사람과 자연이 공존하는 청정제주

2021년도

연구사업 보고서



Jeju 제주특별자치도 Jeju Special Self-Governing Province

해양수산연구원

발 간 사



제주 수산업은 지난 2017년 조수입 1조원을 나타내며 눈부신 발전을 거듭해 왔습니다. 하지만 최근 벌어진 코로나 19 팬더믹으로 많은 어려움을 겪고 있으며, 이와 함께 기후변화, 수산자원 감소, 후쿠시마 원전 오염수 방류 등으로 굉장히 어려운 여건에 봉착해 있습니다.

이와 함께 어선어업과 양식어업, 마을어업 분야에서는 국내 인력의 현장 기피현상으로 외국인 노동자로 인력 수급을 하고 있으나 이런 인력 또한 구인난이 발생하고 있으며, 양식 광어의 질병 발생량 증가, 마을어장 갯녹음 확대, 육상 오염원으로 인한 수산자원 서식환경 악화는 어촌의 근간을 위협할 수준에 다다르고 있습니다.

제주특별자치도 해양수산연구원은 지난 20년간 제주도 어촌의 현실적 어려움을 해결하기 위해 한시도 쉬지 않고 달려왔습니다. 국내 최초로 다금바리 등 바리과 어류와 제주특산 전복류인 오분자기의 종자생산에 따른 방류를 성공하였으며, 지자체 연구소로는 유일하게 어선어업 자동화 연구를 추진하는 등 단단하고 내실있는 연구기관의 역할을 수행해왔다 자부하고 있습니다.

이렇듯 현장에서 어민들과 함께 실용화 연구를 진행해왔지만 앞서 말씀드린 최근의 문제들은 우리 연구원에 끊임없이 어려운 숙제를 제시하고 있으며, 이에 우리는 책임감과 함께 사명감으로 제주도 수산업의 발전을 해양수산연구원이 이루겠다는 목표로 연구에 매진해오고 있습니다.

이 보고서는 2021년 우리 연구원에서 수행한 자원조성 및 시험연구, 조사·분석 결과의 산물이며 어선어업 연구분야, 양식산업 연구분야, 종자생산 연구분야 및 기후변화 대응 환경생태 연구分야 등에 담당 연구진들의 노고가 함축되어 있습니다. 비록 현장에 즉각 적용하기에 부족한 부분도 있겠지만 어업인이나 수산관계자들에게 작은 도움이라도 되길 바라며, 연구사업 수행에 수고를 아끼지 않은 직원 여러분들에게 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

앞으로 해양수산연구원은 어업인 요구 중심의 실용기술 개발 및 환경 변화 대응연구에 최선을 다해 연구역량을 더욱 강화할 것이며 제주 해양수산 최고 연구기관으로서의 역할을 계속해서 수행해 나가겠습니다.

2022. 3.

제주특별자치도해양수산연구원장 **고 형 범**

CONTENTS

PART 01

종자생산 분야

1. 제주특산 어류 종자생산 및 자원조성 ····· 3

2. 제주특산 오분자기 종자생산 및 자원조성 ····· 12

3. 홍해삼 종자생산 및 자원조성 ····· 21

4. 넙치 품종개량 1세대(F1) 종자생산 ····· 30

PART 02

시험·연구 분야

1. 환경조절과 호르몬 투여를 통한 터봇 수정란 생산 연구 ····· 43

2. 갈치 채낚기전용 낚싯대 개발 및 조업 성능시험 ····· 50

3. 마을어장 식물플랑크톤 군집구조와 수질등급의 계절변화 분석 ····· 63

4. 갯녹음 어장 성게 소득화를 위한 양성 가능성 시험 ····· 81

5. 제주형 해면양식 산업화 연구 ····· 92

6. 제주연안 유용 해조류 증·양식 기술개발 ····· 105
7. 제주연안 갯녹음 어장 복원을 위한 해조장 조성기법 연구 ····· 119
8. 제주 지역 수산 종자 방역검사 및 입식 현황 ····· 140
9. 옥소린산 경구투여에 따른 넙치체내 잔류특성 연구 ····· 150
10. 양식 넙치 생산자실명제 QR 코드 태그 개발 ····· 164

PART 03

부 록

• 해양수산연구원 정책목표와 전략 ····· 175
• 일반현황 ····· 176
• 해양수산연구원 기본 통계 ····· 179

PART 01

종자생산 분야

제주특산 어류 종자생산 및 자원조성

강형철 · 현옥민 · 오미숙 · 김경순 · 임은희 · 김명향 · 홍성완

Ⅰ. 서 론

우리나라의 연근해 어업생산량은 1996년 162만톤을 생산한 이후 점차 감소하기 시작하여 2020년도 93만톤으로 급감하였다(통계청, 2021). 연근해 어장의 생산성 향상을 위해서는 생태계를 유지하는 범위내에서 인공어초 시설, 인위적 해조장 조성 그리고 적극적 자원조성을 통한 유용 수산생물의 자원회복을 유도하는 일이라 할 수 있다. 특히 연안어선 어업인들의 고소득을 올릴 수 있는 고부가가치 전략어종에 대한 지속적인 자원조성사업이 필요한 실정이다.

제주의 대표적 특산어류인 자바리(다금바리)는 제주도 주 어획지인 모슬포수협 위판실적에서 2005년도 약 400 kg 정도만 어획될 정도로 자원량이 감소 추세였으나, 해양수산연구원의 지속적인 방류로 2017년 이후 약 10톤 이상 어획량이 증가하였다. 따라서 이동 범위가 넓지 않은 연안 정착성 어종을 방류할 경우 방류효과가 매우 클 것으로 예상된다.

이에 제주특별자치도 해양수산연구원에서는 제주연안 특산 어류의 자원회복을 위해 지속적으로 종자생산 및 자원조성을 실시해 오고 있는 바, 본 보고서에서는 2021년 수행되었던 어류 종자생산 및 자원조성, 그리고 민간배양장 종자생산 지원을 위해 연구원에서 생산된 수정란 분양 결과에 대해 기술하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 어미 관리

바리과 어류 친어 관리는 제주특별자치도 해양수산연구원의 어미사육동내 유효수량 25톤 사육수조(4×4×2 m) 4개조와 유효수량 60톤 사육수조 (5×5×3 m) 2개조에 사육하였다. 사육밀도는 1마리/톤 밀도로 수용하였고, 사육수는 연중 지하해수를 이용하여 18.5±0.5℃의 수온범위를 유지하였다.

참조기와 벤자리 친어 관리는 각각 유효수량 37.5톤의 (5×5×1.5 m) 사각수조

1개조에 6마리/톤의 밀도로 사육하였다. 사육수는 지하해수를 이용하여 연중 18.5±0.5℃의 수온범위를 유지하였다.

바리과 어류 친어의 먹이는 적당한 크기로 절단한 고등어, 전갱이, 오징어에 종합비타민과 오메가-3 캡슐을 삽입하여 2-3회/주 공급하였고, 성숙시기가 가까워 오는 3월 이후에는 오징어 공급비율을 증가하였다. 참조기와 벤자리 친어 먹이는 적당한 크기로 절단한 고등어와 배합사료를 병행하여 공급 하였다. 배합사료는 비타민, 종합영양제, 소화제, 간장제를 용법에 맞게 흡착하여 공급였다(그림 1).



그림 1. 어미군 공급용 생사료 및 영양제.

A: 생사료 삽입 영양제, B: 영양제 및 생사료 준비, C: 생사료에 영양제 삽입.

2. 성 성숙 유도

사육관리 중인 어미군들의 성성숙 유도를 위해 다음과 같이 환경 조절을 실시하였다(표 1).

표 1. 어미군 성숙을 위한 환경 조절

어 종	환경 조절	
	수온조절	광주기 조절
자바리	18℃ → 21℃	-
능성어	-	-
참조기	-	11L → 15L
벤자리	-	-

3. 바리과 어류 성 성숙도 조사

사육중인 어미들 중 육안으로 복부가 팽만한 개체를 선별하여 캐뉼래이션 방법을 이용하여 난모세포의 성숙도를 조사하였다(그림 2). 캐뉼래이션은 생식공내 캐뉼라(내경 1.0 mm, 외경 2.0 mm 폴리에틸렌 튜브) 삽입이 가능한 개체에서 난모세포를 채취하였으며, 난경은 만능투영기를 이용하여 측정하였다.

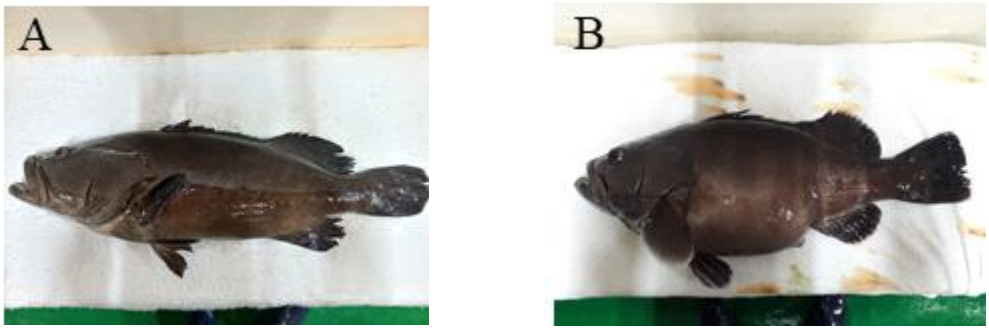


그림 2. 성성숙 유도 바리과 어류 어미.
A: 성숙 자바리 수컷, B: 성숙 능성어 암컷

4. 수정란 생산

자바리와 능성어의 최종 성성숙 유도는 HCG 호르몬 처리방법을 이용하였다. HCG 처리는 Tsuchihashi *et al.* (2003) 방법에 의하여 HCG를 생리식염수에 용해 후 500 IU/kg BW 농도로 등 근육 제 1극조 아래 1 cm 부분에 1회 주사하였다. 호르몬 주사 후 40-48시간부터 복부압박을 통해 인공채란을 실시하였으며, 수컷에서도 복부압박을 통해 정자를 인위적으로 채취한 후 인공수정을 실시하였다(그림 3).

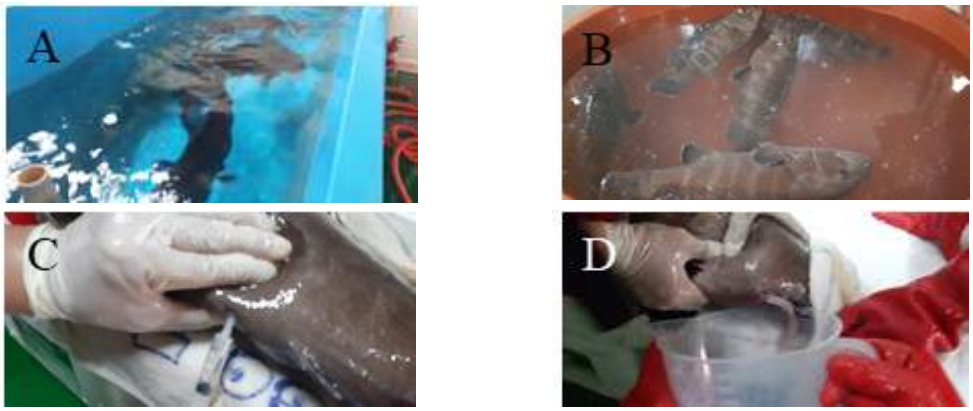


그림 3. 바리과 어류 인공 수정란 생산 과정.
A: 성숙 어미 선별, B: 어미 마취, C: 정자 채정, D: 인공 채란.

수조내에 자연산란된 참조기와 벤자리 수정란은 사육수조와 연결된 집란조(장치)에서 수거하였다. 수거된 수정란은 난의 특성을 이용해 정상적으로 발생되는 부상란만을 다시 분리하였다(그림 4).

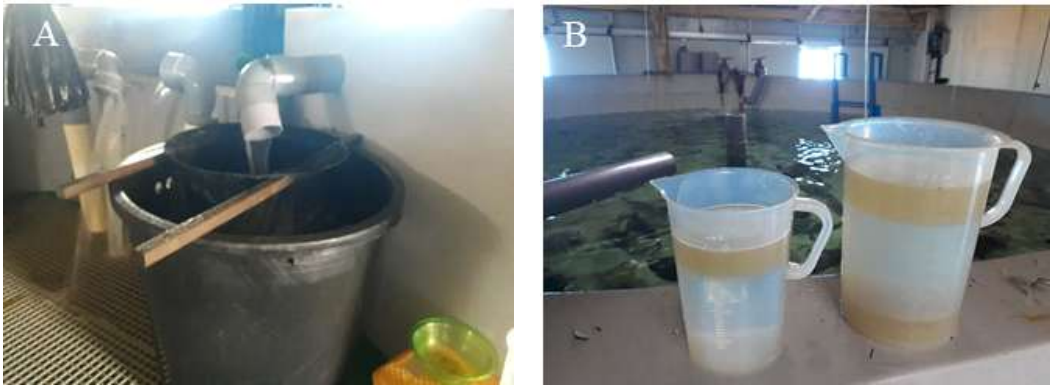


그림 4. 참조기, 벤자리 자연산란 수정란 수거. A: 수정란 수거망, B: 수거된 수정란.

5. 종자생산

수정란 선별을 위해 부상란만을 분리하여 1톤 원형 유수식 수조에 네트를 설치하여 발생과정을 관찰하였으며, 24시간 후 정상적으로 발생이 진행되는 수정란만을 재선별하여 종자생산 수조에 입식 하였다.

종자생산 수조는 7 m 원형 콘크리트수조(유효수량 50톤)과 5 m 사각 콘크리트수조(유효수량 30톤)를 이용하였다. 수정란 입식 밀도는 사육수 1톤당 수정란 10,000~30,000립 정도의 밀도로 수용하였으며, 수정란 수용당시 발생단계는 배체형성기였다. 사육수온은 바리과는 수정란 입식시 20~20.5℃에서 매일 1℃씩 상승하여 최종 27℃ 내외가 되도록 하였고, 참조기와 벤자리는 수정란 입식시 20~20.5℃에서 매일 1℃씩 상승하여 최종 25℃ 내외가 되도록 하였다.

바리과와 참조기, 벤자리 모두 부화 직후부터 사육수조 내에 수질 안정 및 로티퍼의 먹이를 제공하기 위하여 시판용 농축 *Nannochloropsis* sp. 와 DHA 강화 담수산 농축 클로렐라를 사육수조에 매일 2회 첨가하였다.

로티퍼는 바리과와 참조기, 벤자리 모두 부화 후 2일부터 공급하여 수조내 잔존 로티퍼가 15~20 개체/ml 내외가 되도록 유지하였으며, 바리과 어류는 부화 후 43일, 참조기는 부화 후 21일, 벤자리는 18일까지 각각 공급하였다. 로티퍼 영양강화는 DHA가 강화된 담수산 농축클로렐라를 이용하였다.

알테미아 유생은 바리과 어류는 부화 후 24일부터 77일까지, 참조기는 부화 후 11일부터 32일까지, 벤자리는 부화 후 14일부터 32일까지 사육수조내 0.5~2 개체/ml 되도록 공급하였다.

배합사료는 바리과 어류는 부화 후 31일부터, 참조기와 벤자리는 부화 후 19일

부터 입자규격 300~650 ㎛ 초기사료를 공급하여 개체 성장에 따라 1,100~1,500 ㎛의 사료까지 공급하였다.

사육수내 수질안정과 비브리오 억제를 위해 수정란 입식 하루 전부터 미생물 제재를 1회/일 공급하였으며, 주수는 수정란 입식 3일째부터 25℃의 가온수를 하우징 필터(10 ㎛)를 이용하여 여과 후 총 수조 톤수의 0.1%를 공급하여 사육일이 경과 될수록 점차 공급량을 증가시켰다(그림 5).

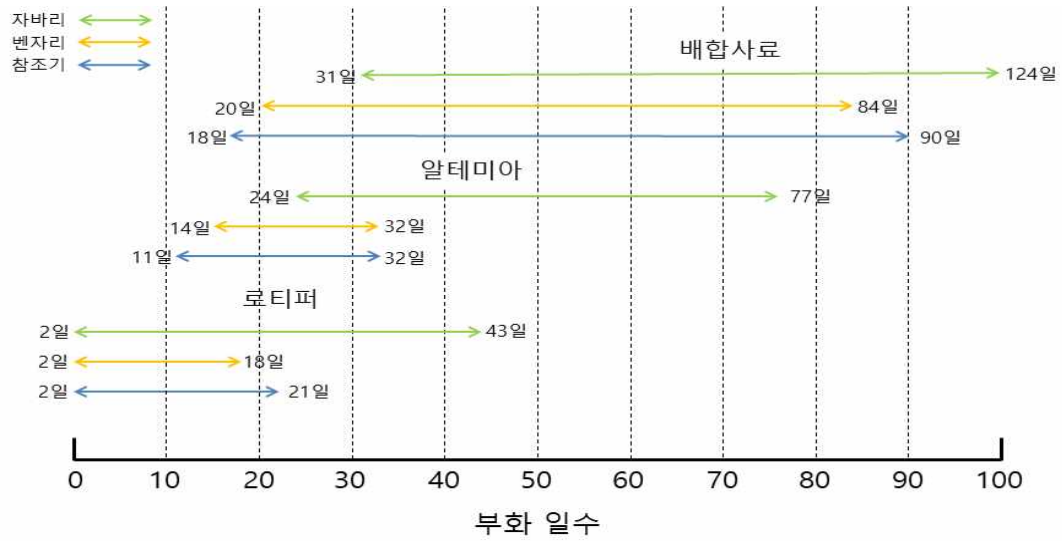


그림 5. 종자생산 먹이공급 모식도.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 품종별 수정란 생산량

바리과 어류는 호르몬 투여를 통한 인공산란, 참조기와 벤자리는 자연산란을 유도하여 수정란을 생산하였다(표 2).

표 2. 품종별 수정란 생산량

어 종	수정란 생산 방식	생산량
참조기	광주기 조절에 의한 자연산라 유도	2,350cc
벤자리	자연산란	650cc
자바리	환경조절 및 호르몬 투여를 통한 인공산란	2,100cc
능성어	성숙유도 호르몬 투여를 통한 인공산란	3,100cc

2. 품종별 종자생산 및 방류 추진 결과

2021년 어류 종자생산은 총 14회에 걸쳐 수정란을 입식 후 최종 155,000마리를 생산하였다(표 3).

표 3. 품종별 종자생산 추진 결과

어 종	입식 일자	입식량 (cc / 천립)	부화율 (%)	생산량 (마리)	생존율 (%)
합계		**6,780 / 9,516**		**155,000**	
참조기	4/22	300 / 210	95	30,000	5.01
	4/22	450 / 315	80	30,000	6.94
	5/13	230 / 161	88	30,000	12.3
벤자리	6/25	600 / 600	93	50,000	5.9
자바리	7/3	600 / 720	91	10,000	1.5
	7/3	600 / 720	92	3,000	0.4
	7/14	600 / 720	90	2,000	0.3
	7/14	300 / 360	95	-	-
능성어	6/5	700 / 1,050	91	-	-
	6/5	700 / 1,050	95	-	-
	7/7	500 / 750	95	-	-
	7/7	500 / 750	95	-	-
	7/14	700 / 1,050	92	-	-

입식된 수정란들의 부화율은 참조기 88~95%, 벤자리 93%, 자바리 90~95%, 능성어 91~95%로 나타났다. 생산된 어류 치어는 방류수산동물 전염병 검사 실시한 후 제주연안의 주서식 해역 등 5개소에 140,000마리를 방류하였다(표 4, 그림 6).

표 4. 품종별 방류 결과

품종	방류일시	방류지역	방류량(마리)
합 계		**5개소**	**140,000**
참조기	2021. 7. 21.	귀덕1리	30,000
	2021. 7. 22.	한수리	30,000
	2021. 8. 5.	고내리	30,000
벤자리	2021. 9. 9.	신양리	35,000
자바리	2021. 11. 5.	수원리	15,000

참돔, 바리과 어류 등을 대상으로 사료내 비타민과 고도불포화지방산 첨가를 통해 난질개선과 자치어 초기 생존율 향상이 보고된바 있다(Izquierdo *et al.*, 2001; Constantinos *et al.*, 2010). 2021년도의 경우, 어미 관리에서 생사료를 종류별로 혼합공급 하였으며, 특히 난질에 영향을 미치는 고도불화지방산 영양강화를 위해 오메가-3 캡슐을 생사료에 삽입하여 공급하였다. 그 결과 부화율 개선과 초기생존율 향상이 나타났으며, 그 외 로티퍼 배양방법 개선도 생산량 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.



그림 6. 2021년 어류 치어 방류

A: 7/21 귀덕1리 참조기 방류, B: 7/22 한수리 참조기 방류, C: 8/5 고내리 참조기 방류, D ~ F: 9/9 벤자리 방류, G ~ I: 11/5 수원리 자바리 방류.

3. 수정란 분양 결과

2021년 민간 배양장 대상으로 고부가 어류 종자생산 기술을 지원하기 위해 연구원에서 시험연구용으로 이용 후 남은 돌돔, 능성어, 말쥐치 3품종의 수정란 26,600 cc를 민간 배양장 17개소에 분양하였다(표 5).

표 5. 어류 수정란 분양 결과.

품종	분양 일시	요청 개소	분양량(cc)	분양 개소	치어 생산량
합계		17	25,250	12	144만 마리/10개소
돌돔	5/11 ~ 6/2	8	16,500	8	138만 마리/8개소
능성어	6/4, 6/18	3	2,100	3	5만 마리/1개소
말쥐치	5/11 ~ 6/2	6	6,000	6	1.5만 마리/1개소

Ⅳ. 참고문헌

Cho KC, Kang DY, Kang HW, and Han HS. 2012. Growth and Cold Temperature Tolerance of Cultured Juvenile Small Yellow Croaker, *Larimichthys polyactis* and Yellow Drum, Nibea albiflora. Aquaculture. 24(1), 41-47.

Kang DY, Jo KC, Lee JH, Kang HW and Kim HC. 2006. Annual Reproductive Cycle of Wild Female Yellow Croaker, *Larimichthys polyactis.* Aquaculture. 19(3), 188-196.

Kim KH, Hong SW, Moon HN and Yeo Ik. 2018. Physiological Responses of the Chicken Grunt *Parapristipoma trilineatum* to High Water Temperature Stress. Aquaculture. 51(6), 714-719.

Myoung JG, Kim YU, Huh H and Kim JM. 2004. Embryonic Development, Larvae and Juveniles of the Small Yellow Croaker (*Larimichthys polyactis*) Reared in Aquarium. Aquaculture. 37(6), 478-484.

Park JY, Hong CG, Cho JK, Son MH, Han KH and Park JM. 2015. Early Osteological Development of the Larvae and Juveniles in Sevenband Grouper, *Epinephelus septemfasciatus.* Aquaculture. 27(3), 189-198.

Park JY, Kim NR, Park JM, Myeong JI and Cho JK. 2016. The Structure of Digestive Tract and Histological Features of the Larvae in Sevenband Grouper, *Epinephelus septemfasciatus.* Aquaculture. 28(1), 9-18.

제주특산 오분자기 종자생산 및 자원조성

박용주 · 신은정 · 이정화 · 오성훈 · 오성립

Ⅰ. 서 론

오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*)는 전복류 중 각장 10 ㎝ 미만의 소형종으로서 주로 일본 남부, 대만 그리고 중국 남부 지역 등 북서 태평양 아열대와 열대 그리고 온대지역에 분포한다(Hahn, 1989; Geiger, 1999; Lee and Min, 2002). 우리나라에서는 제주 연안의 암반 조간대 해역에서 수심 3~5 m의 얕은 지역에 주로 서식하는 천해종으로 다른 전복류에 비하여 이동성이 적어 마을어장내 자원조성 품종으로 인지도가 매우 높다. 또한 제주특산 수산물인 오분자기는 도민과 관광객들에게는 뚝배기, 구이 등 향토 음식 재료로서 친숙한 수산물이었으나 최근 서식생태 환경변화, 남획 등으로 인해 어획량이 급격히 감소하여 향토 음식점에서 조차 찾아보기 힘들어졌다. 도내 마을어업 오분자기 생산량은 지난 2020년 4톤으로 1995년 159톤 보다 무려 39배 이상 급감하여 자원고갈의 수위까지 도달한 상황으로 현재는 자원회복을 위한 자원조성이 그 어느 종보다 중요한 실정이다(제주특별자치도, 2020). 이에 따라 제주 연안에 서식하는 오분자기 자원관리 및 회복을 위하여 국립수산과학원 북제주수산종묘시험장(현 제주수산연구소)에서는 1993년 종자생산 기술개발에 성공하여 1996년부터 2002년까지 도내 마을어장에 인공산 치패를 일부 방류하였고, 제주특별자치도 해양수산연구원에서도 2000년에 시험생산이 이루어져 인공 종자생산 기술을 확립하여 2005년부터 본격적으로 자체 생산한 치패를 대량으로 방류하는 자원조성 사업을 지속적으로 수행하고 있다. 또한 최근에는 오분자기 자원조성 사업을 민간으로 확대하기 위한 전복 양식어가 기술지원 사업을 다양한 방법으로 추진하고 있다.

따라서 이 보고서는 우리 연구원에서 추진하고 있는 오분자기 종자생산 및 자원조성 사업을 위한 기초 자료를 확보하고 관련 기술정보를 어업인들에게 제공코자 2021년도에 수행하였던 일련의 과정을 간략히 기술하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 부착규조류 배양관리

오분자기는 7~10월의 하절기에 다회 산란하는 종으로서 2021년 5월말부터 부착규조류 *Navicula incerta*, *Caloneis schroederi* 등 2종을 6톤 수조 72조(파판 8.8만장)에 미리 대량 배양하여 오분자기 유생채묘 후 파판에 부착된 치패의 먹이생물로 사용하였다.

부착규조류 배양수는 지하해수 70%와 자연해수 30%의 혼합해수를 사용하였으며, 사용 전 고압 모래여과기와 자루 필터(Φ10 ㎛ 이하)를 통과시켜 배양 수조내로 주수하였다. 수온은 연중 17~21℃의 범위에서 관리되었고, 조도 는 빛 차단율 50%와 70%의 차광막을 이중으로 설치하여 3,000~15,000 lux로 조절하였다. 배양수의 염분은 31~33‰, 용존산소(DO)는 6.2~7.8로 수질을 관리하였다. 또한 주 1회 이상의 규조류 청소를 통해 대형규조 및 부니질을 수시로 제거하여 채묘에 적합한 소형 규조류가 배양이 되도록 유도하였다.

2. 어미확보 및 사육관리

오분자기 수정란 생산을 위하여 2021년 6월에 성산 시흥리 어촌계로부터 자연산 어미 총 26 kg(1,098마리)를 확보하였다.

연구원으로 운송된 어미는 생식소를 관찰하여 암수 구분하여 어미 사육수조에 수용하였고, 채집 및 운송 과정에서 발생한 상처로 인한 2차 세균감염을 방지하기 위해 옥시테트라사이클린(OTC) 100 ppm에서 1시간 약욕 처리하였으며 이후 3일 동안 OTC 50 ppm 1시간씩 약욕을 실시하였다. 어미 사육은 자연해수를 공급하여 수온은 23.2~24.5℃를 유지시켜 생식소 성숙을 유도하였다(그림 1).

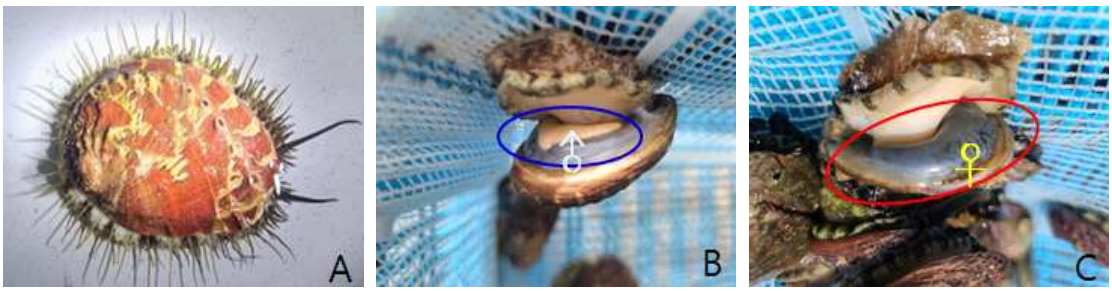


그림 1. 오분자기 어미. A: 어미, B: 성숙 암컷 생식소, C: 성숙 수컷 생식소.

3. 수정란 생산, 유생사육 및 채묘관리

오분자기의 수정란 생산을 위하여 성숙한 어미 선별, 자외선 살균기, 가온수조(1톤), 산란수조, 수정란 채집망(뭘러 가제), 부화용 용기, 유생사육 수조 및 채묘수조(파판에 부착규조류가 배양된 수조) 등을 미리 준비하였다(그림 2).



그림 2. 오분자기 종자생산 준비물. A: 암컷어미, B: 수컷어미, C: 자외선 살균기, D: 자외선 살균수 가온수조, E: 산란수조, F: 수정란 채집망, G: 부화용 용기, H: 채묘수조(부착규조류 배양수조)

오분자기 어미 산란유도 방법으로는 날씨가 화창한 날에 야외 간출 자극 15분, 실내 고온간출(34℃) 자극 1시간, 자외선 살균해수를 이용한 고수온 자극(25℃)을 통해 어미의 산란을 유도하였다. 이때 자외선 살균해수는 매 1시간 간격으로 교환하여 산란 자극의 효과를 높여주었다. 완전 성숙한 어미는 자외선 살균해수를 2~3회 교환했을 때 수컷 어미가 먼저 반응하여 방정을 시작하였고, 이후 암컷어미의 방란이 순차적으로 이루어졌다. 암컷어미의 방란이 충분히 이루어진 산란수조에 정자를 ㎖당 10~20만 개체의 농도로 넣어 인공 수정시킨 후 수정란 채집망을 이용하여 수정란을 수거하였다. 수정란은 10~15분 간격으로 3~5회 세란하여 수정되고 남은 정충을 제거하였고, 미리 준비한 유생사육 수조에 부화용기를 띄워 수정란이 용기 바닥에 가라앉아 이중으로 겹치지 않도록 밀도를 조절하여 수용하였다. 이후 부화 전까지 1~2회 정도 부화용기의 해수를 교반하여 산소량 증가 및 수온을 유지하였다.

수온 20℃에서 수정 후 약 12~13시간 만에 수정란이 부화하였고, 부화유생이 수표면에서 수직으로 직립 상태를 보이면 이때 유생만을 수조 안에 부어 넣었다.

그 후 수조 내에 유생들이 큰 직립형 군집을 보이다가 방사형 군집 형태를 보이는데 이때가 되면 유각 형성이 완성이 된 시기이므로 이때부터 소량의 주수와 에어를 공급하였다. 방사형 군집 상태가 완전히 소멸되고 유생이 수조 내에 흩어져 큰 덩어리를 이루면서 유영을 하면 주수량과 에어량을 증가시켰다. 부유유생 사육기간 동안 사육수온은 20~21℃이였으며, 일부 폐사개체에 의한 수질악화 방지를 위해 수조 바닥을 수시로 사이폰 청소를 실시하였다.

오분자기의 발생속도는 유생사육 수조내의 수온에 따라 달라지며 부화시간, 유각형성, 상족형성 및 채묘 등 각각의 발생단계에 따른 소요시간은 아래와 같이 계산하였다.

※ 오분자기 발생속도 계산법(T: 사육수온, t : 시간)

- 부화시간 : 1/t=0.0087T - 0.0951 (20℃ 기준 12.7시간)
- 유각형성 : 1/t=0.0063T - 0.0651 (20℃ 기준 16.5시간)
- 상족형성 : 1/t=0.0018T - 0.0189 (20℃ 기준 58.5시간)
- 채묘시간 : 1/t=0.0015T - 0.0150 (20℃ 기준 66.7시간)

4. 부착치패의 사육관리

채묘 이후의 해수의 공급은 2~3일간 지수하여 부유유생의 잔존 유무를 확인하였고 이후부터 약한 주수 및 본 주수 등 단계적으로 나누어 시행하였다. 조도는 채묘 초기 8,000 lux 이하로 유지하였고, 부착치패가 성장함에 따라 조도의 세기를 8,000~25,000 lux로 단계별로 조절하여 부착규조류의 배양 속도를 높여주었다.

먹이 공급은 치패의 성장과 섭이량 증가에 따라 김가루와 커트미역 등의 해조류로 전환하여 급이하였으며 그 공급량도 점차 증가시켰다, 수조청소는 배설물, 부폐사료 및 탈락규조 등을 제거하기 위하여 1주일에 1~2회 실시하였다.

5. 오분자기 자원조성을 위한 방류 적지조사

오분자기 치패 방류를 위하여 사전 적지를 실시하였으며, 조사항목은 조사어장 내 저질형태 및 갯녹음 발생 정도, 해조류 서식상황 및 해저지형 등을 조사하였으며 기초환경 요소인 수심, 해저저질, 먹이원 및 해적생물 등을 확인하여 오분자기 치패의 방류 적정지 여부를 판정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수정란 생산 및 채묘 결과

오분자기 수정란 생산은 2021년 7월에 2회, 9월에 1회를 실시하여 총 3회에 걸쳐 수정란 약 4,270만 개체를 채란하였다.

유생 기간은 사육 수온이 20℃에서 채묘까지 약 66시간 소요되었고, 부착기에 접어든 유생은 채묘 예정시기 2~3시간 전에 채집망으로 회수하여 미리 부착규조류가 배양된 수조에 파판 1장당 유생 260~330마리의 부착밀도로 수조당 30~40만 개체를 수용하여 부착기 유생을 채묘 하였다(표 1, 그림 3).

표 1. 오분자기 수정란 생산, 유생사육 및 채묘 결과.

채란일시	채란량(개체)	부화율	유생회수율	채묘밀도	비고
7월 6일	1,250만	96.9%	80.0%	330개체/파판	
7월 12일	2,600만	88.5%	53.8%	320개체/파판	
9월 27일	420만	95.7%	94.7%	260개체/파판	

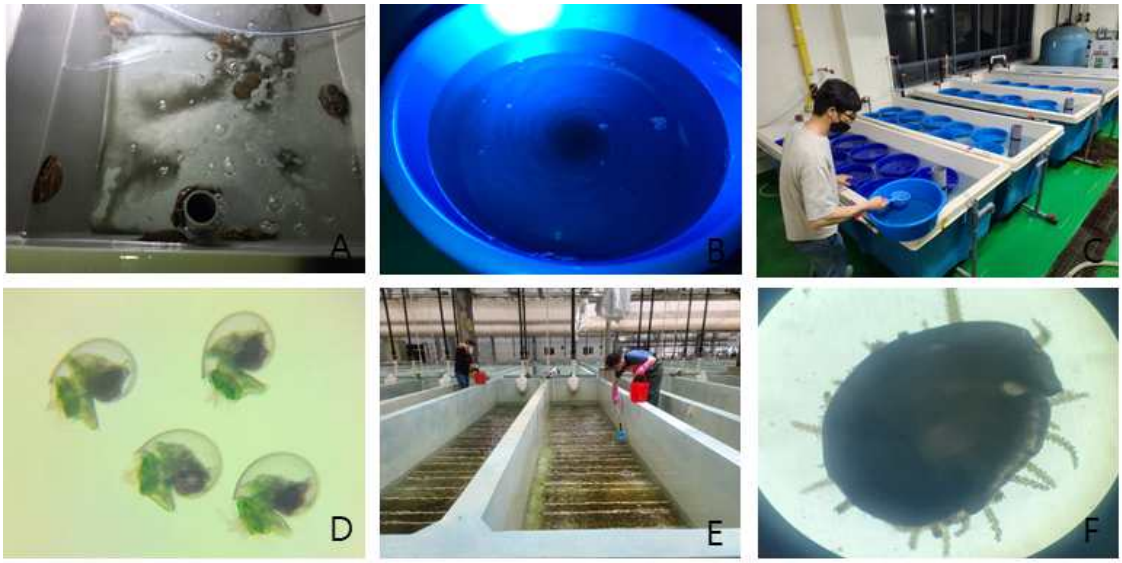


그림 3. 오분자기 종자생산 과정. A: 어미 산란유도, B, 수정란 세란, C: 부화용기 수용, D: 부유유생 사육, E: 부착기 유생채묘, F: 부착 치패 사육.

이전의 연구들을 살펴보면, 전복류 개체군에서 산란 후 재산란 가입 시기까지 소요기간은 열대 전복류인 *H. asinina*는 수온 26℃에서 최소 2주가 소요되고, 온대지방에 서식하는 까막전복은 1개월 이상 그리고 일본 연안에 서식하는 오분자기도 최소 1개월 후 재산란 한다는 보고가 있다(Jebreen *et al.*, 2000; Fukazawa *et al.*, 2007; Onitsuka *et al.*, 2007). 이 연구결과에서도 2021년 6월에 제주시 성산읍 시흥리에서 채집한 오분자기 어미 개체들에서 성숙한 생식소를 확인할 수 있었고, 7월에 2회에 걸쳐 수정란을 생산하고 9월에 1회 수정란 생산이 이루어졌다. 이와 같은 결과는 일본산 오분자기 재산란 가입 소요기간에 관한 연구와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

2. 부착치패의 사육 결과

채묘 후 약 10일이 경과하면 파판에 붙은 초기 치패를 육안으로도 확인할 수 있었고, 채묘 후 약 20일이 경과하면 부착치패의 크기가 각장 2 ㎜ 이상으로 성장하여 부착규조류 섭이량도 급속히 증가하였다. 이에 따라 크기가 큰 자연발생 규조류가 자연 배양될 수 있도록 조도를 25,000l ux까지 단계별로 조절하여 증가시켰고, 이 시기의 사육수조내 먹이생물(부착규조류)은 원종을 접종한 *Navicula* 종 뿐만 아니라 자연적으로 발생한 *Nitzschia*, *Cocconeis*, *Lichmophra* 등과 함께

혼합 우점하였다. 또한 부착치패가 각장 3 ㎜ 정도로 성장한 채묘 후 약 30일 경과한 시점부터는 파판의 규조류가 부족해지는 현상이 나타났으며, 해조류의 섭이를 유도하기 위해 수조 바닥에 8골의 치패용 쉘터를 깔고 그 위에 파판을 얹어 규조류 배양을 유지하면서 물에 불린 김가루를 파판과 쉘터 사이에 소량씩 넣어주어 먹이를 보충 하였다. 먹이공급은 치패의 성장 및 섭이상태에 따라 김가루와 커트미역 등을 사용하며 치패 방류 전까지 그 공급량도 점차 증가시켰다.

3. 오분자기 자원조성 결과

오분자기 치패 방류를 위한 적지조사는 방류예정지의 어장환경 특성 및 오분자기 방류적지 요건을 충족되는 어장을 고려하여 4개 권역 12개소 나뉘어 조사하였다(표 2).

표 2. 오분자기 치패 방류후보지 적지조사.

구 분	동남권역				서귀		서북권역	동북권역			
조사어장	태흥1	신례	신흥	남원	서귀	토평	색달	용운	조천	신흥	북촌	종달
조사일시	3/31	4/5		9/24	4/6		4/7	10/1	4/8			9/30

조사항목은 조사어장내 해저지형, 저질형태 해조류 서식상황 및 갯녹음 발생정도 등을 조사하였으며 기초환경 요소인 수심, 해저저질, 먹이원 등을 확인하여 오분자기 치패의 방류 적정지 여부를 판정하였다. 그 결과, 동남권역에서는 태흥1리 어촌계 및 신례어촌계 마을어장이 오분자기 방류지로 선정하였다. 서귀권역에서는 토평동어촌계 마을어장, 서북권역에서는 용운어촌계 마을어장 그리고 동북권역에서는 조천어촌계 및 종달어촌계 마을어장이 각각 선정되었다.

2021년도 오분자기 자원조성은 2020년산 7월에 수정란을 부화시켜 생산한 치패 20만마리를 중간육성 과정을 거쳐 2021년 5월에 5개소의 어촌계 마을어장(함덕, 조천, 태흥1, 신례, 토평)에 14만리를 방류하였고, 2021년 11월에 2개소의 어촌계 마을어장(용운, 종달)에 6만마리를 방류하였다. 방류시간은 6-7물 되는 기간 최간조시를 기준으로 하였으며 어촌계원이 직접 방류에 참여하였다(표 3, 그림 4).

표 3. 2021년 오분자기 자원조성 내역.

방류장소		방류일시	방류물량 (만마리)	종자규격	선정기준
계			20		
오분자기 방류 (7개소)	함덕	5월 10일	2	각장 2 ㎝ 이상	오분자기 방류 시험어장
	조천	5월 10일	3	〃	최근 5년간 미방류지역 및 적지조사 적합어장
	태흥1	5월 11일	3	〃	〃
	신례	5월 11일	3	〃	〃
	토평	5월 12일	3	〃	〃
	용운	11월 2일	3	〃	〃
	종달	11월 3일	3	〃	〃



그림 4. 오분자기 자원조성. A: 적지조사, B: 방류쉘터 부착치패, C: 포장 및 운송, D: 마을어장내 치패 방류.

Ⅳ. 참고문헌

제주특별자치도. 2020. 2020 해양수산현황.

Fukawawa H, Kawamura T, Takami H and Watanabe Y. 2007. Oogenesis and relevant changes in egg quality of abalone *Haliotis discus hannai* during a single spawing season. Aquaculture. 270, 265-275.

Geiger DL. 1999. A total evidence cladistic analysis of Haliotidae(Gastorpoda : Vetigastropoda). PhD thesis, Univ. of Southern California, Los Angeles.

Hahn KO. 1989. Handbook of culture of abalone and other marine gastropoda. CRC Press. Florida. 7~8.

Jebreen EJ, Counihan RT, Fielder DR and Degnan BM. 2000. Synchronous oogenesis during the semilunar spawning cycle of the tropical abalone *Haliotis asinina*. J Shellfish Resh. 19, 845-851.

Lee JS and Min DK. 2002. A catalogue of molluscan fauna in Korea. The Korean Journal of Malacology. 18, 93-217.

Onitsuka T, Kawamura T, Hori T, Takiguchi N, Takami H and Watanabe Y. 2007. Synchronized spawning of abalone *Haliotis diversicolor* triggered by typhoon events in Sagami Bay. Japan Mar Ecol Prog Ser. 351, 129-138.

홍해삼 종자생산 및 자원조성

양병규 · 고명주 · 오성립

Ⅰ. 서 론

해삼(*Stichopus japonicus*)은 불가사리, 성게 등과 같이 극피동물문에 속하며 세계적으로 1,100여종 이상이 분포하는 것으로 알려져 있다. 해삼은 계절적으로 4~6월에 비교적 많이 어획되는 계절적 어획종이며, 잠수기 또는 마을어장내 나잠어업에 의하여 주로 어획되고 있다.

우리나라의 해삼 생산량은 1990년 2,491톤을 정점으로 2002년에는 833톤까지 격감하였으나, 2003년 이후에는 해삼종자 씨뿌림 방류량이 증가하면서 2007년에는 2,936톤으로 빠르게 회복되고 있으며 제주지역 어촌계에서도 자원증강 효과가 높다고 판단되는 해삼의 방류를 선호하고 있다. 어촌계 방류품종 선호도를 조사한 결과도 홍해삼 76%, 오분자기 14%, 전복 10%로 나타나고 있다(제주특별자치도, 2015).

홍해삼은 사니질 해역에 서식하여 갯녹음 발생 어장에도 자원조성 효과가 높아 종자방류에 의한 자원조성과 함께 마을어업의 주요 소득품종으로 그 가치가 매우 중요한 품종이지만, 도내 홍해삼 종자생산은 아직까지 자체 원천기술 부족으로 중국 기술자에 의해 생산이 이루어지고 있으며 경영비 가중으로 인해 채산성이 악화되고 있음에 따라 점차 자체 기술 확보가 필요한 실정이다.

지금까지 연구원에서는 2006년도 홍해삼 종자생산연구를 시작하여 2011년부터 본격 방류하게 되었으며, 그 동안 방류규격에 대한 효과성 분석을 위한 시험방류도 병행하였다. 그러나 물량위주의 방류와 작은 규격의 방류에 대한 효과성 확인 등 효율적 방류기법에 대한 고찰이 부족한 실정이었다.

따라서 본 사업에서는 지금까지의 홍해삼 종자생산 효율증대를 위한 관리방법과 어업인 현장 애로사항 기술지원을 위하여 2021년도 수행하였던 관리사항들을 정리하고 마을어장 자원조성 사업에 대하 추진결과를 보고하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 종자생산용 어미 확보 및 사육관리

종자생산에 활용된 어미 홍해삼은 자연산이었으며, 3~4월에 걸쳐 총 300 kg을 확보했다. 수정란 생산에 이용된 어미해삼의 체중은 0.9 kg ~ 1.5 kg 전후의 개체들을 선별하여 산란용 어미군으로 관리하면서 사용하였다.

어미 사료급이는 체중의 1~3% 범위로 조절하였으며 급이량은 전날 급이량을 기준으로 섭이상태를 고려하여 급이량을 조절하며 관리하였다.

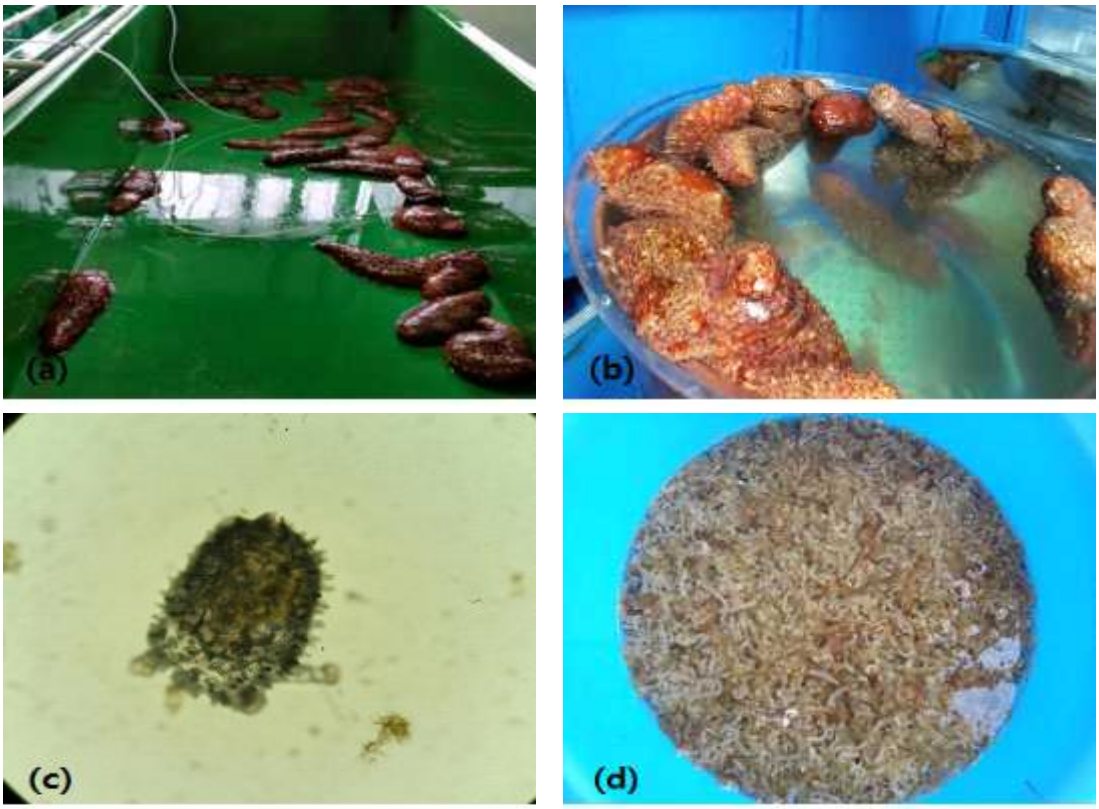


Fig. 1. 홍해삼 종자생산 절차.

a: 산란자극(간출), b: 산란중인 어미해삼, c: 채묘단계 변태유생, d: 채묘 90일후 종자

2. 홍해삼 수정란 생산

2021년도 홍해삼 생산을 위한 수정란 생산은 4~5월까지 4회에 걸친 산란을 통하여 약 2천만립의 수정란을 생산하여 본 사업에 사용하였다. 산란방법은 인공적 산란자극법과 자연산란법을 적용하였다. 인공산란 유도 방법은 간출자극법과 사료현탁액 자극법을 병행하여 진행하였다. 금년도 수정란 산란량은 전년대비 20% 수준인 약 2천만개체 산란하였다.

3. 유생사육 및 종자생산

아우리쿨라리아 유생은 해삼유생 발생과정 중 가장 긴 성장단계인데, 일반적으로 9일 정도의 기간이다. 이때가 가장 병에 취약하고 사망률이 높은 기간이기도 하다. 그러므로 아우리쿨라리아 유생의 발육의 정상여부를 파악 해야만 바로 조치를 취할 수 있다(강 등, 2012).

유생의 사료 급이량은 수량을 기준으로 홍효모 0.1 ppm, 이스트 0.1 ppm, EM 1 ppm 내외로 2~3회/일 공급 하였다(Table 1). 사육기간 동안 지수식으로 관리하였으며, 사육수를 환수하지 않고 매일 수위를 높이는 방식의 첨수방법으로 사육관리 하였다.

Table 1. 일별 유생 사료 급이량 및 수온

부화일령	2일	3일	4일	5일	6일	8일	10일	12일	14일
수온(℃)	17.9	18	18	17.9	18.5	18	18.2	18.5	18.2
홍효모 (ppm)	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1 0.1	0.1 0.1 0.1
이스트 (ppm)	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1 0.1	0.1 0.1 0.1
EM (ppm)	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1 1	1 1 1
면역 다당 (ppm)	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1 1	1 1 1

4. 홍해삼 종자 방류지 선정 및 적지조사

방류어장 지정은 종자분과위원회 심의를 거쳐 방류대상 어장을 결정하였으며, 방류대상 어촌계는 연구원 종자생산을 위하여 어미해삼을 공급한 협력어촌계와 연구관리 어장 양식장 및 최근 방류되지 않았던 어촌계를 대상으로 선정하였다. 방류적지 결정은 해당어촌계내 저질의 상태, 해적생물 및 경쟁생물량 조사, 해조류 서식량 등을 조사하여 적정 방류지를 선정하였다.

5. 홍해삼 자원조성 방법

기존 홍해삼 종자방류 문제점으로는 1 g 이상 종자 방류가 스쿠버에 의하여 수중 방류시 종자 소실 및 분산되는 우려가 있어 초기정착의 문제가 있음에 따라 조간대 최간조시(6~10물)에 종자 직접 살포방류를 하였으며, 1 g 이하 종자방류 역시 방류초기 현장적응 및 생존율 저하가 발생함에 따라 정온지역에 직접살포를 하되 가급적 초기생존율 향상을 위하여 1 g 내외로 양성한 후 방류사업을 진행하였다. 동 기간동안 1 g 으로 성장하지 않은 개체들은 지속적으로 육상수조내에서 관리하면서 2021년도 사업물량으로 이월하여 추진하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 종자생산

2021년도 홍해삼 자원조성 사업을 위하여 어미확보량은 300 kg 이었으며, 수정란 생산량은 2천만개체, 채묘관리수는 부착판 6만장, 채묘량은 약 4천만개체 (6월말 기준)였다.

종자생산용 어미해삼량은 전년대비 85% 수준의 어미를 확보하였으나, 수정란의 생산량은 약 2천만개체로서 전년대비 20% 이하의 수정란을 생산하게 되었다. 특히 금년도 수정란 생산에 활용한 대부분의 어미개체 포란량이 극히 미비하여 산란량이 적었다. 이러한 현상은 민간 양식장에서도 대부분 발생하는 것으로 보아 21년도의 해양환경과 어황으로 인하여 포란량이 적었거나 조기에 수정란을 방란했을 계연성이 있는 것으로 사료된다.

따라서 22년도에는 홍해삼 어미의 포란량의 변화를 시기별, 지역별로 모니터링하여 적절한 시기에 어미확보와 수정란 생산이 가능하도록 홍해삼 어미생태 모니터링 결과를 제공할 필요가 있어보인다.

홍해삼 유생사육인 경우 아우리쿨라리아 유생의 체장은 초기유생이 450~600 ㎛, 중기유생은 600~700 ㎛, 후기유생은 800~1,000 ㎛이다. 아우리쿨라리아 유생 위의 정상적인 형태는 배(과일) 모양이며 풍만하고 위벽이 얇고 투명하다. 위액의 색깔은 비교적 진하고 위 내에 사료가 남아있다. 만약 위벽이 두꺼워지고, 위가 수축하면서 줄어들고, 투명하지 못하고, 장기간 비어있다면 정상개체가 아니다.

유생사육 기간동안 환수나 유수는 하지 않았고, 1일 간격으로 조금씩 수위를

높이는 방법(첨수식)으로 유생을 관리하였다. 최종 수위가 가장 높은 시기의 유생밀도는 0.1개체/㎖로 조정하였다.

이 후 채묘 할 때 까지 걸린시간은 부화 후 13일~15일로서 약 40%가 돌리올라리아로 변태가 완료된 시점에 부착용 파판을 투여하여 채묘하였고, 일부는 전부 뮐러가제로 수거한 후 규조류가 배양되어 있는 파판수조로 이동하여 채묘하였다.

