

1970년대 이후 제주 수산업의 연구동향과 전망

※ 이영돈 (제주대학교 해양과학연구소)
고신자, 이치훈 (제주대학교 해양과학연구소)
김수강, 박용석 (제주특별자치도 해양수산연구원)
좌민석 (제주연구원)

제주수산업의 연구동향과 전망에 대해서 1970년대부터 현재에 이르기까지 어선어업, 양식어업, 해조류 산업 그리고 해양환경 분야별로 연구동향과 전망에 대하여 논하고자 한다.

I. 어선어업

제주에서 어선어업은 어선의 건조기술과 어업시스템 개발 그리고 운영능력 향상으로 어획효율성을 증가하였으나 이에 따른 연안 어업자원의 감소를 초래하고 있다. 국내 잡는어업의 기술향상 동향은 “알기 쉬운 한국 어업”(국립수산과학원, 2010)에서 발췌 인용하였다.

어선의 재질은 1977년 “연근해 어업 진흥 5개년 계획”을 수행하면서 대부분 나무판으로 구성하는 목선과 철판으로 만드는 강선에서 합성수지(FRP; Fiber Reinforced Plastic)로 만드는 FRP 어선 비율이 증가하는 전기를 마련하였다.

어업기기는 사람의 힘에 의존했던 조업을 전기, 전자, 유압 시스템 등의 발전으로 기계화, 자동화로 안정성 확보와 조업 시간 단축, 인건비 절약으로 경쟁력을 높이고 있다. 대표적으로 그물이나 낚시 줄을 투·양망하는데 사용하는 원치류, 양망기류, 양승기류 등이 있다.

집어등은 주광성이 강한 특성을 가진 고등어, 오징어, 멸치, 갈치 등을 유인하여 어획 효율성을 높이기 위하여 사용한다. 집어를 유도하기 위하여 횃불과 석유 집어등, 아세틸렌 집어등 그리고 1970년대 백열등 이후 할로겐등과 메탈할라이드등으로 교체 사용되었고, 2009년부터 정부사업 주도로 발광다이오드(LED, Light Emitting Diode)을 보급하고 있다.

수중 어류 탐색기술은 어류자원의 분포를 파악하여 효율적인 어업활동에 기여한다. 1980년에 접어들면서 음향특성을 이용한 어군을 탐지하는 어군탐지기가 보급되어 사용하고 있다. 어류자원분포는 해류와 조석 그리고 용승류, 풍랑, 수온 염분 등의 해양요소와 바다의 영양염류 구성, 플랑크톤의 분포 등의 어황요소에 의존성이 강하다. 최근에는 인공위성을 이용한 어해황 원격탐사와 어업환경 정보를 이용하는 스마트어업이 진행되고 있다.

그물감 소재는 면사로 사용하던 그물감을 나일론 복합섬유로 대체(1969년부터 1971년 기술개발 및 보급)하

는 사업을 수행하였고 1980년대에 접어들면서 나일론 단일섬유그물감이 사용되기 시작하여 대량어획이 가능하게 되었다. 나일론 그물감이 바다에 유실되면서 어족자원을 죽이고 생태계를 교란시켰다. 국립수산물과학원에서 2002년부터 생분해 가능한 그물감소재 개발을 시작하여 2006년 해중 미생물에 분해되는 그물감을 개발하여 보급하고 있다(알기쉬운 한국의 어업, 2010).

제주도 자리돔 어업을 보면 1990년대까지는 주로 밀물과 썰물에 따른 자리돔의 서식행동 특성을 이용하여 전통적인 방법으로 어획하여 자리돔 자원 관리에 맞게 공급하였다. 2000년대에 접어들면서 자리돔 수요 증가와 함께 향상된 어업기술이 보급되면서 어획강도 상승으로 연안 자리돔 자원이 급감하고 있다. 자리돔은 전장 9.0~11.9 cm 범위에서는 포란수가 19,700~45,500여개, 12.0~14.9cm 범위에서는 83,300 ~97,700여개이며 부착란 특성으로 어미자원이 감소하면 상대적으로 자원회복이 어려운 어종이다. 제주연안 자리돔의 주산란시기는 7월이다(이와 이, 1987). 자원회복을 위한 자리돔 금어기 설정 등 자원관리방안이 필요한 실정이다.

