 안정적인 식량을 확보하기 위해서 출발하였다. 수산식량산업인 양식어업에서도 저비용 고효율적 생산시스템 구축을 통한 수산물의 안정적 공급 측면에서 빌딩양식의 도입·개발이 필요하다고 생각한다.

제 4 장 빌딩양식의 기술 가능성 검토

우리나라의 어류양식어업(육상)은 자연환경에 크게 의존하는 유수식 방식이 중심을 이루고 있다. 유수식시스템에 기초한 양식시설은 방류되는 배출수의 적절한 처리 시설이 없거나 처리하기에 불가능할 만큼 대량으로 양식장 주변의 수역에도 부담을 주어 지역사회 환경오염원으로 문제되기도 하는 실정이다. 이뿐만 아니라 양식수의 취수수역은 자가오염 등으로 어류의 질병이 만연하는 경우가 많으며, 이를 방지하기 위한 항생제 남용으로 인해 식품 안전성에 위해를 끼치기도 한다. 또한 약제 내성으로 질병을 제어하기 어려운 상황에 놓이기도 한다. 이러한 문제는 어류양식어업과 관련해 구조적 문제로 거론되는 사항을 일부만 거론한 것이다.

수산정책에서 중요한 위치를 차지하는 국내 어류양식어업의 지속가능하며 친환경적 발전을 이루기 위해서는 고착화된 이들 문제에 대한 해결이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 어류양식어업의 건전한 발전과 신성장동력원으로서 기존의 개념과는 다른 새로운 ‘빌딩양식’의 개념을 제안하였다. 빌딩양식은 양식분야의 새로운 발전동력으로서는 물론이고 어류양식어업이 직면한 문제를 해결할 수 있는 새로운 방식으로도 자리매김할 것으로 기대되는데, 본 장에서는 빌딩양식을 구현하는 데 필요한 기술적 사항에 대해 검토하고자 한다.

빌딩양식을 시스템적으로 구현하기 위해서는 어류양식 단계 및 요소별로 다양한 기술이 요구된다. 여기서는 기술 중에서도 고밀도양식에 핵심적인 요소기술을 중심으로 개념, 개발 수준, 추진 동향 등을 살펴보고, 빌딩양식시스템을 실현하기 위한 가능성 및 선결 과제, 향후 개발 방향 등을 검토하도록 한다.

1. 순환여과식시스템(Recirculating Aquaculture System : RAS)

빌딩양식시스템에서 중요한 것은 고밀도양식 시설을 효율적으로 순환하는 사육수의 운영·관리에 있다고 할 수 있다. 일반적으로 해상이 아닌 육상에서 이루어지는 양식에서는 사육수를 반복해 사용하면서 어류를 생산하게 된다. 현재 국내 육상양식장의 대다수는 해수의 공급이 가능한 지역에 입지해 인근지역의 해수를 급수하고, 사용한 양식수는 배수시킴으로써 양식장 운영에 가장 핵심적인 해수 공급 문제를 해결하고 있다.

육상양식이 해상양식에 비해 상대적으로 해수의 변화에 따른 영향이 적다고는 해도, 해수의 영향에서 완전히 자유로울 수는 없다. 또한 적조나 냉수대 발생 등의 수질 악화는 육상양식에도 적지 않게 영향을 받는 것으로 알려지고 있다. 또한 경영측면에 있어서도 고밀도 집약적 양식에서 배출되는 질소와 암모니아, 고형물의 제거 및 사육수 여과와 가온, 냉각 등에 소요되는 비용이 커 원가 절감의 장애요인이 된다. 물론 양식장에서 나오는 배출수는 지선어장과 연안생태계를 오염시키는 주요 요인으로 인식되면서 앞서 제시한 바와 같이 지역사회의 현안으로 끊임없이 문제시되는 경우가 많다.

이에 양식장 사육수의 관리와 관련해 다양한 기술 도입 검토가 모색되어 왔다. 양식방법을 유영동물양식 측면에서 구분하면 크게 정수식못양식, 유수식양식, 가두리양식, 순환여과식방식으로 나눌 수 있는데, 최근 논의되는 고밀도 집적 양식의 핵심적 기술 방식으로 순환여과식과 저수유수식 기술이 꼽히고 있다. 이 두 기술은 집약적 생산이 이루어지는 빌딩양식시스템의 핵심 기술로 꼽을 수 있다.

| 표 4-1 | 양식시스템의 구분 및 특성(유영동물양식 기준 구분)

양식의 종류	특 성
정수식못양식	사료는 못속에서 발생하는 천연먹이를 주로 하며 배설물 등의 찌꺼기는 흙속에 사는 질산화세균이 분해한다. 용존산소는 공기 중 산소가 녹아들어가서 충족된다.
유수식양식	사육지에 물을 연속적으로 통화하게 하여 어류를 양식하는 방법으로 인공사료를 사용한다. 배설물 등의 찌꺼기는 흐르는 물을 따라 밖으로 버려진다. 보통 콘크리트 재질의 사육조를 이용한다.
가두리양식	과거에는 내만 등에서 독을 만들어야 했으므로 경비가 많이 들었다. 최근에는 그물 등으로 구획을 지어 가두리를 만들어 어류를 수용하여 경비를 감소시키고 있다. 장점은 많은 양의 어류를 수용하여도 가두리속의 수질이 나빠지지 않아 작은 시설에 많은 양의 어류를 기를 수 있어 시설 면에서 매우 경제적이다.
순환여과식양식	어류의 배설물과 미섭취 사료가 녹아 있는 사육조의 물을 여과조를 이용하여 처리하고 다시 사용하는 방식이다.

자료 : 이병헌 외, 「담수양어시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발」, 농림부, 1997. 11. 20. p. 44

1) 순환여과식 기술의 개념

순환여과식 기술은 사육수를 정화해서 재사용하는 방식의 기술이다. 사육수에 함유되어 있는 고농도의 영양오염물을 여과 처리하여 다시 사용하고 일부만 배수하는, 환경문제를 고려한 수산양식방법이다. 순환여과식 시스템(기술)은 소량의 해수를 활용해 고밀도 사육을 구현하는 것이다.³⁷⁾

이 양식기술은 물을 연속적으로 정화하여 사용하기 때문에 하루에 전체 순환수의 10% 이하의 물만을 보충수로 필요로 하여 기존 양식방법에 비해 폐수 처리에 유리한 것으로 평가된다.³⁸⁾ 즉, 순환여과시스템은 외부에 적절한 보온 시설을 이용하여 안정적으로 내부기온을 유지할 수 있고, 또한 다양한 수처리 시설을 이용하여 물을 지속적으로 재처리하여 사용함으

37) 현재 일본 등지에서 완전폐쇄식 순환여과식이 실현된 경우도 있는 것으로 알려지고 있음

38) 서근학·김병진·전임기, “순환여과식 양식시스템의 설계 및 개발”, 『한국 수산과학회지』, Vol. 34, No. 1, 한국수산과학회, 2001. 1. 참조

로써 안정적인 수질환경을 유지할 수 있으며, 물의 이용량을 감소시켜 에너지의 손실을 최소화하고 그 결과 배출수를 저감시킬 수 있는 등의 장점이 있어 환경친화적, 에너지 절감형 양식법이라 할 수 있다.

순환여과식 기술은 양식환경의 환경적 제어가 용이하고, 비용이 상대적으로 적게 소요되는 장점을 지닌 기술로 평가되는 반면, 취수시설의 대규모화가 요구되고 기타 부대시설이 소요되면서 초기시설의 투자비가 상대적으로 높고, 운영 및 관리에 전문적이 기술이 필요하다는 점은 단점으로 지적되고 있다.

최근 국제사회를 중심으로 이 기술에 대한 관심이 매우 높다. 순환여과식 기술은 유럽, 북미, 일본 등을 중심으로 일찍이 1960년대부터 시험연구가 진행되어 왔다. 과거에는 주로 담수어와 수족관을 중심으로 추진되어 왔으나, 최근에는 해산어류를 대상으로 한 순환여과식 양식기술 개발이 이루어졌으며 유럽에서는 상업적으로 보급하는 회사가 설립되어 운영되고 있다.

우리나라의 순환여과시스템은 1980년대부터 IBK 시스템이 내수면 어류를 대상으로 개발하여 산업적 적용을 추진하였다. 또한 내수면 어종을 대상으로 외국시스템을 일부 도입한 사례가 있으나 성공하지는 못하였다.³⁹⁾ 국내에 적합한 형태의 순환여과 기술 및 시스템 운용에 대한 연구는 지금까지도 다각도로 진행되고 있다. 국립수산과학원 등을 중심으로 시스템 구조 개선과 여과시스템 효율 향상 등 현장 적용에 적합한 순환여과시스템 개발이 진행⁴⁰⁾되고 있는데, IBK 순환여과시스템과 도랑식 순환여과시스템이 소개된 바 있다.

39) 국립수산과학원, 「해수 순환여과시스템 실용화 연구」, 2008. p. 5.

40) 상계서를 참조하여 작성.

| 표 4-2 | 해수순환여과시스템의 유형(예시)

구 분	특 징
IBK 순환여과시스템	·구조가 단순하여 부품의 고장이 거의 없고, 양수기의 양정고가 낮아 에너지 절약 효과가 있으며, 대형 생물여과조를 보유 ·시설구성 : 사육수조, 오물침전지, 펌프장, 생물여과조, 수로, 산소공급장치, 폐수처리장 ·고형오물의 조기제거, 용해유기물과 SS의 효율적 제거와 기체 교환, 여과조 안의 유속이 느리고 사육조 안의 물 교환율이 높음
도랑식 순환여과시스템	·광물미립자와 포말분리장치를 이용하여 생물여과 과정과 이에 부수되는 설비가 없는 양식시설로 개발 ·시설구성 : 사육수조(상층, 하층), 포말분리장치, 순환펌프, 광물미립자 ·한 계 : 사육생체증량이 일정 이상 되었을 때 도랑 하류의 용존 산소 부족 문제, 비상시 시간적 위급성, 배관시 관내 오염문제로 중앙집중식 시설 확대 곤란성 등

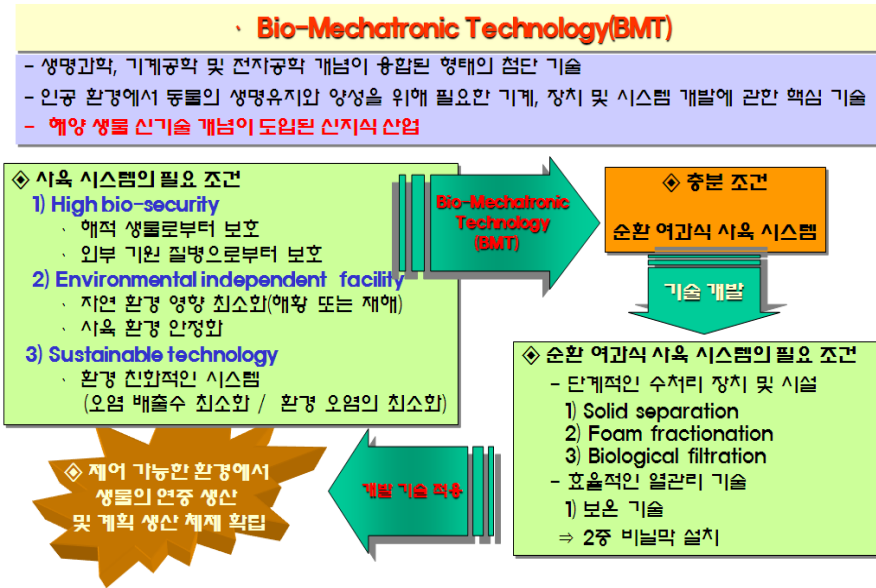
자료 : 국립수산물과학원, 전계서, 2008. pp. 29~31

그런데 대부분은 기존의 하·폐수처리 및 용수처리 기술에서 도입되는 기계적, 물리적, 생물학적 처리방법을 응용하여 시설하게 되는데, 어류를 대상으로 한 최적의 수질조건을 맞춰 준다는 것이 그리 쉽지만은 않다. 순환여과시스템에서 처리해야 할 수질요건은 온도, 용존산소, pH, 암모니아, 아질산 등의 물리, 화학적 항목 등으로, 배설물, 사료찌꺼기 등의 슬러지는 침전, 또는 기계적, 물리적 처리방법을 통해, 암모니아, 아질산 등의 유해 질소성 화합물은 생물학적인 또는 이온교환법, 병원균은 오존 및 자외선 살균기를 통하여 처리하게 된다. 그런데 하·폐수 처리장에서 이용되던 이 같은 공법은 규모에 따라서 막대한 시설비와 고도의 운영 기술이 필요하다. 경제성 등을 감안해 볼 때 양어장의 순환여과시스템을 그대로 도입하기란 여건상 어려움이 많은 실정이다.

2) 순환여과시스템의 기술 특성

순환여과시스템은 한 번 사용한 사육수를 다양한 수처리 과정을 거쳐 재 사용하는 양식 방법으로 운전 방식에 따라 반순환여과(Semi-Closed Recirculating Systems)와 완전순환여과(Closed Recirculation Systems)로 구분한다. 반순환여과는 순환펌프의 양수량 기준으로 약 95%가 재순환되며, 일간 120% 정도의 새물을 보충하여 해산어류 종묘 생산 시설에서 주로 이용된다. 반면, 완전 순환여과는 최근에 도입된 개념으로 총 사육수량의 80~100%를 재순환한다.

순환여과시스템의 특징은 환경독립형(Environmental Independent Systems)으로 외부 환경 변화에 영향을 받지 않고 사육 시스템 내부 환경 제어를 통해 안정적인 사육 환경을 유지하고, 외부 해적 생물 및 질병의 유입 차단이 가능하며, 연중 지속 생산으로 성장이 빠르며, 대규모 취수 시설 및 운전 비용이 절감되는 시스템이라는 것이다. 나아가 양식 노폐물에 의한 외부 환경 오염원의 배출이 최소화되어, 외부 환경에 영향을 거의 주지 않는 환경친화형(Environmental Friendly Systems)시스템이다. 즉, 순환여과시스템은 배출수가 적고, 고형물 및 유·무기 질소, 인 등과 같은 최종 배출수 처리가 용이하여, 소량의 보충수(0~20%)만으로도 고밀도 사육이 가능한 물 자원 절약형 시스템이며, 적은 에너지 비용으로 동절기간 중 지속 성장이 가능한 에너지 자원 절약형 시스템이다.



| 그림 4-1 | 순환여과시스템의 특성과 운영 개념

3) 순환여과시스템의 구조

이 시스템은 해양생물 사육 시 발생하는 고형 오염물과 암모니아성 질소 등을 침전조, 거품분리기, 생물여과조, pH 조절기 등을 직렬로 연동시켜 사육수를 안전하게 수처리 함으로써 재사용하는 것이 핵심이다. 따라서 자연 으로부터 독립된 환경을 제공함으로 적조, 냉수대 등의 자연 재해로부터 생물을 적극적으로 보호할 수 있고, 통제가능한 인위적인 사육 환경을 제공하여 사육생물을 질병으로부터 보호하고, 동절기에는 에너지 절감효과를 40% 이상 실현할 수 있다.

순환여과시스템에서 사용되는 중요한 처리 과정으로는 스크리닝(screening), 침전(settling or sedimentation), 입자상 미디어 여과(granular media filtration), 생물학적 여과(biological filtration), 에어레이션(aeration), 소독(disinfection) 등이 있다.

| 표 4-3 | 순환여과 양식 시설 내 물리적, 화학적, 생물학적 수처리 방법

물리적 방법	화학적 방법	생물학적 방법
Screening 침전 모래 여과 규조토 여과 원심분리 및 와류 침전 수온 조절 UV 살균 Cartridge filter Bag filter	폭기 순수산소 주입 알칼리도와 경도 조절 탄소 흡착 pH 조절 역삼투압 탈기(CO ₂ 등) 포말(거품)분리 이온 교환 오존처리	질산화 처리 탈질산화 처리

(1) 어류사육조

생물의 배설물이나 사료찌꺼기인 고형물은 중앙배수구를 통하여 자동적으로 침전조로 보내 1일 2회 외부로 분리 배출하여 고형 유기물을 신속히 배출(바닥경사도 5~7%)하는 과정이다.

(2) 침전조

정온수역을 형성하고, 최소한의 사육수로 오물을 침전(상등액 청정수는 순환여과시스템으로 재 반송)하는 과정이다. 양식생물의 배설물이나 먹이 찌꺼기로부터 기원하는 침전 가능한 유기 고형물은 시스템 내에서 배관을 막히게 하거나 생물학적 여과조에 과도한 부하를 주어 여과 기능을 저하시키는 요인이 된다. 또한 시스템 내 과도한 BOD와 COD 소모를 조장하여 산소를 소모시키게 된다. 어류에게 치명적인 독성을 나타내는 암모니아의 70%가 고형물에서 유래된다는 보고가 있어, 신속한 고형물 제거가 순환여과 시설 내 수질 관리의 첫 걸음이라 할 수 있다. 그러나 어류에서 기원되는 고형물(분)은 소화된 것과 되지 않은 것이 공존되어 점액 물질로 코팅되어 있어, 분의 비중을 감소시켜 침전 효율이 저해되며, 약한 와류에도

질소 성분이 유출되는 등 어종 특이성에 따라 처리 방법이 많이 달라진다. 고형물 제거 방법 중 침전 분리 제거 방법은 가장 간단하고 전문적인 지식 없이도 관리가 가능하다.

그러나 부유 고형물을 효과적으로 제거하기 위해서는 큰 규모의 침전 시설이 필요하며, 원심력을 이용한 와류 침전조를 적용하거나 비교적 단시간 내 침전 가능한 큰 고형물을 제거하는 데 이용하는 것이 바람직하다. 또한 해수에서는 물의 비중이 높아 담수에 비해 침전 효율이 감소하므로 해수 시설에서는 침전조의 관리 비중이 증가하게 된다.

침전법은 보통 $100\mu\text{m}$ 이상의 고형물질을 자연 침전시키는 방법으로 과거에 순환여과시스템에서 가장 많이 이용했던 방법이며 시설은 간단하나 시설면적을 많이 차지한다. 또 침전된 고형물질을 제때에 처리하지 않으면 이 침전물이 분해되면서 암모니아, 아질산 등의 독성물질을 발생시키며 많은 양의 용존산소를 소비하게 되므로 오히려 역효과를 가져올 수 있는 시설이다. 그러므로 침전조 시설에는 침전된 고형물질이 잘 배출될 수 있도록 배출구에 주의해서 설치해야 한다. 침전조는 일반적으로 사육수조의 최종 배출구에 위치하며, 순환여과의 선단부에 위치하게 되는데 직사각형, 정사각형, 원형의 구조로 많이 시설된다. 단일 직사각형 구조는 같은 용량의 원형 구조에 비하여 시공비가 많이 들지만 여러 개의 탱크를 공유할 수 있어 유리하다.

폐수처리장에서는 화학적 응집제를 넣어 침전 효과를 좋게 하지만 양어장 순환여과에서는 응집제의 독성 때문에 사용을 하지 않으며 부레옥잠 등의 수중 생물을 이용하여 질소나 인 성분 등을 제거하는 경우도 종종 있다. 침전조를 설계하는 데 있어서 설계 요인은 입자의 침강속도와 유량으로 결정된다. 입자의 입경이 작아서 침강속도가 작고, 유량이 클수록 침전조의 면적은 커지게 되어 시설비가 많이 투자된다. 침전조가 작고 효율을 높이기 위한 방법으로 경사판 침전장치 등을 사용하기도 하는데 설치비 면에서 많은 비용을 차지한다.

(3) 스키머(거품분리기)

미세한 유기물과 함께 들어온 사육수는 미세한 공기방울로 제거되고 사육수는 생물여과조로 보내진다. 미세한 공기발생은 벤츄리펌프를 이용하는데, 이는 물의 압력차로 벤츄리를 이용하여 공기와 거품을 발생시키는 방법으로, 거품분리기 내에서 유기물과 상승하는 공기방울이 적정한 접촉 시간을 유지할 수 있도록 사육수의 hydraulic retention time(HRT, 수리학적 체류시간)은 약 1~2분 이상이 되어야 하며, 분리효율을 높이기 위하여 사육수와 air가 반대로 흐르는 count-current형이 효과적이다. 거품분리기는 용존성 또는 부유성의 고형물 제거를 위해 드럼스크린 등의 1차 처리과정을 거친 다음 단계에 설치하여 이들이 제거하지 못하는 미세한($30\mu\text{m}$ 이하) 입자를 제거하는데 이용하면 순환여과시스템의 전체적인 효율 향상을 기대할 수 있다. 비교적 구조 및 설치가 간단하고 청소가 필요 없으므로 유지, 관리가 용이하다. 순환여과시스템에서의 사용은 단백질성의 고형물이 암모니아, 아질산으로 전환되기 이전에 제거되므로 시스템 내 생물여과조의 부하를 줄일 수 있으며, 질산염 등의 축적을 막을 수 있다. 하부에서 미세한 거품을 얼마나 많이 발생시켜 주는가에 따라서 본 장치의 효율이 결정된다. 가장 간단한 장치로는 인젝터를 이용한 방법이 있는데 공기 유입부에 순수 산소를 공급하면 용존산소 분해효율을 높일 수 있어 산소용해 장치로의 이용도 가능하다.

(4) 물리여과조

사육수의 SS(suspended solid)를 저감시키기 위해서 드럼필터, 모래여과조 등을 채택하기도 한다. 이 중 주로 드럼필터가 최근 많이 이용되고 있으나, 매우 고가여서 채택에 어려움이 있다. 드럼필터에 의한 고형물 제거는 담수 순환여과시스템에서 많이 쓰이는 방법으로 부가적인 전기 구동장치가

필요하며, 카트리리지 필터 및 Bag filter 등은 잦은 교환 및 청소로 인한 유지 관리 비용이 증가하게 된다. 1차 여과는 물리적 여과라고도 하며 목적은 양어장 수처리 중 고형물질을 제거하여 생물여과조의 부하를 줄여 주는데 있다. 양어장 사육수의 고형물질은 어류의 배설물, 분비물, 잔여 사료에 의하여 연속적으로 발생되고 있으며 이 고형물질의 제거는 순환여과식 양어장의 전체 시스템에서 가장 중요한 설계요소가 된다. 실제로 급이한 사료의 70~80%가 양어장 내의 부산물로 발생된다.

양어장에서 발생하는 고형물질은 곧바로 i) 어류의 아가미에 해를 주거나 ii) 암모니아, 아질산 등의 유독성 용존물질로 전환되어 순환여과의 후단부의 물리적, 생물학적 여과조의 부하를 높여 시설비 및 운영비용을 가중시키게 되며, iii) 미생물 여과재에 막힘 현상을 초래하고 iv) 용존산소의 소비량을 가중시키게 되므로 양어장에서는 가능한 빠른 시간 내에 사육수로부터 분리시켜 주는 것이 중요하다. 지금까지 일반 양어장을 운영하면서 또는 일부나마 순환여과식 양어장을 운영하면서 가장 문제시되었던 것이 배출수 중 고형물질의 처리라는 것은 모두 동감할 것이다. 현재 양어장에서 발생하는 고형물질을 제거하기 위하여 침전법, 드럼스크린, 모래여과기 등을 가장 많이 사용한다.

(5) 생물학적 여과조

여과방식은 청소의 용이성, 질산화세균에 필요한 산소의 공급 등의 필요에 따라 여과매edia가 공기 중에 노출되는 살수식을 채택한다. 나아가 생물여과조는 사육생물에게 치명적인 독성을 나타내는 암모니아성 질소를 제거하는 박테리아를 번식시키는 곳으로 여과 효율을 최대한으로 높이기 위하여 단위면적당 최대의 표면적을 낼 수 있는 여과재를 사용해야 하며, 따라서 수처리 효율이 높으면 여과조가 차지하는 공간이 절약되어 매우 효율적이다. 양식생물의 사료내 단백질 대사 산물인 질소성 화합물(암모니아, 아

질산성 질소)은 저농도에서도 높은 독성(암모니아는 1~2mg/L, 아질산은 0.1 mg/L)을 나타내는 것으로 어류의 아가미 새엽의 곤봉화로 산소 전달 효율 감소를 일으켜 높은 용존산소 농도에서도 질식사를 초래하게 한다.

생물학적 여과조는 양식 생물의 대사산물인 유독한 암모니아, 아질산을 제거하기 위해 질산화 미생물이 대량 부착하여 있는 장소를 제공하는 역할을 한다. 미생물이 부착하는 여과 기질에 따라 생물학적 여과조의 효율 차이가 발생하므로 수류를 방해하지 않는 한 입자가 작아 단위 용적당 표면적이 큰 매질이 여과재로 많이 사용된다.

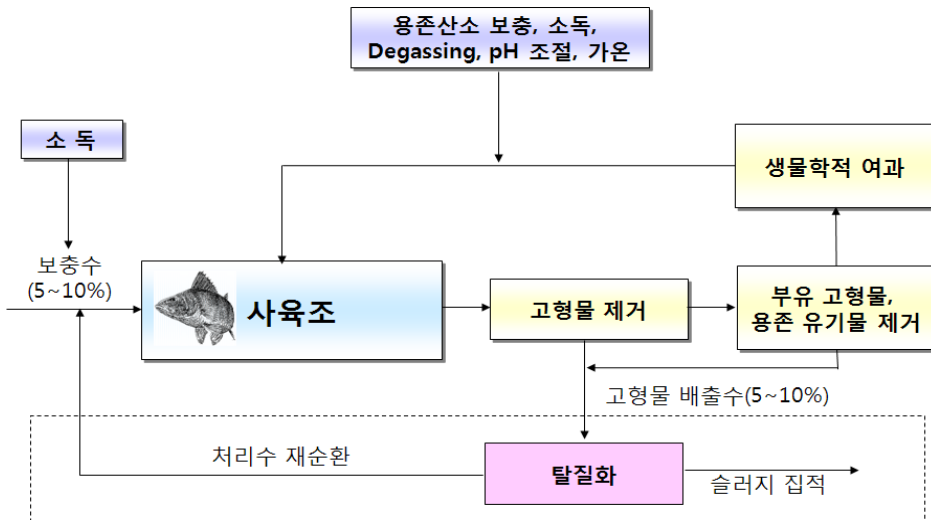
저밀도 플라스틱 부유 매질은 질산화 박테리아의 서식공간을 극대화시켜 적은 용적의 여과조로도 최대 효율을 나타낼 수 있다. 따라서 여과 매질의 specific surface area(비표면적)은 $1,000\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$ 이상 되어야 제대로 된 성능을 발현한다. 또한 적절한 여과 효율과 운전상 안전을 위해, 생물학적 여과조 내 사육수의 hydraulic loading rate(HLR, 수리학적 부하량)가 $200\sim 500\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 이 되도록 하여야 한다. 여과조로 유입되는 사육수가 여과 매질 상부 표면에 고르게 살수되지 않으면, channeling 현상이 발생할 수 있다. 이런 경우에는 여과조에 유입된 유기물이 사수 지역에 존재하면서 여과조 내부가 국부적으로 부패하거나 혐기 반응이 일어나면서 황화수소 등 치명적인 독소가 발생할 수 있다. 따라서 여과조의 상부에는 여과 매질 표면에 사육수가 고루 분배되도록 살수 장치 또는 분배 시설물을 장착하여 channeling 현상이 발생하지 않도록 한다.

(6) 살균장치

오존 및 UV 소독을 채택하여 기생충 및 기타 병원성 생물의 통제에 이용하고 있다. 그러나 가장 효율적인 질병 관리는 수처리 효율의 향상으로 양식 환경을 건전하게 유지하여 질병을 예방하는 것이다.

(7) pH 자동조절장치

사육수를 지속적으로 재사용할 경우, pH가 하강하는 경우가 있으나 이는 pH 자동모니터링 및 정량투입장치로 해결할 수 있다.



[그림 4-2] 순환여과시스템의 구성과 수처리 흐름도

4) 수처리 대상과 주요 공정

(1) 고형물(Solids in Wastewater) 처리

용존 가스를 제외한 모든 노폐물의 오염물질은 고형물 부하에 기여하고 있다. 고형물은 유기물 형태와 무기물 형태로 이루어져 있다. 고형물은 부패하고, 산소를 소비하고, 암모니아를 생산하고 생물학적 여과조에 다량의 산화물 부하를 준다.

고형물은 물리적인 방법과 다른 산업에서 빌려 온 처리 과정을 사용하여

양식 배출수로부터 제거할 수 있다. 이들 처리 과정은 스크리닝(screening)과 중력 분류(Gravity separation : sedimentation, centrifuging, hydrocloning)를 포함한다. 고형물의 중력 분리(Gravitational separation of solids)에는 침전(Sedimentation)과 원심분리(Centrifuges and Hydroclones) 등이 있다. 나아가 입자상 매질의 여과(Granular Media Filter)에는 침지식 자갈 여과(Subgravel filtration)나 고속모래 여과(Rapid sand filtration)가 채택될 수 있으나 규모가 큰 상업적 시설에 채택되는 경우는 드물다.