채묘시 유생의 밀도는 200개체/파판 정도로 조정하여 입식하였다. 7월말까지 생산한 종자양은 약 100만마리였다. 이때 파판당 종자의 수는 15마리/파판 내외였으며, 종자의 크기는 0.2~1.2 cm 였으며, 10월 기준 0.5 g 이상의 종자 생산량은 20만마리 였다.

종자생산시 특별히 관리한 사항은 하절기 수온관리였다. 2017년도인 경우 지수식 관리로 인하여 일간 수온편차가 심해 종자에게 스트레스 요인으로 작용하였고, 그로 인하여 폐사가 발생하였다. 따라서 금년도에는 지하해수를 이용하여 유수식으로 관리하였으며, 유수량은 0.5회전/일 정도로 관리하였다.

2. 홍해삼 방류어장 선정 및 적지조사

홍해삼 종자 방류를 위하여 방류전 사전 적지를 조사하였다(Table 2). 조사항목은 방류 예정지역내 기초환경 요소인 수온, 수심, 저질, 잔석수 등을 확인하였다. 방류지 주변 기초 생물량 추정은 해조류 분포량, 자원생물량, 포식 및 경쟁생물의 종수 등 을 조사하여 홍해삼 종자의 방류여부를 결정하였다.

특별히 홍해삼 종자 방류적지는 해류가 비교적 약하여 종자가 안정적으로 안착할 수 있는 지역이었으며, 저질은 사니질로서 수심 3~5 m 범위의 지역에 방류하였다. 또한 잔석수의 밀도가 약 5개/㎡ 가 되는 지역을 선정하여 홍해삼 종자가 잘 부착할 수 있도록 하였다.

방류어장 적지조사 결과 연안 지형 및 환경적인 면과 저질의 상태가 사니질이며, 잔석이 있어 홍해삼 종자가 충분히 은폐될 수 있는 지역을 대상으로 하였으며, 방류전 종자의 분포량을 확인하여 향후 방류효과 조사 등 자원조성 효과를 확인할 수 있는 자료를 확보하였다.

Table 2. 홍해삼 종자 방류지역 적지조사 결과

지역	어장생태 환경						방류지 적합여부	최근5년 연구원 방류실적	순위
	저질 및 지형 (은신처)		오염원	저서생물	먹이원 (해조류)	기타			
세화	○ 전석대 사니질성 ○ 잔석수 : 10~20개/㎡	적합	없음	고둥류 5종, 갑각류 1종	홍조류 4종 80% 갈조류 3종 15% 녹조류 1종 5%	양호	적합		1
협재	○ 대형암반 잔석, 사니질 ○ 잔석수 : 4 ~ 25 개/㎡	적합	없음	고둥류 6종, 갯지렁이 1종	홍조류 4종 80% 갈조류 1종 15% 녹조류 1종 5%	양호	적합		2
온평	○ 사니질 지형 위에 전석 ○ 잔석수 : 10~20개/㎡	적합	없음	고둥류 2종	홍조류 5종 90% 갈조류 1종 5% 녹조류 1종 5%	양호	적합		3
색달	○ 대형암반 잔석, 사니질 ○ 잔석수 : 15~20개/㎡	적합	없음	고둥류 4종, 갑각류 1종	홍조류 2종 80% 갈조류 15% 녹조류 5%	양호	적합		4
신도	○ 전석대 투석지대 ○ 잔석수 : 8~15개/㎡	적합	없음	고둥류 3종	홍조류 4종 90% 갈조류 1종 10%	보통 갯녹음 일부진행	보통	'17년 3만마리	5

3. 2021년도 홍해삼 자원조성

홍해삼 종자 운송은 비닐봉지로 포장하여 운송 하였고, 방류시간은 6~7물 되는 기간 최간조시를 기준으로 방류하였으며, 어촌계원이 직접 방류에 참여하였다(Fig. 2). 2021년도 자원조성은 총 5개 어촌계(행원, 세화, 협재, 온평, 색달)를 대상으로 14만마리(1 g 이상)를 마을어장에 방류하였으며, 방류지역은 최근 5년간 연구원에서 방류하지 않았던 어촌계를 중심으로 적지조사후 방류지를 선정하여 방류사업을 진행하였다(Table 3).

Table 3. 홍해삼 자원조성 결과

	방류장소	방류물량 (천마리)	방류시기	어장환경 여건
합 계	계	140		
상반기	행원어촌계	20	‘21. 03. 31	
하반기	세화어촌계	30	‘21. 11. 16	사니질 + 잔석어장
	협재어촌계	30	‘21. 11. 16	〃
	온평어촌계	30	‘21. 11. 17	암반 + 잔석어장
	색달어촌계	30	‘21. 11. 18	〃

일반적으로 도내 매입방류 사업에서는 황토 도자기에 홍해삼 종자를 넣어 운송하는데 현장에서는 방류용 종자포장과 운송에 많은 시간이 소요되고 방류 여러단계의 처리과정에서 종자에 대한 물리적 스트레스 등에 의한 종자활력 저하가 우려됨에 따라 연구원에서 종자 방류는 비닐봉지와 양파망에 포장하여 이동하여 해녀가 직접 방류에 참여하였다.

앞으로 연구원에서는 홍해삼 종자 초기 적응과 생존율 향상을 위한 방류기법 개발에 연구를 집중할 계획이며, 지금까지 대량생산 후 방류하는 형태의 사업에서 탈피하여 홍해삼 생산어가 기술력 증진을 위한 기술지도와 함께 방류한 종자의 생산성 향상을 위한 관리기법 연구와 육상과 해면양식 시설을 이용한 양성시험에 매진할 계획이다.



색달어촌계 방류지역



홍해삼 종자 방류(해녀 직접 입식)



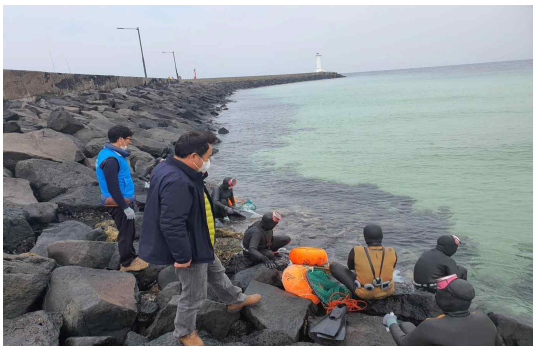
협재 어촌계 방류지역



홍해삼 종자 방류(해녀 직접 입식)



세화 어촌계 방류지역



홍해삼 종자 방류(해녀 직접 입식)



온평어촌계 방류지역



홍해삼 종자 방류(해녀 직접 입식)

Fig. 2. 2022년 제주 마을어장 홍해삼 종자 방류

방류량과 방류지 선정은 어촌계별 분배하여 방류하는 사업을 지양하고 어장의 생태환경과 수용능력을 고려한 어장별 맞춤형 홍해삼 자원조성을 해야할 것이다.

금년도 홍해삼 종자생산을 통한 기술 개선사항은 홍해삼 수정란 소요량 개선을 위한 유생 생존율 향상기법 연구를 중심으로 기존 수용량 대비 1/5 수준의 수정란을 사용하여 사업을 진행함에 따라 유생생존율 개선과 채묘효율 향상 효과를 확인하였으며, 이는 수정란의 초기 입식밀도를 낮춤에 따라 미부화란에 의한 수질악화 등을 방지하으로서 부유유생의 생존율과 변태가 양호했던 것으로 판단된다.

한편 최근 코로나 19에 의한 외국인 기술인력 유출로 인하여 민간 해삼어가의 기술자립이 더욱 어려워지고 있으며, 노동강도가 높은 작업의 특성으로 인력확보가 어려운 실정임에 따라 인력절감형 해삼 사육시스템 개발도 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 연구원에서는 인력절감형 사료공급 장치와 효율적 청소를 위한 시스템 개선장치를 개발하여 민간에 제안하는 등 기술지도를 통한 민간 양식어가 지원에서 노력할 계획이다.

Ⅳ. 참고문헌

강석중, 강승완, 강정하, 정우철, 진상대, 최병대, 한종철. 2012. 최신 해삼양식기술. 아쿠아인포(주), 90~145.

국립수산과학원 남서해수산연구소. 2014. 해삼 인공종자생산 가이드북(2014년 남해군 안강망 자율관리어업배양장. 7~27.

양병규, 임은희, 현재민. 2018, 제주특별자치도 해양수산연구원 연구사업보고서. 140~149.

제주특별자치도. 2018. 2018년도 해양수산현황. 101~109.

해양수산부. 2006. 해삼양식기술개발. 1~151.

넙치(*Paralichthys olivaceus*) 품종개량 1세대(F1) 종자생산

공포 · 장영환 · 현재민

Ⅰ. 서 론

2020년 기준 제주도의 허가된 양식장은 559개소로 전국 양식장의 29%를 차지하고 있다. 이중 넙치 양식장은 357개소이며, 2020년도 생산량이 23,246톤으로 전국의 53%를 생산하였다(통계청, 2021). 이처럼 넙치는 제주도 양식산업의 주력 품종이다. 하지만 제주 연안의 오염과 아열대화 그리고 지속적인 근친교배에 따른 종자 열성화 등으로 폐사량이 증가하고 있으며, 특히 질병의 증가로 폐사뿐만 아니라 항생제 사용량도 증가하고 있다(Jee et al., 2014; Shim et al., 2019). 이런 문제뿐만 아니라 사료 및 인력 수급 등 다양한 문제로 양식 생산경비 증가와 생산성 하락 등의 피해를 주고 있다. 특히 오랜 기간 소수 어미 집단의 수정란에서 생산된 종자를 이용 양식이 이루어지면서 질병 발생 및 기형어 증가와 같은 유전적 열성화에 의한 문제점이 발생되는 것으로도 추정되고 있다(Min et al., 2009). 이러한 문제점을 극복하기 위해 양식 현장과 연구기관을 중심으로 다양한 방법이 논의되고 있다. 수정란 생산업체에서는 유전적 다양성 확보를 위해 자연산 수컷 가입과 타 업체에서 생산된 어미 가입 등이 이루어지고 있고, 국가연구기관에서는 2004년부터 속성장 넙치 품종개발을 위한 선발육종 연구에 주력하고 있다.

넙치 양식산업은 장기간 양식으로 인해 유전적 다양성 축소에 의한 질병이나 환경 내성 저하에 의한 생존율 저하, 형질의 변형 및 기형어의 빈번한 발생이 큰 비중을 차지하고 있음에도 불구하고 양성, 사료, 시설, 유통 등만으로는 기술적 한계성을 보이고 있으므로 경쟁력 확보를 위해서는 육종기술에 의한 우량 양식품종 개발이 절실한 실정이다(Hwang and Myeong, 2010). 전국 넙치 양식 생산량의 53%을 차지하고 있는 지역 특성상 제주해양수산연구원에서는 질병 등 환경적응에 강한 넙치 품종개량 연구의 일환으로 유전적 다양성을 유지할 수 있는

어미세대를 확립시키기 위해 2018년부터 유전체 선발육종법을 이용한 어미선발, P세대 생산 그리고 품종개량 1세대(F1) 종자생산을 추진하였으며, 그 결과를 중심으로 보고하고자 한다(Fig. 1).

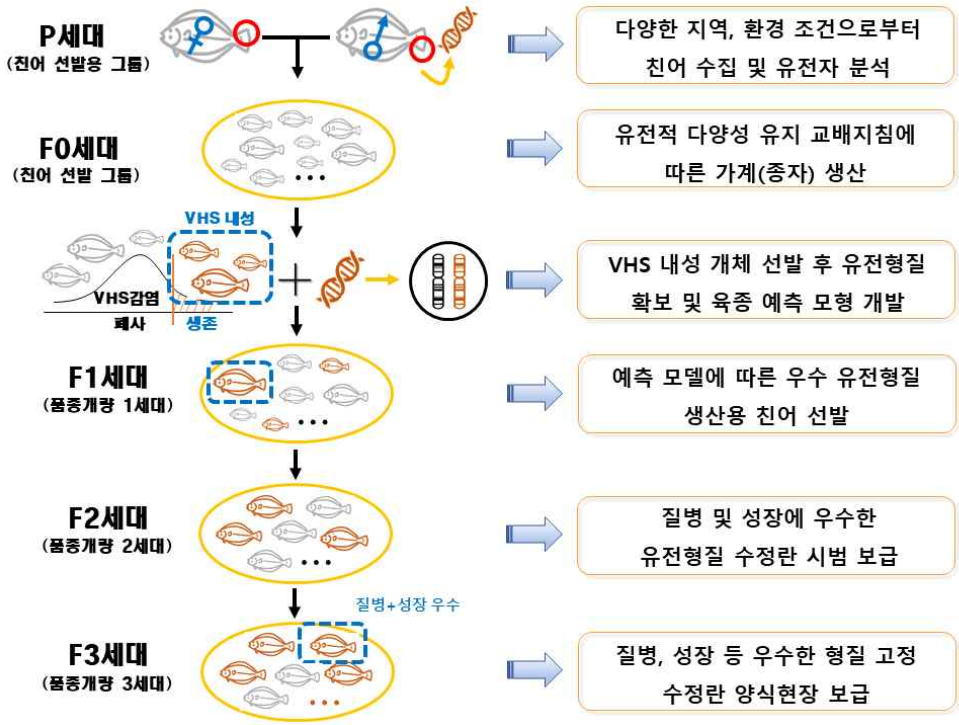


Fig. 1. 해양수산연구원 광어 품종개량 연구 모식도

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 친어 관리

현재 광어연구센터 어미관리동과 도내 CS수산에는 2019년도에 선발모형 예측과 교배지침을 통해 생산한 P세대(연구원 120여마리, CS수산 800여마리)를 사육관리하고 있으며, 연구원에서는 2회/일 배합사료와 생사료를 혼합 급이 하고, 수정란 난질 개선을 위해 불포화지방산과 종합 영양제를 첨가하였다. 도내 CS수산에서도 생사료에 종합 영양제등을 첨가하여 2회/일 급이 하면서 사육관리 방법은 연구원과 동일하였다. 성 성숙 조절을 위해 광주기를 인위적으로 조절하여 3월 2일 첫 산란을 확인하였으며, 도내 CS수산에는 자연 광주기로 유지하였다. 사육 관리된 P세대는 개체별 인식 확인을 통해 교배지침을 작성하고 인공수정을 통해 수정란을 생산하였다.

2. 수정란 생산

2021년도 넙치 수정란 생산은 넙치 품종개량 연구에 따라 총 4개 그룹으로 종자생산을 계획하였다. 3개 그룹은 유전형질에 따른 분석을 위해 Table 1과 같이 교배전략을 수립하여 다양성이 축소되지 않도록 개체 간의 연관관계, 계통수 분석결과, 집단 간의 연관관계를 고려하여 교배지침 작성 후 인공수정란을 생산하였으며, 나머지 1개 그룹은 추가 친어후보군 확보를 위해 자연산란된 수정란을 이용하여 종자생산을 추진하였다(Fig. 2).

Table 1. 그룹별 유전형질에 따른 분석을 위한 육종가에 따른 교배전략(3그룹)

그룹 1 (VL)			그룹 2 (VH)			그룹 3 (VG)		
Female	X	Male	Female	X	Male	Female	X	Male
≧ 20	gEBV	≧ 20	≦-20	gEBV	≦-20	≧200	gEBV	≧50
11	X	2	7	X	1	14	X	5

※ gEBV (Genomic Estimated Breeding Value) : 유전체육종가(유전적 능력이 후대에 전달되는 정도)
※ VL (VHSV 저항력 하위그룹) VH (VHSV 저항력 상위그룹) VG (VHSV 저항력 30 : 성장 70 그룹)



Fig. 2. 수정란 생산 모습. A: CS수산 성 성숙 어미 선별, B: CS수산 채란 및 채정, C: 연구원 성숙어미 채정 및 채란.

3. 먹이배양

로티퍼 배양은 직경 1.5 m pp수조를 이용하여 29~30℃에서 5,000~10,000 개체/㎖로 고밀도 배양하고(Kim *et al.*, 1997; Park *et al.*, 1999), 먹이는 시판용 농축클로렐라를 공급하였다. 로티퍼 영양강화는 0.5톤 원형수조에 1차 배양된 로티퍼를 수용하고 25~26℃ 수온에서 시판용 영양강화제를 이용하여 12시간 이상 영양강

화 후 사육 수조에 공급하였다. 알테미아는 담수 세척 후 28℃ 수온에서 약 24시간 동안 배양하였다. 알테미아 난각 및 미부화란을 제거하기 위하여 난각 분리기를 이용하였고, 알테미아 유생은 24℃가 유지된 영양강화 수조에서 시판용 영양강화제를 이용 12시간 정도 영양강화 후 공급하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수정란 생산

수정란은 4월부터 시작하여 넙치 친어의 성성숙과 그룹별 교배지침에 따라 총 3번에 걸쳐 생산하였는데 1차 수정란 생산은 VHSV (Viral hemorrhagic septicemia Virus)에 저항력이 낮은 1그룹에 암컷 7마리 수컷 2마리를 사용하였고, VHSV에 저항력이 강한 2그룹에는 암컷 5마리 수컷 1마리 그리고 VHSV 30% 저항력과 성장에 강한 강한 3그룹에 암컷 10마리 수컷 5마리를 사용하여 수정란을 생산하였다. 종자생산 중에 감모가 발생한 3그룹 경우는 2회에 걸쳐 추가 수정란을 생산하였고, 2~3차 수정란 생산에는 암컷 18마리, 수컷 4마리를 사용하여 수정란을 생산하였다.

인공수정 방법은 50 ㎖의 난을 기준으로 해수용 링거액에 희석된 정자 3 ㎖ 비율이 되도록 혼합하여 인공수정을 진행하였다. 인공수정 후 바로 세란하고 사란과 여분의 정자를 제거하였으며, 세란 후 수정이 이루어진 부상란만을 분리하여 별도의 수정란 관리 네트에 24시간 수용 후 사란 제거 후 종자생산 수조에 입식하였다.

2. 종자생산

종자생산 수조는 6 m 사각수조(유효수량 30톤)을 이용하였다. 수정란 입식 밀도는 사육수 1톤당 수정란 5,000~10,000개 정도의 밀도로 수용하였으며, 수정란 수용당시 발생단계는 배체형성기였다. 사육수온은 수정란 입식시 18℃였으며, 점차 상승시켜 20℃ 내외가 유지되도록 하였다. 부화 직후부터 사육수조 내에 수질 안정 및 로티퍼의 먹이를 제공하기 위하여 시판용 농축 *Nannochloropsis* sp.와 DHA 강화 담수산 농축 클로렐라를 사육수조에 매일 2회 첨가하였다. 로티퍼 영양강화는 DHA가 강화된 담수산 농축클로렐라를 이용하였다. 로티퍼는 부화

후 3일부터 공급하여 잔존 로티퍼가 5~7개체/ml 내외가 되도록 유지하여 20일까지 공급하였다. 알테미아 유생은 부화 후 15일부터 45일까지 사육수조내 0.1개체/㎖로 1~3회/일 로티퍼와 급이 시간을 교차하여 공급하였다. 부화 후 20일부터 200 ㎛ 입자의 사료를 시작으로 공급하여 점차적으로 입자규격을 증가시켜 나갔다(Fig. 3).

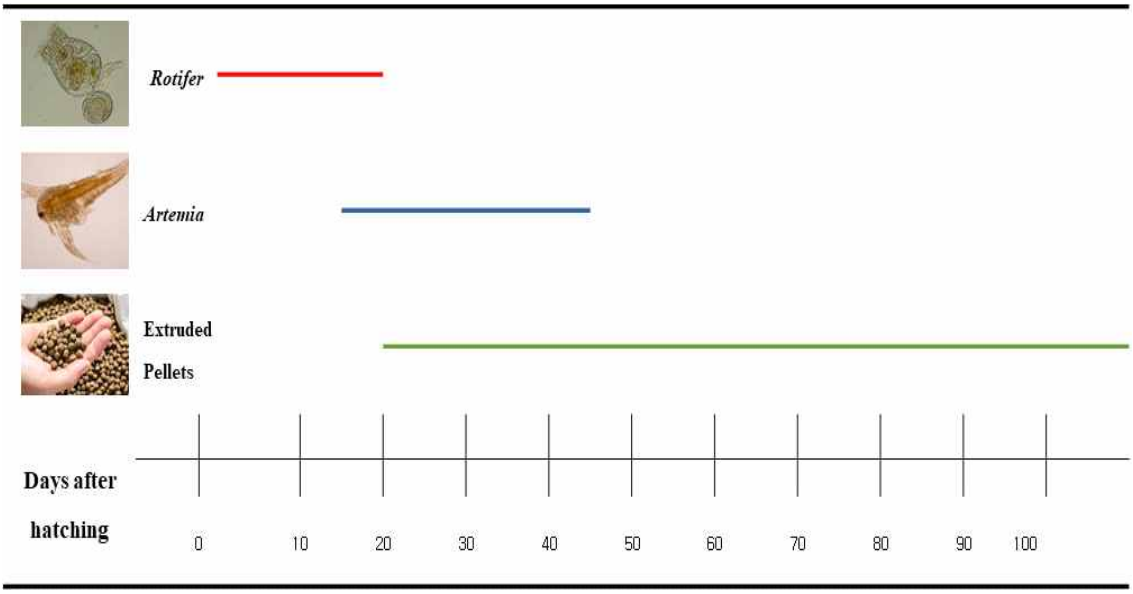


Fig. 3. 넙치 품종개량용 종자생산 먹이계열 공급도

사육수내 수질안정을 위해 수정란 입식 하루 전부터 미생물제재를 1회/일 공급하였다. 주수는 부화 후 1일부터 지하해수를 소량 공급하기 시작하여 공급량을 점차 증가시켰다. 적정 사육밀도와 개체 간 차이로 인해 선별망을 이용하여 계속적인 분조를 실시하였고(Fig. 4), 넙치 종자생산 결과는 Table 2 와 같다.



Fig. 4. 선별 및 분조. A: 분조를 위한 이동, B: 망 선별, C: 선별 및 분조 후.

Table 2. 2021년 넙치 종자생산 결과

수정란 입식	그룹	생산량(마리)	비고
1차	1그룹	1,000	형질에 따른 분석용 시료
	2그룹	100	
	3그룹	200	
2차	3그룹	3,000	품종개량용 핵집단 확보
3차	3그룹	5,000	품종개량용 핵집단 확보
	자연산란	25,000	비교시험을 위한 대조집단

3. 자·치어 형태 발달과 성장

수정란은 원형의 투명한 분리 부상란으로 크기는 0.89±0.03 ㎜ 이었다. 부화 직후 자어의 전장은 2.23 ㎜ 이었으며, 부화 후 2일째부터 안구가 검게 되고 입이 열린다. 부화 7일 이후부터 후두부에 지느러미 원기가 생기고, 소화관은 완전히 회전하게 된다. 부화 16일 이후부터 우측의 눈이 이동하기 시작하며, 부화 30일 전후로 변태가 완료되는 개체가 나타났다.

넙치 자치어의 성장은 부화 직후 2.2 ㎜에서 부화 후 10일째 7.6 ㎜, 부화 20일째 12.3 ㎜, 부화 30일째 18.4 ㎜, 부화 40일째 24.1 ㎜, 55일째 31.5 ㎜, 65일째 45.2 ㎜로 성장하였다(Fig. 5).

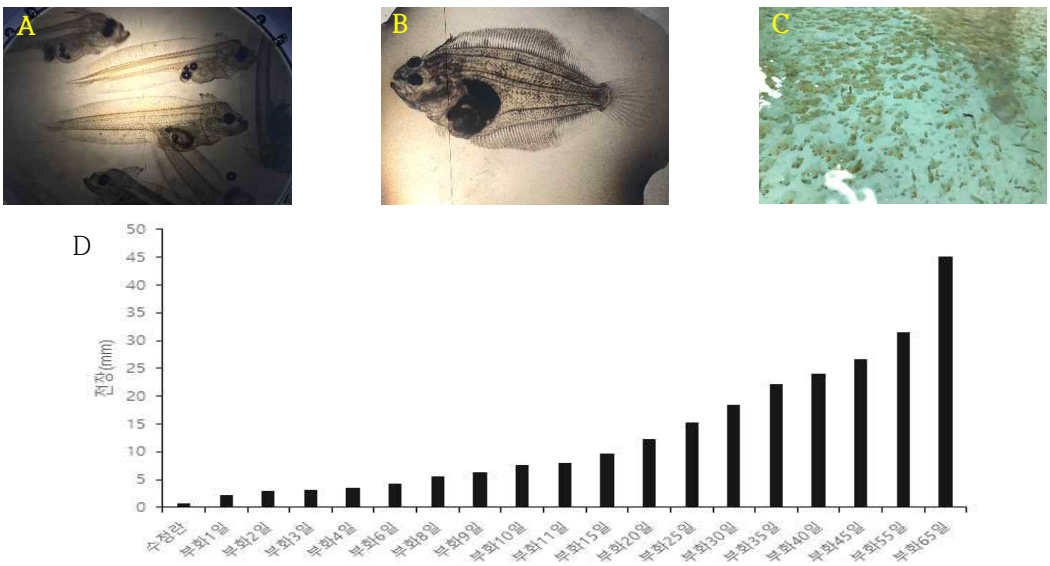


Fig. 5. 자·치어 발달 . A: 부화 7일 후두부 돌기 생성 및 소화관 회전, B: 부화 30일 변태 완료, C: 부화 40일 자어, D: 넙치 자·치어 성장.

특이한 점은 종자생산 기간 중 부화 20일 전후로 전 생산 수조에서 유사한 증상으로 대량 감모가 발생하는 현상이 나타났는데, 폐사한 자어와 동물성 플랑크톤인 알테미아를 이용하여 원인체를 분석하였다. 넙치 종자생산 기간 중에 발생하여 대량 폐사를 유발하는 세균성 질병으로 장관백탁증의 원인이 되는 *V. ichthyoenteri*와 *V. harveyi* 를 확인 할 수 있었고, 선행연구에서 확인한 넙치 장관백탁증과 동일 하였다(Lee *et al.*, 1995; Moon *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2013). 3차생산 부터는 폐사를 줄이기 위해 알테미아 공급 직전 1시간을 수산용 항생제로 소독 후 공급한 결과 현저한 저감현상을 확인할 수 있었다. 또한 항생제 처리된 알테미아를 급이한 자어에서는 60일 이후 기준치 이하 잔류(식품위생법에 따른 수산용 동물용의약품의 잔류허용 기준치 엔로플록사신(Enrofloxacin) 0.1 mg/kg)를 확인 할 수 있었다.

최근 제주도뿐만 아니라 전국의 해산 양식어류의 폐사 발생이 지속적인 증가추세로(Hur *et al.*, 2002; Jeong *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2018) 이를 극복하기 위해 유입수 여과 및 살균 기술 개발(Kang *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2020), 새로운 항균물질 개발(Kim *et al.*, 2012; 박, 2018; Hwang *et al.*, 2019), 양식어류 백신 개발(Han *et al.*, 2021; Kwon, 2021) 및 항생제 대체 추출물 개발(Bang *et al.*, 2020; Kang 2021; Kim *et al.*, 2021)등 다양한 연구도 진행되고 있다. 따라서 우리 연구원에서도 지속 가능한 넙치 양식산업을 위해 질병 관리 및 데이터 확보 등 다양한 연구를 추진하고 있다. 그리고 더 이상 빠른 성장만을 위한 품종개량이 아닌 지속적으로 변화하는 환경과 질병 발생에 대해서도 내성을 갖는 넙치 어미집단 유지를 위해 품종개량 연구를 추진하고 있으며, 올해 첫 품종개량 1세대 생산을 하였고, 그룹별 형질차이에 대해 분석하였다. 분석 결과를 토대로 품종개량의 방향을 설정하고, 추후 대량 생산을 통해 현장 분양과 양식어가의 피드백을 통해 좀더 발전적이며, 양식 생산성 향상에 도움이 될수 있는 품종개량을 추진할 것이다.

Ⅳ. 참고문헌

박천만. 2018. 제주도 양식 넙치에서 분리한 병원균 3 종에 대한 Mixed Oxidant 및 차아염소산나트륨 살균능 측정. Cheju National University.

정희동, 김상우, 윤호동, 성기탁, 양준용, 정규귀. 2006. 통영연안 양식어류 폐사와 관련된 환경 제한 요인. 한국양식학회 학술대회 논문집. 2006. 180-181.

Bang SJ, Choi JH, Jung SM, Kang IS, Lee CH, Park KH and Choi SH. 2020. Effects of Citrus unshiu Peel extracts on growth performance and anti-scuticociliates activity of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Fish pathol. 33(2), 177-184.

Han HJ, Kim SJ, Kim TH, Kim MS, Cho MY and Choi HS. 2021. Current status and future directions of fish vaccines in Korea. Korean Fish Aquatic Sci. 54(4), 369-376.

Hwang JW and Myeong JI. 2010. An economic effect of the selective breeding program on the oliver flounder aquaculture. Rev. Fish. Sci. Aquac. 41(1), 113-128.

Hwang BH, Choi EO, Ji SY, Hong SH, Park C, Cha HJ, Kim SM, Kim HS, Hwang HJ and Choi YH. 2019. Antibacterial and Antioxidant Activity of Spermidine, a Natural Polyamine, on Fish Pathogenic Bacteria and C2C12 Myoblast Cells. J. Marine Biosci Biotechnol. 11(2), 42-51.

Heo JH, Jung MH, Cho MH, Kim KH, Lee GC, Kim JH and Jung TS. 2002. The Epidemiological Study on fish Diseases in the Southern Area of Kyeognam. J Vet Clin. 19, 14-18.

Jee BY, Shin KW, Lee DW, Kim YJ, and Lee MK. 2014. Monitoring of the mortalities and medications in the inland farms of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, in South Korea. Fish pathol. 27(1), 77-83.

Kang BJ, Jang YH, Jhon BK, Park BH and Shin DH. 2015. Effect of UV disinfection following mechanical filtration for influent seawater on decrease in disease outbreak of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). J.Fish Pathol 제 28(3).

Kang HJ. 2021. Antibacterial and antibiofilm effects of mature citrus unshiu peel and premature citrus unshiu peel in Vibrio pathogens, 제주대학교 대학원.

Kim HJ, Kim JD, Choi UG and Woo YB. 1997. Growth and Size Variation of (*Brachionus plicatilis*) Reared at Different Conditions화. J. of Aquaculture 10(2), 219-225.

Kim NK, Kweon Dh and Kim SK. 2012. Effects of Natural Compounds from Various Plant Eradicate the Persister Cell of *Edwardsiella tarda* Treated with Antibiotics of Florfenicol and Amoxicillin. Korean J. Life Sci 22(6), 788-793.

Kim SH, Woo SH, Lee SJ and Park SI. 2013. The Infection Characteristics of *Vibrio scophthalmi* Isolated from Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. J.Fish Pathol 제 26(3).

Kim SJ, Park Sh, Jee BY, Kim YJ and Gwon MG. 2020. Low frequency plasma disinfectant effect in seawater and three major fish bacterial disease pathogens. Fish pathol. 33(1), 91-95.

Kim NY, Lee NS, Jeon EJ, Seo JS, Woo SJ, Kim MS, Kang SY and Jung SH. 2021. Effects of Medicinal Herb Extracts of Artemisia iwayomogi Kitamura and Angelica gigas Nakai on Disease Resistance in Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish Aquat Sci. 54(5), 634-643.

Kwon HJ. 2021. Development of multivalent vaccines and establishment of an immunization program to prevent parasitic, bacterial, and viral diseases in Korean olive flounder aquaculture, Cheju National University.

Lee JB, Rho S and Song CB. 1995. The biological and biochemical characteristics of a Vibrio sp., causative agent of intestinal necrosis of flounder larvae (*Paralichthys olivaceus*). J Fish Pathol. 8(2), 99-109.

Lee DC, Won KM, PARK MA, Choi HS and JUNG SH. 2018. An Analysis of Mass Mortalities in Aquaculture Fish Farms on the Southern Coast in Korea. 해양정책연구. 33(1), 1-16.

Min BH, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Park CJ, Choi SJ and Myeong JN. 2009.

Hatching rate of eggs, and growth of larvae and juveniles from selected olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Reprod. Dev. 13(4), 239-247.

Moon YG, Park GT, Son HJ, Lee SH, Lee JM and Heo MS. 2004. Rapid Detection of the pathogenic agent of Bacterial white enteritis of Larval and Juvenile Stages in Olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). J Fish Pathol. 17(3), 159-169.

Park HG, Kim SK, Park KY and Park YJ. 1999. High Density Cultivation of Rotifer , *Brachionus rotundiformis* in the Different Diets. Fish Aquat Sci. 32(3), 280-283.

Shim JD, Hwang SD, Jang SY, Kim TW and Jeong JM. 2019. Monitoring of the mortalities in oliver flounder (*Paralichthys olivaceus*) farms of Korea. Fish pathol. 32(1), 29-35.

PART 02

시험·연구 분야

환경조절과 호르몬 투여를 통한 터봇 *Scophthalmus maximus* 수정란 생산 연구

강형철 · 현옥민 · 오미숙 · 김경순 · 임은희 · 김명향 · 홍성완

Ⅰ. 서 론

제주도 광어 양식산업은 1980년대 육상수조방식에 의한 양식기술이 도입된 이후 지속적 성장을 거듭하여 2020년 기준 약 23,246톤을 생산하여 대량 생산 체계를 구축하였다(통계청, 2020). 하지만 도내 어류 양신생산량 중 광어가 차지하는 비율이 90% 이상으로 단일품종에 집중됨에 따라 품질안정성 논란, 홍수출하, 폐사율 증가 등에 대한 문제들이 발생되고 있다. 이에 따라 광어 이외의 새로운 양식품종 개발이 절실히 요구되며, 특히 소비자 기호성이 높은 고급어종 중심으로 보급이 이루어져야 할 것이다.

터봇(S*cophthalmus maximus*)은 가자미목에 속하는 어류로서 1970년대 초 영국과 프랑스에서 경제성과 고밀도 양식 가능성 및 빠른 성장 등의 이유로 양식대상종으로 선정된 후 포루투칼, 네덜란드 및 중국 등의 여러나라에서 양식되고 있다. 특히 중국에서는 주요 전략 품종으로 상품성을 인정받고 있으며 현재는 전 세계 생산량의 90% 이상을 차지하고 있다.

국내 터봇 연구는 1998년 국립수산과학원이 영국에서 도입하여 양식연구를 시작하였고, 2002년부터 민간에서도 양식이 허용되면서 프랑스 등에서 수정란을 수입하여 본격적 양식이 시작되었지만 적정 수온이 17℃ 이하인 냉수성 어종으로 20℃ 이상에서는 먹이를 잘 먹지 않고 23℃ 이상에서는 폐사가 일어나는 것으로 보고되어 국내에서는 여름철 고수온에 의해 양식의 어려움과 친어를 양성하지 못해 자체적으로 수정란 생산에 어려움이 있는 실정이다(Park *et al.*, 2006).

제주도는 연중 17℃ 전후의 지하해수 이용이 가능하여 터봇을 안정적으로 사육할 수 있는 장점이 있으며 광어 양식에 대한 노하우 접목이 가능하기에 향후 광어 단일품목 위주의 양식에서 다품종 체계로 전환하기에 터봇은 적합한 품종으로 인식되고 있으며, 일부 양식장에서 지속적으로 치어를 수입하여 양성을 진

행중에 있다.

어류의 성 성숙은 호르몬에 의해 조절되고 호르몬 분비의 조절은 빛과 수온과 같은 환경에 의해 결정된다(de Vlaming, 1972a, b, 1975; Asahina and hanyu, 1984; Joo, 2012). 본 연구에서는 해양수산연구원에서 수온과 광주기 조절을 통해 터봇 성 성숙을 유도하고 호르몬을 투여해 수정란을 생산한 기법에 대하여 기술하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 어미 관리

어미관리는 제주특별자치도 해양수산연구원 사육수조 4 m×4 m×2 m(유효수량 25톤) 2개조에서 2마리/톤의 밀도로 사육하였으며, 냉수전용 히트펌프를 이용하여 연중 9-17℃의 수온범위를 유지하였다.

어미의 먹이는 적당한 크기로 절단한 고등어와 배합사료를 격일로 만복급이하였으며, 배합사료는 비타민, 종합영양제, 소화제, 간장제를 용법에 맞게 흡착하여 사용하였다.

2. 환경조절을 통한 성 성숙 유도

터봇의 성 성숙 유도를 위한 광주기 조절과 수온조절은 2020년 3월에서 8월(1차 실험)과 2020년 7월부터 12월(2차 실험)까지 2차례에 걸쳐 이루어졌다. 1차 실험의 경우 광주기 조절은 시작시 11시간 명주기에서 시작하여 점차 명주기를 단축하여 10일째부터 60일째까지 10시간 명주기 14시간 암주기를 처리하였다. 이후 명주기를 증가시켜 83일째 11시간 명주기, 107일째 12시간 명주기, 130일째 13시간 명주기, 155일째 14시간 명주기를 최종적으로 유지하였다. 수온조절은 시작시 14.5℃에서 5일째 12℃, 9일째 10℃로 하강하여 60일간 유지하였고 이후 점차 수온을 상승하여 83일째 11℃, 107일째 12℃, 130일째 13℃, 155일째 14℃를 최종적으로 유지하였다(그림 1 A).

2차 실험의 경우 광주기 조절은 시작시 12시간 명주기에서 시작하여 점차 명주기를 단축하여 8일째 11시간 명주기, 15일째 10시간 명주기, 28일째 9시간 명주기 15시간 암주기를 처리하였다. 이후 명주기를 증가시켜 40일째 10시간 명주

기, 50일째 11시간 명주기, 62일째 12시간 명주기, 74일째 13시간 명주기, 86일째 14시간 명주기를 최종적으로 유지하였다. 수온조절은 시작시 15℃에서 12일째 14℃, 17일째 11℃, 19일째℃로 하강하여 37일째까지 유지하였고 이후 점차 수온을 상승하여 50일째 11℃, 68일째 12, 86일째 13℃를 최종적으로 유지하였다(그림 1 B).

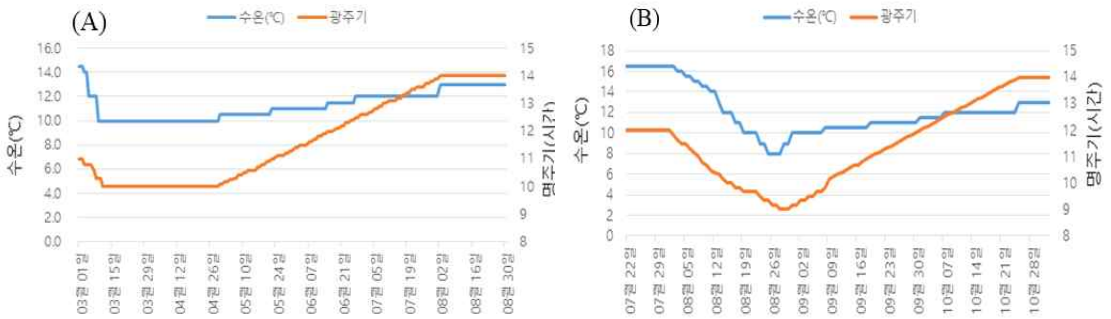


그림. 1. 터봇 성 성숙 유도를 위한 환경조절 일정. A: 1차 실험, B: 2차 실험

3. 호르몬 투여 및 인공수정

터봇 수정란 생산을 위한 호르몬 투여는 LHRHa (des-Gly^{10}[D-Ala^{6}]-luteinizing hormone releasing hormone ethylamide; Sigma, USA) 펠렛을 이용하였다. 호르몬 투여 농도는 LHRHa 150 μg/kg 이었으며, 호르몬 주사 후 2~7일 사이 복부압박을 통해 인공채란과 채정을 실시하여 인공수정을 하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 환경조절을 통한 성 성숙 유도

광주기처리와 수온조절을 180일간 실시한 1차 실험과 90일간 실시한 2차 실험을 비교한 결과, 1차 실험 종료시에 총 77마리의 어미 중 호르몬 투여가 가능한 성 성숙 개체는 11마리 였으며, 2차 실험 종료시에는 총 74마리의 어미 중 호르몬 투여가 가능한 성 성숙 개체가 27마리로 나타났다.

터봇의 주 산란수온은 9℃이하의 수온조건을 지난 후 13~14℃로 상승하였을 때이며, 광주기 조건은 하절기 조건이라고 보고되고 있다(Jones, 1974). 또한 연속적 명주기 처리는 산란억제 요인으로 작용하며(Imsland et al., 2003), 제주의

자연환경에서는 성숙이 이루어지지 않는다고도 보고되고 있다(Seo, 2017). 본 실험에서는 유사한 경향의 성 성숙 조건을 기간을 달리하여 처리하였을 때 효과를 비교하였는데 180일 처리 실험구에 비해 90일 처리 실험구에서가 성숙개체의 출현 비율이 높은 것으로 보아 광주기와 수온조절이 터봇의 성 성숙 유도에 반드시 필요하나 약 3개월간의 조건처리만으로도 성 성숙 유도에는 충분하다고 판단된다.

2. 체중별 성 성숙 조사

2차 실험구의 성 성숙 유도가 종료되는 시점에서 체중별 암컷의 성 성숙 유도 여부에 대한 조사를 실시하였다. 1.5 kg 미만 개체 7마리 중 성 성숙이 유도된 개체는 없었으며, 1.5~1.9 kg 13마리 중에서는 4마리, 2.0~2.4 kg 25마리 중에서는 8마리, 2.5~2.9 kg 11마리 중에서는 5마리, 3.0~3.4 kg 9마리 중에서는 6마리, 3.5~4 kg 9마리 중에서는 8마리가 성 성숙이 유도되었다(표 1).

터봇의 생물학적 최소형은 수컷 3.5 kg (3년 이상), 암컷 2 kg (2년 이상)으로 알려져 있으나, 개체의 크기나 연령이 작은 경우 생산된 난의 양도 적고 난질이 떨어지는 경우가 많으므로 충분히 성장된 개체를 사용하는 것이 효과적으로 보고되고 있다(Park et al., 2006; Seo, 2017). 연구원 보유 어미들의 경우에도 최소 1.7 kg 이상 개체에서 성 성숙이 확인되었으며 3.5 kg 이상 개체들은 대부분 성 성숙이 된 것으로 보아 산업적 규모의 터봇 수정란 생산을 위해서는 3 kg 이상의 개체들을 확보하는 것이 중요하다고 판단된다.

표 1. 터봇 성 성숙개체 체중별 분포

체중범위	실험어	성 성숙 유도 완료 개체	성 성숙 유도개체 체중 (kg)
1.5 kg 미만	7	0	-
1.50~1.99 kg	13	4	1.72, 1.84 1.86 1.93
2.00~2.49 kg	25	8	2.11, 2.13, 2.14, 2.22, 2.27, 2.29, 2.35, 2.49
2.50~3.49 kg	11	5	2.61, 2.62, 2.62, 2.65, 2.71
3.50~4.00 kg	9	8	3.58, 3.61, 3.64, 3.99, 4 이상, 4 이상, 4 이상, 4 이상

3. 호르몬 투여에 따른 최종 성 성숙 유도

LHRHa 투여에 따른 채란과 인공수정 결과 1차 실험에서는 11마리 호르몬 투여에서 4마리에서 1,650 cc를 채란하였으며 이중 수정란은 250 ml 이었다. 2차 실험에서는 27마리 호르몬 투여에서 9마리에서 3,050 ml를 채란하였으며 이중 수정란은 1,300 ml 이었다(표 2).

표 2. LHRHa 투여에 따른 터봇 채란효과

1차 실험			2차 실험		
채란일	채란개체 체중(g)	채란량(ml)	채란일	채란개체 체중(g)	채란량(ml)
'20. 8. 22.	4,610	500	'21. 1. 24.	2,680	300
'20. 8. 27.	2,940	250		2,420	250
	3,598	500		4,320	800
	3,243	400		2,010	200
-	-	-		3,050	250
-	-	-		3,680	300
-	-	-		3,270	250
-	-	-	'21. 1. 27.	2,580	300
-	-	-		3,270	400
합계	-	1,650	합계	-	3,050

터봇에 있어 다양한 호르몬 투여가 배란 유도에 효과적인 것이 보고되고 있다(Mugnier *et al.*, 1999). 본 실험에서는 LHRHa 단독 투여에 따른 배란유도 효과를 조사하였는데 1차 실험에서는 11마리 호르몬 투여 중 4마리에서 채란이 가능하였고 2차 실험에서는 27마리 호르몬 투여 중 9마리에서 채란이 가능하여 LHRHa 투여가 채란에 유도에 효과적이나 투여개체 중 40% 미만이 채란되어 좀 더 효과적 배란유도 방법 개발이 필요한 것으로 판단된다. 또한 채란양 중 수정란의 비율이 15~42%로 낮은 것은 난질의 문제로 어미관리 방법과 채란시기의 정확한 조사도 병행되어야 할 것으로 판단된다(그림 2).



그림 2. 터봇 수정란 생산.

A ~ C: 터봇 인공채란, D ~ F: 성 성숙 완료 터봇, G ~ I: 터봇 수정란.

Ⅳ. 참고문헌

Asahina K and Hanyu I. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull Japan Soc Sci Fish. 49, 61-67.

De Vlaming VL. 1972. Environmental control of teleost reproductive cycles : a brief review. Journal fo Fish Biology. 4, 131-140.

De Vlaming VL. 1975. Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost, *Notemigonus rysoleucas*. Biol Bul.l 148, 402-415.

Imsland AK, Dragsnes M, and Stefansson SO. 2003. Exposure to continuos light inhibits maturation in turbot (*Scophthalmus maximus).* Journal of Aquaculture. 219, 911~919.

Jones A. 1974. Sexual maturity, Fecundity and growth of the turbot *Scophthalmus maximus L.* Journal of marine biology UK. 54, 109~125.

Joo HS. 2012. Characteristics of reproductive physiology in blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus*. Doctoral dissertation, Jeju Nat Univ, Jeju.

Mugnier C, Guennoc M, Lebegue E, Fostier A and Breton B. 2000. Induction and synchronisation of spawning in cultivated turbot (*Scophthalmus maximus L.*) broodstock by implantation of a sustained-release GnRH-a pellet. Journal of Aquaculture. 181, 241~255

Park MW, Lee JH, Lee JK and Byun SK. 2006. Study on transplantation of exotic aquaculture species. National Fisheries Research & Development Institute. 266-270

Seo JP. 2007. Induced sexual maturation and fertilized egg production of turbot, *Scophthalmus maximus*. Bull Mar Sci Inst Jeju Nat Univ, Jeju.

갈치 채낚기전용 낚싯대 개발 및 조업 성능시험

김태정

Ⅰ. 서 론

제주도의 갈치 채낚기어업은 연안복합 및 근해채낚기어업 어선들이 5월부터 12월까지 제주도 연안 수심 50~80 m 되는 본도 20~40마일 해역에서 조업을 많이 하고 있다. 갈치(*Trichiurus lepturus*)는 고가 어종으로 어업인의 소득에 많은 기여를 하고 있어 조업 시기에는 연안복합어업 어선의 대부분이 갈치 조업에 참여하고 있다. 본도의 총 어선수는 2020년도 말 현재 1,962척으로 이 중 81%인 1,590척이 10톤 미만의 소형어선이며, 연안복합어업 어선에는 4~6명의 선원이 승선하여 조업한다.

갈치 채낚기어구 중 낚싯대는 길이 약 8~10 m 되는 대나무를 사용하고 있으며, 대부분 전라남도 지역에서 생산된 자연산 대나무를 사용하고 있다. 척당 대나무 낚싯대 사용량은 선원 1인당 1개를 사용하여 연안복합 어선에서는 4~6개의 대나무 낚싯대를 사용하고 있다. 대나무 낚싯대는 연간 3~4회 교체를 함으로써 폐기된 대나무는 바다에 버려지거나 육상 쓰레기로 전락하여 그 처리에도 문제가 발생하고 대나무 낚싯대의 길이가 길어 선상 보관 및 철거 시 육상 보관에도 큰 공간이 필요한 실정이다.

이러한 대나무 낚싯대에 대한 문제점이 있지만, 지금까지 이를 개선・개발하기 위한 연구는 전혀 없는 실정이다.

갈치 채낚기어업에 대한 연구로는 연속적으로 조획을 할 수 있는 어구개발(서 등, 2000; 오, 2002; 김과 이, 2009), 원줄을 기계적으로 감아 들이기 위한 양승기 개발(박, 2004; 2005), 추를 기계적으로 던질 수 있는 자동 투승기 개발(김, 2021)이 있으며, 현재 양승기는 대부분의 갈치 채낚기어선에서 사용하고 있으며, 자동 투승기는 어선 자동화시설 보조사업으로 지정되어 상용화되고 있다.

이 연구에서는 대나무 낚싯대의 문제점을 개선할 수 있는 낚싯대를 개발하여 조업 현장에서 발생하는 애로사항을 해결하고자 한다. 사전 연구로서 갈치 채낚

기어업의 어구 사용 실태를 조사하고 대나무 낚싯대의 단점을 대체할 수 있는 재료인 합성소재의 탄성 회복도를 실험하였다. 또한 대나무 낚싯대와 개발한 낚싯대의 성능비교 시험을 실시하였고 어업인에게 개발한 낚싯대를 제공하여 사용하게 한 후 만족도에 대한 그 결과를 보고하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 갈치 채낚기어구 구성

갈치 채낚기어구 실태조사는 2021년 11월 11일 제주시 제주항에서 연안복합어선 A호(9.77톤, FRP선, 500마력), 2021년 11월 16일 서귀포시 강정항에서는 연안복합어선 B호(9.77톤, 알루미늄선, 750마력)에서 하였다. 승선인원은 5~6명으로 조업 시 낚싯대는 총 6개를 사용하였다. 조사내용은 사용하는 기존 대나무 낚싯대와 개발품인 합성소재 낚싯대에 대해서 낚싯대, 원줄, 모릿줄, 아릿줄, 낚시 그리고 납추에 대해서 재질, 굵기, 길이, 중량 그리고 규격 등을 조사하였다.

2. 갈치 채낚기어업 조업방법

갈치 채낚기어업 조업방법 조사는 개발한 낚싯대의 2021년 11월 16일 서귀포시 강정항 동남쪽 10마일 해상에서 직접 승선하여 현장조사 하였다. 시험어선은 강정항의 B호(9.77톤)이다. 조사내용은 출입항 시간, 조업순서, 조업방법, 원줄 양승기 사용 그리고 공기압 투승기 사용여부 등을 조사하였다.

3. 갈치 채낚기전용 낚싯대 제작

기존의 대나무 낚싯대의 단점을 개선하고자 새로운 고탄성 합성소재로 낚싯대를 제작하였다(표 1). 낚싯대의 제작 원료는 FRP RESIN 40%, FIBER GLASS 55%, CABON FIBER 2.5% 그리고 폴리에틸렌 특수섬유 2.5%를 혼합하여 사용하였다. 기존의 대나무 낚싯대는 일체형으로 길이가 길어 선상보관 및 육상 창고보관에 어려움이 있으므로, 새로 개발한 합성소재 낚싯대는 조립식으로 제작하였다. 합성소재 낚싯대는 7단계로 분리하여 각 단계의 낚싯대를 서로 끼우거나 뺄 수 있도록 하여 조립 및 분해되게 하였다.

제작한 합성소재 낚싯대는 총길이 1,040 ㎝, 중량 6~7 ㎏, 최대 하중 8~10㎏ 그

리고 장대 두께는 2.5 ㎜ 으로, 강화섬유와 FRP 수지를 이용한 프리프레그(Prepreg, 시트형태)을 평직한 후 길이 방향으로 다시 제작하여 멘드릴에 감아서 경화시킨 후 탈영하는 방식으로 낚싯대 길이와 중량은 기존 대나무 낚싯대보다 다소 길고 무거운 경향이 있다.

개발한 낚싯대의 탄성 회복도는 고탄성 합성섬유로 제작된 낚싯대 25세트 중 1세트를 무작위로 추출하여, 낚싯대(길이 10.4 m)를 지면에서 상방 15° 되게 고정시킨 상태에서 시험하였다. 시험방법은 낚싯대의 끝부분에 1.0 m의 줄을 달고, 그 끝에 공기 중의 무게가 각각 다른 7종의 납추(0.5 ㎏, 1.0 ㎏, 1.5 ㎏, 2.0 ㎏, 5.0 ㎏, 7.0 ㎏, 10.0 ㎏)를 연결하여 늘어난 길이를 시료마다 각각 10회씩 측정하여 평균하였으며, 이때 낚싯대가 휘어지는 형상을 촬영하여 분석하였다.

표 1. 개발한 합성소재 낚싯대의 재질 및 규격

품 명	구 성	재 질 및 규 격
갈치 채낚기전용 낚싯대 (1 SET)	본체 (원재료)	FRP RESIN, 40%
		FIBER GLASS, 55%
		CABON FIBER, 2.5%
		폴리에틸렌 특수섬유, 2.5%
	낚싯대	외경 45Φ~55Φ, 길이 175 ㎝, 1개 (아답터 포함)
		외경 50Φ~55Φ, 길이 140 ㎝, 3개
		외경 50Φ~40Φ, 길이 130 ㎝, 1개
		외경 35Φ~25Φ, 길이 130 ㎝, 1개
		외경 20Φ~5Φ, 길이 156 ㎝, 1개
	총길이 및 최대중량	총길이 : 1,040 ㎝
		총중량 : 6~7 ㎏
		최대하중 : 8~10 ㎏
		장대두께 : 2.5 ㎜

4. 현장(해상) 조업 성능시험

해상 조업시험은 서귀포시 강정항 동남쪽 약 10마일 해상에서 연안복합어선 B호(9.77톤)을 이용하여 2021년 11월 16일 실시하였다. 시험조사는 기존 대나무 낚싯대와 개발한 합성소재 낚싯대를 선수부분 좌현에는 합성소재 낚싯대를 거치하

고, 우현에는 대나무 낚싯대를 거치하여 각각의 낚싯대에 대해 각각 17회 조획 시험을 하였다.