어업자원관련 빅데이터관련 기초자료 확보와 제주연안 어업생물자원을 통합 관리하는 시스템개발 운영이 필요한 시점이다. 연안어업자원의 통합관리는 연안자원 바다양식이라는 새로운 어업형태에 적합한 전문 인력 양성 전략과 관광산업과 연계한 융합산업 육성 정책이 요구된다.

II. 양식어업

양식어업은 양식생물이 사육환경에 적응하는 생리적 특성을 이용하여 친환경적으로 건강하고 편안하게 기르고 번식시켜 수익을 창출 것을 말한다(이, 2016). 제주에서 수산양식의 대표적인 생물은 전복류, 광어, 돌돔, 바리과어류, 모자반류 등을 볼 수 있다.

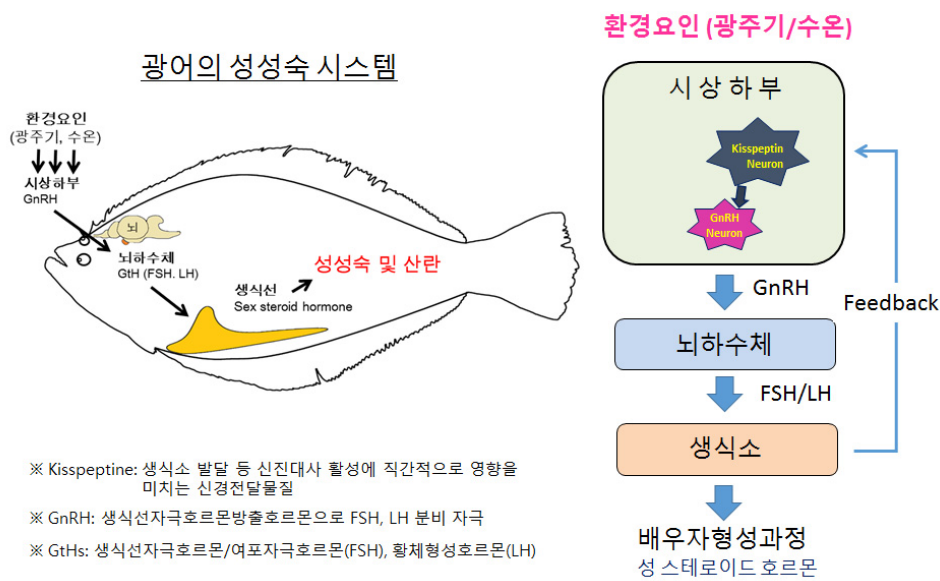
전복은 1969년에 국립수산물진흥원에서 처음으로 인공부화시험에 성공하였다. 정부는 1972년 제주도에 국립수산물진흥원 수산종묘배양장(한림읍 옹포리)을 설립하여 1973년부터 전복을 사육관리하면서 치패 배양을 성공하였고, 이후 1976년 9월 성산면 온평리 제1종 공동어장에 3만개의 전복 치패를 시험방양을 하였다. 1980년에 접어들면서 전복양식기술이 민간에게 제공하면서 개인이 운영하는 전복양식장에서 치패를 생산하여 어촌계에 분양하는 시스템으로 전복양식업이 시작되었다. 이후 제주 전복양식은 어촌계에 분양된 전복치패를 연안 어장에 방류하여 관리하면서 수확하는 형태에서 육상양식장에서 중간 육성하여 판매하는 형태로 발전하였다. 전복의 주된 먹이는 미역과 다시마로 대부분 완도지역에서 구입하였다. 1990년대 중반에 접어들면서 완도와 여수지역에서 전복양식이 시작되면서 제주 전복양식 경쟁력이 떨어지게 되었다. 현재 대부분 국내 전복양식은 완도해역 가두리에서 생산하고 있다. 현재 제주에서는 대부분 전복치패를 생산하여 연안 어장에 방류하는 종묘생산업이 운영되고 있다. 제주 연안에 서식하는 전복류이 하나인 오분자기 자원이 급격히 감소하여 2000년대에 접어들면서 제주특별자치도 해양수산연구원은 오분자기 치패를 생산하여 어촌계에 분양하고 있다. 일부 민간 양어장도 오분자기 치패를 생산 판매하고 있다. 제주연안에 전복과 오분자기 자원회복을 위하여 정부와 지자체는 어장환경조성을 위한 투석사업과 지속적인 방류사업을 추진하고 있다(양식어업구조재편방안연구, 2008).

