

발간등록번호

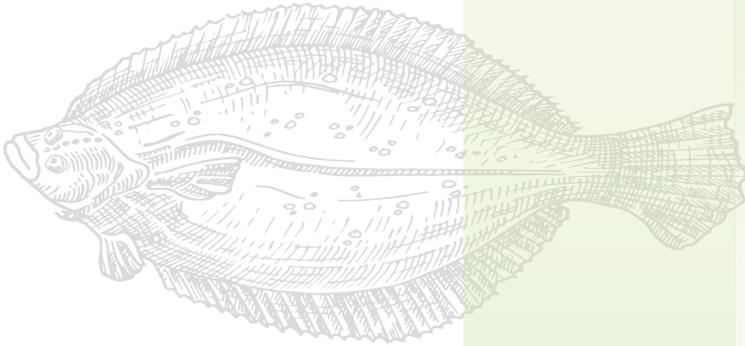
11-1192266-000429-01

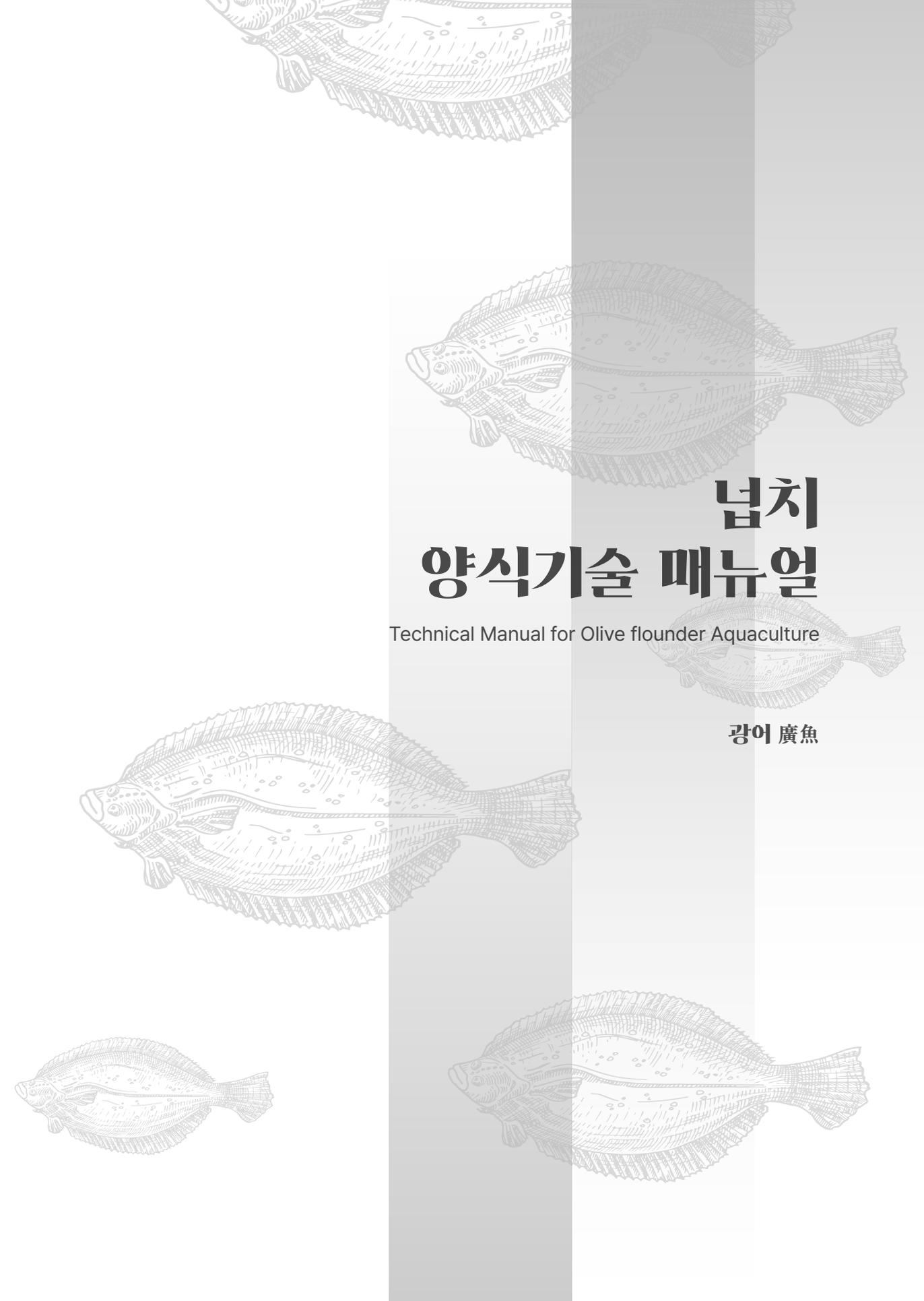
일 잘하는 정부
더 편안한 국민

넙치 양식기술 매뉴얼

Technical Manual for Olive flounder Aquaculture

광어 廣魚





넘치 양식기술 매뉴얼

Technical Manual for Olive flounder Aquaculture

광어 廣魚

초판 1쇄 발행 2024년 11월 30일
Copyright(c) 2024 국립수산과학원

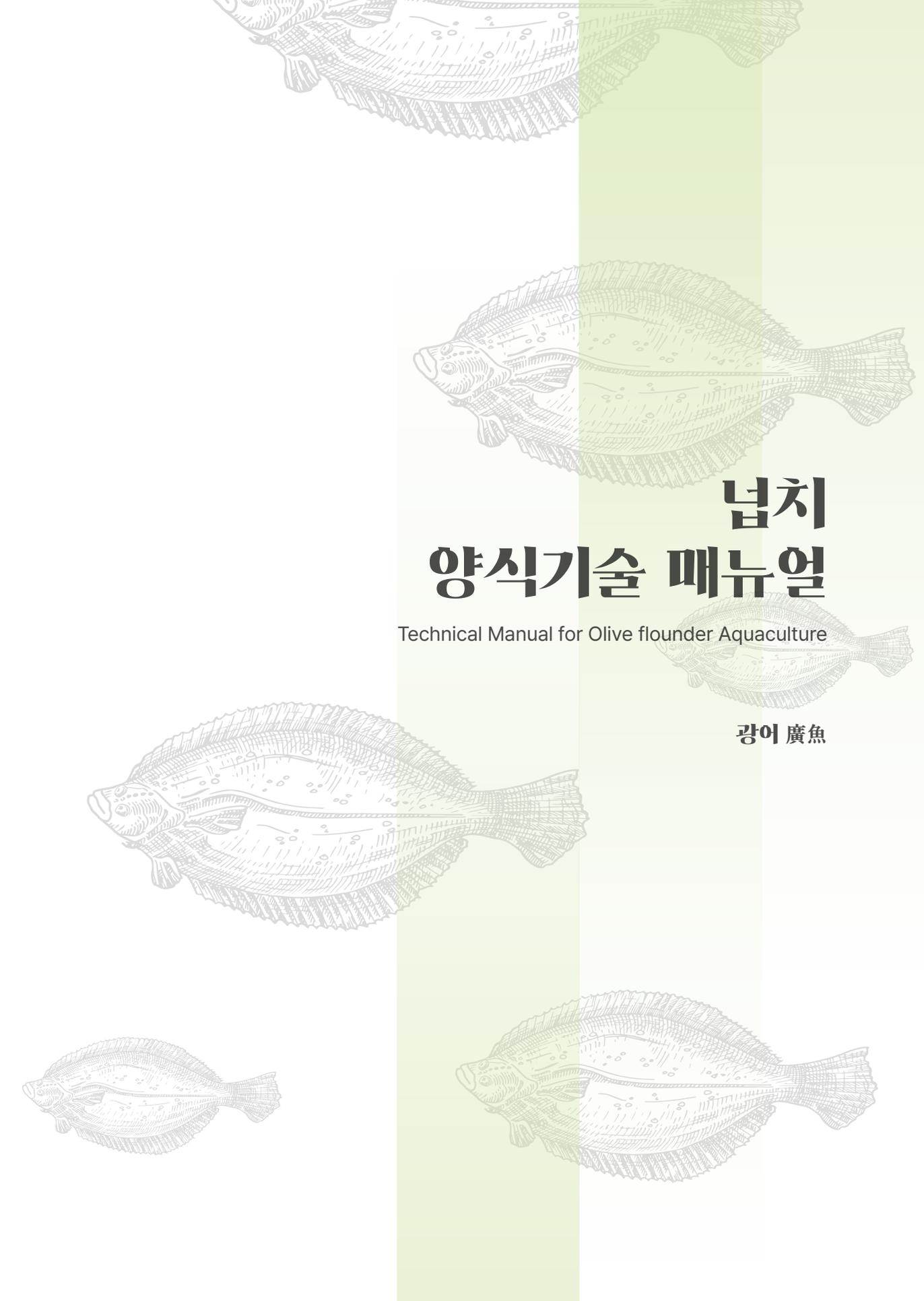
발행처 | 해양수산부 국립수산과학원
총괄기획 | 국립수산과학원 양식산업연구부 양식연구과

용역수행기관 | 아쿠아프로(주)

주소 | 부산시 기장군 기장읍 기장해안로 216
홈페이지 | www.nifs.go.kr
전화번호 | 051-720-2114

발간등록번호 | 11-1192266-000429-01

저자 및 감수 | 임현정, 남보혜, 원경미, 최진, 도용현, 김수경, 김형수, 김혜성, 신민규, 김우진(국립수산과학원),
이영돈(제주대학교, 교수), 박미선(한국미래기술연구조합, 이사장),
이봉주(국립공주대학교, 교수)



넘치 양식기술 매뉴얼

Technical Manual for Olive flounder Aquaculture

광어 廣魚

CONTENTS

01. 일반개요

가. 분류 및 분포	16
(1) 분류	16
(2) 형태적 특성	17
(3) 분포	18
나. 양식 넙치의 생태·생리학적 특성	19
(1) 환경적응성	19
(2) 식성	19
(3) 성장	20
다. 양식 현황	21
(1) 양식 역사	21
(2) 양식 생산 동향	25

02. 양식 시스템

가. 양식 방법	30
(1) 유수식 시스템	30
(2) 순환여과 시스템	31
나. 주요 시설 및 설비	34
(1) 취수시설	34
(2) 사육시설	36
(3) 배출수 정화시설	40
(4) 자동화 설비	40
다. 양식장 적지 선정	43

03. 친어 관리와 종자 생산

가. 친어 확보와 관리	48
(1) 친어 확보	48
(2) 사육 관리	49
나. 산란과 수정란 확보	51
(1) 산란	51
(2) 수정란 확보와 관리	52
(3) 수정란의 부화와 자어 관리	53
다. 종자 생산 관리	56
(1) 착저기 이전 사육	56
(2) 착저기 이후 사육	63

04. 양성

가. 종자 입식	68
(1) 치어(7~8 cm) 입식	69
(2) 중간육성어(15~20 cm) 입식	69
나. 사육 관리	70
(1) 사육환경	70
(2) 사육밀도	74
(3) 환수량	75
(4) 영양	75
(5) 성장	90

05. 육종 기술

가. 육종의 필요성	96
나. 염색체 이용 육종 기술	97
(1) 3배체	98
(2) 4배체	98
다. 전암컷 생산 육종 기술	100
(1) 자성발생성 2배체를 이용한 전암컷 2배체 생산	100
(2) 자성발생성 2배체를 이용한 전암컷 3배체 생산	101
라. 친자확인기술 이용 선발육종 기술	102
마. 차세대 육종 기술	104
(1) 유전정보를 활용한 유전체 선발육종	104
(2) 유전자가위 기술을 이용한 육종	105

06. 건강 관리

가. 주요 폐사 원인 및 대책	112
(1) 주요 폐사 원인	112
(2) 사전 예방 방법	119
(3) 사후 관리	126
나. 주요 발생 질병과 대책	127
(1) 바이러스성 질병	127
(2) 세균성 질병	129
(3) 기생충성 질병	139
(4) 기타 질병	142

07. 출하와 품질 관리

가. 출하 전략	148
나. 브랜드 마케팅 전략	149
다. 수산물 인증을 통한 품질 관리	151
(1) 국내 양식수산물 인증	151
(2) 국제 양식수산물 인증	153

08. 양식장 경영

가. 비용 분석	158
(1) 양성장 비용 구조 분석 및 지역별 비교	159
(2) 양성장 비용 변동 요인 분석	160
(3) 종자업 비용 구조 분석	165
나. 수익성 분석	166

09. 넙치 양식업의 미래 및 비전

가. 스마트양식	172
(1) 스마트양식의 주요 특징과 장점	172
(2) 데이터 기반 의사결정의 중요성	173
(3) 스마트양식 도입을 통한 질병 예방 및 생산성 향상	173
(4) 경제적 이점과 효율성	173
(5) 귀어인을 위한 스마트양식 교육과 기술 지원	174
나. 글로벌 시장 진출을 위한 유통 기술 개발	174
(1) 친환경양식 인증 연계를 통한 유통망 확보	174
(2) 활어 컨테이너를 통한 수산물 수출	176

발간사

우리나라는 해양수산 강국으로서, 지속가능한 수산자원의 확보와 양식산업 발전을 위해 끊임없이 노력해 왔습니다. 그 중에서도 넓치는 국내 양식산업의 중심에 자리한 대표적인 어종으로, 해산어류 양식 생산량의 절반 수준을 차지하며 국내 양식산업의 경제적 기반을 이루고 있습니다.

하지만 최근 기후 변화로 인한 고수온, 저수온, 적조 등 급격한 환경 변화는 넓치 양식산업에 새로운 도전 과제를 제시하고 있습니다. 이에 대응하고자 국립수산과학원은 최신 기술과 데이터를 바탕으로 넓치 양식기술 매뉴얼을 새롭게 개정하였습니다.

이번 개정판은 넓치 품질 관리와 경제성 향상을 목표로, 양식 환경 관리, 질병 예방, 순환여과 양식 시스템 등 최신 기술을 폭넓게 반영하였습니다. 또한, 기후 변화 대응 기술과 더불어, 횡감 중심의 활어시장에서 선어시장으로 변화하는 소비 트렌드에 맞춘 판매 전략과 국제 경쟁력을 높이기 위한 수산물 인증 관련 내용을 포함하였습니다.

아울러 현장의 목소리와 최신 연구 결과를 바탕으로 넓치 양식 현장에서 마주하는 문제를 해결하고, 효율적이며 경제적인 양식 방안을 제시하는 데 주력했습니다. 이를 통해 양식 어업인뿐만 아니라 창업을 준비하거나 귀어·귀촌을 고려하는 분들에게도 실질적인 도움이 되기를 기대합니다.

국립수산과학원은 앞으로도 양식산업의 지속가능성과 경쟁력 강화를 위해 노력하며, 자연재해에 효과적으로 대응하고, 4차 산업혁명 시대에 부응하는 스마트 양식 기술을 선도적으로 개발해 나가겠습니다.

여러분의 지속적인 관심과 활용을 통해 넓치 양식산업이 한 단계 더 도약하고, 우리나라 양식산업이 세계적 수준으로 성장할 수 있기를 진심으로 기대합니다.

국립수산과학원장

치용석



01. 일반개요



01. 일반개요

가. 분류 및 분포

(1) 분류

넙치는 분류학적으로 가자미목 넙치과 넙치속에 해당한다. 넙치의 학명은 *Paralichthys olivaceus*, 영명은 Olive flounder, Japanese flounder, Bastard halibut이다. 일명은 히라메(ヒラメ, 平目)이고, 중국명은 헤야핑(褐牙鲆, Hè yà pìng)이다. 넙치는 학술적인 어종명이며, 일반인들에게는 광어(廣魚)로 더 알려져 있다.

학 명 : *Paralichthys olivaceus* (Themminck et Schlegel)

영 명 : Olive flounder, Japanese flounder, Bastard halibut

일 명 : 히라메(Hirame)

중국명 : 褐牙鲆(Hè yà pìng)

문	척삭동물문(Chordata)
강	경골어강(Actinopteri)
목	가자미목(Pleuronectiformes)
과	넙치과(Paralichthyidae)
속	넙치속(Paralichthys)

(2) 형태적 특성

넙치는 몸이 길쭉한 타원형이며, 같은 넙치속(Paralichthys) 어류 중에서도 입 크기가 특히 두드러진다. 윗턱의 끝은 눈보다 후방에 있고 양턱의 이빨은 강하다. 유안(有眼, 눈이 있는 쪽)측의 비늘은 빗비늘이고, 무안(無眼, 눈이 없는 쪽)측의 비늘은 둥근비늘이다. 넙치는 서식하는 지역(주위 환경)에 따라 몸의 색을 변화시켜 자신을 보호하는 성질(보호색)이 뚜렷하다. 일반적으로 유안측은 암갈색으로 유백색의 작은 반점 및 흑갈색의 무늬가 산재해 있고, 무안측은 흰색이다.

넙치는 부화자어기의 경우, 일반 어류처럼 눈이 몸의 양쪽에 있으나 자어후기에 변태(變態)를 하면서 우측의 눈이 좌측으로 이동하여 성어처럼 양쪽 눈이 몸의 한쪽에 위치한다. 변태가 완료되면 생활방식이 부유생활에서 저서생활로 전환된다.

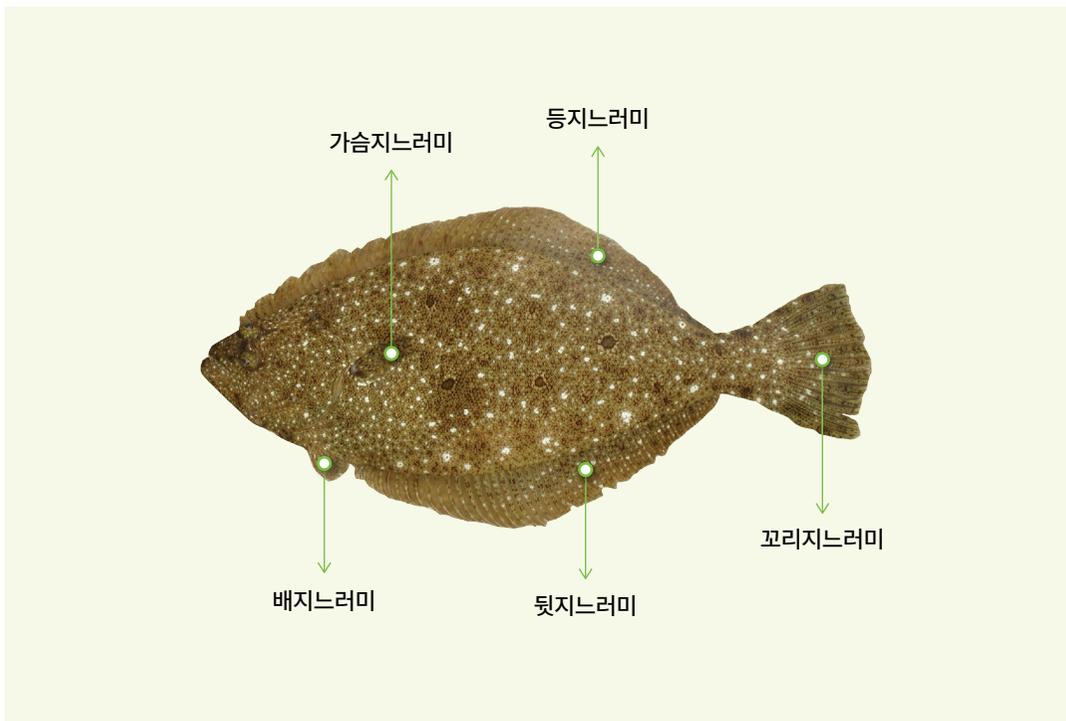


그림1-1 넙치의 외형 및 지느러미 명칭

넙치의 부드러운 뼈로 된 가지(연조)가 등지느러미는 79~82개(81개가 80%), 뒷지느러미 59~62개(59개가 70%), 가슴지느러미 12개이다. 척추골 수는 37~38개(38개가 70%)이며, 아가미를 지탱하는 뼈(새파) 수는 21~22개(22개가 75%)이다. 옆줄 비늘 수는 112~116개 범위에서 골고루 분포한다(김경길, 1994).

(3) 분포

넙치는 주로 태평양 서부 지역에 분포하며, 특히 동아시아의 연안 지역에서 많이 발견된다. 한국, 일본, 중국, 러시아의 연안에서 널리 서식하며, 특히 한국 전 연안에 주로 발견된다. 일본에서는 홋카이도 남부부터 규슈까지의 연안에 서식하며, 중국에서는 황해와 동중국해 연안에 주로 분포한다.

넙치는 주로 수심 10~100 m에 서식하며, 모래와 진흙이 혼합된 바닥을 선호한다. 바닥 근처에서 먹이를 찾고, 천적을 피하기 위해 해저에서 대부분의 시간을 보낸다(국립수산과학원 수산생명자원정보센터, 2024). 또한 넙치는 계절에 따라 먹이와 산란장소를 찾기 위해 해안 지역과 근해를 이동하는 생리적 행동을 보인다.

나. 양식 넙치의 생태·생리학적 특성

(1) 환경적응성

기존의 연구에 따르면 넙치는 21~24℃에서 가장 성장 속도가 빠르며 비교적 고온에 강한 특성을 보인다. 그러나 수온이 28℃ 이상 올라가면 먹이 섭취량이 감소하고, 고수온 상태가 지속되면 폐사율이 급격히 증가하는 것으로 알려져 있다(어윤양, 2011). 또한 수온이 12℃ 이하로 떨어지는 저온 환경에서는 비정상적인 유평이 나타나거나 질병 발생 위험이 높아지므로, 수질 관리와 먹이 공급량 조절 등 사육 관리에 각별한 주의가 필요하다.

급격한 수온 변화는 넙치에게 스트레스를 주어 기초대사량을 증가시키며, 이는 호흡수 증가와 질병 발생의 원인이 될 수 있다(김도형 외, 2017). 넙치는 광범위한 염분 농도에서 강한 적응력을 보이지만, 급격한 염분 변화가 단시간 내에 발생할 경우 체내 삼투 스트레스로 인해 평형감각을 상실하고 비정상적인 유평과 호흡곤란 증상이 나타날 수 있다(진병선, 2021).

이처럼, 넙치는 광범위한 수온과 염분 범위 내에서 안정적으로 서식할 수 있으나, 환경 조건의 급격한 변화에는 민감하게 반응한다. 따라서 넙치가 건강하게 자랄 수 있도록 안정된 서식 환경을 제공하는 것이 중요하다.

(2) 식성

자연산 넙치는 어린 시기에는 요각류나 젓새우류 같은 소형 갑각류를 주로 먹고, 성장하면서는 작은 어류, 새우류, 갯가재류 같은 대형 갑각류, 오징어류, 패류 등 다양한 먹이를 섭취한다. 또한 산란기에도 먹이 섭취가 활발하게 이루어진다.

반면, 양식 넙치는 양식환경에 맞추어진 사료 섭취 패턴을 따른다. 넙치의 초기 단계에는 단백질이 풍부한 사료가 필수적이다. 이 시기에는 미세한 펠릿 형태의 사료를 공급한다. 성장하면서 양식 넙치는 다양한 사료를 필요로 한다. 성

장한 넙치는 주로 육식성 식단을 선호하며, 단백질과 지방이 적절히 배합된 사료를 공급해야 한다. 양식환경에서는 수온, 수조의 산소농도, 그리고 사료의 품질과 양에 따라 넙치의 식이 행동이 달라질 수 있다. 따라서, 사료는 적정량을 유지하며 과잉 공급을 피하고, 넙치가 사료를 잘 섭취할 수 있는 최적의 환경을 조성하는 것이 중요하다.

(3) 성장

양식 넙치의 성장은 여러 환경적 요인에 의해 영향을 받는다. 주요 요인으로는 수온, 수조의 산소농도, 조명 조건, 그리고 사육밀도 등이 있다. 초기 성장 단계에서는 단백질이 풍부한 사료를 공급하여 넙치의 빠른 성장을 유도하여야 하며, 수온은 18℃에서 22℃ 사이로 유지해야 한다. 수온이 너무 낮거나 높으면 넙치의 성장 속도가 저하되거나 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

또한, 수조 내 산소농도와 조명 조건도 중요한 요소다. 적정 산소농도를 유지하지 않으면 소화 흡수 및 호흡에 영향을 주며, 조명 주기가 불규칙하면 넙치가 스트레스를 받아 성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 밀도가 과도하게 높으면 산소 부족과 질병 발생 위험이 증가할 수 있으므로, 적절한 사육밀도 유지가 필수적이다.

성장 주기 동안 넙치는 지속적으로 성장하며, 성숙 단계에 접어들면 상업적인 크기에 도달한다. 양식에서는 일반적으로 넙치가 1 kg 이상 성장하는 것을 목표로 한다. 따라서, 적절한 환경 조성 및 사료 관리는 넙치의 건강한 성장을 보장하는 데 필수적이다.

다. 양식 현황

(1) 양식 역사

넙치는 1980년대 중반 이후부터 본격적인 양식이 시작되어, 약 40년의 양식 역사를 가지고 있다. 1992년부터 현재까지 우리나라 해산어류 양식산업에서 50% 내외의 생산량과 생산액을 차지하며 최고의 양식수산물로 자리매김하였다. 넙치의 수정란 및 인공종자 생산은 1983년에 국립수산진흥원 거제수산종묘배양장(현, 육종연구센터)에서 거제 연안의 자연산 넙치를 수집해 육상수조에서 수용, 관리한 결과, 1984년과 1985년에 성숙한 어미로부터 복부압착에 의한 인공채란으로 수정란 생산에 성공함으로써 넙치의 인공종자 생산이 시작되었다(민병서, 1986). 거제수산종묘배양장에 넙치 수정란의 최초 자연산란은 1986년 5월 18일부터 7월 28일까지 약 두 달간 지속되었다. 자연산란한 어미는 1984년 5월에 자연에서 어획해 인공수정으로 생산된 종자를 실내 사육수조에서 키운 2년생으로, 어미 3마리에서 약 200만 개(미수정란 포함)이 산란되었다. 또 1985년에 수집한 자연산 어미로부터 6월 30일에 27만 9천 개가 자연산란되었으며, 총 수정란 143만 7천 개를 생산해 우리나라에서 양식산 및 자연산 어미로부터 최초로 자연산란에 성공함으로써 완전양식의 기반을 조성하였다.

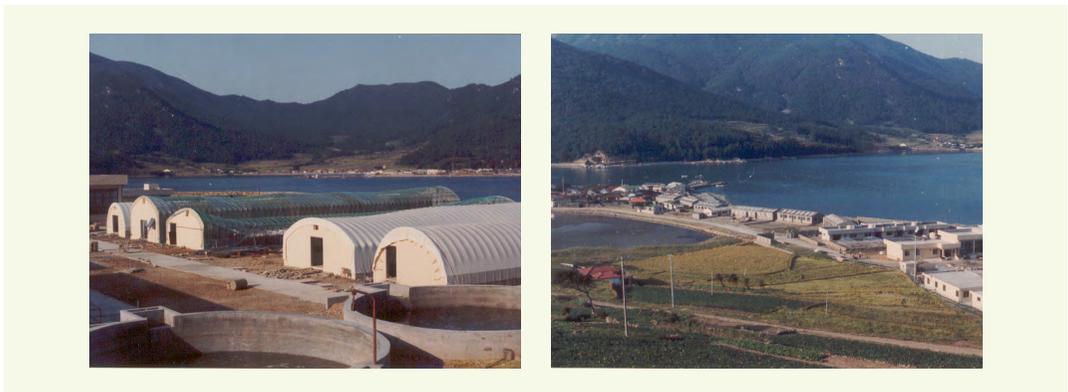


그림1-2 1983년 국립수산진흥원 거제수산종묘배양장 전경

생산된 치어는 1986년 7월 23일 거제군 남부면 다포항에 10만 마리를 방류하였으며, 경북, 강원, 경남 등 5개소에 9월 10일부터 29일까지 총 2,800마리를 시험 분양하였다. 그다음 해인 1987년부터 만기산 넙치 수정란 113만 5천개를 전국 어업인들에게 무상분양하기 시작하였고, 이러한 무상분양은 2003년까지 계속되었다. 한편, 남제주수산종묘배양장은 1987년 10월부터 2년 기간으로 신축공사를 시작하였으며, 공사 기간 중인 1988년 8월경 동구수산에서 넙치 1년생 및 2년생 90여 마리를 구입해 성장 성숙 관리를 실시하였다. 그 결과, 1988년 12월 23일에는 2년생 어미에서 우리나라 최초의 조기산 산란이 이루어졌으며, 최초 산란량은 20 cc였다.

다음 해인 1989년 5월부터 광주기 조절을 실시해 11월에 수정란이 산출될 수 있도록 조정하였으며, 1990년도 이후부터는 수정란의 생산 시기가 11월 초순, 중순으로 빨라지고 수정률도 이전 해 이상으로 상회하였다. 또, 여수수산종묘배양장에서는 1985년부터 넙치 종자 생산기술을 개발하기 위해 여수 인근 연안의 자연산과 양식용 넙치로부터 4년생 친어 27마리(전장 400~619 mm, 체중 800~4,150 g)를 후보군으로 확보해 실내 수조에서 순치 사육하였다. 실내 수조에서의 인위적인 산란 성숙을 유도하기 위한 기술 개발로 성 성숙 일정과 관리 매뉴얼을 설계해 성 성숙을 유도한 결과, 자연에서 더욱더 조기 산란 시기 조절이 가능한 기술이 개발되었다(김윤·허성범, 1991).

1987년에는 실내 사육 중인 친어로부터 자연산란에 성공해 수정란을 생산함으로써 넙치의 완전양식 기술이 확보됨과 동시에 자체적으로 넙치 종자 생산을 안정적으로 수행할 수 있는 여건이 확보되었다. 지속적인 친어 관리기술의 개발로 1989년부터 자연산란된 넙치 수정란 330만 개를 무상 분양하기 시작해 1992년까지 4년간 총 2,372만 개를 인근 넙치 종자 배양업체에 분양함으로써 넙치 양식산업화 기반을 구축할 수 있었다. 또, 친어 관리기술을 인근 민간 종묘배양장(제일냉동 넙치 양식장/전남 여수시 돌산 소재)에 이전해 민간 수산업체에서도 넙치 수정란을 안정적으로 생산·보급할 수 있게 하였다.

1986년에 제주 민간업체에서 넙치의 인공종자 대량생산 기술이 성공적으로 이루어지고, 연중 최저 12℃ 이상의 자연 수온과 일정 수온(16℃, 33 psu)이 유

지되는 지하해수가 개발됨에 따라 제주도가 넙치 양식의 최적지로 주목받기 시작하였다. 넙치 육상 양식 면허는 1986년에 5건이 처음으로 발급되었고, 1987년에 11건, 1988~1990년에는 동원산업, 세창산업, 천일수산 등 주요 대형 수산업체와 중소 업체 등 20여 개 업체가 어류 종자 양식시설을 신청하는 등 매년 신청 건수가 증가하였다.

1989년에 제주대학교 기당해양과학원과 한라수산(제주시 조천읍 북촌리 소재)이 공동으로 넙치 친어를 지하해수 사용과 성숙시기 광주기조절로 가을에 수정란을 대량생산하였고, 1990년부터 수정란을 상용화하여 넙치 종자업체에 공급하였다(이영돈, 2016).

1989년 2월 2일에 출발한 동원산업의 시설규모는 전체 면적 28,790 m², 수면적 11,960 m²로 넙치 치어 50만 마리의 생산시설과 성어 30만 마리(240톤) 생산시설, 매출 계획 연 47억 원의 규모였다. 1989년 동원산업은 넙치 치어 60만 마리의 수용을 시작으로 육상양식장이 가동되었으며, 연이어 세창산업(면적 31,925 m², 수면적 9,257 m²) 등 다른 주요 수산업체도 가동되기 시작하면서 넙치 종자의 수요가 급증하게 되었다. 이에 따라 넙치 종자의 대량 공급을 위해 종자 생산업체에서도 활발하게 움직였으며, 특히 남제주종묘배양장 등 국립연구기관과 민간 수산업체에서 공급하는 양질의 조기 산란 수정란에 의한 치어의 대량 생산으로 제주도뿐만 아니라 전국적으로 넙치 양식 붐이 일어났다. 이로 인해 1990년대 중반에 민간 양식장 시설이 동해 50개소, 서해 10개소, 남해 230개소, 제주 150개소로 늘어나면서 넙치의 양식 산업화가 이루어져, 넙치는 우리나라 어류 양식품종 중 가장 성공한 사례로 볼 수 있다.

1990년대 이후에는 국립수산과학원을 중심으로 넙치를 대상으로 한 다양한 연구과제가 수행되었다. 넙치 유전체 정보의 완전 해독 및 활용 시스템 구축, 넙치 면역보강 백신 연구, 바이러스성 출혈성 패혈증과 에드워드병 혼합백신 연구 등이 수행되었으며, 이러한 연구는 넙치의 양식 효율성과 질병 관리에 이바지한 바 크다. 특히, 2010년대에는 넙치의 건강 증진과 생산성 향상을 목표로, 어분 대체 사료, 유전체 기반 품종 개발, 디지털 정보 기반 스마트 육종 기술 등의 연구가 진행되었다.

그리고, 2020년대 들어서는 넙치 양식의 스마트화와 지속가능성에 관한 연구가 더욱 활발해졌다. 넙치 쿠도아층 저감화 연구, 넙치 건강도 향상을 위한 유용미생물 활용기술 개발, 해수 순환여과양식 시스템(RAS)의 넙치 양식 적용 연구 등 다양한 연구과제가 수행되고 있으며, 이러한 기술들은 넙치 양식산업의 효율성과 경쟁력을 크게 높일 것으로 기대된다.

결론적으로, 넙치 양식은 1980년대 중반부터 시작된 꾸준한 기술 개발과 연구 성과를 바탕으로 오늘날 국내 어류 양식산업의 가장 성공적인 사례로 자리매김하고 있으며, 미래에도 지속가능한 성장과 기술 발전이 기대된다.

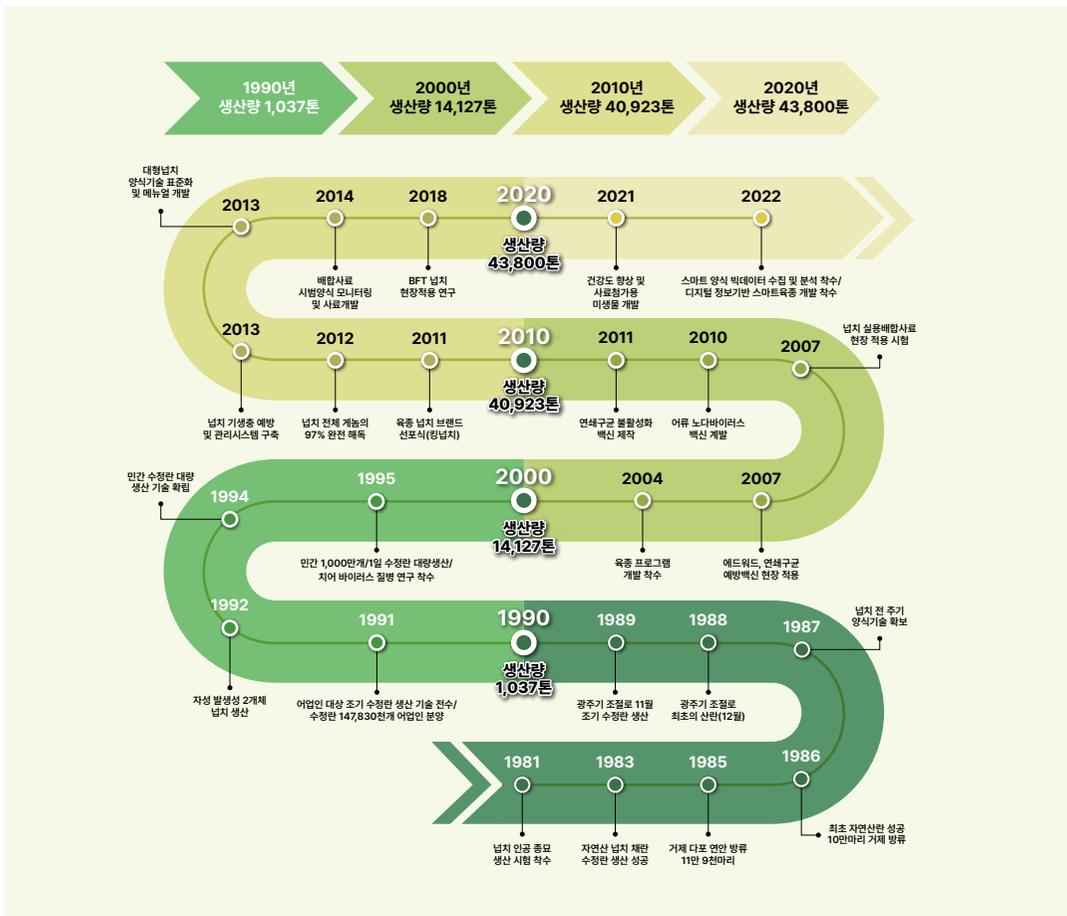


그림1-3 연도별 국내 넙치 연구 역사

출처 | 국립수산물과학원, 2023.

(2) 양식 생산 동향

(가) 세계 생산량

FAO(2023)에 의하면 넙치 양식 생산국은 현재 한국과 일본이 유일하다. 2022년 기준 세계 총 넙치 양식생산량은 47,684톤이며, 이 중 한국의 생산량은 45,884톤으로 전체 생산량의 96.2%를 차지하고 있다. 반면, 일본의 경우 양식 생산량이 2014년 2,607톤에서 2022년 1,800톤으로 지속적인 감소 추세를 보인다.

한국은 이러한 상황에서 넙치 양식에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 향후 수출 기회를 확대할 수 있는 잠재력이 높다. 따라서, 한국의 넙치 양식산업은 성장 가능성이 크며, 글로벌 시장에서 경쟁력을 더욱 강화할 수 있는 여건을 갖추고 있다.



그림1-4 연도별 세계 넙치 총 양식 생산량

출처 | FAO, 2023.

(나) 국내 생산량

1990년대 초반에 대량 생산체제가 확립된 이후, 한국의 넙치 양식 생산량은 1990년 1,037톤에서 1995년 6,733톤으로 약 550%의 비약적인 생산량 증가를 달성하였으며, 이를 통해 국내 넙치 양식수산물 소비시장이 크게 활성화되었다. 그러나, 2005년 이후에는 연간 40,000톤 내외의 생산량을 유지하며 전반적으로 정체 상태를 보이고 있다.

최근 10년간 국내 넙치 생산량은 2014년 43,413톤에서 2024년 40,125톤으로 유지되며, 소폭 변동하는 추세를 나타내었다. 생산량과 함께 생산금액 역시 변동하였는데, 2014년 약 4,151억 원에서 2024년 6,842억 원으로 증가하였다. 2019년에는 넙치 kg 당 평균 가격이 9,936원으로 전년(2018년 13,302원) 대비 25.3% 하락하였다.

지역별로 살펴보면, 제주 지역의 넙치 생산량은 2014년 26,283톤에서 2024년 19,906톤으로 감소한 반면, 전남(완도) 지역의 넙치 생산량은 2014년 14,354톤에서 2024년 18,067톤으로 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다.



그림1-5 연도별 국내 넙치 양식 생산량 및 생산금액

(다) 국내 경영체 현황

최근들어 넙치 양식 경영체수는 매년 감소 추세를 보이고 있다. 고령화된 경영주들이 후계자 없이 사업을 지속하기 어려워 휴·폐업을 선택하는 경우가 늘어나고 있다. 또한, 고수온으로 인한 양식 환경의 악화와 이에 따른 생산성 저하가 소규모 양식어가들의 경영에 큰 부담을 주고 있으며, 이는 경영 악화로 이어져 결국 경영체수의 감소를 초래하고 있다. 이와 같은 현상은 향후에도 지속될 가능성이 높아, 양식업의 지속 가능성을 확보를 위한 대책이 필요하다.