조사항목은 낚싯대 종류별로 어획종, 낚시 순번에 따른 어획상태, 낚싯대 파손 여부, 낚시 탈락, 미끼 교체여부 등이었다. 낚시 순번에 따른 어획 상태 분석에 있어서 최상부 낚시를 1번으로 하여 최하부의 17번 낚시를 3부분으로 나누어 1번 낚시부터 6번 낚시까지는 상층부, 7번 낚시부터 12번 낚시까지는 중층부, 13번 낚시부터 17번 낚시까지는 하층부로 하여 갈치와 고등어에 대해 어획 수층을 분석하였다. 시험조업 시 사용 미끼는 냉동된 꽁치를 어체 부분만 포를 떠서 폭 약 1 cm, 길이 약 5 cm 정도 되게 썰어서 사용하였다. 어획종 조사는 체중은 0.00 kg, 체장은 1.0 ㎝ 단위로 측정하였다.

5. 어업인 만족도 조사

개발한 합성소재 낚싯대에 대한 어업인 만족도는 권역별로 어업인 의견을 수렴하여 개선코자 제주도 북쪽에 위치한 제주항 1척, 남쪽에 위치한 서귀포항 1척, 모슬포항 2척, 강정항 1척, 동쪽에 위치한 성산항 1척, 서쪽에 위치한 한림항 1척으로 갈치 채낚기 조업을 하고 있는 총 7척을 선정하여, 제작한 낚싯대를 사전에 조업에 사용할 수 있도록 제공한 후, 어업인 만족도를 서면 조사하였다. 주요 조사내용으로는 대나무 낚싯대와 비교하여 개발된 합성소재 낚싯대의 사용상 효율성에 대한 만족도, 갈치 채낚기어업 전용 낚싯대 사용상 어업소득 증대에 도움을 주는 만족도, 갈치 채낚기어업 전용 낚싯대를 향후 지속적으로 사용할 의향 그리고 불만 및 개선사항 등이었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 갈치 채낚기어구 구성

갈치 채낚기어구는 약 8~10 m의 대나무 낚싯대에 2줄의 갈랫줄이 달려 있으며, 각 갈랫줄에는 각각 경심 70호인 원줄과 그 아래에는 경심 50호인 모릿줄이 연결되며, 모릿줄에는 경심 16호, 길이 2.4 m인 아릿줄이 2.5 m 간격으로 배열되어 있다. 아릿줄의 끝에는 낚시의 꼭지에 야광축광 튜브가 달린 낚시가 묶여 있으며, 낚시 수는 17개이다. 낚시가 달리는 모릿줄에는 위에서 8번째 낚시가 부착

되는 위치에 소형 집어등이 달려 있다. 모릿줄의 최하부에는 무게 900g의 납추가 추 연결줄로 연결되어 있다(그림 1).

낚싯대 끝에서 분기되는 갈랫줄은 삼각도래를 사용하여 2줄의 갈랫줄을 형성하며, 갈랫줄의 끝에는 원줄이 통과하는 도래가 달린 핀도래와 연결되며, 원줄의 시작 부분에 달린 핀도래는 낚시가 달린 모릿줄의 시작 부분에 달린 핀도래와 연결되어 있다. 모릿줄의 끝에는 핀도래를 달아 추 연결줄과 연결된다.

원줄은 자새에 감겨있으며, 원줄에 달린 핀도래의 도래를 통과하여 모릿줄과 연결하여 투승과 양승 시 원줄을 자연스럽게 풀어주고 감을 수 있도록 되어있다.

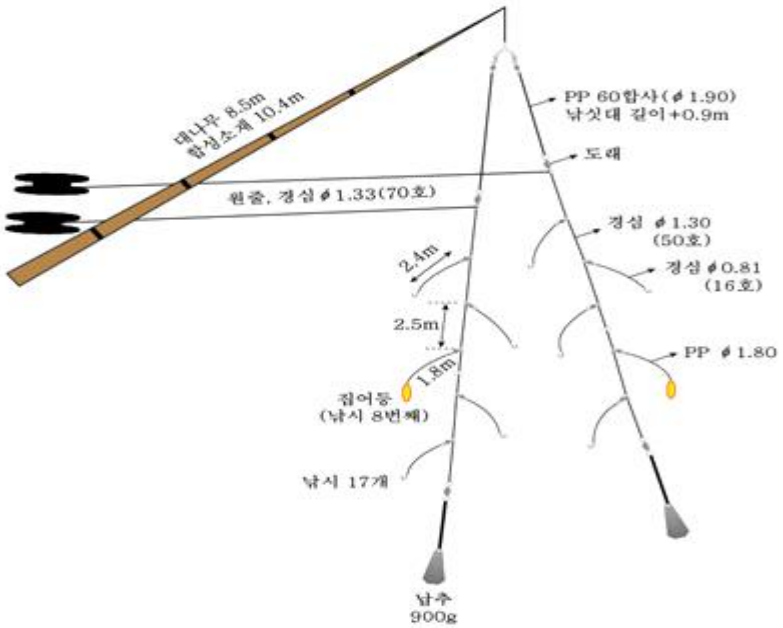


그림 1. 갈치 채낚기어구 구성도

2. 갈치 채낚기어업 조업방법

갈치 채낚기어업은 오후 3시경에 항구를 출항하여 어장에 도착하면 물돛(Sea Anchor)을 투묘하고, 조획용 낚싯대를 양현의 선수, 중갑판, 선미의 총 6개소에 설치 후 일몰 전에 1.5 KW 메탈 할라이드 집어등 40여 개를 켜고 어군을 집어하면서 조업 준비를 시작한다.

선원 1인당 낚싯대 1개를 사용하고, 낚싯대 끝에 달린 2줄의 낚싯줄을 사용하여 일몰 후부터 일출 전까지 번갈아 가면서 투·양승을 하며, 투·양승은 약 10

분 간격으로 하여 하룻밤에 약 100여 회 한다.

투승은 모릿줄 끝에 달린 납추를 선원이 바다로 던지거나 공기압 투승기에 납추를 넣어 작동시키면 약 30~40 m 정도 날아가고 이에 연결된 낚시도 따라 날아간다. 이때 투승이 안 된 낚시는 선원이 내어주고 납추의 무게에 의해 자새에 감긴 원줄이 풀리게 된다. 미리 수심에 따라 원줄에 고정 부착한 스톱퍼가 갈랫줄의 도래에 걸리면 투승이 완료된다.

원줄에는 어획 상태에 따라 납추가 해저에서 약 10~20 m 정도 위에 위치하도록 스톱퍼가 미리 부착 고정돼 있다. 조획 여부는 낚싯대 끝이 휘고 흔들리는 정도를 보거나 손으로 전달되는 낚싯줄의 수중 장력으로부터 확인한다. 조획이 확인되면 원줄을 원줄 양승기로 감아올리고 원줄이 다 올라오면 양승기가 자동으로 멈춰 모릿줄은 현측 연직 하방으로 드리운 상태가 된다. 다른 쪽 낚싯줄을 투승한 후 현측에 있는 모릿줄을 인력으로 서서히 당기면서 갈치를 낚아 올린다.

이 과정에 갈치를 낚시에서 떼어낸 후 갈치는 아이스박스에, 낚시는 양 현측의 낚시 정리대에 올라오는 순서대로 나열 정리한다. 양승이 완료되면 미끼가 탈락되거나 일부 먹힌 미끼가 달린 낚시에는 미끼를 다시 끼우고 재 투승 준비를 하고 이런 과정을 반복한다. 일출 전까지 조업을 한 후 아침 7시경에 항구로 귀항한다. 갈치 채낚기어업 조업 모식도를 그림 2에 나타내었다.

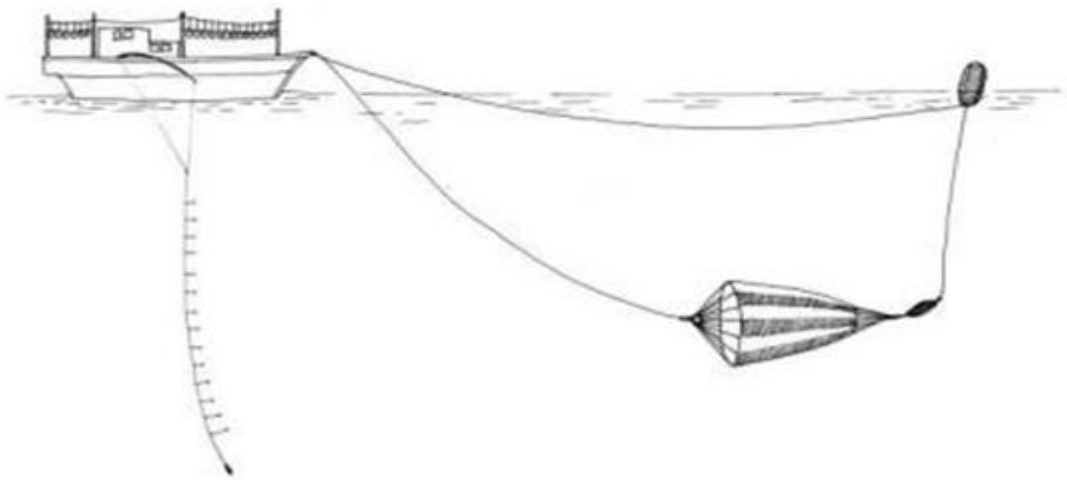


그림 2. 갈치 채낚기어업 조업 모식도

3. 갈치 채낚기전용 낚싯대 탄성 회복도 시험

개발한 고탄성 합성소재 낚싯대는 하중의 무게가 증가됨에 따라 지수함수적으로 휘어졌고(R^2=0.9689), 2.0 kg의 하중까지는 완만하게 휘어지는 현상을 보이다가 5.0 kg 이상의 하중에서는 급격히 휘어지는 경향을 보였다(그림 3). 시험 최대 하중인 10.0 kg에서도 낚싯대가 파손되는 일이 없었으며, 하중을 제거하면 원상태로 회복되는 것으로 보아 탄성 회복도는 우수하다고 사료되었다. 이때, 낚싯대는 하중의 무게에 따라 타원형을 이루며 휘어졌으며, 낚싯대의 이음 부분도 탈락되지 않았다. 하중에 따른 고탄성 합성소재 낚싯대(길이 10.4 m)의 휘어진 길이와 휨 정도는 표 2와 같다.

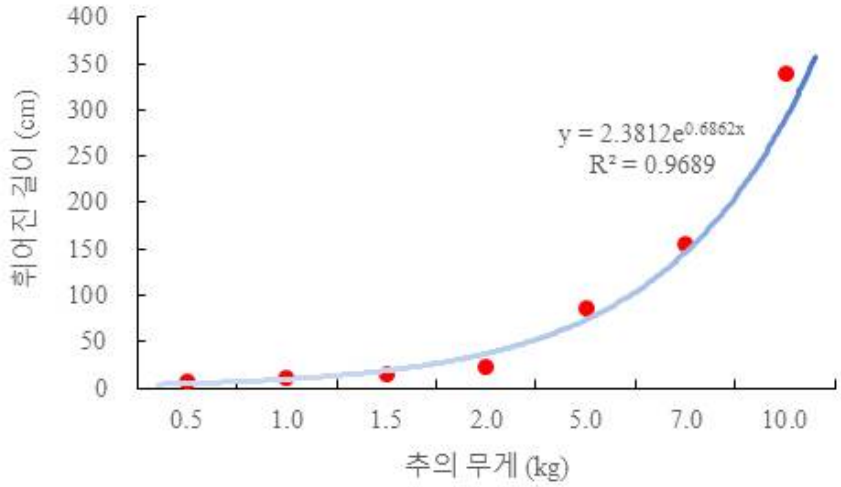


그림 3. 하중에 따른 합성소재 낚싯대 휘어진 길이 변화

표 2. 하중에 따른 합성소재 낚싯대(길이 10.4 m)의 시험결과

순번	추의무게 (kg)	휘어진 길이(cm)	휨 률(%)	평균오차(cm)
1	0.5	6.2	0.6	± 1.5
2	1.0	10.3	1.0	± 1.3
3	1.5	14.5	1.4	± 1.9
4	2.0	23.0	2.2	± 2.2
5	5.0	85.2	8.2	± 1.8
6	7.0	155.6	15.2	± 3.2
7	10.0	340.0	32.7	± 5.5

※ 휨률(%) = (휘어진 길이 ÷ 낚싯대 길이) ×100

4. 현장(해상) 조업 성능시험

해상 조업시험 중 두 소재의 낚싯대 파손은 없었으며, 낚시 탈락도 없었다. 미끼교체는 총 17회 비교 조획시험에서 합성소재 낚싯대 총 55회, 대나무 낚싯대에서는 총 30회의 미끼 교체가 이루어졌고, 조획 횟수당 미끼 교체횟수는 합성소재 낚싯대 3.2회, 대나무 낚싯대는 1.8회로 합성소재 낚싯대에서 대나무 낚싯대보다 약 2배의 미끼 교체가 있었다. 이것은 낚싯대의 소재 문제가 아니라 조업자의 성향에 따른 경향이라고 판단된다.

해상 어획시험에서 낚싯대의 휨 상태는 합성소재 낚싯대나 대나무 낚싯대에서 유사한 휨 상태를 보였다. 낚싯대를 낚싯대 거치대에 거치한 상태에서는 두 낚싯대의 휘어짐은 거의 없었으나 투승 후에는 낚싯대의 끝부분인 초릿대에서는 휘어짐 상태가 심하고 그 뒤의 낚싯대 부분은 조금 휘어지는 상태를 보였다(그림 4).



그림 4. 합성소재 낚싯대(A, C) 및 대나무 낚싯대(B, D) 휘어짐 비교
(A, B: 어구 투승 전; C, D: 어구 투승 후)

낚싯대 소재별 어획시험 결과는 표 3과 같다. 어획시험에서는 갈치 외 5종이 어획되어 총 46마리 18.52 ㎏이었고, 이 중에서 갈치와 고등어가 우점종이었다. 시험자료 분석에서 만새기는 중량이 과대하여 어획량 분석에서는 제외하였다. 어획 종은 합성소재 낚싯대에서는 갈치 외 5종으로 총 27마리 12.76 ㎏이었으나, 대나무 낚싯대에서는 갈치와 고등어만이 어획되어 총 19마리 5.76 ㎏이었다. 합성소재 낚싯대에서는 다양한 어종이 어획되었고, 어획 마리수와 어획 중량에서도 대나무 낚싯대보다 높은 경향을 보였다. 우점종인 갈치와 고등어의 어획은 합성소재 낚싯대에서 각각 12마리(2.03 ㎏)와 10마리(3.9 ㎏)이었고, 대나무 낚싯대에서는 각각 12마리(2.71 ㎏)와 7마리(3.05 ㎏)로 두 소재의 낚싯대는 유사한 어획 경향을 보였다. 그렇지만 이 자료는 어획시험 횟수와 어획 마리수가 많지 않은 결과이므로 향후 보완 시험조사가 필요하다고 생각된다.

표 3. 낚싯대 소재별 비교 어획시험 결과

구 분	전용 낚싯대 (합성소재)		기존 낚싯대 (대나무)		합 계	
	개체 수 (마리)	중량 (kg)	개체 수 (마리)	중량 (kg)	개체 수 (마리)	중량 (kg)
갈치	12	2.03	12	2.71	24	4.74
고등어	10	3.9	7	3.05	17	6.95
삼치	1	1	0	0	1	1
줄삼치	2	5.1	0	0	2	5.1
만새기	1	-	-	-	1	0
복어	1	0.73	0	0	1	0.73
합 계	27	12.76	19	5.76	46	18.52

수층별 어획상황을 조사하기 위해 낚시가 달린 부분을 3등분하여 어획 마리수를 조사하였다. 갈치의 어획상황은 표 4와 같다. 갈치의 경우 중층부의 낚시에서 어획 마리수의 58.3%가 어획되었고, 그 다음이 하층부의 낚시에서 25.0~33.3%, 상층부의 낚시에서 8.3~16.7%가 어획되었다. 이 결과로부터 갈치의 경우에는 중·하층부의 낚시에서 83.3~91.6%가 어획됨을 알 수 있다. 중층부의 낚시에서 갈치의 어획 비율이 높은 것은 8번째 낚시가 달리는 위치에 소형 집어등이 달려 있어 집어등 효과로 볼 수도 있지만, 보다 많은 자료 수집을 통한 분석이 필요하다고 판단된다.

표 4. 갈치의 수층별 어획상황

구 분	낚시번호	전용 낚싯대 (합성소재)		기존 낚싯대 (대나무)	
		개체 수 (마리)	백분율 (%)	개체 수 (마리)	백분율 (%)
상층부	1~6	1	8.3	2	16.7
중층부	7~12	7	58.3	7	58.3
하층부	13~17	4	33.3	3	25.0

고등어의 어획상황은 표 5와 같다. 고등어의 경우 상층부의 낚시에서 어획 마리수의 80.0~85.7%가 어획되었고, 그다음이 중층부의 낚시에서 0~20.0%, 하층부의 낚시에서 0~14.3%가 어획되었다. 이 결과로부터 고등어의 경우에는 상층부의 낚시에서 80% 이상이 어획됨을 알 수 있다.

표 5. 고등어의 수층별 어획상황

구 분	낚시번호	전용 낚싯대 (합성소재)		기존 낚싯대 (대나무)	
		개체 수 (마리)	백분율 (%)	개체 수 (마리)	백분율 (%)
상층부	1~6	8	80.0	6	85.7
중층부	7~12	2	20.0	0	0
하층부	13~17	0	0	1	14.3

5. 어업인 만족도 조사

제주도 동·서·남·북쪽에 위치하는 항구에서 갈치 채낚기어업 시험조업 어업인 대상으로 개발된 합성소재 낚싯대에 대한 만족도 조사를 하였다. 조사한 어선의 톤수와 척수는 6.67톤 1척, 7.31톤 3척, 9.77톤 2척 그리고 22톤 1척으로 총 7척이다. 조사에 응대한 선장들의 어업경력은 20년 이상 86%(6척)였고 10년에서 20년 14%(1척)이며, 10년 이하의 경력자는 없었다.

대나무 낚싯대와 비교하여 신규 개발 낚싯대의 사용상 효율성에 대한 만족도 조사에서는 보통이 71.4%였고, 만족이 28.6%로, 불만족은 없었지만 만족의 비율이 높지는 않았다(그림 5).

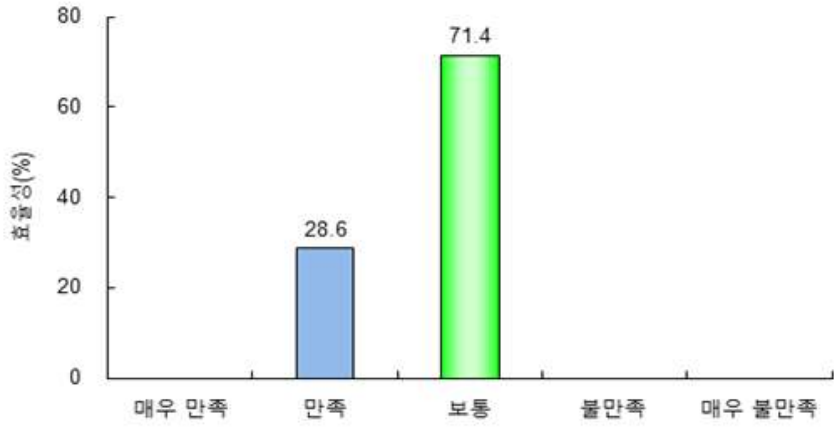


그림 5. 합성소재 낚싯대 효율성에 대한 만족도

갈치 채낚기전용 낚싯대 사용상 어업소득 증대에 도움을 주는 만족도 조사에서는 보통이 57.1%였고, 만족이 42.9%로, 불만족은 없었고 어업소득 증대에 기여할 것이라는 경향을 보여주고 있다(그림 6).

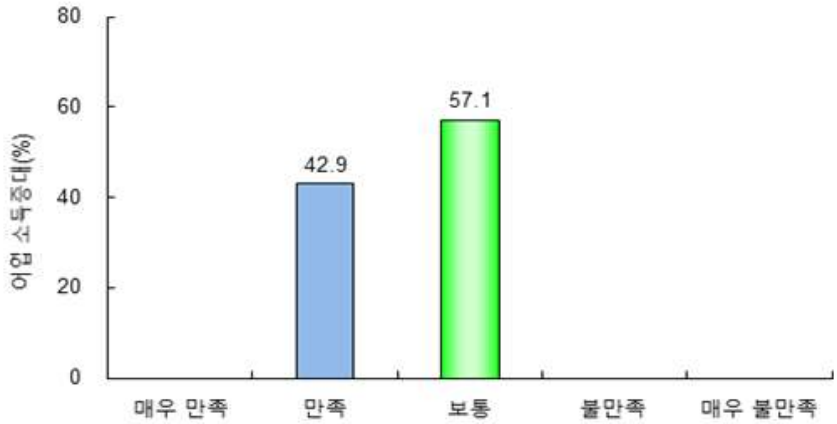


그림 6. 합성소재 낚싯대 어업소득 증대에 도움을 주는 만족도

갈치 채낚기전용 낚싯대를 향후 지속적으로 사용할 의향에 대한 조사에서는 사용 의향 있음이 57.1%였고, 사용 의향 없음이 42.9%로 사용 의향 있음이 없음보다 조금 높게 조사되었지만, 이는 개발한 낚싯대에 대한 어업인의 개선 요구사항을 해소하면 향후 사용 의향이 높아질 것으로 보여진다(그림 7).



그림 7. 합성소재 낚싯대 지속적 사용할 의향에 대한 만족도

어업인들이 요구하는 개선사항으로는 낚싯대 무게가 무겁다는 것이 36.3%로 가장 높았고, 탄력성이 약하다는 것이 27.3%로 낚싯대의 무게 경량화와 탄력성 증대가 필요하다고 사료된다. 다음 개선사항으로는 강도, 파손, 이음새 연결부의 고정력, 조립 및 해체의 간편화에 대한 의견이 각각 9.1%로 동일하게 조사되었다.

낚싯대의 무게는 대나무 낚싯대(ϕ45 mm×L8.5 m)가 3.3kg이었고, 합성소재 낚싯대(ϕ55 mm×L10.4 m)가 6.5 kg으로, m당 중량은 대나무 낚싯대가 388.2 g, 합성소재 낚싯대가 625.0 g으로 합성소재 낚싯대가 대나무 낚싯대보다 약 1.6배 무거웠다. 그러므로 합성소재 낚싯대의 무게를 대나무 낚싯대의 무게 정도로 경량화하는 것이 필요하다고 사료된다.

그리고 합성소재 낚싯대는 낚시에 상어가 물린 경우 선체에 거치된 상태에서 선체와 맞닿는 부분에서 꺾이어 파손 절단되는 현상도 있었다(그림 8). 대나무 낚싯대의 경우에는 파손되어 절단되는 현상보다는 장기간 사용 및 외부 노출로 인한 갈라짐 현상이 발생하여 낚싯대의 기능이 약해지는 현상이 있었다(그림 9). 이와 같이 현장에서 사용 중에 발생한 문제점 및 어업인 의견을 반영하여 개선된 낚싯대를 개발하는 것이 필요하다고 판단된다.



그림 8. 파손된 합성소재 낚싯대



그림 9. 갈라진 대나무 낚싯대

Ⅳ. 참고문헌

김병엽, 이창헌. 2009. 제주도 연안 연속식 갈치 채낚기 조획시스템의 개량에 관한 기초적 연구. 수산해양기술연구. 45(1), 14-21.

김태정. 2021. 갈치 채낚기어업의 낚싯줄 자동 투승기 개발 및 조획 성능. 2019-2020년도 연구사업보고서, 제주특별자치도 해양수산연구원, 3-16.

박용석. 2004. 갈치채낚기용 라인홀러(양승기) 개량. 2003년도 연구사업보고서, 제주도 해양수산자원연구소. 105-117.

박용석. 2005. 채낚기어업용 전동식 라인 홀러 개발. 2004년도 연구사업보고서, 제주도 해양수산자원연구소. 110-123.

서두옥, 정용진, 김석종, 이창헌, 김고환, 박용석. 2000. 제주도 연안 갈치 채낚기 어구의 생력화 Ⅰ. 연속식 채낚기어구의 모형실험. 제주대학교 해양연구논문집. 24, 37-42.

오승훈. 2002. 제주도 연안 갈치채낚기의 자동식 어구 개발에 관한 기초적 연구. 제주대학교 대학원 석사학위논문. 1-37.

마을어장 식물플랑크톤 군집구조와 수질등급의 계절변화 분석

김경욱 · 김순찬 · 김종완

Ⅰ. 서 론

제주 연안지역은 현무암질의 암석 조간대로 이루어져 있으며 부착성 규조류를 비롯한 미세조류와 대형 해조류가 연안의 1차 생산자 역할을 수행하고 이를 먹이원으로 소비하는 전복, 소라 등 유용 수산자원이 풍부한 특징을 나타내고 있다. 따라서 예로부터 연안 조간대는 지역어촌계의 주소득원으로서 중요하게 인식되어 마을어장으로 관리되어왔다(최, 2009).

그러나 최근 오염원, 기후변화 등에 의한 지속적인 제주 연안 해양환경 변화가 나타나고 있다. 특히 식물플랑크톤은 해양생태계 피라미드의 가장 하위에 위치한 기초생산자로서 광합성을 통해 유기화합물을 합성하고 상위 영양단계로 에너지를 전달하는 중요한 역할을 담당하는데(Yoon, 2014), 해양생태계를 구성하는 생물 중 크기가 작고 회전율이 빨라 기후변화에 대한 반응이 빠른 것으로 알려져 있다(Hays *et al.*, 2005). 특히 기후변화는 해양생태계 일차생산량의 분포와 속도의 변화를 야기하고 이것이 상위 영양단계에도 영향을 미친다(강 등., 2012). 또한 식물플랑크톤은 수질환경 변화에도 민감하며 다른 단일 생물군과 비교하여 수환경변화에 대한 대표적인 지표로 활용되고 있다(손, 2013).

따라서 해양환경의 변화를 이해하기 위해서는 식물플랑크톤에 대한 계절별 군집구조와 수질등급의 변화를 분석하는 것이 필요하다. 현재까지 식물플랑크톤에 대한 대표적인 연구 사례는 연근해 식물플랑크톤의 계절변동(Lee *et al.*, 2006; 김 등., 2019)과 군집구조 특성 연구(백 등., 2010; 윤, 2016) 등이 있으며, 수질등급에 대한 연구는 주로 연안역에 대한 해양환경 평가지수(WQI) 분석조사가 있다(나 등., 2013; 공 등., 2016).

본 연구에서는 2021년 도내 마을어장 9개소에 대한 계절별 식물플랑크톤 군집구조와 수질등급인 해양환경 평가지수(WQI)를 분석하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 조사지역

조사지역은 기존자료 및 다양한 청취조사를 통하여 취득한 자료를 바탕으로 해양생태계 변화가 지속적으로 진행되고 있는 곳이나 비교적 안정적인 해양생태계를 유지하고 있는 해역으로 제주도 본섬 7개소(동 : 표선리, 서 : 귀덕2리, 곽지리, 일과리, 남 : 사계리(형제섬), 북 : 조천리, 평대리)와 유인도서 2개소(우도 비양동, 추자 횡간도)를 지정하였다. 상세한 지역별 조사좌표는 표 1에 나타내었다. 곽지리의 경우 하반기부터 조사지역에 추가되었으며, 조사는 2021년 3월부터 11월까지 계절별로 현장조사를 실시하였다(그림 1).



그림 72. 마을어장 조사지역

표 1. 지역별 조사 좌표

조사해역	좌표	
	위도(N)	경도(E)
귀덕 2리	33° 26.9405′	126° 16.6477′
조천리	33° 32.8441′	126° 37.8590′
평대리	33° 32.3655′	126° 50.8352′
우도(비양)	33° 30.6291′	126° 58.6138′
추자(횡간)	33° 00.1205′	126° 20.1607′
일과리	33° 14.3388′	126° 13.1273′
사계리(형제섬)	33° 12.4370′	126° 18.7310′
표선리	33° 18.8990′	126° 50.5877′
곽지리	33° 27.3650′	126° 18.1560′

2. 식물플랑크톤

식물플랑크톤은 각 지역 연안과 외해의 표층과 저층에서 Niskin 채수기로 채수한 해수를 보관통(폴리에틸렌 재질)에 담아 1% 루골용액으로 고정하여 분석에 사용하였다.

식물플랑크톤의 정성분석은 농축된 시료 중 소량을 취하여 광학현미경(Nikon Eclipse 80i)에서 200~1,000 배율로 종의 동정과 분류를 실시하였으며, 식물플랑크톤의 계수와 동정은 규조류, 와편모조류, 규질편모조류, 식물편모조류를 대상으로 분석하였다.

정량분석은 48시간 동안 시료를 침전시킨 후 상등액을 제거하는 침전법으로 시료를 농축시킨 후 농축된 재료를 균일하게 섞어 1 ㎖를 Sedgwick -Rafter 계수판에 넣고 광학현미경(Eclipse 80i, Nikon)에서 전체 세포수를 계수한 후 세포수/리터(cells/L)로 환산하여 식물플랑크톤의 현존량으로 표시하였다.

3. 생태지수 및 군집유사도 분석

생물의 군집구조와 다양성을 파악하기 위하여, 다양도(Diversity)는 Shannon and Weaver(1963)의 식을 사용하였다. 군집을 구성하는 종들의 풍부도(Richness)를 알아보기 위하여 Margalef(1958) 지수를 사용하였고 실제적 다양성과 가설적 다양성 사이의 차이를 파악하기 위하여 균등도(Pielou, 1966)를 구하였다. 또한 우점도지수는 McNaughton(1968)의 계산식을 이용하여 계산하였다(표 2).

마을어장에 출현하는 해양생물상의 군집특성을 분석하기 위하여 각 지역별 출현종자료를 이용하여 유사도 지수(similarity index)를 구하여 집괴분석(Cluster Analysis)을 실시하였고, 모든 자료 분석에는 Primer 6.0 프로그램을 사용하였다.

표 2. 생태학적 지수의 계산식

생 태 지 수	계 산 식
다양도지수	$H' = -\sum_{i=0}^{s} P_i \times \ln(P_i)$
풍부도지수	$R = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$
균등도지수	$J = \frac{H'}{\ln(S)}$
우점도지수	$D = \frac{(n1+n2)}{N}$

P_i : i번째 종의 점유율, S : 출현종수, N : 출현개체수, $n1$: 제1우점종의 개체수, $n2$: 제2우점종의 개체수

4. 해양환경 평가지수(Water Quality Index : WQI)

영양염류(아질산염, 질산염, 암모니아, 인산염, 규산염)와 클로로필 a는 Niskin 채수기를 이용하여 표층과 저층에서 채수한 후 해양환경공정시험기준(해양수산부 2013)에 의한 분석하였다.

각 조사지역의 생태기반 해양환경 평가지수(WQI) 계산은 저층산소 포화도(DO, %), 식물플랑크톤 농도(Chl-a), 투명도(secchi disk depth), 용존무기인(DIP), 및 용존무기질소(DIN)의 항목별 점수를 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

해양환경 평가지수(WQI, Water Quality Index)

= 10 × [저층산소포화도(DO)] + 6 × [(식물플랑크톤 농도(Chl-a) + 투명도(SD))/2] + 4 × [(용존무기질소 농도(DIN) + 용존무기인 농도(DIP))/2]

해양환경 평가지수의 항목별 점수 및 계산방법은 표 3에 나타내었다. 본 연구에서의 기준값은 해양환경 평가지수 항목의 지역별 기준값 중 제주지역의 기준값인 Chl-a (1.6 μg/L), 저층 DO (90%), 표층 DIN (165 μg/L), 표층 DIP (15 μg/L) 및 투명도 (8 m)을 사용하여 계산하였다. 해양환경 평가지수는 I등급(매우좋음; WQI 23 이하), II 등급(좋음; WQI 24~33), III 등급(보통; WQI 34~46), IV 등급(나쁨; WQI 47~59) 및 V 등급(매우나쁨; WQI 60 이상)의 총 5단계의 등급으로 구분하였다(국토해양부 고시 제2011-972호 제정, 해양수산부 고시 제2013-186호 일부개정).

표 3. 해양환경 평가지수 항목별 점수

항목별 점수	대상항목	
	Chl-a(㎍/L), DIN(㎍/L), DIP(㎍/L)	DO(포화도,%), 투명도(m)
1	기준값 이하	기준값 이상
2	< 기준값 + 0.10×기준값	> 기준값 - 0.10×기준값
3	< 기준값 + 0.25×기준값	> 기준값 - 0.25×기준값
4	< 기준값 + 0.50×기준값	> 기준값 - 0.50×기준값
5	≥ 기준값 + 0.50×기준값	≤ 기준값 - 0.50×기준값

Ⅲ. 결 과

1. 식물플랑크톤

1-1. 종조성

계절별 식물플랑크톤 출현종수는 64~82종으로 나타났다(그림 2).

2021년 3월 조사시기에 식물플랑크톤의 출현종은 총 64종이었으며, 규조류가 56종(87.5%)으로 가장 많았고, 식물편모조류가 6종(9.4%), 와편모조류가 2종(3.1%)이 출현하였다. 지역별 출현종수는 10~42종으로 추자(횡간) 지역에서 가장 적었고, 일과리 지역에서 가장 많았다.

5월 조사시기에 식물플랑크톤의 출현종은 총 69종이었으며, 규조류가 57종(82.6%)으로 가장 많았고, 와편모조류가 7종(10.1%), 식물편모조류가 5종(7.3%)이 출현하였다. 지역별 출현종수는 18~39종으로 우도(비양) 지역에서 가장 적었고, 사계(형제) 지역에서 가장 많았다.

8월 조사시기에 식물플랑크톤의 출현종은 총 65종이었으며, 규조류가 47종(72.3%)으로 가장 많았고, 와편모조류가 12종(18.5%), 식물편모조류가 6종(9.2%)이 출현하였다. 지역별 출현종수는 14~33종으로 조천리 지역에서 가장 적었고, 표선리 지역에서 가장 많았다.

11월 조사시기에 식물플랑크톤의 출현종은 총 82종이었으며, 규조류가 71종(86.6%)으로 가장 많았고, 와편모조류가 4종(4.9%), 식물편모조류가 5종(6.1%), 규질편모조류가 2종(2.4%)로 출현하였다. 지역별 출현종수는 18~47종으로 표선리 지역에서 가장 적었고, 사계(형제) 지역에서 가장 많았다.

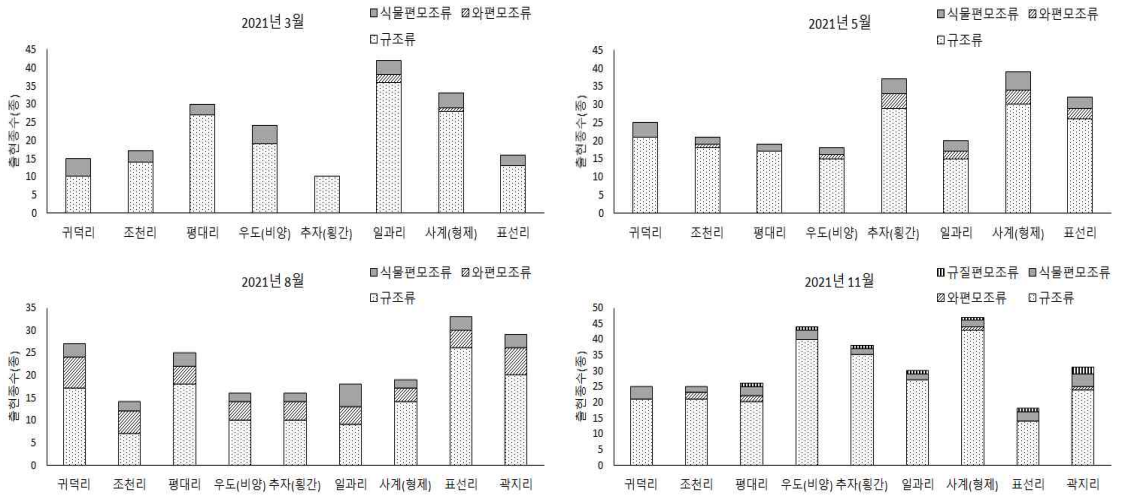


그림 2. 조사 지점에 따른 식물플랑크톤 분류군별 출현종수

1-2. 현존량

계절별 식물플랑크톤 현존량은 1,972~200,720 cells/L 범위로 나타났다(그림 3).

2021년 3월에 지역별 현존량은 2,736~145,800 cells/L이었고, 평균 현존량은 31,164 cells/L이었다. 식물플랑크톤 중 규조류가 평균 30,337 cells/L로 전체 평균 현존량의 97.4%를 차지하였으며, 다음으로 식물편모조류 785 cells/L(2.5%), 와편모조류 42 cells/L(0.1%) 순으로 나타났다. 지역별로 일과리 지역의 표층에서 가장 높은 현존량을 보였고, 추자도(횡간) 지역의 표층에서 가장 낮은 현존량을 보였다.

5월에 지역별 현존량은 3,640~97,890 cells/L이었고, 평균 현존량은 17,751 cells/L이었다. 식물플랑크톤 중 규조류가 평균 16,806 cells/L로 전체 평균 현존량의 94.7%를 차지하였으며, 다음으로 식물편모조류 798 cells/L (4.5%), 와편모조류 148 cells/L (0.8%) 순으로 나타났다. 지역별로 추자도(횡간) 지역의 표층에서 가장 높은 현존량을 보였고, 우도(비양) 지역의 저층에서 가장 낮은 현존량을 보였다.

8월에 지역별 현존량은 1,972~200,720 cells/L이었고, 평균 현존량은 38,291 cells/L이었다. 식물플랑크톤 중 규조류가 평균 39,749 cells/L로 전체 평균 현존량의 92.3%를 차지하였으며, 다음으로 와편모조류 2,324 cells/L (5.5%), 식물편모조류 878 cells/L (2.2%) 순으로 나타났다. 지역별로 표선리 지역의 저층에서 가장 높은 현존량을 보였고, 일과리 지역의 저층에서 가장 낮은 현존량을 보였다.

11월에 지역별 현존량은 2,160~31,902 cells/L이었고, 평균 현존량은 9,833 cells/L이었다. 식물플랑크톤 중 규조류가 평균 9,225 cells/L로 전체 평균 현존량의 93.8%를 차지하였으며, 다음으로 식물편모조류 532 cells/L (5.4%), 규질편모조

류 55 cells/L (0.6%), 와편모조류 22 cells/L 순으로 나타났다. 지역별로 우도(비양) 지역의 표층에서 가장 높은 현존량을 보였고, 조천리 지역의 저층에서 가장 낮은 현존량을 보였다.

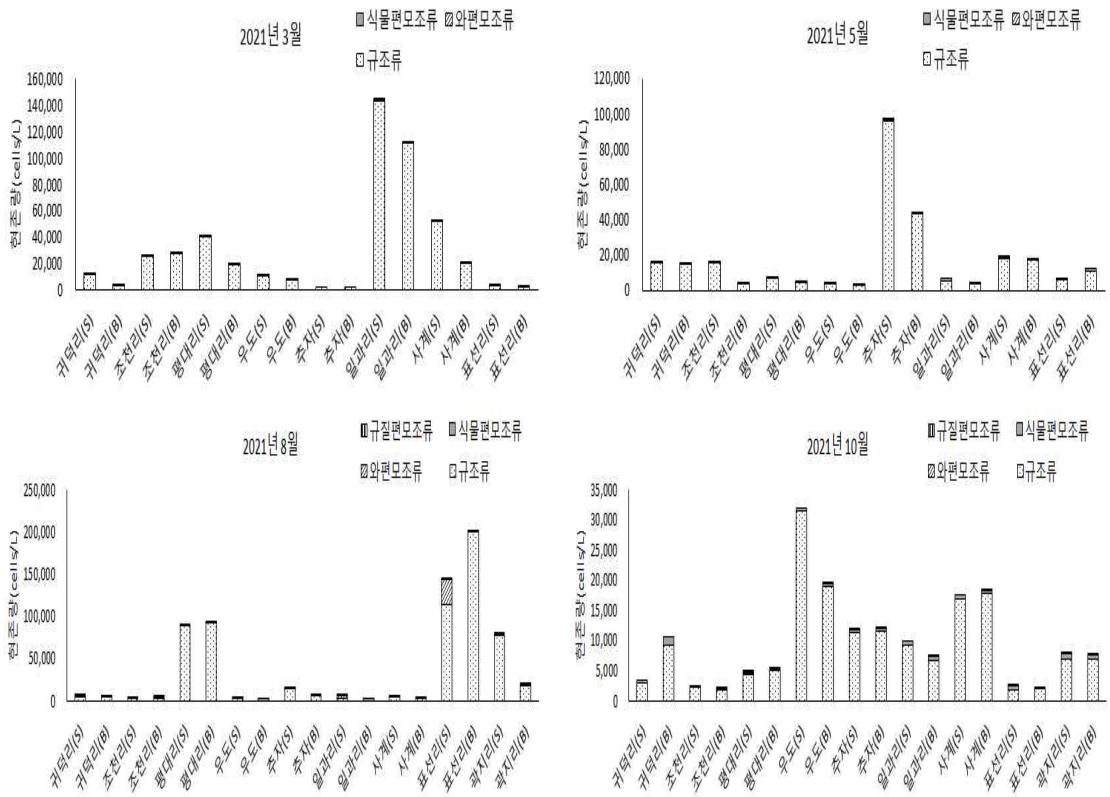


그림 3. 조사 지점에 따른 식물플랑크톤 현존량

1-3. 우점종

계절별 식물플랑크톤 우점종은 주로 *Chaetoceros curvisetus, Chaetoceros decipiens* 로 나타났다(그림 4).

2021년 3월에 제1우점종은 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*가 가장 우점하면서 50.0%의 우점율을 보였으며, 제2우점종은 규조류인 *Skeletonema costatum*으로 전체 현존량의 14.2%로 조사되었다.

5월에 제1우점종은 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*가 가장 우점하면서 22.7%의 우점율을 보였으며, 제2우점종은 규조류인 *Chaetoceros socialis*가 17.6%로 조사되었다.

8월에 제1우점종은 규조류인 *Chaetoceros decipiens*가 가장 우점하면서 62.2%

의 우점율을 보였으며, 제2우점종은 규조류인 *Guinardia flaccida*로 전체 현존량의 16.5%로 조사되었다.

11월에 제1우점종은 규조류인 *Chaetoceros decipiens*가 가장 우점하면서 18.5%의 우점율을 보였으며, 제2우점종은 규조류인 *Guinardia striata*가 10.7%로 조사되었다.

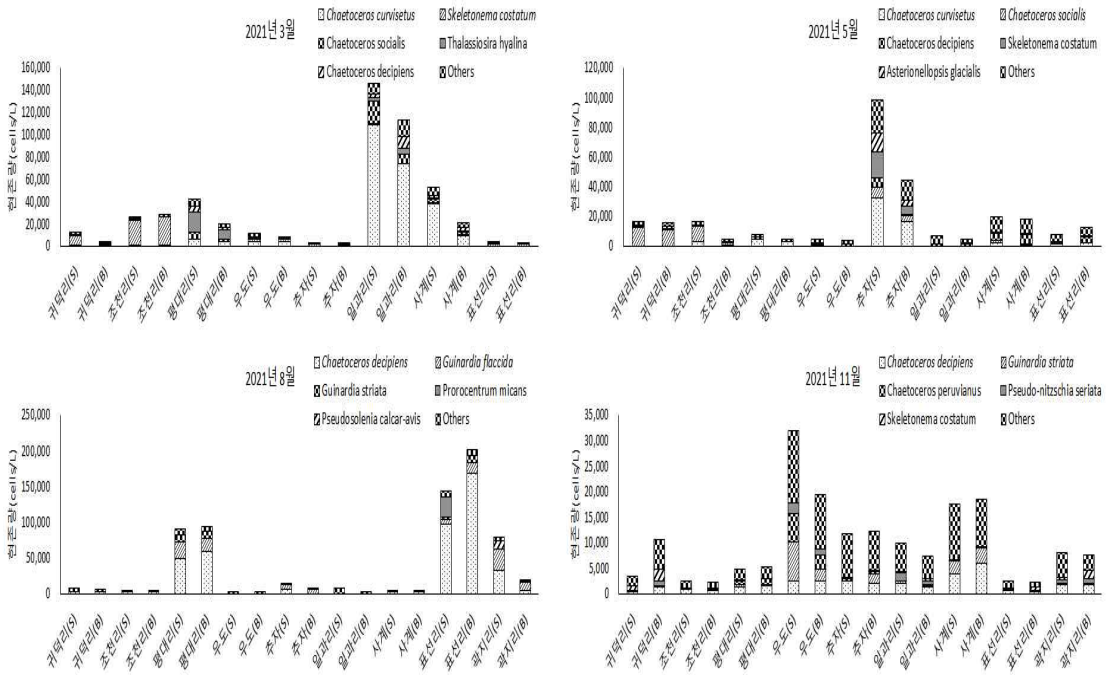


그림 4. 조사 지점에 따른 식물플랑크톤 우점종 조성

1-4. 생태지수

계절별 식물플랑크톤 생태지수의 경우 풍부도지수(R)은 평균 1.53~2.52, 균등도지수(J)는 평균 0.56~0.83, 다양도지수(H′)는 평균 1.53~2.59, 우점도지수(DI)는 평균 0.39~0.70을 나타내었다(표 4).

2021년 3월에 풍부도지수(R)는 평균 1.72로 0.76~3.11의 범위, 균등도지수(J′)는 평균 0.56으로 0.19~0.82의 범위, 다양도지수(H′)는 평균 1.53으로 0.49~2.20의 범위, 우점도지수(DI)는 평균 0.70으로 0.48~0.93의 범위를 나타냈다. 일과리 지역은 풍부도가 높은 반면 균등도와 다양도가 낮고, 단일종의 우점율이 높은 특성을 보였다.

5월에 풍부도지수(R)는 평균 2.03으로 1.08~3.13의 범위, 균등도지수(J′)는 평균

0.69로 0.38~0.87의 범위, 다양도지수(H′)는 평균 2.03으로 1.15~2.85의 범위, 우점도지수(DI)는 평균 0.56으로 0.33~0.83의 범위를 나타냈다. 사계리(형제) 지역은 다른 조사지역과 비교하여 상대적으로 풍부도, 균등도, 다양도가 높고, 우점도가 낮은 특성을 보였다.

8월에 풍부도지수(R)는 평균 1.53으로 0.57~2.29의 범위, 균등도지수(J′)는 평균 0.59로 0.22~0.83의 범위, 다양도지수(H′)는 평균 1.54로 0.69~2.34의 범위, 우점도지수(DI)는 평균 0.70으로 0.41~0.91의 범위를 나타냈다. 귀덕리 지역은 다른 조사지역과 비교하여 상대적으로 풍부도, 균등도, 다양도가 높고, 우점도가 낮은 특성을 보였다.

11월에 풍부도지수(R)는 평균 2.52으로 1.69~3.89의 범위, 균등도지수(J′)는 평균 0.83로 0.75~0.90의 범위, 다양도지수(H′)는 평균 2.59으로 2.11~3.01의 범위, 우점도지수(DI)는 평균 0.39으로 0.27~0.55의 범위를 나타냈다. 사계리(형제) 지역은 다른 조사지역과 비교하여 상대적으로 풍부도, 균등도, 다양도가 높고, 우점도가 낮은 특성을 보였다.

표 4. 조사지역의 지역별 식물플랑크톤 군집의 생태학적 지수

조사 시기	생태 지수	귀덕리 (S)	귀덕리 (B)	조천리 (S)	조천리 (B)	평대리 (S)	평대리 (B)	우도 (S)	우도 (B)	추자 (S)	추자 (B)	일과리 (S)	일과리 (B)	사계 (S)	사계 (B)	표선리 (S)	표선리 (B)	곽지리 (S)	곽지리 (B)	평균
3월 (동계)	풍부도	1.38	1.20	0.98	1.17	2.35	2.12	1.92	1.55	0.76	1.00	3.11	2.41	2.48	2.51	1.57	1.00	-	-	**1.72**
	균등도	0.49	0.77	0.26	0.19	0.59	0.64	0.75	0.62	0.74	0.82	0.29	0.44	0.39	0.64	0.75	0.60	-	-	**0.56**
	다양도	1.30	1.85	0.61	0.49	1.94	1.97	2.20	1.68	1.44	1.80	1.06	1.48	1.31	2.10	1.99	1.31	-	-	**1.53**
	우점도	0.77	0.57	0.92	0.93	0.57	0.62	0.48	0.67	0.73	0.57	0.89	0.75	0.79	0.60	0.60	0.73	-	-	**0.70**
5월 (춘계)	풍부도	1.96	1.76	1.86	1.19	1.45	1.66	1.67	1.46	2.78	2.71	1.82	1.08	3.13	2.76	2.58	2.55	-	-	**2.03**
	균등도	0.38	0.44	0.46	0.83	0.60	0.60	0.87	0.82	0.64	0.67	0.86	0.74	0.82	0.75	0.87	0.74	-	-	**0.69**
	다양도	1.15	1.28	1.35	2.00	1.57	1.61	2.36	2.09	2.24	2.27	2.43	1.71	2.85	2.49	2.76	2.38	-	-	**2.03**
	우점도	0.80	0.82	0.83	0.50	0.74	0.71	0.41	0.55	0.51	0.49	0.36	0.65	0.33	0.46	0.34	0.48	-	-	**0.56**
8월 (하계)	풍부도	2.26	1.75	1.02	1.08	1.75	1.66	1.11	1.39	1.46	0.57	1.24	1.32	1.54	1.46	1.94	2.29	2.04	1.73	**1.53**
	균등도	0.77	0.76	0.60	0.68	0.44	0.40	0.73	0.83	0.51	0.39	0.79	0.79	0.70	0.74	0.35	0.22	0.43	0.42	**0.59**
	다양도	2.34	2.11	1.32	1.57	1.34	1.20	1.67	2.06	1.37	0.69	1.97	1.89	1.86	1.90	1.13	0.73	1.36	1.22	**1.54**
	우점도	0.49	0.53	0.73	0.66	0.79	0.83	0.65	0.41	0.85	0.90	0.59	0.59	0.59	0.59	0.88	0.91	0.79	0.88	**0.70**
11월 (추계)	풍부도	1.84	2.37	2.05	2.34	2.24	1.98	3.37	3.34	3.1	2.66	2.5	2.25	3.89	2.95	1.79	1.69	2.23	2.68	**2.52**
	균등도	0.84	0.83	0.88	0.86	0.81	0.81	0.75	0.83	0.82	0.85	0.86	0.88	0.82	0.75	0.9	0.8	0.86	0.81	**0.83**
	다양도	2.34	2.59	2.49	2.52	2.42	2.34	2.68	2.94	2.78	2.77	2.75	2.68	3.01	2.55	2.44	2.11	2.63	2.62	**2.59**
	우점도	0.44	0.35	0.39	0.40	0.42	0.50	0.41	0.27	0.38	0.31	0.34	0.31	0.36	0.49	0.36	0.55	0.34	0.41	**0.39**

1-5. 군집유사도

계절별 식물플랑크톤 지역간 군집유사도는 지역별로 크게 A그룹과 B그룹으로 구분하였다(그림 5).

2021년 3월에 식물플랑크톤의 지역 간 유사도를 산출한 결과, 최저 유사도가 28.2%로 산출되어 다소 낮은 유사도를 보였다. 전체 지역을 35% 유사도 수준에서 구분하였을 때 2개의 그룹, 즉 A 그룹(일과리, 사계리, 평대리, 우도)과 B 그룹(표선리, 귀덕리, 조천리, 추자)으로 구분되었다. A 그룹은 B 그룹과 비교하여 현존량이 많았으며, 제1우점종의 출현량이 높은 특징을 보였다.

5월에 식물플랑크톤 군집의 지역간 유사도는 34.7%로 산출되어 낮은 유사도를 보였다. 전체 지역을 38% 유사도 수준에서 구분하였을 때 2개의 그룹, 즉 A그룹(추자, 사계)과 B그룹(우도, 일과리, 표선리, 평대리, 귀덕리, 조천리)으로 구분되었다. A그룹은 출현종수, 현존량에서 B 그룹보다 높은 특징을 나타냈다.

8월에 식물플랑크톤 군집의 지역간 유사도는 25.6%로 산출되어 낮은 유사도를 보였다. 전체 지역을 34% 유사도 수준에서 구분하였을 때 2개의 그룹, 즉 A그룹(곽지리, 표선리, 평대리, 추자)과 B그룹(일과리, 우도, 귀덕리, 사계, 조천리)으로 구분되었다. A그룹은 현존량에서 B 그룹보다 높은 특징을 나타냈다.