드럼스크린은 순환여과식 양어장에서 가장 유용하게 이용할 수 있는 고형물 제거장치이다. 보통은 $60\mu\text{m}$ 이상의 고형물질을 제거하지만 거름망의 선택에 따라서 $40\mu\text{m}$ 까지 제거가 가능하다. 구동모터를 이용하여 스크린에 슬러지를 걸러 주는 방식이며 연속적으로 제거할 수 있는 효율적인 장치이다. 그러나 기존의 드럼필터는 주로 스테인리스스틸에 폴리에틸렌 메쉬를 부착한 거름망 형태의 물리여과기로 담수용 순환여과시스템에 적합하게 개발되었으며, 앞으로 수요가 크게 늘어날 해수에서는 부식으로 인해 내구성을 해결해야 할 것이다.

모래여과기는 과거로부터 고형물질을 제거하기 위한 수단으로 가장 많이 이용되던 기기이며, 양어장에서 모래 여과기의 사용은 원수 중의 미세 고형물질을 제거하거나, 정밀여과를 목적으로 할 때 이용하는 방법이지만 순환여과 시스템에서는 많은 양의 고형물질을 처리할 때 효과성의 문제 때문에 공정상에 이용하지 않고 원수 정화에 이용한다거나, 오염원이 적은 축양장 등에서 이용하기도 한다. 처리 효율은 모래의 입경에 따라 달라지지만 너무 미세하면 손실량이 증가하여 여과를 계속할 수 없으며, 모래 입경이 너무 크면 상대적으로 여과효율이 떨어지게 된다. 모래 여과기는 해수 양어장의 경우 뿔이 많이 발생하는 지역에 설치를 하거나 순환여과시스템에서는 드럼스크린 다음 단계에 설치하여 드럼스크린에서 걸러 주지 못하는 $40\mu\text{m}$ 이하의 고형물질을 걸러 주는 데 이용하기도 한다.

원심분리 장치는 수류를 원심력에 의하여 물보다 밀도가 높은 노폐물과 물을 분리시켜 노폐물을 한 곳에 모은 후 침전조 밖으로 배출시키는 장치이다. 원주 방향으로 유입된 흐름은 원주를 따라 돌아 내려가면서, 고회전자들은 벽면을 타고 내려가면서 아래 부분을 통하여 배출되고, 맑은 물은 수조의 중앙부에 형성된 저압부를 따라 유입수와는 반대 방향으로 회전하면서 상부를 통하여 유출되게 된다. 원심분리장치의 직경은 작게 할수록 원심력을 크게 얻을 수 있어 효과가 증대된다.

이 장치는 물과 고형물질과의 비중차가 클수록 유리한데 실제적으로 양어장, 특히 순환여과시스템에서는 슬러지와 밀도차가 0.2 미만으로 작아서 원심력이 크게 작용하지 못하며, 연속적으로 슬러지 배출을 위한 방류를 해야 하므로, 사육수 소모량이 크고, 고속 회전하는 과정에서 슬러지가 미세하게 부서지므로 처리를 더욱 어렵게 하기 때문에 실제적인 적용은 어려운 실정이다. 다만 해산어 양식장에서 원수 중에 입자의 비중이 비교적 큰 뱀 등의 유입으로 이를 제거하기 위한 수단으로서는 사용 가능하다.

(2) 부유 또는 용존유기물의 처리(SS and DOC)

대규모 상업적 순환여과식 시설에서 부유 또는 용존 유기물은 거품분리법의 적용이 가장 이상적이다. 그러나 담수는 해수에 비하여 점도가 낮아 그 제거 효율이 낮기 때문에 공기방울 입자의 크기를 미세하게 보내는 기술이 필요하다.

거품분리법은 폐쇄형 칼럼에서 상승하는 공기방울 표면 위의 흡착에 의해 어류 양식수로부터 용존 유기 탄소(Dissolved Organic Carbon : DOC)와 현탁 유기 탄소(Particulate Organic Carbon : POC)를 제거하는 과정이다. 거품 분리 과정에서 가장 중요한 설계 요인은 i) 공기-물 비율(the air-to-water ratio) ii) 공기방울의 직경(air bubble diameter) iii) 칼럼 높이와 직경(column height and diameter) iv) 거품의 높이(foam height) v) 공기와 물의 접촉 시간

(air-water contact time)이다.

정류(co-current)와 역류(count-current) 설계, 두 가지 종류의 거품분리 장치가 양식에 응용되고 있는데, 역류 설계에서 공기방울과 물은 서로 반대 방향으로 움직이며 공기와 물의 접촉시간을 증가시키는 데 반해 정류 설계는 공기방울과 물이 함께 상승하여 접촉시간이 짧은 단점이 있다.

(3) 용존 질소의 생물학적 여과(Biological Filtration)

넓은 의미에서 생물학적 여과라는 용어는 수용액으로부터 물질을 제거하기 위해 살아 있는 생물을 사용하는 여과 기술을 말한다. 따라서 생물 여과조는 거대한 생물군집이 살아가는 장소이기 때문에 사육생물과 같은 개념으로 관리해야 한다. 고형물질이나 현탁물질은 보기에는 나쁘더라도 생물에게 직접적인 해가 없으나, 질소성 부산물은 독성이 커 직접 생존에 영향을 주므로 순환여과시스템에서 중요한 수처리 과정이다.

질산화 작용은 산소를 필요로 하는데 산소가 거의 포화 농도일 때 가장 효율적이다. 또한 이 과정은 수온 27~35℃에서 7~8 정도의 pH 범위일 때 가장 효과적이다. 암모니아를 아질산염으로 전환시키는 *Nitrosomonas* 세균은 약간 차가운 온도에서(16~20℃)도 기능을 하는데, 아질산을 질산으로 바꾸는 *Nitrobacter*는 이 온도에서는 기능을 잘하지 못하므로 수온이 비교적 낮게 유지되는 양만장에서는 아질산의 축적으로 갑작스럽게 양식생물이 대량으로 폐사할 수 있다. 이는 아질산이 헤모글로빈과 결합하여 생물의 체내 산소운반 능력을 급격히 떨어뜨려 수중에 산소가 충분하여도 질식현상을 초래하기 때문이다. 근본적으로 온수성 어류가 냉수성 어류에 비해 암모니아 독성에 강하고 담수어가 해산어에 비해 암모니아 독성에 강하다.

| 표 4-4 | 아질산성 질소의 양식 품종에 대한 급성 독성 농도

어 종	48~96LC50 (mg/L NO ₂ -N)	어 종	48~96LC50 (mg/L NO ₂ -N)	어 종	48~96LC50 (mg/L NO ₂ -N)
무지개송어	0.19-0.39	Labyrinth fish	28-32	찬넬메기	7.1-13
Cutthroat trout	0.48-0.56	fathead minow	2.3-3.0	Largemouth bass	140
Chinook salmon	0.88	금붕어	52	Smallmouth bass	160
잉어	2.6	Bluegill	80	Green sunfish	160

자료 : Russo, R.C. and R.V. Thurston. 1991. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes, *Aquaculture And Water Quality*, Brune, D. E. and J. R. Tomasso, eds. Baton Rouge, LA : World Aquaculture Society.

아질산염과 마찬가지로 질산염도 수온이 낮아지는 가을철에 많이 축적된다. 질산염은 무기태 질소 화합물들 중에서 독성이 가장 낮으며 어류가 영향을 받을 정도의 농도는 암모니아와 아질산에 비해 훨씬 높은 수준이다. NO₃-N의 96시간 노출에 대한 반수치사농도(LC50)는 많은 어류와 무척추동물에게 1,000-3,000mg/L 범위이다. 질산염은 순환여과시스템에서 1일 물 교환으로 조절될 수 있다.

| 표 4-5 | 질산성 질소의 양식 품종에 대한 급성 독성 농도

어 종	96LC50 (mg/L NO ₃ -N)	어 종	96LC50 (mg/L NO ₃ -N)	어 종	96LC50 (mg/L NO ₃ -N)
구피	180-200	Chinook salmon	1,310	찬넬메기	1,400
Guadalupe bass	1,260	무지개송어	1,360	Bluegill	420-2,000

자료 : Russo, R.C. and R.V. Thurston. 1991. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes, *Aquaculture And Water Quality*, Brune, D. E. and J. R. Tomasso, eds. Baton Rouge, LA : World Aquaculture Society.

질산(NO₃)은 약 400 mg/L까지 비교적 독성이 없는 것으로 여겨지고 있다. 암모니아를 질산으로 전환하는 것은 호기성 과정으로 만약 혐기성 조건으로 발전하게 된다면, 탈질산화작용이 일어나고 질산염은 다시 암모니아로 재전환된다. 탈질화작용은 사육수로부터 질소를 없애는 과정으로 암모니아를 최종 제거하나 경제성 때문에 채택할 수 없는 상황이다.

① 생물학적 여과조의 형태(Types of Biofilters)

생물학적 여과조는 다양한 형태와 방법으로 사용되고 있으며, 침지식(Submerged), 살수식(Trickling), 회전원판식(Rotating Biodisks/Biodrum), 유동층(Fluidized Beds)과 저밀도 매질 여과조(Low-Density Media Filter) 등이 있다.

가. 살수 여과(Trickling Filter)

살수 여과는 기본적으로 매질이 침지되지 않는다는 것을 제외하고는 침지식 형태와 같은 기능을 한다. 사육수는 매질을 통해 아래쪽으로 흐르도록 물을 뿌려 주면서 세균의 수분을 유지하도록 완전히 침지시키지는 않는다. 매질 입자 사이의 공백은 물이라기보다 공기로 채워져 있어 매질을 통한 공기 순환은 대부분의 세균에게 필요한 산소를 제공하므로 침지식 여과에서 보다 여과효율을 크게 높일 수 있다. 막힘 현상은 살수 여과조에서는 심각하게 문제가 되지 않으며 물은 보통 고정 스프레이 막대나 회전 스프레이 막대에 의해 여과조 표면 위로 뿌려진다.

플라스틱 형태의 매질은 더 많은 표면적을 제공하고 무게가 비교적 가볍기 때문에 살수식 여과조의 매질로 각광받고 있다. 이들 매질은 용적비당 가격이 비싸지만 여과 표면적당의 비용을 계산하면 효율적이라 할 수 있다.

나. 회전식 매질 여과(Rotating Media filter)

회전식 매질 여과는 고정형과 침지식 형태의 두 가지 운전의 특징이 결합되어 있다. 고정 매질은 사육수(현탁 매질)가 흐르는 용기 내에서 회전하고 있으며, 이들 여과조는 흔히 회전판 여과조(revolving plate biofilter)나 Rotating Biological Contactors (RBCs)라고 한다. 대략 디스크 표면의 40%가 한번에 침지되며, 생물학적인 접촉은 디스크 표면 위에서 일어난다. 그리고 디스크가 회전하는 것처럼 biofilm은 수분을 유지하게 되고 산소를 공급하게 된다.

순환여과시스템 시설을 할 때, 한동안 회전판을 장착한 회전식 생물 여과조가 권장되었지만, 대형 양식장에서는 시설비가 엄청나게 많이 소요 될 뿐만 아니라, 시설 공간을 많이 차지하고, 빈번한 정비가 요구되므로 최근에 와서는 이 방식을 거의 채택하지 않고 있다.

다. 유동층 반응기(Fluidized Bed Reactors)

유동층 반응기에서 매질은 원통형 또는 사각형 구조의 수직 용기에 담 아두게 된다. 크기가 큰 자갈 층(직경 19~25mm)이 모래를 보완하기 위해 사용된다. 구멍 난 판자는 자갈층을 지지하고 short-circuiting을 막기 위해 들어오는 물을 고루 분배하기 위해 사용된다. 매질은 위로 흐르는 물에 의해 부유하거나 유동된 채 유지된다. 사용되는 가장 흔한 형태의 매질은 굵 은 모래이고 그래서 이 반응기를 유동모래여과기(fluidized sand filters)라고 불린다. 이들 반응기는 밀폐형 또는 개방형이 있으며, 모래층을 확장시키면 서 운전한다. 그 결과 모래 입자 사이의 공백이 많아지고 더 많은 물이 유 입되어 모래 입자와 접촉하면서 여과층은 훨씬 더 쉽게 산소가 녹아들어 가게 된다. 반응기는 정상적으로 25~100%까지 확장된다.

라. 저밀도 매질 여과조(Low Density Media Filters)

흔히 floating bead filter라고 불리는 저밀도 미디어 여과조는 밀폐형 상향 류 형태의 여과 매질로 폴리에틸렌 구슬(직경 3~5mm)을 사용한다. 구슬은 물보다 밀도가 작아야 하고 그 결과 유입수가 들어오는 부분 위에 뜨게 된다. 구슬이 배출수와 함께 팔려 나가는 것을 막기 위해 여과기 위에 스크린이 설치되어 있다. 여과 구역은 깔때기 모양의 침전부 아래에 있으며 프로펠 라형 모터가 정기적으로 물을 교반시켜 주고 구슬을 씻겨주는 데 사용된다.

Bead filter는 생물학적 여과 외에 고형물을 걸러 내는 목적을 가지고 이용되고 있다. 총 현탁고형물(TSS) 여과는 입자상 매질의 matrix 사이에 걸 린 입자들에 의해 이루어진 후 침전이 일어나게 된다. 여과기는 현탁 입자

를 거르는 반면 동시에 타가영양세균과 질산화 세균의 증식을 위해 상당한 비표면적을 제공한다.

② 생물학적 여과조의 운전에 미치는 요인

가. 화학적 요인(Chemical Factors)

보통 생물학적 여과조는 pH 6-9 범위에서 운영된다. 질산화작용 효율은 pH가 더 떨어질수록 감소하게 된다. Nitrosomonas와 Nitrobacter의 증식에 필요한 최소한의 pH는 6.5-7.0이다. 나아가 사육수의 암모니아와 아질산이 지나치게 높으면 질산화 세균에게 유독하게 작용하며, 질산화 효율은 이용할 수 있는 산소량이 적어짐에 따라 감소하게 된다. 또한 질산화 세균은 염분도에 영향을 받아 해수에서 크게 억제된다. 독성화합물(Toxic compounds)도 질산화 작용을 억제하는 요인으로 여과층 세균에 영향을 미친다. 어류 질병 치료에 사용되는 항생물질과 살충제는 여러 가지 농도에서 독성을 나타내는데, 포르말린과 Furanace가 질산화 세균에 약한 독성을 나타낸 반면, 담수에서 erythromycin, chlorotetracycline, methylene blue 등은 독성이 높은 것으로 나타나 있다.

나. 물리적 요인(Physical Factors)

질산화 세균은 천천히 순차시킨다면 넓은 범위의 온도에 적용할 수 있으나, <표 4-6>에서와 같이 저수온에서는 질산화 작용의 효율이 크게 낮아진다. 주로 무해한 고형물질이 기질이나 여과 매질로 사용되고 있으며, 모래, 자갈, 굵은 자갈, 굴이나 조개껍데기 나무껍질과 플라스틱과 세라믹 입자 등 다양한 형태의 매질이 있다. 매질의 선택은 크게 비용, 이용도, 무게, 원하는 표면적과 시설 용량에 달려 있다. 비표면적은 세균이 부착하는 데 이용할 수 있는 총표면적이고, 매질 크기와 공극비와 관련이 있다. 직경이 작은 여과 매질 입자는 단위 용적당 더 큰 비표면적을 가지며, 큰 매질보다

더 낮은 공극비율을 가진다. 그 결과 비표면적이 커질수록 단위 용적당 암모니아 전환효율은 더 커지게 된다. 큰 매질 크기는 같은 비표면적을 얻기 위해 더 많은 여과조를 만들어야 하고 여과조 설치비용은 상당히 증가하게 된다. 그러나 매질이 작은 여과조는 더 빨리 막히게 되고 더 자주 역세할 필요가 있다.

막의 두께는 여과 매질 위에 성장하고 있는 세균 군집으로 덮여 있는 층의 두께를 말하는데, 너무 두꺼울 경우 속에는 산소 전달이 어려워 오히려 환원 상태로 존재하면서 효율을 크게 낮춘다. 나아가 완전한 혐기조건에서 생물학적 여과조의 기능은 최고에 도달한다. 자연광 세기의 1% 정도와 같이 낮은 빛의 세기에서도 질산화 작용을 저해하게 된다.

| 표 4-6 | Nitrosomonas(NS)와 Nitrobacter(NB) 성장을 위한 적정 수온 범위

미생물 종류	수온(℃)			Source
	범위	최적	저해	
NS	30-36	30-36	-	Buswell et al.(1954)
NS	10-40	30-35	-	Kawai et al.(1965)
NS	-	-	<5	Buswell et al.(1954)
NB	8-28	28	-	Nelson(1931)
NB	4-45	34-35	-	Deppe and Engle(1960)
NB	-	42	-	Laudelout and van Tichenlen(1960)
NB	10-40	30-35	-	Kawai et al.(1965)
NB	-	-	<4	Deppe and Engle(1960)
NB	-	-	<45	Deppe and Engle(1960)

자료 : Hochheimer, J. N. and F. W. Wheaton. 1991. Understanding Biofilters : Practical microbiology for ammonia removal in aquaculture, *Engineering Aspects of Intensive Aquaculture, Proceedings from the Aquaculture Symposium*, Cornell University, Ithaca, NY, April 4-6, 1991.

2. 저수유수식시스템(Shallow Raceway System : SRS)

유수식기술은 새로운 물을 주입하여 수중에 산소를 공급하고 사육어의 배설물, 사료 찌꺼기 등의 오염물질을 수조 밖으로 배출하여 사육환경을 양호하게 유지하는 것이다. 유수식기술의 경우 다른 양식방법에 비해 주수율이 높아 단위사육량당 열에너지 소비가 많아져 유리한 조건을 갖추지 못하는 경우 경영성과에 악영향을 미치는 단점이 있는데 저수유수식은 주수율이 기존 방식에 비해 낮은 특징을 지닌다.

저수유수식시스템이란 1990년대 초반 Akvaplan-niva업체가 자체 R&D 경험을 기반으로 개발한 고밀도양식시스템(Hyper-intensive aquaculture)이다. 기존 육상수조 양식장이 1단에 양식 수산물을 육성하는 시스템이라면 저수유수식시스템은 복수의 단(rack)을 수직으로 세우고 해수를 재사용 또는 재순환시킴으로써 낮은(low and intermediate) 수심과 염도에서 양식 수산물을 육성하는 시스템이라고 할 수 있다.

이 시스템에 관한 연구결과는 1992년부터 노르웨이를 중심으로 기술개발이 이뤄졌으며 이에 대한 기술개발 보고서가 다수 발표되었다.⁴¹⁾

41) SRS에 관한 기술개발 및 실험논문은 다음과 같다.

Strand H.K., Hansen T.K., Pederson A., Falk-Peterson I.B. & Øiestad V., First feeding of common wolfish, *Anarhichas lupus*, on formulated dry feed diets in low water-level raceway system, *Aquaculture International* 3, pp.1-10, 1995.

Øiestad V. & Aune A, Farming halibut in raceways, Final Report for the Norwegian Research Council(NFR)-Project 109125/120(1996) 27s, 1997.

Øiestad V. & Klokseth V, Lump sucker made ready for farming, Final Report for the Norwegian Research Council(NFR)-Project 115897/122(1997) 20s, 1998.

Øiestad V. and Trond Bjørndal, Industrial Parks for Aquaculture, International Symposium on Integrated Coastal Zone Management, 2007.

Øiestad V., "Economy of a 400 tons sole plant by use of SRS and RAS", Sole workshop, Portugal, 2010.

Øiestad V., Growth studies on marine organism in raceways, Final Report for the Norwegian Research Council(NFR)-Project 104837/110(1992-94) 17s, 1995.

Øiestad V., More farm yield with shallow raceways, *Fish Farmer Magazine* Sept/Oct, 1996. 24, 1996.

저수유수식시스템과 표준유수식(standard raceway)과의 가장 큰 차이는 낮은 수위, 높은 사육밀도, 해수의 플러그 흐름이다. 첫째, 수위(water level)는 어류 사이즈에 따라 0.7~25cm 정도를 유지한다. 둘째 높은 사육밀도(high density)로 200~300%의 밀도에서 사육할 수 있다. 셋째, 난류(turbulent)와 플러그 흐름(plug-flow)의 존재이다.

양식 성공의 가장 핵심은 꾸준한 해수의 흐름이라고 할 수 있다. 그러나 기존의 양식시스템 하에서는 꾸준한 해수흐름을 유지하기 어렵고, 펌프문제 또는 유독 조류 발생 등의 이유로 해수 공급이 중단될 가능성이 있다. 그러나 저수유수식시스템은 꾸준한 해수흐름을 보장할 수 있다.

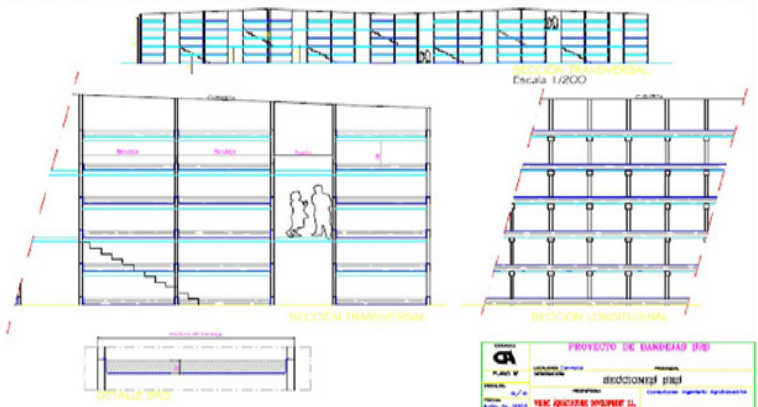
SRS 시스템의 가장 큰 장점은 자원의 활용도가 높고 자동화 시스템 구축이 용이하다는 점이다. Akvaplan-niva업체에 따르면 SRS는 최대 10단까지 높여서 양식생산이 가능하다고 보고 있다. 이처럼 저수유수식시스템은 고밀도양식을 위한 수조 구성을 가능케 하는 핵심기술로 평가할 수 있다.

이 방법은 유럽을 중심으로 한 해외에서 본격적으로 시도되고 있는 것으로 알려지고 있으며, 국내의 경우 앞선 사례에서 살펴본 것처럼 기초적인 개념의 시설 도입이 모색되고 있다.

Øiestad V., Rearing concept for spotted wolffish, Final Report for the Norwegian Research Council(NFR)-Project 104837/110(1993-95) 11s, 1996.

Øiestad V., Shallow raceway as a compact, resource-maximizing farming procedure for marine fish species, Aquaculture Research 30, pp.831-840, 1999.

Øiestad V., Shallow raceway as a solution to compact resource--maximizing farming procedure of marine fish species. Framing Marine Fish beyond the Year 2000: Technological Solutions for Biological Challenges, International Council for the Exploration of the Sea, Trømso, Norway, pp.11, 1998.

구 분	SRS 모식도 및 사진
스페인	
노르웨이	
네덜란드	

자료 : Victor Øiestad, *Industrial Parks for Aquaculture-now launched in Spain*, 2011.

[그림 4-3] SRS 모식도 및 사진

3. 미생물 총기술(Biofloc technology, 바이오플록)⁴²⁾

순환여과식시스템(RAS)이나 저수유수식시스템(SRS)의 핵심은 균일·안정화된 해수(사육수)의 지속적 순환 이용이다. 고밀도 양식에 있어 양식과정에서 사료나 양식어류로부터 발생하는 유기물(암모니아 등)의 축적으로 유발되는 해수의 수질을 정화하는 기술은 매우 중요하다. 안정된 해수의 지속적 이용과 해수의 배출을 위해서는 사용된 해수에 대한 적절한 여과·정화기술이 필수적이다.

정화·여과기술은 크게 생물학적 방법, 물리적 방법, 화학적 방법 등으로 구분되며, 세부적인 방법은 표와 같이 분류해 볼 수 있다. 각 기술은 시스템에 따라 채택되는데, 참고로 현재 63빌딩, 아쿠아리움 등의 대형수족관 시설의 경우 수질 관리기술을 복수로 조합하여 배출수를 처리하고 있는 것으로 조사되고 있다. 기술의 조합은 대체로 생물학적 여과방식을 기본으로 하며, 여기에 보완적 기술로 화학적 또는 물리적 여과방식을 병행한다.

표 4-7 | 수질 관리 기술의 유형

구 분	세부기술
생물학적 기술	회전원판법, 침지식, 살수식, 수경법, 활성슬러지법, 유동층법 등
물리적 기술	부상분리, 압력식 사여과, 드럼필터 등
화학적 기술	오존 또는 UV살균, 광촉매 등

42) 본 내용은 장인권, “친환경 고생산성 유기새우양식기술”, 국립수산물과학원 서해수산업연구소 해역산업과 새우양식 세미나 및 수확체험행사 자료와 탄혜수산자원연구소에서 발표한 내용을 기초로 내용을 재구성하여 정리하였으며, 필요한 경우 부분적으로 내용의 일부를 발췌·정리하였음(단, 여수처리 주요 공정).

빌딩양식의 경우 관건이 되는 것은 고밀도 집약식 시설인 탕에 도심지의 대형수족관(조방적 밀도)이 현재 시행하는 수처리 방식에 비해 더 높은 고효율 처리방법과 면적도 상대적으로 넓은 공간이 필요하다는 점이다. 이에 본 절에서는 다양한 기술 중에서도 최근 국내에서도 새우의 순환여과식 양식에 도입되어 좋은 성과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있는 “미생물총기술(BioFloc technology, 이하 바이오플록)”을 중심으로 살펴보고자 한다.

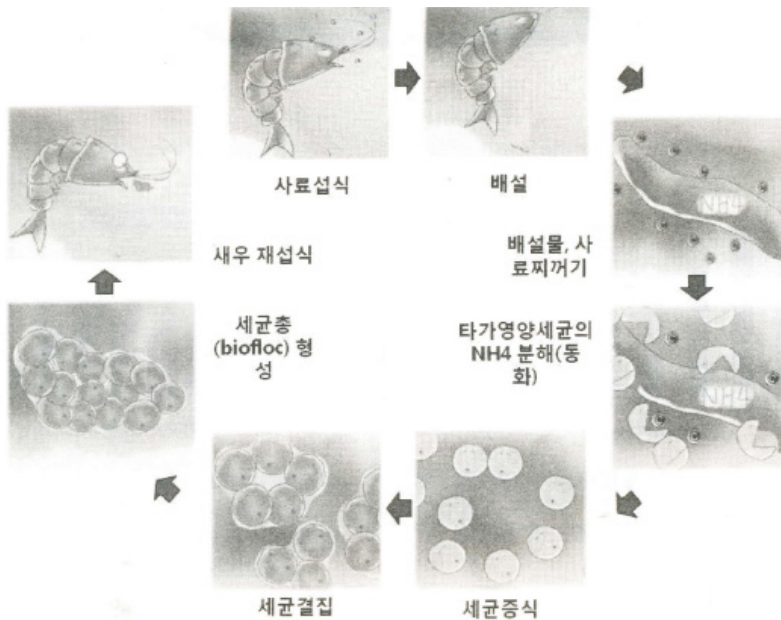
1) 바이오플록의 개념

순환여과시스템은 양식 생산성을 높인 괄목할 만한 기술로 평가되나, 연구적 성과와 별도로 산업화는 경제성 문제로 인해 실패한 경우가 많다. 그런데 바이오플록이 고밀도 양식의 산업화를 가능케 하는 주요 기술로서 세계의 관심을 모으고 있다.

당초 순환여과방식의 문제를 해결하는 기술 개발은 텔라피아에서 처음 시작되었는데, 1990년대 이스라엘에서 사육수의 교환은 물론 슬러지를 제거하지 않고서도 사육수의 수질이 유지되는 기술이 발견되었다. 이후 중미 벨리즈에서 축제식 양식장에 이 같은 기술을 적용하여 고밀도 새우양식의 산업화에 성공한 것으로 알려지고 있다. 2000년대 이후 미국 사우스캐롤리나 주의 와텔연구소와 텍사스 A&M대학의 새우연구소에서 이러한 방식을 실내 새우양식에 처음으로 적용시켰으며, 연구로서는 상당한 발전을 이루었다. 고밀도 양식을 유지하면서도 슬러지와 사육수의 배출없이 수질을 유지하는 방식은 EFS(환경친화시스템), ASP(활성부유법), MBA(미생물양식시스템) 등 다양한 이름으로 명명되었으며, 지금은 바이오플록(미생물총)기술로 불리고 있다.

앞서 국내 울진의 빌딩양식장에서 양식과정으로 발생한 분변토 정화 방법으로 광물미립자를 이용해 순환여과식시스템을 구현할 수 있었다고

하면, 새우 순환여과식시스템에서는 바이오플록이라는 미생물을 이용하여 순환여과식시스템을 완성한 것이다. 플록이란 식물성플랑크톤, 균류, 규산염, 아메바, 선충류 등이 혼합되어 집적된 상태이다. 바이오-플록은 미생물 즉, 박테리아가 대량 번식하여 마치 솜털과 같이 된 상태를 의미한다. 박테리아가 대량 번식하여 집적되면 작은 솜털 형태가 되는데 이를 바이오플록이라 한다. 이는 새우양식에서 기존에 주요 정화장치로 이용되는 조류를 대신하여 채택된 방식으로, 조류에 의존한 양식보다 안정적이라는 장점이 있는 것으로 평가된다. 플록은 많은 양의 새우 배설물과 사료찌꺼기에 의한 질소성 폐기물을 분해하는 데 조류보다 효과적이라고 알려지고 있다.