그림1-6 연도별 넙치 경영체 현황

출처 | 통계청, 2024



02. 양식 시스템



02. 양식 시스템

가. 양식 방법

(1) 유수식 시스템

유수식 시스템은 외부 공급수를 끊임없이 유입하고 배출하는 방식으로 운영된다. 이 시스템은 양식수조에 지속적으로 물을 공급함으로써 산소 공급을 원활하게 하고 유해물질의 축적을 방지한다.

주요 구성 요소로는 수조, 입수구, 배수구가 있으며, 주로 펌프를 이용해 물을 지속적으로 순환시킨다. 유수식 시스템의 가장 큰 장점은 구조와 운영 방식이 비교적 간단해 초기 설치와 관리가 쉽다는 점이다. 또한, 물이 계속 흐르면서 양식장 내 노폐물을 제거해 줌으로써 단기간에 수질이 급격히 악화하는 것을 막을 수 있다.

그러나, 유수식 시스템은 외부 환경에 그대로 노출되어 있어 수질 변화나 질병에 취약한 단점이 있다. 특히, 사계절이 존재하는 우리나라의 기후 특성상 수온 변화가 넙치의 안정적인 성장에 어려움을 줄 수 있다. 또한, 지속적인 물 공급이 필요하므로 수자원의 확보가 어려운 지역에서는 운영에 제약을 받을 수 있다.

따라서, 유수식 시스템은 수자원이 풍부하고 수온 및 수질 변동이 적은 지역에서 넙치 양식에 효과적으로 적용될 수 있는 방법이지만, 넙치는 외부 환경 변화에 민감하므로 관리에 각별한 주의가 필요하다.

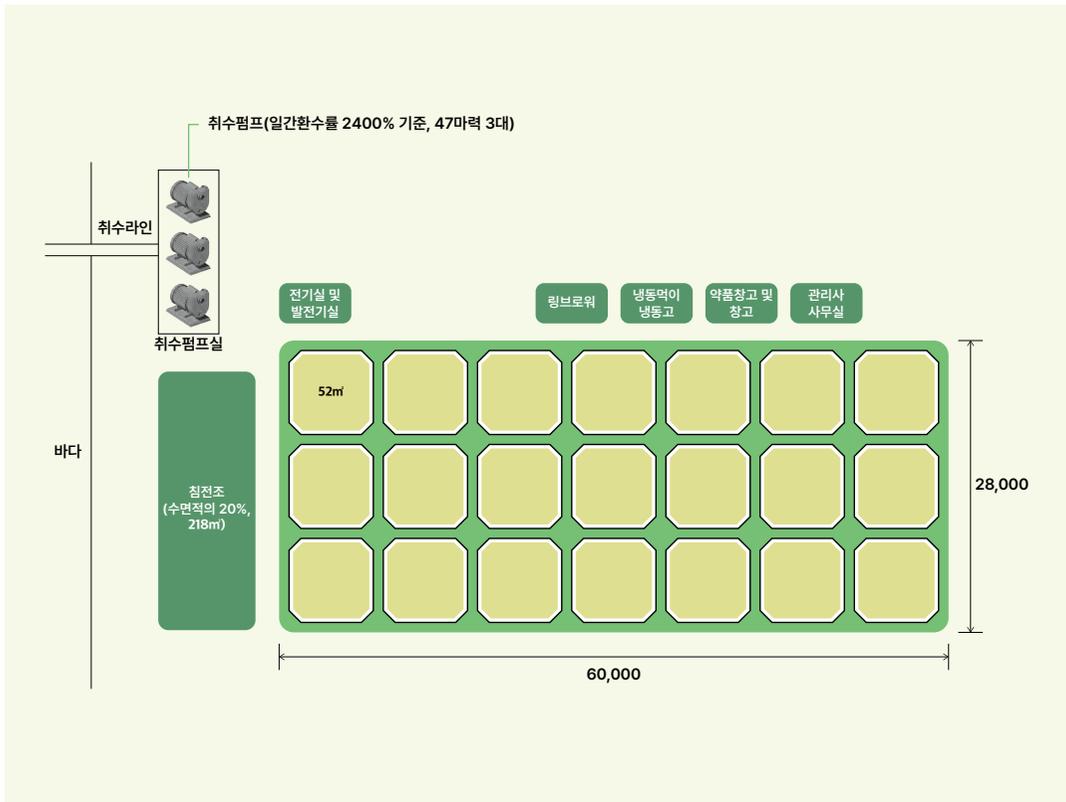


그림2-1 넙치 유수식 양식장 모식도(수면적 330평 기준)

(2) 순환여과 시스템

순환여과양식 시스템(Recirculating Aquaculture System, RAS)은 사육수를 재사용해 넙치를 효율적으로 양식하는 방식이다. 이 시스템은 물리적 여과와 생물학적 여과를 통해 수조 내 수질을 지속적으로 유지·관리하며, 다양한 수질 요인과 생물학적 균형을 바탕으로 운영된다.

순환여과양식 시스템의 가장 큰 장점은 물 사용량을 최소화하면서 외부로부터 발생하는 다양한 문제를 효과적으로 차단할 수 있다는 점이다. 또한, pH, 온도, 용존산소 농도 등의 외부 요인이 넙치의 성장에 직접적인 영향을 미치지 않도록 조절할 수 있어 질병 예방과 환경 변화 대응에 유리하다.

이러한 장점 덕분에 해외에서도 순환여과 시스템을 적극 도입하고 있다.

- **노르웨이의 Osland Settefisk SA:** 노르웨이 송네피오르드의 비요르달에 위치한 Osland Settefisk SA는 최신 순환여과 시스템을 도입해 연어의 부화부터 2년생까지 양식하고 있다. 이 시스템은 물리적·생물학적 여과를 통해 수질을 지속적으로 유지하며, 죽은 물고기와 오염 물질을 효율적으로 제거하기 위해 진공 솔루션을 활용한 공압 추출 장치를 설치해 위생적인 양식 환경을 조성하고 있다.
- **덴마크의 Billund Aquakulturservice:** 덴마크의 Billund Aquakulturservice는 담수어류를 중심으로 순환여과 시스템을 활용한 상업적 양식장을 개발해, 물 사용량을 90% 이상 절감하는 데 성공했다. 이 시스템은 물리적·생물학적 여과를 통해 수질을 지속적으로 유지하며, 수질 모니터링과 자동화된 수처리 시스템을 통해 최적의 사육 환경을 유지한다.
- **미국의 Atlantic Sapphire:** 미국 플로리다주에 위치한 Atlantic Sapphire는 대서양 연어를 대상으로 순환여과 시스템을 적용한 대규모 육상 양식장을 운영하고 있다. 이 시설은 연중 안정적인 생산과 고품질 어류 공급이 가능하며, 물 사용량을 최소화하고 환경 영향을 줄이기 위해 첨단 수질 관리 및 자동화 시스템을 도입하였다.

이처럼 해외에서는 순환여과 시스템을 활용한 스마트 양식이 활발히 이루어지고 있으며, 국내에서도 이러한 사례를 참고해 지속 가능한 넙치 양식 모델을 구축하는 것이 중요하다.

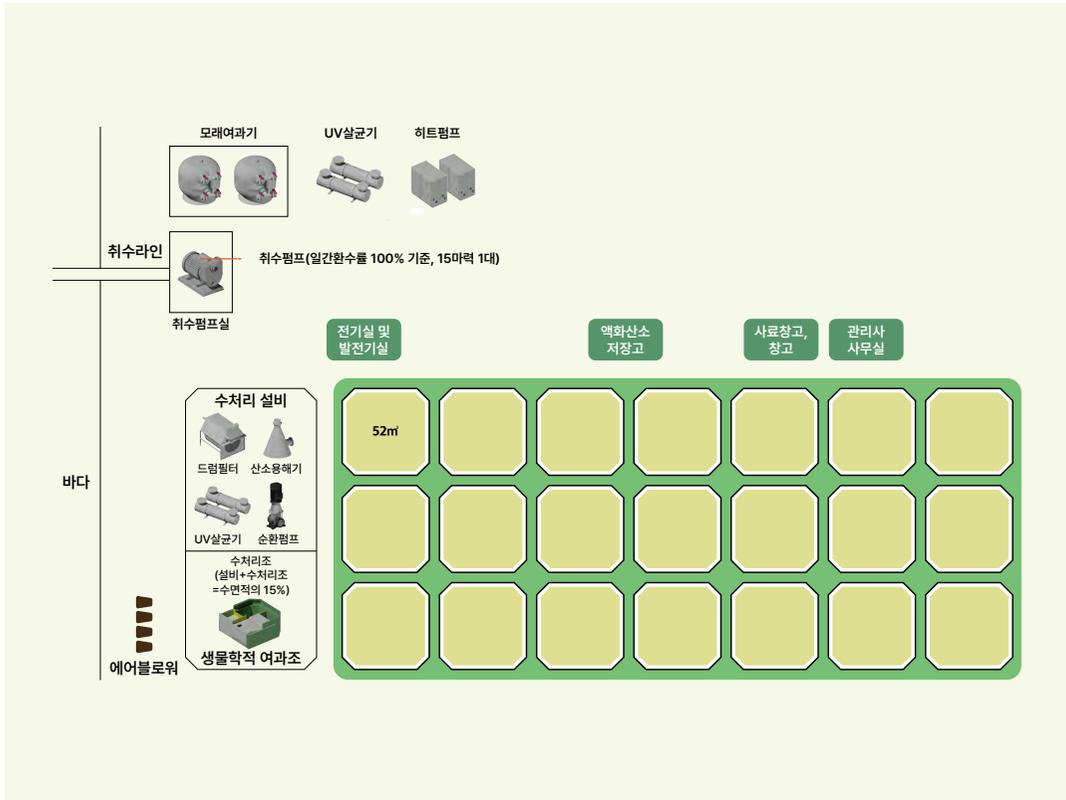


그림2-2 넓치 순환여과 양식장 모식도(수면적 330평 기준)

그러나, 이러한 여러 장점에도 불구하고, 유수식 시스템보다 보급이 어려운 이유 중 하나는 순환여과 시스템의 초기 설치비용이 높고, 시스템 관리 및 수질 조절을 위해 전문적인 기술과 지식이 필요하기 때문이다. 또한, 시스템 일부가 고장 나면 전체 생산에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 지속적인 모니터링과 유지보수가 필수적이다. 이러한 어려움으로 인해 순환여과 시스템의 도입이 제한적이나, 장기적으로는 안정적인 생산과 환경 관리 측면에서 효율적인 시스템으로 평가되고 있다.

나. 주요 시설 및 설비

(1) 취수시설

지역에 따라 해수 취수 방식은 조금씩 다르다. 제주에서는 취수용 펌프를 사용해 연안해수나 지하해수를 취수하고 이를 양식장에 단독 또는 혼합해 사용한다. 남해안에서는 주로 연안해수를 직접 취수해 사용하며, 동해안은 모래 여과층을 통해 해수를 취수한다. 서해안은 다른 해역에 비해 해수의 탁도가 높으므로, 해수를 1차 침전조에서 침전시킨 후 양수해 사육수로 이용한다.

넙치 양식장에서 일반적으로 사용하는 취수배관의 재질은 주로 PE이며, 배관의 직경은 300~500 mm이다. 양식장의 펌프실로부터 200~300 m 떨어진 연안에서 해수를 취수하는 경우가 많으며, 취수용 펌프의 용량은 20~125 Hp까지 다양하게 사용되고 있다. 이때 잡물의 유입과 부착생물의 부착을 방지하기 위해 취수구는 모래가 들어오지 않도록 그물망으로 덮은 뒤 자갈로 매몰한다. 적절한 해수 취수지역으로는 연중 넙치의 생존 범위에서 수온 변화가 적고 염분이 안정적이며 물이 혼탁하지 않은 곳이 적합하다. 지하해수를 활용할 때는 자연적인 여과가 이루어지도록 저질이 모래와 자갈로 된 곳을 선택하는 것이 좋다. 이러한 환경에서 지하수가 필터링되어 깨끗한 물을 얻을 수 있지만, 용존산소량이 낮기 때문에 주의가 필요하다.

취수용 펌프는 수조 또는 저수조 위치까지 양수가 가능한 것을 선택해야 한다. 펌프는 바다 표면에 가까운 위치에 설치하는 것이 좋다. 사용 동력은 전기로 하되, 태풍, 낙뢰, 공사 등의 이유로 불시에 정전이 발생할 수 있으므로 자가발전 장치를 갖추어 두어야 하며, 정전 시 자동으로 작동할 수 있도록 설비하는 것이 좋다. 정전 외에도 펌프 고장으로 양수가 중단되거나 송수관이 파손되어 사육수 공급이 중단될 수 있으므로 이러한 문제를 빨리 발견할 수 있도록 자동경보기 설치가 필요하다.

배관 시설은 지역의 환경에 맞게 선택하는 것이 중요하다. 풍파가 강한 해안에서는 강관을 사용하는 것이 좋고, 육상에서는 값싸고 녹슬지 않아 편리한 PE

배관이 적합하다. 관의 내측에는 부착생물에 의해 주수 능력이 저하될 수 있으므로, 관의 굵기를 여유 있게 설정하고 주기적으로 청소하거나 교체해 주수 능력을 유지하도록 관리해야 한다.



그림2-3 양수펌프



그림2-4 비상발전기

(2) 사육시설

양식장에서 사용하는 사육수조의 크기는 생산 규모와 사육 방법에 따라 결정된다. 일반적으로 넙치는 초기 단계에서는 소형 수조에서 고밀도로 사육하다가, 변태 시기에 맞추어 개체를 분리해 더 많은 수조로 옮기거나 대형 수조로 이동시킨다. 수조의 형태는 원형, 장방형, 정방형 등이 있으며, 물의 흐름과 교환율, 침전물의 배출 등을 고려할 때 중앙 배수식의 원형수조가 가장 적합하다. 수조의 깊이는 대략 1 m가 적당하며, 사료 찌꺼기의 배출을 쉽게 하도록 배수구 쪽으로 완만한 경사를 두어야 한다.

주수 시설은 일반적으로 PE 또는 PVC 제품을 사용하며, 수조의 크기나 형태에 따라 직경 30~75 mm의 관을 두 개 정도 설치해 사육수를 회전시킬 수 있도록 한다. 사육수의 배수는 사육수조의 중앙에 설치된 배수관에 망목을 설치해 이루어지도록 하며, 자어가 성장함에 따라 망목의 크기를 점진적으로 늘려간다. 망목 부분의 면적을 넓게 해 배출수의 유속을 늦추고, 이 때 유영 능력이 약한 자어가 망에 걸리지 않도록 주의해야 한다.

사육용 해수는 모래여과기를 통과시킨 후 자외선이나 오존 장치 등의 살균 장치를 사용해 소독하는 것이 좋다.

(가) 사육수조

사육수조는 수질, 형태, 그리고 어류의 특성을 고려해 선택해야 한다. 수조의 크기, 형태, 수심, 고형물 배출 능력 등은 양식 어류의 생산량과 시스템 관리에 큰 영향을 미친다. 특히 저서성 어류의 경우, 수조의 수면적이 가장 중요하므로 수심과 유속을 낮추어 설계하는 것이 필수적이다.

사육수조의 형태에는 여러 가지가 있으며, 형태마다 장단점이 있다.

원형수조는 수조의 중심을 기준으로 물이 둥글게 회전하게 설계되어 있어, 어류가 배출한 유기 고형물이 빠르게 배출될 수 있다. 이 구조적인 특성으로 인해 수조의 용존산소 농도가 균일하게 유지되며, 효율적인 흐름 조절이 가능하다. 다만, 원형수조는 공간을 많이 차지하며, 비용이 많이 든다.

사각수조는 부지의 이용 효율은 높으나, 물이 회류하는 과정에서 제대로 혼합

되지 않아 각 모서리 구간에 고형물이 축적될 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 팔각형 수조가 사용되기도 하며, 팔각형 수조는 사각수조의 공간 활용도와 원형수조의 고형물 제거 능력을 결합한 형태이다.

또한, 사육수조의 선택은 양식장의 환경과 운영 방침에 따라 달라지며, 각각의 형태는 특정 양식환경에 최적화된 설계를 통해 효율성을 극대화하는 것이 중요하다. 이를 위해 수조의 위치, 깊이, 흐름 속도 등을 고려해 어류의 건강과 생산성을 높일 수 있는 최적의 환경을 조성해야 한다.

또한, 수조 내의 물리적 구조 외에도 수조의 유지 관리와 수질 관리가 중요하며, 이를 통해 사육환경의 안정성을 높이고 어류의 성장과 건강을 최적화할 수 있다. 정기적인 수조 청소와 수질 검사가 필요하며, 여과 및 순환 시스템을 통해 수질을 지속적으로 관리하는 것이 필수적이다.

(나) 물리적 여과 장치

물리적 여과장치는 양식장에서 고형물을 제거하는 데 중요한 역할을 한다. 고형물은 어류의 배설물, 남은 사료, 어류의 분비물 등에서 발생하며, 수질을 악화시키고 생물에게 악영향을 미칠 수 있다. 따라서, 이러한 고형물을 신속하게 제거해 생물에게 미치는 영향을 최소화해야 한다. 고형물을 제거하는 방법으로는 중력식 분리처리법, 기계적 처리법, 물리적 처리법이 있다.

국내 넙치 양식장은 대부분 유수식 시스템을 채택하고 있어 물리적 여과장치의 필요성이 상대적으로 낮다. 이는 물이 지속적으로 흐르면서 고형물이 자연스럽게 배출되기 때문이다. 그러나, 종자생산장에서는 보다 엄격한 수질 관리를 위해 일반적으로 모래여과기와 같은 물리적 여과장치를 사용하고 있으며, 일부 양식장에서도 치어 단계에서는 수질 유지와 고형물 축적 방지를 위해 여과장치가 활용되기도 한다.

(다) 사육수 살균

사육수의 살균은 안정적인 양식생물의 성장과 질병 예방을 위해 필수적인 과정이다. 일반적으로 자외선 조사법과 오존 살균법이 널리 사용되며, 각각의 방법은 특정한 장점과 제한점을 가지고 있다.

자외선 소독장치는 자외선을 이용해 병원성 박테리아의 DNA를 파괴해 살균하는 장치로, 주로 순환여과 시스템에서 사용된다. 순환여과 시스템에서는 유입수뿐만 아니라 순환수 처리에도 자외선 소독이 활용되며, 적절한 자외선 조사량과 충분한 조사 시간이 확보되기 때문에 효과적인 살균이 가능하다. 그러나, 유수식 양식장에서는 물이 계속해서 외부로 흘러나가기 때문에 자외선 소독장치는 주로 유입수 처리에만 사용된다. 이 경우 물이 빠르게 흘러가므로 자외선 살균 효과가 제한될 수 있어 주의가 필요하다.

오존 발생장치와 오존 용해장치는 유기물과 병원성 미생물을 산화시키는 방식으로, 오존의 강력한 산화력으로 인해 높은 살균 효과를 발휘한다. 오존 처리는 유기물의 산화 및 응집, 아질산염의 산화 등을 통해 사육수의 품질을 개선하고, 미세한 입자들을 결합해 큰 입자를 형성함으로써 기계적 고형물 제거장치로 처리하기 어려운 미세 입자들을 제거할 수 있다. 또한 사육수의 부유물질을 제거해 사육수를 더 투명하게 만들고, 병원성 미생물의 서식처가 되는 유기물을 효과적으로 줄여준다.

그러나, 유수식 양식장에서는 오존 발생장치를 거의 사용하지 않는다. 이는 물이 계속해서 외부로 배출되므로, 오존 처리가 효과적으로 작동할 시간이 부족하기 때문이다. 또한, 오존의 과도한 투여는 어류에 유해할 수 있으며, 해수에서는 브롬과 반응해 독성이 강한 잔류산화물을 형성할 위험이 있다. 따라서, 오존 처리는 주로 순환여과 시스템에서 사용되며, 사용 시에는 적절한 투입량과 환기를 철저히 관리하고, 지속적인 모니터링을 해야 한다.

(라) 산소공급장치

산소공급은 양식생물의 생존과 성장에 필수적이다. 산소공급이 중단되면 어류 사육 밀도에 따라 수십 분 내에 대량 폐사가 발생할 수 있으며, 만성적으로 산소가 부족하면 사료 섭취율이 낮아지고 성장률이 감소한다.

대부분의 양식장은 액화산소나 순수산소발생기를 이용해 수조 내 산소를 공급하고 있다. 이러한 산소공급장치는 물속에 충분한 산소를 용해시켜 양식생물의 건강한 성장을 지원하며, 시스템의 효율성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 그러나, 액화산소나 순수산소발생기를 사용할 때는 몇 가지 주의가 필요하다. 첫째, 산소 탱크의 안전한 보관과 관리가 필수적이다. 액화산소는 고압 상태에서 보관되므로, 펌프나 밸브, 파이프가 손상되면 폭발 사고로 이어질 수 있다. 또한, 순수산소발생기의 필터와 배관의 청소 및 유지보수 또한 중요하다. 필터가 막히면 산소공급 효율이 떨어지므로 정기적인 점검과 교체가 필요하다.



그림2-5 액화산소

(3) 배출수 정화시설

육상수조식 해수 양식업 시설은 물환경보전법 시행규칙 『별표 19』에 따라 ‘기타 수질오염원의 설치 관리자가 해야 할 조치’로 분류된다. 이에 따르면, ‘사료 찌꺼기, 배설물, 그 밖의 슬러지 등을 적정하게 처리하기 위해 면적이 사육 시설 면적의 20% 이상이고 깊이가 1미터 내지 1.5미터인 침전시설(배출수가 1.5시간 이상 체류할 수 있는 경우에는 깊이를 1미터 이하로 할 수 있음) 또는 동등 이상의 효율이 있는 방지시설을 설치해야 한다. 다만, 배출수의 수질기준이 적용되는 경우에는 침전시설 또는 방지시설을 다르게 설치할 수 있다’고 정의하고 있다.

국내 양식장에서는 대부분 침전지를 배출수 정화 시설로 운영하고 있다. 반면, 해외에서는 배출수의 탈수 및 건조를 통해 슬러지를 분리하고 재활용할 수 있는 다양한 기술들이 개발되고 있다.

(4) 자동화 설비

자동화 설비는 양식장의 효율적이고 안정적인 운영을 위해 중요한 역할을 한다. 이를 통해 사료 공급, 어류 관리, 수질 모니터링 등을 자동으로 처리함으로써 인력의 부담을 줄이고, 운영의 효율성을 높일 수 있다. 또한 실시간 데이터 모니터링을 통해 빠르고 정확한 의사결정을 가능하게 해 생산성과 수익성을 동시에 향상시킨다.

수질 모니터링 시스템은 pH, 용존산소, 온도, 암모니아 농도 등의 수질 요인을 지속적으로 측정하며, 이를 실시간으로 데이터화해 보다 정밀한 수질 관리를 가능하게 한다. 이를 통해 양식장의 환경을 최적화하고 질병 예방 및 어류 성장 환경 개선에 기여할 수 있다.

자동 사료 공급 시스템은 어류의 성장 단계와 수요에 맞춰 사료를 자동으로 공급해 사료 과다 공급을 방지하고 사료비를 절감하는 효과를 가진다. 이를 통해 사료 이용 효율을 높이고, 어류의 건강한 성장을 지원할 수 있다.

최근에는 인공지능(AI)과 사물인터넷(IoT) 기술을 활용해 자동화 시스템을 더

육 고도화하는 사례가 늘어나고 있다.

- 노르웨이 SalMar사의 ‘오션팜 1호’는 AI 및 센서 기술을 활용한 해상 스마트 양식장으로, 자동 사료 공급 시스템과 실시간 환경 모니터링 시스템을 적용해 연어의 성장과 건강을 최적화하고 있다. 수온, 산소 농도, 조류 흐름 등의 환경 데이터를 분석해 최적의 사육 조건을 유지하며, 원격 제어 시스템을 통해 사람이 직접 관리하는 시간을 최소화하고 있다. 이를 통해 사료 효율성을 높이고 폐기물 배출을 줄이며, 양식장의 생산성을 극대화하고 있다.
- 덴마크 Billund사의 RAS 기반 스마트 양식장은 순환여과 시스템을 통해 사육수를 재사용하면서도 수질 자동 제어 및 사료 공급 시스템을 갖추고 있다. 물리적·생물학적 여과 장치를 통해 양식장 내 수질을 일정하게 유지하며, 실시간 모니터링을 통해 질병 발생을 최소화한다. 또한, 자동 급이 시스템을 활용해 어류의 먹이 섭취량을 조절하고 남은 사료의 양을 줄임으로써 사료비 절감과 환경 보호 효과를 동시에 거두고 있다.
- 일본 Kindai University의 양식 연구소는 참다랑어 양식에 스마트 양식 기술을 접목해 자동화 시스템을 구축한 대표적인 사례다. 이 연구소는 수중 카메라와 AI 기반 분석 시스템을 활용해 어류의 건강 상태와 행동을 실시간으로 파악하고, 이에 맞춰 자동으로 사료를 공급하는 방식을 적용하고 있다. 이러한 자동화 설비 도입을 통해 참다랑어의 성장률을 높이고, 기존 양식 방식보다 높은 생존율을 확보할 수 있었다.

이처럼 해외에서는 자동화 설비와 스마트 기술을 적극적으로 도입해 양식업의 생산성과 지속 가능성을 높이고 있다. 국내 넙치 양식업 또한 이러한 기술을 적용함으로써 효율적인 운영과 고품질 생산을 위한 경쟁력을 갖춰야 한다.



그림2-6 위: 어업회사법인 라온바다(주) 실증모델팜 제어 시스템
아래: 수질제어 프로그램 UI

출처 | 아쿠아프로(주), 2023.

다. 양식장 적지 선정

넙치 양식에서 적지 선정은 넙치의 성장, 건강, 그리고 생산성에 중대한 영향을 미친다. 따라서, 적지 선정 과정에서는 다양한 환경적 요인과 운영의 편의성을 종합적으로 고려해야 한다.

최근에는 공공정보가 실시간으로 제공되므로, 수질 조건과 해양환경에 대한 정보를 오픈 API를 통해 적극적으로 활용하는 것이 매우 중요하다.

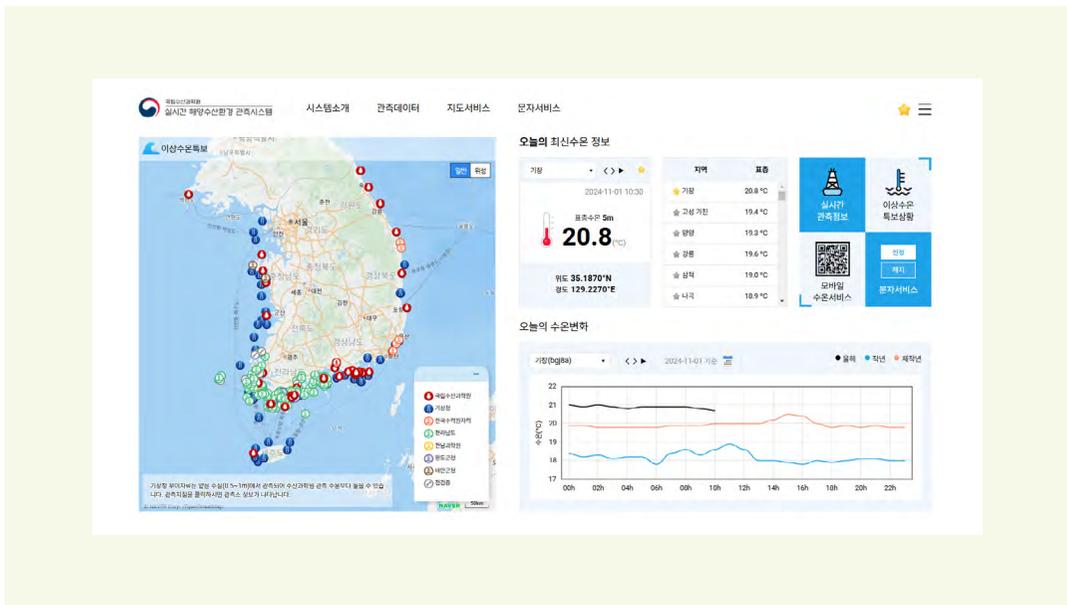


그림2-7 국립수산과학원 실시간 해양수산환경 관측시스템 화면

특히, 수질은 양식장의 성공적인 운영에 핵심적인 요소로, 적지 선정 시 가장 우선적으로 고려해야 한다.

염분농도는 어류의 삼투압 조절에 필수적이며, 염분농도가 너무 낮거나 높으면 어류의 성장에 방해가 되고, 생리적 스트레스를 유발하거나 질병을 초래할 수 있다. 따라서, 취수지역 근처에 강물의 유입으로 인한 염분농도 하락 가능성

을 면밀히 검토해야 한다.

수온 또한 넙치의 성장에 직접적인 영향을 미친다. 특히, 여름철에는 고수온으로 인한 피해가 자주 발생하므로 주의가 필요하다. 수심이 얇은 표층수는 수온 변동 폭이 크기 때문에 일정 수심 이상의 물에서 취수할 수 있어야 하며, 연안 수심에 따른 수온 변동 폭을 사전에 조사하는 것이 중요하다. 제주도 일부 지역의 경우, 연중 일정한 염지하수 취수가 가능한지에 따라 생산성이 크게 달라질 수 있으므로, 염지하수 활용 가능성도 검토해야 한다.

용존산소 농도는 최소 5 mg/L 이상의 해수를 취수해야 한다. 용존산소는 어류의 생존에 필수적이며, 부족할 경우 대량 폐사를 초래할 수 있다. 따라서, 센서를 사용해 실시간으로 모니터링하고, 빈산소수괴 발생이나 고수온으로 인한 용존산소 부족에 대비할 수 있는 장비를 갖추는 것이 필요하다.

pH는 일반적으로 해수에서 7.5~8.5로 유지된다. 유수식 양식에서는 pH 문제로 인한 사고가 드물지만, 순환여과 시스템에서는 pH가 상승하면 암모늄 이온(NH_4^+)이 독성이 강한 비이온형 암모니아(NH_3)로 전환되어 독성이 증가할 수 있다. 특히, pH가 1 단위 상승할 경우 암모니아의 독성이 크게 높아지므로, 사육수 내 암모니아 농도를 철저히 관리해야 한다.

이러한 수질 조건은 해양환경과 밀접하게 연결되어 있다. 해류는 양식장으로 취수되는 용수의 성질을 결정하는 중요한 요소이다. 적지 선정 시 취수지역 및 배출지역에서 해류가 회유할 경우, 양식장 내에서 배출된 오염물질이 재취수되어 성장에 부정적인 영향을 미치거나 질병을 발생시킬 수 있다. 따라서, 해양 기상 데이터를 활용해 해류 변동을 고려하고 양식환경의 안정성을 높이는 것이 중요하다.

해저 지형은 양식장의 취수 배관 설계와 운영에 중요한 요소다. 평탄하고 안정적인 해저는 취수 배관의 설치와 유지보수에 용이하지만, 굴곡이 심하거나 경사가 급한 지역은 모래나 자갈 등의 입자 유입이나 자연재해로 인한 취수 배관 파손의 위험이 있다. 이러한 지역에서는 주의가 필요하며, 태풍, 강풍, 해일 등 자연재해에 대한 위험 분석도 필수적이다. 자연재해의 위험이 적은 지역을 선택하고, 정기적인 훈련과 점검을 통해 위기 상황 발생 시 신속하게 대응할 수 있는

체계를 구축하는 것이 중요하다.

마지막으로, 환경 법규와 규제는 적지 선정 시 반드시 검토해야 한다. 인허가상의 문제가 발생하면 사업 시작이 지연되거나 경제적 피해를 초래할 수 있다. 법규 준수를 통해 지역 사회와의 갈등을 최소화하는 것도 양식장의 장기적인 운영을 보장하는 방법이므로, 적지 선정 초기 단계에서 충분한 법률 검토를 포함한 계획 수립을 해야 한다.



03. 친어 관리와 종자 생산



03. 친어 관리와 종자 생산

가. 친어 확보와 관리

(1) 친어 확보

주로 건강하고 성장이 빠른 개체 중에서 연령 2~5년, 전장 40~60 cm, 체중 2.0~4.0 kg의 개체를 선발해 친어로 사용한다.

넙치의 생식소는 비노생식공 후방의 복강에 위치하며 암컷과 수컷은 발달 양상이 다르다. 정소는 복강 후방의 근육층으로 신장하지 않고 복강 내에서만 삼각형의 형태로 비대해지면서 발달하는 반면, 난소는 발달함에 따라 뒷지느러미의 혈관극 양측으로부터 꼬리지느러미까지 근육층에서 신장한다. 정소는 유백색을 띠며 난소는 성숙함에 따라 유백색에서 담홍색을 띤다(그림 3-1).

친어의 연령에 따라 산란량이 달라지는데, 저연령 개체는 크기가 작아 산란량이 적기 때문에 4년 이상의 암컷을 사용하는 것이 바람직하다. 반면, 고연령 개체는 산란량은 많으나, 난질이 양호하지 않을 수 있으므로, 다양한 형질을 가진 새로운 어미로 교체해 유전적 다양성을 높이는 것이 필요하다.

과거에는 근친교배를 방지하기 위해 자연산과 인공산 친어를 혼합해 사용하였으나, 현재는 이러한 방법이 잘 지켜지지 않는 경우가 많다. 이로 인해 근친교배가 이어지며, 열성형질의 발현이 증가하는 문제점이 발생하고 있다. 자연산 넙치를 구하는 데 큰 비용이 들기때문에, 종자생산업자들은 자연산 친어 확보에 어려움을 겪고 있으며, 관리의 어려움 또한 큰 부담이 된다. 따라서, 인공산 친

어의 경우 근친교배로 인한 열성형질의 발현을 방지하기 위해 다양한 유전형질을 확보하고 주기적으로 세대교체를 하는 것이 중요하다.

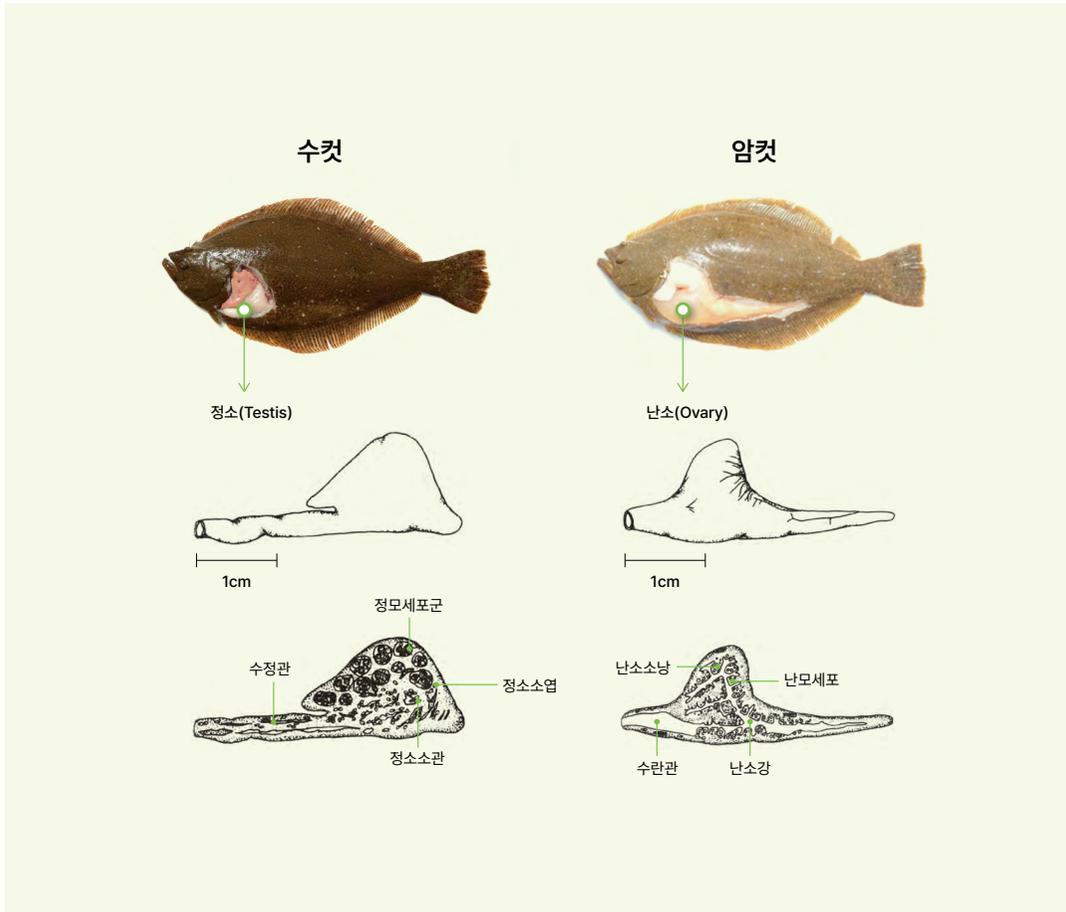


그림3-1 성숙한 넙치 수컷과 암컷 생식소의 외부형태와 내부 구조

출처 | 이영돈, 1990.

(2) 사육 관리

양질의 난을 얻으려면 친어의 스트레스를 줄이는 것이 중요하며, 이를 위해 m^2 당 1~2마리로 유지하는 것이 적정하다. 그러나, 양식 현장에서는 5~8 kg/m^2 로 수용하는 예도 흔하다.

암컷과 수컷의 비율 또한 자연산란을 유도하는 데 중요하며, 이상적인 비율은 1:2다. 수컷이 암컷보다 빨리 성숙하므로, 방란이 시작되기 전에 수컷이 교배 준비가 완료되도록 관리해야 한다. 이를 통해 자연산란을 원활히 유도할 수 있다.

또한, 친어에게는 비타민 등 영양제를 첨가해 난질을 개선하는 것이 효과적이다. 생사료와 분말 배합사료를 섞어 만든 습사료(moist pellet)를 공급하며, 고도불포화지방산(HUFA)을 1.5% 정도 첨가해 주는 것이 좋다. 사료 공급량은 사육수온, 어체 크기, 사육환경 및 사료 종류에 따라 다르지만, 보통 어체중의 1~3%를 기준으로 1일 1~2회 공급한다. 넙치는 10℃ 이하에서는 거의 먹지 않기 때문에 조기 산란을 원한다면, 월동 사육 시 수온을 12℃ 이상으로 유지해 사료를 꾸준히 공급해야 한다.

사육수는 주로 고압모래여과를 거친 해수를 이용하며, 일반적으로 수조 내 환수량은 하루 15~20회전 정도로 실시하는 것이 좋다. 그러나, 산란기에는 빠른 유속이 산란한 난에 물리적 영향을 줄 수 있으므로 환수 비율을 1~5회전으로 낮추는 것이 좋다. 특히, 여름철 장마로 인한 낮은 비중이나 적조로 인한 수질 악화가 발생할 수 있으므로, 수질 관리에 특히 주의해야 한다. 또한, 불시에 정전이나 취수펌프의 고장 등으로 인해 취수가 불가할 경우는 산소 결핍으로 폐사가 일어날 수 있으므로 액화산소, 송풍기, 비상발전기 및 양수시설 등을 갖추어 대비해야 한다.

나. 산란과 수정란 확보

(1) 산란

넙치는 광주기 단일조건에서 장일조건으로 전환하고 수온이 상승하기 시작하는 3월~5월에 주로 성숙 산란하는 춘계산란형 어류이다.

사육 수조 내 넙치의 생식소 발달은 11월부터 2월까지 난소는 난경 0.1~0.2 mm의 유구기 단계가 관찰되는 성장기 단계를 보이며, 3월부터 5월까지 난경 0.4 mm 이상의 난황구기 난모세포가 난소의 대부분을 차지하는 성숙 및 산란기 단계를 갖는다. 이후 6월부터 난소의 생식상피가 재배치되고 난경 0.01~0.06 mm의 주변인기 단계의 난모세포가 관찰되는 휴지기 단계의 생식소를 갖는다.