11월에 식물플랑크톤 군집의 지역간 유사도는 37%로 산출되어 낮은 유사도를 보였다. 전체 지역을 38% 유사도 수준에서 구분하였을 때 2개의 그룹, 즉 A그룹(추자, 우도, 사계)과 B그룹(귀덕리, 일과리, 곽지리, 표선리, 평대리, 조천리)으로 구분되었다. A그룹은 출현종수, 현존량에서 B 그룹보다 높은 특징을 나타냈다.

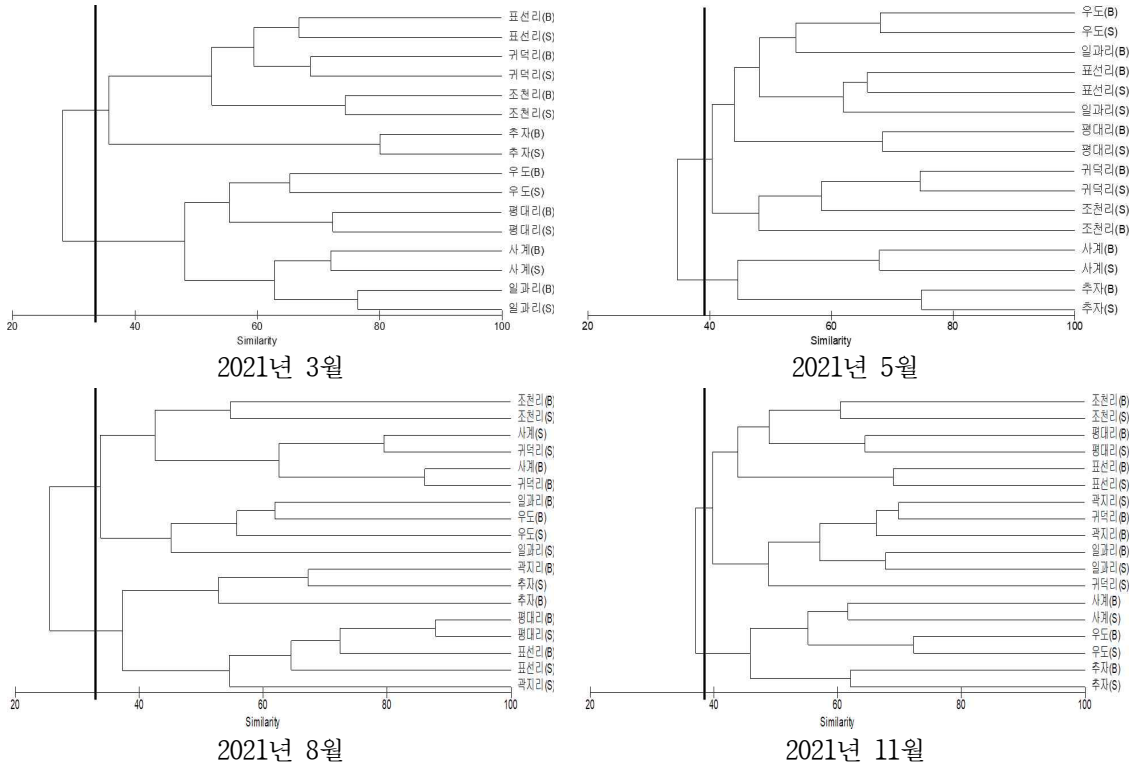


그림 5. 조사지역간 식물플랑크톤 군집의 유사도

2. 해양환경 평가지수(WQI)

각 조사지역의 해양환경 평가지수(WQI) 평가 결과, 지역별로 매우 좋음(Ⅰ등급)에서 나쁨(Ⅳ등급)에 해당하는 수질등급을 나타내었다(표 5).

3월에는 추자(횡간) 지역은 보통(Ⅲ등급)이었으며, 나머지 지역은 모두 좋음(Ⅱ등급)의 수질등급을 나타내었다.

5월에는 귀덕리·평대리 지역이 매우 좋음(Ⅰ등급), 조천리·일과리·사계리·표선리 지역이 좋음(Ⅱ등급), 우도(비양)·추자(횡간) 지역이 보통(Ⅲ등급)의 수질등급을 나타내었다.

8월에는 귀덕리·조천리·평대리·사계리 지역이 매우 좋음(Ⅰ등급), 우도(비양)·일과리·표선리·곽지리가 좋음(Ⅱ등급), 추자(횡간) 지역이 나쁨(Ⅳ등급)의 수질등급을 나타내었다.

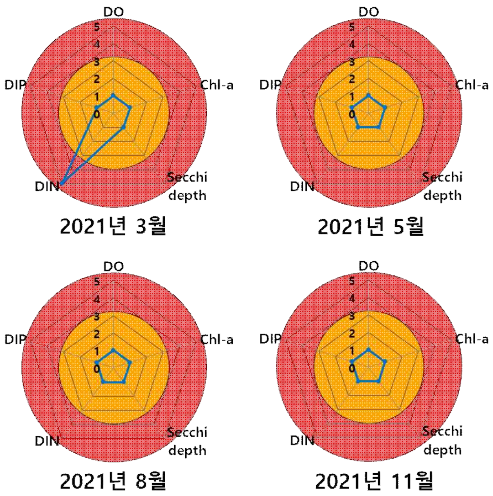
11월에는 귀덕리·평대리·일과리·사계리 지역이 매우 좋음(Ⅰ등급), 조천리·우도(비양)·표선리·곽지리 지역에서 좋음(Ⅱ등급), 추자(횡간) 지역이 보통(Ⅲ등급)의 수질등급을 나타내었다.

지역별 해양환경 평가지수(WQI) 항목별 점수를 그림 6에 나타내었다. 수질등급에 주로 영향을 주는 요인으로 용존무기질소(DIN)과 투명도(secchi disk depth) 나타났다. 수질등급이 좋음(Ⅱ)인 경우 아무 좋음(Ⅰ등급)에 비해 용존무기질소(DIN) 점수가 높은 경향을 보였으며, 보통(Ⅲ등급)인 경우에는 투명도(secchi disk depth)까지 높은 경향을 보였다. 특히 수질등급이 나쁨(Ⅳ등급)을 보였던 추자(횡간) 지역의 경우 용존무기질소(DIN), 저층산소 포화도(DO, %), 투명도(secchi disk depth)가 나쁨의 수질등급에 영향을 미친 것으로 나타났다.

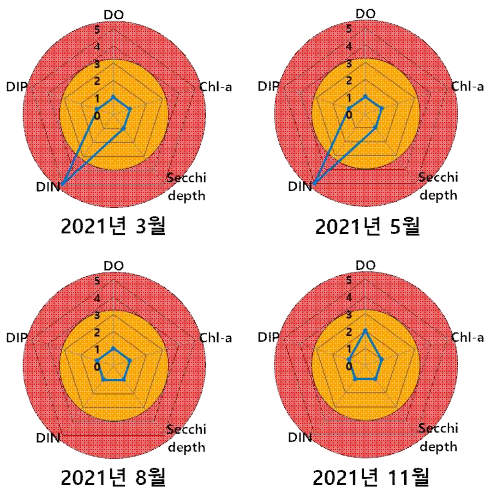
표 5. 조사지역 계절별 해양환경 평가지수(WQI) 평가 결과

지역	3월		5월		8월		11월	
	점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급
귀덕리	28	Ⅱ등급	20	Ⅰ등급	20	Ⅰ등급	20	Ⅰ등급
조천리	28	Ⅱ등급	28	Ⅱ등급	20	Ⅰ등급	30	Ⅱ등급
평대리	26	Ⅱ등급	20	Ⅰ등급	20	Ⅰ등급	20	Ⅰ등급
우도(비양)	28	Ⅱ등급	34	Ⅲ등급	30	Ⅱ등급	30	Ⅱ등급
추자(횡간)	40	Ⅲ등급	34	Ⅲ등급	48	Ⅳ등급	39	Ⅲ등급
일과리	28	Ⅱ등급	28	Ⅱ등급	30	Ⅱ등급	20	Ⅰ등급
사계(형제)	28	Ⅱ등급	28	Ⅱ등급	20	Ⅰ등급	20	Ⅰ등급
표선리	28	Ⅱ등급	28	Ⅱ등급	26	Ⅱ등급	30	Ⅱ등급
곽지리	-	-		-	30	Ⅱ등급	30	Ⅱ등급

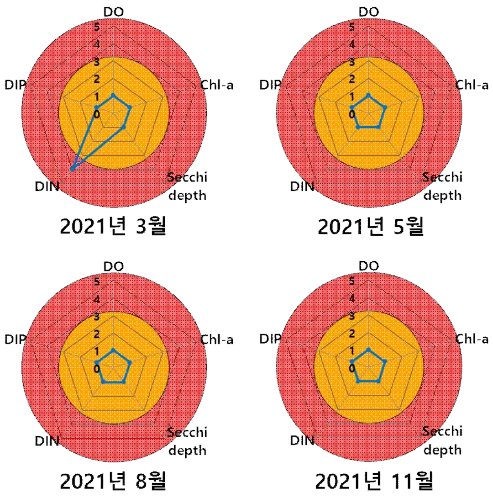
귀덕



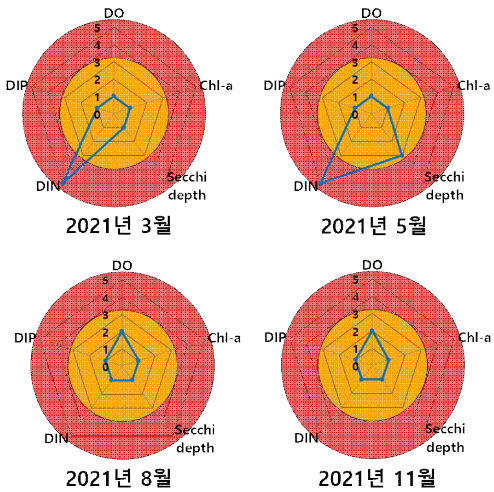
조천



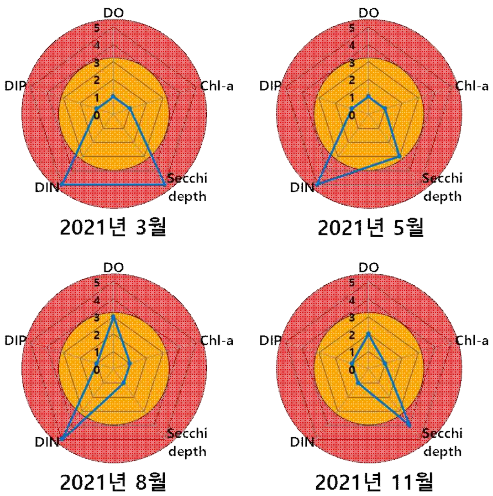
평대



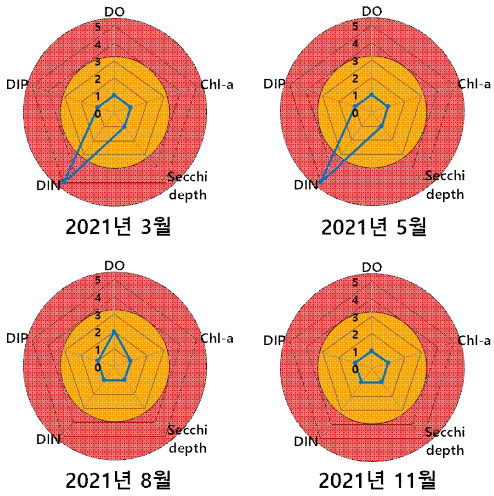
우도



추자



일과



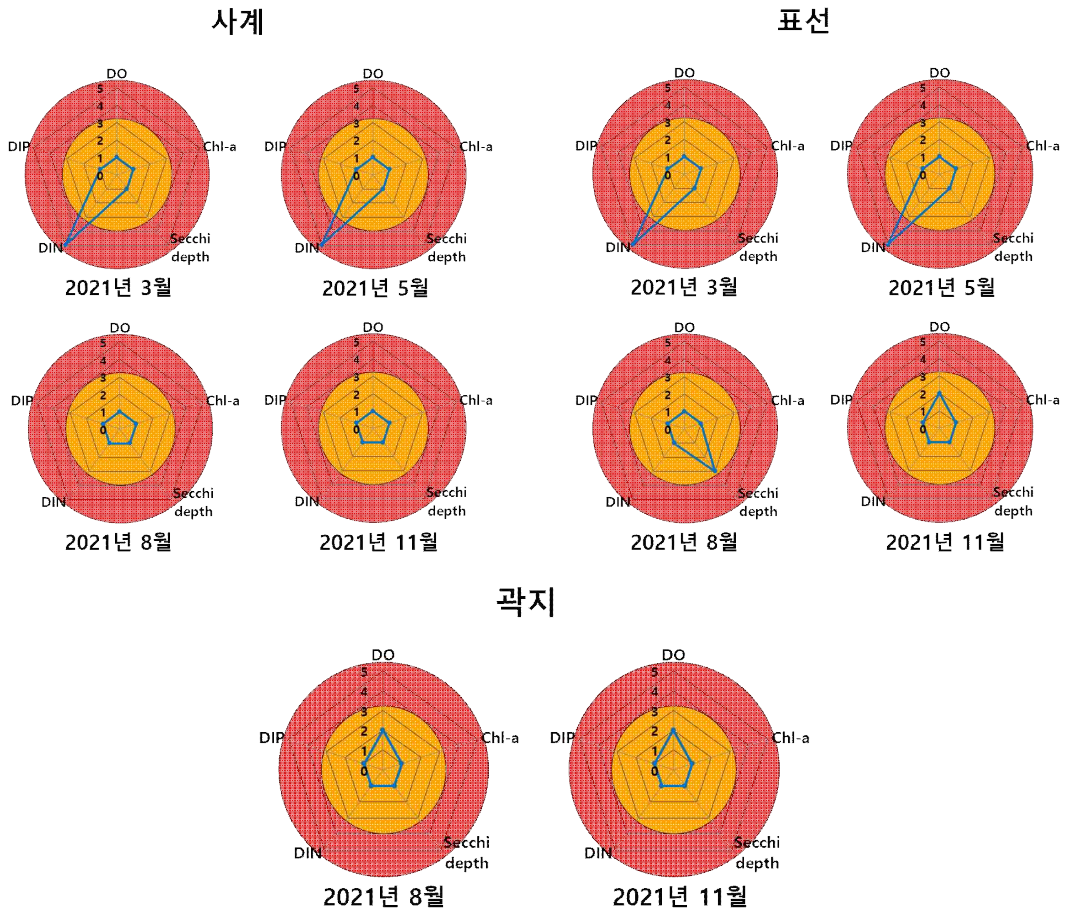


그림 6. 조사지역 계절별 해양환경 평가지수(WQI) 항목별 점수변화

Ⅳ. 고찰

본 연구에서는 2021년 3월부터 11월까지 마을어장 9개소에 대한 식물플랑크톤의 계절별 군집구조와 해양환경 평가지수(WQI)를 분석하였다.

식물플랑크톤의 종조성은 2021년 64종~82종으로 추계에 82종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 우점종은 3월과 5월에는 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*와 8월 및 11월에는 *Chaetoceros decipiens*로 나타났다. 이(1989)의 제주도 북방 연안해역에서 식물플랑크톤 군집 연구에 따르면 규조류와 와편모조류의 구성비율이 각각 69.9%, 와편모조류 30.1%로 규조류가 우점하는 특성을 보였으며 연안종(Neritic species)의 비율이 69.9%, 외양종(Oceanic species) 및 연안-외양종(Neritic-oceanic species)이 30.1%를 차지하여 타해역과 달리 규조류가 지속적으로 우점하는 특징을 보였다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 규조류가 연중 우

점하였으며 연안종인 *Chaetoceros curvisetus*와 *Chaetoceros decipiens*가 우점하여 동일한 경향을 보였다. 또한 와편모조류의 경우 수온이 높은 하계에 높은 출현율을 보여 중위도 해역의 일반적인 특성을 보여주었다.

식물플랑크톤의 현존량의 경우 9,833~38,291 cells/L의 범위로 하계에 가장 높고 추계에 낮은 농도를 나타내었다. 제주 연안에서의 식물플랑크톤 계절별 현존량 변화에 대하여 과거 1933년부터 1992년까지의 연구결과들을 종합적으로 분석한 연구결과에 따르면 식물플랑크톤의 현존량이 해역보다는 계절에 따른 변화 폭이 크고 연평균 10^5 cells/L이상의 농도를 보였으며, 이와 같은 결과는 전국 연안해역과 비교하여 낮은 농도이나 제주해역은 계절별 다양한 외양수에 영향을 받는다는 점을 감안할 때 높은 농도라고 분석하고 있다(윤, 1993). 본 연구결과에서 계절별 현존량의 변화도 계절에 따라 제주 연안에 영향을 주는 다양한 외양수의 영향으로 보인다. 그러나 선행연구 결과와 비교하여 비교적 낮은 현존량을 나타내고 있어 향후 지속적인 모니터링을 통한 원인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

식물플랑크톤의 생태지수의 경우 풍부도는 추계에 2.52로 가장 높고 하계에 1.53으로 가장 낮았으며, 균등도는 추계에 0.83으로 가장 높고 동계에 0.56으로 가장 낮았다. 다양도는 추계에 2.59로 가장 높고 동계에 1.53으로 가장 낮았으며 우점도는 동계와 하계에 0.70으로 가장 높고 추계에 0.39로 가장 낮았다. 즉 춘계와 하계의 경우 다양성이 낮고 특정종이 우점하는 식물플랑크톤 군집을 구성하며 상대적으로 추계에 경우 다양성이 높은 것으로 해석된다. 이에 대해 선행연구사례를 살펴보면 북제주 삼양화력발전소 주변해역 식물플랑크톤 군집동태 연구결과에서는 춘계에 가장 낮고 추계에 가장 높았으며(이 등., 1998), 제주 바다목장 해역에서 종 다양성 지수는 봄과 가을에 낮고 여름과 가을에 높은 특징을 보여(윤, 2015), 연구별・해역별로 다른 결과를 보여주었다. 이는 연안 해역의 식물플랑크톤의 경우 빛, 수온, 포식압, 영양염류의 공급 등 다양한 요인의 영향을 받는데 본 연구에서는 이중 상대적으로 춘계와 하계에 높은 일사량과 수온으로 인해 특정종이 우점하고 다양성이 낮은 것으로 판단된다.

군집유사도의 경우 지역별로 낮은 수준의 유사도를 나타냈으며 출현종수와 현존량의 차이에 따라 A그룹과 B그룹으로 나뉘었다. 현재까지 이에 관한 선행연구가 거의 없으나 지역별로 출현종수와 현존량이 상이한 것으로 볼 때 이는 마을어장별로 각기 다른 환경 특성에 의한 것으로 판단된다.

해양환경 평가지수(WQI)는 다양한 수질항목을 점수로 환산하여 종합적인 수질

을 판단하는 지표로 국내에서는 다양한 수질관리정책 수립을 위한 조사에 활용되고 있다(조 등., 2021). 본 연구결과 마을어장 조사지역별 수질등급의 경우 동계 추자(횡간) 지역의 나쁨(Ⅳ 등급)등급을 제외하고 전반적으로 보통(Ⅲ 등급)이상의 양호한 수질등급을 나타내어 지역별 수질등급의 차이를 보였으나, 계절적 차이는 나타나지 않았다. 앞서 서술한 바와 같이 일반적으로 식물플랑크톤은 수질환경에 영향을 받으며 선행연구로는 시화호에서 식물플랑크톤의 변화가 무기영양염과 연관성(신 등., 2000)과 서해안 부남호에서 정체된 수역의 육상기원 영양염 누적에 따른 식물플랑크톤 대발생과 침강으로 인한 수질 악화(이 등., 2021) 등이 있다. 본 연구에서는 마을어장의 경우 수질등급 변화에 따른 식물플랑크톤 변화는 나타나지 않았는데 이는 폐쇄된 환경인 호수와 달리 마을어장이 외해에 면해 해수의 유동 등 다양한 환경요인의 영향을 받은 결과로 판단된다. 그러나 해양환경 평가지수가 나쁨(Ⅳ)단계로 악화된 경우 대체로 영양염인 용존무기인(DIN) 농도가 높아지는 것으로 볼 때 장기적으로 식물플랑크톤 조성에 영향이 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 지속적인 수질 모니터링을 통해 상관관계를 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.

Ⅴ. 결론

본 연구에서는 마을어장 9개소에 대한 식물플랑크톤 군집구조와 수질등급의 계절변화를 분석하였다. 식물플랑크톤의 경우 규조류 중 연안종인*Chaetoceros curvisetus*와 *Chaetoceros decipiens*가 우점하였다. 현존량의 경우 계절별로 하계에 높고 추계에 낮은 결과를 나타내었으나 과거연구와 비교하여 현존량이 낮아 향후 지속적인 모니터링과 원인분석이 필요할 것으로 사료된다. 생태지수의 경우 춘계와 하계에 높은 수온으로 인해 특정종의 우점현상이 관찰되었다. 또한 지역별로 다양한 해양환경으로 인해 식물플랑크톤의 출현종수와 현존량의 차이로 낮은 군집유사도를 보였다. 해양환경 평가지수(WQI)의 경우 지역별로 다른 특징을 보이고 있으며, 수질이 나쁜경우 용존무기질소(DIN)의 등급이 높게 나타났다. 그러나 식물플랑크톤 변동과 직접적인 연관성을 확인할 수 없었다. 따라서 향후 식물플랑크톤 변화와 수질등급과의 상관관계 분석 등 후속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

Ⅵ. 참고문헌

강동우. 1998. 북제주 삼양화력발전소 주변해역의 식물플랑크톤 군집동태와 1차 생산력. Bull Mar Res Inst Cheju Nat. Univ. 22, 133~148.

강윤호, 주세종, 박영규, 홍길동. 2012. 기후변화로 인한 신지도 근해 해양먹이망 변동예측. Ocean and Polar Research. 34(2), 239-251.

공병욱, 이우진, 라덕관, 정정조. 2016. 수질평가지수 (WQI) 를 이용한 순천만 수질의 공간적 특성 분석. 한국환경기술학회지. 17(2), 96-104.

김규범, 강수민, 이준백. 2019. 제주연안 식물플랑크톤 군집의 시공간적 변화. 바다. 24(1), 92-105.

김동섭, 조경제, 신재기. 2000. 시화호에서 무기영양염과 식물플랑크톤의 동태. 한국하천호수학회지. 33(2), 109-118.

나공태, 김종근, 김은수, 김경태, 이정무, 김성근, 박은주. 2013. 수질평가지수를 이용한 시화호 내측 및 외측 해역의 시· 공간적 수질 변화 평가: 조력발전소 가동에 따른 영향 연구. 한국해양환경· 에너지학회지. 16(2), 102-114.

백승호, 신경순, 현봉길, 장풍국, 김현수, 황옥명. 2010. 초여름 남해광역권의 수괴별 식물플랑크톤 군집구조 특성. Ocean and Polar Research, 32(1). 1-13.

손희종. 2013. 낙동강 하류지역의 식물플랑크톤 우점종 군집 변화: 2002년~2012년. 대한환경공학회지. 35(4), 289-293.

윤양호. 1993. 제주연근해 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 기초생산. Bull Mar Res Inst Cheju Nat. Univ. 17, 33~56.

윤양호. 2015. 제주바다목장 해역의 식물플랑크톤 군집 분포특성. 한국해양환경· 에너지학회 학술대회논문집. 206-206.

윤양호. 2016. 이른 여름 제주 해안 주변 해역의 해양 환경과 식물플랑크톤 군집의 분포 특성. 환경생물학회지 (환경생물). 34(4), 292-303.

이민지, 서진영, 백승호. 2021. 부남호· 천수만의 갈수기와 강우기 수질 오염 특성과 식물플랑크톤의 공간 분포 특성. 환경생물. 39(2), 184-194.

조용철, 최현미, 이보미, 신동석, 김상훈, 유순주. 2021. 실시간 수질지수 (RTWQI)를 활용한 남한강 주요 지류의 수질평가 적용성 검토. 한국환경과학회지. 30(4), 321-333.

최영찬, 고유봉, 이준백. 1989. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지. 10(1), 62-67.

최영찬. 2009. 마을어장 이용에 따른 어촌계와 주민간의 갈등 해소 방안 연구. 수산해양교육연구. 21(4), 568-575.

Hays GC, Richardson AJ and Robinson C. 2005. Climate change and marine plankton. Trends in ecology & evolution. 20(6), 337-344.

Lee SJ, Go YB and Kim BJ. 2006. In Proceedings of the Korean Aquaculture Society Conference (pp. 558-559). The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science.

Yoon YH. 2014. Spatio-temporal Variability and Size Fractionation of Chlorophyll a in the Jeju Marine Ranching Area(JMRA) with Special Reference to the Signification of Nanoplankton. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. The Korea Academia-Industrial Cooperation Society. 15(10), 6388-6398.

갯녹음 어장 성게 소득화를 위한 양성가능성 시험

양병규 · 최현정 · 양순영 · 오성립 · 고형범

Ⅰ. 서 론

제주도 마을어장의 갯녹음 면적은 전체 마을어장 15,323 ha중 5,102 ha로 약 33.3%를 차지하고 있으며, 이와 함께 환경악화, 자원감소, 해녀 고령화 등으로 마을어업 조수입 또한 2015년도 246억에서 2020년 112억으로 크게 감소하였다 (제주특별자치도, 2021).

갯녹음 확산의 주요 원인중 하나로 성게자원의 이상증식이 거론되고 있는데, 최근 개체수가 급격하게 증가하고 있는 성게류는 잡식성으로 먹이선택성이 다양하고 특히 해조류 선호도가 높아 해조류 자원을 감소시키는 주요 원인으로 지목되고 있다.

현재 어촌계에서는 갯녹음 어장의 성게를 해조류 수확이 끝난 양호한 어장으로 이식하여 단기적인 양성 후 수익사업으로 추진하고 있는데, 이러한 마을어장 내 성게 단기 이식 또한 지나친 해조류 섭식으로 인하여 기존 양호한 어장까지 황폐화 되는 결과를 초래하여 성게자원의 효율적 이용과 마을어업 소득화 사업에 어려움를 보이고 있는 실정이다.

성게를 활용한 해외 연구사례 경우, 일본 가나가와현 수산시험장 양배추 섭이 양성시험과 칠레 및 미국에서는 켈프와 같은 대형 해조류의 처리를 위한 소득화 연구가 진행되었다(Tatsuya *et al.*, 2015).

본 연구에서는 갯녹음 어장의 비상품성 성게자원을 활용한 어장회복과 새로운 소득원으로서의 가능성을 규명하기 위해 산업화 방안 연구를 추진하였으며, 성게의 먹이선택성 시험 및 먹이원별 사료 가치성 평가 시험, 사료원별 영양성분의 조사와 성게 입식밀도 및 계절에 따른 생식소 발달 조사 등 성게를 활용한 양식가능성을 조사하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 성게의 먹이선택성 시험 및 양식 가능성 평가

실험에 사용된 성게는 갯녹음 현상이 극심히 진행되고 있는 제주 남부연안 수심 3~5 m 수심에 서식하는 성게를 확보하여 실험에 사용하였다.

실험용 성게 입식은 2021년 3월 4일 이루어졌고 인위적 사육환경에 적응시키기 위하여 10일간 순치사육 후 시험사료 급이개시는 3월 15일부터 시작하였다.

실험구별 사료원은 미역, 괭생이모자반, 미역줄기, 갈파래, 양배추 총 5종을 설정하였고, 570마리/수조의 밀도로 입식하였다. 각 종류별 사료공급은 500 g/수조로 3회/1주 공급하였다.

사료급이량 산정은 전일사료 급이 후 잔량을 확인하여 측정하였다. 성게 생식소 발달상태 조사주기는 월 2회 측정하였으며, 매번 실험구별 20마리를 조사하였다.

2. 사료원별 성게 생식소 성분분석

사료원별 성게 생식소 성분 분석항목은 일반성분, 지방산, 아미노산 및 미량성분에 대하여 분석하였다.

일반성분인 경우 한국해양과학기술원 제주연구소에서 지방산 및 아미노산 분석은 서울대학교 농생명과학공동기기원, 미량성분은 제주대학교 생명과학기술혁신센터에 의뢰하여 분석을 진행하였다.

3. 성게 입식밀도 및 계절별 생산성 비교시험

성게의 계절별, 밀도별 생식소 생산성을 확인하기 위해 조건별 성게 양성 비교시험을 추진하였으며, 실험기간은 2021년 9월～11월에 진행하였다.

실험에 사용된 사료원은 상반기 예비시험결과 성게 양성에 양호한 결과를 확인하였던 미역과 양배추를 사용하였으며, 입식수조는 FRP 수조(0.85 × 3.4 m)를 이용하였다. 입식밀도는 고밀도(8.6 kg/㎡), 중밀도(6.9 kg/㎡), 저밀도(3.4 kg/㎡)로 설정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 성게의 먹이선택성 시험 및 양식 가능성 평가

사료원에 따른 급이량 및 먹이선택성 비교 결과 성게가 가장 선호하는 사료원 순서는 미역줄기, 미역, 양배추, 갈파래, 괭생이모자반 순으로 확인되었는데 이는 초기 먹이붙임 및 적응면에서는 해조류가 육상식물에 비해 양호한 이유로 판단되었다.

한편 성게 순치사육 적응완료 단계에서의 사료원별 먹이선택성은 미역, 양배추, 갈파래, 미역줄기, 괭생이모자반 순으로 확인되었고 지속적인 적응관리를 통하여 사료급이량이 또한 증가 추이를 보였다(표 1).

실험사육 120일 경과시점 사료원별 중량대비 성게생식소의 비율을 확인한 결과 미역 12.3%, 양배추 11.5%, 갈파래류와 미역줄기가 7.9%, 괭생이모자반 7.4%로 확인되었다(그림 1).

특히, 산지 폐기 양배추 잎을 비상품 성게에게 공급시 생식소 중량 양호하였으며, 양질의 미역급이 실험구와 비교하여 93.5%의 효과가 확인됨에 따라 산업적 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

한편, 갈파래인 경우 사료 섭이량은 양호하였으나 생식소 발달에는 미약한 특성이 있었고, 괭생이 모자반 실험구인 경우 생식소 발달 진행은 다소 늦게 진행되었으나 시험개시 150일인 후인 8월의 생식소 비율이 9.1를 나타내는 등 지속적인 생식소 발달이 확인되었다(그림 2).

표 1. 사료급이에 따른 성게 평균 생식소 발달상태 조사 결과

사료원	측정값	3월 4일	4월 1일	4월 23일	5월 7일	5월 25일	6월 11일	7월 15일
미 역	평균 중량	44.5	40.5	39.8	34.4	46.9	49.3	53.4
	생식소무게	1.63	1.6	2.8	2.6	4.6	4.8	6.6
	생식소지수	4.57	4.2	6.9	7.5	10.6	9.8	12.3
괭생이 모자반	평균 중량	44.5	38.7	39.6	31.9	46.5	50	57.4
	생식소무게	1.63	2.3	2	2.1	3.5	3	4.3
	생식소지수	4.57	6.3	5.4	6.5	7.5	6	7.4
미역 줄기	평균 중량	44.5	45.6	42.9	31.9	46.4	47	53.3
	생식소무게	1.63	1.9	1.5	1.5	2	3.3	4.4
	생식소지수	4.57	4.6	3.4	4.8	4.8	6.4	7.9
갈파래	평균 중량	44.5	35.6	33.9	39.3	48.7	53	58.2
	생식소무게	1.63	3	1.7	2	2.8	2.6	4.6
	생식소지수	4.57	8.6	5.2	5.1	5.6	4.9	7.9
양배추	평균 중량	44.5	33.7	43.1	41.3	47.5	50.8	56.1
	생식소무게	1.63	2.6	2.4	2.9	3.4	4.7	6.3
	생식소지수	4.57	7.7	5.2	7.4	7.2	9.5	11.5

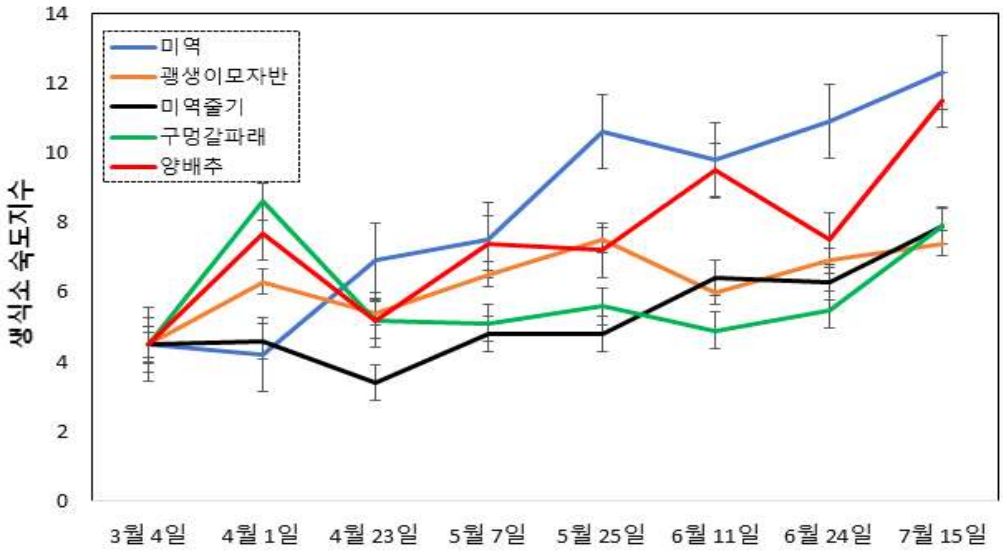


그림 1. 사료급이에 따른 생식소 지수 변화

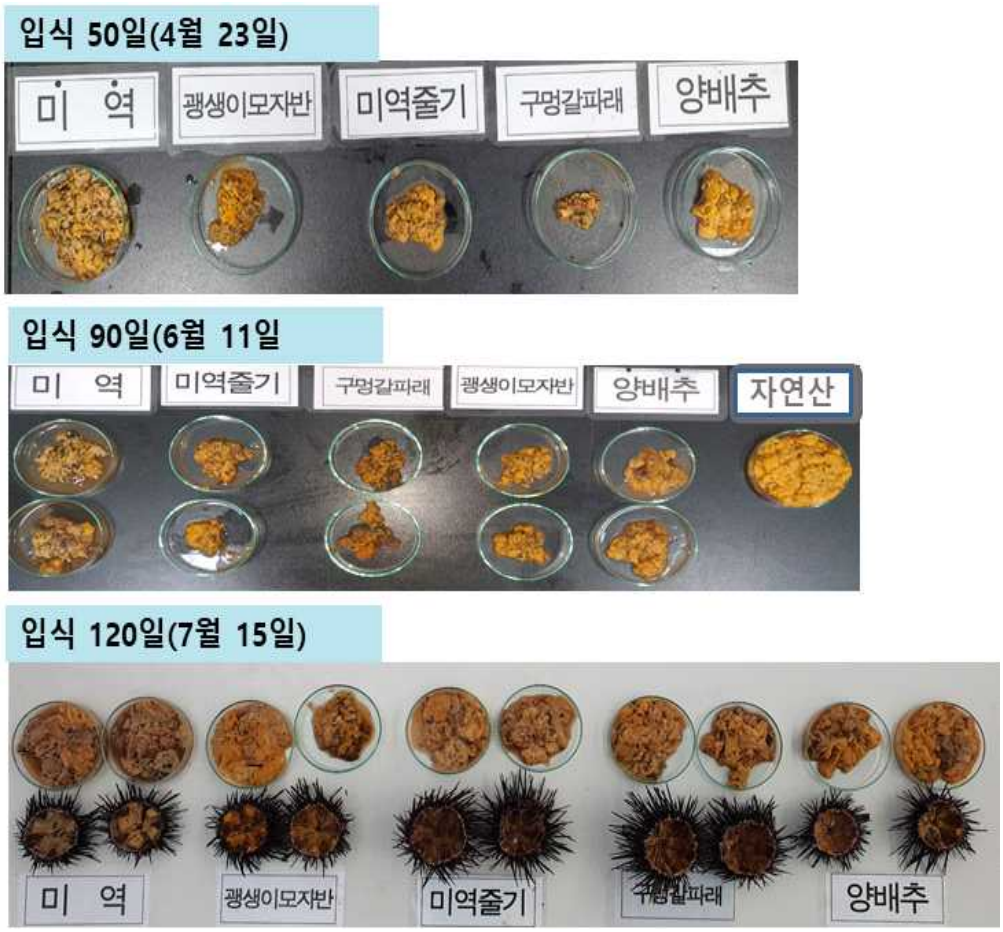


그림 2. 시간경과에 따른 성게 생식소 발달상태 사진

2. 사료원별 성게 생식소 성분분석

사료원별 성게 생식소 성분분석 결과는 표2와 같이 확인되었다. 양배추와 괭생이모자반 공급 실험구는 단백질 함량이 상대적으로 높게 확인되었으며, 미역과 미역줄기 공급 실험구는 일반성분이 유사하며 지방의 함량이 상대적으로 높게 나타났다. 반면 갈파래 공급 실험구는 탄수화물의 합량이 다른 사료원 공급에 비해 높게 나타났다(표 2).

표 2. 성게급이 사료원별 생식소 영양성분 분석(일반성분)

(단위 : mg/kg)

구 분	양배추	괭생이모자반	미 역	미역줄기	갈파래
단 백 질	40.95	40.88	37.58	37.17	36.25
탄수화물	18.29	18.33	15.62	14.81	26.09
지 방	26.12	27.69	32.92	34.17	25.37

성게 생식소 맛 관련 주요 아미노산 함량(mg/kg)을 조사한 결과, 단맛과 연관있는 알라닌(Alanine)과 글리신(Glycine) 성분함량을 확인하였다(표 3). 알라닌 성분은 양배추 공급 실험구에서 가장 높게 나타났으며, 글리신은 미역사료 공급 실험구에서 가장 높게 나타났다, 쓴맛과 연관된 발린(Valine)인 경우 양배추 공급 실험구에서 가장 낮게 나타남에 따라 양배추 공급 실험구에 대한 기호성은 양호할 것으로 사료된다(Satomi *et al.*, 2020).

표 3. 급이 사료원별 아미노산 성분함량

(단위 : mg/kg)

구 분	양배추	괭생이모자반	미역	미역줄기	갈파래	비 고
알 라 닌	21,284	17,924	20,792	15,598	16,394	단 맛
글 리 신	31,416	31,854	35,986	27,437	32,469	단 맛
발 린	15,327	20,835	20,872	17,912	18,472	쓴 맛
글루탐산	50,488	53,882	52,103	49,735	39,118	감칠맛

3. 성게 입식밀도별, 계절별 생산성 비교시험

3-1. 계절별 생식소 발달상태 비교

계절별 생식소 비율을 조사한 결과 춘계는 7.4～12.1% 로 나타난 반면 추계 실험구인 경우 4.9～9.8%를 나타냈는데(그림 3, 4), 이는 사료 급이 개시이후 60일 전후의 결과로서 향후 120~150일 까지 생식소 발달 상태를 모니터링 할 필요가 있다. 현재의 생식소 발달 추이를 보았을 때 사료급이 120일 전후인 2월경 최대 생식소 비율이 나타날 것으로 예상이 된다(Tatsuya et al., 2015).

이처럼 상반기, 하반기 성게 생식소 발달상태를 확인한 결과 년중 2회 내외의 생식소 출하가 가능할 것으로 사료된다(그림 5, 6).

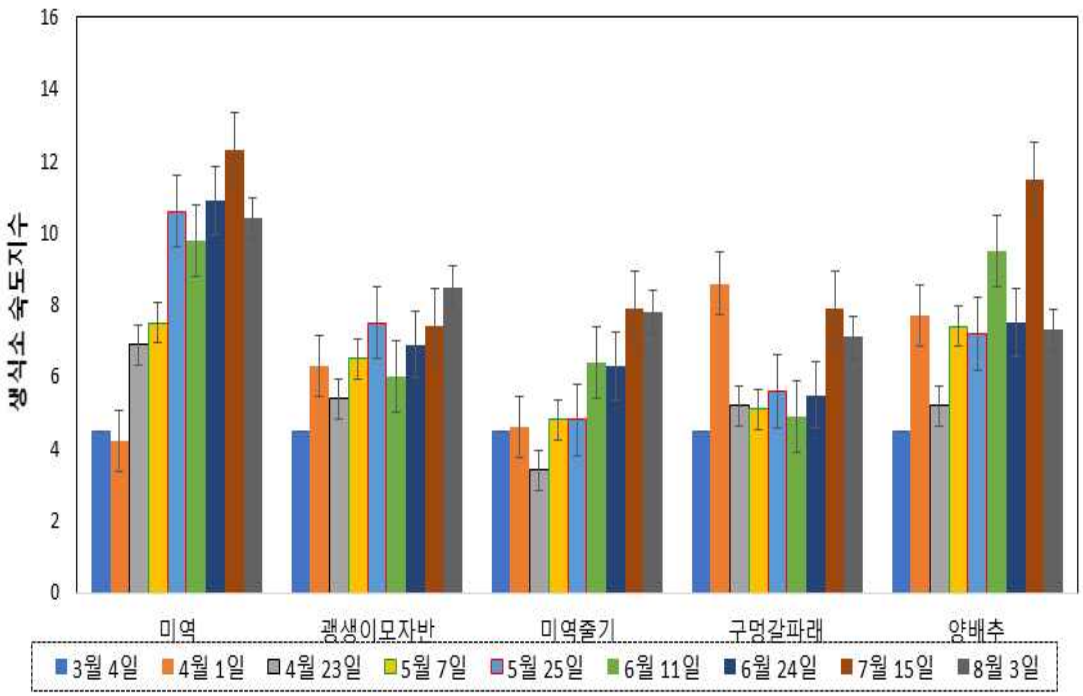


그림 3. 사료원별 성게 생식소 중량지수(3~8월)

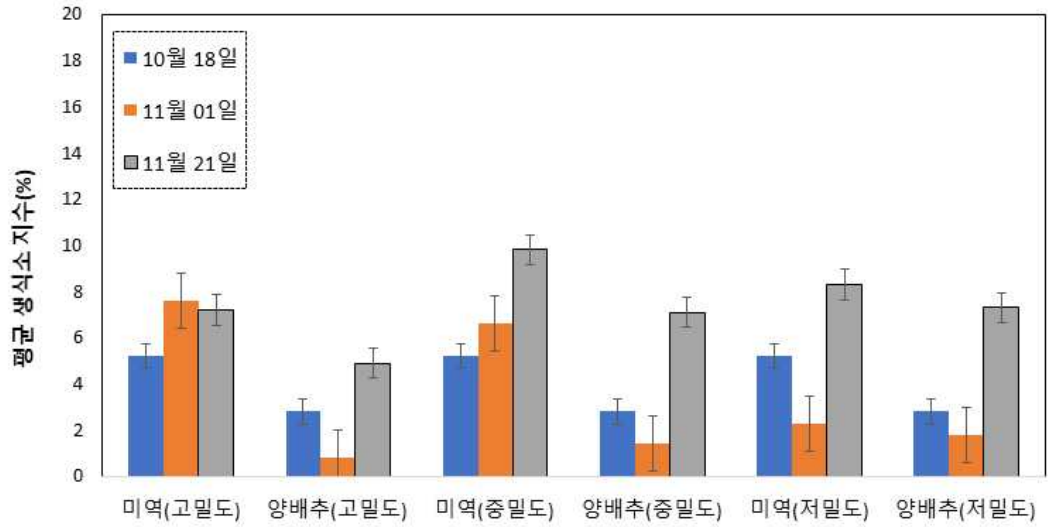


그림 4. 사료원별 성게 생식소 중량지수(10~11월)

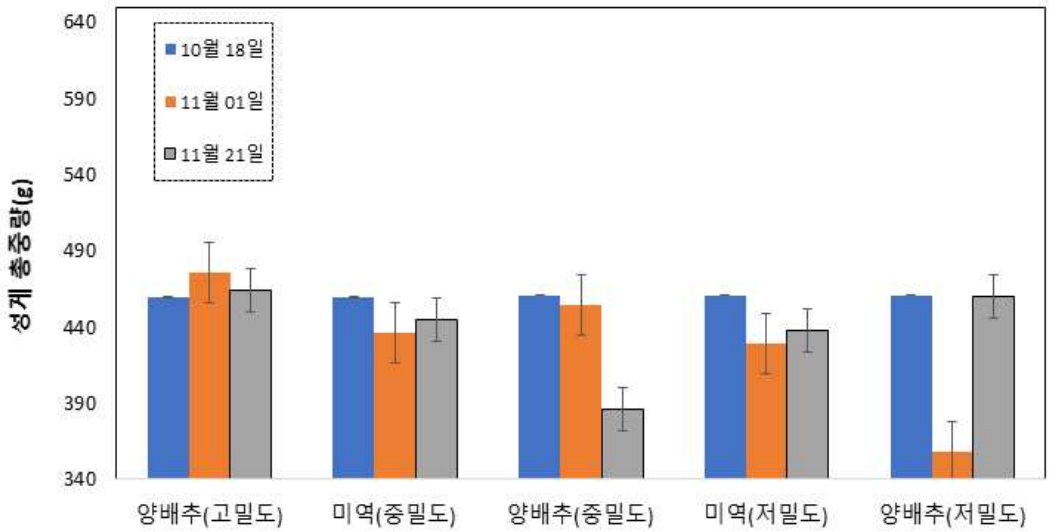


그림 5. 사료원별 성게 총 생식소 중량(10~11월)

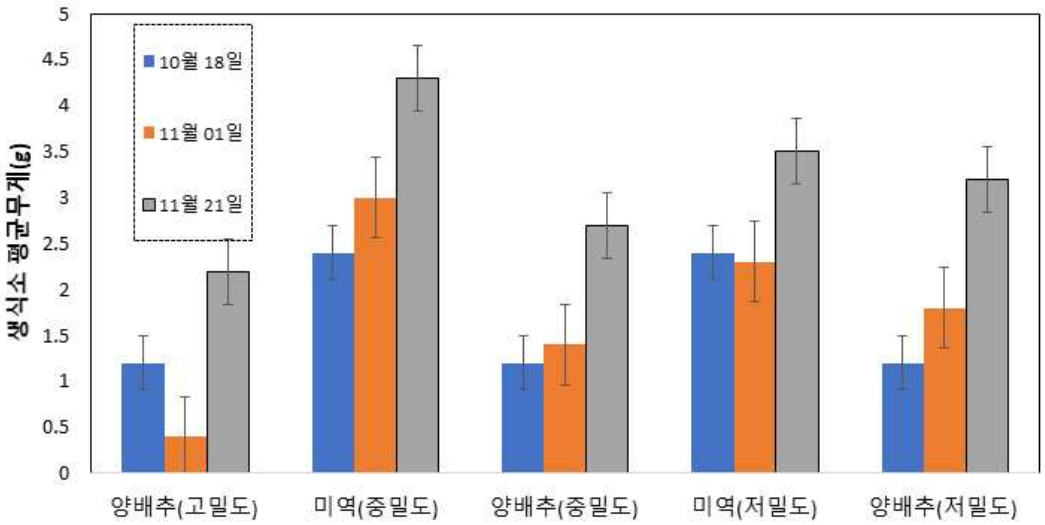


그림 6. 사료원별 성게 생식소 평균무게(10~11월)

3-2. 입식 밀도에 따른 폐사량 조사

입식 밀도별 성게 누적폐사율을 확인한 결과는 표 4와 같이 나타났다. 고밀도 입식 실험구인 8.6 kg/㎡인 경우 폐사율이 매우 높게 나타났다(표 4, 그림 7). 특히 고밀도 실험구인 경우 입식 15일 이내에 대부분이 폐사가 발생한 점을 보았을 때 적정밀도의 유지와 먹이 순치 및 적응 등 적정 사육관리 매뉴얼이 필요할 것으로 사료된다. 반면 저밀도 실험구의 폐사량이 낮은 것을 확인되었는데 생식소의 발달상태와 폐사량 등을 고려하였을 때 중밀도인 6.9 kg/㎡ 전후에서 시험결과가 양호하게 나타남에 따라 적정 입식밀도는 6 kg/㎡ 전후로 판단된다.

표 4. 성게 입식 밀도별 폐사량 비교

구 분	미 역 (고밀도)	미 역 (중밀도)	미 역 (저밀도)	양배추 (고밀도)	양배추 (중밀도)	양배추 (저밀도)
입식밀도 (kg/㎡)	8.6	6.9	3.4	8.6	6.9	3.4
최초입식량 (kg/수조)	25	20	10	25	20	10
최초입식량 (마리)	714	574	285	714	574	285
누적폐사량 (마리)	275	87	19	261	83	7
누적폐사율 (%)	38.5	15.2	6.7	36.6	14.5	2.5

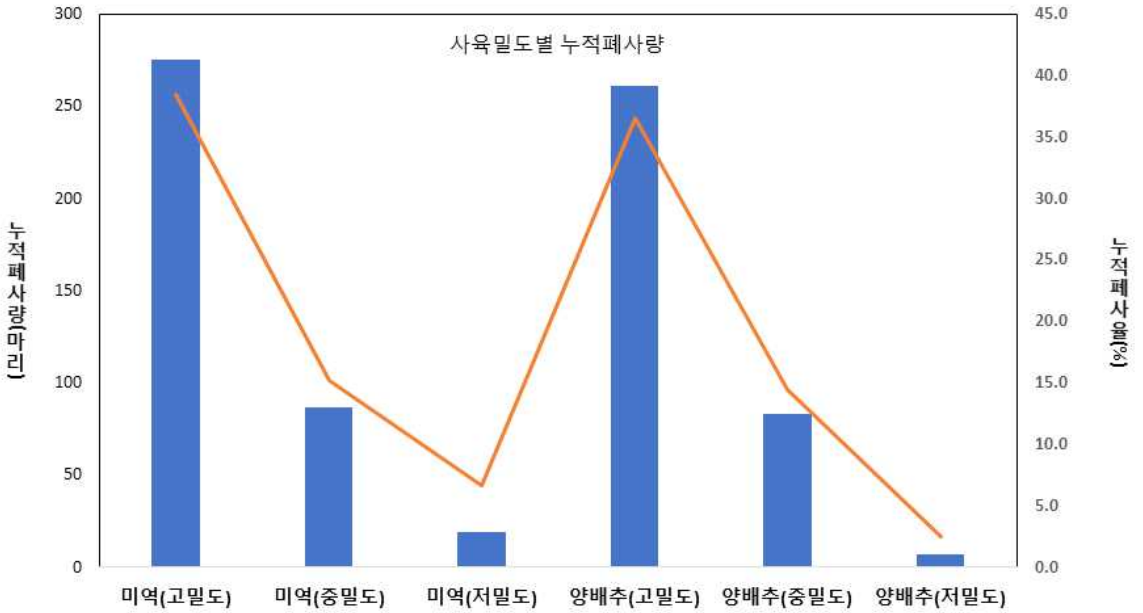


그림 7. 사료원 및 입식밀도에 따른 성게 누적폐사량

이상의 결과로 보았을 때 미이용 농수산자원인 양배추, 괭생이모자반, 갈파래를 이용한 갯녹음 성게의 양성은 산업화 가능이 충분할 것으로 판단된다.

농산물을 이용한 성게 양성은 중국(Lisheng et al.,, 2016)과 일본(Tatsuya et al., 2015)지역에서 선행연구 되었고 지중해연안(Philip et al., 2015) 지역에서도 성게의 소득화를 위한 양성시험이 진행되었다.

갯녹음 어장의 성게 활용은 미이용 농수산자원의 소득화 연계뿐만 아니라 갯

녹음 피해를 입히는 유해생물로서 성게를 구제함에 따라 연안어장 생태환경 개선과 어촌계 일자리 창출, 산지폐기되는 농산물의 효율적 사용과 브랜드화를 통한 고부가가치 상품의 개발 등의 파생효과를 나타낼 것으로 기대된다. 다만 현재까지의 결과와 사육관리 노하우를 보았을 때 채산성 있는 성게 양성을 위한 극복과제가 다수 존재하며, 특히 세부적인 사육관리 시스템과 사료공급 매뉴얼이 정립되어야 할 것으로 사료된다.

앞으로 본 과제는 연구결과의 조속한 산업화를 위하여 어업인과 함께하는 현장중심의 실증시험을 시행할 예정으로, 다양한 사육관리 모델연구를 통하여 채산성 있는 사업모델을 제시하고 어업인 주도의 수익사업으로 전환될 수 있도록 정책결정 자료를 생산하고 기술지도를 수행할 계획이다.

Ⅳ. 사사

갯녹음어장 성게 활용 소득화 연구중 사료 일반성분 분석 및 생식소 아미노산 분석 등에 도움을 주신 한국해양과학기술원 제주연구소에 감사를 드립니다.

Ⅴ. 참고문헌

김수경, 김영대. 전창영, 공용금, 김동삼, 김진희, 김명래, 한형균. 2007. 둥근성게, 북쪽말똥성게 및 참전복의 일일 먹이소비량 및 해조류 먹이선택성.한수지. 40(3), 133-140.

제주특별자치도. 2021. 제주도 해양수산현황. 101~109.

Lisheng Z, Chong Z, Dongtao S, Wanbin H, Jing W and Yaqing C. 2016. Gulfweed Sargassum horneri is an alternative diet for aquaculture of juvenile sea urchins Strongy locentrotus intermedius in summer. Aquacult Int. 10. 1007.

