

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000888-01

바이오매스용 해조류 대량생산 기술 개발

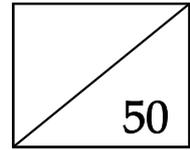
Technical Development for Mass Production of Marine Biomass

2011. 8



농림수산식품부

Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries



바이오매스용 해조류 대량생산 기술 개발

Technical Development for Mass Production of Marine Biomass

2011. 8

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 『바이오매스용 해조류 대량생산 기술 개발
(연구기간 : 2010. 10. 06~2011. 08. 05)』 용역사업의 결
과보고서로 제출합니다.

2011. 8.

총괄연구책임자 : 우희철(부경대학교)
연 구 원 : 김남길(경상대학교)
 : 김정숙(부경대학교)
 : 김헌태(부경대학교)
 : 나원배(부경대학교)
 : 류청로(부경대학교)
 : 신태선(전남대학교)
 : 오경근(단국대학교)
 : 윤한삼(부경대학교)
 : 이인철(부경대학교)
 : 강태순(지오시스템리서치)

연구보조원 : 장재길(경상대학교)
: 손성규(경상대학교)
: 조상대(경상대학교)
: 류현진(단국대학교)
: 정태수(단국대학교)
: 최원일(단국대학교)
: 최창호(단국대학교)
: 유창일(부경대학교)
: 정칠훈(부경대학교)
: 이주원(부경대학교)
: 김동환(부경대학교)
: 류승우(부경대학교)
: 전용호(부경대학교)
: 이경선(부경대학교)
: 최진휴(부경대학교)
: 김준호(부경대학교)
: 류성훈(부경대학교)
: 박정현(부경대학교)
: 제영준(부경대학교)
: 최인규(부경대학교)
: 강정원(부경대학교)
: 박상아(전남대학교)
: 이미애(전남대학교)
: 이영숙(전남대학교)

요 약 문

I. 제 목

바이오매스용 해조류 대량생산 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구 목적

- 바이오매스의 통합적 활용을 위한 지속가능한 해조류의 대량생산을 통하여 안정적 공급
- 외해 해조류 양식 기술 개발을 통한 해역의 입체적 이용 및 그린에너지 자원 확보
- 첨단융합기술을 접목한 해조류 대량 양식 기술의 개발을 통한 국가 경쟁력 확보
- 저탄소 녹색성장에 부응한 신재생에너지의 상용화 및 CDM 사업 적극 대처

2. 연구 필요성

- 고유가 및 기후변화에 대한 적극적 대응전략 마련 절실
- 저탄소 녹색성장을 새로운 국가발전 패러다임으로 선언
- 미래 한국경제를 이끌고 나갈 신성장동력 발표
- 해조류가 3세대 바이오매스로 부각
- 해조류 바이오매스 대량생산에 의한 바이로 리파이너리 구축으로 경제성 제고
- 바이오매스용 해조류의 생산단가 절감을 위해 대량생산을 위한 기술개발이 필요
- 기존의 양식시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하므로 새로운 양식적지를 개발할 필요성 대두
- 우리나라 연안해역은 소규모 식용의 해조류 양식 등으로 대량생산을 위한 해양공간이 절대적으로 부족하여 외해의 넓은 공간으로 확대할 수 밖에 없는 실정
- 과거 경험적 식용해조류 양식시설 기술에서 탈피하여 공학적으로 타당하고 경제적인 대량 양식 시설 설치기술의 개발이 시급

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

- 대상종 탐색 및 선정(미역, 다시마, 모자반, 감태)
 - 해역별 대상종 탐색 및 선정
 - 해역별 대상종의 개체군 생태학적 특성 구명
- 외해 해조류 대량양식 적지 선정
 - 대상종의 성장 적조건 탐색 및 해역별 특성조사
 - 해역별 시설물의 설계외력 산정 및 평가
- 바다 영양염 및 해조류 분석, DB구축
 - 해조류 구성 당류의 확보 및 분석조건 확립
 - 내외해 다시마의 구성당 비교/분석

2. 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발

- 외해 대량양식시설 설계 및 제어기술
 - 대규모 해면양성 기술개발
 - 시공간적 생산성 극대화 기술 개발
 - 외해 해조류 대량양식시설 설계 및 제어기술 개발
- 채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계
 - 채취 장비 및 선박의 자동화 기술
 - 시설관리 및 수확 시스템 기술
- 원료수급 및 전처리 기술
 - 다시마로부터 알긴산 분별공정 최적화
 - 다시마의 탈알긴산 및 전처리 가능 공정기술 개발
- 양식시설 환경모니터링 기술
 - 유비쿼터스형 실시간 감시 기술 개발
 - 웹GIS 응용기술

Ⅳ. 연구개발결과

1. 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

- 대상종 탐색 및 선정(미역, 다시마, 모자반, 감태)
 - 대량생산 대상종으로서 양성기간, 성장속도, 생체량 등을 고려할 때는 다시마가

월등이 우수한 종임은 입증되었다. 그러나 기능성 물질의 획득 측면에서는 감태가 훨씬 우수한 것으로 알려져 있어, 바이오매스 대량생산만으로 감태를 평가할 것이 아니라 기능성에 초점을 두고 평가해야 할 것으로 생각된다. 곰피의 경우 부착기질의 특성상 초기에 종묘가 탈락하는 경향이 있고, 본 연구에서도 입식된 종묘가 초기에 탈락, 유실되어 소기의 성과를 거두지 못했다. 이 부분은 추가로 구명할 예정에 있으며 팽생이모자반은 생리특성상 종묘생산이 늦게 이루어질 수밖에 없었기에 현재 계속수행중인 시험양식 결과를 모니터링하면서 추계와 동계의 성장시험 결과를 통해 추가로 대상종으로서의 특성과 생산량을 비교하여 분석할 예정에 있다.

■ 외해 해조류 대량양식 적지 선정

- 대량생산 적지로서 기장과 완도를 비교하였을 때, 완도해역은 다시마의 질이 좋고 끝녹음도 기장해역에 비해 늦게 시작되어 고수온기에 이르러서도 해적생물이나 착생생물이 적어 전처리과정에서도 유리한 반면, 기장해역에서는 6월부터 끝녹음이 급격히 진행되고 태형동물인 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류가 엽체의 전 표면을 피복할 정도로 밀생하여 식용으로는 불가능한 상태로 되는 것은 물론, 시료의 전처리과정에서 이들 해적생물이나 착생생물을 제거해 주지 않으면 분석 데이터에 오류를 가져올 수 있는 문제점이 나타났다.
- 다시마 양식만을 놓고 보면 기장 측이 제품의 질 측면에서 불리한 환경에 놓였다고 볼 수 있었다. 그러나 기장의 경우 다시마가 최대 성장기에 달한 6월 초순 이후 수온이 급격히 상승하기 시작하여 끝녹음이 시작되고, 해적생물의 유생이 출현하여 엽면에 착생하기 때문에 다시마가 최대 성장기에 이른 6월 초순경에 집중적으로 수확을 한다면 이러한 문제는 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

■ 바다 영양염 및 해조류 분석, DB구축

- 다시마에 가장 많이 함유하고 있는 당은 arabinose이며 그 다음으로 galactose, mannose, glucose등으로 나타났다. 부위별로 구성당 함량은 많은 차이가 없었으며 기장과 완도 간의 지역적 차도 나타나지 않았다. 또한 계절적으로도 다시마의 함량은 차이가 없었다.
- 같은 개체의 다시마에서 상, 중, 하에 따른 질소, 탄소, 함량은 차이가 있게 나타났다. 또한 수심에 의한 질소와 탄소의 함량 변화는 나타나지 않았으며 기장과 완도에 의한 지역적 환경요인도 탄소와 질소의 함량 변화에 영향을 주지 않은 것으로 판명되었다.

2. 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발

■ 외해 대량양식시설 설계 및 제어기술

- 해양과랑과 연속적인 조류를 관측하였으며 수온, 염분, 수질 등의 해양환경도 지속적으로 관찰하여 결과를 제시하였다. 또한 수치시물레이션을 통해 양식시설의 설계환경인자도 분석하였다.
- 연구에서는 외해 해조류 대량생산 시스템의 기능 및 개발 목적으로서 공간창조 개념을 종래의 단편적, 획일적이며 폐쇄적 해양이용가치를 벗어나 산업성에 기반한 유연성을 갖는 기능성, 개방성, 지속성, 방재/안전성의 차세대형 외해 해조류 대량생산 시스템 개념으로의 Paradigm Shift를 제안하였다.

■ 채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계

- 채취 및 이송 작업 시 해상 상태에 영향을 덜 받으면서 일정시간 동안 목표 채취량에 도달해야 하며 고효율의 수송과 연료의 소비를 적게 해야 하며, 또한 해조류 채취 후 다음 채취를 위해 해조류의 재성장에 필요한 시간을 줄이는 것 또한 중요한 요소 등 자동화 개념 설계를 위한 방법을 제시하였다. 그리고, 구조물의 형상 설계에 대한 개념을 정립하기 위해서는 필요한 사항도 제시하였다.

■ 원료수급 및 전처리 기술

- 다시마의 알긴산 분별공정에 적용할 촉매를 결정하기 위해 4.0(w/v)%의 H_2SO_4 , HCl, NaOH, Na_2CO_3 , NH_4OH 수용액을 촉매로 이용하여 본 결과, 알긴산 분별 및 glucose 손실 모두를 고려한 촉매로 Na_2CO_3 가 선정되었다.
- 최적 분별조건에서 다시마로부터 알긴산을 분별한 후의 잔류 고체물 및 H_2SO_4 수용액을 이용하여 추가 전처리 후 남은 잔류 고체물의 glucan 함량을 분석한 결과, 알긴산 분별 후의 다시마 시료는 원 시료보다 약 4배 높은, 23.4%를 나타내었으며, H_2SO_4 수용액을 이용하여 추가 전처리한 다시마 시료의 경우에는 원 시료보다 8~10배 높은 44.6~59.7%를 나타내었다.

■ 양식시설 환경모니터링 기술

- 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템의 연구 추진전략과 흐름을 수립하고, 양식시설의 안정성과 기능성을 평가하는 기술 개발에 초점을 둔 세부 전략 및 개념설계를 수행하였다. 개략적인 외해 양식시설 환경 모니터링 시설 설계의 개념을 도식화하여 제시하였다.
- 외해 해조류 대량양식 환경모니터링 시스템은 해상에 부유식(계류부이)으로 설치되어 있는 구조물에 내부 및 외부에 각종 모니터링 장비를 탑재하여 해중 및 해상 상태를 모니터링하고 이를 관리실 및 육상으로 무선 전송, 무선 전송된 해

양환경자료 및 영상은 모니터에서 실시간으로 확인 가능한 시스템으로 구축하는 것이 바람직하다고 판단된다.

V. 연구개발결과의 활용계획

■ 국가정책 측면

- 저탄소 녹색성장의 국가발전 패러다임에 적극 부응
- 해양국토 및 배타적 경제수역의 효율적인 관리와 이용
- 고유가 및 기후변화에 대한 적극적 대응
- 녹색성장의 한 축으로서 온실가스과 환경오염을 줄이고 신성장동력 산업 활성화
- 외해 해조류 대량양식 산업으로 일자리 창출 효과
- 환경친화적 공간의 창출로 해양생태계 개선
- 대량해조류 양식으로 인한 어족자원의 조성

■ 연구개발 측면

- 현재 연안에서 이루어지고 있는 소규모 식용 해조류 양식산업에 응용
- 종묘생산 및 보존기술의 개발을 통해서 종묘 은행의 구축 기반에 활용
- 외해 해조류 대량 양식 융합기술 확보로 해양의 효과적인 이용
- 종합적이고 체계적인 실시간 양식환경 모니터링 시스템 개발
- 친환경 해조류 바이오매스 기술개발의 기초 및 응용자료로 활용
- 실시간 모니터링을 통한 효율적인 해조류 생산관리 및 방재기술 확보

■ 산업화 측면

- 해조류 대량생산 시스템의 실용화를 통한 해조류 바이오매스 이용 관련 고부가가치 산업의 활성화
- 지능형 원격 통합 관리 시스템을 통한 양식장 관리, 해양재해관리, 적조경보 등에 활용
- 해조류 대량생산 시스템의 실용화를 통한 CDM 사업 대비 기반 구축
- 생산비 절감에 의한 해조류 양식으로 국가 경쟁력 제고
- 외해 해조류 대량양식 신기술 개발과 상용화를 위한 원천기술 확보 및 해외 기술 라이선싱
- 해조류 신제품의 개발로 유전자원 확보로 관련 산업 경쟁력강화 및 활성화
- 종묘 보존 기술 확보를 통한 종자은행 설립

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	11
제 1 절 연구목적 및 필요성	13
제 2 절 기술의 종류 및 범위	16
제 2 장 국내외 기술개발 현황	19
제 1 절 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정	21
제 2 절 대량생산 기술개발	22
제 3 절 생산관리시스템 동향	51
제 3 장 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정	65
제 1 절 대상종 탐색 및 선정	67
제 2 절 바다 영양염 및 해조류 분석, DB구축	106
제 4 장 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발	117
제 1 절 외해 대량양식시설 설계 및 제어기술	119
제 2 절 채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계	199
제 3 절 원료수급 및 전처리 기술	220
제 4 절 양식시설 환경모니터링 기술	240
제 5 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	301
제 1 절 연구 개발의 목표 및 달성도	303
제 2 절 기술 구성 및 연계도	307
제 3 절 향후 계획	309

제 6 장 참고문헌	311
부록	317
A. 추진경과 일정표	319
B. 심포지엄 개최 결과 요약	320
C. 최종보고회 결과 요약	324
D. 연구성과물	326
E. 언론 홍보	331

제 1 장

연구개발과제의 개요

제 1 절 연구목적 및 필요성

제 2 절 기술의 종류 및 범위

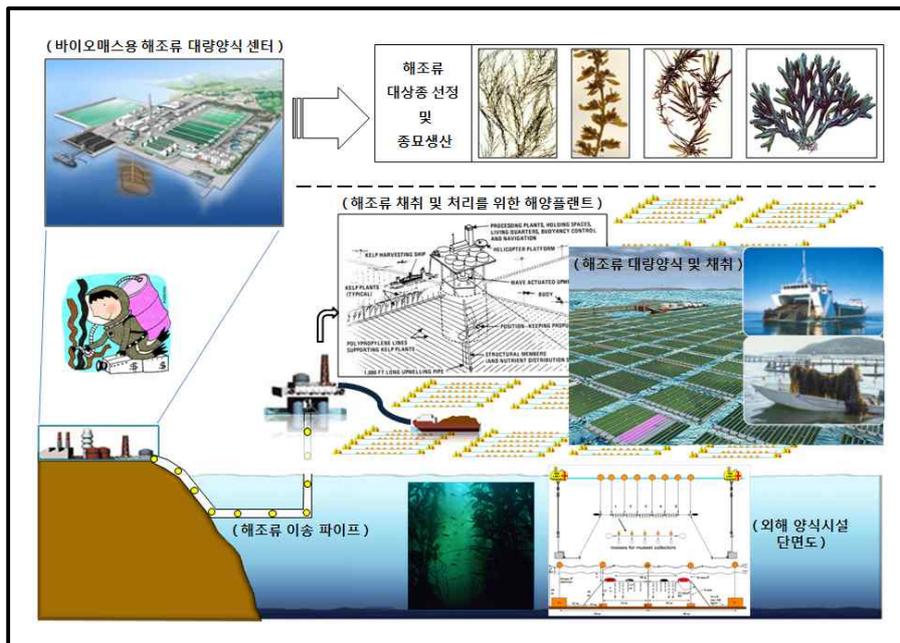
제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구목적 및 필요성

1. 연구의 목적

- 바이오매스의 통합적 활용을 위한 지속가능한 해조류의 대량생산을 통하여 안정적 공급
- 외해 해조류 양식 기술 개발을 통한 해역의 입체적 이용 및 그린에너지 자원 확보
- 첨단융합기술을 접목한 해조류 대량 양식 기술의 개발을 통한 국가 경쟁력 확보
- 신재생에너지 의무할당제(RPS)와 탄소배출권(CER) 의무이행제도 대비에 따른 비식용 해조류로부터 그린에너지 확보
- 저탄소 녹색성장에 부응한 신재생에너지의 상용화 및 CDM 사업 적극 대처

□ 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량 생산을 최종목표로 한다. 이를 위하여 전통적 연안 해조류 양식에 첨단융합기술을 적용하여 경제성이 확보된 세계 최초의 친환경 대규모 외해 해조류 양식 시스템을 개발하고자 한다.



[그림 1-1-1] 해조류 바이오매스 외해 대량양식 기술(안).

2. 연구의 필요성

- 고유가 및 기후변화에 대한 적극적 대응전략 마련 절실
 - 화석연료 고갈에 대비한 대체에너지 개발 시급
 - 국제적 기후변화에 대응하기 위한 온실가스 감축의무 가시화
 - 환경친화적이고 지속적 이용이 가능한 해조류 바이오매스 개발 필요
- 저탄소 녹색성장을 새로운 국가발전 패러다임으로 선언
 - 녹색성장은 온실가스과 환경오염을 줄이고 신성장동력과 일자리를 창출하는 『새로운 국가발전 패러다임』 (대통령 8.15 경축사)
- 미래 한국경제를 이끌고 나갈 신성장동력 발표
 - 신재생에너지를 17개 성장동력의 하나로 선정 (대통령 주재 국가과학기술위·미래기획위 합동회의, 2009. 1. 13)
- 저탄소 녹색성장을 위한 신재생에너지 보급 확대
 - 향후 50년까지 신재생에너지 보급 비율을 20%까지 확대
 - 임기 내에 원유 3,162만배럴 상당의 신재생에너지 생산(1.82%⇒3.3%, 지식경제부, ‘30년 국가에너지기본계획, 2008. 8. 27)
- 해조류가 제3세대 바이오매스로 부각
 - 식용작물의 바이오연료화는 식량가격 상승의 원인이 되고 있으나 해조류의 경우 식량자원과는 경합이 되지 않음
 - 해조류는 육상식물보다 발효당 함량이 적으나 단위면적당 생산성은 우수
 - 우리나라는 3면의 연안과 배타적 경제수역 보유 (국토면적의 2.3배)
 - 연간 90만톤의 해조류 생산력과 세계적 선두그룹의 기술력 보유
- 해조류 바이오매스 국외관련 연구동향
 - 미국 에너지부의 ARPA-E 프로젝트의 일환으로 Dupont사와 BAL 연구소는 해조류로부터 바이오부탄올 연구를 위해 DOE로부터 9백만달러 펀드를 조성 받았으며, 이로 인해 기존의 바이오디젤 뿐만 아니라 대형조류로부터 바이오알코올을 생산하기 위한 연구개발이 본격화되고 있음.
 - 영국 스코틀랜드의 에너지부는 해조류를 이용한 “6백만유로 BioMara research project“를 착수하였으며, 2020년까지 운송연료의 10%를 대체하는 것을 목표로 하고 있다. BioMara사는 European Union’s INTERREG IVA Programme 등으로부터 약 4.9백만유로를 지원받아 기후변화대응 및 CO₂ 감축을 위해 해조류 대량

양식 및 바이오연료 개발 연구를 수행 중에 있음.

- 노르웨이의 Seaweed Energy Solutions as(SES)사는 트론헤임 앞 연안에서 파일롯 규모로 해조류 배양 시험연구를 수행 중이며, 50,000 ha 클러스터에서 15,000천 톤의 해조류를 생산하여 바이오에탄올 32억리터(혹은 바이오메탄 20 TWh)를 생산할 계획에 있음.
- 네덜란드 Energy Research Center of the Netherlands (ECN)을 중심으로 2040년 까지 네덜란드 북해 영해의 10%에 해당하는 5000 km² 해조류 양식 및 이를 이용한 바이오에너지(에탄올, 메탄, 수소 등) 생산 계획 추진.

해조류 바이오매스 대량생산에 의한 바이오 리파이너리 구축으로 경제성 제고

- 유용 금속, 산업용 활성소재 개발 등 부산물을 활용한 경제성 증대

바이오매스용 해조류의 생산단가 절감을 위해 대량생산을 위한 기술개발이 필요함

- 바이오매스 원재료로써 해조류 대량생산이 반드시 필요함
- 미국을 중심으로 일부국가(일본 및 중국)에서 대량생산 방법을 연구중에 있으나, 관련기술을 확보하지 못한 상태
- 식용과는 차별화된 바이오매스용 해조류의 대량생산을 위한 품종 개발이 필요함

기존의 양식 시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하므로 새로운 양식적지를 개발할 필요성이 대두됨

과거 경험적 양식시설 위치 선정에서 벗어나 대량생산 및 주변 환경에 적합한 적지선정이 필수

우리나라 연안 해역은 소규모 식용의 해조류양식 등으로 대량 생산을 위한 해양공간이 절대적으로 부족하여 외해의 넓은 공간으로 확대할 수밖에 없는 실정임

과거 경험적 식용해조류 양식시설 기술에서 탈피하여 공학적으로 타당하고 경제적인 대량 양식 시설 설치기술의 개발이 시급함

제 2 절 기술의 종류 및 범위

1. 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

해조류 양식종 및 적지선정 분야에서는 외해에서 해조류의 연승식 대량양식이 가능한지를 구명하고, 외해에서 최적 양식 대상종을 선별하며 외해와 내만에서 해조류의 해역별 성장 특성을 파악하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 남해 중부해역과 서부해역의 외양에 실험해역을 추가하였고 이를 통해 해역별, 품종별 단위면적당 양식생산성 조사, 품종별 적정 양식기법 조사 및 생산량 추정에 의한 새로운 대상종을 발굴하고자 한다. 이를 통해 바이오매스용 해조류의 대량생산 적지가 선정되면 해조류의 대량양식을 통한 바이오매스 생산기반을 구축하고, 해역별 대량생산 적지를 단지화하여 지속적이고 안정적인 생산체제 가동을 통한 원료 해조류의 안정적으로 공급 시스템을 개발함으로써 해조류 산업을 저탄소 녹색성장의 전략산업으로 육성하는데 있다. 또한 지속적인 기술개발을 통해 해조류 바이오매스의 연중생산 시스템을 개발, 구축함과 동시에 부수적으로는 해조류의 생산해역별 성분조사, 환경친화적이고 지속적 생산과 이용이 가능한 해조류 생산시스템의 개발 및 잠재양식 가능 수면적의 활용을 통한 해조류 바이오매스 생산단지를 클러스터화 하는데 있다.

2. 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발

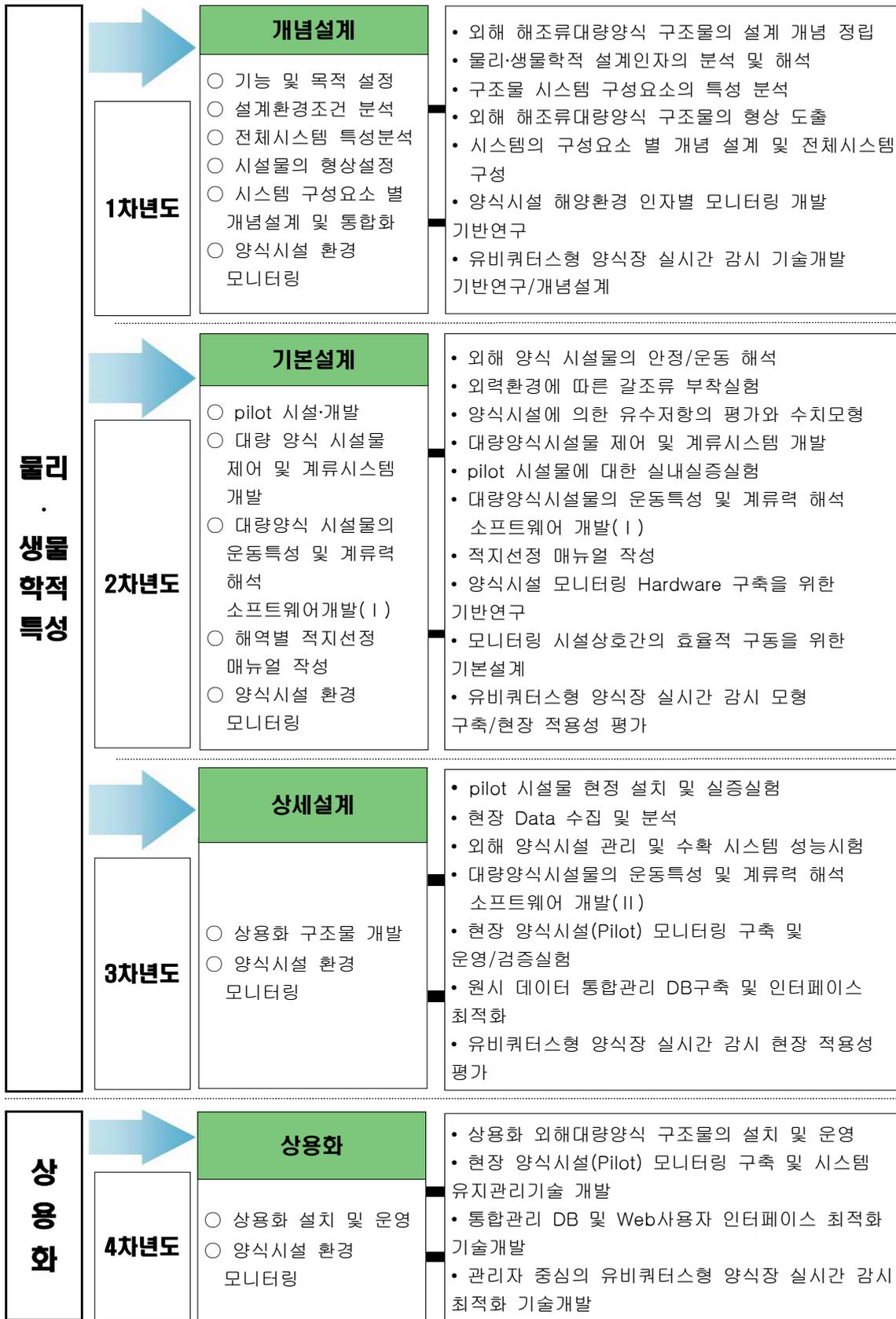
본 연구는 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산 기술 개발의 개념설계를 정립하는데 그 목적이 있다. 이를 위한 세부 연구 방법은 ① 대량양식시설의 기능 및 개발 목적을 설정, ② 물리·생물학적 설계인자의 분석 및 해석을 통해 외해 대량양식시설의 설계환경 및 조건 분석, ③ 천해양식구조물 시스템 구성요소의 특성분석을 통해 외해 해조류 대량양식 구조물의 최적형상 도출, 최종적으로 ④ 외해 대량양식 구조물 시스템의 구성요소별 개념 설계도를 도출하는 것이다.

이와 더불어 해조류 대량생산(양식) 시스템 구축에 따른 저비용·고효율의 채취 및 이송시스템에 필요한 필수요소를 정리하고 극한 환경조건에서도 일정한 시간동안 목표 채취량을 달성하기 위한 채취 기술의 개발, 높은 효율의 수송에너지 소비를 저감하는데 목표(대량-대형선박 or 연속-컨베이어 벨트)를 둔 해조류 이송 시스템 개념 설계를 수행한다.

또한 외해라는 특성상 채취된 해조류를 육상으로의 전처리 시설로의 이송과정에서 발생가능한 다양한 문제에 대응하기 위해 해상에서 임의 전처리하는 과정을 포함하는 기술개발이 요구되고 있다. 이러한 전처리 과정은 해조류를 바이오 에너지로 만들기 위해 해조류를 섬유소, 해조류 다당류, 단백질, 기타 부산물 등으로 분해하는 것을 말한다.

마지막으로 해조류 외해 대량생산 시스템의 구축은 지속적이고 안정적인 생산구조를 유지하기 위해서는 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발이 요구되고 있으며, 이는 기본적으로 시설 구조물의 안정성과 해조류 생산 및 채취, 이송 과정의 효율성 극대화를 포함하는 기능성 확보가 담보되어야 하며 이를 목적으로 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 외해 해조류 대량양식 시설의 환경모니터링 시스템을 설계하고 이를 개발하고자 하는데 목적을 두고 있다.

상술한 내용을 바탕으로 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발추진 전략을 모식화하면 다음 [그림 1-2-1]과 같다.



[그림 1-2-1] 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발의 범위.

제 2 장

국내외 기술개발 현황

제 1 절 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

제 2 절 대량생산 기술개발

제 3 절 생산관리시스템 동향

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정 동향

1. 국내 연구동향

우리나라의 해조류 양식은 인조 18년(1640년) 광양만의 태인도에서 전남 영암사람 김여익에 의해 시작된 김 양식이 그 시초이다. 이후 1964년 국립수산과학원의 전신인 국립수산진흥원에서 미역 인공종묘 배양 및 양식 기초시험을 수행하였고[1], 이어서 미역종묘생산 및 성장상황에 관한 연구[2]를 시작으로 미역양식에 대한 연구가 본격적으로 이루어졌다. 이를 계기로 1967년 어업인 방현호에 의해 상업적인 미역양식이 처음으로 이루어지면서 대형갈조류의 대량양식이 시작되었다. 대형갈조류인 다시마는 한해성 해조류로서 우리나라의 원산만 이남 해역에서는 서식하지 않았던 해조류로 중국의 청도 부근의 난해역에서는 1953년경부터 양식이 이루어졌던 해조류이다. 국내에서는 1967년 국립수산진흥원에서 일본 북해도로부터 애기다시마(*Saccharina religiosa*) 모조를 들여와 실내채묘와 인공종묘배양을 통해 생산한 종묘를 동해 남부해역인 울산 방어진 연안에서 처음으로 양식[2]을 한 것이 그 시초로 이때부터 다시마의 종묘배양 및 양식에 관한 연구가 본격적으로 시작되었고[3-7], 양식 대상종도 애기다시마 뿐만 아니라 다시마(*Saccharina japonica*, 통상 참다시마로 알려짐)로 확대되어 동해안의 삼척[4]과 남해[7]에서 본격적인 양식이 이루어진 후 전국 연안으로 보급되게 되었으며, 지금은 남해안의 완도, 해남을 비롯 서해안의 백령도와 흑산도에서도 양식이 이루어지게 되었다. 이후 다시마는 광온성 종으로 남해의 일부해역을 제외한 대부분의 우리나라 연안에서 관찰할 수 있게 되었다. 다시마는 성장속도가 빨라 종묘입식 후 약 4개월이 지나면 8-9m 정도로 성장한다. 이후 최근에는 바다숲 조성용 종묘로 사용하기 위해 쇠미역[8], 곱피[9,10], 감태[11,12], 모자반[13,14]의 종묘생산 및 양식이 이루어지게 되었는데 감태와 곱피의 경우 기능성 물질을 추출하기 위한 용도[15] 및 양식전복의 대체먹이[16]로 수요가 증가하게 되었고 모자반의 경우 식용으로 인기도 높고 수요도 증대하여 대량양식이 이루어지게 되었다[17].

2. 국외 연구동향

최근 일본 응용조류학회에 발표된 연구보고에 의하면 아오모리켄의 산업기술센터에서는 일본 바이오수소 주식회사와 공동으로 양식 해조류를 이용한 가스발전 연구결과

를 발표한바 있고[18], 시마네켄 에서는 본 연구에서도 적용한 방법 가운데 하나인 수직 연승에 의한 양형시험을 보고하고 있다. 이 방법은 2개의 참다시마 품종을 5m 길이의 수직연승에 삽식한 후 연승 10개를 20cm, 40cm, 80cm 및 100cm간격으로 수평연승에 매달아 밀도에 따른 다시마의 생장이나 생산성을 비교하여 보고하였다. 이 밖에도 다시마목 해조류인 *Lessonia*에 대한 대량양식기술개발이 이루어지고 있으며[19], 일본, 유럽연합, 호주 등에서 미세조류 및 해조류를 이용한 바이오에너지 분야의 연구개발이 집중되고 있다. 이 밖에 일본에서는 고품피가 포복지로 번식한다는데 착안하여 포복지를 이용한 고품피양식 기술 개발과 이를 이용한 바이오에너지 연구를 활성화 하고 있다. 미국 등에서는 대형 켈프류 가운데 생산성이 뛰어난 마크로시스티스와 다시마류의 양식기술 개발이 이루어지고 있고, 원형 플라스틱 파이프를 활용한 종묘생산 방법 등을 고안하고 있다.

제 2 절 해조류 대량생산 기술개발 동향

1. 해조류 대량생산

해조류는 일차 생산자로서 바다에서 서식하는 해산식물의 한 부류이며 조류중 육안적인 크기로 대형조류 또는 바닥의 기질에 붙어서 사는 저서성 조류라고도 부른다. 최근 바이오매스로서 해조류에 대한 관심이 높아지고 있다. 해조류는 육상식물의 경우처럼 식량문제를 촉발시키거나 산림자원의 경우처럼 자원을 고갈시키는 문제점을 극복할 수 있는 유망한 바이오매스로서 기대되고 있는 자원이다. 우리나라는 해조류 양식기술 및 생산량 측면에서 세계 4위 수준의 인프라를 보유하고 있어 국제경쟁력에서 우위에 있는 것으로 평가받고 있다. 하지만 해조류 바이오매스 산업화 측면에서는 기술 수준이 실험 연구 수준에 있어 실용화 단계에 이르지 못하고 있는 것이 현실이다. 해조류 바이오매스를 이용하여 산업화를 달성하기 위해서는 우선적으로 바이오매스 대상이 되는 수율이 높은 해조류를 개발하고 이의 대량 생산시스템이 정비되어야 할 것이다. 해조류 대량 생산을 위한 기본방향은 다음과 같다.

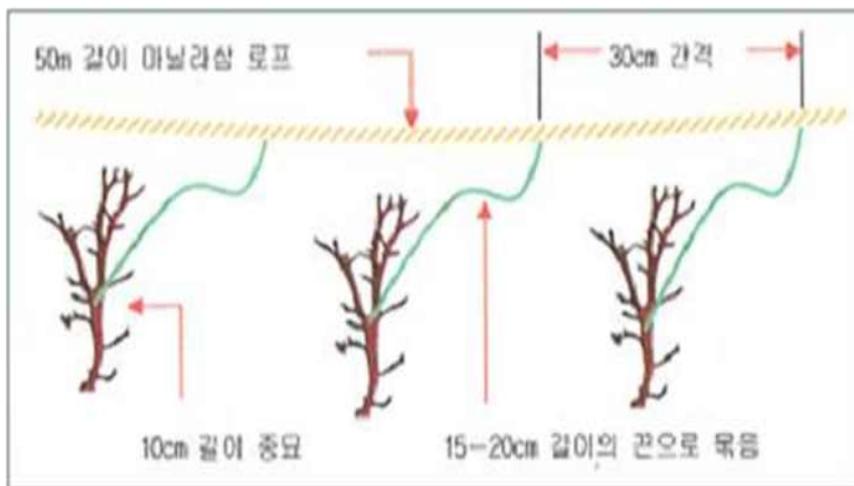
첫째, 산업화 대상 해조류의 성장 및 수율을 높일 수 있도록 선발 육종 기술을 개발해 나간다. 특히 우리나라 수역의 사계절 수온을 극복할 수 있는 경제성 높은 산업화 해조류의 육종 개발이 필요하다.

둘째, 국내 연안의 해조류 양식 가능량을 검토하고 대량 양식기법을 확립하고 외해로 양식어장의 확장 가능성을 분석한다. 또한 대량 양식된 해조류의 회수를 자동화 할 수 있는 시스템을 확립한다.

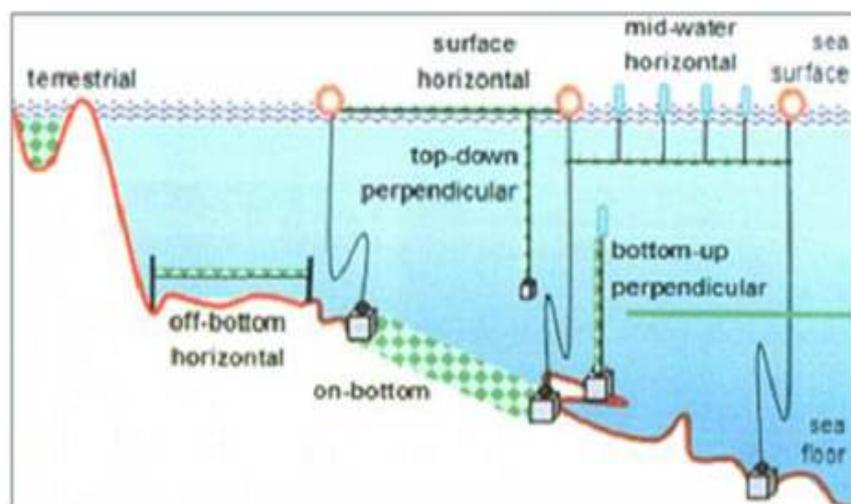
셋째, 해조류 양식 방식을 기존의 농동집약적이고 전통적인 2D 양식에서 연근해

및 외해에서도 가능하도록 부류식 등의 3D 양식시스템으로 전환할 수 있는 기술 개발을 실시한다.

넷째, 해조류 식용과 분리하여 바이오산업용으로 해조류 양식장을 새롭게 개발한다. 즉 기존의 연안에는 식용의 해조류를 양식해 나감으로써 종래의 해조류 수급을 안정시키고, 이와 별도로 바이오산업용 해조류를 외해에서 생산되도록 적지 조사 부류식 양식시스템 개발 등을 통해 적지 양식장을 개발해 나간다. 마지막으로 산업화 해조류의 성장률이 높은 양식 적지로 알려져 있는 동남아, 아프리카 등 해외의 양식어장을 적극적으로 개발, 확대해 나간다.



[그림 2-2-1] 2D 해조류 양식 시스템.



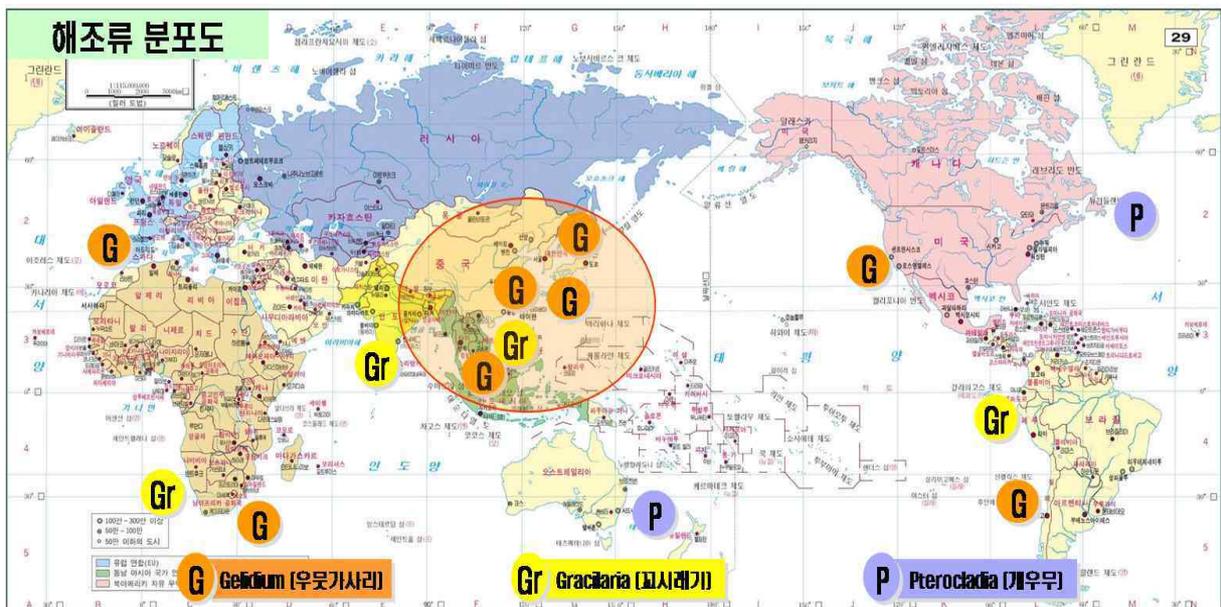
[그림 2-2-2] 3D 해조류 양식 시스템.

2. 바이오매스용 해조류 대량 양식 기술

가. 정의

조류(algae)는 현미경으로 관찰 가능한 미세조류(microalgae)로 부터 우리가 일반적으로 식용으로 섭취하는 미역, 다시마 등의 대형조류(Macroalgae)로 구분할 수 있다.

전세계에 분포하는 조류의 종수는 약 4만여종으로 알려져 있으나 Norton et.al.(1996)에 의하면 이보다 4-8배 정도 많은 기록되지 않은 종들이 존재할 것으로 보고 되어 있다. 우리나라에 분포하는 해조류 자원은 녹조류 98종, 갈조류 166종 및 홍조류 489종 등 총 753종이 분포하고 있다. 현재 인간이 이용하고 있는 해조류의 종수는 약 500여종에 이르며, 이중 양식이 이루어지고 있는 종은 약 20여종에 불과하다. 이들의 세계적인 분포는 [그림 2-2-3]과 같다. 세계에서 가장 중점적으로 양식이 이루어지고 있는 분류군은 5개속(Genus)에 국한되고 있으며 이는 홍조류에 속하는 김속(Porphyra)유류 우마속(Eucheuma) 및 꼬시래기속(Gracilaria)과 갈조류에 속하는 다시마속(Laminaria) 및 미역속(Undaria)이다(Kain2003).



자료: 한국생산기술연구원 발표자료, 2008

[그림 2-2-3] 산업적으로 중요한 해조류의 세계 분포.

해조류를 양식하는 이유는 자연자원으로부터 채취되는 양만으로는 그 수요를 충족시킬 수 없기 때문이다. 바이오매스로 이용하기 위한 해조류 대량양식은 다음의 세가지를 고려대상으로 하여야 한다. 첫째, 어떤 종을 대상으로 선정할 것인가? 둘째, 대량양식이

용의 할것인가? 셋째, 경제성이 있는 생산단가에 도달할 수 있을 것인가? 이 사항을 고려하여 바이오매스용 해조류 대량생산기술 개발에는 다음을 들 수 있다.

- 해조류 양식 원천기술 개발
 - 바이오매스용 해조류의 생태학적 기초연구
 - 해조류 종묘생산, 양식기술 개발 및 품종연구
- 바이오매스 생산 자동화 기술개발
 - 해양환경 및 기상정보의 DB화 연구
 - 내파성 해조류 양식 및 양식 원격조정 기술개발

나. 주요 성능지표 도출

바이오매스 대량확보를 위한 해조류의 적정 대상종 선정의 기준은 성장율,당함량, 양식의 용이성, 양식 생산성, 환경적응성, 지속가능성, 경제성등의 기준 을 종합하여 선정하여야 한다.

(1) 성장율

해조류의 생장은 열대지역과 같이 계절의 변화가 없는 지역에서는 연중 생장이 가능하나 온대지역에서는 계절성을 가지게 되며, 최대 엽장이 종류에 따라 [그림 2-2-4]에서 보는 것처럼 크게 달라진다. 따라서 해조류가 양식되는 지역의 환경특성에 따라 최대 성장시까지 1회의 양식어기 또는 1년을 기준으로 한 성장율을 대상 해조류종의 성장율로 삼아야 한다.



[그림 2-2-4] 해조류 종류별 엽체의 크기 비교.

(2) 당 함량의 기준

[그림 2-2-4]를 보면 해조류는 종에 따라서 최대성장시 엽체의 길이가 수 미터에서 수 센티미터에 불과하기도 하다. 그러므로 각 종의 특성에 따라 해조류 엽체의 습중량을 기준으로 한 당의 함량을 정확히 판단하여야 하며 이 기준으로 바이오에너지 생산을 위한 해조류 종을 선정하는 기준을 삼아야 한다.

(3) 양식의 용이성

해조류 대량배양 방법이 까다롭거나 포자방출 및 채취가 매우 제한적이라면 대량 종묘생산 및 양식에 직접 이용하기가 어려우므로, 생활사의 조절이 용이하고 포자의 양이 많은 종류일수록 대량배양이 유리하다. 또한 양성과정에서 시설물의 관리가 수월하고 수확, 건조, 운반 등의 과정 관리가 수월하여야 한다.

(4) 양식 생산성

대량 배양시 해조류의 단위면적당 생산성이 높아야 한다. 해조류 양식을 수행할 수 있는 양식장 면적은 대개의 경우 한정적이므로 양식 적지에서 단위면적당 생산성이 높은 종류를 선택해야 한다.

(5) 환경 적응성

해조류는 각각의 종별로 최적생장을 위한 적정 수온, 염분, 영양염 농도 조건 범위를 가진다. 최근의 지구온난화에 따른 수온 상승과 관련하여 적정 수온의 내성 범위가 넓은 종일수록 환경적응성이 뛰어난 특징을 가진다고 할 수 있다. 또한 단일 해조류 품종의 대단위양식이 이루어지는 지역에서는 질병 감염시 치명적인 피해를 입을 수 있게 되므로 질병에 대한 내병성이 높은 품종을 선택하여야 한다.

(6) 지속가능성

해조류는 그 특성에 따라 일년생과 다년생으로 구분된다. 미역과 같은 일년생 해조류는 매년 새로운 종묘를 채묘해서 양성후 수확해야 하는 특성을 가지며, 모자반과 같은 다년생의 경우는 1회 채묘 및 시설로 다년에 걸쳐 수확이 가능한 특징을 가지고 있다. 따라서 지속 가능한 바이오매스의 채취차원에서 다년생 해조류가 일년생에 비하여 수년에 걸쳐 지속 가능한 이점을 가지고 있다.

(7) 경제성

현재 이루어지고 있는 해조류 양식 방법 중에서도 파래나 매생이의 경우에서 보

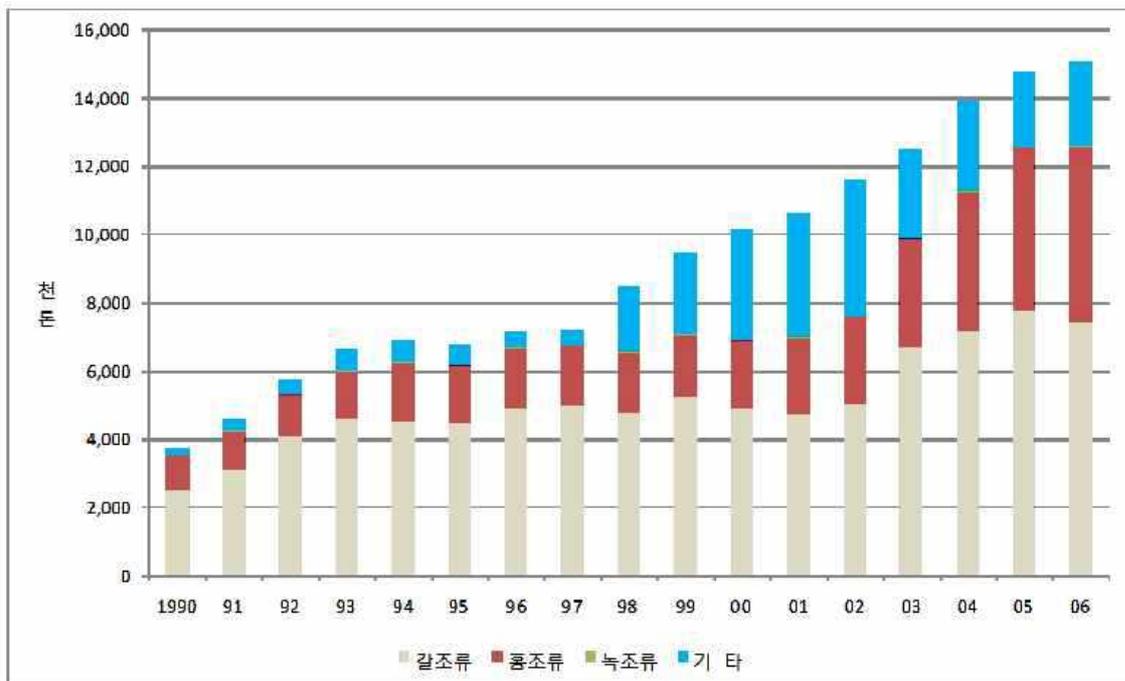
이듯이 자연적으로 발생하는 포자를 채묘하는 자연채묘의 방법을 통해 양성후 채취하는 방법을 사용하고 있다. 이는 자연채묘 방법이 이들 중에 있어서는 인공채묘에 비하여 경제적이기 때문이며, 이러한 채묘, 양식시설 및 수확 방법 등이 대상종의 특성에 따라 다르게 적용하므로써 바이오매스 생산 자체의 경제성을 도모할 수 있다.

3. 외국의 기술 동향

가. 세계 해조류 생산 동향

현재 세계적으로 약 200종의 해조류가 이용되고 있고 주로 녹조류에 속하는 홀파래류, 일파래류와 홍조류에 속하는 김속, 유큐우마속, 카파피쿠스속, 꼬시래기속 그리고 갈조류에 속하는 다시마, 미역이 생산되고 있다. 해조류의 생산량은 연간 1,500만톤이며 그 중에서 다시마, 미역, 김이 가장 많은 비중을 점하고 있다.

세계 해조류 생산량 추이를 보면 1990년에 370만톤에서 1995년 670만톤, 2000년에는 1,000만톤, 2005년 1,400만 톤, 2006년 1,500만톤으로 지속적으로 증가하였다[그림 2-2-5]. 2006년 기준으로 해조류 생산량은 갈조류가 740만 톤, 홍조류가 510만 톤, 남조류 등의 기타 조류는 240만 톤이다.



자료 : FAO 홈페이지[20]

[그림 2-2-5] 세계 해조류 생산량.

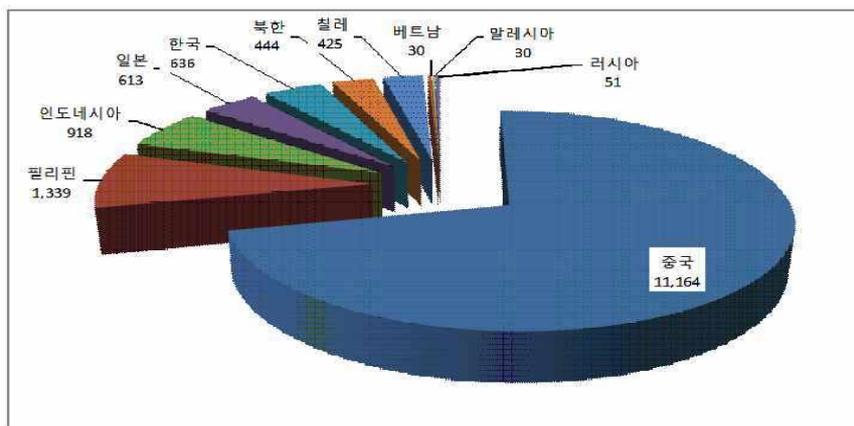
2005년 기준으로 세계 해조류 나라별 생산량은 [그림 2-2-6]과 같다. 2005년 중국이 전세계 71.2%에 해당하는 1,100만 톤의 해조류를 생산하고 있다. 주된 생산 품목은 다시마, 미역, 꼬시래기류, 김, 톳, 파래, 우뚝가사리의 순으로 전 세계에서 다시마를 가장 많이 생산하고 있다.

2위인 필리핀은 8.5%에 해당하는 130만 톤의 해조류를 생산하고 있으며 해조류를 식용, 한천 생산용 카라기난 생산용, 알긴산 생산용으로 양식된다.

주된 품종은 식용은 *Caulerpa lentillifera*, *C.recemosa*(녹조류 옥덩굴 일종)와 *Gracilaria*(홍조류 꼬시래기 일종)가 있고, 한천은 *Gracilaria*, *Gelidium Pterocladia*와 *Geladiella*, 카라기난은 유큐우마 종류인 *K. alvarezii* 와 *E. denticulatum*, 알긴산은 모자반류로 양식한다. 이들 양식 방법은 얇은 연안에 엽체 조각을 양식장 바닥에 뿌리거나 부상대 혹은 양식 로프에 끼워 재생되는 엽체를 수확한다.

인도네시아는 5.9%로 92만톤의 해조류를 생산하는 나라이다. 상업적으로 양식되는 종은 *Eucheuma*, *Gracilaria*, *Gelidium Hypnea*, *Sargassum* 등 이 있다. 양식방법은 필리핀과 유사하다.

한국은 4.2%로 64만톤의 해조류를 생산하며, 그 다음으로는 일본이 3.9%로 61만 톤의 해조류를 생산하고 있다. 일본에서 생산하는 품종은 김, 다시마 미역 순이다.



자료 : FAO 홈페이지[20]

[그림 2-2-6] 나라별 해조류 생산량(2005).

나. 세계 해조류 생산 기술

해조류를 생산하는 나라는 주로 중국, 필리핀, 한국, 일본, 그리고 인도네시아 등의 아시아 국가들이다. 이들 국가에서 해조류의 생산은 대부분 노동집약적인 조방적 양식에 의존하고 있다. 그리고 서구에서는 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 네덜란드 등이 대규

모 해조류 재배시설을 통해 생산하고 있다. 해조류 양식의 상업적 성공에서는 서구나라들이 뒤지고 있다. 그러나 서구에서는 지속적인 시도가 있었으며 수많은 양식실험들에 대한 기록 사례들만 해도 나머지 국가들에서 이루어진 일들의 3배나 된다. 중요한 요인 중 하나는 역사이다. 아시아 국가들의 문화에서 해조류를 포함하는 해산물에 대한 의존도는 매우 폭넓게 자리잡아왔다. 자연자원의 감소에 따라 양식은 점차 필수적인 요소가 되어가고 있다. 서구나라에서 식용 해조류에 대한 수요는 매우 적어서 자연자원량만으로도 쉽게 충족될 수 있었다. 반대로 서구나라들에 거주하는 많은 아시아 사람들뿐만 아니라 그들의 식이문화는 서구인들에게도 동화되고 있어 앞으로는 높은 수요가 예측된다.

(1) 미국

1970년에서 1980년대의 오일과동 기간중에 새로운 대체 에너지를 찾기위한 일환으로 해양 바이오매스로부터 대체 천연가스 생산의 기술적, 경제적 타당성을 검증하는 대규모 프로젝트를 시작하였다. 미국 서부 연안에서 갈조류인 마크로키스티스(*Macrocystis pyrifera*)를 대상으로 하여 최초로 시도되었다. 당시로서는 다소 엉뚱하게 보일수도 있는 연구제안서에 의해 미국 서부 연안에서 강철과 로프로 만들어진 거대한 우산과 같은 형태의 구조물을 이용해서 *Macrocystis*를 양식하려 하였다. 불행하게도 기술자들과 생물학자들 사이의 원활한 의견교환이 이루어지지 않아 성숙한 엽체가 물의 움직임에 따라 구조물의 위 아래로 움직일 때 단단한 기질에 마모되어 부러지고 떨어져 나갔다. 또 다른 양식 구조물들이 설치되었으나, 지속적으로 사용된 것은 없다.

미국의 플로리다에서는 탱크 양식 시설이 만들어져 홍조류 꼬시래기(*Gracilaria* sp.)를 대체에너지원으로 배양하였다. 1981-1985년까지 ‘생체량으로부터의 에너지 생산’을 테마로 유럽위원회가 연구비를 지원했다. 이는 Isle of man에서의 갈조류 양식계약을 포함하고 있었으며, 다소의 진전이 있었다. 양식은 성공적이었으나, 누구도 다시마를 천연가스의 원료로 이용하는 것을 심각하게 고려하지 않았다. 다시마류를 이용하여 영국에 천연가스를 공급하기 위해서는 [표 2-2-1]의 계산에 따르면 상당한 양식 면적을 필요로 한다. 다른 각도로 보면 많은 수의 양식 인력을 필요로 한다. 당시 현지의 기술로서 한사람이 경작할 수 있는 해역의 면적은 1ha의 양식장이었다. 그러나 영국의 인구 절반을 위한 천연가스 생산을 위하여 다시마류 양식장이 수만ha가 필요한데 이는 당시로서는 경제성이 없는 결과였다. 에너지 경제학상 다시마 양식을 에너지 생산에 이용하려는 시도 이전에 어떤 극적인 기술적 변화 또는 진전이 필요하다는 결론에 도달하였다. 이러한 연구결과가 완전히 시간낭비라는 것을 의미하지는 않는다. 반복적으로 제기되는 문제들을 통해 일단 기술력이 확보되면 생산물로부터 얻어지는 결과가 경제적인 규모 이상으로 바뀔 수 있다는 것이다. 현재로서는 유럽이나 미국 등지에서 에너지 생산을 위한 생

체량의 양식은 이루어지고 있지 않다. 플로리다의 연구과제는 현재에도 계속되고 있으나 생산된 해조류는 양식 어류와 연체동물의 사료로 판매되고 있다. 반면에 뉴욕의 다시마 프로젝트는 단지 학문적인 관심에 의하여 수행되었으며 연구책임자인 Bud Brinkhuis의 갑작스러운 죽음으로 인하여 더 이상 Long Island Sound 에서의 허가를 받는 일이 어려워진 탓에 중단 되었다. 영국의 Isle of man에서 이루어진 프로젝트는 처음에는 양질의 알긴산 생산을 목적으로 하였으나 후에 식용으로 소비하기 위한 업체 생산을 목적으로 바뀌었으며, 이후 생산이 중단 되었다. 심지어 전복의 먹이로 해조류를 이용하는 것이 해조콜로이드 추출을 위한 생산보다는 많은 돈을 벌수 있었다.

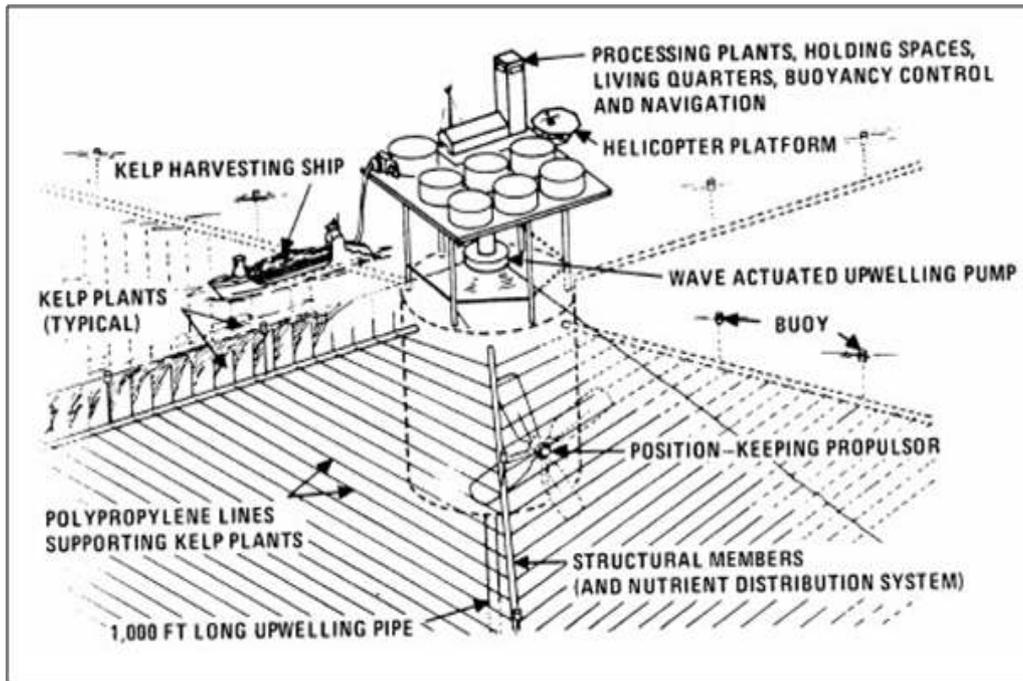
[표 2-2-1] 영국에 총 천연가스 소비량에 대한 양식생산량 계산

천연가스 생산량 1,129 BTU/cu ft = 331/28.3=11.69 Wh/I*
Laminaria saccharina 는 490l/kg의 volatile solids(VS)를 생산
VS=건중량당 89%일때 =생중량의 9.26%(Chynoweth et al., 1987)
따라서 45.4l/kg-fresh wt.=530Wh/kg-fresh weight
영국의 총 천연가스 소비량 : 2000 기준 1.033×10^{12} Wh
Laminaria saccharina 생중량 1.95×10^9 톤이 필요
양식생산량 : 70톤/ha(Druehl, 1988)
28×10 ha = 280,000 km ² 필요함 = 1.1×영국의 육지면적
* 1BTU = 1,055J = 0.2931 Wh

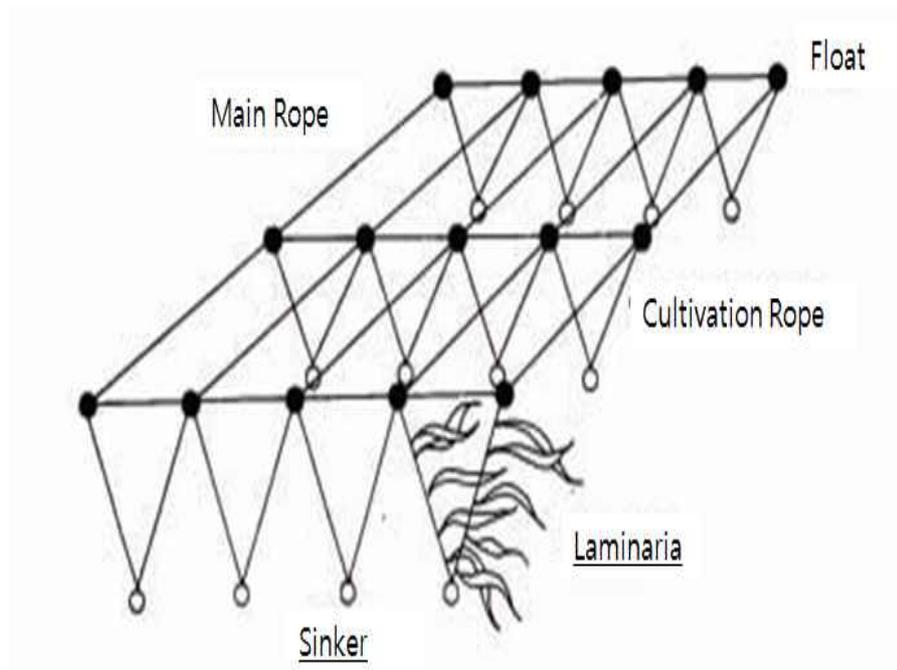
한편 미국 해양 대기국 (NOAA)에서는 National Marine Fisheries Service(NMFS)와 National Sea Grant College Program(NSGCP)를 통하여 수산, 양식과 경영과 연안관리에 적절한 방법을 찾고 어떻게 바다의 생물자원을 인간이 이용할 것인가에 대한 비전을 제시하고 있다. 바다 생태계의 안정화는 국가차원에서 논의될 뿐만 아니라 National Marine Aquaculture Initiative(NMAD)와 같은 연구 프로그램으로 계획되고 지원되고 있다. 특히 해양에서의 양식과 자원조성에서의 영양단계(trophic level)에 대한 연구 프로그램으로 해양 생물과 환경과의 관계를 중요하게 고려하고 있다.

대규모 해조류 재배시스템은 넓은 바다를 활용한 자유부유배양시스템

(free-floating cultivation system)을 활용하여 생산하고 있다. 그러나 이러한 방법은 해조류 재배를 위해 사용 되는 줄이 엉켜서 닻과 부표의 유실 같은 문제가 있고 아직까지 상용화 되지 않은 기술이라는 단점이 있다.

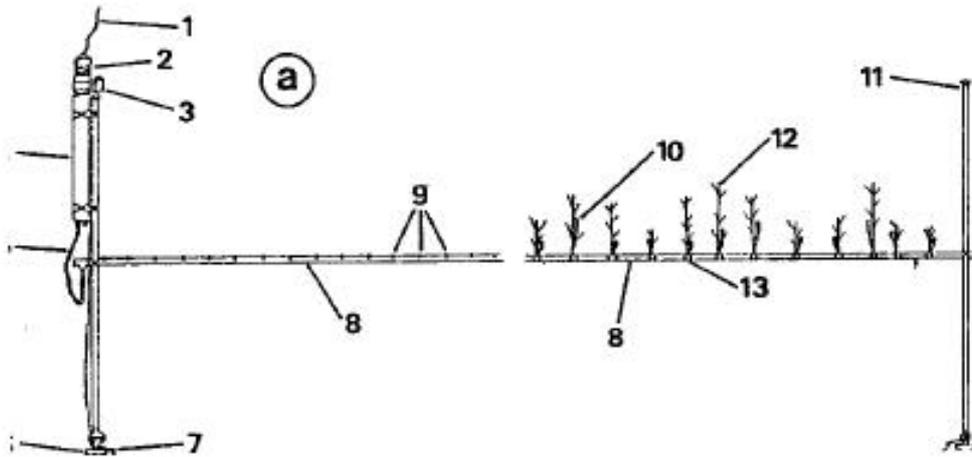


[그림 2-2-7] 해양식품과 에너지팜의 개념설계[21].



[그림 2-2-8] 다시마 양식 시스템[21].

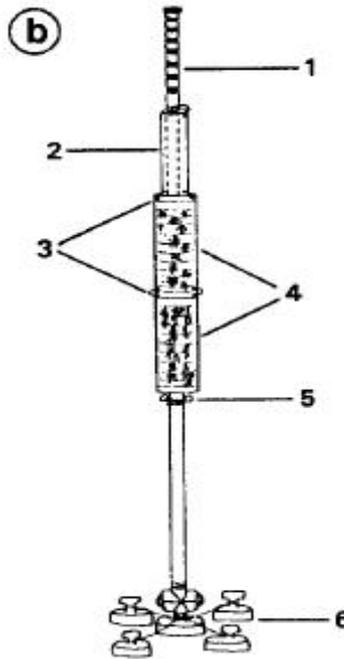
또한, 우뭇가사리(Gelidium)의 종의 대량생산을 위해 미국 캘리포니아 산타바바라 대학에서 시험 재배를 하였다(1979-1981). 농장은 H, I, 그리고 Z형을 설계하여 시험되었다. H형 디자인[그림 2-2-9]은 가로 6m의 파이프와 설비 기관으로부터 정박된 3m 길이의 수직 기둥을 고정시켜 연결 하였다.



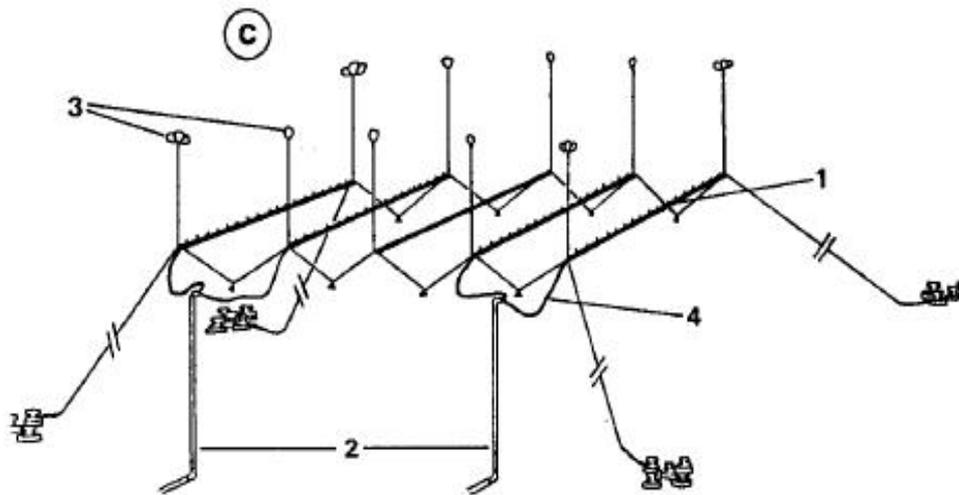
[그림 2-2-9] H 형 양식구조.

디자인의 I형 농장[그림 2-2-10]은 부력을 유지하기 위해 파이프의 뚜껑의 상단과 기둥 기지에 맞는 봉인된 T형 기둥을 같이 만들어진 단일 기둥형 부이다. 이 기둥은 이중벽의 파이프 조각과 같이 묶여진 연속 또는 주름진 파이프 조각과 같은 긴 슬리브를 미끄러지게 하였다. 농장은 주름진 파이프 주위의 Gelidium 해조류를 심은 로프를 감쌌다. 설비와 유지는 보트에 있는 인부 또는 다이버들에 의해 수행 될 수 있다. 또한 슬리브에서의 해초 성장은 보트로 부터 잠수할 필요 없이 연결 로프와 함께 슬리브를 표점으로 당김으로써 회수될 수 있다.

Z형 구조는 부유물 표면 옆 표면으로부터 3m아래를 떠받치고 있는 수평파이프 가로장 배열과 같은 로프 사다리를 구성한다[그림 2-2-11]. 측면 로프 줄들은 측면에서 보여질 때 Z형과 같은 형태를 주기 위해 가중되어진다. 이 부유체와 체중 카운터 밸런스 시스템은 파도가 지나갈 때 마치 아코디언처럼 늘어나고 수축된다.



[그림 2-2-10] I 형 양식구조.



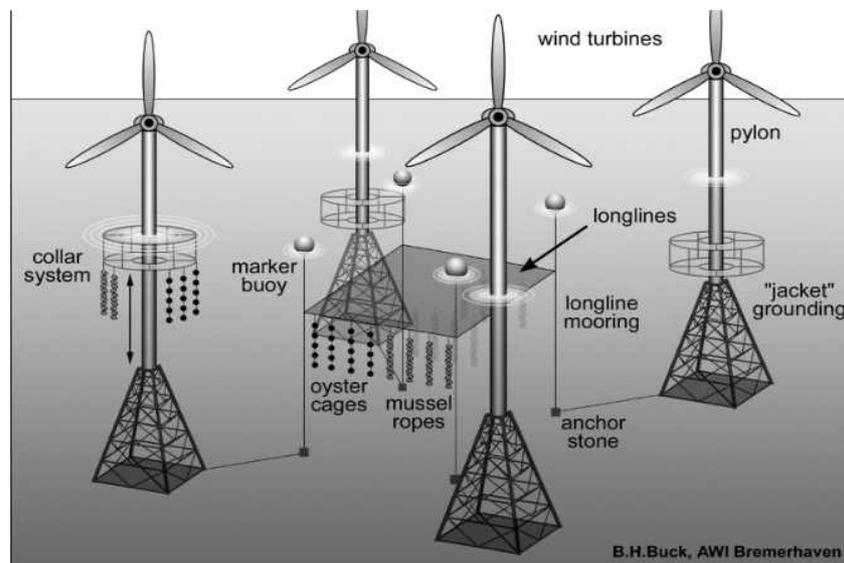
[그림 2-2-11] Z 형 양식구조

(2) 네덜란드

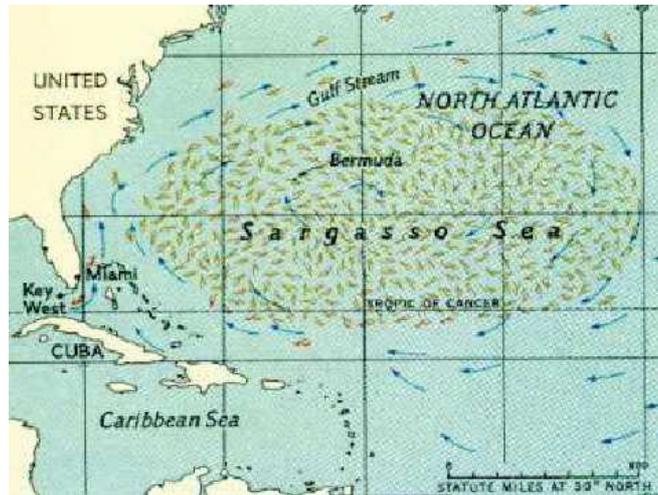
최근 네덜란드에서는 미국의 해양조류 프로그램, 프랑스와 독일의 연구를 토대로 연근해 풍력발전 기지를 활용한 해조류 생산시스템을 연구하고 있다. 풍력 발전 사이의 Longline 구조로 해조류를 대량 양식 할 계획을 세우고 있다. 이 시스템의 최대 장점은 외해에서 환경보호와 관광산업, 어업 및 풍력에너지를 한꺼번에 이용할 수 있다는 것이다. 효율적 해조류 재배를 위한 연근해 풍력기지의 이용은 계류하기 용이 하고 배가 지

나지 않아 유실될 걱정도 없으며 재배 면적이 넓어 대량생산이 가능하지만 수확에 있어서 노동집약적이고 기술 개발이 완전치 않다는 문제가 있다

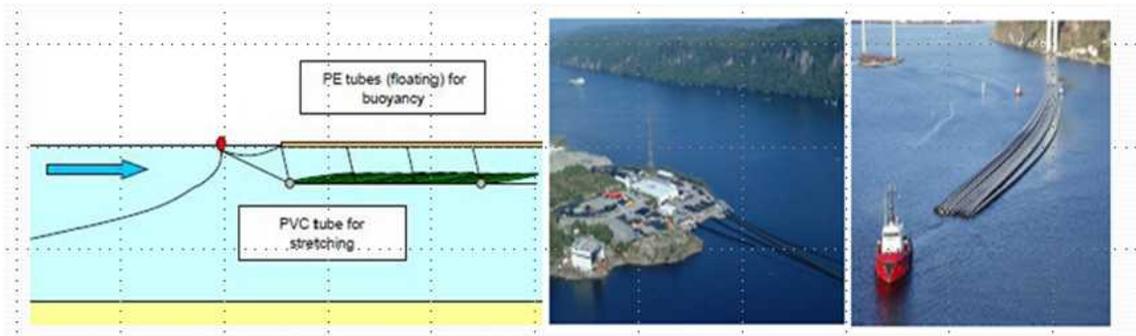
또한 부유식 구조로 해조류의 대량생산을 제안 하였다. 이 생산 시스템은 해조류의 확산을 방지하기 위해 경계지역을 정하고 그 안에서 해조류를 대량으로 생산하는 방식이다. 생산의 비용이 상대적으로 낮아 대량생산에 용이하며 실시간 모니터링이 가능하다. 네덜란드 정부는 해조류 생산과 바이오에너지를 얻기위해 PE-Pipe로 경계를 정하고 대규모로 해양농장을 건설 중이다. 이 구조물의 경제적인 크기는 적어도 1000km²이 되어야 한다. 하지만 이 구조물은 파도와 태풍에 영향을 많이 받아 위치적인 제약조건이 있다.