산란은 지역에 따라 다소 차이가 있으나 일반적으로 수온이 11~18℃일 때 산란이 이루어지며, 이상적인 산란 수온은 14~18℃이다. 양식환경에서는 남서해안인 경우 사육수온이 12℃에서 14~15℃, 제주에서는 16~18℃에 이르고 광주기가 10L:14D에서 14L:10D로 적절하게 조절될 때 산란이 된다.

양성장에서 주로 넙치 종자를 입식하는 시기는 3~6월과 10~11월로 양성장에서 원하는 시기에 종자를 생산하기 위해 수정란 생산 시기 조절이 필요하다. 현재 광주기와 수온을 인위적으로 조절해 연중 수정란을 생산하는 시스템이 구축 운영되고 있다.

제주도의 경우, 산란 후 휴지기 단계에 있는 넙치 친어를 대상으로, 지하해수를 이용해 연중 17~18℃의 온도 조건을 유지하며, 7월부터 10월까지의 광주기 조건을 조절해 수정란 생산 시기를 관리하고 있다. 광주기 조절 방법은 7월에 14.4L:9.6D의 광주기 조건을 적용한 후, 50일이 지나면 10L:14D의 단일조건으로 전환하고, 이후 90일까지 14L:10D의 장일조건으로 유지하면 넙치의 성 성숙이 유도된다(그림 3-2).

수조 내에서 산란은 하루 중 새벽 해뜨기 전(3~6시)에 가장 활발하게 일어난다. 양식 4년산 암컷 친어 1마리의 산란량은 약 800~1,150만 개에 달하며, 45 cm 체장의 어미는 약 36만 개, 50 cm는 약 50만 개, 70 cm는 약 70만 개 정도이다.

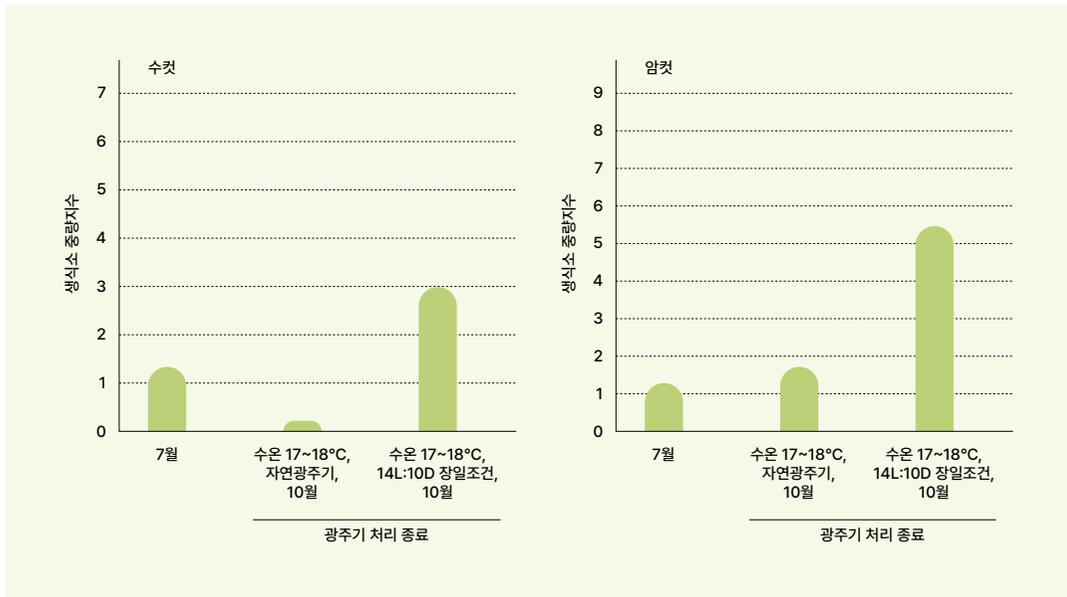


그림3-2 넙치 수컷과 암컷의 생식소 중량지수¹⁾ 변화

출처 | 서종표 외, 2021.

*1) 생식소 중량지수 : 생식소중량/어체중량 × 100 | 체중 대비 생식소가 차지하는 비율로 생식소가 성숙할수록 생식소 중량지수의 값이 증가함¹⁾

(2) 수정란 확보와 관리

산란 초기의 알은 이상 분할이나 여러 개의 유구를 가진 비정상적인 난이 많이 발생하며, 산란량이 적고 부화율이 낮다. 반면, 산란이 끝나가는 시기의 알은 과숙난 등으로 난질이 떨어질 수 있으므로, 산란 중기의 알이 가장 적합하다. 따라서, 종자 생산을 위한 채란은 산란 후 5~7일이 경과한 시점에 정상란의 비율이 높으므로, 이때 실시하는 것이 좋다.

넙치의 알은 분리부성란이므로, 수면 위로 떠 오르며, 표층의 물과 함께 배출된다. 따라서 수정란을 효율적으로 수집하기 위해 별도로 집란조를 설치한다. 집란 시에는 난이 망목에 끼지 않도록 300 μm 정도의 망을 사용하고, 물의 흐름이 일정하게 유지되도록 해 수정란이 집란망의 한쪽으로 몰려 충격을 받지 않도록 주의해야 한다. 망에 수집된 수정란은 메스실린더에 부어 부상란과 침하난을 분리한 뒤 계수하고, 부상란은 깨끗한 해수로 세척한 후 부화조로 옮긴다.

수정란의 계수는 물기를 제거한 상태에서 1 g당 1,300~1,600개로 산정한다.

수정란은 여과된 해수를 채운 비닐주머니에 넣어 밀봉하며, 수용 밀도는 봉지당 15 L에 20~30만 개를 기준으로 한다. 수송 시 수온은 산란 당시의 수온과 같게 유지해야 하며, 수송 중 급격한 수온 변화를 방지하기 위해 스티로폼 박스에 얼음봉지를 넣어 운송한다.

수정란의 수송 기간은 당일 산란한 경우 15~20시간 정도는 문제가 없으나, 산란 후 1~2일이 경과한 경우에는 도중에 부화해 폐사하거나 운송으로 인한 기형어 발생률이 높아질 수 있다. 그러나, 수송 시간이 짧다면 수정 후 1일이 경과한 후에 수송하는 것이 난질 보존에 유리하다. 운송 후 수정란을 부화수조에 넣을 때는 수온을 산란 당시와 비슷하게 맞추는 것이 중요하다. 수정란의 전국 평균 수용 밀도는 13,230개/m³이다.

(3) 수정란의 부화와 자어 관리

넙치 부화에는 지수식과 유수식 방법이 있으며, 유수식이 주수와 폭기를 약하게 유지해 수질 악화를 어느 정도 방지할 수 있어 더 많이 사용된다. 수정란은 염분농도가 28 psu 이하일 경우 침강하므로, 염분농도를 29 psu 이상으로 유지해야 한다. 부화를 위한 수온은 18~22℃이며, 적정 부화 수온은 18~20℃이다. 수온 19℃에서 부화에 걸리는 시간은 50~60시간이다. 수온에 따른 기형 부화율은 13~19℃에서는 거의 차이가 없고, 20℃ 이상에서는 수온이 높을수록 기형률이 높다.

부화한 자어의 전장은 2.1~2.9 mm 내외이며, 부화 후 3~4일이 지나면 난황이 거의 흡수되고 전장은 3.7 mm 내외가 된다. 난황 흡수 기간 동안 안점에 흑색 소포 등 색소들이 집착되면서 눈이 검은색으로 변하며 입과 항문이 열리기 시작한다. 입이 열리면서 먹이를 섭취하기 시작하며, 부화 후 12일이 지나면 후두부에 기초의 원기가 나타나고 소화관이 완전히 회전하며, 이때 전장은 5 mm 내외이다. 전장이 10 mm 내외가 되면 등지느러미 앞부분의 5개 조의 기초가 발달하고 치아도 분화하며, 오른쪽 눈이 이동하기 시작한다. 이때는 소화기가 복부에

거의 빈틈없이 딱 차게 된다. 전장이 13 mm 내외가 되면 변태가 완료되며, 이때 까지 걸리는 기간은 수온에 따라 다르나 24~35일이 걸린다. 또한, 전장이 20 mm로 자라는 데까지 걸리는 기간은 수온이 19℃일 경우 1개월에 불과하지만, 수온이 13℃일 경우 약 3개월이 소요된다.

표3-1 수온 18℃ 일 때 수정 후 부화소요 시간

발생단계	소요시간(h)
2세포기	1.0
4세포기	2.0
8세포기	2.5
16세포기	3.0
초기 상실배	5.5
후기 상실배	7.0
포배기	8.5
배체 명확	25.0
체절 분화 진행	27.5
심장 박동 개시	35.0
부화	49-50



그림3-3 넙치 난 발생

다. 종자 생산 관리

종자 생산관리에서 중요한 요소는 착저기 이전과 이후의 사육 방식으로 나뉜다. 착저기 이전에는 자어가 떠다니며 생활하기 때문에 적절한 수온과 수질 관리를 통해 안정적인 성장을 돕는 것이 중요하다.

이 시기에는 먹이생물의 관리 및 영양강화를 통해 백화현상과 기형 발생률을 줄이는 것이 핵심이다. 특히 서해안에 있는 양식장의 경우 조수간만의 차로 인해 수온이 변동할 수 있으므로, 수온 상승을 예방하기 위해 사육수를 미리 확보하거나 대체 수원을 활용하는 등의 조치가 필요하다.

착저기 이후에는 자어가 바닥에 정착하면서 사육환경이 바뀐다. 이 시기에는 수조 바닥의 청결을 유지하기가 어려워지기 때문에, 착저 직전에 수조 바닥을 철저히 청소하는 것이 필수적이다. 또한, 착저 후에는 자어의 생존율을 높이기 위한 관리에 중점을 두어야 한다

(1) 착저기 이전 사육

(가) 사육수조

착저기 이전의 자어 사육시설 크기는 생산 규모와 사육 방법에 따라 달라지며, 일반적으로는 소형 수조에서 고밀도로 사육하다가 변태 전후로 분조해 수조의 수를 늘리거나 대형 수조로 옮기는 방식으로 진행한다. 수조의 형태는 원형, 장방형, 정방형 등이 있지만, 물의 흐름과 교환율, 침전물의 배출을 고려할 때 중앙배수식 원형수조가 가장 효율적이다. 수조 깊이는 약 1 m가 적당하며 수위는 0.8 m가 적당하다. 사료와 찌꺼기의 배출을 쉽게 하기 위해 배수구 쪽으로 완만한 구배를 두는 것이 좋으며, 구배 비율은 8×8 m 사각수조 기준으로 15~20 cm의 구배를 주는 것이 적당하다.

(나) 사육환경

사육환경은 넙치의 성 결정과 성장 과정에 중요한 영향을 미친다. 넙치는 XX-XY형 성 염색체를 갖는 응성이형배우자형 어종으로, 유전적 성 결정 기구를 기본으로 하지만 외부 환경 요인, 특히 수온에 따라 성비가 변동될 수 있다.

넙치의 성적 미분화 시기에 고수온 환경에서 사육하면, 유전적으로 암컷(XX)이라 할지라도 수컷으로 전환되는 현상이 나타난다. 연구에 따르면, 부화 후 30일부터 90일까지 60일간 다양한 수온 조건에서 사육한 결과, 대조군(18~20℃)에서는 암컷 비율이 97.8%, 수컷 비율이 2.2%였으나, 24℃ 조건에서는 수컷 비율이 86.6%, 27℃ 조건에서는 90.0%로 증가하였다(이영돈 외, 1994). 이는 초기 사육 수온 관리가 성비 조절에 있어 결정적인 역할을 한다는 것을 보여준다(그림3-4).

또한, 수온은 착저 시기에도 영향을 미친다. 변태와 착저 과정은 수온에 따라 속도가 달라지며, 18℃에서 사육할 경우, 약 32-35일 후에 착저가 이루어지며, 19℃에서는 약 28~32일 후에 착저가 진행된다. 20℃에서는 24~28일 후 변태와 착저가 완료되며, 일반적으로 종자생산장에서는 20℃로 사육하는 경우가 많다. 21℃에서는 약 21~24일로 가장 빠르게 착저가 완료된다.

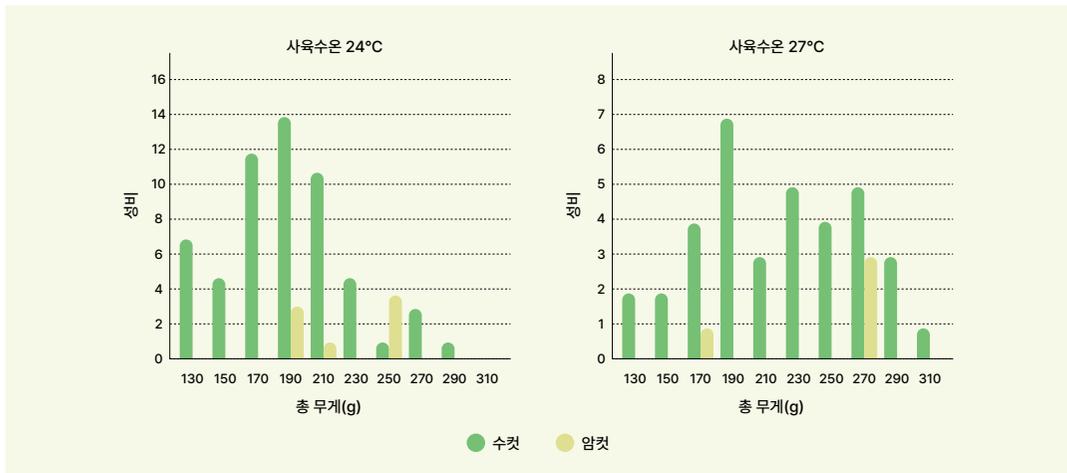


그림3-4 자성발생 넙치의 사육수온에 따른 성비 변화 (대조군: 암컷 97.8%, 수컷 2.2%)

출처 | 이영돈 외, 1994.

(다) 사육수 관리 및 배수 시설

사육용 해수는 모래여과기를 통과시킨 후 자외선이나 오존 장치 등의 살균 과정을 거쳐 사용하는 것이 좋다. 사육수는 고압모래여과기를 통과한 뒤 5~10 μm 카트리지 필터로 다시 여과한 해수를 사용하며, 부화한 자어에게 충격을 주지 않기 위해 처음에는 사육수를 소량만 추가하고, 자어가 성장함에 따라 점차 환수를 늘린다.

지수식 사육의 경우도 수질 상태에 따라 일부 환수를 진행하며, 일반적으로 1일 사육수의 20~50% 정도를 환수한다. 유수식 사육 시에는 전반기에 1일 0.3~1회전, 후반기에 1.1~3.5회전으로 사육수를 교환하며, 이는 자어의 유영력, 사료 섭취 상태, 수온 및 수질을 고려해 결정한다. 대부분의 사육자는 현장의 상황과 경험을 바탕으로 유수 여부와 교환율을 정한다.

고밀도 사육의 경우에는 유수식으로 빨리 전환하는 것이 수질 관리에 유리하다. 유수식 사육시기와 사육수의 교환율은 자어의 유영력, 먹이생물의 유출, 수온 변화, 수질 상태 등을 고려해 결정한다. 폭기(aeration)는 에어스톤을 저면적 1~5 m²당 1개의 비율로 설치하고, 폭기량은 초기에는 아주 약하게 하다가 개체가 성장함에 따라 서서히 증가시킨다.

배수시설은 중앙에 설치된 배수관에 망목을 설치해 진행한다. 자어의 성장에 따라 배수구의 망목 크기를 점차 넓히며, 유영력이 약한 자어가 망목에 걸리지 않도록 하는 것이 중요하다.

(라) 사육밀도

사육밀도는 고밀도 사육 시에는 7~10만 마리/m²로 하며, 착저기 전에는 1~1.5만 마리/m² 정도가 적당하다. 성장함에 따라 일정 수용밀도 이상이 되면 여러 개의 수조로 분조한다. 적정 사육밀도에 관한 명확한 기준은 없으나 부유 자어기, 즉 착저 이전(전장 8 mm)까지는 톤당 5~10만 마리의 고밀도 사육이 가능하며, 이 시기의 생존율은 60~95%이다.

한편, 부화 자어부터 전장 20~30 mm까지 한 수조에서 계속 사육할 시 적정 사육밀도는 톤당 1~3만 마리이며, 이때까지의 생존율은 특별한 문제가 발생하지 않는 한 70% 이상이다. 적정 사육밀도 범위 내에서 자어 수용밀도는 먹이 공급이 충분하면 수조 크기에 따른 성장 차이는 크지 않다.

현장 조사 결과, 50톤 수조를 기준으로 약 80만 마리 전후로 수용하는 경우가 많았으며, 이는 톤당 1.6만 마리에 해당한다.

(마) 먹이 공급 및 영양강화

부화 직후 자어는 유영 능력이 없으며, 난황에서 필요한 영양을 섭취해 생활하기 때문에 먹이를 공급할 필요가 없다. 그러나, 시간이 지나 난황이 흡수되면서 자어는 성장을 시작하고, 부화 후 3일째에 이르면 눈이 발달하고 입이 열리며 소화관이 형성되어 먹이를 먹기 시작한다. 따라서, 먹이를 미리 준비해 개구 하루 전인 부화 2일째부터 먹이를 공급하는 것이 바람직하다.

자어의 초기 먹이로는 로티퍼를 공급하며, 첫 공급 시에는 사육수 1 ml당 2~3마리의 밀도로 공급하며, 자어가 성장함에 따라 로티퍼의 밀도를 점차 늘려간다. 부화 후 12일째에는 사육수 1 ml당 10~12마리의 밀도로 로티퍼를 공급하는 것이 적당하다. 사육수온이 17~18℃일 경우, 부화 후 9~10일째 자어는 알테미아의 노우플리우스기 유생을 섭취하기 시작하므로 이때부터 0.1~3마리/ml의 밀도로 알테미아를 공급하고, 이후 공급량을 점차 늘린다.

알테미아를 단독으로 공급할 때에는 영양분의 섭취가 부족해 자어의 대량 폐사를 초래할 수 있으므로, 로티퍼와 함께 공급하는 것이 좋다. 이때 로티퍼를 먼저 공급한 후 약 30분 뒤에 알테미아 유생을 추가로 공급하는 것이 효과적이다.

갯 부화한 노우플리우스는 3~4시간이 지나면 영양가가 급격히 감소하므로 부화 직후 바로 공급해야 하며, 자어가 섭취하고 남은 유생이 수조에 남지 않도록 적절한 양을 공급하는 것이 중요하다.

알테미아의 경우, 원산지나 채집 시기에 따라 지방산 성분이 달라질 수 있지만, 노우플리우스 유생 단계에서는 불포화지방산(22:6ω3)의 함량이 매우 적으므로 반드시 영양강화를 해야 한다. 영양강화는 넙치와 같은 해산어류의 건강한 성장과 생존에 중요한 역할을 한다. 최근에는 다양한 영양강화제가 개발되어 사용되고 있다. 이를 선택할 때는 사용의 편리성, 영양 보강 효과, 경제성 등을 종합적으로 고려해야 한다. 알테미아는 부화 후 6~8시간 이후 유생이 먹이를 섭취할 수 있는 시점부터 영양강화를 시작하며, 보통 12시간 정도가 적당하다. 로티퍼는 최소 3시간에서 최대 12시간 동안 영양강화가 필요하다.

최근에는 초기 먹이생물 대신 사용할 수 있는 미세 배합사료가 개발되어 초기부터 배합사료를 소량 공급해 먹이붙임을 시도하는 경우도 많다. 이러한 방식을 사용함으로써 백화 개체의 발생률을 줄이고, 변태기에 발생하는 대량 폐사를 어느 정도 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.

그러나, 배합사료로 완전히 대체하지 않았기 때문에 대량으로 공급할 때 폐사율이 높아질 수 있으므로, 먹이생물과 혼합해 사용하는 것이 바람직하다.



그림3-5 먹이생물 배양 (좌: 로티퍼, 우: 알테미아)

(바) 수조 관리

자어가 변태를 완료하기 전까지는 공식현상이 발생하지 않지만, 자어의 크기 차이가 크게 벌어지면 착저 이후 공식현상이 심해질 수 있다. 이를 방지하기 위해 충분한 먹이 공급과 적절한 사육밀도 조절이 필요하다.

수조 청소는 주로 사이펀 방식을 사용하며, 사육밀도와 방법에 따라 빈도가 달라진다. 고밀도로 사육할 경우 1~3일에 한 번씩 수조 청소가 필요하고, 저밀도로 사육할 경우 착저 전까지 1~3회 정도 청소를 실시한다. 착저 이후에는 수조 바닥 청소가 어려워지므로, 착저 직전에 최소 한 번은 바닥 청소를 철저히 해야 한다.

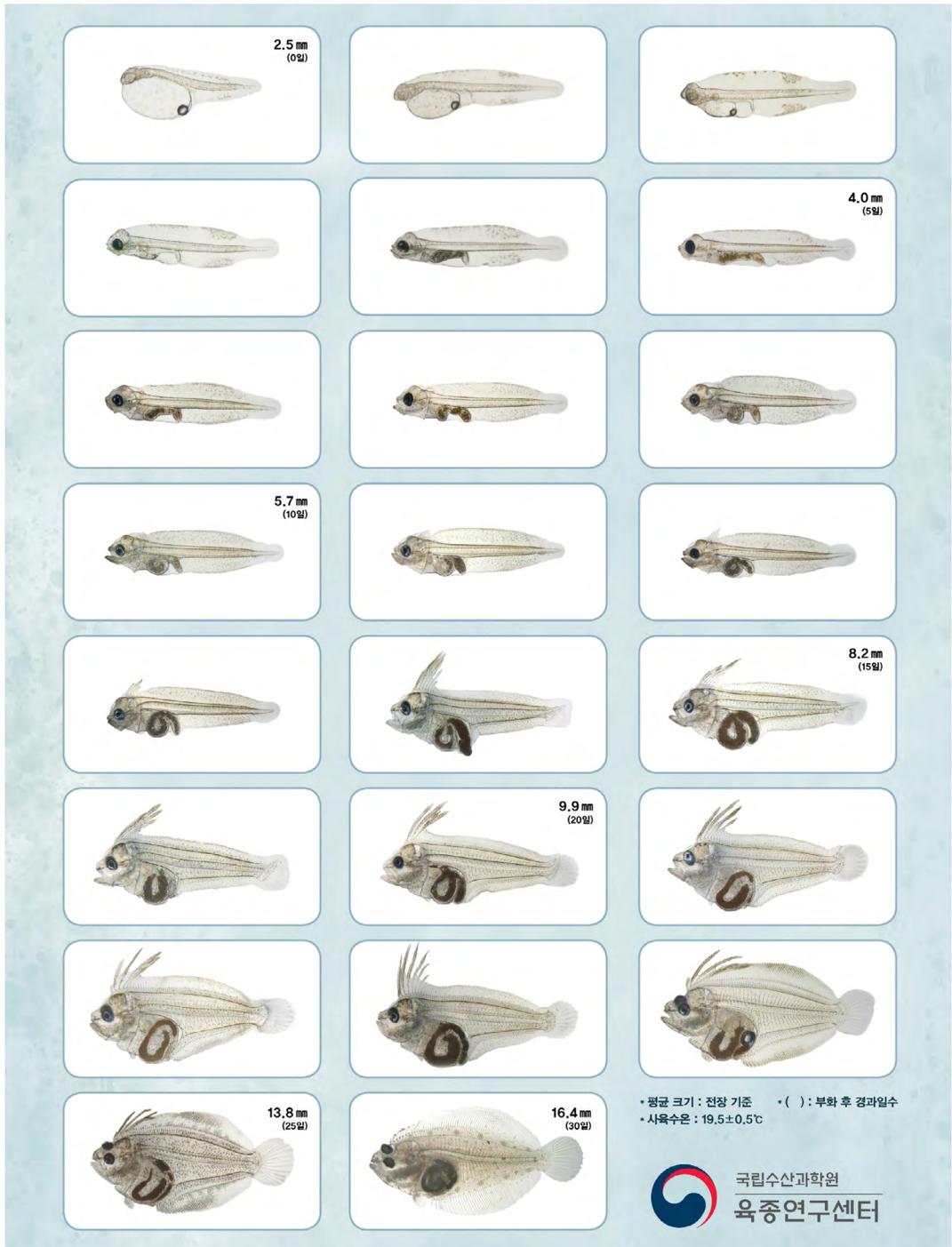


그림3-6 넙치 부화자어에서 변태 완료까지의 외형 변화

(2) 착저기 이후 사육

변태를 완료해 저서생활로 들어간 크기부터 양식용 종자(전장 5~7 cm 정도)까지의 사육은 일반적으로 육상수조에서 이루어진다. 이 시기에는 수용밀도가 지나치게 높아 먹이가 부족하게 되면 성장이 느린 개체는 체색이 흑색으로 변하고 수면 위를 힘없이 유영하며, 공식에 의한 폐사율도 높아지게 된다. 그러므로, 적정 사육 밀도 유지와 함께 충분한 먹이를 공급해야 하며, 크기 선별도 대단히 중요하다.

(가) 사육수조

치어를 기를 때, 자어 사육수조를 그대로 쓰는 경우도 있고, 새로운 수조로 옮기기도 한다. 소형 수조(10톤 이하)는 치어를 가까이서 관찰하거나 바닥 청소, 먹이 주기 등의 관리가 편리하다. 그러나, 높은 밀집도로 인해 수질이 빠르게 악화되고, 사육환경이 나빠질 수 있다. 반면, 대형 수조(100~200톤)는 사육 밀도가 낮아 먹이 공급량이 적고 수질 문제로 인한 폐사 위험도 낮다. 그러나, 넓은 면적을 관리해야 하므로 작업시간이 많이 소요되며, 인력도 더 필요하다.

일부는 사각형 수조에 가두리를 설치해 문제를 해결하려 하지만, 수류 방해로 질병이 생길 수 있어 요즘은 잘 사용하지 않는다. 또한, 가두리를 설치하면 사육 밀도가 반으로 줄어들어 비효율적이지만 바닥 청소가 쉬운 장점도 있다.

(나) 사육환경

착저기 이후(부화 후 35일부터 70일까지)의 적정 수온은 18~20℃이며, 사육수의 환수율은 먹이의 종류와 양, 배수 방법, 사육밀도, 수온 등을 고려해 조절한다.

염분농도는 체장이 증가함에 따라 저염분에 대한 내성이 강해져 착저한 치어에서는 20% 해수(염분농도 6.7 psu)까지, 전장 25~30 mm에서는 5% 해수(염분농도 1.8 psu)까지 내성이 있어 이들 농도에서 24시간까지의 생존율은 100%이며, 먹이도 잘 섭취한다(安永·興石, 1980).

또, 전장 12.5~70 mm는 50~75% 해수에서도 성장하므로 담수 영향이 다소

있는 곳이라도 사육에는 문제가 되지 않는다.

(다) 사육밀도

사육밀도는 크기에 따라 적절하게 조절해야 한다. 전장이 13~15 mm일 때 약 5,000마리/m², 전장 30 mm 내외일 때는 1,000~2,000마리/m²가 적당하다.

다만, 사육 밀도가 지나치게 높으면 공식(共食) 현상이 발생해 생존율이 저하될 수 있으므로 주의해야 한다. 자치어의 공식은 전장 20 mm 내외에서 활력 차이, 공간 경쟁, 먹이 경쟁 등으로 인해 발생하므로 크기에 따라 선별해 사육하는 것이 좋다. 선별 시 또는 선별 후에는 항생제로 약욕을 실시해 질병 발생을 예방할 수 있다.

(라) 먹이 공급

수온 19~20℃ 기준으로 부화 후 33일이 경과하면 자치어는 생물 먹이에서 배합사료로의 완전한 전환 시기에 도달한다.

이 시기에는 자어의 먹이 섭취량이 증가하면서 성장이 가속화되며, 부화 60일 경에는 전장 약 50 mm 내외, 부화 80일경에는 약 70 mm 내외로 성장해 양성용 종자로 사용된다. 고수온기에는 먹이 공급량 증가로 인한 수질 악화로 치어의 대량 폐사가 발생할 가능성이 크므로, 특별한 주의를 요한다. 이 시기에는 사육수의 환수량을 늘리고, 수조를 항상 청결히 유지하며 치어의 유영상태와 먹이 섭취 활동을 세심하게 관찰하는 것이 중요하다.

표3-2 넙치 자어의 사육 수온에 따른 착저 시기

수온(°C)	착저 시기
17	42일 이상
18	33-36일
19	27-30일
20	24-26일
21	20-23일
22	18-21일

출처 | 아쿠아프로(주) 조사 자료, 2024.(미발표)



그림3-7 넙치 초기 사육 단계의 먹이 공급 일정(17~20°C 기준)

출처 | 아쿠아프로(주) 조사 자료, 2024.(미발표)



04. 양성



04. 양성

가. 종자 입식

넙치 양성에 있어 종자 입식은 이후 성장과 생존율에 직접적인 영향을 미치는 중요한 단계이다. 일반적으로 넙치는 암컷이 수컷보다 성장 속도가 빨라, 종자 구입 시 암컷에 대한 선호도가 높다.

넙치 종자 입식 시기는 지역별 환경 조건에 따라 다르게 결정된다. 완도 지역에서는 수온이 상승하는 4월에서 5월경에 입식하는 것이 일반적이다. 반면, 제주도에서는 지하해수를 활용할 수 있는 양식장을 중심으로 봄철(3~4월)뿐 아니라 9월 중순에서 10월 초순에도 종자의 입식이 이루어진다.

종자를 선택할 때는 종자의 사육관리에 대한 정보(사육 수온조건 등) 확보와 건강한 개체를 선별하는 것이 가장 중요하다. 건강한 종자는 색이 밝고 체표 무늬가 선명하며, 유영이 활발하고 먹이 섭취가 왕성하다. 이러한 특성을 갖춘 종자는 이후 성장 단계에서 높은 생존율과 성장 속도를 보인다.

입식 전날에는 먹이 공급을 중단해 소화관을 비워둠으로써 입식 과정에서 발생할 수 있는 스트레스를 줄여야 한다. 입식 작업은 최대한 신속하고 부드럽게 진행해야 하며, 넙치가 상처를 입거나 과도한 스트레스를 받지 않도록 주의해야 한다. 이처럼 체계적이고 세심한 입식 과정은 양식 초기 단계에서 건강하고 안정적인 성장을 보장하는 핵심 요소이다.

(1) 치어(7~8 cm) 입식

치어 입식은 7~8 cm 크기의 어린 넙치를 입식해 일반적으로 약 1년 이상의 양식 기간을 거쳐 출하하는 방법이다. 치어 입식의 장점은 초기 비용이 상대적으로 낮다는 점이다. 그러나, 치어는 크기가 작아 초기 양식 단계에서 세심한 관리가 필요하다. 수온, 용존산소, 먹이 공급 등 사육환경을 철저히 관리해야 치어의 생존율을 높일 수 있다. 최근에는 이러한 관리 부담과 생존율 문제를 보완하기 위해 중간육성어 입식을 선호하는 경향이 증가하고 있다.

(2) 중간육성어(15~20 cm) 입식

중간육성어 입식은 양식 기간을 단축할 수 있다는 장점이 있다. 치어를 입식할 경우 최소 1년 이상의 양식 기간이 필요하지만, 중간육성어를 입식하면 출하는 약 9개월 만에 할 수 있다. 최근 중간육성어에 대한 수요는 점차 증가하고 있으며, 과거에는 주로 15~20 cm 크기의 종자를 입식하였으나, 현재는 20 cm 이상의 중간육성어를 입식하는 경우도 늘어나고 있다.

즉, 고수온 등 환경 변화로 인해 치어 입식 시 생존율이 낮아지는 문제가 발생하면서 중간육성어를 선호하는 양식업자가 증가하는 추세이다. 또한, 넙치를 판매할 때 체중이 많이 나갈수록 수익성이 높아 중간육성어를 활용해 대형 넙치를 양성하는 방식이 보편화되고 있다. 이러한 전략을 통해 양식업자들은 빠르게 성장하는 중간육성어를 활용해 1.5 kg에서 최대 3 kg 이상의 넙치를 양성·판매함으로써 넙치의 시장 경쟁력을 높이고 있다.

나. 사육 관리

(1) 사육환경

(가) 수온 관리

넙치 성장에 적합한 수온은 21~24℃로, 이 범위에서 넙치의 먹이 섭취량과 성장 속도가 가장 활발해진다. 수온이 26℃를 넘으면 먹이 섭취가 저하되며, 28℃ 이상이 되면 스트레스 내성이 약해짐으로 질병 발생률이 높아져 폐사율이 증가할 수 있다. 반면, 사육수온 15℃ 이하에서는 대사활동이 급격히 둔화하며, 수온 10℃ 이하에서는 먹이 섭취능력이 저하된다.

수온에 따라 넙치의 먹이 섭취량, 성장 속도, 질병 발생률 등이 크게 달라지므로, 사육환경 관리 시 수온 변화를 정확히 파악하고 이에 맞추어 대응하는 것이 중요하다. 사육환경 관리는 크게 수온 상승기, 고수온기, 수온 하강기, 그리고 저수온기로 구분할 수 있으며, 이들 시기에 따른 적절한 관리 방안이 필요하다.

① 수온 상승기 관리

수온 상승기(봄철~초여름)에는 수온이 점차 상승하면서 넙치의 대사율이 활발해지고 먹이 섭취량이 증가한다. 그러나, 이 시기는 병원성 미생물이 활발하게 번식하는 시기이기도 하므로, 질병 발생률이 높아지는 경향이 있다. 대응 방안으로는 영양강화 사료를 공급해 넙치의 면역력을 높이고 질병에 대한 저항성을 강화하는 것이 필요하다. 또한, 수온이 급격히 상승할 때는 물속 용존산소가 감소할 수 있으므로, 산소공급에 각별히 주의해야 하며, 냉수대 발생을 방지하기 위해 수조의 순환 시스템을 최적화하는 것이 중요하다.

또한, 이 시기는 넙치의 산란기이기도 하다. 특히, 암컷은 성숙하더라도 산란을 제대로 하지 못하거나 산란 후 면역력의 저하로 폐사하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 예방하기 위해 산란 전후로 사육환경을 안정적으로 유지하고, 적절한 관리 방안을 마련해야 한다.

② 고수온기 관리

고수온기(한여름)에는 수온이 28℃ 이상으로 상승하는 경우가 많으며, 이로 인해 넙치의 먹이 섭취가 줄어들고 대사율도 낮아진다. 이 시기에는 먹이 공급을 최소화하고, 사료에 종합비타민제 및 면역증강제를 첨가해 공급함으로써 넙치의 건강 상태를 유지하는 것이 중요하다. 또한, 고수온으로 인해 물 속 용존산소가 급격히 감소할 수 있으므로 사육수의 용존산소 농도를 지속적으로 모니터링하고, 필요 시 산소공급 장비를 적극적으로 활용해 산소농도를 적절히 유지해야 한다.

그리고, 여름철은 적조 발생이 빈번한 시기이므로 양식장의 수질 변화를 수시로 점검해야 한다. 적조가 발생할 가능성이 커지면, 조류 필터나 적조 방지 장비를 사전에 준비해 적극적으로 대응해야 한다.

특히, 2년생 이상의 넙치는 고수온이 오기 전에 사육밀도를 적절히 낮추어 주어야만 체중 감소를 방지할 수 있다.

표4-1 넙치 성장 단계 및 수온별 사료 공급량(%)

구분		
고수온 이전	연락체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> 지자체 및 국립수산과학원 등 담당자 연락체계 구축
	사육현황 파악	<ul style="list-style-type: none"> 전체 사육량 및 출하물량 파악
	사육 관리	<ul style="list-style-type: none"> 조기 출하 및 분산으로 사육밀도 조절 양질의 먹이, 영양제 공급 및 질병관리 강화 급격한 수온 변화 시 사료공급량 감소 사육수온 및 용존산소량(유입수, 배출수) 수시 측정 *국립수산과학원 수온정보서비스 어플로 확인 가능 액화산소 등 산소공급량 증가(하절기 상시 공급) 사육수조 청소
	시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> 취수구, 취수관, 집수정, 저수조 점검 및 청소 양수기, 산소발생기, 벤츄리, 냉각기, 발전기 등 장비 점검 안심벨 설치(정전, 각종 기기, 수온 이상상승·하강, 용존산소 5 ppm 이하 감소) 및 가동 통풍장치 설치
고수온 발생	사육 관리	<ul style="list-style-type: none"> 사료공급 중단 *아침수온이 낮거나 일시적 수온 하강시에도 사료 중단 액화산소 등 충분한 산소 공급 수온이 낮은 지하해수 주입 등
	시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> 산소공급장치 등 가동 확대 통풍장치 가동 및 창문 개방 냉각기 가동 등
폐사발생시		<ul style="list-style-type: none"> 신속한 피해발생 신고 및 폐사체 처리

출처 | 국립수산과학원, 2020.

③ 수온 하강기 관리

수온 하강기(가을철)에는 수온이 점차 낮아지면서 넙치의 먹이 섭취량이 증가하고, 성장 속도와 대사율이 모두 높아진다. 이 시기는 넙치가 1년 중 가장 많이 성장하는 시기이므로, 성장을 극대화하기 위한 사육 관리가 중요하다. 그러나, 급격한 수온 변화는 넙치에게 스트레스를 줄 수 있으므로 사육환경을 안정

적으로 유지하는 것이 필수적이다. 특히, 수온이 지나치게 하강하지 않도록 세심한 관리가 필요하며, 사육수조 내 온도를 적절하게 조절함으로써 넙치가 최적의 성장환경에서 자랄 수 있도록 해야 한다.

④ 저수온기 관리

저수온기(겨울철)는 수온이 12℃ 이하로 떨어지는 시기로, 이때에는 넙치의 먹이 섭취가 거의 중단되고 대사활동이 크게 둔화한다. 이 시기에는 넙치의 성장보다는 월동 관리를 철저히 해 이듬해 봄에 건강한 성장과 높은 생존율을 도모하는 것이 중요하다.

표4-2 냉수대 대비 넙치 육상 양식장 관리 요령

관리 요령
<ul style="list-style-type: none"> • 냉수대 발생 전 저수조에 사육수 저장 • 환수량을 감소시켜 사육수의 급변 방지

출처 | 국립수산과학원, 2020.

(나) 용존산소 관리

넙치의 건강한 성장을 위해서는 물속 용존산소(DO) 농도가 4.5~5.0 mg/L 이상 유지되어야 한다. 용존산소가 2.0 mg/L 이하로 떨어질 때 넙치는 심각한 스트레스를 받아 생존율이 낮아지며, 1.0 mg/L 이하에서는 대량폐사할 수 있다. 특히 용존산소 농도는 고수온기와 같은 시기에 관리가 중요하다. 이 시기에는 물속의 산소용해도가 낮아지므로, 산소공급 장치를 가동해 적절한 용존산소 농도를 유지해야 한다.

(2) 사육밀도

넙치의 사육밀도는 성장과 생존율에 큰 영향을 미친다. 그러나, 사육환경에 따라 환수량, 수조 크기, 먹이 종류, 공급 방법, 그리고 사육 기술 등 여러 요인이 달라짐으로 사육밀도를 표준화하기는 어렵다. 최근 양식 시설의 발달로, 과거보다 수조 구매가 줄어들어 넙치를 사육할 수 있는 공간이 확대되었으며, 이는 수용 밀도를 높이는 데 기여하고 있다.