자료 : 장인권, “친환경 고생산성 유기새우양식기술”, 국립수산물과학원 서해수산업연구소
해역산업과 새우양식 세미나 및 수확체험행사 자료

| 그림 4-4 | 바이오플록의 생성 구조

뿐만 아니라 더 중요한 것은 새우의 사료가 될 수 있다는 장점도 있다. 이 때문에 새우양식 영양공급원의 상당량을 바이오-플록으로 대체할 수도 있어 사료비 및 인건비의 절감 효과도 있다. 이 방법은 세계적으로도 널리 알려져 관련 업계의 관심이 높는데, 2006년 세계양식학회에서는 바이오-플록과 새우양식에 관한 특별발표회가 개최되기도 하였다. 현재 새우양식에 세계적으로 이 방법을 채택하거나 도입한 경우가 많은 것으로 알려지고 있다.

우리나라의 경우 2003년에서 2008년 사이 국립수산물과학원이 pilot 규모로 기술을 개발하기 시작해 이후 기술적 도약이 진전되었다. 2005년 이후 강원도, 제주도, 영광 등 민간에 대한 기술 이전도 실시되었다. 2008년에는 국립수산물과학원이 상업적 규모의 실험(그린하우스)을 추진해 2009~2010년간 3회에 걸쳐 무병흰다리새우 양식을 실시해서 소기의 성과를 거두었다. 2009년 이후 우리나라는 명실 공히 미생물총기술 분야에서 기술과 산업화의 최우위를 점한 것으로 평가되고 있다.

국립수산물과학원의 실험 결과를 보면 그린하우스 시설에 직사각형의 raceway 구조의 사육수조를 2기(300m²×2tank)를 설치하여 바이오플록으로 3차례에 걸쳐 실험한 결과 소기의 성과를 거둔 것으로 평가되고 있다. 사육수 관리에 있어 고밀도 양식에서 가장 문제가 되는 암모니아와 아질산염의 농도가 사육수의 교환 없이도 매우 낮게 유지되는 것으로 조사되었다. 총암모니아성 질소(TAN)와 암모니아(비이온화 암모니아, NH₃)가 새우의 성장한계 농도인 0.1mg/L보다 훨씬 낮은 농도로 나타난 것이다. 이외에도 산업적인 측면에서도 경제성 확보가 가능한 것으로 평가하였다. 항생제를 사용하지 않는 유기새우를 생산함으로써 식품안전성을 확보하는 것은 물론, 면역력 증진, 사료비 절감, 연중양식·출하 실현 등이 가능해짐으로써, 기존 양식방법(축제식양식)에 비해 여러 가지 측면에서 우수한 것으로 나타났다.

| 표 4-8 | 새우양식의 기존방식과 신기술(바이오플록)의 비교

구 분	축제식양식(기존)	신기술
양식면적(수면적)	3.3ha(1만 평)	600m ² (180평)
단위생산량/회	0.3kg/m ²	5.5~9.0kg/m ² (약 20~30배)
연간생산량	10톤(1회/년 : 평균 3톤)	7.8~16.2톤(2.5회/년 : 50배)
초기투자(시설)비용	5천만 원	2억 원
생산비용/년	6천만~8천만 원	8천만~1억 원
총수익	1.8억 원	1.4억~2.9억 원
순수익(년)	1억 원	6천만~2.9억 원
특성 및 문제점	· 바이러스질병 대량폐사 불예측 · 배출수에 의한 연안오염 · 항생제/화학제 사용 · 연 2회 생산 · 생산성 저하	· 바이러스 감염 근본적 차단 · 배출수 거의 없음 · 항생제 비사용(유기양식) · 연중생산 · 생산성 30~50배/년 향상

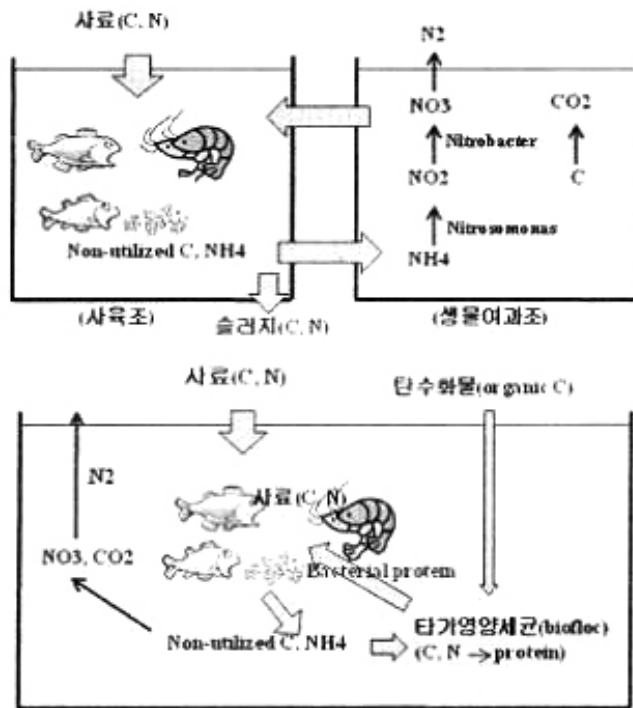
자료 : 장인권, “친환경 고생산성 유기새우양식기술”, 국립수산물과학원 서해수산업연구소 해역산업과 새우양식 세미나 및 수확체험행사 자료, p. 30.

2) 바이오플록의 원리 및 안정화 조건

순환여과방식 등 고밀도 양식시스템에서는 사료의 대사산물인 암모니아성 질소는 양식생산성 향상의 제한요인으로 작용한다. 바이오플록 기술은 타가영양세균균을 활성화시켜 잔류유기물(사료찌꺼기, 배설물)의 암모니아를 제거하는 기술로, 타가영양세균은 산소, 유기탄소(organic carbon)를 에너지로 이용한다. 즉, 타가영양세균이 해수 중의 유기탄소(탄수화물 등)와 무기질소(암모니아성 질소 NH_4)를 이용하여 세균단백질로 합성하고, 이렇게 증식된 세균을 세균충(바이오플록)을 형성한다.

타가영양세균을 위한 환경을 조성하기 위해서는 사육수를 교환하지 않은 채 슬러지 상태의 부유상태가 유지되고, 생물사육밀도가 고밀도일 필요가 있다. 또한 충분한 양의 유기물, 탄수화물, 산소의 공급이 필요하다. 바

이오플록 시스템에서는 사육수를 교환하지 않고 슬러지를 방출하지 않기 때문에 유기탄소가 충분하다. 이러한 환경에서 타가영양세균은 자가영양세균보다 대사가 빠르고 성장이 빠르게 진행되기 때문에 이용할 수 있는 유기탄소를 사용하여 암모니아를 신속하게 제거하며, 나머지 질소화합물은 무기탄소를 이용하는 자가영양세균에 의해 제거된다. 이처럼 바이오플록 기술은 순환여과방식과 달리 생물여과조가 없이 단일사육조로 구성할 수 있으며, 암모니아의 제거가 신속하고 안정적이다. 또한 슬러지를 제거하지 않고 질소노폐물은 새우의 먹이로 재이용된다.



자료 : 장인권, “친환경 고생산성 유기새우양식기술”, 국립수산물과학원 서해 수산업연구소 해역산업과 새우양식 세미나 및 수확체험행사 자료

[그림 4-5] 순환여과방식과 바이오플록 기술 방식 비교

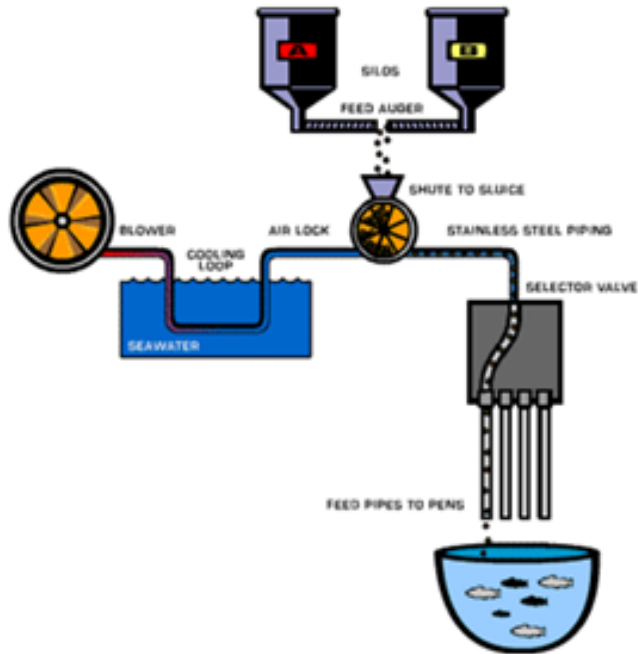
4. 자동화 및 기계화 시스템(IT 중심)

현재 빌딩양식 관련하여 유럽을 중심으로, 육상에서 순환여과시스템(Recirculating Aquaculture System : RAS)과 저유수식시스템(Shallow Raceway System : SRS)등의 양식기술을 이용하여 선반식(4~7단) 양식이 진행되고 있다. 현재 선박식(Rack) 양식은 국내에서는 1곳(2단, 울진)이 있으며, 세계적으로는 노르웨이(2곳), 스페인(1곳), 포르투갈(1곳), 네덜란드(3곳) 등이 있다. 대부분 어종의 생육에 초점이 맞춰져 양식이 진행되고 있으며, IT를 적용한 자동화 부분에 대한 구체적인 사례는 부족한 상황이다.

현재 IT가 적용된 양식관련 기술은 자동 급이, 환경 모니터링(크기&개체수 측정 포함) 및 관리, 양식장 운영 및 관리 시스템 등으로 구분할 수 있다. 따라서 빌딩양식에 적용될 수 있는 IT기술을 기존의 양식관련 자동화 기술로부터 유추하고 이에 대한 기술동향을 살펴보고자 한다.

1) 자동 급이 시스템

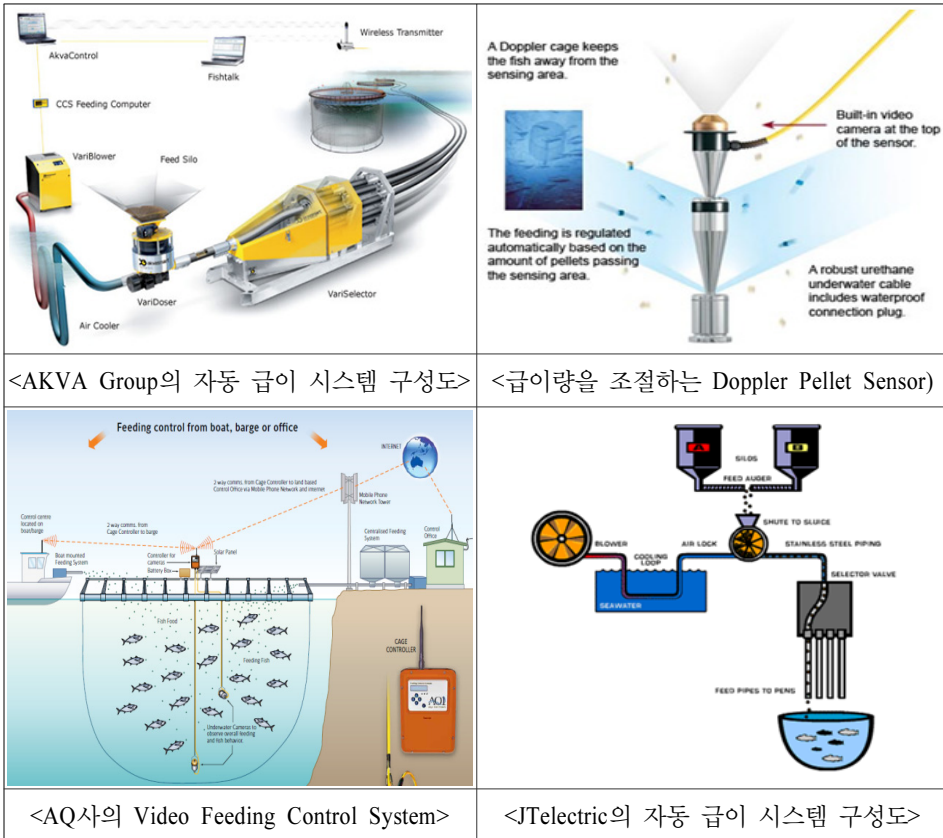
자동 급이 시스템은 양식 선진국을 중심으로 개발 및 보급이 진행되고 있으며, 정해진 시간에 정해진 양을 자동으로 공급만 하는 방식과 양식 어종이 먹이를 먹는 상황에 따라 급이량을 조절하는 방식으로 구분할 수 있다. 정해진 시간에 일정량을 자동으로 공급만 하는 방식은 정해진 급이 시간에 따라 일정 먹이량을 자동으로 급이하는 방식으로, 급이된 먹이를 양식 어종이 얼마나 소비하는지에 대한 모니터링 기능은 없다. 따라서 어종이 소비하고 남은 사료로 인한 환경 문제가 발생할 소지가 높다.



자료 : jtelectric.com/00414/

【그림 4-6】 JT electric의 자동 급이 시스템 구성도

먹이 소모량에 따라 급이량을 조절하는 방식은 센서(hydroacoustics, 수중 카메라 등)를 이용하여, 급이 과정에서 소비되지 않고 남는 먹이(pellet)량을 모니터링한다. 모니터링 되는 남는 먹이량이 정해진 기준을 초과하게 되면 급이를 중단하여 먹이량을 조절한다. 어종의 먹이 소비상태에 따라 급이량을 조절하여, 적절한 먹이량의 급이가 가능하나, 남는 먹이의 모니터링을 위한 별도의 장치(센서, 연동 S/W)가 필요하다.



자료 : AKAVA group(www.akvagroup.com, www.akvagroup.com/bilder/pellet6.jpg); AQ1 System (www.aq1systems.com/products); JT electric(jtelelectric.com/00414/)

[그림 4-7] 다양한 형태의 자동 급이 시스템의 구성도

음파나 카메라로 먹이를 모니터링하는 것으로는 어종에게 최적의 먹이 섭취 상태를 알 수 없다고 한다. 이런 문제 해결을 위하여 급이량 조절을 남는 먹이량이 아닌 먹이를 먹는 어종의 상태에 따라 조절하기도 한다. 어종의 상태를 평상시 모습, 먹이를 먹는 모습, 먹이를 배불리 먹은 후의 모습으로 구분하고, 이를 수중 카메라로 모니터링하고 인식하여 어종의 상태에 따라 먹이량을 조절하는 방식이다. 그러나 2008년 수족관 등에서 실험적으로 증명되었으나, 현재 적용된 사례는 보이지 않는다.



자료 : AKVA group(www.akvagroup.com); JT electric(jtelectric.com); AQ1 System(www.aq1systems.com/products)

[그림 4-8] 자동 급이 시스템 관련 기기 및 시스템 개발 동향

2) 환경 모니터링/관리

양식 관련 모니터링은 크게 양식장 환경 자체의 모니터링과 개체에 대한 모니터링으로 구분할 수 있다. 양식장 환경은 주로 양식에 영향을 미치는 환경 요인을 각종 센서 등을 이용하여 측정 및 관리된다. 어종의 개체에 대한 모니터링은 카메라 등을 이용하여 개체수와 크기 등을 측정하는 것을 말한다.

(1) 양식장 환경 모니터링/관리

해상양식에 영향을 미치는 주요 환경 요인으로는 수온, 용존산소량, pH농도, 염도, 유속 등이 있으며, 상용 제품들 또한 이에 맞게 개발 및 보급되고 있다. 해양 환경의 특성상, 방수 및 방염 등을 고려한 내구성과 유지관리가 중요하다.

양식 환경은 크게 해양과 육상(수조식)으로 나눌 수 있다, 수온, 용존산소량, pH농도, 염도 등의 센서는 공통으로 사용 가능하다. 유속 센서는 해양에서, 수위감지 센서는 육상 등 각 환경에서 사용할 수 있는 센서가 있다. 또한 카메라 등을 이용하여 수중에서 어종의 행동, 상태 등의 모니터링과 수면 위의 양식장 주변을 모니터링하는 제품도 소개되어 있다. IR(Infrared Sensor) 센서 등은 급이 과정의 먹이(pellet) 모니터링에 사용된다.

국내에 유통되고 있는 환경 모니터링 관련 센서 및 시스템 등은 대부분 외국산 제품으로, 영세한 양식 농가에서 적용하여 활용하기에는 어려운 실정이다. 업계 관계자에 따르면 현재 국내 양식장에 사용되고 있는 센서 중에서 국산 제품은 찾아보기 어렵다고 한다. 또한 일부 국내 대학 등에서 환경 모니터링 관련 연구를 진행하고 있으나, 활용에 중점을 둔 연구로 센서 등에 대해서는 미흡한 실정이다. 실제 양식장에 적용된 사례 또한 찾아보기 힘들다.

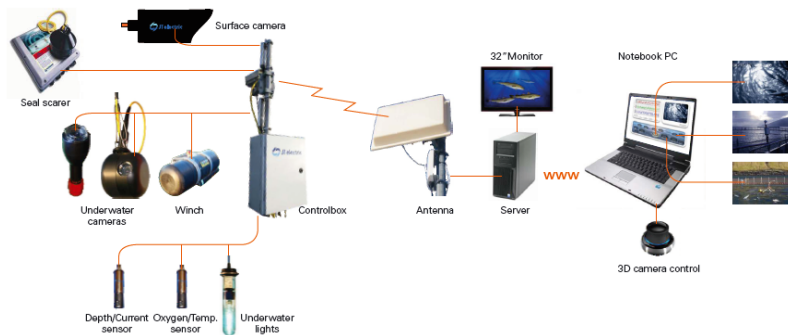
제주도에 시범 적용된 ‘양식장 지능화 사업(u-Fishfarm)’의 경우, 수온/염도/탁도/DO를 매일 측정하고, DO센서와 연계하여 액화산소농도를 자동

제어하고 있다. 최저수위 발생 상황에 능동적 대처 가능하도록 지원하고, 위험상황이 발생하는 경우 현황판 및 SMS를 통한 정보 등을 지원한다.

(2) 개체 모니터링

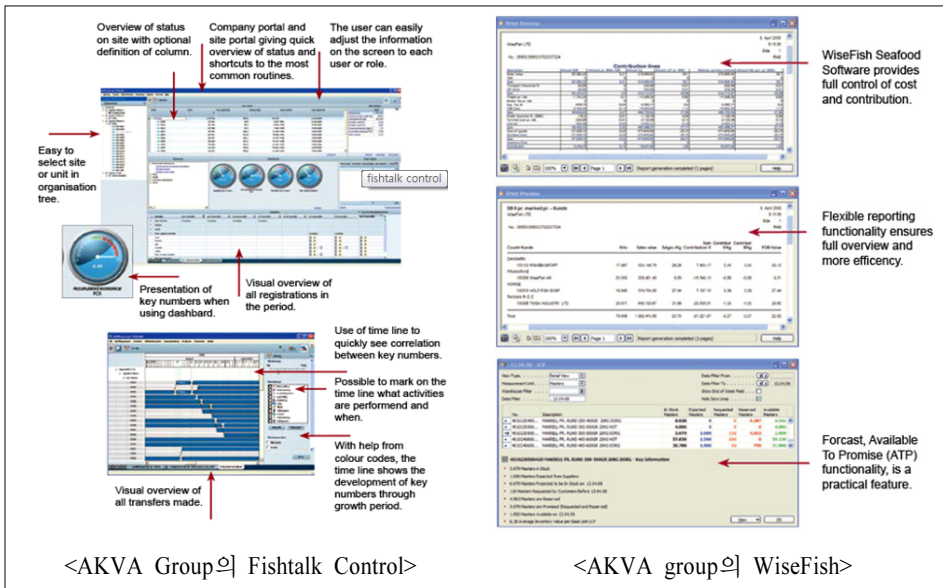
개체 모니터링은 어종의 개체수와 크기 등을 모니터링하는 것으로, 수중이라는 환경과 수많은 움직이는 어종을 고려하여 어종의 크기와 개체수를 측정하는 것은 쉽지 않은 일이다. 개체의 수를 측정하는 방법에는 카메라를 이용하는 방법과 음파(acoustic)를 이용하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. AQ1 SYSTEMS는 두 대의 스테레오 디지털 카메라를 이용하여, 개체의 크기와 수를 측정하고 있다. UC San Diego에서는 수조(tank)에서 음파를 발생하고 수신된 음파를 분석하여 어종의 크기와 개체수를 측정하는 연구를 수행하고 있다.

도쿄 대학에서도 DIDSON(Dual frequency IDentification SONar)를 이용하여, 양식장의 한 cage에서 다른 cage로 어종을 옮기는 경우에 어류의 크기와 개체수를 측정하는 연구 진행에 있다. AQUAOPTIMA 사는 파이프 형태의 구조물을 통과하는 어류의 수를 측정하는 방식으로 어종의 개체수를 측정하고 있다.



자료 : JT electric([//jtelectric.com](http://jtelectric.com))

[그림 4-9] JT electric의 JT MultiControl System



자료 : AKAVA group(www.akvagroup.com)

[그림 4-10] AKVA Group의 시스템

(3) 운영 및 관리 시스템

양식장 운영 시스템은 크게 양식장 관리 S/W를 중심으로 각종 센서와 급이 시스템 등을 통합하는 방식과 해상의 각종 센서들을 무선통신 방식으로 육상에서 모니터링할 수 있도록 통합하는 방식으로 나눌 수 있다.

양식장 운영 S/W는 다양한 소스(각종 센서, 카메라, 급이 시스템 등)로부터 입력되는 양식장 관련 정보를 입력으로 하여, 이를 가공하고 제공하는 등 양식장 운영/관리를 통합하는 방식이다. 현재 구축되어 있는 양식장 관련 IT 기술을 통합하여 운영할 수 있는 기능을 제공하고, 수집된 정보의 가공을 통한, 양식장 운영을 위한 정보 또한 제공한다.

해상의 양식장과 육상을 무선통신으로 통합하는 방식은 해상에서 센싱된 각종 정보를 육상에서 모니터링할 수 있도록 지원한다. 해상에 control

노드를 두고, 이를 중심으로 각종 센서를 유선 연결하여 정보를 수집하고 지상의 모니터링 센터로 무선으로 전송한다. S/W 중심의 통합 방식에 비하여 양식장 관리 기능은 다소 미약하다.

AKVA group의 Fishtalk는 양식장 관리 및 운영을 위한 S/W로, 양식장 관리를 위한 Fishfarming S/W(Fishtalk Control)와 양식 관련 비즈니스 관리를 위한 Seafood S/W(WiseFish)로 구성된다. Fishtalk Control은 양식장의 생물학적 정보를 관리하며, 현재 15개국에서 사용되고 있으며, 10여 종의 어종에 적용되고 있다고 한다. WiseFish Seafood S/W는 생산에서 출하 등을 포함한 수량/생산율/비용 등의 관리와 구매, 재고, 판매 등의 활동을 지원할 수 있다고 한다.

JT electric의 JT MultiControl System은 무선으로 해상의 센싱 정보를 육상의 모니터링 센터로 전송하는 방식으로, 모니터링 S/W는 있으나 전체적인 양식장 관리기능보다는 적용된 IT 기술의 통합에 초점을 두고 있다.

5. 종합 검토

이상 빌딩양식 시스템 구축과 관련해 주요 요소기술을 중심으로, 개념 및 개발·도입 현황을 중심으로 검토해 보았다. 각 핵심기술은 현재의 생산 시스템을 전제로 설계되거나 완성된 기술로, 빌딩양식 시스템을 구축하기 위해서는 현재 개발된 기술을 바탕으로 전 분야에 걸쳐 새로운 형태의 접근이 필요하다.

즉, 현재의 어류양식생산시스템에서는 앞서 살펴본 주요 기술은 개발이 완료되었거나 개발 진행 중인 기술로서, 빌딩양식은 이들 기술을 바탕으로 해야 한다. 현재의 어류양식과 관련된 핵심요소기술은 빌딩양식 시스템을 구현하기 위해 필요한 기초기반기술로서 활용 가능할 것으로 보인다.

그러나 빌딩양식이라는 새로운 형태의 고밀도 집약적 양식시스템 구축에 바로 적용하기에는 한계가 있다. 빌딩양식시스템을 목표로 한 기술적 접근과 개발이 후속연구로 본격 추진되어야 할 것이다.

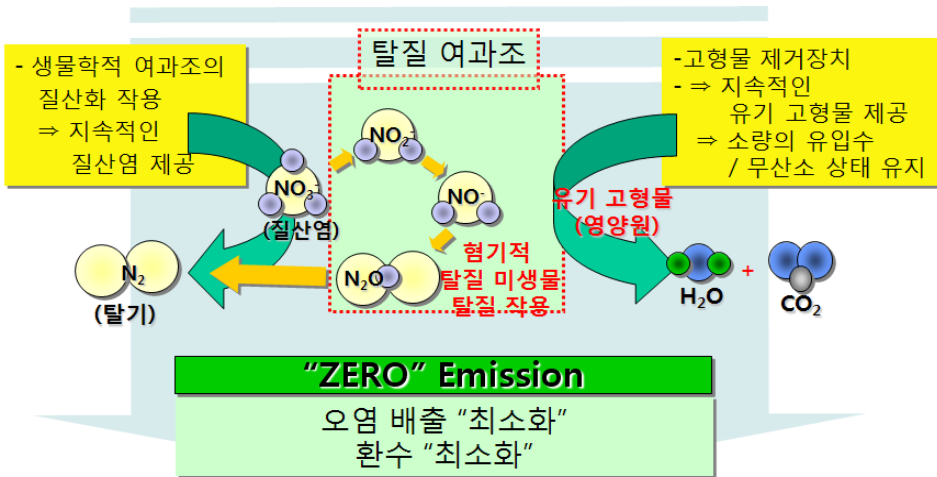
이하에서는 지금까지 살핀 주요 핵심기술과 관련해 기술적 측면의 제약, 빌딩양식 도입을 위한 선결과제 또는 향후 도입방향 등을 제시하였다. 본 장에서는 핵심요소기술에 한정해 기술적으로 검토하였으나, 빌딩양식시스템을 본격적으로 구축하기 위해서는 지금까지 검토한 기술 이외에 일반적인 기술 분야(예 : 종묘 생산, 양성관리 등)에 대해서도 빌딩양식에 요구되는 최적합 기술의 개발이 필요함은 말할 필요도 없을 것이다.

1) 순환여과시스템 및 저수유수식 기술

순환여과시스템은 국내외에서 그 필요성이 인식되고 다양한 방법으로 산업화가 이루어지고 있으나, 확실하고 분명한 성과의 도출에는 어려움이 많다. 가장 큰 이유는 경제성이다. 과연 다양한 형태의 수처리 장비를 설치하여 생물을 키울 경우 경제성이 있는지, 경제성을 고려하면 밀도를 어느 정도까지 높여야 하는지, 운전 리스크는 어느 정도이고 관리자의 숙련도는, 양식종의 생산주기를 어떻게 할 것인지 등 경제적인 판단 요소가 너무 많다. 따라서 시스템을 어느 정도 이해하고 사업적으로 접근하느냐가 사업 성공의 관건이 될 수 있다.

육상수조식 해산어류 양식이 가능한 연안지역은 토지의 가격이 비싸고 이용효율이 매우 높아 양식적지를 확보하는 데 어려움이 많다. 따라서 양식적지의 이용효율을 높이기 위해서는 고밀도 집약적 양식시스템을 채택하는 것은 필수적이다. 또한 공공수계의 환경오염에 대한 관심이 계속 증가하면서 양식장 배출수에 대한 규제가 강화되고 있어 환경친화형 양식시스템에 대한 수요가 증가하고 있으며, 최근 유가가 급증함에 따라 에너지

절감형 양식시스템에 대한 관심도 고조되고 있다. 따라서 공간이용 효율이 높으면서 에너지 이용과 오염 배출을 최소화한 환경친화형 양식산업의 개발이 필요한 시점이다.



[그림 4-11] 배출수 제로화를 위한 탈질의 수처리 개념도

우리나라 양식환경은 사계절이 뚜렷하고, 동절기가 길어 생산 기간의 연장을 위해서는 에너지 절감형 고밀도 순환여과양식시스템의 적용이 필수적일 것이다. 또한 식품안전성(항생제 사용을 최소화)을 확보하기 위해서는 근원적으로 오염 유입원의 차단(bio-security)이 가능한 폐쇄적인 순환여과시스템을 개발하여야 한다. 그러나 현재 우리나라에 도입된 폐쇄식 고밀도순환여과시스템은 일부 담수어종(뱀장어)에만 국한적으로 보급되어 있으며, 이것도 공간활용이 비효율적(사육면적 : 여과면적이 1:1~1.5)인 수준에 머물러 경제성이 현저히 낮은 실정이다. 따라서 기존의 연구 결과 및 장치들을 활용하여 질산화 효율과 운전 공정을 개선하면 산업화가 가능할 것으로 판단된다.

최근에는 사업성을 높이기 위하여 복층이나 다단으로 양식수조를 배치

하고, 고밀도로 양식하면서 생산원가를 낮추려는 노력이 이루어지고 있다. 나아가 도심에서 양식사업을 수행하기 위하여 빌딩형 양식시스템 등의 다양한 형태의 시도가 이루어지고 있으나 초기 과잉 투자에 대한 재정적인 부담, 양식사육수의 100% 완전 수처리에 대한 기술적인 한계, 시스템의 고도화에 기인한 리스크 증가 등이 부담과 과제로 남아 있다. 그러나 이러한 사업을 성공적으로 이끌기 위해서는 무엇보다도 수처리 기술의 고도화가 가장 시급한 실정이다.