Philip J, Sten S and Gunhild SJ. 2018 A Guide to the Sea Urchin Reproductive Cycle and Staging Sea Urchin Gonad Samples: nofima

Salvatrice V, Luca M, Antonino V. Antonio M. 2014. Use of fresh vegetable discards as sea urchin diet: effect on gonad index and quality. Aquacult Int.

10. 1007.

Salvatrice V, Luca M, Antonino V, Antonio M. 2014. Use of fresh vegetable discards as sea urchin diet: effecton gonad index and quality. Aquacult In. 23, 127-139.

Satomi T, Yoichi S, Yuko M, Atsuko K, Ken T, Noriko I and Yukio A. 2020. Quantification of the Flavor and Taste of Gonads from the Sea Urchin *Mesocentrotus nudus* Using GC-MS and a Taste-Sensing System. Sensors. 20(24), 7008.

Tatsuya Y, Natsuki S and Kazuhiro. 2015. Improving the Food Quality of Sea Urchins Collected from Barren Grounds by Short-Term Aquaculture under Controlled Temperature. Bull Fish Res Agen. 40, 145－153.

제주형 해면양식 산업화 연구

- 해만가리비 시험종자생산 및 성장시험 -

박애전 · 박용주 · 오성립

Ⅰ. 서 론

제주도는 최근 기후변화 및 연안 난 개발에 따른 해양의 아열대화 등 어장 생태계가 급속하게 변화됨에 따라 어장내 해양생물과 수산생물의 구조도 변동되고 있다. 2020년 제주도 어업인은 9천여명으로 2010년 대비 50%가 감소하였고 마을어업의 주체인 해녀들은 70대 이상이 80%가 넘는 등 고령화가 매우 심각하다. 이에 따른 제주도 전통어업의 중심인 마을어업 수산물 조수익은 200억원 내외로 전체 도내 수산물 조수익 1조원 대비 0.02%에 불과하여 이를 대체할 수 있는 방안이 마련되지 않으면 향후 제주도의 상징인 마을어업은 사라질 위기에 처해 있고 그에 따른 제주도 어촌의 전통문화도 단절되는 심각한 현상으로 초래하게 될 것이다. 더군다나 어업인 고령화 못지않게 심각한 부분은 수산업을 기피하는 현상이 더 심화될 것이라는 점이다.

이렇게 어업환경의 변화는 비단 3D 업종이라는 부분도 있지만 근본적인 문제는 수산자원의 고갈과 그에 따른 수익성이 매우 열악하다는 데 있는 것이라 사료된다. 이러한 부분을 해결하고자 유용 수산자원을 조성하는 방법으로 추진되어왔으나, 이 방법 또한 현재까지는 요원한 실정이다. 따라서 이러한 어업인들의 근본적인 어려움을 해결하고 또한 돌아오는 어촌을 만들기 위하여는 전통어업을 대체할 수 있는 새로운 소득원 개발이 매우 시급한 실정으로 제주바다의 유휴공간을 활용할 수 있는 수단으로 제주형 해면양식 산업화 연구를 추진하게 된 배경이라 하겠다. 제주도는 외해성인 해양의 물리적 여건 때문에 해면양식이 안된다는 인식을 가지고 있어 지금까지 이에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않았을 뿐 아니라 지금까지도 이를 부정하는 연구자가 대부분이다. 그러나 제주도는 이러한 불리한 여건임은 감안하더라도 우리나라 타 연안에 비하여 수온이 높고 물리화학적 여건이 매우 복잡·다양하여 생물학적인 측면에서 세계적으로 생산성

이 매우 높은 어장이라는 장점을 가지고 있어 공학적으로 이를 잘 적용한다면 제주형 해면양식은 경쟁력이 있다라고 판단된다.

최근 남해안을 중심으로 멍게, 가리비, 굴 등 해면양식이 어장의 노쇠화와 해양오염 등으로 여러 가지 어려움을 겪고 있음에 따라 이제는 제주도를 해면양식의 마지막 보루로 생각하는 어업인들이 늘어나고 있는 추세다. 이러한 변화를 인지하고 연구원에서는 지난 2019년 “제주형 해면양식 산업화 연구”를 중장기 연구과제로 선정하여 1) 양식품종 종자생산 기술력 확보, 2) 연구기반 시설 확충, 3) 외해 시험양식 실증시험 등으로 구분하여 함축적인 종합 연구로 추진하여 왔다. 최초의 연구는 2017년부터 국립수산과학원 동해연구소의 지원으로 예비시험 등 부분적인 시험을 추진한 결과 가능성이 있다는 부분을 증명하였고, 이에 따라 2020년에 모든 기본적인 연구기반 시설이 완공되어 2021년부터는 자체 종합연구가 가능함에 따라 이 보고에서는 2021년에 추진한 해만가리비 종자생산 및 성장시험 결과를 중심으로 요약보고 하는데 초점을 두었다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 먹이생물 배양

일반적인 먹이생물(식물플랑크톤) 배양과정으로 원종배양 단계인 300 ㎖ 유리 삼각플라스크, 중간배양 단계인 3 L, 10 L 폴리에틸렌 투명용기, 대량배양 단계인 500 L 아크릴 수조 순으로 계대 배양하였다.

1.1. 원종배양

먹이생물의 대량배양이 지속적으로 가능하기 위해서는 항온항습이 가능한 원종보존실 내에서 원종을 보존·배양해야 한다. 우리 연구원에서 보존 중인 원종은 2018년 12월에 식물성플랑크톤 원종 전문배양 판매업체에서 *Isochrysis galbana* 외 7종을 각각 20 ㎖씩 구입하여 보존·배양하였다. 배양수는 1차 모래여과, 2차 카트리지필터 여과(10 ㎛), 3차 카트리지필터 여과(1 ㎛) 후 4,000 ㎖ 삼각플라스크에 각각 3,000 ㎖씩을 넣어 121℃, 1.5기압에서 15분간 고압 멸균시켜 화학적으로 안정된 배양수를 만들어 주었다. 멸균된 배양수에 Conwy 배지를 첨가 후 멸균시킨 500 ㎖ 삼각플라스크에 각각 300 ㎖씩 넣은 후 원종을

6~10×10^3 cells 정도로 접종하였다. 배양조건은 배양온도 18~20℃, 광주기 12L/12D, 조도 500~1,000 lux로 유지하며 정치배양을 하였다.

1.2. 중간배양

중간배양은 조도(형광등)와 실내 온도조절이 가능한 배양실에서 배양하였다. 식물성플랑크톤을 먹이생물로서 수백 L을 배양하기 위해서는 적정농도가 되어야만이 최적 환경조건에서 단기간에 대량배양이 가능하므로 먹이생물 공급에 차질이 없게 하기 위해서는 중간배양 단계가 필요하다. 중간배양은 3 L(투명용기) → 10 L(투명용기) → 500 L(원형 아크릴 수조) 단계로 계대 배양하였다. 배양수는 1차 모래여과, 2차 카트리지필터 여과(10 ㎛), 3차 카트리지필터 여과(1 ㎛) 후 세균 및 원생동물 번식을 억제하기 위하여 약품살균을 실시하였다. 약품 살균(염소소독)은 여과된 배양수에 차아염소산나트륨을 200 ppm 농도로 넣어 12시간 이상 지수 시킨 후 배양수를 중화시키기 위해 티오황산나트륨을 넣고 1시간 이상 강하게 폭기시켰다. 중간배양실의 배양온도는 규조류 2종은 17℃ 내외, 착편모조류 등 4종은 20℃ 내외를 유지하였고 조도는 3,000~4,000 lux가 되도록 형광등으로 빛을 조절하였으며, 광주기는 24L/0D의 연속조명을 하였다. 식물성플랑크톤이 균일하게 분포하여 배양될 수 있도록 공기를 주입 시켜주었고, 배양액은 Conwy 배지를 배양수의 1/10 농도로 규조류는 규산염을 1/20 농도로 추가 사용하였으며, 식물성플랑크톤의 접종농도는 *Isochrysis galbana, Monochrysis* sp., *Chaetoceros gracilis* 경우는 1 ㎖당 50~100×10^4 cells가 적당하였으며, 접종 후 4~7일 후 먹이생물 농도가 *Isochrysis galbana, Monochrysis* sp. 1 ㎖당 600~1,200×10^4 cells, *Chaetoceros gracilis* 1 ㎖당 500~1,000×10^4 cells로 수확이 가능하였다(Fig. 1A).



Fig. 1. 종자생산용 먹이생물 배양. A: 중간배양, B: 대량배양.

1.3. 대량배양

대량배양은 중간배양과 비슷한 환경조건인 조도(메탈하이라이트 램프)와 온도 조절이 가능한 대량배양실에서 배양하였다. 주로 실내 500 L 아크릴 수조에서 실시하였으며, 배양 수온은 18~20℃ 내외로 유지하였고, 조도는 6,000 lux 이상이 되도록 메탈하이라이트 램프(150 w)로 조절하였다. 광주기는 15L/9D로 하거나 빠른 속도의 배양을 위한 24L/0D 연속조사 등 배양 속도를 조절하면서 배양하였으며, 배양액(Conwy 또는 KW21 : 1/20 농도/ 규산염 : 1/40 농도)의 혼합과 먹이생물의 균일한 분포를 위해 강하게 통기해 주었다. 배양수는 중간배양 약품살균법과 같이 1차 모래여과, 2차 카트리지필터 여과(10 ㎛), 3차 카트리지필터 여과(1 ㎛) 후 차아염소산나트륨을 200 ppm 농도로 넣어 12시간 이상 지수 시킨 후 배양수를 중화시키기 위해 티오황산나트륨을 넣고 1시간 이상 공기를 강하게 주입시켰다. 접종량은 배양수의 1/20로 하였으며, 접종 후 4~7일 후 수확하여 먹이로 공급하였다(Fig. 1B).

2. 시험종자생산

2.1. 어미관리

2021년 시험종자생산을 위해 사용된 어미는 경남 거제에서 양성된 어미를 5월초에 30 ㎏ 확보하여 육안적으로 상태가 양호하며 성숙된 개체들만을 선별하여 900마리 내외를 사용하였다.

선별된 해만가리비 어미는 패각에 부착된 생물을 제거하고 모패관리실 2톤 FRP 사각수조 4개 수조에 수용하였으며, 표본으로 30마리를 계측하였다.

사육수는 고압모래 여과기로 1차 여과한 해수를 사용하였고, 환수량은 5~6회전/일 정도로 실시하였다. 먹이생물은 연구원에서 직접 배양한 식물성플랑크톤 *Monochrysis* sp., *Chaetoceros gracilis, Tetraselmis tetrathele, Phaeodactylum tricornutum*과 시판용인 Shellfish Diet를 혼합하여 3~4×10^5 cells/㎖ 농도로 유지되도록 공급하였다.

2.2. 채란 및 유생사육

산란은 성숙한 어미를 선별하여 음건간출과 수온 상승자극으로 유도하였다(Fig. 2). 산란 유도를 위해 음건에서 1시간 간출 후 자연해수 17.3±0.5℃에 입

식, 2시간 후 1차 18.8±0.5℃, 30분 후 2차 20.3±0.5℃로 1.5℃씩 상승시키며 수온 자극을 하였다. 방란, 방정이 진행 2시간 30분 후 수정란 수거를 위하여 채란수조 배수구에 18 ㎛ 거름망에 수정란이 자연 세란 될 수 있도록 20.3±0.5℃ 자연해수를 유수식으로 천천히 흘려보냈다. 2차 채란은 수온자극 후 1차 채란 방식과 같이 방란, 방정을 확인하고 17.3±0.5℃ 자연해수를 유수식으로 천천히 흘려보냈다. 채란 수조 배수구에 18 ㎛ 거름망에 수정란이 자연 세란 될 수 있도록 12~14시간 후 수정란을 수거 20~40톤 콘크리트 사각 부화 수조(20 ㎛ bag filter 여과해수)에 수용하고 발생 진행을 유도하였다. 난발생이 진행되는 40~48시간 동안 D형 유생으로 진행될 때까지 수온은 20.5±0.5℃를 유지하였다.



Fig. 2. 해만가리비 어미 수온자극 및 산란반응

D형 유생은 30 ㎛ 유생거름망으로 수거하였으며, 2차 여과 해수를 사용한 20톤(2.5×5×1.6 m) 2개, 40톤(5×5×1.6 m) 1개 콘크리트 사각수조에 각각 약 1~1.3마리/㎖ 밀도로 수용하였다. 유생사육은 20~40톤 콘크리트 사각수조에서 2차 여과해수를 사용하여 지수식으로 관리하였다. 사육수온은 22.0±0.5 ℃가 유지되도록 하였으며, 2~3일 간격으로 사육수를 전환수 하였다. 유생성장에 따라 선별 수거를 위하여 거름망은 망목크기 30~130 ㎛까지 사용하였다.

유생 먹이생물 공급은 *Isochrysis galbana*, *Monochrysis* sp., *Chaetoceros gracilis*를 혼합하여 1일 2~3회 0.3~1×10^4 cells/㎖의 정도로 유생성장에 따라 먹이량을 증가시켜 공급하였다.

2.3. 채묘 및 치패관리

유생 채묘는 멍게 채묘기로 사용하는 200 m 길이의 팜사를 사용하였으며, 130 ㎛ 유생거름망에 걸린 부착기 유생을 채묘기가 들어있는 7톤 콘크리트 사각수조에 넣어 부착을 유도하였다. 부착기 유생은 수용 후 2일째부터 사육수를 0.5회전 환수하는 방식으로 관리하였으며, 부착 확인 후 전환수를 실시하였다. 채묘 후 10일부터는 사육수온을 바다 시험양성을 위해 자연수온까지 서서히 낮추면서 2차 여과 해수를 사용하였다. 먹이생물 공급은 *Monochrysis* sp., *Chaetoceros gracilis, Phaeodactylum tricornutum, Tetraselmis tetrathele, Nannochloropsis oceanica*와 시판용인 Shellfish Diet를 혼합하여 10×10^4 cells/㎖ 이상 농도로 유지되도록 1일 2회 공급하였다(Fig. 3).

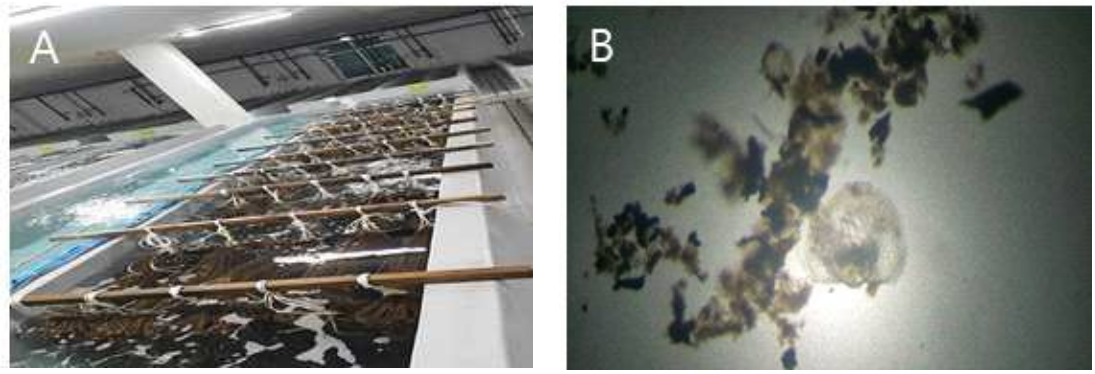


Fig. 3. 해만가리비 채묘. A: 사육관리, B: 채묘 치패

3. 양성시험

3.1. 중간양성

중간양성(가이식) 시험은 2021년에는 6~8월까지 김녕항내에 시설되어 있는 연구원 시험가두리에서 실시하였다. 육상 채묘수조에서 관리 중인 해만가리비 치패가 부착되어 있는 채묘기를 5등분하여 양파망에 넣은 다음 채롱(직경 40 ㎝, 15단)에 수용하여 시험가두리에 입식하였다(Fig. 4). 해만가리비 부착치패가 일정 성장 후 섶에서 분리하고 양성시험 가능한 크기까지 양성하였다. 2회 이상 크기별 선별 및 분망작업을 실시하고, 주기적으로 해만가리비 생육상태를 확인하며 본 양성시험 전까지 사육관리 하였다.



Fig. 4. 해만가리비 채묘섶 중간양성 전 채롱작업

3.2. 본양성

본양성 시험은 해만가리비 성장시험을 위하여 김녕, 행원(2개) 3개소 시험어장을 중심으로 2021년에는 7~11월까지 양성시험을 실시하였다. 연구원에서 생산한 해만가리비 치패 1 ㎝ 이상 크기를 선별 후 채롱(직경 40 ㎝, 15단) 한단 당 25마리를 수용하여 김녕, 행원(2개) 해면양식 시험어장에 입식하였다. 주기적으로 시험어장 해양환경조사 및 해만가리비 상태를 확인하며 사육관리 하였다.

해만가리비 양성시험 성장조사는 입식 후 주기적으로 조사하였으며, 주생산 판매시기인 11월까지 생존율 및 성장도를 계측하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 시험종자생산

1.1. 어미확보

시험종자생산에 사용한 어미의 크기는 평균 각장 59.7±3.83 ㎜, 각고 56.7±4.48 ㎜, 전중은 30.8±5.51 g이었다(Table 1).

해만가리비는 암·수가 한 몸인 자웅동체이지만 생식소가 성숙하면 암컷은 붉은색에 가까운 짙은 주홍색을 띠며, 수컷의 생식소는 유백색을 보였다.

Table 1. 시험종자생산에 사용된 해만가리비 어미크기

확보일자	어미수 마리	각장(㎜)	각고(㎜)	전중(g)
2020.4.22	900	71.2±3.20	68.3±3.07	47.8±8.35
2021.5.9	903	59.7±3.83	56.7±4.48	30.8±5.51

1.2. 채란 및 유생사육

채란은 간출과 수온상승 자극을 병행하여 실시하였고, 2021년에는 총 2회 실시하였다. 수온 자극 17.3℃에는 산란반응이 30분 정도 걸렸으나 1.5℃씩 상승시킨 18.8~20.3℃에서는 바로 산란반응을 보였으며, 여러 개체들이 계속적으로 산란에 참여하였다, 수정란의 평균 난경은 63.2±1.97 ㎛였다. 2021년 2차에 걸쳐 산란유도 결과 D형 유생 수거율은 60.9%로 2020년 D형 유생 수거율 69.8%와 비슷한 결과를 보였다(Table 2). 이러한 결과는 채란 및 세란 방법 차이에 의한 결과치로 추정되며, 2021년도에는 수정란 유수식 세란방식 재현시험을 통해 2020년도와 같이 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 2. 해만가리비 수정란수 및 D형 유생수

채란일	어미수 (마리)	수정란수 ($\times 10^3$)	D형 유생		수거율(%)
			유생수($\times 10^3$)	각장×각고(㎛)	
2020.4.22~5.10	1,800	116,000	80,950	106×87	69.8
2021.5.9	903	119,000	72,500	101×84	60.9

D형 유생은 20톤(2.5×5×1.6 m) 2개, 40톤(5×5×1.6 m) 1개 콘크리트 사각 수조를 이용하여 사육수온 21.5~22.5℃에서 13~17일간 사육하였다. 유생 크기를 살펴보면 D형 유생이 평균 크기(각장×각고) 101.3×84.2 ㎛였고, 사육일수 2일째 106.7 ×90.3 ㎛, 사육일수 4일째 119.1×104.3 ㎛, 사육일수 6일째 144.2 ×128.8 ㎛로 자랐으며, 유생의 각정이 발달하는 각정기 후기 유생인 사육일수 8일째의 평균 크기는 171.7×157.3 ㎛로 발달하였다(Table 3).

Table 3. 해만가리비 유생 사육일수에 따른 유생크기

사육일수	각장(㎜)	각고(㎜)
2	106.7±3.43	90.3±3.57
4	119.1±5.18	104.3±5.20
6	144.2±6.11	128.8±5.34
8	171.7±6.50	157.3±7.02
10	188.9±6.08	173.8±6.73
12	199.7±9.20	180.4±8.54

이후 계속 성장이 이루어져 사육일수 10일째부터는 안점을 지니는 유생이 출현하기 시작하였으며, 사육일수 12일째에는 안점이 90% 이상 출현하고 발이 보이는 부착기 유생의 평균 크기는 199.7×180.4 ㎛였다(Fig. 5). 2021년에 생산한 해만가리비 유생 크기도 2020년도와 비슷한 양상을 보였다.



Fig. 5. 해만가리비 부화유생(D형) 및 부착기 유생

유생사육은 사육수온 21.5~22.5℃에 D형 유생에서 부착기 유생까지는 약 13~17일 정도가 소요되었으며, 유생사육 과정에서 사육수온 등 사육환경에 따라 다소간의 유생 크기 차이를 보였다.

유생 사육기간 동안 D형 유생에서 해만가리비 부착기 유생의 수거율은 Table 4와 같다. 2020년에는 부착기 유생 수거율이 13.1%인데 비해 2021년에는 26.9%로 유생 생산량이 13.8% 증가하였다. 해만가리비 부착기 유생 수거율이 상승한 사유는 2020년에 연구원내 유생사육 가온시설 부재로 유생 관리의 어려움으로 부착기 유생 생산량이 저조하였는데, 2021년에는 연구원 내 이매패 종자생산 연구시설이 완공됨에 따라 먹이생물 배양, 어미관리, 유생사육 등 안정적인 종자생산이 가능하게 됨으로써 종자생산 기술이 확립되었다.

Table 4. 해만가리비 부착기 유생 수거율

사육기간		D형 유생수 ($\times 10^3$)	부착기 유생수 ($\times 10^3$)	부착기 유생 수거율(%)
2020년	4.24~5. 7(14일) 4.29~5.11(13일) 5.12~5.24(13일)	80,950	10,600	13.1
2021년	5.11~5.27(17일)	72,500	19,500	26.9

1.3. 채묘관리

채묘는 130 ㎛ 거름망에 걸린 부착기 유생을 수거하여 채묘기가 수하되어 있는 7톤 콘크리트 사각수조(8×1×0.9 m)에 수용하여 수온 17.7~22.0℃에서 25~29일 정도 육상수조에서 사육관리 하였다(Table 5).

Table 5. 해만가리비 육상수조 채묘관리

사육일수		채묘량 (200 m/섶)	채묘밀도 (×10^4개체/섶)	사육수온 (℃)
2020년	24일	90	6~10	18.5~23.8
2021년	25~29일	100	19~20	17.7~22.0

부착기 유생사육 20~24일경 부착 치패의 각장 크기는 약 0.5~0.9 ㎜까지 성장하였으며, 육상수조에서 채묘관리 중인 치패 부착섶을 5등분하여 양파망에 넣어 중간양성(가이식) 시험을 위하여 중간양성장으로 나가기 전까지 관리하였다(Fig. 6).



Fig. 6. 해만가리비 채묘섶 분망작업 및 부착치패 사육관리

2. 양성시험

2.1. 중간양성

해만가리비 중간양성은 2021년 6~8월 양성기간 동안의 김녕 시험가두리 해양환경 측정치는 수온 20.3~26.4℃, 염분 28.40~32.57‰를 나타내었다.

2021년에는 해만가리비 부착치패 100섶(양파망 500개)을 채롱 36개에 넣어 김녕 시험가두리에서 3개월 정도 중간양성 결과, 치패 크기는 7월 27일 1차 선별 시 평균 각장 15.8±2.31 ㎜, 각고 16.0±2.27 ㎜, 전중 0.84±0.36 g까지 성장하였

고, 9월 1일 2차 선별시 평균 각장 26.9±3.38 ㎜, 각고 26.9±3.16 ㎜, 전중 1.54±0.33 g까지 성장하였다. 양성시험용 치패는 30,000마리 이상 생산하였으나 본양성 시험용으로 치패 각장 1 ㎝급 이상만 활용 하므로서 1, 2차 선별 분망을 통해 치패 21,000마리를 본양성 시험용으로 사용하였으며, 2021년에는 가이식 치패 분망시기 조정 등 2020년도의 문제점을 개선하므로 중간양성(가이식) 부착종자 생산기술을 확립하였다(Fig. 7).

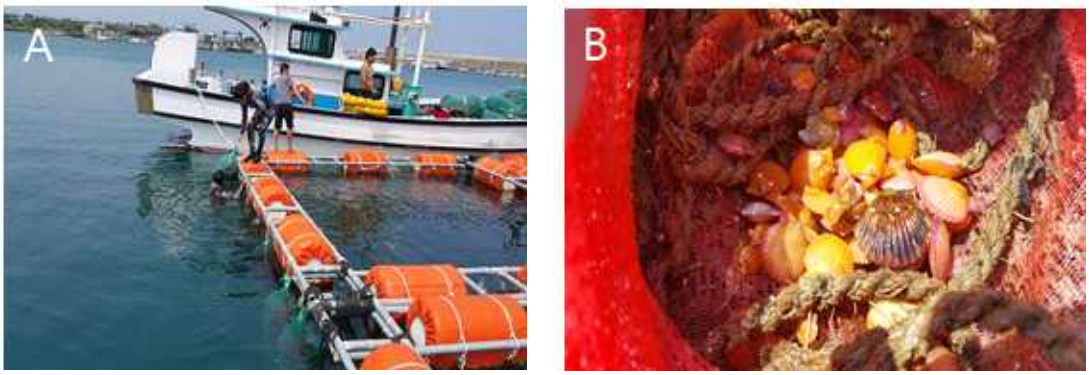


Fig. 7. 해만가리비 중간양성. A: 채롱 입식, B: 중간양성 성장 치패.

2.2. 본양성

해만가리비 본양성 시험은 김녕, 행원(2개) 시험어장을 중심으로 7~11월까지 실시하였다. 시험기간 동안 김녕 시험어장 해양환경 측정치는 수온 16.3~24.6℃, 염분 31.78~33.67‰, 클로로필a 0.09~0.34 ㎍/L이였고, 행원 기존 시험어장 해양환경 측정치는 수온 17.1~21.8℃, 염분 32.40~33.48‰, 클로로필a 0.10~0.42 ㎍/L이였으며, 행원 신규 시험어장 해양환경 측정치는 수온 16.9~21.7℃, 염분 32.4~33.77‰, 클로로필a 0.09~0.31 ㎍/L를 나타내었다.

2021년에는 해만가리비 양성치패(각장 1 ㎝이상) 21,000마리를 채롱 60개에 수용하여 김녕, 행원 2군데 시험어장 3개소에서 4개월 정도 본양성 시험 후 11월 29일에 측정한 결과, 김녕 시험어장은 생존율은 68.3%였으며, 평균 각장 46.6±2.67 ㎜, 각고 44.9±2.39 ㎜, 전중 17.2±2.67 g, 육중량 5.86±0.98 g로 성장하였으며 수율이 34.0%를 차지하였다(Fig. 8). 행원 기존 시험어장은 생존율은 70.9%였으며, 평균 각장 39.4±2.71 ㎜, 각고 38.7±2.51 ㎜, 전중 12.2±2.36 g, 육중량 4.36±0.94 g로 성장하였으며 수율이 35.8%를 차지하였다. 행원 신규 시험

어장은 양성시험 중 새로 설치한 시험어장의 친승줄이 끊어져 9월 28일 기준 평균 각장 34.3±2.21 ㎜, 각고 33.9±2.14 ㎜, 전중 8.1±1.64 g을 나타내었고 생존율은 측정할 수 없었다.

전년도 양성시험 결과의 문제점으로 해면양식 시설물에 대한 노하우 부족으로 시험어장의 시설모델 개선보완이 필요하여 2021년에 실증시험을 위한 행원 신규어장을 조성하여 양성시험을 실시하였으나, 시설물 구조상의 문제로 계속적인 애로사항이 발생하여 시험연구 결과를 도출할 수 없었다.

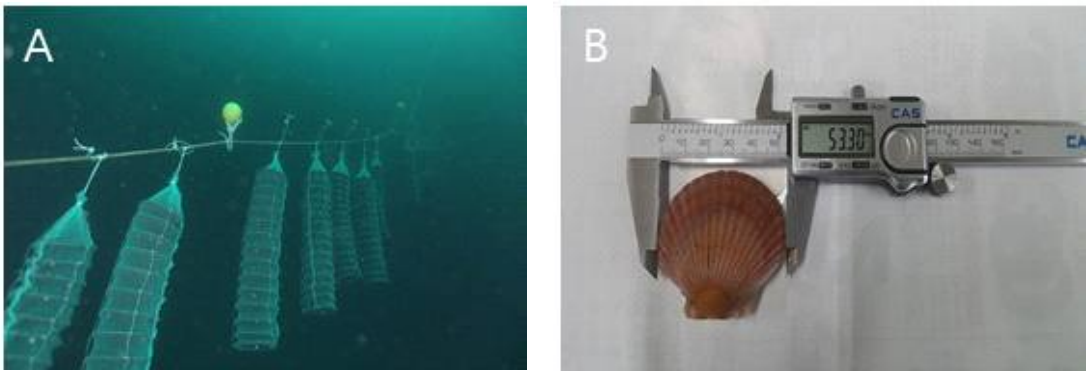


Fig. 8. 김녕어장 본양성 수하. A: 채롱, B: 시험양성 생산가리비

이에 반면, 김녕 시험어장의 경우는 외해형 해면양식의 시설조건인 친승줄 길이, 친승투하 수심, 수중부위 설치 여부 등 시설물 보완을 통해 2021년에는 평균 각장 46.6±2.67 ㎜로 전년도의 각장 40.7±3.2 ㎜와 비교하면 2020년에 비해 성장이 양호한 것을 확인할 수 있었다.

2021년 양성시험 결과를 보면 가리비류를 양성하는데는 어장의 생물학적인 환경조건은 적합하나 해면양식 어장 시설물에 대한 개선사항이 다수 남아있어 보완이 꼭 필요한 실정이다. 제주형(외해) 해면양식 시설모델 개발에 있어 시설물에 대한 기술 부족 부분은 전문가 자문을 통해 시설물을 개선 보완하여 제주해역에 맞는 시설모델 개발이 빠른 시일내에 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Ⅳ. 참고문헌

강선영, 김종민. 2012. 동죽 종묘생산 및 방류. 인천광역시 수산자원연구소 종묘생산・시험연구사업보고서. 27-37.

국립수산과학원. 2016. 참굴양식 표준 매뉴얼. 해양수산부. 1-137.

국립수산과학원. 2019. 가리비양식 표준 매뉴얼. 해양수산부. 1-210.

국립수산과학원 동해수산연구소. 2016. 가리비 양식 어업인을 위한 가리비 종묘생산과 양식관리 매뉴얼. 해양수산부. 1-26.

이상원. 2020. 비단가리비 인공종자 시험생산. 경상남도 수산자원연구소 연구사업보고서. 126-135.

이정미. 2020. 경남 특화 해만가리비 개발 시험연구. 경상남도 수산자원연구소 연구사업보고서. 94-110.

이정미. 2019. 해만가리비 인공종자생산 기술이전. 경상남도 수산자원연구소 연구사업보고서. 111-117.

Oh BS, Jung CG, Yong MH and Kim SY. 2000. Effect of rearing density in culture cage on the growth of the bay scallop, *Argopecten irradians*. Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute Korea. 58, 88-95.

Oh BS, Jung CG, Kim SY and Chung EY. 2002. Reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians* transplanted from China. Journal of the Korea Fisheries Society. 35(3), 201-206.

Oh BS, Jung CG and Kim SY. 2002. Study of growth on bay scallop, *Argopecten irradians* in differential cultured depths. Korean Journal of Aquaculture. 15(1), 61-68.

제주연안 유용 해조류 증·양식 기술개발

- 큰열매모자반 및 청각 인공종자 생산 및 가이식 연구(Ⅰ) -

김필연 · 홍성완 · 강재훈 · 김명향

Ⅰ. 서 론

제주의 마을어장은 기후변화 및 육상기인 등에 의한 환경변화로 인해 갯녹음 어장 발생면적이 1998년 19.1%에서 점차적으로 진행되어 2019년 33.3%에 이르게 되었고 주로 조간대에서부터 수심 7 m 이내에서 발생하고 있다. 2007년부터 정부 및 지자체에서 해조류 복원을 위해 바다숲(해중림) 조성사업이 추진되고 있으나, 제주도 갯녹음 발생 어장과는 상이한 수심대인 10~15 m에서 감태 이식 위주의 사업이 진행되고 있어 실질적 갯녹음 복원에 한계를 보이고 있다. 특히 갯녹음 현상이 발생하고 있는 마을어장은 해녀어업의 주 조업 장소로써 해조장 소실에 의한 수산자원의 감소로 어업소득이 줄어 들면서 소득과 연계가 가능한 해조류에 대한 관심과 증·양식 기술 보급 요구가 많아지고 있는 실정이다.

큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum* C. Agardh)은 다년생 해조류로 주로 한국, 일본, 중국을 포함한 동북아시아 지역에 분포하며 우리나라의 경우 동해안 일부와 남해안 및 제주도 전 연안의 조하대 상부와 조하대 하부의 암반에서 생육하며 바다숲을 형성하는 종들 중 하나이다. 제주도의 경우 수심 3~20 m까지 관찰되어 낮은 수심대 갯녹음 어장 복원에 적합한 품종이며, 더불어 지금까지 바다숲 조성에 주로 이용되고 있는 감태의 대체품종으로도 기대가 되는 품종이다. 또한 항균 및 피부개선효과(Yuto et al., 2009), 염증반응 억제효과(Manzoor et al., 2014; Cheon et al., 2017)와 신경 돌기의 성장 촉진(Kamei and Tsang 2003; Tsang and Kamei, 2004; Tsang et al., 2005) 역할을 하는 생물 소재로서 고부가가치 창출이 가능한 해조류이다. 이에 해양수산연구원에서는 2018년부터 2020년까지 3년간 이 품종에 대한 종자생산 기술개발을 위하여 제주 해역내 자연군락의 생장 및 성숙 시기를 규명하였으며, 인공채묘 방법의 조건 규명 및 가이식 시험을 수행하여 종자생산 기술을 개발하였다(홍, 2020; 고, 2021).

녹조류인 청각은 우리나라 전 연안에 분포하며 저조선 부근에서 수심 15 m까지 분포하고 주로 암초, 전석 및 해중 구조물 등에 부착하여 생육한다. 청각은 우리나라와 중국, 일본은 물론 필리핀과 하와이, 아프리카 등지에서 식용으로 널리 이용되고 있으며(Chapman, 1962; Kang, 1968; Velasquez, 1972; Oh et al., 1990), 오래전부터 민간요법의 구충제로 이용되거나 비뇨기 질환 및 수종치료(Tseng and Zhang, 1984)에 이용되어 왔다. 또한 청각의 추출물에는 항생작용이 있다는 acrylic acide, 항응고 활성물질, 응집소 등이 함유되어 있을 뿐만 아니라 항암 및 항돌연변이 효과와 면역활성 등이 있는 것으로 밝혀져 약학, 생화학, 의학분야에도 응용될 수 있는 유용 해조이다(Katayama, 1964; Glombitza, 1969; Shiomi, 1983; Ryu et al., 1986; Rogers et al., 1990; Rogers and Loveless, 1991). 다양한 유용성에도 불구하고 자연채묘에 의존하여 양식이 이루어져 오다가 대량양식 기법개발을 위해 황 등(2005a)이 접합사와 분리수사의 배양 및 가이식 생장시험을 통하여 청각의 인공종자 생산을 위해서는 분리수사를 이용한 무성생식 방법이 접합자를 이용한 유성생식 방법보다 효율적임을 밝혔다. 또한 황 등(2005b)은 청각의 무성생식을 이용한 분리수사의 실내배양 및 야외 가이식 실험을 통하여 청각의 대량인공채묘와 가이식에 필요한 조건을 규명하였고 뒤이어 국립수산과학원에서 청각 양식(2009)이 발간되었다.

따라서 해양수산연구원에서는 갯녹음 어장이 주로 분포하는 마을어장의 특성에 적합하고 해조류의 유용성이 좋아 소득과 연계가 가능한 품종으로 우선 큰열매모자반과 청각을 선정하여, 이에 대한 증·양식 연구의 원활한 수행을 위해 올해 이들 품종에 대한 인공종자 생산 및 가이식까지의 시험결과를 정리하여 기술하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실내 사육환경 관리

두 품종의 인공채묘 및 실내 사육관리는 큰열매모자반 경우 7월 14일부터 9월 29일까지, 청각은 7월 21일부터 10월 25일까지 동일 사육시설에서 배양관리 되었다. 본원(표선)에 위치한 해조류 배양시설은 어류 중심의 해수 사용으로 해조류 생산에 필요한 자연해수 사용이 어려워 채묘 초기 15일 동안은 지하해수의

함량이 비록 높지만 혼합수(지하해수+자연해수)를 사용할 수 있었고 그 이후에는 태풍 등 지역적 해황 여건상 지하해수만을 사용하였다. 이에 따라 부족한 영양염 보충을 위해 환수량을 1~1.5회전/일으로 유지하면서 2일~3일 주기로 시비를 하여 주었다. 또한 수질 관리를 위해 배양기간 내내 10 ㎛ 자루필터를 사용하여 주수하였고 주 1회 규조 및 분진제거를 위한 청소 시 수조 교체를 하여 주었다. 조도의 관리는 차광막 개폐의 노후화로 인하여 별도 관리 없이 이중차광(50%+70%) 하에서 지속적으로 배양하였다. 수온 및 조도는 매일 오전 9시와 오후 1시에 측정하였다.

2. 큰열매모자반의 인공종자생산

1) 모조확보

큰열매모자반의 모조 확보를 위한 자연 군락지의 성숙도 조사는 참모자반 모조 확보시 조사된 종달 마을어장과 2018년 자연군락 조사어장인 조천 마을어장에 대해 2021년 6월 10일부터 7월 13일까지 수행하였다. 인공채묘를 위해 7월 14일과 7월 19일 2회에 걸쳐 조천 마을어장에서 수중에서 육안으로 생식기탁에 유배가 충만한 것만을 골라 암수 비율을 8:2로 하여 약 20 ㎏의 성숙한 모조를 채취하였고 실내 콘크리트 수조(6톤)에 수용하여 수온 20~21℃, 조도 4,000 Lux 이하의 조건에서 모조를 관리하였다. 한편 채묘시기는 암생식기탁을 손으로 만져 유배가 쉽게 묻어나는 때를 채묘 적기로 판단하여 인공채묘를 실시하였다.

2) 인공채묘 및 실내배양 관리

인공채묘는 7월 14일, 7월 19일과 7월 20일 총 3회에 걸쳐 총 50틀을 채묘하였으며 채묘방법은 참모자반의 인공채묘 방법과 동일하게 하였다. 수조내 모조의 암생식기탁을 손으로 만져 유배가 쉽게 묻어나오는 것을 확인하여 모조를 여과해수가 담긴 200L FRP 수조로 옮겨 생식기탁 주변에 달려있는 유배를 털어 주었다. 모조에서 떨어져 나온 유배들은 채와 뮬러가제 250 ㎛, 90 ㎛를 이중으로 사용하여 수거하였고 3L 핸드 투명비이커에 수용한 후 유배의 침강하는 성질을 이용하여 상층액(부유물) 제거 방법으로 수 회 반복 세란을 하여 주었다.

유배의 채묘는 건식법(붓으로 유배액 바르기)으로 최대한 농축한 유배액을 산업용 모자반 채묘틀에 고밀도로 발라 주었다. 채묘 후 건조시간은 여름철 배양

동 내의 기온이 높아 50분 이내로 음건한 후 여과해수가 담긴 6톤 콘크리트 수로형 수조에 수용하였다. 채묘 직후는 주수와 Air를 공급하지 않았으나 다음날 여름철 오후 배양동내 기온 상승으로 수온이 22℃에서 27℃까지 상승함에 따라 채묘된 유배에 물리적 충격이 가지 않는 범위에서 소량 주수를 하여 다음날 오후 정상 수온을 유지하여 주었다. 유배가 가근을 내려 안정적으로 부착된 것을 확인 후 Air를 공급하여 주었고 주수량도 점차 증가시켜 주었다. 주 1회 이상 세척 및 고른 성장을 위해 채묘틀을 위아래 뒤집어 주었다. 실내배양은 엽체의 성장이 더 이상 이루어지지 않는 것을 확인한 9월 30일(채묘 72일)에 가이식장으로 이동하였다.

3) 가이식

지금까지 참모자반 위주의 가이식은 주로 조천항에서 이루어졌으나, 다년간 이용에 따른 지역 어업인들과의 마찰이 있어 현재 전용 가이식장이 없는 실정이다. 이에 본 연구를 위해 수심이 3 m 이내인 행원 포구 내에 임시 가이식 어장을 조성하였다.

가이식은 실내배양 조건에서는 더 이상 엽체의 성장이 불가능하고 오히려 소실되고 있다고 판단되는 채묘 72일째인 9월 30일에 채묘틀 45개를 가이식 어장으로 이동하였다. 선행된 연구의 수심별 가이식 시험(홍, 2020; 고, 2021)에서 성장이 가장 좋았던 수심 1 m에 채묘틀을 설치하였고, 수중다이버를 이용하여 주 1회 이상 잡조 등의 이물질 제거 작업과 시설관리를 하여 주었다.

3. 청각의 인공종자생산

1) 모조확보

청각의 모조 확보는 7월 20일 종달 포구 내 조성되어 있는 해조류 시험양식장 양성줄에 부착하여 자연 번식한 청각을 채취하여, 연구원으로 옮겨와 청각 표면에 붙어 있는 잡생물을 제거한 후 수조에 수용하였다가 다음날 인공채묘에 사용하였다.

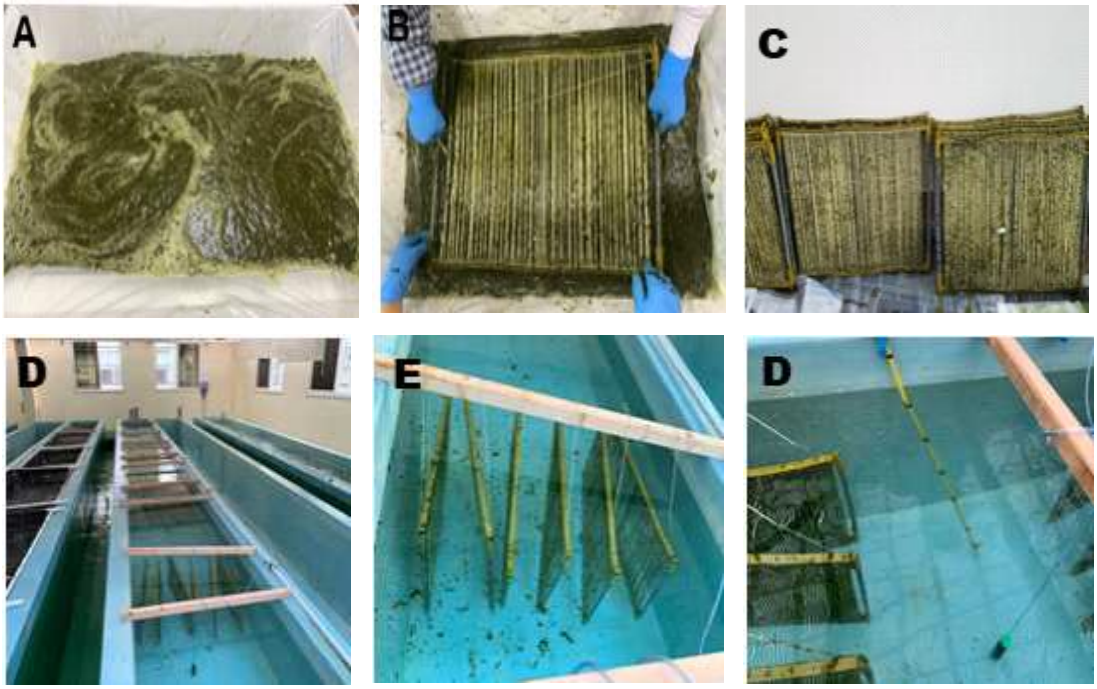


그림 1. 청각의 무성생식법에 의한 인공채묘 과정. A: 청각 모조 분쇄액(분리수사), B: 채묘틀 침지, C: 채묘틀 음건(2시간), D: 수조내 수용(지수상태), E, F: 수조바닥에 떨어진 분쇄액 및 사이폰에 의한 바닥 청소.

2) 인공채묘 및 실내배양

인공채묘 방법은 분리수사의 재생에 의한 무성생식법을 이용하였으며, 황 등(2005b)과 청각 양식(국립수산과학원, 2009)의 무성생식 방법에 따라 수행하였다. 모조의 사용량은 종사 단위 m당 2 g(습중량)의 비율로 채묘틀 30개 채묘를 위해 총 12 kg 모조를 사용하였다. 청각과 멸균해수를 10:1비율로 믹서기에 넣고 20초 이내로 덩어리가 없을 정도로 분쇄하여 주었다. 분리된 수사는 채묘용기에 수용한 다음 여기에 산업용 모자반 채묘틀을 침지시켜 수사가 충분히 부착되도록 하였다(그림 1. A, B). 분리수사가 채묘된 채묘틀은 2시간 정도 음건한 후 시비된 실내 수로형 콘크리트 수조에 수용하여 1일간 지수하였다. 이 후 수질관리 및 수온편차를 줄이기 위해 분리수사가 탈락되지 않을 정도의 소량 주수를 하면서 유수식으로 배양하였다. 배양 시 채묘틀에서 떨어진 청각 분쇄 덩어리(분리수사)들은 수시로 사이폰으로 제거하였고, 채묘틀에 부착한 분리수사가 떨어지지 않는 것을 확인한 후 에어 공급과 동시에 주수량도 늘려 주었다. 분리수사가 채묘사에 완전히 자리를 잡은 후에는 수압을 이용하여 규조와 부니를 주 1회 이상

제거하여 주고, 청소 시 균일한 빛 공급을 위해 채묘틀을 상하로 뒤집어 주었다. 실내배양 수조에서 더 이상 형태 형성이 진행되지 않는다고 판단되는 시기에 가이식장으로 이동하였다.

3) 가이식

가이식은 채묘틀 15개씩 9월 30일과 10월 26일 2회에 걸쳐 행원 포구 내 임시 가이식장에 큰열매모자반 채묘틀과 같이 수심 1 m에 설치하였고, 다이버를 활용하여 주 1회 이상 잡조 및 이물질 제거 작업을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 사육환경

큰열매모자반과 청각의 인공채묘 후 실내배양 기간 동안 수온 및 조도의 변화는 그림 2와 표 1과 같다. 채묘 초기 혼합수(자연해수+지하해수)를 사용하는 기간 동안은 수온이 21~25.5℃로 유지되었으나, 그 이후에는 지하해수만을 사용하여 수온이 19.2~21℃로 유지되었다. 실내배양 기간 동안의 조도는 530~6,000 Lux 범위였으며, 6,000 Lux는 단 1일에 불과하였고, 3,000 Lux 이상의 관측 일수는 총 17일이였다.

Kim(2015)은 괭생이모자반 유배 생장 실험에서 수온 20~25℃, 광량 40 μ mol/m^2/sec (약 2,000 Lux)이상에서 성장이 빠르며, 이전의 연구(홍, 2020; 고, 2021)에서도 큰열매모자반의 종자 성장은 수온 20~23℃, 광량 40~80 μ mol/m^2/sec (약 2,000~4,000 Lux)에서 가장 좋았다고 보고하고 있다. 청각의 경우 무성생식에 의한 수사의 생장을 위한 적정 수온과 광량은 15~25℃와 60~100 μ mol/m^2/sec (약 3,000~5,000 Lux)라고 보고하였다(황 등, 2005b). 이 실험에서 실내배양 기간 동안 수온 및 조도의 사육환경은 큰열매모자반의 성장에는 적정한 조건이었으나 청각의 경우 수온은 적정하였지만 조도는 형태형성에 필요한 임계조도인 3,000 Lux이상으로 관측된 일수가 적었고 평균 조도가 2,315 Lux로 수사의 생장에는 광량이 부족했던 것으로 사료된다.

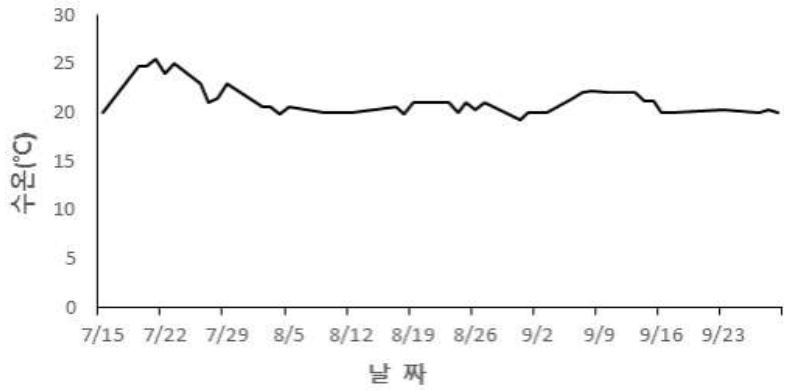


그림 2. 인공채묘후 실내배양기간 동안의 수온변화.

표 1. 인공채묘 후 실내배양기간 동안의 조도변화

월	최저(Lux)	최고(Lux)	평균(Lux)
7월	530	4,800	3,132
8월	490	6,000	2,074
9월	460	4,450	2,074
10월	490	3,780	2,060

2. 큰열매모자반의 인공종자생산

성숙한 모조의 확보를 위해 자연 군락지의 성숙도 조사를 종달과 조천 마을어장 2곳에서 6월 10일부터 7월 13일까지 이루어졌다. 제주해역 자연 군락지에서의 큰열매모자반은 4월에 생식기탁이 형성되며 성숙기간은 5월~6월 이고 산란시기는 6월~7월이라고 보고되었다(홍, 2020; 고, 2021). 이번 조사에서 7월 초까지 생식기탁은 관찰되었으나, 성숙도가 채묘에 사용할 수가 없었으며 7월 13일 조천의 자연 군락지에서 채묘에 사용이 가능한 성숙한 모조를 확보 할 수 있었다. 종달 자연 군락지의 경우 대부분 1년생의 미성숙된 어린 개체로 확인되어 인공채묘에 이용할 수 없었다.

참모자반과 동일한 방법으로 건식법 채묘를 하였고 실내배양 관리 동안 혼합수 및 지하해수 사용으로 부족한 영양염을 시비하여 보충한 결과, 채묘종사에 유배의 안정된 착생 및 가근의 발아와 유엽의 성장을 관찰할 수 있었다. 채묘 후 10일째 유엽의 부착밀도는 종사 ㎝당 약 12개체였다. 이 후 정상적인 성장과

발달을 보여 봉상형 엽체로 5 ㎜까지 성장하였다(그림 3). 그러나 그 이후 오히려 성장 둔화 및 부착밀도가 감소하는 현상이 관찰되어 시비를 주기적으로 하였지만, 엽체의 성장에 따른 영양염 부족 등 생육환경이 맞지 않은 단계에 이른 것으로 판단되어 채묘 72일째에 행원 포구의 가이식장으로 이동하였다.

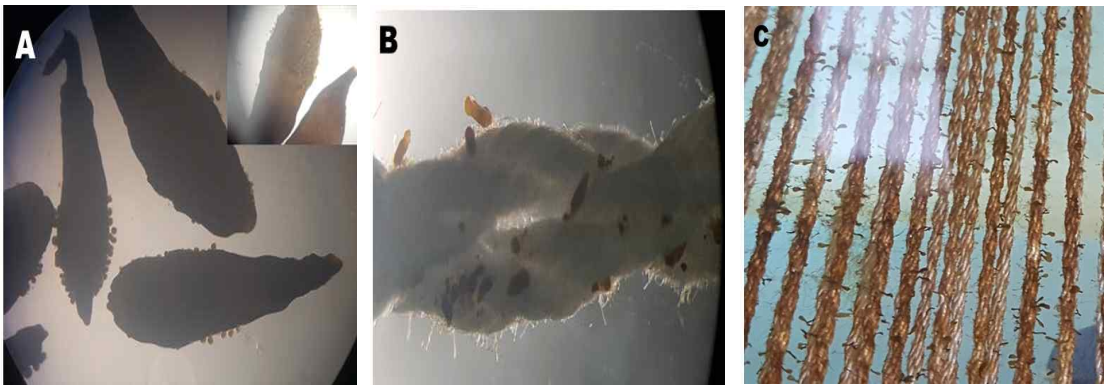


그림 3. 큰열매모자반의 인공채묘 유배의 성장. A: 성숙한 모조, B: 채묘후 10일째 유배의 가근 발아 및 성장, C: 채묘 55일째의 유엽.

가이식은 채묘틀 45개를 수심 1 m에 설치하였으며 11월까지 가이식장의 수온은 24~15℃였다. 행원포구 가이식장은 냉수대의 영향으로 타 지역보다 수온이 낮고 포구 내의 적당한 파랑와 조류 소통으로 해조류의 생육 상태가 양호하게 나타났다. 가이식 14일째(수온 22℃) 수중에서 육안으로 관찰이 가능할 정도로 성장이 양호하였으며, 가이식 26일째(수온 19~20℃) 엽장이 1 ㎝정도로 성장하면서 2엽~3엽으로 분지한 엽체들이 관찰되었다. 가이식 43일째(수온 15℃)에는 분기한 엽체들의 두드러진 엽폭 성장이 관찰되었다(그림 4).



그림 4. 큰열매모자반 가이식. A: 가이식 어장, B: 가이식 26일(엽장 1㎝이내, 2~3엽 분기), C: 가이식 43일.