[그림 2-2-12] 풍력발전 기지를 활용한 해조류 생산시스템.



[그림 2-2-13] 부유식 시스템.



[그림 2-2-14] Pe-pipe를 이용한 해조류양식.

[표 2-2-2] 네덜란드 생산시스템의 장단점

System	Advantage	Disadvantage
풍력발전을 활용한 해조류 생산 시스템 (windfarm-mariculture system)	양식 계류에 용이하다. 배가 지나지 않아 유실이 없다. 재배면적이 넓다.	채취 및 이송이 어렵다. 기술 개발이 필요하다.
부유식 시스템 (Bounded floating structure)	양식의 이동이 가능하다. 작은비용으로 생산이 가능하다.	조류와 파도에 약하다.

(3) 독일

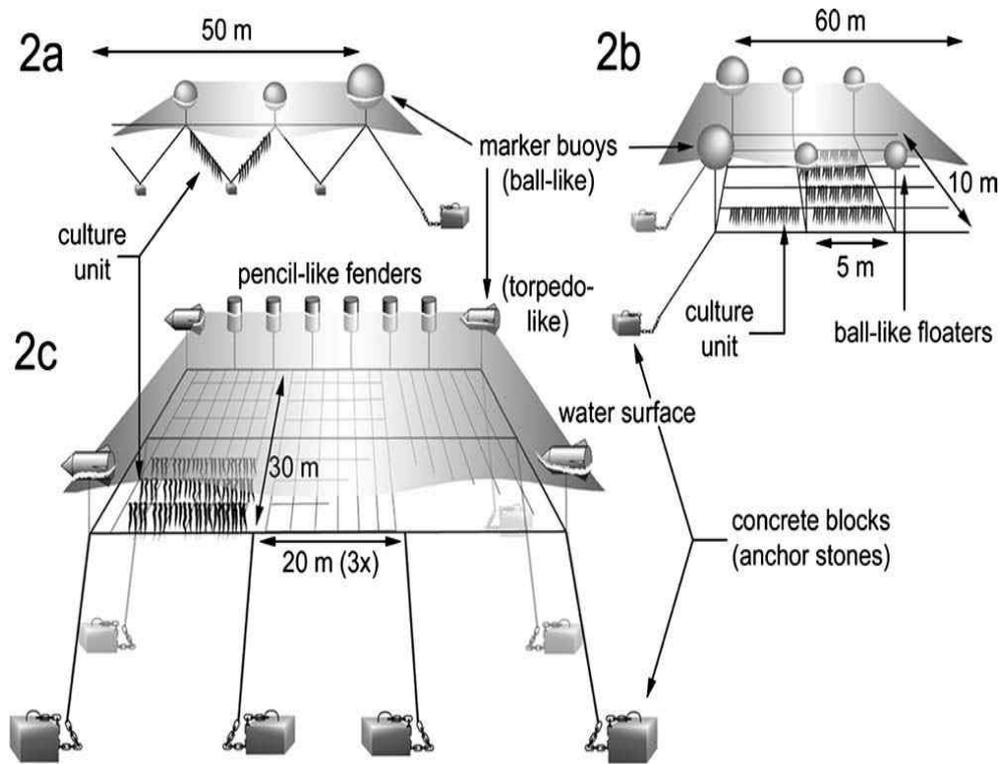
독일에서는 외해양식기술을 개발하는 중이다. 가장 적합한 양식 시스템을 찾기 위해 longline, ladder, grid, ring 형태의 4가지의 재배시스템이 설계되었다. 안전한 계류를 위해서 2.5, 4, 4.5톤의 콘크리트 블록을 사용하였다. ladder, grid 양식시스템은 조류의 흐름과 평행하게 설계 되도록 하였으며, marker buoys는 재배시스템 로프에 연결하여 충분한 부력을 주기위해 설치하였다.

longline 구조[그림 2-2-15-2a]는 길이 50m의 길이이며, 2점 계류로 로프를 고정하고 있다. 로프를 직각으로 고정하기위해 2.5kg의 블록을 설치하였다. 이 방법은 Kain과 Dawes(1987)에 의해 성공적으로 사용되어졌다.

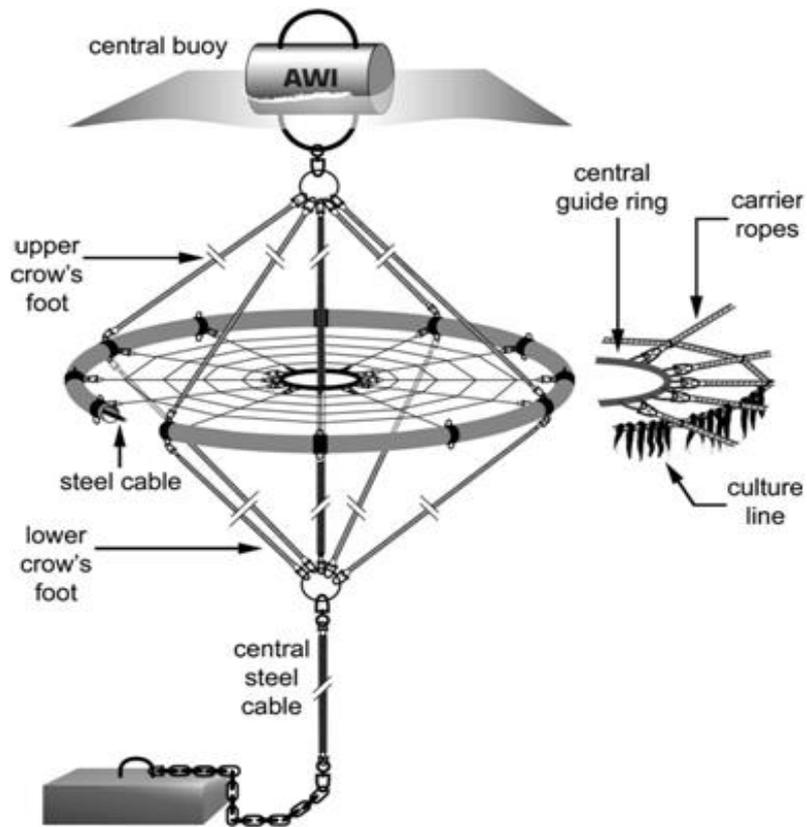
ladder 구조[그림 2-2-15-2b]는 60m×10m 크기로 설계하였으며, 수심1m 아래 설치하였다. 24개의 1kg 콘크리트 블록이 있어 생산로프를 고정하고 전체 구조물을 4.5t의 블록을 4점계류로 지지하고 있다. 5m단위로 재배 면적을 구분 하였다. 이 ladder 구조에서 grid 구조로 발전확장되었다.

grid 구조[그림 2-2-15-2c]는 60m×30와 깊이 1.2m 아래 설치하였으며, 10개의 2.5~4톤의 콘크리트 블록으로 계류하였다. 이 구조물에 사용된 로프는 'Herkules'라는 로프로 일반적으로 상업적인 어업에 사용되는 로프이다. 이 로프는 6종류의 강철가닥으로 만들었다. 일반 로프보다 무거워 바닥에 가라앉기 때문에 하중을 주는 지점에서의 손상을 줄여 주는 장점이 있다.

ring 구조물[그림 2-2-16]은 직경 5m이며, 110mm 직경의 폴리에틸렌 튜브로 구성되어 있다. 튜브 안에 강철 케이블을 삽입하였다. 이 케이블을 corow's foot에 연결하여 1.2~1.5m의 깊이에 구조물을 고정하였다. ring 구조물은 거친날씨와 빠른유속에도 잘 견디며 내었다. 링 구조물을 해안으로 견인하여 수확하거나 보트기반 크레인으로 직접 수확할 수 있다. 그러나 수확하는데 있어 견인 비용이 매우 높아 경제적인 측면에서의 접근 필요하다. 모든 양식 구조물의 공통적인 중요한 기능은 재배 라인의 깊이를 조절하는 것이다. 1~1.5m를 유지해야만이 Par를 방지하며 자외선 손상을 막으며 충분한 빛으로 활발한 광합성을 할 수 있다.



[그림 2-2-15] Longline, Ladder, Grid 구조 모식도[22].



[그림 2-2-16] Ring-형의 양식구조물[22].



[그림 2-2-17] 크레인을 이용한 Laminaria 수확.

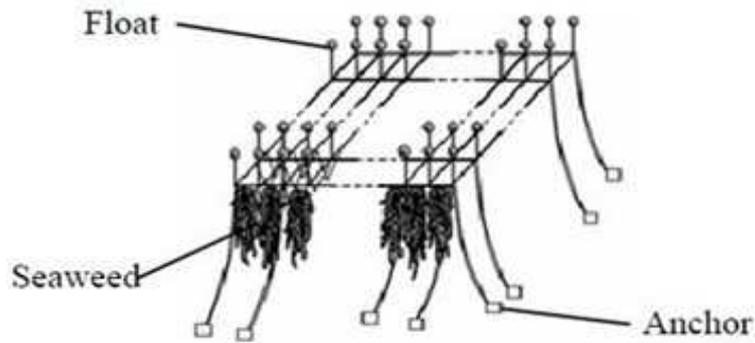
[표 2-2-3]은 각 구조물의 장점과 단점을 비교분석 한 것이다. long-line 구조는 연안에서의 해조류를 생산해 왔다. 하지만 외해에서는 높은 파고, 조류, 바람에 의해 안정성이 보장 받기 힘들다. 그러나 이점으로는 적은 비용으로 생산이 가능하다는 것이다. 링 구조의 단점으로는 생산 단가가 높다는 점이 있지만 곳은 날씨에도 구조물이 잘 견딜 수 있기 때문에 외해에서의 생산이 가능하다. 따라서 외해의 해조류 대량생산을 위해서는 외해의 조건에서 견딜수 있는 구조물의 디자인 설계와 해조류 생산단가의 절감이 필요하다.

[표 2-2-3] 독일 생산시스템의 장단점

System	Advantage	Disadvantage
long-line system	생산단가가 싸다.	안정성이 낮다. 해조류의 유실이 있다.
ladder, grid system	생산단가가 싸다.	구조물의 비용이 비싸다.
Ring structure	구조물의 안정성이 높다. 수확이 쉽다.	생산 단가가 비싸다.

(4) 일본

일본은 해조류에서 바이오 에탄올을 생산하기 위해 해조류 대량생산에 대한 계획(The ocean Sunrise Program)를 추진하고 있다. 바이오 에탄올을 해조류인 모자반에서 생산하기 위해 일본 교토부립 해양센터와 미쓰미시 종합연구소, 도쿄해양대 등 연구그룹이 동해에 거대 양식장 건설을 추진하고 있는데, 이러한 거대 양식장 건설을 통해 가솔린 소비량의 3분의 1에 해당하는 바이오에탄올을 생산할 계획이다. 이 방안은 곡물가격 상승으로 인해 바이오에탄올 생산원가가 증가하는 것에 대비할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 거대 양식장 건설을 위해 교토부립 해양센터는 2001년부터 동해에서 모자반 양식을 실시해왔으며, 미쓰비시종합연구소 등은 건조시킨 파래 100g 당 30ml의 에탄올을 생산함으로써 바이오에탄올을 양산화의 길을 열었다. 양식장 건설 예정지는 독도 북동쪽에 펼쳐져있는 해저섬으로서 비교적 수심이 낮은 야마토다이 주변으로 시코쿠 지역의 2분의 1 크기로 양식장을 건설할 예정이다.

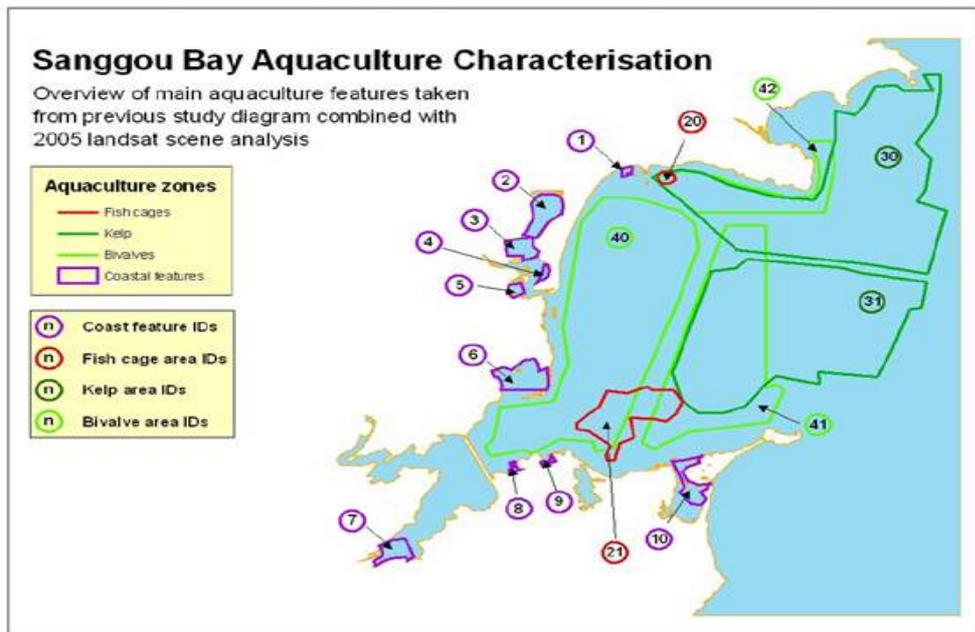


[그림 2-2-18] 해조류 바이오매스 대량양식 개념도[23].

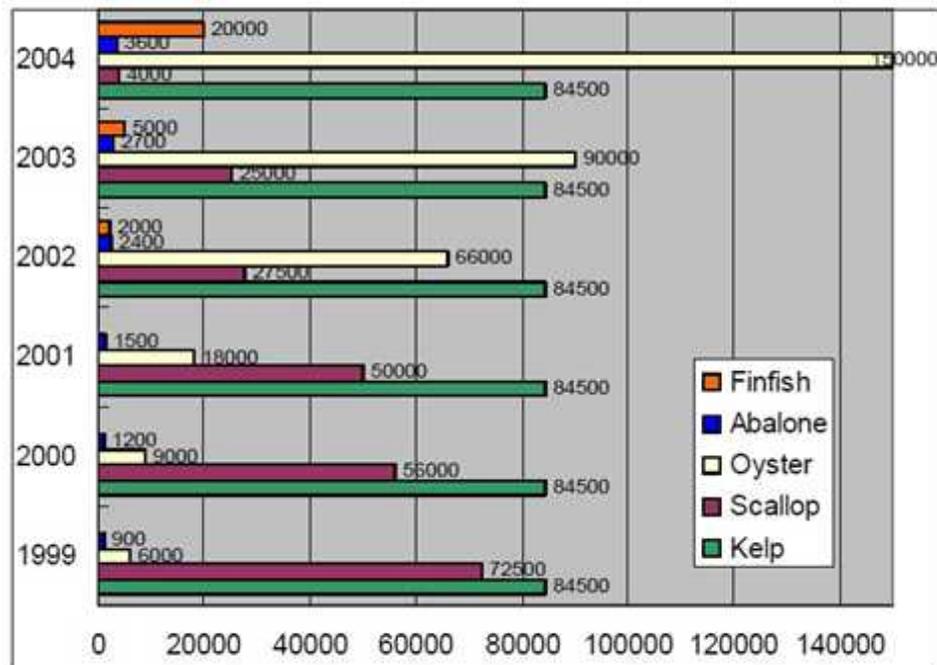
(5) 중국

중국은 세계에서 가장 큰 영역에서 해조류 생산하는 나라이다. 중국의 남동쪽에 반원모양에 상구만이 있는데 이곳에서 long-line 방법으로 대규모로 해조류를 재배, 생산하고 있다. long-line 시스템은 재배로프를 늘여서 평행하게 하여 띄우는 형식이다. 그리고 수면에서 1~2m 깊이를 유지해야 한다. 상구만(sanggou)의 해조류 및 어업등 이용은 [그림 2-2-19]에서 볼수 있다. 어업생산 영역은 450mu, 다시마생산영역은 50,000mu 어패류생산 영역 40,000 mu로 구성되어 있다(mu=800㎡).

이것은 전체 생산면적의 1%가 어류, 55%가 해조류, 44%는 패류이며, 그 가치는 해조류가 2,200RMB/ton, 패류는 600RMB, 어류는 40,000RMB이다.



[그림 2-2-19] 상구만의 해조류 생산영역.



[그림 2-2-20] 연도별 품종 생산량(year/ton).

[그림 2-2-20]은 각각 품종에 대한 연도별 생산량을 보여 주고 있다. 다시마는 매년 84,500톤을 생산하고 있으며 굴의 생산량은 매년 늘어나고 있다. 중국에서는 해조류의 대량생산을 위해 해조류의 생산능력, 변화를 측정하기위해 수질을 평가하고있다. 수질은 기본적으로 물의 체류시간에 의해 결정된다. 수질은 FjordEnv모델을 사용하여 측정되었다. 계산결과 상구만의 물특성은 물의 선명도와 허용산소가 높은 것으로 나타났다. 이것은 인접한 바다쪽에서 개방되어있어 빠른 물 교환이 이루어 졌기 때문이다. 상구만은 해조류의 성장과 재배에 적합한 해양환경조건을 보이고 있다.

이처럼 중국은 해조류가 잘 자라는 물리적 환경(물과 물질의 교환으로 인한 체류 시간, 수온, 염분)상태를 확인 연구하고 있으며, 장기간에 걸친 고수온 내성을 가진 다시마 종 개발 중에 있다.

4. 국내의 기술 동향

가. 국내 해조생산 동향

우리나라 해조류 생산은 15세기부터 시작된 오랜 역사를 가지고 있고, 2006년을 기준으로 세계 제 4위의 다양한 해조류를 생산하고 있는 나라이다. 해조류의 생활사는 너무나도 다양하기 때문에 양식 기술은 해조류의 분류군에 따라서 달라질 수밖에 없다. 해조류는 생활사에 따라 크게 세대교번을 하는 해조류(김, 미역등)와 반복적 영양재생을

하는 해조류(꼬시래기, 모자반 등)로 구분된다. 또한 해조류의 생활사는 품종마다 다양하기 때문에 해조류 생산기술은 해조류 종류에 따라 다르다. 우리나라는 이들 해조류 생산기술이 확립되어 있고 세계적인 수준이라고 알려져 있다. 2006년도를 기준으로 국내 천해양식 생산량은 총 126만톤이며 이 중 해조류 양식 생산량은 76만 5천톤으로서 전체 천해양식 생산량의 60.7%를 차지하고 있다[표 2-2-4].

국내 해조류 양식면적은 2002년 전체 해조류 양식면적은 69,209ha에서 2006년에는 74,757ha로서 2006년에는 2002년 대비 8.02%가 증가하였다[표 2-2-5]. 전체 양식면적 중에서 김양식면적이 전체면적의 74%를 점유하고 있고, 미역 및 다시마가 각각 8%를 점유하여 이들 세 품목이 전체 양식면적의 90%를 차지하고 있으며, 파래, 툫 등과 같은 기타 해조류는 약 10%를 점유하고 있다. 양식면적 분포를 품종별로 세분하여 보면, 미역 양식면적을 제외하고 김, 다시마, 파래, 툫, 모자반 등의 양식 면적이 증가추세에 있는데, 특히 다시마, 파래, 툫, 모자반 등의 양식면적 규모는 뚜렷한 증가추세를 보이고 있다. 2002년 대비 2006년의 변화추이를 보면 김은 2.02%, 다시마 313.52% 파래 476.89% 툫 198.34%, 모자반 117.65%가 증가한 것으로 나타났다. 이 중 가장 두드러진 증가추세를 보이고 있는 품목은 파래와 다시마로 각각 4.8배 및 3.2배 증가 하였다.

[표 2-2-4] 천해양식 생산량 변화 추이

(단위 : 톤)

구분	2002	2003	2004	2005	2006
계	781,519	826,245	917,715	1,041,074	1,259,274
어류	48,073	72,393	64,476	81,437	91,123
갑각류	1,403	2,324	2,426	1,399	1,683
패류	212,433	291,036	304,889	326,255	391,060
해조류	497,557	452,054	536,748	621,156	764,913
기타	22,053	8,411	9,176	10,827	10,495

자료 : 해양수산부 어업생산통계, 2007

[표 2-2-5] 해조류 양식면적 변화추이

(단위: ha)

구분	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년
합계	69,209	68,062	69,348	69,503	74,757
김	54,012	53,136	52,749	51,894	55,101
미역	11,576	11,421	8,019	5,873	5,740
다시마	1,487	1,440	3,484	5,283	6,149
파래	411	393	1,481	2,130	2,371
우뭇가사리	0	0	0	0	0
툇	1,570	1,523	3,446	4,001	4,684
갈래곰보	0	0	0	0	0
모자반	153	149	169	228	333
기타	0	0	0	94	379

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

[표 2-2-6] 해조류 양식의 어장시설 기준

양식 종류	양식 방법	양식 품종	어장수심	어장구역 한계		어장간 거리
				어촌계 (수협)	개인	
수하식 양식	건홍식 지주망홍 부류망홍	김, 파래, 매생이	7m 이내 40m 이내	1ha 이상	1~20ha	200m 이상
	연승식	미역, 다시마, 툇, 파 래, 갈래곰보, 기타	30m이내 (부산, 울산, 강원, 경북) 40m이내 (제주)	1~20ha	1~20ha	100m 이상
바닥식 양식	투석식 천해	돌김, 우뭇가사리, 꼬시래기, 기타	30m 이내	1~30ha	1~20ha	200m 이상

자료 : 어업면허의 관리등에 관한 규칙

또한 우리나라의 해조류 생산의 경우 양식 품종에 따라 양식 방법과 시설 기준이 정해져 있다. 해조류 양식은 제도적으로 면허어업에 속하며 양식종류, 양식방법, 어장 중심, 어장 구역, 어장간 거리 등이 확립되어 있다[표 2-2-6]. 이러한 해조류 양식의 어장시설 기준을 추정하는 이유는 양식어장 과밀 이용에 따른 생산성 하락 및 어장 환경 보호, 이를 통한 어업경영의 안정성 확보 등을 고려하였기 때문이다.

나. 최근 동향

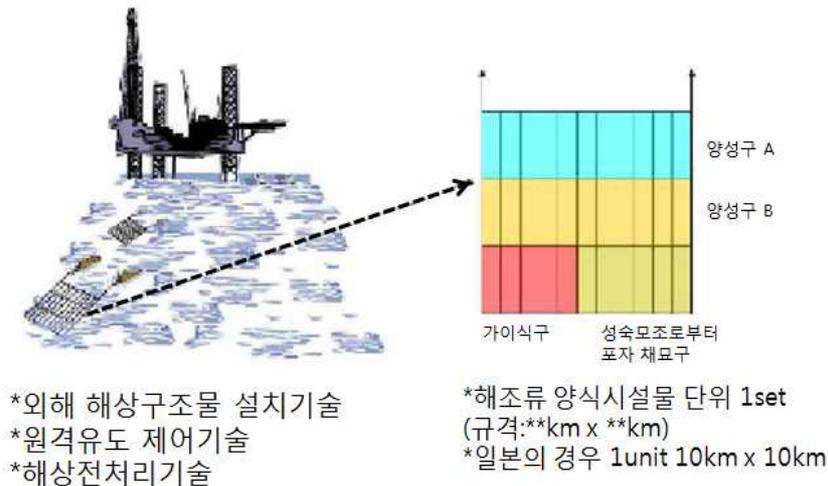
1999년에 제주대학교에서 “친환경적인 해조양식(Environmentally friendly Marine Seaweed Aquaculture)” 심포지엄을 개최하여 미국, 일본, 러시아의 학자들과 우리나라의 조류생태 및 양식학자들이 모여 친환경적인 바다의 해조양식에 대해 토론하였으며 이는 바다를 관리하는 기초개념으로 활용되고 있다. 2000년에는 영남대학교에서 “21세기, 해양환경과 해양생물자원의 전망”이라는 주제로 바다자원으로서 조류의 이용성을 극대화하기 위한 방안에 대해 토출하였다. 2002년에는 한국해양대학교에서 “해양생물자원의 개발과 전망(Development and prospect of marine bioresources)”에 대해 국제 연구자들간 교류와 토론이 이루어졌다. 현재 국립수산물과학원이 거대조류의 양식기술 개발 및 연구에 중점을 두고 있으며, 동해특산다년생 해조류 대량생산 기술개발, 배우체 분리 및 보존기술 개발, 바다숲 조성기술 및 양식장 설계 기술보유, 다시마 선발육종, 해조류 원형질체 분리 및 융합기술 개발, 홍조류인 김의 선발육종 및 종보존기술 개발이 진행중이다. 정부는 2020년 바이오매스용 해조류를 연간 1억2,500만톤 생산하고, 여기서 16억6,000만 l의 바이오에탄올을 뽑아낸다는 로드맵을 갖고 있다. 국내 휘발유 소비량의 13.7%를 해조류 바이오에탄올이 대체할 수 있을 것이라는 추산이다. 해조류 양식장 면적도 50만ha에 달할 전망이다. 바다숲을 조성하고 해조류 바이오매스 확보 및 활용기술 개발을 지원하기 위해 2020년까지 3,653억원을 투자한다는 계획이다. 그러나 해조류 바이오매스 개발은 넘어야 할 산이 많다. 바이오매스용 해조류 후보군 선정부터 대량양식, 에너지화에 필요한 원천기술등을 시급히 확보해야 한다.

다. 대량 생산 장애요인

(1) 집중적 연구

해조류 대량양식을 통한 바이오매스 확보를 위한 기술수준은 세계적인 수준이라 할 수 있으나, 기존의 양식 시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충족하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하므로 새로운 양식적지를 개발하거나 배타적 경제수역의 비교적 외해 지역에서 해조류 양식시설을 설치해야 하는 어려움이 있다. 해조류양

식 시설을 외해지역에 설치하였을 경우 태풍 등의 영향에 대한 대비책 마련이 필요하며, 바이오매스의 채취와 동시에 현장에서 전처리 가공이 이루어질 수 있는 해상 플랜트선의 개발이 수반되어야 한다. 여기에는 생물, 화학, 물리 및 해양공학과 리모트 컨트롤 등의 첨단 기술분야가 융합 되도록 집중적 연구와 투자가 종합적으로 지원 되어야 한다.



[그림 2-2-21] 외해용 해조류 대량양식 개념도.

(2) 장기적 지원

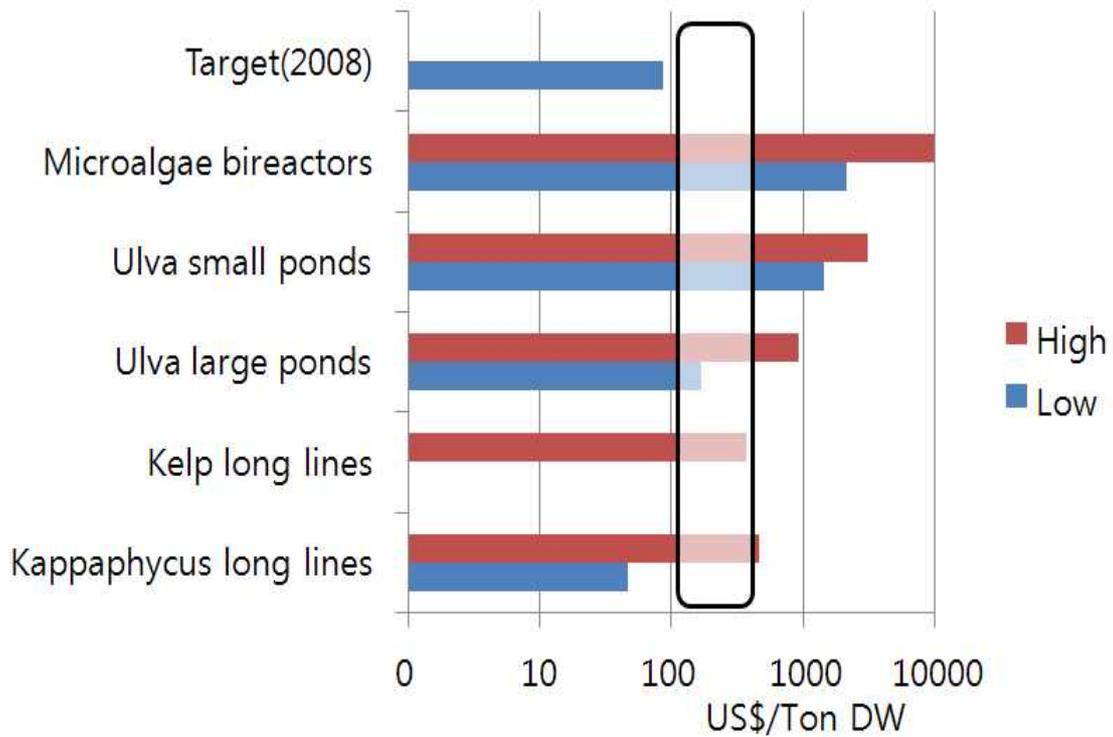
해조류 바이오매스의 대량확보 및 지속가능한 생산을 위하여 장기적인 지원시스템이 마련되어야 한다. 해조류의 종류별 생활사를 조절할 수 있는 배양기술은 대량양식의 필수적인 원천기술이므로, 국내 양식적지의 가능한 개발 이후에는 열대지역 유큐우마 또는 꼬시래기 양식 국가들과의 공조를 통하여, 재생 양식법에 수반되는 해조류 업체의 열성화 문제를 해결하기 위한 포자 채취를 통한 양식방법의 기술력 수출을 꾀할 수 있다. 해조류 양식 전문인력 양성은 대학 등의 전문교육기관 이외에도 양식 현장에서 직접 기술원이 가능한 전문인력을 양성한다는 차원에서 수산양식업 관련 전문기술교육이 시급한 상황이나 수산양식업이 바다를 대상으로 하여 노동을 필요로 하는 특성상 젊은 세대들에게는 매력이 없는 직종으로 보일 수 있다. 따라서 재생가능한 자원의 생산이라는 새로운 인식의 확대와 정부차원의 장기적인 인력양성 지원이 시급한 실정이다. 해조류 양식기술과 관련한 특허동향에서 국내특허의 비율이 높아 대부분 국내에서만 적용되는 한계가 있으므로 국제적으로 통용될 수 있는 특허 개발이 필요하다.

(3) 에너지 수율의 경제성 이외의 문제

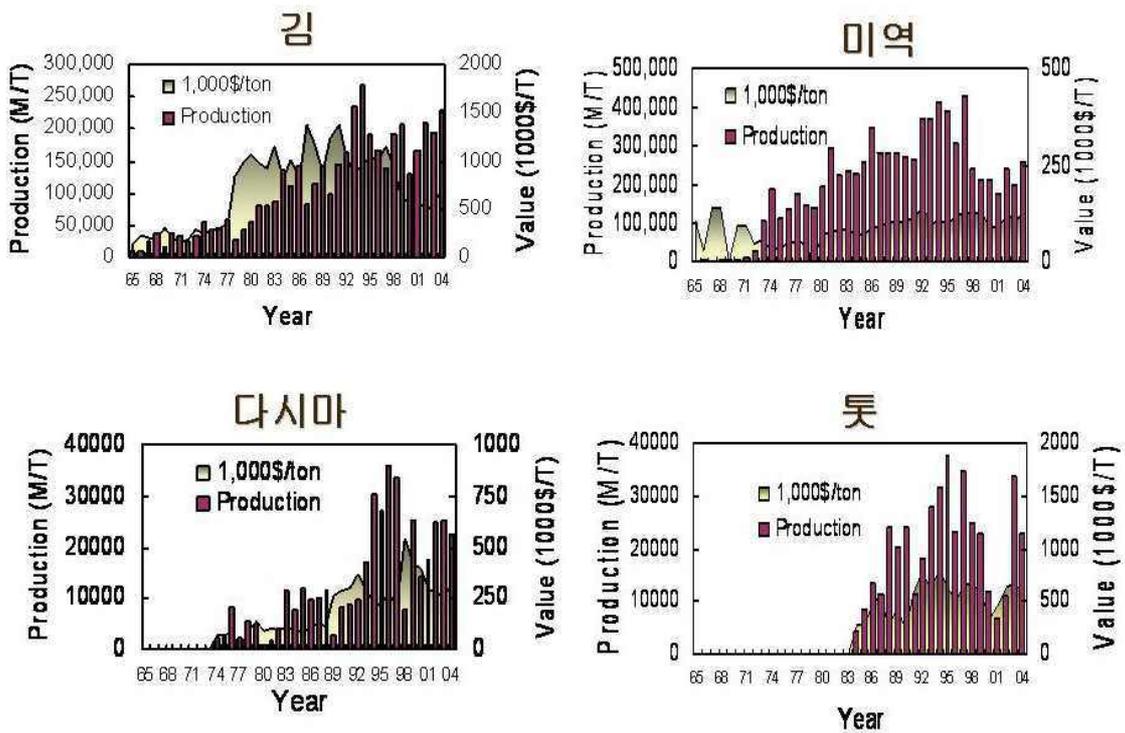
해조류 바이오매스로부터 에너지를 생산하는데 계산상으로 얻어지는 에너지 수율 자체는 1980년대 미국과 영국에서 이루어진 연구결과 그리 높지 않은 것으로 나타나 있

다. 그러나 이러한 에너지 수율 이외에 해조류 바이오매스를 생산하는 과정에서 나타나는 이산화탄소저감과 영양염 제거를 통한 해양생태계 안정성 회복 등의 부가적인 이점들 역시 경제성분석의 항목으로 추가되어야 할 것이다. 뿐만 아니라 현재 이루어지고 있는 조류를 이용한 새로운 시도들에서 해조류는 미세조류에 비하여 생산단가가 매우 저렴하며, [그림 2-2-22]과 같이 바이오에너지 목표가격인 건중량 대비 100US\$/톤 이하의 생산가격을 충족시킬수 있는 유일한 대안으로 고려되고 있다. 국내에서 양식되고 있는 해조류는 김, 미역, 다시마, 톳 파래, 청각, 모자반 등 수 중에 불과하여 양식품종이 다양하지 못하며, 양식면적, 양식건수, 생산량 및 생산금액 등 모든 면에서 김, 미역, 다시마가 차지하는 비중이 90%를 넘고 있다. 김의 경우 가공처리 공장의 대형화와 물김판매 성행, 불법시설로 인한 과잉생산으로 품질저하, 소비둔화, 수출부진 등의 복합적인 작용의 결과로 1980년도 속당 3,797원 1991년도 4,162원하던 가격이 2000년 이후에는 3,000원 정도로 1980년도보다 가격이 낮아 졌다. 또한 미역 역시 1kg당 가격이 100원 안팎에 불과하여 생산량이 많음에도 불구하고 생산금액은 수산양식동물에 비하여 현저히 떨어지고 있다.

1990년 대비 2008년의 생산량 증감을 보면 다시마의 생산량이 263%증가하였다. 다시마 생산량이 증가한 이유는 2000년대부터 전복 양식이 성공하면서 사료 수요가 증가하였기 때문이다. 해조류 양식에 종사하는 어업가구는 1996년 34,030 가구에서 2000년에는 24,810 가구 2006년에는 23,989 가구로 점차 줄어들고 있으며, 다시마를 제외한 대부분의 해조류 양식 어업가구수가 현저히 감소하고 있다. 해조류 양식 어업가구수는 전체 수산양식 어가수의 30%를 차지하는 반면 생산금액은 전체의 17.7%로서 해조류 양식어가는 영세성을 면치 못하고 있으며 양식어업인의 고령화 또한 큰 문제점으로 부각되고 있다. 국내 해조류 양식산업은 여러 가지 문제점에도 불구하고 양식 현황 자료에서 나타난 바와 같이, 최근 해조류의 양식 생산량과 생산금액이 전반적으로 증가하고 있다. 또한, 김, 미역 및 다시마의 비중이 90%를 넘고 있다 하더라도 그 외 해조류의 생산량과 생산금액이 지속적으로 증가하고 있다.



[그림 2-2-22] 바이오 에너지의 생산가격 및 목표가격.



[그림 2-2-23] 최근 30년간 국내 해조류 양식 생산량 및 가격 변동.

라. 생산 경쟁력 확보

(1) 바이오매스 확보방안

해조류 바이오매스의 확보를 위한 방안은 크게 국내와 국외로 구분할 수 있다. 국내에서는 기존의 양식 대상종들 중 당함량이 습중량 대비 각각 5.2%, 4.8% 및 3.5%로 가장 높았던 모자반과 미역, 다시마 등을 대상으로 하는 것이 효율적일 것으로 판단된다[표 2-2-7]. 모자반은 다년생 갈조류로 1회 양식시설을 설치하면 채취후 수년에 걸쳐 포복지에 의한 재생되는 염체를 재 수확할 수 있는 이점이 있으며, 현재 양식기술개발이 국내 기술에 의하여 완료된 상태이다. 미역은 우리나라, 중국, 일본의 세 나라들 중 우리나라에서 생산량이 가장 많은 3만톤의 생산량을 나타내고 있으며, 이형세대교번을 통하여 무수히 많은 수의 유주차를 채묘할 수 있는 이점 때문에 바이오매스의 확보 차원에서 매우 유리한 대상으로 판단된다. 국외에서는 연중 해조류의 생산이 가능한 열대지역 국가와의 협력을 통하여 생산율이 높은 모자반류와 꼬시래기류의 대상종을 선전하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

[표 2-2-7] 해조류 종류별 당함량 및 에탄올 수율

대상종(fresh wt. based)	당함량(%)	에탄올수율(%)
모자반	5.2	2.7
미역	4.8	2.5
다시마	3.6	1.8
김	1.7	0.9

자료 : 국립수산물연구원

해조류 양식의 국내생산량은 현재 수요량에 맞추어 생산되고 있는 실정이므로, 바이오매스 확보를 위한 해조류의 판매 단가가 어업인들에게 현실적인 이점이 있다고 판단되면 단위면적당 생산량을 크게 높일 수 있는 여지가 있다. [표 2-2-8]는 현재 우리나라 연근해에서 해조류 양식장을 개발 가능한 잠재면적을 나타낸 것이다. 또한 [표 2-2-9]는 해조류 종류별 생산성을 나타낸 것으로 다시마가 연간 40톤/ha로 가장 높았으며, 평균 생산성은 약 13.9톤/ha로 나타났다. 따라서 [표 2-2-8]과 [표 2-2-9]를 근거로 국내에서 현

재의 양식기법으로 생산이 가능한 잠재 생산량을 계산해 보면 연간 3억9천만톤의 해조류 바이오매스생산이 가능할 것으로 예상된다.

[표 2-2-8] 우리나라의 해조류 잠재 생산량

구분	양식면적(A) (ha)	실용적 적지면적(B) (ha)	개발가능 면적(ha) (B-A)	총 잠재면적 (ha)
동해안	529	586	57	?
남해안	62,002	99,125	37,123	?
서해안	8,161	16,198	8,037	?
전체	70,692 (2005년 자료)	115,909	45,217	3,000만

*실용적 적지면적: 연안어장기본조사(1988)자료

*총 잠재면적: 배타적경제수역의 대륙붕 면적

[표 2-2-9] 해조류의 추정 생산성

구분	종류	생산성(톤/ha/year)
홍조류	김	2~4
	우뭇가사리	2이하(추정)
갈조류	미역	20
	다시마	40
	톳	10
	모자만	7.7
평균		13.9

자료 : 국립수산과학원

(2) 현재의 해조류 바이오매스 생산비용

해조류의 대량양식은 생산 및 시설 규모에 따라서 경영비용이나 생산비를 산정하는데 매우 큰 차이를 보인다. 따라서 현재 이용되고 있는 해조류 양식중 가운데 비교적 산업적 규모로 생산된다고 할 수 있는 김, 미역 및 다시마의 경우를 대상으로 10ha를 기준으로 하였을 때 생산비용을 추정해 본 결과는 [표 2-2-10]과 같다. 즉, 김의 경우 노출부류식으로 10ha에서 200척을 시설하였을 경우, 9월부터 5월까지 생산시기를 감안하였을 때 김의 바이오매스 생산비용은 10ha 당 66,000천원이며, 건중량 1톤당 생산가격을 계산해 본다면 10,000~20,000천원이 된다. 미역의 경우 10ha에서 200대의 연승을 시설하고 10월부터 3월까지 생산시기를 감안한다면 미역 바이오매스의 생산비용은 10ha당 23,000천원 그리고 건중량 1톤당 가격은 10~50천원이 된다. 다시마의 경우 전복먹이용의 생산가격은 건중량 1톤당 10~20천원으로 미역보다는 싼 가격에 생산이 되고 있다.

따라서 현재 이루어지고 있는 식용 해조류 대량양식의 생산비용을 근거로 추정해 본 우리나라의 해조류 생산비용은 바이오매스로 이용하기 위한 목표 생산단가인 건중량 1톤당 100~500달러[그림 2-2-22] 보다도 매우 낮은 가격으로 생산이 가능함을 나타내고 있다. 현재 이루어지고 있는 외해 대량양식 기법의 기술적 발달과 바이오매스 대량양식의 정책적 지원이 뒷받침된다면 현재의 해조류 생산단가는 보다 낮은 수준으로 대량의 바이오매스 생산에 도달할 수 있을 것으로 추정된다.

[표 2-2-10] 해조류 바이오매스 생산비용

종	생산비용* (천원/10ha)	가격 (천원/톤-dry wt.)	생산량 (톤-dry wt./ha)	비고
김	66,000	10,000~20,000	0.4	노출부류식 10ha-200척 9월~5월생산기준
미역	23,000	10~50	2.8	연승수하식 10ha-200대 10월~3월생산기준
다시마	27,000	1,500~4,500 (전복먹이용 10~20)	4.5	연승수하식 10ha-200대 11월~7월생산기준

*주요 양식품종 어가별 소득자료집(해양수산부,2002)

제 3 절 해조류 생산관리시스템 동향

1. 일본 해조류 생산관리시스템 동향

일본과 중국의 김 생산은 농업과 원예에 사용되는 방법인 해중양식을 대규모로 응용한 방법을 사용한다. 다른 유사한 대규모의 작업은 중국의 다시마 재배 및 전세계적인 Eucheumoid 해초의 재배가 있다. 김 생산은 자연환경의 변동에 의존하지 않는 완전 순환 양식이다. 김의 생산은 주로 해안에 수행되고 양성과정을 확립하여 현재 전체 산업의 확고한 기초를 형성하였다. 김 양식은 생산적인 변동이 적고 안정적으로 시장 수요가 꾸준히 증가하고 있다.

김은 처음 1달 동안 천천히 성장하여 1cm에 이르지만, 15일의 조류 주기동안 10~15cm 성장하고, 약 50일 이후 15~20cm로 성장하게 된다. 이 기간 동안 병해, 수온, 염분이 신중하게 고려되어야 한다.



[그림 2-3-1] 일본의 김 양식 장면.



[그림 2-3-2] 성장한 김의 모습.



[그림 2-3-3] 일본 김 양식장의 전경.

2. 중국 해조류 생산관리시스템 동향

다시마는 중국에서 가장 중요한 경제적 가치를 지닌 해조류이다. 인공 부유 구조물을 사용한 해중 양식이 1952년 시작하여 생산량이 1980년대까지 지속적으로 증가하여 건조 중량 200,000톤(습윤 중량 1,500,000톤)을 달성하였다. 현재 양식어장의 약 20만 에이커에서 다시마의 수확량은 약 2억원의 가치를 나타낸다.

두 가지의 기본적인 부유식 다시마 재배 방법이 있다. 한 가지는 다시마 줄을 매달아(single-raft) 재배하는 방법이고, 다른 한 가지는 수평 다시마 로프(double-raft)를 사용하여 재배하는 방법이다. 약 60m길이의 부유식 줄은 유리 또는 플라스틱으로 만들어진 부이를 이용하여 해수면에 계류되고 해저면에 나무펜스에 계류한다. 각 다시마 줄은 2m 간격으로 약 30 줄이 엮인다. single-raft 방법에서는 다시마줄이 부유식 줄로부터 아래로 매달려 있고 작은 돌조각으로 무게를 잡는다. double-raft 방법에서는 두 개의 다시마 줄이 연결되거나 하나의 끝과 다른 하나의 끝이 묶여 있다. hanging kelp rope 방법은 안정성에 장점이 있지만 다시마의 성장이 고르지 않다는 결함을 갖고 있다. horizontal kelp rope 방법은 다시마의 성장을 고르게 하는 반면 해류에 저항력이 떨어진다는 단점이 있다.



[그림 2-3-4] 중국 북서 해안의 해조류 양식장.



[그림 2-3-5] 중국 북서 해안의 해조류 채취장면-1.

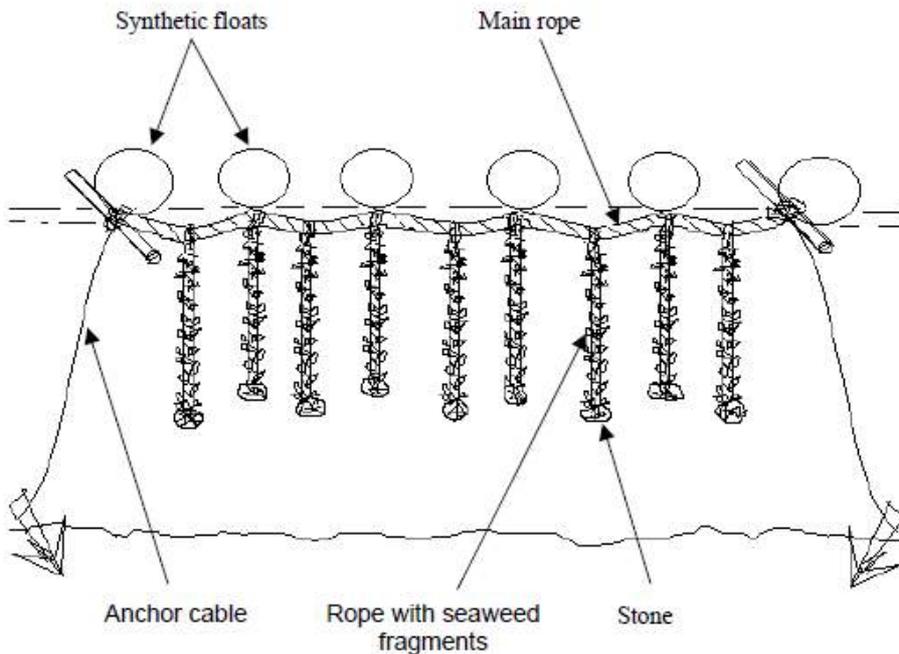


[그림 2-3-6] 중국 북서 해안의 해조류 채취장면-2.

3. 인도의 해조류 생산관리시스템 동향

대규모의 해조류 생산은 아시아에서만 이루어지며, 그 원인은 인구의 급격한 성장 및 해조류 제품에 대한 높은 수요로 인한 해조류 시장의 성장으로 볼 수 있다. 아시아의 해조류 경작 운영시스템은 상대적으로 낮은 기술과 높은 노동력으로 구성되어 있다. 필리핀의 Southern California와 Baja California 지역, 대만 등에서 이루어지는 대규모의 다시마 양식을 제외하고는 대부분의 해조류는 야생에서 채배 및 수확 기술을 사용하여 생산된다. 인도의 경우 해조류의 수요가 많은 반면 생산량이 부족하여 해조류의 지속적인 생산이 필요하다. 이를 위해 많은 기술 중에서 CSMCRI에서 개발된 Single Rope Floating Raft (SRFR) 기술이 깊은 수심을 갖는 넓은 지역에서 적용되고 있다. 직경 10mm의 긴 폴리프로필렌 로프를 2개의 앵커 케이블이 있는 나무말뚝에 고정하고, 부유체를 사용하여 부유시키고 이때 케이블의 길이는 수심의 2배로 한다. 각각은 25~30개의 부유체로 부유하게 되고 양식 로프는 부유식 로프에 매단다. 또한 석재를 양식 로프의 하부에 부착하여 수직으로 위치를 유지한다. 일반적으로 *Gracilaria edulis*의 10개 포자가 각 로프에 설치되며 두 로프사이의 간격은 2m로 유지한다. 최근에도 다양한 연구가 수행되어 대규모의 양식을 위한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다.

Figure 1: Single Rope Floating Raft culture technique



[그림 2-3-7] Single Rope Floating Raft culture technique의 모식도.

4. 필리핀 해조류 생산관리시스템 동향

필리핀의 Zamboanga del Sur에서는 주로 해조류 양식에 종사하는 인구가 많고 Illana 만을 중심으로 그림 2-3-9에 나타나 있는 도시들에서 해조류 생산이 이루어지고 있다.

가. Tabina

Tabina는 Zamboanga del Sur의 최남단에 위치한 해안 도시로 좋은 어장을 바탕으로 주로 어업에 종사하는 사람이 많다. 해조류 양식은 Tabina에서 최근에 발전되어 왔다. San Vicente, San Andres, San Sebastian, Abong-abong와 같은 해안 보호구역에서 시도되어왔고, 총 65ha에서 60여가구가 해조류 양식에 종사하고 있다. 부유식 선을 이용한 방법으로 해조류 양식을 하고 있고, pundo라고 불리는 bamboo posts가 선에 부착하는 방식으로 해조류를 생산하고 있다.

나. Dimataling

Dimataling Zamboanga del Sur의 동남쪽에 위치한다. 농업과 어업에 종사하는 사람이 많다. Dimataling에서 해조류 생산은 1980년대 후반 상업적인 규모로 처음 시도되었다. 남서 계절풍에 의해 일년내내 해조류 양식이 가능하다는 장점을 갖고 있으며, [그림 2-3-9]는 Dimataling의 생태지도를 나타내고 있다.

다. Dinas

Dinas는 Zamboanga del의 남쪽에서 가장 큰 해안도시 중의 하나이다. Baganian Peninsula에 위치하여, Dimataling과 남쪽에 접하고, San Pablo와 북쪽에 접하고 있다. Dinas의 어업종사자들은 1980년대 후반 해조류 양식을 시작하였다. 그 이후 Barangays Tarakan, Sambulawan, Sungayan, Pisaan에서 해조류 양식을 시도하여 Dinas는 가장 큰 해조류 양식환경이 조성되었다. 특히 Tarakan은 1000ha 이상의 양식어장이 조성되어 해안선으로부터 6km 외해에까지 확장되어 있으며 전체 인구 중 95%가 해조류 양식에 종사하고 있다. [그림 2-3-10]은 Dinas의 생태지도를 나타내고 있다.

라. San Pablo

San Pablo는 Baganian 반도에 위치하고 있으며 150여 가구가 해조류 양식에 종사하고 있다. 그러나 Ticala 섬에 의해 보호되는 구역에 제한되어 일년내내 해조류 양식이 가능하며, 그 외의 구역은 남서 계절풍에 노출되어 해조류 생장에 영향을 받는다. 그림 2-3-10은 San Pablo의 생태지도를 나타내고 있으며, Ticala 섬에 의한 남서계절풍의 차단을 확

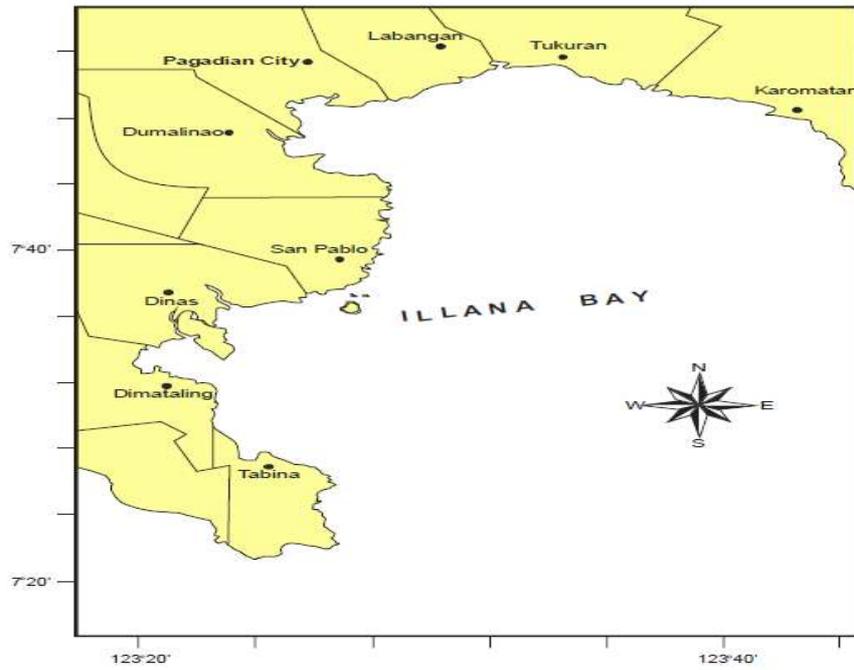
인할 수 있다. 해조류의 재배 방법은 40~100개의 선을 넓은 지역에 걸쳐 1~3m의 간격으로 설치를 하여 200~250 g의 해조류를 5~7 in 간격으로 재배한다. 해조류는 1개월이 지나면 1 kg이상이 되고 2kg이상이 되면 수확한다. 완전한 수확품은 보통 45~60일 사이에 재배되며 대나무 막대를 이용하여 수확한다. [그림 2-3-11]은 San Pablo의 생태지도를 나타내고 있다.

마. Pagadian

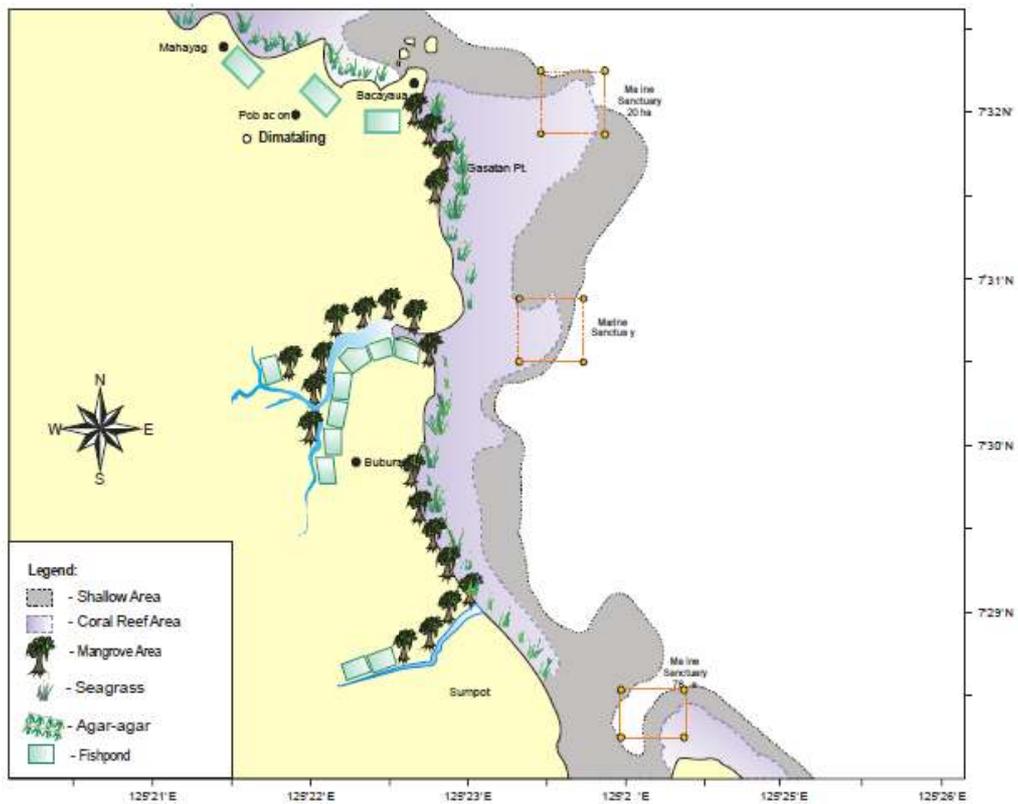
Pagadian은 Zamboanga del Sur의 북동쪽에 위치하고 있고 Labangan과 남쪽에 접하고 있으며, 북쪽으로 Dumalinao와 접하고 있다. Zamboanga del Sur의 상업적, 정치적 중심임에도 불구하고, Pagadian의 경제는 주로 농업과 어업자원에 의존하고 있다. Pagadian에서 해조류 양식은 1980년대 후반에 처음 시작되어 1990년대 후반에 급격한 증가를 보였다. 해조류 양식어장은 약 299ha 중 180ha가 가동되고 있고, Barangay bomba에서 100 ha이상이 가동되고 있다. [그림 2-3-12]은 Pagadian의 생태지도를 보여준다.

바. Labangan

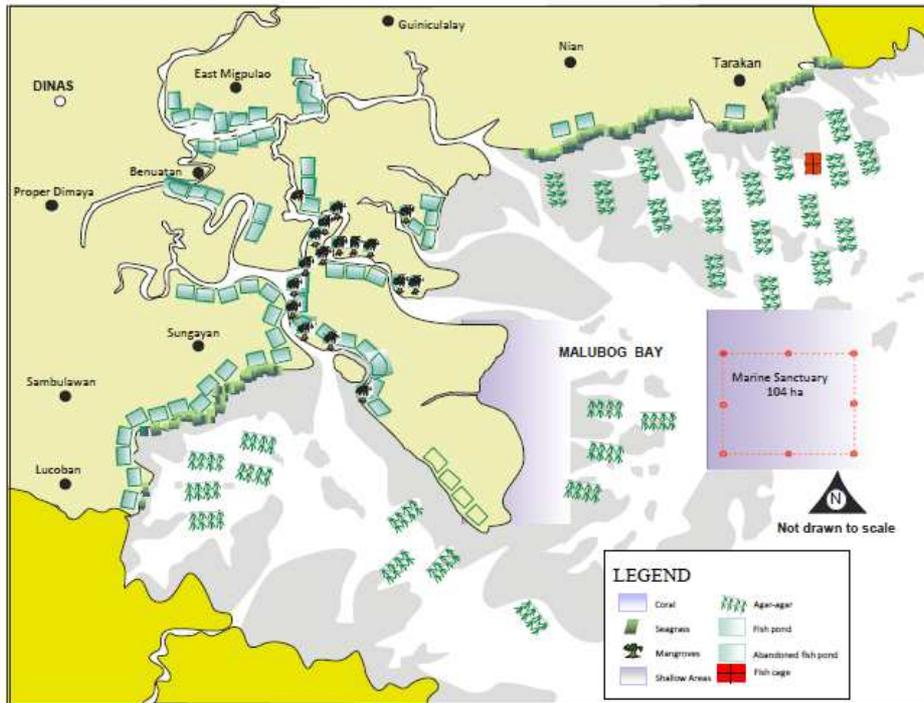
Labangan는 Zamboanga del Sur의 동쪽에 위치하고 있는 농업도시이다. Pagadian과 서쪽에서 접하고, Tukuran과 illana 만과 남동쪽에서 접하고 있다. Labangan의 해조류 양식은 2001년에 시작되었고 965 ha의 양식어장으로 이루어져 있다. 이들 어장은 대부분 Barangays Combo의 연안에 위치한다. 전체 인구의 80%가 해조류 생산에 종사하고 있다. [그림 2-3-13]은 Pagadian의 생태지도를 보여준다.



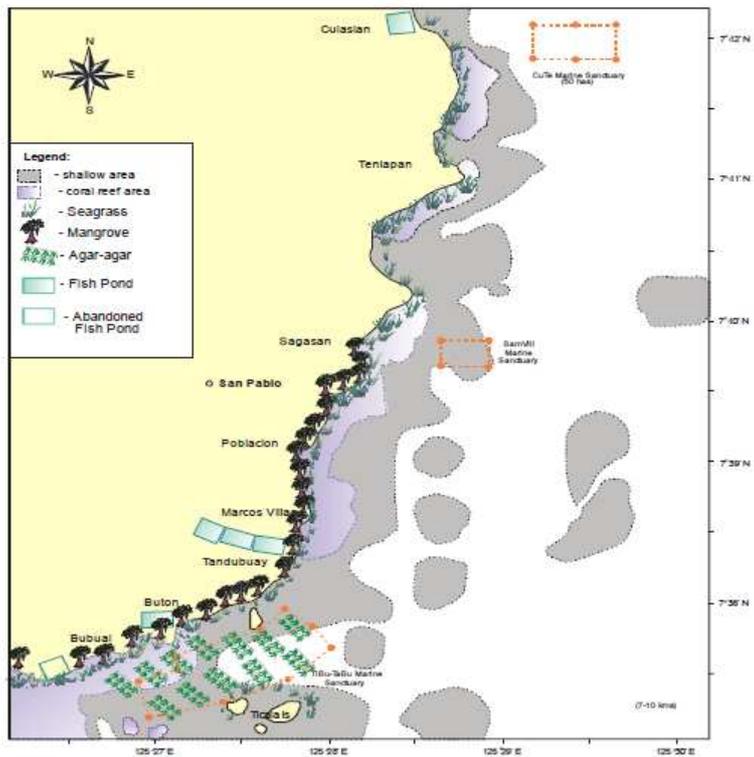
[그림 2-3-8] 필리핀 Zamboanga del Sur의 해조류 생산도시.



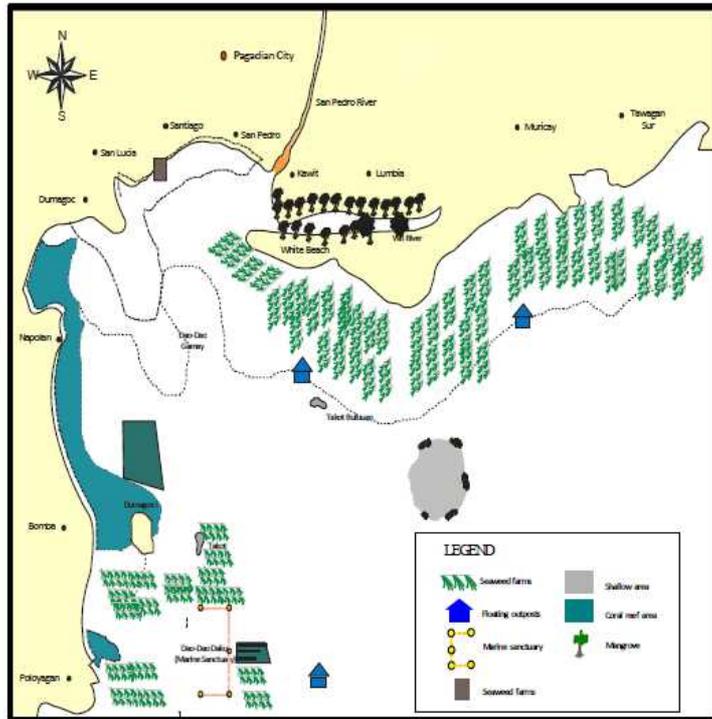
[그림 2-3-9] Dimataling의 생태지도.



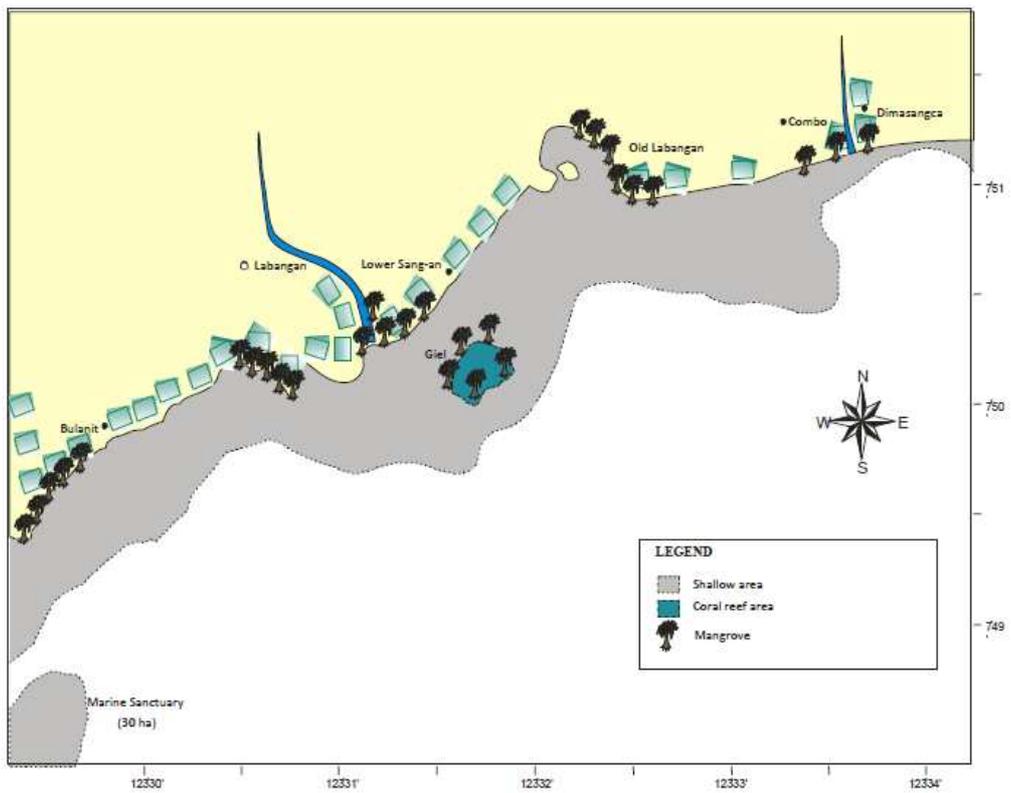
[그림 2-3-10] Dinas의 생태지도.



[그림 2-3-11] San Pablo의 생태지도.



[그림 2-3-12] Pagadian의 생태지도.



[그림 2-3-13] Labangan의 생태지도.

5. 노르웨이의 해조류 생산관리시스템 동향

유럽에서는 해조류 생산에 관련하여 R&D 단체나 산업단체에서 연구가 진행되고 있다. 재배되는 해조류의 양은 매우 적고, 주로 가격이 비싼 종에 대하여 주로 작은 회사에서 재배하고 있다. 해조류 생산시 수확량을 증가시키기 위하여 실적이 가장 좋은 변종을 사용하고 수확량을 풍부하게 하는 방법 등을 사용하여 꾸준히 생산성을 향상시켜오고 있다. 노르웨이에서 주로 생산되는 해조류는 Kelp(*Laminaria hyperborea*)과 Knotted wrack (*Ascophyllum nodosum*)의 두 종류로 Kelp는 연간 130,000~180,000 ton이 생산되고, Knotted wrack은 10,000~20,000 ton이 생산된다. 주로 개방된 해역이나 보호구역, 피오르드에서 해조류 생산이 이루어지며 생산기술로는 Norinet (*Porphyra*, *Ulva* - protected areas), Long line (*Laminaria*, *Macrocystis* - open areas), Closed bags in open sea (Bodvin et al, 1996), Land based tanks (*Chondrus crispus*)의 방법들이 사용되고 있다.



[그림 2-3-14] 노르웨이에서 주로 생산되는 해조류.

6. 국내 해조류 생산관리시스템 동향

[표 2-3-1]과 [표 2-3-2]는 우리나라 해조류 생산량을 나타내는 표로 김, 미역, 다시마가 주요 양식 종이다. 1990년 40만톤의 해조류 생산량을 나타낸 이후 1990년대 중반까지 생산량이 점차 감소하다가 최근 지속적인 증가를 나타내어 2008년 우리나라의 해조류 생산량은 약 93만 톤을 기록하였다. 실제 건조중량으로 살펴보면 10~20만톤에 불과한 양으로 해조류의 수요부족에 그 원인을 찾을 수 있다.

[표 2-3-1] 우리나라의 해조류 생산량(1990~1998)

년도		1990	1992	1994	1996	1998
합계		442,193	604,201	777,096	561,900	482,363
일 반 해 면	소계	30,324	24,238	26,899	22,910	12,594
	김	3,533	69	77	189	635
	다시마류	7	-	164	1,795	500
	도박류	756	399	1,190	120	15
	말	201	108	388	68	19
	미역	5,075	3,459	5,388	6,642	784
	우무가사리	8,339	6,742	7,581	3,551	3,136
	기타가사리	325	394	213	57	116
	청각	565	1,215	514	381	280
	툇	7,222	4,327	5,814	8,086	3,856
	파래	1,425	578	527	373	61
	기타해조류	2,876	6,941	5,015	1,594	3,191
천 해 양 식	소계	411,869	579,963	750,197	538,990	469,769
	김	97,637	163,555	269,581	166,199	191,578
	다시마류	8,084	9,560	30,421	35,640	7,931
	말					
	미역	269,333	371,432	411,602	305,813	239,742
	청각	427	-	1	8	-
	툇	23,920	18,163	31,669	23,054	24,993
	파래	12,463	17,248	6,918	8,272	5,298
	기타해조류	5	-	5	4	227

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

[표 2-3-2] 우리나라의 해조류 생산량(2000~2008)

년도	2000	2002	2004	2006	2008	
합계	387,479	507,984	545,808	778,667	934,890	
일반해면	소계	13,023	10,427	9,060	13,754	13,866
	김	1	29	3	2	1
	다시마류	350	88	-	12	2
	도박류	15	2	48	473	1,170
	말	29	-	-	1	260
	미역	1,717	1,089	719	3,569	3,114
	우무가사리	2,872	2,150	1,791	3,012	1,093
	기타가사리	66	117	11	328	63
	청각	220	558	616	2,875	1,400
	툇	6,062	5,081	5,284	2,933	2,721
	파래	64	412	71	164	295
	기타해조류	1,627	901	517	374	3,736
천해양식	소계	374,456	497,557	536,748	764,913	921,024
	김	130,488	209,995	228,554	217,559	224,242
	다시마류	14,160	24,873	22,510	201,919	285,221
	말			-	919	1,059
	미역	212,429	242,135	261,574	322,371	381,076
	청각	164	72	142	165	1,186
	툇	11,654	11,016	22,814	21,125	17,701
	파래	5,288	9,291	1,154	682	8,003
	기타해조류	273	171	-	173	2,536

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

제 3 장

바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

제 1 절 대상종 탐색 및 선정

제 2 절 바다 영양염 및 해조류 분석, DB구축

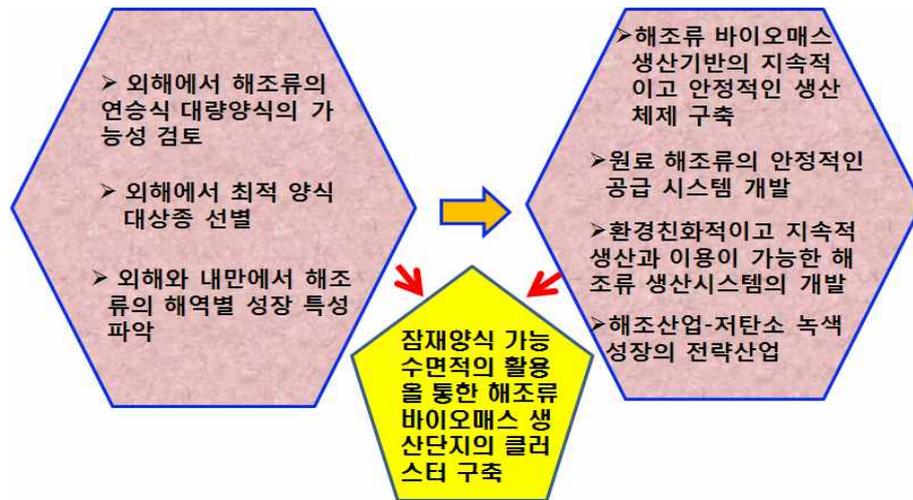
제 3 장 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

제 1 절 대상종 탐색 및 선정

1. 연구의 목적 및 내용

국내외에서 바이오에너지 및 기능성 측면에서 필요한 해조류의 양식기술은 일반화되어 있으나 대상 해조류 가운데 에너지 효율이나 기능성 물질의 생산성 면에서 대상종의 탐색이나 양식적지에 대한 구체적인 정보는 매우 부족하다. 따라서 내만과 외해에서 해조류의 연승식 대량양식의 가능 여부, 외해에서 최적 양식 대상종 선별하는 문제, 해조류의 해역별 성장 특성을 구명하는 일은 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 또한 연중 바이오매스 해조류의 대량생산 시스템을 개발하고 새로운 바이오매스 대상종을 발굴하는 것과 대량생산을 위한 적지를 확보하는 문제 등은 아직 확실히 구명하지 못하고 있다. 실제로 감태나 곱피의 경우 바이오매스 대량생산 대상종으로 다시마에 비해 성장속도나 단위면적 및 단위시간당 생산량은 떨어지는 것으로 판단할 수 있지만 생리활성 등의 기능성 물질의 생산성 측면에서는 다시마를 능가할 수 있다. 또한 모자반의 경우 식용으로서는 팽생이모자반보다 소비자의 선호도가 높고 경제성도 뛰어나지만 바이오매스 대량생산 측면에서의 생산성은 팽생이모자반의 절반에도 미치지 못한다는 약점이 있다. 따라서 해조류의 생리, 생태적 특성이나 기능성 등을 고려한 측면의 대상종 탐색 및 대량생산 적지조사는 매우 의의가 큰 과제라 할 수 있다. 따라서 이러한 문제들을 해결하고 그 방안을 제시하고자 하는 것이 이 연구의 가장 큰 목적이다.