일반적인 10 m × 10 m 수조 기준으로 어체중에 따른 최대 사육 밀도를 표 4-3과 같이 제시할 수 있다

표4-3 넙치의 사육밀도

크기	사육밀도(10 m x 10 m 수조 1개 기준)	
	체중(g)	총 중량(kg)
	마리수	
50	8,000 ~ 9,000	400 ~ 450
100	5,000 ~ 6,000	500 ~ 600
200	4,000 ~ 5,000	800 ~ 1,000
300	3,500 ~ 4,000	1,050 ~ 1,200
500	3,000	1,500
1,000	2,500	2,500
1,500	1,400	2,100
2,000	1,200	2,400
3,000	1,000	3,000

(3) 환수량

사육수 환수량은 사육밀도와 사육환경에 따라 차이가 있다. 일반적으로 환수량은 수조 내 수질을 유지하고 고형물을 효과적으로 제거하기 위해 필수적인 요소로 작용한다. 양식장 규모와 설비에 따라 환수량을 조절하는 것이 중요하다.

환수율이란 사육수조의 물을 얼마나 자주 교환하는지를 나타내는 비율로, 하루에 수조 전체 수량을 몇 번 교환하는지를 기준으로 한다. 예를 들어, 환수율이 20회전이라면, 수조 총 물량의 20배에 해당하는 물량이 하루에 교환된다는 의미이다. 넙치 양식장의 1일 환수량은 10~30회전이며, 평균 약 24회전으로 조사되었다.

양식장 규모가 1,000평(약 3,300 m²)인 경우, 수조의 수위가 1 m라고 가정하면 총 물량은 약 3,300톤이 된다. 펌프의 유량이 시간당 1,000톤이라고 가정할 때, 하루에 필요한 환수량(약 79,200톤, 24회전 기준)을 확보하기 위해서는 150마력의 최소 4대의 펌프가 필요하다.

이처럼, 양식장의 규모와 수조 설계에 따라 적절한 환수량과 환수율을 계산하고, 필요한 유량의 펌프를 확보하는 것이 중요하다. 적절한 환수량 관리는 사육수조의 수질 개선과 어류의 건강 유지에 기여한다.

(4) 영양

(가) 넙치의 먹이 습성

어류는 식성에 따라 소화기관의 형태가 다른 양상을 보인다(그림 4-1). 넙치의 소화기관은 잡식성 및 초식성 어류보다 장의 길이가 현저히 짧은 육식성 어류의 특징을 잘 보여준다. 넙치의 자연 상태에서의 먹이는, 치어기 때는 요각류, 젓새우류 등의 소형 갑각류부터 성장함에 따라 작은 어류, 새우류, 두족류 등을 섭취하는 포식성 어류로 알려져 있다. 태안 연안에 서식하는 넙치의 위 내용물을 분석한 결과, 멸치, 쥐노래미, 민태, 웅어, 조피볼락, 황강달이, 쉬쉬망둑, 논어, 돛양태류 등 어류가 가장 높은 빈도로 발견되었고, 새우류, 두족류, 곤쟁이

류, 갯지렁이류 등 다양한 바다생물을 먹이원으로 섭취하는 것으로 나타났다. 서식 환경에 따라 먹이원이 다르게 분포할 수 있으며, 생물 분포도에 따라 주요 먹이원은 바뀔 수 있는 것으로 보인다. 소화기관의 형태 및 자연산 개체의 위 내용물 조사 결과에서도 알 수 있듯이 넙치는 전형적인 육식성 어류의 먹이 습성을 가지고 있다(허성희 외, 2010).

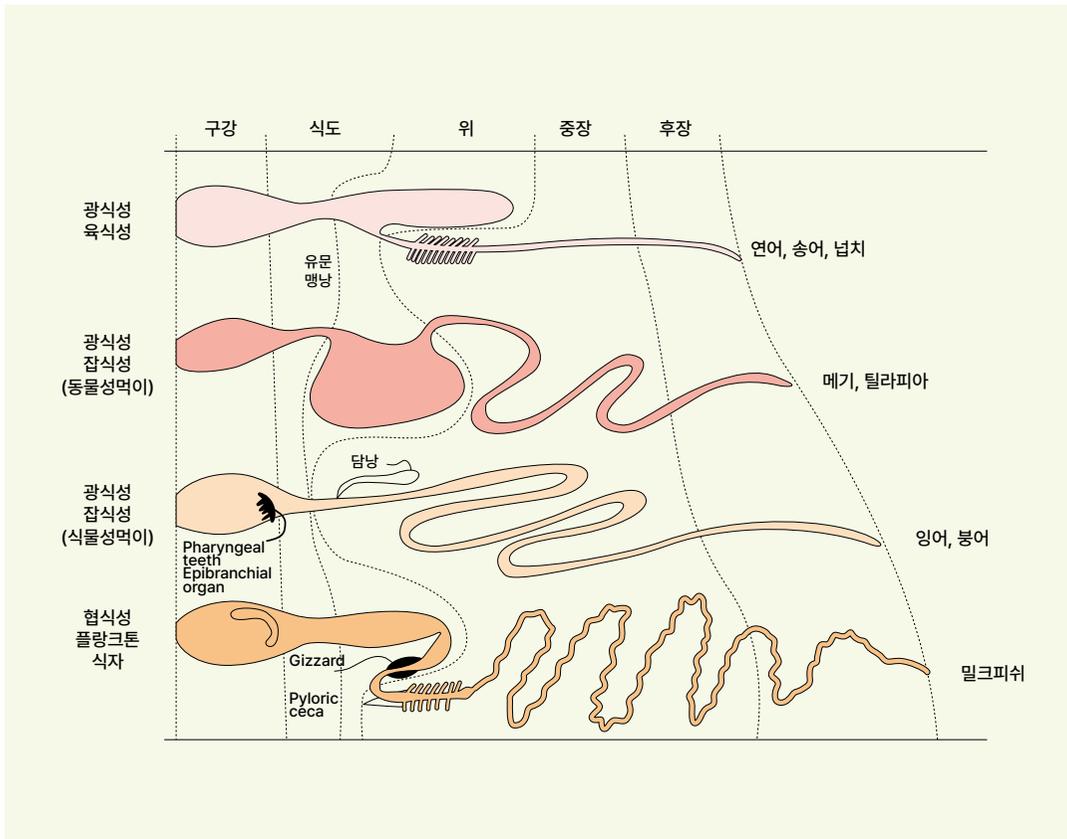


그림4-1 먹이 습성에 따른 어류의 소화기관 형태

출처 | 국립수산과학원, 2016a.

육식성 어류인 넙치는 양식 환경에서도 공격적으로 사료를 섭취하는 경향이 있다. 사료를 수조에 뿌리면 바닥에 있던 넙치들이 일제히 떠오르며 경쟁적으로 사료를 섭취한다. 이때 상대적으로 큰 개체가 먼저 사료를 섭취하고, 작은 개체는 큰 개체가 먹이를 덜 섭취할 때 기회주의적으로 사료를 먹는다. 따라서, 모든 어류에게 고르게 사료를 공급하기 위해서는 사료를 여러 번 나누어 충분히 공급해야 한다. 최근 연구에 따르면, 활동성이 높은 넙치(bold)와 상대적으로 반응이 느린 넙치(shy)를 두 그룹으로 나누어 종자를 생산한 결과, bold 계통의 자손은 상대적으로 더 빠르게 성장하고, 질병에 대한 저항력이 더 강하며, 식욕도 높았다. 또한 스트레스 호르몬인 코르티솔 수치가 낮은 것으로 나타났다. 따라서, 종자 생산 시 bold 친어를 확보하면, 양식 환경에 더 잘 적응하고 생존율과 성장률이 증가해 양식 생산성을 높일 수 있을 것이다(Yang, K., et al. 2022).

(가) 사료 종류

넙치 양성용 사료는 크게 생사료와 배합사료로 구분할 수 있다. 먼저, 생사료는 어업 활동으로 잡히는 어류 중 상품가치가 떨어지는 비식용 어류를 사용하며, 대상 종으로는 고등어, 까나리, 전갱이, 풀치(어린 갈치), 곤쟁이 등 다양하다. 냉동 상태로 유통되는 생사료 원료는 양식장 냉동고에 보관하였다가 매일 필요량을 펠릿기를 이용해 자가 제조한다(그림 4-2). 펠릿화된 생사료는 수분함량이 60~80%로 매우 높으므로 사료 공급 전에는 냉동 상태로 보관해야 하며, 관리를 소홀히 하면 미생물의 증식과 산패·부패가 쉽게 일어나므로 철저한 관리가 필요하다. 생사료는 물에 닿으면서 바로 녹기 시작하므로 한 번에 많이 공급하거나 과잉 공급하면 사료 유실량이 많아져 수질 악화를 초래한다. 많은 양식장에서 생사료 제조 시 분말사료와 첨가제 등을 혼합해 제조하나, 분말사료 및 첨가제의 종류와 함량에 대한 기준이 정립되어 있지 않으며, 양식장마다 임의로 정해 사용하고 있다. 분말사료는 전분을 기초로 해 비타민, 미네랄, 소화제, 유인물질, 면역증가제 등이 소량 첨가되며, 사료 회사별로 조성이 다양하다. 일부 양식장에서는 어분을 첨가해 생사료를 제조하기도 하며, 첨가되는 원료 및 함량 등은 양식장 운영자의 경험적 판단에 의해 결정된다.



그림4-2 생사료 생산 과정

사료 등의 기준 및 규격(농림축산식품부 고시 제2024-27호)에 의하면 수산 동물용 배합사료(EP, extruded pellet)는 수분함량 14% 이하의 건조사료로서 12개월의 유통기한을 갖는다. 익스투르더(extruder)라는 사료제조기로 생산되며, 넙치의 영양 요구량을 고려해 다양한 동식물성 원료(단미사료) 및 첨가제(보조사료) 등을 혼합하고, 100℃ 이상의 고온과 고압력에서 성형 및 사출해 건조, 냉각, 오일 첨가, 진공포장 과정을 거쳐 제품화된다. 배합사료 등록 기준은 조단백질, 조지방, 칼슘을 최소 함량(%)으로 표기하고, 조섬유, 조회분, 인은 최대 함량(%)으로 표기하도록 고시하고 있다. 물에 뜨는 사료를 부상사료, 가라앉는 사료를 침강사료라 하며, 대부분의 넙치용 배합사료는 부상사료로 생산되고 있다.



그림4-3 다양한 동·식물성 원료 및 첨가제 혼합에 의한 배합사료 생산

반건조배합사료(SEP, soft extruded pellet 혹은 semi-moist pellet (반습 사료))는 수분함량 25% 내외로 70℃에서 사료 제조 후 건조과정을 거치지 않고 바로 냉각처리 후 포장되어 냉동 유통되는 사료를 말한다. 높은 수분함량으로 인해 유통기한이 7일이며, 운반 시 뭉개지기 쉽고, 특히 여름철에는 운반 및 보관 시 산패·변패가 생길 가능성이 커 저온 보관이 필요하다. 과거 일부 지역에서 반건조배합사료를 사용하였으나, 위에 언급된 단점으로 인해 현재는 거의 사용하지 않는다.

일부 넙치 양식장을 제외하고, 대부분의 양식장에서는 치어 시기에 배합사료를 공급하다가 육성기(50~200 g/fish)가 되면 생사료로 전환해 출하 시까지 공급한다. 생사료로의 전환 시기는 정립된 기준이 없으며, 양식장 운영자의 경험적 판단으로 결정한다.



그림4-4 배합사료 제조기(Twin extruder)

(다) 배합사료 공급 방법

어류가 사료를 많이 섭취할수록 어체 성장이 증가할 가능성이 크므로 사료 섭취율 증가는 양식 생산성 증대로 이어질 수 있다. 그러나, 단순히 사료를 많이 먹는다고 해서 어체 성장이 증가하는 것은 아니다. 사료 섭취율은 사료를 구성하는 원료의 품질, 소화율 및 사료 제조기술뿐만 아니라 물리, 화학, 생물학적 환경요인에 의해 많은 영향을 받는다(그림 4-5). 이러한 요인들은 단독으로 영향을 주거나 두 가지 이상의 요인들이 복합적으로 작용한다. 특히, 수온, 성장 단계, 영양소 구성 및 칼로리에 의해 달라지며, 단순히 많이 먹이는 것보다는 영양적으로 균형 잡힌 사료를 적정량 공급하는 것이 경제적이고 효율적이다. 그 외에 사료 내 에너지와 단백질 비율, 원료 선택(소화율), 물성, 사료 공급 방법 등을 통해 사료 섭취율을 높일 수 있다.



그림4-5 사료 섭취율에 영향을 미치는 요인

국내 대부분의 넙치 양식장은 해안선 근처에 위치해 바닷물을 펌프로 끌어와 각 수조로 공급하고, 다시 배출하는 육상수조식 시스템으로 운영되고 있다. 수온은 변온동물인 어류의 사료 공급량을 결정하는 중요한 수질 요인이지만, 사계절이 존재하는 국내 환경에서는 계절변화에 따라 수온이 크게 바뀌는 단점이 있다. 넙치의 대사활성이 가장 활발한 수온은 21~24℃이며, 이보다 수온이 오르거나 떨어지면 사료 섭취량이 점차 감소하고, 미성어기의 경우 수온 10℃ 이하부터는 사료 섭취량이 급격히 떨어진다. 또한 수온이 상승하면 산소포화도가 감소하기 때문에 수온 28℃ 이상부터는 사료 공급을 중지하는 것이 좋다. 표 4-4

는 국립수산과학원에서 다년간 사료 공급 실험을 통해 구축한 넙치의 수온별 및 성장 단계별 사료 공급량을 제시하고 있다. 국내 넙치 양식장은 권역별로 양식 환경이 다르고, 사료 품질도 제조 회사별로 다르므로 표 4-4에 제시된 사료 공급량은 모든 양식장에 동일하게 적용될 수는 없으며, 양식장별 특성에 맞추어 적정 사료 공급량을 설정하기 위한 참고용으로 활용해야 한다.

표4-4 넙치 성장 단계 및 수온별 사료 공급량(%)

수온(°C) 체중(g)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
5	2.3	2.8	3.4	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4	4.3	4.2
10	1.8	2.4	2.8	3.1	3.3	3.4	3.5	3.7	3.8	3.7	3.6
20	1.2	1.5	2.3	2.6	2.7	2.8	3.0	3.2	3.3	3.0	2.9
30	1.2	1.4	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.5	2.4
40	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.3	2.4	2.3	2.2
50	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.3	2.2	2.1
100	0.7	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.0	2.0
200	0.6	0.9	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	1.9	1.8
300	0.6	0.6	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.4
400	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4
500	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	1.0	1.3	1.4	1.5	1.4	1.3
600	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.0	0.9
700	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8
800	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.7	0.5
900	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6	0.5

출처 | 국립수산과학원, 2016a.

우리나라는 수질환경이 해역별로 다르므로 양식장 위치는 어류의 생육환경을 결정하는 중요한 요인이 되며, 이에 따라 시기별 사료 공급량도 영향을 받는다. 국내 넙치 양식의 주산지는 제주도와 전남 완도이다. 포항의 경우, 과거에는 넙치 양식을 하였으나 현재에는 강도다리 양식이 주로 이루어지고 있다. 동해안의 경우 냉수대의 영향이 빈번하며, 전남과 서해안은 해수에 뻗어 함께 유입되어 수질이 혼탁하고 겨울철 수온이 10℃ 이하로 다른 지역에 비해 크게 떨어지는 특징이 있다. 제주도는 동남쪽 지역에서 17℃(14.5~18.4℃) 내외의 지하해수가 용출되기 때문에 연중 사육수온을 적정 사육 범위로 유지할 수 있어 연중 약 1 kg까지 생산할 수 있다. 완도 지역은 12월 중순 수온이 15℃ 이하로 내려가면서 사료 섭취량이 감소하므로, 1월부터 4월 중순까지 월동기에 가깝게 사료를 간헐적으로 공급한다. 완도산 넙치는 치어부터 출하까지 통상 18개월에서 24개월에 걸쳐 생산하였으나, 최근에는 300~600 g의 중간 육성어를 입식해 당해 연도에 출하하는 사례가 늘어나고 있다.

양식 현장에서는 넙치가 사료를 충분히 섭취할 수 있도록 사료를 공급하며, 성장 단계에 따라 사료 공급 횟수를 달리해 공급한다. 대사 속도가 빠른 치어 시기에는 하루 3~5번에 걸쳐 사료를 공급하며, 육성기, 성어기로 성장하면 하루 1~2번 공급한다(표 4-5). 변온동물인 어류는 수온에 따라 대사 속도가 바뀌므로 연중 수온 변화에 맞추어 사료 공급량과 횟수를 조절하는 것이 일반적이다.

표4-5 넙치 배합사료의 월별 공급량, 공급 횟수 및 사료 크기

	2월	4월	6월	8월	10월	12월	익년2월
수온(°C)	15.2	17.7	21.5	27.2	22.7	18.0	14.9
어체크기(g)	6.4	36.0	94.0	231.0	452.0	686.0	835.0
공급량(%)	5.8	1.3	2	1.8	1.3	0.4	0.2
공급횟수	5	3	3	3	2	1~2	1~2
사료크기(mm)	2~3	4~5	5~6	8~9	10~11	12~13	16~18

출처 | 국립수산과학원, 2016a.

일반적으로 양식장에서 키우는 넙치는 저수온기, 고수온기 및 질병이 발병한 경우를 제외하고는 매일 사료를 공급한다. 육식동물 대부분은 자연에서 기회주의적 포식 행동을 하는 것과 같이 넙치 역시 자연에서 기회주의적으로 먹이를 섭취한다. 이러한 넙치의 먹이 습성을 이용하면, 양식 생산성을 높일 수 있다. 보고된 연구에 의하면, 1~3주간 절식 후 사료를 공급한 그룹과 16주간 매일 사료를 공급한 그룹 간 성장 차이는 나타나지 않았다(Cho S. H., et al. 2012).

따라서, 양식 시기, 환경 및 경영 여건에 맞추어 사료를 간헐적으로 공급할 경우, 양식비용(인건비, 사료비 등)은 줄이고, 성장 속도는 높일 수 있을 것이다. 또한, 사료를 너무 과잉 공급하면 면역력 감소로 질병에 취약할 수 있으므로 냉수대 발생, 저수온, 고수온, 급격한 수온 변동, 태풍, 적조 및 질병 징후 등을 인지하였을 때는 사료 공급량을 줄이거나 단식하는 것이 바람직하다.

(라) 배합사료 직불제

해양수산부는 2004년부터 환경친화형 양식 배합사료 활성화 정책을 추진해 오고 있다. 생사료 사용으로 인한 어족자원의 고갈, 바다 오염, 수산물의 식품 안전성 등의 문제를 해소하기 위해 다양한 사업을 추진하고 있다. 이 중 배합사

료 지원사업은 생사료에서 배합사료로 전환해 어류를 키우는 사업자에게 배합사료 비용 일부를 지원하는 사업이다. 2013년부터 2020년까지 배합사료 시범사업을 통해 100% 배합사료를 사용하는 시범양식장에는 사료비용의 일부를 국비와 지방비로 지원하였다. 2021년부터는 배합사료 직불제가 시행되고 있는데, 수산자원 보호, 해양환경 보전 등의 공익적 의무 이행을 통해 지속가능한 양식업 생산 체계를 확립하려는 취지를 가지고 있다.

신청 자격은 어업경영정보를 등록한 어업인, 어업법인, 생산자단체 및 양식업의 면허 또는 양식업의 허가를 받아 어류 양식업을 경영 중인 어업인, 생산자단체(수협, 어촌계, 영어조합법인, 협업 등), 유한회사 및 주식회사로서 육상수조식 및 해상 가두리 양식장에서 넙치류, 가자미류, 볼락류, 돔류 등을 사육하는 양식장이 해당한다.

어종별 품질기준과 지원 단가는 표 4-6과 같다. 지원 대상 사업자는 배합사료 공급업체로 등록한 업체의 제품을 사용해야 하며, 배합사료 관리시스템을 통해 등록된 최소 품질기준에 부합하는 배합사료만 사용해야 한다. 배합사료는 「사료관리법」 제12조 및 같은 법 시행규칙 제12조의 규정에 따라 배합사료만 해당하며, 분말사료 및 미립자(크럼블 등) 배합사료는 대상에서 제외된다. 지원 한도는 어가(경영체)당 최대 2.3억 원까지 가능하다. 이 사업은 지자체와 연계되어 관리되므로 보다 자세한 내용은 해당 지자체에 문의해 정보를 얻는 것이 바람직하다.

표4-6 배합사료 직물제 배합사료 품질기준 및 지급단가

구분	최소 품질기준		1포 당 지급단가	
	조단백	조지방		곤충분*
넙치류	52% 이상	8% 이상	10,360원	15,870원
가자미류	50% 이상			
볼락류	45% 이상			
돔류	42% 이상			

* 곤충분 사료란 곤충분이 7%이상 포함되고, 배합사료 판정심의위원회에서 자기품질검사, 공급역량 등을 토대로 선정한 것에 한정

(마) 배합사료 개발 사례

국립수산과학원은 환경친화형 양식배합사료 활성화 정책의 일환으로 2004년부터 양어용 배합사료 연구·개발을 지속적으로 수행하고 있다. 그간 친환경 고효율 배합사료 개발, 개발 사료의 현장 적용 시험, 품질관리 및 안전성 기준 설정 등 다양한 연구 사업이 수행되었으며, 국내 주요 양식품종인 넙치의 경우 다수의 연구 및 특허 개발이 완료된 상태이다. 특히, 어분대체 연구가 집중적으로 수행되었는데, 이는 양어사료의 주요 단백질 원료인 어분의 수요는 계속 증가하는 데 반해 공급량 부족에 따라 대체 단백질 원료 개발에 연구 역량이 집중되고 있는 세계적인 추세와 결을 같이하고 있다. 지속가능한 양식 생산력을 갖추기 위해서는 안정적인 원료 확보가 담보되어야 한다. 어분을 포함한 원료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내 양식환경에서는 대체 단백질 확보와 배합사료 개발이 무엇보다 중요하다.

① 저어분 배합사료 개발 연구

2022년 기준 넙치의 생산금액은 약 7,000억 원으로 해산어 전체 매출액의 54.9%를 차지하는 주요 양식품종이다. 현재 시판되는 넙치용 배합사료는 생사

료와의 경쟁 구도로 인해 사료 회사에서 어분 함량을 60~70%로 높게 설정해 생산하고 있다. 이는 세계 주요 양식어류의 사료 내 어분 함량이 수십 년의 연구 끝에 30% 이하로 사용되는 것과는 대조적인 현상이다. 국립수산과학원은 이를 해결하고자 2016년부터 국립수산과학원 사료연구센터를 중심으로 저어분 사료 개발 연구를 중점적으로 수행하고 있다. 기존 넙치용 배합사료에 약 70%까지 사용되던 어분 함량을 낮추는 것을 목표로 하고 있다. 관련 연구로는 동·식물성 단백질 원료 이용성 평가, 식품 가공기술을 적용한 대체 원료의 이용성 향상, 성장 및 생존 향상을 위한 첨가제 개발, 저어분 배합사료 개발 및 현장 실증 연구 등이 수행되었다.

현재 개발된 넙치용 저어분 배합사료는 어분 대체재로써 밀글루텐, 대두농축 단백질, 수지박, 가금부산물 등을 사용해 기존 어분 함량을 65~70%에서 45%까지 낮추는 데 성공하였다(그림 4-6). 제주도 소재 넙치 양식장에서 수행된 3년간의 현장 실증 실험에서는 150~247 g의 넙치가 800~1,200 g으로 성장하는데 있어 기존 사료와 성장 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 과거 넙치용 배합사료에서 어분이 필수영양소인 것처럼 인식되던 고정관념을 깨는 중요한 연구 결과라 할 수 있다(국립수산과학원, 2019a., 등록특허 10-2230262).

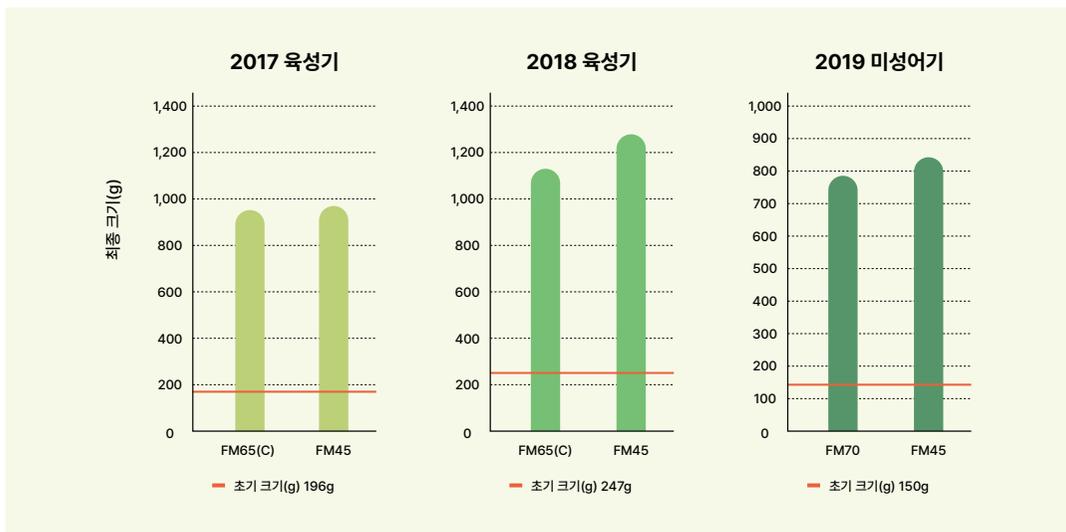


그림 4-6 저어분 배합사료 현장시험을 통한 연도별 성장 결과

② 곤충배합사료 개발 연구

동애등에 유충은 동·식물성 물질 및 남은 음식물과 같은 부식성 물질을 먹이원으로 이용할 수 있다. 동애등에는 단백질 42%, 지방 35%의 높은 영양소 함량을 가지고 있으며, 2014년 단미 사료로 등록되어 축산 사료 원료로 사용되고 있다. 특히, 동애등에 기름에는 항균물질인 라우릭산이 높게 함유되어 있어서 기능성 사료 개발을 위한 좋은 소재가 된다. 국립수산과학원 사료연구센터는 2018년부터 동애등에를 이용한 양어용 곤충배합사료 연구에 착수하였고, 일반 배합사료의 주요 원료인 어분과 어유를 동애등에 유충 분말과 기름으로 일부 대체해 개발하였다. 곤충배합사료를 넙치에 공급한 결과, 어분을 30%까지 대체할 수 있었고, 일반사료 대비 중량 17%, 생존율 20%가 향상되었다. 가식부위인 육질(근육)에는 곤충배합사료를 먹인 넙치에게서만 라우릭산이 검출되었다. 에드워드균을 인위감염시켜 생존율을 조사한 결과에서는 상대 생존율이 58%까지 향상되어 질병 저항성 역시 탁월한 것으로 평가되었다. 장내 미생물 균총을 분석한 결과에서는 미생물 다양성이 대조구보다 3배 이상 높게 나타나 어류의 면역력을 높이는 데 기여하는 것으로 나타났다(등록특허 10-2287178).

실험실 규모의 연구 결과를 근거로 해 2019년 3월부터 제주도 소재 넙치 양식장에서 현장시험에 착수하였다(그림 4-7). 최초 41 g 크기의 넙치를 수조당 5,000마리 밀도로 배치하였다. 상품사료, 곤충배합사료(분7%+유1%), 생사료 등 총 3종의 사료를 비교 평가하였다. 최초 입식 후에는 상품사료와 곤충배합사료만을 공급하였고, 어체 무게가 125 g이 되는 시점에서는 상품사료에서 생사료로 전환한 생사료 실험구를 두었다. 10개월 후 실험어의 무게는 상품사료 810 g, 생사료 870 g, 곤충배합사료 1,100 g으로 나타났다. 사료계수는 곤충배합사료를 공급한 실험구에서 가장 우수하였다. 특히, 생존율은 상품사료 18%, 생사료 22.9%, 곤충배합사료 61.5%로 나타났으며, 곤충배합사료 공급 실험구에서 넙치 생존율이 2배 이상 향상된 결과가 도출되었다(그림 4-8)(국립수산과학원, 2019b.).

넙치용 곤충배합사료는 2019년 특허등록이 완료되었고, 이 연구 결과를 바탕으로 2021년부터 시행하고 있는 배합사료 직불제 사업에서 곤충분사료의 보조

금을 지원하는 근거자료로 이용되고 있다(표 4-6).

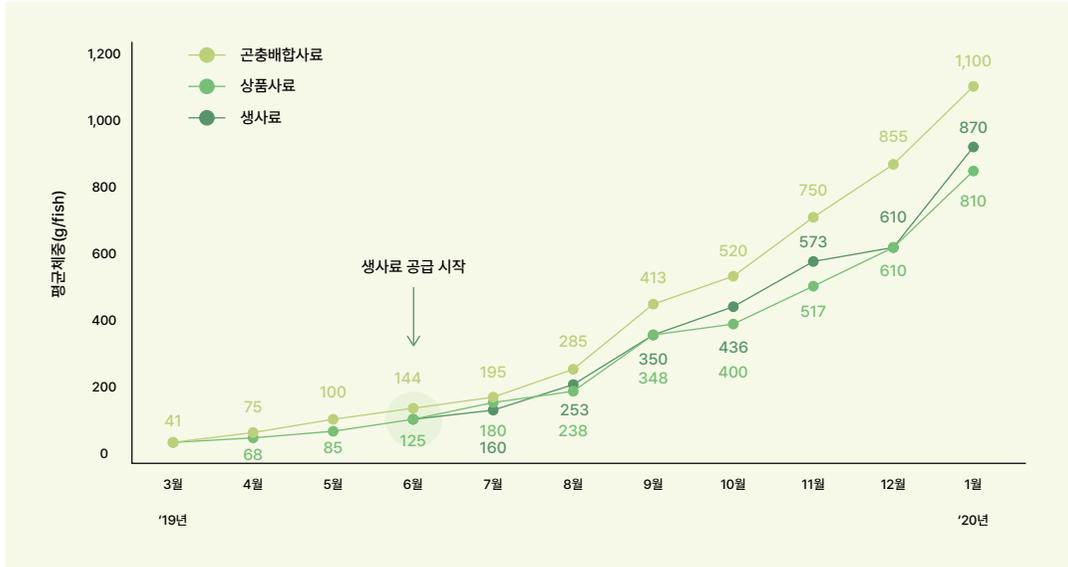


그림4-7 실험사료를 공급한 넙치의 월별 체중 변화

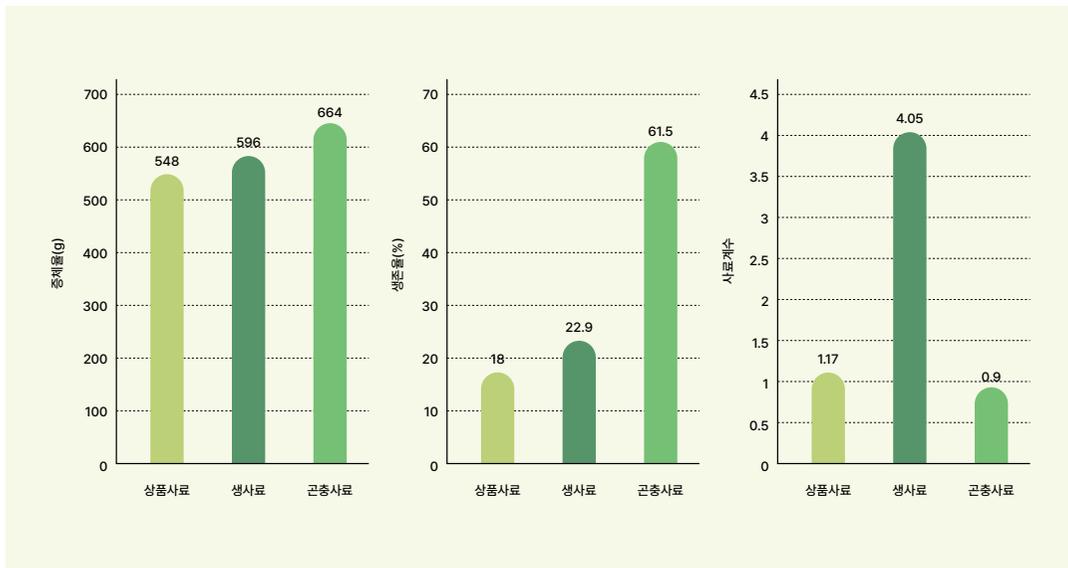


그림4-8 실험사료를 공급한 넙치의 증체율, 생존율, 사료계수

(5) 성장

넙치의 성장에 있어 가장 중요한 요소 중 하나는 사육수온이다. 그러나, 국내 양식장의 대부분은 유수식 양식장으로, 수온 조절이 쉽지 않은 구조이다. 이러한 환경에서는 지역별 수온 차이가 넙치의 성장에 영향을 미칠 수 있다.

특히, 제주도와 완도 지역의 수온 패턴을 고려하면, 제주도는 지하해수를 활용해 안정적인 수온을 유지할 수 있지만, 완도는 외부 해수에 의존해 수온 변동이 클 수 있다. 이로 인해 넙치의 성장 속도와 입식 및 출하 시기에 차이가 발생할 수 있다.

국립수산과학원 자료에 따르면, 최근 5년(2019~2023년)간의 제주도의 겨울철(11~2월) 평균 최저 수온은 14.2℃로 비교적 온화한 반면, 완도 지역은 8.4℃까지 하강하였다. 이러한 차이는 넙치 성장에 직접적인 영향을 미치게 된다.

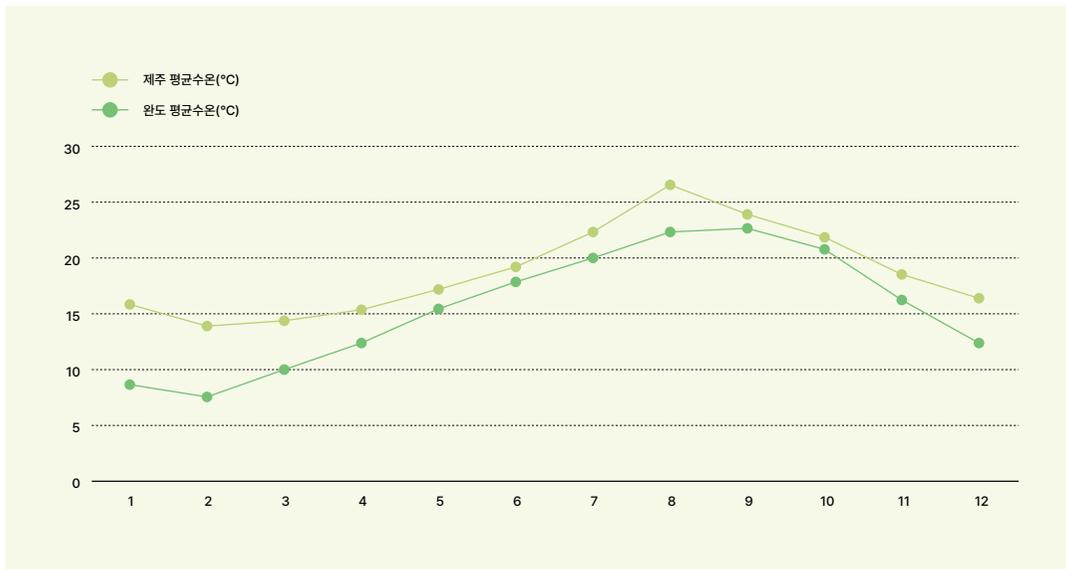


그림4-9 최근 5년(2019년-2023년) 간의 제주와 완도 지역의 월별 수온 변화

이러한 지역별 양식환경의 차이로 인해 예전에 완도에서는 대부분 3~4월에 양식용 넙치를 입식하며, 겨울철에 상대적으로 큰 성어로 키워야만 폐사를 줄일 수 있었다. 그러나, 현재는 완도와 제주 양식장 모두 가을철(9~10월)에 치어를 입식해 겨울이 오기 전까지 월동 준비를 하거나, 봄에 중간 육성어를 입식하는 방식을 도입하고 있다.



그림4-10 넙치 입식 및 출하 방식에 따른 연간 양성 일정

(가) 지역별 성장

넙치의 성장은 동일한 지역 내 양식장 간에도 상당한 차이를 보인다. 이는 양식장의 사육환경, 사육밀도, 질병 발생 상황, 사육기술, 사료 공급 방법 및 사료 종류, 입식하는 종자와 입식 시기 등 여러 요인에 의해 영향을 받기 때문이다. 이러한 다양한 변수로 인해 성장에 대한 표준화를 이루기란 어렵다. 그러나, 지역별 특성에 따라 성장에 차이가 있는 것은 분명하다. 예를 들어, 4월에 100 g의 종자를 입식한 제주와 완도 양식장의 월별 성장을 비교해 보면, 각 지역의 환경적 요소가 성장 속도에 미치는 영향을 확인할 수 있다.



그림4-11 제주와 완도 지역의 넙치 성장 비교

전남 지역은 제주 지역과 비교했을 때 4개월간 넙치의 적정 수온이 상대적으로 낮아 양식에 불리한 여건을 갖추고 있다. 이로 인해 1 kg 내외의 크기로 성장하는 데 제주 지역보다 2~4개월의 기간이 더 소요되는 것으로 확인되었다.

(나) 지역별 폐사

심재동 등(2019)은 2015~2017년 동안 전남과 제주 지역의 넙치 폐사율을 조사한 결과, 2015년 24.78%, 2016년 30.19%, 2017년 21.59%로 나타났다. 그러나, 현장 조사에 따르면 제주 지역 넙치 양식장의 평균 폐사율이 50%를 상회하는 경우도 있어, 최종 생산량의 4~5배에 달하는 종자를 입식하기도 한다. 좌민석 등(2020)의 연구에 의하면, 2018~2019년 제주 지역 양식 넙치의 평균 생존률이 54.5%로 나타나, 폐사율이 높다는 점이 재확인되었다. 또한, 부경대학교(2023)의 연구보고에 따르면, 제주 지역 폐사율은 매년 증가세를 보이며 2019년 기준 62%에 달하는 것으로 나타났다.

이처럼 제주 지역의 높은 폐사율은 경영비 상승에 직접적인 영향을 미치며, 어가 경영에 큰 부담이 되고 있다.

반면, 완도 지역 평균 폐사율은 20% 내외로 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 차이는 여러 가지 요인에 복합적으로 기인하므로 특정 요인으로 단정 짓기는 어렵다. 그러나 지역별 특성을 살펴보면, 제주 지역은 완도 지역보다 대규모 양식장이 많아 개별 어류에 대한 세밀한 관리가 어려운 상황으로 문제 발생 시 전체적인 폐사율이 증가할 가능성이 크다. 또한, 제주 지역의 해류 특성상 새로운 물의 보충이 원활하지 않아 수질이 악화될 수 있으며, 이는 어류의 생존율에 부정적인 영향을 미치고, 더해 질병 발생 시 이러한 환경은 질병의 빠른 확산을 초래한다. 이러한 요인들이 제주 지역의 폐사율 증가에 기여하는 주요 원인으로 작용하고 있다.



05.
육종 기술



05. 육종 기술

가. 육종의 필요성

우리나라 넙치 양식업계는 값싼 외국 활어의 수입, 질병으로 인한 대량 폐사, 사료비 및 인건비 증가 등으로 어려움을 겪고 있다. 이에, 육종연구를 통한 성장이 빠르고 질병에 강한 넙치의 품종 개발은 넙치 양식기술 중에서도 매우 중요한 부분이다. 육종이란 생물이 가진 유전적 성질을 이용해 새로운 품종을 만들거나 이전의 것보다 실용가치가 높은 품종을 육성해 보급하는 기술을 의미한다. 육종 계획을 세울 때는 목표 설정에서 시스템 최적화까지의 광범위한 문제를 포괄적으로 검토해야 한다. 어떠한 형질을 개선할 것인가를 결정하고, 그다음 어떠한 집단에서 실시할 것인가를 정해야 한다. 그리고 최종적으로 어떤 방법(육종기술)으로 육종을 할 것인가를 선택해야 한다. 왜냐하면 육종을 하고자 하는 품종 및 형질에 따라 효과적인 육종 방법이 정해지기 때문이다. 따라서, 새로운 우수 품종을 만들기 위한 육종 단계로는 ① 대상 종 및 목표로 하는 형질의 선택, ② 원하는 형질을 가진 계통의 생산, ③ 형질의 유용성을 평가하기 위한 해석 기술의 개발 및 과학적인 평가, ④ 유용 계통의 생산 및 계대 보존, ⑤ 생산된 계통에 대한 시장에서의 평가이다.