한편 저수유수식 기술의 경우 국내 1개 업체에서 시험적으로 복수의 단(Rack)을 수직으로 설치하여 시험적으로 추진하는 정도로, 초기단계에 있다. 현시점에서 연구기관이나 민간 등의 실험 및 도입 사례는 관찰되지 않는다. 유럽 등지에서 pilot 실험 단계를 거쳐 해당 기술을 본격적으로 내부화하는 과정에 있는 점을 고려할 때, 우리나라에서도 연구기관을 중심으로 국내에 적합한 방식의 시스템 구축이 다각적으로 모색되어야 할 시점이다.

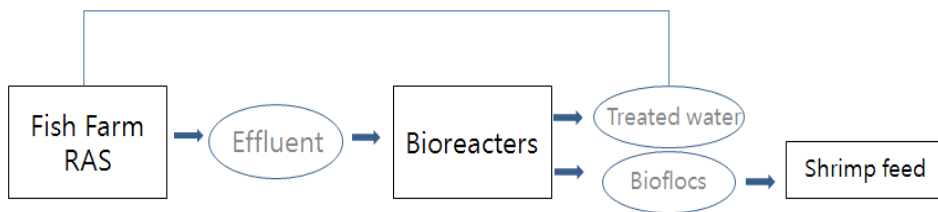
2) 바이오플록

사육수 관리 및 오폐물 처리와 관련해 바이오플록에 대한 배출수 관리의 효과 등에 대한 성공사례에도 불구하고 이는 새우를 대상으로 한 실험에 국한된다는 문제가 있다. 어류양식에 대한 도입 검토 연구는 새우에 비해 매우 적으며 한계가 있는 것으로 알려지고 있다. 물론 어류 중에서도 새우와 유사한 환경에서 양식되는 틸라피아에 대해서는 도입 연구가 진행되어 소기의 성과를 거둔 것으로 알려지고 있는 반면, 해산어류에 대해 도입된 사례는 현재 시점에서는 찾기 어렵다.

따라서 해산어류양식에 도입하기 위해서는 시스템적으로 다른 접근이 필요하다. 현재 알려진 바에 따르면 해산어류의 경우 바이오플록 시스템의 핵심인 미생물총(바이오플록)을 먹이로 재이용하지 않는다. 따라서 새우류

양식에서 양성과 수질 관리가 동일한 수조 내에서 이루어진 것과 달리 해산어류의 경우 이를 분리해 접근하는 것이 적절할 것으로 고려된다.

즉, 어류 양성과 사육수의 처리과정을 분리하여 사육수를 처리하는 관리부에 대해 바이오플록을 도입한 뒤 바이오플록으로 처리된 해수는 수조로 순환시키며, 처리된 바이오플록은 새우류 등의 먹이로 활용할 수 있다. 그러나 이는 기술적 개념을 결합시킨 구상으로, 고밀도 빌딩양식의 사육수를 일정한 속도로 유지·관리하면서 순환시킬 수 있는 시스템적인 세부 설계와 빌딩양식에 이용되는 사육수를 원활하게 처리할 수 있는 수질 관리부의 적정규모에 대한 산정이 우선적으로 요구된다.



자료 : www.was.org/wasmeetings/_images/MeetingAbstract/AQ2010_0801_01.gif

| 그림 4-12 | 해산어류의 순환여과식양식시스템에 있어 바이오플록 도입 원리

3) 자동화 및 기계화 시스템

양식의 IT 기술은 양식기술 자체의 자동화에 초점을 두고 진행되고 있다. 양식기술의 자동화는 수중/해양이라는 환경으로 인하여 기술적 진보에는 많은 비용과 시간이 필요하다. 따라서 양식장 관리 시스템 또한 현재 개별 기술을 통합하는 수준으로, 이를 통한 적극적인 양식장 제어 기술은 미흡한 실정이다. 일부 기업에서 일괄 시스템 지원을 하고 있으나, 이를 빌딩양식에 적용하기 위해서는 부족한 상황이다.

빌딩양식의 도입을 위해서는 가장 먼저 선결되어야 할 과제는 빌딩양

식의 개념을 명확하게 정립하는 것이다. 빌딩양식은 초기 개념 설정단계로서, 보고된 사례 또한 없다. 따라서 양식을 위해 빌딩을 어떻게 이용할 것인가에 대한 방향 설정과, 빌딩 내에서 양식을 어떻게 진행할 것인가에 대한 명확한 개념 정립이 필요하다. 이런 바탕 하에서 빌딩양식의 자동화/무인화를 위해서 IT 기술을 어떻게 적용할지에 대한 접근이 필요하다.

빌딩양식은 도심지 등에서 건물 혹은 구조물 등을 이용하여, 층별 수조별 다양한 어종을 양식할 수 있는 개념으로 정의할 수 있다. 층별 수조별 관리가 가능하여, 질병의 예방 및 확산을 방지할 수 있으며, 크기별 분리 입식에 따른 생산성 향상과 출하시기 조절 등이 가능하다. 또한, 해상 양식장과 달리 육상에서 어종을 양식함으로써 다양한 IT 기술이 적용 가능하다.

빌딩양식은 개념초기 설정 단계로, 이와 관련된 사례는 앞서 언급한 RAS와 SRS를 적용한 선반(rack)을 다층으로 양식하는 방식에서 찾을 수 있다. 일반 내륙 양식 또한 육상에서 건물 등의 구조물 내에서 이뤄지고 있으나 단층으로 이뤄지고 있어 빌딩양식으로 보기에는 무리가 있다. 기존의 빌딩양식과 유사한 방식에서 현재 어떠한 IT 기술이 적용되고 있는지에 대한 구체적인 사례는 찾아보기 힘든 실정이다.

따라서 빌딩양식에 필요한 양식 자동화/무인화 기술의 정의가 필요하다. 우선 양식이라는 관점에서 빌딩양식에 필요한 IT 기술을, 기존 양식에 적용되고 있는 IT 기술로부터 유추하였다. 그리고 이를 빌딩 관점에서 검토하여 현재 혹은 앞으로 적용이 가능한 IT 기술을 도출하였다. 또한 앞서 살펴본 기존의 양식 관련 IT 기술의 문제점과 이를 빌딩양식에 적용하기 위해서 필요한 기술에 대하여 기술하였다.

기존의 양식 관련 IT 기술은 크게 자동 급이, 환경 모니터링(크기/개체수 측정 포함)과 관리 및 운영 관리 시스템 등으로 구분할 수 있다. 양식이라는 관점에서 이러한 기술들은 대부분 빌딩양식에 적용할 수 있다.

그러나 해상은 빌딩과 그 공간상의 차별성으로 인하여 해상에서 적용되는 기술이 육상에서 적용되지 않을 수도 있다. 양식 어종의 먹이 소비량을 모니터링하여 급이량을 조절하는 경우, 해상에서는 물고기가 먹이를 먹는 곳의 하부에 카메라 혹은 IR 센서 등을 설치하고 남은 먹이를 모니터링한다. 모니터링 되는 남은 먹이가 기준치 이상이면 급이를 중단한다. 빌딩양식의 경우 수조에 어종이 입식 되고 관리된다. 수조는 해상에 비해서 수심이 얕으며, 먹이량을 조절하는 기존의 자동 급이 조절 방식이 적용되기는 어려움이 있다. 따라서 기존의 기술을 빌딩양식에 맞게 적용할 필요가 있다.

양식에서 발생하는 비용의 60%는 급이와 관련이 있다고 한다. 이는 먹이 주는 일이 그만큼 중요함을 할 수 있다. 기존의 카메라와 IR 센서 등을 이용하여 먹이량 조절 방식은 육상의 수조라는 한정된 공간에서 적용하기에는 어려움이 있다. 또한 pellet 모니터링만으로는 어종에게 최적 먹이 섭취를 보장하지 못한다고 한다. 따라서 최적의 먹이 섭취를 보장하면서 자동으로 급이를 할 수 있는 기술이 필요하다. 어종의 행동 패턴을 인식하고, 이에 따른 급이를 조절하는 방식에 대한 연구가 실험실 수준에서 진행되고 있다. 현재 대부분 자동 급이는 먹이량을 조절하는 방식이다. 언제 먹이를 주어야 하는 시기에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 어종이 먹이가 필요할 때 급이하고, 먹이를 충분히 섭취하면 급이를 중단하는 기술에 대한 개발이 필요하다. 어종의 생육정보와 성장정보를 이용하여, 생육과정에서 성장단계를 고려하여 이에 맞게 먹이를 공급해야 한다. 이를 이해서는 어종이 먹이를 필요로 하는 시점과 충분히 먹고 난 후의 어종의 상태를 모니터링하고 분석하는 기술이 필요하다. 이런 기술은 빌딩이라는 공간, 한정된 수조라는 환경을 고려하여 최적의 먹이 급이가 가능하도록 고려되어야 한다.

정해진 시간이 아니라, 어종의 운동 정도/움직임 등을 고려하여 급이

시간 간격을 조정하는 방법도 생각해 볼 수 있다. 어종이 활발히 움직이며 이를 고려하여 다음 급이 시간 간격을 단축하고 급이량을 늘리고, 움직임이 적으며 이에 따라 급이량 혹은 급이 시간 간격의 조정 등을 고려할 수 있다. 즉, 어종의 생육 및 성장 상황에 적합한 급이 시간 간격과 급이량을 조절하고 이에 따른 자동 급이하는, 생육과 성장에 기반을 둔 자동 급이 기술 개발이 필요하다.

수중이라는 환경에서 양식되는 물고기에게, 알맞은 환경 유지 및 관리 는 매우 중요하다. 양식환경 모니터링은, 양식환경의 갑작스런 변화를 사전에 감지하여 이를 사전에 방지하기 위한 것이다. 이를 위해 수중 환경을 다양한 센서를 이용하여 측정하고 모니터링하는 기술들이 개발 및 보급되고 있다. 그러나 현재 측정되고 있는 환경 센서 정보와 기존에 측정된 환경 이력 데이터를 이용한 추세정보를 활용한 환경변화 예측기술에 대해서는 기존 사례를 찾아보기 힘들다. 빌딩이라는 한정된 공간은 해상보다 환경변화에 대하여 더 민감하고 이에 따른 관리 또한 필요하다. 측정된 환경 센서 정보를 실시간으로 관리하는 것은 중요한 기술이다. 그러나 기존에 측정된 이력데이터를 이용하면 더욱 효과적으로 빌딩양식 환경의 관리가 가능하다.

현재는 각 환경 센서로부터 측정된 개별 환경 센서 데이터 간의 상호 연관성 분석 또한 안 되고 있다. 다양한 센서로부터 측정된 개별 데이터를 통합하여 분석하는 경우에는 단일 센서로부터 유추할 없는 정보를 제공할 수 있다. 이 또한 향후 필요한 기술 중의 하나이다.

해상양식 환경에서는 감지된 환경변화에 대하여 인위적으로 해상양식 환경을 조절하는 것은 많은 어려움이 있다. 따라서 해상양식은 환경변화 감지에 초점을 두고 있다. 이와 달리 육상에서의 양식은 각종 센서를 이용한 환경 모니터링도 가능하지만, 모니터링 결과에 따른 양식환경의 변화 감지와 이를 따른 인위적으로 양식환경 조절이 가능하다. 한정된 수조 안

에서 이뤄지는 육상양식은 해상과 달리 상대적으로 양식환경을 조절하기 수월하다.

육상 수조에서 산소 농도를 측정하고 산소가 부족한 경우 인위적으로 산소를 보충하는 등의 제한된 영역에서 환경 제어가 적용되고 있다. 수조의 수심을 측정하여 부족한 경우 관리자 혹은 양식업자에게 문자 등으로 통지해 주는 기술도 선보이고 있다. 그러나 아직 초보적인 수준에 머물고 있다. 빌딩에서 양식은 어종을 위한 수조 안과 빌딩 안이라는 수조 외부에 대한 환경 관리도 필요하다. 단층 방식의 양식과 달리, 다층으로 이뤄지는 빌딩이라는 공간의 특성을 고려한 수조 내외부의 환경 측정 및 제어에 대한 능동적인 관리 기술 개발이 필요하다.

환경 모니터링과 환경 제어 관련하여 정리하면, 다양한 센서 등으로부터 환경 정보를 주기적으로 센싱하고 이를 저장하고 이력 관리가 되어야 한다. 주기적으로 측정되는 환경 정보기반의 실시간 생육환경의 위험상황을 감지하고 이를 경보하고, 정상상태로 제어하는 기술이 필요하다. 또한 주기적으로 측정되는 생육환경 정보의 이력정보를 이용하여 환경 정보의 추세변화에 기반하여 생육환경의 위험 상황을 예측하고 관리자에게 경보를 해주고, 예측된 환경 변화가 발생되지 않도록 사전에 제어/관리하는 기술이 필요하다. 이때, 현재 센싱 및 예측되는 생육환경 정보를 기준으로 위험상황을 감시하며 이를 사용자 및 중앙시스템에 통보하고, 위험상황의 생육환경을 정상상태로 조절하게 된다.

양식되고 있는 성어단계의 어종을 선별하여 출하하는 것 또한 필요한 기술이다. 물고기의 크기를 측정하는 기술은 현재 해상에 적용되고 있다. 카메라 혹은 초음파 등을 기술이 이용되고 있다. 그러나 육상에서는 해당 기술이 적용된 사례를 찾아보기 힘들다. 해상에서 적용되고 있는 기존의 기술들은 적용을 위한 공간적인 제약이 있다. 따라서 빌딩 내부에서 선박 혹은 수조에서 양식되고 있는 어종의 크기를 측정하는 기술은 출하

의 자동화를 위해서 꼭 필요한 기술이다. 수조에서 양식과정 중에 상대적으로 먹이 섭취가 적거나 유전적으로 발육이 늦은 물고기가 포함된다. 이런 물고기들은 선별하여 별도의 수조에서 관리되어야 한다. 기존의 크기 측정 기술은 물고기의 크기 측정에 초점을 두고 있다. 따라서 크기 측정을 통한 미성숙 어종에 대한 자동 선별 기능은 지원되지 않고 있다. 출하 대상이 되는 물고기에 대한 자동 선별을 통한 자동 출하를 지원하는 기술로 지원되고 있지 않다. 향후 빌딩을 이용한 대량의 양식을 위해서는 꼭 선결되어야 할 기술 중 하나이다. RFID 등을 물고기의 몸에 이식하여 다양한 정보를 관리하려는 연구가 진행되고 있으나, 수중이라는 환경에서는 이 또한 적용이 어렵다. 수중에서는 물고기에 이식된 RFID를 인식할 수 없기 때문이다. 또한 수많은 물고기 중에서 특정 물고기를 지정하여 관리하는 것 또한 어려운 일이다. 따라서 개별 물고기의 정보를 관리하기 위해서는 음파 등 수중에서 개별 물고기의 정보를 관리할 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

4) 기타 기술

빌딩양식 산업화는 각종 기술이 집약적으로 시스템화 되어야 하는 산업 특성 상 첨단기술과의 융복합을 간과할 수 없다. 수산 분야에 새로운 블루오션 영역이 될 빌딩양식시스템의 효율적 구축은 기존 기술과 분야를 넘어선 새로운 형태의 기술과 시스템적 설계가 수반될 것으로 예상되는 만큼, 최근 신성장동력의 새로운 가능성으로 등장한 정보기술(Information Technology : IT), 바이오테크놀로지(Biology Technology : BT), 나노기술(Nano Technology : NT) 등과의 접목·융합에 대한 심층적인 검토가 요구된다.

참고로 농림수산식품분야 R&D 총괄 계획인 ‘제1차 농림수산식품과학기술 육성 5개년 종합계획’에서는 농림수산식품과학기술 육성과 관련해

IT, BT, NT와 같은 첨단신기술과의 융합을 주요 7대 산업의 하나로 채택하고 있다.

여기서 BT의 경우 바이오산업에 있어서도 동물의약품 및 소재, 어류질병에 관련해 주요 기술로 채택되고 있는데, 발당양식 산업화에도 유효하게 활용될 수 있을 것으로 보인다. IT의 경우 중앙집중형 통제 및 모니터링 시스템의 구축과 어체의 개별 사양관리 및 품질 관리, 유통·판매에 이르기까지 광범위한 활용을 모색해 볼 수도 있다.

제 5 장 빌딩양식의 모형 구상

1. 빌딩양식의 기본 모형

1) 기본 방향

빌딩양식의 모형개발은 앞서 본 개념, 사례분석 및 기술적 검토결과를 바탕으로 설계하고자 한다. 우선 빌딩양식의 기본모형은 소비지인 대형 도심지의 빌딩에서 수산생물을 양식하는 시스템을 갖추는 동시에 양식수산물 가공·판매하는 시스템을 갖추는 것이다. 나아가서 빌딩 내에 판매시설, 오락시설 등을 갖추어 복합산업 형태를 취하는 것이다. 따라서 빌딩양식의 기본 모형은 크게 양식시스템, 가공·유통·판매시스템, 신재생 에너지 시스템을 갖춘 형태를 제안하고자 한다.

양식시스템은 양식으로 인한 배출수를 최소화하고 자동화를 통한 저비용 대량양식이 가능한 형태로 개발하여야 한다. SRS, RAS 또는 바이오플록 방식을 활용하여 양식수의 사용을 최소화하고, 선반식(Racks) 양식수조를 고층의 빌딩에 설치하여 단위 토지 면적당 생산량을 최대화하도록 한다. 또한 모든 양식과정상의 관리는 첨단 자동화 시스템을 도입하여 비용최소화 및 수익성을 제고할 수 있도록 한다.

가공·유통·판매시스템은 양식수산물을 빌딩 내에서 가공하여 소비처에 직접 배송·판매할 수 있도록 하며, 소비자가 스마트폰 및 인터넷으로 직접 주문하고 자동으로 배송할 수 있는 시스템을 도입하도록 한다.

마지막으로 빌딩양식에서 필요로 하는 모든 에너지는 빌딩에 설치한 태양열 판에서 생산한 에너지를 활용하도록 하고 모든 통제는 중앙통제실에서 할 수 있는 첨단 시스템으로 한다.

이상의 빌딩양식 모형에서 구상하는 기본적인 시스템을 갖춘 빌딩양식은 현행 법률상 빌딩양식이 가능한 토지이용 지구의 제약요인을 감안하여 도심지형 빌딩양식과 도시근교형 빌딩양식으로 구분하고자 한다.

2) 도심지형 빌딩양식

도심지형 빌딩양식은 도심의 준주거지역 고층빌딩에서 양식하는 형태이다. 도시지역 중 준공업지역과 녹지지역도 가능하기는 하지만, 공업지역은 식품을 생산하는 빌딩양식에 이미지상 걸맞지 않고, 녹지지역은 4층 이하 건축물로 제한돼 있어 적절하지 않다. 따라서 현행 법률상 도심지형 빌딩양식은 준주거지역을 대상으로 한 형태로 개발하여야 할 것이다. 이러한 도심지형 빌딩양식은 기본적으로 참여기업 자체 개발을 원칙으로 한다.

3) 도시근교형 빌딩양식

도시근교형 빌딩양식은 도시지역의 개발제한을 고려하여 도시인근의 농림지역이나 자연환경보전지역에 클러스터 형태로 개발하는 방안이다. 즉 도시인근지역의 지자체와 참여기업이 연구소 및 대학과 연계하여 빌딩양식 클러스터 방식으로 개발하는 것이다. 클러스터 방식은 도심지형 빌딩양식에 비하여 다소 수요 유발이 적기는 하지만 장점도 있다.

2. 빌딩양식 시스템

1) 양식 부문

양식에서 가장 중용한 요소는 어떠한 어종을 양식할 것인가이다. 대상 어종에 따라서 시설이라든가 양성 등 관리시스템이 다르기 때문이다.

국내외 사례를 살펴본 바와 같이 빌딩양식장에서 경제적으로 양식할 수 있는 어종은 넙치, 강도다리와 같이 부피가 작고 양식기술이 이미 개발돼 있으나 경제성이 있는 저서성 어류나 전복, 해삼 등과 같이 기술적으로 적용이 가능한 해양생물이 가장 유리하다. 물론 담수생물도 가능하기는 하지만 해양생물에 비하여 가격이 저렴하기 때문에 가능하면 고가어종이면서 수요가 많은 어종을 선정하는 것이 유리할 것이다.

따라서 본 연구에서는 빌딩양식 대상어종을 해양생물로 할 것을 제안한다. 기존의 국내외 사례를 분석한 결과 기술적으로 가장 유리한 어종으로는 넙치, 도다리, 서대 등 저서성 어류와 전복 및 해삼 등이 일차적인 목표어종으로 선정하고자 한다.

물론 소비자 니즈를 고려할 경우 대상품종이 다양할수록 좋다. 즉 한 빌딩양식장에서 소비자들이 원하는 모든 양식물이 생산된다면 소비자들이 선호에 부합할 수 있을 것이다. 그러나 여러 품종을 양식할 경우 각 어종에 맞는 시스템 개발에 많은 시간과 경비가 소요된다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 우선 단일 품종 중심의 빌딩양식을 제안하고, 다품종을 복합적으로 양식하는 것은 장기과제로 남겨 두고자 한다.

대상품종이 선정되고 나면 이들 종묘를 입식하여 양성하고 최종적으로 수확하는 양식시스템을 갖추는 것이다. 일반적으로 양식에서 필요로 하는 시스템은 양성관리시스템, 수질 및 노폐물 처리시스템, 사료급이 시스템, 질병관리 시스템, 동물복지 시스템, 수확시스템 등이 있다. 이러한 시스템은 빌딩양식에서도 동일한 요소임에는 틀림없지만 방식에서 기존의 육상 주조식양식과 커다란 차이를 보인다.

양성관리시스템은 어떠한 양식수조로 양식어종을 관리하고 양성할 것인가를 결정하는 요소로서 양식에서 가장 중요한 요소이다. 기존의 수조식은 많은 양식수와 공기를 주입해야 하는 형태이다. 그러나 빌딩양식에서는 전술한 바와 같이 양식수와 공기를 아주 적게 사용하는 저수식 수조인 선

반식 수조를 도입하고자 한다. 선반의 높이는 양식어종 또는 성장단계에 따라 다를 수 있으나 본 여구에서 제안한 어종의 경우는 최대 20cm로 한다. 또한 양식중인 수산생물의 관리는 사람이 눈으로 관찰하는 방식이 아닌 IT를 활용한 자동센서로 관찰하는 시스템을 도입한다. 각 개체의 관리는 나노칩을 내장한 방식 또는 RFID방식에 의하여 입식된 양식어를 개별적으로 자동화 시스템으로 관리하는 방식을 도입한다. 이러한 개체관리 방식은 양식하는 어종의 유전자적 정보, 종묘생산에서 수확까지의 모든 정보를 담을 수 있어 소비자들에게 모든 정보를 제공할 수 있는 완전한 시스템이 될 수 있다.

수질 및 노폐물 처리시스템은 저수유수식 순환여과시스템(Shallow Raceway Recirculating System : SRRS)과 저수 바이오플록 시스템(Shallow Bioflock System : SBFS) 등 두 가지 방식을 제안한다. 전자는 저수유수식과 순환여과방식을 동시에 갖춘 시스템으로서 선반식 수조에 양식수를 흘려보내고 이를 여과를 통해 다시 활용하는 방식이다. 후자는 저수식 방식과 바이오플록 방식을 접목한 형태로 수위가 낮은 선반수조에 양식수를 채우고 이를 바이오프록방식에 의해 계속적으로 사용하는 방식이다.

전자보다는 후자가 수질 및 노폐물 처리에 따른 비용도 적게 소요되고 보충수도 적으므로 장점이 훨씬 많고 대단히 이상적이다. 하지만 현재 기술수준으로 볼 때 후자는 아직 성공하였다고 할 수 없으므로 SRRS를 우선적으로 도입하기로 한다. 왜냐하면 전자의 방식은 이미 국내와 유럽에서 성공한 바가 있기 때문에 적용가능성이 크기 때문이다. 따라서 SBFS는 향후 기술개발을 통하여 도입하는 것으로 한다.

수질관리를 위한 또 하나의 기술은 양식수의 염분농도, pH, 수온 등을 어떻게 측정하고 관리하는가이다. 수 백개의 양식수조를 일일이 인력으로 측정하고 관리하는 것은 대단히 비경제적이다. 따라서 본 연구에서는 자동센서에 의한 수질모니터링 시스템을 도입하여 관리하는 시스템개발을 제

안하고자 한다. 일부 실험단계의 연구는 되어 있으나 대량양식에서의 시스템은 미개발된 상태이다. 완벽한 IT를 접목한 수질 모니터링 및 대응 시스템을 개발하여 중앙통제시스템에 의한 관리체계 도입을 제안한다.

사료급이는 양식에서 빼 놓을 수 없는 기술 중의 하나이다. 현재 우리나라 육상수조양식은 대부분 인력에 의하여 관찰하고 사료를 급이하는 형태이다. 특히 문제가 되는 것은 생사료를 원료로 습식사료(MP)를 직접 만들어 급이함으로써 비용부담이 늘어나는 문제점이 있다. 빌딩양식에서는 생사료가 아닌 배합사료만을 사용하고, 사료급이도 자동화시스템을 활용하도록 한다. 사료량 및 사료급이 시기도 양식생물의 상태를 관찰한 자료를 기초로 자동으로 급이하는 것이다.

다음으로는 양식어의 질병관리 시스템이다. 질병관리는 집약적 양식에서 생산성을 좌우하는 대단히 중요한 시스템 중의 하나이다. 질병 발생 시 타 수조로 확산을 방지하기 위하여 기본적으로 본 빌딩양식 시스템은 개별 수조관리체제를 갖추도록 한다. 그리고 전술한 모니터링 시스템에 의하여 질병발생 이전에 징후에 관측하고 예방하는 시스템을 구축하여 사전에 관리하는 체제를 갖추도록 한다. 또한 질병에 의한 전염을 사전에 방지하기 위한 백신의 개발과 투약을 원칙으로 한다. 그러나 만일 질병이 발생하였을 경우에는 치유보다는 질병에 감염된 양식어를 선별적으로 골라내 처분하는 방식을 도입하도록 한다.

본 연구에서 가장 관심을 두는 양식 부문 기술 중 동물복지를 빼 놓을 수 없다. 통상 빌딩양식하면 관상용 수조나 횃집의 수조를 연상하거나, 대량의 양식어를 밀식하는 좋지 않은 상태를 연상하게 된다. 즉 동물복지가 고려되지 않은 양식을 연상하는 것이다. 그러한 상태에서 양식한 상품은 소비자들로부터 외면 받을 가능성이 많을 뿐만 아니라 그러한 환경에서 양식한 수산물의 가치는 자연산에 비하여 품질이 대단히 떨어질 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 양식어의 서식밀도를 고밀도가 아닌 양식어가 서식하

기에 가장 최적의 상태를 유지하는 방식을 도입하는 것을 원칙으로 한다. 나아가서 양식어가 가장 편안하고 쾌적한 환경에서 서식할 수 있도록 하기 위하여 양식생물이 좋아하는 음악 일명 ‘Fusic(Fish Music)’을 개발하여 들려준다거나, 가장 최적의 자연광 상태를 유지하는 등 동물복지 시스템을 갖추도록 하는 것이다.

마지막으로 양식 부문의 마지막 단계인 선별 및 수확관리 시스템이다. 현재 양식방식에서 선별과 수확은 대부분은 노동력으로 하거나 보다 발전된 노르웨이의 경우 피쉬펌프를 사용하는 정도이다. 그러나 이러한 방식으로는 양식생물에게 많은 스트레스를 줄 뿐만 아니라 인건비가 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 본 시스템에서는 개체별로 선별적으로 양식생물을 이동하고 수확하는 시스템을 도입하고자 한다. 각종 센서에 의하여 양식생물의 상태를 체크하고 있기 때문에 물리적인 장치만 개발된다면 선별적으로 대상생물을 골라서 수조를 옮긴다던가 아니면 수확이 가능할 것이다.

2) 가공·유통·판매 부문

빌딩양식에서 양식한 수산물의 판매는 자체판매, 활어판매, 가공판매 등 세 가지로 나눌 수 있다. 자체판매는 빌딩양식을 하고 있는 빌딩에서 직접 판매하는 방식이다. 빌딩 내의 이 방식은 기존의 육상수조양식과 가장 차별화된 판매방식이라 할 수 있다. 즉 빌딩양식장이 있는 빌딩 내의 레스토랑 또는 직판장에서 직접 소비자에게 판매함으로써 수익을 높이는 방식이다. 이러한 방식이 가능한 이유는 도심지에 위치함으로써 소비자들의 접근이 쉽고, 빌딩에 쇼핑, 소비자들이 찾아올만한 쇼핑·레저·관광 시설 등 복합시설이 갖춰져 있기 때문이다.

두 번째 판매방식은 전통적인 판매방식인 활어판매형식이다. 소매점 또는 중간 활어도매상들이 활어차를 활용하여 빌딩양식장에서 구매해 가

는 방식이다. 이 방식은 가능한 빌딩양식에서는 채택하지 말아야 할 방식이다. 왜냐하면 활어수송에 따라 발생하는 높은 유통비용과 폐사율, 횃집에서 활어수조를 운용하는 비용 증가 등이 문제점이 있기 때문이다. 현재 육상수조양식은 소비지와 먼 거리에 떨어진 임해지역에서 이뤄지기 때문에 활어수조로 운송하여 공급하고 횃집에서는 수조를 갖추어야 한다. 그러나 도심의 소비지에서 양식할 경우에는 그러한 과정이 불필요할 것이다.