연구의 목적 및 내용을 도식화하면 [그림 3-1-1]과 같다.



[그림 3-1-1] 연구의 목적 및 내용.

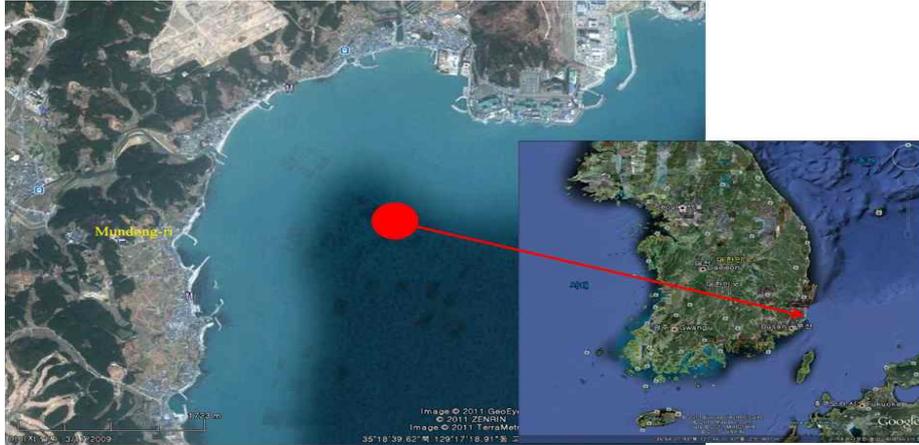
2. 연구내용

해조류 양식종 및 적지선정 분야에서는 외해에서 해조류의 연승식 대량양식이 가능한지를 구명하고, 외해에서 최적 양식 대상종을 선별하며 외해와 내만에서 해조류의 해역별 성장 특성을 파악하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 남해 중부해역과 서부해역의 외양에 실험해역을 추가하였고 이를 통해 해역별, 품종별 단위면적당 양식생산성 조사, 품종별 적정 양식기법 조사 및 생산량 추정에 의한 새로운 대상종을 발굴하고자 한다. 이를 통해 바이오매스용 해조류의 대량생산 적지가 선정되면 해조류의 대량양식을 통한 바이오매스 생산기반을 구축하고, 해역별 대량생산 적지를 단지화하여 지속적이고 안정적인 생산체제 가동을 통한 원료 해조류의 안정적으로 공급 시스템을 개발함으로써 해조류 산업을 저탄소 녹색성장의 전략산업으로 육성하는데 있다. 또한 지속적인 기술개발을 통해 해조류 바이오매스의 연중생산 시스템을 개발, 구축함과 동시에 부수적으로는 해조류의 생산해역별 성분조사, 환경친화적이고 지속적 생산과 이용이 가능한 해조류 생산시스템의 개발 및 잠재양식 가능 수면적의 활용을 통한 해조류 바이오매스 생산단지를 클러스터화 하는데 있다.

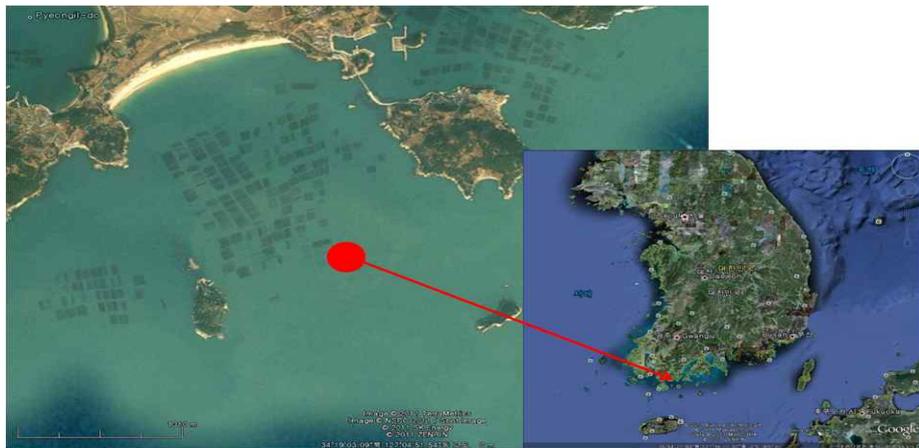
2. 연구방법

가. 시험어장의 시설 및 위치

시험어장은 부산광역시 기장군 문동리 어촌계의 다시마 양식장([그림 3-1-2])과 전남 완도군 금일읍 사동리 어촌계의 다시마 양식장([그림 3-1-3])을 임차하여 시험에 사용하였다.



[그림 3-1-2] 부산 기장군 문동리 연안의 임차시험어장 어장도.



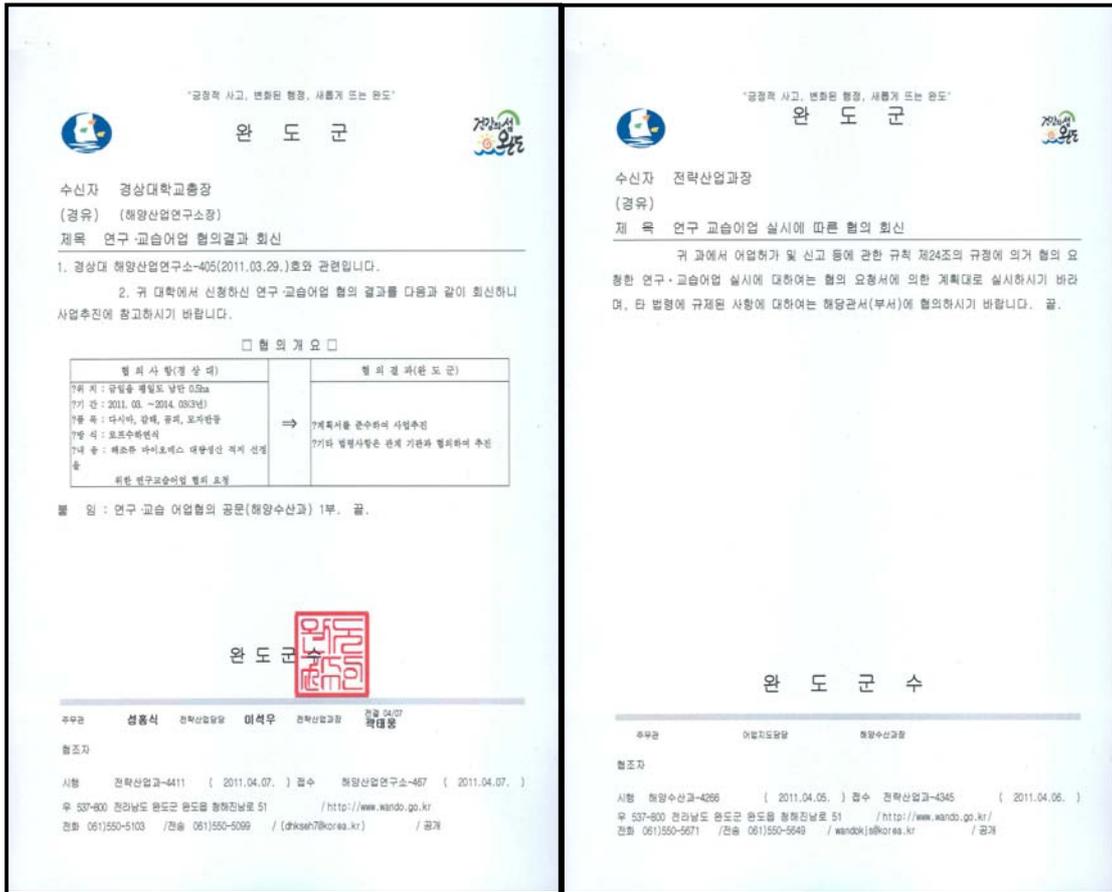
[그림 3-1-3] 전남 완도 금일 평일도 연안의 임차시험어장 어장도.

나. 연구교습어장의 시설 및 위치

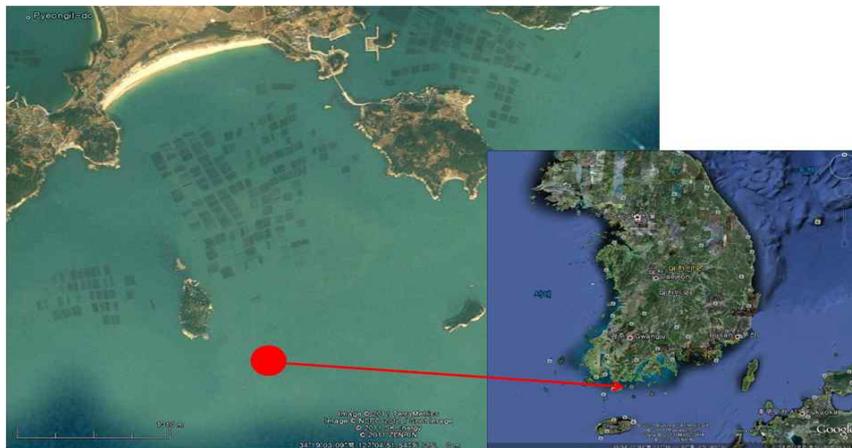
추가지원을 받은 연구비로 전남 완도군으로부터 0.5ha의 어장을 연구, 교습면허어장으로 허가받아([그림 3-1-4]) 완도군 금일읍 우도해역의 항로에 인접한 월송리 어촌계 어장의 외양에 위치한 해역([그림 3-1-5])에 어장을 시설하고 대상종 탐색을 위한 해조류 종묘를 입식하여 현재 다시마, 감태, 모자반 양성시험을 수행하고 있다([그림 3-1-6]).

또한, 경남 통영시로부터도 0.5ha의 연구, 교습어장을 허가받아([그림 3-1-7])남해 중부해역으로 기장과 완도해역과는 환경조건이 뚜렷하게 차이내고, 주변에서미역양식이 집중적으로 이루어지고 있는 통영시 한산면 비진도 외항 해역([그림 3-1-8])에 대상종 탐색을 위한 해조류 종묘를 입식하여 모자반과 감태의 시험양식을 수행하고 있다([그림 3-1-9]). 이들 어장에서는 앞으로 다시마의 종묘와 경상대학교 해조자원연구실에서 추가로 배양하여 육성할 예정인 감태, 곰피, 팽생이모자반 등을 입식하여 시험, 연구를 지속

할 예정이다. 추후, 대형 갈조류 외에 다양한 홍조류의 시험양식도 수행할 계획에 있다.



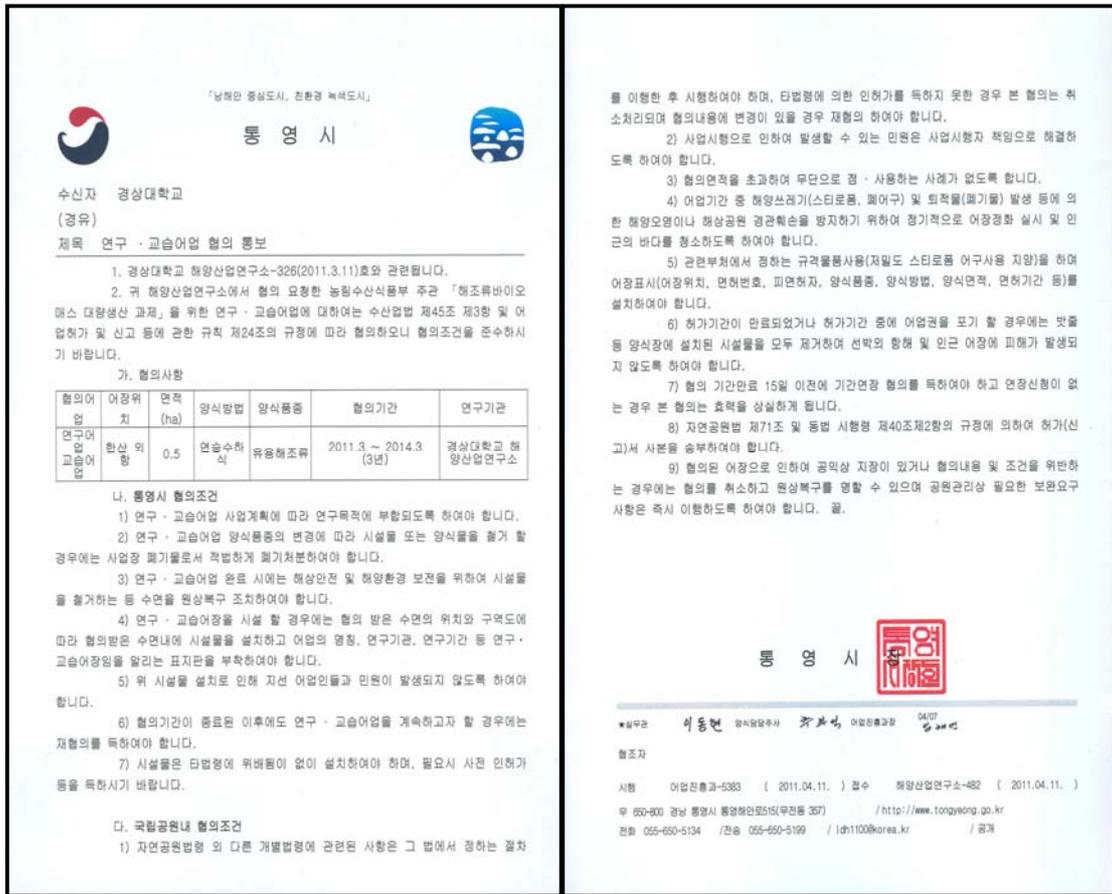
[그림 3-1-4] 전남 완도군으로부터 수신된 연구교습어장 면허를 허가한다는 회신 공문.



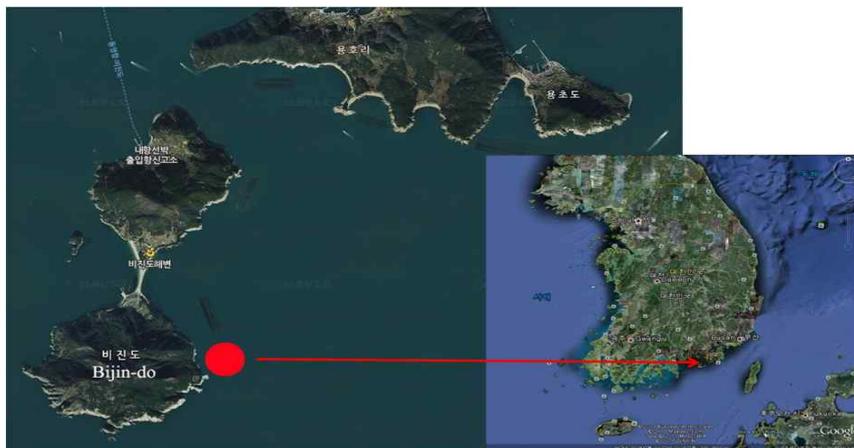
[그림 3-1-5] 전남 완도 금일 우도의 연구교습어장 어장도.



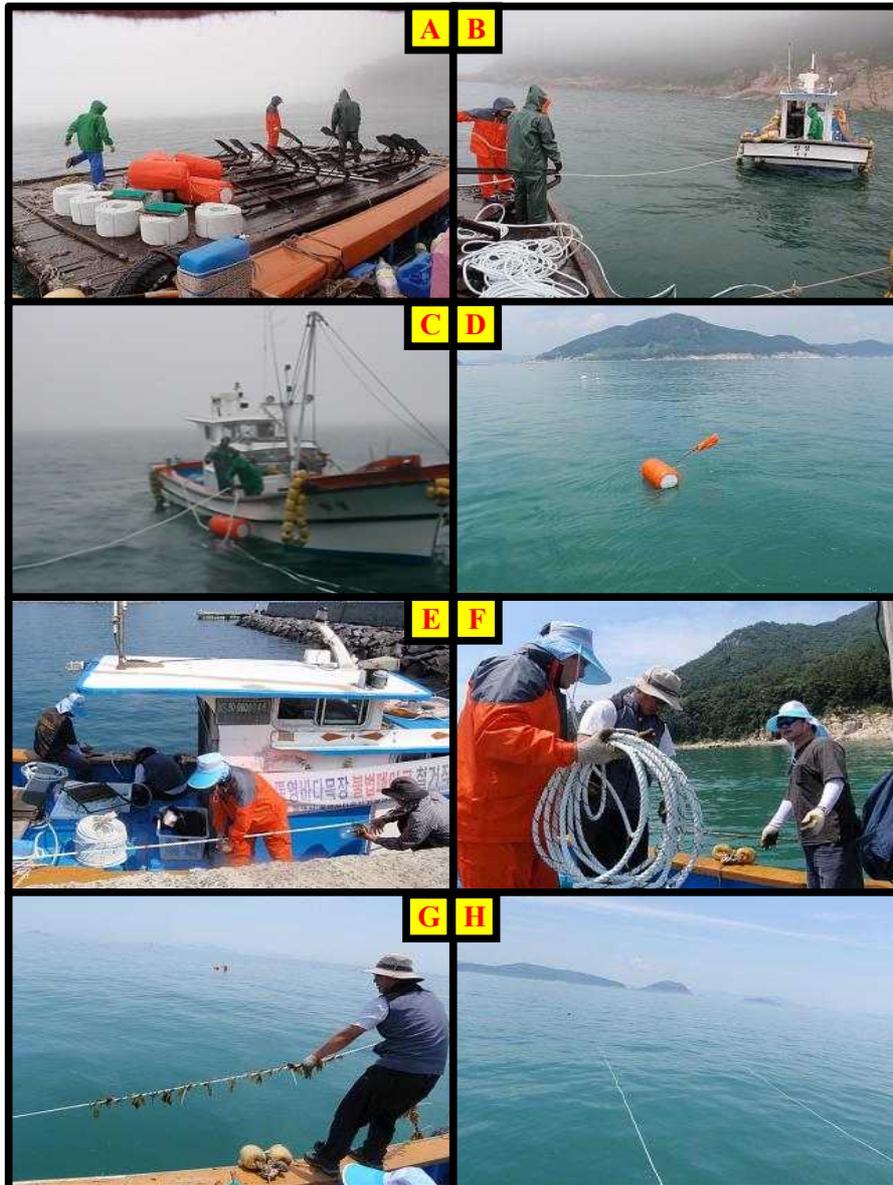
[그림 3-1-6] 전남 완도군 평일도 남단 우도해역의 연구교습어장 시설 및 종묘입식과정. A-E, 대형선박을 이용한 닻 고정(저질이 암반 또는 자갈질로 되어 있어 닻 대신 멩을 시설함); F, 종묘입식 작업



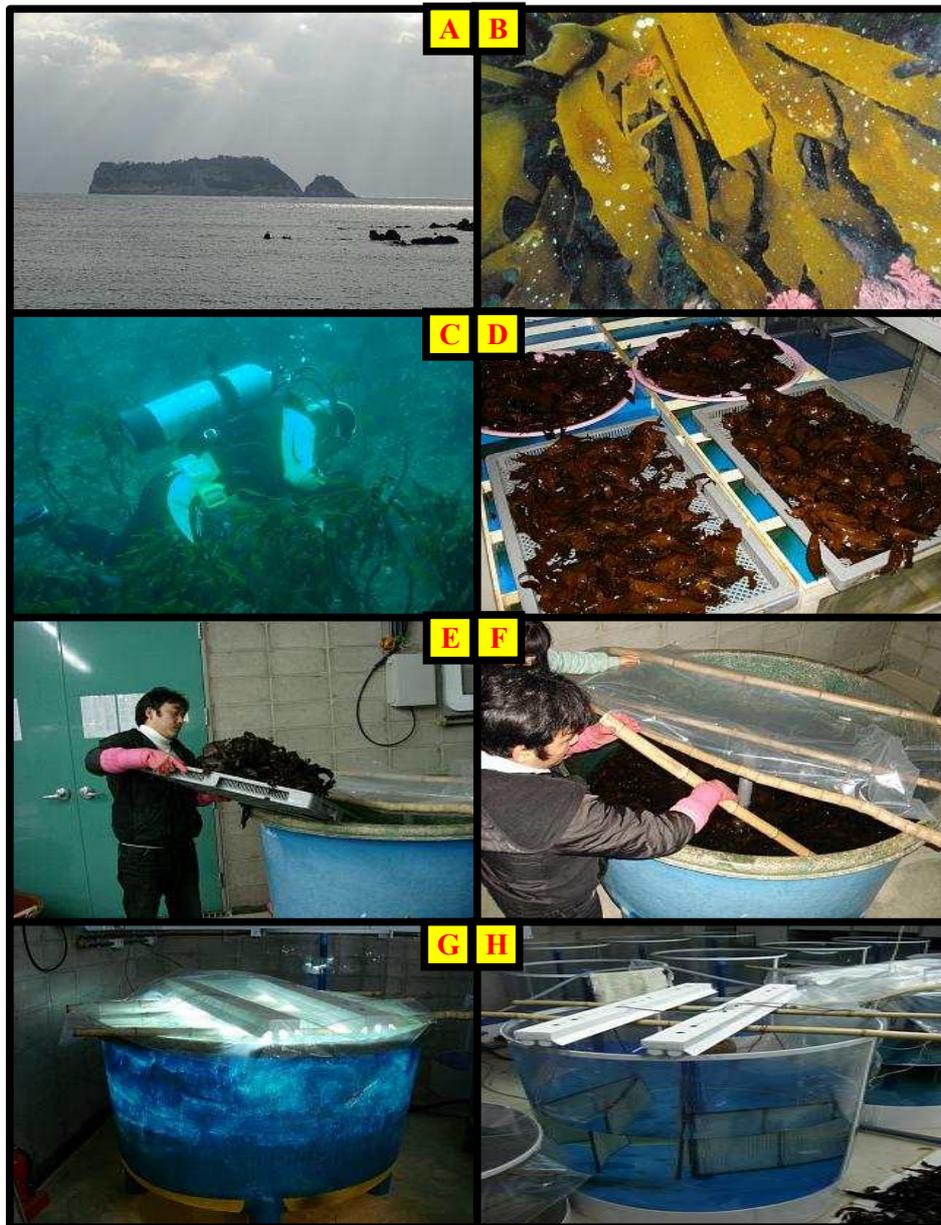
[그림 3-1-7] 경남 통영시로부터 수신된 연구교습어장 면허를 허가한다는 회신 공문.



[그림 3-1-8] 경남 통영시 비진도 외항의 연구교습어장 어장도.



[그림 3-1-9] 경남 통영시 비진도 외항리 해역의 연구교습어장 시설 및 종묘입식과정. A-D, 소형선박을 이용한 사계작업 및 닻 고정작업; E&F, 종묘준비 및 종사감기작업; G&H, 종묘입식 및 연승설치



[그림 3-1-10] 제주산 감태의 모조 채집 및 유주자 채묘과정.
 A, 범섬 전경; B&C, 수중의 성숙감태와 모조채취 모습; D, 음건; E, 유주자액 만들기; G&H, 종묘의 수조배양

다. 종묘구입, 모조의 확보 및 종묘생산

대상종의 탐색 및 적지선정을 위한 대상종으로는 성장이 빠르고 대량생산이 가능한 다시마와 다시마목 대형갈조류인 감태와, 곰피, 팽생이모자반을 선택하였다. 연구일정이 촉박한 관계로 다시마는 양식어민들이 종묘생산업자로부터 구입해 쓰는 종묘를 구입하여 사용하였고 감태와 곰피는 12월에 각각 제주와 통영에서 스킨스쿠버다이빙에 의한

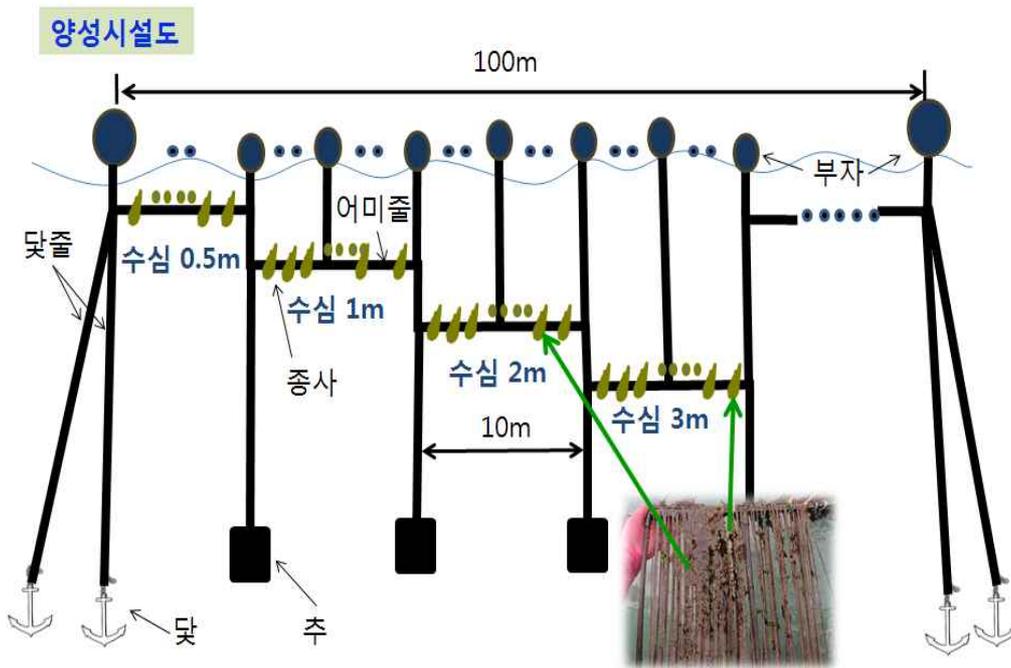
방법으로 채집한 모조로부터 유주자를 채묘하여 경상대학교 해양생물교육센터 사육실에서 배양, 재배한 종묘를 사용하였다([그림 3-1-10]). 팽생이모자반은 통영연안에서 2011년 3월에 성숙한 모조를 채집하여 배양한 종묘[그림 3-1-11]로서 현재 경남 통영의 비진도의 외해에 시설한 연구교습어장과 완도군 금일읍 평일도의 외해 어장에 시설된 연구교습어장에서 각각 시험 양성중에 있다. 또한 추가로 종묘를 확보하기 위해 2011년 6월 제주도 서귀포시 섶섬의 조하대에서 유배를 방출하지 않은 성숙 엽체를 채취하여 채묘한 종묘를 실내배양 한 후 통영 비진도의 연구교습어장에서 가이식하여 양성 중에 있다.



[그림 3-1-11] 갯생이모자반의 모조채집, 유배채묘 및 종묘생산과정.
 A, 모조의 채집; B, 유배액만들기; C, 채묘한 유배;
 D-F, 유배의 채묘 및 배양; G&H, 배양종묘의 가이식

라. 대상종 탐색 및 적지선정을 위한 시험양식

시험양식은 현재 완도군 금일읍 사동어촌계와 부산 기장군 문동리 어촌계 어장에서 수행하고 있는데 다시마는 2011년 7월 중순까지 시험양식을 수행하였고, 감태는 가이식 후 입식하여 현재까지 시험양식을 계속하고 있으며 현지 어촌계장 및 관리인의 협조를 얻어 시설을 철거하지 않고 율하하면서 시험양식을 지속적으로 수행할 예정에 있다. 양식은 일반적으로 어민들이 수행하고 있는 표층 50cm 수층을 대조구로 하고, 1m, 2m, 3m수심에서 각각 양성시험을 수행하였다([그림 3-1-12]).

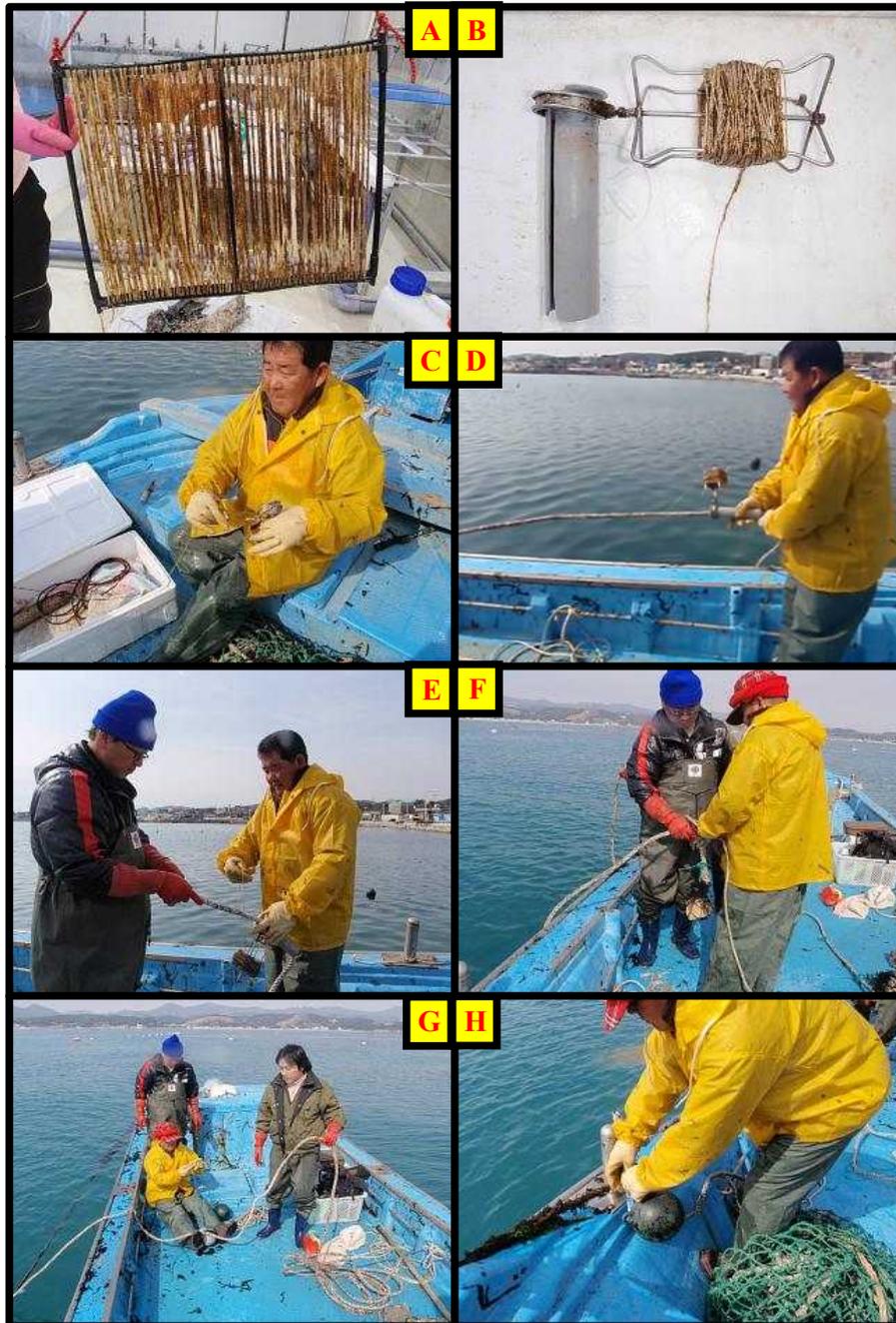


[그림 3-1-12] 대상종 탐색 및 적지선정 연구의 대량양식 시험어장 시설도.

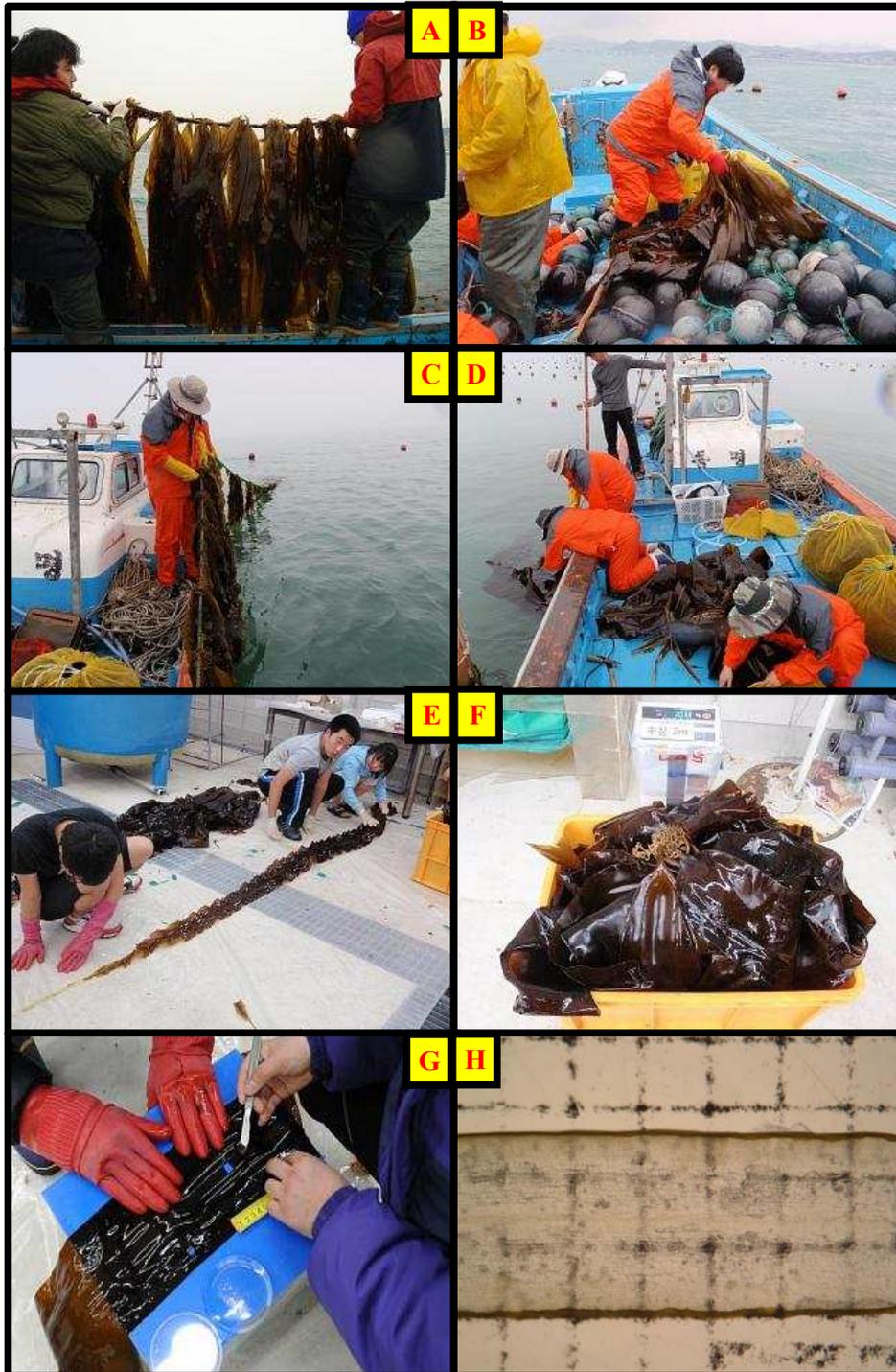
다시마 종묘의 크기는 5mm전후의 유아상태로 완도 금일에서는 2010년 12월 1일에 종묘를 입식하였고, 기장에서는 2010년 12월 6일에 같은 크기의 종묘를 입식하였다.

조사는 매월 1회 시험양성중인 다시마를 각 수층별로 한 클러스터씩 채취하여 실험실로 운반한 후, 조체의 엽장, 엽폭, 뚜께, 엽중량을 측정하고 착생개체수를 계수하여 매달 감모되는 양을 비교하였다. 감태의 경우 엽장, 경장, 엽중을 조사하였고, 팽생이모자반은 계속 수행중에 있으나 4월 채묘 후 가이식까지의 기간동안 어린 종묘상태여서 성장도 조사를 수행하지 않고 있으나 차년도에 이어서 수행될 예정인 과제의 계속과제로서 성장도 및 생육특성을 조사할 예정에 있다. 한편 조사를 수행하면서 또한 현장 채집과 동시에 현장에서 수온, 염분 및 수중광량을 측정하였고, 시험기간 중의 일조량은 기상청의 자료를 이용하여 분석하였다([그림 3-1-13~그림3-1-16]).

엽장, 엽폭은 50m줄자를 이용하여 0.1cm 단위까지 측정하였고, 엽중량은 메틀러 PC-4400전자저울을 이용하여 0.1g 단위까지 측정하였다. 엽체의 두께는 Leica 스테레오 해부현미경을 이용하여 0.1mm단위까지 측정하였다. 측정 및 관찰과 동시에 자낭반의 형성 유무 등 성숙상태를 확인하였고 유주자를 받아 배우체로의 발아 및 아포체 생산이 가능한지를 확인하였다.



[그림 3-1-13] 다시마의 종묘입식 및 본양성 시험과정.



[그림 3-1-14] 양성시험 다시마의 표본채취 및 측정과정.
 A&B, 기장; C&D, 완도; E&F, 엽장 및 엽중 측정; G&H, 두께 측정



[그림 3-1-15] A-F, 완도에서의 감태종묘의 입식 및 시험양성 시설의 시설과정.



[그림 3-1-16] A-F, 시험양성 중인 감태의 표본채집 및 측정과정.

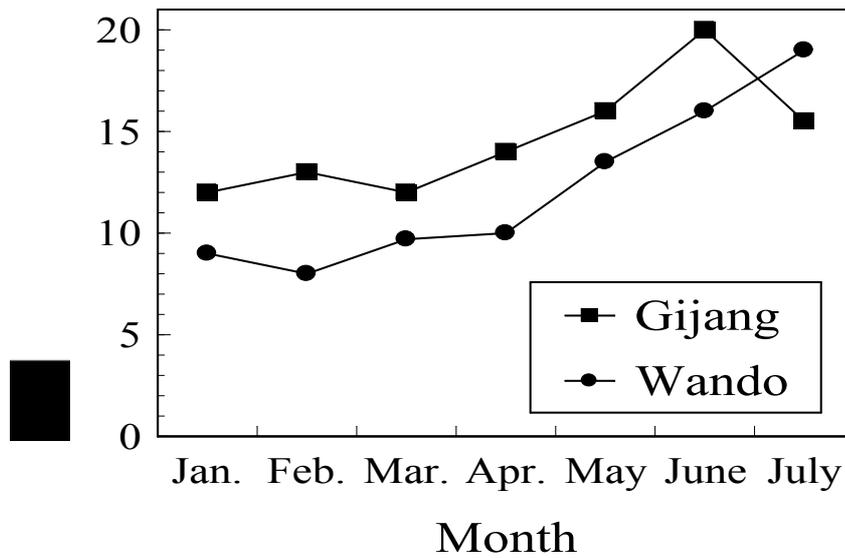
3. 연구수행 결과

가. 환경요인

(1) 수온

1월부터 7월까지 시험어장의 표층수온은 기장에서 12.0-20℃, 완도에서 8.0-19.0℃로 완도가 기장에 비해 2-3℃ 수온이 낮은 것으로 나타났다([그림 3-1-17]).

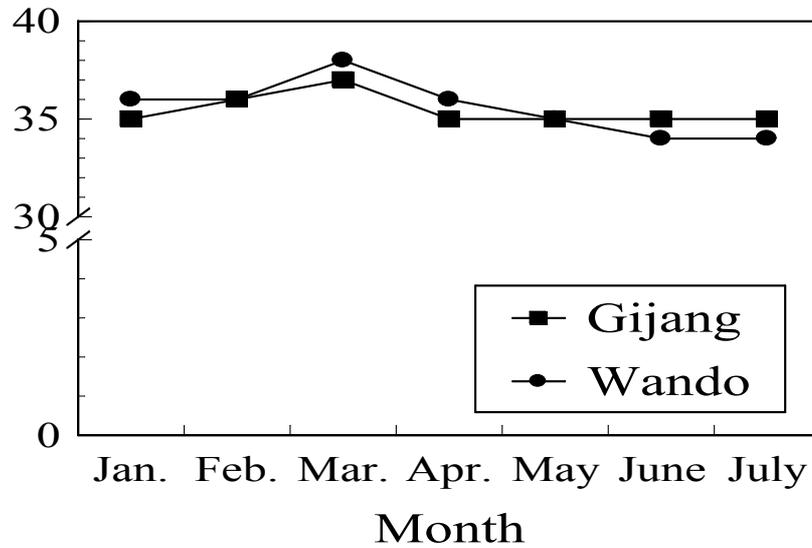
특히 기장의 경우 수온이 높은 것은 시험어장 인근에 위치한 고리원자력발전소의 온배수가 영향을 미쳤기 때문에 나타난 현상으로 보이며, 7월의 수온이 15.5℃로 6월의 20℃보다 4.5℃ 정도 낮게 나타난 것은 7월 조사당시 현장에 유입된 냉수대의 영향으로 나타난 결과로 해석된다. 이러한 수온 차이는 차 항목에서 제시하겠지만, 다시마나 감태의 엽면에 착생하는 착생해조나 착생동물 등 부착생물의 부착밀도나 종조성에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.



[그림 3-1-17] 대량생산 시험해역의 월별 현장수온의 변화.

(2) 염분

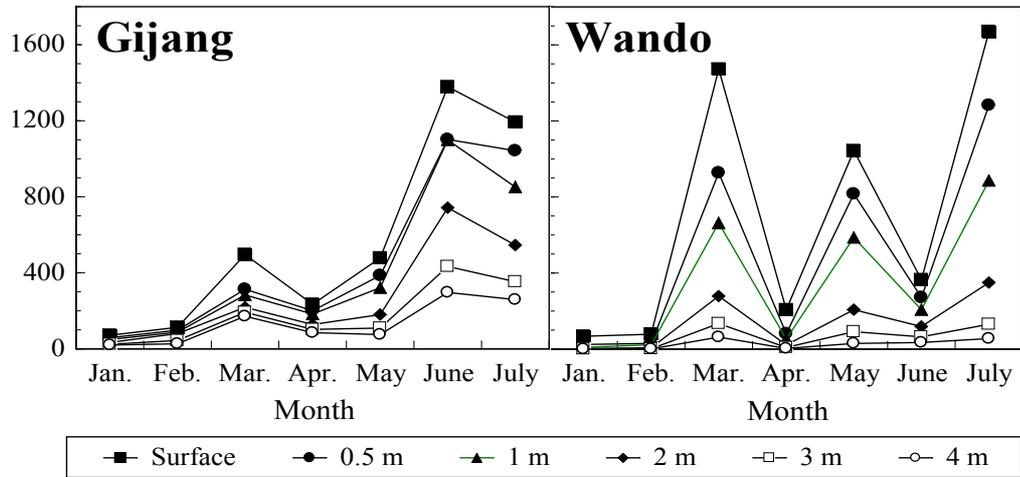
2011년 1월부터 7월까지 시험해역의 월별 현장 염분변화는 기장에서 35-37psu, 완도에서 34-38psu로 두 해역간 큰 차이를 나타내지 않았으나 남해서부 해역인 완도해역의 경우 우기인 6월과 7월의 염분도가 동해남부 해역인 기장해역 보다 1psu 정도 유지되고 있는 반면 건기인 3월에는 오히려 1psu 정도 높게 나타나는 것으로 관측되었다([그림 3-1-18]).



[그림 3-1-18] 대량생산 시험해역의 월별 현장 염분의 변화.

(3) 광량

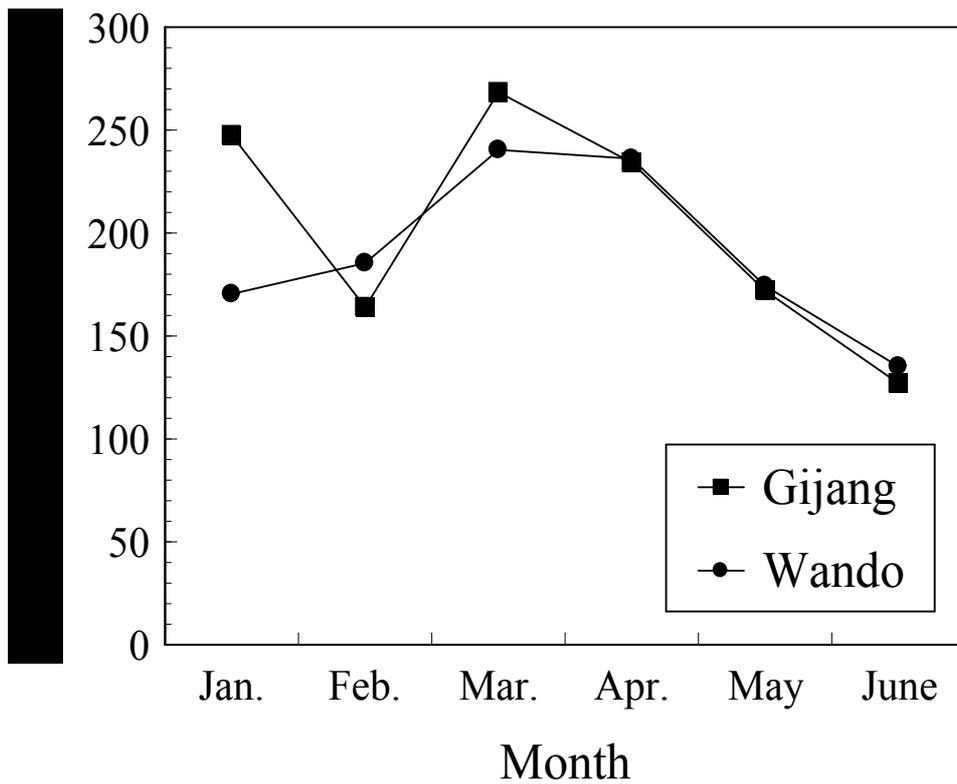
시험양식 기간 중인 1-7월에 측정된 양식장 현장의 광량은 [그림 3-1-19]와 같다. 기장에서 표층광량은 $71.5\text{--}1378.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 0.5m층에서 $58.5\text{--}1101.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 1m층에서 $49.3\text{--}1098.9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 2m층에서 $33.9\text{--}742.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 3m층에서 $24.3\text{--}433.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 4m층에서 $20.3\text{--}296.9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 반면, 완도에서의 표층광량이 $67.3\text{--}1669.8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 0.5m층에서는 $24.2\text{--}1282.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 1m층에서 $9.2\text{--}886.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 2m층에서 $2.9\text{--}349.8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 3m층에서 $0.6\text{--}130.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 4m층에서 $0.2\text{--}63.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 두 해역간 광량의 차이는 구름이나 강우 등 천연 현상을 제외하면 동절기에 비해 하계에 월등하게 높게 나타나는 특징을 나타내었다. 두 해역에서 수심 4m까지 측정된 현장광량의 경우 표층으로부터 1m까지는 완도해역이 높게 나타나나 1m에서는 이심에서는 기장해역이 높게 나타난다. 그러나 수심에 따른 광량의 경우 수심이 깊어질수록 완도해역에서는 급격히 광량이 감소하는 반면, 기장해역에서는 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 조사시점에 따른 탁도의 차이나 유입되는 해류와 조류의 성질이 다르기 때문에 나타난 결과에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 이를 보완할 목적으로 두 해역간에 해조류의 성장에 미치는 영향이 클 것으로 예상되는 일조량을 비교 분석하고자 하였다.



[그림 3-1-19] 대량생산 시험해역의 월별 현장 광량의 변화.

(4) 일조량

기상청의 자료로부터 해조류의 성장에 미치는 영향이 크다고 생각되는 기장과 완도지역의 일조량자료를 비교한 결과는 [그림 3-1-20]과 같다.



[그림 3-1-20] 시험양식 기간 중 기장과 완도지역의 일조량 변화.

대량양식 시험기간 중인 1월부터 6월까지의 월별 총 일조량은 기장에서 127.0-268.4 hrs/month, 완도에서 135.2-240.4hrs/month로 나타나 전반적으로 기장에서 일조량이 많은 것으로 나타났는데 이를 6개월간의 총 일조량으로 합산하면 기장에서 1213.1hrs/month, 완도에서 1141.8hrs/month로 나타나 시험양식기간 중 다시마 등 양식 해조류의 성장에 영향을 미치는 일조량은 기장이 다소 많은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 차이는 다시마의 생장이나 생산량에 영향을 줄 정도로 큰 차이는 아닌 것으로 판단된다.

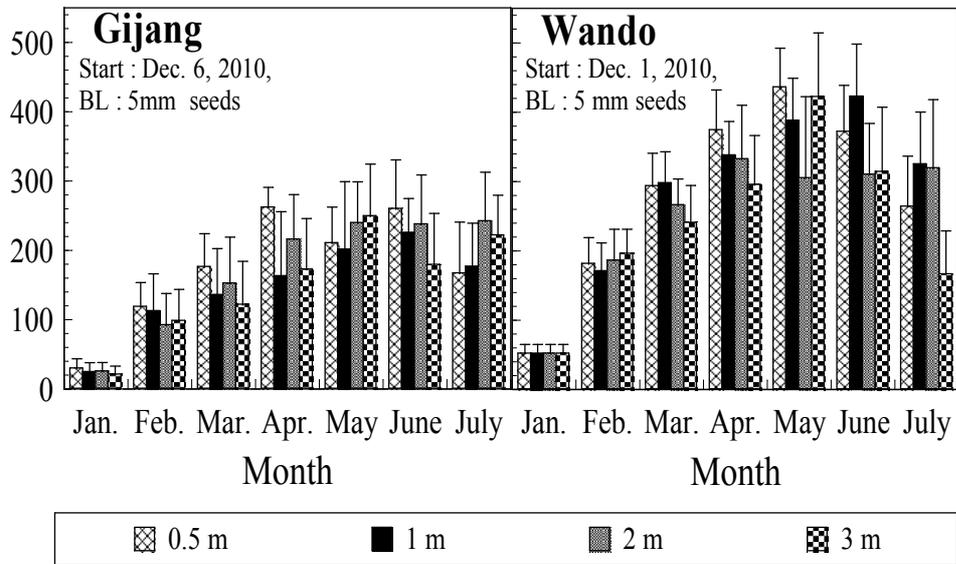
나. 기장과 완도해역 시험어장에서의 다시마 성장도

(1) 엽장

기장해역에서 나타난 시험양식 다시마의 평균 엽장은 수심 0.5m에서 29.3-261.5cm, 1m수심에서 24.1-225.1cm, 2m층에서 25-241.7cm, 3m수층에서 20.5-249.1cm로 나타나 0.5m수심의 다시마가 가장 빨리 성장하는 것으로 나타났다.

반면 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 평균 엽장은 수심 0.5m에서 51.4-435.7cm, 1m수심에서 170.5-422.3cm, 2m수층에서 185.6-332.4cm, 3m수심에서 195.6-421.7cm로 나타나 기장과 마찬가지로 0.5m수심의 다시마가 가장 빠른 성장을 나타내었으며, 두 지역을 비교하면 기장에 비해 완도해역에서 시험 양성중인 다시마의 성장이 다소 빠른 것으로 나타났다(그림 3-1-21).

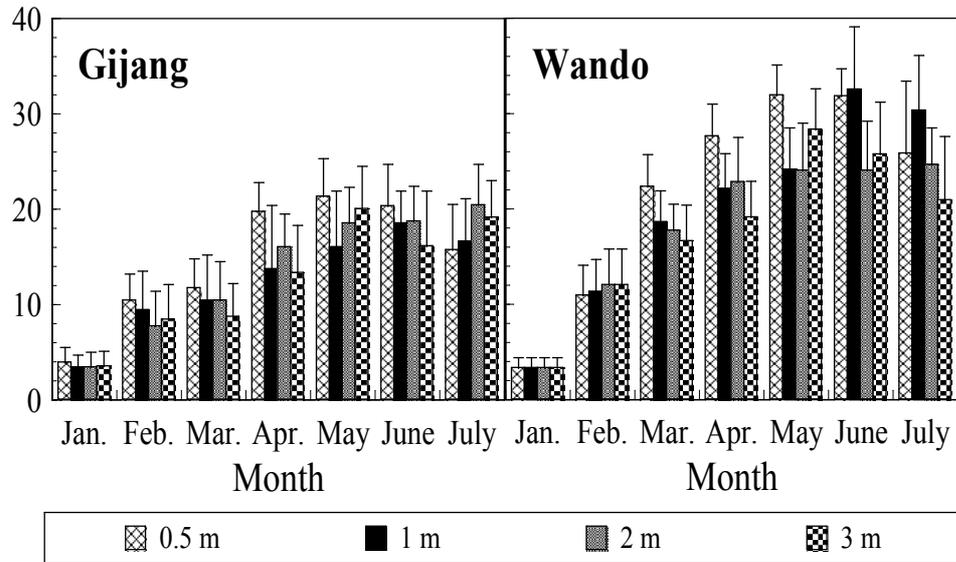
이상의 결과에서 1년생 다시마의 생장은 대체로 5-6월에 최대로 나타나고 6월부터 고수온기인 8월까지 끝녹음으로 성장률이 낮아진 후 다시 수온이 하강하는 9월 하순부터 재생장이 빠르게 일어나는 것으로 추론할 수 있으며 이와 같은 다시마의 끝녹음 이후의 재생장에 관해서는 이 연구가 계속되는 2011년 하반기에 정확한 해답을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.



[그림 3-1-21] 기장과 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 엽장.

(2) 엽폭

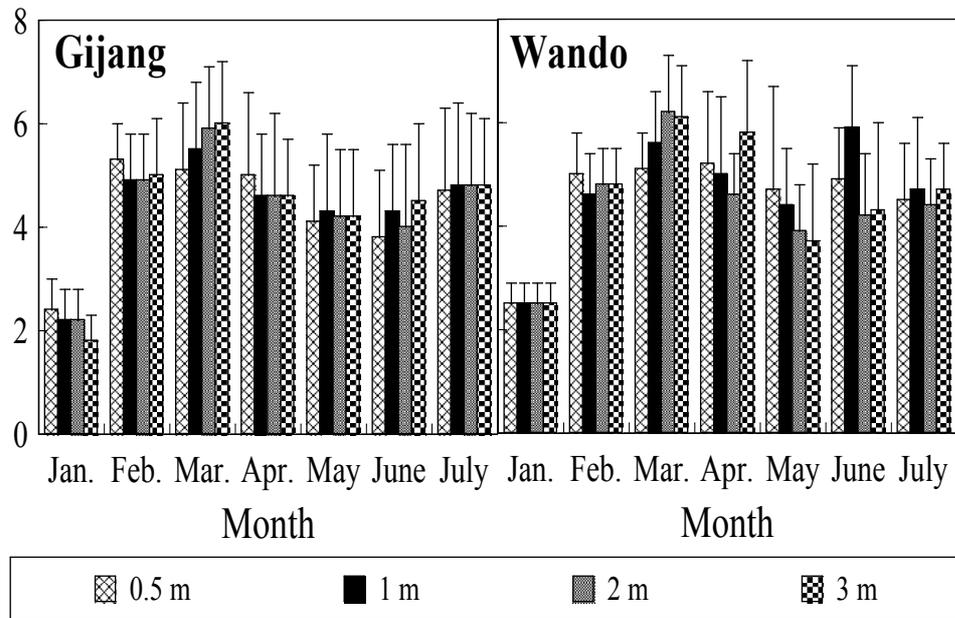
기장해역에서 나타난 대량생산 시험양식 다시마의 평균 엽폭은 수심 0.5m에서 3.9-21.3cm, 1m수심에서 3.4-18.5cm, 2m수심에서 3.4-20.4cm, 3m수심에서 3.5-20.0cm로 나타나 엽폭도 엽장과 마찬가지로 0.5m수심의 다시마가 가장 크게 성장하는 것으로 나타났다. 반면 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 평균 엽폭은 수심 0.5m에서 3.3-31.9cm, 1m수심에서 3.3-32.5cm, 2m수심에서 3.3-24.6cm, 3m수심에서 3.3-28.3cm로 나타나 기장과 마찬가지로 0.5m수심의 다시마가 가장 빠른 성장을 나타내었으며, 엽폭과 마찬가지로 기장산 다시마에 비해 완도산이 다소 성장이 빠른 것으로 나타났다([그림 3-1-22]).



[그림 3-1-22] 기장과 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 엽폭.

(3) 경장(줄기길이)

기장해역에서 나타난 대량생산 시험양식 다시마의 평균 경장은 수심 0.5m에서 2.4-5.3cm, 1m수심에서 2.2-5.5cm, 2m층에서 2.2-5.9cm, 3m수층에서 1.8-6.0cm로 나타나 다시마의 줄기도 엽장, 엽폭과 마찬가지로 0.5m수심의 다시마가 가장 크고 빠르게 성장하는 것으로 나타났다. 반면 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 평균 경장은 수심 0.5m에서 2.5-5.2cm, 1m수심에서 2.5-5.9cm, 2m수층에서 2.5-6.2cm, 3m수심에서 2.5-6.1cm로 나타나 기장과 마찬가지로 0.5m수심의 다시마가 가장 빠른 성장을 나타내었으며, 줄기의 성장에 있어서도 기장산에 비해 완도산이 다소 성장이 빠른 것으로 나타났다([그림 3-1-23]). 줄기의 성장율도 엽장, 엽폭의 경우와 마찬가지로 대체로 3-4월에 최대에 도달한 후에는 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

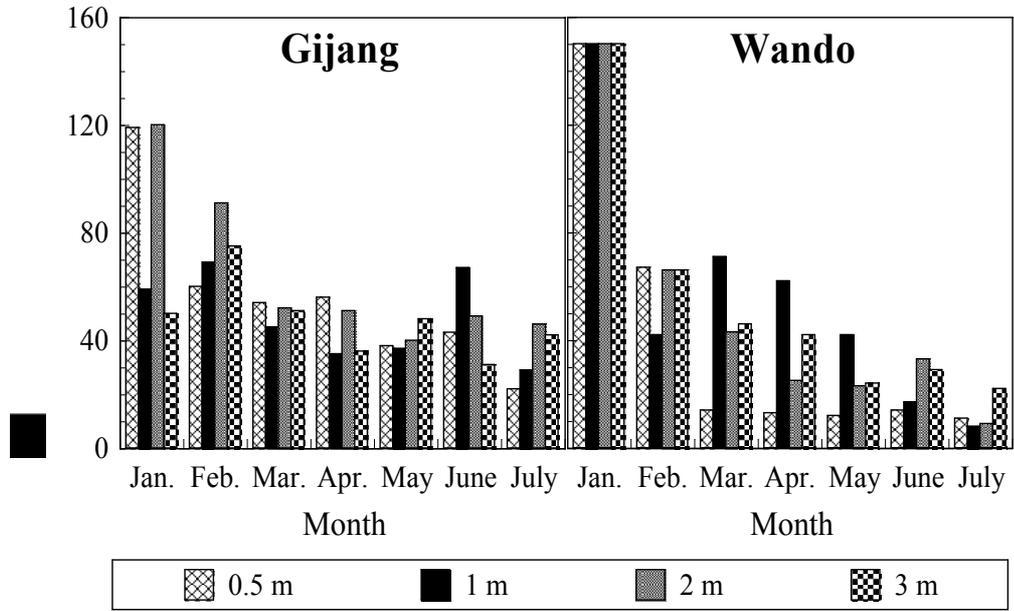


[그림 3-1-23] 기장과 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 경장.

(4) 개체수

기장과 완도 두 해역에서 시험 양식한 양식다시마의 클러스터당 개체수는 [그림 3-1-24]와 같다.

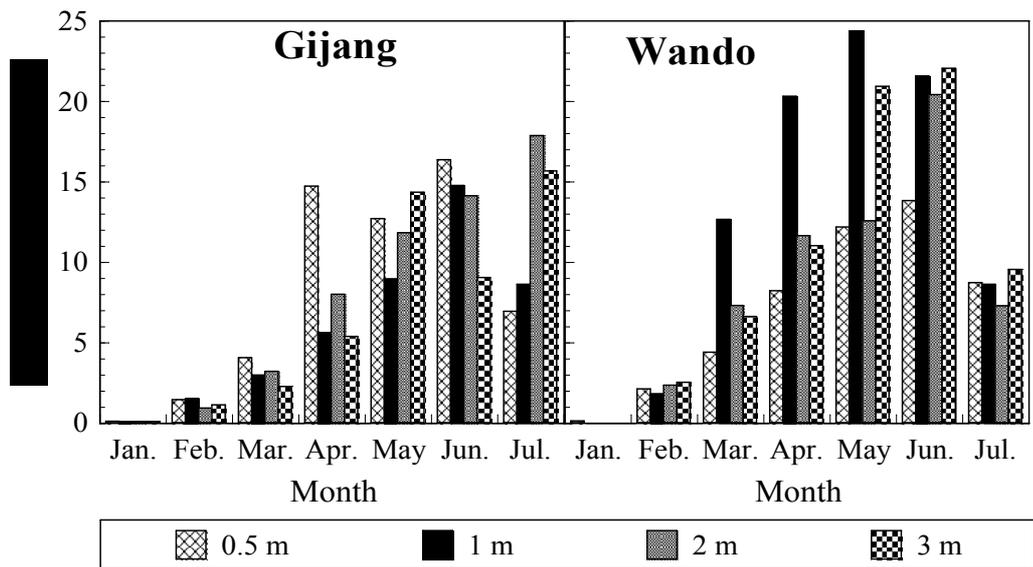
기장의 양성수심별 개체수는 수심0.5m에서 22-119개체, 1m층에서 29-69개체, 2m층에서 40-120개체, 3m층에서 31-75개체로 나타났다. 반면 완도에서는 0.5m층에서 11-150개체, 1m층에서 8-150개체, 2m층에서 9-150개체, 3m층에서 22-150개체로 나타났으며 기장산이 완도산에 비해 양식다시마 한 클러스터당의 개체수가 많은 것으로 나타났다. 개체수 자료를 분석한 결과 다시마의 주 생장기인 2-5월에 클러스터당 개체수의 변동은 뚜렷한 경향성을 파악하기 어렵다. 이는 채묘 후 단위 길이당 착생 개체수 및 생존 개체수의 자료가 없어 클러스터당 개체수 파악에 현실적 어려움이 있기 때문에 나타난 결과로 해석된다. 그러나 6월에 한반도 서쪽지역을 통과한 태풍 메아리의 영향으로 7월의 개체수가 격감한 것은 태풍이 최대로 성장하여 수확기에 이른 다시마의 탈락에 결정적인 영향을 미쳐 생산량을 감소시키는 한 요인이 되고 있음을 시사한 것이라 할 수 있다.



[그림 3-1-24] 기장과 완도해역에서 나타난 시험양식 다시마의 클러스터당(기장, 25cm; 완도, 50cm 간격) 개체 수.

(5) 생체량

기장과 완도해역의 시험양식 어장에서 나타난 다시마의 생체량은 [그림 3-1-25]와 같다.



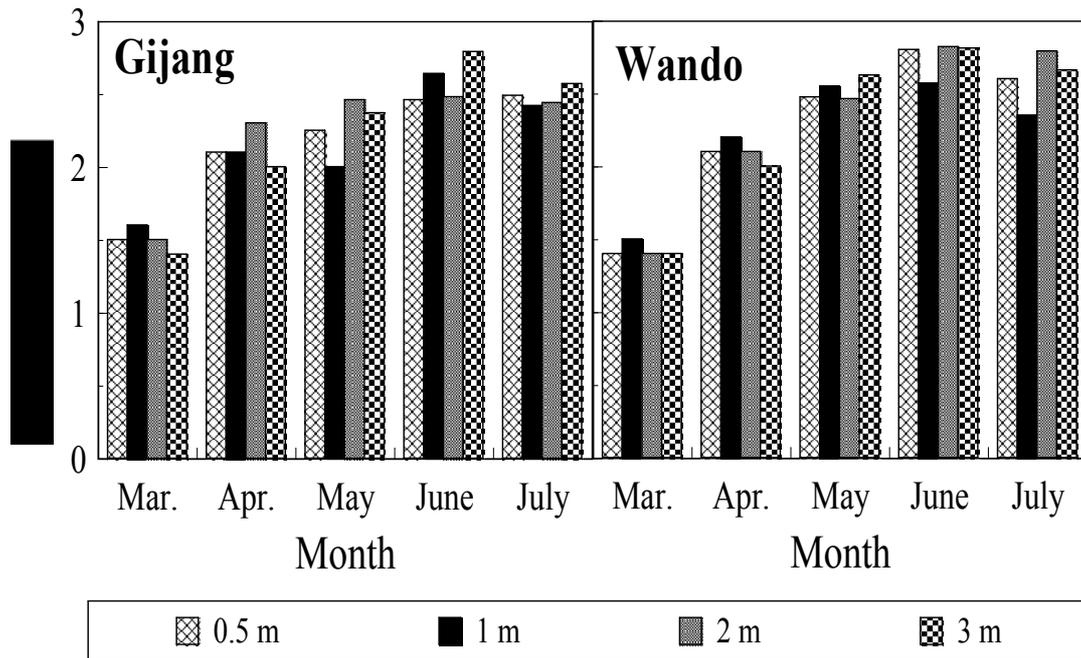
[그림 3-1-25] 기장과 완도해역에서 나타난 다시마의 클러스터당 (기장, 25cm; 완도, 50cm 간격) 생체량.

기장해역에서는 0.5m층에서 0.1-16.3kg/25cm, 1m층에서 0.1-14.7kg/25cm, 2m층에서 0.1-17.8kg/25cm, 3m층에서 0.1-15.6kg/25cm로 나타났고, 완도해역에서는 0.5m수심에서 0.1-13.8kg/25cm, 1m수심에서 1.8-24.3kg/25cm, 2m수심에서 2.3-20.4kg/25cm, 3m수심에서 2.5-22.0kg/25cm으로 나타나 완도에서 단위 클러스터당 생체량이 높은 것으로 나타났다. 생체량의 자료를 분석해 보면 종묘를 입식한 후의 양성초기에는 0.5m 수층에서 성장이 빠르지만 전체 생체량은 1-2m 수층에서 생체량이 많은 것으로 나타났다. 이는 다시마가 대부분 6월이면 최대로 성장하고 아울러 이 시기에 집중적으로 수확이 이루어지는데, 만약 이시기에 수확할 여건이 되지 않거나 시차를 두고 늦게까지 수확을 할 계획이라면 다시마의 생산량 측면에서는 고수온기에 이르렀을 때에는 다시마의 양성수심을 2-3m 층으로 낮추어 줄 필요가 있는 것으로 분석된다. 그 이유는 다시마가 최대로 자란 후 수심이 낮은 곳에서 수온과 광선의 영향으로 끝녹음이 빠르게 진행되어 엽체의 상단부가 유실되는 양이 많아지는 반면 수심 2m이하에서는 끝녹음이 늦어지고 엽체는 아래쪽에서 두터워지는 비후현상이 나타나 다시마의 충실도가 좋아지기 때문에 다시마의 생리, 생태를 고려한 대량생산을 목적으로 할 경우 이러한 방법을 고려할 필요가 있다. 그러나 기장의 시험 양식장에서는 이러한 수확시의 잇점에도 불구하고 6월부터 태형동물인 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 자포동물인 테히드라(*Sertularella levigata*)류가 착생하기 시작하고 7월이 되면 엽체의 전, 후면에 넓게 확산되어 식용으로 이용하지 못할 정도로 다시마의 질을 떨어뜨리고 있으며, 이는 다시마를 전처리 할 때 새로운 공정을 추가해야 할 정도로 일량을 가중시킬 뿐만 아니라 일관된 자료를 얻는데 난제가 되는 등 분석에도 어려움을 줄 수 있는 요인으로 나타나고 있다. 반면, 완도의 경우는 7월 중에도 히드라와 태형동물의 부착량은 미미한 상태로 양질의 다시마 생산에 유리한 환경을 갖추고 있는 것으로 나타났다. 다시마와 감태의 해적생물 및 착생생물에 대해서는 별도 항목인 7항에서 다루고자 하였다.

(6) 엽체의 두께

두 지역의 다시마에 대한 품질을 평가하고, 생산량에 영향을 미치는 요인 가운데 하나로 인식되는 요인 중 하나인 중대부에 대한 두께를 측정하였다. 중대부는 다시마가 성장하여 점차 비후되는(두터워지는 것)시기인 3월부터 시작하여 7월까지 양성 수층별로 10개체의 샘플을 채취하여 측정하였다. 중대부의 두께는 기장산 다시마의 경우 수심 0.5m에서 1.5-2.5mm, 1m에서 1.6-2.6mm, 2m에서 1.5-2.5mm, 3m에서 1.4-2.8mm로 나타났고, 완도산 다시마의 경우, 수심 0.5m에서 1.4-2.8mm, 1m에서 1.5-2.6mm, 2m에서 1.4-2.8mm, 3m에서 1.4-2.8mm로 나타났으며 두 해역 간에 큰 편차를 나타내지 않았으나 완도산이 기장산에 비해 다시마의 비후도가 다소 좋은 나타났다([그림 3-1-26]). 그러나

비후도 조사에서 주목할 만한 사실은 수심이 깊은 곳에서 양성한 다시마일수록 중대부가 두터워져 비후도가 높다는 사실이다. 본 연구에서도 이러한 경향성을 보이고 있는데 이는 다시마의 생리, 생태를 통해 과학적으로도 뒷받침 되고 있다. 이 부분은 다시마의 끝 녹음 향에서 상세히 다루기로 한다.

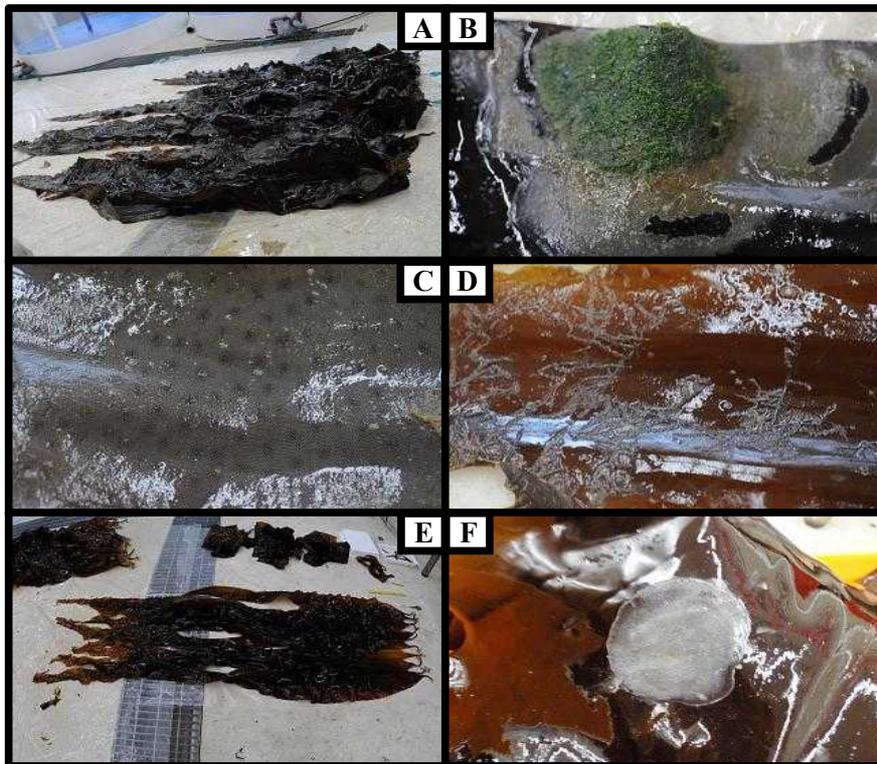


[그림 3-1-26] 기장과 완도해역에서 나타난 시험다시마의 중대부의 두께.