육종에는 친자확인 기술을 이용한 선발육종, 유전체 정보를 활용한 유전체 선발육종, 염색체공학 기술을 이용한 육종, 성전환 기술을 이용한 전암컷 생산 육종 및 유전자가위 기술을 이용한 육종 등 다양한 육종기술이 있다. 특히, 개체의

유전능력 평가에 의한 선발육종 프로그램 개발은 농축산 분야에서 먼저 도입되어 성과를 나타내고 있으나, 수산분야에서는 선발 육종 기술 개발 및 산업적 적용이 어려웠다. 이유는 어류의 번식주기가 매우 복잡해 완벽하게 이해하는 것이 어려울 뿐 아니라 사육 관리 및 계획교배가 힘들고, 근친교배를 방지하기 위해 세대마다 많은 수의 친어를 사용해야 하는 등의 제약조건이 많기 때문이다. 그러나, 어류는 일회 산란수가 많고 표현형의 유전적 변이가 커 선발육종에 의한 유전적 개량에 이점을 가지고 있어, 체중과 체장 등 어류의 주요 계측 형질들은 성장 형질로써 직접 선발에 이용된다는 장점도 있다. 더불어 개체의 친자확인을 할 수 있는 유전자표지 방법이 개발되어 수산분야에서 비약적인 성과를 거두고 있다. 최근에는 급속도로 발전한 생명공학기술과 더불어 유전체 선발육종과 유전자가위 기술이 도입되어 이 기법들을 이용한 육종 연구가 이루어지고 있다.

따라서, 육종연구를 통한 품종개량은 양식산업의 미래를 좌우하는 기술로서, 속성장과 내병성 등 우량 품종개발로 양식 생산성 향상뿐 아니라 우리나라 양식산업을 미래 전략산업으로 자리매김하게 하고, 양식생물의 종자국 지위 확보와 양식선진국 진입을 위해 반드시 필요한 기술이다.

나. 염색체 이용 육종 기술

염색체공학은 염색체의 반수체 또는 2배체를 넣어주거나 제거하는 기술이다 (그림 5-1, Arai, 2001). 대부분 어류의 경우 수정은 체외에서 일어나 염색체수를 조작하는 것이 가능하다. 이와 같은 특성을 이용하면 수정 이후 극체 방출 억제 또는 제1난황을 억제함으로써 반수체, 2배체, 3배체 및 4배체 어류의 생산이 가능하다. 극체 방출 및 세포분열을 억제하는 방법은 저온처리, 고온처리, 수압처리 등이 있다.

(1) 3배체

난과 정자를 수정한 수정란의 제2극체(n) 방출을 억제하여 3배체를 유도한다(그림 5-1). 넙치의 경우, 수정 2~3분 후 저온(1~2℃)으로 약 45분간 처리하면 제2극체 방출이 억제되어 3배체가 유도된다(Kim et al, 1994a). 3배체는 일반적으로 불임이므로 생식소 발달에 필요한 에너지를 성장에 이용할 수 있어 사료효율이 높아 2배체보다 성숙기 이후 빠른 성장을 보인다. 넙치는 1 kg 이상의 크기에서 높은 가격이 형성되므로 출하 시기까지 거치게 되는 산란기의 식욕 감퇴, 사료효율 감소, 육질 저하 및 산란 후의 사망 등을 방지하기 위해서는 불임의 특성을 가지는 3배체의 생산이 중요시되고 있다. 그러나, 필요할 때마다 3배체를 유도해야 하고, 자극 후 낮은 생존율 및 사용하는 적은 수정란의 양으로는 3배체를 대량으로 생산하기 어려워 현실적으로 산업화는 어렵다. 따라서, 2배체와 단순 교배로 3배체를 대량 생산할 수 있는 4배체의 개발이 필요하다.

(2) 4배체

4배체는 정자(n)와 난자(n)를 수정시킨 후 2배체 수정란의 제1난할을 억제함으로써 유도할 수 있다(그림 5-1). 수정란의 제1난할을 억제하는 방법은 저온 자극, 고온자극 및 수압처리가 있으며, 이중 특히 수압처리가 가장 효과적이다(Wu et al, 2019). 패류의 경우는 화학적인 방법(cytochalasin, 6-DMAP 및 카페인)도 있다. 일반적으로 4배체는 불임이 아니므로 4배체 수컷과 2배체 암컷의 수정을 통해 산업성이 높은 불임 3배체를 대량으로 생산할 수 있다. 유의해야 할 사항은 4배체 수컷에서 생산되는 정자가 다양한 배수성을 가질 수 있으므로 사전에 정자의 배수성 분석이 이루어져야 성공적인 3배체를 생산할 수 있다. 그러나, 자어 초기에서 폐사하거나 성체까지 생존율이 낮고, 높은 기형을 및 모자이시즘 등의 현상으로 일부 담수어류 및 패류(굴)에서만 4배체 생산이 성공하였고, 해산어류에서는 상업적으로 아직 성공한 예는 없다.

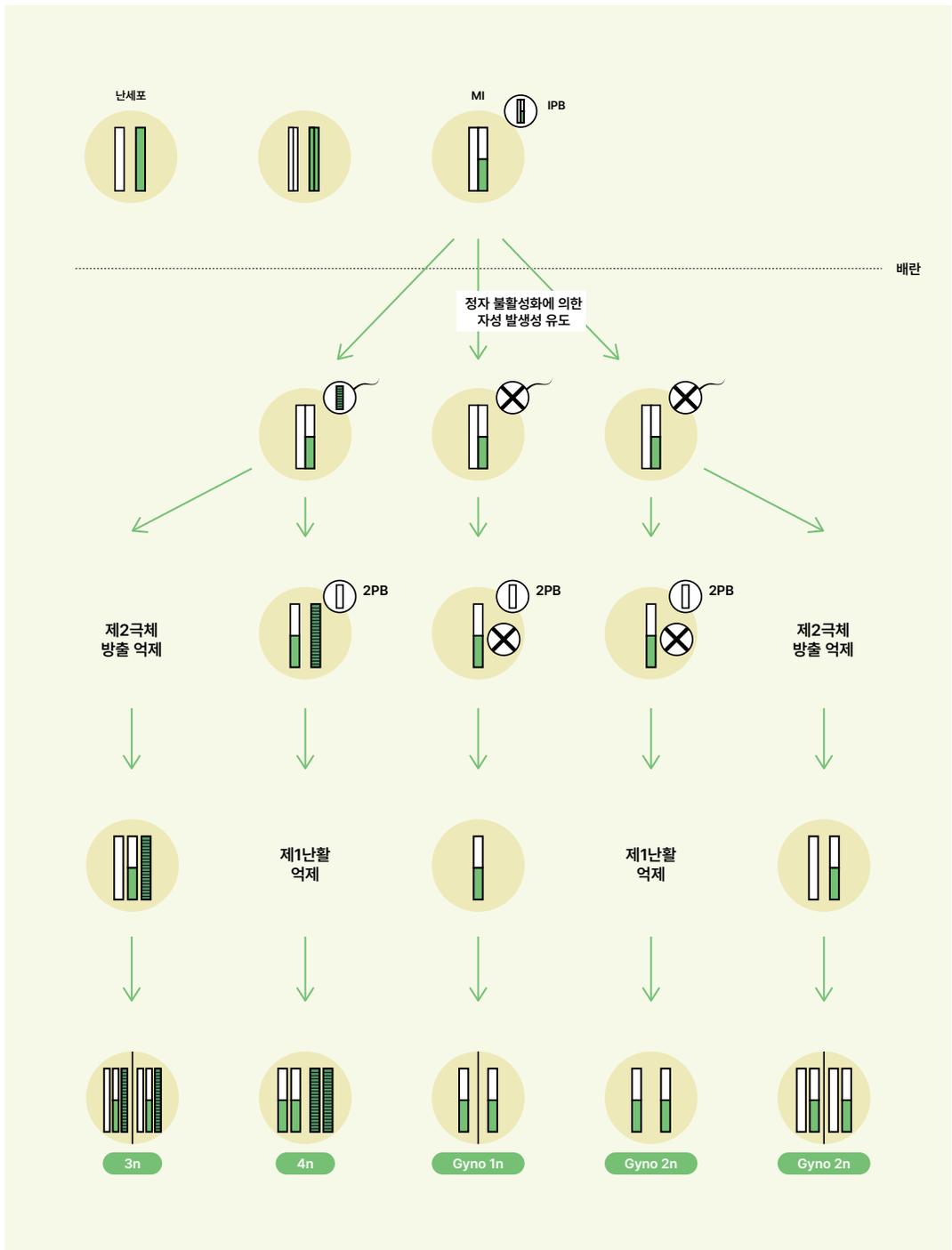


그림5-1 염색체공학 기술을 이용한 어류의 3배체, 4배체 및 자성발생성 2배체 유도. 1PB : 제1극체, 2PB : 제2극체, MI : 감수분열

다. 전암컷 생산 육종 기술

넙치의 암컷은 수컷보다 성장이 빨라 경제적으로 가치가 높기 때문에 종자업자들은 암컷 종자를 선호한다. 암컷 종자만을 생산하기 위해서는 암컷의 유전물질만으로 개체를 생산하는 성전환 기술이 필요하다. 암컷을 수컷으로 성전환하는 방법은 고수온 자극 또는 남성호르몬 사용 등이 있다.

(1) 자성발생성 2배체를 이용한 전암컷 2배체 생산

넙치에서 자성발생성 2배체를 유도하기 위해 주로 많이 사용하는 방법은 정자(잡종이 생산되지 않는 타 어종의 정자를 이용)를 자외선으로 불활성화 시킨 후 이를 넙치의 난과 인공 수정하는 것이다. 수정한 후 수정란을 2~3분 동안 저온(1~2℃)에서 45분간 처리해 제2극체 방출을 억제함으로써 자성발생성 2배체(2n)를 유도한다(그림 5-2, Yamamoto, 1999). 유도된 자성발생성 2배체(암컷의 유전물질만을 가지는 개체)의 성분화 시기에 고수온 또는 남성호르몬을 처리하면 수컷으로 성전환된다. 이 수컷을 일반 수컷과 구별하기 위해 가짜 수컷(pseudomale)이라 한다. 가짜수컷 정자를 일반 넙치 암컷의 난과 교배하면 유전적으로 모두 암컷인 전암컷(all-female) 종자가 된다(Kim et al., 1994b).

최근에는 넙치 게놈이 해독됨으로써 유전체 정보를 활용한 성연관 마커가 개발되어 수컷, 가짜수컷 및 암컷 종자의 유전적 성을 구별할 수 있어 전암컷 넙치의 유전적 성을 확인할 수 있다. 또한, 성연관 마커를 이용해 종자 생산과정에서 성전환된 가짜수컷을 확인할 수 있어 이 가짜수컷을 암컷과 교배하면 유전적으로 암컷을 생산할 수 있다. 그러나, 자성발생성 2배체 및 성 연관 마커를 이용해 생산된 전암컷 넙치라 하더라도 종자 단계에서 암컷이 수컷으로 성전환될 수 있으므로 종자 생산과정에서 종자가 스트레스(특히, 고수온)를 받지 않도록 주의해서 사육해야 한다. 자성발생성 2배체 생산의 또 다른 방법으로는 제1난할 억제를 통한 방법(그림 5-2)이 있으나, 4배체 생산 방법으로 인한 단점과 마찬가지로

지로 성체까지의 생존율이 낮아 많이 사용하지는 않는다.

(2) 자성발생성 2배체를 이용한 전암컷 3배체 생산

양식어종들 중 일부는 암컷이 수컷보다 빠른 성장을 보이고, 성숙기를 거치면 서 낮은 성장률과 높은 폐사율을 보이는 경우가 있다. 이에 양식산업의 경제적 인 손실을 줄이기 위해 전암컷 유도 및 불임 개체를 생산하기 위한 연구가 다양한 종에서 이루어져 왔다. 넙치 또한 암컷이 수컷보다 빨리 성장하고, 상품 크기에 도달하기 전 산란기를 거치게 되는 문제점이 있어 전암컷 및 불임 넙치인 전 암컷 3배체 생산이 필요하다. 넙치의 전암컷 3배체는 자성발생성 2배체를 수컷 으로 성전환해 생산된 가짜수컷의 정자와 일반 넙치 난과 수정 후 자성발생성 2 배체 생산과 동일한 저온처리 방법으로 제2극체 방출을 억제함으로써 3배체를 생산할 수 있다(그림 5-2, Kim et al, 1994a and 1994b).



그림5-2 자성발생성 2배체를 이용한 전암컷 3배체 생산

라. 친자확인기술 이용 선발육종 기술

선발육종 기술은 유전자 조작 없이 가장 우수한 형질을 가진 개체를 선발한 후 그들의 교배를 통해 우수한 형질이 지속적으로 이어지도록 하는 방법이다. 양식생물에서 관심 있는 형질은 성장, 질병, 사료효율 등이 있다. 교배를 통해 우량형질을 계속해 축적하기 위해서는 1차적으로 각 개체의 양적 표현형(체중, 길이 등)을 근거로, 2차적으로 그 개체와 교배 개체와의 유전적 유연관계를 근거로 교배지침을 만든 후 교배시킨다. 개체 간 교배는 근친교배를 방지하기 위해 유전자표지를 이용해 유전적 유연관계를 분석함으로써 이루어지며, 이는 장기간 육종효과를 유지할 수 있다. 그리고, 육종효과를 검증하기 위해서는 부화자어부터 가능한 동일한 환경 조건(수조, 수온, 밀도 등)으로 관리해야 한다. 이런 경우 가계의 친자확인도 유전자표지를 통해 가능하다. 따라서, 과거와는 달리 훨씬 많은 개체와 가계를 한정된 수조에서 키울 수 있게 되었으며, 결과적으로 선택할 수 있는 개체의 수가 많아져 선발강도를 강하게 할 수 있다. 또한, 각 개체에 대한 정확한 유전능력이 파악되므로 유전적 획득도 이전의 방법보다 높고, 고전적인 선발육종에서 가계별로 구분하기 위해 사용되는 물리적 표시로 소요되는 비용도 절감할 수 있다.

여기에서는 친자확인 기술을 이용한 선발육종 프로그램으로 넙치의 체중이 높은 개체를 선발해 성장률을 개선하는 연구를 기술하였다. 육종 프로그램이란 대상생물의 선정, 적합한 육종 기법의 선택 및 추진, 효과성 및 경제성 파악 등 일련의 과정들이 체계적이고 과학적인 계획에 의해 진행되는 전 과정을 말한다. 육종 프로그램을 이용해 성장이 개선된 육종넙치(킹넙치)를 개발하는 과정(그림 5-3)은 ① 다양한 지역에서 수집되어 유전적 다양성이 있는 기초 집단을 확보하고, ② 기초집단에서 핵집단을 생산(핵집단은 육종생물 고유의 모든 유전자를 가지는 집단으로 세대마다 유전적 다양성이 유지되도록 관리하는 육종 어미 집단을 말함)한다. 유전적 다양성과 개체간 유연관계를 고려해 교배지침을 작성하고 인공수정을 통해 가계를 생산하고, 각 가계별로 친자확인 및 유전능력을 평

가해 핵집단을 생산한다. ③ 핵집단에서 산업화계통을 생산(산업화계통은 세대 별 핵집단 중에서 유전능력이 우수한 개체를 말함)하고, ④ 산업화계통의 육종 효율을 검증하고, ⑤ 산업화계통의 수정란이나 어미를 현장에 보급한다.



그림5-3 육종넙치(킹넙치) 개발 과정

육종넙치(킹넙치)는 종자 입식 이후부터 일반넙치에 비해 성장이 빠르며, 특히 양성시기(200~250 g 이후)에 가속성장 효과가 나타난다. 성장 속도가 빠르므로 양성 초기에는 적정 밀도를 유지하고, 고밀도가 되면 빠른 시기에 분조를 실시한다. 식탐이 강해 먹이 섭취 이후에도 입을 수면 밖으로 내미는 등의 행동을 보이며, 먹이를 과하게 공급하면 복수가 차거나 탈장 등의 문제가 발생하므로 먹이 공급량을 적절히 조절해야 한다. 또한 먹이 섭취량이 많기 때문에 일반넙치보다 수조 내의 용존산소를 높게 유지하는 것이 중요하다. 육종넙치(킹넙치)는 속성장 위주로 선발육종을 한 후 보급하기 때문에 생존율은 일반넙치와 차이가 없다. 국립수산물과학원은 개발된 육종넙치(킹넙치) 수정란을 2014년부터 2020년까지는 (사)한국수산종자산업협회와 국유특허 통상실시 계약을 통

해 양식어업인에게 보급하였다. 2020년부터는 국립수산과학원 최초로 국유특허 전용실시 계약을 통해 육종넙치(킹넙치) 친어를 민간에 이전해 민간에서 수정란을 생산, 보급하고 있다. 2024년 부터 육종넙치(킹넙치)의 경우 국립수산과학원에서 유전적 다양성을 유지하면서 성장이 대폭 개량된 9세대 핵집단 가계를 생산해 관리하고 있다.

마. 차세대 육종 기술

(1) 유전정보를 활용한 유전체 선발육종

현재까지 양식품종의 형질 개량을 위해 유전자표지를 이용한 선발육종 기술이 개발되었다. 그러나, 기존의 선발육종 기술은 유전적으로 우수한 개체를 비교적 높은 정확도로 선발하기 위해 교배와 검정을 반복하는 과정을 거쳐야 하므로 많은 예산과 인력이 필요하며, 품종개량에 오랜 기간이 소요된다는 한계가 있다. 유전체 선발육종은 개체의 유전정보를 이용해 유전능력을 예측하는 기술로, 기존의 분자육종으로도 이해할 수 없었던 많은 수의 유전자들과 그에 따른 형질들의 연관성을 유전체 내 대량의 유전변이를 마커로 사용해 개체의 유전체 육종가를 예측함으로써 원하는 특정 개체를 선발할 수 있다. 그리고 개체의 유전체 정보를 이용하므로 수정란 상태에서도 육종가를 계산할 수 있어 우수한 개체의 조기 선발이 가능해 세대기간을 단축하고 육종 효율을 극대화할 수 있다.

유전체 선발육종 기술을 개발하기 위해서는 우선 유전적 기여도가 높은 참조집단을 구성하고 참조집단 개체의 유전체 정보를 생산하는 것이다. 참조집단이란 유전체 정보, 표현형 정보, 혈통 정보를 모두 가지고 있는 개체의 집합으로 참조집단이 많을수록 유전체 유전능력 예측 정확도가 향상된다.

참조집단의 집단유전학적 분석을 통한 집단의 모수(집단의 연관불평형 구조, 개체의 유전적 유사도, 집단의 혈연관계 등)를 추정해 집단의 모수값에 따른 개체의 유전체 육종가를 추정할 수 있다. 유전체 선발육종을 위한 통계학 방법들이 효과적으로 개발되어 각 개체들이 어떠한 특정 형질을 가졌는지 아니면 없

는지 점점 더 정확한 예측이 가능해지고 있다. 그러나, 유전체 선발육종 기술이 실용화되더라도 유전능력 평가, 핵집단 생산 등의 기존 선발육종 기술과 병행되어야 한다. 넙치 유전체 선발육종 연구는 성장뿐만 아니라 폐사율 저감의 시급성을 고려해 유전체 정보기반의 질병 내성 형질의 개량을 추진하고 있다. 현재 내병성 참조집단을 조성해 통합생물정보(유전형, 표현형, 혈통) DB를 기반으로 유전체 육종가를 추정하고 있으며, 향후에는 속성장과 내병성 형질 모두를 고려한 다중형질 유전체 육종가 추정 및 기법 개발 연구도 수행되어야 할 것이다.

(2) 유전자가위 기술을 이용한 육종

유전자가위 기술은 품종개량을 위해 유전자의 일부를 잘라낼 수 있는 기술로서, 전통적 육종과 다를 뿐만 아니라 분자육종보다도 발전한 육종 기술이다. 특히, 유전자가위 기술은 유전자를 제거하거나 수정하는 방법을 사용함으로써 외래 유전자를 이식하는 LMO(Living Modified Organism, 유전자변형생물체) 기술과도 다르다. LMO 기술은 특정 생물에 없는 유전자를 인위적으로 결합해 새로운 특성의 품종을 개발하는 것이고, 유전자가위 기술은 외부 유전자 주입 없이 해당 생물이 갖고 있는 특정 유전자를 잘라내어 염기서열 일부를 바꾸는 기술로 명확한 차이가 있다. 넙치는 유전자가위 기술의 적용을 위한 두 가지 조건을 만족한다. 첫째, 인공수정, 대량의 수정란 확보 및 종자 생산과 양성 등 양식 기술이 안정화되어 있다. 둘째, 유전체 해독으로 유전자 정보를 가지고 있어 형질유전자 기능 연구의 기반이 마련되어 있다.

유전자가위 기술로 형질 개량을 하기 위한 1단계는 유전자 정보를 바탕으로 형질유전자(예, 근육성장을 위한 미오스타틴유전자 등)에 대한 유전자가위(가이드 RNA와 핵산 절단효소 복합체)를 개발하고(그림 5-4), 2단계는 유전자를 수정란에 도입하는 조건을 확립하는 것이다(Kim et al., 2019). 넙치 수정란은 크기가 약 0.85~0.95 mm로 작고 난막이 단단해 일반 미세 유리바늘로는 난막을 뚫을 수 없으므로 미세 유리바늘에 역류방지관을 만들고 바늘 끝을 30~35° 정도로 갈아서 미세주입한다. 미세주입한 수정란 이후 생산 과정은 일반적인 넙치

종자 생산 및 양성 과정과 같다. 유전자가위로 편집된 개체는 분자생물학적 방법으로 확인한 후, 편집된 암수를 선발하여 교배를 통해 다음 세대를 생산한다.

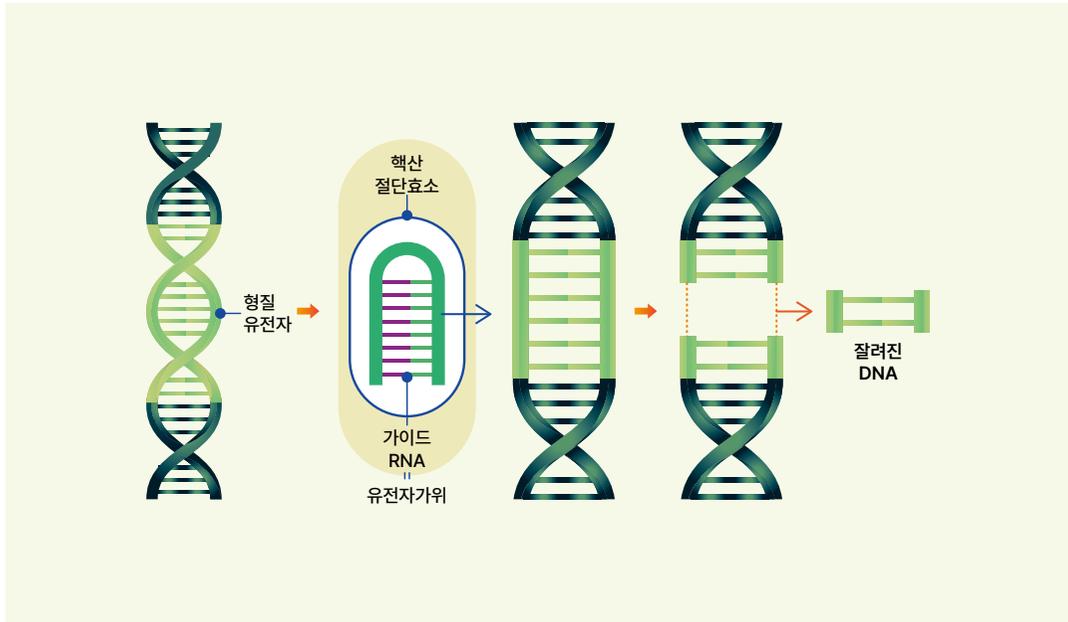


그림5-4 유전자가위 기술을 이용한 형질유전자 제거 모식도

유전자가위 기술은 성장 촉진뿐만 아니라 내병성 형질 개량, 환경 스트레스 저항성 강화, 불임 유도 등 다양한 방향으로 연구가 진행되고 있다.

일본에서는 유전자가위 기술을 활용한 어류 품종 개량 연구가 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 사례로, 유전자가위 기술을 이용하여 근육량을 증가시킨 참돔(*Pagrus major*)과 성장 속도를 향상시킨 참복(*Takifugu rubripes*)이 개발되었으며, 2021년 세계 최초로 식용 승인을 받았다. 참돔의 경우, 미오스타틴(Myostatin) 유전자를 편집하여 근육 성장을 억제하는 기능을 차단함으로써, 일반 개체보다 가식부(먹을 수 있는 부위)가 증가하는 특징을 갖는다(Kishimoto et al., 2018) 참복은 식욕을 조절하는 렙틴 수용체(Leptin receptor) 유전자 4개를 편집하여 기존 개체보다 빠르게 성장하는 품종으로 개발되었다. 또한, 고등어(*Scomber japonicus*)의 공격성을 억제하는 연구도 진

행되었다. V1a2 유전자를 제거한 결과, 공격성과 동족포식 빈도가 46% 감소하였다. 이는 참다랑어나 황다랑어 등 대형 양식어종에도 적용할 수 있는 가능성을 보여준다(Ohga et al., 2023).

중국에서는 유전자가위 기술을 이용하여 붕어(*Carassius auratus*)의 가시를 제거하는 연구가 수행되었다. BMP6 유전자를 편집하여 근육 내 가시 형성을 억제하였으며, 편집된 붕어는 기존 개체보다 성장 속도가 빠르고 번식 능력에 차이가 없는 것으로 확인되었다. 이 연구는 유전자가위 기술을 통해 어류의 소비자 기호도를 높이는 방향으로 품종 개량이 가능함을 시사한다(Gan et al., 2023).

양식 생산성과 환경 안전성을 고려한 연구도 진행되고 있다. 미국, 중국, 이집트, 필리핀, 캐나다 공동 연구팀은 TALEN 유전자가위를 이용하여 차넬메기(*Ictalurus punctatus*)의 생식선 자극호르몬-방출호르몬(cfGnRH) 유전자를 편집하여 불임을 유도하는 연구를 수행하였다. 실험 결과, 유전자편집 개체의 산란율이 감소했으며, 호르몬 처리를 적용할 경우 부화율은 대조군과 유사하게 유지되는 것으로 확인되었다. 이는 양식장에서 종의 확산을 방지하고, 유전적 오염을 예방하는 데 기여할 수 있는 연구로 평가된다(Qin et al., 2022).

질병 저항성 강화를 위한 연구도 주목받고 있다. 미국 Auburn University 연구팀은 CRISPR/Cas9 기술을 이용하여 차넬메기의 유전자 일부를 편집하고, 악어의 항균 단백질 유전자인 Cathelicidin을 삽입하여 내병성을 강화하는 연구를 수행하였다. 연구 결과, 유전자 편집이 적용된 차넬메기는 기존 개체보다 감염 저항성이 높아지고 생존율이 2~5배 증가하는 효과가 확인되었다(Wang et al., 2024).

국내에서도 넙치를 대상으로 유전자가위 기술을 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국립수산물과학원에서는 2019년 CRISPR/Cas9 기술을 이용하여 미오스타틴(Myostatin) 유전자의 발현을 억제하여 근육 성장을 촉진한 유전자가위 넙치를 개발하였으며, 2021년부터 내병성 강화를 목표로 한 유전자편집 연구를 수행하고 있다. 현재까지 유전자가위 넙치의 2세대(2021) 및 3세대(2023)가 생산되었으며, 형질 평가 연구가 지속적으로 진행하고 있다.

이처럼 유전자가위 기술을 활용한 품종 개량은 단순한 성장 촉진을 넘어, 질

병 저항성 강화, 환경 적응력 개선, 양식 효율 향상 등 다양한 방향으로 발전하고 있으며, 향후 넙치 양식산업에서도 활용될 가능성이 클 것으로 기대된다.

표5-1 양식어류에서 유전자가위 기술 적용 사례

어종	목적 형질	연도	어종	목적 형질	연도
고등어 (<i>Scomber japonicus</i>)	공격성 억제	2023	귀족도미 (<i>Sparus aurata</i>)	성장 조절	2017
넙치 (<i>Paralichthys olivaceus</i>)	성장 조절	2019	대서양연어 (<i>Salmo salar</i>)	성결정 조절	2016, 2022
	성결정 조절	2021		색소 침착 억제	2021
	내병성	2021		지질대사 조절 (어육 품질개선)	2019
로후 (<i>Labeo rohita</i>)	내병성	2016	무지개송어 (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	성장 조절	2018
미꾸라지 (<i>Paramisgurnus dabryanus</i>)	색소 침착 억제	2019	우창도미 (<i>Megalobrama amblycephala</i>)	성장 조절	2020
은연어 (<i>Fundulus heteroclitus</i>)	내환경성	2015	잉어 (<i>Cyprinus carpio</i>)	성장 조절	2016
점다랑어 (<i>Euthynnus affinis</i>)	색소 침착 억제	2021		색소 침착 억제	2019
중국큰입메기 (<i>Silurus meridionalis</i>)	성결정 조절	2016	차넬메기 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	성장 조절	2017
참돔 (<i>Pagrus major</i>)	성장 조절	2018, 2020		불임화	2016
참복 (<i>Takifugu rubripes</i>)	독소제거	2018		면역 증진	2018
	성장 조절	2021		내병성	2020
칠성장어류 (<i>Lethenteron morii</i>)	성장 조절	2016	틸라피아 (<i>Oreochromis niloticus</i>)	성결정 조절	2014, 2017
	색소 침착 억제	2016		생식소 발달 및 성분화 조절	2015, 2016
색소 침착 억제				2018, 2021	



06.
건강 관리



06. 건강 관리

가. 주요 폐사 원인 및 대책

(1) 주요 폐사 원인

(가) 폐사 원인별 비율

2023년 12월부터 2024년 11월까지 12개월 동안 전남과 제주도의 넙치 양식장 71개소를 표본 조사해 폐사 원인을 분석한 결과를 그림 6-1에 나타내었다.

폐사 원인을 분석한 결과, 세균성 질병으로는 비브리오병, 에드워드병, 활주세균병, 연쇄구균병이 발생하였으며, 기생충성 질병으로는 스쿠티카병이 확인되었다. 또한, 기타 감염성 질병으로 여윌증이 나타났다. 비감염성 요인으로는 수질 및 환경성 질병, 그리고 고수온에 의한 폐사가 발생해, 총 8가지 폐사 원인이 확인되었다.

전체 폐사 피해 중 가장 큰 비율을 차지한 것은 스쿠티카병(34.9%)이었으며, 그다음으로 고수온(16.6%)과 여윌증(16.2%)이 주요 폐사 원인으로 나타났다.

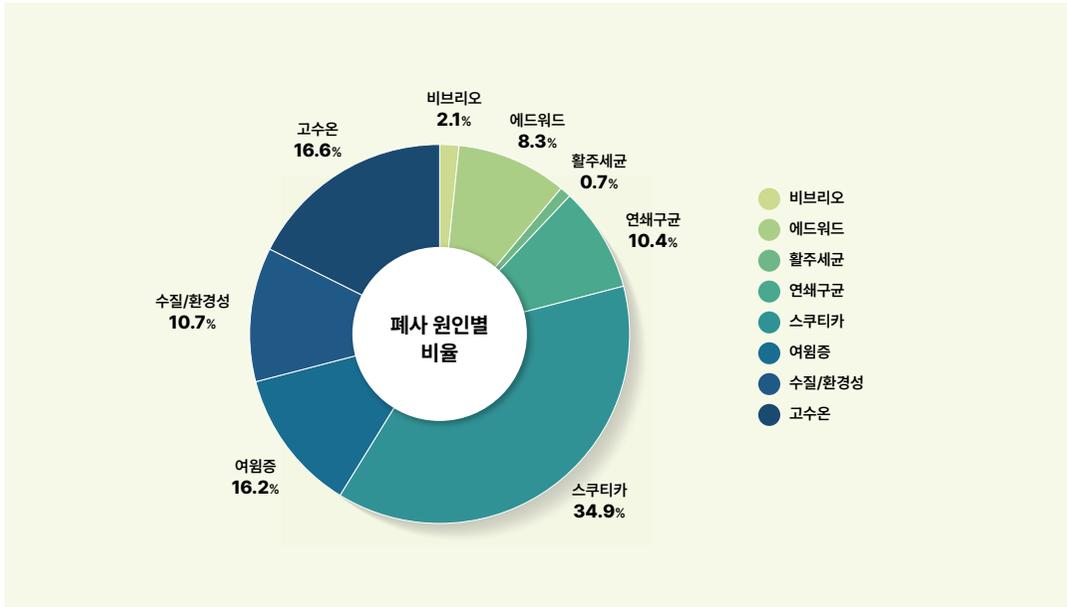


그림6-1 넙치 표본 조사한 양식장의 폐사 원인별 비율

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

(나) 지역별 폐사 원인 비율

2023년 12월부터 2024년 11월까지 12개월 동안 전남과 제주도의 넙치 양식장 71개소를 표본 조사한 결과를 바탕으로, 지역별 폐사 원인을 분석해 그림 6-2에 나타내었다.

전남의 경우, 고수온(27.9%)이 가장 높은 폐사 원인이었으며, 그 다음으로 스키테카병(26.6%)과 수질 및 환경성 질병(21.5%)이 주요 폐사 원인으로 나타났다.

제주에서는 스키테카병(41.0%)이 가장 큰 폐사 원인이었으며, 그 다음으로 여윌증(20.4%)과 연쇄구균병(9.5%)이 높은 비율을 차지하였다.

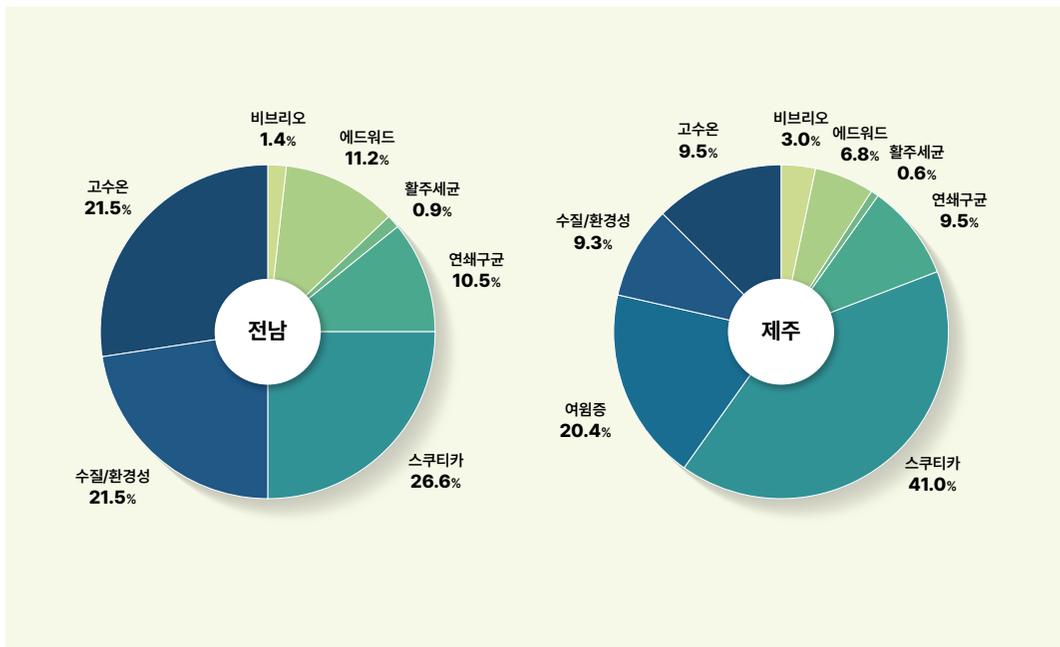


그림6-2 넙치 표본 조사한 양식장의 지역별, 폐사 원인별 비율

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

(다) 폐사 원인별 폐사율 추이

2023년 12월부터 2024년 11월까지 12개월 동안 전남과 제주도의 넙치 양식장 71개소를 표본 조사한 결과를 바탕으로, 폐사 원인 8종의 월별 폐사율 추이를 분석해 그림 6-3에 나타내었다.

세균성 질병인 비브리오병은 누적 폐사율 0.964%로 집계되었으며, 2023년 7~8월에 상대적으로 높은 폐사율을 기록하였다. 에드워드병의 누적 폐사율은 2.906%로, 2024년 8월에 가장 많이 발생하였다. 활주세균병의 경우 누적 폐사율 0.246%로, 2024년 3월에 폐사가 집중적으로 나타났다. 연쇄구균병은 누적 폐사율 3.618%로, 2024년 6월에 폐사가 가장 많았다.

기생충성 질병인 스쿠티카병은 누적 폐사율 13.972%로, 5월에 가장 큰 폐사 피해를 초래하였다. 여윌증의 누적 폐사율은 5.767%로, 10월에 폐사가 가장 많이 발생하였다. 수질 및 환경성 질병은 누적 폐사율 6.281%로, 2023년 12월부

터 2024년 11월까지 지속적으로 폐사가 발생하였다. 고수온으로 인한 폐사의 누적 폐사율은 5.137%로, 8~9월에 가장 높은 폐사율이 기록되었다.