따라서 본 연구에서는 가공판매방식을 주요한 판매방식으로 택하고자 한다. 가공판매방식이란 빌딩양식장에서 주문자의 요구에 맞는 양식물을 수확하여 가식부인 횃감가부분만 공급하고 비가식부인 내장이라든가 껍질 등은 자체처리하는 시스템을 갖추는 것이다. 즉 빌딩양식장에서 양식물을 일차 가공하여 소매점(횃집 포함) 또는 소비자가 바로 소비할 수 있는 형태로 제공하는 것이다.

구매방식은 전통적인 주문방식 외에 인터넷이나 스마트폰 앱을 활용하여 직접 구매자가 선택하고 배송하는 직거래 온라인 시스템을 갖추도록 한다. 즉 구매자가 온라인으로 구매하면 구매명령이 중앙전산통제실을 통해 수확처리시스템으로 연결되고, 수확처리시스템에서 포획한 양식물이 자동화 시스템을 거쳐 가공실로 이송되면 그곳에서 가공하고 포장하여 구매자에게 수송되는 체제이다. 이러한 방식이 도입되면 중간도매 비용 절감, 쓰레기 처리비 절감, 높은 선도 유지가능, 저가 횃감용 수산물 제공 및 구매자의 선택적 구매기회 확대 등의 효과가 있을 것이다.

3) 레저·관광 부문

개념 및 기본 방향에서 제시한 바와 같이 빌딩양식업은 단순히 수산물 양식하여 판매하는 사업이 아니라 빌딩을 복합산업 공간으로 활용하는 사업이라고 정의한 바 있다. 이러한 정의는 도심의 빌딩에서 양식할 경우 수

산물 양식 및 판매 뿐만 아니라 소비자들의 다양한 수요를 충족시킬 수 있는 활동을 제공할 수 있기 때문이다.

소비자들에게 제공할 수 있는 것 중 가장 관심거리는 도심에서 양식하는 과정을 보여줄 수 있다는 것이다. 즉 빌딩양식장 내에 수산생물을 양식하는 과정을 보여줄 수 있는 소형 아쿠아리움을 설치하여 소비자 특히 어린이 및 청소년들의 교육장과 관광거리로서 활용하는 것이다.

두 번째는 신선한 회를 즐기고자 하는 소비자들을 위한 레스토랑을 운영하는 것이다. 빌딩에서 직접 양식한 수산물을 그곳의 레스토랑에서 먹을 때 느끼는 신선감은 또 다른 맛을 보여줄 수 있을 것이고, 보다 품격 있는 회문화를 창출할 수 있을 것이다. 물론 그곳에서 횡감을 구매하고자 하는 고객은 직접 구매해서 가져갈 수도 있고 택배도 가능하도록 하여야 할 것이다.

마지막으로 수산물 이외의 쇼핑이 가능한 공간을 만드는 것이다. 가정 주부들을 대상으로 한 시장 형태의 소매점과 다양한 상품을 구입할 수 있는 쇼핑몰을 결합할 경우 더 많은 소비자들이 찾는 공간이 될 것이다.

4) 빌딩양식 건축 및 에너지 부문

본 연구에서 제안한 빌딩양식의 빌딩은 기존의 빌딩과는 매우 다른 특징을 가지고 있다. 일반 건물과 다른 가장 큰 차이점은 많은 물이 담긴 양식수조가 있고 그곳에는 살아있는 생물이 존재한다는 것이다. 따라서 빌딩양식의 건축은 습도에 강하고 생물에 가장 쾌적한 환경을 제공할 수 있는 빌딩으로 설계되고 건축되어야 한다. 즉 친생물적인 건축물이 되어야 한다는 것이다.

또한 수산물을 양식하는 곳이라는 이미지를 완전 바꾸어 놓을 수 있는 건축디자인이 요구된다. 즉 일반 소비자들이 물고기를 키우는 공장으로 인

식하지 않도록 설계되고 건축되어야 한다. 마지막으로 본 빌딩양식장에서 필요로 하는 모든 에너지는 자체 재생에너지를 사용하는 시스템을 갖추도록 한다. 즉 빌딩을 설계할 때부터 태양열을 활용할 수 있도록 하여 탄소제로 빌딩을 만드는 것이다.

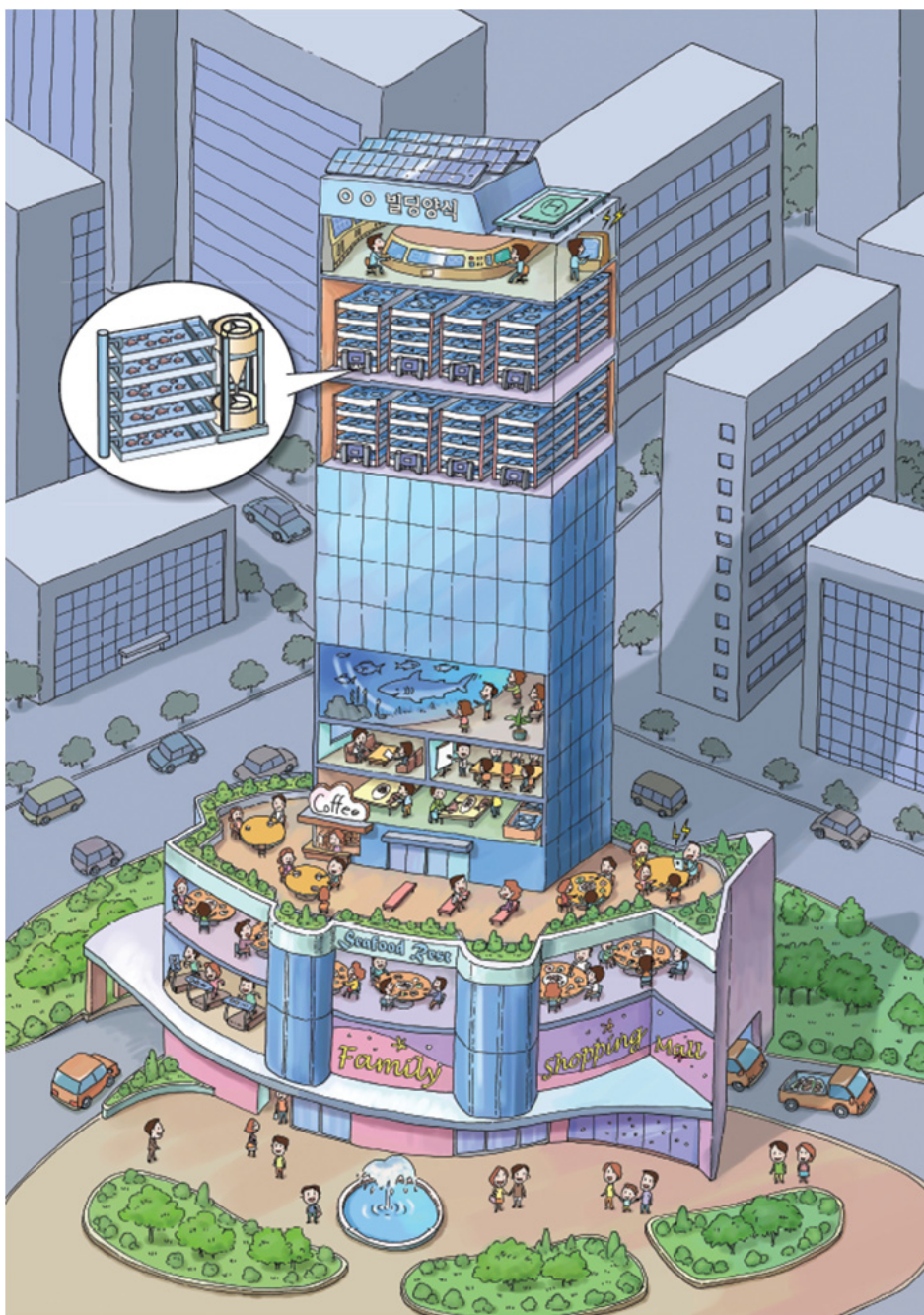
3. 도심지형 빌딩양식 기초설계안

본 연구에서 제안하는 최종적인 모형은 도심지형 빌딩양식이다. 따라서 본 절에서는 서울과 같은 대도시 도심지에서 양식할 경우를 가정한 기초설계안을 마련해 보고자 한다.

기본적인 모형은 <그림 5-1>과 같이 도심지의 빌딩에 양식, 가공판매, 레저관광이 복합적으로 배치된 빌딩을 가상하였다. 아직 세계적으로 이러한 사례가 없기 때문에 본 연구에서 제안하는 개념에 따라 이미지화한 것이다. <그림 5-1>은 총 17층 빌딩(지상 13층, 지하 4층)의 지상 10개 층은 양식시설, 나머지 3개 층은 복합시설 및 중앙통제실 그리고 지하 4개 층은 주차장 및 기계실 등으로 활용하는 안이다.

양식부문은 보면 50m×50m의 건물 1개 층에 45m×1m×0.2m의 선반식 양식시설을 40개를 5단으로 설치하여 총 200개를 설치하는 것이다. 따라서 1개 층의 양식수면적은 9,000m²가 되고, 10개 층에 양식시설을 할 경우 총 양식시설은 2,000개가 되고 총 수면적은 90,000m²가 된다. 따라서 건물 토지면적 대비 약 36배의 수면적이 확보되는 것이다. 물론 빌딩층수를 높이면 양식시설은 더 많이 할 수 있고, 토지면적당 활용도 또한 높아질 것이다.

양식생산량은 유럽의 SRS방식에 의한 저서류 m²당 생산량 60kg을 가정할 경우 1개 층에서 약 54톤으로 10개 층에서는 총 540톤으로 추정된다.



| 그림 5-1 | 빌딩양식 개념도

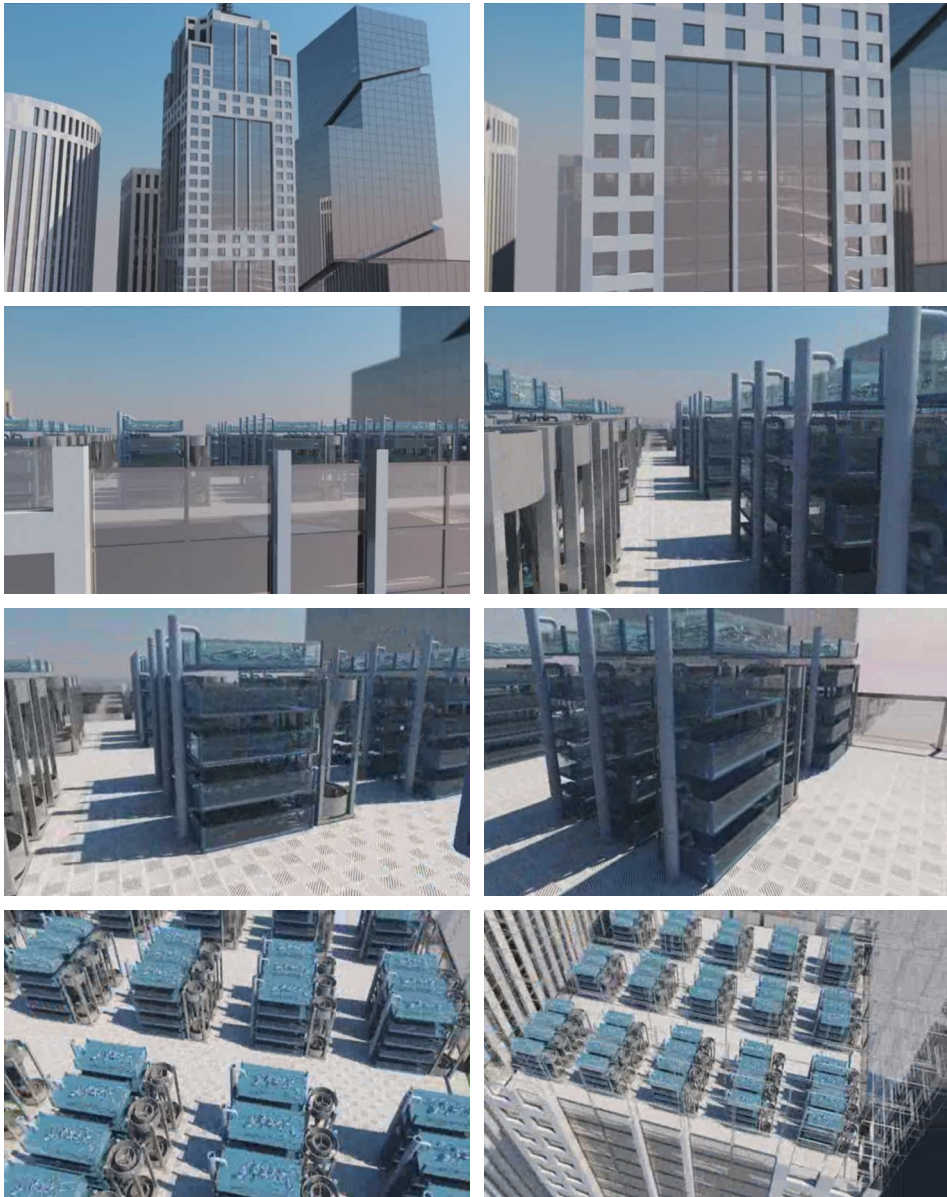
생산액은 현재 국산 양식산 넙치가격은 11,000원/kg을 적용할 경우에는 약 1.6년에 약 590억 원에 이른다. 그러나 대량생산으로 인하여 가격이 약 8,000원대로 하락할 경우에도 약 432억 원대에 이른다.

현재 제주도 육상수조식 넙치양식의 경우 업체당 평균 약 4,000m²의 수조에서 m²당 약 24kg을 생산하여 1.6년에 약 96톤을 생산하고 있다. 생산성이 낮은 이유는 대량 양식수의 취수 및 배출에 따른 높은 폐사율이 주원인이지만 SRS에 비하여 기본적으로 생산성이 떨어진다는 것이다.

다음으로 양식장 이외의 가공판매부문은 1개 층에 양식수산물을 헛집 등 소비처와 빌딩 내 레스토랑에서 판매하기 위한 가공과 판매를 겸하는 시설을 갖추는 것이다.

관광레저부문에는 아쿠아리움, 컨퍼런스, 레스토랑, 쇼핑몰 등을 시설하여 소비자들로 하여금 단순한 양식장인 도심의 휴식 공간으로 활용하도록 하는 설계하고자 한다.

본 연구가 추진되는 과정에 SBS 8시뉴스에서 ‘고층빌딩서 키운 생선?...최첨단 빌딩 양식장’이란 제하의 기획방송이 있었다. <그림 5-2>는 동방송에서 방영한 빌딩양식 CG 모형이다. 본 연구에서 제안하는 빌딩양식 개념을 보다 쉽게 이해하도록 하기 위하여 동 CG사진을 캡처하여 본 보고서에 수록하고자 한다.



주 : 본 CG사진은 SBS에서 2011년 12월 17일(토) 방영한 방송 내용 중 빌딩양식장 CG부분을 캡처한 것임

자료 : SBS 8시뉴스, “고층빌딩서 키운 생선?...최첨단 빌딩 양식장”

http://news.sbs.co.kr/section_news/news_read.jsp?news_id=N1001047025

[그림 5-2] CG화한 빌딩양식

제 6 장 빌딩양식의 사회경제적 효과 분석

1. 빌딩양식의 사회경제적 이익

빌딩양식의 사회경제적 이익이란 빌딩양식의 설치 및 운영을 통해 창출할 수 있는 수산 분야의 경제적 혜택과 이로 인한 사회적 이익으로 정의할 수 있다. 실제 빌딩양식이 국내에 도입된 사례가 현재까지 없기 때문에 정성적 방법으로 기존의 기르는 어업인 해상가두리와 육상수조식 그리고 기르는 어업의 새로운 패러다임인 빌딩양식을 비교분석하여 빌딩양식 고유의 장점을 도출하고, 나아가 가정에 근거한 재무 분석을 하고자 한다.

1) 재해 대응 안정적 생산 기반 마련

집중호우, 초대형 태풍, 지진 등의 기상 이변으로 인해 해상가두리뿐만 아니라 육상양식장의 피해가 점차 늘고 있다. 2006년부터 2010년까지 자연재해로 인한 발생한 양식어업의 발생건수는 약 1,100건으로 양식생물의 피해가 약 2,350억 원, 시설부문의 피해액도 약 730억 원이다. 즉 자연재해로 인한 해상가두리에서의 피해액이 평균 616억 원에 이른다.⁴³⁾ 재해의 유형도 태풍, 강풍, 대설, 천문조 등으로 다양해지고 있고, 이상조류 등 예상치 못한 피해로 인해 양식어업인들이 큰 피해를 보는 경우도 많이 발생하고 있다. 또한 정전 사태 등으로 육상수조식 양식장이 피해를 입는 사례도 자주 발생하고 있다.

이를 경제적 가치로 환산해 보면 우리나라 5년 평균 천해양식어업 생산액 1조 6,449억 원이며, 동 기간 양식어업 피해액(시설물 피해액 포함)은

43) 중앙재난안전대책본부 소방방재청.

1,540억 원이다. 즉, 양식 생산액의 약 9.4%가 피해를 입고 있는 셈이다. 그러나 빌딩양식 설립으로 전체 양식 생산의 1~3%를 생산한다고 가정할 경우 자연재해로 인한 경제적 손실 절감 효과는 약 164억~493억 원으로 추정할 수 있을 것이다.

2) 온실가스 저감 효과

현재 양식생산은 경남, 전남 지역 및 제주도 지역에서 집약적으로 이뤄지고 있는 반면에 수산물 소비의 대부분은 서울 및 경기지역 등 도심에서 이뤄지고 있다. 이에 따라 산지에서 생산한 양식 수산물을 소비지까지 수송하기 위해서는 육상 및 해상 교통수단을 이용해야 하며, 수송과정에서 탄소 배출은 필수불가결하다.

경기, 인천 지역에서는 완도산 광어가 87.5% 거래되고, 그 외 지역은 제주산 광어를 주로 이용한다. 빌딩양식에서 생산되는 물량을 1,800~5,400톤이라고 가정하고 이를 제주 또는 완도 지역에서 직접 수송한다고 가정했을 경우 4톤 트럭으로 수송 시(최대 1톤 넉치 보관) 이동 횟수는 1,800~5,400회 이동이 필요하다.

완도에서 경기·서울 간 활어차 수송을 가정해 볼 때 왕복 거리가 880km이기 때문에 1회 이동 시 발생하는 이산화탄소 발생량은 429.4kg으로 추정해 볼 수 있다.⁴⁴⁾ 따라서 빌딩양식에서 생산하는 물량을 현지에서 직접 수송하기 위해서는 1,800~5,400회 이동이 소요되며 이에 따른 이산화탄소 발생 총량은 연간 773~2,318톤으로 추정해 볼 수 있을 것이다.

44) 기후변화센터 탄소계산기 이용.



| 그림 6-1 | 양식어가 수 기준 육상 넙치전국 분포도 및 수송거리

| 표 6-1 | 우리나라 산업별 온실가스 배출량 추이

단위 : 천CO₂, %

구 분	온실가스 배출량								증가율 1995-2004
	1995년		1998년		2001년		2004년		
농림어업	25,943	(6.8)	26,323	(6.7)	26,868	(5.7)	24,498	(4.8)	-5.6
광업	2,565	(0.7)	1,794	(0.5)	1,831	(0.4)	1,109	(0.2)	-56.8
제조업	176,261	(45.9)	182,851	(46.4)	212,383	(44.7)	219,674	(43.0)	24.6
전기·가스·수도	84,719	(22.1)	97,258	(24.7)	141,370	(29.8)	169,914	(33.2)	100.6
건설업	2,457	(0.6)	2,053	(0.5)	2,468	(0.5)	2,489	(0.5)	1.3
서비스업	91,945	(24.0)	84,125	(21.3)	89,741	(18.9)	93,560	(18.3)	1.8

주 : ()는 산업별 구성비임

자료 : 한국은행, “최근 우리나라의 산업별 온실가스 배출구조 분석 및 시사점”, 2008.

그러나 도심 빌딩양식 설치로 생산과 소비가 동시 장소에서 이뤄질 경우에 소비지까지 이동하는 과정에서 발생하게 되는 온실가스 배출량을 평균 1,545톤 저감시키는 효과를 가지게 될 것이다.

2011년 9월 2020년 정부는 온실가스배출 전망치의 30%를 감축하겠다는 목표를 발표하였다. 2020년까지의 배출 전망치와 비교하여 산업부문 18.2%, 전환(발전) 26.7%, 수송 34.3%, 건물 26.9%, 농림어업 부문에서 5.2%를 감축하여 국가 전체적으로 30%를 감축하겠다는 계획이다. 이 같은 목표 달성을 위해 빌딩양식 설치는 능동적이고 적극적으로 대응할 수 있는 효과적인 방법이라고 볼 수 있겠다.

| 표 6-2 | 각 부문별 감축목표 확정안

단위 : %

산업	전환	수송	건물	농림 어업	폐기물	공공 기타	국가 전체
18.2	26.7	34.3	26.9	5.2	12.3	25	30

자료 : 환경부 홈페이지(<http://www.me.go.kr>)

3) 로스율 발생에 따른 추가적 비용 절감

해상가두리 및 육상수조식에서 생산한 양식 수산물을 소비지까지 장거리 이동시키는 과정에서 넙치 등 양식수산물은 외부 환경 변화에 따른 스트레스를 받을 수 있다. 넙치의 경우에는 이 같은 스트레스 등으로 인해 수송과정에서의 로스율(loss)을 약 3~5%로 추정하며, 산지에서 이를 감안해 추가 물량을 보내는 것이 관례적이다.

빌딩양식의 경우에는 생산과 소비가 동일 장소에서 이뤄지기 때문에 육상이동과정에서 발생하는 로스율에 따라 경제적 비용을 절감시킬 수 있을 것이다. 생산 현지에서 1,800~5,400톤을 생산해 도심지역으로 수송시키

기 위해서는 로스올을 감안해 54~270톤의 추가 물량이 필요한 셈이다. 이를 경제적 가치로 환산하면 약 5억 9,000만~29억 7,000만 원(kg당 1만 1,000원 가정)을 절감시킬 수 있을 것으로 추정된다.

더불어 현장에서 어종마다 가장 적합한 환경을 마련하여, 급이 및 어병관리 등을 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템이 갖춰질 경우에는 수산동물 복지를 증진시킬 수 있다. 이는 자연스럽게 소비자에게 고품질의 수산물을 생산 공급할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

4) 신성장동력으로서의 수산기술 발전 도모

빌딩양식은 양식기술과 IT, NT 등 차세대 산업기술을 융합한 형태로 다양한 이점을 지닌 차세대 수산업의 혁명 기반이라고 할 수 있다. 통제된 시설에서 첨단 녹색 기술을 적용해 생육기간을 단축시킬 수 있고, 수면적당 어업생산성을 제고시킬 수 있으며, 연중 생산이 가능해진다. 더불어 항생제 투약 저감 등을 통한 친환경 양식생산이 가능하고, 성장 촉진 등 효능 향상이 강화된 양식수산물을 공급할 수 있을 것으로 전망된다.

농업의 경우에는 LED를 이용하여 선택적 파장을 공급할 경우 식물의 색소제어나 향산화 물질의 증감, 병해충 방제 효과가 발생한다는 연구보고가 있다. 수산 분야에서도 이 같은 기술을 적용한 빌딩양식에 적합한 환경을 조성할 경우, 고품질의 친환경 수산물을 생산할 가능성이 있다.

또한 도심의 소비지에 인접하고 있기 때문에 소비 트렌드와 기호변화에 신속하게 대응할 수 있는 이점이 있기 때문에 수산업의 소비자 지향성을 제고함으로써 수산 분야의 부가가치를 높일 수 있을 것으로 보인다.

5) 수산 분야 전후방 산업 발전 유도

빌딩양식 육성 및 활성화는 수산업의 발달과 함께 관련 전후방 산업발달에 긍정적인 효과를 발생시킬 것으로 보인다. 빌딩양식 분야 시장이 확대되면 신규 공장설비 건설시장이 확대되고, 빌딩양식에서 생산된 제품시장(공장운영 사업시장)이 확대될 수 있다. 또한 빌딩양식 시장은 전후방 산업인 고효율에너지 소재산업, 환경/공정 제어산업, 식품바이오 산업 등의 발달에도 긍정적 영향을 미칠 수 있다. 수산 분야의 전후방 산업 발달과 더불어 고용창출 효과가 발생할 것으로 보인다.

표 6-3 빌딩양식의 전후방 산업

분 야	내 용
고효율 에너지 소재산업	LED 인공조명, 태양전지, 태양열, 자연채광, 지열, 풍력, 2차 전지
환경/공정 제어산업	지능형 로봇응용산업, 실내환경감지, 전력에너지 관리시스템, RFID/USN을 활용
식품바이오 산업	영양성분, 기능성 성분이 강화된 고기능 특용수산물, 안전성 및 특수목적의 항생제 바이오매스, 바이오에너지 산업

더불어 전 세계적으로 빌딩양식에 대한 논의가 시작단계이기 때문에 향후 우리나라가 빌딩양식 관련 기술을 선점화, 상업화시켜서 다른 나라로 기술 이전 및 수출을 할 경우에 발생하게 되는 경제적 혜택은 더욱 크다고 할 수 있겠다.

그러나 이 같은 경제적 혜택에도 불구하고 빌딩양식은 초기 설비투자 비용이 매우 높아 시장진입이 어려울 수 있다. 빌딩양식 비용은 생산비용(가변비용)과 초기 설비투자비용으로 구분해 볼 수 있는데, 생산비용에는 재료비, 인건비, 전기 및 수도요금, 관리비, 설비의 감가상각비 등이 포함된다. 초기 설비투자비용에는 건축, 조명 설비, 전기설비, 공조설비, 급이설비, 배

수설비, 기계장치 등 자동화시스템 설치비 등이 포함될 것이다. 농업의 식물공장의 경우 평균 설치비는 비닐하우스의 약 17개에 달하는 것으로 나타났다. 특히, 완전 인공광형 중 LED를 조명설비로 사용할 경우에 LED 조명설비가 초기 설비 투자 비용의 절반을 차지하게 되어 이 분야의 원가절감이 가장 필요한 것으로 나타났다. 그러나 빌딩양식의 경우에는 수처리 및 해수저장장과 관련된 설비 분야에 많은 비용이 소요될 것으로 예상된다.

그럼에도 불구하고 빌딩양식은 수산물 생산의 패러다임을 변화시키고, 기후변화에 적극적으로 대응할 수 있는 방안으로, 글로벌 공장 설비 수출이 가능한 신성장동력이다. 즉 수산물 생산이 기후변화에 크게 영향을 받지 않고 에너지 고효율 어업생산이 가능해지며 SRS 방식으로 인해 해수사용도 절감할 수 있을 것이다. 더불어 우리나라는 빌딩양식 생산 시스템을 구축하여 IT 강국으로서 어업기술 역량을 한 단계 업그레이드할 수 있고 어업 시설 관련 시장 규모를 확대할 수 있는 이점이 있다. 또한 해외에 기후변화 및 지리적 한계 등으로 양식 생산이 어려운 국가에 빌딩양식 설비 자체를 수출할 수 있을 것으로 보인다.

이 같은 첨단기술이 융합된 빌딩양식을 도입할 경우에는 초기에는 경제성이 없는 것으로 평가될 수 있다. 그러나 도입에 따른 전후방 산업 성장, 양식생산 고도화 등 비시장적 편익까지 고려할 때 장기적으로는 경제성이 있는 것으로 평가할 수 있을 것이다.

| 표 6-4 | 기존 양식 생산과 빌딩양식과의 비교 분석

구 분	해상가두리	육상수조식	빌딩양식
자연재해 피해	◎	○	△
수송비	◎	◎	△
탄소배출	◎	◎	△
수송시 로스율 절감 및 품질제고 효과	△	△	◎

주: ◎ 매우 강함, ○ 보통, △ 약함

| 표 6-5 | 빌딩양식의 사회경제성 편익 추정

자연재해 피해 제어 효과	약 164억~493억 원
탄소 배출량 억제	평균 1,545톤 저감
수송시 로스율 절감 및 품질제고 효과	약 5억 9천만~29억 7천만 원

이상 살펴본 바와 같이 빌딩양식은 해상가두리, 육상수조식에 비해 자연재해 피해를 최소화할 수 있고, 수송비 절감 및 이에 따른 탄소배출 절감효과가 크게 나타날 수 있다. 살아 있는 생물을 수송하는 과정에서 발생하는 로스율을 최소화할 수 있는 이점도 있다. 나아가 정량화할 수는 없지만 양식빌딩을 중심으로 하여 IT와 NT 등 차세대 첨단산업기술을 융합함으로써 수산업의 부가가치를 제고시킬 것으로 기대되며, 첨단 기술의 해외 시장 수출 확대 기회를 통한 수산업의 발전을 도모할 수 있을 것으로 예상된다.

다만 현실적으로 빌딩양식을 설치하기 위해 높은 고정비용이 소요되며, 적용 기술을 현실화·융합하는 데 따르는 제약도 동시에 고려해야 할 것이다.