(7) 엽체의 해적생물 및 착생생물

기장과 완도의 시험 양식장에서는 다시마 엽면에 해적생물로 판단할 수 있는 동, 식물이 착생하고 있다([그림 3-1-27]). 이러한 부착생물은 다시마의 품질저하 요인이 되고 있는 점도 문제라고 할 수 있지만 다시마로부터 타겟물질을 얻기 위한 전처리 과정에서도 상당한 노력과 경비를 요하게 됨으로 해조류 바이오매스 대량생산 고유의 목적 외에 대상물질의 추출 및 분석에 상당한 장애요소가 되고 있다. 이는 대량생산을 목적으로 하는 다시마의 질 문제를 떠나 다시마의 고도이용에 걸림돌이 될 수 있는 요소이다. 따라서 이러한 해적생물은 다시마 대량생산에 이전에 해결해야 할 과제로서 수확시에 고려할 요소가 되고 있다. 착생식물 및 동물은 고수온기인 6월부터 대량으로 부착하게 되는데 착생밀도가 높고, 부착량도 많은 종으로는 대표적으로 태형동물인 톱니막이끼벌레 (*Membranipora serrilamella*)와 자포동물인 테히드라(*Sertularella levigata*)류를 들 수 있다. 이들은 착생한 후 고수온기와 우기를 지나면서 특히 고밀도로 착생하기 시작하고 7월이

되면 엽체의 전, 후면에 전면적으로 확산되어 동물고유의 비린내를 풍기고, 아예 식용으로 이용하지 못할 정도로 다시마의 질을 떨어뜨리고 있는 요인이 되고 있으며 전처리 과정에서 모두 제거하지 않으면 양질의 자료를 축적하기 어려울 정도로 존재감을 갖는 생물들이다. 따라서 이들의 착생으로부터 다시마의 질적 생산이나 효율적이고 양질의 재료 확보 측면에서는 이들의 착생시기, 부착량 등을 과학적으로 소상하게 구명할 필요성이 있다.

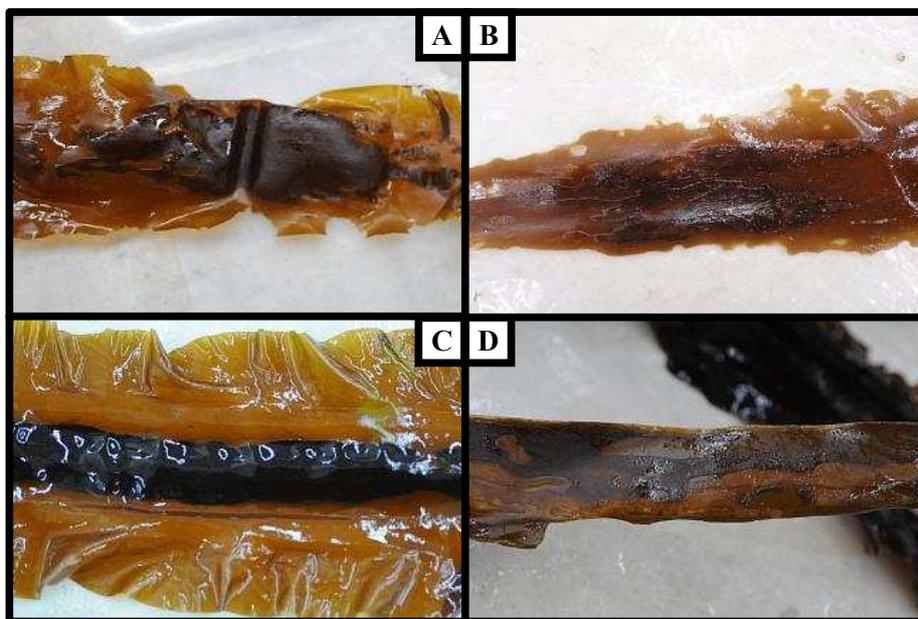


[그림 3-1-27] 다시마의 엽면에 착생한 해적생물 및 부착생물.
 A, 끝녹음 상태의 기장산 다시마; B, 엽면에 착생한 톱니막이끼벌레 (*Membranipora serrilamella*)와 그 표면에 착생한 갈파래속 식물; C, 기장산 다시마의 엽상부 전면에 착생한 톱니막이끼벌레; D, 끝녹음 상태에서 다시마 정단부에 착생한 테히드라 (*Sertularella levigata*); E, 끝녹음 상태의 완도산 다시마; F, 완도산 다시마의 엽면에 착생한 톱니막이끼벌레.

(8) 자낭반 형성

자낭반은 다시마의 생식 기반으로서 방출된 유주자가 배우자로 발아하고 배우자 유래의 암, 수 생식세포가 발아하여 배우체로 발아한 후, 이들 배우체가 성장 성숙하여 새로운 엽체를 만들어 내는 기능을 갖는 중요한 생식기관이다. 기장산 다시마의 경우 2

월부터 자낭반이 형성되기 시작하며 5월에는 채묘가 가능할 정도로 성숙한 자낭반을 형성하며 6월이면 양성된 조체 대부분에서 자낭반이 형성된다. 반면 완도산의 경우 기장산보다 1개월이 늦은 3월부터 자낭반을 만들며 7월에는 대부분의 조체에서 자낭반을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 두 해역에서 나타나는 다시마 자낭반 형성시기의 차이는 다시마의 생리를 고려할 때 수온의 차이에 의해 유래하는 것으로 판단된다. 또한 3월 이후 자낭반을 가진 조체로부터 방출된 유주자는 배우체 단계를 거쳐 정상적인 다시마 종묘로 발육할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 생식세포 형성시기를 구명한다는 것은 다시마의 종묘생산 및 종 보존 기술개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 3-1-28] 성숙한 자낭반을 가진 다시마. A&B, 기장산 성숙다시마; C&D, 완도산 성숙다시마 다시마.

(9) 다시마의 끝녹음

다년생 다시마목 해조의 끝녹음은 고수온기를 이겨내기 위한 해조류 엽상체의 생존전략의 하나로 볼 수 있는데 다시마나 감태의 경우 엽체가 이듬해 비후해 질 수 있는 생리적 특성중의 하나로 이해할 수 있다([그림 3-1-29]). 기장산 다시마의 끝녹음은 2월부터 시작되었고, 완도산은 3월부터 시작되었는데 이 시기와 다시마가 자낭반을 형성하는 성숙시기와 잘 일치하고 있는데 이는 다시마목 해조의 생리상 우연히 나타나는 현상이 아니라 자연에 대한 생리적 순응이자 생태적인 생존전략 가운데 하나라고 생각된다.



[그림 3-1-29] 다시마 엽상체 정단부의 끝녹음 상태. A, 기장산 2월 엽체; B, 기장산 5월 엽체; C, 완도산 3월엽체; D, 완도산 5월 엽체

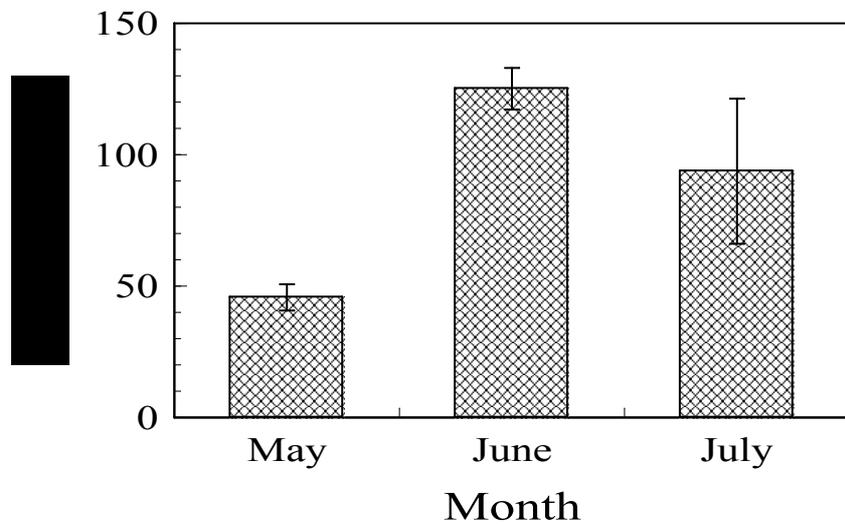
일반적으로 다시마는 여름이 되면 수온이나 광량이 증가하여 엽체가 두꺼워지게 된다. 이 시기에 해수는 크게 자란 다시마를 성장, 성숙시키기에는 영양염류가 부족한 상태로 되고 영양염이 매우 부족해지는 여름철에 다시마는 선단부의 조직(끝녹음이 나타나는 엽체 선단부)을 엽상부 자체를 유지하거나 성장을 위해 기부(뿌리)의 분열조직으로 영양염을 공급하게 된다. 이때 선단부 조직은 고사하게 되고 녹아내리게 되는데 이러한 현상을 다년생 해조류의 “끝녹음” 이라고 한다. 다시마의 신생부 조직(분열조직이 있는 부위)의 세포는 기부(줄기에서 가까운 엽체의 하단부)에서부터 재생하게 되고 이 조직은 분열, 성장하면서 엽체를 확대하여 성장의 기반이 되게 하는 것이 다년생 해조류의 생리, 생태이다. 그러니까 이 기부에서 멀어지면 멀어질수록 세포는 일령(day old) 및 월령(month old)이 많은, 소위 나이가 많아 고령의 낡은 조직이 되고 결국은 정단부의 엽체 조직이 노후된 조직이 되는 것이다. 따라서 다시마는 가을이 되어 재생장 하기까지 낡은 세포를 허물을 벗듯 녹여 내고, 기부의 신생조직으로 성장 에너지를 이동, 공급함으로써 가을의 재생 에너지를 확보하고 엽체는 더욱 두터워져 이듬해에는 중대부가 두터워져 엽체내의 각종 성분이 풍부해져 맛이 좋은 다시마가 만들어 지게 되는 것이다. 이러한 부분은 대량생산 및 공급외에 기능성 물질의 다량확보라는 차원에서 2년생 다시마의 수확적기를 판별하고 이후 이렇게 수확된 다시마에 대한 성분분석을 통해 이용목적에 따른 생산계획을 디자인해야 할 것으로 생각된다.

다. 기상과 완도해역 연구교습어장에서의 다시마 및 감태의 성장도

(1) 연구교습어장에 시설한 시험양식 다시마의 성장도

(가) 엽장

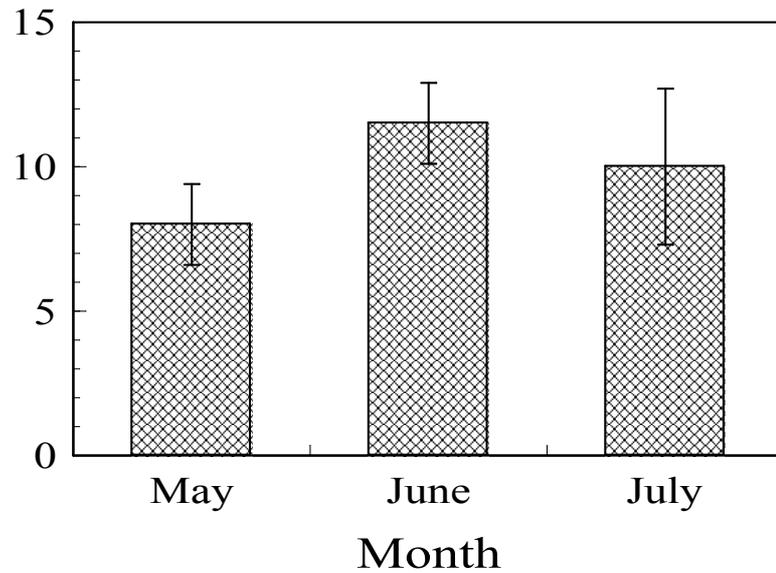
외해 어장의 경우 시설이 늦어진 관계로 12월에 확보한 전복 먹이용 다시마 종묘를 가이식 상태에서 4월에 내만의 일반 다시마 양성장에 입식한 후 엽장 45cm 내외로 성장한 엽체를 5월에 수심 0.5m에 입식하여 6월에 125.1cm로 성장하였고 이후 끝녹음으로 인해 7월에는 93.7cm로 감소하였다([그림 3-1-30]). 외해 교습어장에 시설한 다시마 엽체는 월하상태에서 양성시험을 계속하고 있으며 신규로 입식되는 다시마 종묘의 성장과 더불어 월하 다시마의 월하 후 성장상태와 생산성에 대해서 지속적으로 조사, 검증할 계획에 있다.



[그림 3-1-30] 연구교습어장 양식 다시마의 엽장의 변화.

(나) 엽폭

엽폭의 경우 엽장과 달리 엽체의 선단부에서 발생하는 끝녹음 현상이 나타나지 않기 때문에 생장이 지속적으로 이루어져 5월에 8.0cm, 6월 10.0cm로 성장하였고 이후 고수온기인 7월에는 성장속도가 다소 떨어져 11.5cm로 성장하였다([그림 3-1-31]). 연구교습어장의 시험양식 다시마도 엽장과 함께 익년도의 성장변화를 지속적으로 모니터링 할 계획이다.



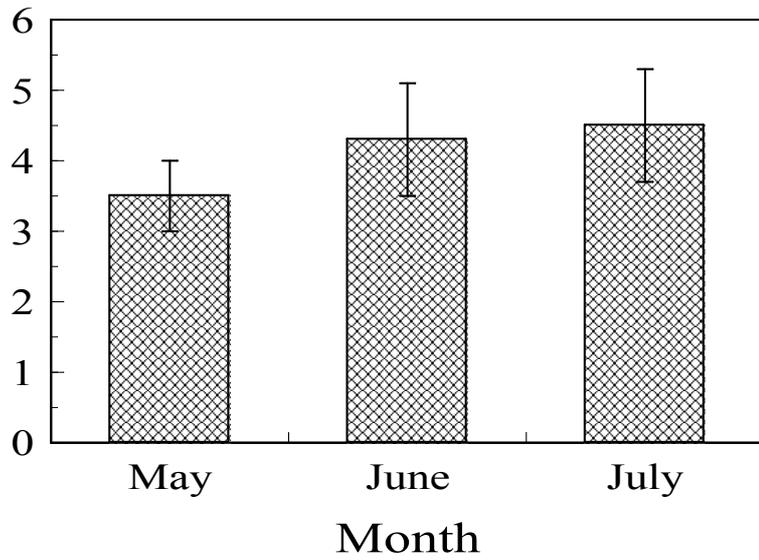
[그림 3-1-31] 연구교습어장 양식 다시마의 엽폭의 변화.

(다) 경장

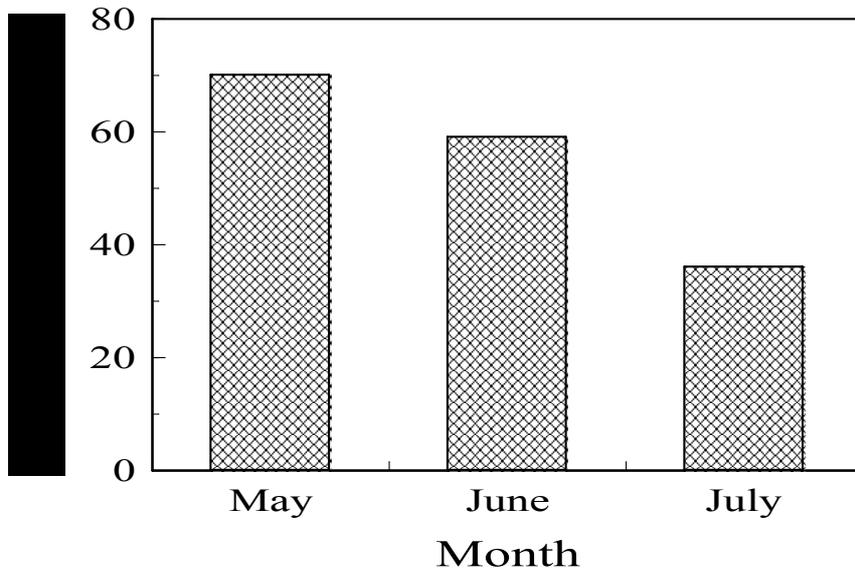
경장의 경우도 끝녹음과 관련없이 지속적으로 생장이 이루어져 5월 3.5cm, 6월 4.3cm, 7월 4.5cm로 지속적으로 생장이 이루어졌다([그림 3-1-32]). 경장의 경우 다시마가 양성되고 있는 환경에 따라 변화하는 것이 일반적인데 대체로 파도가 강하거나 조류가 빠른 곳의 다시마에서 줄기가 짧아지고 굵어지는 경향을 나타내는 것이 일반적이다.

(라) 개체수

외해에 시설된 연구교습어장에서 시험 양식중인 다시마의 클러스터당 부착 개체수는 내만의 시험어장에서와 같이 6월에 내습한 태풍 메아리의 영향으로 7월의 개체수가 전월 대비 배 이상으로 줄어 들어 5월에 70개체/클러스터, 6월 59개체/클러스터 였던 것이 7월에는 36개체/클러스터로 줄어들었다([그림 3-1-33]). 이는 태풍 외에도 고수온기의 생리적 특성도 관여하겠지만 양식 다시마의 개체수 감소는 너울성 파도나 태풍의 발생횟수 등이 크게 영향을 미쳐 나타난 것으로 판단된다.



[그림 3-1-32] 연구교습어장 양식 다시마의 경장의 변화.

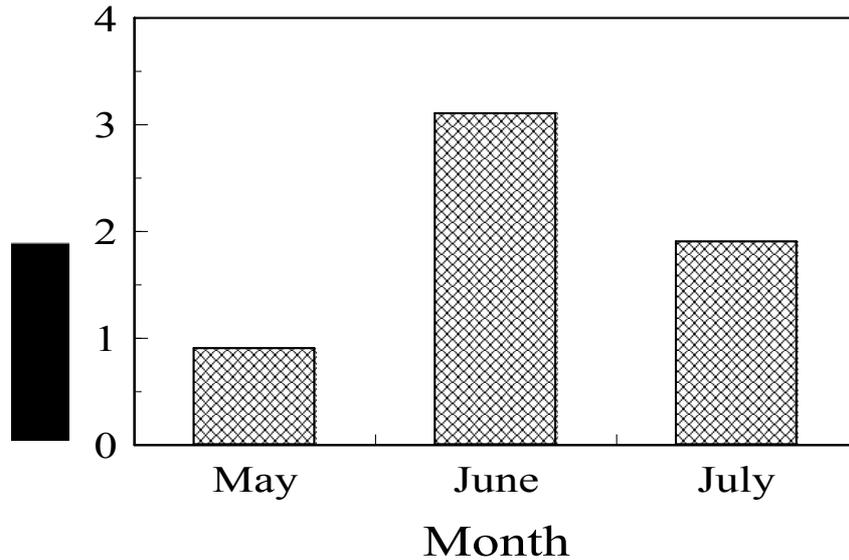


[그림 3-1-33] 연구교습어장 양식 다시마의 개체수 변화.

(마) 생체량

외해의 연구교습어장에 종묘를 입식한 후 3개월간 양성한 시험양식 다시마의 생체량은 5월 0.9kg/cluster, 6월 3.1kg/cluster, 7월 1.9kg/cluster로 나타나([그림 3-1-34]), 내만의 시험어장에서와 마찬가지로 생체량은 6월 전후에 최대에 달한 후 끝녹음이 급격히 일어나면서 7월이후 생체량이 급감하는 것으로 나타났다. 생체량은 해조류 바이오매스

대량생산을 위한 원료공급과 기능성물질의 양과, 질 측면에서 2년간의 비교 양식시험을 통해 비교 검토해 보아야 할 과제로 생각된다.



[그림 3-1-34] 연구교습어장 양식 다시마의 생체량 변화.

(2) 연구교습어장에 시설한 시험양식 감태의 성장도

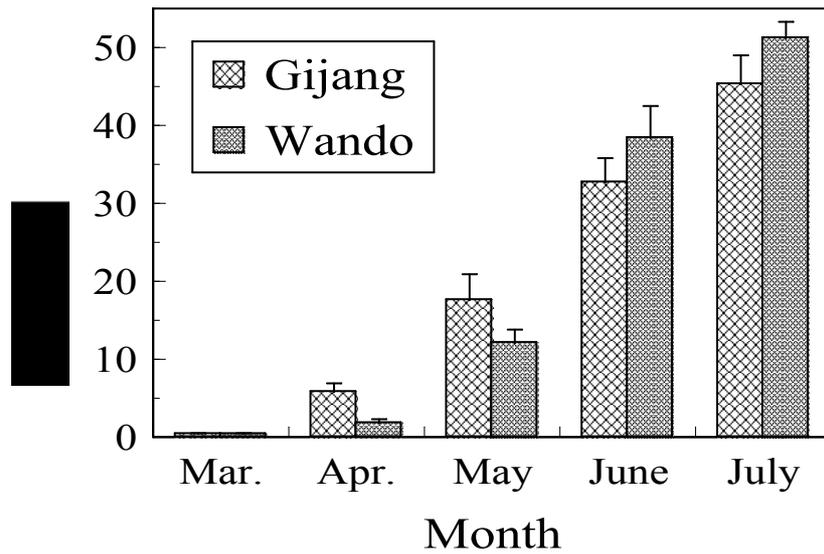
(가) 엽장

감태는 2010년 12월에 제주도에서 채집한 성숙모조를 이용하여 경상대학교 해양 생물교육연구센터내 해조류 종묘배양실에서 유주자를 받아 채묘하여 종사를 만만들었고, 이후 2개월간 실내에서 종묘를 배양하여 0.5cm로 성장한 종묘를 2011년 3월에 종사들에 종묘가 착생한 상태로 기장과 완도에서 각각 1개월간 가이식 시킨 후 현재까지 본 양성 실험을 수행 중에 있다. 현재까지 감태를 시험양식한 결과 기장에서는 7월에 엽장 평균이 최대 49.0cm로 성장하였고, 완도에서는 53.3cm로 성장하였다.

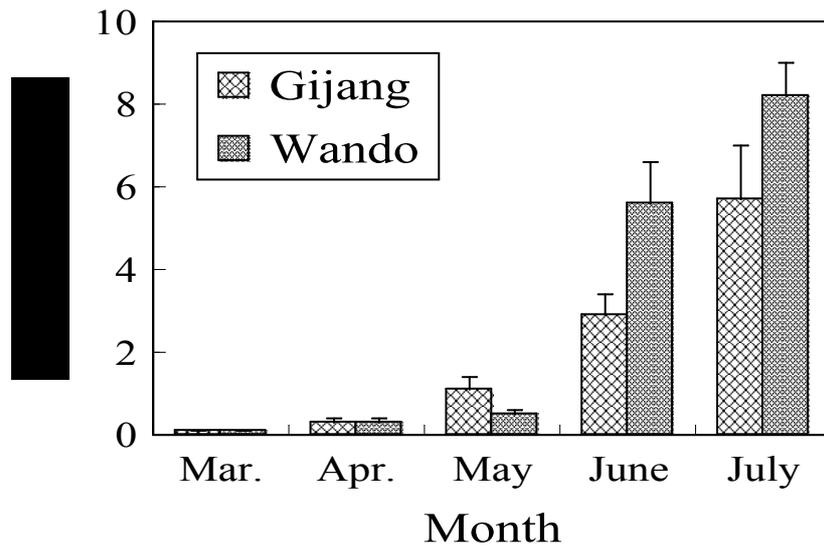
(나) 경장

감태의 경장도 다시마와 마찬가지로 조류, 너울성 파도 및 태풍의 강도에 따라 영향을 받으며 그 결과에 따라 줄기의 직경이나 길이가 변화하게 된다. 3월에 평균 0.1cm 내외였던 줄기부 길이는 기장에서는 7월에 경장 평균이 7.0cm로 자랐고, 완도에서는 9.0cm로 자랐다. 앞으로 기장과 완도를 포함 통영 비진도에 시험 양식되고 있는 감태

의 경우는 엽상부, 줄기부 및 부착기 등 환경조건에 따른 외부 형태변화를 모니터링 한 후 성장과 부착력 등을 분석하고 이를 대량생산과 연계하여 검토해야할 것으로 생각된다.



[그림 3-1-35] 시험양식 감태의 성장도.

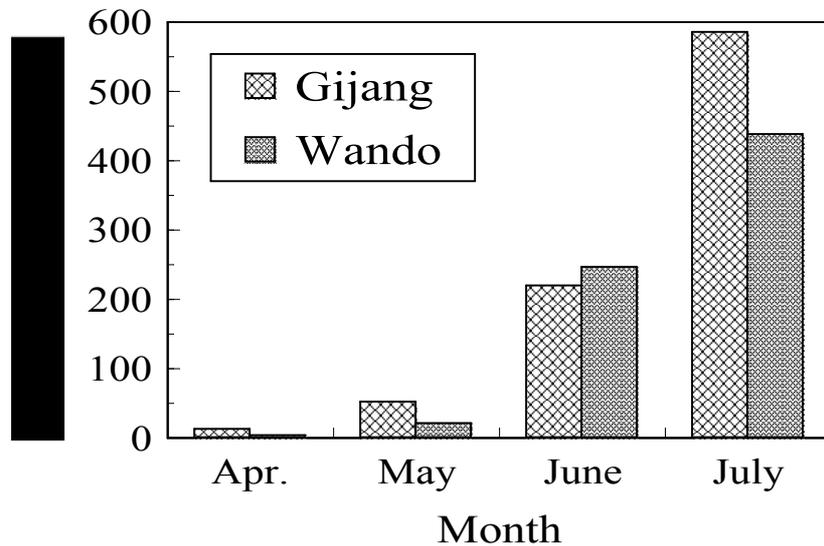


[그림 3-1-36] 시험양식 감태의 경장의 변화.

(다) 생체량

생산량을 비교하기 위해 기장과 완도 두 시험해역에서 시험 양식중인 감태가운데

가장 생장이 빠른 엽체 30개체를 대상으로 생체량을 비교하였다. 기장의 경우 30개체당 평균 생체량은 4월 12.0g에서 7월에는 584.7g으로 증가하였고, 완도에서는 4월 3.0g에서 7월 437.4g으로 증가하여 30개체당 생체량은 기장에서 큰 중량 증가를 나타내었다. 이는 고수온기인 여름철을 경과한 후 재검토해야 하겠지만, 감태가 난류성 해조라는 생리, 생태적 특성을 가진다는 점을 고려할 때 시험 양식기간 중에 나타난 기장해역의 고수온에 의해 이러한 생체량의 차이가 나타난 것이 아닌가 생각된다.



[그림 3-1-37] 시험양식 감태의 생체량 변화.

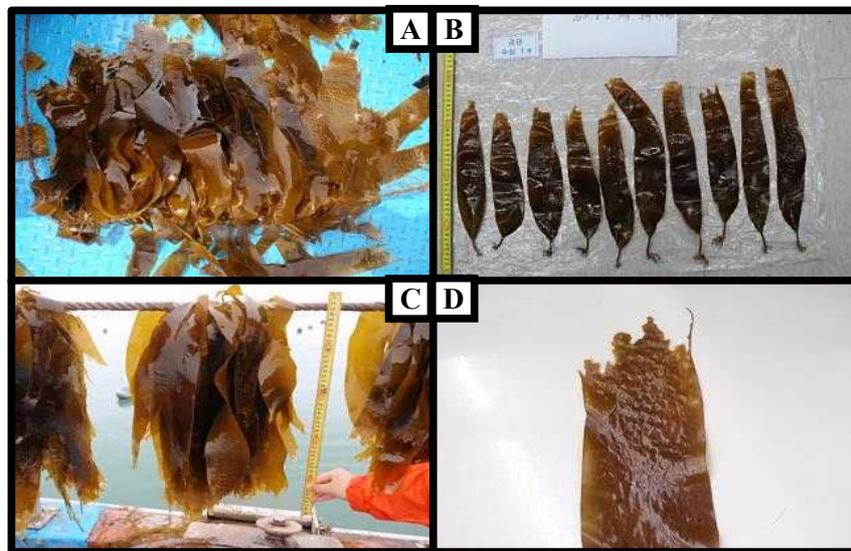
(라) 감태의 끝녹음

감태는 5년 이상 생존하는 다년생 해조의 특성을 가지는 해조이며 조하대 5m 이 심부터 군락이 발달하는 해조이다. 따라서 표층 가까이에 수하연승으로 양식하는 감태의 경우 자연상태에서 보다 빠르게 끝녹음이 진행되는 것을 관찰할 수 있다. 감태의 끝녹음은 기장과 완도에서 6월에 나타나기 시작하여 7월 현재 엽체 선단부의 일부가 유실되는 현상이 계속되고 있다([그림 3-1-38]). 이러한 감태의 끝녹음은 자연적인 현상으로 양성수 심별로 나타나는 끝녹음의 정도와 계절적 변화 등을 대량생산과 연계하여 지속적으로 조사, 검토해 볼 예정이다.

(마) 감태의 해적생물과 착생생물

기장과 완도해역에서 시험 양식 중인 감태의 엽면에 서식하는 해적생물과 착생생물로 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류와 같

은 동물군과 홍조류 붉은실속(*Polysiphonia*) 해조로서 7월초에 집중적으로 나타나기 시작한다[그림 3-1-39]. 기장에서는 다시마와 마찬가지로 톱니막이끼벌레가 엽체의 전면적으로 확산되는 현상을 보이며 선단부의 끝녹음이 일어나는 부위에서는 테히드라류가 집중적으로 착생하는 특징을 나타낸다. 반면 완도에서는 테히드라류와 붉은실속 홍조류가 끝녹음이 나타나는 엽체의 선단부에서 나타나나 기장산에 비해 착생생물이 비교적 적게 출현하는 특징을 나타낸다. 해적생물과 착생생물의 경우 다시마와 마찬가지로 생산량과 기능성물질의 획득 측면에서 비교, 검토가 이루어져야 될 것으로 생각된다.



[그림 3-1-38] 시험양식 감태의 끝녹음 현상.
A&B, 기장산 엽체; C&D, 완도산 엽체



[그림 3-1-39] 시험양식 감태의 해적생물 및 착생생물.
 A&B, 기장산 감태에 착생한 톱니막이끼벌레 (*Membranipora serrilamella*)와 테히드라 (*Sertularella levigata*)류; C&D, 완도산 감태에 착생한 테히드라(*Sertularella levigata*)류와 홍조류 붉은실속(*Polysiphonia*) 해조

라. 생산성의 검토

현재까지의 시험양식 결과를 토대로 다시마의 생산성을 검토하면 1년생 다시마의 경우 끝녹음이 집중적으로 나타나는 7월 이전에 수확하는 것이 다시마의 질적인 측면뿐만 아니라 대량생산에도 유리하다. 또한 다시마 대량생산을 위해서는 50cm 간격으로 종묘를 삼식하는 것보다, 25cm 간격으로 종묘를 삼식하는 것이 대량생산에 유리한 것으로 나타났다. 다시마 양식 어업인들에 대한 청문조사를 통해현재와 같이 슈음양식 등 상업적 방법으로 양식하여 다시마를 생산할 경우 최대 50,000kg.w.wt./ha를 생산할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 어업인들이 다시마를 생산하는 현행 양식방법을 배제하고, 본 과제에서 도출된 최대생산량을 현행 연승 수하식 해조류 양식의 법적 시설량(20대/ha, 1대는 연승 100m로 1ha는 연승 2,000m에 해당)에 대입하여 시험생산량을 산출 비교해 보면

기장의 경우, 연승 1대의 길이 100m, 종묘삼식시의 클러스터 간격을 25cm, 최대생산량 16.3kg/클러스터를 적용하면,

$(100\text{m}/25\text{cm}) \times 20/\text{ha} \times 16.3\text{kg}/\text{cluster} = 130,400\text{kg.w.wt./ha}$ (기장)을 생산할 수 있고

완도의 경우 같은 규격에 종묘삼식시의 클러스터 간격 50cm, 최대생산량 24.3kg/클러스터를 적용하면,

$(100\text{m}/50\text{cm}) \times 20/\text{ha} \times 24.3\text{kg}/\text{cluster} = 97,200\text{kg.w.wt./ha}$ (완도)을 생산할 수 있다.

따라서 제품의 질을 배제하고 해조류 바이오매스 대량생산만을 목적으로 한다면 종묘의 삼식간격을 25cm로 조정하고, 숙아주지 않는 것이 대량생산에 유리하다.

그럼에도 불구하고 이 방법에는 몇 가지 고려할 점이 있다. 그것은 대량생산을 위한 밀식 시설에 따른 시설자재비 및 어장관리비 증가의 부담이 있다는 점과 수확기 이전에 태풍이나 너울성 파도가 내습할 경우 어장 시설이 파괴될 수 있다는 문제점이 있다. 이러한 부분은 다시마 어장의 연승을 깊은 수심으로 내려준다거나 하는 등의 대비책을 강구해야 될 것으로 판단된다.

감태의 경우 엽상체가 아직 최대생장에 이르지 못했기에 생산량 평가에서는 제외하였으나 부착기질에 착생하는 부착기의 착생력이나 기질을 점유하는 특성 등이 다시마와 다르기 때문에 종묘의 삼식간격을 고려한 대량생산 시험을 추진해 볼 필요가 있다.

마. 대상종의 탐색 및 적지

이제까지의 결과에서도 알 수 있듯이 대량생산 대상종으로서 양성기간, 성장속도, 생체량 등을 고려할 때는 다시마가 월등히 우수한 종임은 입증되었다. 그러나 기능성 물질의 획득 측면에서는 감태가 훨씬 우수한 것으로 알려져 있어, 바이오매스 대량생산만으로 감태를 평가할 것이 아니라 기능성에 초점을 두고 평가해야 할 것으로 생각된다. 곰피의 경우 부착기질의 특성상 초기에 종묘가 탈락하는 경향이 있고, 본 연구에서도 입식된 종묘가 초기에 탈락, 유실되어 소기의 성과를 거두지 못했다. 이 부분은 추가로 구명할 예정에 있으며 팽생이모자반은 생리특성상 종묘생산이 늦게 이루어질 수밖에 없었기에 현재 계속수행중인 시험양식 결과를 모니터링하면서 추계와 동계의 성장시험 결과를 통해 추가로 대상종으로서의 특성과 생산량을 비교하여 분석할 예정에 있다.

대량생산 적지로서 기장과 완도를 비교하였을 때, 완도해역은 다시마의 질이 좋고 끝녹음도 기장해역에 비해 늦게 시작되어 고수온기에 이르러서도 해적생물이나 착생생물이 적어 전처리과정에서도 유리한 반면, 기장해역에서는 6월부터 끝녹음이 급격히 진행되고 태형동물인 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류가 엽체의 전 표면을 피복할 정도로 밀생하여 식용으로는 불가능한 상태로 되는 것은 물론, 시료의 전처리과정에서 이들 해적생물이나 착생생물을 제거해 주지 않으면 분석 데이터에 오류를 가져올 수 있는 문제점이 나타났다. 따라서 다시마 양식만을 놓고 보더라도 기장 측이 제품의 질 측면에서 불리한 환경에 놓였다고 볼 수 있다. 그러나 기장의 경우 다시마가 최대 성장기에 달한 6월 초순 이후 수온이 급격히 상승하기 시작하여 끝녹음이 시작되고, 해적생물의 유생이 출현하여 엽면에 착생하기 때문에 다시마가 최대 성장기에 이른 6월 초순경에 집중적으로 수확을 한다면 이러한 문제는 해결할 수 있

을 것으로 판단된다.

4. 요약 및 제언

이제까지의 연구결과를 요약하면 완도산 다시마가 기장산에 비해 성장이 다소 빠르게 나타났는데 이러한 이유는 기장산의 경우 25cm 간격으로 연승에 종묘를 삽입하여 양식하는데 비해 완도산은 그 배인 50cm 간격으로 양성하고 있는 차이에서 비롯된 것으로 보인다.

단위 연승당 총 생체량은 기장산이 많은데 이는 종사를 연승에 끼워서 양식하는 간격의 차이에서 비롯되는 것으로 보인다. 양식 다시마에 대한 제품의 질을 배제한다면 현행 어업인들이 상업적으로 양식하고 있는 종묘삽식 방법과 쉼어주는 방법(80-90%쉼음)은 양식다시마의 질을 높일 수는 있으나 원료의 대량으로 확보하는 데에는 부정적 요소로 작용하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 얻어진 결과를 적용할 경우 현행 어업인들의 양식방법보다 최대 2-2.5배까지 생산량을 늘릴 수 있다. 그러나 어장관리비 증가의 문제와 어장 시설의 유실 및 파손 등의 문제점이 나타날 수 있다. 해적생물이나 착생생물의 부착밀도, 시료의 전처리 문제 등을 고려할 때 대량생산 적지는 기장에 비해 완도가 유리한 것으로 나타났으나, 기장의 경우 고수온기에 들어서 끝녹음이 시작되거나 해적생물이 착생하기 이전에 수확을 함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구와 관련한 제언을 한다면 이형세대 교번을 하는 다시마목 해조류를 제외한 해조류의 경우 그 생리, 생태적 특성상 번식적기를 놓치면 모조의 확보가 어려워 종묘생산에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 연구가 제때에 이루어질 수 있도록 뒷받침 해주어야 할 필요가 있다. 해조류의 경우 어패류와 달리, 연구비 지급이 안되는 줄 알고 손을 놓고 있다가 양질의 종묘를 확보할 수 있는 적기를 놓치게 되면 종묘확보가 어려워 연구에 어려움을 겪게 되는 것이 해조류 연구의 특성이라는 점을 이해해 주길 바라는 것이다. 앞으로 지속적인 연구비 지원이 이루어진다면 연구교습어장을 활용한 다양한 연구가 가능할 것으로 기대된다.

5. 향후계획

이제까지 완도와 기장의 양식장을 입차하여 연구를 수행해 왔으나 남은 기간 연

구, 교습면허 어장을 활용한 다양한 시험연구가 가능할 것으로 생각된다. 그간 연구, 교습어장을 확보하기 위해 관련기관, 특히 인근 어촌계 어민과의 협의 및 해상국립공원 관리공단과의 협의 등 연구, 교습어장 확보에 다소 어려움이 있었으나 지금은 완도와 통영 두 곳 모두 양식면허를 취득하였기에 앞으로 시간적 여유를 가지고 연구를 수행해 나갈 계획이다.

제 2 절 바다 영양염 및 해조류 분석, DB구축

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

현재 해조류 양식장에서 생산되는 해조류는 식품의 용도로 사용하기에도 부족한 실정으로 바이오매스 에너지자원으로 사용될 해조류는 제한적이다. 따라서 현재 해조류보다 낮은 단가에 대량의 해조류를 생산해야 에너지자원으로서 해조류를 사용할 수 있다. 현재까지 양식하지 않았던 외해 지역에서 해조류를 양식하여 이들이 바이오매스용으로 사용하기 적합한지를 분석하고 DB화하여 해조류의 대량생산에 기초자료로 사용하고 자 한다.

나. 연구 내용

- 근해와 외해의 영양염 분석: 총 질소, 총인 분석, NO_3^- , PO_4^{3-}
- 근해와 외해에서 양식 해조류에 대한 일반 식품성분 분석: 수분, 단백질, 지질, 탄수화물, 회분
- 양식 해조류의 부위별, 양식 지역별 구성당 조성분석
- 무기질 분석

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

재료: 원근해 해수, 원근해에서 양식한 해조류

실험장치: 회화로, Kjeldahl 분해장치, Flow injector, Soxhlet 장치

Shimadzu HPLC 구성: Shimadzu LC-20AD pump, CTO-20AC oven, Sil-20AC auto-sampler, RF-10Axl fluorescence detector, CBM-20A system controller, LC Workstation software, SPD-M20A photodiode array detector, or SPD20A UV/vis detector

나. 실험 절차

(1) 일반성분

일반성분은 AOAC 방법에 따라 분석하였다. 즉 수분은 105°C 건조법, 조회분은

550°C 직접회화법, 조단백은 micro-Kjeldahl법, 조지방은 soxhlet 추출법, 조섬유는 Henneberg-Stohmann계량법에 의하여 분석하였고 탄수화물은 100에서 조지방, 조단백, 조회분, 조섬유 등을 뺀 값으로 하였다.

(2) 구성당 분석

환원당 분석은 HPLC에 의하여 분석하였다. HPLC의 구성은 Shimadzu LC-20AD pump, CTO-20AC oven, Sil-20AC auto-sampler, RF-10Axl fluorescence detector, CBM-20A system controller, LC Workstation software(Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)를 이용한다. 환원당 분리는 ion exchange Shim-pack ISA-07 (4.0× 250 mm) 분석 column과 Shim-pack ISA guard column (4.0× 50.0mm)을 사용하였다. 이동상은 A용액으로 potassium borate (pH 8)과 B용액으로 potassium borate (pH 9)를 사용하였는데 B용매를 0분에서 0%으로 시작하여 30분에 50%으로 증가시키고 50분에 100%으로 증가하여 15분간 100%으로 유지하다가 65분 이후에 0%으로 감소하여 총 90분의 분석 시간으로 하였다. injection volume는 10 μ L 주입하며 post-column 방법을 이용하여 환원당을 유도체화한 후 형광 검출기(Ex=320, Em=430)를 사용하여 분석하였다. 반응시약으로 1% arginine과 3% boric acid를 함유하는 용액을 사용하였다. 환원당 표준물질을 탈 이온화 증류수에 용해시켜 0.5~20 μ L/mL 범위의 표준용액을 조제하여 HPLC 분석을 실시하고 peak area로부터 검량선을 작성하여 정량하였다.

(3) 지방산

넙치의 지질함량은 Bligh와 Dyer(1959)의 방법에 의하여 지질을 추출하여 중량법으로 측정하였다. Trimethylsulfonium iodide와 silver oxide을 무수 methanol용액에서 반응하여 0.3M trimethylsulfonium hydroxide을 만들고 이를 methylation 시약으로 사용한다. 이시약 250 μ l와 시료 1 mg(시료를 pyridine에 희석하여 1 mg/50 μ l pyridine로 만든다)을 혼합하고 질소 gas로 용기를 충전하여 마개를 닫는다. 50°C oven에서 30분간 정치하고 1 μ l를 GC에 주입하여 지방산을 분석하였다. 지방산 분석은 GC(Shimadzu GC-2010, Shimadzu Co, Ltd. Kyoto, Japan)를 사용하였으며 column은 SP-2560(100m×0.25mm ID, 0.2 μ m film, Supelco Inc. Bellefonte, USA)와 oven의 온도는 150°C 에서 5분간 머물고 3°C/min로 상승시켜 250°C 에서 5분간 유지하였다. 운반기체는 helium을 18cm/sec로 하였으며 split rate는 1:50으로 하였다. FID(flame ionization detector)로 지방산을 검출하였다. Injection port와 는 FID의 온도는 각각 270°C 와 250°C 로 하였다.

(4) C, H, N, 원소분석

원소분석기(EA-1110, CE Inc.)를 이용하여 지질의 탄소, 수소, 산소, 질소, 황의 원소 비율을 측정하여 원소의 조성변화를 관찰한다. Tin capsule에 약 10-0.2 mg 시료를 넣고 1600°C로 가열된 column으로 시료를 산화 환원시킨 gas를 GC(60°C)로 통과하여 TCD(thermal conductivity detector)을 사용하여 탄소, 수소, 산소, 질소, 황의 비율을 구한다. 해조류의 올리고당과 다당류가 포함하는 황산기, 단백질의 함량을 측정하기 위한 방법으로 원소분석기를 사용한다.

3. 연구수행 결과

다시마의 대량양식을 가능성을 실험하기 위하여 수심 0.5m(기존 양식법, 대조구), 1m, 2m, 3m에서 2월부터 7월까지 양식하고 이들의 구성당 성분을 분석하였다. 구성당 성분은 [표 3-2-1] ~ [표 3-2-8]에 나타내었으며 총 구성당은 [표 3-2-9]에 나타내었다. 가장 많이 함유하고 있는 당은 arabinose이며 그 다음으로 galactose, mannose, glucose등으로 나타났다. 부위별로 구성당 함량은 많은 차이가 없었으며 기장과 완도 간의 지역적 차도 나타나지 않았다. 또한 계절적으로도 다시마의 함량은 차이가 없었다. 아직 반복실험이 진행 중에 있으며 최종적으로 3회 반복 후 통계 처리 후 결과가 나타날 것으로 판단된다.

[표 3-2-1] 대조구(수심 0.5m) 양식 다시마를 3월에 채취한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.10
Ribose	0.05	0.06	0.04	0.07	0.05	0.02
Mannose	0.30	0.27	0.25	0.32	0.31	0.37
Arabinose	2.28	2.19	1.78	1.42	1.33	1.73
Galactose	1.14	1.04	0.70	1.01	0.81	0.65
Xylose	0.13	0.15	0.08	0.16	0.14	0.12
Glucose	0.34	0.30	0.31	0.27	0.29	0.43
Total	4.25	4.00	3.18	3.25	2.94	3.33

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-2] 수심 1m에서 양식한 다시마를 3월에 채취하여 분석한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06
Ribose	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
Mannose	0.30	0.28	0.23	0.35	0.37	0.46
Arabinose	1.95	1.85	1.77	1.55	1.56	2.03
Galactose	1.00	0.87	0.77	1.04	0.87	0.95
Xylose	0.15	0.13	0.14	0.18	0.16	0.24
Glucose	0.26	0.27	0.28	0.35	0.32	0.54
Total	3.72	3.45	3.24	3.52	3.34	4.29

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-3] 수심 2m에서 양식한 다시마를 3월에 채취하여 분석한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.03	0.04	0.07	0.05	0.05	0.07
Ribose	0.05	0.05	0.03	0.05	0.06	0.05
Mannose	0.34	0.27	0.28	0.36	0.35	0.27
Arabinose	2.30	2.05	2.22	1.62	1.58	1.81
Galactose	1.03	0.88	0.76	1.01	0.74	0.80
Xylose	0.12	0.16	0.14	0.14	0.16	0.15
Glucose	0.30	0.41	0.47	0.29	0.32	0.36
Total	4.15	3.83	3.90	3.47	3.22	3.45

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-4] 수심 3m에서 양식한 다시마를 3월에 채취하여 분석한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.08
Ribose	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
Mannose	0.31	0.23	0.25	0.36	0.42	0.37
Arabinose	2.21	1.93	1.89	1.45	1.76	2.23
Galactose	0.93	0.68	0.72	0.99	1.05	0.99
Xylose	0.10	0.07	0.09	0.13	0.22	0.23
Glucose	0.27	0.23	0.34	0.29	0.40	0.46
Total	3.88	3.18	3.33	3.27	3.91	4.34

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-5] 대조구(수심 0.5m) 양식 다시마를 4월에 채취한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.04
Ribose	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
Mannose	0.36	0.28	0.33	0.39	0.37	0.34
Arabinose	2.57	2.28	2.40	1.44	1.44	1.50
Galactose	1.15	0.92	0.88	1.00	0.90	0.81
Xylose	0.09	0.08	0.07	0.12	0.15	0.17
Glucose	0.35	0.31	0.36	0.39	0.35	0.36
Total	4.57	3.92	4.10	3.39	3.25	3.23

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-6] 수심 1m에서 양식한 다시마를 4월에 채취하여 분석한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.04	0.05	0.04	0.11	0.06	0.09
Ribose	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Mannose	0.27	0.29	0.35	0.46	0.44	0.38
Arabinose	1.94	1.94	1.71	2.00	2.12	1.94
Galactose	0.73	0.69	0.70	1.17	1.05	0.74
Xylose	0.07	0.08	0.10	0.18	0.17	0.16
Glucose	0.26	0.25	0.37	0.55	0.36	0.42
Total	3.31	3.29	3.27	4.40	4.19	3.67

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-7] 수심 2m에서 양식한 다시마를 4월에 채취하여 분석한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.03	0.04	0.07	0.03	0.04	0.07
Ribose	0.05	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05
Mannose	0.25	0.28	0.26	0.44	0.45	0.46
Arabinose	2.00	1.93	2.07	1.94	2.08	2.38
Galactose	0.93	0.68	0.80	1.16	1.10	1.23
Xylose	0.09	0.13	0.09	0.10	0.22	0.29
Glucose	0.28	0.28	0.35	0.28	0.32	0.46
Total	3.59	3.34	3.62	3.96	4.21	4.88

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-8] 수심 3m에서 양식한 다시마를 4월에 채취하여 분석한 다시마의 부위별 구성당 (단위: g/100g)

구성당	기장			완도		
	상	중	하	상	중	하
Rhamnose	0.02	0.04	0.06	0.05	0.05	0.07
Ribose	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Mannose	0.33	0.32	0.31	0.42	0.40	0.39
Arabinose	2.61	2.46	2.34	2.25	2.40	2.50
Galactose	1.14	1.02	0.88	1.42	1.17	1.13
Xylose	0.11	0.10	0.13	0.24	0.26	0.31
Glucose	0.32	0.36	0.36	0.33	0.32	0.40
Total	4.56	4.32	4.07	4.72	4.60	4.79

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-9] 양식 다시마의 총 구성당 함량 비교표 (단위: g/100g)

채취 시기	구성당	기장			완도		
		상	중	하	상	중	하
3월	0.5m	4.25	4.00	3.18	3.25	2.94	3.33
	1m	3.72	3.45	3.24	3.52	3.34	4.29
	2m	4.15	3.83	3.90	3.47	3.22	3.45
	3m	3.88	3.18	3.33	3.27	3.91	4.34
4월	0.5m	4.57	3.92	4.10	3.39	3.25	3.23
	1m	3.31	3.29	3.27	4.40	4.19	3.67
	2m	3.59	3.34	3.62	3.96	4.21	4.88
	3m	4.56	4.32	4.07	4.72	4.60	4.79

* 다시마 상중하: 다시마를 1/3하여 뿌리부분이 하, 중간 부분 상, 위의 끝 부분을 상으로 분류.

[표 3-2-10] 3월에 채취한 수심에 따른 양식 다시마의 부위별 원소함량(%) 비교

수심	원소	기장			완도		
		상	중	하	상	중	하
0.5m	N	3.14	2.71	1.99	3.21	2.68	1.58
	C	38.0	37.67	33.10	37.67	36.88	35.63
	H	6.08	6.05	5.34	5.79	5.69	5.51
1m	N	2.97	2.73	2.15	3.06	2.57	2.31
	C	37.21	37.02	34.23	38.93	38.37	37.86
	H	5.84	5.92	5.55	6.05	6.00	6.16
2m	N	2.97	2.58	1.37	2.87	2.59	2.39
	C	36.88	36.67	34.37	38.83	38.67	37.45
	H	5.96	5.93	5.76	6.04	6.20	5.87
3m	N	3.01	2.57	2.34	3.19	2.67	2.19
	C	39.36	38.95	37.42	40.33	39.56	37.05
	H	6.22	6.13	5.97	6.28	6.41	5.75

[표 3-2-11] 4월에 채취한 수심에 따른 양식 다시마의 부위별 원소함량(%) 비교

수심	원소	기장			완도		
		상	중	하	상	중	하
0.5m	N	2.72	2.53	1.90	2.77	2.39	2.16
	C	38.95	39.05	33.10	39.28	38.95	37.24
	H	6.22	34.97	5.34	6.39	6.37	6.15
1m	N	2.75	2.78	1.75	2.47	2.03	1.72
	C	38.27	51.99	25.54	38.44	37.20	35.05
	H	6.28	8.37	4.04	6.16	5.85	5.82
2m	N	2.87	2.39	1.80	2.63	2.39	2.11
	C	37.68	36.99	34.38	39.57	38.79	37.90
	H	5.39	5.52	5.23	6.49	6.12	6.22
3m	N	2.71	2.26	2.03	2.72	2.55	2.17
	C	37.96	37.67	36.68	38.87	38.40	36.26
	H	5.73	5.68	5.63	6.09	6.03	5.84

수심에 따라 양식한 다시마의 원소분석결과는 [표 3-2-10]과 [표3-2-11]에 나타내었다. 같은 개체의 다시마에서 상, 중, 하에 따른 질소, 탄소, 함량은 차이가 있게 나타났으며 또한수심에 의한 질소와 탄소의 함량의 변화는 나타나지 않았으며 기장과 완도에 의한 지역적 환경요인도 탄소와 질소의 함량 변화에 영향을 주지 않은 것으로 판명된다.. 수분, 지방, 회분은 5회 반복 실험을 하였으나 아직 통계처리에 의한 자료가 산출되지 않아 유의성 검정은 어려운 상태이며 2월과 7월의 시료가 분석 중에 있어 있어 전체적인 자료는 1개월 이후에 가능할 것으로 판명된다.

다시마의 일반성분을 분석한 자료를 [표 3-2-12]와 [표 3-2-13]에 나타내었다. [표 3-2-12]는 3월에 채취한 다시마 시료의 일반성분을 분석한 자료이다.

[표 3-2-12] 3월에 채취한 수심에 따른 양식 다시마의 부위별 일반성분 함량(%) 비교

수심	성분	기장			완도		
		상	중	하	상	중	하
0.5m	수분	10.13	10.23	10.24	10.24	10.18	10.16
	단백질	10.22	8.62	6.79	10.72	8.71	5.18
	지방	0.72	0.81	0.78	2.49	3.28	2.21
	회분	16.05	16.92	20.68	15.20	18.16	18.69
	탄수화물	62.88	63.42	61.52	61.36	59.68	63.77
1m	수분	10.18	10.16	10.12	10.12	10.21	10.16
	단백질	9.77	8.89	7.10	9.65	8.07	7.28
	지방	0.69	0.78	0.84	3.56	2.34	1.28
	회분	16.71	18.65	22.16	14.99	16.11	17.19
	탄수화물	62.64	61.52	59.79	61.68	63.27	64.10
2m	수분	10.21	10.16	10.24	10.24	10.15	10.19
	단백질	9.79	8.40	4.54	8.92	8.03	7.52
	지방	0.65	0.71	0.62	2.43	1.72	1.79
	회분	15.61	17.56	19.33	15.63	17.26	19.66
	탄수화물	63.74	63.17	65.27	62.78	62.85	60.84
3m	수분	10.15	10.19	10.13	10.13	10.14	10.12
	단백질	9.18	7.85	7.32	9.84	8.18	6.91
	지방	0.77	0.84	0.57	1.72	1.87	1.95
	회분	16.28	17.52	19.83	15.02	16.25	18.62
	탄수화물	63.63	63.60	62.14	63.30	63.56	62.40

수분은 인위적으로 조절할 수 있는 요소로 10% 내외로 건조하여 다른 일반성분을 비교하는데 큰 영향을 미치지 않도록 하였다. 단백질과 지방은 대부분 같은 개체 내에서 상, 중, 하로 구분될 때 함량의 차이가 나타났으며 특히 뿌리부분이 단백질과 지방 함량이 낮은 경향을 나타내었다. 그러나 회분의 경우 뿌리부분인 하층이 상과 중보다 많은 함량을 나타내고 있었다. 단백질과 회분의 양은 기장과 완도 다시마에서 상호간에 차이는 나타나지 않았으나 지방은 완도산이 기장 산보다 함유하고 있었다.

현재까지의 분석자료는 수심에 따른 영양성분의 차는 보이지 않아 고밀도 양식에 따른 다시마의 식품학적 가치가 낮게 평가될 수는 없을 것으로 평가된다.

[표 3-2-13] 3월에 채취한 수심에 따른 양식 다시마의 부위별 일반성분(%) 함량 비교

수심	성분	기장			완도		
		상	중	하	상	중	하
0.5m	수분	10.13	10.23	10.24	10.24	10.18	10.16
	단백질	10.22	8.62	6.79	10.72	8.71	5.18
	지방	0.72	0.81	0.78	2.49	3.28	2.21
	회분	16.05	16.92	20.68	15.20	18.16	18.69
	탄수화물	62.88	63.42	61.52	61.36	59.68	63.77
1m	수분	10.18	10.16	10.12	10.12	10.21	10.16
	단백질	9.77	8.89	7.10	9.65	8.07	7.28
	지방	0.69	0.78	0.84	3.56	2.34	1.28
	회분	16.71	18.65	22.16	14.99	16.11	17.19
	탄수화물	62.64	61.52	59.79	61.68	63.27	64.10
2m	수분	10.21	10.16	10.24	10.24	10.15	10.19
	단백질	9.79	8.40	4.54	8.92	8.03	7.52
	지방	0.65	0.71	0.62	2.43	1.72	1.79
	회분	15.61	17.56	19.33	15.63	17.26	19.66
	탄수화물	63.74	63.17	65.27	62.78	62.85	60.84
3m	수분	10.15	10.19	10.13	10.13	10.14	10.12
	단백질	9.18	7.85	7.32	9.84	8.18	6.91
	지방	0.77	0.84	0.57	1.72	1.87	1.95
	회분	16.28	17.52	19.83	15.02	16.25	18.62
	탄수화물	63.63	63.60	62.14	63.30	63.56	62.40

현재 해수의 영양염류, 다시마의 미네랄 성분(Li 및 U 포함), 지방산, 구성 아미노산등이 분석 중에 있어 이들의 자료에 의한 종합적 평가가 고밀도 양식에 따른 다시마의 영양학적 차이점을 판명할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 요약 및 제언

아직 다시마 양식이 진행 중에 있고 많은 자료들이 분석 중에 있어 고밀도에 의한 다시마의 영양학적 차이를 종합적으로 판정할 수 없으나 현재까지 분석한 자료에 의하면 양식 수심에 따른 차이는 보이지 않고 있으나 개체내 부위별 차이가 있으며 기장과 완도간에 다시마의 지방함량이 차이를 나타내고 있다.

5. 향후계획

현재 해수의 영양염류, 다시마의 미네랄 성분(Li 및 U 포함), 지방산, 구성 아미노산등이 분석 중에 있고 팽생이모자반, 모자반, 곰피 등의에 대한 성분도 다시마와 동일한 수준에서 분석할 것으로 계획하고 있다.

제 4 장

해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발

- 제 1 절 외해 대량양식시설 설계 및 제어기술
- 제 2 절 채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계
- 제 3 절 원료수급 및 전처리 기술
- 제 4 절 양식시설 환경모니터링 기술

제 4 장 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발

제 1 절 외해 대량양식시설 설계 및 제어기술

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

전 세계적으로 화석연료 사용에 따른 지구 온난화로 인해 각 대륙별로 홍수, 가뭄 및 태풍 등의 기후변화로 인해 막대한 인명 및 재산 피해를 입고 있다. 이러한 피해를 방지하기 위한 화석연료 대체에너지 개발이 시급하고, 세계 경제에서도 교토의정서를 시작으로 탄소배출권을 이용한 온실가스 감축노력을 지속적으로 펼치고 있다. 그러므로 우리나라의 지리적 특성을 감안하여 환경친화적이고 지속적으로 이용이 가능한 해조류 바이오매스 개발이 필요하다.

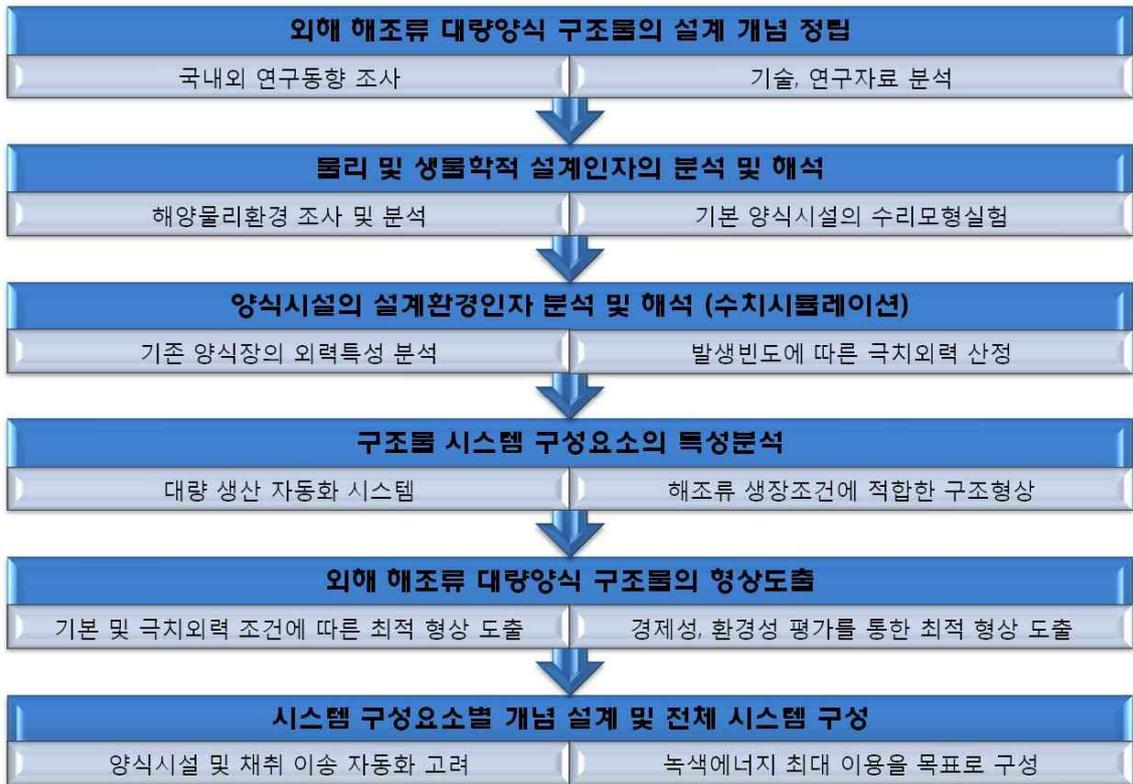
그러나 식용작물의 바이오연료화는 식량가격 상승의 원인이 되고 있어 식량자원과 경합하지 않는 해조류가 바이오연료화에 보다 적합하다. 특히 우리나라는 3면의 연안과 배타적 경제수역을 보유하고 있고 연간 90만톤의 해조류 생산력을 가지고 있으며 해양개발 기술력이 세계수준에 있다. 그럼에도 불구하고 기존의 양식 시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하고 새로운 양식적지를 개발하여야 하며, 보다 과학적인 적지선정이 이루어져야 한다.

따라서 연안 해역의 소규모 식용 해조류 양식으로 인한 공간부족을 외해 넓은 공간으로 확대하여 대량생산을 가능하도록 함과 동시에 경험적 양식시설 기술에서 탈피하여 공학적으로 타당하고 경제적인 대량 양식시설 설치기술 개발이 시급하다. 이에 본 연구의 목적은 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산을 최종 목표로 한다. 이를 위하여 전통적인 연안 해조류 양식에 첨단융합기술을 적용하여 경제성이 확보된 세계 최초의 친환경 대규모 외해 양식시스템을 개발하고자 한다.

나. 연구 내용

해조류 대량양식 시설의 개념설계를 위하여 국내·외 연구 및 기술자료 수집 및 분석, 대량양식구조물 설계인자 분석 및 해석, 최적의 시스템 구성을 위한 구성요소 분석, 각 시스템 구성요소를 포함하는 구조물 형상 도출 및 전체 시스템에 대한 개념설계

로 연구를 수행하였다([그림 4-1-1]).



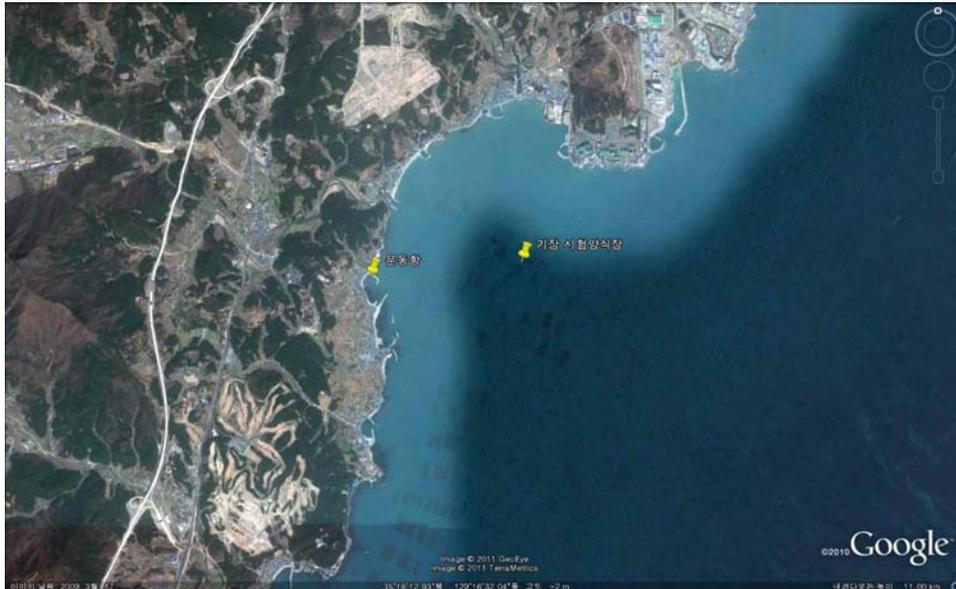
[그림 4-1-1] 본 연구의 연구 흐름도 및 연구내용.

2. 연구 방법

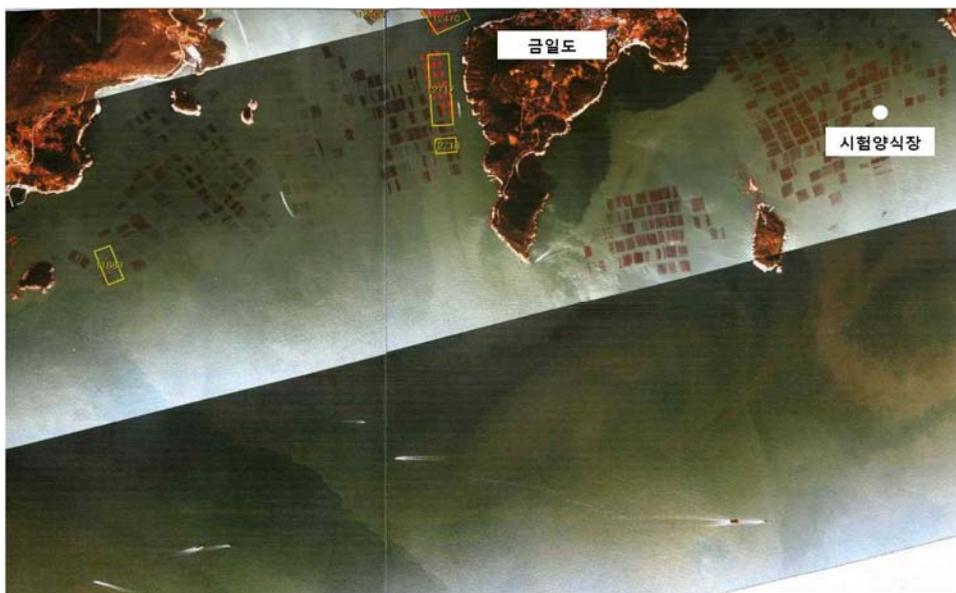
외해 해조류 대량양식에 대한 개념설계를 위해서 상술한 바와 같이 총 6단계의 연구과정을 설정하였으며, 그 중 외해 해조류 대량양식 구조물의 설계 개념 정립에 필요한 자료 수집 및 분석은 제 2 장 제 2절 의 국내외 기술개발 현황에 수록되어 있으며, 나머지 연구단계별 연구 방법은 본 장에서 서술하였다. 특히, 해외 개발사례 중 국내 여건과 유사한 경우에 대하여 비교 분석하였으며 현재 해조류 양식이 활발히 이루어지고 있는 임의 두 해역(완도 및 기장 해역)을 대상으로 해양물리·환경 조사와 파랑 및 해수 유동 수치시뮬레이션을 이용하여 기존 획득된 연구자료들과 비교 및 분석함과 아울러 외해 해조류 대량양식 개념설계를 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

가. 해조류 시험양식장의 해양환경 설계인자의 조사·분석

양식시설물을 포함하는 해양구조물을 설계 및 시공하기 위해서는 기본적으로 [1]에 의거 해양외력들 중에 대상해역에 대한 파랑, 흐름에 대한 분석이 이루어져야 한다. 따라서 본 과업에서도 기장군과 완도군의 1차 시험양식장에 대한 파랑 및 흐름에 대한 조사를 실시하였다. 이러한 현장관측 자료는 해역의 고유한 해양물리특성을 규명할 때 검증 및 분석 자료로서 반드시 필요하다.



(a) 부산 기장군 문동항



(b) 전라남도 완도군 금일도

[그림 4-1-2] 기장 및 완도 1차 시험양식장 위성사진.

(1) 해양물리환경 현장조사

현재 연안에서 이루어지는 해조류 양식장 주변의 해양물리 특성을 조사하기 위하여 기장과 완도의 1차 시험양식장에 대한 파랑 및 유동관측을 실시하였다. 조사정점은 [그림 4-1-2]와 같이 도시하였으며, 기장 시험양식장의 위치는 Google earth 프로그램 상에서 나타내었고, 완도 시험양식장은 완도군청에서 제공한 최근의 어장도에 표시하였다. 각각의 시험양식장의 위·경도 좌표는 [표 4-1-1]에 나타내었다. 조사기간은 기장의 경우 2011년 2월 18일 14:00부터 2월 21일 15:00까지이며, 완도의 경우 2011년 3월 13일부터 3월 31일까지이다. 두 지점 모두 압력식 파고계(Compact-WH)를 해저에 착저시키고 평균 해면에서 5m 수심에 유속계(Compact -EM)를 계류하여 한 정점에서의 파랑, 유동 자료를 획득하였다. [그림 4-1-3]은 기장 시험양식장에서 파고계와 유속계를 설치하는 사진이며 완도 시험양식장에서도 동일한 방법으로 설치하였다.



(a) 계측기 설치 준비



(b) 파고계 해저에 착저



(c) 유속계 설치



(d) 부이표식

[그림 4-1-3] 기장 시험양식장에서 파고·유속계 설치 순서.

[표 4-1-1] 1차 시험양식장 위·경도 좌표 및 수심

	위도	경도	수심 (m)
기장	35° 18' 09.77" N	129° 17' 10.92" E	20
완도	34° 18' 50.77" N	127° 04' 25.95" E	16

(가) 해양파랑

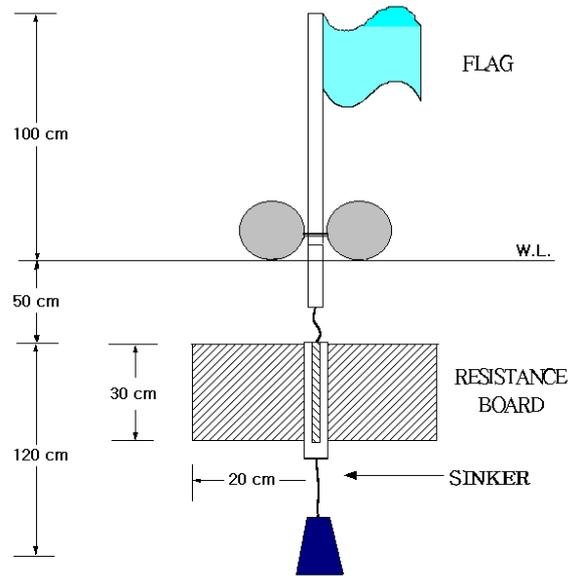
국토해양부에서는 파랑관측 자료를 해석하기 위해서 1회의 기록시간을 2시간마다 20분씩 하는 것이 표준이라고 밝히고 있으나, 본 과업에서는 보다 정밀한 자료 획득을 위하여 기장의 경우 연속관측, 완도의 경우 1시간마다 10분씩 자료를 획득하도록 설정하였다. 연속관측과 burst mode 관측에서 sampling rate는 4Hz로 하여 burst mode 관측시 1시간마다 총 2,400개의 수심자료를 획득하였다. 획득된 파랑자료는 FFT해석을 통하여 대표파법과 스펙트럼법으로 계산하여 1시간 단위로 유의파고($H_{1/3}$, H_s)와 최대파고(H_{max}) 그리고 유의주기($T_{1/3}$)를 계산하였다. 또한, [2]에서 수행된 2007년 11월부터 2008년 3월 29일까지의 기장 동암항 연속 파랑관측자료를 본 과업에서 수행한 기장 문동항 연속 파랑관측 결과와 비교·검토하였다.