1. 광어(넙치)

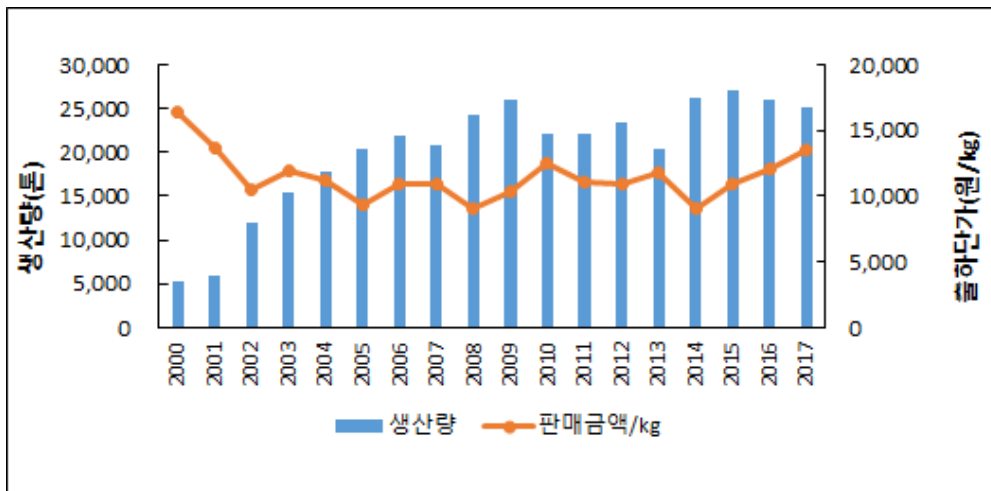
광어의 종묘생산은 국립수산물진흥원 거제수산종묘배양장(민병서)에서 1982년부터 이의 연구에 착수하여 1984년에 최초로 인공부화에 의한 종묘생산에 성공을 거두었으며 제주도에서는 1986년 서귀포시 하효동 소재 장양수산(대표 권홍태)에서 광어 종묘를 생산하였다(제주수산 60년사, 2006; 양식어업구조재편방안연

구, 2008). 이 시기에 광어종묘생산에 필요한 수정란 확보는 자연 산란시기에 한정되었다. 1989-1991년에 제주대학교 해양연구소와 한라수산은 제주지하해수(용암해수)와 광주기를 이용한 광어어미의 성숙사양관리로 수정란을 사계절 생산하는 시스템을 개발하여 건강한 수정란을 종묘생산업체에 공급하면서 광어 양식산업이 비약적으로 발전하였다. 제주 양식광어 생산량은 2000년 5,385톤에서 2005년 20,000톤을 넘어섰고, 2017년 25,092톤으로 전국 양식광어 생산량 41,207톤 대비 60.9%를 차지하고 있다. 제주 양식광어 가격 동향은 2000년 16,300원/Kg에서 2005년 이후부터 공급과잉으로 인해 Kg당 출하단가의 지속적인 감소이후 최근 회복세를 보이고 있다.