2. 빌딩양식 가상모델의 경제성 추정

경제적 조건이란 빌딩양식의 설치 및 운영을 통해 얼마만큼의 수익을 창출할 수 있을 것인가에 대한 분석이다. 특히 경제적 효과는 빌딩양식 설치·운영을 통해 얻는 수익 이외에 그로부터 창출되는 기술이전료, 기술융복합을 통한 수산업의 신성장동력 마련 및 이를 통한 수산업의 시장 확대 효과 등을 포함한다.

1) 가정

현재까지 국내의 빌딩양식 운영사례가 없기 때문에 전술한 도심지형 빌딩양식 기초설계안을 중심으로 제반 소요비용 및 순이익을 추정하며 양

식과 관련된 비용은 육상넙치양식 비용을 기준으로 하였다.

1개층 건축면적 $2,500\text{m}^2$ 에 $45\text{m} \times 1\text{m} \times 0.2\text{m}$ 의 선반 총 40개를 5단으로 설치하고, 총 10개 층에 양식장을 시설하는 것으로 가정하였다. 빌딩양식 시스템은 완전자동 제어시스템이고 에너지는 태양광을 이용하는 것으로 하였다.

양식 어종은 현재 우리나라에서 가장 많이 양식되고 빌딩양식 가능성이 높은 넙치를 가정하였다. 빌딩은 총 17개 층(지상 13층, 지하 4층)이고 수면적은 9만m^2 로 설정하였다.

수익성은 <표 6-6>의 시나리오별에 따라 분석하였다. 시나리오는 m^2 당 생산량과 kg 당 가격을 기준으로 한다. m^2 당 생산량은 현재 우리나라 제주도 육상수조식 넙치양식의 생산량인 20kg 과, 유럽 SRS 양식에서 저서류의 단위면적당 생산량인 60kg 을 기준으로 한다. 전자는 매우 비관적인 경우이고 후자는 다소 높은 생산성을 보이고 있다.

가격은 현재 우리나라 양식산 넙치의 산지 평균 가격인 kg 당 11,000천원과 제주도에서 일반적으로 원가 수준이라고 보는 kg 당 8,000원으로 구분하였다.

| 표 6-6 | 빌딩양식 사회경제성 분석 시나리오

구 분	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
m^2 당 생산량	11,000	11,000	8,000	8,000
kg 당 가격	20	60	20	60

초기 설비투자비용은 육상넙치양식 소요비용과 관련 분야 전문가의 의견을 토대로 상정하였다. 감가상각은 양식시설 내구연수 10년, 건물 및 기타 시설물은 20년을 적용하였다.

2) 추정결과

이렇게 설계된 발당양식의 경제성을 추정한 결과 단가 시나리오 1과 2의 연간 매출액은 각각 233억 원과 629억 원이었고, 시나리오 3과 4의 연간 매출액은 각각 179억 원과 356억 원으로 추정되었다.

각종 비용을 제외한 순수익은 시나리오 1과 2의 경우는 60억과 272억 그리고 시나리오 3과 4의 경우 6억 9,000만원과 110억으로 나타났다.

표 6-7 | 발당양식 경제성 추정

단위 : 백만 원

구 분		단가 11,000원/kg 가정		단가 8,000kg/원 가정	
		시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4
		생산성(20kg)	생산성(60kg)	생산성(20kg)	생산성(60kg)
수 익	소 계	23,300	62,900	17,900	46,700
	양식 매출	19,800	59,400	14,400	43,200
	기타 매출	3,500	3,500	3,500	3,500
운영비	소계	10,110	26,850	10,110	26,850
	양식	8,720	25,460	8,720	25,460
	- 사료비	7,776	23,328	7,776	23,328
	- 인건비	250	250	250	250
	- 종묘비	495	1,485	495	1,485
	- 백신비	99	297	99	297
	- 기 타	100	100	100	100
	기타	1,390	1,390	1,390	1,390
감가 상각비	소 계	3,800	3,800	3,800	3,800
	양식시설	2,750	2,750	2,750	2,750
	기타시설	1,050	1,050	1,050	1,050
유지보수비		1,147	2,821	1,147	2,821
금융비	소계	2,150	2,150	2,150	2,150
	양식시설	1,265	1,265	1,265	1,265
	기타시설	885	885	885	885
비용 합계		17,207	35,621	17,207	35,621
양식 당기순수익		5,918	27,104	518	10,904
양식 당기수익율(%)		29.89	45.63	3.60	25.24
총 당기순수익		6,093	27,279	693	11,079
총 당기수익율(%)		26.15	43.37	3.87	23.72

빌딩양식과 단순 비교하는 것은 무리가 있지만 제주도 지역 육상수조식
넙치양식의 경우 판매가격이 9,500원/kg 이상이 되어야 투자수익률이 적합
한 것으로 나타났다.⁴⁵⁾ 규모별로 보면 2,000평(8,250㎡)의 경우 판매가격이
1만 원과 1만 2,000원에서 가장 수익률이 높고, 7,000원 이하에서는 투자수
익률이 마이너스를 보였다.

| 표 6-8 | 제주지역 판매원가에 따른 투자수익률

단위 : %

판매단가(원)	500평 (1,650㎡)	1,000평 (3,300㎡)	2,000평 (6,600㎡)	2,500평 (8,250㎡)
12,000	24.93	26.50	26.92	25.78
11,000	19.46	21.11	21.75	20.76
10,000	13.97	15.71	16.57	15.72
9,000	8.46	10.29	11.38	10.67
8,000	2.94	4.86	6.17	5.61
7,000	-2.60	-0.59	0.95	0.53
6,000	-8.15	-6.06	-4.28	△4.55

즉, 빌딩양식 수면적의 약 10분의 1규모에서 판매원가가 9,500원 이상
일 경우 10% 이상의 수익률을 실현시킬 수 있는 반면, 빌딩양식의 경우에
는 9만㎡의 규모, 판매단가 8,000원에서 수익률 25%를 실현할 수 있을 것으
로 기대된다.

다만 초기 투자비용은 각종 시설장비의 설계 시에 어떤 시스템을 도
입할지, 어떤 소재를 사용할지에 따라 많은 차이가 나며, 고정비용도 사
용되는 시스템이나 소재에 따라서도 큰 차이가 있음을 감안해야 한다.⁴⁶⁾
더불어 양식어종의 폐사율, 성장률도 기존의 양식방법 등의 변수에 따라
많은 차이가 있음을 감안해야 할 것이다.

45) 국립수산물과학원, 「넙치양식표준지침서」, 2006.

46) 한국농촌경제연구원(2009)「식물공장의 동향과 전망」 보고서에서도 일본의 식물공장의 경
제성을 소개하면서 생산비용의 정밀한 계산은 매우 어려운 일이며, 가능한 한 합리적인
설계를 한 후 실제 운영해 본 결과를 통해 추정하는 것이 최선의 방법이라고 언급함.

제 7 장 빌딩양식산업 도입을 위한 정책 방향

1. 비전 및 목표

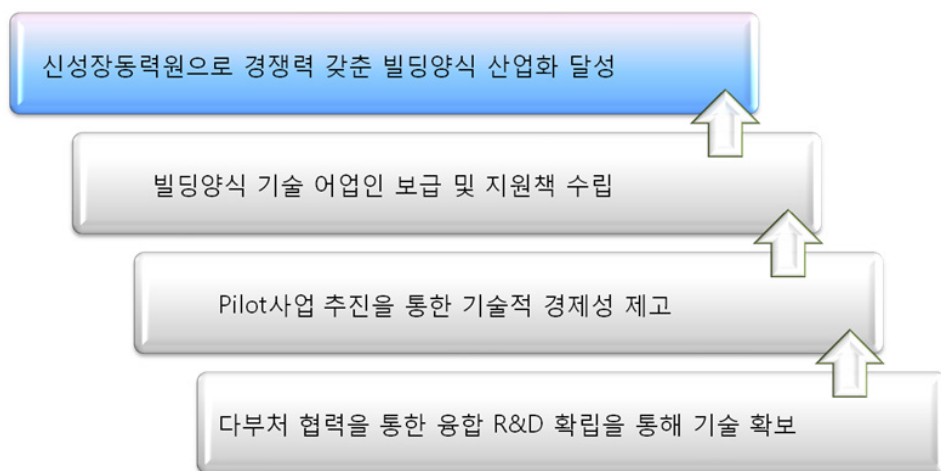
1) 비전

국내외적으로 양식산업은 건강식인 수산물의 초과수요에 대응한 수산 식량의 공급 그리고 다양한 생명산업의 원료공급원으로서의 역할이 매우 커질 것이다. 하지만 기존의 양식업은 자연재해와 해양오염의 취약성, 양식 적지의 한계성, 국민들과 해양이용과의 경합성, 소비지와 원거리 생산에 따른 높은 수송비 및 탄소배출, 연안수질 오염발생 및 높은 폐사율, 고비용 저효율적 양식구조 등의 문제점을 안고 있어 경쟁력 있는 대량생산 양식산업을 발전하는 데는 한계가 있다.

따라서 이러한 문제를 해결하고 저탄소 녹색성장 경쟁력 있는 양식산업으로 전환하기 위한 하나의 방안으로서 새로운 양식방법인 빌딩양식 산업화의 가능성과 향후 추진 방향을 검토해 보았다.

본 연구에서는 빌딩양식 산업화의 비전을 ‘신성장동력원으로서 경쟁력 갖춘 빌딩양식 산업화 달성’으로 설정하였다. 즉 빌딩양식을 우리나라 차세대 주력 양식산업으로 발전시켜 안정적 수산물 공급 및 양식업 부가가치 제고 그리고 글로벌 녹색성장 산업으로 육성하고자 하는 것이다.

이러한 빌딩양식 산업화의 비전을 실현하기 위해서는 다부처 협력을 통한 융합 R&D 확립을 통해 기술 확보, 기술 및 경제성 검증을 통한 Pilot 사업 추진, 빌딩양식 기술의 어업인 보급 및 지원 대책 수립 등의 단계를 거쳐야 할 것이다. 빌딩양식의 산업화를 위한 추진단계와 비전을 제시하면 <그림 7-1>과 같다.



| 그림 7-1 | 발당양식 산업화 추진 단계와 비전

2) 목표

본 연구에서는 발당양식의 산업화를 위한 목표를 다음과 같이 정하였다. 첫째, 발당양식 산업화를 국가의 녹색성장 정책과 부합시킨다는 것이다. 최근 국제적으로 기후변화에 대한 대응이 강조되면서 우리나라에서도 저탄소 녹색성장이 정책이 국가 어젠다로 자리매김하였고, 수산 분야에서도 이에 대한 대응책이 마련되고 있다. 기존의 해상양식과 육상양식은 고비용, 고탄소 배출 생산이라는 구조적인 한계를 가지고 있다. 따라서 고비용 고탄소 배출 구조를 해결함과 동시에 새로운 트렌드인 저탄소 녹색성장에 부합되는 발당양식을 추진함으로써 미래의 양식산업 새로운 성장 동력으로 발전시킨다는 것이다.

둘째, 우리나라 양식산업의 경쟁력을 발당양식을 통해 제고시키는 것이다. 현재 우리나라 양식업은 해상양식과 육상양식으로 대별된다. 내만 중심의 해상양식은 양식적지의 포화와 연안어장의 오염으로 인해 생산성이 정체되어 있고, 태풍과 적조 등 자연재해가 많이 발생하고 있으며, 양식규모의 영세성으로 경쟁력이 떨어지고 있다. 육상양식의 경우도 대량의 양식

수를 취수함에 따라 많은 전력비가 소모되고, 연안수질을 오염시킴과 동시에 오염된 연안수를 사용함에 따라 폐사율이 높아져 경쟁력이 지속적으로 떨어지고 있다. 따라서 현재의 우리나라 양식업 구조로는 국제경쟁력을 제고시키는 것이 어렵다는 것이 일반적인 평가다. 따라서 빌딩양식의 도입을 통해 대량생산과 기업의 규모화를 달성하여 양식산업의 경쟁력을 획기적으로 제고시킨다는 것이다.

셋째, 빌딩양식의 활성화를 통해 글로벌 양식산업으로 육성시켜 나가는 것이다. 최근 정부에서는 양식산업의 국제 경쟁력을 높여 글로벌산업으로 육성시키려는 노력을 기울이고 있다. 우리나라는 양식기술의 측면에서 세계적인 경쟁력을 보유하고 있는 것으로 평가받고 있다. 양식산업이 글로벌화를 이루기 위해서는 양식 수산물의 안전성, 품질 균질성 및 비용절감을 통한 경쟁력 확보가 절대적으로 필요하다. 하지만 기존의 양식방법으로는 이러한 목표를 달성하는 데 한계가 있다. 따라서 첨단 기술을 접목하여 대량생산, 기업의 규모화 및 품질의 균질화를 달성할 수 있는 빌딩양식을 국가의 글로벌 양식산업화로 선정하여 육성해 나가야 한다는 것이다.

2. 추진 방향

1) 기본 방향

본 연구에서는 빌딩양식의 산업화를 위해서 다음의 네 가지 기본 방향을 설정하였다.

첫째, 빌딩양식 산업화를 차세대 신수산 성장동력 기반으로 삼는다는 것이다. 빌딩양식산업은 이미 살펴본 바와 같이 전 세계적인 저탄소 녹색성장 정책에 대응할 뿐만 아니라 국가적으로도 수산식량 안보 확보 및 차세대 양식산업의 성장동력으로 발전 가능성이 높은 산업이다. 따라서 우리나라

차세대 신수산 성장동력산업으로 선정하여 국가적으로 추진할 필요가 있다. 다행히 최근 정부에서도 빌딩양식에 대한 중요성을 인식하여 국가정책에 반영시키기 위해 검토 중인 단계이다.

둘째, 빌딩양식 산업화를 위한 R&D에 대한 집중적인 투자를 하는 것이다. 빌딩양식 산업화를 위한 전제조건은 양식기술과 빌딩양식시스템, 설비 및 건축, IT 자동화 등 관련기술의 개발과 확립이 필수적이다. 즉 소량의 물을 이용하여 사육하는 저수유수식(SRS) 기술과 양식수를 재활용하는 순환여과(RAS) 및 바이오플록 등의 수처리 기술, 그리고 사료급여, 사육수양 및 수질 관리, 양식물의 선별 및 이동, 온도 및 습도, 양식생물 정보 및 출하량 관리 등의 자동화기술, 빌딩양식장의 설계 및 전력공급 등에 대한 기술 개발과 축적이 필수적이다.

이러한 기술들은 아직 빌딩양식이 산업화되기에는 미흡한 상태임을 이미 검토한 바 있다. 즉 빌딩양식을 성공시키기 위해 많은 기술들이 신규로 개발되거나 기존의 원천기술들이 융복합 개발되어야 함을 지적하였다. 특히 빌딩양식은 세계적으로 최초로 제안된 방식이기 때문에 산업화를 위한 기술개발의 중요성 및 시급성은 재론의 여지가 없다.

따라서 국가적으로 빌딩양식을 위한 기술개발 R&D에 집중 투자하여야 하는 것이다. 다만 빌딩양식 산업화를 조기에 달성하기 위하여 전제조건 기술들을 개별적으로 개발하는 것 보다는 동시에 개발할 것을 제안한다.

셋째, 정부, 지자체, 연구소·대학, 기업이 참여하는 시범사업을 우선적으로 추진한다. 빌딩양식은 아직까지 개념단계이기 때문에 업계가 모든 위험을 무릅쓰고 개발에 참여한다는 것은 어려운 것이 현실이다. 따라서 업계뿐만 아니고 중앙정부(다부처 협력), 지방정부 그리고 연구소·대학 등이 참여하는 시범사업으로 추진하여 빌딩양식 산업화의 기초를 마련할 필요가 있다. 더욱이 빌딩양식 산업화를 정부 주도의 대형 국책시범사업으로 추진함으로써 요소기술의 완전한 확립과 산업화 추진이 가능할 것이다.

마지막으로, 단계별로 추진함으로써 시행착오를 줄이고 세계 양식강국으로 발전시킨다는 것이다. 빌딩양식 산업화가 이뤄지기까지는 적게는 5년, 길게는 10년 정도가 소요될 것으로 예상된다. 즉 초기 기술개발단계에서 얼마나 빠른 기술개발이 이뤄지느냐에 따라 달라질 수 있을 것이다. 본 연구에서는 본 사업을 국책사업으로 추진한다는 전제하에 국가정책사업화, 예산 확정 및 시행 등을 감안할 때 국가중심의 시범사업은 약 5년, 기업중심의 상용화 단계를 약 3년으로 가정하여 단계별 전략을 제시하고자 한다. 즉 시범사업 단계인 1단계는 2012~2016년(5년), 기업중심의 상용화 단계인 2단계는 2017~2019년(3년)으로 보고, 2020년 이후는 완전산업화 단계로 설정하였다.

2) 추진 전략

본 연구에서는 전술한 비전과 목표, 기본 방향에 따라 다음과 같은 추진 전략을 수립하고자 한다.

첫째, 시범사업의 추진을 통한 기술적 경제적 타당성과 실용성을 검증한다. 전술한 바와 같이 업계, 정부(중앙정부와 지방정부)와 연구소·대학 등과 공동 시범사업단을 구성하여 빌딩양식의 타당성과 실용성을 검증하는 것이다.

둘째, 다부처 협력 R&D체제를 구축하여 대형 국책사업으로 추진한다. 빌딩양식을 실현하여 산업화로 나가기 위해서는 R&D가 우선되어야 할 것이다. 이는 빌딩양식의 산업화를 위해서는 양식기술뿐만 아니라 다양한 요소기술이 필요할 뿐만 아니라 세계로 진출하기 위한 특허기술 및 노하우가 축적되어야 하기 때문이다. 빌딩양식은 도심지에 입지하여 여기에 양식과 다양한 기술이 필요하며 생산·판매·유통 등이 복합적으로 결합되어 진다. 따라서 빌딩양식의 산업화를 위해서는 다양한 분야와 정부부처가 연관되

어 있으므로 농림수산식품부, 지식경제부 등 관련 부처와 민간참여를 통해 다부처 협력 체제를 구축하여 대형 국책사업으로 추진해 나간다.

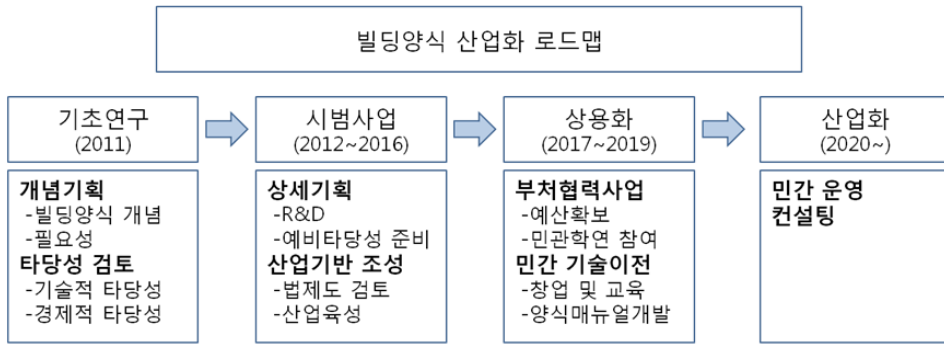
셋째, 자본력 있는 기업의 참여 유도를 통해 산업화를 조기에 달성해 나간다. 빌딩양식산업은 초기 투자비용이 많이 소요되므로 자본력을 갖춘 기업에서 가능하다. 따라서 정부는 실현 가능성이 큰 기업을 대상으로 다부처에서 집중 투자하여 육성할 필요가 있다.

넷째, 국가 수산식량 확보원으로서 신성장동력은 발굴 정책의 일환으로 추진한다. 빌딩양식의 산업화는 단순히 도심지에 양식장을 건설하는 것이 아닌 수산식량의 안정적 공급이라는 신성장동력으로서 수산 분야의 새로운 정책으로 간주해서 추진되어야 할 것이다. 왜냐하면 기존의 정책으로 추진할 경우 특정 기업 및 지역에 대한 집중 지원, 세계 지원의 한계 등의 문제가 발생할 수 있기 때문이다.

3) 빌딩양식 산업화 로드맵

빌딩양식을 조기에 산업화를 달성하기 위해서는 시범사업, 상용화, 산업화라는 단계를 통해 선택과 집중의 방식으로 추진할 필요가 있다. <그림 7-2>는 빌딩양식 산업화 로드맵을 나타낸 것이다. 빌딩양식 산업화를 위해서는 크게 기초연구, 시범사업, 상용화, 산업화 단계를 거치는 것으로 하였다.

먼저, 기초연구는 빌딩양식의 개념과 중요성을 명확히 하여 빌딩양식의 도입해야 하는 필요성과 타당성을 검토하는 것이다. 따라서 본 연구는 빌딩양식의 기초연구의 관점에서 진행되었다고 할 수 있다.



[그림 7-2] 빌딩양식 산업화 로드맵

다음으로 시범사업의 단계이다. 기초연구에서 빌딩양식의 타당성이 도출되면 빌딩양식의 상용화를 위해 시범사업을 통해 검증하는 것이 필요하다. 시범사업은 크게 상세기획과 산업기반 조성으로 나눌 수 있다.

상세기획은 빌딩양식에 필요한 다양한 기술을 융복 합시켜 새로운 빌딩양식시스템으로 적용시키는 것이다. 그리고 빌딩양식을 대형 국책사업으로 추진하기 위해서는 예비타당성을 받아야 하는데 상세기획에서 이를 준비한다. 한편, 산업기반 조성은 빌딩양식을 도입할 경우 법제도의 개선을 검토하고 빌딩양식의 부가가치를 높이기 위한 유통·가공, 상품화 등을 개발하는 것이다.

그다음 단계는 대형 국책사업으로서 빌딩양식을 상용화하는 것이다. 빌딩양식의 상용화는 정부(중앙정부 및 지방정부) 및 민관학연의 협력사업으로 추진하여 정부로부터 예산을 확보한다. 상용화에서는 시범사업에서 개발된 새로운 빌딩양식 관련 기술을 현장에 적용·검증한다. 그리고 상용화 단계에서는 민간기업도 참여시켜 빌딩양식의 기술이전을 병행함으로써 산업화를 촉진시킨다.

마지막 단계는 빌딩양식의 산업화이다. 빌딩양식의 상용화에서 검증된 것을 민간에서 독자적으로 사업을 추진하는 것이다. 여기에는 민간에서 빌딩양식을 운영할 때 필요한 양식기술 등의 컨설팅을 통해 정보를 제공한다.

3. 추진 과제

1) 빌딩양식 요소기술 개발 및 국산화

빌딩양식의 기본 모형은 도심지 빌딩양식형과 단층 다단계양식형으로 대별할 수 있다. 빌딩양식의 산업화를 위한 요소기술을 정리해 보면 <표 7-1>과 같다. 빌딩양식을 구성하는 분야는 크게 수원 확보, 사육수 이용, 사육수 재활용, 양식물 양성, 양식물 관리, 전력 공급, 건축물 등으로 나눌 수 있다. 먼저 사육수 확보 분야에 필요한 기술은 바닷물을 이용하거나 담수를 해수화하는 기술과 보충수를 확보하는 기술 등이 있으며 사육수 확보 기술이 개발되어야 한다. 사육수 이용 분야에는 소량의 물을 이용하여 사육하는 저수유수식(SRS) 기술 개발 그리고 사육수 재활용 분야는 순환여과(RAS)와 바이오플록 등의 기술 개발이 따라야 한다.

양식물 양성 분야는 자동급이시스템, 질병 관리, 사육수 양 및 수질 관리, 양식어 선별 및 이송, 양식장 온도 및 습도 관리 등에 대한 기술 개발이 필요하다. 양식물 관리 분야는 양식물 선별, 비용 투입요소 및 출하량 관리, 양식물의 정보, 양식공장의 정보, 판매관리 등의 기술 개발이 있어야 한다. 또한 전력 공급 분야에는 태양열 등을 이용한 효율적 전력 확보 기술 개발이, 건축물 분야에는 빌딩양식장 하중을 고려한 새로운 건축 기술 개발이 있어야 할 것이다.

이상과 같이 빌딩양식장을 건립할 경우 다양한 요소기술이 필요하며 산업화를 이루기 위해서는 분야별로 기존에 개발된 기술을 적용 및 응용하거나 새로운 기술 개발을 따라야 할 것이다.

| 표 7-1 | 빌딩양식 분야별 기술 개발 사항

분 야	기술 개발
사육수 확보	바닷물 또는 담수를 해수화 기술, 보충수 확보 기술 등
사육수 이용	저수유수식(SRS) 등
사육수 재활용	순환여과(RAS), 바이오플록 등
양식물 양성	자동급이, 질병 관리, 사육수 양 및 수질 관리, 양식어 선별 및 이송, 양식장 온도 및 습도 관리 등
양식물 관리	양식물 선별, 비용 투입요소 및 출하량 관리, 양식물의 정보, 양식공장의 정보, 판매 관리 등
전력 공급	태양열 등 효율적 전력 확보 기술 등
건축물	빌딩양식장의 하중을 고려한 친환경적인 새로운 건축 기술 등

또한 빌딩양식은 아직까지 세계적으로 정립되지 않는 첨단 육상양식기법으로서 조기에 이들 기술을 확립하는 것과 더불어 이들 기술을 국산화하여 상용화하는 노력도 필요하다. 우리나라에서 빌딩양식과 관련된 기술을 확립하고 국산화를 실현한다면 빌딩양식에서 생산된 수산물을 수출하는 것뿐만 아니라 빌딩양식 플랜트 또는 기술을 수출시켜 세계시장을 선도할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 빌딩양식 산업화 체제 구축

빌딩양식의 산업화를 위한 체제를 구축하기 위해서는 민·관·학·연 추진단을 구성하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 ‘(가칭)빌딩양식 산업화 추진단’을 구성하여 운영할 것을 제안한다.

추진단은 정부뿐만 아니라 업계와 연구소 및 대학이 참여하도록 하는 것이다. 정부는 동 사업이 양식사업이 중심이 되기 때문에 농림수산식품부가 주관이 되고 관련부처가 참여하도록 한다. 동 사업과 관련된 부처로는 녹색성장 정책과 관련된 녹색성장위원회, 각종 첨단기술 융복합 개발 및

복합산업화 부분은 지식경제부, 양식빌딩 건축부지 및 건축부문은 국토해양부, 빌딩양식 폐수처리 관련해서는 환경부, 그리고 빌딩양식 산업화 육성을 위한 세제지원 등을 위하여 기획재정부 등 다양한 부처가 참여할 필요가 있다.

업계는 기존의 양식업계 뿐만 아니라 빌딩양식업을 하고자 하는 기업이면 누구나 가능하도록 하되, 기술과 자본력이 있는 기업을 우선하도록 한다.

연구소는 본 개념연구를 실시한 한국해양수산개발원을 비롯하여 빌딩양식 기술 개발에 적합한 자연과학 연구소가 참여하도록 하고, 대학 또한 빌딩양식 관련 기술개발 능력이 있는 대학으로 한다.

동 추진단에서는 빌딩양식의 산업화를 위한 부처 간 협력 및 지원, 전문가 인력풀 작성, 산업화 로드맵 작성 및 추진, 시범사업 추진 등의 업무를 담당하도록 한다.

3) 빌딩양식 시범사업 추진

빌딩양식이 단기간 내에 체계적으로 육성되어 세계적인 경쟁력을 갖추기 위해서는 관련 산업과 기술지원 등이 동시에 이뤄질 수 있는 시범사업 형태로 추진하는 것이 필요하다. 전술한 바와 같이, 도심지 빌딩양식은 양식부문, 가공판매부문, 레저관광부문 등이 복합적인 시설물로 이뤄지며, 그 파급 효과는 매우 클 것으로 사료된다. 하지만 아직까지 세계적으로 빌딩양식이 산업화된 적이 없고 다양한 기술 개발이 뒷받침되어야 하므로 기술적 경제적 타당성이 우선 검증될 필요가 있다. 따라서 빌딩양식에 대해 업계, 정부(중앙정부와 지방정부)와 연구소·대학 등과 대형국책사업으로 협력사업으로 시범사업을 추진해 나간다.

한편, <표 7-2>는 빌딩양식의 시범사업 내용을 분야별로 구분하여 각 분야에 확립되어야 할 기술을 제시한 것이다. 시범사업은 크게 상세기획과 산

업기반조성으로 대별할 수 있다. 상세기획은 다시 R&D와 예비타당성 분야로 구분된다. R&D 분야는 빌딩양식기술, IT 자동화기술, 빌딩양식시스템기술, 설계 및 건축으로 나눌 수 있으며, 이들 각 분야에 기술 개발이 필요한 내용은 표와 같다. 다음으로 사업규모가 500억 원 이상의 국책사업은 사업수행 이전에 예비타당성을 받기 때문에 상세기획에 예비타당성 분야를 포함시켰다.

| 표 7-2 | 빌딩양식의 시범사업 내용

구분	사업 분야	세부 분야 및 적용 기술	
상세 기획	R&D	빌딩양식기술	• 순환여과시스템(RAS) • 저수유수식시스템(SRS) • 미생물 총기술(바이오플록)
		IT 자동화기술	• 자동급이 • 환경모니터링/관리 • 개체모니터링 • 운영 및 관리시스템
		빌딩양식시스템기술	• 빌딩양식장 설계 • 빌딩양식기술별 최적 시스템 구축
		설계 및 건축	• 친환경 녹색 빌딩양식 건설 • 태양광 등 전력 조달
	예비타당성	예비타당성 준비	• 시범사업 규모 500억 원 이상 시 예비타당성 분석
산업 기반 조성	법제도	빌딩양식 제도	• 수산업법 및 관련 규칙 개정 • 건축법, 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 등 개정
	산업육성	유통, 가공, 상품화	• 운반, 배송 • 회 및 식단개발 • 기능성 식품개발, 브랜드화

한편 산업기반조성은 법제도와 산업육성으로 구분하였다. 법제도에서는 빌딩양식의 법적 지위 부여, 지원 근거 마련 등을 제시하고, 산업육성에서는 빌딩양식을 통해 생산된 수산물의 부가가치를 높이기 위해 유통·가동, 상품화 등을 검토한다.