(나) 해양조류

춘계, 추계의 2회에 걸친 정점연속 유동관측(25시간) 대신에 춘계의 대조기, 소조기를 포함한 한 조석주기(15일) 관측을 통하여 연속적인 조류의 변화특성을 관측하고자 하였으며, 해조류가 성장하는 수심이 표층으로부터 시작되므로 연직층별 유속계측보다는 표층에서 15일 동안 10분마다 1개의 유속 data를 계측하는 방식을 선택하였다. 유동계측 장비는 Compact-EM으로 진북방향을 기준으로 방위 및 유속을 계측하고 플래시메모리에 저장한다. 저장된 자료는 1시간 단위로 산술평균하여 stick-diagram으로 도시하였다. 기장 시험양식장의 연속조류 관측은 시험양식장과 거의 유사한 지역에서 2004년 부경대 해양과학동공연구소에서 수행한 [3]의 자료를 이용하여 분석을 실시하였으며 사용한 정점의 위치는 [그림 4-1-2]의 기장 시험양식장 위치와 거의 동일한 지점이다.

(다) 해면 흐름장(측류판 추적실험)

측류판(Drogue) 추적 실험은 대상해역의 해면 흐름장(유동) 특성을 Lagrange적인 방법으로 파악하기 위해, [그림 4-1-4]와 같이 제작한 측류판을 이용하여 수면하 1~2 m 층의 표층 유속에 따라 Drogue가 움직이고, 일정한 시간 간격으로 깃발 하부에 설치된 GPS 안의 route 기록으로 자동 저장되도록 설계하였다. 그러나 일반적으로 기존 양식장에서는 Drogue 추적실험이 불가능하여, 최근에 세워진 완도 금일도의 시험양식장에 1회 한하여 측류판 추적실험을 수행하였으며, 대·소조기의 창·낙조시 별로 연속 추적하여 표층 수 흐름의 이동범위를 조사하였다.



[그림 4-1-4] Drogue (측류판)의 제원.

(2) 해양환경인자 조사

본 과업에서는 1차년도 과업의 특성상 해조류 대량양식 시설의 개념 설계를 위하여 기장, 완도를 포함한 넓은 수역에 대해 우선적으로 연구를 시작하였으므로, 해양환경인자에 대한 직접적인 조사보다는 국립수산과학원, 국립해양조사원, 기상청등의 관측망에서 수집되는 자료를 활용하였다. 특히, 풍향·풍속 조사는 기상청 홈페이지에서 제공하는 주변 지역의 기상관측값을, 수심측량은 국립해양조사원에서 발행한 해도로 각각 대체하였다. 이들 자료는 수치시뮬레이션의 입력값과 초기지형으로 사용되었다. 다음은 요소별 해양환경인자 조사내용을 간략하게 기술하였다.

(가) 수온·염분 조사

최강 창조류 및 낙조류시의 연직층별 수온 및 염분 관측은 국립수산과학원이 상시 운영중인 국가해양환경측정망([4])에서 제공하는 자료를 사용하여 시험양식장 주변의 정점의 연직 공간분포를 조사하였다. [그림 4-1-5]는 각각 기장과 완도에서 가장 가까운 측정 정점을 나타낸 것이다. 기장연안의 정점 3은 기장 시험양식장의 위치와 거의 동일한 지점이며, 고흥연안 정점 2는 금일도 시험양식장에서 수 km 떨어진 지점으로서, 2003년부터 2008년까지 연도별 계절별 수온, 염분 변화패턴을 분석하는데 사용되었다.



[그림 4-1-5] 국가해양환경관측망 기장, 완도연안해구 정점(국립수산과학원).

(나) 투명도 측정

투명도는 햇빛의 투광량을 나타내는 조도(irradiance)로 표현이 가능하므로, 기장 및 완도에서 해조류의 성장과 환경인자간의 상관성을 조사한 여러 문헌들을 참고하며, 이들의 특성을 해조류의 성장률과 비교하여 서술하였다.

(다) 해양의 이화학적 환경조사

해양의 이화학적 환경조사 또한 국립수산과학원에서 제공하는 자료 중 일반수질 항목인 pH, DO, SS, COD, TN, TP를 중심으로 1997년부터 2009년까지의 기장 및 완도 해역의 2월, 11월의 수질자료를 분석하였다.

나. 양식시설의 설계환경인자 분석 및 해석(수치시물레이션)

현재 해조류 양식이 활발히 이루어지고 있는 임의 두 시험양식장(완도 및 기장 해역)을 대상으로 해양파랑 및 해수유동 수치시물레이션을 이용하여 두 시험양식장의 해양외력환경을 평가하고자 하였다. 이를 통해 획득되어진 자료는 외해 해조류 대량양식 개념설계를 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

(1) 파랑변형 수치모의

(가) 실험장치 및 재료

SWAN 파랑시물레이션 프로그램을 이용하여 기장 및 완도해역의 설계파 산정하고자 하였다. 파랑변형 수치실험은 Delf Hydraulic에서 개발한 제 3세대 파랑모형인 SWAN version 40.72를 사용하였다. 본 모형은 풍파 발생 및 발달(Wind generation), 흐름과 수심에 의한 굴절(Refraction), 구조물에 의한 회절(Diffraction), 수심에 의한 쇄파(Wave breaking), 저면 마찰(Bottom friction)에 의한 에너지 감쇄, 천수변형(Shoaling), 및

파랑의 비선형 상호작용(Quadruplet, Triad wave and wave interaction)에 대한 적용이 가능하다. SWAN 모델은 spectral actional balance 방정식을 기본으로 하며 다음과 같다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$

여기서 N 은 파랑작용밀도(Action density)라고 하며, 에너지밀도를 각주파수로 나눈 E/σ 과 같다. 기본 방정식에서 첫 번째 항은 시간에 따른 에너지의 변화를 나타내며 정상모드를 사용한 본 실험에서는 생략된다. 그리고 두 번째와 세 번째 항은 2차원 공간 상에서의 파랑에너지의 전파를 의미하며, 네 번째는 수심 및 흐름의 변화에 따른 각주파수의 이동(Shifting)효과를 나타내고 있으며, 다섯 번째는 수심 및 흐름에 의한 굴절을 의미한다. 우측항의 S_{tot} 는 파랑에너지의 발생(Generation) 및 감쇄(Dissipation), 그리고 재분배(Redistribution)에 관련된 모든 물리적 과정들을 포함한 원천항(Source/sink terms)을 의미하며, 아래의 식으로 표현이 된다.

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds.w} + S_{ds.b} + S_{ds.br}$$

원천항 S_{tot} 는 풍파발생(S_{in}), 파랑에너지의 비선형이동(S_{nl3} , S_{nl4}), 백파(White-capping), 해저면 마찰 및 쇄파로 인한 에너지 감쇄($S_{ds.w}$, $S_{ds.b}$, $S_{ds.br}$)으로 구성되어 있으며, SWAN 모형에서는 각 항에 대한 다양한 경험식 및 옵션들을 소개하고 있다. 최신버전의 SWAN 모형은 위상분리 접근법 (Phase-decoupled approach) (Holthuijsen et al., 2003)을 바탕으로 파향에 따라 파랑에너지의 공간적인 재분배함으로써 파랑의 회절효과를 고려하고 있다.

본 모형으로부터 유의파고 H_s 과 평균주기 T_m 는 다음과 같이 스펙트럼 모멘트에 의해 산정하였다.

$$H_s = 4\sqrt{m_0}, \quad T_m = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}, \quad \text{where } m_n = \int_0^\infty f^n E(f)df$$

수치모형영역에 입사파랑경계와 방사경계조건(Radiation boundary condition)을 적용하였다. 입사파랑경계는 유의파고와 첨두주기에 의한 JONSWAP 주파수 스펙트럼 [5]과 미쓰야수의 방향분산도인 $\cos^m \theta$ 을 사용하여 개경계조건을 정의하였으며, 해안선을 포함한

그 외의 모든 경계에서는 파랑에너지를 흡수하거나 경계로 통과시켜 파랑이 계산영역으로 다시 입사하지 않는 방사경계조건(Radiation boundary condition)을 지정하였다. 수치계산시 주파수 0.04 Hz~1.0 Hz에서 34개, 방향은 36개로 분할하여 총 1224개 성분파로 구성된 스펙트럼을 고려하였다.

수치모형실험에서는 굴절, 회절, 천수와 더불어 천해역에서 발생하는 비선형 파랑 상호작용인 Triads, 그리고 파형경사에 의해 발생하는 백파(Whitecapping)로 인한 파랑에너지 감쇠를 계산에 고려하였다. 또한, 수심에 따른 쇄파현상은 쇄파지수 H/h 가 0.6인 조건을 사용하였으며, 저면마찰에 따른 에너지 감쇠는 JONSWAP의 상수인 $0.038\text{m}^2/\text{s}^3$ [5]을 사용하였다. 모든 계산은 정상모드(Stationary mode)로 실시하였다.

(나) 실험조건

기장 및 완도 해역은 외해로부터 입사해오는 파랑의 영향을 직접적으로 받으며, 특히 하절기의 열대성 저기압에 의한 태풍의 영향권으로 폭풍해일의 영향으로 인한 피해가 큰 해역이다. 대상해역 주변과 바다목장의 조성어장별 해양파랑 특성을 파악하고, 조성지 외력환경 타당성 평가하는 것을 목적으로 심해설계파 및 평상파 조건에 대해 파랑 변형 수치모의 실험을 수행하였다.

수치계산은 구조물 설치시 필요한 50년 재현빈도의 심해설계파 조건을 대상으로 하였으며, 그 제원은 2005년 12월 한국해양연구원의 ‘전해역 심해설계파 추정보고서 II’의 격자점들의 값을 사용하였다. 또한 평상파 조건은 거문도 및 거제도 해양관측부이에서 관측된 최근 10년(2001년 1월 ~ 2010년 12월)의 자료 분석하였다. 동계 및 하계에 대하여 수치실험을 실시하였으며, 유의파 및 바람자료를 고려하였다([표 4-1-2]).

[표 4-1-2] 설계파 및 평상파 파랑수치실험 개요

항 목		기장해역	완도해역
사 용 모 델		SWAN Version 40.72 (Delft University of Technology)	
격 자	제 원	50년 빈도 심해설계파 (해양연구원, 2005.12)	50년 빈도 심해설계파 (해양연구원, 2005.12)
	영 역	43.7 km × 37.5 km	83 km × 72.2 km
구 성	격자간격	100 m 등방격자	200 m 등방격자
	격 자 수	163,875개 (437×375)	149,815개 (491×418)
기준 해수면 (여수 기준검조소)		약최고고조위: 0.83 m 평균해면: 0.41 m	약최고고조위: 3.84 m 평균해면: 1.92 m

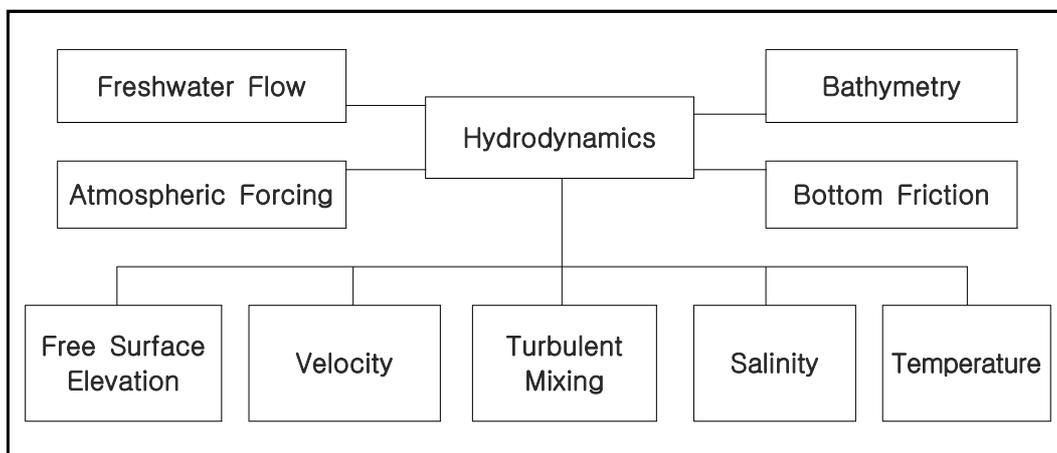
(2) 해수유동 수치모의

(가) 실험장치 및 재료

EFDC(Environmental Fluids Dynamics Code)는 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치모델로서 미국 Virginia 연안 및 하구연구를 위한 장기 연구사업의 일환으로 미국에서 개발되었으며, 대학, 연구기관, 국가기관, 사설 연구기관 등에서 널리 사용되고 있다. 본 과업에 사용된 모형은 공개용으로 미국 환경청 (US EPA)의 지원을 받아 지속적인 유지, 관리 및 향상을 하고 있으며, 미국 환경청(US EPA)의 공인 모델로 지정되어 있다.

EFDC는 크게 유동, 퇴적물이동, 수질의 세 요소로 구성되어 있으며, 유동모델 부분은 수온과 염분이 함께 고려된 3차원 천해방정식을 기본으로 한다. 기본적인 물리적 구조는 POM 모델, 미국 육군공병단(US Army Corps of Engineers)의 CH3D-WES 모델 및 TRIM 모델과 유사하나, EFDC는 습지에서 유동현상을 고려하기 위하여 잘피군락 등과 같은 식물군락에 의한 저항, 천해 연안역에서 파랑에 의한 단주기 표면중력파의 외력 등도 고려할 수 있다.

EFDC 모델은 현재까지 수많은 해역의 연구에 적용되어 왔으며, 대표적인 수력학적 연구들로는 미국 버지니아의 James and York Rivers에서 담수유입으로 인한 희석효과, 해안선변화, shellfish larvae 이동에 관한 연구, 미국 플로리다 Indian Lagoon and Sebastian River에서 염수 침입에 대한 연구, 미국 Everglades에서의 대규모 습지 모의에 관한 연구, 미국 플로리다 Okeechobee호에서 수온 모의에 관한 연구, 대만 Nanwan 만에 대한 적용, 미국 Potomac River에 대한 적용, 한국 시화호 및 경기만에 대한 적용 등이 있다. EFDC 모델 중 수력학 부분의 개략적인 흐름도는 [그림 4-1-6]에 제시되었다.



[그림 4-1-6] EFDC Hydrodynamic model의 기본 흐름도.

EFDC 모델은 연속방정식과 수평·수직방향 운동방정식, 열·염보존 방정식, 그리고 퇴적물을 포함한 물질보존방정식들로 구성되어 있다. 열·염보존 방정식은 밀도차에 의한 경압력에 의하여 운동방정식과 연계되어 있다.

이 모델은 수직방향으로 σ 좌표계를 사용하고, 수평방향으로는 직선 또는 곡선 직교좌표계를 사용한다. Mellor and Yamada(1982)의 level 2.5 turbulence closure scheme을 사용하며, mass conservation scheme을 사용한 조건대 처리가 가능하다. 수평 난류 확산 계수의 산정에는 Smagorinsky type diffusivity를 사용한다. 유체정역학적 가정과 Boussinesq 근사를 적용하면 기본방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{연속방정식 : } \frac{\partial m\zeta}{\partial t} + \frac{\partial m_y Hu}{\partial x} + \frac{\partial m_x Hv}{\partial y} + \frac{\partial mw}{\partial z} = 0$$

운동방정식 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial mHu}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y Huu) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x Hvu) + \frac{\partial}{\partial z}(mwu) - \left(mf + v \frac{\partial}{\partial x} m_y - u \frac{\partial}{\partial y} m_x \right) Hv \\ = -m_y H \frac{\partial}{\partial x} (g\zeta + p) - m_y \left(\frac{\partial h}{\partial x} - z \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(mH^{-1} A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + Q_v \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial mHv}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y Huv) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x Hvv) + \frac{\partial}{\partial z}(mwv) + \left(mf + v \frac{\partial}{\partial x} m_y - u \frac{\partial}{\partial y} m_x \right) Hu \\ = -m_x H \frac{\partial}{\partial y} (g\zeta + p) - m_x \left(\frac{\partial h}{\partial y} - z \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(mH^{-1} A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + Q_v \end{aligned}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb$$

$$\text{상태방정식 : } \rho = \rho(p, S, T)$$

물질보존 방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(mHS) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y HuS) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x HvS) + \frac{\partial}{\partial z}(mwS) = \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1} A_b \frac{\partial}{\partial z} S) + Q_S$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(mHT) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y HuT) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x HvT) + \frac{\partial}{\partial z}(mwT) = \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1} A_b \frac{\partial}{\partial z} T) + Q_T$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(mHC) + \frac{\partial}{\partial x}(m_y HuC) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x HvC) + \frac{\partial}{\partial z}(mwC) \\ = \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1} A_b \frac{\partial C}{\partial z} + \omega C) + mHR_c + Q_C \end{aligned}$$

여기서, u, v : 직교하는 곡선좌표계 x, y 에서의 수평 유속, m_x, m_y : 곡선좌표계 임의거리 $ds^2 = m_x^2 dx^2 + m_y^2 dy^2$ 을 만족시키는 metric tensor의 대각성분의 제곱근 ($m^2 = m_x m_y$), w : 변환된 무차원 연직좌표계 z 에서의 수직 유속성분, H : 총 수심 ($=h + \zeta$), h : 기준면하 수심, ζ : 기준면상 수위, p : 수심 z 에서 기준수압 ($\rho_0 gH(1-z)$)과의 차를 ρ_0 로 나눈 값, f :

Coriolis parameter, A_v : 수직 난류점성계수, A_b : 수직 난류확산계수, Q_u, Q_v : 운동량의 source-sink 항, ρ : 밀도, T, S : 수온, 염분, b : 부력, ω : 침강속도, C : 용존 또는 부유물질의 농도, Q_T, Q_S : 수평 난류확산 및 수온과 염분의 source-sink 항, R_C, Q_C : 수평 난류확산 및 생화학적 또는 외부 source-sink 항이다.

(나) 수치해법

위 기본방정식을 해석하기 위하여 수직 난류점성계수와 수직 난류확산계수, 수평-수직 경계조건, 그리고 생성-소멸항이 필요하다. 이 중 수직 난류점성계수와 수직 난류확산계수를 산정하기 위하여 2차 난류 운동량 마감 모델(turbulence closure model)이 사용된다(Mellor and Yamada, 1982; Galperin et al., 1988).

$$A_v = \phi_v q \ell = 0.4(1+36R_q)^{-1}(1+6R_q)^{-1}(1+8R_q)q\ell$$

$$A_b = \phi_b q \ell = 0.5(1+36R_q)^{-1}q\ell$$

$$R_q = \frac{gH\theta_z b}{q^2} \frac{\ell^2}{H^2}$$

여기서, ℓ : 난류 길이, q : 난류 강도, R_q : Richardson number, b : 부력, ϕ_v, ϕ_b : 안정도 함수, θ_z : 층간의 거리이다.

안정도 함수는 수직 혼합 또는 수직 밀도성층 환경에서의 수송 작용에 관여한다. 모델결과로 얻어진 난류길이와 난류강도로부터 다음과 같이 수직 난류점성계수와 수직 난류확산계수가 계산된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial mHq^2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u q^2) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v q^2) + \frac{\partial}{\partial z}(m \omega q^2) \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left(mH^{-1} A_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + Q_q + 2mH^{-1} A_v \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + 2mgA_b \frac{\partial b}{\partial z} - 2mH(B_1 \ell)^{-1} q^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial mHq^2 \ell}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u q^2 \ell) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v q^2 \ell) + \frac{\partial \ell}{\partial z}(m \omega q^2 \ell) \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left(mH^{-1} A_q \frac{\partial q^2 \ell}{\partial z} \right) + Q_1 + mH^{-1} E_1 \ell A_v \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) \\ & \quad + mgE_1 E_3 \ell A_b \frac{\partial b}{\partial z} - mHB_1^{-1} q^3 (1 + E_2 (\kappa L)^{-2} \ell^2) \end{aligned}$$

$$L^{-1} = H^{-1} (z^{-1} + (1-z)^{-1})$$

여기서, B_1, E_1, E_2, E_3 는 실험상수이다.

운동량 및 물질의 생성-소멸항인 수평난류점성 및 수평난류 확산항은 모델격자보다 작은 규모의 유동현상을 묘사하며, 습지에 의한 저항, 단주기 표면중력파에 의한

wave Reynolds' stress, 고파랑 규모의 제트에 의하여 형성되는 운동량 생성 등도 고려할 수 있다. 수평난류 점성항 및 수평난류 확산항은 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_u = \frac{\partial}{\partial x} (2A_M \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} [A_M (\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x})]$$

$$Q_v = \frac{\partial}{\partial y} (2A_M \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x} [A_M (\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x})]$$

$$Q_{T,S,C} = \frac{\partial}{\partial x} [A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial y}]$$

여기서, A_M : 수평 난류점성계수, A_H : 수평 난류확산계수

수평난류 점성계수와 수평난류 확산계수 산정은 격자 크기와 유속 변형에 의해 결정되는 Smagorinsky식(Smagorinsky, 1963)을 이용한다.

$$A_M = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2}$$

여기서, 상수 C는 0.10~0.20의 값이 사용되며, 계산격자가 충분히 작은 경우 무시될 수 있다. Smagorinsky 식은 격자의 크기가 작아질수록, 그리고 유속 경사가 작을수록 수평 난류점성계수가 감소한다.

이 모델은 staggered grid에 속하는 Arakawa C grid를 사용한다. 기본방정식의 수치해는 유한차분법(finite difference method)과 질량 및 부피 보존을 위한 유한체적법(finite volume method)을 사용한다. 수심, 잉여압력, 해저면 경사의 차분화시 2차 정확도를 갖는 중앙차분법(centered-discretization)을 사용한다. 운동방정식에서 Coriolis와 curvature항은 2차 정확도를 갖는 에너지 보존 기법(energy conserving scheme)을 사용하며, 외부 모드(external mode) 계산시 수평 방향으로, 내부 모드(internal mode) 계산시 수직 방향으로 음해법을 적용하여 계산시간을 단축시킬 수 있다.

시간 미분항 역시 2차 정확도를 갖는 three-time-level, leap-frog 기법을 사용하며, 반음해법을 적용한다. Three-time-level 기법 사용시 발생하는 time step splitting을 억제하기 위하여 two-time-level의 trapezoidal step을 첨가하는 trapezoidal leap-frog 기법을 사용한다. 그리고 빠르게 전파하는 외부 중력파를 계산하는 외부 모드(external mode)와 수직적 구조를 계산하는 내부 모드(internal mode)를 분리하여 계산 효율성을 높였다.

물질보존방정식의 이류항을 전방차분법(upwind-difference)으로 해석하면 안정적인 결과를 주고 음의 농도를 발생시키지 않는 장점이 있으나, numerical diffusion이 과도하게 발생하고 공간적으로 1차의 낮은 정확도를 갖는 단점이 있다. 반면에 중앙차분법(centered-difference)으로 해석하면 2차의 정확도를 가지지만 농도 경사가 큰 해역에서 불안정한 결과를 보이고 음의 농도를 발생시킬 수 있는 단점이 있다.

따라서 본 모델에서는 정확도를 높이고 음의 농도가 발생하지 않는 MPDATA를

사용한다. MPDATA 기법은 1차의 정확도를 갖는 전방차분법을 사용하는 첫 번째 step과 numerical diffusion을 줄이기 위한 두 번째 step으로 구성되어 있다. 시공간에 대하여 적어도 2차의 정확도를 가지며, 시간에 대하여 최대 3차, 공간에 대하여 최대 5차의 정확도 까지 가질 수 있다.

(다) 경계조건

① 수평 경계조건

개방경계의 접선 방향 유속 성분은 0으로 지정된다. 유동이 모델영역 외부로 전파될 때는 개방경계에 직각인 속도 성분을 운동방정식에서 이류항과 수평와동항을 무시한 나머지 항들만으로 계산한다. 육지 경계조건으로 육지에 직각인 유속 성분은 없다고 가정한다.

② 수직 경계조건

해수면에서 연직 방향의 유속은 없는 것으로 한다. 그리고 바람응력에 의한 수표면 전단응력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$K_v H^{-1} \partial_z (u, v)_{z=1} = (\tau_{sx}, \tau_{sy}) = c_s \sqrt{U_w^2 + V_w^2} (U_w, V_w)$$

$$c_s = 0.001 \rho_a \rho_w^{-1} (0.8 + 0.065 \sqrt{U_w^2 + V_w^2})$$

여기서, U_w, V_w : x, y 방향 풍속(수표면 10 m 상), τ_{sx}, τ_{sy} : 바람 응력, c_s : 바람 응력계수, ρ_a : 공기 밀도, ρ_w : 해수 밀도이다.

(라) 실험조건 및 개요

해수유동 실험은 외해대량양식 시설물 설치를 위한 예정 시험지 주변 해역의 해수유동 변화를 파악하고 시설물 설치를 위한 외력 해석 및 분석을 하는데 그 목적이 있다. 해수유동 실험은 광역과 상세역으로 나누어 실시하였다. 광역수치실험의 경우 대상해역을 포함하는 광역의 해수유동특성을 파악, 상세역 설정을 위한 외력조건 결정을 위하여 수행하였으며, 상세역 해수유동실험은 실제 대상해역을 포함하는 시설물 설치 예정지의 외력특성을 파악 및 분석을 통하여 적지를 선정하기 위하여 수행하였다.

현재 실험 어장 예정지인 완도와 기장해역은 각각 남해안과 동해남부에 위치한 해역으로, 완도의 경우 남해서부 해역으로 해저지형과 해안선이 복잡하고 많은 섬과 만으로 이루어져 있다. 또한 이 해역은 지형적인 영향으로 조차가 크고 지형 경사가 완만한 특성을 보인다. 기장의 경우는 대체로 수심이 깊으며, 수심의 경사도 큰 지형형상을

보인다.

본 수치모형실험에서는 국립해양조사원에서 제공하는 완도, 고흥, 완도, 부산 및 울산항의 조화상수값을 이용하여 대상해역의 외해 경계조건으로 사용하였다. 본 수치모형실험의 광역 격자망은 완도의 경우 위도-경도 방향으로 $407.0 \text{ km} \times 287.0 \text{ km}$ 의 해역에 격자크기 1000 m 의 격자망으로 구성하였으며, 기장의 경우 $111.5 \text{ km} \times 78.0 \text{ km}$ 의 해역으로 두 해역 모두 수직으로 1개 층으로 설정하였다. 또한 상세역의 경우는 완도, 기장 각각 위도-경도 방향으로 $40 \text{ km} \times 40 \text{ km}$, $20 \text{ km} \times 22 \text{ km}$ 로 하였다([표 4-1-3], [표 4-1-4]).

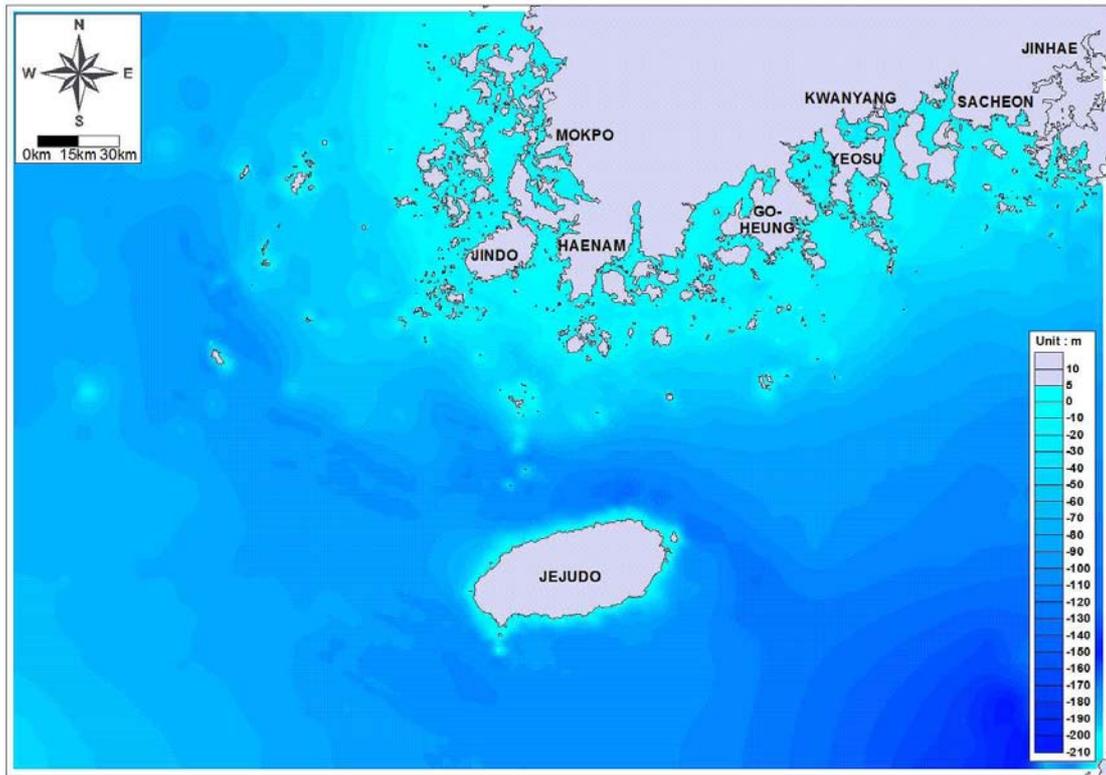
본 모형의 지형조건은 중에서 1차 시험양식어장의 수심은 대체로 $20 \sim 30 \text{ m}$ 사이의 분포를 보였다. [그림 4-1-7]은 과업대상해역의 등수심도를 나타낸 것이고, [그림 4-1-8]과 [그림 4-1-9]는 각 해역의 광역과 협역에 대한 격자망도를 나타낸 것이다.

[표 4-1-3] 광역 해수유동실험 개요

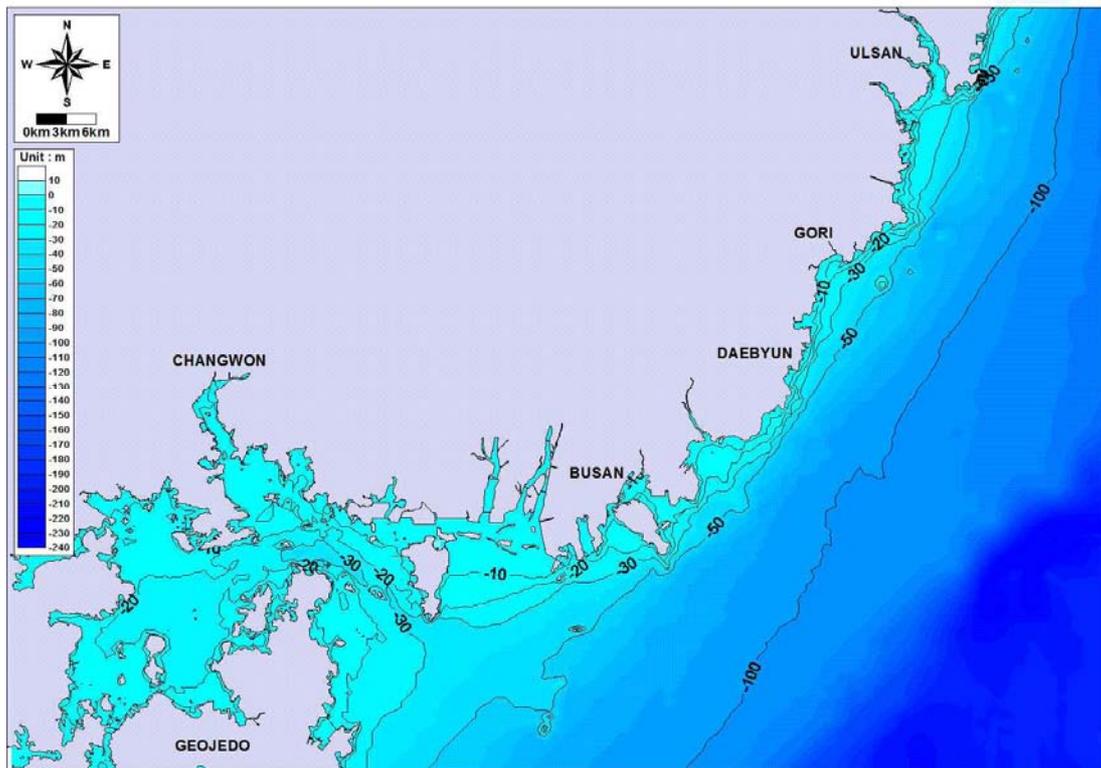
항 목		내 용
사용 모델		·EFDC (미국 VIMS 개발)
격자 구성	모델 범위	·407 km × 287 km (완도), 111.5 km × 78 km (기장)
	격자 간격	·1000 m 크기의 직교 격자체계
	격자 수	·수평 : 407 × 287 (완도), 223 × 156 (기장), 수직 : 1층
모의기간		·15일 이상
계산시간 간격		·20초
실험안별 입력 및 외력조건		·조석외력조건: M2, S2, K1, O1의 주요 4대 분조

[표 4-1-4] 상세역 해수유동실험 개요

항 목		내 용
사용 모델		·EFDC (미국 VIMS 개발)
격자 구성	모델 범위	·20 km × 22 km (기장), 40 km × 40 km (완도)
	격자 간격	·100 m(기장), 200 m(완도) 크기의 직교 격자체계
	격자 수	·수평 : 200 × 220 (완도), 200 × 200 (기장), 수직 : 1층
모의기간		·15일 이상
계산시간 간격		·4초
실험안별 입력 및 외력조건		·조석외력조건: M2, S2, K1, O1의 주요 4대 분조

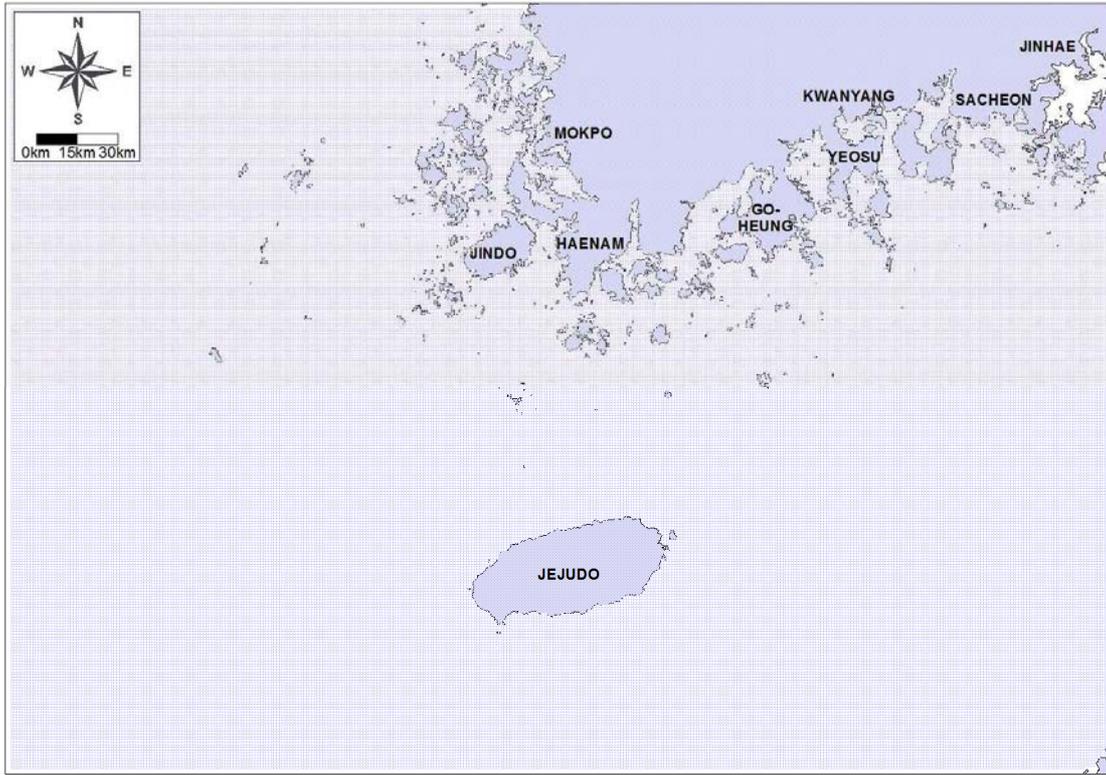


(a) 완도

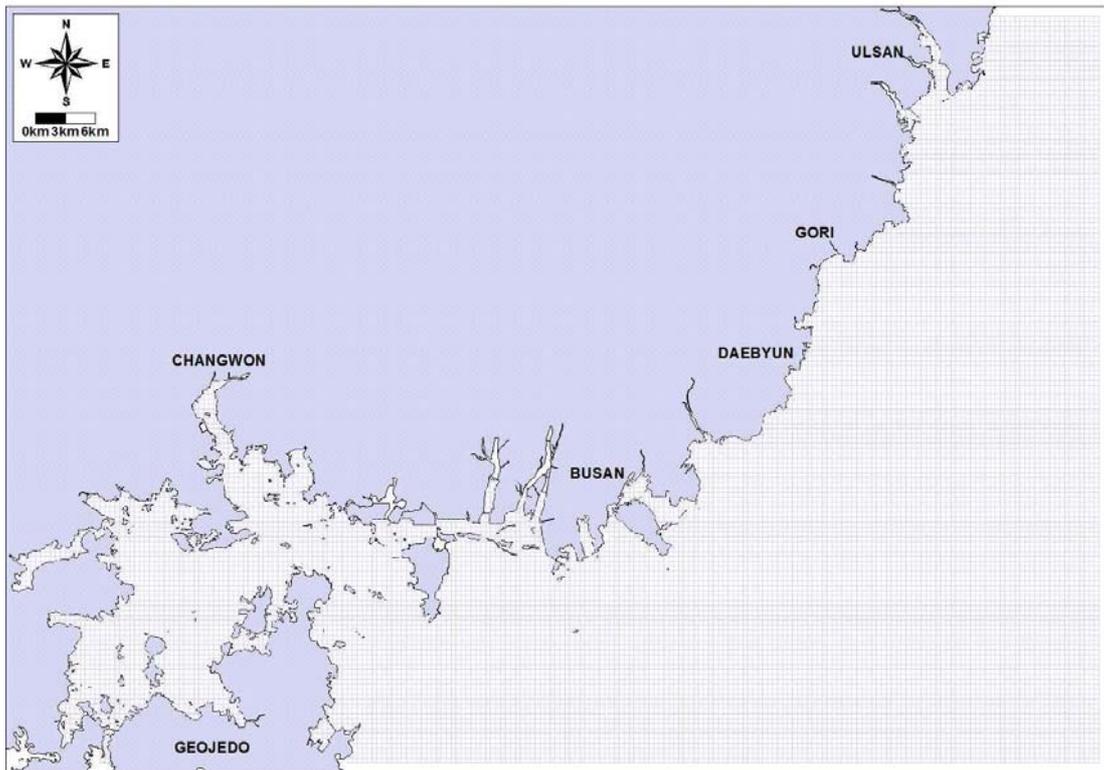


(b) 기장

[그림 4-1-7] 각 해역별 광역모델 계산영역의 지형 및 수심 분포.



(a) 완도

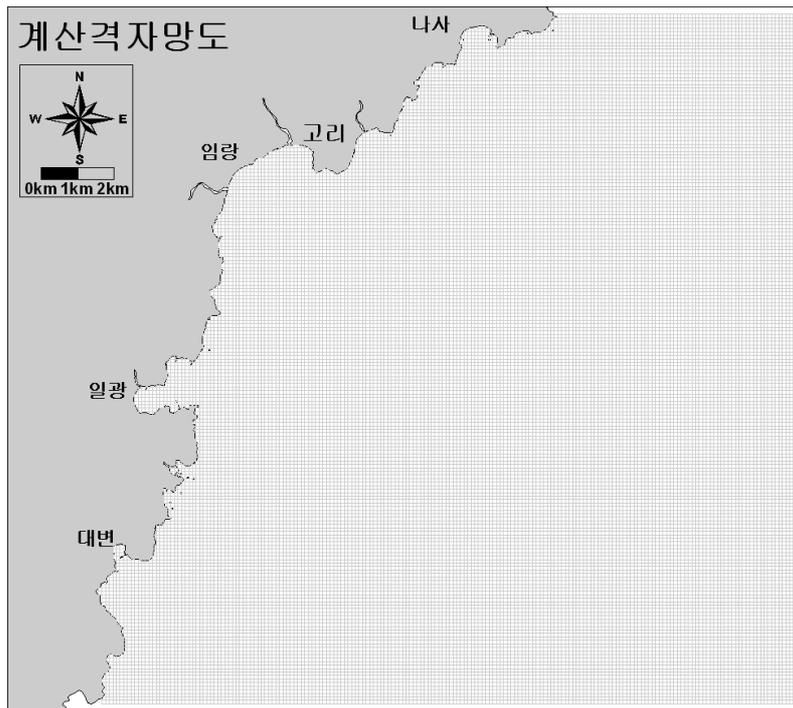


(b) 기장

[그림 4-1-8] 각 해역별 광역모델 계산격자망도.



(a) 완도



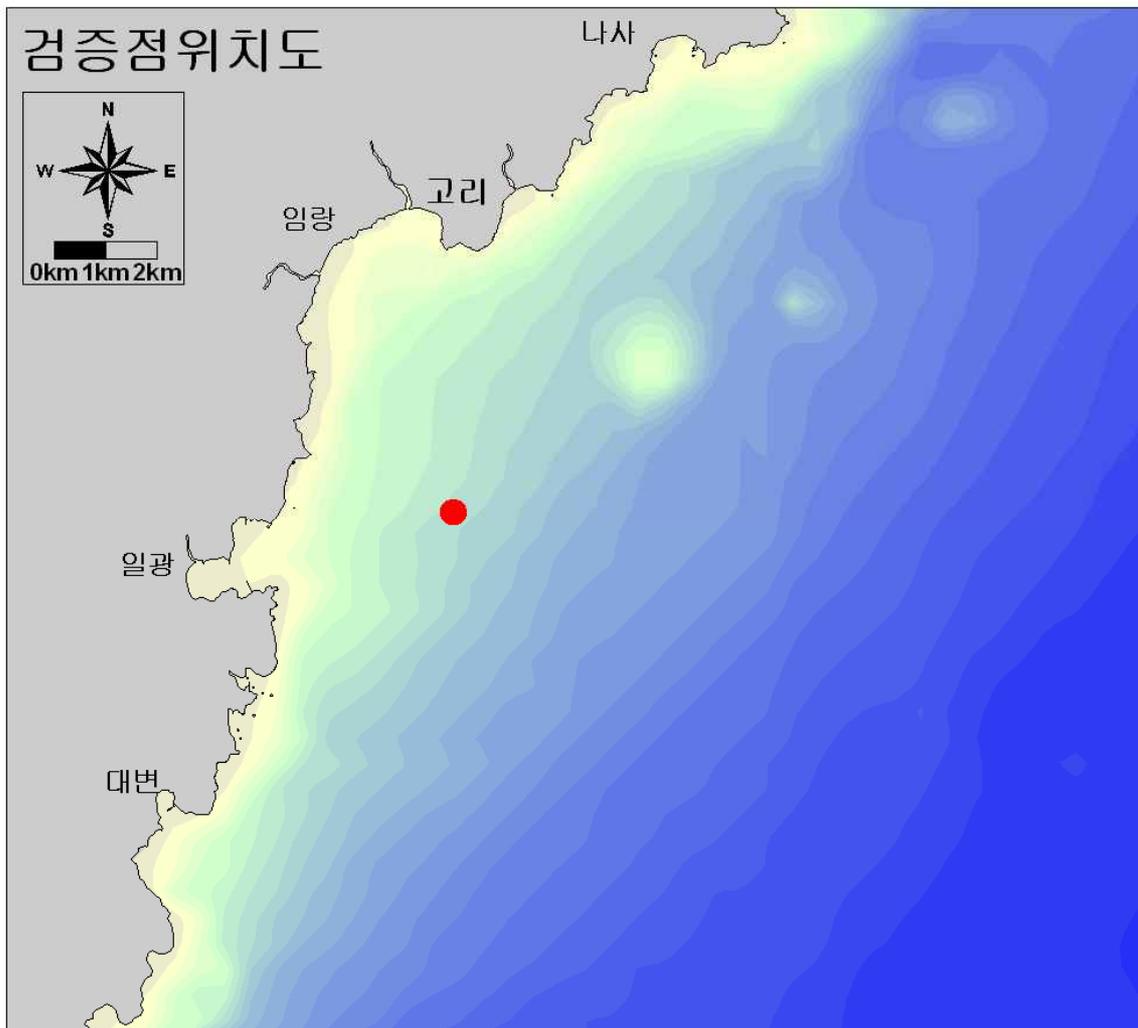
(b) 기장

[그림 4-1-9] 각 해역별 협역모델 계산격자망도.

(마) 해수유동 검증결과

모델 보정 및 검증시 사용된 자료의 위치를 기장은 [그림 4-1-10]에, 완도는 [그림 4-1-11]에 도시하였으며, 조석에 대한 모델 보정결과를 [표 4-1-5]에 제시하였다. 본 보정결과는 모델의 조위 시계열을 조화분석해서 4개 분조의 반조차와 지각을 추출하여 관측치와 비교한 것이다. 모델결과와 관측자료의 비교를 위하여 주요 4개 분조의 반조차에 대한 오차(error)와 절대상대오차(absolute relative error: ARE), 그리고 위상에 대한 오차를 제시하였다.

절대상대오차(ARE)는 모델치의 절대오차를 관측치에 대한 상대적 크기로 나타낸 것이고, 오차는 모델치와 관측치의 차를 나타낸다. 오차의 값이 양이면 모델 결과가 관측치보다 과대평가되었음을 의미하고, 음이면 과소평가되었음을 의미한다.

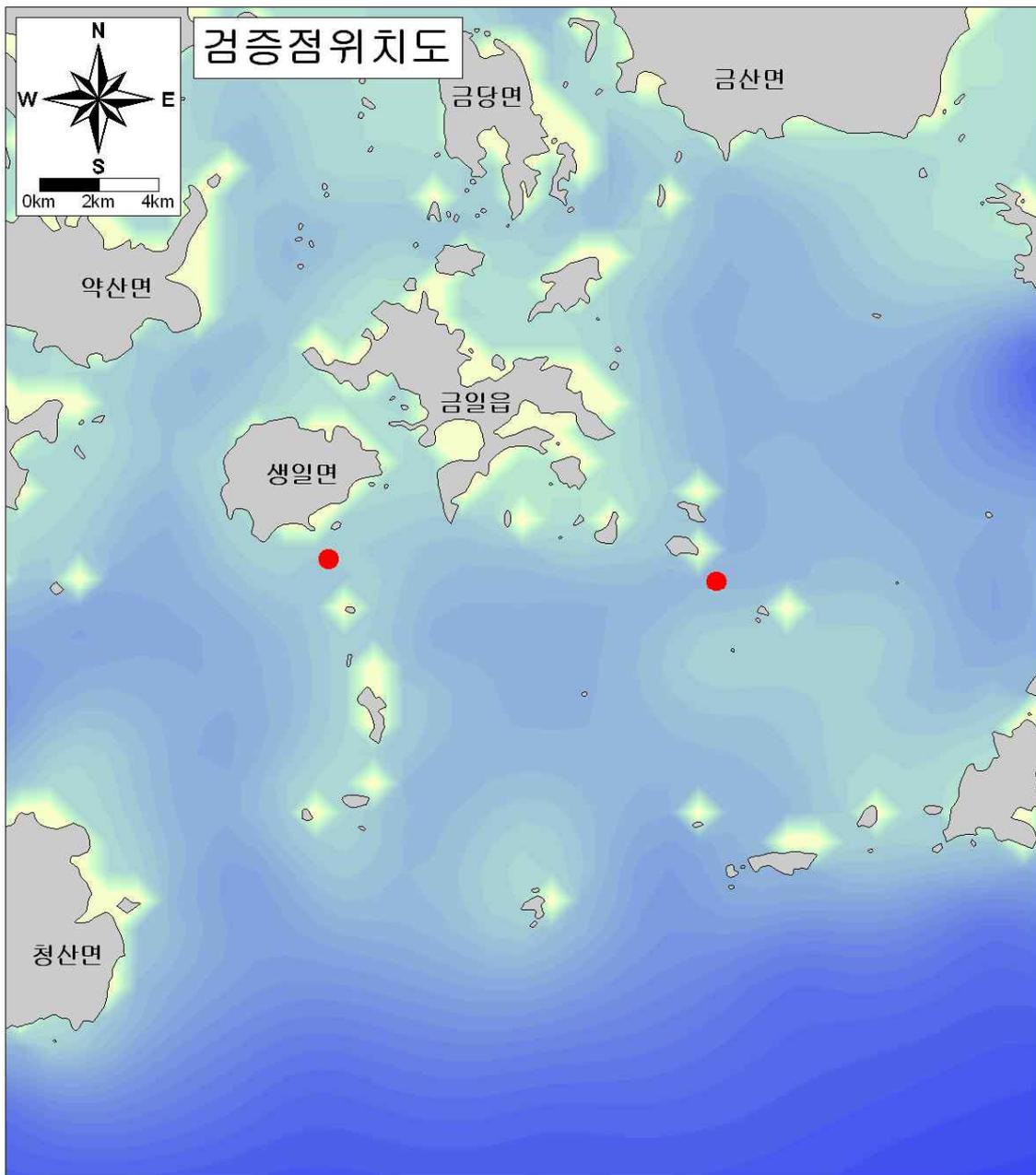


[그림 4-1-10] 기장해역 해수유동모델의 보정 및 검증에 사용된 자료 위치.

개방경계로 사용한 자료가 각기 다른 시기에 관측된 자료인 점을 감안하면, 모델이 관측치를 비교적 잘 재현하는 것으로 판단된다.

$$ARE(\%) = \left| \frac{\text{Modeled} - \text{Observed}}{\text{Observed}} \right| \times 100, \quad \text{Error} = \text{Modeled} - \text{Observed}$$

4개 분조의 조화상수를 사용하여 재구성된 조류의 모델치와 관측치 시계열을 [그림 4-1-12]~ [그림 4-1-13]에 제시하였다. 모델이 대상 해역의 조석 및 조류 특성을 잘 재현하고 있음을 보여준다.



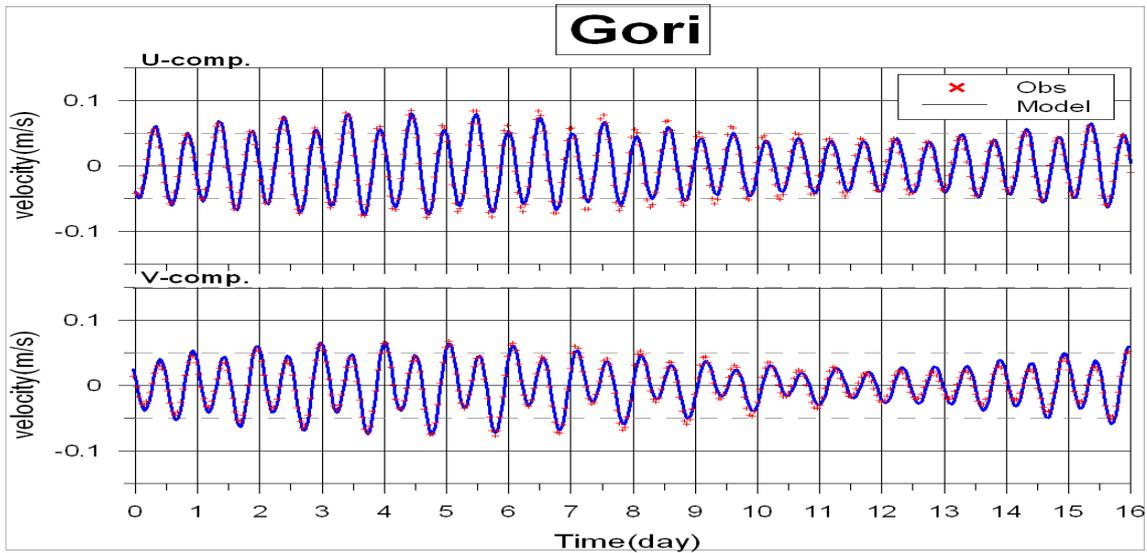
[그림 4-1-11] 완도해역 해수유동모델의 보정 및 검증에 사용된 자료 위치.

[표 4-1-5] 해수유동 모델의 조석 보정결과.

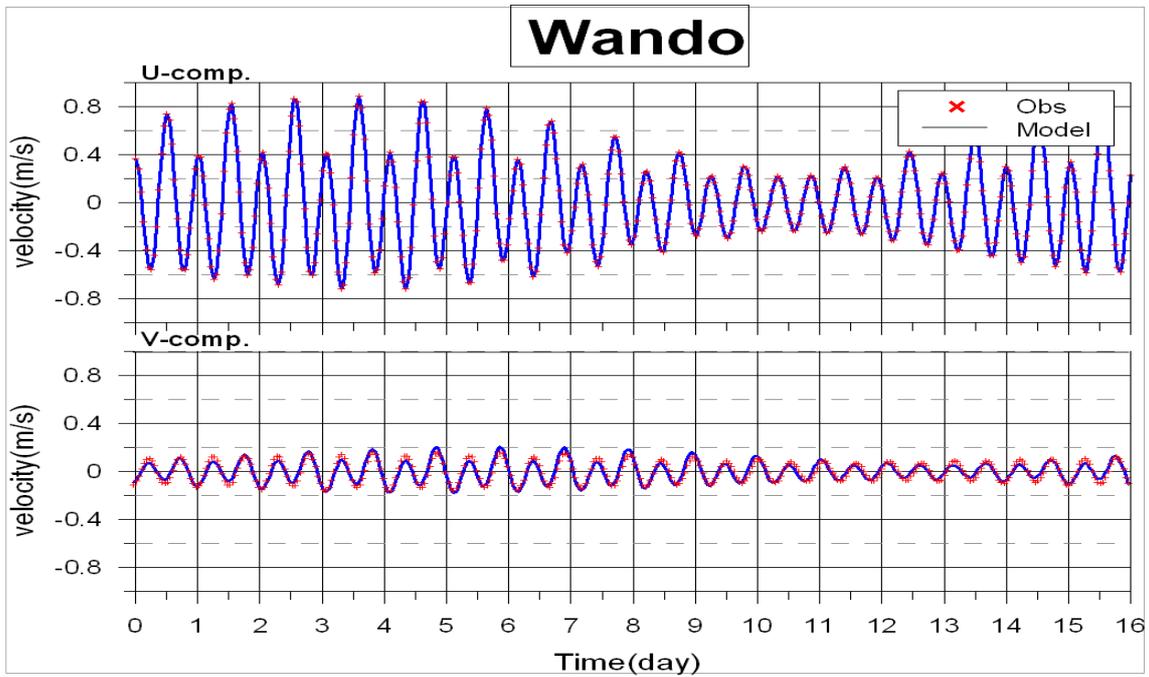
정점	구분	M ₂					S ₂				
		반조차 (cm)	지각 (°)	ARE	ERROR		반조차 (cm)	지각 (°)	ARE	ERROR	
				반조차 (%)	반조차 (cm)	지각 (°)			반조차 (%)	반조차 (cm)	지각 (°)
울산	모델치	15.8	220.1	3.16	-0.5	7.7	7.2	252.3	8.33	-0.6	5.5
	관측치	16.3	212.3				7.8	246.8			
완도	모델치	110.3	290.4	2.90	3.2	6.9	44.1	310.1	4.54	-2.0	1.7
	관측치	107.1	283.5				46.1	308.4			

정점	구분	K ₁					O ₁				
		반조차 (cm)	지각 (°)	ARE	ERROR		반조차 (cm)	지각 (°)	ARE	ERROR	
				반조차 (%)	반조차 (cm)	지각 (°)			반조차 (%)	반조차 (cm)	지각 (°)
울산	모델치	3.1	41.6	6.45	-0.2	-3.5	2.9	352.6	3.44	-0.1	2.3
	관측치	3.3	45.1				3.0	350.3			
완도	모델치	26.7	193.2	1.50	-0.4	-0.9	19.8	178.8	0.51	-0.1	7.1
	관측치	27.1	194.1				19.9	171.7			

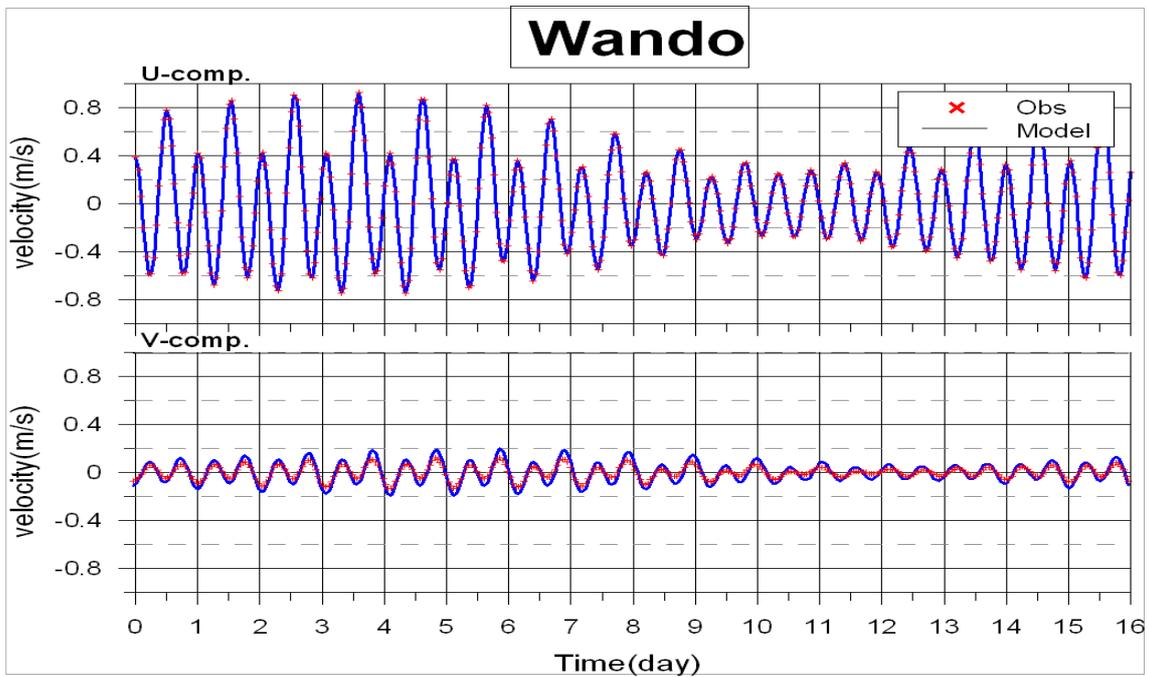
주) 울산, 완도 : 기준검조소자료



[그림 4-1-12] 기상해역 조류 관측치와 결과치 비교.



(a) Pc1



(b) Pc2

[그림 4-1-13] 완도해역의 조류 관측치와 결과치의 비교.

다. 구조물 시스템 구성요소의 특성분석

해조류 양식 중 미역, 다시마는 일반적으로 견고한 연승식 시설 방법을 사용한다. 그 이유는 로프와 닻을 이용하면 넓은 면적에 최소한의 시설비로 많은 수확을 할 수 있으며 비용 대비 수익에서도 효과적이기 때문이다. 그러나 이러한 연승식 시설 방법은 수심 20 m 이내인 경우에 가능하였으나, 최근에는 연안의 해조류 양식장 면적이 포화상태에 이르러 조금씩 외해방향으로 전진하는 실정이다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 동해안의 경우에는 수심이 급격히 깊어져 원하는 면적에 충분한 시설을 할 수 없는 경우가 발생하고, 남해안의 경우에는 여러 도서들이 외해로부터 입사되는 파랑과 유속을 저감시켜주는 일종의 방파제, 방조제 역할을 수행하였으나 외해로 전진할수록 해양외력에 직접적으로 노출되기 쉬워서 시설물이 쉽게 파괴된다. 따라서 본 과업의 목적인 해조류의 외해 대량양식을 위해서는 반드시 경제적이면서도 해양외력에 잘 견딜 수 있고, 안전성이 우수한 구조물 시스템을 개발하여야 한다.

그러므로 경제적이면서도 안전한 구조물을 설계하기 위한 구성요소를 정리하고 각 구성요소가 가지고 있는 고유의 특성을 알아보고 설계에 적용할 수 있도록 국·내외 외해 시설물 설치 사례와 현재 국내의 연안 및 외해 개발에 적용되고 있는 [6]을 참고하였다. 구조물 개발의 주목적은 해조류의 대량생산이므로 생물학적 요소를 고려한 설계 사례와 자료 또한 조사하였다.

라. 외해 해조류 대량양식 구조물의 형상도출

해조류의 대량양식 구조물을 설계하기 위해서는 우선적으로 해조류의 목표생산량이 설정되어야 한다. 연간 바이오에너지로 소비 가능한 해조류의 양이 결정되고, 시설물의 부대비용 및 친환경에너지 생산단가를 고려해서 연간 수확 가능한 해조류 생산량이 결정될 것이다. 결정된 생산량에 따라 효과적인 구조물의 설계와 배치가 다양하게 제안될 것이며, 그 중에서 재해극복 가능한 대량양식 구조물의 형상이 도출되며, 이들 형상별로 효율적인 해조류 채취 및 이송시스템이 적용될 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 대량양식 구조물의 형상도출 및 시설물 배치 개념을 제시하고자 하였다.

마. 시스템 구성요소별 개념 설계 및 전체 시스템 구성

구조물 시스템의 구성요소를 분석하고 해조류의 대량양식에 적합한 구조물 형상을 도출한 이후 전체 요소들을 어떻게 효율적으로 구성하고 배치할 것인지를 기존의 설계 사례와 방법들을 통해 고려하고자 하였다. 구조물 설계의 가장 중요한 요소는 안전성이다. 구조물의 목표 내용연수를 설정하면, 조건에 부합하기 위한 안전성을 설계에 반영하여야 한다. 따라서 현재 시공가능하며, 안전한 해조류 대량양식시설물을 설치할 수 있는 전체 시스템을 제안하였다.

3. 연구수행 결과

가. 해조류 시험양식장의 해양환경 설계인자의 조사·분석

(1) 해양물리환경 현장조사

(가) 해양파랑

① 기장 시험양식장

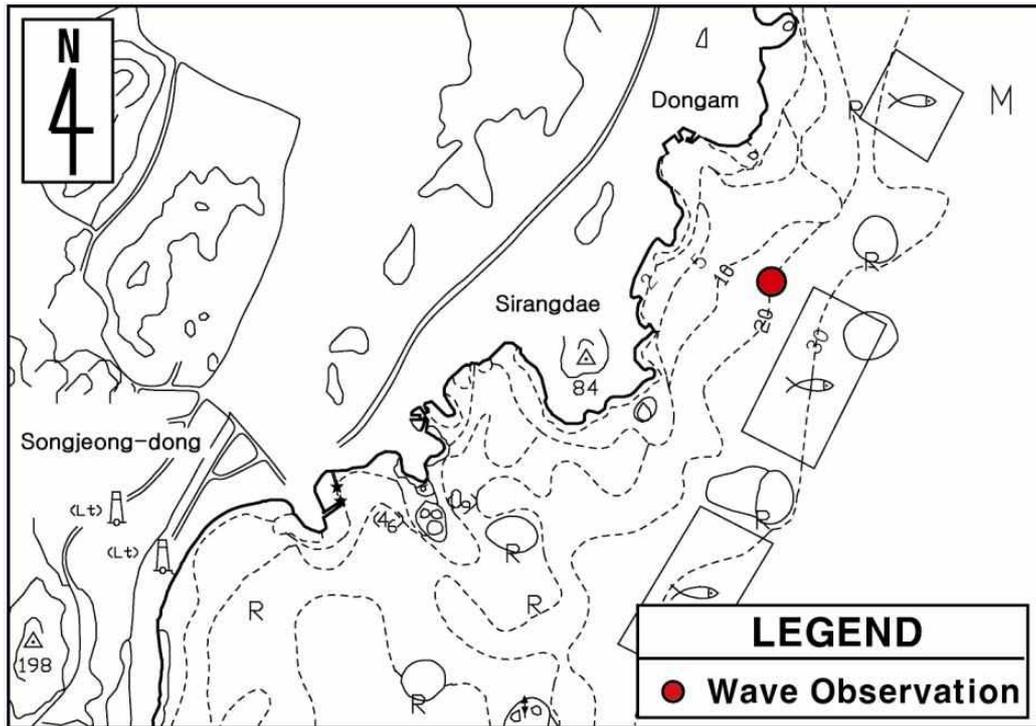
본 과업의 파랑관측 이전에 기장 동암항에서 수행된 [2]의 파랑관측 자료를 바탕으로 문동항의 1차 시험 양식장 내의 연속적인 파랑관측 자료가 필요하여 현장조사를 실시하였다. 먼저 기장 동암항의 파랑관측은 [표 4-1-6]과 같이 2007년 11월 12일부터 2008년 3월 29일까지 총 132일 동안 추계부터 동계, 춘계까지 관측을 실시하였으며, 방향성 파고계(MIDAS-DWR) 1대와 압력식 파고계 2대(AWH-16M, COMPACT-WH)를 이용하여 기장 연안 수심 25.5 m에서의 파랑특성을 조사하였다. 방향성 파고계의 관측 결과는 입사하는 파랑의 파향까지 계측하여 연안으로 입사되는 파랑의 주입사방향을 확인할 수 있었으며, 대략 진북방향으로부터 90° 방향(동)에서 입사하는 것으로 나타났다.

[표 4-1-6] 2007년 기장 동암항의 관측기간 및 투입장비

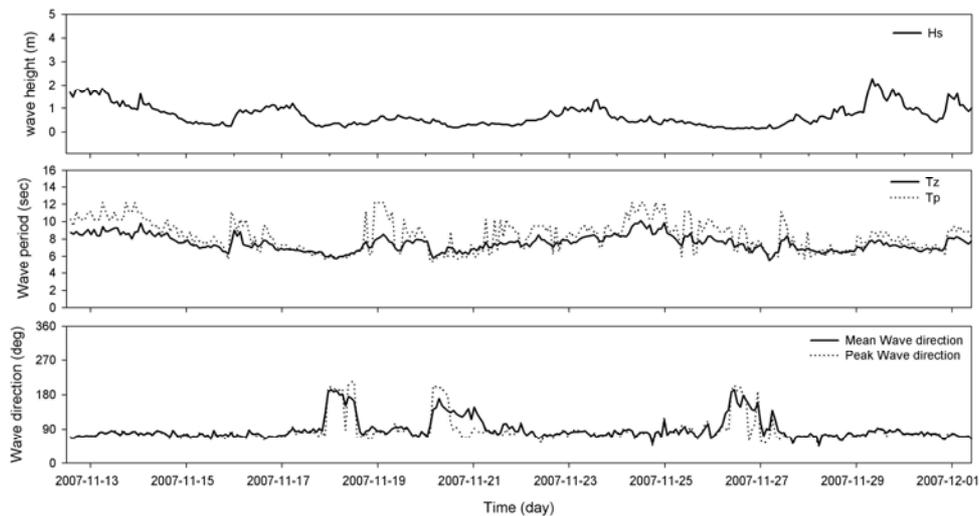
구분	관측 기간		관측일시	관측장비
	시점	종점		
1	2007년 11월 12일	2007년 12월 1일	20	MIDAS-DWR
2	2007년 12월 1일	2007년 12월 10일	10	AWH-16M
3	2007년 12월 17일	2008년 1월 29일	44	MIDAS-DWR
4	2008년 2월 2일	2008년 2월 16일	15	COMPACT-WH
5	2008년 2월 16일	2008년 3월 29일	43	MIDAS-DWR

[그림 4-1-14]는 기장 동암항 전면해역에 설치된 파고계의 위치와 수심을 나타낸 것이다. 관측시 setting은 MIDAS-DWR의 경우에 sampling rate를 2Hz로 하여 88분 동안 2048개의 data를 기록, 전체 기록시간은 17분 4초가 되도록 설정하였으며, 수압식 파고계의 경우 sampling rate를 4Hz로 하고 60분 동안 2400개의 data를 기록, 전체 기록시간이 10분이 되도록 설정하였다. 파랑분석은 기록된 raw data를 demean, detrend한 후 스펙트

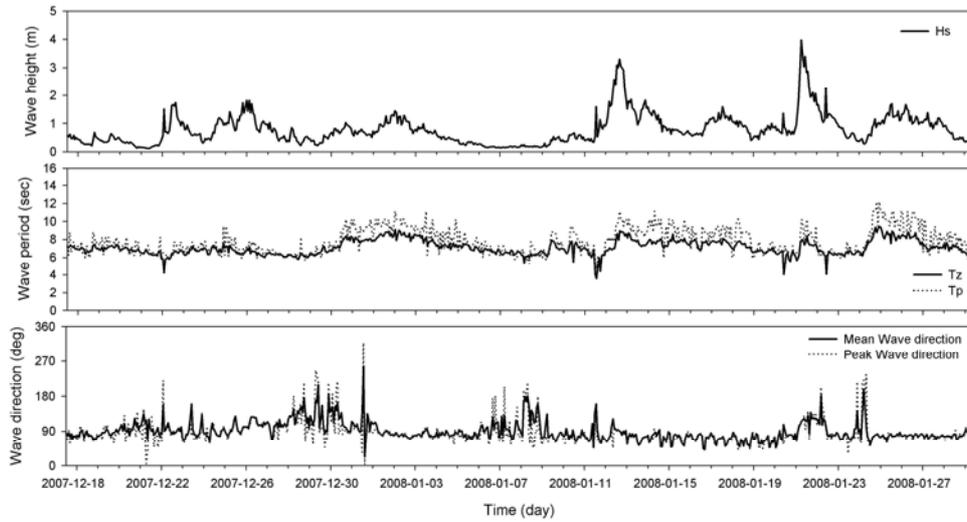
럼 분석을 이용하여 압력 에너지 스펙트럼으로 변환하고 이를 다시 파랑 에너지 스펙트럼으로 계산하여 수위 값으로 산출하였으며, hamming window filter를 사용하여 data set을 만들고 이를 FFT를 사용하여 정규화된 스펙트럼으로 파랑특성을 산출하였다.



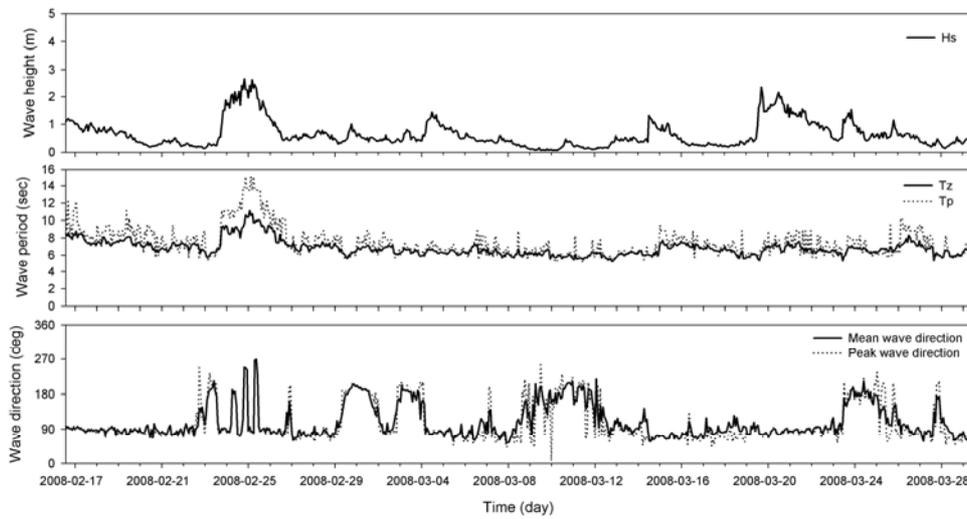
[그림 4-1-14] 기장 동암항 파랑관측 위치.



[그림 4-1-15] MIDAS-DWR 파랑분석 결과(2007년 11월 12일~2007년 12월 1일).



[그림 4-1-16] MIDAS-DWR 파랑분석 결과(2007년 12월 17일~2008년 1월 7일).