현재 도내 광어양어장은 360여 곳이 운영되고 있다. 정부와 대학 그리고 기업체는 광어보건관리를 위하여 사료효율 향상과 친환경 사료개발 그리고 백신개발과 적정 항생제사용법 및 면역력 증강제 개발 등 질병치료에 관한 연구들이 수행되고 있다.



<그림 1>. 광어의 성숙 시스템



<그림 2> 제주양식광어의 생산량과 출하단가 변화 추이 (통계청, 2018)

2. 바리과어류

제주연안에 서식하는 바리과어류는 붉바리, 다금바리(표준명 자바리), 구문쟁이(표준명 능성어) 등 10여 종이상 분포하고 있다. (제주연안 어류상은 쿠로시오해류의 영향으로 아열대성 어류의 가입이 늘어나는 추세이다.) 제주대학교 해양연구소는 바리과 어류의 양식을 위하여 구문쟁이(능성어 번식기술 개발을 통한 양식산업화, 2000.11 ~2003.11), 다금바리(자바리 수정란 생산을 위한 성성숙 제어 기술 개발, 2006.05 ~2009.04), 붉바리(제주바다목장 붉바리 종묘생산 기술개발, 2006.10~2007.12), 홍바리(홍바리 양식산업 최적화 기술개발, 2009.06~2012.05), 그리고 2013년 정부 다부처사업인 붉바리 골든씨드프로젝트(GSP, Golden Seed Project)를 수행하고 있다. 2016년부터 양식업체 (주)씨알은 붉바리 종자(종묘)를 생산하여 말레이시아로 수출하고 있다. 제주에서 바리과 양식은 지하해수 열이용 사육시스템 기술개발과 선발육종을 통한 경쟁력 확보가 우선되어야 한다.

제주특별자치도 해양수산연구원은 2006년부터 다금바리 종자를 생산하여 제주연안에 방류하고 있고 그리고 돌돔, 개볼락, 참조기, 말쥐치, 개랑조개, 바지락 등 종자를 생산 방류하고 있다. 제주 양식산업의 경쟁력은 제주의 청정 바다환경을 관리 유지하는데 있다. 청정연안 환경을 우선하는 친환경 경적인 양식경영 기술과 건강한 양식어류를 생산 공급하는 수산양식문화가 요구되고 있다.



<그림 3> 제주도에 서식하는 바리과어류

Ⅲ. 제주 연안 해조류

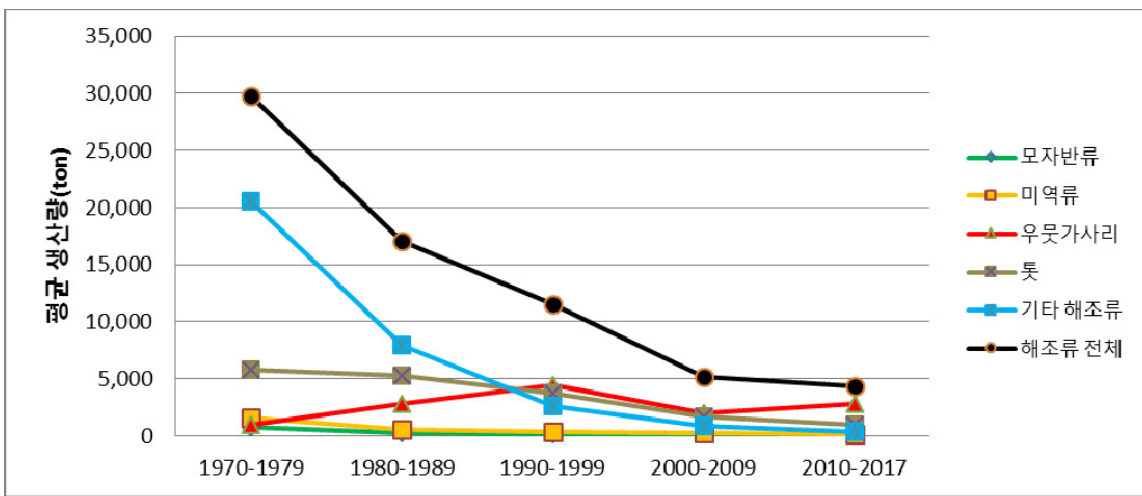
한국산 해조류의 지리적 분포를 종합하며 202종으로 보고(강, 1966)한 이후, 1970년대에서 2010년까지 제주연안 해조류의 분류와 분포 종에 관한연구들은 1970년대에 제주해조류 남조류 3종, 녹조류 36종, 갈조류 50종, 홍조류 123종으로 총 212종(이, 1976), 1980년대 제주해역 해조류 112종, 녹조류 52종, 갈조류 80종, 홍조류 282종으로 총 425종(부, 1988년). 2000년대 접어들어 우리나라 해안에 생육하는 해조류는 753종이며 이 중 약 70%가 제주도 연안에 분포(이와 강, 2002)하고 [제주의 바닷말] 해조류 도감을 편찬하여 410종을 기록하였다(이, 2008).