3. 청각의 인공종자생산

해조류는 육상의 고등식물과 같이 모체로부터 분리된 세포 또는 조직의 일부가 완전한 개체를 형성할 수 있는 분화전능성(totipotency)을 가지고 있다. 청각은 포낭이 수사로 연결되어 있는 낭상체 구조로 엽체 내에 수용되어 있는 원형질이 모두 연결된 단세포 다핵체의 구조를 하고 있어서 엽체의 어느 부분이 절단되더라도 절단 부위의 수사에 즉시 막이 재생되어 원형질 유출을 막고 다시 수사로 재생하는 특성을 가지고 있다. 따라서 포낭이나 수사의 단편을 갖고 완전한 개체로 재생을 유도하는 무성생식에 의한 인공종묘 생산이 효율적인 방법이라 제시하였다(황 등. 2005b). 또한 황 등(2005a)의 호모게나이저를 이용한 청각 엽체로부터 수사분리시 호모게나이저의 회전속도와 분리수사의 길이에 따른 재생의 연구결과에서 호모게나이저의 회전수가 적을수록 분리수사의 길이가 길게 나타나며, 호모게나이저의 회전수를 13,500 rpm 이하로 하여 분리수사의 평균 길이 550 ㎛이상에서 새로운 포낭이 관찰된 반면 그 이상의 회전수에서 분리된 수사에서는 포낭의 재생이 관찰되지 않았다고 보고하였다. 이 실험에서도 믹서기의 회전속도의 조절은 불가능 하였으나, 청각 분쇄액의 현미경 검경 결과 포낭과 수사가 분리되어 유리 상태로 관찰되었고(Fig. 5), 채묘 5일째 채묘종사에 포낭 및 분리수사가 착생하여 이후 정상적인 수사의 증식이 이루어지는 것으로 보아 분쇄된 분리수사의 평균 길이는 550 ㎛ 이상이었던 것으로 판단된다. 채묘 12일째 포낭 및 분리수사는 채묘틀에 완전히 착생되었고, 채묘 20일째 채묘 종사에 착생한 포낭은 대부분 탈락하고 수사만이 남으면서 분리수사의 신장과 증식이 관찰되었다(그림 5).

청각의 형태형성을 좌우하는 요인으로는 조도(Park and Sohn, 1992), 수온(Gessner, 1970; Fralick and Mathieson, 1972) 및 물리적 자극(Ramus, 1972; Yotsui and Migita, 1989)등이 필요한 것으로 알려져 있다. 이 가운데 조도는 청각 포낭의 형태형성에 있어서 가장 중요한 요인으로 임계의 조건인 3,000 Lux(약 60 μmol/m^2/sec) 이상의 조건에서만 완전한 형태형성이 이루어진다고 알려져 있다(Park and Sohn, 1992). 또한 Ramus(1972)는 물의 유동 즉, 물리적인 자극이 있는 배양조건 하에서 청각의 직립체를 얻었으며, Yotsui and Migita(1989)는 모체로부터 분리한 포낭에서 재생된 수사가 실내배양에서는 직립체로 발달하지 않았으나 이를 바다에 수하하였을 때 직립체로 발달하였다고 보고하였다. 황 등

(2005b)의 연구에서도 청각의 형태형성에 조도와 물리적 자극이 가장 크게 영향을 미치는 요인이며, 수온은 엽체 형성 후 생장에 주로 영향을 주는 요소임을 확인하였다. 이 실험에서 분리수사의 실내배양 기간 동안 Air 공급으로 물리적 유동을 주었으며 수온은 19.2~25.5℃(평균 20.7℃)로 분리수사 성장에 적정하였다. 그러나 조도의 경우 총 96일의 실내배양 기간 동안 3,000 Lux이상의 관측 일수가 17일이며 평균 조도가 2,315 Lux 이었다. 그 결과 실내배양 96일 동안 분리수사의 상태로 이후의 형태형성 단계를 관찰할 수 없어 배양기간 동안 조도량이 임계량에 미치지 못하였음을 알 수 있었다. 이에 따라 더 이상 실내배양에서 수사의 형태형성 유도가 어렵다 판단되어 가이식장으로 이동하였다.

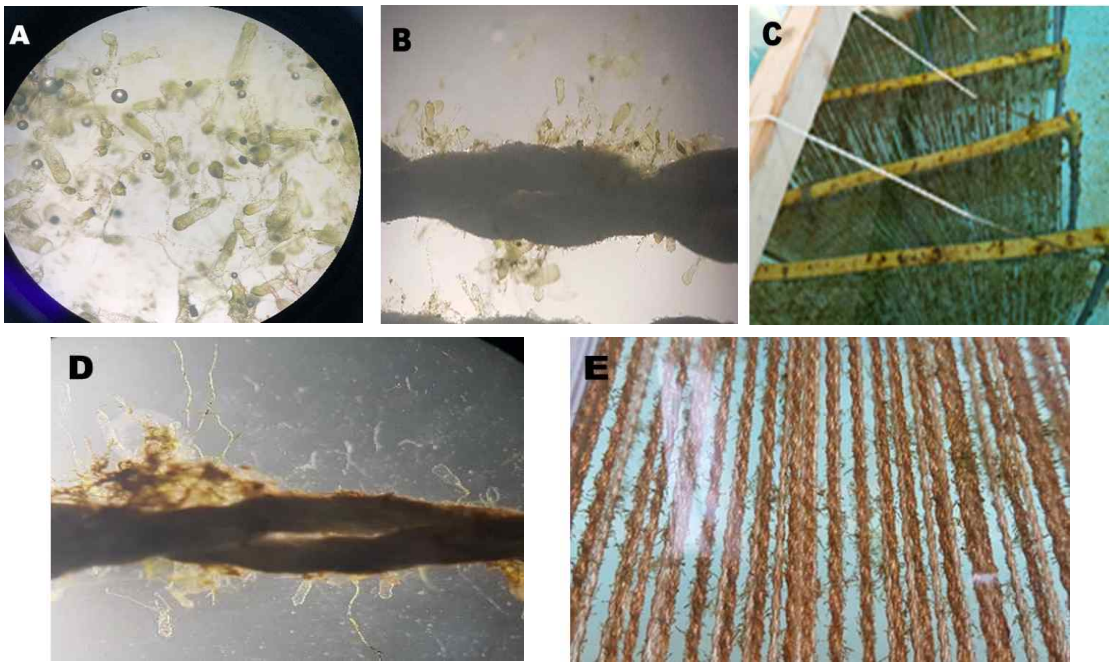


그림 5. 청각 분리수사의 인공 채묘 후 분리수사의 성장. A: 청각 분쇄액의 포낭과 수사의 모습, B: 채묘 5일(채묘된 포낭과 분리수사), C: 채묘 12일(완전히 착생), D: 채묘 20일(포낭 탈락, 분리수사 신장), E; 채묘 55일(채묘틀의 분리수사)

황 등(2005b)은 가이식은 엽원기(primordia) 형성에 필요한 물리적 자극을 충족시키는 조건으로써 필수적인 과정이며 이때 가이식 수심별 청각 엽체의 생장은 수심 0.5 m에서 가장 우세하며 이는 수중의 광량과 관계가 있는 것으로 야외 가이식을 위한 적정 수심이 단순히 수심에 의해 결정되는 것이 아니라 광량이 최

소한 60 μmol/m^2/sec 이상인 수심의 범위내에서 가이식이 이루어져야 한다고 하였다. 이번 가이식 시험은 실내배양에서 조도의 부족 등으로 형태형성이 이루어지 않았던 분리수사 상태의 채묘틀을 9월 30일과 10월 25에 총 30개를 행원 포구의 가이식장으로 이동하여 수심 0.5~1 m에 설치하여 생육상태를 모니터링하였다. 그 결과 가이식 14일째 분리수사의 솜털 같은 밀집된 분리수사의 모습이 관찰되었으며 가이식 26일때 채묘종사에 엽원기가 나타나기 시작하였고, 가이식 33일째 직립엽체 및 일부 직립엽체의 분기가 관찰되었다. 가이식 43일째 대부분 완전히 분지된 엽체(엽장 약 15 ㎜)로 성장하여 가이식 46일(11월 15일) 때 양성이 가능한 크기인 엽장 1~2 ㎝ 까지 빠른 성장을 보였다(그림 6). 이러한 결과는 가이식 설치 수심이 3,000 Lux 이상의 충분한 광량을 받을 수 있는 적정한 수심이었으며, 가이식장 내의 적정한 파랑이 물리적 자극이 되어 형태형성을 정상적으로 유도하였을 뿐만 아니라 가이식 기간 동안 양호한 수온(24~15℃)이 빠른 성장에 영향을 준 것으로 사료된다.

해양수산연구원에서는 해녀어업의 소득과 연계할 수 있고 갯녹음 어장 확산 등 소실되어가는 해조군락의 복원을 위하여 참모자반 이외의 다양한 품종에 대한 증·양식연구를 위해 올해부터 우선 큰열매모자반과 청각에 대하여 인공종자 생산 연구를 추진하였다. 종자생산 과정 중 일부 시설의 노후화로 환경 제어가 어려운 부분들은 있었으나, 큰열매모자반의 경우 종자생산 기술개발 이후 선행연구의 규명된 조건들이 재연됨으로써 대량종자 생산기반을 갖추는 계기가 되었다. 또한 청각의 경우는 도내에서 처음으로 무성생식에 의한 인공종자 생산을 시도하여 실내배양과 가이식까지 좋은 결과가 나타났고, 현재 남원마을어장내 양성시험과 갯녹음 어장내 이식 시험을 추진 중에 있다.

향후 조도와 수온 조절이 가능한 시설 보완이 이루어진다면 이 두 품종에 대한 안정적 대량종자 생산이 가능할 것으로 사료되어, 이들 종자를 이용한 다양한 방법의 해조장 조성 및 양식기술 개발연구에 도움이 될 것으로 여겨진다.

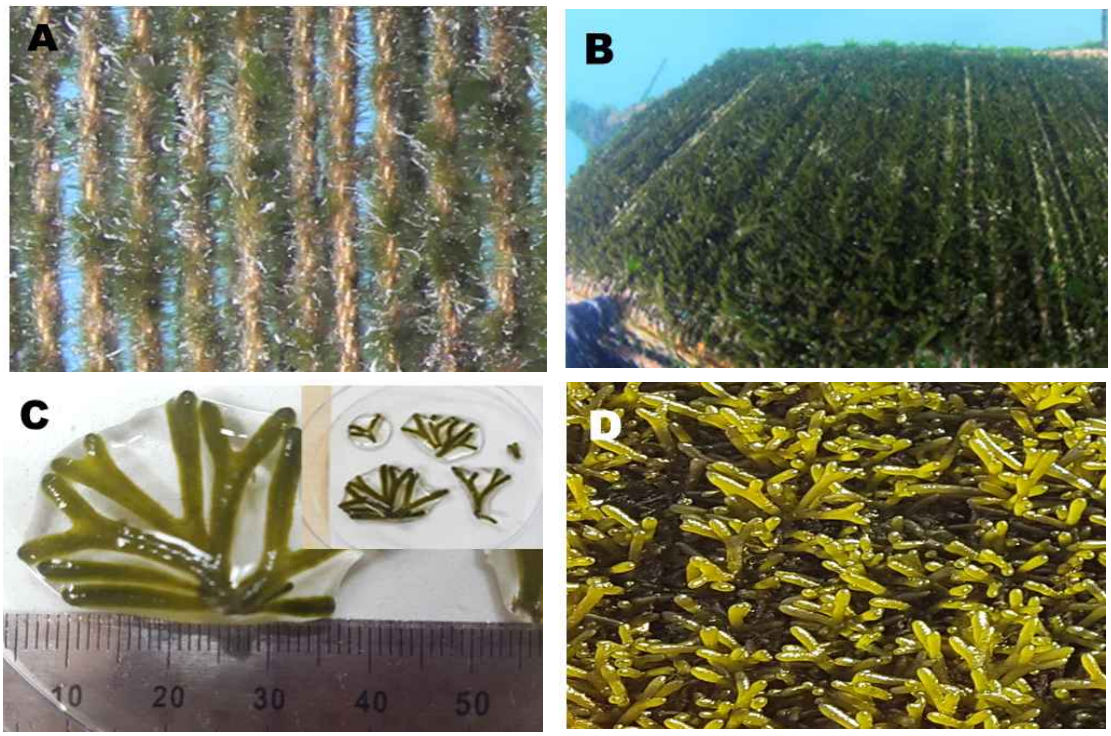


그림 6. 가이식 청각의 형태형성 및 성장. A: 가이식 26일, B: 가이식 33일(직립지 및 일부 엽체 분기), C: 가이식 43일(엽체 분지, 엽장 15㎜내외), D: 가이식 46일(엽장 1~2㎝, 양성시험).

Ⅳ. 참고 문헌

고신자. 2021. 큰열매모자반, *Sargassum macrocarpum*의 번식생물학적 연구. 제주대학교 박사학위논문.

국립수산과학원 남해수산연구소 해조류연구센터. 2009. 청각 양식.

황은경, 백재민, 박찬선. 2005a. 녹조류 청각의 생식방법을 이용한 인공종묘생산. 한국수산학회지. 38, 164~171

황은경, 백재민, 박찬선. 2005b. 청각, *Codium fragile* (Suringar) Hariot의 분리수사 재생에 의한 종묘생산과 가이식 조건. 한국수산학회지. 38, 164~171.

홍성완. 2020. 제주해역 큰열매모자반 양식기술 개발 및 대량생산 체제 구축. 연구교습어장 사업보고서.

Chapman, V.J. 1962. The Algea. St Martin's Press Inc., New York, pp 94-104.

Cheon JM, Kim HS, Choi EO, Kwon DH, Choi YH, Kim BW and Hwang HJ. 2017. Anti-inflammatory activities of an ethanol extract of *Sargassum macrocarpum* in Lipopolysaccharide(LPS)-stimulated RAW 264.7 Macrophages. Journal of Life Science. 27(12), 1437-1444.

Fralick RA and Mathieson AC. 1972. Winter fragmentation of *Codium fragile* (Suringar) Hariot subsp. tomentosoides (van Goor) Silva(Chlorophyceae, Siphonales) in New England. Phycologia. 11, 67-70.

Gessner F. 1970. Temperature: Plants. In: Marine Ecology. Vol. 1. Kinne, O., John Wiley & Sons Ltd. New York. 363-406.

Glombitza F. 1969. Antibakterielle Inhaltsstoffe in Algen. Helgolander Wiss. Meeresuntersuch. 19, 376-384.

Kamei Y and Tsang CK. 2003. Sargaquinoic acid promotes neurite outgrowth via protein kinase A and MAP kinases-mediated signaling pathways in PC12D cells. Int J Devl Neurosci. 21, 255-262.

Kang JW. 1968. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea. Vol. 8. Marine Algae, Ministry of Education, Seoul. pp. 465.

Katayma T. 1964. Biochemical significance of the existence of acrylic acid in algae. Jap Soc Phycol. 12, 14-19.

Kim NG. 2005. Effect of temperature, photon irradiance, and photoperiod on the growth of embryos of *Sargassum horneri* in Laboratory culture. Kor J Fish Aquat Sci. 48(1), 076-081.

Manzoor Z, Mathema VB, Chae DB, Yoo ES, Kang HK, Hyun JW, Lee NH, Ko MH and Koh YS. 2014. Extracts of the seaweed *Sargassum macrocarpum* inhibit the CpG-induced inflammatory response by attenuating the NF-κB pathway. Food Sci Biotechnol. 23(1), 293-297.

Park CS and Sohn. 1992. Effects of light and temperature on morphogenesis of *Codium fragile* (Suringar) Hariot in laboratory culture. Kor J Phycol. 7, 213-223

Ramus J. 1972. Differentiation of the green algaea *Codium fragile*. Am. J Bot, 59, 478-482.

Rogers DJ, Jurd KM, Blunden G, Paoletti S and Zanetti F. 1990. Anticoagulant activity of a proteoglycan in entract of *Codium fragile* sp. *atlantium*. J Appl Phycol. 2, 357-361.

Rogers DJ and Loveless RW. 1991. Electron microscopy of human erythrocytes agglutinated by lectin from *Codium fragile* sp. *tomentosoides* and pseudohae-magglutinin from *Ascophyllum nodosum*. J Appl Phycol. 3, 83-86.

Ryu BH, Chi BH, Kim DS and Ha MS. 1986. Desmutagenic effect of extracts obtained from seaweeds. Kor Fish Soc. 19, 502-508.

Shiomi K. 1983. Agglutinins. In: Biochemistry and utilization of marine algae. Jap Soc Sci Fish, ed Koseisha Press, Tokyo. pp. 120-131.

Tsang CK. and Kamei Y. 2004. Sargaquinoic acid supports the survival of neuronal PC12D cells in a nerve growth factor-independent manner. Europian J. Pharmacology. 488, 11-18.

Tsang CK, Ina A, Goto T and Kamei Y. 2005. Sargachromenol, a novel nerve growth factor-potentiating substance isolated from *Sargassum macrocarpum,* promotes neurite outgrowth and survival via distinct signaling pathways in PC12D cells. Neuroscience. 132(3), 633-643.

Tseng CK and Zhang JF. 1984. Chinese seaweeds in herbal medicine. Proc Int'l Seaweed Symo. 11, 152-154.

Velasquez GT. 1972. Studies and utilization of the Philippine marine algae. Proc Int'l Seaweed Symo. 7, 62-65.

Yotsui T and Migita S. 1989. Cultivation og a green alga *Codium fragile* by regeneration of medullary thread. Nippon Suisan Gakkaishi. 55, 41-44.

Yuto K, Miyuki S, Ken-ichiro H, Ryuta T and Hiroshi N. 2009. The novel anti-Propionibacterium acnes compound, Sargafuran, found in the marine brown alga *Sargassum macrocarpum*. J Antibiot. 62, 259-263.

제주연안 갯녹음 어장 복원을 위한 해조장 조성기법 연구

- 바다 영양염(시비재) 용출 해조생육 블록 개발(1) -

홍성완 · 김필연 · 강형철 · 김명향 · 강재훈 · 오미숙 · 현옥민 · 김경순 · 임은희

1. 서 론

최근 제주연안 어장에서 서식하는 해조류는 수온상승과 조식동물에 의한 과다한 식해, 환경오염, 잦은 호우 등의 해양환경 변동으로 그 생산량이 급격히 감소하여, 이들 해조류를 먹이생물로 하는 성게류(Echinoidea), 전복류(Haliotidae) 및 해조류가 번무한 곳을 서식 산란장으로 이용하는 어류의 생산량도 많은 감소를 보이고 있는 추세이다. 특히 전복이나 성게류는 마을어장 내에서 해녀들의 주 소득원으로서 가장 중요한 위치를 점하고 있지만, 먹이 자원인 해조류의 소실에 의하여 직접 소득에 영향을 받고 있다.

조간대에서 조하대까지 존재하는 암반 면적은 전 해양의 0.1%에 불과하지만 그 생산량은 전 해양 생산량의 10%를 점하는 자원의 보고이나, 이 연안 암반의 가장 큰 생산자는 해조류이므로 이 자원의 감소는 곧 연안 자원량 감소와 직결되는 가장 큰 요인이 되고 있다.

이러한 시점에서 현재 갯녹음 현상이 더욱 심화되면서 연안 해조류 자원이 감소하여 바다숲(해중림)을 복원하는 사업이 시행되고 있으며, 바다숲을 조성하는 방법에는 어초를 이용한 종자이식법, 포자 방출용 모조를 투입하는 모조주머니법, 해조류가 서식할 수 있는 기질을 제공하는 투석, 갯닦기 등 여러 가지 방법이 있다. 이 방법들은 단독 또는 복합적으로 사용되고 있으며, 앞으로 바다숲을 복원하기 위해서 지속적인 조성방법들이 개발되어야 하고 각각의 조성방법에 대한 매뉴얼이 정립되어 바다숲 조성이 보다 효과적으로 이루어져야 할 것이다.

여기서 시비재 살포사업은 기존 해조장 조성 사업과는 달리 해조류 성장에 직접 영향을 미치는 영양염 공급에 의한 바다숲 조성방법 중의 하나이다. 해수에 함유되어 있는 미량 원소 중 특히, 철은 해조류의 광합성을 촉진시키고 영양염 흡수에 중요한 역할을 하기 때문에 철을 바다에 투입하면 해조의 성장과 영양염 흡수 효과

가 높아 수질 정화 기능을 향상시키게 되어 궁극적으로 해조장의 생산을 높이는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

이러한 효과를 이용하여 현재 일본과 우리나라를 비롯한 세계 일부 나라에서 철이 함유된 고형물(입상제)을 제조하여 바다에 영양염을 공급하는 시비재 살포 사업이 이루어지면서 바다숲 조성에 효과를 보고 있는 사례가 있으나, 아직까지 체계적인 시스템에 의한 사업 효과에는 미치지 못하고 있는 것도 사실이다.

반면 현재 우리나라에서 이루어지고 있는 시비재 살포는 연안의 수심이 비교적 낮은 어촌계 앞바다(마을어장)를 대상으로 하고, 시비재 자체를 선상에서 살포하거나 시비재를 담은 마대를 수중에 노출 형태로 투입하고 있어, 강한 파도나 조류에 의한 유실 우려가 높은 것으로 조사되고 있고 고형물의 용해가 빠르게 진행되어 투입 대비 효과가 떨어지는 경우가 발생하는 문제를 갖고 있다.

이에 해양수산연구원에서는 시비재 살포 효과를 향상시켜 낮은 수심대에 집중되어 있는 갯녹음 어장의 효율적 복원 모델을 제시할 계획으로 연구에 착수하였고, 본 보고에서는 유실 방지와 용해 기간을 늦출 수 있는 새로운 형태의 개발상황과 효과적인 연구개발 수행 방안 등에 대해 기술하였다.

2. 영양염(시비재)의 기능 및 사업 실태

2-1. 시비재의 구성 및 기능

2-1-1. 시비재 구성

시비재는 콘크리트 기질인 규조토와 황산철(FeSO4)을 혼합하여 조제 온도 55~80℃에서 입상으로 제조한 것이다. 콘크리트 기질 함량은 78~92 W/W%의 범위이며 기질 함량이 65 W/W% 미만인 경우에는 철 이온의 공급이 과잉하게 되고 수생 생물이 필요로 하는 영양원소의 흡수 기구에 대해 이온 스트레스를 발생케 하며, 95 W/W%를 초과하면 철 이온의 공급이 불충분하여 수산식물에 대한 시비 효과가 불충분하게 되는 경향이 있다.

규조토는 3~4.5 W/W%의 함량으로 이산화규소(SiO2) 80%을 함유하고 있으며, 특히 규조토는 점성이 있어 접착제로서 기질과 황산철과의 결합을 양호하게 하는 효과가 있다. 황산 제1철은 8~22 W/W%의 범위의 비율로 하였으며, 황산철 함유량이 5 W/W% 미만인 경우 철이온의 공급이 불충분하며 35 W/W%를 초과하면 철이온의 과잉 공급 현상을 나타낼 수 있다(그림 1).

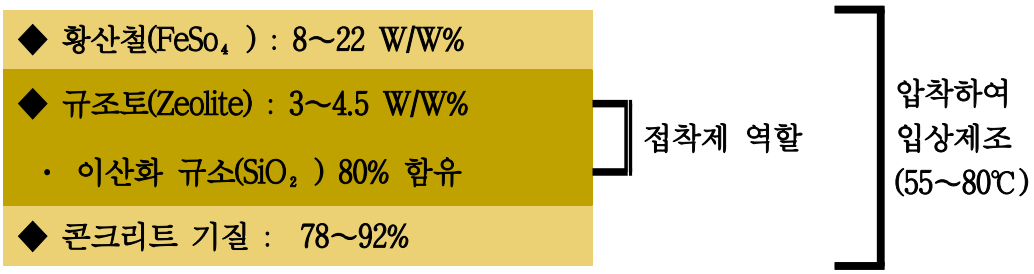


그림 1. 시비재의 입상제조

시비재의 성분 분석결과, SiO_2, CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O, TiO 등의 유기물로 구성 되었으며, 수은, 납 등 유해성 중금속은 검출되지 않았다(표 1).

표 1. 시비재의 성분 분석 결과치

시험항목	시험결과
강열감량	9.52
SiO_2	48.20
Al_2O_3	10.70
TiO	0.43
Fe_2O_3	8.06
MnO	0.10
CaO	7.77
MgO	1.61
Na_2O	3.36
K_2O	3.12
P_2O_5	0.18
SO_3	5.43

※ 출처 : 한국화학융합시험연구원 성분분석 결과 보고서(2019. 12)

2-1-2. 시비재의 기능

시비재는 규조토와 황산철(FeSO4)을 혼합하여 콘크리트 기질을 응고재로 이용한 바다비료로 수중에서 장시간 서서히 용해되는 특성을 가지고 있다. 해수 중에는 약 45종의 원소가 녹아있고 철(Fe)은 해수에 0.01 ppm 용해되어 있지만 농축계수가 1,000~130,000으로 해조가 미량원소 중 가장 높은 흡수율을 보이는 중

요한 원소이다(不殁・土器, 1973). 또한 철은 해조의 광합성을 촉진시키고 영양염 흡수에 중요한 역할을 하므로 철을 바다에 투입하면 해조의 성장과 영양염 흡수 효과가 높아 생산성을 높이며 수질정화 기능을 향상하는 효과가 있다 (Motomura・Sakai, 1981; Davis, 1970).

Kuma와 Matsunaga(1995)는 Fe-EDTA 형태의 철 공급이 식물성 부유생물의 세포수를 증가시켰다고 하였고, Kuwahara 등(2006)은 영양염 공급은 해수중의 질소나 인 또는 용존 상태의 철분을 공급하는 기술이라 하였다. 특히 장기간 안정된 상태에서 용출하는 형태로 영양염류를 공급하는 것이 중요하다고 하며, 이와 같이 시비재는 해조류의 성장을 촉진시켜 성숙을 좋게 하고 이 결과로 해조류 중심의 생태계 복원에 크게 기여하는 것으로 보고되었다.

2-2. 시비재 살포사업의 실태

2-2-1. 시비재 살포방법

현재 우라나라에서의 시비재 투입은 각 1개의 지점에 가로, 세로 20 m의 범위에 4톤의 시비재를 두께 5 ㎝ 정도로 선상에서 직접 뿌리는 방법과 마대에 담아서 마대째 시설하는 2가지 방법을 병행하고 있다. 여기서 입상제를 직접 뿌리는 방법은 빠른 기간내에 분산되거나 용해되어 버리고, 마대째 방법도 강한 파도와 조류에 의한 유실 우려가 높고 입상제 잔존기간이 짧아 사업효과에 영향을 주는 것으로 파악되고 있다. 특히 제주해역의 경우는 파랑 영향을 많이 받는 곳이라 강원도나 경상북도 해역에 비해 입상제 잔존기간이 짧은 문제를 안고 있다. 따라서 이들 문제의 개선을 통해 시비재 살포사업 효과를 제고할 필요가 있다(그림 2, 3).



그림 2. 시비재 제조에서 살포까지의 과정



그림 3. 시비재 살포방법과 살포 후 마대 분산과 이동

2-2-2. 시비재 살포사업 지역

우리나라에서 시비재 살포에 대한 정보 습득과 관심은 1990년대부터 시작된 일본의 시비재 사업효과가 알려지면서 비롯되어, 2003년에 민간업체에서 자체적으로 개발한 시비재를 이용하여 시범적으로 살포시험에 착수하게 되었다. 이 후 강원도에서 지자체 시범사업으로 2015년부터 시작되어 최근에는 규모적으로 추진되고 있으며, 경상북도와 제주도는 2016년부터 소규모적으로 시범사업으로 시행되고 있다.

한편 이들 3개 도의 사업지역은 갯녹음 현상이 다른 지역보다 두드러지게 발생하고 있는 해역이라는 특징을 갖고 있다. 이 중에서도 제주도는 조간대에서 조하대 수심 10 m 이내 얕은 해역에 집중적으로 갯녹음 현상이 발생하는 특징을 갖고 있어, 마을어장 해녀어업 소득자원이 소실되거나 감소하고 있는 실정이다.

참고로 한국수산자원공단에서 발표한 2019년 기준 전국 갯녹음 발생 면적을 보면, 강원도와 경상북도 지역이 주를 이루는 동해는 48.3%로 가장 높고 다음으로 제주가 33.3%로 뒤를 이으고 있으며, 남해와 서해는 각각 12.6%와 9.2%로 나타나고 있다.

2-3. 개발배경 및 국내외 연구사례

2-3-1. 개발배경

제주연안 마을어장은 기후변화에 따른 수온 상승과 육상오염원 유입 등으로 조간대에서 수심 10 m 이내 비교적 낮은 해역에 집중적으로 갯녹음이 발생하거나 진행 중에 있는 것으로 조사되어, 이러한 곳에서 서식하고 있는 해녀어업 소득원인 유용해조류 및 패류 자원이 소실되거나 점차적으로 감소 추세에 있다.

2007년부터 갯녹음 어장 복원을 위한 목적으로 중앙 및 지방 정부 차원의 바다숲(해중림) 조성사업이 추진되고 있으나, 어초(해중림초)를 활용한 방식을 채택하고 있다 보니 구조물의 안정성을 고려해 제주해역 갯녹음 발생 수심대와는 다른 깊은 수심대(10~15 m)에 조성사업이 이루어지고 있는 실정이다. 한편 제주 연안해역 수심 10 m 이상의 깊은 수심대에는 대부분 자연적 감태 등의 해조군락이 형성되어 바다숲(해중림) 조성 어초를 시설할 경우 감태 군락의 확산 효과는 있는 것으로 사료되나, 얕은 해역 갯녹음 어장을 대상으로 한 조성사업 모델 개발이 미진한 상태이다.

지금까지 얕은 해역을 대상으로 한 모델 개발 연구는 해양수산연구원에서 기질판을 이용한 종자 이식, 포자 살포, 모조주머니 설치, 경운(전석 뒤집기), 조간대 갯닦기 및 지충이 구제 등이 있으며, 최근에는 시비재(바다비료) 살포 사업이 제주시와 서귀포시에서 소규모로 이루어지고 있다.

2022년부터는 제주특별자치도에서도 마을어장을 대상으로 시비재 살포 사업을 규모적으로 시행할 계획에 있어, 시비재 살포 효과를 높일 수 있는 방안 마련과 운영의 체계화 확립이 시급한 실정이다.

시비재를 살포하는 목적은 해조 생태계를 구성하는 해역의 연안에서 영양염류가 부족하여 해조류의 생육이 부진하거나, 해중림초를 투하하거나 해중림초에 종자를 이식한 후 가입되는 추가 종자나 이식종자의 생육을 촉진시켜 빠르게 해조 생태계를 복원시켜 건강한 바다숲을 조성하는데 있다고 할 것이다.

현재 시비재 살포 사업은 강원도, 경상북도(울릉도) 및 제주도 연안 갯녹음 어장에서 추진되고 있으나, 입상 형태의 시비재를 코코넛 마대에 넣은 채로 투입되어 강한 파랑 영향을 많이 받는 곳에서는 마대가 유실되거나 입상제의 용해가 빠르게 진행되어 시비재 살포 효과가 떨어지는 문제가 발생하고 있다. 따라서 이들의 문제 해결을 통해 시비 효과를 높일 수 있는 방안으로 시비재가 장기간 안정된 상태에서 용출할 수 있는 형태로 개발할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 여기서 강한 파랑 및 조류에 의한 유실과 파손 우려가 적고 장기간 동안 시비재가 잔존할 수 있는 형태의 기법으로 이용할 수 있는 「바다 영양염(시비재) 용출 해조생육 블록」을 구상하여 갯녹음 발생 또는 진행되고 있는 해역에서의 해조장 재생을 도모하기 위한 기술개발에 착수하게 되었다.

2-3-2. 국내 · 외 사례

강릉대학과 국립수산과학원이 공동으로 보고한 시비재와 같은 성분의 해조증식용 도료를 인공어초에 코팅하여 해조류의 번식조장 효과를 연구하여 보고한 사례(강릉대, 2002)와 한국해양연구원(KORDI, 현 한국해양과학기술원, KIOST)이 갯녹음 현상에 대비한 해중림 조성 시험초 효과조사를 하면서 인공어초에 시비재 성분의 도료를 피복하여 갈조류의 가입 등 수산자원 조성효과를 보고자 한 연구(한국해양연구원, 2002)와 연안어장 복원을 위한 해조생장 촉진제 효과조사 연구(국립수산과학원, 2004), 해조류 시비재의 적정 시비효과 조사 보고서(국립수

산과학원, 2008) 및 시비재의 효과 및 살포시기의 적정성에 대한 검토 보고서(경상대학교, 2012)등이 있다.

이러한 연구보고서 가운데 살포시기를 제외한 대부분의 보고서는 시비재가 해조류의 현존량 증가 등 생육 촉진 및 번식에 상당한 효과가 있는 것으로 밝히고 있지만, 해조류의 생리·생태학적 관점에서 보았을 때 그 내용은 과학적인 논리를 결여하고 있는 것으로 생각된다. 이와 같은 관점에서 Kim과 Kim (2017)은 바다숲 조성을 위한 시비재의 활용에 관한 실험, 연구를 통해 시비재의 효과를 과학적으로 검증하기도 하였다. 따라서 시비재를 살포하는 목적은 해조 생태계를 구성하는 해역의 연안에서 영양염류가 부족하여 해조류의 생육이 부진하거나, 인공 조림초를 투하하거나 조림초에 종자를 이식한 후 가입되는 추가 종자나 이식종자의 생육을 촉진시켜 빠르게 해조 생태계를 복원시켜 건강한 바다숲을 조성하는데 있다고 말할 수 있다.

국외에서는 주로 갯녹음 복원대책으로서 일본을 중심으로 시비재와 관련한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 갯녹음 해역에 시비재를 살포할 경우 산호조류의 성장과 번무를 촉진시켜 갯녹음 회복에 오히려 역효과가 나타나는 것이 아닌가 하는 의문을 가질 수 있는데 Suzuki 등 (1995)의 연구보고에 의하면 북해도의 산호조 혹돌잎류(*Lithophyllum*)에 대한 다시마와 미역의 철 흡수량에 대한 비교실험에서 철분이 충분한 조건에서 혹돌잎속은 0.37±0.24 ㎟ 성장한 반면, 다시마는 33.8±9.0 ㎜, 미역은 48.1±4.9 ㎜ 성장하였다. 이 결과는 철분이 함유된 시비재를 공급하였을 때 산호조류의 성장은 미미한 상태로 큰 영향을 미치지 않지만 다시마와 미역의 성장에는 크게 영향을 미쳐 이들 해조류의 빠른 생장에 의해 바다숲이 빠르게 복원될 수 있음을 시사한 것이라 할 수 있다.

최근 일본에서는 댐후루보산철 연구회를 조직하여 해조장 복원사업을 진행하고 있는데 댐후루보산은 야산에서 댐으로 유입된 낙엽이 댐의 하부에 퇴적된 후 분해되면서 쌓인 부식물질(humic substance)을 댐후루보산(ダムフルボ酸=fulvic acid)이라 하여 이들 재료를 철과 결합시킨 시비재를 댐후루보산철이라 하여 갯녹음 해역의 저층에 매립해서 나오는 용출물질로 해조류의 번식 촉진을 도와 해조장 복원효과를 거두고 있는 것으로 보고되고 있다(그림 4, 藤本 等, 2011; 副嶋, 2011; 栗林과 赤池, 2011).



그림 4. 북해도 해안 댐후루보산 실증시험 전 해저(좌)와 재생된 해조군락(우)

(사진제공 : (株) 渋谷潜水工業)

3. 바다 영양염(시비재) 용출 해조생육 블록 개발

3-1. 구상 · 설계 및 블록 제작

현재 시비재 살포사업은 선상에서 마대채로 수중에 떨어뜨려 잠수부가 마대를 원하는 위치로 옮겨 주변에 있는 작은 돌로 지탱하는 방식으로 추진되고 있다. 이러한 방법은 파도와 조류 영향 등이 적은 해역에서는 시비효과가 나타날 수 있으나, 제주해역과 같이 강한 파도와 조류 등의 영향을 많이 받는 곳에서는 마대 유실, 이동 및 훼손 등의 우려가 있으며, 특히 시비재 용출 기간이 매우 짧아 시비효과가 미비할 수 있다는 보고가 있다. 해역별 시비재 용출 기간을 보면 강원도에서는 3~4개월 정도이고 제주에서는 이 보다 짧은 2~3개월이면 입상제 전부가 용해되어 실체가 없어지고 있다. 또한 시비재 살포 대상 갯녹음 해역인 경우는 마대 시설 주변 암반이 무절산호말류로 대부분 자리 잡고 있어, 해조류 포자 안착이 쉽지 않아 해조장 조성에 제한이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이들의 문제와 제한 요인을 극복하기 위해 다음과 같은 사항에 착안을 두어 「바다 영양염(시비재) 용출 해조생육 블록」을 구상하였다.

가. 마대 유실, 이동 및 훼손 방지를 위해 마대 충전 공간 확보
나. 용출 기간을 길게 하기 위해 제한된 용출구 확보
다. 시비재 용출과 병행 해조류 포자 안착 및 생육 공간 제공
라. 강한 외부압력(파랑, 조류 등)에 견디기 위해 외부 저항면적 최소화

마. 해저 지형 형태에 따라 단위 및 집단 시설이 용이한 구조 확보

위의 사항에 적합한 구조물의 설계를 추진하여 1차적으로 거푸집과 시제품을 제작하여 검토한 결과, 구조물 상부와 하부를 연결·고정하는데 기술적 어려움이 있는 것으로 판단되어 하부 부분을 개선한 최종 바다 영양염(시비재) 용출 해조생육 블록(이하, 해조생육 블록이라 칭함)이 탄생하였다(그림 5~7).

1차 시제품의 개선 부분은 상부와 하부 블록 내부가 대부분 비어 있는 상태라 기술적으로 연결·고정이 되더라도 강한 외력이 작용하게 되면 분리될 우려가 높다는 전문가의 의견이 많아, 하부 블록을 없애고 육각형 모양의 받침대로 대체하였다. 받침대로 대체한 결과, 전체적인 블록의 높이는 낮아지고 하부 지탱면이 넓어지면서 강한 외력에도 블록의 안정성이 확보될 것으로 판단되었다. 블록의 재질은 현재는 시멘트, 모래와 산호사로 구성되어 있으나, 향후 현무암 가루를 첨가하는 등 친환경 소재로 바꿔 나갈 계획에 있다. 받침대 포함 블록의 전체 크기는 높이가 31 cm이고 받침대의 가장 바깥 폭은 60 cm로 블록 1개당 시설면적은 0.55 ㎡가 된다.

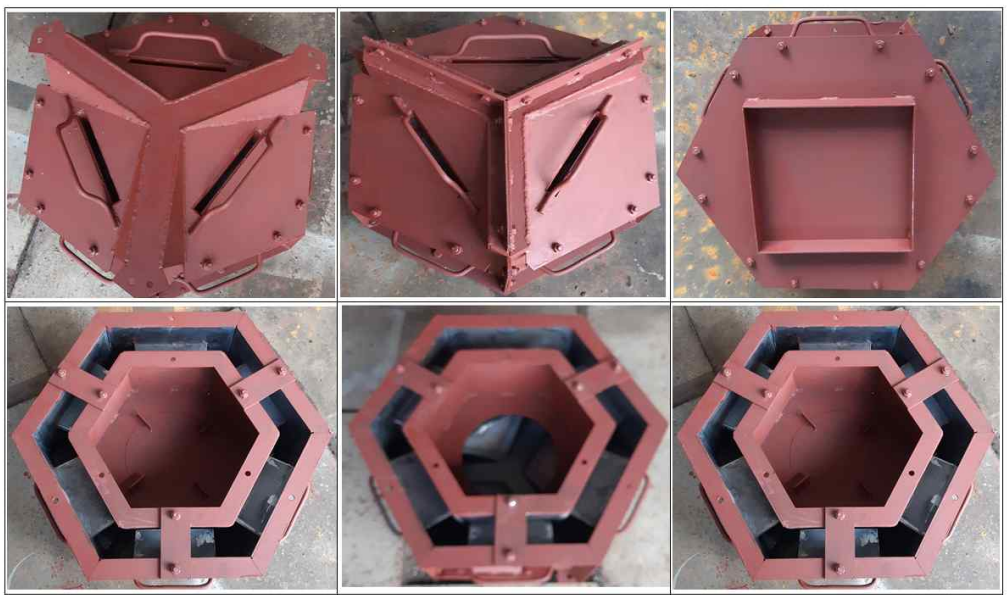
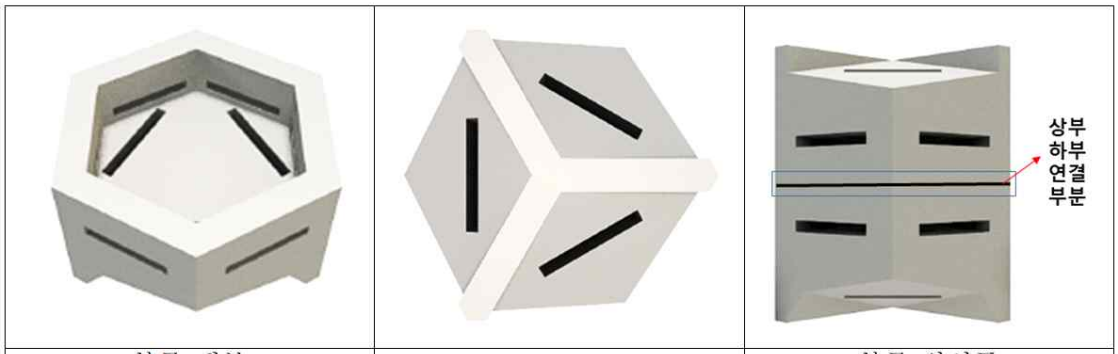


그림 5. 3종류의 블록 설계 및 거푸집 제작



블록 내부 (영양염 충전 공간 및 측면 검정 부분은 해수 주입구)	블록 외부 (검정 부분 : 영양염 용출구)	블록 완성품 (상부와 하부 같은 형태의 구조물 연결・고정 부분)

그림 6. 1차적으로 고안한 해조생육 블록의 형태



블록 내・외부(1차와 동일)	블록 받침대(하부 교체)	블록 최종 완성품

그림 7. 1차 블록을 개선하여 완성된 형태의 해조생육 블록

3-2. 해조생육 블록 시험 설치

해조생육 블록 개발은 ㈜동성해양개발과 2021년 6월에 공동연구 협약을 체결하여 추진하고 있으며, ㈜동성해양개발은 2000년 초반부터 시비재에 대한 특허출원 및 자체 시험사업을 통해 시비재에 대한 기술을 꾸준히 발전시켜 온 기업이다.

해양수산연구원은 개발과정에 있는 해조생육 블록의 시설효과 분석을 위해 자체에서 제작한 블록을 시설지역으로 육상 운반하여 카고크레인으로 해상에 투입 후, 잠수부가 시설구역까지 수중 이동하여 해저 지형에 맞도록 집단 및 분산 형태로 블록을 안착시켰다.

블록 투입 어장은 제주시 평대리 마을어장으로 이곳은 방파제로부터 카고크레인으로 블록을 수중으로 투입이 가능하여 투하 전용 선박이 필요하지 않고, 사전 적지조사 결과 갯녹음 현상이 진행되면서 평암반과 모래가 혼재되어 있는 등의 조건

이 갖추어진 곳이다. 시험해역의 수심은 만조 기준 5~6 m 정도로 맞추었는데 이는 해녀 어업소득원으로 이용되고 있는 우뭇가사리 자원의 주 분포 수심대로 알려져 있기 때문이다. 궁극적으로 이 블록의 목표로 하는 해조장 조성의 주 대상품종은 모자반류를 포함한 우뭇가사리류가 최적일 것으로 여겨지고 있다.

시험 투입 물량은 33개로 1차적으로 12개는 2021년 11월 29일에 투입되었고, 나머지 21개는 동년 12월 23일에 투입되었다. 투입 블록 중 각도 30° 날개형은 14개, 각도 90° 날개형은 12개이며 나머지 7개는 무 날개형 블록이다. 한편 투입 당일에는 해당 마을어장 어촌계장, 잠수회장 및 어업인들이 참석하였고, 이들에게 사업경위 및 향후 계획에 대해 설명회를 개최하였다(그림 8).

해조생육 블록 설치는 사전에 적지조사한 구역으로 수중에서 이동시킨 후 10개 이상의 블록을 연결·조립하는 방식의 집단 투입과 4개 정도의 분산 투입 방식으로 구분하여 집단과 분산 형태에 따른 시설 안정성 및 해조장 조성 효과를 검토할 계획이다. 설치 구역의 해저 지질은 평암반과 평암반과 연결된 모래 지역으로 이루어져 있다. 한편 영양염이 있는블록과 비교구인 영양염이 없는 블록은 시험구 블록 설치 구역에서 30 m 정도 떨어진 외각에 설치하여 영양염 공급의 유·무에 따른 효과를 분석할 계획이다(그림 9).



그림 8. 해조생육 블록 제작에서 투하까지의 과정



그림 9. 시험해역에 해조생육 블록 설치 형태

4. 사업 추진에 따른 전반적 고찰

4-1. 영양염(시비재)에 관한 기술적 과제

4-1-1. 목표농도의 설정

해조의 생육에 필요한 영양염 농도의 정보가 부족하기에 농도의 목표를 설정하기가 어렵다. 우선 갯녹음 해역에서 영양염의 부족이 우려되는 경우, 수질조사를 실시하여 부족한 영양염의 성분을 파악할 필요가 있으며, 해조는 조체 표면에서 영양염을 흡수하기에 유속이 빠를수록 영양염을 취하는 양도 많게 된다. 따라서 적지 선정 시 조류나 유속을 측정하여 그에 맞는 농도 값을 산정해야 한다.

4-1-2. 영양염 종류의 선정방법

해조의 생육에 필요한 목표농도가 명확하지 않기에 영양염을 선정하기 힘든 상황이지만 부족한 질소, 인과 철에 대해서 어떤 영양염을 공급하면 좋을지 결정해야 한다. 일반적으로 연안해역은 질소와 인보다 철이 많이 부족하다고 알려져 있어, 연안역 갯녹음 어장 복원을 위해서는 철 성분의 영양염 공급이 우선되어야 한다.

4-1-3. 적절한 투입 시기

해조는 대부분 수온이 낮은 동계에서 춘계에 걸쳐 급속하게 성장한다. 영양염 적기에 관한 연구사례는 적으나, 우뭇가사리의 생육 촉진 측면에서만 보면 영양염 공급은 수확 전 30~40일 정도가 좋다는 사례도 있으나, 대상 해조류의 생활사를 파악하여 영양염이 부족한 시기와 발아・성장하는 시기를 종합적으로 검토할 필요가 있다. 한편 일본의 연구사례(藤本 등, 2011)에 의하면 영양염 공급이 지속적으로 가능하다면 해조가 발아하는 시기부터 성장까지 이어지는 것이 효과가 높다는 보고가 있다.

따라서 본 연구에서 대상하는 모자반류의 경우는 종에 따라 약간 차이가 있으나, 생활사 측면에서 3월부터 익년 2월까지 영양염 공급이 이루어지는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 그리고 우뭇가사리의 경우는 7월부터 익년 4월까지가 되겠다.

한편 동계는 해수의 상하 혼합이 그 어느 시기보다 활발하기에 영양염이 부족하지가 않다. 반면 해조가 크게 성장하는 동계에서 춘계는 식물플랑크톤 대량 발생에 의해 해역의 영양염이 고갈하기 시작하기 때문에 이러한 현상도 이해하여 영양염

공급 시기를 검토해야 한다. 단 경합하는 해조가 분포할 경우, 대상종의 생활사뿐만 아니라 경합종의 생활사도 고려하지 않으면 경합종이 우점해 버리기도 하기에 유의할 필요가 있다.

4-1-4. 영양염 투입량

무기태의 영양염을 용출하는 고형시료나 액체시료에서는 그 용출속도나 유출유량을 토대로 이류나 확산에 의한 농도의 희석을 예측하여 시비의 영향 범위를 파악할 필요가 있다. 해당 해역의 유속을 실측하여 3차원 확산 시뮬레이션을 실시하는 것이 바람직하나, 간단한 계산 등으로도 투입량의 목표를 산출하는 것도 가능하다.

시비재로부터 용출한 영양염은 해중에서는 바로 희석되어 혼합되기에 희석을 전제로 한 시비량을 구할 필요가 있다. 여기에서 간단한 岩井의 확산 방정식의 해석법을 사용하여 시비에 의한 영양염 농도의 대략적인 값을 구하는 방법을 소개한다. 식에는 제2종 BESSELK 관수가 포함되어 있으나, 엑셀 관수의 BESSELK(값, 차수)을 사용하여 차수를 0로 하면, 임의의 x, y지점의 농도가 산출 가능하다.

$$S = \frac{q \cdot \exp\left(\frac{ux}{2K}\right)}{2\pi H} \cdot IK_0\left[\frac{u}{2K}\sqrt{x^2 + y^2}\right]$$

S	임의 지점의 농도 (mg/l)
q	용출속도 (g/sec)
H	수심 (m)
K	수평방향의 확산 계수 (㎡/sec)
u	평균유속 (m/sec)
x, y	원점으로부터의 거리 (m)
IK0[x, y]	제2종 BESSELK 관수

또한 확산계수 K (㎡/sec)는 현지에서 유속을 측정하여 결정하는 것이 바람직하나, 구할 수 없는 경우에는 기존의 문헌에서 구할 수 있다. 村上(1983)는 조류를 이류라고 한 경우에 수심 6~7m에서의 수평 확산 계수를 0.134~0.317 ㎡/sec로

하고 있다. 이러한 계산식을 바탕으로 20 m(수직방향, 남북)×40 m(수평방향, 동서) 범위에 필요로 하는 영양염의 양은 1일 40 kg로 상정하면 충분할 것으로 판단되며, 1일 40 kg 용출 시 흐름의 하방으로는 100 m까지 확산이 가능하여 영양염 투입 효과가 폭 넓게 나타날 수 있다(그림 10). 이와 더불어 영양염이 해조의 발아에서부터 성장에 이르기까지 영향을 주기 위해서는 일반적인 해조의 생활사를 고려한다면 최소 6개월은 용출이 지속되어야 한다.

따라서 개소별 20 m×40 m 범위 기준 영양염 투입 물량은 7,200 kg로 산정되며, 현재 제주도에서 사업적으로 사용하고 있는 20 kg용 마대 기준인 경우에는 투입어장에 360마대를 투입하며 적당할 것으로 사료된다.

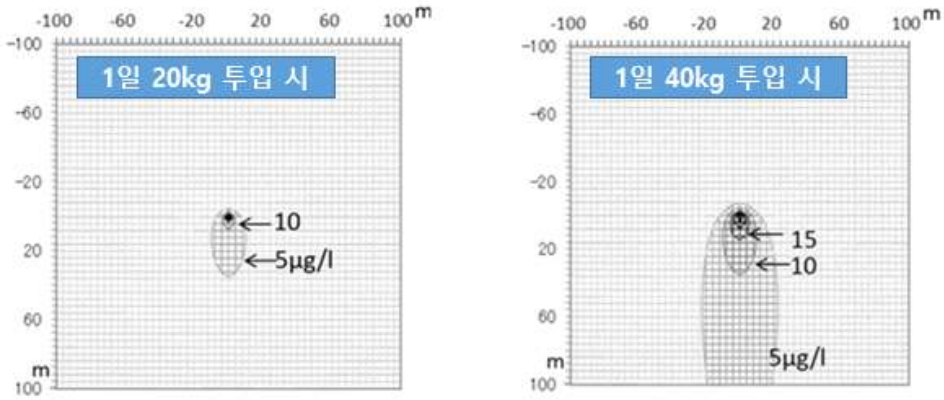


그림 10. 영양염 투입에 따른 시뮬레이션에 의한 확산 범위(村上, 1983)

4-1-5. 효과의 지속기간

액비의 경우는 투입이 계속되지 않으면 효과는 지속되지 않지만, 고형시료와 같은 느슨한 효과가 있는 시료에서는 단위 시간당 용출량은 많지 않고 장기간 지속해서 조끔씩 용출하게 된다. 일반적으로 고형시료는 수온이나 유속에 따라 용출량은 변화한다. 수온이 높고 유속이 비교적 빠른 경우에는 용출속도가 빠르고, 수온이 낮고 유속이 늦은 경우에는 용출농도는 낮지만 장기간 지속된다. 설치한 영양염의 효과가 언제까지 지속되는가에 대해서는 예비조사나 용출시험을 하여 사전에 예측해 둘 필요가 있다. 설치 후는 영양염 농도가 높은 것을 확인하여 효과가 없어지게 되면 추가적으로 공급하는 것도 계획할 필요가 있다.

4-1-6. 저서생물에의 영향

시비재에서 용출한 영양염은 해중에서 희석되기 때문에 필요한 농도에 장기간 지속시키기 위해서는 대량의 시비재를 투입하지 않으면 안된다. 예를 들어 시료로써 암모니아태 질소를 고밀도로 사용하면 그 독성으로 저서생물에 악영향을 미치는 위험성이 있다. 독성 위험성이 예상되는 경우 시비재의 배치와 국소적으로 고밀도가 되지 않도록 배려할 필요가 있다.

4-1-7. 효과의 검증방법

시비재의 효과를 확실하게 파악하기 위해서는 육상 오염원의 영향, 유동이나 조식동물 밀도 등이 시비구와 비슷한 해역을 대조구로 선정하여 시비의 효과나 영양염 농도의 관리를 해야 한다.