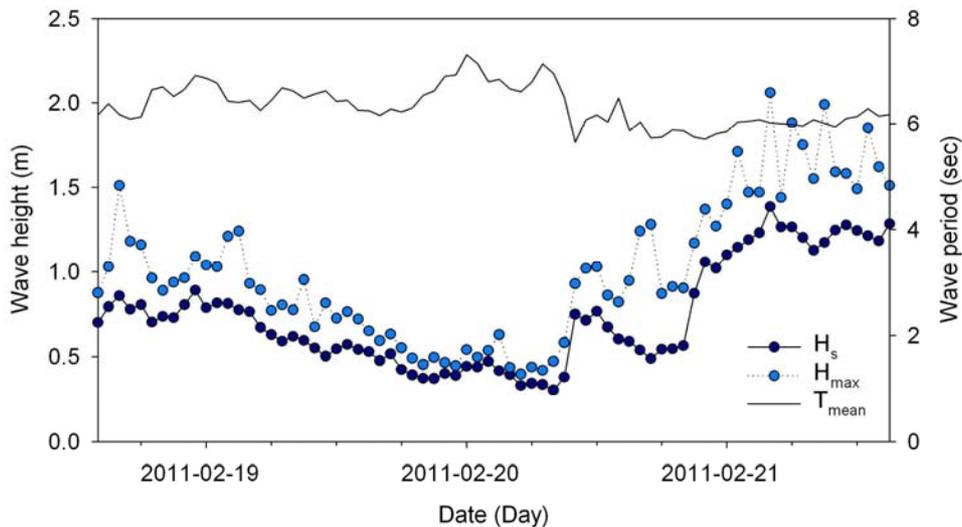


[그림 4-1-17] MIDAS-DWR 파랑분석 결과(2008년 2월 16일~2008년 3월 29일).

[표 4-1-7] 기상 동암항 계측된 파랑자료 분석결과

	2007년 11월 12일 ~12월 1일	2007년 12월 17일 ~2008년 1월 7일	2008년 2월 16일 ~3월 29일
H_s (m)	0.13 ~ 2.28	0.11 ~ 5.22	0.06 ~ 2.67
H_{max} (m)	0.21 ~ 3.57	0.17 ~ 8.19	0.10 ~ 4.20
T_s (sec)	5.72 ~ 12.80	4.89 ~ 12.80	5.49 ~ 15.81
Mean dir. (deg.)	47.7 ~ 194.2	22.5 ~ 256.0	54.4 ~ 269.3

3대의 파고계 중 방향성 파고계(MIDAS-DWR)의 파고 관측 기록을 중심으로 기장 동암항의 파랑관측 결과를 관측기간별로 정리하면 [표 4-1-7]과 같고 유의파고(H_s), 주기(T), 파향(deg.) 등을 [그림 4-1-15]~[그림 4-1-17]에 나타내었다. 기장 동암항과 문동항 해조류 양식장의 수심이 대략 20~30 m이며, 기장 동암항의 파랑관측시 수심이 25.5 m임을 감안하면 기장 해안으로 입사하는 파랑이 [표 4-1-6]의 값에서 크게 벗어나지 않을 것으로 판단된다. 기장해역에 입사 가능한 최대파고는 8.19 m이며, 유의주기 중 가장 큰 주기는 15.81 sec이다. 이러한 값은 현재 시설된 해조류 양식장이 수심 30 m 이내에서는 구조적으로 안전하다는 반증이지만, 만약 시설물이 대형화될 경우 어떠한 결과를 보여줄 지는 예상할 수가 없다. 특히, 조류속과 해빈류, 해류등의 합력으로 발생하는 하중은 설계시 구조물 안전에 또 하나의 요소로 고려하여야 할 것이다.



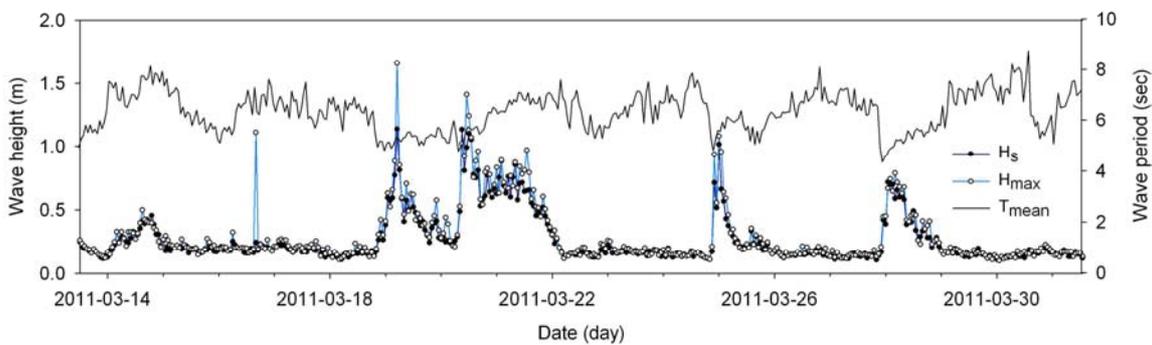
[그림 4-1-18] 기장 시험양식장에서 계측된 파고, 주기 분포.

기준에 계측된 자료결과를 바탕으로 본 과업에서 수행한 문동항 전면해역 1차 시험양식장의 파랑 관측은 기존의 장기적인 파후자료 보다는 다시마 양식장 내부에서의 연속적인 수위변화를 계측하여 분석하였다. 또한 향후 수리실험에서의 파고변화와 비교·분석하기 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다. 4일 연속 관측된 파랑data를 COMPACT-WH 프로그램에서 수압으로 계측된 자료를 수심자료로 변환하고 대표파법과 스펙트럼법으로 파고, 주기를 계산하였다. [그림 4-1-18]은 2011년 2월 18일 14:00부터 2월 21일 15:00까지의 기장 시험양식장에서의 유의파고(H_s), 최대파고(H_{max}), 평균주기(T_{mean})를 나타낸 것이다. 유의파고, 최대파고, 평균주기의 분포는 각각 0.30~1.39 m, 0.40~2.06 m, 5.65~7.31 sec로 나타났으며, 풍파의 주기가 6~8 sec의 범위를 가지는 것으로

로 감안하면, 시험양식장으로 입사하는 평상시 파랑은 풍파에 기인하는 것을 알 수 있었다.

② 완도 시험양식장

완도해역에서 직접 관측한 자료는 기장 해역과는 달리 찾지 못하였다. 따라서 우선 1차 시험양식장에 대한 파랑관측을 2011년 3월 13일 12:00부터 3월 31일 13:00까지 18일 동안 수행하였고, 계측된 파랑자료의 분석결과를 [그림 4-1-19]에 도시하였다. 유의파고, 최대파고, 평균주기의 범위는 각각 0.10~1.14 m, 0.15~1.66 m, 4.35~8.74 sec이다. 18일의 결과를 1년의 파랑특성과 비교할 수 없지만 관측기간내의 결과를 토대로 분석하면, 완도해역의 평균주기를 기장의 값과 비교하면 다소 범위는 넓지만 통상적인 풍파의 주기를 가짐을 알 수 있었다. 또한 관측 당시에는 ‘영등사리’가 드는 시기로서 너울성 파랑도 가끔씩 내습하는 경우가 있으나 본 관측에서는 너울성 파랑은 내습하지 않은 것으로 확인되었다. 바람이 불지 않은 경우 기장과 달리 파고가 0.2 m 내외로 잔잔하여 안전하게 해조류 관리 및 채취, 운송이 가능할 것으로 보인다.



[그림 4-1-19] 기장 시험양식장에서 계측된 파고, 주기 분포

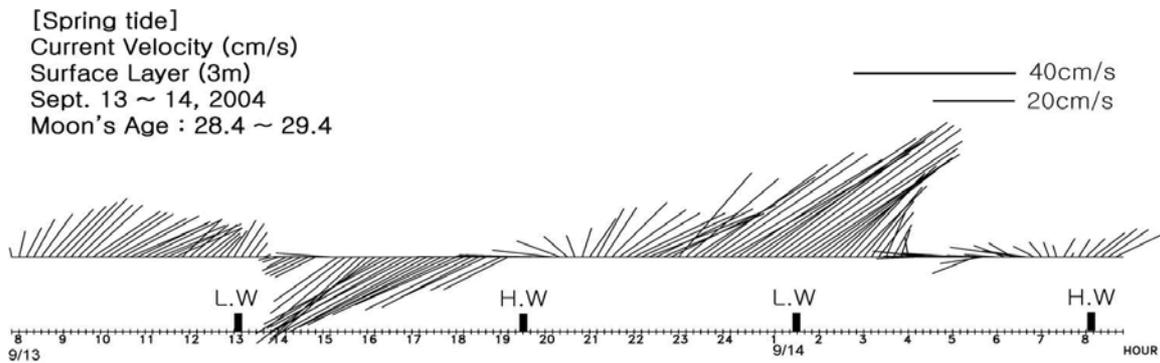
기장과 완도의 파랑관측 값은 평상시 해조류가 양성될 때 계측된 값이며, 대량양식 구조물의 경제적 설계와 안정성을 고려하기 위해서는 파랑변형 수치시뮬레이션에서 빈도별 설계파랑에 대한 대상해역 주변의 적지를 찾아야 할 것으로 판단된다. 또한 유력한 적지가 결정되며 보다 정밀한 해저지형 조사와 파랑관측으로 대상해역에 대한 검증이 수행되어야 할 것이다.

(나) 연속조류관측

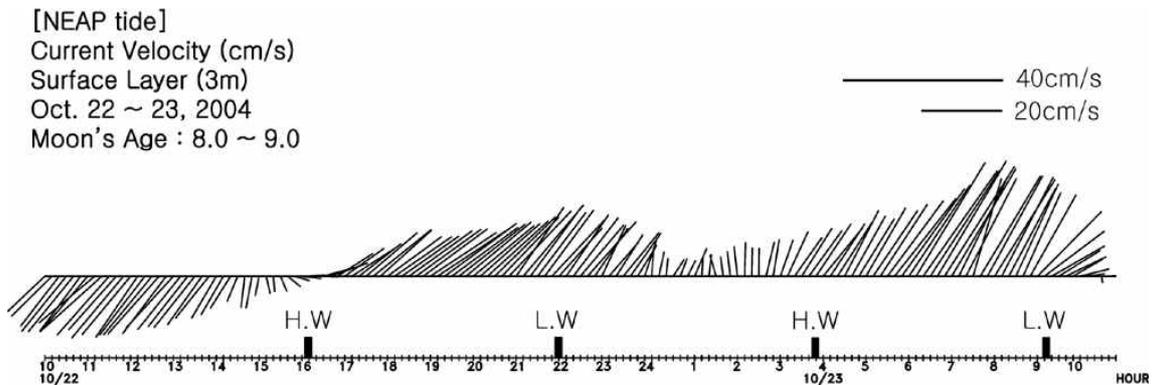
[그림 4-1-20] ~ [그림 4-1-21]은 기장 시험양식장 인근에서의 유속과 유향의 24시간 경시변화를 조류벡터도(Stick diagram)로 나타낸 것이다. 대조기시 표층 유속은 약 5 ~ 55 cm/sec의 범위로서 창조류와 낙조류시의 최대 유속은 각각 42 cm/sec와 55 cm/sec로 관측되었다([그림 4-1-20]). 그리고 소조기 표층 유속은 약 3 ~ 34 cm/sec의 범위로서

창조류와 낙조류시의 최대 유속은 각각 19 cm/sec와 34 cm/sec로 관측되었다(그림 4-1-21). 한편 흐름방향은 대조기시 창조류시에는 남서방향 낙조류시에는 북동방향의 왕복성 조류가 우세하였으며, 낙조류시의 북동방향의 흐름이 창조류시의 남서방향의 흐름에 비해 더 크게 나타났다. 소조기시 흐름방향은 대조기시 흐름방향과 비슷한 분포를 보였다.

① 기장 시험양식장



[그림 4-1-20] 기장 시험양식장 인근 연속 조류벡터도(표층, 대조기).

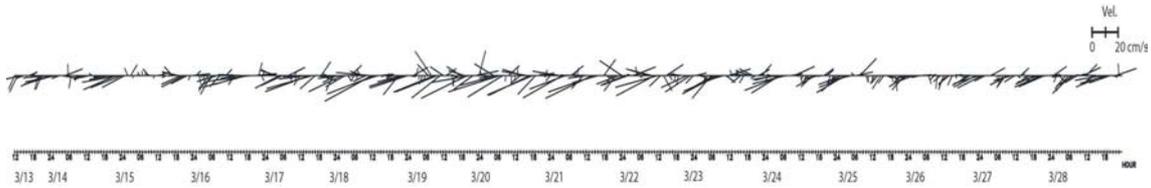


[그림 4-1-21] 기장 시험양식장 인근 연속 조류벡터도(표층, 소조기).

② 완도 시험양식장

[그림 4-1-22]는 완도 시험양식장에서의 유속과 유향의 15일간 경시변화를 조류 벡터도(Stick diagram)로 나타낸 것이다. 표층유속의 분포는 0.3 ~ 40.1 cm/sec를 나타내었으며, 전반적으로 남서방향의 흐름이 우세한 것으로 나타났다. 그러나 본 유속결과는 일반적인 완도의 유속범위인 0.8~2.0 m/sec의 범위에 많이 부족한 것으로 나타났다. 이에 대한 원인은 유속계가 영등사리의 영향으로 다른 어장 닻줄과 엉켜서 옆으로 누운 상태

에서 계측되어 발생한 것으로 판단된다.



[그림 4-1-22] 완도 시험양식장 15일 연속 조류벡터도(표층).

(다) 측류판 실험

측류판 실험은 완도에 새롭게 설치된 시험양식장 바깥에서 실시하였다. [그림 4-1-23]은 측류판 실험시 GPS를 부이 상부에 설치하고 실험을 수행하는 장면을 보여주고 있다. 시간경과에 따라 GPS에 측류판의 위치가 저장되도록 설정하였다. 실험당시에는 바람의 영향은 극히 미미하였으며, 최강 낙조시 1회 30분 정도 계측하였으며, 시험 양식장 남, 북 방향으로 2개의 측류판을 해상에 띄워 흐름 방향을 계측하였다. 추적 결과 남동-북서 방향의 흐름을 나타내었으며, 표층 유속 계측 결과와 비교한 결과 유사한 패턴을 보였다.



(a) GPS tracking 설정 및 삽입



(b) 측류판 실험 수행

[그림 4-1-23] 측류판 실험 수행 과정.

(2) 해양환경인자 조사

(가) 수온

수온은 해조류 성장에서 가장 중요한 요소이다. 해조류는 적정 온도에서 수중으로 전달되는 태양광에 대한 광합성을 통하여 성장하므로, 수온이 매우 차거나 뜨거우면 해조류가 성장할 수 없다. 따라서 현장에서의 수온 변화 계측 이전에 국립수산과학원에서 운영중인 국가해양환경측정망([4])을 이용하여 두 해역의 수온 분포를 조사하였다.

① 기장 시험양식장

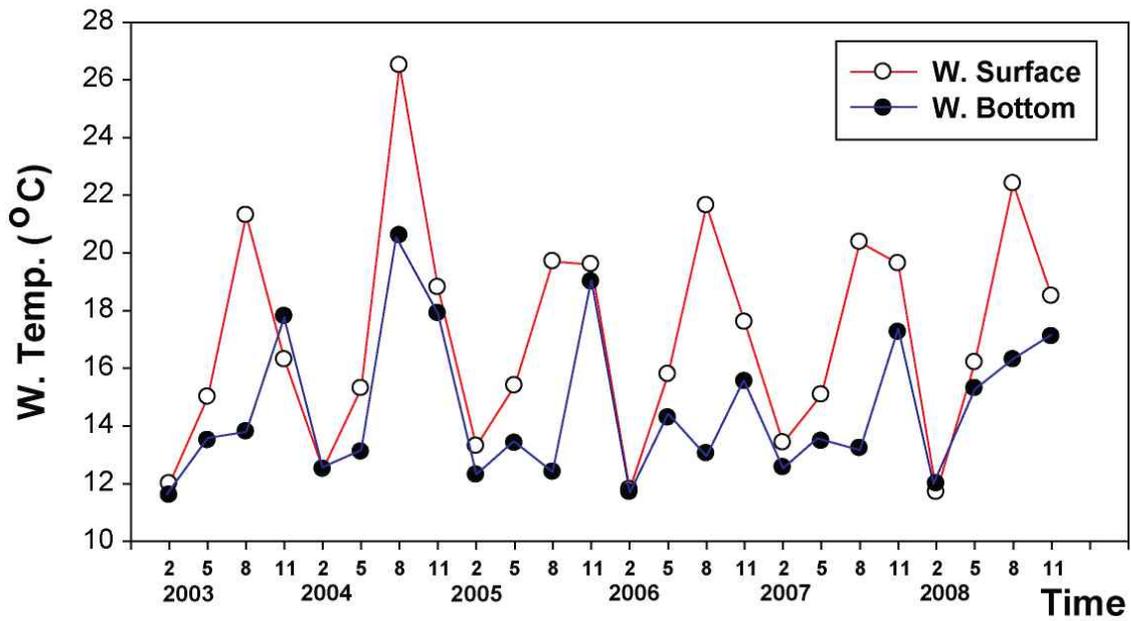
[그림 4-1-24]는 기장 시험 양식장과 가장 가까운 기장연안해구의 3번 정점에서의 2003년부터 2009년까지 2월, 5월, 8월, 11월의 표층과 저층에서의 수온변화를 나타내고 있다. 표층의 경우 12.0 ~ 27.2 °C의 온도분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 11.8 ~ 21.3 °C의 온도변화를 나타내고 있다.

[그림 4-1-25]는 2003년에서 2008까지의 계절별 온도 변화를 나타내고 있는데, 봄(5월)의 경우 표층에서 15 °C ~ 16 °C, 저층에서 13.5 °C ~ 14.8 °C의 분포를 나타내고 있으며, 여름(8월)의 경우, 표층에서 20.8 °C ~ 21.8 °C, 저층에서 12.0 °C ~ 20 °C의 분포를 나타내고 있다. 한편 가을(11월)의 경우는 표층에서 16.2 °C ~ 19.3 °C, 저층에서 15.5 °C ~ 18.8 °C의 온도분포를 나타내고 있으며 겨울(2월)에는 표층에서 11.9 °C ~ 13.3 °C, 저층에서 11.6 °C ~ 12.3 °C의 온도분포를 나타내고 있다.

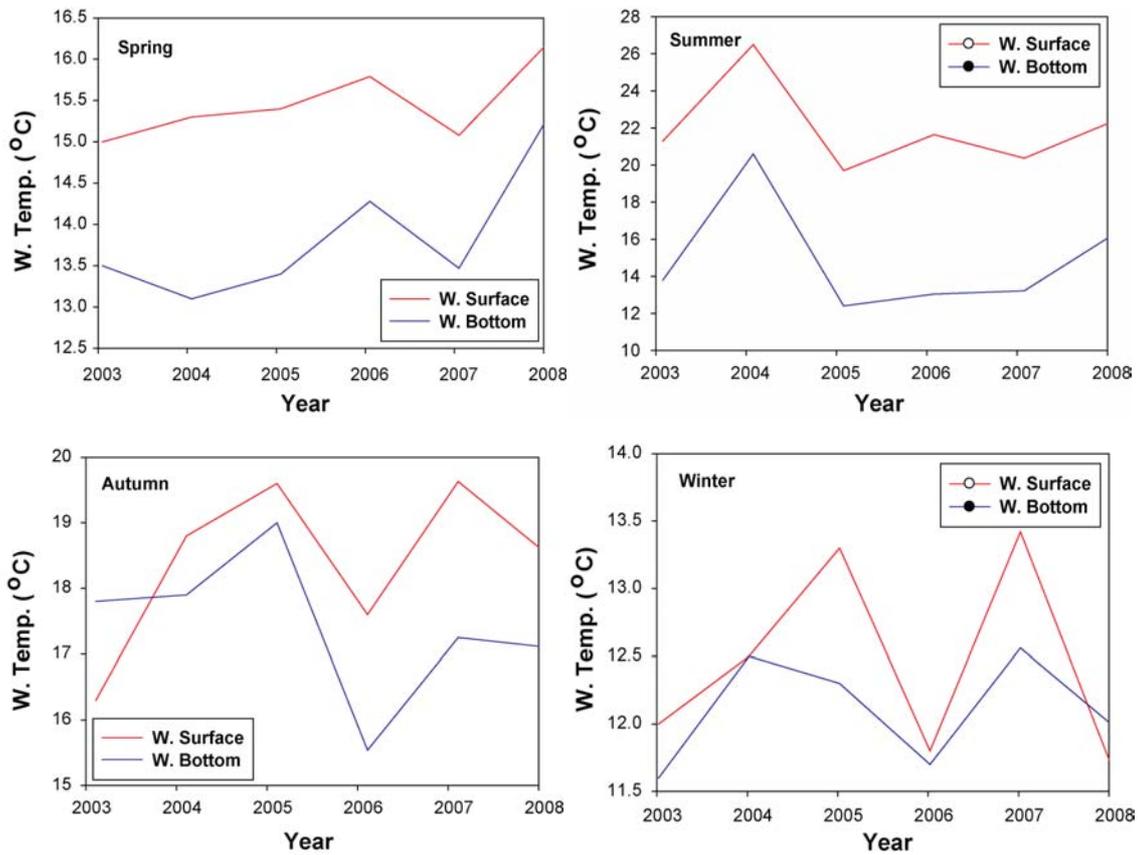
② 완도 시험양식장

[그림 4-1-26]은 완도 시험 양식장과 가장 가까운 완도연안해구의 2번 정점에서의 2003년부터 2009년까지 2월, 5월, 8월, 11월의 표층과 저층에서의 수온변화를 나타내고 있다. 표층의 경우 6.5 ~ 25.0 °C의 온도분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 6.3 ~ 24.1 °C의 온도변화를 나타내고 있다.

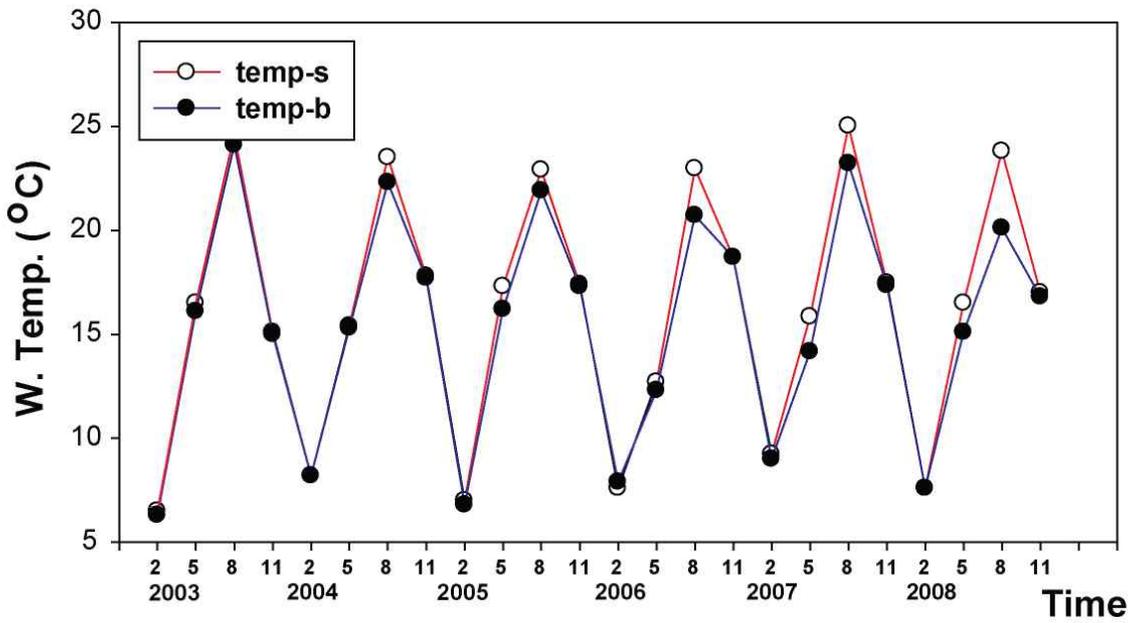
[그림 4-1-27]은 2003년에서 2008까지의 계절별 온도 변화를 나타내고 있는데, 봄(5월)의 경우 표층에서 12.7 °C ~ 17.3 °C, 저층에서 12.3 °C ~ 16.2 °C의 분포를 나타내고 있으며, 여름(8월)의 경우, 표층에서 22.9 °C ~ 25.0 °C, 저층에서 20.1 °C ~ 24.1 °C의 분포를 나타내고 있다. 한편 가을(11월)의 경우는 표층에서 15.1 °C ~ 18.7 °C, 저층에서 15.0 °C ~ 18.7 °C의 온도분포를 나타내고 있으며 겨울(2월)에는 표층에서 6.5 °C ~ 9.2 °C, 저층에서 6.3 °C ~ 9.0 °C의 온도분포를 나타내고 있다.



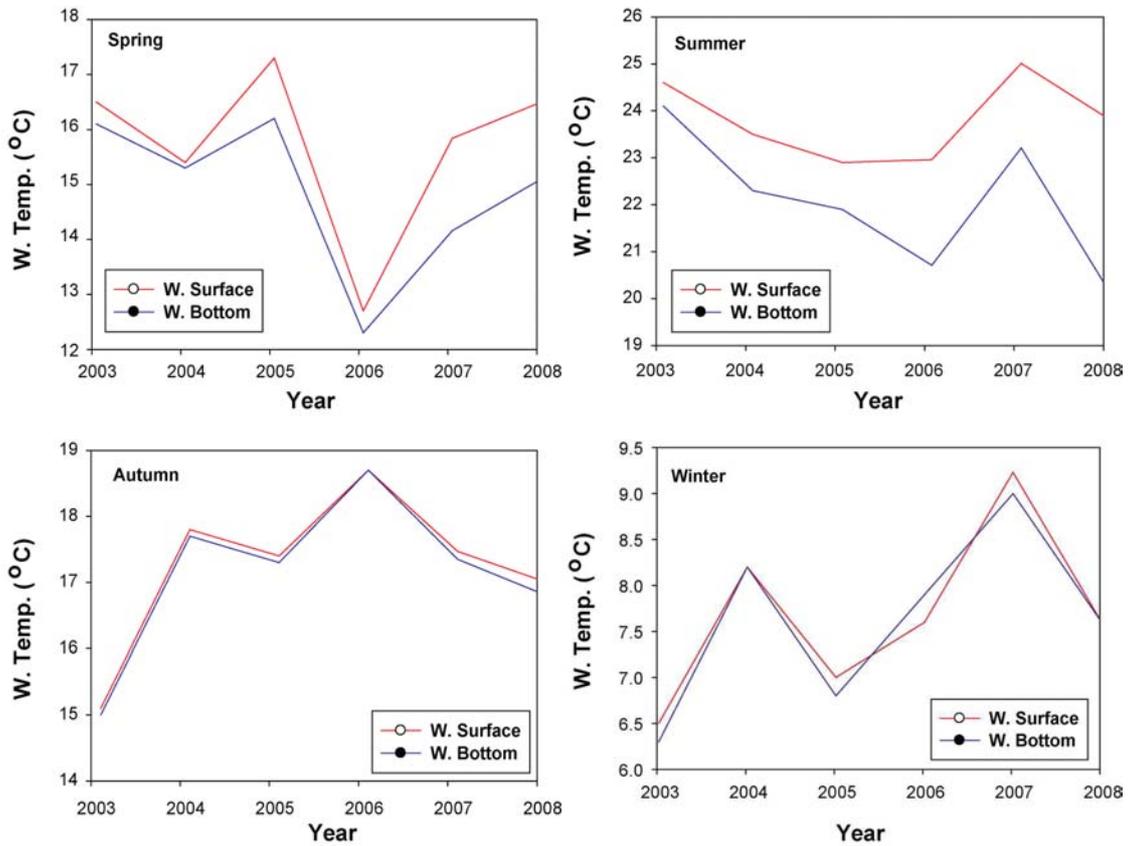
[그림 4-1-24] 기장 시험양식장 인근 수온변화(2003 ~ 2008).



[그림 4-1-25] 기장 시험양식장 인근 계절별 수온변화(2003 ~ 2008).



[그림 4-1-26] 완도 시험양식장 인근 수온변화(2003 ~ 2008).



[그림 4-1-27] 완도 시험양식장 인근 계절별 수온변화(2003 ~ 2008).

(나) 염분

염분은 수온에 비해 해역별로 큰 변화를 보이지 않는다. 따라서 해조류의 성장에 수온보다는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 특정 시기의 급격한 염분변화는 분명 해조류의 성장에 심각한 영향을 미칠 가능성이 높다. 따라서 수온과 마찬가지로 두 해역의 염분변화를 조사하였다.

① 기장 시험양식장

[그림 4-1-28]은 국가해양환경측정망 자료 중, 기장 시험 양식장과 가장 가까운 기장연안해구의 3번 정점에서의 2003년부터 2009년까지 2월, 5월, 8월, 11월의 표층과 저층에서의 염분변화를 나타내고 있다. 표층의 경우 32.5 ~ 34.46 %의 염분분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 32.8 ~ 34.7 %의 염분분포를 나타내고 있다.

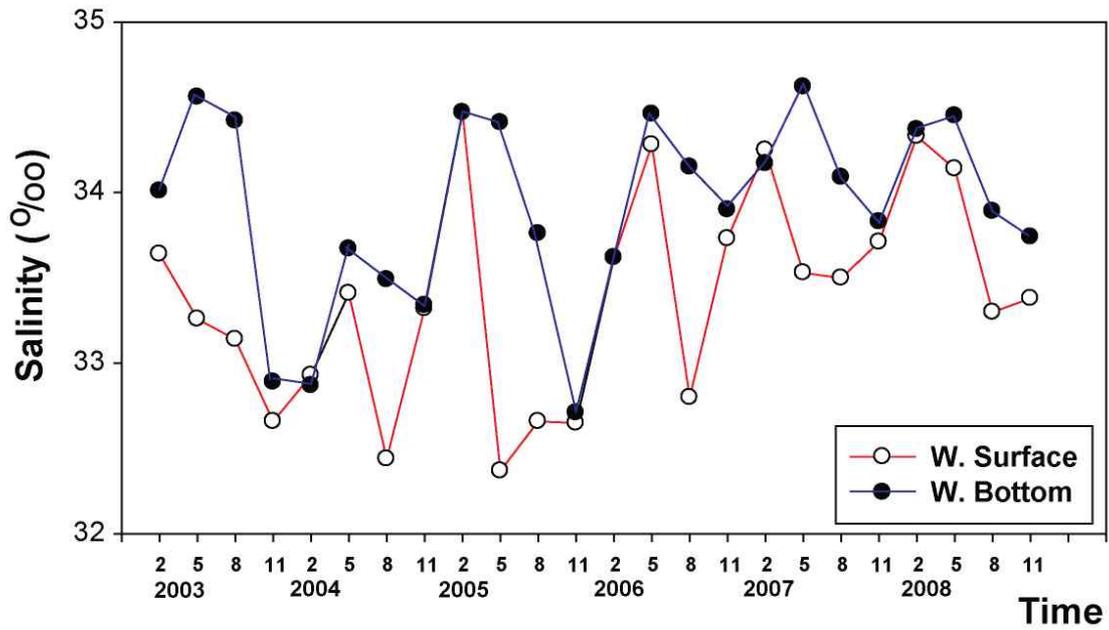
[그림 4-1-29]는 2003년에서 2008까지의 계절별 염분 변화를 나타내고 있는데, 봄(5월)의 경우 표층에서 32.3 % ~ 34.2 %, 저층에서 33.7 % ~ 34.5 %의 분포를 나타내고 있으며, 여름(8월)의 경우, 표층에서 32.3 % ~ 33.4 %, 저층에서 33.5 % ~ 34.2 %의 분포를 나타내고 있다. 한편 가을(11월)의 경우는 표층에서 32.7 % ~ 33.7 %, 저층에서 32.78 % ~ 33.9 %의 염분분포를 나타내고 있으며 겨울(2월)에는 표층에서 32.9 % ~ 34.5 %, 저층에서 32.8 °C ~ 34.5 °C의 염분분포를 나타내고 있다.

② 완도 시험양식장

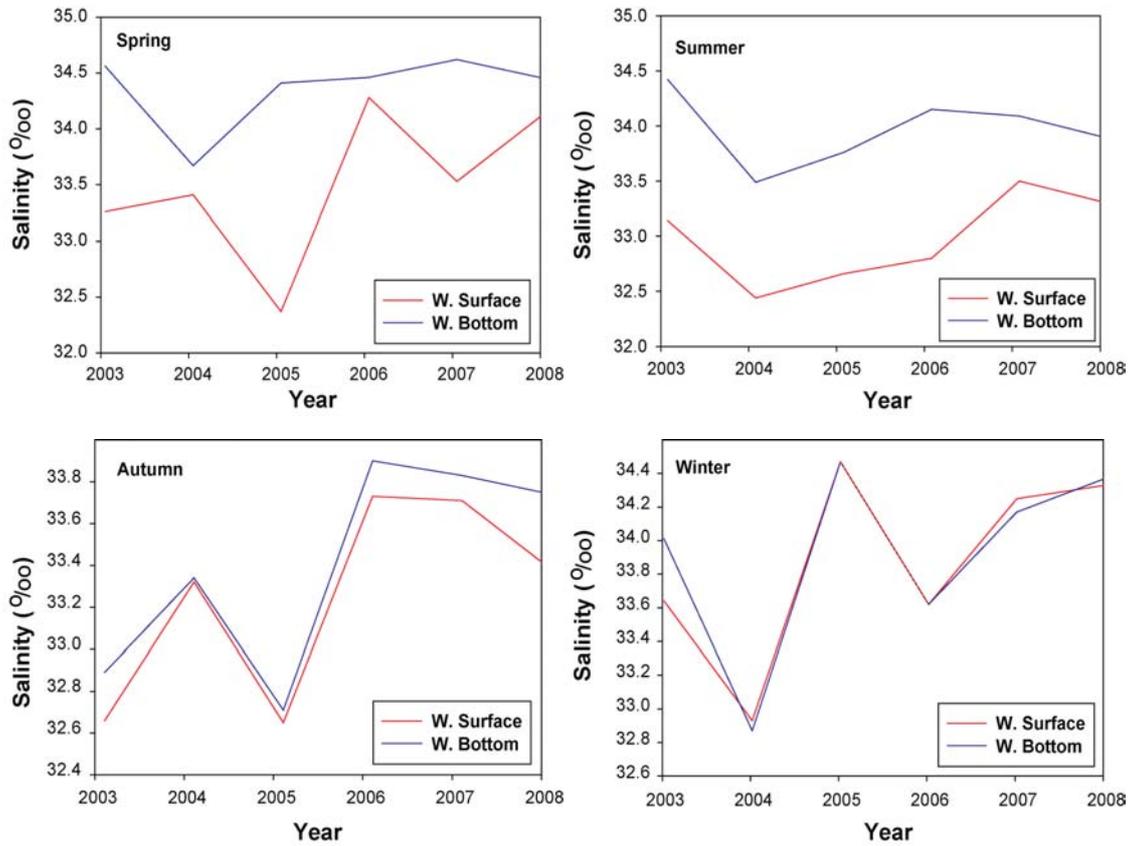
[그림 4-1-30]은 국가해양환경측정망 자료 중, 완도 시험 양식장과 가장 가까운 완도연안해구의 2번 정점에서의 2003년부터 2009년까지 2월, 5월, 8월, 11월의 표층과 저층에서의 염분변화를 나타내고 있다. 표층의 경우 31.3 ~ 34.47 %의 염분분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 31.5 ~ 34.47 %의 염분분포를 나타내고 있다.

[그림 4-1-31]은 2003년에서 2008까지의 계절별 염분 변화를 나타내고 있는데, 봄(5월)의 경우 표층에서 32.4 % ~ 34.1 %, 저층에서 32.7 % ~ 36.1 %의 분포를 나타내고 있으며, 여름(8월)의 경우, 표층에서 30.6 % ~ 34.2 %, 저층에서 30.9 % ~ 34.3 %의 분포를 나타내고 있다. 한편 가을(11월)의 경우는 표층에서 30.6 % ~ 34.2 %, 저층에서 30.9 % ~ 34.3 %의 염분분포를 나타내고 있으며 겨울(2월)에는 표층에서 33.6 % ~ 34.5 %, 저층에서 33.7 °C ~ 34.5 °C의 염분분포를 나타내고 있다.

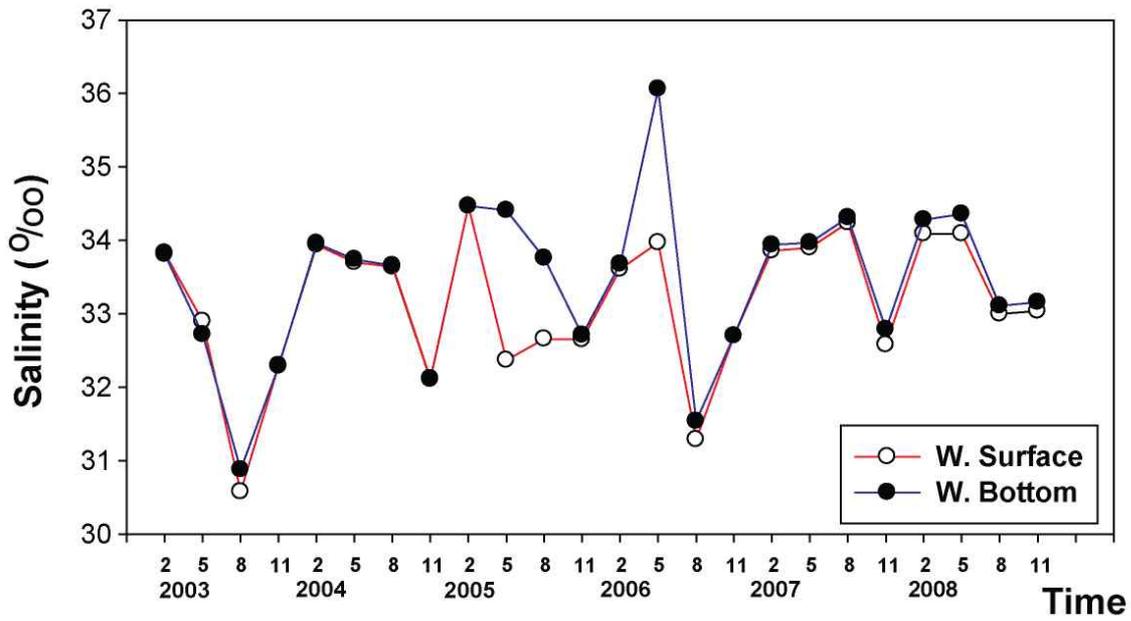
기장보다는 완도해역이 표층과 저층의 염분변화가 적으며, 봄을 제외한 나머지 계절에서는 일정한 변화를 보인다.



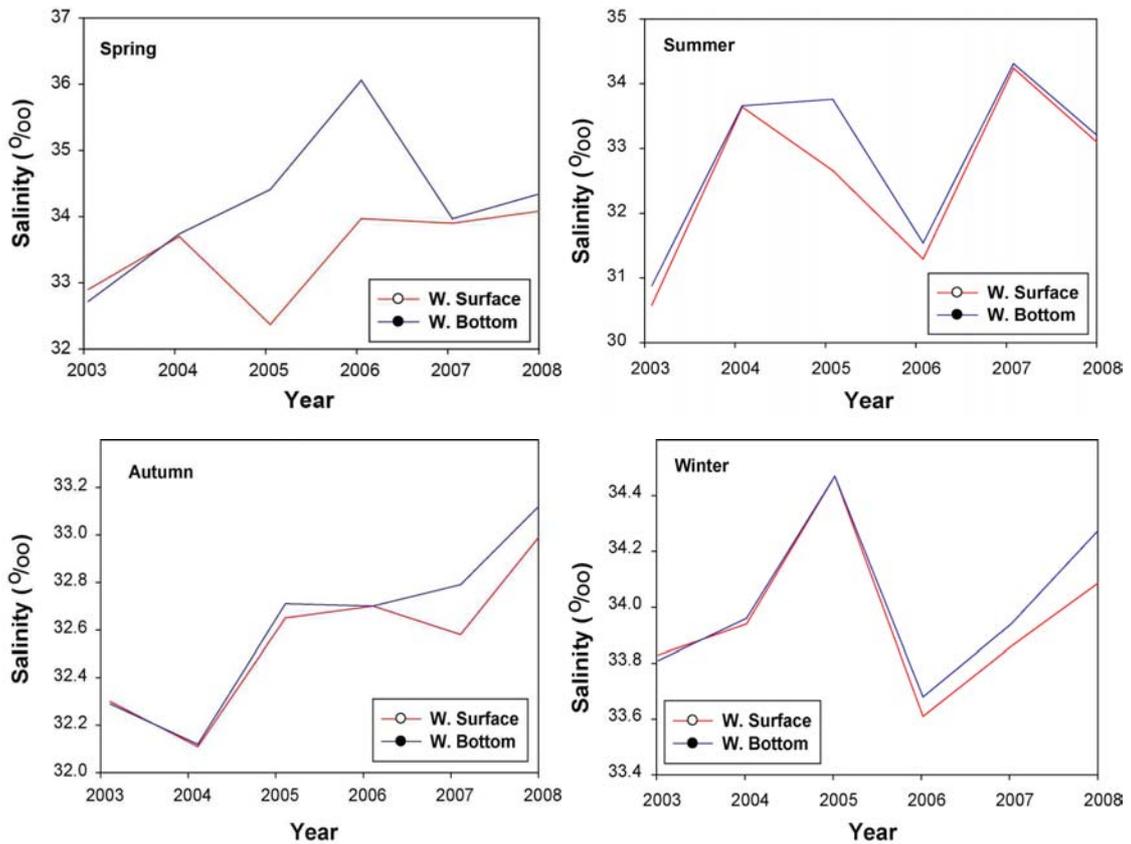
[그림 4-1-28] 기장 시험양식장 인근 염분변화(2003 ~ 2008).



[그림 4-1-29] 기장 시험양식장 인근 계절별 염분변화(2003 ~ 2008).



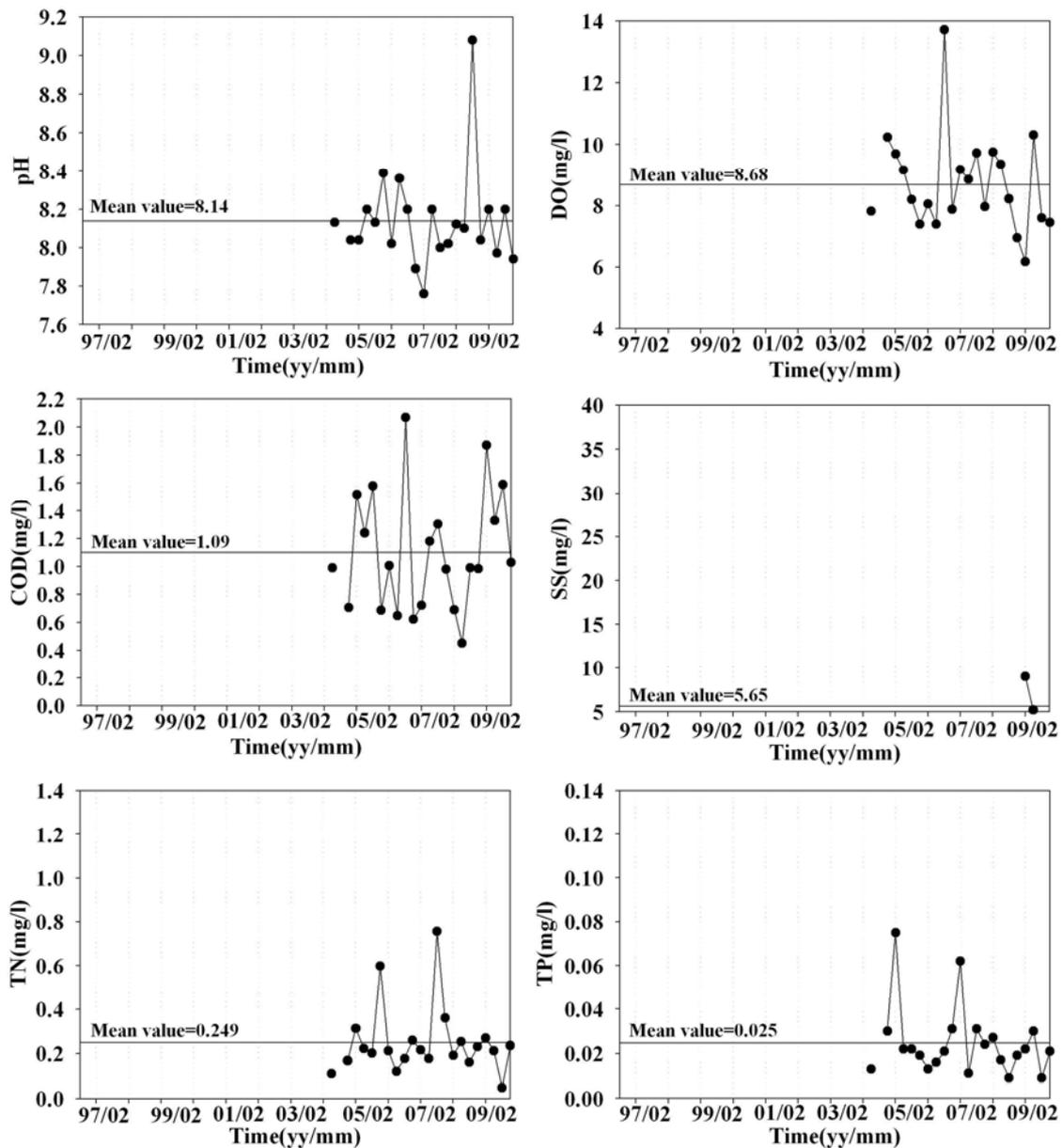
[그림 4-1-30] 완도 시험양식장 인근 염분변화(2003 ~ 2008).



[그림 4-1-31] 완도 시험양식장 인근 계절별 염분변화(2003 ~ 2008).

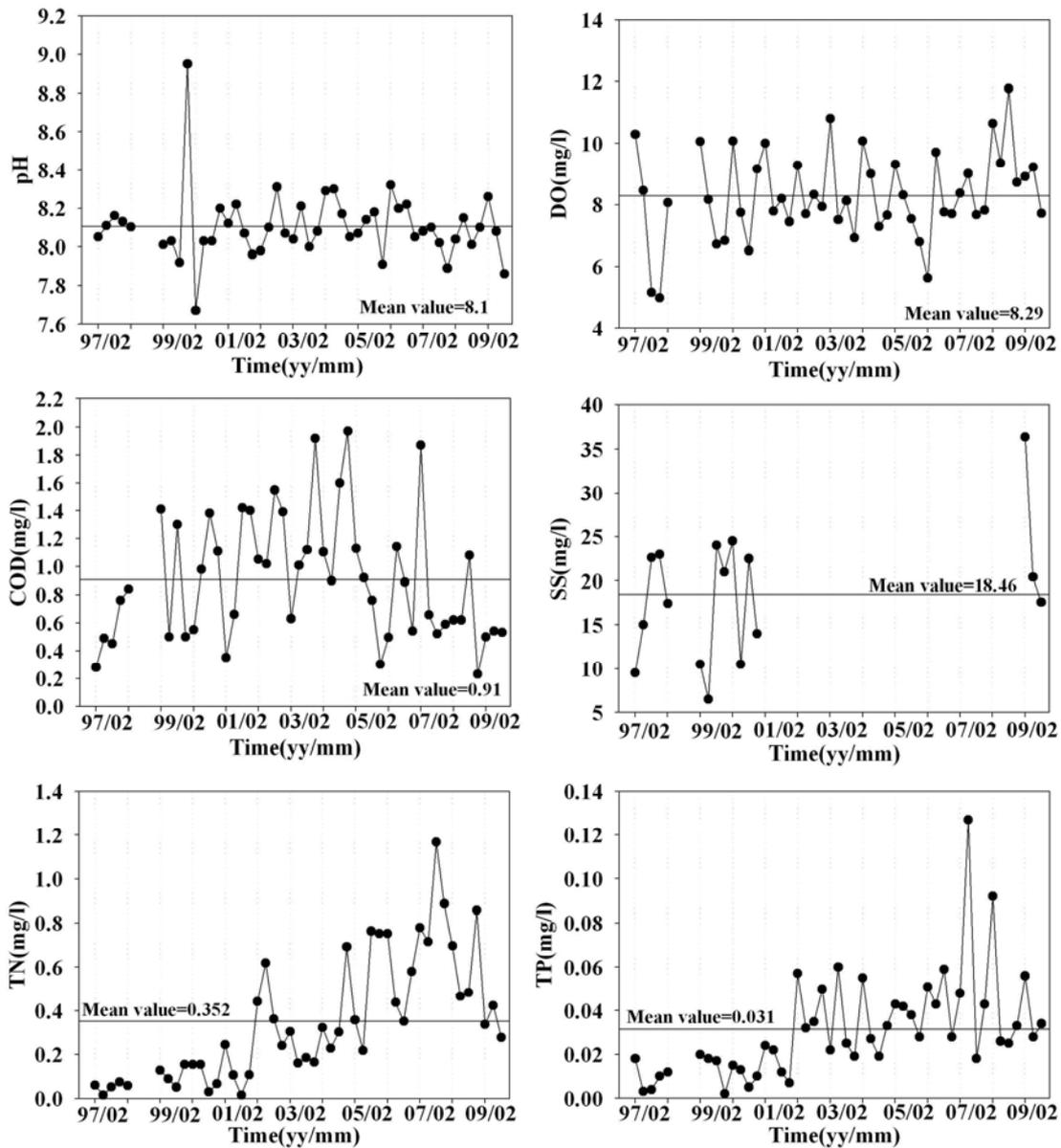
(다) 수질의 경년변동

6개의 수질 항목 pH, DO, COD, SS, TN, TP에 대하여 2003년 11월부터 2009년 2월까지의 기장 해역의 수질 특성을 조사하였다. 관측시기별 값들을 산술평균하여 계산한 평균치는 각각 8.14, 8.68, 1.09, 5.65, 0.249, 0.025 이며, 2005년 2월의 COD와 DO값이 평균보다 높게 나타난 것을 제외하고는 대부분의 값이 큰 변화를 보이지 않고 있다. TN, TP의 경우도 안정적으로 기장해역에 분포하고 있는 것으로 생각된다([그림 4-1-32]).



[그림 4-1-32] 기장해역의 수질 경년변동.

같은 방법으로 1997년 2월부터 209년 2월까지 완도의 수질 항목을 조사하였다. 관측시기별 값들을 산술평균한 평균치는 pH 8.1, DO 8.29, COD 0.91, SS 18.46, TN 0.352, TP 0.031이다([그림 4-1-33]). 기장해역과 비교하면 PH, DO, COD가 완도해역이 상대적으로 낮지만, TN, TP는 높다. 또한, SS가 기장보다 탁월하게 높게 나타난 것은 갯벌이 잘 발달된 서남해안 연안의 특성 때문인 것으로 생각된다. 또 하나 특징적인 것은 1990년대 후반보다 2000년 초반의 TN, TP양이 증가하는 것은 육지로부터 많은 영양염류가 공급되고 있음을 보여준다.



[그림 4-1-33] 완도해역의 수질 경년변동.

나. 양식시설의 설계환경인자 분석 및 해석(수치시뮬레이션)

(1) 파랑변형 수치모의

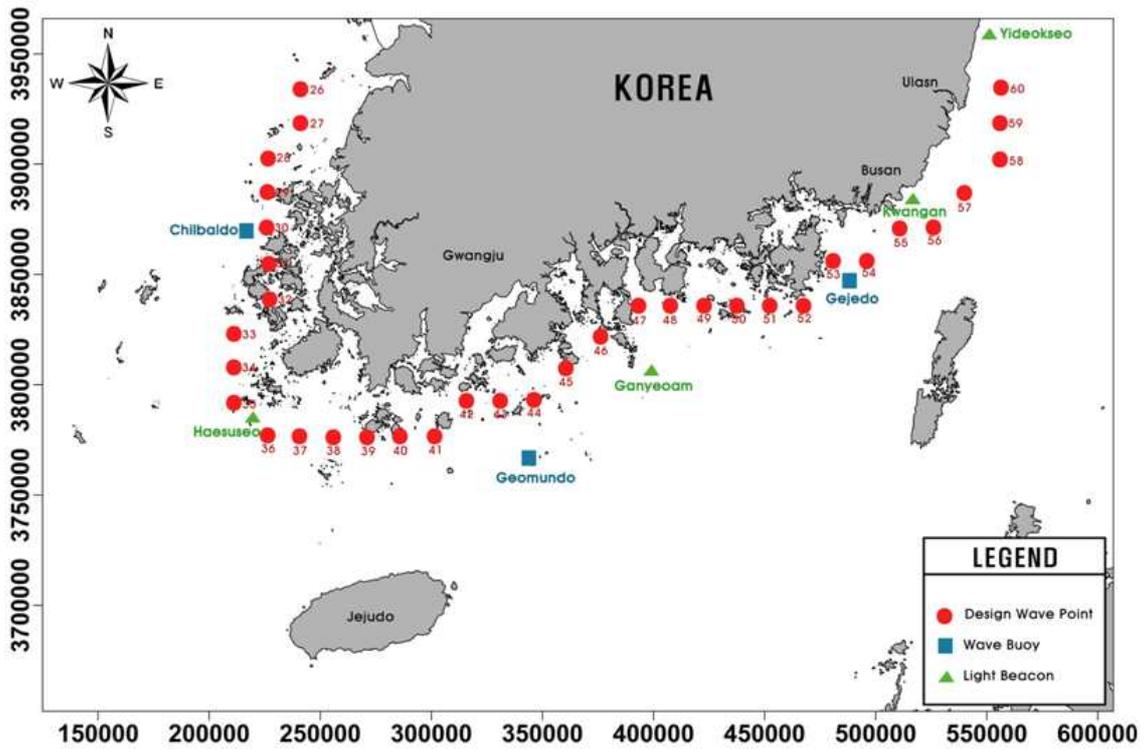
(가) 심해설계파

연구수행을 위하여 우리나라 연안에서 2005년 12월 한국해양연구원의 [2]'의 설계파 정점을 나타낸 것이 [그림 4-1-34]이다. 각 연안의 격자점 및 기상청에서 매 시간 조사하고 있는 파랑부이, 등표 정점을 같이 도시하였다. 대상으로 하는 기장 및 완도의 설계파 격자점을 나타낸 것이 [그림 4-1-35]이다. 기장의 경우 격자점 57, 58, 59의 값을 사용하였으며, 완도의 경우 39, 40, 41, 42, 43의 격자점을 이용하였다. 기장의 경우 설계파고가 5~12 m사이에 나타났으며, 완도 해역의 경우도 5~11 m사이에 나타났다. 특히 남, 남동, 남남동 등 남방향계열의 설계파고가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이에 대한 상세한 값을 나타낸 것이 [표 4-1-8]과 [표 4-1-9]이다. 각 격자점에서 방향별로 큰 값을 적용심해 설계파고 산정하여 계산을 수행하였다.

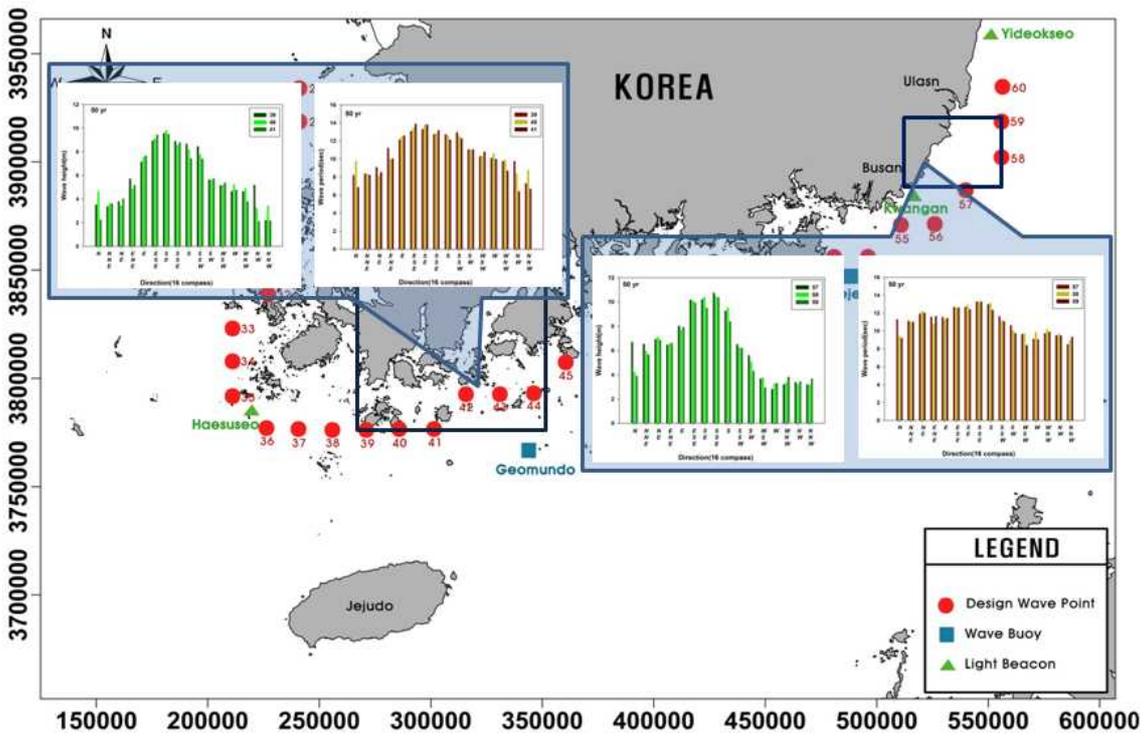
각 파랑수치실험 대상해역의 입사파랑경계의 입력값은 기장해역의 경우 연안격자점 57, 58, 59의 설계파 제원을 동남동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서의 총 7개의 대표파향 심해파랑조건을 입력값으로 사용하였다. 완도해역이 경우 39, 40, 41, 42, 43의 설계파제원을 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서총 5개 대표파향 심해파랑조건에 대해서 수치실험을 하였다.

각 실험조건에 대한 수위는 기장의 경우 고리의 약최고고저면(H.W.L)계측값인 0.83 m, 평균해면(M.S.L) 계측값인 0.41 m을 고려하였다. 또한 완도 해역의 경우 완도 및 초도에서 관측되어진 값을 사용하였는데, 약최고고저면(H.W.L)계측값인 3.84 m, 평균해면(M.S.L) 계측값은 1.92 m를 고려하였다([그림 4-1-36]~[그림 4-1-37]).

기장 해역 및 완도 해역의 설계파 산출을 위하여 계산된 영역은 [그림 4-1-38]과 [그림 4-1-39]이다. 각 해역의 계산 격자 및 수심도를 나타내고 있다. 수심데이터는 최신 해도(No. 202, 221a, 232, 142)를 사용하였다. 기장의 경우 주변에 섬도 존재하지 않고 단순한 해안선을 가지고 있으며, 해안선과 평행하게 수심이 발달하고 있다. 계산해역에서 수심이 가장 깊은 곳이 170 m로 나타났다. 완도해역의 경우는 복잡한 해안선을 가지고 있으며, 특히 많은 섬들이 차폐영역을 형성하고 있다. 또한 수심도 최대 50m 정도로 나타나고 있다.



[그림 4-1-34] 심해설계와 산출 격자점, 부이 및 등표 관측점.



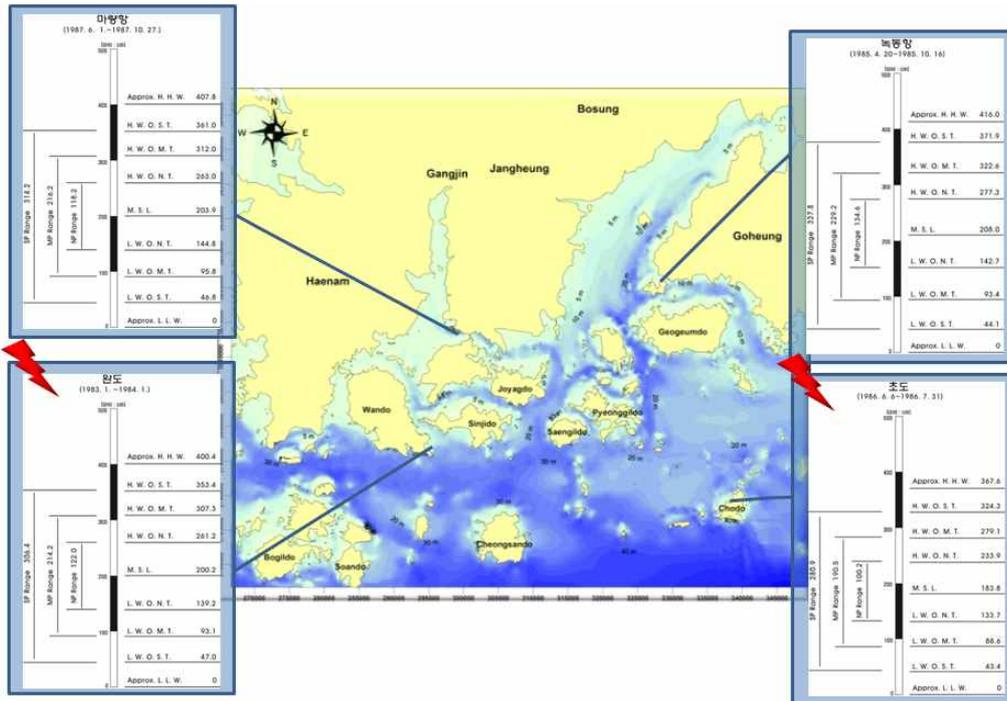
[그림 4-1-35] 대상해역의 심해설계파.

[표 4-1-8] 기장해역 적용심해설계파

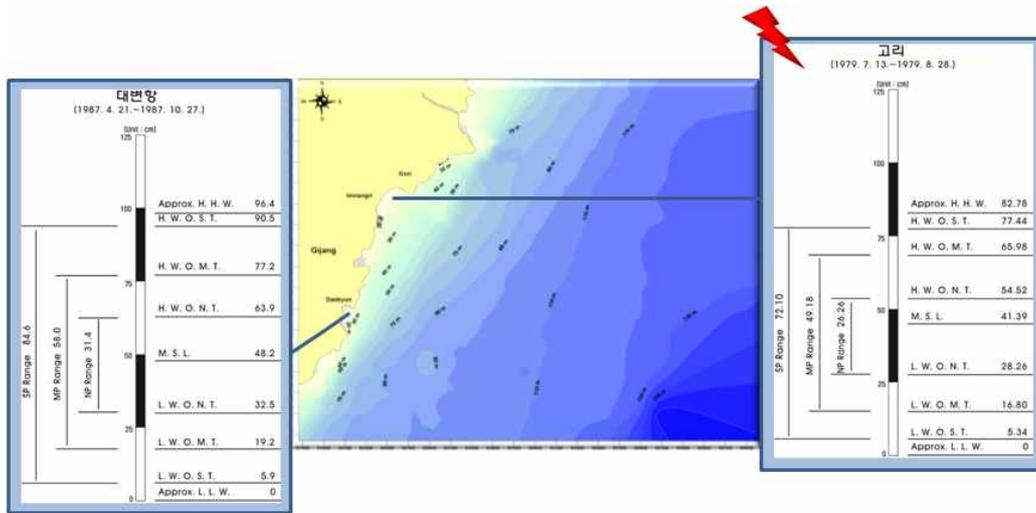
구분	격자 파향	57		58		59		적용심해설계파	
		파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)
50년	ENE	6.48	11.59	6.60	10.83	6.61	11.67	6.61	11.67
	E	8.04	11.54	7.73	11.25	7.94	11.45	8.04	11.54
	ESE	10.18	12.67	10.10	12.63	9.96	12.62	10.18	12.67
	SE	10.21	12.68	10.44	12.91	9.50	12.43	10.44	12.91
	SSE	10.76	13.30	10.47	13.25	10.37	13.29	10.76	13.30
	S	9.28	12.99	9.54	13.16	8.39	12.36	9.54	13.16
	SSW	6.51	11.66	6.26	11.21	6.21	11.08	6.51	11.66

[표 4-1-9] 완도해역 적용심해설계파

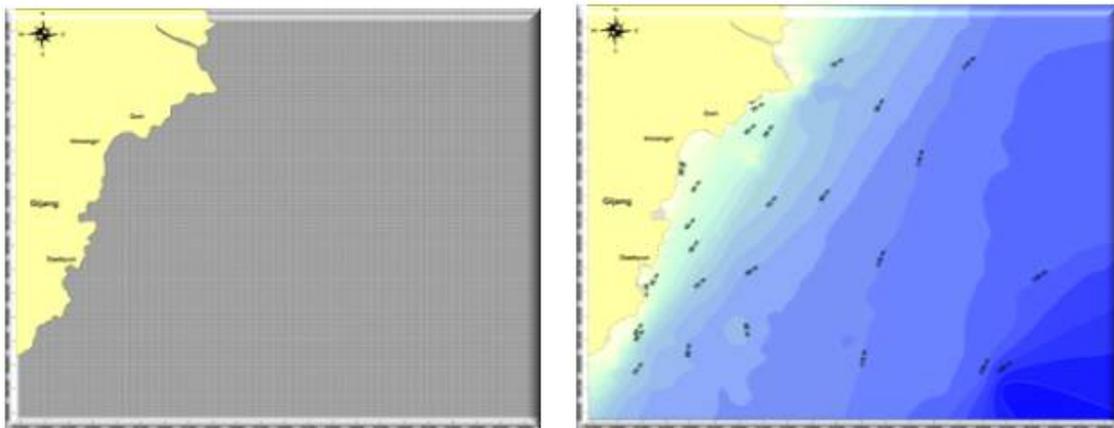
구분	격자 파향	39		40		41		42'		43'		44'		적용심해설계파	
		파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)										
50년	SE	9.57	13.32	9.82	13.81	9.51	13.82	10.36	14.74	10.63	14.99	11.03	15.30	11.03	15.30
	SSE	8.91	12.76	8.58	12.82	8.79	13.20	9.65	14.04	9.89	14.37	9.92	14.19	9.92	14.19
	S	8.67	12.74	8.20	12.62	7.45	12.15	8.59	13.12	8.17	13.02	8.18	13.14	8.67	12.74
	SSW	8.45	12.96	7.78	12.56	7.42	12.29	7.61	12.41	7.03	12.14	6.93	12.15	8.45	12.96
	SW	5.65	11.06	5.62	11.04	5.75	11.06	5.41	10.66	5.62	11.05	5.31	10.79	5.75	11.06



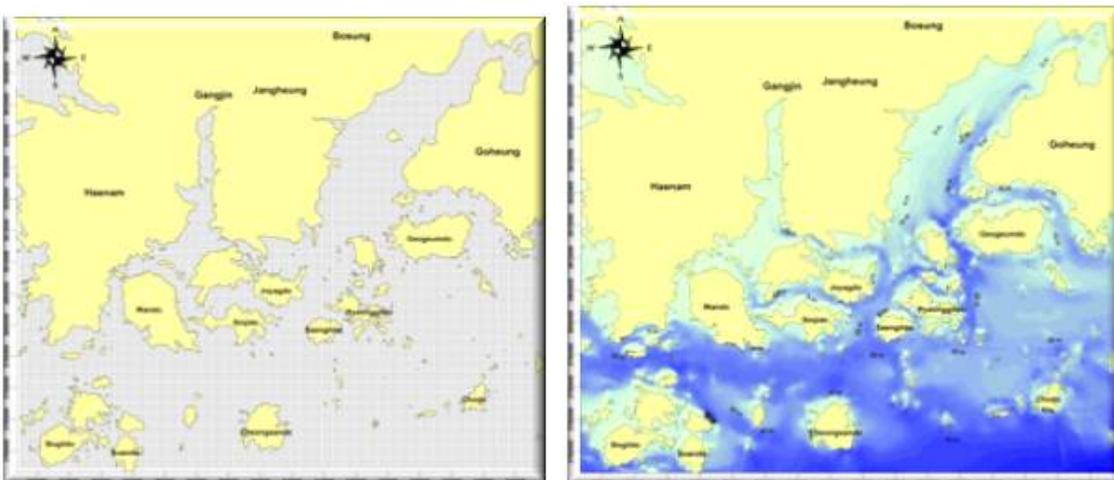
[그림 4-1-36] 완도해역 주변의 조위도.



[그림 4-1-37] 기장해역 주변의 조위도.



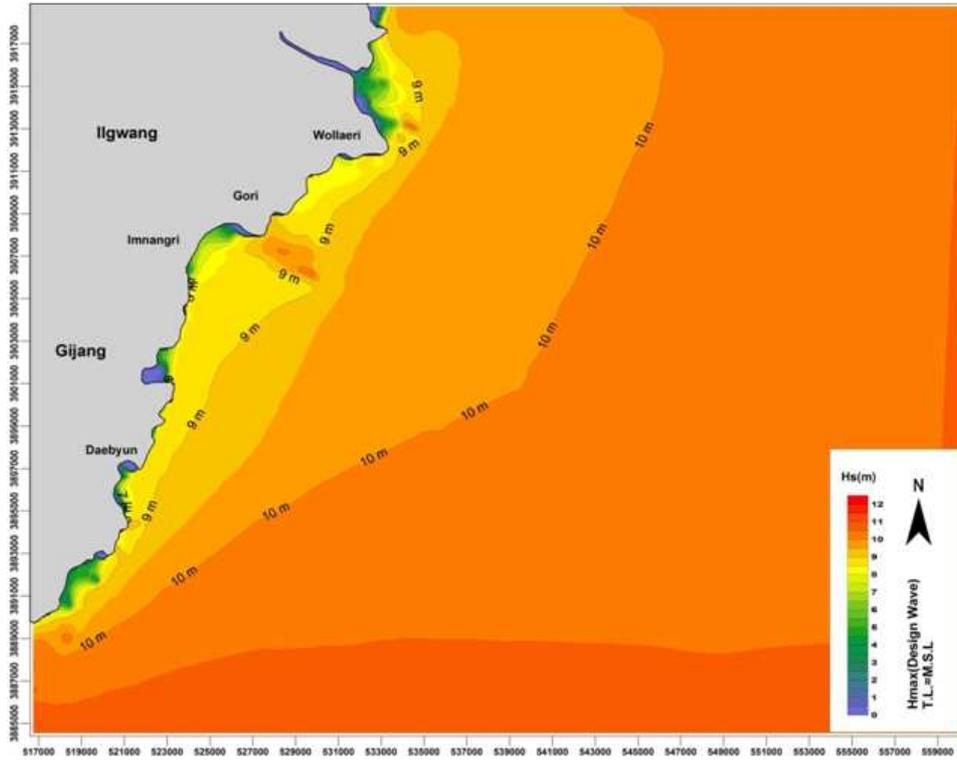
[그림 4-1-38] 기장해역의 계산격자 및 수심도.



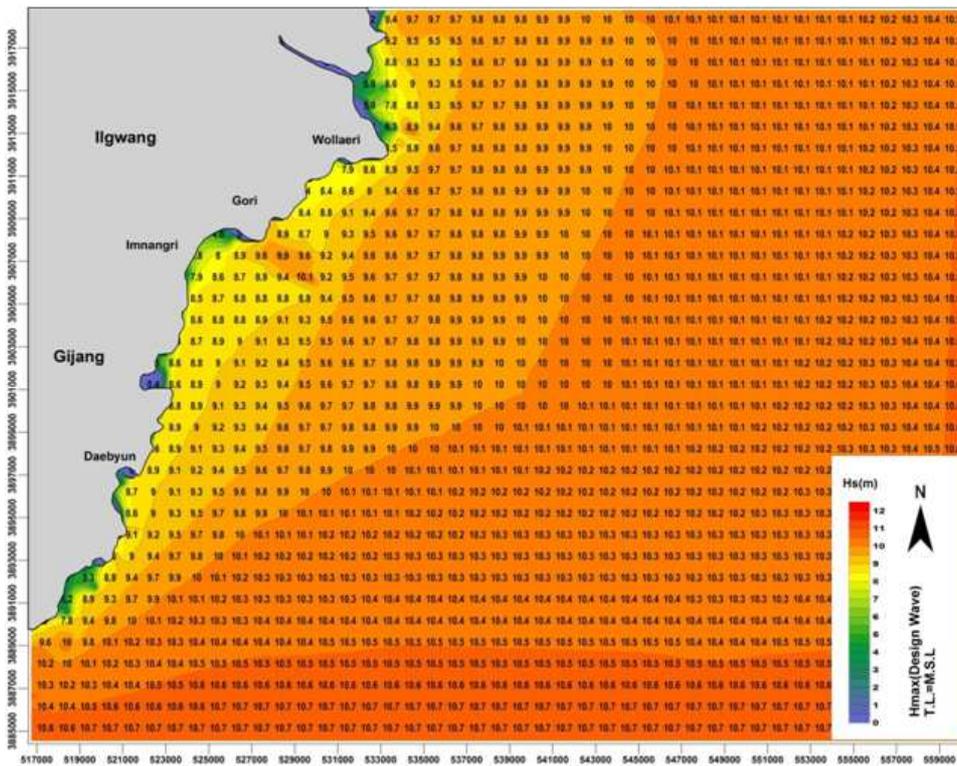
[그림 4-1-39] 완도해역의 계산격자 및 수심도.