최근의 연구에서 제주연안에 남방계 해조류가 점차 증가하는 양상(강 등, 2011; 김 등, 2013)을 보이고, 분자생물학적 계통 유연관계에 대한 연구조사(김, 2012; 고와 김, 2018)와 해조류 추출물과 이의 활용에

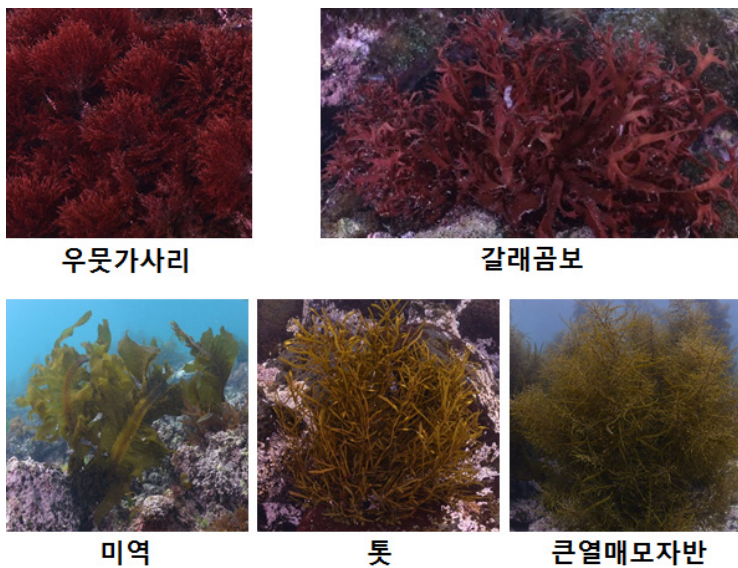
대한 연구(표 등, 2012; 이와 이, 2014)가 진행되고 있다

제주도의 해조류 평균 생산량은 1970년대 약 29천톤에서 점차 감소하여 2000년대 약 5천톤으로 약 82% 감소하였고 1970년대에 가장 많이 생산된 종류는 기타 해조류 69%, 톳 19%, 미역 5%의 순이었고 2000년대에는 우뚝가사리 38%, 톳 32%, 기타해조류 17%의 순으로 생산되었다.

우리나라의 해조류 생산은 자연채취를 통한 생산은 지속적으로 감소하였으나, 1980년대 이후 해조류 양식 기술의 발달로 인해 2016년 해조류 양식 생산량은 약 130만톤으로 증가하여 우리나라 해조류 생산의 90% 이상은 해조류양식으로 생산되고 있다. 반면, 제주도의 해조류 생산은 거의 100% 자연채취에 의존하고 있고 최근 제주특별자치도 해양수산연구원에서 모자반 양식 등 양식기술 개발과 시험조성사업이 시행되고 있다. 제주연안 해조류 생산량의 변동 요인과 종조성의 변화가 일어나는 환경생태적인 연구와 해조류 종자의 초기발생과 환경적응능력 평가수행이 요구된다.