4-2. 영양염 공급 사업의 목표 달성을 위한 과정

기본적으로 해역의 영양염 실태를 파악하는 것으로부터 시작된다. 갯녹음 해역과 그 주변 해조장에서 정기적으로 수질조사를 실시하여 양쪽을 비교하게 되면 갯녹음 해역에서 부족한 성분을 파악할 수 있다. 다음으로 목표농도와 영양염 공급 범위를 설정하고 영양염 종류를 선정한다. 여기서 영양염의 종류는 일본의 사례에서도 찾아볼 수 있듯이 질소와 인의 공급보다는 철 중심의 공급이 주를 이루고 있다. 그리고 영양염의 용출속도를 확인하여 영양염의 공급 목표(목표농도)를 유지하기 위해 필요한 영양염의 투입량을 설정한다.

목표농도를 유지 가능한 목표가 세워진 경우는 현지에서 영양염 공급 시험을 실시하고, 정기적인 수질조사로부터 목표농도를 확인한 후 목표농도가 확보되지 않았을 경우에는 투입량을 변경한다.

목표농도가 유지 가능한 목표가 세워진 경우는 현지에서 영양염 공급 시험을 실시하고 정지적인 수질조사에서 목표농도를 확인 후 목표농도가 확보되지 않았을 때는 영양염 공급 투입량을 변경한다.

영양염 공급 기간 수료 후 해조의 번무기에 모니터링을 실시한다. 해조가 번무하지 않는 경우는 갯녹음의 지속요인이 영양염 부족과는 다른 요인이 작용할 가능성이 높기 때문에 대책을 새롭게 수립해야 한다. 해조가 번무한 경우는 사업화를 위해 영양염 공급 범위 확대에 의한 경제성(비용 대비 효과)을 검토한다(그림 11).

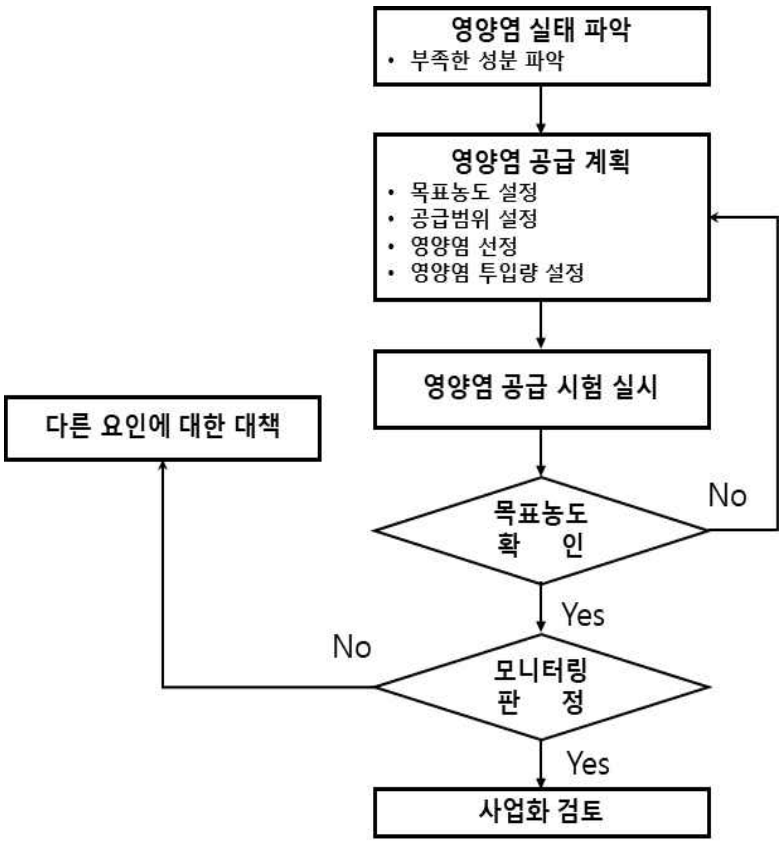


그림 11. 영양염 공급 사업화를 위한 흐름도

5. 마무리

해조장에서는 광 조건과 유동 환경이 시시각각 변화하고 식해를 받기도 하고 토사 등의 유입에 의한 피해라든지 여러 가지 외압이 해조장에 작용하고 있다. 이처럼 변동하는 환경 중에서 영양염은 수온과 마찬가지로 가장 기초가 되는 환경요인이지만 현장에서의 자료 획득이 어렵고 특히 정밀한 계획이 수립되어져 있다고 해도 현장여건에 따라 완전한 실행이 곤란하다.

여기서 영양염 공급은 지금까지 비용 대비 효과가 명확하지 않고 성과가 있더라도 국소적인 경우가 많아 본격적인 사업화에는 이르지 못하고 있다. 따라서 영양염 공급이 사업이 지속적으로 이루어지기 위해서는 비용 대비 효과가 나타나야 한다. 최근 일본 등 외국에서는 과학적인 근거에 바탕을 두어 영양염 공급 사업이 추진되고 있다. 또한 수온상승과 영양염 농도의 저하는 각지에서 진행되고 있고, 해조장 감퇴에 더욱 영향을 끼치고 있을 가능성이 높기 때문에 향후에도 해조의 성장과 영양염(시비)의 관계에 대한 연구가 계속되어야 한다.

연안역의 용존태 철 농도는 질소나 인에 비교하면 대단히 낮지만 외양의 철 농도에 비해서는 높은 것도 사실이다. 이러한 관점에서 연안역에서의 철이 부족한 갯녹음 해역을 선정하여 영양염 공급 사업을 추진하는 것은 바람직하다고 사료되며, 금년도부터 본격적으로 추진 중에 있는 해조생육 블록의 효과 검토를 통해 제주연안 갯녹음 어장 복원을 위한 가장 효율적인 모델로 확립시켜 나갈 계획에 있다.

6. 참고문헌

강릉대학교. 2002. 해조증식용 용재(도료)의 효과조사연구. 평화인쇄 강릉 43pp.

한국해양연구원. 2002. 백화현상에 대비한 해중림 조성 시험초 효과조사. 38pp.

Anderson MA. 1982. Morel FMM. The influence of aqueous iron chemistry on the uptake of rion by the coastal diatom *Thalassiosira weissflogii*, Limnol. Oceanogr. 27, 789-813.

DeBoer JA. 1981. Nutrients. In Lobban CS, Wynne MJ (eds.),The Biology of Seaweeds, Blackwell-Scientific Publications. Oxford. 356-391.

Matsunaga, K., Y. Suzuki, K. Kuma and I. Kudo. 1994. Diffusion of Fe(II) from an iron propagation cage and its effect on tissue lron and pigments of macroalgae on the cage, J. Appl Phycol. 6, 394-403.

Millero F.J. 1998. Solubility of Fe(III) in seawater. EPSL 154, 323-329.

Sivertsen, K., Overgrazing of Kelp Beds along the Coast of Noway. J Appl Phycol. 18, 599-610.

Sophie B and Ce' cile G. 2006. Atmospheric forcing on the annual iron cycle in thewestern Mediterranean Sea: A 1-year survey, J Geophys. Res. 111, C09010,.

Suzuki Y, Kuma K and Matsunaga K. 1995. Bioavailable iron species in seawater measured by macroalga (*Laminaria japonica*) uptake. Marine Biology. 123, 173-178.

山本俊夫. 1960. 海藻の化学的研究(その7), 海藻中の鉄含有量について.日本化学雑誌, 81(3), pp.384-388.

山田信夫. 1967. 寒天原藻テングサ類の施肥に関する研究. 静岡水…試伊豆分場研報. 32, pp.1-96.

村上和男. 1983. 潮流の観測と解析，第19回水工学に関する夏期講習会講演集. B8-1~B8-27.

横浜市公害対策局. 1985. 水質汚濁・土壌汚染に係る環境影響評価，指導・審査マニュアル.

宗林由樹. 2005. 海洋深層水の微量元素 駿河湾，海と湖の化学，pp.130-136.，京都大学出版会

和西昭仁・佐藤利幸・平澤敬一. 2005. 周防灘．瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測30 年成果集.独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内水産研究所.pp. 114-159.

海の森づくり推進協会. 2009. 海洋施肥と海の森づくり. 海の森づくりシンポジウムVI.要旨集. 17pp.

水田浩之. 2010. 栄養塩，藻場を見守り育てる知恵と技術.pp.51-54, 成山堂書店.

ダムフルボ酸鐵研究會. 2010. 鐵含有物質と腐植物質などを用いた磯焼け回復法實用化技術開發. NC電源開發株式會社報告書日本. 109pp.

藤本健一郎·加藤敏朗·植木知佳·堤 直人. 2011. 製鐵副生スラグによる海の森づくり(藻場造成技術開發). 新日鐵技報. 391, 206-209.

副嶋正巳. 2011. 環境中の腐植物質~沿岸生態系修復技術における腐植物質の役割. 東大增毛セミナー. 26pp.

栗林貴範·赤池章一. 2011. 海洋還境シリーズ. 藻場再生へのチャレンジ-貧榮養海域榮 養鹽添加試驗-. 北海道水産試驗場. 北水試だより. 82, 11-12.

赤池章一·吉田秀嗣施. 2011. 施肥とウニ除去による磯焼け漁場藻場再生調査.

中嶋泰. 2011. 北海道磯焼け對策連絡會議結果概要.

吉田吾郎・新村陽子・樽谷賢治・浜口昌巳. 2011. 海藻の一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビュー.水研センター研報.34，pp.1-31.

제주 지역 수산 종자 방역검사 및 입식 현황

유은호 · 부민진 · 이지혜 · 양혜영 · 원승환

Ⅰ. 서 론

제주도의 해양 조건은 쿠로시오 난류의 영향을 주로 받고 있으며 제주 북동쪽 및 동남쪽 연안을 중심으로 연중 17℃를 유지하는 지하해수가 발달하여 넙치양식에 적합한 환경을 갖고 있다. 이와 같은 조건을 바탕으로 1980년대 후반부터 육상수조 방식에 의한 양식기술 도입되어 제주도에서의 넙치 생산량은 1990년 800톤에서 2020년 23,246톤으로 크게 증가하였고 현재는 넙치양식을 주도하고 있다.

우리나라의 양식 어류 전체 생산량은 2020년도 기준 882백톤으로 그 중 양식 넙치 생산량이 438백톤 49.6%로 가장 많이 생산되고 있으며 제주도는 234백톤으로 전국 넙치 생산량의 53%를 차지하고 있다.

제주 양식 넙치 생산량 추이는 2010년 220백톤 전국 생산량의 54.4%, 2015년 271백톤 59.8%, 2019년 228백톤 51.6%으로 매년 전국 생산량의 50~60%정도의 생산량을 유지하고 있으며 제주도의 주요 양식 어종인 넙치의 경우 전체 입식량 84백만마리 중 67%인 57백만마리가 제주도에 입식되었다(통계청, 2021).

그렇지만 넙치 폐사량은 2015년 6,769톤에서 2020년 7,716톤으로 생산량의 약 30% 내외를 점하고 있으며 200g 이하의 치어기에 폐사율이 가장 높게 나타나며 어체중이 증가함에 따라 폐사율이 감소하는 경향이며(Shim at al., 2019) 안정적인 양식생물 생산을 위한 수산종자의 입식 전 방역관리의 중요성은 계속하여 증가하고 있다.

제주도에서는 넙치 양식 산업의 지속 발전을 위해 전염병의 사전 예방과 차단을 위해 전국에서 최초로 입식 전 수산 종자에 대한 전염병 검사를 「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성 검사에 관한 조례」에 따라 2002년부터 시행해오고 있다.

검사항목은 수산생물질병관리법에서 정해진 3종 전염병인 바이러러스성출혈성패혈증(VHS)와 참돔이리도바이러스(RSIVD)이며 이 전염병은 치어기의 감염되었을 경우 큰 피해를 줄 수 있는 전염병으로 알려져 있다

제주도에 주로 입식되는 넙치과, 가자미과, 돌돔과 등 수산종자의 사전 전염병 검사를 통해 전염병의 유입 및 확산을 방지하고 건강한 수산종자의 입식을 지원하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

본 조사 연구는 「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성 검사에 관한 조례」에 따른 수산 종자 방역 검사 현황을 토대로 제주지역 육상양식장에 입식되는 제주도 내·외 수산 종자 검사 의뢰 건수, 결과 등 방역 검사 현황을 토대로 최근 5년간 입식 시기, 원산지 등을 분석하였다.

방역 검사 현황 조사 및 검사 방법

수산 종자의 원산지, 계절에 따른 입식량, 수산 종자 품종 등은 「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성 검사에 관한 조례」 신청 서식에 기록된 사항을 취합한 후 분석하였다.

방역 검사 적용 대상 양식용 수산 종자 품종은 넙치과, 가자미과, 돌돔과, 도미과, 바리과로 방역 검사 항목은 수산생물질병 관리법에 명시된 수산생물전염병 26종 중 참돔이리도바이러스병(Red Seabream Iridoviral Disease, RSIVD)과 바이러스성 출혈성패혈증(Viral Hemorrhagic Septicemia, VHS)에 대한 검사를 실시하였다. 도내·외 반출입 전 수산 종자 30 ~ 60마리를 무균적으로 해부하여 신장과 비장을 적출한 후 수산생물병성감정 실시요령 (국립수산물품질관리원, 2021)에 따라 유전자 증폭 검사를 실시하였다.

RNA와 DNA 추출은 RNeasy Pluse Mini Kit (Qiagen, Hilden, Germany)과 QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, Venlo, Netherlands)를 사용하였으며, cDNA 합성은 Superscript Ⅲ Reverse Transcriptase (RT; Invitrogen, Waltham, MA, USA)를 사용하였다. 추출된 RNA 시료는 spectrophotometer를 이용하여 260 nm의 흡광도를 측정한 후 -80℃에 보관하였다. cDNA 합성은 추출된 total viral RNA와 specific primer인 VN forward prime를 혼합하여 95℃에서 5분간 유지시킨 후 reverse transcription mixture containing 200 U/μL Superscript Ⅲ RT (Invitrogen, USA), 0.5

mM dNTPs, and 0.05 M DTT in 1×first strand buffer를 혼합하였다. 이 후 혼합된 mixture를 25℃에 10분, 50℃에 50분 incubation 하고, 85℃에 10분간 가열하여 합성을 완료하였다.

이후 합성된 cDNA와 genomic DNA의 증폭은 2 μL cDNA, 15 pmol primer, 10 mM dNTP Mix, 5 U/μL DiastarTM Taq DNA polymerase (Solgent, Korea), 10×Taq reaction buffer (25 mM MgCl2 mixed) 그리고 5×Band DoctorTM를 혼합한 후 수산생물병성감정 실시요령에 따라 검사를 실시하였다(Table 1).

Table 1. PCR에 사용된 유전자 증폭 primer와 PCR condition

Primers			Primers sequences	size (bp)	PCR condition
RSIVD	RSIVD1	Forward	5'-CTCAAACACTCTGGCTCATC-3'	570bp	94℃(5') 94℃(30")58℃(1')72℃(1')-30cycles 72℃(5')
		Reverse	5'-GCACCAACACATCTCCTATC-3'		
	RSIVD4	Forward	5'-CGGGGGCAATGACGACTACA-3'	568bp	
		Reverse	5'-CCGCCTGTGCCTTTTTCTGGA-3'		
VHSV	VHS	Forward	5'-GGGACAGGAATGACCATGAT-3'	505bp	50℃(30') 95℃(15') 94℃(30")60℃(30")68℃(1') - 35cycles 68℃(7')
		Reverse	5'-TCTGTCACCTTGATCCCCTCC-AG-3'		

Ⅲ. 결 과

1. 방역 검사 신청 현황 분석

최근 5년간 방역검사 신청 건수는 1,286건으로 그 중 도외에서 생산된 수산 종자 방역 검사 건수는 808건, 도내에서 생산된 수산 종자 방역검사 건수는 478건이었으며(Fig. 1.) 검사 결과 바이러스성출혈성패혈증이 2020년 도외생산종자에서 1건, 2021년 도내생산종자에서 1건 검출되었으며, 참돔이리도바이러스병 양성 검출 건수는 없었다(Table 2.).

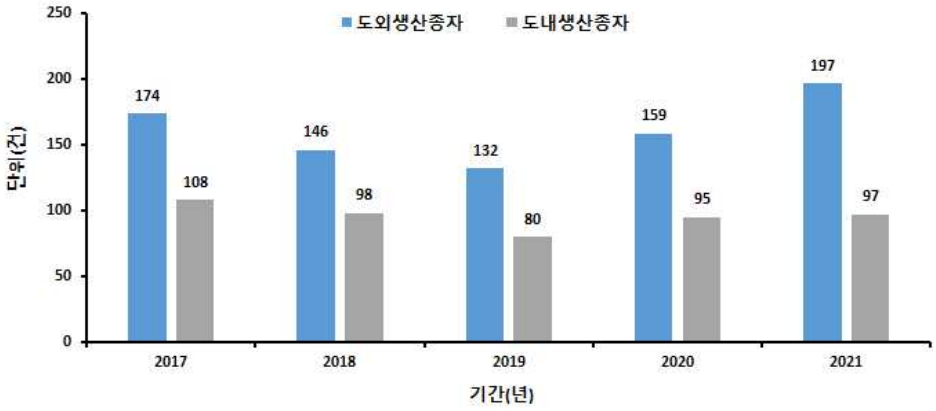


Fig. 1. 최근 5년간 양식용 수산 종자 입식 전 방역 검사 현황(2017~2021)

Table 2. 양식용 수산 종자 입식 전 방역 검사 결과 (최근 5년)

구 분		계	2017년 건수	2018년 건수	2019년 건수	2020년 건수	2021년 건수
계	적합	1,284	282	244	212	253	293
	부적합	2	-	-	-	1	1
도외 생산 종자	적합	807	174	146	132	158	197
	부적합	1	-	-	-	1	-
도내 생산 종자	적합	477	108	98	80	95	96
	부적합	1	-	-	-	-	1

2. 시기, 연도별 방역검사 신청 현황 분석

2021년도「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성검사에 관한 조례」에 따른 방역 검사 신청 건수는 294건이며, 방역 검사 신청 수량은 110,809천마리였다. 수산 종자 방역 검사 신청 내용으로 추정해본 월별 주 종자 생산 시기는 도내 수산 종자의 경우 4월(9,340천마리), 5월(12,950천마리), 9월(9,600천마리), 10월(10,570천마리)에 연중 생산량의 51%가 생산되었으며, 도외 수산 종자의 반입은 4월(6,020천마리), 7월(2,950천마리), 10월(2,874천마리), 11월(3,470천마리)에 연중 반입량의 55%가 반입되었다(Table 3.).

Table 3. 월별 양식용 수산 종자 방역 검사 신청 건수

구 분		계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
계	건수 (개소)	294	10	20	15	38	28	27	28	7	13	37	40	31
	마리수 (천마리)	110,809	3,890	4,440	9,210	15,360	15,310	8,240	8,250	4,850	10,150	13,444	7340	10,325
도외 생산 종자	건수 (개소)	197	6	16	10	32	11	17	22	5	6	25	30	17
	마리수 (천마리)	27,924	490	3,640	900	6,020	2,360	2,720	2,950	550	550	2,874	3,470	1,400
도내 생산 종자	건수 (개소)	97	4	4	5	6	17	10	6	2	7	12	10	14
	마리수 (천마리)	82,885	3,400	800	8,310	9,340	12,950	5,520	5,300	4,300	9,600	10,570	3,870	8,925

또한, 최근 5년간 수산 종자 입식 현황을 보면 2021년 방역 검사 신청 건수는 294건으로 2020년 검사 건수에 비해 40건 증가하였으며, 방역 검사 신청량 또한 14,634천마리 증가하였다. 이러한 결과는 도외생산 수산종자 방역검사 신청건수가 2020년 158건(20,775천마리)에서 2021년 197건(27,924천마리)건으로 증가하였으며 5,000천마리 이상 수산 종자를 생산한 도내 생산업체의 방역 검사 신청 건수가 47건(72,480천마리)으로 2020년 33건(64,760천마리)에 비해 증가한 원인으로 분석되었으며, 5,000천마리 이상 생산한 도내 종자 생산업체의 방역 검사 신청량은 도내 생산전체 신청량의 87%를 차지하고 있다(Table 4.).

Table 4. 연도별 방역검사 신청건수 및 신청량 (2017~2021)

구 분		계	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
계	건수	1,285	282	244	212	253	294
	마리수 (천마리)	475,678	110,200	84,372	74,140	96,157	110,809
도외생산 종자	건수	807	174	146	132	158	197
	마리수 (천마리)	115,479	30,570	19,250	16,960	20,775	27,924
도내생산 종자	건수	478	108	98	80	95	97
	마리수 (천마리)	360,199	79,630	65,122	57,180	75,382	82,885

3. 도외생산 수산종자 원산지별 신청현황 분석

도외에서 생산된 수산 종자 방역 검사 현황 분석 결과 2021년 수산 종자 검사가 신청된 지역은 전남, 충남, 경남, 전북, 인천, 경북 지역이었으며, 그 중 전남지역이 약 60%인 118건으로 가장 많이 신청되었다. 경남지역의 경우 12건으로 지난해 22건에 비해 감소 하였다. 강원 및 경기 지역에서는 제주도내로 2017년 이후 반입된 수산종자는 없는 것으로 확인되고 있으며 최근 5년간 도외 생산 수산 종자 신청이 가장 많이 된 지역은 전남지역으로 약 50%인 410건이 신청된 것을 확인할 수 있었다 (Table 5.).

Table 5. 최근 5년간 원산지별 양식용 수산 종자 방역 검사 신청 건수 (2017~2021)

구 분	계	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
계	807 (115,259)	174 (30,570)	146 (19,030)	132 (16,960)	158 (20,775)	197 (27,924)
강원지역	1 (130)	1 (130)	-	-	-	-
경기지역	2 (300)	2 (300)	-	-	-	-
경남지역	77 (8,490)	6 (1,600)	21 (1,795)	16 (2,020)	22 (2,005)	12 (1,070)
경북지역	5 (1,330)	-	1 (90)	-	3 (1,000)	1 (240)
인천지역	10 (2,040)	4 (1,320)	2 (120)	-	-	4 (600)
전남지역	410 (54,200)	79 (12,360)	63 (8,720)	77 (7,965)	73 (10,525)	118 (14,630)
전북지역	62 (12,580)	20 (3,820)	6 (1,580)	15 (2,745)	10 (1,685)	11 (2,750)
충남지역	240 (36,189)	62 (11,040)	53 (6,725)	24 (4,230)	50 (5,560)	51 (8,634)

4. 어종별 방역검사 신청현황 분석

2021년 도내·외 방역 검사 신청에 따른 어종별 건수는 대부분 넙치 입식을 위한 방역 검사로서 251건으로 85%이상을 차지하였으며 2020년 91%비해 방역검사 신청 비율이 감소한 것으로 확인되었다. 광어 외 어종인 강도다리의 경우 37건으로 작년 20건에 비해 크게 증가하였다(Table 6.).

2017년도부터 2021년도까지 강도다리 입식을 위한 방역검사 신청건수는 90건으로 32,760천마리에 대한 검사가 이루어졌으며 연도별 분석결과 2017년 14건(4,330천마리), 2018년 11건(3,490천마리) 2019년 8건(3,190천마리), 2020년 20건(6,750천마리) 2021년 37건(15,000천마리)로 확인되었다.

Table 6. 최근 5년간 양식용 수산 종자 어종별 방역 검사 현황 (2017~2021)

구 분	계	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
계	1,285 (475,678)	282 (110,200)	244 (84,372)	212 (74,140)	253 (96,157)	294 (110,809)
넙 치	1,183 (439,153)	264 (105,250)	237 (79,522)	201 (70,580)	230 (89,132)	251 (94,669)
돌 돔	23 (2,470)	3 (590)	1 (300)	2 (280)	1 (200)	5 (1,100)
강도다리	90 (32,760)	14 (4,330)	11 (3,490)	8 (3,190)	20 (6,750)	37 (15,000)
터 봇	2 (70)	1 (30)	-	-	-	1 (40)
붉 바 리	3 (165)	-	-	1 (90)	2 (75)	-

5. 월별 출하 및 수산종묘 입식현황 분석

도내 양식의 출하 동향과 방역 검사 현황을 분석해 보면 양식 넙치 출하량이 많았던 시기는 3월과 9월로 각각 2,130톤과 2,096톤이 출하되었으며 양식용 수산 종자 방역 검사 건수 및 신청량은 봄철인 4월과 5월 그리고 가을철인 9월과 10월에 집중되어 있는 것으로 확인되었다. 이는 4월과 5월 중 양식넙치 출하 증가가 종자 입식에도 영향을 준 것으로 분석된다(Table 7.).

Table 7. 2021년도 도내 양식 넙치 출하 동향 및 양식용 수산 종자 방역 검사 현황

구 분		계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
출하 현황	내수 (톤)	21,057	1,473	1,657	2,130	1,961	1,845	1,574	1,593	1,615	2,096	2,005	1,517	1,591
	수출 (톤)	1,431	103	109	130	92	76	62	96	125	108	148	158	224
도외 종자 방역 검사	계	22,488	1,576	1,766	2,260	2,053	1,921	1,636	1,689	1,740	2,204	2,153	1,675	1,815
	건수 (개소)	197	6	16	10	32	11	17	22	5	6	25	30	17
	마리수 (천마리)	27,924	490	3,640	900	6,020	2,360	2,720	2,950	550	550	2,874	3,470	1,400
도내 종자 방역 검사	건수 (개소)	97	4	4	5	6	17	10	6	2	7	12	10	14
	마리수 (천마리)	82,885	3,400	800	8,310	9,340	12,950	5,520	5,300	4,300	9,600	10,570	3,870	8,925

6. 지역별, 크기별(cm) 종자 입식 현황 분석

크기별 종자 입식현황을 보면 전체 10 cm이하의 종자 입식을 위한 방역검사가 133개소(81,970천마리)에서 전체 입식량중 약 74%로 가장 많았으며, 10~15 cm미만 67개소(17,044천마리), 15~20 cm 66개소(8,755천마리) 20 cm이상 28개소(3,040천마리)로 확인되었다.

지역별 입식현황으로는 동부지역(서귀포시 동 ~ 조천읍)의 경우 10 cm 이하의 종자가 주로 입식되고있으며 반면 서부지역(애월 ~ 대정)의 경우에서는 15 cm 이상의 중간육성어 입식비율이 높게 나타나는 것으로 확인되었다(Fig. 2). 이는 고수온기 및 가을철 여윔증상으로 인한 피해로 10 cm 이하의 치어보다는 15 cm이상의 중간육성어가 선호되는 것으로 사료된다.

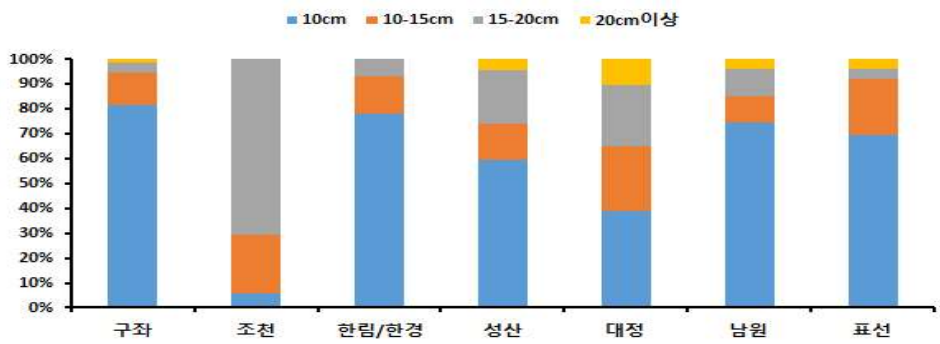


Fig. 2. 2021년도 지역별, 크기별(cm) 종자 입식현황

Ⅳ. 고 찰

이번 조사 에서는 2017년부터 2021년 12월까지 제주지역에 대한 수산종자 입식전 방역검사 결과를 토대로 연도별 방역검사 결과, 월별 신청건수, 원산지별 검사 신청량, 어종, 크기별, 지역별 입식량에 대한 조사를 실시하여 제주지역에 입식되는 종자 생산 동향을 양식 어업인들에게 제공하여 효율적인 양식생물 생산 및 입식계획을 수립할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성 검사에 관한 조례」에 따른 수산종자 방역검사는 넙치과, 가자미과, 돌돔과, 도미과, 바리과에 대해 수산생물질병관리법에 명시된 수산생물 전염병 26종 중 3종 전염병인 참돔이리도바이러스병(Red

Seabream Iridoviral Disease, RSIVD)과 바이러스성출혈성패혈증(Viral Hemorrhagic Septicemia, VHS)에 대한 검사를 실시 하였으며 2017년부터 2021년까지 총 1,286건의 검사를 실시하였고 그 중 적합은 1,284건 부적합은 2건으로 확인되었다. 부적합의 경우에는 바이러스출혈성패혈증이 2020년 1건, 2021년 1건, 총 2건이 검출되었으며 참돔이리도바이러스의 경우에는 부적합 건수는 없었다.

방역검사 신청 서식에 기록된 사항을 취합하여 분석해본 결과 월별 주 종자 생산 시기는 봄철인 4~5월과 가을철인 9~10월경 연중 생산량의 51%가 입식되고 있음을 확인할 수 있었으며 2021년 5,000천마리 이상 수산종자를 생산한 도내 수산종자 생산업체는 27개소로 전체 방역검사 신청량의 87%를 차지하고 있었다.

도외 생산종자 원산지의 경우 전남, 충남, 경남, 전북, 인천, 경북, 경기 강원지역 순으로 확인되었으며 최근 5년간 도외 생산 수산종자 방역검사 신청이 가장 많은 지역은 전남지역으로 전체 신청건수 중 50%인 410건으로 확인되었다

크기별로는 10 cm이하의 종자 입식을 위한 방역검사가 74%로 가장 많았으며 10 – 15 cm, 15 – 20 cm, 20 cm이상 순으로 방역검사 신청이 이루어졌고 지역별 입식 현황으로는 동부지역(서귀포시 동~ 조천읍)의 경우 주로 10 cm미만의 종자가 입식되고 있었으며 서부지역(애월~대정)의 경우 15 cm이상의 중간육성어 입식 비율이 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

어종별 분석 결과 대부분 넙치 입식을 위한 방역검사로서 1,183건으로 최근 5년간 방역검사 신청량 중 92%를 차지하고 있었다. 넙치의 경우 2020년 91% 비율을 차지하고 있었으나 2021년 85%로 감소하는 경향을 보이고 있으며 광어 외 어종인 강도다리의 검사 신청건수가 2017년 이후 매년 꾸준하게 증가하는 것으로 확인할 수 있었다. 이는 최근 여윔증 피해 및 기생충성 질병에 보다 강한 강도다리에 대한 양식어가의 관심 증가가 원인으로 판단되며 향후 강도다리에 대한 질병 현황 및 관련 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Ⅴ. 참고문헌

국립수산물품질관리원. 2021. 질병별 병성감정 세부실시 요령. 수산생물병성감정지침서.

제주어류양식수산업협동조합. 2021. 2021년도 활넙치 출하동향. 연도별 출하량 통계. http://www.jaf-suhyup.co.kr/index.jsp.

제주특별자치도. 2021. 제주지역 양식 광어 생산량. 2021년도 해양수산현황. 108-113.

김위식, 김석력, 박명애, 이준수, 시티샤 에분제, 김도형, 오명주. 2013. 기후변화에 기인한 연안 수온상승에 따른 연안 어류의 바이러스성 질병 발생 예측. 한국수산과학회지, 46(5), 582-588.

장민석. 2019. 넙치(paralichthy olivaceus)양식장에서의 viral hemorrhagic septicemia (VHS) 발생 특성. 박사학위논문, 부경대학교. 부산. 대한민국.

Kim IW, Cho MY, Lee NH, Han HJ, Oh YK, Lee SJ, Jee BY, Myeong JI and Won KM. 2012. Diagnosis Case of Viral Hemorrhagic Septicemia (VHS) in Adult Olive Flounder Paralichthys olivaceus. Kor J Fish Aqua. 45(6), 666-67.

Cho MY, Park GH, Jee BY and Kim JW. 2010. Statistical data on fish virus of cultured olive flounder, Paralichthys olivaceus from 2005 to 2007. J Fish Pathol 23, 155-162

Park KP, Jun LJ, Kim SM, Park MA, Cho MY, Hwang SD, Park SH, Jeong HD and Jeong JB. 2015. 2015 Monitoring of VHS and RSIVD in cultured Paralichthys olivaceus of Jeju in 2015. Korean J Fish Aquat Sci 49(2): 176-183.

Shim JD, Hwang SD, Jang SY, Kim TW, Jeong JM. 2019. Monitoring of the mortalities in oliver flounder (Paralichthys olivaceus) farms of Korea. Jouranl of Fish Pathology. Jun 30, 2019 32(1): 29-35.

옥소린산(Oxolinic acid) 경구투여에 따른 넙치(*Paralichthys olivaceus*)체내 잔류특성 연구

양혜영 · 오지학 · 배서영 · 유은호 · 원승환

Ⅰ. 서 론

제주도 양식산업의 규모는 2020년 기준 제주도 전체 수산업 조수입 1조3,198억원 가운데 2,951억원(22.3%)이고 그 중 제주 넙치 양식산업의 비중은 2,738억원으로 92.8%를 차지하고 있다. 또한 도내 양식 넙치 생산량은 2000년 10천톤, 2010년 22천톤, 2020년 23천톤으로 증가해 왔고 전국 양식 넙치 생산량의 53%이상('20년 기준)을 차지하고 있으며(해양수산현황, 2021) 국내 최대 넙치 생산지로써 어류양식 산업 발전에 중요한 역할을 담당하고 있다.

그러나 고수온·저염분수 및 태풍 등 환경적인 영향이나 양식환경의 노후화, 여윔증상 등 수산생물의 질병 유입 및 확산으로 폐사량 또한 2010년 5.3천톤, 2015년 6.8천톤, 2020년 7.7천톤으로 꾸준히 증가하고 있어 양식산업에 위협 요소가 되고 있다. 따라서 폐사량에 영향을 미치는 복합감염이나 치료제가 불분명한 질병 발생에 대한 양식현장에서의 정확한 질병 진단 및 안전한 약품사용 등이 더없이 중요해지고 있는 실정이다.

국내에 승인된 수산용의약품은 항병원성약(항균·항생물질, 구충제), 소화기계작용약, 대사성약, 생물학적제제(백신), 비뇨생식기계작용약, 신경계작용약, 외피작용약, 의약외품, 보조적의약품 등으로 약효 분류가 되어있다(NIFS, 2020a). 이들 수산용의약품 중 양식현장에서 가장 중요한 의약품은 항생제 및 합성항균제이며 이들 약제의 오남용은 식품위생학적 측면에서 안전성 문제를 유발한다. 수산용 약품의 다양화 및 사용빈도 증가, 휴약기간 미준수로 인한 약제의 오남용은 약물의 잔류, 내성균의 증가, 숙주 동물의 생리적 부작용 등으로 질병치료에 어려움을 겪는다(Jung *et al.*, 2004). 특히 동물용 항생제는 사람에게 사용되는 것과 달리 규제가 까다롭지 않아 남용에 의한 항생제 내성균 발현을 촉진 시킬 수 있으며, 실제로 국내 유통 중인 양식 넙치에서 검출된 비브리오균(28균주)의 71.4%

가 다제내성을 갖고 있는 것으로 보고된 바 있어(한국소비자보호원, 2002) 안전한 약제 사용 관리가 필요한 실정이다.

우리나라는 식품 안전을 제고하고 국민의 건강 위해를 방지하기 위해 225종의 동물용의약품 잔류허용기준(MRL, maximum residue level)을 정하여 관리하고 있으며, 그 중 수산용은 50종이 있다(MFDS, 2021). 또한 2024년부터는 수산물을 대상으로 허용물질목록관리제도(Positive List System, PLS) 도입을 앞두고 있어 안전관리가 강화되는 추세이다. 식품의약품안전처에서 국내 유통 식품 대상으로 수행한 동물용의약품 잔류실태조사(Jung, 2004; Lee, 2005; Lim, 2007; Kim *et al.*, 2010)에 따르면 국내 수산물의 동물용의약품에 대한 잔류 위해성은 안전한 수준이라고 보고하였지만 유통 중인 수산물 대상으로 모니터링 실시 결과 양식넙치에서 옥소린산 잔류기준 초과 1건이 있었고(Jang *et al.*, 2018) 유통 전 단계 양식 수산물에서 옥소린산이 가장 많이 검출되었다고 보고(Lee *et al.*, 2020)된 경우가 있어 양식 수산물 품질관리 강화 및 양식현장에서의 안전한 약제 사용 지도가 필요하다.

옥소린산은 뛰어난 살균 효과를 나타내며 다른 항생제에 간섭영향을 받지않고 어류 장관에서 흡수될 때에 사료 분해 산물에 영향을 받지 않아(Inglis and Richards, 1991) 수산용으로 많이 사용하고 있다. 현재 국내에서 수산용으로 허가된 옥소린산은 24개 제품이 있으며 송어・연어, 방어, 뱀장어, 은어, 잉어에 대한 사용법・용량 및 휴약기간을 제시하고 있으나 넙치에 대해서는 사용기준이 제시되어 있지 않다(NIFS, 2020b).

옥소린산에 대한 약물동태학적 연구는 연어(Samuelsen *et al.*, 2000), 무지개송어(Hustvedt and Salte, 1991), 대구(Samuelsen, 2006), 돔류(Rigos *et al.*, 2004) 등에서 선행된 사례가 있고, Jung *et al.*,(2009, 2010)의 넙치에 대한 약물동태학적 연구가 있으나 비가식 부위인 혈청에 대해서만 분석하여 식품 안전성을 고려했을 때 가식부위에 대한 추가적인 잔류특성 연구가 필요하다고 사료된다.

따라서 이번 연구에서는 옥소린산을 경구투여 하였을 때 넙치의 근육과 껍질, 간 및 혈장 4개 부위를 대상으로 시간의 경과함에 따라 잔류량의 변화를 LC-MS/MS로 분석하였다. 그리고 이를 토대로 양식현장에서 안전하고 효율적인 약제사용 지도 및 제주 넙치가 안심먹거리로 소비 시장에 출하될 수 있도록 휴약기간 설정 등 안전사용 기준의 기초자료로 활용하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험어 및 시약

이번 연구에 사용된 넙치 *Paralichthys olivaceus*는 광어연구센터에서 사육실험을 위해 생산한 실험어 가운데 항생제 투여 이력이 없는 개체를 선발하였다. 선발 개체는 평균체중 0.5 kg ± 0.1 kg 150마리씩 2개 그룹, 1.0 kg ± 0.2 kg 100마리씩 2개 그룹으로 선별하여 유수식 수조 4개에서 4일간 순치하였고, 실험기간 동안 100% 지하해수를 사용하여 평균수온은 18℃로 일정하게 유지되었다. 분석에 사용된 항생제 표준품 옥소린산(Oxolinic Acid, 이하 OA)은 Dr.Ehrenstorfer (Germany)를 사용하였으며, 이동상 제조를 위한 아세토니트릴, 증류수는 LC-MS grade (Merck, Germany)로 사용했고 삼염화초산은 특급, 기타 시약은 Fisher사 (USA) 제품으로 사용하였다.

2. 약제 투여 및 시료채취

넙치 내 OA 잔류량을 분석하기 위해서 1일 2회, 7일간 연속 경구 투여하였고 투여 용량은 허가된 임상용량(100 ㎎/㎏ B.W.)과 임상용량의 2배에 해당하는 양(200 ㎎/㎏ B.W.)으로 투여하였다. 이는 정확한 투여 용량을 지키기 어려운 양식현장의 여건을 고려하였다. 약제와 배합사료는 시판제품을 사용하여 혼합 후 투여하였고 급이 후 30분 이내에 모두 섭취하는 상태를 기준으로 하였다. 약제사료 급이 종료 후에는 2 ~ 3일 간격으로 65일간 3마리씩 채취하여 분석 시 까지 냉동보관(-80℃) 하였다. 잔류분석을 위한 어체 부위는 근육, 껍질, 간 및 혈장을 분석에 사용하였다(FIg. 1).

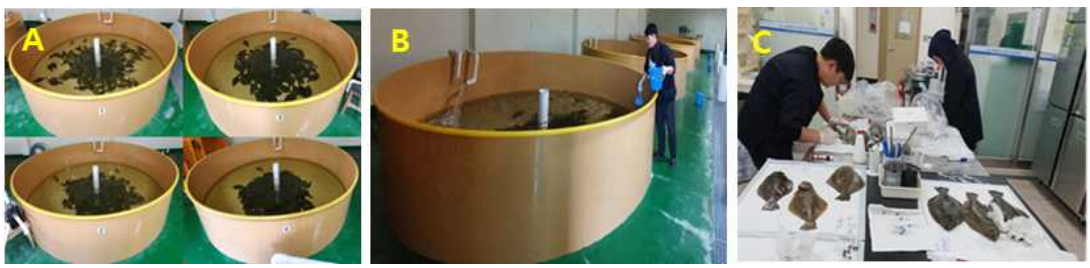


Fig. 1. 사육 실험어 준비. A: 그룹별 유수식 사육수조 준비, B: 7일간 옥소린산 경구투여, C: 약제 투여 종료 후 어체 부위별 시료채취(근육, 껍질, 간, 혈장)

3. LC-MS/MS를 이용한 정량분석

1) 시료 내 OA 추출

넙치 조직중의 OA는 삼염화초산을 가하여 아세토니트릴로 추출한 뒤 헥산을 이용하여 액-액 분리하였으며 추출방법은 Fig. 2에 나타내었다. 즉, 균질화한 검체 1 g을 50 ㎖ 원심분리관에 취하고 2.5% 삼염화초산 1 ㎖을 가한 후 3분간 다용도혼합기(ANY-MV2500, Anylab)를 이용하여 혼합한다. 그리고 아세토니트릴 15 ㎖을 가하고 진탕기(SR-1, TAITEC)를 이용하여 10분간 진탕한다. 추출액을 5,500 RPM에서 15분간 원심분리한 후 상층액을 새로운 50 ㎖ 원심분리관에 취하고 아세토니트릴포화헥산 15 ㎖를 가하여 다용도진탕기(VM-M1, Anylab)로 격렬하게 진탕 후 헥산층을 제거하였다. 에세토니트릴층만 취해 50℃ 이하에서 질소농축기(Evatros-C, Goojung)로 건고하고 0.1% 개미산 수용액 1 ㎖에 녹여 정용한 후 0.2 ㎛ syringe filter로 여과하여 LC-MS/MS에 주입하였다.

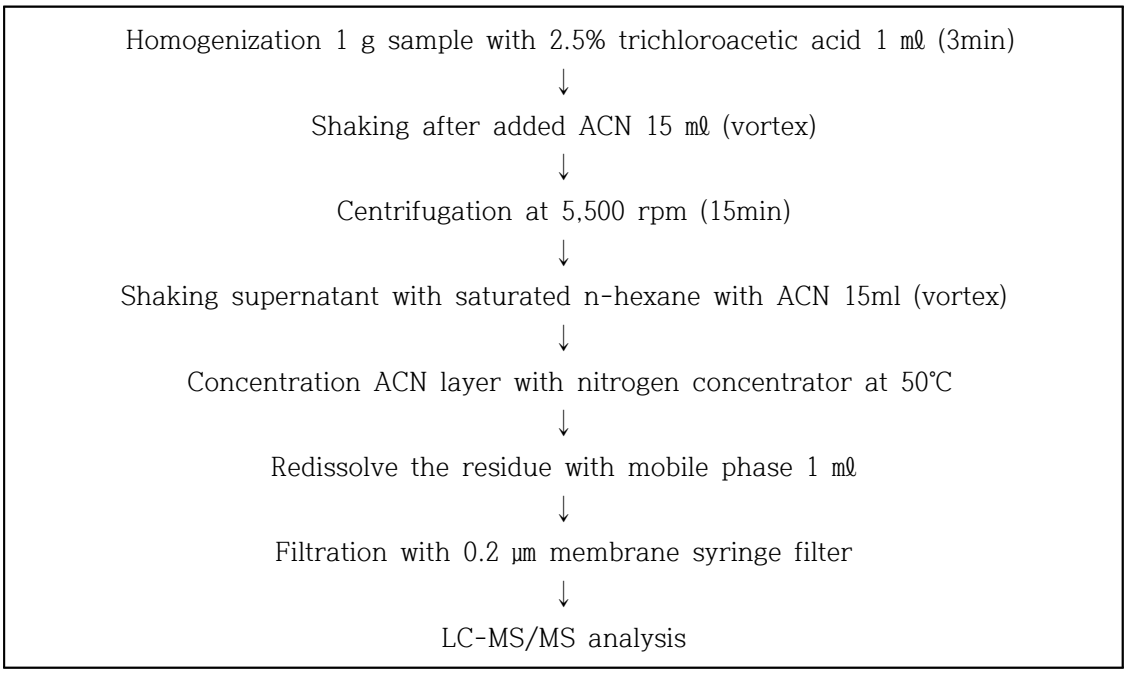


Fig. 2. 넙치(Olive flounder) 시료에서 옥소리산 추출 과정

2) LC-MS/MS 분석조건

조직 내 OA 잔류량 분석은 액체크로마토그래프(Waters AQUITY UPLC series, USA)와 질량분석기(Waters Xevo-TQ-S, Electrospray Ionization-Triple Quadrupole MS, USA)를 검출기로 사용하였다. 질량분석기의 양이온(positive) 모드에서 선구

이온(Precursor ion)을 검출하고 최적화된 충돌에너지(collision energy)로 생성 이온(product ion)을 탐색하여 정성 및 정량 이온을 결정하는 multiple reaction monitoring (MRM)으로 분석조건을 확인하였다(Table 1).

Table 1. 옥소린산 정량분석을 위한 LC-MS/MS 기기 분석 조건

Parameter	Conditions		
UPLC	Waters ACQUITY UPLC series		
Mass Spectrometry	Waters Xevo-TQ-S ESI triple quadrupole MS		
Column	2.1 ㎜ x 50 ㎜, 1.7㎛ C_{18} (ACQUITY Waters)		
Column temperature	40℃		
Mobile phase	A : 0.1% formic acid in water		
	B : 0.1% formic acid in acetonitrile		
Gradient	Time (min : sec)	A(%)	B(%)
	0:0 ~ 0.5	95	5
	4:0 ~ 7.0	0	100
	10:00	95	5
Run time	10 min		
Flow rate	0.4 ㎖/min		
Injection volume	10 ㎕		
Ionization mode	Positive (+) ion electrospray		
Gas temperature	450℃		
Nebulizer gas flow	10.8 ℓ/min		
Nebulizer gas pressure	100 psi		
Collision voltage	20 eV		
Scan type	Multiple Reaction Monitoring (MRM mode)		
	Precursor ion (m/z)	product ion (m/z)	Collision energy (eV)
	262.05	244.1 / 216.1	25 / 38

3) 표준곡선 작성 및 회수율

표준원액은 OA 표준품을 정밀히 달아 1,000 ㎎/ l 농도가 되도록 50% 메탄올에 용해시켜 조제 하였고 이 용액을 0.001, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1 ㎎/ l 농도가 되도록 이동상으로 단계희석하여 표준곡선을 작성하였다. 회수율은 OA 표준용액을 0.01 ㎎/㎏의 농도로 넙치의 근육과 껍질, 간 및 혈장에 spiking 한 후, 위의 전처리 과정을 거친 후에 LC-MS/MS로 측정하였다. 측정된 시료의 정량이온 면적을 검량선에 대입하여 함량을 계산하였고 추출액은 3회 반복하여 얻어진 분석값의 상대표준편차(RSD, Relative Standard Deviation)로 재현성 및 정밀성을 계산하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 표준곡선 및 회수율

OA의 표준용액을 이동상으로 단계희석 한 후 LC-MS/MS로 분석하여 얻어진 정량이온의 peak 면적값의 비를 이용해 표준곡선을 작성한 결과, 각 농도에 따라 peak 면적의 넓이가 비례하여 상관계수(r^2)는 0.999의 직선성을 나타내었다(Fig. 3).

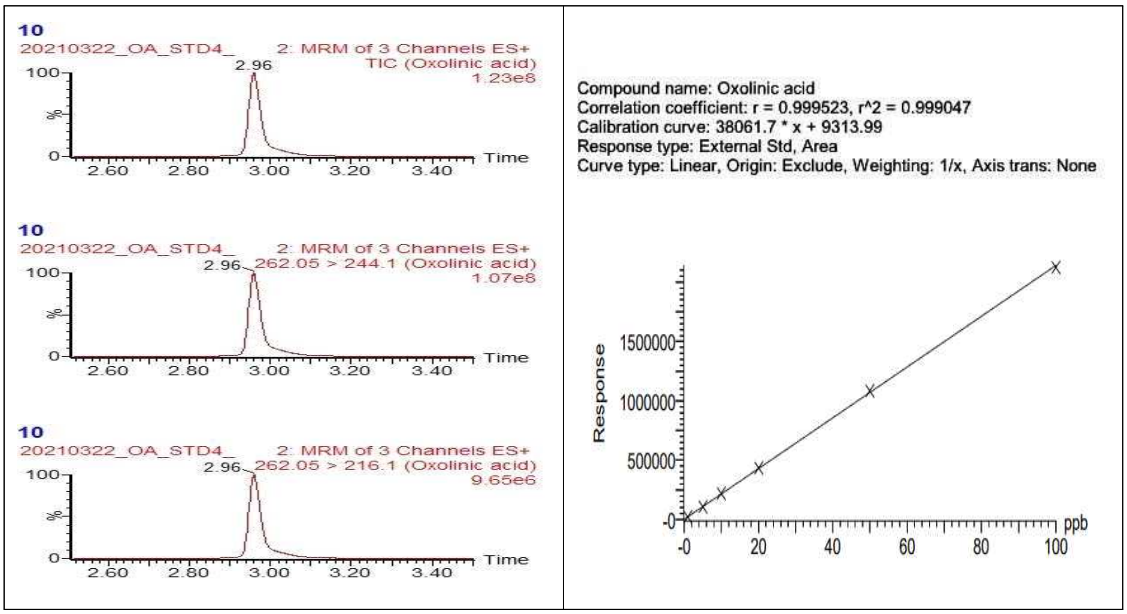


Fig. 3. LC-MS/MS를 이용한 옥소린산 표준물질의 크로마토그램 및 표준곡선

회수율 확인을 위해서 OA 표준용액을 조직에 0.01 ㎎/㎏ 농도로 첨가하여 위 전처리방법으로 추출한 결과 근육/껍질/간/혈장에서 각각 103.9, 89.0, 90.0, 97.6%로 CODEX 가이드라인(CCRVDF CAC/GL 71-2009)에 충족하는 결과를 나타내었다(Table 2).

Table 2. LC-MS/MS를 이용한 넙치의 옥소린산 회수율 및 정량한계

Compound	Sample	Fortified Concentration (㎎/㎏, ppm)	Recovery(%) (Mean ± SD, n=3)	CV(%)	LOQ (㎎/㎏)
Oxolinic acid	Muscle	0.01	103.9 ± 4.7	4.5	0.0001
	Skin	0.01	89.0 ± 7.0	7.9	0.0002
	Liver	0.01	90.0 ± 1.5	1.7	0.0002
	Plasma	0.01	97.6 ± 4.4	4.5	0.0001

2. 어체 크기 및 투여농도에 따른 OA 잔류특성

OA의 임상투여 농도인 100 ㎎/㎏ B.W. 및 이의 2배 농도인 200 ㎎/㎏ B.W.로 넙치에 7일간 경구투여 후 시간 경과에 따른 근육, 껍질, 간 및 혈장 내 OA의 경시적 농도변화를 Fig. 4에 나타내었다.