기장해역의 각각의 방향에 대한 심해설계파 자료에서 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 4-1-40]과 [그림 4-1-41]이다. 이는 평균해면과 약최고고조위이다. 기장해역의 경우 수심이 파고에 비하여 상대적으로 깊으므로 평균해면과 약최고고조위의 값의 차이가 거의 나타나지 않았다. 결과에서 남동으로부터 입사한 파랑조건에서는 외해에서 최대 11 m 이상의 파고가 산출되었다. 특히 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 인해 주변보다 큰 파고가 분포하였다.

완도해역의 각각의 방향에 대한 심해설계파 자료에서 평균해면 및 약최고고조위에 대한 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 4-1-42]와 [그림 4-1-43]이다. 완도해역의 경우 수심의 변화가 심하여 평균해면과 약최고고조위의 값이 대상지역 전역에서 약 0.3 m의 값이 나타났다. 결과에서 남동으로부터 입사한 파랑에서 외해에서 최대 10.5 m 이상의 파고가 산출되었다. 특히 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하였다. 평길도와 생길도 전면해역에서 4~5 m의 최대 심해설계파가 나타났다

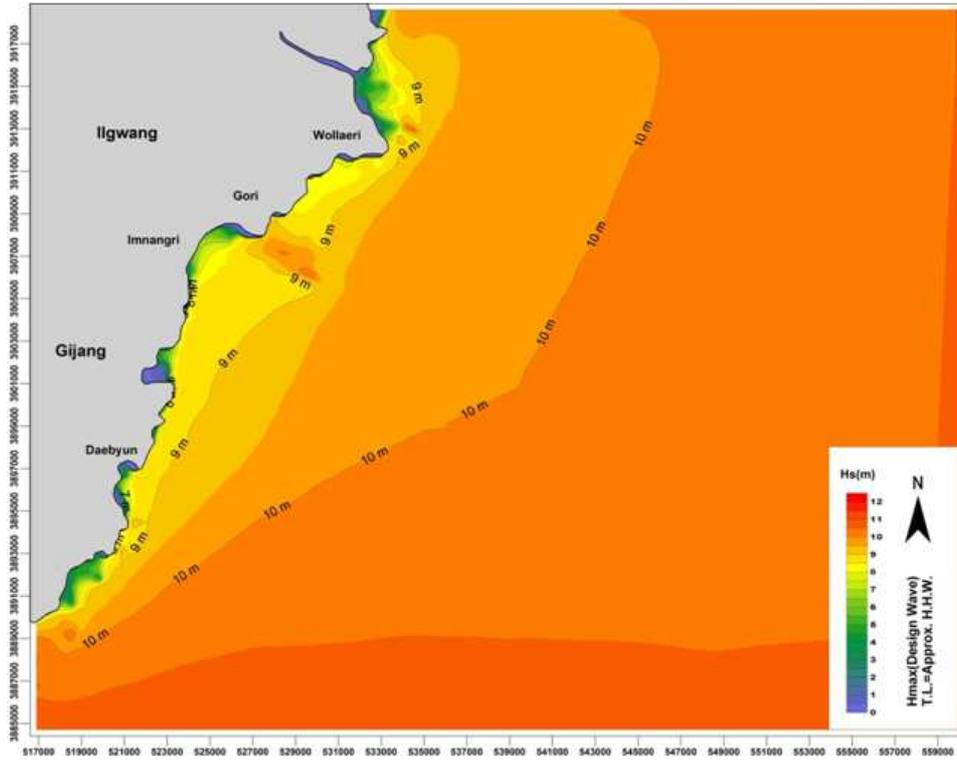


(a) 최대 심해설계파 등파고선도

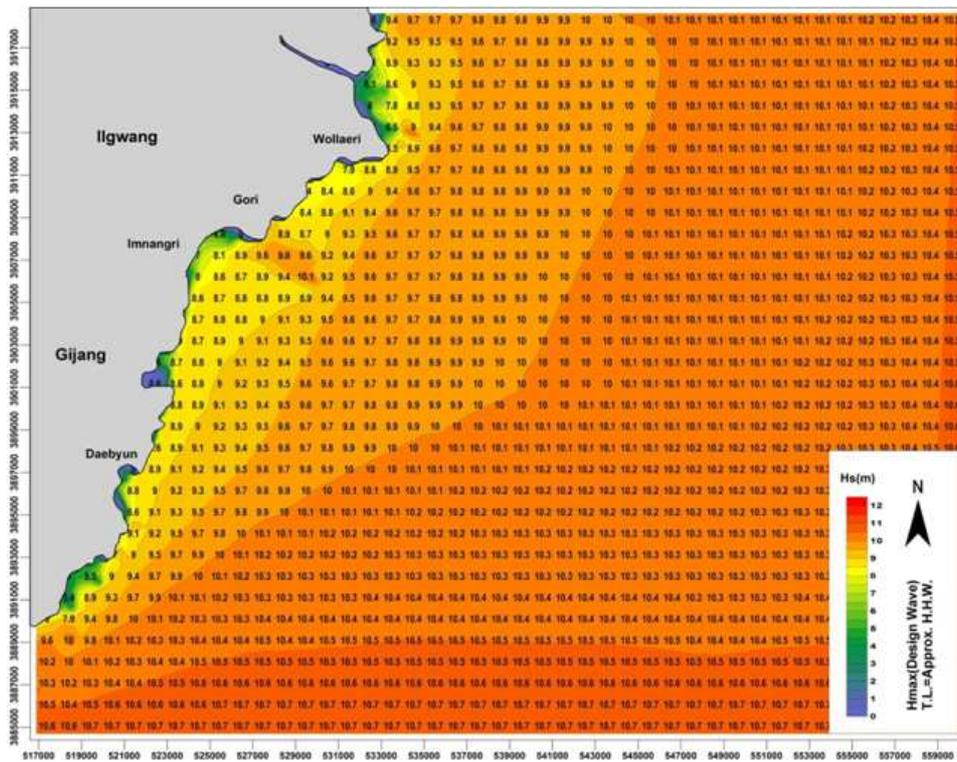


(b) 최대 심해설계파

[그림 4-1-40] 기장해역 최대 심해설계파(평균해면).

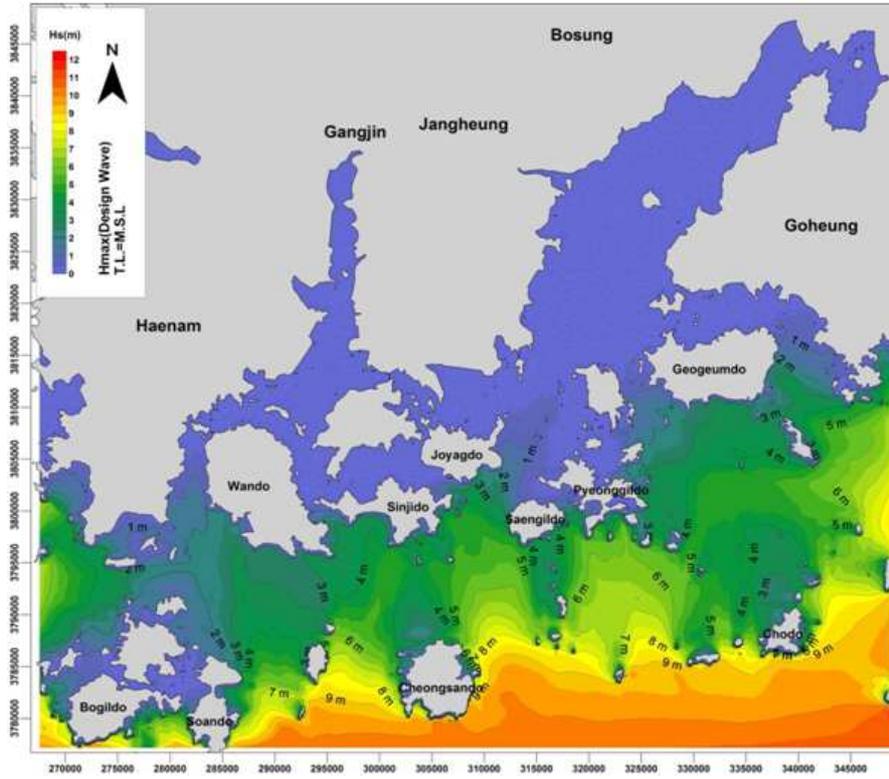


(a) 최대 심해설계파 등파고선도

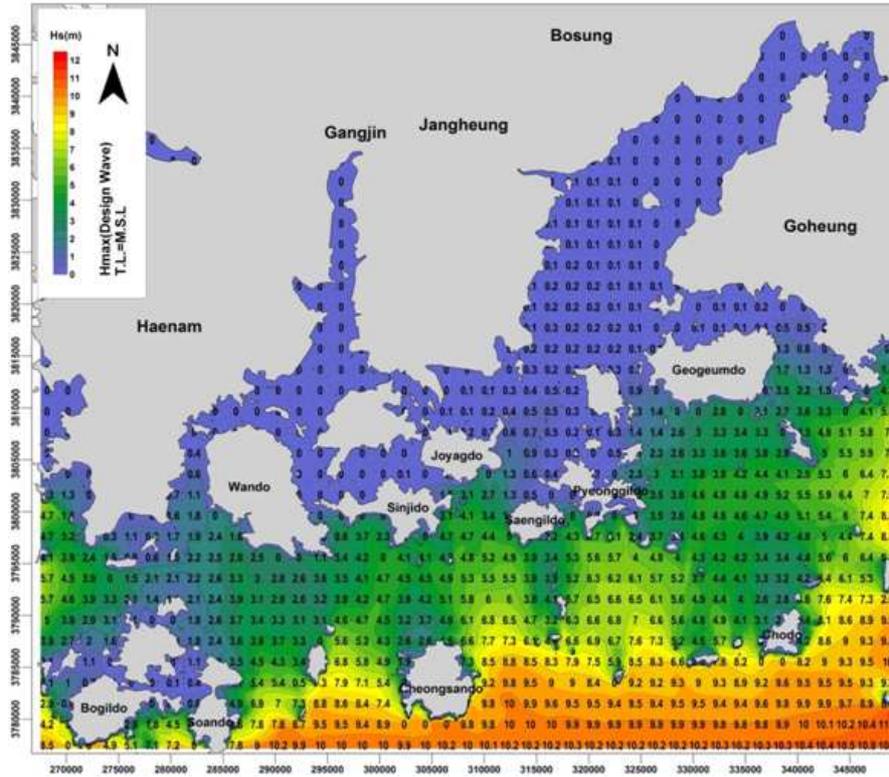


(b) 최대 심해설계파

[그림 4-1-41] 기장해역 최대 심해설계파(약최고고조위).

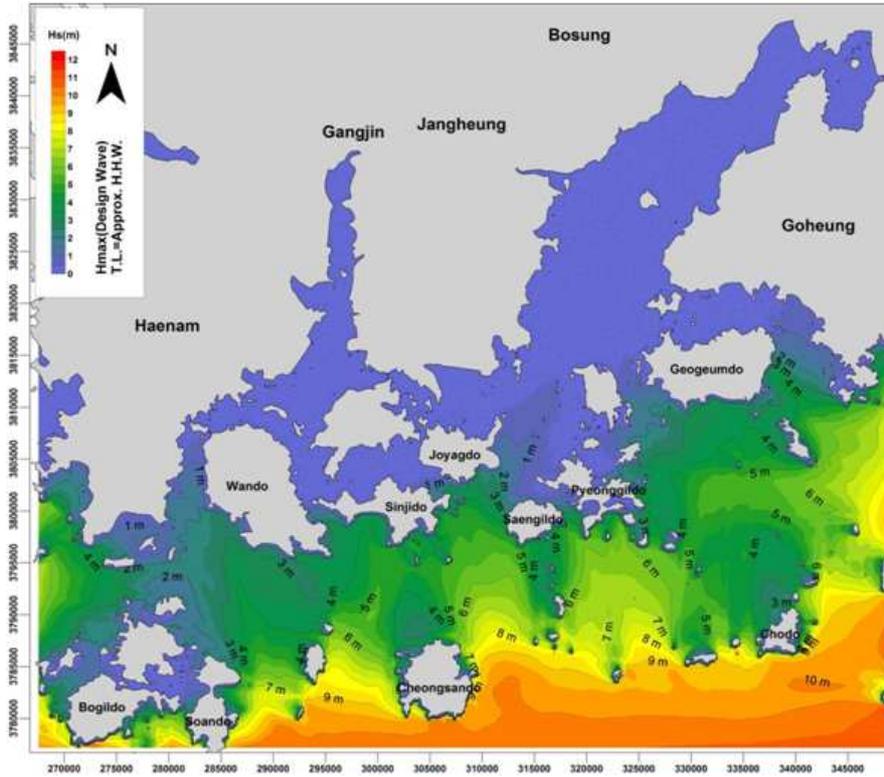


(a) 최대 심해설계파 등파고선도

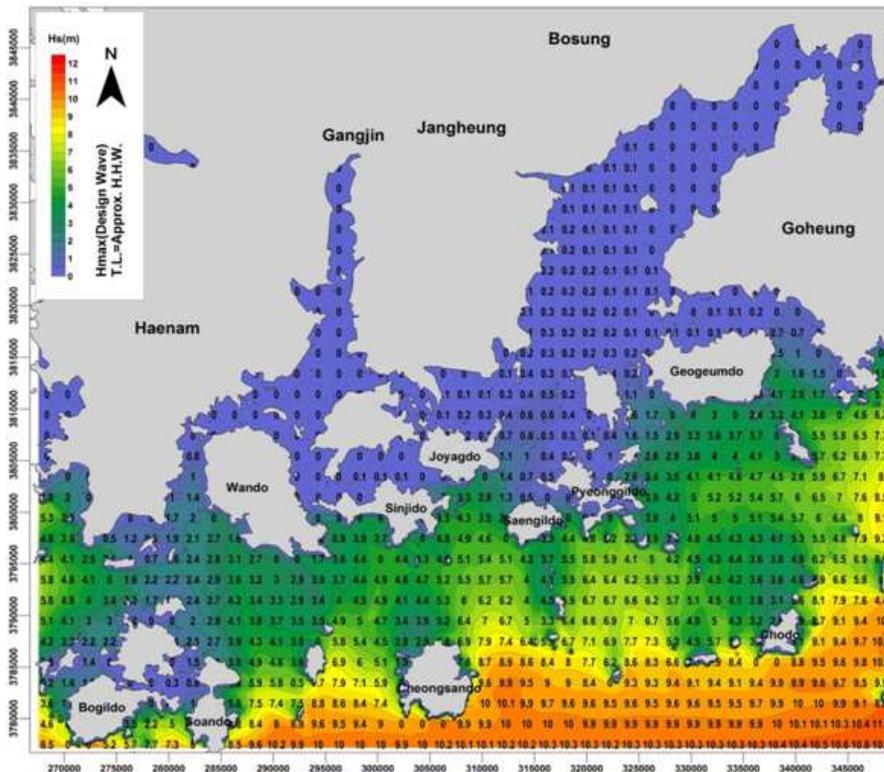


(b) 최대 심해설계파

[그림 4-1-42]완도해역 최대 심해설계파(평균해면).



(a) 최대 심해설계파 등파고선도



(b) 최대 심해설계파

[그림 4-1-43] 완도해역 최대 심해설계파(약최고고조위).

(나) 평상파

평상파 수치모형실험의 계산영역을 나타낸 것이 [그림 4-1-44]이다. 평상파 수치모형실험 영역은 해양부이 관측소를 포함하는 해역으로서 설계파 실험 영역보다 넓은 해역이다. [6]의 자료 중 해양부이 관측소는 거제도 및 거문도이며, 관측기간은 2001년 1월 ~ 2010년 12월의 자료를 사용하였다([표 4-1-10]).

각 파랑수치실험 대상해역의 입사파랑경계의 입력값은 [표 4-1-9]에서 소개하고 있다. 연중 자료에서 동계(12월~3월) 및 하계(6월~9월)의 자료를 사용하였다. 그리고 대표적인 파향 중 유의파고가 가장 큰 값으로 결정하였으며, 바람의 경우 유의파고가 결정된 시간의 값으로 결정하였다. 그리고 관측소에서 바람의 경우 센서가 2개이기 때문에 2개의 값이 계속되었다. 2개의 값이 큰 차이는 없으나 그 중 큰 값을 사용하였다. 동계 및 하계에서 3개의 주 파향을 결정하였으며, 이에 따른 각각의 값을 기술한 것이 [표 4-1-10]이다.

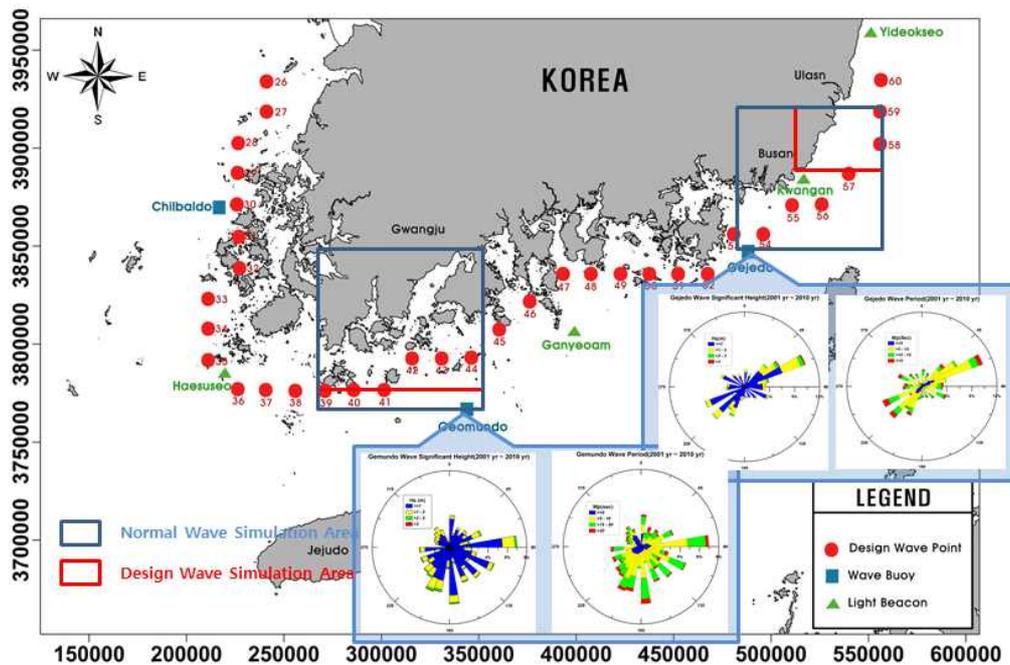
[표 4-1-10] 완도 및 기장해역 적용한 평상파

거문도	바람(W1)		바람(W2)		유의파고(m)	유의파주기(sec)	파향(°)
	풍속(m/s)	풍향(°)	풍속(m/s)	풍향(°)			
하계	25.7	56.0	25.9	54.0	4.2	11.8	90.0
	13.3	281.0	12.1	286.0	3.9	9.1	123.0
	15.2	178.0	15.0	182.0	6.0	10.7	213.0
동계	12.7	63.0	12.7	62.0	2.7	8.0	83.0
	7.4	264.0	7.4	257.0	4.2	9.1	178.0
	16.7	57.0	16.6	62.0	3.3	6.4	221.0

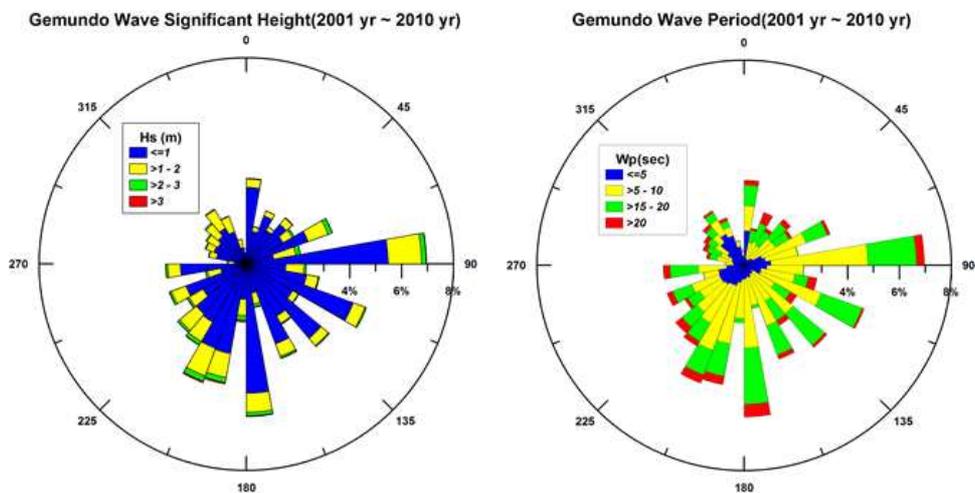
거제도	바람(W1)		바람(W2)		유의파고(m)	유의파주기(sec)	파향(°)
	풍속(m/s)	풍향(°)	풍속(m/s)	풍향(°)			
하계	16.5	30.0	17.5	25.0	3.8	8.0	51.0
	11.4	119.0	11.2	118.0	3.8	10.7	215.0
	7.9	167.0	8.1	178.0	3.8	10.7	208.0
동계	14.2	38.0	14.5	43.0	3.9	8.0	47.0
	16.1	48.0	16.3	41.0	4.8	9.1	58.0
	15.2	197.0	15.3	201.0	3.5	8.0	235.0

해양부이 관측소(거문도, 거제도)의 10년간 자료를 분석하여 나타낸 것이 [그림 4-1-45]와 [그림 4-1-46]이다. [그림 4-1-45]는 거문도 관측소의 결과이며, [그림 4-1-46]

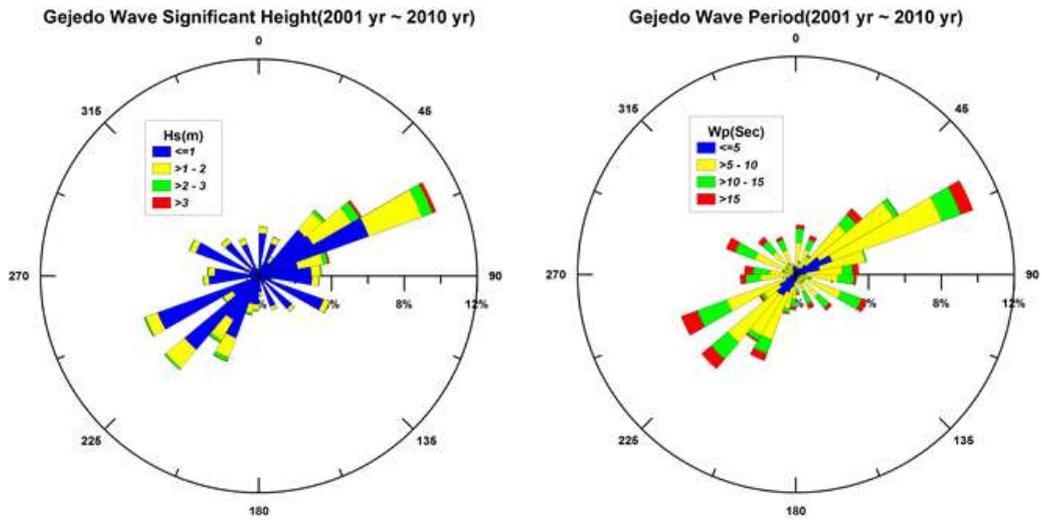
은 거제도 관측소 결과이다. 거문도의 경우 파고가 1 m이하가 대부분으로 나타났으며, 입사파향이 동, 남이 두드러지게 나타났다. 그리고 유의파 주기가 5~20 sec가 대부분이었으며, 동에서 입사하는 파랑보다 남에서 입사하는 파랑이 주기가 큰 것으로 나타났다. 거제도의 경우 입사하는 파향이 동북동과 남서 계열이 주된 흐름으로 나타났으며, 동북동 입사파랑이 남서 입사파랑보다 빈도수도 많았고 유의파고도 대체적으로 크게 나타났다. 유의파주기의 경우 장주기파랑이 남서계열에서 빈도수가 크게 나타났다.



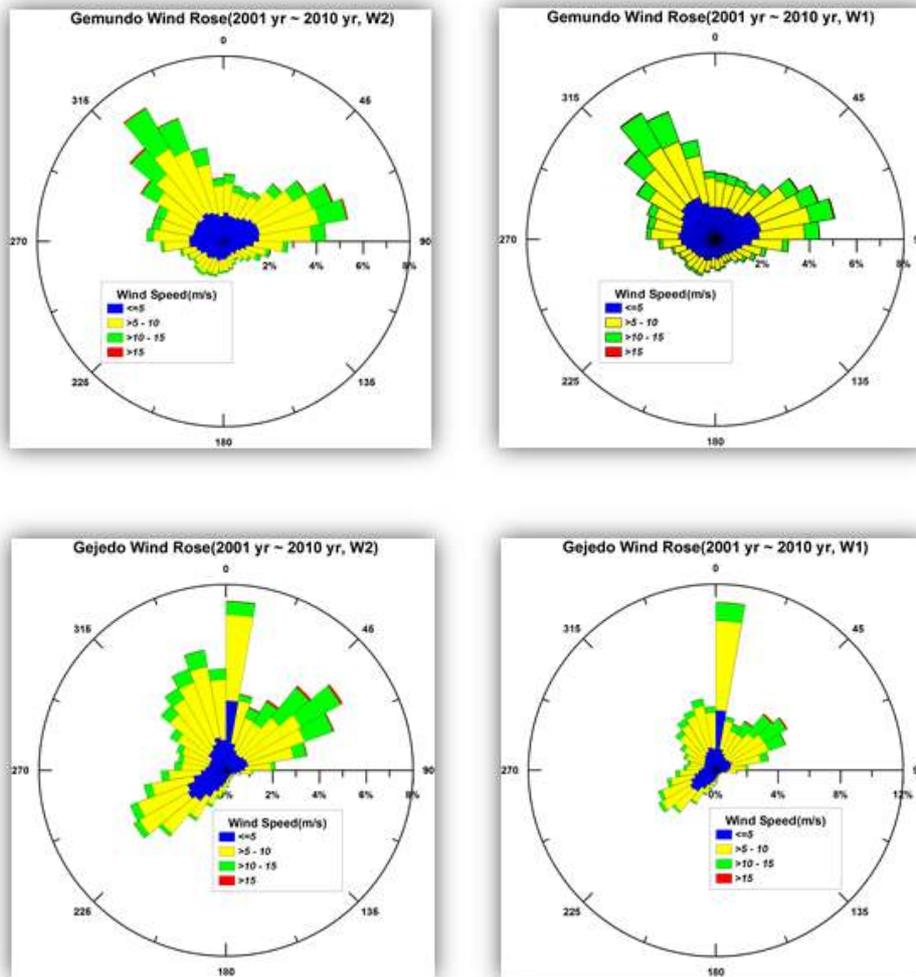
[그림 4-1-44] 해양부이 관측소 위치 및 계산영역.



[그림 4-1-45] 거문도 관측소 유의파고 및 유의파주기 분포도.

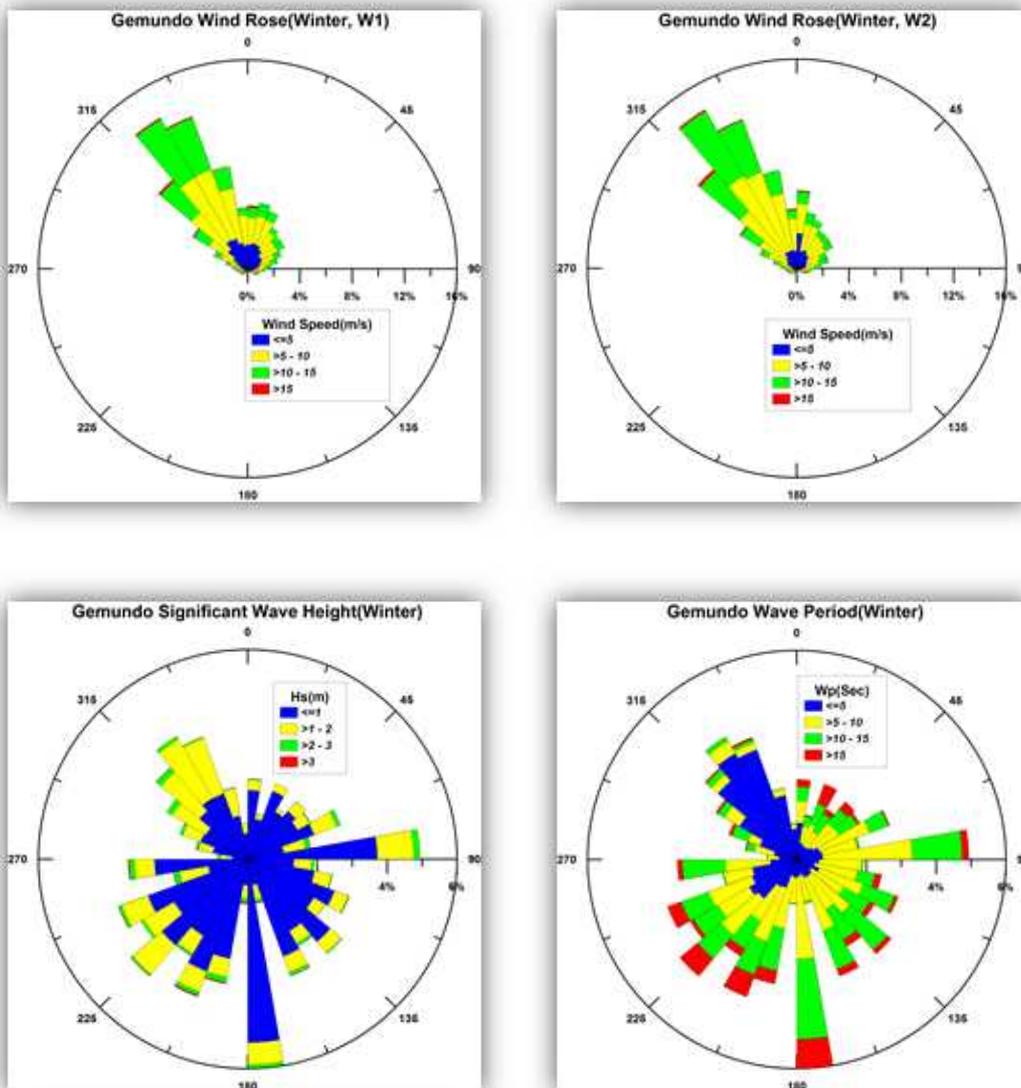


[그림 4-1-46] 거제도 관측소 유의파고 및 유의파주기 분포도.



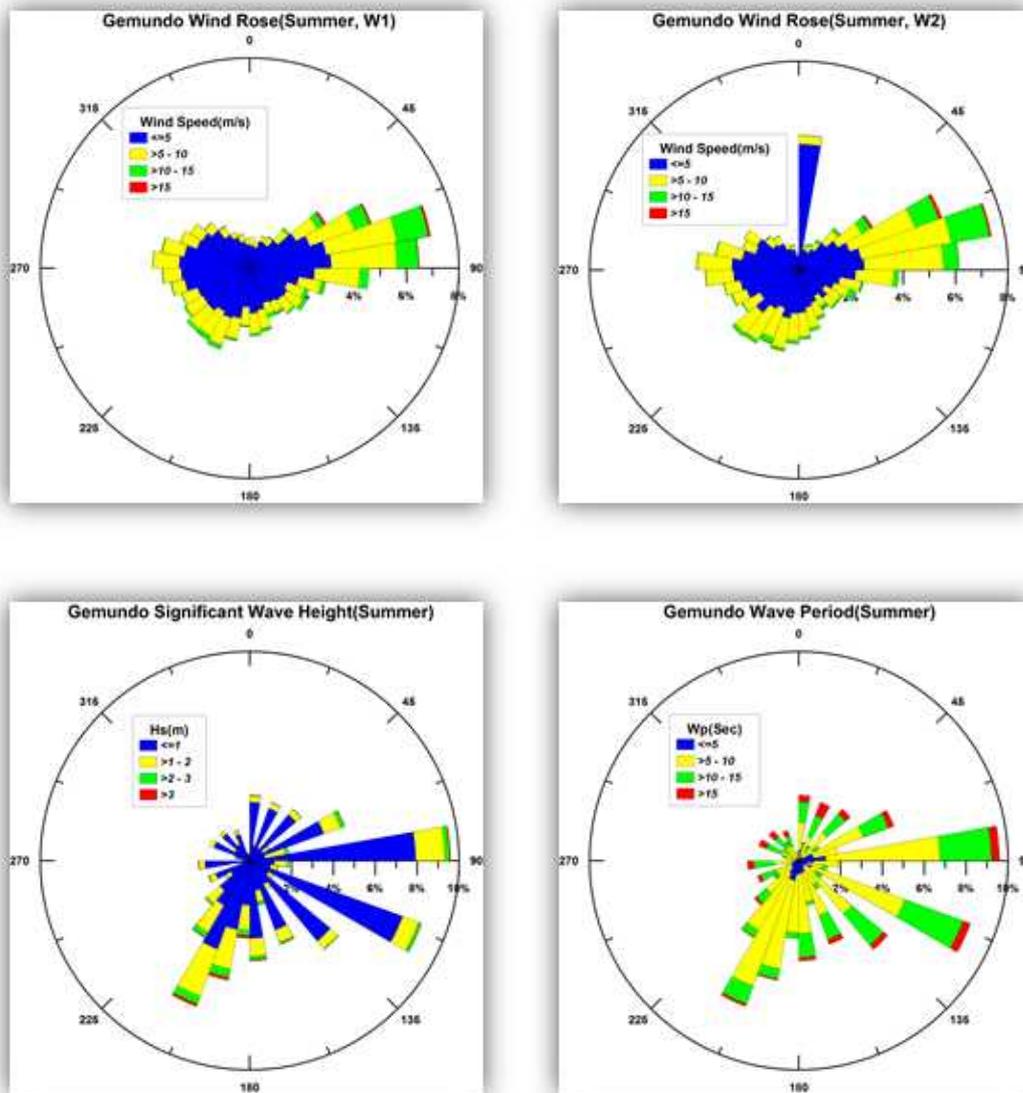
[그림 4-1-47] 해양관측소 바람장미도((상) 거문도, (하)거제도).

해양관측소에서 관측된 바람의 바람장미도를 나타낸 것이 [그림 4-1-47]이다. 거문도의 경우 북서계열의 풍향이 두드러졌고, 거제도의 경우 북서 및 동북계열의 풍향이 두드러졌다. 풍속은 2곳 동일하게 5~10 m/s가 주를 이루었으며, 거문도에서 거제도보다 큰 풍속이 나타났다. 거문도 해양관측소에서 동계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 4-1-48]이다. 하계의 경우 북서계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~15 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 남측에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를 이루었고, 유의파주기의 경우 북서에서 입사하는 파랑보다 남측에서 입사하는 파랑이 주기가 긴 것으로 나타났다.



[그림 4-1-48] 거문도 관측소의 동계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고·주기).

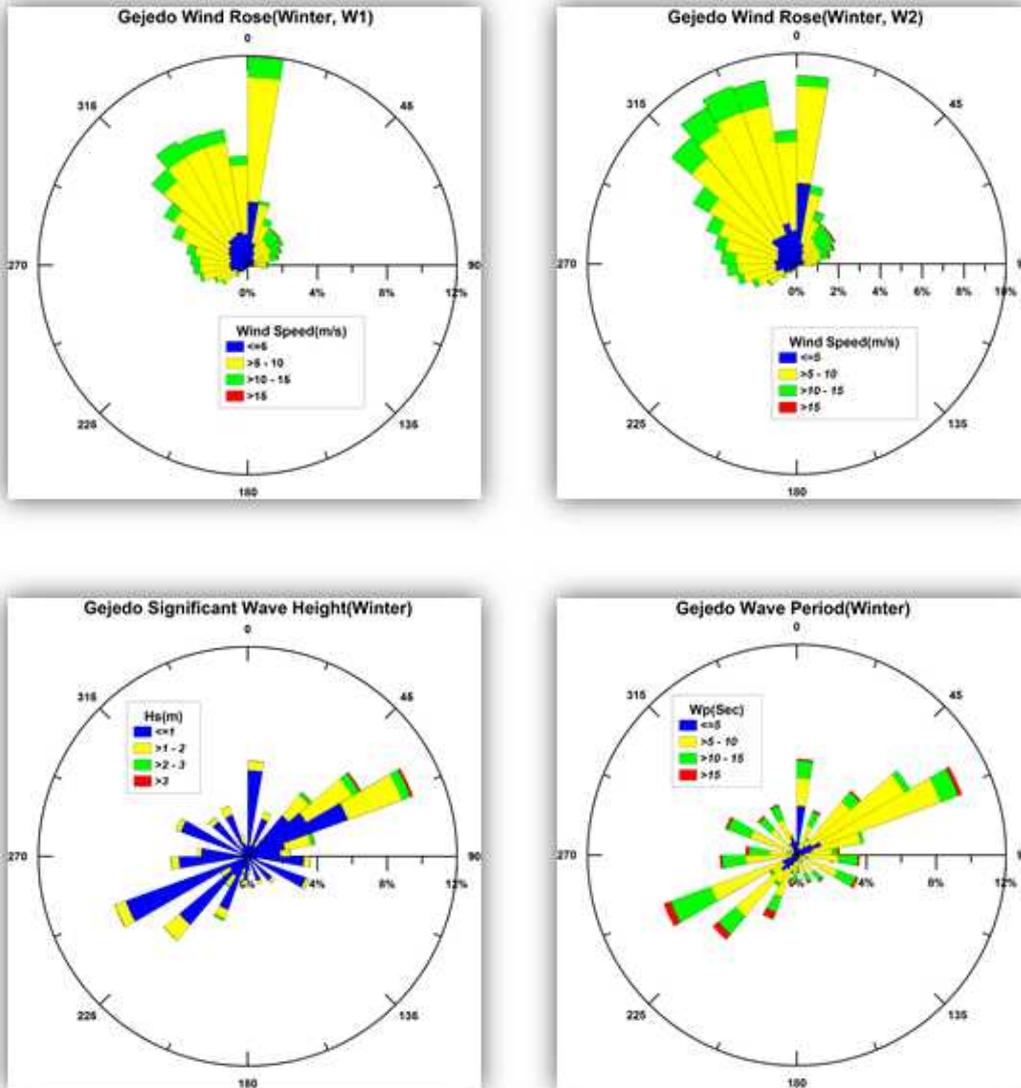
거문도 해양관측소에서 하계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 4-1-49]이다. 동계의 경우 동북동계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~10 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 동측 및 남남서에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를 이루었고, 유의파주기의 경우 남측에서 입사하는 파랑보다 동측에서 입사하는 파랑이 주기가 긴 것으로 나타났다.



[그림 4-1-49] 거문도 관측소의 하계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고·주기).

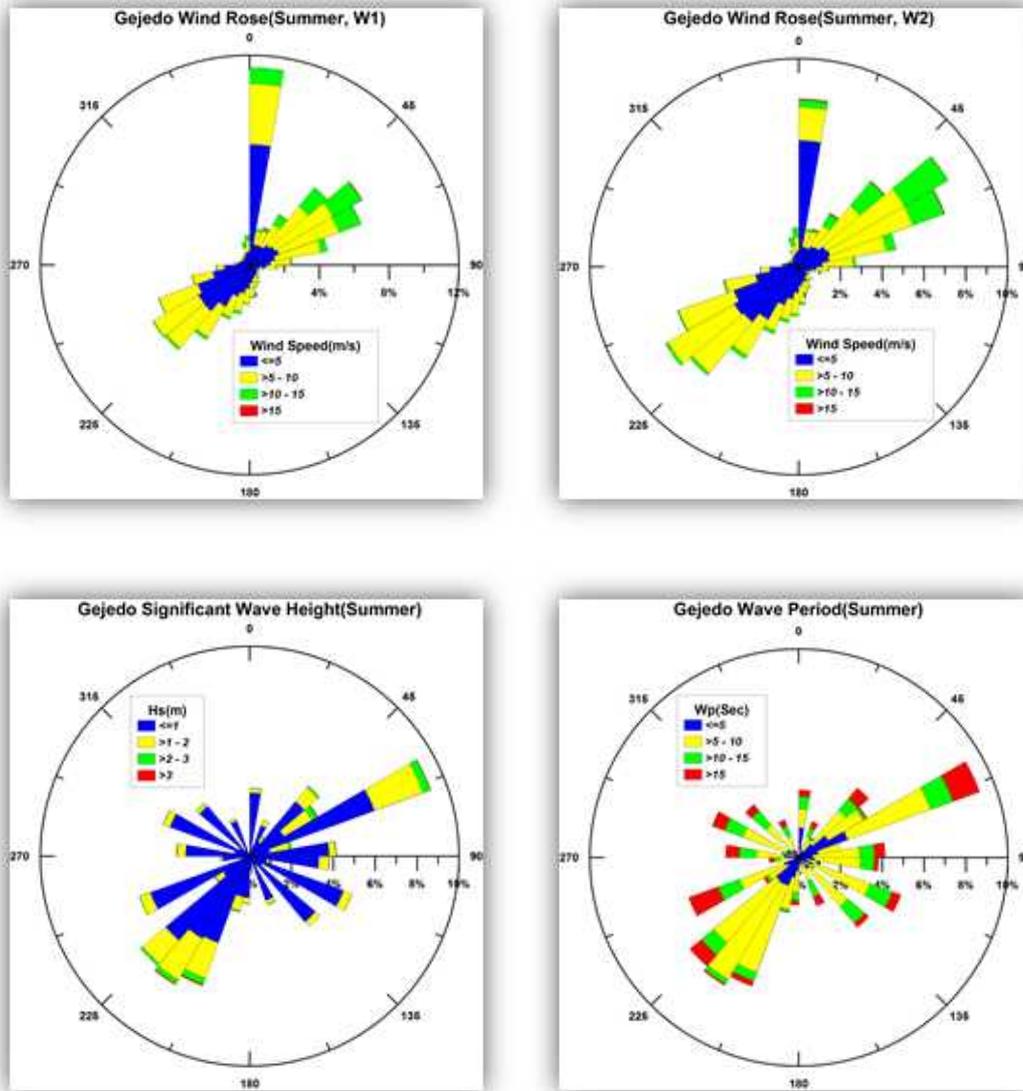
거제도 해양관측소에서 동계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 4-1-50]이다. 동계의 경우 북북서계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~15 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 동북동 및 서남서에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를

이루었으나 동북동 입사파랑의 경우 유의파고가 2 m이상의 빈도가 크게 나타났다. 유의파주기의 경우 동북동에서 입사하는 파랑보다 서남서측에서 입사하는 파랑이 주기가 상대적으로 긴 것으로 나타났다.



[그림 4-1-50] 거제도 관측소의 통계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고·주기).

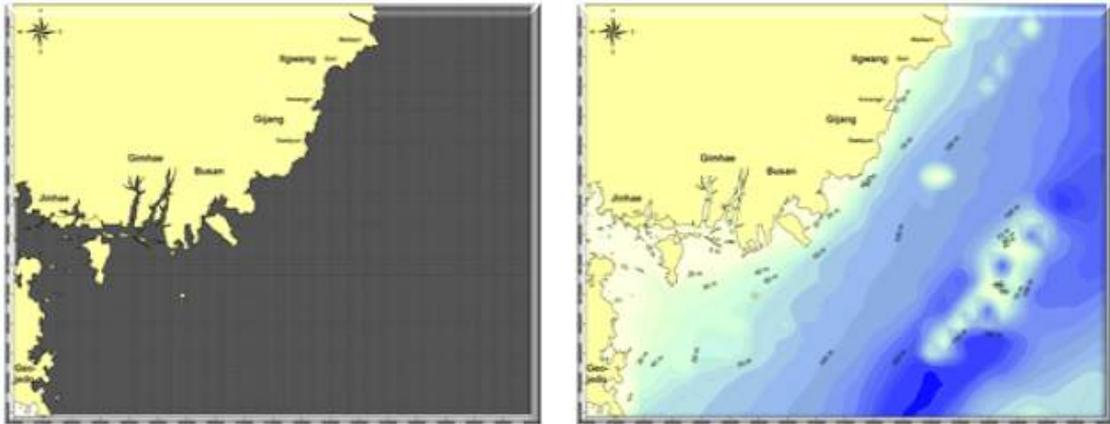
거제도 해양관측소에서 하계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 4-1-51]이다. 하계의 경우 북동 및 남서계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~15 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 동북동 및 남남서에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를 이루었으며, 유의파주기의 경우 남남서에서 입사하는 파랑보다 동북동에서 입사하는 파랑이 주기가 상대적으로 긴 것으로 나타났다.



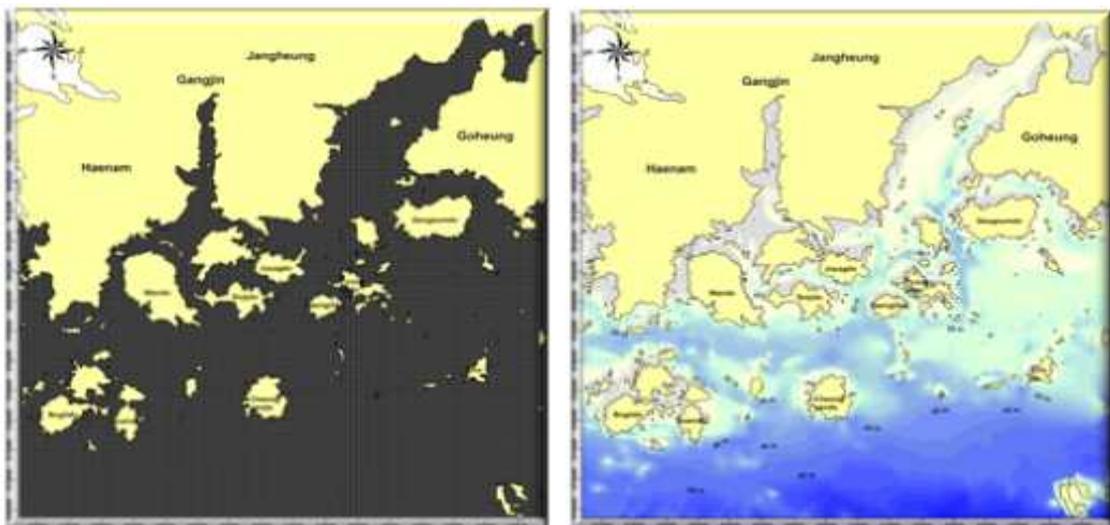
[그림 4-1-51] 거제도 관측소의 하계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고·주기.

기장 해역 및 완도 해역의 평상과 산출을 위하여 계산된 영역은 [그림 4-1-52]과 [그림 4-1-53]이다. 각 해역의 계산 격자 및 수심도를 나타내고 있다. 기장의 경우 주변에 섬도 존재하지 않고 단순한 해안선을 가지고 있으며, 관측소 영역을 포함하기 위하여 거제도 동측연안을 포함한 해역이다. 그리고 기장해역의 수심은 해안선과 평행하게 발달하고 있다. 계산해역에서 수심이 가장 깊은 곳이 220 m로 나타났다. 완도해역의 경우는 복잡한 해안선을 가지고 있으며, 특히 많은 섬들이 차폐영역을 형성하고 있다. 또한 수심도 최대 50m 정도로 나타나고 있다. 완도해역은 거문도해역까지 포함하여 계산을 실시하였다. 그러나 설계파와 비교하기 위하여 그림의 영역은 설계파와 같은 영역으로 도시하였다.

각 실험조건에 대한 수위는 기장의 경우 고리의 약최고고저면(H.W.L)계측값인 0.83 m, 평균해면(M.S.L) 계측값인 0.41 m을 고려하였다. 또한 완도 해역의 경우 완도 및 초도에서 관측되어진 값을 사용하였는데, 약최고고저면(H.W.L)계측값인 3.84 m, 평균해면(M.S.L) 계측값은 1.92 m를 고려하였다.

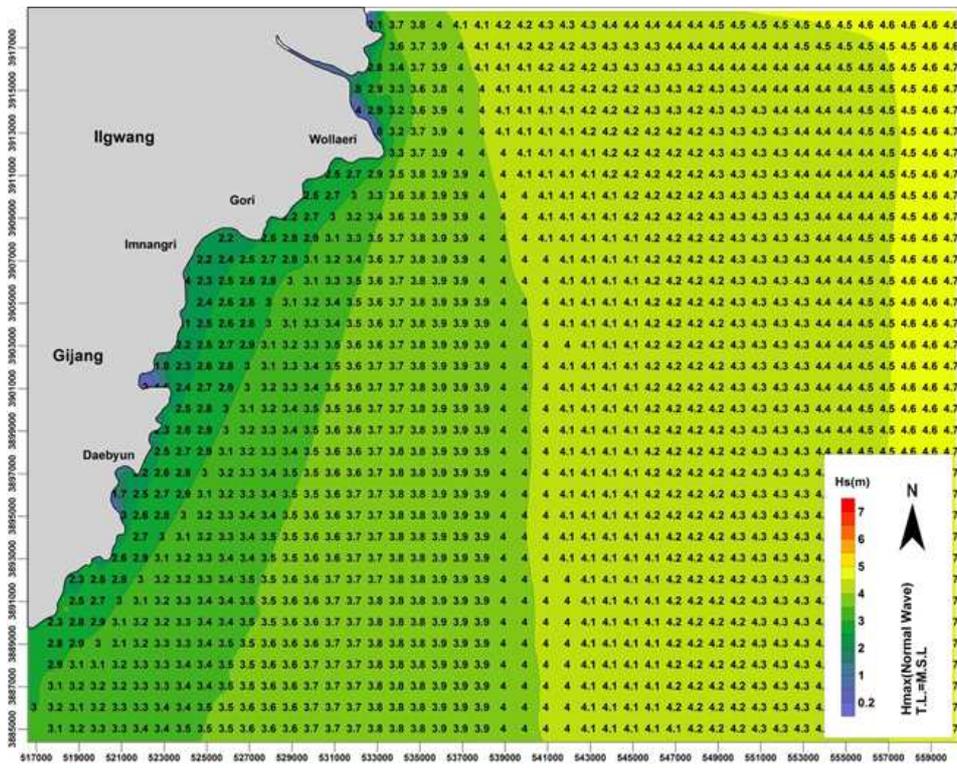


[그림 4-1-52] 기장해역의 계산격자 및 수심도.

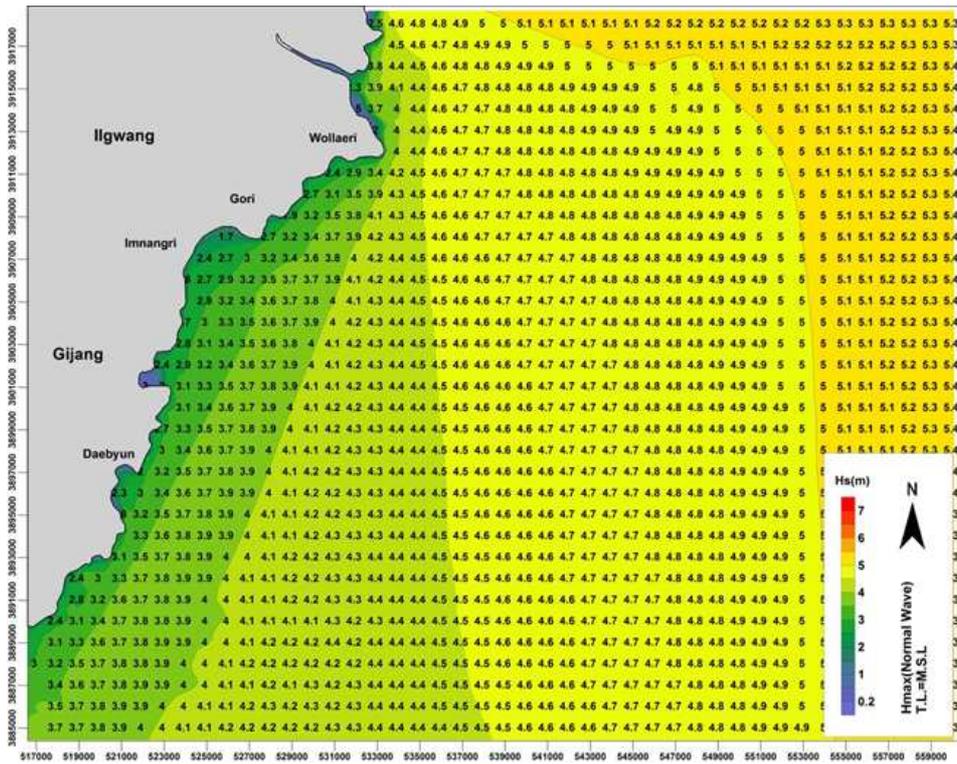


[그림 4-1-53] 완도해역의 계산격자 및 수심도.

기장해역의 계절별, 조위별 평상과 자료에서 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 4-1-54]와 [그림 4-1-55]이다. [그림 4-1-54]는 평균해면, [그림 4-1-55]는 약최고고조위에서 수치실험한 결과이다. 기장해역의 경우 수심이 파고에 비하여 상대적으로 깊으므로 평균해면과 약최고고조위의 값의 차이가 거의 나타나지 않았다.

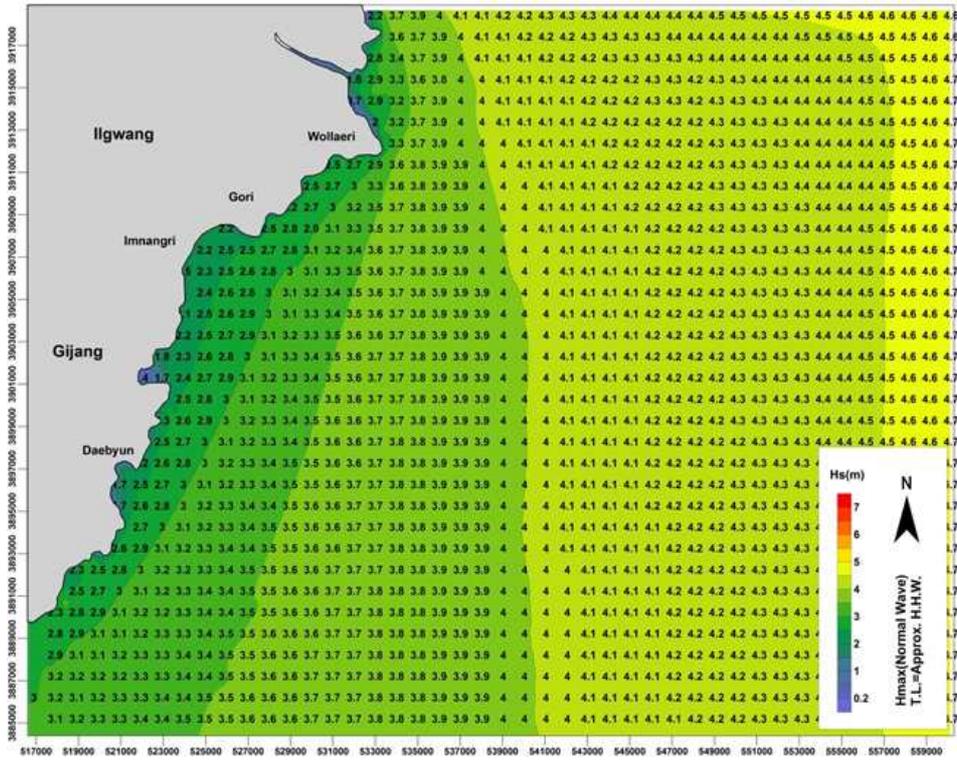


(a) 하계

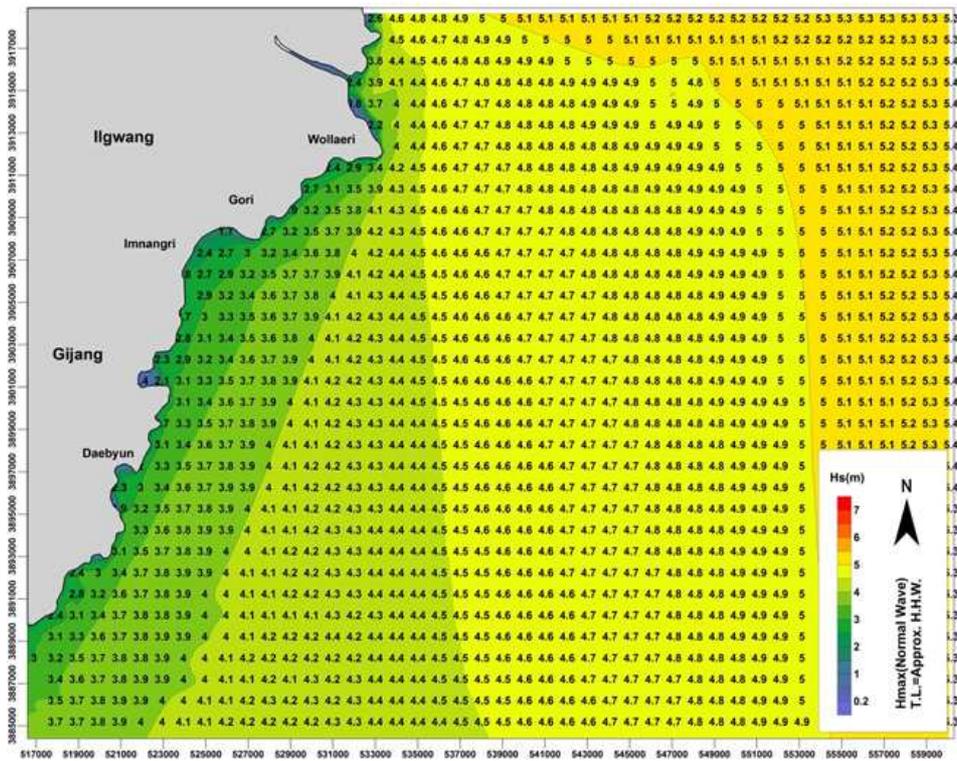


(b) 동계

[그림 4-1-54] 기장해역 최대 평상파(평균해면).

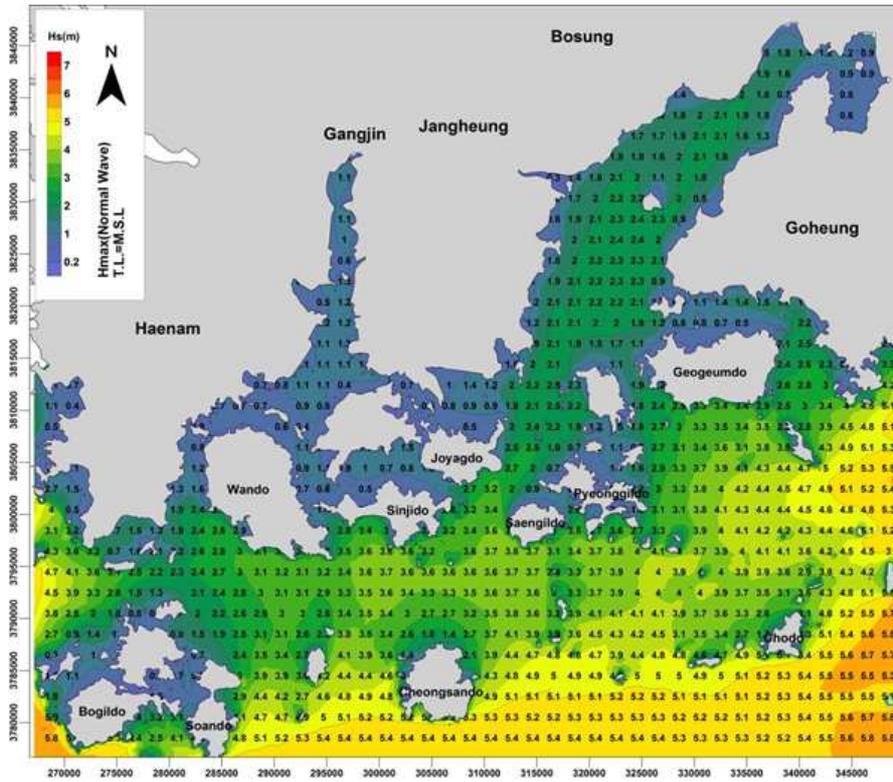


(a) 하계

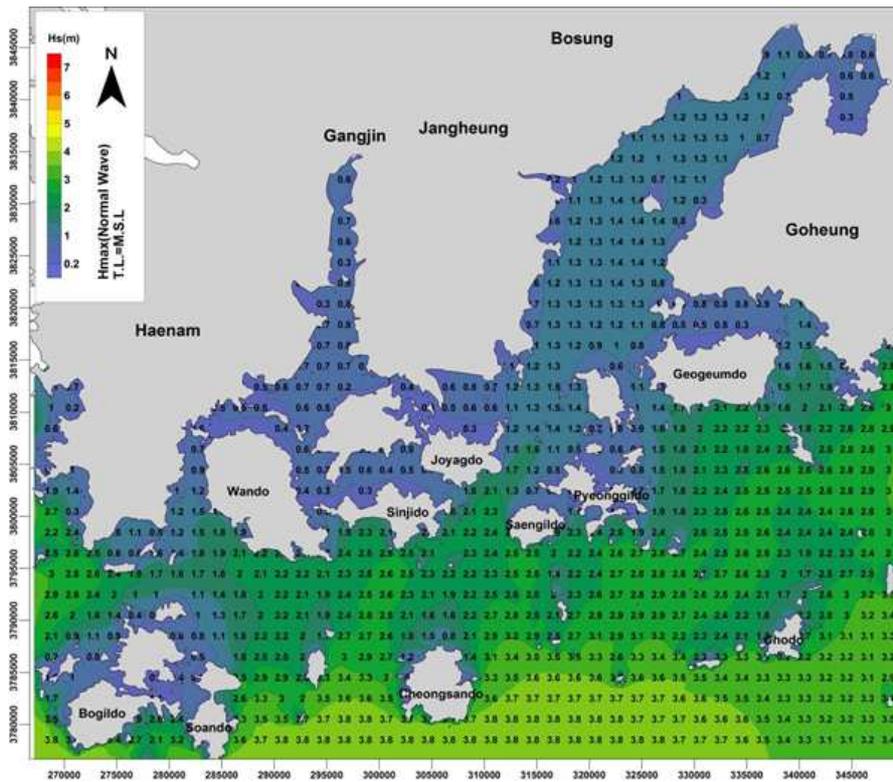


(b) 동계

[그림 4-1-55] 기상해역 최대 평상파(약최고고조위).

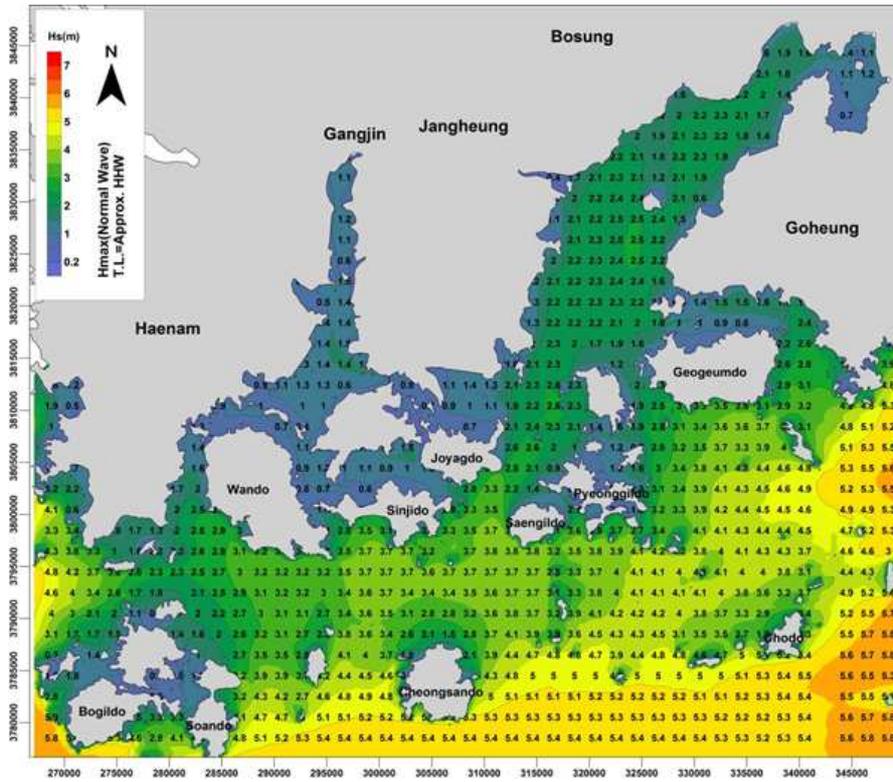


(a) 하계

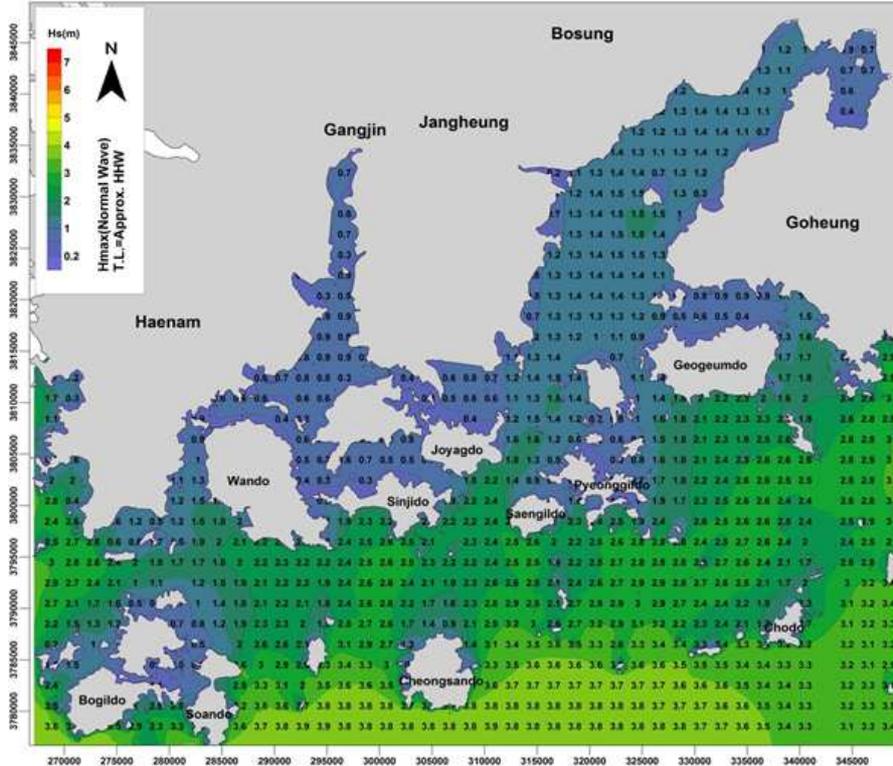


(b) 동계

[그림 4-1-56] 완도해역 최대 평상파(평균해면).



(a) 하계



(b) 동계

[그림 4-1-57] 완도해역 최대 평상파(약최고고조위).

결과에서 동계가 하계보다 유의과고가 크게 나타났으며, 대상해역인 고리해역에서 2.4~3.5 m 범위로 산출되었다. 이는 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 인해 나타나는 것으로 판단된다.

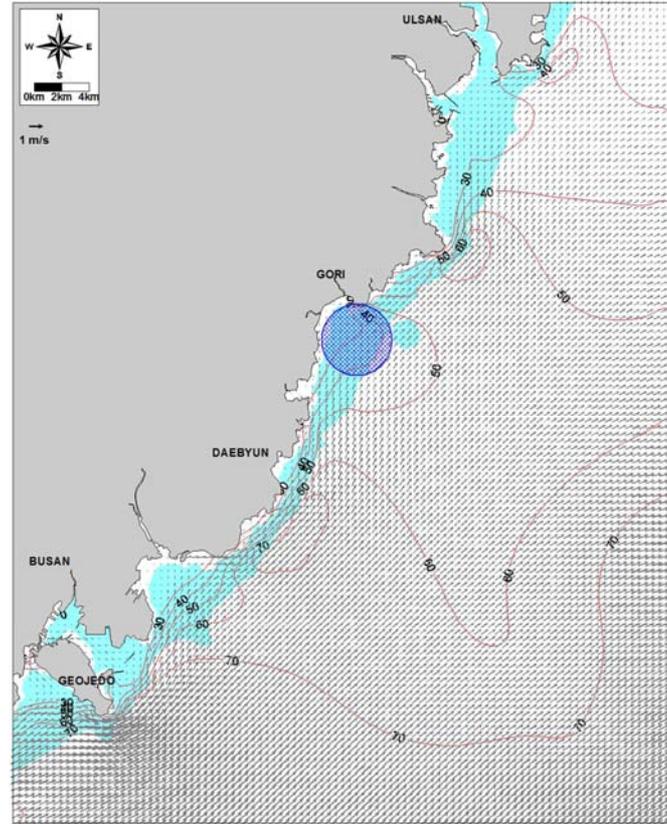
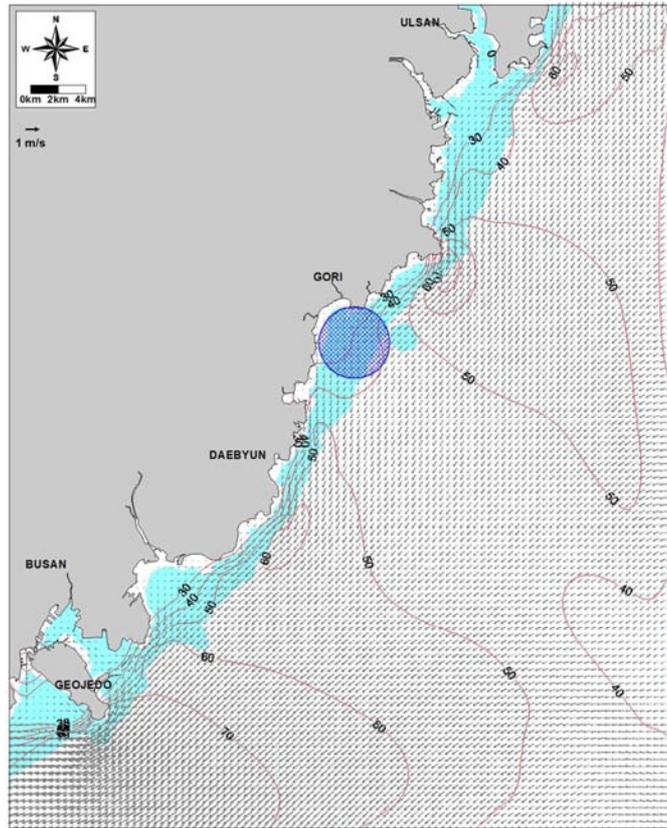
완도해역의 계절별, 조위별 평상과 자료에서 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 4-1-56]과 [그림 4-1-57]이다. [그림 4-1-56]은 평균해면, [그림 4-1-57]은 약최고고조위에서 수치실험한 결과이다. 완도해역의 경우 수심의 변화가 심하여 평균해면과 약최고고조위의 값이 대상지역 전면에서 약 0.3 m의 값이 나타났다. 완도해역의 경우 기장해역과 반대로 하계의 유의과고가 크게 나타났으며, 결과에서 5.5 m이상의 유의과가 입사한 파랑에서 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하여 대상해역에서 3.8 m로 감소하는 것으로 나타났다. 평균해면 조건의 경우 평길도와 생길도 전면해역에서 하계에 3.5 ~ 3.8 m, 동계에 2.3 ~ 2.7 m로 나타났다. 또한 약최고고조위 조건의 경우 하계에서 3.6 ~ 4.0 m, 동계에서 2.3 ~ 2.7 m로 동계의 경우 평균해면과 유사하게 나타났다.