<그림 4> 제주도 평균 해조류 생산량 (통계청, 2018)



<그림 5> 제주도 자생 유용수산 해조류

IV. 제주연안 환경분야

제주 연안바다는 청정한 환경이 생명이다. 연안바다의 자정능력을 평가하기 위해서 1970년대부터 수행한 연구동향을 조사하였다.

1970년대에는 봉상온도계, 습식분석 방법으로 주로 제주 연안 수질의 이화학적 성분(수온, 염분, COD, 영양염, 중금속 등)의 정성, 정량적 분포현황 조사를 수행하였다.

해수중에 중금속류의 분포상을 조사하기 위해 원자흡광정량법(원 등, 1976)으로 해수중 카드뮴, 구리, 납, 아연 및 수은 등의 농도를 측정하였다.

1980년대에는 제주 연안 수질적 요인이 생지화학적 분포에 영향을 미치는 원인들을 규명하고자 하였으며, CTD 등 연구장비가 보급됨에 따라 정밀하고 짧은 시간으로 수온, 염분 등 물리자료 획득이 가능하여 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구(박, 1982), 제주도 서남해역의 해저퇴적물 특성(윤 등, 1989), 제주와 목포, 제주와 완도간의 표면수온 변화(노와 김, 1983), 제주도 신양리층의 연안퇴적환경(한과 윤, 1987)에 관한 연구들을 수행하였다.

1990년대에는 해양환경오염에 대한 이슈가 뉴스 등을 통해 제기되면서, 발전소 주변의 온배수, 양식장 배출수, 하수종말처리장 배출수, 방파제 및 대규모 건설 행위에 따른 토사 배출 등에 따른 연안역 생태계 파괴(갯녹음 현상 등)를 규명하기 위한 영향평가 연구가 주류를 이루었다. 제주도 연안 해양 중 benomyl의 잔류(김 등, 1999),

제주도 연안 해양환경 시료 중 유기인계 농약의 잔유(오와 김, 1999), 제주도 주변해역에 출현하는 중국 대륙연안수에 관한 연구(김과 노, 1994)들을 볼 수 있다.

2000년대에는 신속하고 정확한 현장분석 및 다성분 동시 분석 가능한 수질분석기기 등이 보급되면서 질적으로 향상된 자료를 얻을 수 있는 연구 환경이 조성되었다. 해조류 감소, 생물의 다양성 감소, 멸종위기 생물, 기후변화에 따른 해수면 상승, 해양쓰레기 증가 등 생태계 환경 변화가 빠르게 진행되면서 환경총량 평가 연구 등의 실제로 해양환경의 개선을 위한 정책을 마련하는 연구들을 수행하였다. 뿐만 아니라 제주 연안의 해조류 이상번식 등 부영양화에 대한 원인 탐색을 위한 지하수 특성분석(김 등, 2003), 인간건강 및 해양생태계에 영향을 미치는 중금속 및 잔류성 유기오염물질 등 유해물질 연구(김 등, 2003), 멸종위기 생물이 증가하는 원인을 수질환경과의 상관성을 통해 파악하고, 지속적인 자원관리를 위한 연구(이 등, 2003), IKONOS위성영상을 이용한 백화(갯녹음) 발생면적 측정에 관한 연구(김 등, 2007) 화순화력발전소 주변해역의 온배수 환경용량 산정(김 등, 2000), 제주항의 수질특성과 오염부하량 산정(조 등, 2003), 2001년 11월 오염시기와 2002년 봄 황사시기 제주도 고산에서의 잔류성 유기오염물질 농도 변화(2003, 김 등), 총유기탄소 분석의 산화방법 비교(변 등, 2009) 연구들을 볼 수 있다.