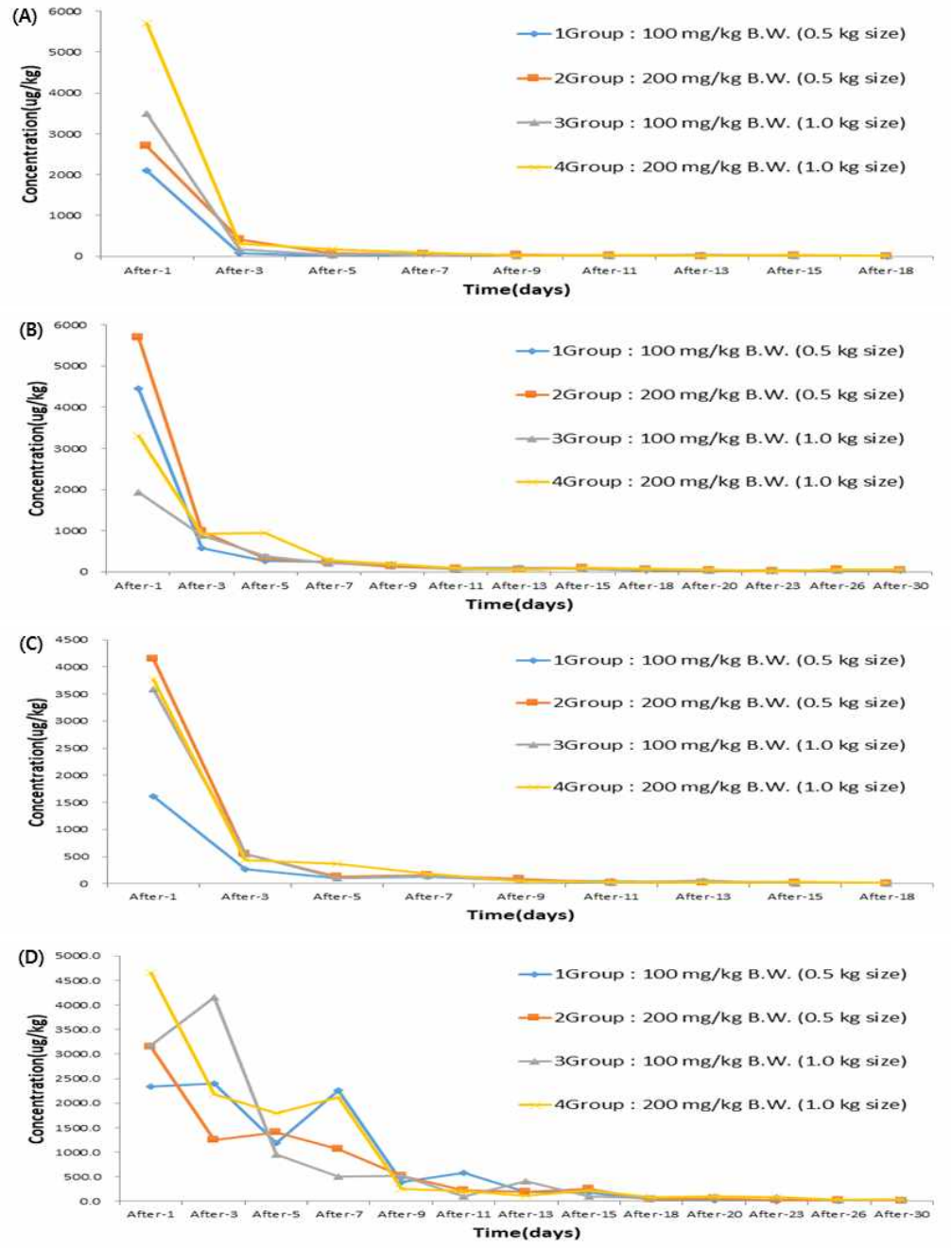


Fig. 4. 옥소린산 경구투여 후 시간경과에 따른 넙치 체내 부위별 잔류농도변화. A: 근육, B: 껍질, C: 간, D: 혈장)

먼저 시간 경과에 따른 근육 내 OA의 잔류농도는 투여종료 1일 후에 모든 시험구에서 최고치를 보였으며 1그룹(100 ㎎/㎏ B.W., 0.5 ㎏ size)은 2,100 ㎍/㎏, 2그룹(200 ㎎/㎏ B.W., 0.5 ㎏ size)은 2,700 ㎍/㎏, 3그룹(100 ㎎/㎏ B.W., 1.0 ㎏ size)은 3,500 ㎍/㎏, 4그룹(200 ㎎/㎏ B.W., 1.0 ㎏ size)은 5,700 ㎍/㎏의 농도를 보인 후 점차 감소하였다(Fig. 4A). 1그룹은 3일째부터 2, 3그룹은 5일째 부터 잔류허용기준 이하로 검출되었고 4그룹은 투여종료 7일째부터 잔류허용기준 이하로 측정되었으며 18일 이후부터 각 그룹에서 2.0, 2.2, 4.0, 3.9 ㎍/㎏로 PLS 기준인 10 ㎍/㎏ 이하인 불검출 수준으로 측정되었다.

경구 투여 후 시간 경과에 따른 껍질 내 OA의 잔류농도 또한 투여종료 1일 후에 모든 시험구에서 최고치를 보였으며 1그룹은 4,450 ㎍/㎏, 2그룹은 5,700 ㎍/㎏, 3그룹은 1,933 ㎍/㎏, 4그룹은 3,305 ㎍/㎏의 농도를 보인 후 점차 감소하였다(Fig. 4B). 4개 그룹 모두 11일째부터 잔류허용기준 이하로 측정되었고 측정 종료일인 70일째까지 각 그룹에서 14.2, 21.7, 17.1, 23.8 ㎍/㎏의 농도로 PLS 기준인 10 ㎍/㎏ 이상으로 지속적인 잔류 경향을 나타냈다.

시간 경과에 따른 간의 OA의 잔류량 변화는 투여종료 1일 후에 모든 시험구에서 최고치를 보였으며 1그룹은 1,610 ㎍/㎏, 2그룹은 4,150 ㎍/㎏, 3그룹은 3,590 ㎍/㎏, 4그룹은 3,370 ㎍/㎏의 농도를 보인 후 7일째에는 각 133, 165, 143, 181 ㎍/㎏까지 점차 감소하였다(Fig. 4C). 9일째부터 잔류허용기준 이하로 측정되었으며 18일 후에는 검출되지 않았다.

시간 경과에 따른 혈장 내 OA의 잔류농도 변화는 Fig. 4D에 나타내었다. 1, 3그룹은 투여종료 3일 후에 2,395 ㎍/㎏, 4,154 ㎍/㎏ 으로 최고치를 보였고 2, 4그룹은 3,146 ㎍/㎏, 4,654 ㎍/㎏으로 투여종료 1일 후에 최고치를 보였다. 이 후 점차 감소하여 18일째부터 각 그룹에서 45.8, 32.0, 72.7, 91.4 ㎍/㎏로 잔류허용기준 이하로 측정되었으며 65일 이후부터 각각 4.6, 5.8, 8.1, 8.8 ㎍/㎏의 농도로 PLS 기준인 10 ㎍/㎏ 이하까지 감소하였다.

3. 가식부(근육, 껍질) 내 잔류량 분석에 의한 휴약기간 설정

OA를 넙치의 경구투여에 따른 적정 휴약기간 탐색을 위해 Withdrawal- time calculation Program (Hekmen, WT1.4)을 활용하여 가식부위 조직의 잔류량을 바탕으로 계산한 결과 근육에서는 12일, 껍질은 18일로 나타났다(Fig. 5).

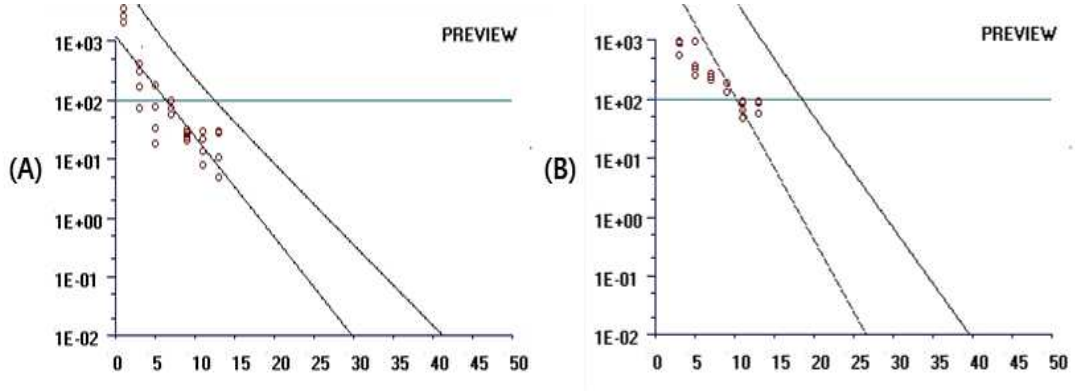


Fig. 5. 넙치의 가식부위별 옥소린산 휴약기간 탐색 결과. A: 근육, B: 껍질

Ⅳ. 고 찰

옥소린산은 수산양식에서 발생하는 수산질병 치료와 예방을 목적으로 다양하게 사용되고 있다(Kim *et al.*, 1998). 옥소린산은 nalidixic acid의 유도체로 박테리아의 DNA 복제기능 저해하여 세포분열을 억제로 살균효과를 보이며, 다른 항생제에 내성이 생긴 세균에 대한 항균력이 우수하고 자체 내성뿐만 아니라 교차내성도 없는 퀴놀론계 항균제이다(Jeong and Chun, 1992). 그리고 옥소린산은 생체내에서의 배출 속도가 다른 항생제보다 빠른 것으로 보고 되고 있다(Jacobsen, 1989; Hustvedt *et al.*, 1991).

양식 넙치의 주요 생산지인 제주, 완도지역에서 주로 사용하는 수산용 항균항생제는 amoxicillin, oxytetracycline, florfenicol, neomycin 그리고 oxolinic acid 순으로 조사되었고(Jee *et al.*, 2014), 동물용의약품 판매실적 보고(농림축산식품부, 2021)에 따르면 옥소린산은 수산양식 현장에서만 사용하고 있는 것으로 확인하였다. 이에 따라 양식현장에서 약제를 적절하게 사용하고 식품으로 안전한 넙치 생산을 목적으로 옥소린산을 경구투여 했을 때 가식부위인 근육과 껍질, 간에 대한 잔류 특성을 확인하고, 다른 연구결과와 비교하기 위하여 혈장의 분석도 병행하였다.

이번 연구에서는 옥소린산 잔류분석을 위해 LC-MS/MS법을 이용했으며 이 분석법은 시료의 matrix가 복잡한 수산식품의 경우 미량의 잔류의약품을 내인성 생체 성분들로부터 선택적으로 분석할 수 있는 가장 신뢰성 있는 분석방법이다(Oh *et al.*, 2009). OA 표준용액을 0.001, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1 ㎎/ l 5개이

상 지점으로 검량선을 작성했을 때 상관계수(r^2)는 0.999로 직선성을 보였고 정량한계는 근육과 혈장에서 0.0001 ㎎/㎏, 껍질과 간은 0.0002 ㎎/㎏으로 식품공전에서 제시한 값(0.0002 ㎎/㎏)을 충족하였다. 또한 OA 표준용액을 0.01 ㎎/㎏의 농도로 넙치의 근육과 껍질, 간 및 혈장에 spiking 하여 회수율을 확인한 결과 각각의 시료에서 103.9, 89.0, 90.0, 97.6%의 양호한 값을 나타내었다. 이는 다른 연구에서 보여진 넙치 근육의 102.3 ~ 106.7% (Lee *et al.*, 2005) 및 혈장의 94.0 ~ 98.9%(Jung *et al.*, 2009)의 회수율과 비슷한 경향을 보이고, Codex에서 제시한 가이드라인(CCRVDF CAC/GL 71-2009)에 충족한 결과이므로 분석에 대한 신뢰성은 확보된 것으로 보여진다.

옥소린산을 0.5 ㎏ 전후 크기의 넙치 2그룹과 1.0 ㎏ 전후 사이즈의 2그룹을 대상으로 임상농도인 100 ㎎/㎏ B.W. 농도와 임상2배 농도인 200 ㎎/㎏ B.W. 농도로 7일간 경구투여 하였다. 시험구는 총 4개 그룹으로 어체 크기별 및 투여농도별 차이를 근육과 껍질, 간, 혈장의 부위별로 잔류량을 분석하여 확인하였다. 먼저 근육 내 OA의 잔류량은 투여 종료 1일 후에 모든 시험구에서 최고치를 나타내었으며 점차 감소하여 4그룹 기준으로 투여종료 7일째부터 잔류허용기준 이하로 검출되었고, 18일 이후부터는 PLS 기준인 10 ㎍/㎏ 이하인 불검출 수준으로 잔류하였다. 어체 크기가 같을 경우 투여량이 많을수록 잔류량이 높았으며 투여 농도가 같을 경우 어체 크기가 클수록 잔류량이 높게 나타났다. 껍질의 경우 투여 종료 1일 후에 모든 시험구에서 최고치를 보였으며 점차 감소하여 11일째부터 잔류허용기준 이하로 측정되었고 측정 종료일인 70일째까지 4그룹 기준 24.1 ㎍/㎏의 농도로 잔류하였다. 이는 넙치 대상으로 옥시테트라싸이클린을 경구투여 시 근육과 간에 비해 껍질에서 1,070 ㎍/㎏로 77일까지 길게 잔류하는 것(Ko *et al.*, 2016)과 유사한 경향으로 보인다. 국내 식품 안전성검사 기준인 식품공전에서 제시하는 수산물(어류) 전처리 시료는 머리, 지느러미, 내장, 비늘을 제거한 가식부위로써 껍질도 검사대상에 포함되기 때문에 껍질의 항생물질 잔류경향 파악을 위해서는 다른 항균·항생제에 대한 추가적인 연구가 필요해 보인다.

간의 OA의 잔류량 변화는 투여 종료 1일 후에 4개의 그룹에서 최고치를 보인 후 9일째부터 잔류허용기준 이하로 측정되었으며 18일 후부터는 전혀 검출되지 않았다. 시간 경과에 따른 혈장 내 OA의 잔류량은 2, 4그룹 투여 종료 후 1일째

에 1, 3 그룹은 투여 종료 3일 후에 최고치를 보였고 이 후 점차 감소하여 18일째부터 잔류허용기준 이하로 측정되었으며, 65일 이후부터 PLS 기준(10 ㎍/㎏) 이하로 감소하는 잔류 경향을 나타냈다. Jung *et al.*(2009, 2010)의 실험에서는 700 g 크기의 넙치에 OA 60 ㎎/㎏을 경구 투여 했을 때 30시간째 혈중 최고 농도에 도달한 반면, 이보다 작은 90 g 크기의 넙치에 같은 조건으로 실험한 결과 15시간째 최고 농도에 도달하여 어체 크기에 따른 차이를 확인하였으나 이번 연구에서는 확인하지 못하였다. 약제의 혈중 농도는 Rigos *et al.*(2004)에 따르면 대부분의 약물이 최소 발육 저지농도(MIC)의 1~2배 이상 농도로 혈중에서 일정기간 유지해야 치료 효과가 나타난다고 보고한 만큼, 적정 치료 효과연구 및 약제 안전사용을 위해서 혈중 농도를 파악하는 것도 중요한 요소이다.

이번 연구에서 아쉬운 점은 실험 여건상 사육수온에 따른 잔류특성을 분석하지 못한 점이다. 변온동물인 어류에 있어 수온은 체내 모든 생리적 대사과정에 영향을 미치는 대사조절인자로써 약물의 체내 분포 및 분해 속도가 수온에 크게 영향을 받는다고 하였고(Son *et al.*, 2011) 약물의 어체 내 잔류 기간이 저수온에 비해 고수온에서 현저히 짧아진다고 보고된 바 있다(Zhang and Li, 2007). 또한 Jung *et al.*(2010)은 넙치에 OA를 경구투여 하였을 때 저수온(13 ± 1.5℃)에 비해 고수온(23 ± 1.5℃)일 때 어체 내에서 약물의 배설이 빠르게 일어난다고 보고한바, 넙치의 근육과 껍질 등 가식부위에 대한 수온 변화에 따른 잔류특성 등에 대한 추가적인 연구 진행으로 휴약기간 설정과 양식현장의 안전한 약제 사용을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Ⅴ. 참고문헌

농림축산식품부. 2021. 2020년도 국가 항생제 사용 및 내성 모니터링(동물, 축·수산물) 보고서. 13-17.

제주특별자치도. 2021. 2021년도 해양수산현황. 107-108, 113.

한국소비자보호원. 2002. 식품의 항생제 내성균 모니터링 결과. 8-12

Hustvedt SO and Salte R. 1991. Distribution and elimination of oxolinic acid in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) after a single rapid intravascular injection. Aquaculture. 92, 297-303.

Hustvedt SO, Salte R and Vassvik V. 1991. Absorption, distribution and elimination of oxolinic acid in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) after various routes of administration. Aquaculture. 95, 193-199.

Inglis V and Richards RH. 1991. The in vitro susceptibility of *Aeromonas salmonicida* and other fish pathogenic bacteria to 29 antimicrobial agents. J. Fish Dis. 14(6), 641-650.

Jacobsen MD. 1989. Withdrawal times of freshwater rainbow trout after treatment with oxolinic acid, oxytetracycline and trimethoprim. J. Fish Dis. 12, 29-36.

Jang JS, Hur MJ, Kim MH, Han YS, Kwon SH, Yeo YE, Hong SH, Kim JS and Lee SR. 2018. Monitoring of residual veterinary drugs in Incheon fishery products distribution. J. Environ Health Sci. 44(5), 444-451.

Jee BY, Shin KW, Lee DW, Kim YJ and Lee MK. 2014. Monitoring of the mortalities and medications in the inland farms of olive flounder, *Paralichthys olivaceius*, in South Korea. J. Fish Pathol. 27(1), 77-83.

Jeong HD and Chun SK. 1992. The utilization of antibiotics and the treatment of bacterial diseases in fish. J. Fish Pathol. 5(1), 37-48.

Jung SH, Choi DL, Kim JW, Jo MR, Jee BY and Seo JS. 2009. Pharmacokinetics of oxolinic acid in cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus* by oral administration, injection and dipping. J. Fish Pathol. 22(2), 125-135.

Jung SH, Kim JW, Seo JS, Choi DL, Jee BY and Park MA. 2010. Effect of temperature on pharmacokinetics of nalidixic acid, piromidic acid and

oxolinic acid in olive flounder *Paralichthys olivaceus* following oral administration. J. Fish Pathol. 23(1), 57-67.

Jung SJ, Seo JS, Eom HK, Kim NY, Lee SH, Huh MD, Jung HD and Chung JK. 2004. Tissue level of chloramphenicol and haematological changes in Olive flounder, *Paralichthys olivaceus* Orally administered chloramphenicol. J. Fish Pathol. 17(2), 113-121.

Jung SC. 2004. Establishment of control system of antibiotics for live stocks. Ann. Rep. KFDA, Korea, 8, 2223-2224.

Ko CS, Kim DH, Park SH, Moon KM and Heo MS. 2016. Effect of oxytetracycline injection an the body of *Paralichthys olivaceus*. Journal of Life Science. 26(3), 309-317.

Kim KH, Song MR, Choe SN, Choe MS and Park KH. 1998. Oxolinic acid residue in the cultured eel tissues and its change to heating process. J. Fd Hyg. Safety. 13(1), 14-19.

Kim HY, Chung SY, Choi SH, Lee JS, Choi IS, Cho MJ, Shin MS, Song JS, Choi JC, Park HO, Ha SC, Shin IS and Seo EC. 2010. Monitoring of veterinary drug residues in foods produced in Korea. Korean J. Food SCI. TECHNOL. 42(6), 653-663.

Lee HJ, Lee TS, Son KT, Kim PH, Jo MR, Park MJ and Yi YH. 2005. Analysis of oxolinic acid in fish products using HPLC. J. kor. Fish. Soc. 38(6), 379-384.

Lee TS. 2005. Establishment of antimicrobials management system for aquaculture. Ann. Rep. KFDA, Korea. 9, 422-423.

Lee KB, Kim NW, Kim DU, Sin MH and Lee MY. 2020. Monitoring of veterinary drug residues in cultured fishery products in Chungcheongnam-do Province. J. Food Hyg. Saf. 35(5), 447-451.

Lim SK. 2007. Monitoring of antimicrobial resistance on the food-animals and meats. Ann. Rep. KFDA, Korea. 11, 644-645.

MFDS(Ministry of Food and Drug Safety). 2021. Pesticides and veterinary Drugs Information. Retrieved from http://www.foodsafetykorea.go.kr/

foodcode/01_03.jsp?idx=827 on December 23.

NIFS(National Institute fo Fisheries Science). 2020a. Aquatic Medicine Catalog, Aquatic Disease Control Division, Busan, Korea. 5-6.

NIFS(National Institute fo Fisheries Science). 2020b. Aquatic Medicine Catalog, Aquatic Disease Control Division, Busan, Korea. 65-72.

Oh JH, Kwon CH, Jeon JS and Choi DM. 2009. Management of veterinary drug residues in food. Korean J. Environ. Agric. 28(3), 310-325.

Rigos G, Tyrpenou AE, Nengas I, Alexis M and Troisi GM. 2004. The kinetic profile of oxolinic acid in sharpsnout sea bream, *Diplodus puntazzo* (Cetti 1777). Aquacult Res. 35(14), 1299-1304.

Samuelsen OB, Ervik A, Purse L and Smith P. 2000. Single-dose pharmacokinetic study of oxolinic acid and vetoquinol, an oxolinic acid ester, in Atlantic salmon (*Salmo salar*) held in seawater and in vitro antibacterial activity against *Aeromonas salmonicida*. Aquaculture. 187, 213-224.

Samuelsen OB. 2006. Multiple dose pharmacokinetic study of oxolinic acid in cod. *Gadus morhua* L. Aquacult Int. 14, 443-450.

Son KT, Jo MR, Oh EG, Mok JS, Kwon JY, Lee TS, Song KC, Kim PH and Lee HJ. 2011. Residues of ampicillin and amoxicillin in olive flounder *Paralichthys olivaceus* following oral administration. Kor J Fish Aquat Sci. 44(5), 464-469.

Zhang Q and Li X. 2007. Pharmacokinetics and residue elimination of oxytetracycline in grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. Aquacult. 272, 140-145.

양식 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 생산자실명제 QR 코드 태그 개발

장영환 · 공포 · 현재민

Ⅰ. 서 론

최근 식품에 대한 안전성은 소비자가 제품을 선택하는데 중요한 기준이 되고 있으며, 생산 환경 변화 등으로 인한 양식 넙치에서의 수은 초과 검출 및 바지락에서 A형 간염바이러스 검출 등 수산물에서의 안전성 문제가 대두되고 있다. 따라서 각 지자체에서는 「농수산물품질관리법」 제61조와 「수산물 안전성조사 업무처리요령」에 따라 생산 · 저장 · 출하되기 이전 단계의 연근해산, 양식산, 원양산 수산물을 대상으로 안전성조사를 실시하고 있으며, 특히 양식 수산물에 대한 중금속 및 유해물질 잔류 등에 대한 조사를 강화하고 있다.

이러한 상황에서 각국 정부는 식품의 안전성 확보와 소비자의 믿을 수 있는 식품 선택 수단으로 이력추적제도를 도입하고 있다. 수산식품 부분에 이력추적제의 도입은 식품 위해 요인의 지속적인 발생과 우려를 사전에 대비하기 위해 1999년 EU위원회가 노르웨이수산양식개발원(NOFIMA)에 수산물 이력추적제도 도입 연구를 의뢰함으로써 Tracefish (Traceability System of Fish Product)라는 수산물 이력추적제도가 처음으로 개발되었다(해양수산부, 2021). 또한, 일본의 경우 수입산 굴이 일본산 굴로 원산지가 위조되어 유통되는 사건 발생 이후 다양한 품목에 대해 수산물 이력추적제가 시행되고 있으며, 중국의 경우 북경시에서 발생한 수산 식품사고로 식품안전 및 상품 위조방지 예방을 위해 2006년부터 자라, 산천어 등에 적용하여 시행하고 있다(해양수산부, 2021).

우리나라의 수산물이력제(Seafood Traceability System)는 어장에서 식탁에 이르기까지 수산물의 이력 정보를 기록, 관리하여 소비자에게 공개함으로써 수산물을 안심하고 선택할 수 있도록 도와주는 제도로 식품 안전사고에 대비하여, 소비자들이 안심하고 수산 식품을 구매할 수 있도록 수산물의 유통과정을 투명하게 공개하고 있다. 2008년부터 넙치, 건멸치, 굴비, 굴 등 58품목에 대해 시행 중

이며, 「수산물 유통의 관리 및 지원에 관한 법률」 및 「수산물이력추적관리 세부실시요령」 등에 따라 수산물 이력추적관리의 등록에 필요한 세부 사항을 정하여 운영하고 있다. 수산물의 이력 조회는 수산물이력제 웹페이지(http://www.fishtrace.go.kr)에 접속 후 상품 이력번호 13자리를 입력하게 된다. 이력번호 13자리는 4자리(등록 번호), 2자리(제품 유형별 번호), 2자리(연도), 5자리(일련 번호)로 순서로 구성되며, 상품 정보, 생산자 정보, 가공 유통 업체 정보가 수록되어 있다.

2020년 제주지역 주요 어종별 생산량은 갈치, 양식 넙치, 조기류가 전체 19개 품목별 전체 생산량 81,598톤의 약 80%를 차지하고 있다(제주특별자치도, 2021). 그 중 양식 넙치는 23,246톤(273,988백만원)으로 전체 생산량의 약 29% 차지하는 것으로 조사되었다. 또한, 전국 광어 생산량의 53%를 차지함으로써 제주 수산업에서 중요한 역할을 차지하고 있다(제주특별자치도, 2021). 한편, 2019년 제주 양식 넙치 생산량은 22,891톤으로 판매금액은 203,892백만원 이었으며, 2005년 이후 최저금액으로(제주특별자치도, 2021) 코로나19에 따른 소비 감소 및 제주 넙치 안전성 신뢰 하락 등으로 큰 위기를 맞았다. 따라서 우리 연구원에서는 제주 광어 신뢰 회복을 위해 양식업계의 요청으로 수산물이력제에 대한 준비가 되어 있지 않은 양식어가를 대상으로 QR (Quick Response) 코드(code)가 삽입된 태그(tag)를 부착함으로써 생산자 정보를 쉽게 확인할 수 있는 방법을 연구하게 되었다.

따라서, 여기에서는 수산물이력제에 참여하지 않고 있는 넙치 양식장을 대상으로 출하 전 활넙치에 부착할 수 있는 QR 코드 태그 개발 및 양식 현장에서의 태그 부착 실증을 추진함으로써 생산자가 최종 소비단계까지의 품질을 책임지게 되고, 소비자가 안전하게 소비할 수 있는 제주 양식 넙치가 될 수 있도록 “생산자실명제” 조기 정착에 활용하고자 그 결과를 중심으로 보고한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험어

QR 코드가 삽입된 태그를 활넙치에 부착 시 발생될 수 있는 부작용 등을 확인하기 위해 해양수산연구원 광어연구센터에서 사육 중인 넙치 중 양식 현장에서

주요 출하 대상 크기인 800~1,500 g까지를 실험어로 사용하였다. 그리고 태그 부착에 따른 꼬리지느러미 부위의 염증 발생 등을 확인을 위해 지하해수(17.5±0.5℃)에서 배합사료를 1일 2회 공급하고 15일 동안 사육 관리를 하였다. 또한, 제주어류양식수산업협동조합(이하 “제주어류양식수협”)을 통해 태그 부착을 희망하는 양식업체를 조사한 후 일부 출하 넙치를 대상으로 현장에서 태그 부착을 실시하였다.

2. 활넙치용 QR 코드 태그 및 부착 방법 개선

QR 코드가 삽입된 태그는 활넙치에 부착되기 때문에 바닷물에 노출 시 QR 코드의 훼손 우려가 없는 재질을 선택하였으며, 태그 핀(tag pin)과 태그 건(tag gun)은 의류용으로 출시되어 있는 제품들을 사용하였다. 또한, 태그 부착 위치는 꼬리지느러미 부위를 중심으로 부착 후 태그 탈락이나 부착 시 출혈이 발생되지 않는 부위를 선택하였다.

3. QR코드 태그 스캔 시 연동 웹페이지 개선

생산, 유통, 소비단계에서 누구나 양식 넙치의 이력을 확인할 수 있도록 스마트폰을 이용한 QR 코드 인식 시 개별 양식장 웹페이지로 이동하도록 시스템을 구축하였으며, 넙치 생산 양식장에 대한 기본 정보 외 출하 시부터 소비 장소까지의 이력추적 및 해양수산연구원 웹페이지(www.jeju.go.kr/ jori/index.htm)와 연동하여 「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성검사에 관한 조례」에 따라 국내에서는 유일하게 실시하고 있는 출하 전 항생물질 잔류 검사인 안전성검사 결과를 확인할 수 있도록 추가하였다.

Ⅲ. 결과

1. 활넙치용 QR 코드 태그 및 부착 방법 개선

해양수산연구원에서 추진하고 있는 “생산자실명제”는 기존 시행되고 있는 “수산물이력제”와는 달리 관련 법령인 「수산물 유통의 관리 및 지원에 관한 법률」 및 「수산물이력추적관리 세부실시요령」에 따라 수산물이력제에 대한 체계적 준비가 되어있지 않은 넙치 양식장을 대상으로 쉽게 생산자실명제를 추

진할 수 있도록 2018년 12월 해양수산연구원, 생산자단체인 제주어류양식수협 그리고 QR코드 개발업체인 ㈜코리아소트프와 공동 업무협약 체결을 통해 태그 및 QR 코드 관련 시스템을 개발하였다. 특히 특별한 사전 서류 등록 절차 없이 개별 양식장 ID (identification)가 부여된 QR 코드 태그를 구입하여 부착함으로써 사용 가능하도록 개발하였다.

본 개발 내용은 “QR 코드를 이용한 IoT 기반의 인공지능 수산물 이력 시스템(특허 2019-0143643)”과 “태그를 이용하여 수산물에 QR 코드를 인쇄하기 위한 방법(특허 2019-0143644)”이라는 명칭으로 특허 출원을 완료하였다. 첫 번째 특허인 “QR 코드를 이용한 IoT 기반의 인공지능 수산물 이력 시스템”은 출하 넙치의 생산자 실명 인증, 원산지, 생산 이력, 유통 정보 조회 등 양식장에서 출하되는 활넙치의 이력을 추적할 수 있는 시스템을 제공하고, 이력 추적을 위한 인프라 구축 및 생산이력 추적 정보를 생산, 유통, 소비단계에 제공하는 것을 배경으로 한다. 두 번째 특허인 “태그를 이용하여 수산물에 QR 코드를 인쇄하기 위한 방법”은 기존 이력 정보를 라벨링하기 위해 사용되었던 밴드 형태의 종이 태그 사용으로 발생되는 태그 탈락 방지 및 라벨링 작업 시간을 단축시키기 위해 T tag pin을 이용하여 활넙치에 QR 코드가 내장된 태그를 부착함으로써 관련 정보를 제공할 수 있게 하는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

개발된 QR 코드 태그는 제주 넙치를 연상할 수 있는 캐릭터와 개별 양식장 웹페이지로 연결해 주는 역할의 QR 코드, 양식장명 그리고 출하 넙치의 일련번호가 입력된 직사각형 모양(2.5 cm×5.5 cm)의 방수 기능과 찢김 현상에 강한 100% 나일론 (nylon) 재질을 사용하였으며, 태그 핀과 태그 건을 이용하여 꼬리지느러미 부위에 부착하였다(Fig. 1).

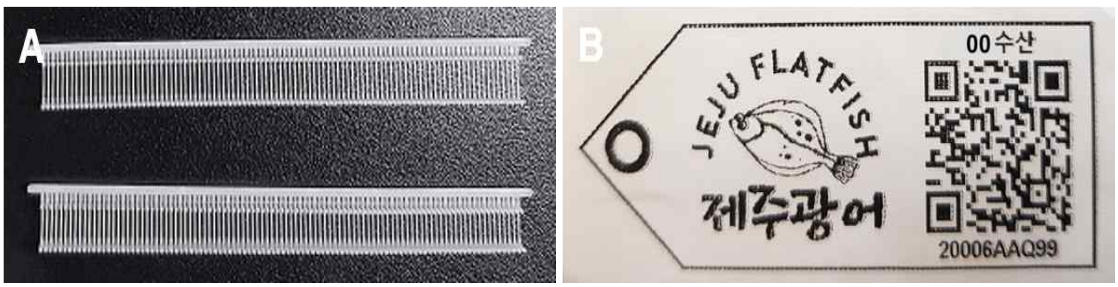


Fig. 1. (A) 활넙치에 QR 코드 태그를 연결하기 위한 태그 핀, (B) QR 코드, 양식장명 등을 포함한 현장 실증용 태그.

또한, 활넙치에 태그 부착 시 넙치의 움직임 및 상처 발생을 최소화하기 위해 충격을 흡수할 수 있는 소재를 태그 부착판으로 사용하였으며, 태그 부착 넙치의 크기에 따른 꼬리지느러미 두께를 고려하여 5~7 mm의 태그 핀을 사용하여 부착하였다. Fig. 2는 태그 부착이 완료된 활넙치와 출하 후 횟집 수족관에 보관된 태그 부착 넙치를 보여주고 있다. 넙치에 부착된 태그는 뜰채 사용 및 수조 이동 등에 의해서도 탈락 현상이 발생되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

해양수산연구원 및 구좌지역 1개소 양식장에서 제공한 실험어를 대상으로 꼬리지느러미 부위 태그 부착 시 태그 건에 부착된 바늘의 관통에 의해 발생되는 상처 부위 확산 여부를 확인한 결과 태그 부착 일주일 경과 후에도 태그 부착에 의한 체표 궤양 및 염증 반응 등은 확산되지 않음으로써 양식 현장에서 우려하는 출하 넙치의 상품 가치 하락은 확인되지 않았다. 그러나 사육 수온이 높은 여름철의 경우 대부분의 세균성 및 기생충성 질병의 활성도가 높아짐에 따라 태그 부착 부위에 대한 2차 감염 우려가 있어 다양한 크기 및 환경에서의 추가적인 부착 실험이 필요하다고 사료된다.

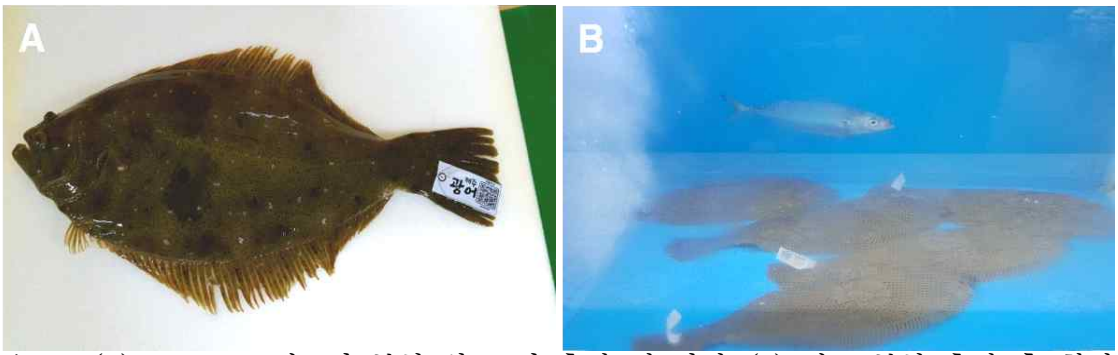


Fig. 2. (A) QR 코드 태그가 부착 완료 된 출하 전 넙치, (B) 태그 부착 출하 후 횟집 수족관에 보관된 넙치.

2. QR코드 태그 스캔 시 연동 웹페이지 개선

넙치 꼬리지느러미 부위에 부착된 QR을 인식하기 위해서는 별도의 어플리케이션 없이 스마트폰의 QR 인식 기능만으로 사용할 수 있으며, QR 인식 성공 시 생산제실명제 정착을 위해 자체 개발된 서버를 통해 개별 양식장 웹페이지로 이동된다(Fig. 3). 개별 양식장 웹페이지의 내용은 크게 6가지로 구분되어 있으며, “생산 양식장 정보”는 생산자실명제에서 가장 중요한 부분으로 기능성 첨가제 사용, 특화된 양식 방법 등 개별 양식장의 차별화 전략들과 생산업체 정보(생산업체명, 대표명, 연락처, 주소, 출하일자 등)가 포함되게 된다. 그리고 “청정 제

주 광어” 와 “요리법” 에서는 제주 청정 넙치의 일반적인 소개 및 해양수산연구원에서 개발한 6종의 넙치를 이용한 요리 레시피(광어 필렛과 귤을 넣은 파피요트, 광어 필렛과 두부를 넣은 크로켓, 고추냉이 드레싱을 곁들인 광어 필렛 포케, 멕시칸 스타일의 타코, 아메리칸 스타일의 떠먹는 피자, 이탈리안 스타일의 파스타)를 확인할 수 있다. 또한 “안전성 검사” 에서는 「제주특별자치도 수산물 방역 및 안전성 검사에 관한 조례」 제8조에 따른 안전성 검사 결과 조회시스템이 있는 해양수산연구원 웹페이지로 연동되어 구매하고 있는 양식 넙치의 출하 전 항생물질 잔류 검사 이행 여부를 소비자가 직접 현장에서 확인할 수 있다.



Fig. 3. (A) 스마트폰의 인식 기능을 이용한 QR 코드 인식, (B) QR 코드 인식 성공 시 개별 양식장 웹페이지 연동, (C) 양식장 웹페이지 내 생산 양식장 정보, (D) 양식장 웹페이지 내 안전성 검사 정보.

해양수산연구원에서는 2020년 1월 QR 코드 태그를 부착한 양식 넙치 시범 출하를 시작으로 도내 양식장을 대상으로 제주어류양식수협에서 참여 의향을 확인한 후 태그 부착 희망 양식장 26개소를 대상으로 태그 부착 현장 교육을 진행하였다(Fig. 4). 출하 전 활넙치에 태그 부착을 위해 양식장 종사자 2인이 1개 팀이 되어 부착을 진행하였으며, 숙련도에 따라 넙치 1마리 부착에 3~8초까지 부착 시간이 소요됨에 따라 넙치 출하에 따른 생산자와 유통업체 간 일정 관리에 어려운 부분이 있었다. 이러한 이유로 양식 현장에서는 “생산자실명제” 참여에 대한 관심과 기대는 높았으나, 출하 전 태그 부착으로 인한 출하 시간 지연 및 추가 인력 소요 부분은 시급히 개선돼야 할 사항이라는 의견이 많았다.



Fig. 4. (A) QR 코드 부착 넙치 시범 출하 홍보 자료, (B) 태그 부착 희망 양식 현장을 대상으로 한 부착 교육.

Ⅳ. 고찰

최근 소비자들의 안전한 식품에 대한 관심과 선호도가 높아짐에 따라 일부 농산물에 생산자 이력이 포함된 스티커를 부착하는 생산자실명제를 실시함으로써 소비자들로부터 많은 호응을 얻고 있다. 그러나 활어의 경우 움직임이 많아 태그 부착에 따른 상처 발생 및 사육 수조 안에서 부착이 이루어져야하는 제약 때문에 태그를 부착하기 쉽지 않은 상황이다. 따라서 현재까지 국내에서는 일부 수산물이력제 넙치에 태그를 부착하는 사례는 있으나, 개별 양식어가에서 “생산자실명제”를 위해 QR 코드 태그를 부착한 사례는 보고되어 있지 않다.

본 연구에서는 넙치 양식장에서 출하 시 QR 코드가 포함된 태그 부착을 통해 출하 현장부터 최종 소비자까지의 정보를 한 눈에 확인할 수 있게 함으로써 제

주 양식 넙치의 소비자 신뢰 회복 및 생산자실명제 정착을 주요 목적으로 하고 있다. 그러나 수산물이력제와 같은 관련 법령 및 고시 등에 따른 추진이 아닌 개별 양식장이 의지를 가지고 참여해야 하는 부분이 있어 태그 부착 시 추가로 소요되는 인력 및 출하 시간 지연 등은 개별 양식어가가 부담해야 되는 실정이다. 따라서 생산자실명제 조기 정착을 위해서는 개별 양식어가의 참여 의지와 그에 따르는 행정에서의 지원이 반드시 필요한 실정이다.

또한, 현재까지는 QR 코드 태그를 부착한 넙치의 출하 사례가 많지 않아 태그 부착에 따른 홍보가 이루어지지 않고 있으나, 적극적인 참여 및 홍보를 통해 생산자실명제를 실시하고 있는 제주 넙치의 안전성과 우수성에 대한 정보를 많은 소비자가 알 수 있도록 함으로써 제주 넙치 양식산업의 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

Ⅴ. 참고문헌

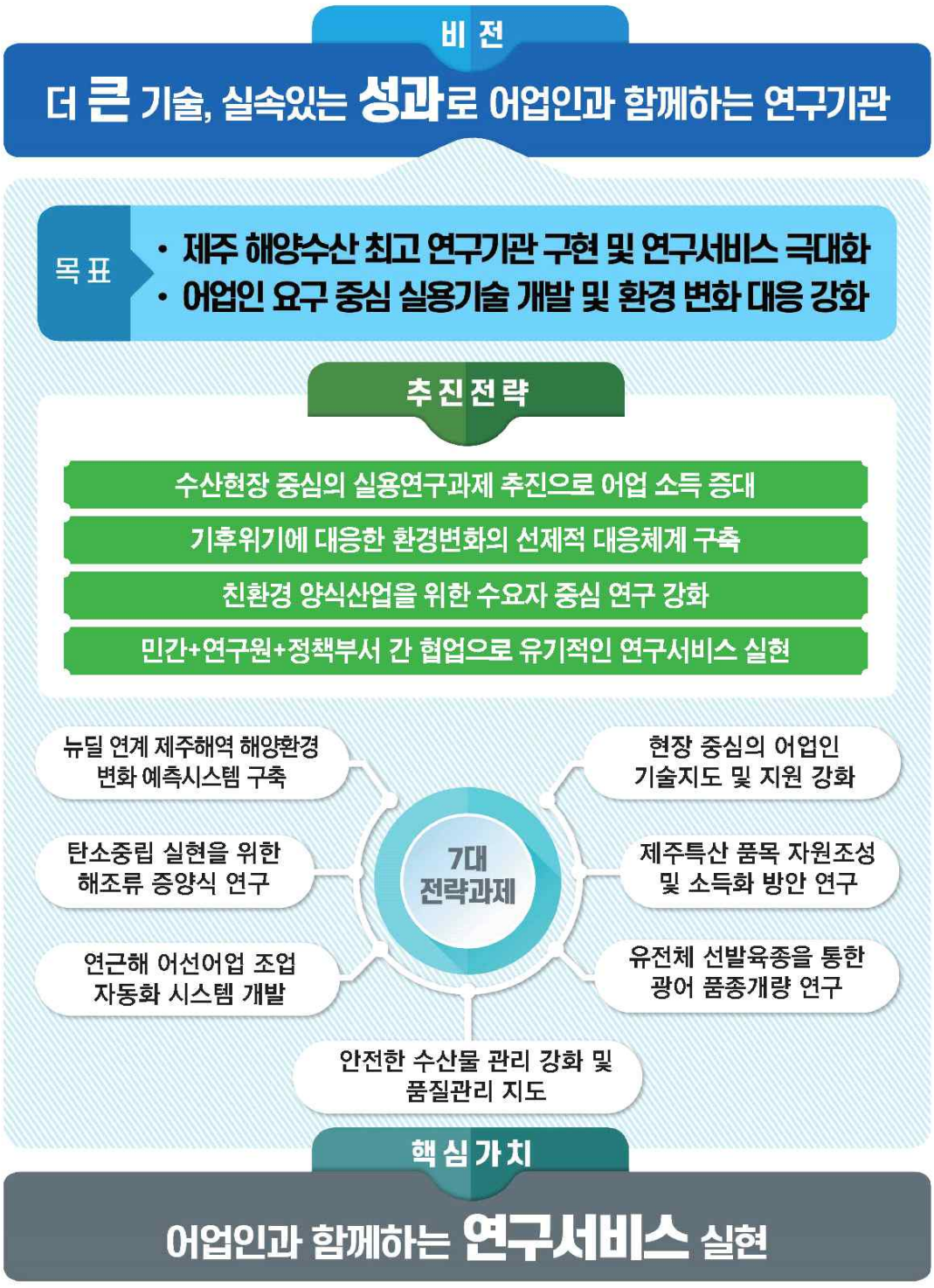
제주특별자치도. 2021. 전국 양식어류 생산현황. 해양수산현황. 112-113.

해양수산부. 2021. 수산물이력제(Seafood Traceability System). Retrived from http://www.fishtrace.go.kr.

PART 03

부록

해양수산연구원 정책목표와 전략



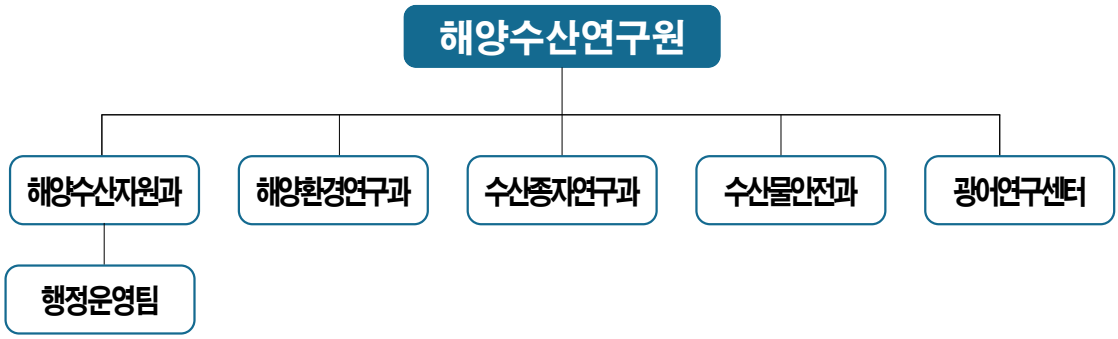
일반현황

1 기구 및 정·현원

연 혁

- '99. 6. 14 제주도 해양수산자원연구소 개소
- '09. 6. 25 제주특별자치도 해양수산연구원 개편
- '13. 1. 7 해양수산연구원 수산종자연구센터 직제 신설
- '16. 7. 28 해양수산연구원 수산질병연구센터 직제 신설
- '17. 7. 31 해양수산연구원 직제(과 단위) 개편
- '18. 8. 28 해양수산연구원 광어연구센터 직제 신설

기구 : 4과 1센터 1팀



인력 : 정원 32명 / 현원 31명

구 분	계	연구관/서기관	연구관/사무관	연구관	연구사	6급	7급	8급	9급
정 원	32	1	3	2	15	2	5	4	-
현 원	31	1	3	2	13	3	5	2	2

2 주요 기능 및 시설현황

해양수산자원과

- 연구사업 종합 기획 및 평가
- 제주특산 어류 종자생산 및 자원조성
- 새로운 양식품종(어류 등) 기술개발 및 양식시스템 연구
- 아열대 생물 종보존 및 증양식 기술개발 연구

해양환경연구과

- 제주연안 환경변화 조사·예측시스템 구축 및 운영
- 마을어장 및 생물권보전지역 해양생태계 모니터링 연구
- 어선어업 조업자동화 시스템 개발 및 어구·어법 개량 연구
- 수산자원 방류효과 조사 및 소라자원 TAC 평가

수산종자연구과

- 마을어장 특산품종 종자생산 및 자원조성 연구
- 새로운 마을어업 소득화 방안 연구
- 유용 해조류 증양식 기술개발 및 대량양식 실증 연구
- 전복류, 홍해삼 등 양식 생산성 향상 연구

수산물안전과

- 양식장 질병 예찰 및 예방 연구
- 수산물 방역 및 전염병 검사
- 양식수산물 안전성 검사
- 생산단계 수산물 안전성 조사

광어연구센터

- 광어 품종개량 연구 및 우량 수정란 생산·보급
- 친환경 광어 양식사료 실증 연구
- 양식 광어 폐사율 저감 양식관리 기술개발 연구
- 광어 양식 실증 연구를 통한 양식 시스템 개발

시설현황

본 원

- 위　　치 : 서귀포시 표선면 민속해안로 292
- 규　　모 : 부지 29,507㎡, 시설면적 13,437㎡(수면적 3,122㎡)
- 주요시설 : 본관, 어류생산동, 어미관리동, 아열대연구동, 고가수조동 등

부속연구시설

[수산종자 연구시설]

- 위　　치 : 제주시 구좌읍 해맞이해안로 808
- 규　　모 : 부지 36,648㎡, 시설면적 10,039㎡(수면적 3,048㎡)
- 주요시설 : 연구관리동, 종자생산동, 양식연구동, 해조류생산동 등

[수산물안전 검사시설]

- 위　　치 : 제주시 구좌읍 해맞이해안로 792
- 규　　모 : 부지 4,472㎡, 시설면적 2,113㎡
- 주요시설 : 분석실, 검사실, 무균실 등

[광어 연구시설]

- 위　　치 : 제주시 구좌읍 해맞이해안로 808
- 규　　모 : 부지 14,138㎡, 시설면적 3,133㎡
- 주요시설 : 연구시험동, 양식시험동, 어미관리동 등

해양수산연구원 기본 통계

어류 종자생산 실적 (1999~2021)

(단위 : 천마리)

연도별	계	참돔	돌돔	넙치	개볼락	참조기	자바리	붉바리	능성어	말쥐치	벤자리
계	13,714	4,870	6,212	430	815	400	307	40	210	300	130
1999	350	20	-	330	-	-	-	-	-	-	-
2000	910	900	-	-	10	-	-	-	-	-	-
2001	1,110	1,100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	1,450	1,250	200	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	1,710	1,600	10	100	-	-	-	-	-	-	-
2004	1,000	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	1,600	-	1,600	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	900	-	900	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	65	-	60	-	-	-	5	-	-	-	-
2008	725	-	660	-	30	-	5	30	-	-	-
2009	630	-	270	-	350	-	10	-	-	-	-
2010	620	-	260	-	360	-	-	-	-	-	-
2011	205	-	170	-	5	-	30	-	-	-	-
2012	112	-	52	-	50	10	-	-	-	-	-
2013	222	-	170	-	-	2	-	-	50	-	-
2014	222		50	-	-	100	52	-	20	-	-
2015	440	-	150	-	10	150	30	-	50	50	-
2016	400	-	300	-	-	-	-	-	-	100	-
2017	500	-	350	-	-	-	50	-	-	100	-
2018	150	-	-	-	-	-	60	10	30	50	-
2019	70	-	-	-	-	-	40	-	30	-	-
2020	168	-	-	-	-	48	10	-	30	-	80
2021	155	-	-	-	-	90	15	-	-	-	50

어류 방류실적 (1999~2021)

(단위 : 천마리)

연도별	계	참돔	돌돔	넙치	개볼락	참조기	자바리	붉바리	능성어	말쥐치	벤자리
계	13,089	4,820	5,870	310	765	389	305	40	195	300	95
1999	230	20	-	210	-	-	-	-	-	-	-
2000	850	850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	1,110	1,100	-	-	10	-	-	-	-	-	-
2002	1,450	1,250	200	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	1,710	1,600	10	100	-	-	-	-	-	-	-
2004	1,000	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	1,530	-	1,530	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	820	-	820	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	63	-	58	-	-	-	5	-	-	-	-
2008	660	-	595	-	30	-	5	30	-	-	-
2009	585	-	255	-	320	-	10	-	-	-	-
2010	500	-	160	-	340	-	-	-	-	-	-
2011	205	-	170	-	5	-	30	-	-	-	-
2012	103	-	52	-	50	1	-	-	-	-	-
2013	205	-	170	-	-	-	-	-	35	-	-
2014	220	-	50	-	-	100	50	-	20	-	-
2015	440	-	150	-	10	150	30	-	50	50	-
2016	400	-	300	-	-	-	-	-	-	100	-
2017	500	-	350	-	-	-	50	-	-	100	-
2018	150	-	-	-	-	-	60	10	30	50	-
2019	70	-	-	-	-	-	40	-	30	-	-
2020	148	-	-	-	-	48	10	-	30	-	60
2021	140	-	-	-	-	90	15	-	-	-	35

패류, 홍해삼 종자생산 실적 (2000~2021)

(단위 : 천마리)

연도별	합계	전복	오분자기	개량조개	바지락	홍해삼
합 계	49,542	7,998	9,500	7,050	14,350	10,644
2000	600	600	-	-	-	-
2001	1,340	1,280	60	-	-	-
2002	1,350	1,300	50	-	-	-
2003	1,010	1,000	10	-	-	-
2004	870	650	220	-	-	-
2005	800	500	300	-	-	-
2006	858	500	350	-	-	8
2007	1,318	750	500	-	-	68
2008	708	38	600	-	-	70
2009	800	130	600	-	-	70
2010	180	40	70	-	-	70
2011	2,260	600	1,400	-	-	260
2012	1,430	200	800	50	50	330
2013	2,410	10	200	500	500	1,200
2014	3,968	-	1,000	500	500	1,968
2015	7,400	200	700	3,000	-	3,500
2016	15,200	-	700	3,000	10,000	1,500
2017	4,800	200	600	-	3,300	700
2018	600	-	400	-	-	200
2019	800	-	400	-	-	400
2020	540	-	400	-	-	140
2021	300	-	140	-	-	160

패류, 홍해삼 방류실적 (2000~2021)

(단위 : 천마리)

연도별	합계	전복	오분자기	개량조개	바지락	홍해삼
합 계	36,645	2,807	5,502	7,050	14,350	6,936
2000	20	20	-	-	-	-
2001	178	128	50	-	-	-
2002	80	80	-	-	-	-
2003	295	235	60	-	-	-
2004	180	180	-	-	-	-
2005	650	485	165	-	-	-
2006	565	395	170	-	-	-
2007	728	290	370	-	-	68
2008	740	350	320	-	-	70
2009	570	70	430	-	-	70
2010	510	90	420	-	-	-
2011	320	40	30	-	-	250
2012	1,580	210	940	50	50	330
2013	2,300	-	200	500	500	1,100
2014	3,558	-	900	500	500	1,658
2015	4,890	170	200	3,000	-	1,520
2016	13,800	-	-	3,000	10,000	800
2017	3,794	44	150	-	3,300	300
2018	610	-	470	-	-	140
2019	617	20	227	-	-	370
2020	320	-	200	-	-	120
2021	340	-	200	-	-	140

2021년도 연구사업 보고서

발행일 : 2022. 3.
발행인 : 제주특별자치도 해양수산연구원장 고 형 범
발행처 : 제주특별자치도 해양수산연구원
(제주특별자치도 서귀포시 표선면 민속해안로 292)
TEL : 064-710-8483 FAX : 064-710-8509