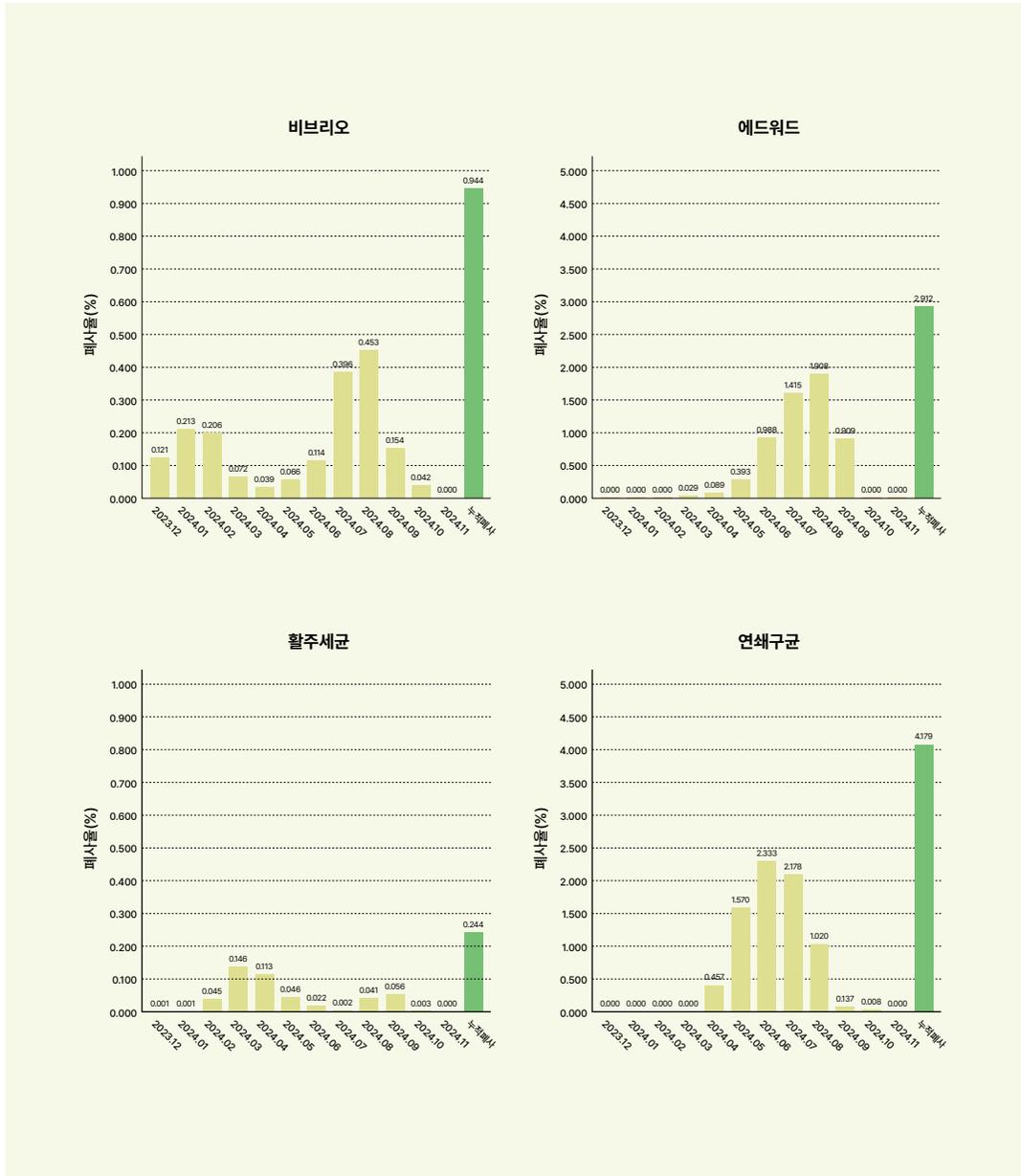


그림6-3 넙치 표본 조사한 양식장의 폐사원인별 폐사율 추이

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

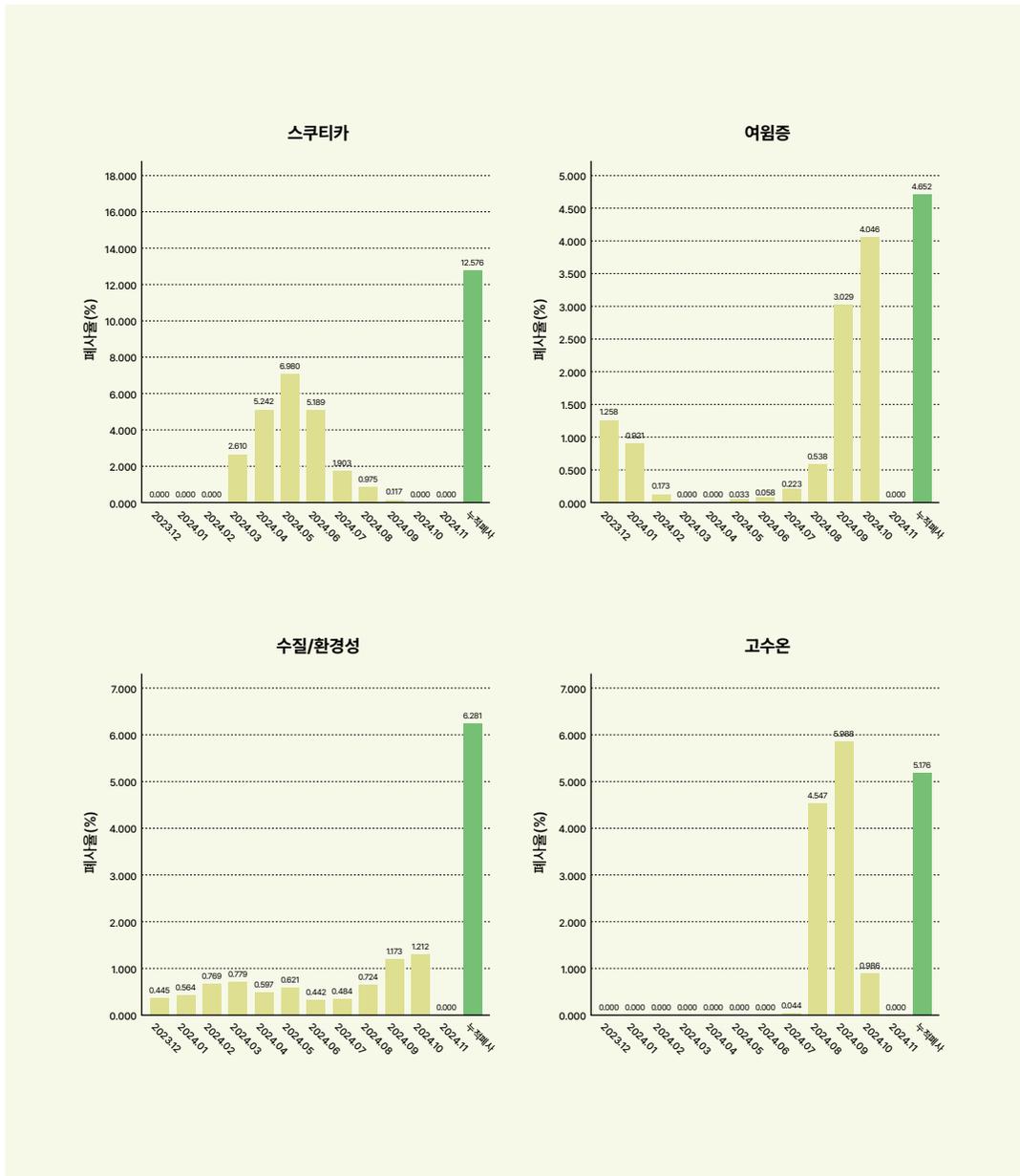


그림6-3 넙치 표본 조사한 양식장의 폐사원인별 폐사율 추이

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

(라) 최근 3년간 폐사 현황

2023년 12월부터 2024년 11월까지 12개월 동안 전남과 제주도의 넙치 양식장 71개소를 표본 조사한 결과, 주요 폐사 원인은 스쿠티카병, 고수온, 여윌증, 연쇄구균증, 수질 환경성 질병, 그리고 에드워드 감염증으로 나타났다.

표본 조사된 넙치 양식장의 전체 누적 폐사율은 36.5%였으며, 이에 따른 폐사 금액은 23,982,647천 원으로 집계되었다. 이를 기준으로 양식장 1개소당 평균 폐사 금액은 약 337,784천 원으로 산출되었다(표 6-1).

표6-1 넙치의 최근 3년간 폐사 현황

연도	2022년	2023년	2024년
표본수(개소)	60	60	71
누적 폐사율(%)	22.10%	31.2%	36.5%
피해 금액(천 원) (1개소당)	225,933천원	200,512천원	337,784천원
주 폐사 원인	스쿠티카 (42.3%)	스쿠티카 (49.3%)	스쿠티카 (34.9%)

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

(마) 월별 폐사율 및 누적 폐사율 추이

2023년 12월부터 2024년 11월까지 12개월 동안 전남과 제주도의 넙치 양식장 71개소를 표본 조사한 결과를 바탕으로, 월별 폐사율 추이와 누적 폐사율을 그림 6-4에 나타내었다.

월별 폐사율은 2024년 9월에 11.60%로 가장 높았으며, 2024년 2월에는 1.18%로 가장 낮았다. 월 평균 폐사율은 6.138%였으며, 최종 누적 폐사율은 36.52%로 집계되었다.



그림6-4 넙치 표본 조사한 양식장의 월별 폐사율 및 누적 폐사율

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

(바) 넙치 중량별 누적 폐사율

2023년 12월부터 2024년 11월까지 12개월 동안 표본 조사한 넙치 양식장 71개소에서 발생한 폐사를 넙치의 중량별로 분석한 결과를 그림 6-5에 나타내었다.

넙치의 일반적인 성장 단계를 기준으로 0~200 g은 치어, 200~500 g은 중간육성어, 500~1,000 g은 성어, 1,000 g 이상은 출하어로 구분해 분석한 결과, 치어의 누적 폐사율은 17.43%로 가장 높았으며, 중간육성어 10.02%, 성어 7.47%, 출하어 1.61%로 나타나 출하어 단계에서 가장 낮은 폐사율을 보였다.

폐사 원인별로 감염성 폐사율과 비감염성 폐사율을 분석한 결과, 치어기의 폐사 중 92.3%가 감염성, 7.7%가 비감염성이었으며, 중간육성어는 감염성

76.3%, 비감염성 23.7%, 성어는 감염성 44.0%, 비감염성 56.0%, 출하어는 감염성 28.3%, 비감염성 71.7%로 집계되었다.

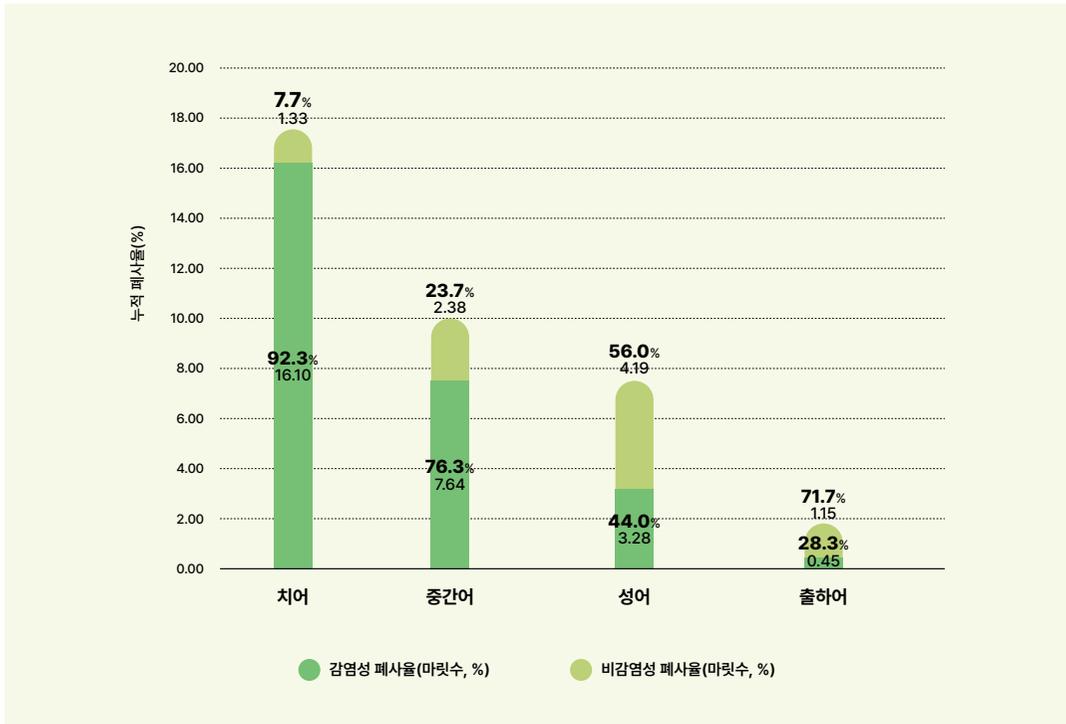


그림6-5 넙치 표본 조사한 양식장의 크기별 누적 폐사율

출처 | 국립수산물품질관리원, 2024.

(2) 사전 예방 방법

최근 넙치 양식장에서 세균과 세균, 세균과 기생충, 세균과 바이러스 등 다양한 병원체의 혼합 감염 사례가 증가하고 있다. 질병으로 인한 피해를 줄이기 위해서는 병원체가 감염되기 전에 예방하거나, 감염 후 치료하는 방법이 있다.

현재까지 양식 어류의 질병 치료를 위해 다양한 수산용 약품이 사용되고 있지만, 약제 내성균 증가, 항균제 잔류에 대한 소비자의 우려, 약제 효과가 없는 바이러스성 질병의 확산 등으로 인해 항생제의 활용성이 점차 낮아지고 있다.

또한, 선진국과 국제기구들은 항생제 내성 문제에 대응하기 위해 다양한 조치를 시행하고 있다. 2001년 세계보건기구(WHO)는 항생제 내성 확산을 방지하기 위해 WHO Global Strategy for Containment of Antimicrobial Resistance를 제안하고, 항생제 내성균의 출현 및 전파를 줄이기 위한 조치를 시행하였다.

이후 2015년 세계보건총회(WHA)와 국제연합식량농업기구(FAO), 세계동물보건기구(WOAH) 등의 관련 회의, 그리고 2016년 한·중·일 보건장관 회의에서 항생제 내성 관리를 위해 One-Health 전략 이행 계획을 추진하고, 다제내성균 감지 역량 강화를 위한 협력을 확대하기로 합의하였다(질병관리본부, 2017).

One-Health란 인간, 환경, 동물 간 항생제 내성이 교차적으로 발생할 가능성이 있음을 의미하며, 양식 과정에서 항생제 사용으로 인해 발생한 내성균이 인체에 감염될 경우 심각한 공중보건 문제를 초래할 수 있음을 시사한다. 따라서, 항생제를 이용한 질병 치료는 국제적 요구와 국내 양식 수산물의 안전성 확보 차원에서 지양해야 하며, 친환경적 양식 생산과 효과적인 질병 관리를 위해 예방이 더욱 중요하다고 판단된다.

질병 예방을 위해서는 다음과 같은 관리가 필요하다: ① 종자 입식 시 질병 관리, ② 양성 중 질병 관리, ③ 사료 관리, ④ 사육수 관리, ⑤ 시설 및 도구 관리.

(가) 종자 입식 시 질병 관리

1) 종자 입식 전

양식장에 종자를 입식하기 전, 건강 상태를 철저히 점검해야 한다. 이를 위해 종자 생산자로부터 건강증명서 또는 병성 감정 결과 통지서를 요청해 검사 결과를 확인하고, 종자가 건강한지 또는 양식장에서 관리 가능한 수준의 질병 여부를 고려해 입식 여부를 결정해야 한다.

2) 종자에 질병 징후가 발견되었을 때

입식한 종자에서 질병 징후가 발견되면 즉시 수산질병관리사와 연락해 진단을 받아야 한다. 진단 결과에 따라 적절한 조치를 시행하며, 확진까지 일정 기간이 필요한 경우에는 수산질병관리사와 협의해 질병 확산을 막기 위한 사전 조치를 취해야 한다.

3) 양식장 내 관리

양식장 내에서는 입식 후 일정 기간 동안 종자의 상태를 지속적으로 점검하고, 질병 발생 여부를 면밀히 관찰해야 한다. 입식 전에 수조를 미리 선정해 종자를 입식하고, 이후 병성 감정 결과 통지서를 보관해 기록을 유지하는 것이 중요하다.

또한, 질병 발생 시 어병 관리대장과 사육 관리 일지에 진단 내용, 조치 사항, 질병 발생 당시의 양식장 환경 등을 구체적으로 기록해 향후 대비책을 마련해야 한다.

(나) 양성 중 질병 관리

양식장에서 발생할 수 있는 다양한 질병을 체계적으로 관리하고 예방하기 위해서는 상황별로 적절한 대응이 필요하다.

양식장에서 질병이 발생하면, 사육 관리 담당자는 신속하게 병어를 선별해 격리 수조로 이동시킨다. 이러한 조치는 질병이 다른 어류로 전파되는 것을 막기 위한 필수 절차이다. 병어 관리 과정과 결과는 철저히 기록되어야 하며, 사육 관리 일지에 상세히 기재해야 한다. 또한, 병어용 뜰채 등 사육 관리 도구는 철저히 소독해 질병 확산을 방지해야 한다.

질병 증상이 나타나면 즉시 조치를 취하고, 사육 관리 일지 및 어병 관리 대장에 모든 과정을 기록해 추후 관리에 활용해야 한다. 수산생물 전염병이 의심될 경우에는 즉시 시장, 군수, 구청장 등 관할 당국에 신고해 적절한 대응을 준비해야 한다.

표6-2 넙치 질병 발생 시 관리방법

상황	사육관리 담당자	대표자
병어 발생 시	<ul style="list-style-type: none"> • 병어 선별 • 격리 수조로 이동 이동 • 결과를 <사육관리일지>에 기록 	<ul style="list-style-type: none"> • 업무 지시
질병 발생 시	<ul style="list-style-type: none"> • 대표자에게 보고 • 지체없이 격리조치 • 병어용 뜰채 등 사육관리 도구 철저히 소독 	<ul style="list-style-type: none"> • 질병 증상 등에 대한 조치 이행 • <사육관리일지> 및 <어병 관리대장>에 기록 보관
수산생물전염병 의심 시	<ul style="list-style-type: none"> • 시장, 군수, 구청장에게 신고 	

1) 예방조치

질병 발생을 최소화하기 위해 예방적 조치 시행 여부를 사전에 결정해야 하며, 필요에 따라 약욕이나 백신 처리를 고려할 수 있다.

2) 백신프로그램 운영

넙치의 건강한 생육을 위해 매년 수산질병관리사와 협력해 백신 프로그램을 계획하고, 접종 전 사육 수온과 질병 발생 여부 변화를 면밀히 관찰해 적절한 백신 접종 시기를 결정해야 한다.

(다) 사료 관리

1) 배합사료 반입

넙치 양식에 사용되는 사료는 품질과 안전성이 검증된 HACCP 지정 사료공장에서 납품받아야 하며, 모든 사료는 사료거래명세서(납품서)를 수령해 보관해야 한다. 또한, 연 1회 이상 반입된 사료의 사료검정증명서를 발급받아 이상 유무를 확인하고, 해당 서류를 1년간 보관해야 한다.

사료 검사항목에는 일반성분, 아플라톡신, 중금속, 잔류 항생제 등이 포함되며, 대표자는 사료에 대한 관능 검사를 실시해 이상이 발견될 경우 즉시 검사의뢰 및 반품 조치를 해야 한다. 검사 결과는 사육 관리 일지에 기록해 사료 품질을 지속적으로 관리해야 한다.

2) 배합사료 보관

배합사료는 해충이나 기타 생물의 침입을 방지하기 위해 밀폐된 사료 보관 창고에서 보관해야 하며, 플라스틱 이중 파레트 위에 보관해야 한다.

대표자는 매일 사료 보관 상태를 점검하고, 선입선출 원칙이 준수되는지 확인해야 하며, 부적합 사항이 발견될 경우 즉시 시정 조치를 시행해야 한다. 또한, 사료 재고량을 지속적으로 관리해 부족분이 발생하지 않도록 철저히 대비해야 한다.

(라) 사육수 관리

1) 용수 확보 및 검사

넙치 양식장에서는 자연해수 사용이 권장되며, 사육에 사용하는 용수의 안전성을 확보하기 위해 정기적인 검사가 필요하다. 사육용수는 연 1회 이상 생물학적 및 생화학적 시험을 포함한 정기 검사를 실시해야 한다.

사육용수의 검사 빈도는 양식장에서 자체적으로 수립한 계획에 따라 진행하되, 관련 법령과 규정을 준수해야 한다. 또한, 수질 분석 결과서는 최소 2년 이상 보관해야 하며, 해역 수질 기준에 따라 수산용수 2급(농·어업용수) 기준을 충족하도록 관리해야 한다.

사육수의 청정도를 유지하기 위해 COD(또는 BOD) 및 대장균군 검사는 연 4회 정도 실시하는 것이 권장된다.

2) 사육용수 관리

사육용수의 오염을 방지하기 위해 저수탱크는 외부 오염원이 혼입되지 않도록 밀폐된 구조로 설계해야 하며, 청소 및 유지 관리가 용이한 설비를 갖추어야 한다.

저수탱크 상부에는 청소용 출입구를 포함해 밀폐가 가능한 시설을 설치해 외부 오염을 차단해야 하며, 주기적인 청소를 통해 사육수의 위생 상태를 유지해야 한다.

또한, 사육용수의 소독은 『수산생물질병관리법』에서 규정한 소독 실시 요령(농림수산식품부 훈령 제119호)에 따라 진행해야 한다.

3) 사육수 관련 기록 관리

사육 과정에서 발생하는 환경 변화와 용수 관리 상태는 철저히 기록해야 한다. 수온, 용존산소, 수색 및 탁도 등 수질 환경 정보는 주기적으로 점검하고, 변화가 감지될 경우 즉시 기록해야 한다. 또한, 태풍이나 호우로 인해 하천수가 대량으로 유입되거나 적조 발생 등 수질에 영향을 미칠 수 있는 상황이 발생하면 빠짐없이 기록해야 한다.

사육용수의 위생 점검 과정에서 문제점이 발견된 경우에도 해당 내용을 상세히 기록해 후속 조치가 가능하도록 관리해야 한다.

(마) 시설·도구 관리

양식장에서 사용하는 설비, 장비, 도구뿐만 아니라 작업자의 손도 충분히 세척하고 소독할 수 있도록, 작업장에 적절한 세척·소독 시설과 장비를 갖추어야 한다.

이를 위해 세척 및 소독 대상을 명확히 설정하고, 각각에 적합한 세척 및 소독 방법을 수립해 체계적으로 시행해야 한다.

1) 소독 방법

설비, 장비, 도구 등의 특성을 고려해 적절한 방법으로 세척 및 소독을 실시해야 한다. 또한, 소독 후에는 소독제가 작업 도구나 설비에 잔류하지 않도록 깨끗한 물로 충분히 세척해야 한다.

2) 세척·소독제 선택 및 관리

세척·소독제는 수산용으로 허가된 제품 중에서 구매와 관리가 용이한 것을 선택해야 하며, 모든 사용 내역은 약품 관리 대장에 등재해 체계적으로 관리해야 한다.

소독제는 햇빛이 직접 닿지 않고 통풍이 잘되는 곳에 보관해야 하며, 안전을 위해 시건장치를 부착해 보관해야 한다. 또한, 소독제를 희석해서 사용할 경우, 희석액 통에 적정 희석 비율(눈금, 계량컵 등)을 표기해 쉽게 확인할 수 있도록 해야 한다.

3) 세척·소독제 사용

소독제를 사용할 때는 사용 용도와 허용 농도를 명확히 규정하고, 세제 및 소독제 통에 라벨을 부착해 사용자가 이를 준수하도록 해야 한다.

사용 시 원액이 직접 피부에 접촉되지 않도록 위생장갑을 착용해야 하며, 피부에 닿았을 경우 즉시 흐르는 물로 충분히 씻어야 한다.

소독제는 미리 제조하면 효과가 감소하므로 반드시 사용 당일에 만들어 사용해야 하며, 다른 소독제나 세제와 혼합 사용하지 않도록 주의해야 한다. 특히, 중성세제로 세척할 경우 2~3회 이상 충분히 헹구어 잔여 거품이 남지 않도록

관리해야 한다.

(3) 사후 관리

폐사어가 발생한 경우, 우선 정상 사육어와 분리해 사육 공간에서 격리한 후, 폐사어 보관고(냉동고)에 보관해야 한다. 폐사어는 주기적으로 반출해 해당 지역의 폐사어 처리 장소로 이동시킨다.

폐사어 처리는 수산생물질병관리법 제17조 제2항 및 제18조 제1항·제3항에 따라 소각하거나 매몰해야 한다. 또한, 폐사어를 고온 처리 시설을 통과시킨 후에는 비료 등으로 재활용할 수 있으며, 이 경우 병원체를 완전히 제거할 수 있는 허가받은 시설을 선택해야 한다.

폐사어 반출 후에는 반드시 ‘사육 관리 일지’에 기록해 체계적으로 관리해야

표 6-3 폐사어 처리 방법

	소각	매몰
장소	<ul style="list-style-type: none"> 수산생물의 소각시설이 있는 장소에서 소각 사람이나 가축의 접근을 제한할 수 있는 장소에서 소각 수원지·하천·도로와 주민이 집단으로 거주 하는 지역에 인접하지 않는 곳에서 함 	<ul style="list-style-type: none"> 수원지·하천·도로와 주민이 집단으로 거주하는 지역에 인접하지 않는 곳으로서 사람이나 가축의 접근을 제한할 수 있는 곳
방법	<ul style="list-style-type: none"> 소각로를 사용할 때는 그 장치의 사용법에 따름 사체와 물건 등을 태운 장소와 그 부근 소독 	<ul style="list-style-type: none"> 해당 사체의 상부부터 지표까지의 간격이 2 m 이상 파서 매몰 바닥과 벽면에는 비닐을 덮고, 생석회를 뿌린 다음, 사체 투입 다시 생석회를 뿌린 후 지표면까지 복토를 하고, 지표면에서 1.5 m 이상 성토

나. 주요 발생 질병과 대책

(1) 바이러스성 질병

(가) 바이러스성 출혈성 패혈증

1) 병원체 및 발생 지역

바이러스성 출혈성 패혈증(Viral Hemorrhagic Septicemia, VHS)은 Viral Hemorrhagic Septicemia Virus (VHSV)에 의해 발생하는 질병이다. 이 바이러스는 담수 어류뿐만 아니라 유럽과 북미 지역의 다양한 해산 어류에서도 발견된다.

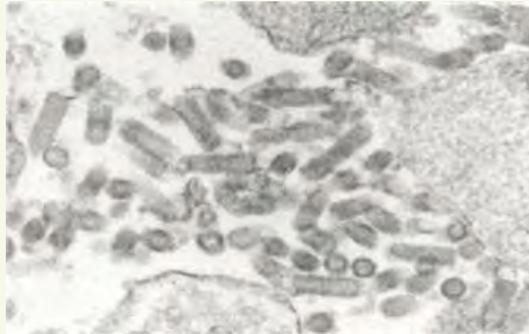


그림6-6 넙치에서 분리한 전자현미경 상의 VHSV

출처 | https://www.nifs.go.kr/fishguard/disease01_view?dssCd=IV009&fshCd=611301,
검색일: 2024.6.10.

2) 증상

VHS에 감염된 넙치는 체색이 흑화되며, 복수 저류로 인해 복부 팽만, 탈장, 아가미 퇴색 등의 증상이 나타난다. 감염된 개체를 해부하면 복강 내에 맑은 복수 또는 출혈성 복수가 차 있으며, 간에서는 출혈이 관찰된다.

또한, 감염 정도에 따라 신장이 비대해지거나 회백색으로 변색되며, 비장은 정상보다 크기가 커지는 특징이 있다.



그림6-7 VHSV에 감염된 넙치(좌 : 복부팽만, 탈장, 우 : 복강 내 출혈성 복수 저류)

3) 역학

우리나라에서는 2001년 이후 겨울과 봄철 저수온기에 VHSV로 인한 피해 사례가 증가하고 있다. VHSV의 발병 수온은 10~13℃이며, 넙치의 크기와 관계 없이 폐사가 발생한다.

감염 개체의 주요 감염 장기는 심장과 신장이며, 비장, 뇌, 근육, 아가미에서도 감염이 확인될 수 있다.

4) 진단

VHSV는 세포배양법 또는 PCR을 이용해 진단할 수 있다.

5) 대책

VHSV는 $1\sim3 \times 10^3 \text{ uWs}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 의 자외선을 조사하면 불활화되며, 염소, 차아염소산, 요오드포어 등의 소독제에도 쉽게 불활화된다. 따라서 양식장에서 사용하는 기구와 수조를 철저히 소독하는 것이 효과적인 예방 방법이다.

그러나, 다른 바이러스성 질병과 마찬가지로 VHS를 치료할 수 있는 화학요법제는 현재까지 개발되지 않았다. 따라서 예방적 관리와 위생적인 양식 환경 조성이 가장 중요한 대책이다.

(2) 세균성 질병

(가) 에드워드병

1) 병원체 및 발생지역

에드워드병은 에드워드균(*Edwardsiella tarda*)에 의해 발생하는 세균성 질병으로, 담수 연어과 어류뿐만 아니라 유럽과 북미 지역의 다양한 해산 어류에서도 검출되는 병위체이다.



그림6-8 에드워드균(전자현미경)

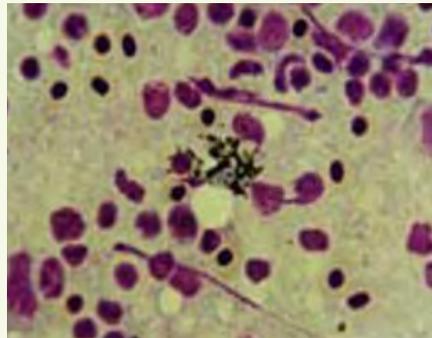


그림6-9 비장에 감염된 에드워드균(그램염색)

출처 | https://www.nifs.go.kr/fishguard/disease01_view?dssCd=IV009&fshCd=611301
검색일: 2024 6. 10.

출처 | https://www.nifs.go.kr/fishguard/isease01_view?dssCd=IV009&fshCd=611301
검색일: 2024 6. 10.

2) 증상

에드워드병에 감염된 넙치는 안구가 돌출되고 백탁 현상이 나타나며, 농양이 형성된다. 또한, 복부가 팽만하고 항문이 빨갱게 부어오르며, 장이 돌출되는 경우가 많다(그림 6-11).

감염 개체를 해부하면 부패한 냄새를 동반한 출혈성 복수가 관찰되며, 간, 비장, 신장이 비대해지고 결절이 형성되는 특징이 있다(그림 6-10).

질병이 진행됨에 따라 감염된 개체는 먹이를 잘 먹지 못하고 체색이 검어지며, 표층을 힘없이 유영한다. 또한, 중앙 배수 파이프 근처에서 수류를 따라 빙빙 도는 행동을 보이거나, 배수 파이프에 붙어서 폐사하는 경우도 있다.

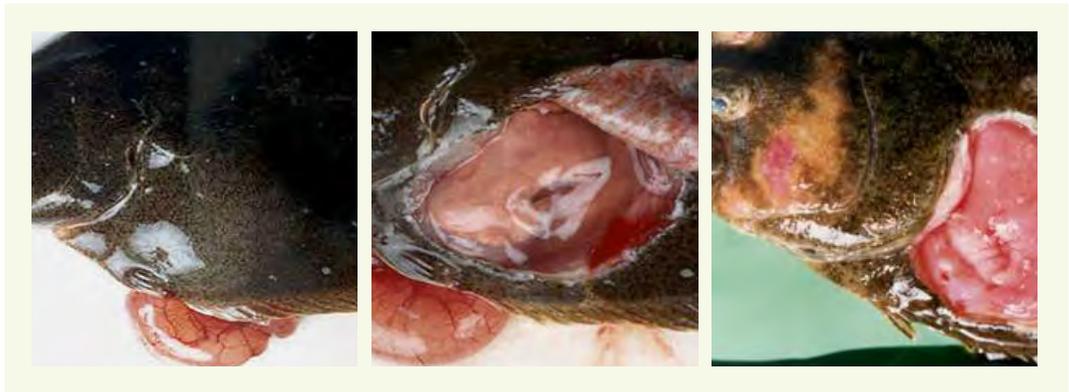


그림6-10 에드워드병에 감염된 넙치
(좌: 복부팽만, 탈장, 중: 복수 및 간 용해, 우: 안구 주변 농창 및 결절)

3) 역학

에드워드병은 미성어부터 성어까지 모든 사육 단계에서 발생할 수 있으며, 병의 진행 속도는 비교적 느린 편이다. 그러나 넙치의 사육 밀도가 높아지거나 먹이를 과다 공급해 수질이 악화될 경우, 에드워드균이 급격히 증식하면서 질병을 유발한다.

양식장에서 에드워드병이 발생하면 치료가 어렵고, 장기간 지속적인 폐사가 발생할 가능성이 크다. 특히, 수온이 23℃ 이상인 5월부터 10월 사이에 주로 유행하며, 고수온일수록 피해율이 증가하는 경향이 있다. 또한, 가온이 이루어지는 순환 수조에서는 연중 발생할 수도 있다.

이 질병은 만성적으로 발병하는 특성이 있어 장기간 누적 폐사율이 높아질 가능성이 있다. 최근에는 연쇄구균증과의 합병증 사례가 증가하고 있어 사육 관리에 더욱 주의가 필요하다.

혼합 감염의 경향으로는 동일 수조 내에서 에드워드병과 연쇄구균병이 각각 따로 존재하는 경우도 있지만, 일반적으로 동일 개체에서 두 가지 균이 동시에 검출되는 사례가 많다.

4) 진단

에드워드병은 세균 배양법(BHIA, SS 배지)을 이용해 진단할 수 있다. 또한, 악취가 나는 복수, 탈장, 농양, 두부 종창 등의 임상 증상을 통해 간이 진단이 가능하다.

5) 대책

에드워드병을 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 고수온기 동안 환수율을 최대한 증가시키고, 사육 수조 바닥의 찌꺼기를 제거해 사육 환경을 청결하게 유지하는 것이 중요하다. 또한, 사육 밀도를 낮추어 스트레스를 줄이는 것이 예방에 효과적이다.

질병 발생 시 항생제 치료가 쉽지 않으므로, 반드시 전문가 처방 후 항생제를 사용해야 한다.

최근에는 에드워드병과 연쇄구균병을 동시에 예방할 수 있는 혼합 백신이 개발되어 있으며, 이를 활용하면 감염 예방에 도움이 될 수 있다.

(나) 연쇄구균병

1) 병원체 및 발생지역

연쇄구균병은 연쇄구균(*Streptococcus iniae*, *S. parauberis*, *Lactococcus garvieae*, *Streptococcus sp.*)에 의해 발생하는 세균성 질병으로, 담수 연어과 어류뿐만 아니라 유럽과 북미 지역의 다양한 해산 어류에서도 검출되는 병원체이다.

이 질병의 원인균은 발생 시기나 지역에 따라 종류가 다를 수 있으며, 다양한 환경에서 감염 사례가 보고되고 있다.

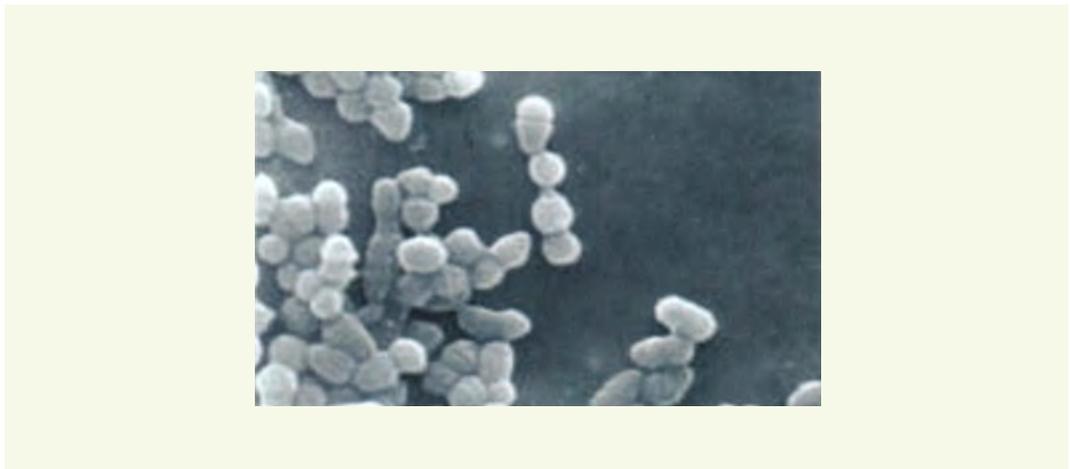


그림6-11 연쇄구균(전자현미경)

출처 | 국립수산과학원, 2012.

2) 증상

연쇄구균병에 감염된 넙치는 외부적으로 안구 돌출, 백탁 및 출혈, 두부와 상·하턱의 발적, 아가미뚜껑 하부 및 내측 출혈이 나타나며, 체표와 아가미에서 점액이 과다 분비되는 증상이 관찰된다(그림 6-12).

내부적으로는 신장과 비장이 비대해지고, 아가미의 빈혈과 괴사 증상이 나타날 수 있다(그림 6-13). 감염된 개체를 해부하면 간에서 출혈이나 퇴색이 확인되며, 장관의 발적과 복수 증상이 나타난다.

연쇄구균병은 간과 신장에 병변이 생기고 복수 증상이 나타난다는 점에서 에드워드병과 유사하지만, 주요 장기에 결절이 형성되지 않는 것이 특징이다.

감염된 어류는 먹이를 잘 먹지 못하고 완만하게 유평하거나, 바닥에 흩어져 있는 모습이 관찰된다. 또한, 몸을 뒤집고 머리를 수면 위로 올린 채 입을 벌리고 있는 행동을 보이기도 한다.



그림6-12 연쇄구균에 감염된 넙치
(안구 돌출 및 출혈)

그림6-13 연쇄구균에 감염된 넙치
(아가미뚜껑 내측 출혈,
아가미 빈혈, 신장 비대, 탈장)

3) 역학

연쇄구균병은 사육 환경이 악화되거나 관리가 부적절하게 이루어질 경우 발생 위험이 높아진다. 특히, 여름철 고수온기에 피해가 심해 예방 대책이 무엇보다 중요하다.

이 질병은 여름부터 가을까지 비교적 높은 수온에서 발생하기 쉬우며, 치어부터 성어까지 모든 성장 단계에서 감염될 수 있다.

4) 진단

현미경 관찰 시 연쇄구균은 둥근 구균 형태가 사슬처럼 연결된 긴 구조를 이루는 특징이 있다(그림 6-11).

5) 대책

연쇄구균병을 예방하고 관리하기 위해서는 고수온기에 접어들수록 양식 어류의 상태를 자주 점검하며, 이상 행동을 면밀히 관찰해야 한다. 특히, 다른 연령대의 개체와 함께 사육하지 않도록 하고, 감염된 개체는 신속히 제거해 질병 확산을 방지해야 한다.

사료 관리 또한 중요한 요소이다. 양질의 신선한 사료를 공급하고, 비타민제 및 면역 증강제를 꾸준히 투여해 어류의 면역력을 강화하는 것이 필요하다.

연쇄구균병과 에드워드병이 동시에 발생하는 경우, 우선 연쇄구균에 감수성이 높은 항생제를 투여해 치료한 후, 에드워드균에 감수성이 높은 항생제를 사용하면 보다 효과적인 치료가 가능하다.

약제 투여 시에는 최소 5일간 절식한 후, 5~7일 동안 경구 투여해야 하며, 반드시 전문가의 처방을 받은 약제를 사용해야 한다.

(다) 비브리오병

1) 병원체 및 발생지역

비브리오병은 비브리오균(*Vibrio anguillarum*)에 의해 발생하는 세균성 질병이다. 이 균은 현미경으로 관찰하면 짧고 약간 굽은 형태의 간균을 띠는 특징이 있다.



그림6-14 비브리오균(전자현미경)

출처 | https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Vibrio_anguillarum,
검색일: 2024.6.10.

2) 증상

비브리오병에 감염된 넙치는 체색이 어두워지고, 힘없이 유영하거나 수조 바닥에 정지한 상태로 머무르는 경향을 보인다.

외부적으로는 등 부위에 국소적인 발적과 궤양이 형성되며, 복부 측면과 지느러미 부위에서 출혈이 나타난다. 또한, 지느러미 끝이 손상되거나 궤양이 형성되며, 지느러미 기저부에도 출혈이 발생하는 특징이 있다.

궤양의 형태는 불규칙적이며, 표피 출혈이 발생한 후 점차 면적이 커지고, 출혈이 진피와 근육층까지 확장되면서 근육이 노출된다. 질병 진행 속도가 빠른 경우, 궤양이 깊어지고 내부 장기에도 영향을 미칠 수 있다(그림 6-15).

감염이 심화되면 간이 충혈되거나 퇴색하며, 복수가 차고 장 점막에서 점상 출혈이 관찰된다.

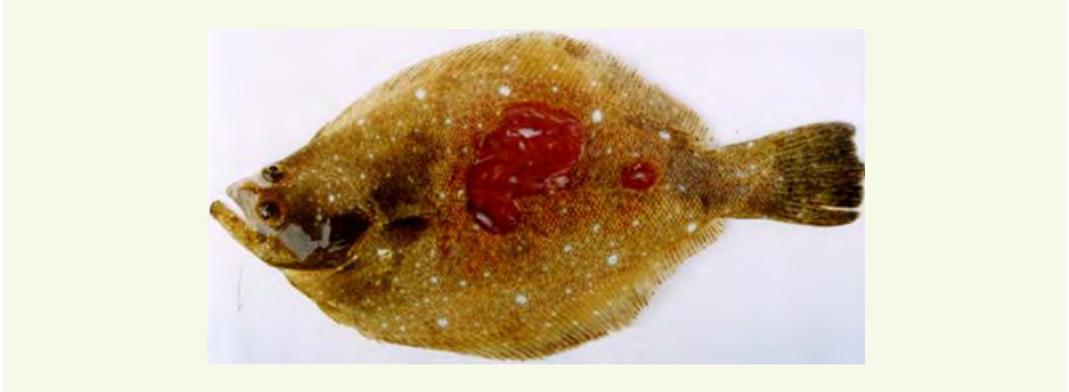


그림6-15 비브리오병에 감염된 넙치(등근육 출혈성 궤양)

3) 역학

비브리오병은 연령과 관계없이 모든 개체에서 발생할 수 있으며, 주로 6~10월 사이의 고수온기에 발병하는 경향이 있다. 반면, 겨울철에는 비교적 발생 빈도가 낮다.