2010년대에 접어들어서 최근 해양환경 관련 연구는 해양쓰레기의 유입에 따른 미세플라스틱, 항생제성분으로부터 오염, 해빈유실, 해파리 증가 등 해양환경의 변화가 극심해짐에 따라 근본적 원인해결을 위한 연구가 진행되고 있다. 또한 연안생물 서식환경이 지속적으로 불량해지면서 저층 및 저질의 생태환경에 주목하는 경향을 보인다.

최근에는 위성 및 센서의 발달로 이를 활용한 표면수온, 생물분포 등 신기술을 이용한 무선관측 연구와 생태 모델연구도 활발히 진행되고 있다. 해수 유기오염지표로서 TOC와 COD의 상관관계 연구(윤 등, 2015), 제주연안 육상양식장 밀집지역 주변해역의 영양염 과잉 요인(고 등, 2013), 제주연안에서 기후변화가 갯녹음 확산에 미치는 영향(황 등, 2017), 제주도 연안에서 해저 지하수 및 지하수 기원 영양염류 유입량의 시간적 변화(황과 고, 2012), 해수에 잔류하는 미세플라스틱의 정성정량 분석법 확립(채 등, 2014), 미세플라스틱으로 인한 해양오염 방지 정책 개선방향에 대한 연구(안, 2018), 해양 글라이더에 관하여: 한

국 근해에서의 적용 가능성(박, 2013) 등을 볼 수 있다.

제주의 해양환경은 제주의 산업구조와 밀접한 관계이다. 제주의 청정 환경을 복원하기 위해서는 제주 관광관련 산업에서 파생하는 생활하수, 농수축산에서 파생하는 농약, 비료, 항생제, 도로와 교통에서 발생하는 중금속류, 황사와 미세먼지에 함유한 중금속류 등 환경부담 소재의 총량을 조사하고 년도별 산업구조별 발생량 변화 정도를 분석하여 제주 바다환경의 자정능력에 맞추어 나가는 단계적, 지속적 환경정책과 기술 개발 그리고 환경교육과 홍보가 필요한 실정이다.