4) 빌딩양식 제도화

마지막으로 국내에서 빌딩양식을 실시할 수 있는 법과 제도를 개선할 필요가 있다. 기존의 육상수조식양식의 허가만으로는 도심지에서 빌딩양식이 어렵다. 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 건축법, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 등을 종합적으로 검토하여 빌딩양식이 가능하도록 제도의 개선이 있어야 할 것이다.

또한 수산업법에서도 빌딩양식을 할 수 있는 근거가 없으므로 동 법에 빌딩양식을 허가어업으로 분류하고 동 법 시행령 및 규칙 등에 빌딩양식의 종류와 시설기준 등을 명시할 필요가 있다. 장기적으로는 현재 정부에서 추진 중인 ‘(가칭)양식산업법’의 법제화에 빌딩양식의 근거를 마련하는 것도 검토할 필요가 있다.

마지막으로 빌딩양식에 참여하는 기업에 대한 세제 지원 및 자금 지원 등 별도의 제도 개선도 있어야 할 것이다.

5) 빌딩양식 홍보

본 연구 대상인 빌딩양식은 여러 번 강조하듯이 세계 최초로 제안하고 추진되는 것이기 때문에 연구과정에서 많은 홍보를 위한 기고, 언론 인터뷰 및 특강 등이 <표 7-3>과 같이 있었다.

하지만 이 정도의 홍보만으로는 빌딩양식 산업화를 추진하는 데는 부족하다. 한 나라의 정책이 입안되는 과정에서 일반 국민들의 이해와 지지를 얻어내는 것 또한 매우 중요하다. 따라서 시범사업이 추진되는 과정에서 정부는 다양한 홍보를 추진하여야 할 것이다.

빌딩양식사업의 장점을 저탄소 녹색성장, 국민경제, 수산업 발전, 글로벌 국가 등 다양한 측면에서의 알릴뿐만 아니라 많은 전문 지식인들의 통섭의 장을 마련하기 위한 홍보가 이뤄져야 한다는 것이다.

| 표 7-3 | 빌딩양식 관련 홍보 실적

번호	일 자	주 제	기관 및 활동
1	2011. 5	빌딩양식, 미래 양식산업의 다크호스로 떠오르다	KMI수산동향 기고
2	2011. 5. 12	세계 양식신기술 개발동향과 전망	2012 여수세계박람회 국제심포지엄 발표
3	2011. 5. 28	세계 양식신기술 개발동향과 전망	전남대학교 수산해양대학원 특강
4	2011. 6 16	빌딩양식(Vertical Aquaculture) 산업화 방향	글로벌융합포럼 발표
5	2011. 6. 22	빌딩양식이란	KBS1라디오 농수산오늘 인터뷰
6	2011. 7. 5	한국 수산정책 방향(빌딩양식)	수협중앙회 수협연수원 특강
7	2011. 8. 1	재해 없는 도심양식 주목	KBS1TV 뉴스광장 인터뷰
8	2011. 8. 11	빌딩양식 산업화 방향	국립수산과학원 순환여과양식 개발 TF 발표
9	2011. 10. 4	Vertical Aquaculture(빌딩양식) 산업화 방향	2011건축의날 기념강연
10	2011. 10. 21	한국 수산정책 방향(빌딩양식)	군산대학교 최고수산업전문가과정 특강
11	2011. 12. 17	“고층빌딩서 키운 생선? 최첨단 빌딩 양식장”	SBS 8시뉴스 인터뷰

제 8 장 결론 및 정책 제언

1. 요약 및 결론

본 연구는 세계적인 이슈로 부각되는 수산식량의 안정적 확보, 저탄소 녹색성장 산업 발굴 및 경쟁력 있는 양식업의 모델 창출이라는 국내외적인 필요성에서 출발하였다. 미래 생명산업으로의 양식업의 발전 전망, 세계적인 수산물 초과수요 대응을 위한 양식생산 증대, 환경오염 및 적지 부족에 따른 해상양식의 한계 극복, 높은 폐사율 및 비효율적인 육상양식의 문제 보완, 기후변화에 대응한 저탄소 녹색성장 동력산업의 발굴이라는 다양한 필요성을 충족시키기 위한 대안이 필요했던 것이다.

따라서 본 연구에서는 세계 최초로 소비지에서 생산하여 공급함으로써 탄소배출 및 수송비를 줄이면서도 저비용으로 대량생산할 수 있는 새로운 녹색성장 양식업의 대안으로 빌딩양식(Vertical Aquaculture)을 제안하게 되었다.

본 연구에서는 빌딩양식 개념을 ‘사회 경제적 편익을 위하여 육상의 빌딩에서 최적의 환경 및 경제적 조건을 인위적으로 조성하고 소량의 양식수를 사용하여 수산생물을 기르는 것’이라고 정의하였다. 또한 빌딩양식업을 빌딩양식장에서 수산생물을 길러서 가공, 판매 및 관련 경제활동을 통해 사회 경제적 편익을 추구하는 사업이라고 확대하여 정의함으로써 기존의 양식업과는 많은 차이점을 보였다.

즉, 아래 표와 같이 양식장소, 자연환경, 양식방법, 소비지와 거리, 기술융복합 가능성, 사업형태 등 다양한 측면에서 기존의 양식업과 빌딩양식업을 비교분석함으로써 빌딩양식업의 차별성을 나타냈다.

구 분	자연양식	육상수조식양식	SRS양식	빌딩양식
장 소	해면, 내수면	육상 단층건물	육상 단층건물	육상 고층빌딩
자연환경	자연상태	인위적조성	인위적조성	인위적조성
양식방법	가두리식	단층수조식	단층선반식	복층선반식
양식수량	자연의존	대량	소량	소량
양식수처리	자연의존	대형정화처리	소형정화처리	소형정화처리
소비자와의 거리	원거리	원거리	원거리 (지가문제)	단거리
자동화가능성	소	중	대	극대
기술융복합가능성	소	중	대	극대
대상생물	다수	소수	소수	소수
전력	무	기존전력 대량	기존전력 대량	자체 태양력
사업형태	양식판매	양식판매	양식판매	양식판매/가공/ 레저관광 등

그러나 본 연구가 빌딩양식에 관한 세계 최초의 연구이기 때문에 본 연구에서는 기본적으로 빌딩양식의 개념 설정 및 산업화 가능성을 검증하는 개념기획 연구의 성격으로 이뤄졌다.

본 연구의 일차적인 목적은 첫째, 세계적으로 초보적인 수준인 빌딩양식의 산업화 가능성을 분석하여 새로운 녹색 신성장동력 산업으로 도입할 수 있는지를 검증하는 것이다. 둘째는 세계를 선도할 수 있는 신개념의 양식산업으로 빌딩양식산업을 발전시키기 위한 기본 방향을 설정하는 것이다. 셋째는 본 연구 결과를 토대로 상세기획과 파일럿 사업 추진 등 산업화를 위한 단계로 발전시키기 위한 기초를 제공하는 것이다.

하지만 최종적인 연구 목적은 빌딩양식산업을 우리나라 미래 차세대 주력 양식산업으로 발전시켜 안정적인 수산물 공급, 양식업의 부가가치 및 국제경쟁력 제고와 글로벌 녹색성장 국가브랜드 상품화를 통하여 세계 수

산물 시장을 선점하는 것을 목적으로 하였다.

이러한 목적을 달성하기 위해서 본 연구에서는 첫째, 세계적으로 초보적인 수준인 빌딩양식의 산업화 가능성을 분석하여 새로운 녹색 신성장동력 산업으로 도입할 수 있는지를 검증하였다. 둘째, 세계를 선도할 수 있는 신개념의 양식산업으로 빌딩양식산업을 발전시키기 위한 기본 방향을 설정하였다. 셋째, 본 연구 결과를 토대로 상세기획과 파일럿 사업 추진 등 산업화를 위한 단계로 발전시키기 위한 기초를 제공하는 것으로 하였다. 본 연구의 주요 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

빌딩양식은 미래 신성장동력 생명산업화, 수산식량 공급원 확보, 해상 및 육상양식의 한계 극복, 기후변화 대응 저탄소 녹색양식업 실현을 위하여 대단히 필요한 사업임과 동시에 시의성 또한 매우 높음이 입증되었다.

빌딩양식산업은 기존의 양식과는 전혀 다른 새로운 개념이다. 육상의 도심 등 소비지 빌딩에서 집약적으로 안전한 수산물을 대량으로 양식하여 판매할 뿐만 아니라, 빌딩을 복합공간으로 활용하는 복합산업이다.

이러한 빌딩양식 산업화를 달성하기 위한 기술 수준을 검토한 결과 요소기술은 일부 개발되어 있지만, 빌딩양식을 위한 종합적인 기술은 아직 미개발 상태라 할 수 있다. 다만 기존 기술들의 융복합화를 통한 개발이 이뤄진다면 충분한 가능성이 있음을 확인하였다.

사례분석에서는 양계산업, 빌딩농업 및 저수식 순환여과양식을 분석하였다. 양계산업에서는 첨단 양계시스템화된 과정에서 많은 시사점을 찾았고, 빌딩농업에서는 필요성 및 기술 개발 방향성을 찾아냈다. 저수유수식 순환여과양식에서는 빌딩양식이 되기 위한 가장 기본적인 선반식 양식의 가능성을 찾았을 뿐만 아니라 향후 빌딩양식으로 발전시키기 위해서 필요한 기술 개발 등이 어떠한 것인가를 발굴하였다.

빌딩양식 모형 구상에서는 빌딩양식을 도심지형 빌딩양식과 도심근교형 빌딩양식으로 구분하여 제시하였다. 또한 빌딩양식 시스템을 양식 부문,

가공·유통·판매 부문, 건축물 및 에너지 부문 및 레저·관광 부문으로 나누어 기본적인 구상안을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 빌딩양식시스템은 세계 최초의 시스템을 제안한 것으로 많은 부분 상상력이 동원되었고, 그러한 시스템이 개발되어야 한다는 것을 전제로 하였다.

또한 기본구상안을 기초로 도심지형 기초설계안과 개념도를 제시하였다. 본 연구가 기획연구이기 때문에 구체적인 모델까지는 제안하지 못하였고 기초 설계안만을 제시하였으며, 정책 방향에서 이를 실현하기 위한 다양한 정책대안을 제시하였다.

빌딩양식의 사회경제적 효과분석에서는 자연재해 대응 안정적 생산기반 마련, 온실가스 저감 효과, 로스올 발생에 따른 추가 비용 절감 효과, 신성장동력으로서의 수산기술 발전 도모, 수산 분야 전후방 산업 발전 유도 면에서 검토하였다. 나아가서 기초 설계안에 따라 수익성을 분석하였는데 기존 육상양식보다 높은 수익성을 나타내어, 빌딩양식이 수익성이 있을 것으로 판단되었다.

마지막으로 빌딩양식 도입 정책 방향에서는 빌딩양식 산업화의 비전을 ‘신성장동력원으로서 경쟁력 갖춘 빌딩양식 산업화 달성’으로 설정하였다. 이러한 비전을 실현하기 위한 목표로서 첫째, 빌딩양식 산업화를 국가의 녹색성장 정책과 부합시키는 것, 둘째, 우리나라 양식산업의 경쟁력을 빌딩양식을 통해 제고하는 것, 셋째, 빌딩양식의 활성화를 통해 글로벌 양식산업으로 육성시켜 나가는 것 등 3가지를 제시했다.

빌딩양식의 산업화를 위한 기본 방향은 4가지로 정리할 수 있다. 첫째, 빌딩양식 산업화를 차세대 신수산 성장기반으로 삼는다. 둘째, 빌딩양식 산업화를 위한 R&D에 대한 집중적 투자로 조기에 산업화를 달성한다. 셋째, 정부, 지자체, 연구소·대학, 기업이 참여하는 시범사업을 우선적으로 추진한다. 마지막으로, 단계별로 추진함으로써 시행착오를 줄이고 세계 양식강국으로 발전시킨다는 것이다. 즉 1단계(2012~2016년) 빌딩양식 시범사업,

2단계(2017~2019년) 빌딩양식 상용화, 3단계(2020년 이후) 빌딩양식 산업화로 구분하여 집중 투자한다는 것이다.

빌딩양식 산업화의 추진 전략은 4가지를 제안하였다. 첫째, 시범사업의 추진을 통한 기술적 경제적 타당성과 실용성을 검증한다. 둘째, 다부처 협력 R&D체제를 구축하여 대형 국책사업으로 추진한다. 셋째, 자본력 있는 기업의 참여 유도를 통해 산업화를 조기에 달성해 나간다. 넷째, 국가 수산식량 확보원으로서 신성장동력원 발굴 정책의 일환으로 추진한다.

그리고 빌딩양식 산업화의 로드맵은 기초연구, 시범사업, 상용화, 산업화로 제시하였으며, 이를 위한 추진 과제는 빌딩양식 요소기술 개발 및 국산화, 빌딩양식 산업화체제 구축, 빌딩양식 시범사업 추진, 빌딩양식 제도화를 제안하였다.

본 연구를 추진하면서 본 연구진은 국내외 많은 전문가와 정부 관료들을 만났다. 전통적인 양식업 전문가보다는 새로운 발상의 전환인 빌딩양식의 개념을 이해하고 실현시키는 데 도움을 줄 수 있는 다양한 분야의 전문가들이 주요 면담대상이었다.

빌딩양식의 필요성과 개념 그리고 기본적인 추진 방향을 제시하였을 때 많은 이들은 충분히 가능성이 있고 신선한 아이디어라는 의견을 제시하였다.

그러나 구체적으로 빌딩양식을 실현시키기 위해서 어떻게 해야 할 것인가에 대한 질문에 대해서는 누구도 분명한 대답을 하지 못하였다. 즉, 좋은 아이디어인 것은 분명하나 각각의 전문 분야에서 무엇을 어떻게 응용할 것인가에 대해서는 더 많은 연구가 있어야 한다는 것이다.

노르웨이의 연어양식업이 세계적으로 가장 경쟁력 있는 산업으로 발전한 배경에는 많은 기술들이 접목되었기 때문에 가능했다. 전통적인 양식기술만으로는 해결할 수 없었던 육종기술, 백신개발, 자동시스템 개발, 양식설비의 개발 등은 양식 분야가 아닌 타 분야에서 도입된 기술들이 대부분

이었고, 이 또한 노르웨이만의 것이 아니었다. 스웨덴, 독일, 프랑스 등 주변국이 가지고 있는 유능한 기술들을 노르웨이 연어양식산업 발전에 도입하여 지금의 세계적인 노르웨이 연어양식산업이 발전한 것이다. 그 나라에서 빌딩양식에서 가장 중요한 기술이라 할 수 있는 SRS기술이 개발되었고, 이를 발전시켜나가고 있다.

본 연구는 이러한 노르웨이를 뛰어넘어 세계에서 가장 뛰어난 양식산업을 만들어내고자 하는 것이다. 우리나라는 많은 분야에서 뛰어난 기술과 노하우를 가지고 있다. 그러나 그러한 지식들이 양식산업에 적용된 사례는 매우 드물다. 빌딩양식 산업화의 성공은 일차적으로 우리나라가 가지고 있는 이러한 기술과 노하우를 어떻게 융복합하느냐에 달려 있고, 다음으로는 산업화를 위해 얼마나 많은 자본들이 투자되느냐에 달려 있다.

결론적으로 빌딩양식 산업화는 다양한 기술의 융복합화를 통하여 기술이 개발되면 충분히 가능하다는 것이다. 본 연구는 세계 최초로 빌딩양식을 제안한 기획연구로서 개념 설정, 도입 필요성 및 도입 가능성을 분석했다는 점에서 가치가 있다. 하지만 진정한 연구의 가치는 실질적으로 산업에 적용될 때 나타날 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 실질적인 빌딩양식 산업화를 위한 정책 제언을 통해 정부와 업계가 적극 나서기를 기대한다.

선진국의 사례를 고찰하고 따라가는 정책은 결코 선진국으로 나아가는 길이 아니다. 우리나라는 이미 양식에 관한 한 어느 정도 선진국의 대열에서 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 현재와 같은 소규모 영세한 양식시스템으로 과연 선진국의 위치를 점할 수 있을지에 대해서는 의문이다. 세계 최고의 경쟁력 있는 양식산업을 창출하기 위해서는 선진국 사례를 뛰어넘을 수 있는 아이디어 개발과 이를 실현해 낼 수 있는 결단력 있는 행동이 필요하다.

2. 정책 제언

1) 빌딩양식산업 국책 사업화 추진

빌딩양식은 본 연구에서 본 바와 같이 국가적으로 대단히 중요한 사업임이 입증되었다. 즉 수산식량의 안정적 확보, 국민들에게 안전하고 값싼 고품질 수산물 공급, 저탄소 녹색성장 실현, 수산업의 경쟁력 확보, 수산소득의 증대가 바로 그것이다.

그러나 아직까지 빌딩양식 산업화는 개념 수립 정도에 불과한 수준이다. 업계에만 의존하여 본 사업의 성공을 기대하기에는 거의 불가능한 상황이다. 특히 빌딩양식의 개념을 실현시키기 위해서는 많은 기술의 융복합화가 필요한데 이것이 말은 쉽지만 민간기업의 입장에서는 실현가능성이 매우 낮다. 따라서 빌딩양식 산업화를 국가의 주요 정책사업으로 선정하여 기술개발에서부터 산업화를 위한 지원·육성 및 제도 개선 등을 추진할 것을 제안한다.

따라서 동 사업은 세 가지 국책사업을 추진할 것을 제안한다. 첫째는 농림수산식품부의 수산식량 확보 및 양식산업 경쟁력 제고 국가정책으로 선정하여 추진하는 것이다.

둘째는 녹색성장위원회의 저탄소 녹색성장 신동력사업으로 동 사업을 선정하여 추진할 것을 제안한다.

마지막으로는 지식경제부 융복합산업화 중 수산생명 융복합산업화로 동 사업을 선정하여 추진할 것을 제안한다.

이상의 세 가지 국책사업화 제언은 동 사업을 다부처 협력사업으로 추진하여야 한다는 것을 동시에 제언하는 것이다. 동일 사업의 목적이 다부처에 산재해 있을 경우 단독부처 정책으로 추진하기는 어렵기 때문이다.

2) 빌딩양식 산업화 기본계획 수립 및 상세기획 연구 추진

본 연구는 빌딩양식 개념기획 연구임을 이미 밝힌 바 있다. 빌딩양식 산업화가 국가 정책사업으로 선정되고 구체적으로 추진되기 위해서는 기본계획 수립과 상세기획 연구가 필요하다.

즉 빌딩양식 산업화를 국가 정책사업으로 선정하기 위해서는 우선 본 개념기획 연구를 발전시켜 국가정책으로서의 기본계획 수립연구가 필요하다. 기본계획은 곧 국가정책으로 선정하는 것이고 이를 추진하기 위한 예산을 확보하는 근거가 된다.

따라서 2012년에 기본계획 수립 연구를 추진하여 2013년 국가예산사업에 반영하여야 할 것이다. 2012년에 기본계획이 수립되지 못하여 정부예산이 미확정될 경우 본 사업은 지연될 것이고, 자칫 선진국에서 우리나라보다 먼저 시작하게 될 가능성도 배제할 수 없기 때문에 조속한 시행이 요구된다.

기본계획에서는 빌딩양식에 대한 개념 재정립, 빌딩양식 산업화 기본 정책방향 설정, 시범사업 추진계획, 기술개발 등 R&D 계획, 빌딩양식 산업화 제도 개선, 정부 투자계획 등이 실시되어야 할 것이다.

다음으로는 본 개념기획 연구를 구체화하는 상세기획 연구가 2012년에 추진되어야 할 것이다. 상세기획 연구에서는 기본계획과는 달리 빌딩양식 산업화를 위한 세부적인 실행계획을 수립해야 한다. 일종의 기본계획의 실행계획이라 할 수 있다.

동 상세기획 연구에서는 아래 표와 같은 각 부문별 R&D 기술개발과 더불어 빌딩양식사업의 예비타당성 분석과 제도 개선 방안, 산업육성 방안, 빌딩양식 산업화를 위한 기업의 참여 형태 및 민·관의 역할체계 등 거버넌스 구축 연구 등이 수행되어야 한다.

상세기획 R&D	빌딩양식기술	• 순환여과시스템(RAS) • 저수유수식시스템(SRS) • 미생물 총기술(바이오플록)
	IT 자동화기술	• 자동급이 • 환경모니터링/관리 • 개체모니터링 • 운영 및 관리시스템
	빌딩양식시스템기술	• 빌딩양식장 설계 • 빌딩양식기술별 최적 시스템 구축
	설계 및 건축	• 친환경 녹색 빌딩양식 건설 • 태양광 등 전력 조달

3) (가칭)빌딩양식 산업화 추진단의 구성·운영

빌딩양식의 산업화를 위한 부처 간 협력 및 지원, 전문가 인력풀 작성, 산업화 로드맵 작성 및 추진, 시범사업 추진 등을 위하여 정부부처에 ‘(가칭)빌딩양식 산업화 추진단’을 구성하여 운영할 것을 제안한다.

추진단은 정부뿐만 아니라 업계와 연구소 및 대학이 참여하는 민·관·학·연 형태를 취하도록 한다. 추진단은 농림수산식품부가 주관이 되고 관련 부처인 녹색성장위원회, 지식경제부, 국토해양부, 환경부, 기획재정부 등 다양한 부처가 참여하도록 한다.

업계는 기존의 양식업체뿐만 아니라 빌딩양식업을 하고자 하는 기업이 참여하도록 하며, 연구소는 본 개념연구를 실시한 한국해양수산개발원을 비롯하여 빌딩양식 기술 개발에 적합한 자연과학 연구소가 참여하도록 하고, 대학 또한 빌딩양식 관련 기술개발 능력이 있는 대학이 참여하도록 한다.

추진단은 총괄반, 마스터플랜 수립반, 빌딩양식 R&D반, 빌딩양식 산업화반 등 4개 반으로 구성·운영하도록 한다.

4) 다부처 공동 협력사업으로 추진

빌딩양식은 양식을 기본으로 하지만 도심에서 복합산업 형태로 발전할 가능성이 높다. 또한 빌딩양식이 가능하기 위해서는 일반산업 분야의 많은 기술 융복합화가 필요하다.

따라서 동 사업은 양식업을 관장하는 농림수산식품부와 산업기술 부문 및 서비스업을 담당하는 지식경제부 그리고 녹색성장 정책을 담당하는 녹색성장위원회 3개 부처 공동 협력사업으로 추진할 것을 제안한다. 즉 빌딩양식에 필요한 기술 개발, 빌딩양식산업 정책사업화 추진, 저탄소 녹색기술 개발 및 지원, 빌딩양식사업자에 대한 지원 및 육성 등을 3개 부처에서 협력하여 추진하는 것이다.

각 부처별 역할을 간단히 기술하면, 우선 농림수산식품부는 양성관리, 양식시설, 수확관리, 질병 및 급이관리를 비롯한 양식 관련 기술 개발과 빌딩양식사업 인허가 및 사업자 지원·육성 등을 담당한다.

지식경제부는 빌딩양식에 필요한 자동화 및 정보화 기술 개발, 복합산업화 지원 등을 담당하고, 녹색성장위원회는 저탄소 녹색기술 개발, 태양열 에너지 양식빌딩 개발, 저탄소 녹색성장 사업자 지원 및 육성 등을 담당할 수 있을 것이다.

5) 빌딩양식 시범사업 추진

본 연구에서는 빌딩양식 산업화 추진로드맵을 아래 그림과 같이 제시하였다. 즉 본 연구인 기초연구를 바탕으로 시범사업, 상용화 및 산업화로 나누어 단계별로 추진할 것을 제안하였다.

본 추진 로드맵 중 시범사업 단계는 본 빌딩양식 산업화의 성패가 달린 매우 중요한 단계라 할 수 있다. 시범사업 단계에서는 전술한 상세기획

연구를 비롯하여 산업기반 조성사업뿐만 아니라 구체적인 상용화 단계 이전의 기술을 개발하는 단계이다.



시범사업을 추진하는 목적은 빌딩양식의 완성된 모델을 만들어 산업화 과정의 시행착오를 최소화함과 동시에 빌딩양식 산업화의 성공률을 높이는 데 있다. 이러한 빌딩양식 산업화 시범사업은 농림수산물식품부 주관하에 추진하되 전술한 추진단에서 담당하도록 한다.

6) 빌딩양식 산업화를 위한 제도 개선

앞서 제도 분석에서 본 바와 같이 빌딩양식은 양식장 건설의 조건, 빌딩양식의 인허가 등 제도적 장치가 대단히 미흡하다. 따라서 빌딩양식에 관한 인허가, 도심 상업지구 등에서의 빌딩양식 허가 등을 위한 관련 법의 개정 및 제정을 제안한다. 즉 국토이용 관련 법, 건축 관련 법, 수처리 관련 법을 개정할 수 있도록 추진단에서 구체적인 개정 법안을 만들어 제도 개선을 하도록 한다.

특히 현재 정부가 추진 중인 (가칭)양식산업법 제정 시 빌딩양식에 관한 조항을 신설하여 빌딩양식 산업화의 기본법을 제정할 것을 제안한다.

참 고 문 헌

<국내 문헌>

- 강희찬, “기후변화에 대응한 농업의 진화 : 식물농장”, 「SERI 경제 포커스」, 제225호, 삼성경제연구소, 2009. 8. 11.
- 경상북도 경북어업기술센터, 「무항생제 어류양식 시범양식장 자료」, 2010. 8.
- 국립수산과학원, 「넙치양식표준지침서」, 2006.
- _____, 「해수 순환여과시스템 실용화 연구」, 2008.
- 김병기, “한국의 순환여과양식시스템 이용 현황과 발전방안”, 2012 여수세계박람회 국제심포지엄 발표자료, 2011. 5.
- 김정호, “식물공장의 동향과 전망”, 「농정연구속보」, 제61권, 한국농촌경제연구원, 2009. 10. 20.
- 농촌진흥청, 「양계」.
- 류정곤, “공장형 양식을 통한 양식혁명”, 농수축산신문 2004. 11. 8. 컬럼.
- _____, “미래 양식산업은 최첨단 Shallow Raceway System(저수유수식시스템)으로 개척한다”, KMI 수산정책연구본부 News Letter, 제8호 시론, 2008. 10. 30.
- _____, “빌딩양식, 미래 양식산업의 다크호스로 떠오르다”, 「KMI 수산동향」, 2011. 5.
- 박영인, “양계경영안정화 방안에 관한 연구(양계산업 안정을 위한 경제통합적 접근)”, 「한국축산경영학회지」, 한국축산경영학회, 창간호.
- 서근학·김병진·전임기, “순환여과식 양식시스템의 설계 및 개발”, 「한국수산과학회지」, Vol. 34, No. 1, 한국수산과학회, 2001. 1.
- 오봉국 외, “채란양계농가의 경영분석과 생산성 제고 방안”, 「한국가금학회지」, Vol. 9, No. 2, 한국가금학회, 1982.