이 질병은 육상 수조와 해상 가두리 양식장에서 모두 발생할 수 있으며, 넙치가 스트레스를 받거나 다른 세균성, 기생충성, 영양성 질병이 함께 발생할 경우 쉽게 감염되는 2차 세균성 질병이다.

4) 진단

비브리오균은 비브리오균 선택배지(TCBS)를 이용한 세균 배양 검사 또는 PCR 기법을 통해 진단할 수 있다.

5) 대책

비브리오균은 해수에 상존하는 세균으로, 단독으로는 질병을 일으키지 않는 기회 감염성 병원균이다.

이 질병은 주로 넙치의 선별 작업이나 이동 과정에서 취급 부주의로 인해 상

처가 생길 경우 감염되며, 다른 질병에 의해 2차 감염이 발생할 가능성이 높다.

따라서, 예방을 위해 양식 관리 시 넙치가 물리적 스트레스를 받지 않도록 주의해야 한다. 만약 질병이 발병한 경우, 전문가의 처방을 받은 항생제를 경구 투여하거나 약욕 처리해 치료해야 한다.

(라) 활주세균병

1) 병원체

활주세균병은 활주세균(*Flexibacter maritimus*)에 의해 발생하는 세균성 질병이다

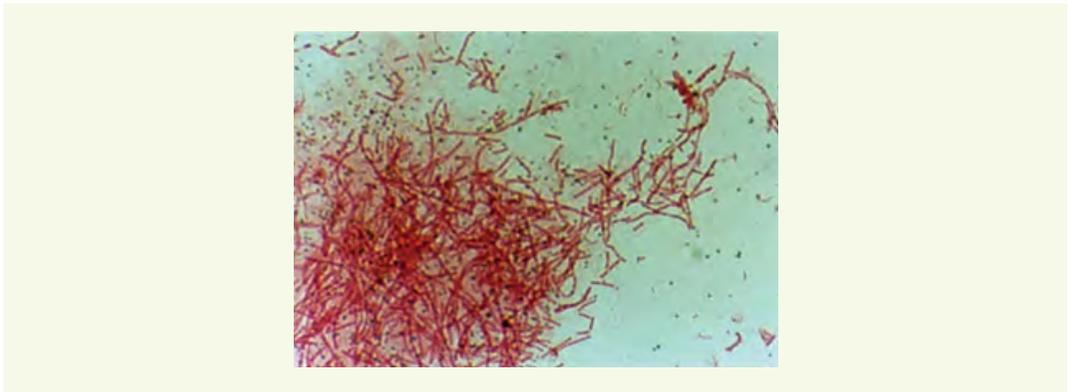


그림6-16 활주세균(그람 음성)

2) 증상

활주세균병에 감염된 넙치는 수면 위나 수류를 따라 힘없이 유평하는 모습이 자주 관찰된다.

외부적으로는 등지느러미와 꼬리지느러미가 부식되거나 괴사되는 특징이 있으며, 체표에 궤양이 발생할 수 있다. 또한, 주둥이가 부식되거나 아가미가 퇴색·부식되며, 점액이 과다하게 분비되는 증상이 나타난다.



그림6-17 활주세균에 감염된 넙치 치어

3) 역학

활주세균병은 수온이 상승하기 시작하는 봄부터 고수온기인 여름까지 자주 발생하며, 특히 양식장이나 종자 생산장에서 넙치 자어와 치어에 큰 피해를 준다.

이 질병은 환수율이 낮은 육상 수조에서 잘 발생하며, 폐사가 급격하게 진행되지는 않지만 발생 빈도가 높아 장기간 지속되면서 큰 피해를 유발한다. 또한, 수온 변화가 클수록 발생 위험이 증가하는 경향이 있다. 특히, 해류에 따른 수온 차이가 크거나 냉수대가 형성되는 경우 넙치가 스트레스를 받아 감염 가능성이 높아진다.

이 병은 밀식 양성, 용존산소 과잉, 격심한 수온 변화 등으로 인해 넙치가 스트레스를 받을 때 더욱 쉽게 발생한다. 또한, 단독으로 발생하기보다는 비브리오균, 트리코디나충, 스쿠티카충 등과 혼합 감염되는 경우가 많다.

4) 진단

활주세균은 광학현미경으로 관찰하면 긴 간균 형태를 띠는 특징이 있다.

5) 대책

활주세균병을 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 양성 밀도를 적절히 조절해 밀식을 방지하고, 환수량을 늘려 수질을 양호하게 유지하는 것이 중요하다.

또한, 출하를 위한 이동이나 선별 과정에서 넙치가 스트레스를 받지 않도록 주의해야 하며, 질병이 발생한 경우 감염 개체를 신속히 제거해 다른 개체로의 감염 확산을 방지해야 한다.

감염된 개체는 다른 병원균에 의해 2차 감염이 발생할 가능성이 높으므로, 조기에 전문가의 진단을 받아야 하며, 처방받은 항생제를 사용해 약욕과 경구 투여를 병행하는 것이 효과적이다.

특히, 종자를 도입한 후 일정 기간이 지난 뒤에도 선별하지 않으면 공식에 의한 상처로 인해 활주세균 감염 위험이 증가할 수 있으므로, 적절한 선별 시기를 준수해야 한다.

(3) 기생충성 질병

(가) 스쿠티카병

1) 병원체

스쿠티카병은 스쿠티카충(Miamiensis avidus)에 의해 발생하는 기생충성 질병이다.

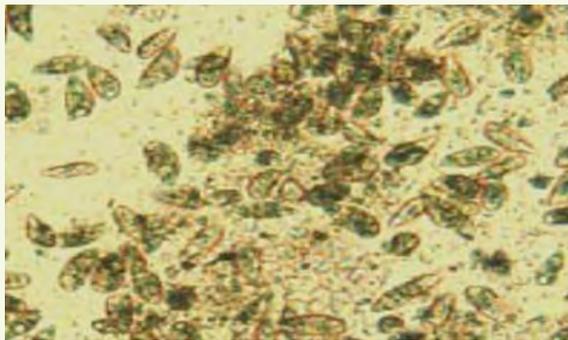


그림6-18 자유 유영하는 스쿠티카 충

2) 증상

스쿠티카병에 감염된 양식 넙치는 체표의 박리 현상이 나타나며, 근육층이 노출되는 궤양 증상이 흔하게 관찰된다. 특히, 종자 생산장에서는 넙치의 두부나 체표가 하얗게 변하면서 치어가 대량 폐사하는 경우가 많다.

감염 개체는 체표 염증, 지느러미 연조 및 꼬리자루 노출, 두부 손상(아가미뚜껑 발적, 주둥이 출혈, 안구 백탁 및 돌출, 구강점막 울혈) 등의 다양한 증상을 보인다(그림 6-19, 6-20, 6-21).

병어를 해부하면 감염 부위에 따라 뇌 조직의 액화성 괴사, 결합 조직의 용해 및 괴사가 관찰된다.



그림6-19 스쿠티카충에 감염된 넙치
(좌 : 체표 궤양, 중 : 아가미뚜껑 총혈, 우 : 꼬리지느러미 부식)

3) 역학

스쿠티카충 감염은 1990년대 초반까지만 해도 주로 사육 수온이 14~17℃로 유지되는 봄철에 종자 생산장의 치어에서 궤양을 형성하는 것이 특징이었다.

그러나 1990년대 중반 이후에는 겨울철부터 봄철까지 발병 수온이 10~17℃로 확대되었으며, 치어에서 성어에 이르기까지 숙주 범위도 확장되었다.

1990년대 후반 이후부터는 수온에 관계없이 연중 발생하는 경향을 보이며, 감염 어종도 점차 확대되고 있다. 스퀴티카충은 체표나 아가미뿐만 아니라 뇌 조직까지 침입해 감염을 일으키며, 감염된 종자뿐만 아니라 환수율이 낮은 사육 수조에서도 상존하는 기생충에 의해 감염될 수 있다.

4) 진단

스큐티카충은 방추형 또는 오이씨 모양을 가지며, 몸 전체에 섬모가 분포해 활발하게 움직이는 특징이 있다. 또한, 앞쪽 측면에 위치한 세포구를 통해 숙주 세포를 적극적으로 섭취하는 모습을 관찰할 수 있다.

5) 대책

스큐티카충 감염을 예방하기 위해서는 종자 생산장에서 사육 시설을 철저히 소독하고, 먹이 생물 배양조를 정기적으로 청소해야 한다. 또한, 로티퍼 공급 전 반드시 세척 과정을 거쳐야 하며, 착저기 이후에는 환수량을 늘리고 자치어의 주기적인 검사를 실시해야 한다.

양성장에서는 감염된 종자의 입식을 방지하고, 사육수가 정체되지 않도록 관리해야 하며, 중증 감염 개체는 즉시 수거해 확산을 차단해야 한다.

경증 감염어(체표 또는 아가미에 기생한 상태)의 경우, 승인된 수산용 포르말린 제품을 100~200 ppm 농도로 1시간 약욕 처리하면 기생충을 효과적으로 제거할 수 있다. 다만, 약욕 후에는 수조를 청소하고 여과된 해수를 공급해 처리 효과를 극대화하는 것이 바람직하다.

그러나 스퀴티카충이 뇌를 비롯한 내부 기관에 기생한 경우, 효과적인 치료 방법이 존재하지 않는다. 따라서, 감염을 조기에 진단하고 예방 조치를 시행해 내부 기관 감염을 방지하는 것이 무엇보다 중요하다.

(4) 기타 질병

(가) 여임증

1) 원인

여임증은 점액포자충(Enteromyxum leei, Parvicapsula anisocaudata 등)에 감염되어 면역 체계가 약화되면서 발생하는 질병이다.

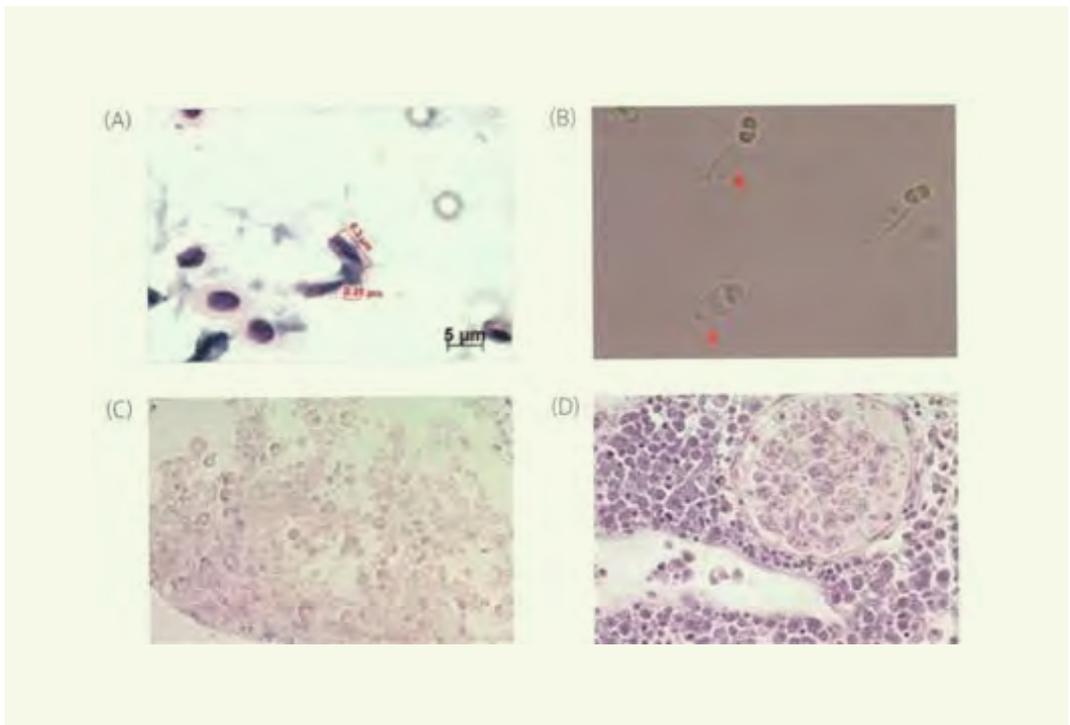


그림6-20 여임증 증상의 소화관(A, C), 소변(B), 신장(D)에서 관찰되는 점액포자충

출처 | 국립수산과학원, 2018.

2) 발생시기 및 장소

여임증은 2007년 이후 지속적으로 발생하고 있으며, 8월 하순부터 10월 하순까지 발병 빈도가 높다. 이 질병은 주로 제주 지역의 육상 양식장에서 발생하고 있다.

3) 발생크기

여임증은 주로 1년생 넙치(전장 15~25 cm)에서 주로 관찰된다.

4) 증상

감염된 넙치는 두부 함몰, 근육 두께 감소, 체고 감소 등의 증상을 보인다. 또한, 체중이 급격히 줄어들고 사료를 제대로 섭취하지 못해 결국 폐사에 이른다.

5) 역학

여임증은 주로 소화관(장)과 방광(소변)에서 점액포자충 감염이 확인되며, 소화관보다 소변에서의 출현 빈도가 더 높은 것으로 보고되고 있다. 연구에 따르면, 모든 장기(특히 장)에서 *Enteromyxum leei* 가 검출된 사례가 있으며(Sekiya et al., 2016), 장에서는 *E. leei*, 소변에서는 *Parvicapsula anisocaudata*가 검출된 사례도 있다(국립수산과학원, 2016b). 또한, 여임증과 높은 연관성을 보이는 *E. leei*가 장에서 검출되었으며, 방광에서는 *P. anisocaudata*가 검출된 연구도 있다(Shin et al., 2018).

여임증은 태풍이나 풍랑 등의 영향으로 해수가 뒤집어진 후 발병하는 경향이 있다. 특히, 10 cm 이상의 크기에서 감염이 확인되며, 20~30 cm 크기의 넙치에서 가장 심각한 피해가 발생하는 것으로 보고되었다. 그러나 30 cm 이상 크기의 개체에서도 감염이 나타날 수 있어 지속적인 관찰이 필요하다.

2016년에는 태풍 ‘차바’(10월) 이후 제주 서부 지역에서 넙치의 대량 폐사가 발생하였으며, 이후 제주 전역으로 감염이 확산된 사례가 보고되었다(국립수산과학원, 2016b).

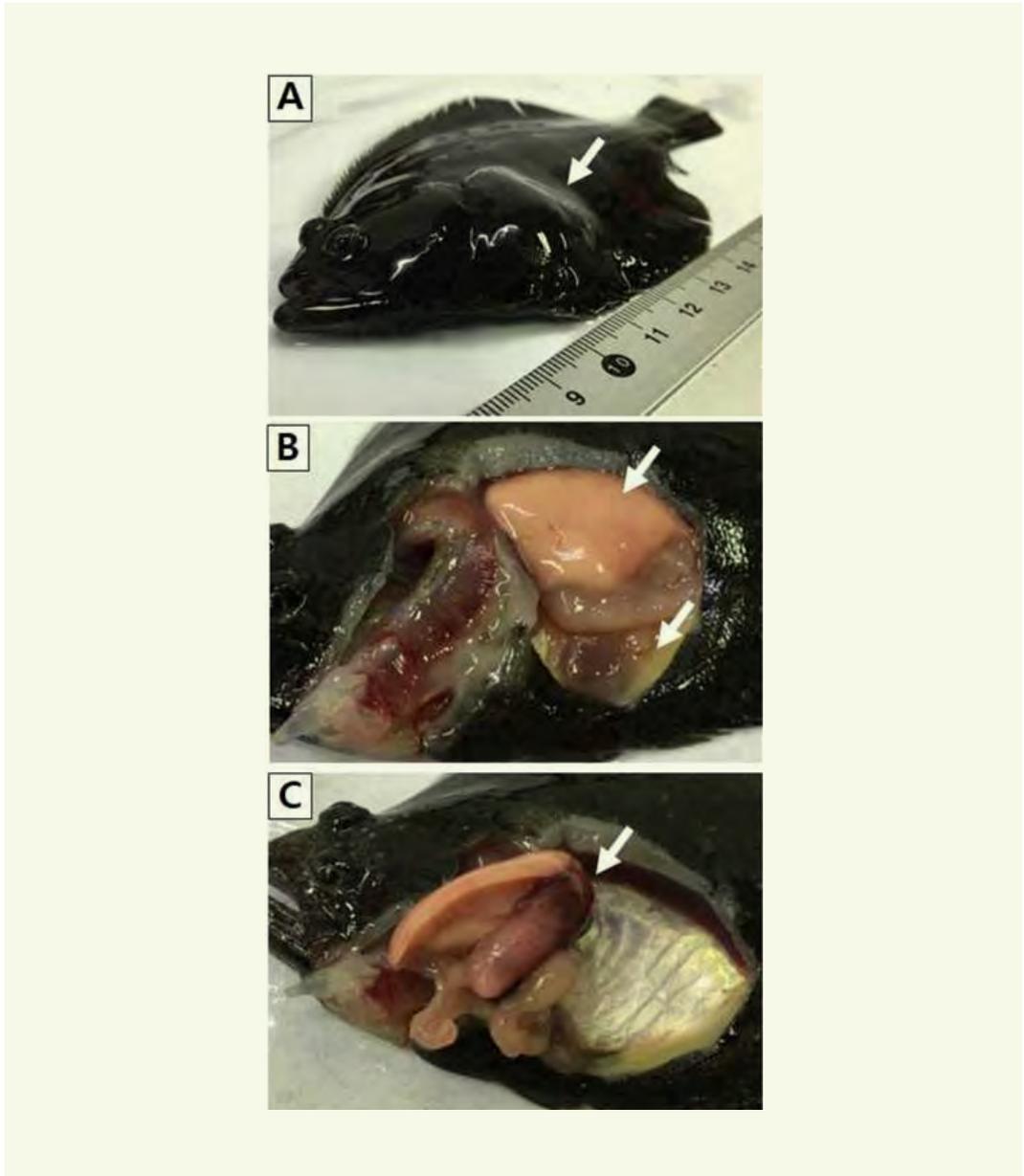


그림6-21 *Parvicapsula anisocaudata*에 감염된 넙치; 심하게 부풀어 오른 복부(A), 현저하게 비대해진 간(B), 그리고 위 출혈(C)

출처 | 김남은 외, 2018.

6) 대책

여임증을 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 면역력을 강화하고 사육 환경을 개선하는 조치가 필요하다.

먼저, 감염 예방을 위해 면역 증강제를 사용해 넙치의 면역력을 강화하는 것이 중요하다. 또한, 질병이 발생한 개체는 신속히 격리하거나 제거해 감염 확산을 방지해야 한다.

사육 환경 개선을 위해서는 유입수를 전기분해 처리, UV 처리 또는 오존 처리하는 등의 살균 조치를 시행해야 한다. 국립수산과학원과 제주해양수산연구원의 공동 연구 결과에 따르면, 자연 해수를 사용할 경우 폐사율이 80%에 이르지만, 자외선(UV) 살균수를 사용하면 폐사율이 현저히 낮아지는 것으로 확인되었다(국립수산과학원·제주해양수산연구원, 2016~2017).



07.
**출하와
품질 관리**



07. 출하와 품질 관리

가. 출하 전략

넙치의 출하는 양식 경영에서 매우 중요한 단계로, 출하 시기와 전략에 따라 경영 성과가 크게 달라질 수 있다. 출하 가격을 최대화하기 위해서는 시장 상황에 대한 철저한 정보 파악이 필수적이다. 따라서 지역별, 시기별 수입 물량과 양식 현황을 수시로 점검해 시장 수요와 공급의 균형을 맞추는 것이 중요하다.

먼저, 넙치의 시장 수요와 가격 동향을 면밀히 분석해 최적의 출하 시기를 결정해야 한다. 시장의 수급 상황을 잘 파악하면, 출하 시기와 물량을 조정해 최적의 가격을 받을 수 있다. 또한, 출하 전에는 품질 검사를 통해 제품의 신선도와 안전성을 확인해야 한다. 병든 개체나 품질이 낮은 개체는 제거해 최상의 품질을 유지하는 것이 중요하다. 이렇게 해야 소비자들에게 신뢰를 줄 수 있으며, 제품 인지도도 높일 수 있다.

출하 준비는 철저하고 신중하게 이루어져야 한다. 이동 과정에서 토사물 등에 의해 수조 내 물이 오염될 수 있으므로, 출하 2~3일 전부터 사료 공급을 중지하고, 수온을 낮추며, 액화산소를 사용해 충분한 산소를 보충하는 것이 기본이다. 이러한 준비 과정은 넙치의 스트레스를 최소화하고, 신선한 상태를 유지하는 데 도움이 된다. 출하 전에는 직원들에게 작업 내용과 주의 사항을 충분히 설명하고, 작업복과 장화의 오염 여부를 점검하며, 그물, 뜰채, 바구니 등의 출하 도구를 깨끗하게 관리하는 것이 필요하다.

출하는 주로 활어차를 이용한다. 장거리를 이동할 때 밀도가 높은 상태로 옮기기 때문에 산소 부족에 대한 주의가 필요하다. 따라서 충분한 산소를 공급하는 것이 필수적이며, 이는 활어의 생존율을 높이고 품질을 보장하는 중요한 요소다. 또한, 출하 과정에서 발생할 수 있는 다양한 변수에 대비해 철저한 계획을 세우고, 예상치 못한 상황에서도 신속하게 대처할 수 있는 능력을 갖추는 것이 중요하다.



그림7-1 출하(좌) 및 유통에 사용되는 활어차(우)

나. 브랜드 마케팅 전략

넙치는 우리나라를 대표하는 국민 횡감으로, 특히 활넙치가 소비되는 주요 어종이다. 그러나 최근 1인 가구 및 고령 인구의 증가, 그리고 간편식 선호 문화의 확산으로 인해 전통적인 횡집에서의 넙치 소비 방식은 변화의 시기를 맞이하고 있다. 집에서 손쉬운 조리과 여행지에서의 간편한 소비를 중시하는 소비자들의 요구에 맞춘 양식 넙치의 새로운 마케팅 전략이 필요하다.

현재 넙치는 대부분 활어로 소비되지만, 최근 소비자들의 식습관 변화에 따라 선어(회로 포장된 생선) 및 간편식으로의 전환이 필요하다. 1인 가구와 고령

인구는 번거로운 손질과 조리 과정을 피하고 간편한 식사를 선호하는 경향이 있다. 이러한 경향은 최근 식문화 흐름에서도 뚜렷하게 나타나며, 간편식과 배달 소비의 확산을 반영한 마케팅 전략이 절실히 요구된다.

이와 같은 배경을 고려할 때, 넙치는 먼저 프리미엄 선어 제품을 개발해 소비자들에게 제공해야 한다. 선어 제품은 고품질을 유지하면서도 간편하게 조리할 수 있는 형태로 제공되어야 한다. 패키징을 고급스럽게 디자인하고, 함께 제공되는 요리법으로 소비자들이 손쉽게 조리할 수 있도록 한다. 이러한 제품은 프리미엄 시장을 대상으로 해 제품 인지도를 높일 수 있다.

또한, 브랜드 스토리텔링과 콘텐츠 마케팅을 통해 넙치의 품질과 신선함을 효과적으로 전달하는 것도 중요하다. 넙치의 생산 과정과 지역 사회와의 연계를 강조하며, 신뢰를 주는 콘텐츠를 제작해 소셜 미디어, 블로그, 유튜브 등 다양한 채널을 통해 소비자들에게 넙치의 매력을 홍보함으로써 소비자들에게 넙치의 긍정적인 이미지를 각인시키는 것이 중요하다.

건강과 웰빙을 강조한 마케팅 전략 또한 필수적이다. 넙치의 저지방 고단백 특성과 건강에 유익한 성분을 부각해 소비자들의 관심을 끌 수 있다. 웰빙 추세에 맞추어 넙치의 건강 이점을 강조하는 마케팅을 전개하면, 건강과 다이어트를 중시하는 소비자들에게 더욱 매력적으로 다가갈 수 있을 것이다.

이와 같은 마케팅 전략을 통해 넙치 산업은 변화하는 소비자의 흐름에 성공적으로 적응하고, 새로운 시장 기회를 창출할 수 있다. 브랜드의 가치를 강화하고 소비자들의 요구를 충족시키면서 넙치의 경쟁력을 높이는 것이 필요하다.

다. 수산물 인증을 통한 품질관리

(1) 국내 양식수산물 인증

현행 해양수산부에서 관리하는 수산양식 관련 국내 친환경인증은 세 개의 종류로 유기수산물, 무항생제수산물, 활성처리제 비사용 수산물이 있다. 친환경 인증은 국가가 지정한 인증기관에서 서류심사와 현장심사를 실시하며 반기 1회 또는 반기 2회의 생산 과정 조사와 유통 과정 조사, 불시심사의 사후관리가 이루어진다.

넙치는 유기수산물과 무항생제수산물 인증을 취득할 수 있으며, 유기수산물 및 무항생제 수산물 인증 기준은 크게 12개의 요건으로 구성되어 있다. 유기수산물 및 무항생제 수산물의 인증을 취득하기 위해서는 종자 입식 단계부터 인증 제품으로 출하할 때까지의 모든 기록과 증빙서류가 포함된 경영자료가 필요하다. 또한 양식장의 환경, 종자, 양식밀도 및 시설기준, 양식관리, 수산용 의약품 및 화학물질 사용, 생산기자재 위생관리, 사료, 생산물의 기준 및 검사, 운반관리, 양식기간 등에 관한 세부적인 기준을 갖추고 있어야 한다.

유기수산물 및 무항생제 인증을 취득하기 위해서는 ‘국립수산물품질관리원 홈페이지’-‘품질관리’-‘친환경 인증’에 접속해 친환경 인증 신청서를 다운받아 작성한 후 각종 서류와 함께 국립수산물품질관리원 지원하거나 지정 인증기관에 제출한다. 서류심사가 진행되고 나면 현장심사를 거쳐 인증 여부 판정을 받을 수 있다(그림 7-2).

표7-1 국내 친환경수산물 인증 기준

구분	인증 기준 대주제
유기수산물 · 무항생제수산물	경영관리
	양식장환경
	수산종묘의선택 및 번식 방법
	양식밀도 및 시설
	양식관리
	동물복지 및 질병관리
	생산기자재 위생관리
	생산물의 기준
	생산물의 채취
	운반관리
	기타

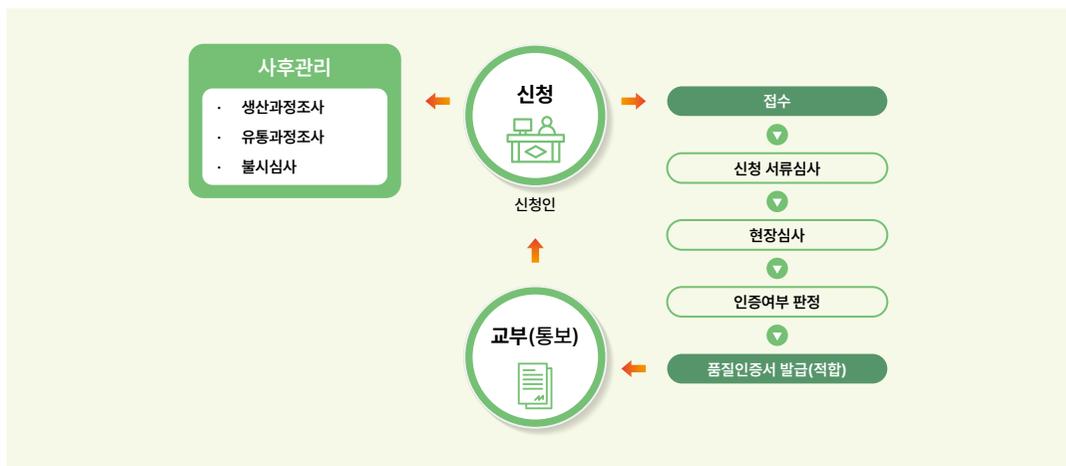


그림7-2 친환경 인증 절차

(2) 국제 양식수산물 인증

(가) HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) 양식장 인증

양식장 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) 인증은 양식장에서 생산된 수산물이 안전하고 위생적으로 관리될 수 있도록 위해 요소를 분석하고, 이를 효과적으로 통제하는 시스템이다. 양식장에서 발생할 수 있는 생물학적(병원균, 기생충), 화학적(항생제, 중금속), 물리적(이물질 혼입) 위험 요소를 사전에 평가하고, 이에 대한 예방적 관리 체계를 구축하는 것이 핵심이다.

일반적인 식품 HACCP이 식품 가공·유통 단계에서의 안전성을 관리하는 반면, 양식장 HACCP은 양식 과정에서의 사료, 수질, 질병 관리, 출하 전 검사 등의 요소를 중점적으로 관리한다. 국내에서는 한국식품안전관리인증원과 해양수산부가 관련 업무를 담당하며, 수산물의 안전성을 확보하고 국내외 시장에서 신뢰도를 높이기 위해 양식장에서도 HACCP 인증이 점점 확대되고 있다.

HACCP 인증을 획득하면 넙치 양식장에서 생산된 수산물의 위생과 안전성이 보장되며, 국내외 시장에서 신뢰도를 높일 수 있다.

(나) ASC (Aquaculture Stewardship Council) 인증

또 하나의 대표적인 국제 인증은 ASC (Aquaculture Stewardship Council) 인증으로, 환경 및 사회적 책임이 있는 인증된 양식장에서 생산된 수산물에 적용되는 인증 제도이다. 이 인증은 지속 가능한 양식을 확립하고 책임 있는 수산물 소비를 촉진하기 위해 만들어졌으며, 현재 글로벌 시장에서 ASC 인증 수산물에 대한 요구가 증가하고 있다.

ASC 넙치 인증 기준은 크게 8가지 항목으로 구분되며, 주요 내용은 환경 보호와 사회적 책임을 중심으로 구성되어 있다(표 7-2). 환경 부문에서는 외래종으로부터의 서식지 보호, 멸종위기 종 보호, 폐기물 및 배출물 관리, 항생제 및 화학물질 사용 제한 등이 포함된다. 사회적 책임 부문에서는 근로자의 권리 보호, 지역사회와의 공존, 양식업 운영의 투명성 등이 요구된다. 반면, 양식 수산

물의 질병 관리나 위생 안전 관리 등 품질 관련 기준은 다른 인증 제도에 비해 상대적으로 적거나 포함되지 않는 경우가 많다.

표7-2 넙치 ASC 인증제도 기준

환경적 책임	법규 준수
	서식지 및 생물다양성 보호
	유전자 변형 금지 및 야생종 보호
	효율적이고 책임감 있는 자원 사용
	질병 및 해충 관리
	치어 이력 추적
사회적 책임	긍정적인 지역 사회와의 관계
	근로자 대우

출처 | ASC 홈페이지

ASC 인증을 획득하기 위해서는 ① 사전 준비 및 내부 평가, ② 공식 신청 및 인증 기관 선정, ③ 문서 심사 및 현장 심사, ④ 결과 검토 및 인증 승인, ⑤ 지속적 관리 및 사후 심사의 절차를 거친다. 먼저, 인증을 준비하는 양식장은 ASC 기준을 숙지하고 자체 평가를 진행한 후, ASC 적합성 평가기관(CAB)에 공식 신청을 해야 한다. 이후, 평가 기관이 양식장의 운영 기록과 환경·사회적 책임 관련 자료를 검토하고, 현장 심사를 통해 운영 실태를 점검하게 된다. 심사 과정에서는 환경 영향 평가 및 지역사회 의견 수렴도 이루어지며, 심사 결과에 따라 개선이 필요한 사항이 있을 경우 이를 보완한 후 최종 검토를 받는다. 모든 기준을 충족하면 ASC 인증이 부여되며, 이후에도 정기적인 모니터링과 연례 심사를 통해 인증이 유지된다.



08.
양식장 경영



08. 양식장 경영

가. 비용 분석

넙치 양식업은 국내 양식 산업에서 중요한 비중을 차지하며, 생산 비용의 효율적 관리는 양식업자의 경영 안정성과 직결된다. 본 매뉴얼은 기존 연구 자료를 바탕으로 제주와 완도 지역 넙치 양식장의 경영비용을 분석하고, 주요 비용 항목별 특성을 정리하였다.

양식장 운영 비용은 사료비, 전력비, 인건비, 종자비, 약품비, 판매관리비, 기타 운영비 등으로 구성되며, 각 항목의 비중과 총비용은 지역별로 차이를 보인다.

(1) 양성장 비용 구조 분석 및 지역별 비교

표8-1 넙치 양성장 경영비용 구조

연도	제주		완도	
	투입비용(원/m ²)	비율(%)	투입비용(원/m ²)	비율(%)
전력비	43,370	12.8	53,045	16.1
사료비	121,057	35.7	94,255	28.5
인건비	42,139	12.4	44,508	13.5
종자비	46,394	13.7	48,936	14.8
약품비	18,391	5.4	32,000	9.7
판매관리비	22,514	6.6	25,291	7.7
기타운영비	45,636	13.4	32,326	9.8
비용합계	339,502	100.0	330,361	100.0

출처 | 백은영 외, 2024.

2022년 제주와 완도 지역의 넙치 양식장 경영비용을 비교한 결과, 시설 면적당 총비용은 제주 339,502원/m², 완도 330,361원/m²으로 두 지역이 유사한 수준을 보였다. 그러나 세부 항목별 비용에서는 뚜렷한 차이가 나타났다.

넙치 양식장에서 가장 큰 비중을 차지하는 비용 항목은 사료비와 전력비로, 두 항목을 합한 비용이 전체 비용의 절반 이상을 차지하였다.

제주의 사료비는 121,057원/m²(35.7%), 완도는 94,255원/m²(28.5%)로, 제주가 완도보다 26,802원/m² 더 높았다. 이는 제주에서 폐사율이 상대적으로 높아 단위 면적당 사료 비용이 증가한 것으로 해석된다.

전력비는 완도가 53,045원/m²(16.1%)로 제주의 43,370원/m²(12.8%)보다 9,675원/m² 더 높았다. 이는 완도 지역이 제주도에 비해 겨울철 낮은 수온으로 가온이 필요하고, 조수간만의 차로 인해 해수 유입·배출 변동이 심해 이를 조절

하기 위한 양수펌프 가동 시간이 길어진 것으로 보인다.

약품비는 완도가 32,000원/m²로 제주 18,391원/m²보다 높았다. 이는 완도의 낮은 폐사율과 단위 면적 당 높은 생산량에 따른 약품 사용 증가가 주요 원인으로 보인다. 또한, 최근 백신 사용이 본격화되면서, 두 지역 모두 약품비가 증가하는 추세를 보이고 있다.

기타 운영비 항목에서는 제주가 45,636원/m²으로 완도의 32,326원/m²보다 13,310원/m² 높았다. 이 역시 제주 지역의 높은 폐사율로 인해 단위 면적 당 관리 비용이 증가한 데 따른 것으로 보인다.

(2) 양성장 비용 변동 요인 분석

넙치 양식장의 경영비용은 매년 다양한 요인에 따라 변동하며, 특히 사료비와 전력비의 변화가 가장 큰 영향을 미친다. 최근 사료 원재료 가격 변동과 전기요금 인상이 지속되면서 양식업 경영 부담이 증가하고 있다. 이에 따라 사료비와 전력비 변동의 주요 원인과 그 영향을 분석하고, 비용 절감을 위한 시사점을 도출하였다.

(가) 사료비 변동 및 생사료 의존도

현재 국내 넙치 양식에서는 생사료 사용률이 91%에 달하며, 배합사료보다 압도적인 비중을 차지하고 있다. 생사료는 가격이 저렴하고 넙치의 성장률과 비만도 측면에서 유리하다는 인식이 널리 퍼져 있어 주된 사료로 사용되고 있다. 그러나 이러한 생사료 중심의 양식 방식은 원료 어획량 감소와 국제 교역 환경 변화에 취약해 지속적인 가격 상승과 수급 불안정을 초래하는 주요 원인으로 작용하고 있다.

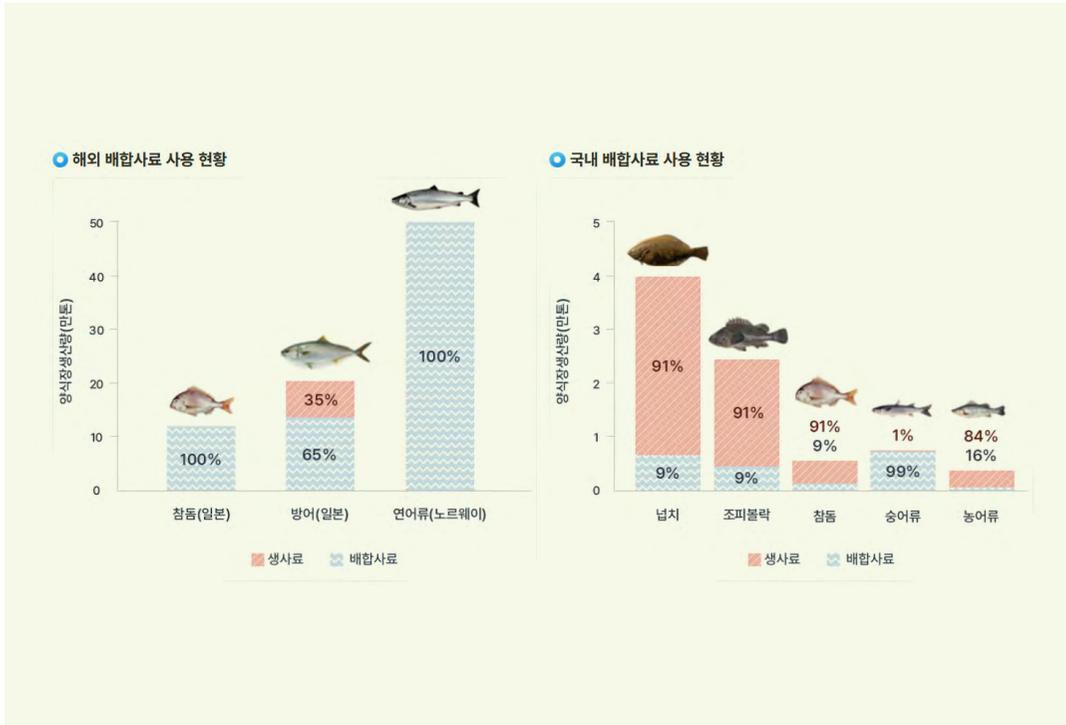


그림8-1 국내외 어종별 배합사료 사용 현황

출처 | 국립수산물과학원 e-연구바다([https:// www.nifs.go.kr/](https://www.nifs.go.kr/))

특히 최근 국내 연근해 수산물 어획량 감소로 인해 생사료 원료 어종의 가격이 상승하는 추세이며, 정부의 ‘수산혁신 2030’ 계획에 따라 어업 정책이 증산 중심에서 수산자원 관리 중심으로 전환되고 있다. 또한 총허용어획량(Total Allowable Catch, TAC) 제도의 확산으로 생사료 공급량 감소 가능성이 높아지면서, 넙치 양식업의 생사료 수입 의존도도 점차 증가하고 있다. 2019년 기준 제주 지역 넙치 양식장에서 사용된 전체 생사료 14만 3,937톤 중 67%가 수입산으로 조사되었으며, 생사료 원료가 되는 고등어, 전갱이, 정어리 등의 연도별 수입량 변동성이 커 안정적인 공급이 어려운 상황이다.