참고문헌

- 강제원 (1966). 한국연안 해조류의 지리적 분포. 부산 수산대학 연구논문집, 7: 1-125.
- 강형일 등. 2002. 제주연안 갯녹음(백화) 지역의 해수에 분포하는 세균군의 분자생물학적 분석, 미생물학회지, 38(2):127-132.
- 고유봉 등. 1988. 제주도 북촌연안 수산자원유형생물의 출현과 먹이연쇄에 관한 연구 1. 종조성과 다양도, 한수지. 21(3):131-138.
- 고혁준 등. 2013. 제주연안 육상양식장 밀집지역 주변해역의 영양염 과잉 요인, 해양환경안전학회. 19(4):315-326.
- 김광수 등. 2000. 화순화력발전소 주변해역의 온배수 환경용량 산정, 한국해양환경공학회, 3(3):3-12.
- 김보연, 고준철, 고혁준, 박성은, 차형기, 최한길. 2013. 제주도 주변 해역 조하대 해조류 군집구조의 계절적 변동. 한국수산과학회지. 46(5): 607-618.
- 김성수 등. 2003. 제주도 염지하수 수질의 시공간적 변화, 한국양식학회지, 16(1):15-23.
- 김영성 등. 2003. 2001년 11월 오염시기와 2002년 봄 황사시기 제주도 고산에서의 잔류성 유기오염물질 농도 변화, 한국대기환경학회지, 19(5):469-490.
- 김인옥 등. 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한수지, 27(5):515-528.
- 김정인 등. 2016. 미세플라스틱으로 인한 해양오염과 방지 방안, 한국환경경제학회, 2016:1-22.
- 김정봉 등. 2008. 양식어업의 경쟁력 강화를 위한 합리적 구조재편 방안 연구. 해양수산부, pp. 575.
- 김정호 등. 1999. 제주도(濟州道) 연안(沿岸) 해양(海洋) 중(中) benomyl의 잔류(殘留). 농약과학회지, 3(1):51-56.
- 노홍길 등. 1983. 제주와 목포, 제주와 완도간의 표면수온 변화. 바다, 18(1):64-72
- 박길순. 1982. 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구. 한수지, 15(4): 255-262.
- 부성민. 1988. 제주해역 해조류의 분포론적 고찰. 제주도 연구, 5: 97-144.
- 박성욱 등. 2010. 알기쉬운 한국의 어업. 국립수산과학원, pp. 14-37.
- 박종진. 2013. 해양 글라이더에 관하여: 한국 근해에서의 적용 가능성, 한국해양과학기술원, 35(2):107-121.
- 원종훈 등. 1976. 해수중 카드뮴, 구리, 납, 아연 및 수은의 원자흡광정량법. 한수지, 9(3):169-175.
- 이용필. 1988. 제주의 바닷말. 아카데미서적, 477p.
- 이용필, 강서영. 2002. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교출판부, 662p
- 오윤근 등. 1999. 제주도 연안 해양환경 시료 중 유기인계 농약의 잔류. 한국환경과학회, 8: 358-360.
- 윤세영 등. 2015. 해수 유기오염지표로서 TOC와 COD의 상관관계 연구, 한국환경과학회, 24(1):109-109.
- 윤정수 등. 1989. 제주도 서남해역의 해저퇴적물 특성. 바다, 24(3):132-147.
- 이나경 등. 2003. 위성원격탐사에 의한 동중국해 재부상 부유사의 계절적 수평분포 특성, 한국지리정보학회지, 6(3):151-161.
- 이영돈, 이택열. 1987. 자리돔의 생식주기에 관한 연구. 한수지, 20: 509-519.
- 이영돈. 2016. 광어의 미래전략. 제1회 광어학 심포지움, pp. 89-99.
- 정상철 등. 2006. 제주 수산 60년사. 제주특별자치도, pp. 311.
- 조은일 등. 2003. 제주항의 수질특성과 오염부하량 산정, 한국환경과학회, 12: 225-226.
- 채두현 등. 2014. 해수에 잔류하는 미세플라스틱의 정성정량 분석법 확립, 바다, 19(1): 88-98.
- 한상준 등. 1987. 제주도 신앙리층의 연안퇴적환경. 바다. 22(1):1-8.

- 황동운, 고병설. 2012. 제주도 연안에서 해저 지하수 및 지하수 기원 영양염류 유입량의 시간적 변화, 바다, 17(4):252-261.
- 황성일 등. 2017. 제주연안에서 기후변화가 갯녹음 확산에 미치는 영향, 한국환경생태학회지, 31(6):529-536.
- Kang JC, Choi HG and Kim MS. 2011. Macroalgal species composition and seasonal variation in biomass on Udo, Jeju Island, Korea. *Algae*, 26: 333-342.
- Kim, M.S., Kim S.Y. Yang, M.Y., Kim, B.S. & Pilar Diaz-Tapia. 2012. Morphology and molecular study of *Pterosiphonia arenosa* sp. nov.(Rhodomelaceae, Rhodophyta) from Jeju Island, Korea. *Algae*, 27(4): 259-268.
- Koh, Y.H. & Kim, M.S. 2018. Taxonomic revision of the genus *Herposiphonia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) from Korea, with the description of three new species. *Algae*, 33(1): 69-84.
- Lee, KW 1976. Survey of the algal flora of Jeju Island, Bulletin of Marine Biological Station Cheju University, 1: 21-42.
- Lee, SY, Chang JH & Lee SB. 2014. Chemical Composition, Saccharification Yield, and the Potential of the Green Seaweed *Ulva pertusa*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 19: 1022-1033.
- Piao, MJ, Hyun YJ, Oh TH, Kang HK, Yoo ES, Koh YS, Lee NH, Suh IS & Hyun JW. 2012. *Chondracanthus tenellus* (Harvey) hommersand extract protects the human keratinocyte cell line by blocking free radicals and UVB radiation-induced cell damage. *In Vitro Cell Dev Biol*, 48: 666-674.