- 유철호, 「양계 계열화사업의 현황과 발전방향에 관한 연구」, 한국농촌경제연구원, 1989. 12.
- 이병현 외, 「담수양어시설의 설계 및 종합관리 시스템의 개발」, 농림부, 1997. 11. 20.
- 장인권, “친환경 고생산성 유기새우양식기술”, 국립수산물과학원 서해수산업연구소 해역산업과 새우양식 세미나 및 수확체험행사 자료.
- 제주발전연구원, 「제주지역 넙치양식업의 경영실태 및 경제성 분석」, 2010.
- 진석용, “농업과 제조업의 만남, 식물공장”, 「LG Business Insight」, 제22호, 2010. 9. 15.
- 최연호·이상진·신영수, “양계농가 전산화 실태에 관한 조사 연구”, 「한국가금학회지」, Vol. 23, No. 4, 한국가금학회, 1996.
- 최희철 외, “양계농가의 사육규모별, 지역별 계사 시설현황 분석”, 「축산시설환경학회지」, Vol. 15, No. 3, 한국축산시설환경학회, 2009. 12.
- 통계청, 「어류양식 동향조사」, 각 년도.
- 한국은행, “최근 우리나라의 산업별 온실가스 배출구조 분석 및 시사점”, 2008.
- 허목·한지용·강진영, “해산어 양식용 순환여과시스템(Biozone System) 개발을 위한 기초적 실험연구”, 한국물환경학회 공동추계발표회, 2002.
- 황보종 외, “무창 계사의 환기시스템이 케이지 사육 육계의 초기 생산성에 미치는 영향”, 「한국가금학회지」, Vol. 33, No. 1, 한국가금학회, 2006. 3.
- 건축법, 건축법시행령
- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률
- 수산업법, 수산업법시행령
- 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 및 동법 시행규칙
- 어업의 허가 및 신고 등에 관한 규칙

<국외 문헌>

- Bjørndal T. and Øiestad V., *The Development of a New Farmed Species - Production Technology and Markets for Turbot*, Institute for Research in Economics and Business Administration Bergen, 2010. 12.
- Dickson Despommier, “The Vertical Farming Business in 2011”, Concise Conferences February 28th 2011, 2011.
- _____, *Large-Scale Bio-Mimicry: the City as Ecosystem*, The Nelson Institute for Environmental Studies, 2011. 4.
- EU, CRAFT Project, *A Hyper-Intensive Fish Farming Concept for Lasting Competitiveness and Superior Production*(COOP-CT-2005-016869).
- EU, *Prospective Analysis of the Aquaculture Sector in the EU*.
- FAO, *The State of world Fisheries and Aquaculture 2010*, 2010.
- Hans K. Strand and Øiestad V., “Growth and the Effect of Grading, of Turbot in a Shallow Raceway System”, *Aquaculture International* 5, 1997.
- J. Garcia and Garcia Garcia, *An Econometric Viability Model for Ongoing Sole in Tanks Using Pumped Well Sea Water*.
- Klokseth V. H & Øiestad V., “Forced settlement of metamorphosing halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) in shallow raceways : growth pattern, survival, and behaviour”, *Aquaculture Research* 176, 1999.
- _____, “Forced settlement of metamorphosing turbot (*Scophthalmus maximus* L.) in shallow raceways : growth pattern, survival, and behaviour”, *In : Bridging the Gap, The Annual International Conference and Exhibition of the World Aquaculture Society*, 26 April - 2 May 1999, Sydney, Australia.
- Rodrigo A. Labatut, “Culture of Turbot (*Scophthalmus Maximus*) Juveniles Using Shallow Raceways Tanks and Recirculation”, *Aquacultural Engineering* 32, 2004.

- Strand H. K., Hansen T. K., Pederson A., Falk-Peterson I. B and Øiestad V.,
“First feeding of common wolfish, *Anarhichas lupus*, on formulated dry
feed diets in low water-level raceway system”, *Aquaculture International* 3,
1995.
- Øiestad V. and Aune A, *Farming Halibut in Raceways*, Final Report for the
Norwegian Research Council(NFR)-Project 109125/120(1996) 27s, 1997.
- Øiestad V. and Klokseth V. H., *Lumpsucker Made Ready for Farming*, Final
Report for the Norwegian Research Council(NFR)-Project 115897/122
(1997) 20s, 1998.
- Øiestad V. and Bjørndal T., “Industrial Parks for Aquaculture”, International
Symposium on Integrated Coastal Zone Management, 2007.
- Øiestad V., “Economy of a 400 tons sole plant by use of SRS and RAS”, Sole
workshop, Portugal, 2010.
- _____, *Growth Studies on Marine Organism in Raceways*, Final Report for
the Norwegian Research Council(NFR)-Project 104837/110(1992-94) 17s,
1995.
- _____, *Industrial Parks for Aquaculture-now Launched in Spain*, 2011.
- _____, “More Farm Yield with Shallow Raceways”, *Fish Farmer Magazine*
Sept/Oct, 1996. 24.
- _____, *Rearing Concept for Spotted Wolfish*, Final Report for the Norwegian
Research Council(NFR)-Project 104837/110(1993-95) 11s, 1996.
- _____, “Shallow Raceway as a Compact, Resource-Maximizing Farming
Procedure for Marine Fish Species”, *Aquaculture Research* 30, 1999.
- _____, Shallow raceway as a solution to compact resource—maximizing
farming procedure of marine fish species. Framing Marine Fish beyond the
Year 2000: Technological Solutions for Biological Challenges, International
Council for the Exploration of the Sea, Trømsø, Norway, 1998.

<온라인 자료>

수직농장(<http://www.verticalfarm.com/>)

통계청 홈페이지(<http://kosis.kr>)

통계청 어업생산통계시스템(<http://fs.fips.go.kr>)

탄해수산자원연구소(<http://www.tharri.com/>)

법제처 홈페이지(<http://www.moleg.go.kr/main.html>)p6

환경부 홈페이지(<http://www.mw.go.kr>)

SBS 8시뉴스, “고층빌딩서 키운 생선?...최첨단 빌딩 양식장”,

http://news.sbs.co.kr/section_news/news_read.jsp?news_id=N1001047025

<http://www.concise-conferences.com/vertical-farming/>

<http://www.verticalfarm.com>

부 록. 빌딩양식 관련 기고문

1. “공장형 양식을 통한 양식혁명”

류정곤 / KMI 자원관리팀장

양식은 식량인 수산물을 안정적이고 대량으로 생산할 수 있다는 장점 때문에 성립한다. 수렵상태에서도 안정적이고 충분한 식량을 확보할 수 있다면 비용이 많이 드는 양식은 할 필요가 없다. 그러나 인구가 증가하고 식량소비가 늘어나면서 자연상태에서 식량을 확보하는 데 한계가 있기 때문에 양식이 성립하는 것이다. 하지만 양식을 업으로 하는 양식업자의 입장에서 보면, 다른 업종에 투자하는 것보다 양식을 하는 것이 경제적인 때 즉, 많은 이윤을 얻을 수 있을 때 양식은 성립하게 된다.

요즘 우리나라 양식업계를 보면 밀려드는 값싼 수입수산물과 국내공급의 증가로 공급초과 현상이 발생하여 가격이 하락, 원가도 보전하기 어려운 형편에 있다. 경쟁력이 낮다는 얘기다. 이러한 경쟁력 저하의 가장 큰 원인은 원시적 생산으로 인한 고비용 생산구조, 바다양식으로 인한 자연재해, 고품질 대량생산의 한계 등을 들 수 있다. 세계적으로 가장 저렴한 원가로 양식을 하고 있는 노르웨이의 연어양식업을 보면 규모의 경제와 자동화가 경쟁력 우위의 핵심이라고 할 수 있다.

그러나 이러한 노르웨이의 연어양식도 산업발달과정으로 볼 때 완전기계화 및 자동화가 이루어졌다고는 할 수 없다. 일반제조업의 산업발달단계와 비교 해보면 근대수준을 조금 벗어난 수준에 머물러있다고 해도 과언이 아니다.

따라서 양식업을 최첨단산업으로 발전시키기 위하여 제조업의 발달단

계를 적용한다면 완전자동화와 더불어 정보화(IT)라고 할 수 있을 것이다. 즉, 이름하여 공장형 양식생산 방식을 제안하고자 한다. 양식장소는 자연재해 및 바다오염을 줄이기 위하여 바다가 아닌 육상의 공장에서 이루어지고, 현행 육상수조식과 같이 조방적인 방식이 아닌 선반형과 같은 집약적 방식으로 전환하는 것이다. 사료의 급이, 사육수 양 및 수질의 관리, 양식어의 선별 및 이송 등을 완전자동화하고, 양식공장의 온도 및 습도 등도 완전히 기계화하는 것이다. 또한 질병발생시 다른 양식어로의 확산을 방지하고 품질을 높이기 위하여 가능한 소수 단위로 분리입식하고, 출하도 원하는 크기별로 자동시스템을 통하여 양식선반에서 추출하도록 하는 것이다.

나아가서 비용최소화, 위기 대처능력 제고 및 고품질 고가격을 실현하기 위하여 투입요소 및 출하량의 관리, 양식생물의 정보, 양식공장의 정보 등을 완전 정보화하여 온라인 생산체제를 갖출 필요가 있다. 이러한 공장형양식이 이뤄지면, 대단위 조방적 양식으로 인한 바다의 경합적 이용에 따른 분쟁 및 오염방지를 기대할 수 있고, 저렴한 비용으로 대량생산을 할 수 있을 것이다. 또한 출하시기 조절 및 소비자 기호에 맞는 상품 크기별 판매를 통하여 최고의 가격을 받을 수 있어 지금까지의 양식과는 다른 최고의 경쟁력을 실현할 수 있을 것이다.

이러한 공장형양식이 이뤄지기 위해서는 양식공장을 건설하는 기술개발이 필요하고, 공장에서 양식하기 위한 양식단계별 기술개발이 이뤄져야 할 것이다. 이러한 기술혁명의 사례를 우리는 양계산업에서 찾을 수 있을 것이다. 양계산업의 발달과정을 보면 가축사육단계와 방사사육단계라는 전 근대적 생산방식에서 현재는 완전자동화시스템에 의하여 관리되는 양계장에서 자동화생산체제로 발전하게 되었다. 이러한 기술혁명이 가능했던 것은 최저의 비용으로 최고의 이윤을 얻고자 하는 경제적 동기에서 비롯되었다고 할 수 있다. 종래의 방식을 일부 개선한다거나, 현재 가장 경쟁력이 있다는 선진국을 모방하는 단계를 뛰어 넘을 때 진정한 양식업의 경쟁력은

이룩될 수 있을 것이다.

더욱이 우리나라의 요소기술, 투입요소의 잠재력을 볼 때 충분히 가능하리라고 본다. 문제는 종전의 양식업의 체제를 완전 탈바꿈하고자 하는 전향적인 사고의 전환이 얼마나 빨리 이루어지는가이다. 즉, 양식을 한다는 것은 상품을 생산하는 것이고, 상품생산은 최고의 이윤을 얻을 수 있는 생산방식에서 찾아야 한다는 사고의 전환이 요구되는 것이다.

(농수축산신문 시론, 2004. 11. 8.)

2. “미래 양식산업은 최첨단 Shallow Raceway System (저수유수식시스템)으로 개척한다”

류정곤 / KMI연구위원

유럽의 미래학자 Dr. Patrick Dixon은 양식산업은 미래의 성장산업이 될 것이라고 2002년 AquaVision 컨포런스에서 전망하였다. 물론 패트릭뿐만 아니라 인류의 식량문제를 걱정하는 많은 국제기관들과 전문가들도 양식수산물의 수요증가와 양식산업의 발전가능성을 대단히 긍정적으로 평가한 바 있다. 다만 패트릭은 그들과 달리 미래 양식산업을 FUTURE(Fast, Urban, Tribal, Universal, Radical, Ethical)란 한 단어로 함축하여 다양한 측면에서 미래 양식산업을 전망하면서, 미래사회의 변화에 어떻게 대응하면서 양식산업을 발전시켜나 가야 하는가를 시사한 바 있다.

그는 우선 미래사회는 Fast(고속화) 즉, 정치·경제·사회·문화·기술·유행 등이 매우 빠르게 변할 것이라 하였다. 빠르게 변화하는 대외 환경에 신속

히 대응해야 한다는 메시지이다.

둘째는 Urban(도시화), 즉 산업과 인구가 집중된 도시, 부유노령 소비자가 많아지는 도시, 여성의 주권이 강화되는 도시화가 진전된다고 한다. 미래의 수산물 소비층이 누구인가를 잘 나타내주는 대목이다.

셋째는 세계가 글로벌화 되고 빠르게 발전하는 반면 음식문화의 관습이라든가 소종족들의 단결, 종족간의 분쟁과 긴장 고조 등 Tribal(종족화)는 도리어 심화될 것이라고 한다. 가장 많은 종족이 모여 사는 미국으로 세계의 모든 식품이 수출되고 있는 현상은 대표적인 종족화 사례일 것이다.

넷째는 종족화와 반대되는 Universal(만국화)인데 이는 주로 경제적인 관점에서 특히 두드러진다. 즉 글로벌기업화, 기업의 합병 확산, 국제 경쟁력이 미래의 경제사회를 대변하게 된다는 것이다. 우리는 이 점에 대하여 특히 관심을 가져야 할 것이다. 양식업은 국제 경쟁력이 없으면 생존할 수 없고, 국내기업으로 한정해서도 안 된다는 것이다.

다섯째는 Radical(급진화), 즉 미래사회는 환경단체라든가 소비자단체의 파워가 더욱 강해질 것이고, 감정(Emotion)은 논리를 그리고 느낌(Feeling)은 과학을 대체하는 사회가 된다는 것이다.

마지막으로는 과학의 발달에 따라 자연을 파괴하고 자연의 섭리에 위배하는 것에 반대하는 자연적인 것을 추구하는 사회, 즉 Ethical(윤리화)이 심화되는 사회로 발전할 것이라 한다.

우리나라 양식산업은 끊임없이 생성되고 발전하다 퇴보하는 과정을 거쳐 왔다. 그 과정에서 양식기술(종묘, 양성, 질병, 사료 등)의 개발은 큰 영향을 끼쳤음을 부인할 수 없다. 하지만 자동화 내지 첨단 시설·설비·장비 개발, 경영기법 개발 등 이윤을 극대화하기 위한 노력은 아주 없다 하여도 과언이 아니다.

대량양식이 성공하면 가격은 하락하는 것이 경제 원리임에도 불구하고, 과거의 소규모 시설에 주먹구구식 경영기법으로 2~30년을 버틸 수 있

있다면 그것이 바로 기적이다. 앞서 Patrick Dixon박사가 전망한 미래의 양식산업은 먼 나라 아주 먼 미래의 이야기가 아니다. 바로 지금 이 순간 우리가 서 있는 이곳에도 그대로 적용되고 있다.

세계의 양식업계는 바다고기를 해상이 아닌 육상에서 양식하는 것에 많은 관심을 가지고 연구와 투자를 시작하고 있다. 자연재해, 인위적 통제, 비용, 유통판매 등에서 육상양식이 해상양식보다 유리하기 때문이다. 우리나라 넓치 육상수조식 양식기법은 해산어류를 육상양식으로 발전시킨 아주 우수한 양식기법으로 평가받고 있다. 하지만 세계는 지금 우리 수준을 뛰어넘는 새로운 기법을 개발 시험 중에 있다. 이름하여 Shallow Raceway System(저수유수식시스템)이다. 아래 그림과 같이 육상 건물의 선반식 직사각형 수조에 물고기를 넣어 바닷물을 흘리는 방식으로 양식하는 기법이다.

아직은 실험단계에 있으나 벌써 노르웨이의 학자이자 사업가가 스페인에 7단을 설치하여 송어를 양식 중에 있다. 우리나라에서도 경북 울진에서 민병서 박사님이 2단을 설치하여 넓치를 3년째 양식 중에 있다. 실험실 수준의 양식은 성공한 셈이다. 이제는 완전한 저비용 고품질 대량생산을 위한 최첨단 시스템으로 개발하여 산업화로 발전시켜야 할 시점에 와 있다. 정부와 학계 그리고 업계가 기지를 모은다면 우리가 세계 최고가 될 것을 의심하지 않는다.

(KMI 수산정책연구본부 News Letter 제8호 시론, 2008. 10. 30.)

3. 발당양식, 미래 양식산업의 다크호스로 떠오르다

류정곤 / KMI 수산정책연구실장

세계는 지금 식량위기 시대

양식산업의 중요성이 최근 부쩍 부각되고 있는 것은 단순히 수산분야에 종사하는 이들의 희망이나 부풀리기가 아니다. 미래학자나 경제학자 등 일반분야 전문가들을 통해 양식의 중요성이 더욱 강조되고 있는 것이다. 유럽의 미래학자 Patrick Dixon은 2002년 AquaVision Magazine에서 양식을 미래 유망산업으로 전망한 바 있고, William E. Halal은 2018년에는 양식산업 주력산업으로 두각을 나타낼 것이라고 2006년에 전망했다.

이들의 미래 양식산업에 대한 밝은 전망은 지구상의 식량위기와 양식만이 가지고 있는 잠재적 발전동력에 근거를 두고 있다고 할 수 있다. 즉 세계의 식량수급은 잉여에서 부족과 불균형 상태로 전환되면서 글로벌 식량위기가 가속화되기 때문이다. 더욱이 최근 튀니지의 재스민 향기로 불리는 중동사태의 근본적인 원인이 식량부족으로 인하여 민심이 돌아선 데 기인한다는 분석결과를 식량문제가 얼마나 심각한가를 잘 보여주고 있다.

지구상 식량에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 농산물의 경우 기후 변화로 인한 생산의 불안정성과 원천적인 생산부지의 제약으로 인하여 공급이 제한되고, 바이오에너지 생산을 위한 곡물 수요 및 국제 곡물메이저들에 의한 가격개입 등으로 인하여 글로벌 농산물 식량위기는 가속화되고 있다.

이러한 현상은 농산물과 더불어 세계 2대 식량이라 할 수 있는 수산물의 경우도 비슷한 양상을 보이고 있다. 즉 세계 수산물 생산을 보면 공급의 절대적인 비중을 차지했던 자연산 생산이 1990년대 이후 정체 내지는 감소하여 2008년 현재 약 1억 5천만 톤 중 9천만 톤에 불과한 실정이

다. 다행히 1980년대부터 증가하기 시작한 양식산이 약 7천 9백만 톤 정도 생산되면서 현재의 수산물 공급을 주도하고 있다. 우리나라의 경우를 보면 더욱 이러한 현상이 심화되고 있는데, 1980년대 중반을 정점으로 연근해산의 생산은 감소를 계속하여 2006년에는 양식산이 연근해산을 초과하기에 이르렀다.

반면 세계 수산물 소비는 매년 증가하여 1996년 6천 6백만 톤에서 2009년에는 1억 1천 8백만 톤으로 증가하였고, 1인당 수산물 소비량도 동기간에 13.3kg에서 17.2kg으로 증가하고 있다. 수산물 소비국들도 과거의 아시아권 중심에서 유럽, 북미 및 남미와 아프리카 국가들로 확산되고 있어 수산물 소비는 더욱 확대될 것으로 전망된다. 이는 수산물 교역을 통해서도 알 수 있다. 1980년 세계 생산량 대비 29.3%이었던 수출량은 2008년에는 38.9%로 증가하면서 수산물 교역액 또한 314억 달러에서 2천억 달러 이상으로 증가하여 각국으로 수산물이 수출되어 소비되고 있음을 알 수 있다.

우리나라 수산물 소비 상황은 더욱 심각한 데 같은 기간 1인당 소비량이 27kg에서 54.9kg으로 급증하면서 2008년 수산물 자급률은 78%에 그치고 있다.

생명산업 도래로 인한 수산물 수급불균형 가속화

이상의 식량으로서의 수산물에 대한 수급불균형 문제는 생명산업의 도래와 더불어 더욱 심각해질 것이라는 전망이 우세하다. 수산생명산업의 핵심은 수산생물을 식량 또는 식품뿐만 아니라 기타 산업생산의 원료로 활용하여 새로운 산업을 창출하는 것이다. 즉 의약품, 화장품, 관상어, 신물질 제품 등을 생산하기 위하여 수산생물을 활용하는 시대가 도래 한다는 것이다.

그렇게 되면 수산물의 수급불균형은 더욱 심화될 것이란 전망은 그리 어렵지 않게 예상할 수 있다. 즉 현재의 수산물 수요 패턴에 따른 전망만으

로도 2015년에는 세계적으로 약 1천만 톤 이상의 수산물 부족이 올 것이라고 FAO는 전망한 바 있는데 생명산업 발전에 따라 수산물 수요가 증가하면 불균형은 더욱 심각해질 것이다.

하지만 지금 세계는 지구온난화, 자연재해, 어업자원 감소 및 어업자원 관리 강화 등으로 인하여 자연산 수산물 공급이 한계에 이르면서 새로운 공급원을 찾지 않으면 안 될 상황에 처해 있다.

따라서 후진국 선진국 가릴 것 없이 양식산업 육성에 많은 노력을 하고 있는 중이다. 특히 주요 수산선진국들의 양식산업 전략이 두드러지는데 주요 전략을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 수산물을 저지방 고단백 안전 식품으로서 식량안보산업화 하는 추세에 있다는 것이다. 둘째는 양식산업을 기후변화 대응 및 새로운 국가 발전동력 산업인 저탄소 녹색성장 산업으로 발전시키고자 하고 있다. 셋째는 미래 생명산업화 시대의 다양한 수요에 부응하는 생태 및 수산원료 공급원을 양식에서 찾고 있다는 것이다. 넷째는 친환경 책임양식, 식품안전 및 국제표준화를 통한 지속가능한 글로벌 양식산업으로 육성하고 있으며 마지막으로 경쟁력있는 산업으로 양식산업을 발전시키기 위하여 육종기술·신양식기술의 개발 및 기술의 융복합화를 추진하고 있다.

이처럼 세계 각국은 식량 확보와 새로운 발전동력산업 육성을 위하여 양식에 많은 투자를 하고 있고, 양식산업화의 무한경쟁시대가 도래하고 있는 것이다.

미래 양식의 전망과 도전

양식은 과연 확실한 미래 식량 및 산업발전을 위한 대안인가? 이에 대한 답은 현재 양식의 제약과 도전의 가능성에서 찾을 수 있을 것이다. 해상 및 육상에서 이뤄지고 있는 기존의 양식은 많은 제약요소를 가지고 있다. 즉 식량으로 식량을 생산하는 문제, 수질 및 생태계 오염, 식품 안정성, 완

전양식 기술의 한계, 자연재해 피해, 양식적지의 부족, 대량생산과 가격하락 및 경쟁력 저하로 인한 도산 등이다.

이러한 제약요인을 극복하기 위한 기술개발 과제로는 대체사료 및 저사료 급이기술 개발, 친환경 양식기술 및 양식 질병 치료기술 개발, 다양한 종의 생산 및 양식기술 개발, 자연재해를 극복할 수 있는 안정적인 양식시설 및 저비용 양식생산 기술, 그리고 빌딩양식과 같은 첨단양식기술 개발 등이 있을 수 있다. 나아가서 경영적인 제약을 극복하기 위해서는 경영의 규모화, 기업화 및 글로벌화 등이 추진되어야 할 것이다.

미래 양식산업에 대한 트렌드는 Patrick Dixon이 FUTURE란 단어로 잘 정리한 바 있다. 즉 유행·역사·사경제·사회·산업 및 정치의 고속화(Fast), 도시화(Urban)로 인한 대도시화, 부유노영 소비자 증가 및 여성사회화, 관습적 음식문화 및 종족분쟁 확산 등 종족화(Tribal), 글로벌기업화 및 국제적인 경쟁가속화 등과 같은 만국화(Universal), 급진적인 환경단체 및 소비자 단체의 확대 및 감성과 느낌을 중시하는 소비자 증가 등 급진화(Tadical) 및 동물복지(Animal Welfare)를 강조하는 윤리화(Ethical)가 미래의 트렌드라는 것이다.

양식의 제약요인을 극복하면서 미래 트렌드에 부응하는 양식산업의 발전만이 진정한 생명산업의 다크호스로서의 산업발전이라 할 수 있을 것이다.

빌딩양식(Vertical Aquaculture) 새로운 대안으로 떠오른다

최근 첨단 양식으로서 빌딩양식이 떠오르고 있다. 불과 7년 전만 해도 공장양식 또는 빌딩양식은 몽상가의 아이디어 정도로 취급되었다. 그러나 지난 5월 12일 2012 여수세계박람회 국제심포지엄에서 필자가 발표한 빌딩양식에 대한 참석자들의 관심을 상상을 초월할 정도로 뜨거웠다.

빌딩양식이란 용어는 빌딩농업(Vertical Farming)에서 따온 것이다. 유럽에서는 육상에 기반을 둔 양식이라고 불리기도 하고 저수 우수식 양식시스

템(Shallow Raceway System : SRS)이라고 하기도 한다. 아직까지 빌딩양식은 세계적으로 초보적인 수준에 있다. 따라서 개념 또한 명확하게 정리되어 있지 않은 상태다. 다만 지금까지 적용한 기술과 미래에 적용할 기술을 감안하여 개념을 정리하면 빌딩양식은 기존의 양식기술 외에 순환여과 양식(Recirculating Aquaculture Systems : RAS)기술 및 저수유수식 양식기술과 IT(정보통신기술), BT(생명공학기술), NT(나노기술) 및 MT(의학기술) 등을 융합한 첨단 양식기법으로 도심지 등 육상의 빌딩에서 자동화 방식으로 양식하는 것이라 정의할 수 있다.

빌딩양식을 고안하게 된 동기는 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 우선 기존의 해상양식과 육상양식의 문제점을 극복하면서 대량생산 고부가가치 산업화를 추구하고자 하는 것이다. 즉 기존의 해상양식은 자연재해의 위험, 양식적지의 제한, 해양오염 및 해양공간 이용의 경합 등으로 인하여 더 이상의 발전에 한계가 있다. 따라서 해상에서 육상으로 양식장을 가져오면서도 저비용 고효율 양식으로 발전시키고자 하는 것이다.

한편 우리나라 육상넙치양식업은 해상의 한계를 극복한 세계적으로 뛰어난 방식으로 발전하였다. 그러나 대량의 해수이용을 위하여 임해지역에 위치함으로써 해양환경 오염 발생, 집약적인 토지 이용 곤란, 소비지와 원거리로 인한 유통비용 증가, 해수취수 비용 과다 등의 문제점이 있다.

둘째는 저탄소 녹색성장 및 생명산업의 동력산업으로서 발전시키고자 하는 것이다. 전술한 바와 같이 생명산업시대에는 많은 수산물 수요가 발생할 것으로 전망되고 있으나 공급의 한계가 있음을 지적하였다. 따라서 빌딩양식과 같은 집약적 양식방법을 통하여 양식수산물 생산을 무한정 증대시킨다는 것이다. 또한 지구적인 이슈인 지구온난화에 대응하는 새로운 양식의 개발 필요성이다. 지구온난화가 심화되면서 탄소배출을 최소화할 수 있는 저탄소 녹색성장 산업이 우리나라뿐만 아니라 세계 각국의 국가정책 어젠다로 부상하고 있다. 그러나 기존의 해양양식과 육상양식은 해양환

경 오염발생, 고비용 및 높은 탄소배출 구조로서 저탄소 녹색성장 시대에 부합하지 못하고 있다. 따라서 기존의 양식산업을 저오염·저비용·저탄소 배출 양식산업으로 전환하기 위하여 빌딩양식이 고안된 것이다.

현재 세계적으로 빌딩양식의 형태를 취하고 있는 양식장은 국내 1개(2단), 해외 7개(4단에서 6단)가 존재한다. 해외사례로는 노르웨이(2개), 스페인(1개), 포르투갈(1개) 및 네덜란드(3개)가 있고 국내에서는 울진에 1개의 빌딩양식장이 있다. 국내외 사례로 열거한 빌딩양식은 기존의 1단 수조식 양식장을 2단에서 6단까지 선반식으로 올려진 구조로서 앞에서 정의한 빌딩양식과는 다소 차이가 있다.

빌딩양식의 특징을 보면 첫째, 자연재해 및 바다오염 감소를 위하여 육상의 빌딩에서 집약적으로 양식하며, SRS 방식으로 양식수를 최소로 사용하여 전력비 절감 및 바다오염을 줄일 수 있다. 둘째는 사료급여, 사육수양 및 수질 관리, 양식어의 선별 및 이송 등을 완전자동화하고, 빌딩양식의 온도 및 습도 등도 완전히 기계화하여 비용을 최소화 할 수 있다. 셋째는 질병발생시 다른 양식어로의 확산을 방지하고 품질을 높이기 위하여 가능한 소수 단위로 분리입식하고, 출하도 원하는 크기별로 자동으로 선별 수확하여 안전하고 고선도의 수산물을 소비자에게 공급할 수 있다. 넷째는 비용최소화, 위기 대처능력 제고 및 고품질 고가격을 실현하기 위하여 투입요소 및 출하량의 관리, 양식생물의 정보, 빌딩양식의 정보 등을 완전 정보화하는 온라인 생산체제를 갖출 수 있다는 것이다.

이러한 빌딩양식의 특징 또는 장점으로 인하여 미래를 선도하는 양식산업 발전의 다크호스로 빌딩양식이 떠오르고 있다. 하지만 아직은 초보적인 수준임을 인정하지 않을 수 없다. 필자가 지난달 포르투갈의 포르투갈에 위치한 양식장을 방문한 결과 1단을 몇 개의 단으로 올리는 방식의 빌딩양식은 성공가능성이 충분하다고 판단하였다. 그러나 1단을 몇 단으로 올린다고 빌딩양식이라고 하기에는 아직도 부족한 부분이 적지 않았다. 자

동화 생산시스템, 복합적인 이용시설, 미래 소비자들의 트렌드를 감안한 양식물 생산 및 배송체제 및 양식물의 복지까지 고려한 환경 조성 등 기존의 기술만으로는 해결할 수 없는 다양한 기술들이 융복합 되어야 진정한 빌딩양식이 성공할 수 있으리라고 본다.

마지막으로 아무리 좋은 기술도 경제성이 없으면 현실화되지 않는다는 점을 지적하면서 정부와 대기업들의 빌딩양식에 대한 관심을 기대해 본다.

(『KMI수산동향』 5월호 칼럼, 2011. 5.)

녹색 신성장동력 산업화를 위한
빌딩양식산업 도입 기초연구

2011年 12月 29日 印刷

2011年 12月 31日 發行

編輯兼 發行人	金	學	韶
發行處	韓國海洋水產開發院		
	서울특별시 마포구 매봉산로 45		
전 화	02-2105-2700	FAX:	02-2105-2800
등 록	1984년 8월 6일	제	313-1984-1호

組版・印刷/ 비전테크 1588-0233

정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터 Tel : 02-394-0337