표8-2 생사료 원료 수입량 변화

(단위:톤)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년
고등어	33,270	51,182	44,564	44,952	41,748	42,581	46,119	53,945	56,158	58,475
전갱이	4,553	4,109	6,390	5,371	6,179	7,798	4,278	5,291	3,145	1,363
까나리	80,983	70,693	90,888	57,766	86,255	80,205	75,581	22,350	29,366	32,489
정어리	7,336	5,765	9,578	13,248	10,855	29,610	67,860	75,970	58,069	27,778
청어	23,179	3,536	3,797	5,794	3,327	23,616	16,851	18,475	29,781	22,742

출처 | 농림수산식품수출입동향및통계, 2023.

이와 함께 생사료 사용에는 경제적·운영적 한계도 존재한다. 생사료는 대량 생산을 통한 원가 절감이 어렵고, 개별 양식장에서 직접 가공해 사용해야 하므로 노동력 의존도가 높다. 또한 냉동 보관을 위한 설비 운영으로 전력비가 증가하며, 일정 기간 내 사용하지 못하면 폐기 비용까지 발생할 수 있다. 이러한 구조적 문제로 인해 생사료 중심의 운영 방식은 장기적으로 지속 가능성이 낮을 수밖에 없다.

따라서 넙치 양식업의 경영 안정성을 확보하고 사료비 부담을 줄이기 위해서는 배합사료 활용을 확대할 필요가 있다. 2004년 도입된 친환경 배합사료 지원 사업(배합사료 직불제)이 시행된 지 20년이 지났음에도, 여전히 배합사료를 사용하는 양식어가는 제한적인 수준에 머물러 있다. 배합사료 전환을 촉진하기 위해서는 품질 개선과 더불어 정부의 직불제 지원 확대 등의 정책적 노력이 병행되어야 하며, 넙치 양식업의 지속 가능성을 높이기 위한 적극적인 대안 마련이 필요하다.

(나) 농사용 전기요금 인상과 에너지 비용 증가

최근 지속적인 전기요금 인상으로 넙치 양식업의 경영 부담이 가중되고 있다. 특히, 양식업은 24시간 전력 공급이 필수적인 산업이므로, 전기료 상승의 영향이 직접적으로 생산비 증가와 수익성 저하로 이어질 가능성이 크다.

현재 농사용 전력은 사용 목적에 따라 ‘갭’과 ‘을’로 구분되며, 이 중 넙치 양식장은 농사용(을) 전력을 사용하고 있다.

표8-3 농사용 전력 구분 기준

농사용전력(갭)		양곡 생산을 위한 양수, 배수펌프 및 수문조작에 사용하는 전력
농사용 전력(을)	저압	다음 중 하나에 해당하는 계약전력 1,000kW 미만의 고객으로 농사용
	고압 (A, B)	전력(갭) 이외의 고객 <ul style="list-style-type: none"> • 농사용 육묘 또는 전조재배에 사용하는 전력 • 농작물 재배 축산 양잠 수산물양식업 농작물 저온 보관시설 수협 또는 어촌계 저온 보관시설 • 농수산물 생산자의 농수산물 건조시설, 수협 또는 어촌계의 수산물 제빙 냉동시설 • 농작물 재배 축산 양잠 수산물양식업 고객의 해충 구제 및 유인용 전등

출처 | 한국전력공사

2022년 한국전력공사는 전기 사용 용도와 관계없이 요금을 두 차례(4월 4.9원, 10월 7.4원) 인상했으며, 이에 따라 1 kWh당 34.9원이었던 농사용(을) 전력요금은 2023년 1월 51.0원으로 1년간 46% 상승했다. 이후에도 지속적인 인상이 이루어지면서 2024년 1월 기준 봄·가을철 요금은 59.5원/kWh로 2021년 대비 70% 가까이 증가했으며, 2025년 1월에는 66.0원/kWh, 4월에는 68.6원/kWh까지 오를 전망이다.



그림8-2 농사용 전기료 변화추이 비교

출처 | 한국전력공사

*1) 농사용 전기료는 농사용(을) 고압 요금을 기준으로 함

이러한 전기요금 인상은 양식업의 경영 부담을 크게 증가시키고 있다. 예를 들어, 월 평균 35만 kWh의 전력을 소비하는 넙치 양식장의 경우, 2022년 1월 기준 약 1,222만 원이었던 월 전기료가 2025년 1월에는 2,310만 원으로 증가할 것으로 예상되며, 이는 2022년 대비 약 1,088만 원(89%)의 추가 부담이 발생하는 수준이다.

일반적인 제조업은 원가 상승분을 소비자 가격에 반영할 수 있지만, 양식업은 시장 경쟁에 의해 가격이 결정되므로 생산비 증가분을 그대로 판매 가격에 반영하기 어렵다. 이에 따라 경영 악화가 심화될 가능성이 높으며, 양식업의 지속 가능성을 위해 정부 차원의 정책적 지원이 필수적이다.

향후 전기료 상승이 지속될 것으로 예상되는 만큼, 정부와 업계가 협력해 에너지 효율을 높이고 경영 부담을 줄일 수 있는 방안 마련이 필요하다. 이를 위해 양식업의 특성을 반영한 전력요금 조정, 에너지 절감형 설비 도입 지원, 신재생 에너지 활용 확대 등 실질적인 정책 대책이 요구된다.

(3) 종자업 비용 구조 분석

국립수산과학원의 주요 양식품목 가치사슬 연구보고서에 따르면, 2020년 기준 넙치 7~10 cm 종자의 판매가격은 마리당 300원이며, 총 투입비용은 276원으로 나타났다.

양성장과 마찬가지로 사료비는 전체 비용에서 가장 큰 비중을 차지하며, 마리당 94원으로 전체 비용의 31.4%를 차지한다. 사료는 넙치의 성장과 밀접하게 연관되므로, 품질과 효율성 개선이 종자 생산비 절감의 핵심 요소가 될 수 있다.

사료비 다음으로 큰 항목은 인건비로, 마리당 41원이 소요되며 전체 비용의 13.7%를 차지한다. 또한, 수도광열비와 수정란 구입비는 각각 35원과 34원으로, 비용 구성에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 이 외에도 시설물과 장비의 수리·유지비, 임차료 등 생산 관리 비용과 판매비, 기타비, 약품비 등이 포함되어 넙치 종자 생산 비용을 구성하고 있다.

표8-4 넙치 종자 경영비용 구조

구분	2020년	
	투입비용(원)	비율(%)
수정란 구입	34	11.2
인건비	41	13.7
수도광열비	35	11.5
약품비	14	4.7
사료비	94	31.4
생산관리비	27	9.0
판매비	16	5.3
기타비	15	5.0
비용 합계	276	91.9
이윤	24	8.1
판매가격	300	100.0

출처 | 국립수산과학원, 2021.

나. 수익성 분석

제주와 전라남도(완도) 넙치 양식업의 수익성을 비교하면, 단위 면적당 생산량과 비용 구조에서 유의미한 차이를 확인할 수 있다. 2022년 기준, 전라남도 넙치 양식장은 총 사육 면적 815,088 m²에서 20,912톤을 생산해 단위 면적당 25.65 kg의 생산량을 기록했다. 반면, 제주도는 총 사육 면적 1,072,464 m²에서 22,500톤을 생산해 단위 면적당 20.98 kg으로, 전라남도 대비 약 22% 낮은 수준을 보였다(통계청, 2022).

2022년 한국해양수산개발원 수산업관측센터 자료에 따르면, 전라남도의 1 kg 넙치 산지 평균가격은 15,455원, 2 kg 넙치는 18,913원이었다. 이를 바탕으로 전라남도의 총 매출액은 1 kg 넙치 판매 기준 약 3,232억 원, 2 kg 기준 약 3,955억 원으로 추정된다.

반면, 제주도의 경우 1 kg 넙치 평균가격은 13,995원, 2 kg 넙치는 16,691원으로 전라남도보다 낮은 수준을 기록했다. 이에 따라 제주도의 총 매출액은 1 kg 기준 약 3,149억 원, 2 kg 기준 약 3,755억 원으로 산출되었다. 생산량과 산지가격의 차이로 인해 두 지역의 매출에서도 상당한 차이가 발생했다.

비용과 수익성을 분석한 결과, 전라남도의 단위 면적당 총 비용은 330,361 원/m²로, 1 kg 넙치 판매 기준 m² 당 약 77,445원의 순이익을, 2 kg 넙치 판매 기준에서는 m² 당 약 230,995원의 순이익을 기록할 수 있었다. 반면, 제주도의 단위 면적당 총 비용은 339,502원/m²로 전라남도보다 다소 높았다. 그 결과, 제주도는 1 kg 넙치 판매 기준에서 m² 당 약 8,731원의 손실을 기록했으며, 2 kg 넙치 판매 기준에서는 m² 당 약 145,873원의 순이익을 낼 수 있는 것으로 분석된다.

전라남도의 수익성이 제주도 대비 높은 이유는 단위 면적당 생산량이 약 22% 높고, 사료비와 기타 운영비가 제주도보다 절감되었기 때문으로 보인다. 반면, 제주도는 상대적으로 온화한 수온 조건으로 인해 넙치의 성장에 유리한 환경을 갖추고 있다. 그러나 높은 폐사율로 인해 단위 면적당 생산량이 감소하며, 수익

성에 부정적인 영향을 미친 것으로 분석된다.

경제성을 높이기 위해 대형 넙치(체중 2 kg 이상) 생산이 주목받고 있다. 대형 넙치는 상품가치가 높아 경제적으로 유리하지만, 산란 시기를 거치면서 면역력 저하, 질병 발생, 폐사율 증가 등의 문제가 발생할 수 있다. 이는 특히 제주도의 높은 폐사율 문제와 맞물려 생산성 저하로 이어지는 주요 요인으로 작용한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 생식소가 휴지기에 접어드는 시점에 광주기를 조절하고 수온을 관리하는 방식을 도입하면, 생식소 발달과 성 성숙을 제어해 대형 넙치 생산의 안정성을 높일 수 있다. 이를 통해 폐사율 감소와 생산량 증가를 기대할 수 있으며, 궁극적으로 수익성 극대화가 가능할 것으로 전망된다(이영돈 외, 등록특허 10-1454968).

표8-5 2022년 월별 넙치 산지가격

(단위:원)

넙치무게(g)		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
제주	1,000	14,004	13,501	13,045	13,131	13,692	13,981	14,000	14,000	14,049	14,958	14,988	14,595
	2,000	17,645	15,992	15,890	15,949	16,348	16,086	16,182	16,074	16,042	17,707	18,318	18,061
완도	1,000	14,403	14,000	14,355	15,000	15,000	15,600	15,887	15,500	16,550	17,500	16,633	15,032
	2,000	19,403	18,732	18,855	18,855	19,403	19,200	18,367	16,532	17,717	20,000	20,000	19,242

출처 | 한국해양수산개발원 수산업관측센터

표8-6 넙치 판매 단가 별 수익 시뮬레이션

(단위:천원)

넙치 kg 당 판매단가(원)	완도		제주	
	¹⁾ 총수익	²⁾ 순수익	총수익	순수익
11,000	931,095	-159,096	761,574	-358,783
12,000	1,015,740	-74,451	830,808	-289,549
13,000	1,100,385	10,194	900,042	-220,315
14,000	1,185,030	94,839	969,276	-151,081
15,000	1,269,675	179,484	1,038,510	-81,847
16,000	1,354,320	264,129	1,107,744	-12,613
17,000	1,438,965	348,774	1,176,978	56,621
18,000	1,523,610	433,419	1,246,212	125,855
19,000	1,608,255	518,068	1,315,446	195,089
20,000	1,692,900	602,709	1,384,680	264,323

* 1000평(3300 m²) 양식장 기준

1) 총 수익 : 생산량(완도 25.65 kg/m², 제주 20.98 kg/m²) x 넙치 판매단가

2) 순 수익 : 총 수익 - 비용(완도 330,361원/m², 제주 339,502원/m²)



09.
**넙치 양식업의
미래 및 비전**



09. 넙치 양식업의 미래 및 비전

가. 스마트양식

수산 양식업의 장기적인 성장과 발전을 위해 환경친화적인 지속가능한 양식은 전 세계적으로 관심을 받고 있다. 지속가능한 양식을 위해서는 스마트양식 시스템, 사료, 육종연구 등 다양한 분야의 기술들이 필요하다.

스마트양식은 현재 전 세계 양식업의 중요한 추세로 자리 잡고 있으며, 이는 지속가능한 양식과 더불어 양식 어민들에게 실질적인 경제적 이익을 제공한다. 스마트양식 시스템은 센서와 IoT 기기 등을 통해 실시간으로 수질, 온도, 산소 농도, pH 등 환경 정보를 수집하고 모니터링해, 최적의 사육환경을 유지하는 데 도움을 준다. 이러한 데이터를 통해 양식어민들은 더 나은 의사결정을 내릴 수 있으며, 다음과 같은 구체적인 혜택을 얻을 수 있다.

(1) 스마트양식의 주요 특징과 장점

스마트양식 시스템은 어류의 생육과 환경 조건을 실시간으로 파악하고, 필요한 조정을 자동으로 수행할 수 있도록 한다. 예를 들어, 특정 환경 변화가 감지되면 자동으로 산소 공급을 조절하거나 수질 개선 조치를 실행할 수 있다. 이러한 자동화 시스템은 양식어민의 노동력을 줄여주며, 더 효과적으로 양식장을 관리할 수 있도록 돕는다. 또한, 데이터 기반의 의사결정을 통해 최적의 사료 공급

량을 조정해 비용을 절감하고, 자원의 낭비를 줄일 수 있다.

(2) 데이터 기반 의사결정의 중요성

스마트양식에서 가장 큰 이점 중 하나는 의사결정이 과학적 데이터에 기반한다는 점이다. 환경 데이터와 어류의 생육 데이터를 장기간 축적해 AI 기반 예측 모델을 활용할 수 있으며, 이를 통해 사육 어류의 성장 속도를 예측하거나 질병 발생 가능성을 미리 감지할 수 있다. 예를 들어, AI 기반 자동 사료공급 시스템은 어류의 행동 패턴을 분석해 필요한 사료량을 조절하며, 과도하거나 부족한 사료 공급을 방지해준다. 이는 양식비용 절감뿐만 아니라, 생산성을 극대화하는데 중요한 역할을 한다.

(3) 스마트양식 도입을 통한 질병 예방 및 생산성 향상

스마트양식 시스템을 통해 얻은 데이터는 질병 조기 경고 시스템으로도 활용될 수 있다. 어류의 활동 수준과 환경 변화를 분석해 질병 발생의 초기 징후를 포착하고, 양식어민에게 알림을 제공함으로써 질병 예방과 관리에 큰 도움을 준다. 이는 생산 손실을 줄이고, 건강한 어류를 유지하는 데 기여해 장기적으로 수익성을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

(4) 경제적 이점과 효율성

스마트양식 시스템의 초기 설치 비용은 높을 수 있지만, 장기적으로는 사료 비용 절감, 질병 발생 감소, 노동력 절감 등의 경제적 효과를 누릴 수 있다. 특히, 사료비 절감 효과는 운영 비용의 큰 부분을 차지하는 사료 비용을 효율적으로 관리할 수 있도록 해 경제적 이익을 극대화할 수 있다. 더불어, 자동화된 시스템을 통해 양식장의 관리와 운영이 쉬워져 인력 부담을 줄일 수 있다.

(5) 귀어인을 위한 스마트양식 교육과 기술 지원

새롭게 양식업에 도전하는 귀어인에게 스마트양식은 익숙하지 않을 수 있다. 따라서, 스마트양식에 대한 이해도를 높이기 위해 정부와 지자체는 다양한 교육 프로그램과 기술 지원을 제공하고 있다. 양식어민은 이러한 프로그램을 통해 스마트양식 시스템의 설치와 운영 방법, 데이터 해석 및 문제 해결 방법 등을 배울 수 있다. 특히, 스마트양식 클러스터와 연계된 교육과 기술 컨설팅은 귀어인들이 안정적으로 양식업에 정착하고 지속가능한 사업을 운영하는 데 큰 도움이 될 것이다.

스마트양식은 단순한 기술 도입이 아니라, 양식업을 한 단계 발전시키는 중요한 혁신 요소로 작용하고 있다. 양식어민들은 이러한 시스템을 통해 지속 가능한 양식을 실현하고, 경제적 효율성을 극대화할 수 있으며, 장기적으로 더 건강하고 생산성 높은 양식환경을 구축할 수 있을 것이다.

나. 글로벌 시장 진출을 위한 유통 기술 개발

(1) 친환경양식 인증 연계를 통한 유통망 확보

글로벌 시장에서 환경친화적인 양식 수산물의 수요가 급증하고 있는 가운데, 친환경 수산물에 대한 인증은 매우 중요한 역할을 하고 있다. 대표적으로 BAP (Best Aquaculture Practices), ASC (Aquaculture Stewardship Council), GLOBAL G.A.P 인증이 있다. 그 중 ASC 인증은 가장 대표적인 양식수산물 인증제도로 해양자원 남획과 양식의 과밀화로 인한 해양오염을 막고 지속가능한 양식 증진, 환경 보호와 사회적 책임 강조를 추구하고자 2010년 설립되었다. ASC 인증을 받은 제품은 높은 신뢰성과 품질을 보장받으며, 글로벌 시장에서 환경 친화적이고 책임 있는 제품으로 인식된다. 따라서, ASC 인증은 가격 경쟁력 측면에서도 우수하며, 주요 유통망 진입에 유리한 조건을 제공한다.

지속가능한 양식과 가치 소비에 관한 관심이 높아지면서, 기업들의 ESG (환경·사회·지배구조) 경영이 필수로 여겨지고 있다. 수산물 시장은 일상생활과 밀

접하게 연결되어 있으며, 소비자들은 비교적 낮은 비용으로 '가치소비'에 참여할 수 있다. 이러한 '가치소비' 수요를 충족시키고 식품의 안전성을 강조하기 위해 기업들은 친환경 인증 취득에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 대형 유통사들은 수산물 상품의 친환경 인증을 의무화하는 추세이다.

현재, 제주 넙치는 안전성 측면에서 부정적인 인식이 존재한다. 이는 과거 일부 지역 어업인과 유통업자들의 무개념으로 인한 안전성 문제에서 비롯되었으며, 이러한 인식은 제주 넙치의 전반적인 명성을 훼손시키고, 타 지역에 비해 낮은 산지가격 형성으로 이어지고 있다. 따라서, 제주 넙치의 안전성을 확보하고 소비자들에게 이를 체감할 수 있도록 하는 것이 시급하다. 이 문제를 해결하기 위해 제주 넙치에 대한 친환경 수산물 인증을 확보하고, 이를 통해 청정 생산 관리 홍보와 제품의 친환경 인증 마크 사용으로 인식 개선과 소비 촉진을 끌어내는 것이 필요하다.

완도 넙치에 대해서도 유사한 접근이 필요하다. 완도 지역의 넙치는 지역적 특성과 관리 방침에 따라 별도의 인증 절차를 고려할 수 있으며, 글로벌 인증을 통해 품질과 안전성을 강화하고, 이를 마케팅 전략에 반영해 시장에서의 경쟁력을 높이는 방안을 마련해야 한다. 완도 넙치의 특성과 장점을 부각할 수 있는 친환경 인증을 통해, 제주와 함께 글로벌 시장에서의 인지도와 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.



그림9-1 BAP 인증 로고, ASC 인증 로고, GLOBALG.A.P. 인증 로고

(2) 활어 컨테이너를 통한 수산물 수출

다양한 친환경 인증을 받은 넙치를 글로벌 시장에 성공적으로 수출하기 위해서는 유통 기술이 뒷받침 되어야 한다. 이미 국내에서 활어 컨테이너가 개발되어 활어 상태로 수출하고 있으며, 지속적인 기술 개발이 이루어지고 있다. 활어 컨테이너를 이용한 수출 방식은 신선도 유지와 물류 효율성에 있어 큰 장점이 있다. 활어뿐만 아니라 선어 형태의 수산물 신선도를 장기간 유지하기 위한 유통 보존기술에 관한 연구도 활발히 진행 중이다. 대표적인 예로 수산물 세포 내부의 물 분자를 진동시켜 신선도를 장기간 유지하는 ‘전자기장 컨테이너’가 있다(그림 9-2).

전 세계적으로 지속가능성을 고려하는 ‘착한 소비’ 및 ‘윤리적 소비’가 새로운 소비 추세로 자리 잡으면서 친환경 인증을 받은 수산물에 관한 관심이 높아지고 있다. 변화하는 국제 소비 추세에 발맞춰 성장하기 위해서는 세계적인 시장의 기준에 부합하는 수준 이상의 준비가 필요하다. 우리나라에서 생산되는 양식수산물을 국제적인 기준에 부합하게 생산해야 지속적인 성장을 도모할 수 있을 것이다. 다양한 친환경 인증을 받은 수산물의 생산은 글로벌 시장에서 넙치 양식업의 경쟁력을 높이는 중요한 요소로 작용할 것이다. 환경친화적인 인증과 혁신적인 유통 기술을 결합하면, 지속가능한 성장과 수익성을 동시에 달성할 수 있다. 따라서, 넙치 양식업체들은 ASC 인증을 획득하고, 활어 컨테이너와 같은 최신 유통 기술을 도입해 글로벌 시장 진출을 적극적으로 모색한다면 글로벌 시장 진출에 큰 도움이 될 것이다.

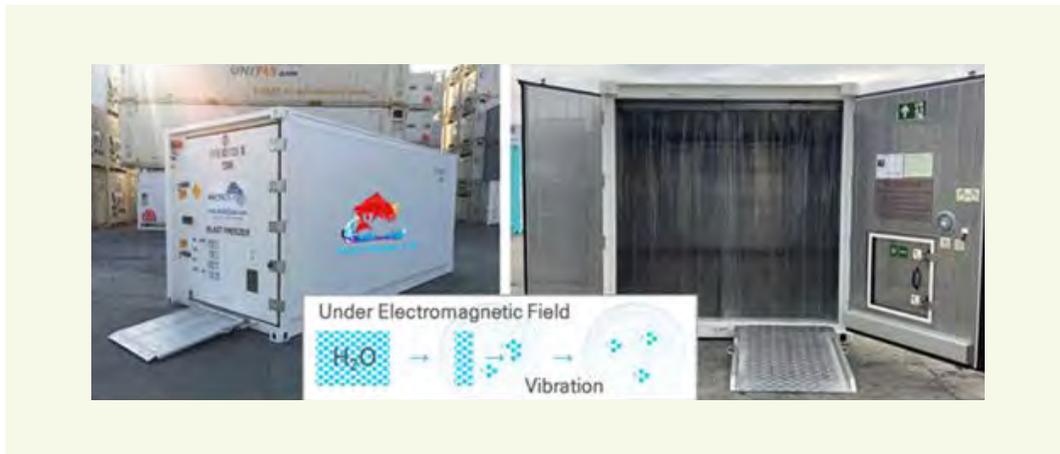


그림9-2 전자기장 컨테이너



그림9-3 활어 컨테이너



10. 참고문헌



10. 참고문헌

1. 김경길. 1994. 넙치와 범가자미의 잡종에 대한 세포유전학적 및 분자생물학적 연구. 부산수산대학교 박사학위논문 : 1-109.
2. 김남은, 김아란, 노형진, 강경식, 김도형. 2018. 양식 넙치에서 *Parvicapsula anisocaudata*의 감염 사례에 대한 보고. 한국어병학회지, 제31권 제2호, 123~129.
3. 김도형, 김경길, 이상민, 김정대. 2017. 수온별 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 스트레스 반응 및 산소소비 변화. 한국수산과학회지, 50(3), 322-330.
4. 김윤, 허성범. 1991. 수온 및 광주기 조절에 의한 넙치의 산란 유도. 한국양식학회지, 4(2), p. 85-95.
5. 권문경. 2017. 넙치질병 발생 현황. 아쿠아인포 5월호.
6. 국립수산과학원. e-연구바다.
<https://www.nifs.go.kr/portal/pcon0000156/systA/actionConts.do>.
7. 국립수산과학원. 2012. 어류질병 현장 가이드북.
8. 국립수산과학원. 2013. 넙치양식장 방역위생관리표준 매뉴얼.
9. 국립수산과학원. 2016a. 넙치 양식 표준 매뉴얼.
10. 국립수산과학원 2016b. 수산시험연구사사업보고서
11. 국립수산과학원. 2018. 수산생물질병 발생 사례집 II.
12. 국립수산과학원. 2019a. 저어분 배합사료 실용화 연구 용역 보고서.
13. 국립수산과학원. 2019b. 양어용 배합사료 실용화 및 안전성 연구 용역 보고서.
14. 국립수산과학원. 2020. 자연재해대비 양식장 관리 요령.
15. 국립수산과학원. 2021. 주요 양식품목의 가치사슬 연구.

16. 국립수산물품질관리원. 2022. 양식생물의약품사용 실태 및 질병 발생 동향 분석.
17. 국립수산물품질관리원. 2023. 넙치 양식 R&D 현황 및 산업개선 효과. p 3.
18. 국립수산물품질관리원 수산생명자원정보센터. 2024. 넙치 생물종 정. 국립수산물품질관리원.
http://www.nifs.go.kr/frcenter/sub/species_search.html
19. 국립수산물품질관리원·제주해양수산연구원. 2016~2017. 국립수산물품질관리원 수산시험연구사업 ‘수산생물 질병 특성 연구’ 중 세부 연구항목 결과. (미발표 자료).
20. 국립수산물품질관리원. 2024. 양식생물의약품사용 실태 및 질병 발생 동향 분석.
21. 농림축산식품부, 한국농수산식품유통공사. 2023. 농림축산식품 수출입동향 및 통계. 한국농수산식품유통공사.
22. 민병서. 1986. 넙치의 종묘 생산에 관한 연구부산수산대학 박사 학위 논문, p.175.
23. 부경대학교. 2023. 제주 양식산업 현안 분석 및 미래 양식생태계 변화에 따른 대응방안 연구. p 1-194.
24. 백은영, 성진우, 김대영. 2024. 지역별 넙치 양식업의 특징과 발전 방향에 관한 연구 - 제주와 완도를 중심으로. 한국도서연구, 36(2), 17-42. <https://dx.doi.org/10.26840/JKI.36.2.17>.
25. 서종표, 이치훈, 이영돈. 2021. 용암해수(지하해수)와 광주기를 이용한 광어의 성성숙 유도 및 수정란 생산. 제주학회 정기학술대회.
26. 심재동, 김명석, 정승희, 박명애, 서정수, 황지연, 김진우, 박정준, 김경민. 2019. 한국 양식 넙치 폐사피해 모니터링. 한국어병학회지, 32(2), 67-75
27. 안영·여석(安永·輿石). 1980. 자주복 치어의 염분 내성에 관한 연구.
28. 이영돈. 1990. 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 성분화와 생식소 발달. 부산수산대학교 박사학위 논문.
29. 이영돈, 노섬, 고환봉, 김동수. 1994. 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 성현상. 제주대학교 해양과환경연구소연구보고집.
30. 이영돈. 2016. 광어의 미래전략. 제1회 광어학 심포지움.
31. 어윤양. 2011. 1. 넙치양식장 환경에 따른 생산성에 관한 연구. 수산경영론집, 42(3), 79-93

32. 제주어류협회, (사)제주광어양식생산자협회. 2016. 제1회 광어학 심포지엄: 광어의 詩作과 그 가치를 말하다.
33. 좌민석, 박정일, 김도훈. 2020. 제주 광어 양식업의 실태와 경제성 분석. 수산해양교육연구, 32(6), p 1612-1622. 10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1612
34. 진병선. 2021. 사육수의 수온과 염분 및 부유물질 농도 변화에 의한 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에 관한 생리활성 변화 연구. 한국수산해양교육학회지, 33(2), 353-363
35. 질병관리본부. 2017. 국가 항생제 내성 관리대책 (2016-2020).
36. 통계청. 2022. 어류양식동향조사. <http://kosis.kr>.
37. 특허등록번호 10-1454968. 2014. 넙치의 성성숙 억제를 위한 양식 방법.
38. 특허등록번호 10-2230262. 2021. 넙치 양식을 위한 배합사료조성물.
39. 특허등록번호 10-2287178. 2021. 동애등에 공급을 통한 넙치 양식방법 및 사료조성물.
40. 한국해양수산개발원. 2022. KMI 수산관측: 광어 (2022년 1월호~12월호).
41. 한지도, 김홍윤. 2016. 저산소에 노출된 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 호흡대사와 혈액의 화학적 변화. 한국수산과학회지, 49(1), 45-52.
42. 허성희, 이동진, 추현기, 박주면, 백근욱. 2010. 태안 연안에서 서식하는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 식성. Kor J Fish Aquat Sci 46: 756-759.
43. 황진욱, 김도훈. 2009. 넙치 배합사료 및 생사료의 경제성 비교분석. 수산경영론집 40(3): 63-75.
44. 安永義暢, 興石裕一. 1980. ヒラメ増殖上の諸問題に関する基礎的研究. I. 低鹽分順化, 攝餌および蝟集性について. 日水研研報 31: 17-31.
45. Arai K. 2001. Genetic improvement of aquaculture finfish species by chromosome manipulation techniques in Japan. Aquaculture 197: 205-228.
46. Cho, S. H., Kim, K. T., Cho, I. C., Jeon, G. H., & Kim, D. S. 2012. Compensatory growth of grower olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) with different feeding regime at suboptimal temperature. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 25(2), 272-277.

47. Gan, R. H., Li, Z., Wang, Z. W., Li, X. Y., Wang, Y., Zhang, X. J., Tong, J. F., Wu, Y., Xia, L. Y., Gao, Z. X., Zhou, L., & Gui, J. F. 2023. Creation of intermuscular bone-free mutants in amphitriploid gibel carp by editing two duplicated runx2b homeologs. *Aquaculture*, 739300.
48. Kim DS, Jeong CH, Lee YD and Rho S. 1994a. Triploidy induction in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 7, 55–61.
49. Kim DS, Moon YB, Jeong CH, Kim BS and Lee YD. 1994b. Production of all female diploid and triploid populations in *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 7: 159–164.
50. Kim J, Cho JY, Kim JW, Kim HC, Noh JK, Kim YO, Hwang HK, Kim WJ, Yeo SY, An CM, Park JY and Kong HJ, 2019. CRISPR/Cas9-mediated myostatin disruption enhances muscle mass in the olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 512: 1–12.
51. Kim, Y. B., Komor, A. C., Levy, J. M., Packer, M. S., Zhao, K. T., & Liu, D. R. 2019. Increasing the genome-targeting scope and precision of base editing with engineered Cas9-cytidine deaminase fusions. *Nature Biotechnology*, 37(4), 430–437.
52. Kishimoto K, Washio Y, Yoshiura Y, Toyoda A, Ueno T, Fukuyama H, Kato K and Kinoshita M. 2018. Production of a breed of red sea bream *Pagrus major* with an increase of skeletal muscle mass and reduced body length by genome editing with CRISPR/Cas9. *Aquaculture* 495, 415–427.
53. Ohga, H., Shibata, K., Sakanoue, R., Ogawa, T., & Kitano, H. 2023. Development of a chub mackerel with less-aggressive fry stage by genome editing of arginine vasotocin receptor V1a2. *Scientific Reports*, 13(1), 3190.
54. Qin, G., Khalil, K., Liu, S., & Dunham, R. A. 2022. Gene editing of the catfish gonadotropin-releasing hormone gene and hormone therapy to control the reproduction in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Biology*, 11(5), 649

55. Sekiya, M., Setsuda, A., Sato, H., Song, K., Han, J. K., Kim, G. J., & Yeo, I. K. 2016. Enteromyxum leei (*Myxospora: Bivalvulida*) as the cause of myxosporean emaciation disease of farmed olive flounders (*Paralichthys olivaceus*) and a turbot. Parasitology Research, Springer.
56. Shin, S. P., Sohn, H. C., Jin, C. N., Kang, B. J., & Lee, J. 2018. Molecular diagnostics for verifying an etiological agent of emaciation disease in cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus* in Korea. Aquaculture. Elsevier.
57. Wang, J., Su, B., Xing, D., Bruce, T. J., Li, S., Bern, L., Shang, M., Johnson, A., Simora, R. M. C., Coogan, M., Hettiarachchi, D. U., Wang, W., Hasan, T., Al-Armanazi, J., Lu, C., & Dunham, R. A. 2024. Generation of eco-friendly and disease-resistant channel catfish (*Ictalurus punctatus*) harboring the alligator cathelicidin gene via CRISPR/Cas9 engineering. Engineering, 39, 273–286.
58. Wu Z, Wang L, Lu Y, Zhu X, Yue X and You F. 2019. Artificial Induction and Genetic Structure Analysis of Tetraploid Turbot *Scophthalmus maximus*. Front Mar Sci 6: 1–12.
59. Yamamoto E. 1999. Studies on sex-manipulation and production of cloned populations in hirame, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 173: 235–246.
60. Yang, K., Zhang, X., Liu, Z., Lu, W. 2022. Parental personality influence offspring performance traits in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 548: 737694.

11.

그림·표 목록

그림1-1	넙치의 외형 및 지느러미 명칭	17
그림1-2	1983년 국립수산진흥원 거제수산종묘배양장 전경	21
그림1-3	연도별 국내 넙치 연구 역사	24
그림1-4	연도별 세계 넙치 총 양식 생산량	25
그림1-5	연도별 국내 넙치 양식 생산량 및 생산금액	26
그림1-6	연도별 넙치 경영체 현황	27
그림2-1	넙치 우수식 양식장 모식도(수면적 330평 기준)	31
그림2-2	넙치 순환여과 양식장 모식도(수면적 330평 기준)	33
그림2-3	양수펌프	35
그림2-4	비상발전기	35
그림2-5	액화산소	39
그림2-6	위: 어업회사법인 라온바다(주) 실증모델팜 제어 시스템 아래: 수질제어 프로그램 UI	42
그림2-7	국립수산과학원 실시간 해양수산환경 관측시스템 화면	43
그림3-1	성숙한 넙치 수컷과 암컷 생식소의 외부형태와 내부 구조	49
그림3-2	넙치 수컷과 암컷의 생식소 중량지수 변화	52
그림3-3	넙치 난 발생	55
그림3-4	자성발생 넙치의 사육수온에 따른 성비 변화 (대조구: 암컷 97.8%, 수컷 2.2%)	57
그림3-5	먹이생물 배양 (좌: 로티퍼, 우: 알테미아)	60
그림3-6	넙치 부화자어에서 변태 완료까지의 외형 변화	62

그림3-7	넙치 초기 사육 단계의 먹이 공급 일정(17~20도 기준)	65
그림4-1	먹이 습성에 따른 어류의 소화기관 형태	76
그림4-2	생사료 생산 과정	78
그림4-3	다양한 동·식물성 원료 및 첨가제 혼합에 의한 배합사료 생산	79
그림4-4	배합사료 제조기(Twin extruder)	80
그림4-5	사료 섭취율에 영향을 미치는 요인	81
그림4-6	저어분 배합사료 현장시험을 통한 연도별 성장 결과	87
그림4-7	실험사료를 공급한 넙치의 월별 체중 변화	89
그림4-8	실험사료를 공급한 넙치의 증체율, 생존율, 사료계수	89
그림4-9	최근 5년(2019년-2023년) 간의 제주와 완도 지역의 월별 수온 변화	90
그림4-10	넙치 입식 및 출하 방식에 따른 연간 양성 일정	91
그림4-11	제주와 완도 지역의 넙치 성장 비교	92
그림5-1	염색체공학 기술을 이용한 어류의 3배체, 4배체 및 자성발생성 2배체 유도. 1PB : 제1극체, 2PB : 제2극체, MI : 감수분열	99
그림5-2	자성발생성 2배체를 이용한 전암컷 3배체 생산	101
그림5-3	육종넙치(킹넙치) 개발 과정	103
그림5-4	유전자가위 기술을 이용한 형질유전자 제거 모식도	106
그림6-1	넙치 표본 조사한 양식장의 폐사 원인별 비율	113
그림6-2	넙치 표본 조사한 양식장의 지역별, 폐사 원인별 비율	114
그림6-3	넙치 표본 조사한 양식장의 폐사원인별 폐사율 추이	115
그림6-4	넙치 표본 조사한 양식장의 월별 폐사율 및 누적 폐사율	118
그림6-5	넙치 표본 조사한 양식장의 크기별 누적 폐사율	119
그림6-6	넙치에서 분리한 전자현미경 상의 VHSV	127
그림6-7	VHSV에 감염된 넙치(좌 : 복부팽만, 탈장, 우 : 복강 내 출혈성 복수 저류)	128
그림6-8	에드워드균(전자현미경)	129
그림6-9	비장에 감염된 에드워드균(그람염색)	129
그림6-10	에드워드병에 감염된 넙치 (좌 : 복부팽만, 탈장, 중 : 복수 및 간 용해, 우 : 안구 주변 농창 및 결절)	130

그림6-11	연쇄구균(전자현미경)	132
그림6-12	연쇄구균에 감염된 넙치(안구 돌출 및 충혈)	133
그림6-13	연쇄구균에 감염된 넙치(아가미뚜껑 내측 충혈, 아가미 빈혈, 신장 비대, 탈장)	133
그림6-14	비브리오균(전자현미경)	135
그림6-15	비브리오병에 감염된 넙치(등근육 출혈성 궤양)	136
그림6-16	활주세균(그람 음성)	137
그림6-17	활주세균에 감염된 넙치 치어	138
그림6-18	자유 유영하는 스쿠티카 충	139
그림6-19	스쿠티카충에 감염된 넙치 (좌 : 체표 궤양, 중 : 아가미뚜껑 충혈, 우 : 꼬리지느러미 부식)	140
그림6-20	여임증 증상의 소화관(A, C), 소변(B), 신장(D)에서 관찰되는 점액포자충	142
그림6-21	<i>Parvicapsula anisocaudata</i> 에 감염된 넙치; 심하게 부풀어 오른 복부(A), 현저하게 비대해진 간(B), 그리고 위 출혈(C)	144
그림7-1	출하(좌) 및 유통에 사용되는 활어차(우)	149
그림7-2	친환경 인증 절차	152
그림8-1	국내외 어종별 배합사료 사용 현황	161
그림8-2	농사용 전기료 변화추이 비교	164
그림9-1	BAP 인증 로고, ASC 인증 로고, GLOBALG.A.P. 인증 로고	175
그림9-2	전자기장 컨테이너	177
그림9-3	활어 컨테이너	177

표3-1	수온 18℃ 일 때 수정 후 부화소요 시간	54
표3-2	넙치 자어의 사육 수온에 따른 착저 시기	65
표4-1	고수온 대비 넙치 육상수조식 양식장 관리 요령	72
표4-2	냉수대 대비 넙치 육상 양식장 관리 요령	73
표4-3	넙치의 사육밀도	74
표4-4	넙치 성장 단계 및 수온별 사료 공급량(%)	82
표4-5	넙치 배합사료의 월별 공급량, 공급 횟수 및 사료 크기	84
표4-6	배합사료 직불제 배합사료 품질기준 및 지급단가	86
표5-1	양식어류에서 유전자가위 기술 적용 사례	108
표6-1	넙치의 최근 3년간 폐사 현황	117
표6-2	넙치 질병 발생 시 관리방법	122
표6-3	폐사어 처리 방법	126
표7-1	국내 친환경수산물 인증 기준	152
표7-2	넙치 ASC 인증제도 기준	154
표8-1	넙치 양성장 경영비용 구조	159
표8-2	생사료 원료 수입량 변화	162
표8-3	농사용 전력 구분 기준	163
표8-4	넙치 중자 경영비용 구조	165
표8-5	2022년 월별 넙치 산지가격	167
표8-6	넙치 판매 단가 별 수익 시뮬레이션	168



넙치 양식기술 매뉴얼

Olive flounder aquaculture technical manual