(2) 해수유동 수치모의

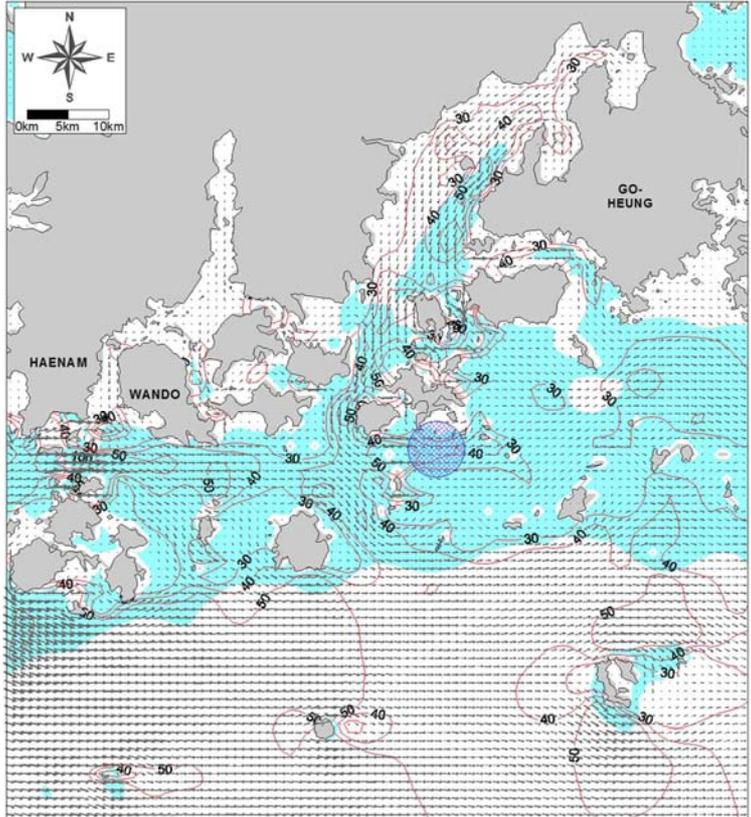
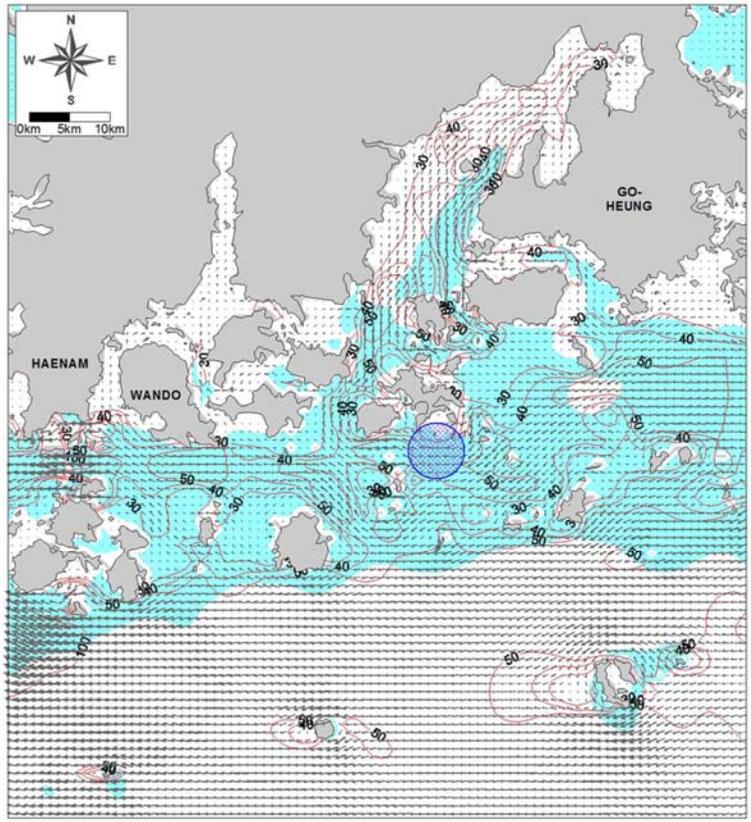
해수유동 실험결과 대상해역을 포함하는 광역에서의 해수유동 계산결과를 [그림 4-1-58]~[그림 4-1-59]에 제시하였다. [그림 4-1-58]은 기장해역의 창조와 낙조시 유속벡터도를 나타낸 것으로 창조시 남서방향의 흐름을 보이며, 낙조시는 이와 반대의 북동방향의 흐름을 보인다. 대상해역주변에서의 유속은 대체로 30~40cm/s 의 크기를 보인다. [그림 4-1-59]는 완도해역의 창조와 낙조시의 유속벡터도를 나타낸 것으로 창조시는 서향의 흐름을 낙조시는 동향의 흐름을 보이며, 50~60 cm/s의 흐름분포를 보인다.

과업대상해역 주변의 보다 상세한 흐름특성을 파악하기 위하여 상세역 해수유동 실험을 수행하였으며, 계산결과는 다음과 같다. [그림 4-1-60]~[그림 4-1-61]은 기장해역의 상세역 계산결과를 나타낸 것이다. [그림 4-1-60]은 창조와 낙조시의 유속벡터도를 나타낸 것으로 기장해역전면에서 흐름특성은 수심에 평행하게 남서(창조)에서 북동(낙조)의 흐름을 보인다. [그림 4-1-61]은 창조와 낙조시의 유속분포도를 나타낸 것이다. 과업대상해역에서 창조시 약 42cm/s 의 흐름을 보이며, 낙조시는 47cm/s로 나타나 창조시보다 낙조시에 강한 흐름을 보였다.

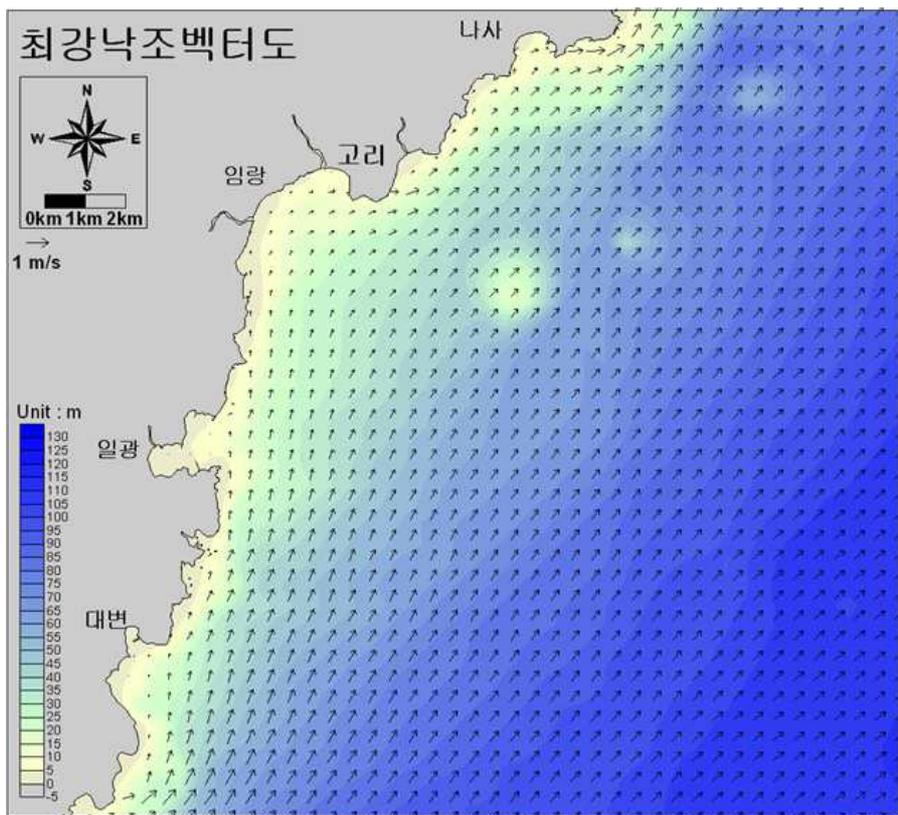
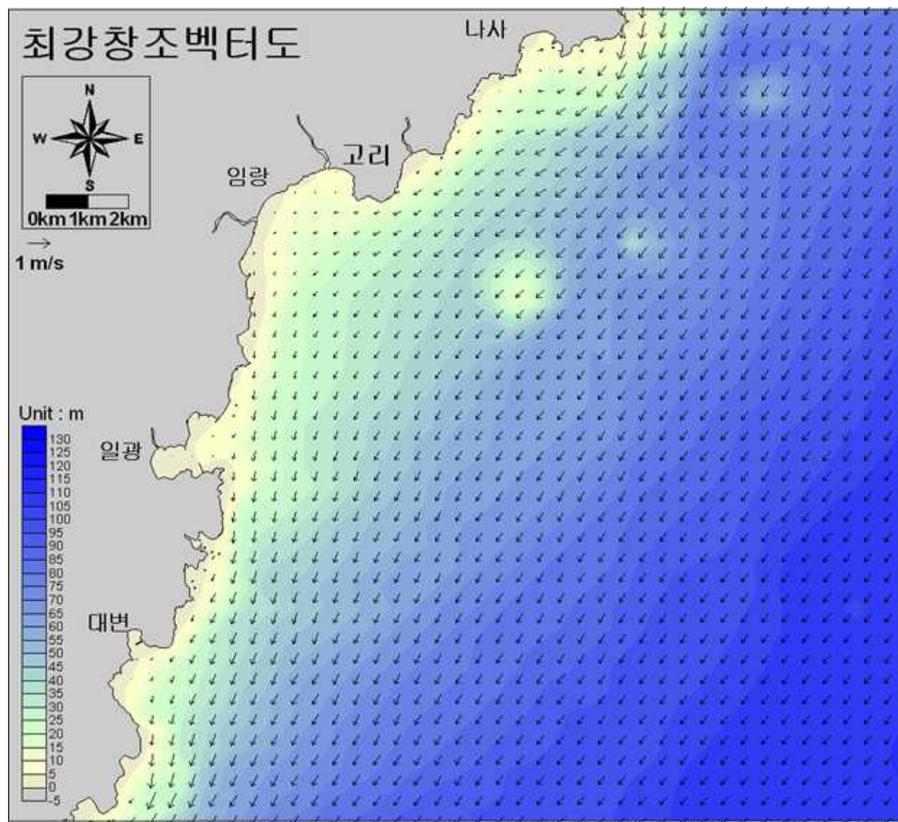
[그림 4-1-62]~[그림 4-1-63]은 완도해역의 상세역 계산결과를 나타낸 것이다. [그림 4-1-62]는 창조와 낙조시의 유속벡터도를 나타낸 것으로 기장해역전면에서 흐름특성은 수심에 평행하게 서(창조)에서 동(낙조)의 흐름을 보인다. [그림 4-1-63]은 창조와 낙조시의 유속분포도를 나타낸 것으로, 과업대상해역에서 창조시 약 85cm/s 의 흐름을 보이며, 낙조시는 103cm/s로 나타나 창조시보다 낙조시에 강한 흐름을 보였다.



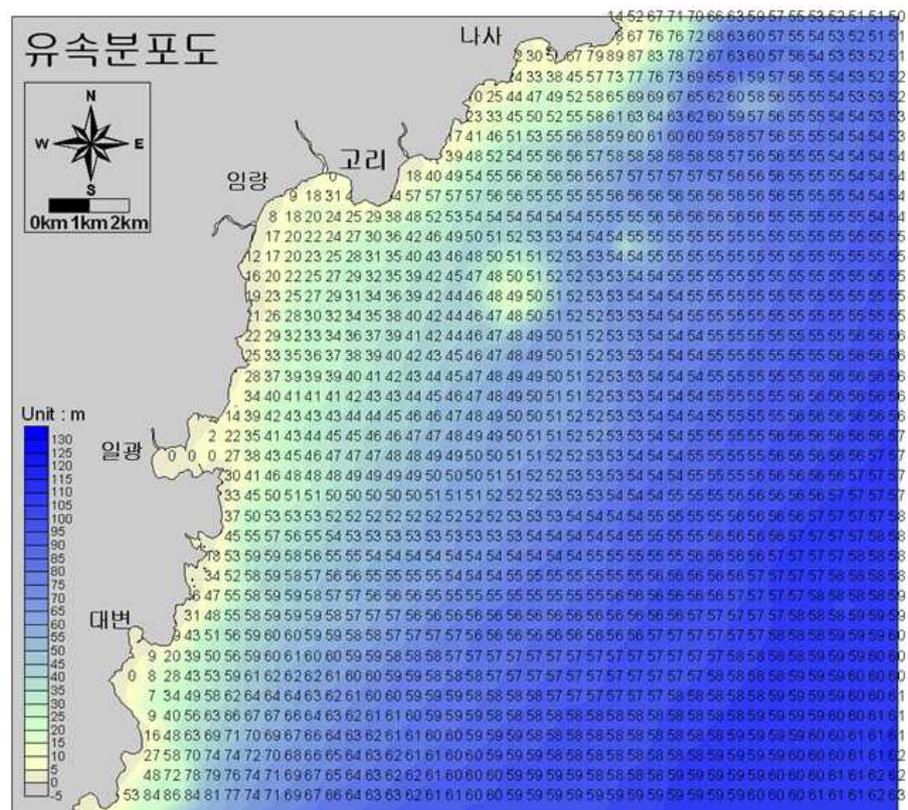
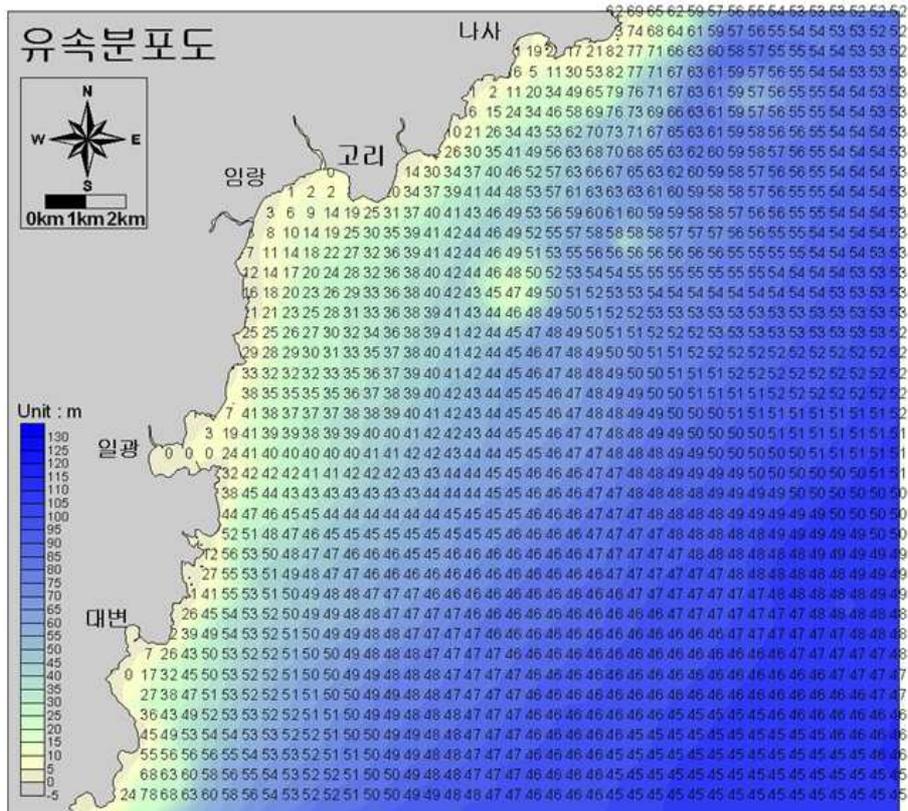
[그림 4-1-58] 기장해역 최강창조시(상), 최강낙조시(하) 유속벡터도(광역).



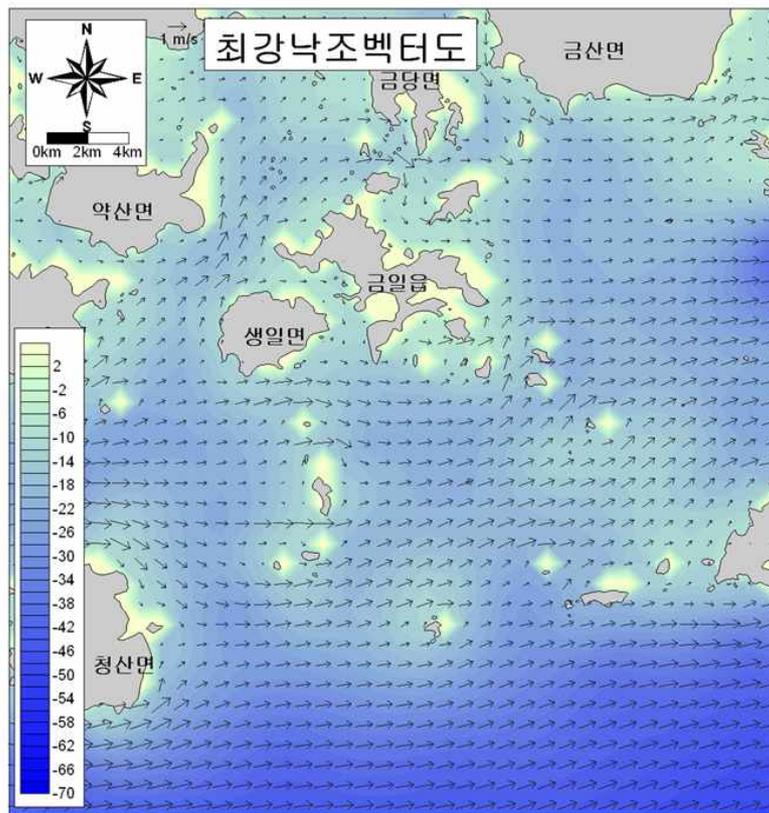
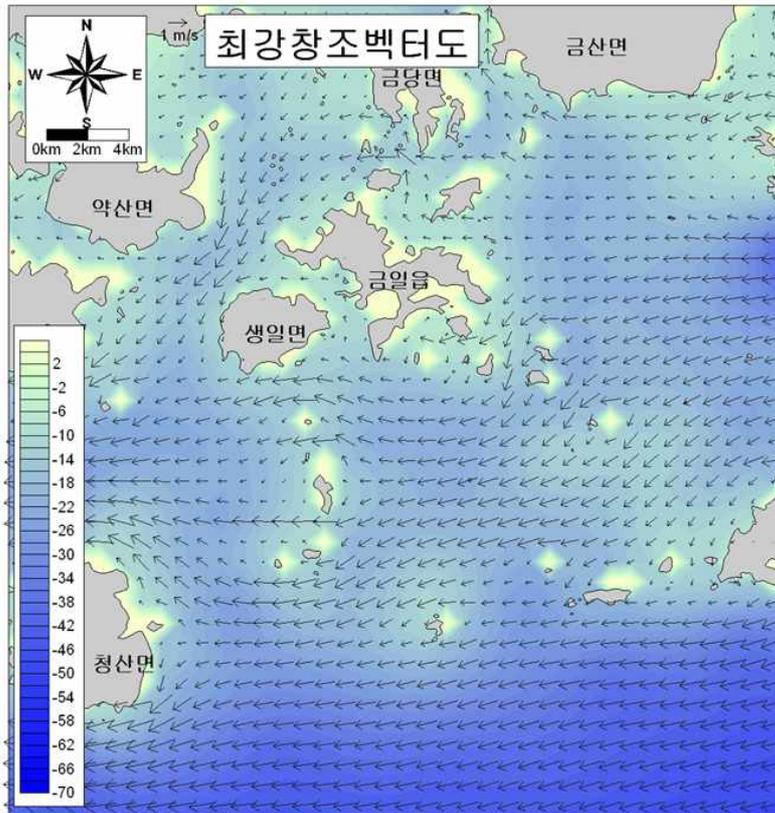
[그림 4-1-59] 완도해역 최강창조시(상), 최강낙조시(하) 유속벡터도(광역).



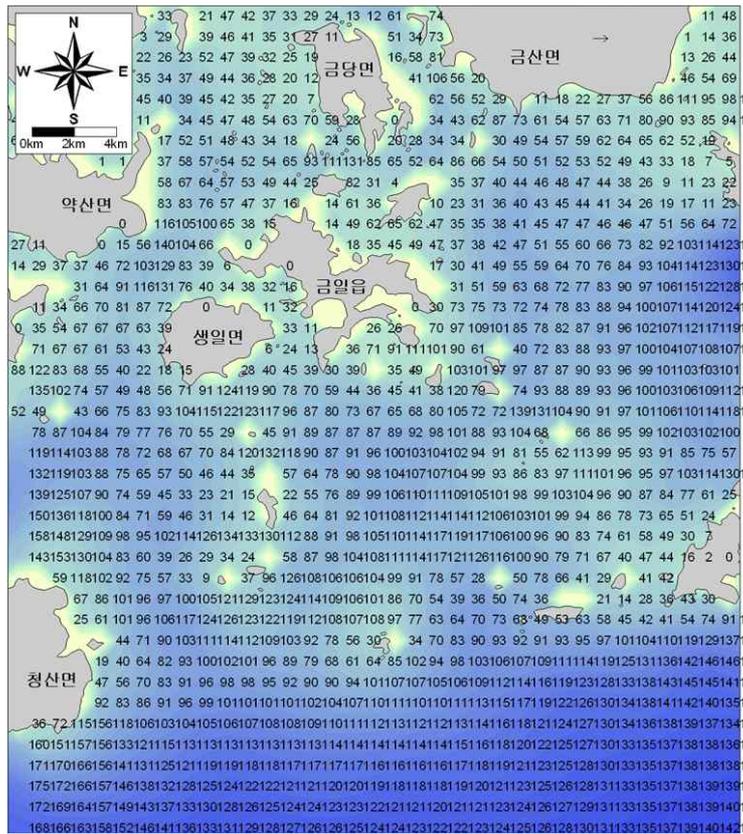
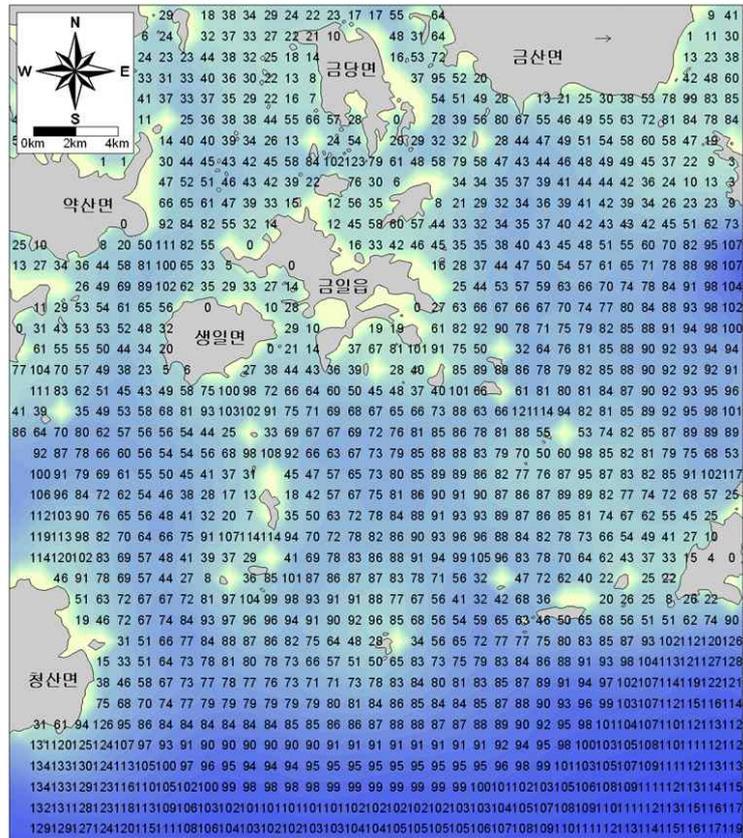
[그림 4-1-60] 기장해역 최강 창·낙조시 벡터도(상세역).



[그림 4-1-61] 기상해역 최강창조시(상), 최강낙조시(하) 유속분포도(상세역).



[그림 4-1-62] 완도해역 최강창·낙조시 벡터도(상세역).



[그림 4-1-63] 완도해역 최강창조시(상), 최강낙조시(하) 유속분포도(상세역).

다. 구조물 시스템 구성요소의 특성분석

일반적으로 해안에서 해조류를 양식하는 시설 방법은 미역, 다시마에 사용하는 연승식 방법이 대부분이다. 특히 다시마는 미역보다 양성기간이 길기 때문에 견고하게 설치해야 하며 시설은 수직식 뗏목 수하시설법, 외줄연승 시설법 등이 있는데 이 중 가장 많이 사용되고 있는 외줄연승(수평) 시설법이다. 그러나 이들 시설은 기장의 경우 30 m 이상, 완도의 경우 20m 이상의 수심에서 설치가 힘들다. 그 이유는 외해에서 입사하는 파랑과 흐름의 영향을 직접적으로 받게 됨과 동시에 로프에 걸리는 장력과 앵커, 멍, 닻이 지면에 지탱하는 힘이 줄어들기 때문이다. 따라서 연안을 벗어난 깊은 수심(약 40~100 m)에서 과연 이러한 시설물들이 설치가 가능한지, 안전하게 해조류를 양식할 수 있을 지에 검토가 필요하다. 또한, 해조류를 양식하는 시설물이므로 생물학적 요소를 고려한 설계가 반드시 이루어져야 하며, 일반적으로 로프에 종자를 이식하여 양식하는 방법이 효과적인지에 대해서도 고려하여야 한다.

그러므로 본 과업의 목적인 외해 대량양식 시설물 설계와 관련하여 해양환경이 시설물의 적지선정에 관여한다면, 깊은 수심과 고파랑, 해류 등의 해양외력에 견딜 수 있는 안전한 구조물의 설계가 지속적인 해조류 공급의 가장 중요한 요소가 된다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 조건들을 고려한 시스템의 구성요소를 조사하고 각 구성요소별 특성들을 분석하였다.

(1) 설계의 기본 방침

외해 대량양식 시설의 설계에 있어서는 기상 및 해상 등의 자연 조건과 시설의 기능 및 중요도등을 충분히 조사하고, 이들 자연 상황 및 이용 상황에 적합하도록 고려하여야 한다. 이 경우 각 시설은 해당 시스템을 구성하는 요소의 하나라는 사실은 인식하고, 채취 및 이송 시스템과의 연계성을 도모함과 동시에 이용자의 안전, 환경의 보전 등에 관하여 배려하여야 한다. 다음은 설계에 있어서 고려하여야 할 요소들이다.

(가) 시설의 기능 및 중요도

시설의 기능은 한가지로 국한되지 않기 때문에 각각의 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 배려할 필요가 있다. 예를 들면 방파제는 파도를 막는 기능만이 아니고 폭풍해일이나 지진해일의 세력을 감쇄하는 기능을 갖는다. 시설의 안정성 및 경제성을 고려하여 적절한 설계를 하려면 중요도를 고려할 필요가 있다. 중요도가 설계상에서 미치는 영향을 보면 설계조건이 되는 자연조건, 설계진도, 내용연수, 하중, 안전율 등이 있다. 또한, 중요도의 판정에 있어서 시설의 파손이 인명, 재산, 사회, 경제 혹은 다른 시설에 미치는 영향을 고려

하여야 하고 만약에 상황에 이 시설을 대체할 수 있는 것들이 필요하다.

(나) 자연조건

자연조건으로는 시설구조의 결정에 직접 영향이 미치는 파고, 유속, 지반, 지진 등의 조건뿐만 아니라 수질, 저질, 생물, 대기 등의 조건 등이 고려대상이 된다.

(다) 하중 및 외력조건

구조물에 작용하는 힘은 하중과 그 하중을 발생시키는 외력으로 나눌 수 있다. 하중의 종류에는 사하중, 활하중, 변형하중, 환경하중이 있으며, 환경하중은 파랑, 바람, 해류 등에 의해 발생하는 하중을 통칭해서 말하는 것이다. 외력조건은 환경하중을 발생시키는 자연조건을 말하며, 본 과업에서는 해조류의 성장 및 성장 부산물에 대한 영향도 고려해야 할 것이다.

(라) 재료

재료는 작용하는 물리적 외력, 열화외력, 사용연수, 형상, 시공성, 경제성, 환경, 경관에 미치는 영향을 고려하여 선정할 필요가 있다. 또 품질을 보장하는 것도 중요하다.

(마) 내용연수

내용연수는 시설의 설계에서 구조나 재료를 결정할 때 고려함과 동시에 현존 시설의 개량 필요성 및 개량정도를 결정하는데 고려하는 경우가 있다. 내용연수에는 기능적인 것, 경제적인 것, 사회계획적인 것과 물리적인 것이 있다. 내용연수의 설정에서는 이들에 대하여 검토를 하고 적절한 결정을 하는 것이 바람직하다. 설계에 있어서 위의 내용으로부터 내용연수를 결정하는 경우 그의 내용연수에 적합한 구조, 재료를 선정할 필요가 있다. 이들로부터 결정이 되지 않는 경우에는 물리적으로 결정하는 내용연수를 결정한다.

(바) 설계법(안전율)

설계법은 구조물의 안전성을 판단하는 방식으로 분류하면 안전율을 사용하는 방법과 확률론에 근거한 지표를 사용하는 방법으로 대별된다. 안전율은 안전성을 정량적으로 표현하는 지표가 아니고 제 요소의 불확실성을 보충하기 위하여 경제적으로 정해진 성격을 갖는 것이다. 안전율은 표준적인 조건의 시점에서 경제적으로 충분히 안전하다고 생각되는 값을 나타낸 것이다. 조건에 따라서는 이들의 값을 내려도 좋겠으나 이런 경우 충분한 자료에 근거하여 신중한 판단을 하여 결정할 필요가 있다. 하중과 구조물의 내력에 대한 확률분포를 적절히 가정할 수 있는 경우에는 안전율을 사용하지 않는 신뢰성 설계법 등을 사

용할 수 있다. 종래의 안전율을 사용하는 설계법과는 다르고 신뢰성설계법에서는 구조물 파괴의 가능성을 정량적으로 파악하고 그것을 일정한 허용 값 이하로 마무리하는 것이 가능하다. 신뢰성 설계법 등에서는 안전계수나 안정성 지표 등을 사용하여 설계한다. 한계상태설계법은 형식적으로는 신뢰성설계법의 한 형식으로 분류할 수 있다.

(사) 시공 방법, 공기 및 경제성

대상구조물이 결정되었으면 얼마의 기간 동안 어떠한 시공방법으로 건설할 것인지에 대한 설계가 나와야 한다. 따라서 경제적인 공법 혹은 공기를 앞당길 수 있는 공법을 적용하고자 할 것이며, 해상작업은 바다날씨에 절대적으로 의존하기 때문에 이를 고려해서 최적의 공기를 산출하는 것도 중요한 요소가 된다.

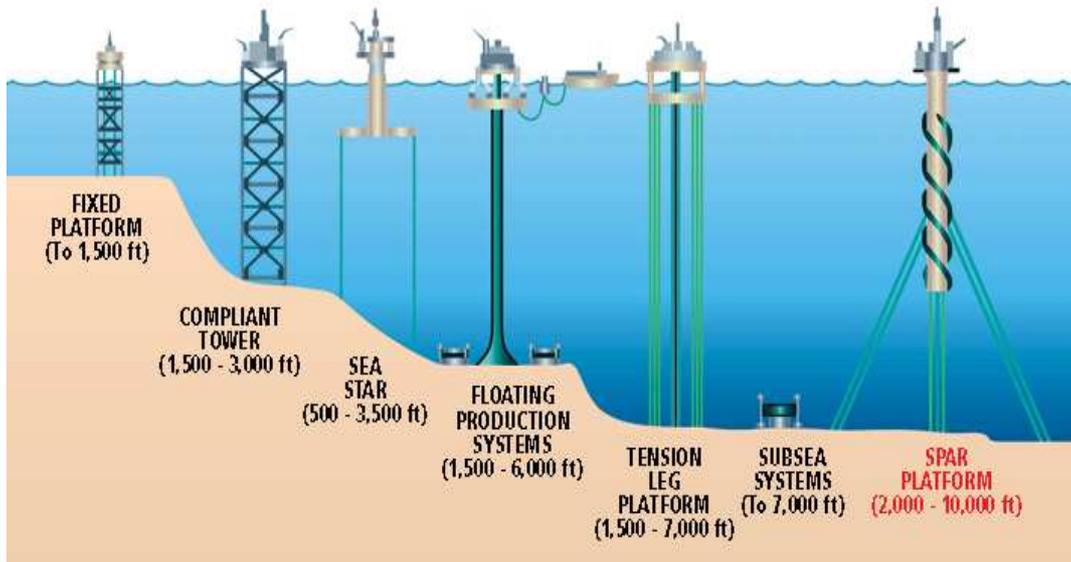
(2) 설계외력과 하중

외해 대량양식 시설의 설계에 있어서 해당시설의 기능 및 설치지점에 따라서 적절한 설계조건을 선정한다. 또한 채취선 및 운반선에 직접 관계하는 시설에 관하여 설계외력 및 하중의 산정시에는 안전 확보에 특히 중시하고 자연조건외 재현기간을 100년으로 함을 원칙으로 한다.

일반적으로 설계외력에는 파랑, 바람, 해류, 조류 및 폭풍해일과 같은 자연환경조건이 주로 산정되며, 하중에는 구조물의 사하중과 활하중, 외력에 의해 발생하는 환경하중 등이 있다. 따라서 안전한 구조물 설계시 이들 요소의 고려가 매우 중요하다.

라. 외해 해조류 대량양식 구조물의 형상도출

앞에서 서술한 바와 같이 해조류 대량양식을 고려한 구조물 설계에 있어서 가장 중요한 것은 대량생산이며, 이를 가능하게 하기 위해서는 극한 조건에서도 대량양식 시설이 안정적으로 견뎌내야 한다. 이런 이유로 많은 석유시추시설들이 개발이 되어왔으며, 최소의 비용으로 많은 석유를 시추하고자 다양한 형태의 구조물들이 개발되었다. 이러한 구조물들은 수심이 깊어짐에 따라 고정식 강철 구조물, Compliant Pile Tower (CPT), 콘크리트 중력 기초 구조물(Concret Gravity Base Structure, GBS), 장력 다리 플랫폼(Tension Leg Platform, TLP), 스파 플랫폼 (SPAR Platform, SP)으로 발달되어 왔다([그림 4-1-64]). [표 4-1-11]에서 보는 바와 같이 고정식 강철 구조물이 수심 457m 이내에 시공이 가능하며, 또는 소규모 SPAR 구조물처럼 tension-leg를 이용하는 방법으로 대량양식구조물의 형상을 개략적으로 설정하였다.



[그림 4-1-64] 수심별 해상구조물의 종류.

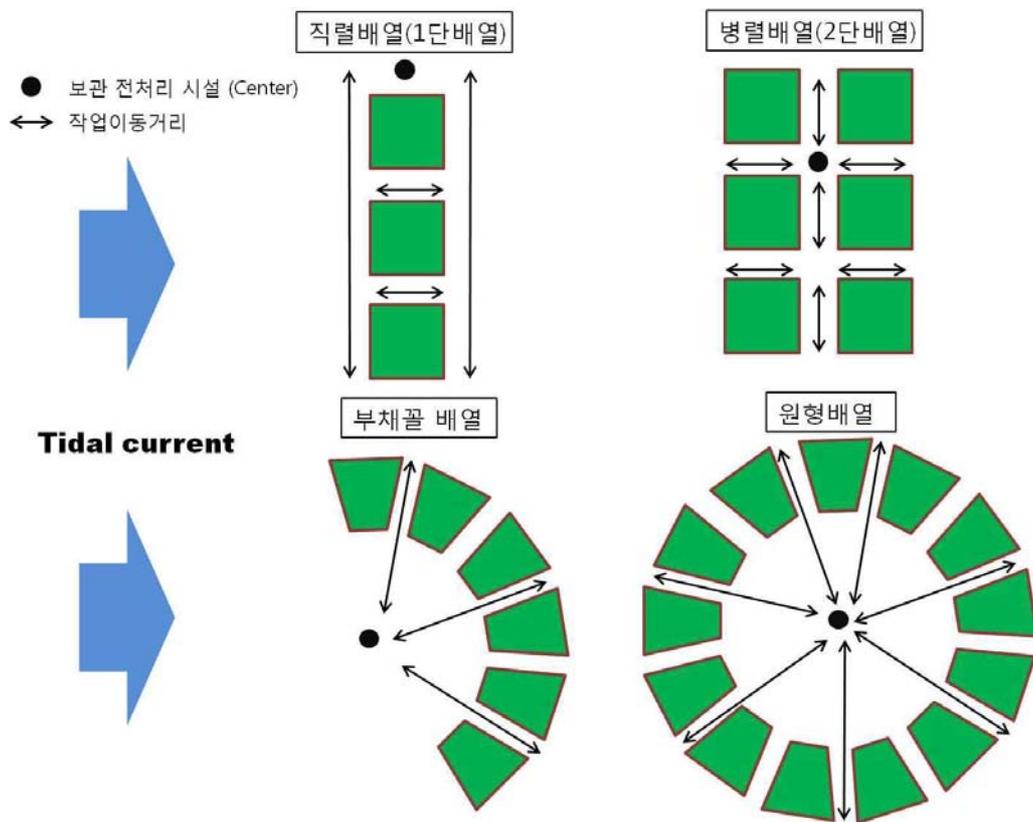
[표 4-1-11] 구조물 형식별 특징 및 적정 수심

구조물 형식	특징	적정 수심
고정식 강철 구조물 (Fixed Steel structures)	일반적으로 자켓 방식으로 구성 심해 지역보다 천해 지역에서 주로 사용	~1500ft (~457m)
Compliant Pile Tower (CPT)	플랫폼과 해저 타워를 별도로 제작하여 현지에서 결합	1500~3000ft (457~914m)
장력 다리 플랫폼 (Tension Leg Platform)	부유식과 고정식의 특성을 결합한 유연식 구조물	1500~7000ft (457~2133m)
스파 플랫폼 (Spar Platform, SP)	수심이 매우 깊은 곳에서 사용 거대한 수직 실린더가 갑판을 고정	2000~10000ft (609~3048m)

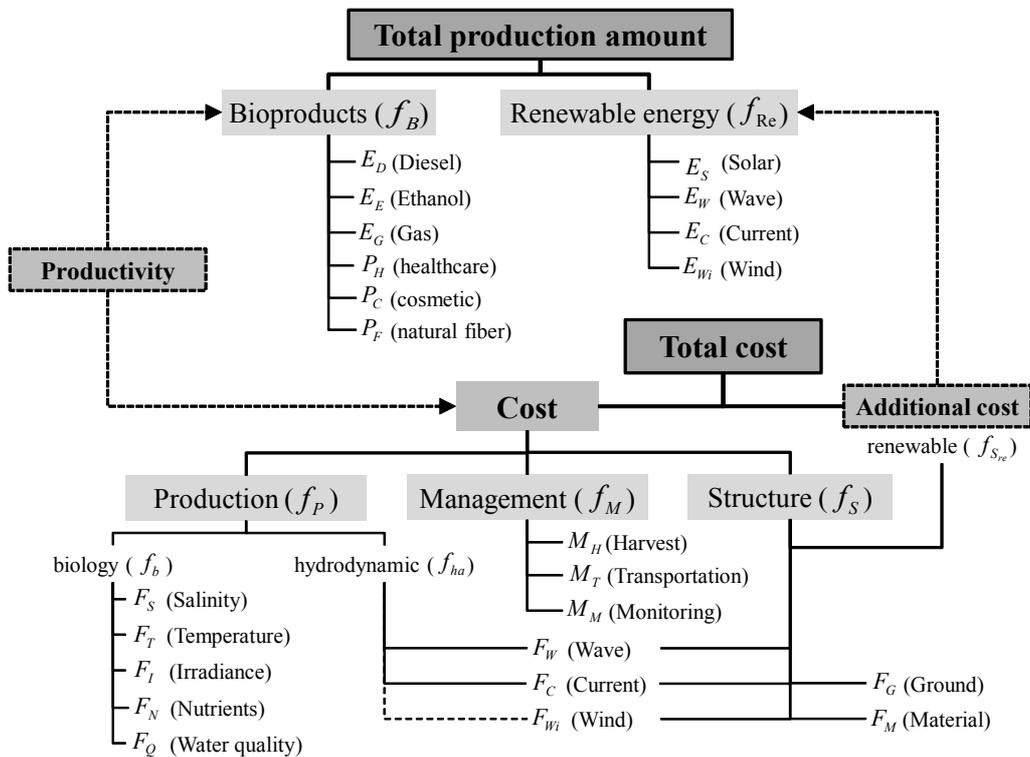
이렇게 설정된 구조물 형식에 단위 길이당 다시마의 생산량을 적용한다면 각 구조물의 거리와 배치가 결정될 것이다. 일반적으로 슈아주지 않는 다시마의 생산량이 1 m당 약 22 kg이고, 1 ha의 면적에 로프의 간격이 3~5 m이고, 정방형을 기준으로 한 로프당 길이가 100 m라고 가정하면, 대략 1 ha에서 생산되는 다시마의 양은 73 ton이다. 만약 해조류 생산 목표량이 100 ha라고 가정하였을 경우, 한 번 수확하는 양이 7300 ton이며, 이를 효율적인 채취 및 이송시스템과 결합하기 위해서는 [그림 4-1- 65]와 같은 배치도를 생각해 볼 수 있다. 직렬배열은 이송거리가 멀다는 단점이 있고, 병렬배열은 작업효율은 높으나 양식장의 해수교환에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 부채꼴 배열처럼 한 쪽 방향으로 해수를 소통시켜 줌과 동시에 작업이동거리를 현저히 줄일 수 있는 배치가 필요하며, 이에

따라 보관 전처리 시설이 중요 위치에 설치되면 종합적인 배치가 완료된다.

이렇게 배치된 구조물 및 양식장의 비용과 생산량을 [그림 4-1-66]과 같은 개념도로 표현하였다. 아래의 개념도는 생산에 드는 비용과 생산량이 어떤 종류와 형태로 발생하는지를 보여주고 있다. 비용은 전형적으로 구조물 건설에 드는 비용과 생산, 관리에 드는 비용으로 나누어져 있으나, 향후 신재생에너지를 충분히 이용가능하다고 판단하여 이들 시설을 설치할 때 발생하는 추가비용까지 고려하였다. 따라서 총생산량은 해조류 생산 후 바이오매스로 얻어지는 에너지와 부가물로 얻어진 생산물에 신재생에너지까지 포함한다.



[그림 4-1-65] 해조류 대량양식장의 배치 개념도.



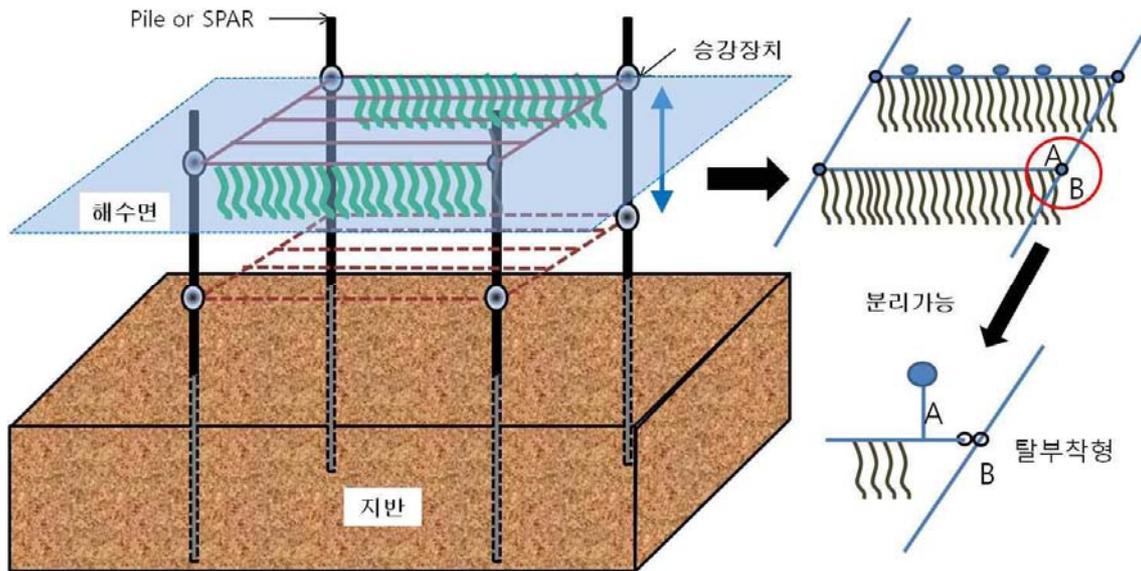
[그림 4-1-66] 생산량과 비용요소를 고려한 개념도.

마. 시스템 구성요소별 개념 설계 및 전체 시스템 구성

해조류 대량생산 개념 설계의 가장 중요한 요소는 안전성이다. 따라서 폭풍해일, 지진해일, 고파랑등에 안전하게 유지되기 위해서는 구조물의 거동을 줄이고 외력에 의한 파괴가 발생하지 않는 구조를 하여야 한다. 또한, 만약의 경우를 대비하는 부가적인 구조물도 고려하여야 한다. 이와 동시에 안전한 구조물에 부가적으로 친환경 에너지를 얻을 수 있는 시설물을 설치함으로써 적은 비용으로 지속적인 에너지원을 확보하는 강점을 가지게 된다. 따라서 수심 40~100 m 이내의 지형에서는 일반적으로 고정식 강제 구조물을 사용하고 있으나 이것은 석유시추와 같은 고정밀 작업을 위해서 제작된 것이고, 해조류 양식은 구조물 거동의 허용범위가 상대적으로 많은 만큼 아주 기본적으로 pile을 설치하고 그 사이에 양식장을 설치하는 방안이 효과적일 것이다. [그림 4-1-67]은 해저지반에 4개의 pile 기초를 설치하고 그 사이로 양식장을 설치하여 해조류를 양성하고, 양성 후 채취 및 이송을 용이하게 하기 위해 해조류가 양성된 로프를 쉽게 탈부착할 수 있는 shuckle과 같은 장치를 설치하였다.

따라서 기존 연승식 시설물의 설치 단점이 연안보다 깊은 수심에서의 해조류 대량 양식은 안전한 구조물일 경우, 해조류의 생산량을 늘리는 것과 동시에 태양열, 파력, 조력,

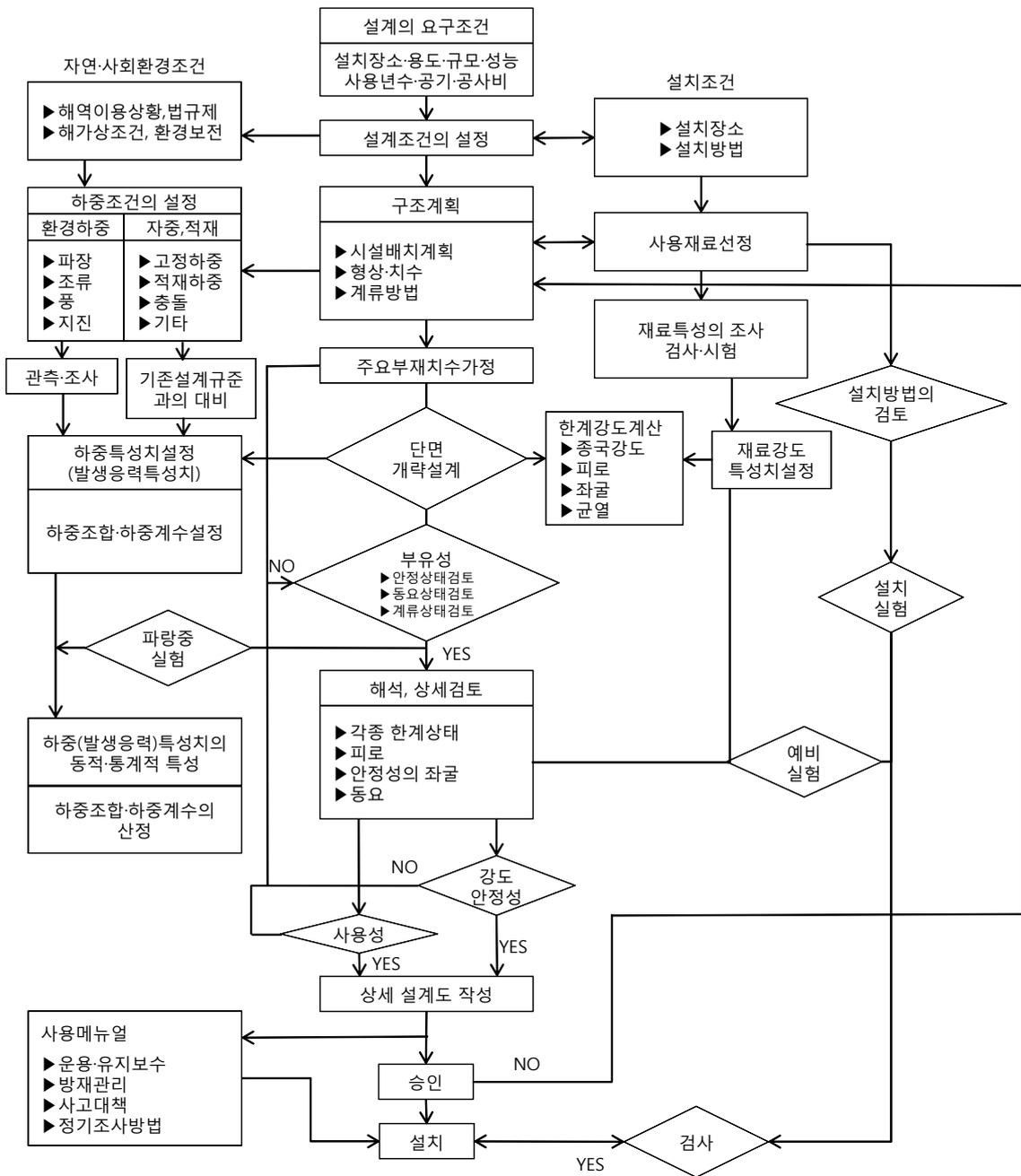
풍력에너지와 같은 청정에너지를 생산하여 친환경에너지를 영구적으로 사용함으로써 생산 단가를 현저히 낮출 수가 있다.



[그림 4-1-67] pile 및 SPAR을 이용한 대형양식장 개념도.

외해 해조류 대량양식 시설을 하기 위해서는 먼저 해조류의 목표 생산량이 결정되어야 하나, 본 연구에서는 개념 설계단계에 있으므로 임의의 목표 생산량을 설정하여 개념 설계에 반영하였다. 숙아주기를 하지 않은 로프의 생중량 약 22kg을 바탕으로 1ha의 면적을 기본면적으로 설계에 적용하였다.

[그림 4-1-68]은 위의 목표치를 바탕으로 구조물의 시스템 구성요소들을 분석하였으며, 안정한 해조류 양성을 위하여 구조물 형상을 도출하고 이를 채취 및 이송 시스템과 결합하여 효과적인 작업이 이루어지도록 하기 위한 개념 설계도이다. 본 과업에서 아직 명확하게 구조물에 대한 개념설계가 이루어지지 않았지만, 향후 해조류의 성장 특성에 대한 자료가 명확하게 나오고, 적지선정에 따른 제반 사항을 더 면밀히 정리한다면, [그림 4-1-68]을 보완한 개념설계도가 나올 것으로 판단된다.



[그림 4-1-68] 외해 대량양식 시설 및 채취 및 이송시스템 개념 설계도.

4. 요약 및 제언

가. 해조류 시험양식장의 해양환경 설계인자의 조사·분석

(1) 해양물리 관측조사

(가) 파랑

2007년 11월 12일 ~ 2008년 3월 29일까지 방향성 파고계(MIDAS-DWR)를 이용한 기장 동암항의 파랑관측 결과, 기장해역에 입사 가능한 최대파고는 8.19 m이며, 유의주기 중 가장 큰 주기는 15.81 sec이다. 이러한 값은 현재 시설된 해조류 양식장이 수심 30 m 이내에서는 구조적으로 안전하다는 반증이지만, 만약 시설물이 대형화될 경우 어떠한 결과를 보여줄 지는 예상할 수가 없다. 특히, 조류속과 해빈류, 해류등의 합력으로 발생되는 하중은 설계시 구조물 안전에 또 하나의 요소로 고려하여야 할 것이다.

2월 18일 14:00부터 2월 21일 15:00까지 기장 문동항 시험양식장에서 계측된 연속 파랑관측 분석결과, 유의파고, 최대파고, 평균주기의 분포는 각각 0.30~1.39 m, 0.40~2.06 m, 5.65~7.31 sec로 나타났다. 또한, 2011년 3월 13일 12:00부터 3월 31일 13:00까지 18일 동안 수행한 완도 시험양식장 파랑관측 결과, 유의주기 0.10~1.14 m, 최대파고 0.15~1.66 m, 평균주기 4.35~8.74 sec로 나타났으며, 풍파의 주기가 6~8 sec의 범위를 가지는 것으로 감안하면, 시험양식장으로 입사하는 평상시 파랑은 풍파에 기인하는 것을 알 수 있었다.

(나) 연속조류관측

기장 시험양식장의 표층 유속은 약 5 ~ 55 cm/sec이며, 대조기시 창조류시에는 남서방향 낙조류시에는 북동방향의 왕복성 조류가 우세하였으며, 낙조류시의 북동방향의 흐름이 창조류시의 남서방향의 흐름에 비해 더 크게 나타났다. 완도 시험양식장의 표층 유속의 분포는 0.3 ~ 40.1 cm/sec를 나타내었으며, 전반적으로 남서방향의 흐름이 우세한 것으로 나타났다. 특히, 기장과는 다르게 동서방향의 흐름이 탁월한 것은 지형적 특징 때문일 것으로 판단된다.

(2) 해양환경인자 조사

(가) 수온

기장의 경우 연중 표층의 수온은 12.0 ~ 27.2 °C의 온도분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 11.8 ~ 21.3 °C이었다. 완도의 경우 표층의 경우 6.5 ~ 25.0 °C의 온도분포를

나타내고 있으며, 저층에서는 6.3 ~ 24.1 °C 이었다. 이로서 계절별로 표층 수온의 변화가 더 크며, 특히 여름의 수온이 두 지역 모두 높았다.

(나) 염분

기장의 경우 표층 염분은 32.5 ~ 34.46 ‰의 분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 32.8 ~ 34.7 ‰, 완도의 경우 표층 염분은 31.3 ~ 34.47 ‰의 분포를 나타내고 있으며, 저층에서는 31.5 ~ 34.47 ‰의 염분분포를 가진다. 기장보다 완도의 염분변화가 더 크게 나타났다.

(다) 수질 분석

6개의 수질 항목 pH, DO, COD, SS, TN, TP에 대하여 2003년 11월부터 2009년 2월까지의 기장과 1997년 2월부터 2009년 2월까지 완도의 수질 항목을 조사하였다. 관측시기별 값들을 산술평균하여 계산한 평균치는 기장의 경우 각각 8.14, 8.68, 1.09, 5.65, 0.249, 0.025 이며, 완도의 경우 8.1, 8.29, 0.91, 18.46, 0.352, 0.031로 나타났다. 기장해역과 비교하면 PH, DO, COD가 완도해역이 상대적으로 낮지만, TN, TP는 높다. 또한 1990년대 후반보다 2000년 초반의 TN, TP양이 증가하는 것은 육지로부터 많은 영양염류가 완도해역으로 공급되고 있음을 보여준다.

나. 양식시설의 설계환경인자 분석 및 해석(수치시뮬레이션)

(1) 파랑변형 수치모의

외해 대량양식의 적지선정을 위하여 기장과 완도해역에서 심해설계파 및 평상파에 대한 파랑자료를 구축하고자 하였다. 대상해역인 기장 및 완도해역에 대하여 평균해면, 약최고고조위에 대하여 심해설계파 및 평상파를 산출하였으며, SWAN(ver. 4.72)수치모형을 사용하였다. 심해설계파 입력조건은 2005년 12월 한국해양연구원의 [7]의 설계파정점을 고려하였으며, [6]의 평상파의 경우 거제도 및 거문도 해양부이 관측소에서 관측되어진 최근 10년간(2001년 1월 ~ 2010년 12월)의 자료를 분석하였다.

심해설계파 산출 결과에서 기장해역의 수심이 급경사를 이루고, 해안선과 평행하게 수심이 발달한 해역이다. 기장해역에서 심해최대 설계파 결과를 살펴보면 남동으로부터 입사한 파랑조건에서는 외해에서 최대 11 m 이상의 파고가 산출되었다. 특히 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 의해 주변보다 큰 파고가 분포하였으며 8~9 m의 최대 심해설계파고가 나타났다. 평균해면과 약최고고조위에서 기장해역은 변화가 미미하였다. 지형적으로 살펴보면 연안에서는 3~4 m로 나타났으나, 수심이 20~30 m 내외에

서는 8~9 m의 파고가 나타났다. 고리인근 해역 보다 월래리 북측해역에서 파고가 낮게 나타나 구조물의 안정성에 보다 유리할 것으로 판단된다.

완도해역의 경우 섬이 발달하여 차폐역할을 하는 해역으로서 남동으로부터 입사한 파랑에서 외해에서 최대 10.5 m 이상의 파고가 산출되었으며, 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하였다. 즉, 보길도, 소안도, 청산도, 초도 전면해역의 경우는 파랑의 영향을 외해로부터 직접적으로 받는 해역으로서 파고가 높게 나타났다. 그러나 위에 열거한 섬들이 차폐 역할을 하는 완도, 신지도, 조약도, 생길도, 평길도 및 거금도 전면해역의 경우 파랑의 영향이 감소하였다. 적지선정을 위하여 완도, 신지도 생길도 평길도 거금도 전면 해역이 유리할 것으로 판단되며, 특히 보길도, 소안도, 청산도의 차폐영향을 받는 완도 전면해역이 보다 유리 할 것으로 판단된다.

평상파의 결과에서 기장해역의 경우 계절적으로 하계보다 동계에 보다 높은 파고가 나타났다. 월래리, 고리, 임랑리 및 대변의 전면해역의 파고를 비교해보면 0.3~0.8 m 동계가 높았다. 외해양식의 대상종을 고려하면 동계의 파고가 중요하므로, 동계에 월래리, 고리, 임랑리 및 대변항 전면해역의 파고를 비교하면 고리와 임랑리 전면해역이 안정할 것으로 판단된다. 특히, 고리해역에서 2.4~3.5 m 범위로 산출되었다. 이는 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 인해 나타나는 것으로 판단되며, 구조물의 안정에 유리할 것이다.

완도해역의 경우 기장해역과는 반대로 하계보다 동계에 낮은 파고를 보였다. 조위의 변화 즉, 약최고조위와 평균해면의 결과에서는 최대 0.3m의 변화가 나타났다. 완도해역은 섬이 발달한 해역으로서 하계 결과에서 5.5 m이상의 유의파가 입사한 파랑에서 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하여 대상해역에서 3.8 m로 감소하는 것으로 나타났다. 완도해역에서 대상종을 고려하여 동계의 결과를 살펴보면, 보길도, 소안도, 생길도 및 초도 배후의 완도, 신길도, 조약도, 생길도, 평길도 및 거금도 전면해역이 구조물 안정성에 유리 할 것이다. 특히, 외해 대량양식을 고려했을 때, 신지도, 생길도 및 평길도 전면해역보다 거금도, 조약도 및 완도 전면해역이 유리할 것이다. 이들 중 완도 서남측 해역과 조약도 남측, 거금도 남서측이 안정할 것이다.

(2) 해수유동 수치모의

해조류의 대량생산을 위한 개념 설계단계로서, 생산시설의 기능 및 목적에 부합하는 구조물 설치를 외해의 외력 및 환경인자의 분석을 통하여 양식시설의 적지선정 및 설계외력 계산을 하기 위하여 해수유동 실험을 실시하였다.

기장해역은 한반도의 동해 남부지역에 위치하여 외해역에서는 100m 이상의 비교적 수심이 깊은 해역으로 해안에서 대체로 수심이 가파르나 수심이 깊어짐에 따라 대체

로 완만해지는 특성을 보이며, 이는 외해양식시설 설치시 적정 수심역인 15~40m 해역은 대체로 평탄하여 구조물의 설치시에 해저경사에 의한 구조물의 안정은 확보되었다. 동해안의 특성상 대체로 외해역에 오픈되어 외해로부터의 파랑의 영향이 큰 해역이며, 상대적으로 조석 및 조류에 의한 영향이 상대적으로 작은 지역이다. 대상해역에서 조류의 흐름은 대체로 해안선 및 등수심선에 평행하게 창조시 남서류에서 낙조시 북동방향의 흐름을 보이며, 과업대상해역에서의 유속분포는 최대 47cm/s 로 외해역에서도 유속은 거의 60cm/s 이내의 흐름을 보여, 대체로 구조물의 설치시 영향은 크지 않을 것으로 사료된다. 또한 과업대상해역은 외해역에 오픈된 해역으로 심해에서 입사되는 파랑의 영향이 큰 해역으로 외해대량 양식시설물 설치시 파랑으로부터 구조물을 보호하기 위하여 최대한 연안에 근접한 해역이 설치시 유리할 것으로 판단된다

완도해역의 경우는 남해안의 다도해 해역에 위치하고 있으며, 수심은 대체로 30m 이내의 비교적 얕은 해역으로 이루어져 있다. 특히, 외해역에에 위치한 섬들로 차폐되어 기장에 비하여 외해로부터 입사되는 파랑의 영향은 대체로 적을 것으로 판단된다. 그러나, 남해안이라는 특성상 기장에 비해 상대적으로 큰 조차와 다도해의 특성인 많은 섬들로 인하여 섬과 섬사이의 수로를 따라 비교적 강한 흐름이 발생하는 해역이다. 특히, 해수유동 수치실험의 결과 금일도 남측의 섬으로 둘러싸인 해역에서는 90cm/s이하의 흐름을 보이나, 금일도 주변해역의 섬과 섬사이의 수로를 따라 약 120cm/s 의 강한 흐름을 나타나는 것으로 조사되었다. 또한 청산도 남측의 외해역은 외해역에서 입사되는 큰 파랑으로 인하여 외해시설물의 적지로는 부적합할 것으로 판단되며, 따라서 완도해역의 경우는 섬과 섬사이 협수로를 지양하고 외해로부터 차폐된 섬의 배후에 시설물을 설치하는 것이 유리할 것으로 판단된다

다. 구조물 요소별 시스템 구성 및 개념설계

해조류 대량생산 개념 설계의 가장 중요한 요소는 안전성이다. 따라서 폭풍해일, 지진해일, 고파랑등에 안전하게 유지되기 위해서는 구조물의 거동을 줄이고 외력에 의한 파괴가 발생하지 않는 구조를 하여야 한다. 또한, 만약의 경우를 대비하는 부가적인 구조물도 고려하여야 한다. 이와 동시에 안전한 구조물에 부가적으로 친환경 에너지를 얻을 수 있는 시설물을 설치함으로써 적은 비용으로 지속적인 에너지를 확보하는 강점을 가지게 된다. 따라서 수심 40~100 m 이내의 지형에서는 일반적으로 고정식 강제 구조물을 사용하고 있으나 이것은 석유시추와 같은 고정밀 작업을 위해서 제작된 것이고, 해조류 양식은 구조물 거동의 허용범위가 상대적으로 많은 만큼 아주 기본적으로 pile을 설치하고 그 사이에 양식장을 설치하는 방안이 효과적일 것이다. 따라서 해저지반에 4개의 pile 기초 혹은 소규모 SPAR을 설치하고 그 사이로 양식장을 설치하여 해조류를 양성하고, 양성 후 채취

및 이송을 용이하게 하기 위해 해조류가 양성된 로프를 쉽게 탈부착할 수 있는 shuckle과 같은 장치를 설치하는 것이 효과적인 설계가 될 것이다.

따라서 기존 연승식 시설물의 설치 단점이 연안보다 깊은 수심에서의 해조류 대량 양식은 안전한 구조물일 경우, 해조류의 생산량을 늘리는 것과 동시에 태양열, 파력, 조력, 풍력에너지와 같은 청정에너지를 생산하여 친환경에너지를 영구적으로 사용함으로써 생산 단가를 현저히 낮출 수가 있다.

5. 향후계획

- 가. 대량양식 대상종이 결정이 된다면 구조물 시스템 구성요소를 대상종에 맞게 구성하고 각 구성요소의 특성을 분석하고자 한다. 특히, 채취 및 이송시스템과 구조물 형상은 수많은 Case study가 수행되어야 하므로, 구체적인 시스템 구성요소를 결정하고자 한다.
- 나. 시험양식장에서 이루어진 설계인자에 대한 분석 및 해석은 아직 자세한 해조류별 생산량이 나오지 않은 관계로, 실제 대량양식 적지에 적용이 가능한지 검토하기 위하여 물리적, 생물학적 측면에서 재해석 및 검토가 필요하고, 외해에 대량양식시설을 설치할 수 있는 해역을 찾기 위하여 대상해역을 영역화하여 해도를 바탕으로 해저지형 조건을 세밀하게 측량하여 실제 시설물 적용시 발생할 오류를 줄일 계획이다. 또한 아직 명확하게 나오지 않은 구조물의 형태 및 설계에 대한 다양한 설계기법과 자료를 획득하여 기본설계시 참고자료로 사용할 예정이다.
- 다. 연간 해조류 생산량, 필요한 공급단가 등이 향후 명확하게 설정되어, 생산 규모에 맞는 효과적인 구조물에 대한 개념 설계 및 기본 설계를 수행하고, 현재 항만 및 어항 설계기준에 제시된 설계값을 기준으로 구조물과 양식장 기본설계를 실시할 예정이다.

제 2 절 채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 배경

자연자원으로서 생물체량을 의미하는 바이오매스 생산에 대해 과거에는 주로 농산물, 축산물 및 임산물을 중심으로 연구 및 실증 실험이 이루어져 왔다. 최근 식용 가능한 육상작물을 이용하여 바이오 에너지를 생산함에 따라 국제 곡물시장에서 가격이 상승하는 문제점이 있었다. 또한 농업부문에서 유채를 이용한 바이오에너지 사업을 시행하였지만 육상의 공간적 제약으로 인해 산업화를 통한 발전에는 한계가 있다.

하지만 화석에너지를 대체하기 위한 해조류 바이오에너지는 해수 중에 녹아 있는 탄소의 흡수로 인한 온실가스의 감축효과와 더불어 성장 과정에서 해수 중의 유·무기 영양분을 흡수함으로써 연안역 부영양화 문제를 해결할 수 있다. 또한 곡물을 이용한 바이오 에너지에 비해 지형적인 제약이 적기 때문에 발전 가능성이 크다. 해조류의 경우 목질계에 비해 성장 속도가 월등히 빠르며 구성 성분 면에서도 리그닌이 함유되어 있지 않아 전처리가 용이하다[8].

그러나 해조류 바이오매스 활용을 위한 원료의 공급에 있어 우리나라의 경우 해조류의 생산량의 대부분을 식용을 소비하고 있으며 원료로 활용하기에는 생산량 또한 부족하다[9]. 따라서 해조류를 에너지로 이용하기 위해서는 다른 에너지원과 연계하거나 경제성 확보를 위한 대량 생산(양식) 시스템 구축이 요구된다.



(a) 이와테현 미야코(일본)

(b) 캘리포니아 몬테레이 만

[그림 4-2-1] 외국의 해조류 채취 작업 장면.

하지만 대량 생산(양식) 기술이 발전하고 이와 더불어 해양에서 해조류의 대량 생산이 가능하다고 하더라도 채취 및 이송과정에서 에너지 효율을 극대화하고 분실되는 양을 극소화하기 위한 기반 기술의 개발도 반드시 병행되어야 할 기술 요소라고 할 수 있다. 즉, 해조류 대량 양식 시스템의 구축과 연계하여 저비용·고효율의 채취(수확) 및 이송시스템의 확립이 필수적이다. [그림 4-2-2]는 양식시설 채취 및 이송 시스템의 현재와 미래에 요구되는 기술을 간략히 나타낸 것이다.



[그림 4-2-2] 양식시설 채취 및 이송 시스템의 현재와 미래.

나. 연구 목적

본 절에서는 해조류 대량생산(양식) 시스템 구축에 따른 저비용·고효율의 채취 및 이송시스템에 필요한 필수요소를 정리하고 개념설계를 수행한다. 즉, 해조류 채취는 극한 환경조건에서도 일정한 시간동안 목표 채취량에 도달하는 것이고, 채취된 해조류의 이송은 높은 효율의 수송에너지 소비를 저감하는데 목표(대량-대형선박 or 연속-컨베이어 벨트)를 두고 있는 것이다.

다. 연구 내용

연구 목적을 위하여 기존의 국내외 해조류 채취 및 이송에 대한 사례를 분석하여 대량으로 양식된 해조류를 채취 및 이송을 위해서 필요한 필수요소를 정리한다. 또한 채취 및 이송시스템은 구조물의 형상 설계 및 양식을 목표로 하는 해조류의 종류에 따라 형태가 변화하므로 이에 따른 최적의 자동화 채취 및 이송시스템의 개념을 정립함과 아울러 이에 수반되는 기술요소를 제안함으로써 향후 해조류 대량생산을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

상술한 내용을 바탕으로 본 연구에서 최종적으로 목표하는 바는 첫째, 채취 및 이송시스템 개념설계 : 선박 등 이송 자동화 설계, 둘째, 시설관리 및 수확 시스템 개념 설계이다. 이에 대한 본 연구의 세부적인 연구내용을 개략적으로 정리하면 다음 [그림 4-2-3]과 같다.

- 1. 설계의 목적 및 임무 설정**
 - **채취** : 극한 환경조건에서도 일정한 시간동안 일평균 목표 채취량에 도달
 - **이송** : 고효율의 수송과 적은 연료 소비량을 목표 (대량-대형선박 or 연속-컨베이어 벨트)
- 2. 환경 및 설계 조건의 조영 및 분석**
 - **연속적인 채취 조건** : 해역의 정온도 확보, 기계의 염해방지, 안정적인 전력공급
 - **고효율 이송** : 대형바지선을 이용한 대량수송, 가열·건조후 분쇄하여 수송 방안 등
- 3. 전체시스템의 특성분석**
 - 저장,처리 및 이송(main system)과 채취(sub system)으로 분리 구성
- 4. Sub system의 개략적 기능 특성**
 - 연속적인 해조류 채취를 위한 기능 - 자동화기술과 인력조합(컨베이어 벨트와 관리인원)
- 5. 내용, 기간, 비용에 따른 시스템 구성 및 개발방법 개념 설정**
 - 연중 생산 가능한 기간과 투입비용, 해조류 종류에 따라 시스템 구성 세밀화
- 6. 주요 구성부분의 연속성 분석**
 - 각 구성이 장애 없이 연속적으로 작업가능하도록 risk 제거

[그림 4-2-3] 채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계 세부내용.

2. 연구 방법

현재 국내의 해조류 채취방법의 대부분은 선박위의 모터 및 부가장치를 이용하여 해조류가 양성된 로프를 끌어올리고 인력이 손수 낚, 칼 등을 이용하여 채취하는 방식을 사용하고 있다. 이는 현재 과학적인 혹은 체계적인 채취 방법이 아닌 비용이 적게 들기 위한 소규모 채취의 전형적인 방법이다. 따라서 수거 방법의 특징 및 대량생산에 적용가능 여부를 판단하기 위해 현장에서 채취하는 방법을 현장 방문하여 조사하고 기타 지역에서 해조류를 채취하는 방법에 대한 자료 등을 수집하여 분석하고 정리하였다.

국외의 경우, 몇몇 나라에서 대량양식 시설구조물을 설계한 사례가 있고, 양식된 해조류를 채취·이송하기 위한 여러 가지 아이디어를 제안하고, 제안된 아이디어에서 요소별로 설계한 경우를 찾아보았다. 그러나 국외의 경우에도 체계적인 채취·이송시스템 보다는 각 요소별 방법을 서술한 정도에 불과하여 본 과업에서도 서적 및 해당 웹사이트를 통해 채취선박의 특성, 채취시 사용된 장비 개발 사례, 이송시스템의 다양한 방안을 서술하였다. 또한, 국내의 연안 이용 실태와 국내 양식 해조류 종류에 따라 몇 가지

채취 및 이송시스템의 개략적인 개념도를 제안하였다.

3. 연구수행 결과

가. 국내 해조류 채취 및 이송시스템 특징

국내의 경우 내수면 어업개발촉진법에 의해 해조류 채취 어업을 면허어업의 하나로 규정하고 있으며 연안 양식장에서의 해조류 채취 시 주로 소형선박을 이용한다[10]. 따라서 선박 용적의 한계로 인하여 대량으로 채취하는데 한계가 있으며 필요에 따라 많은 양의 해조류를 채취하기 위해서는 수번씩 어항과 양식장을 왕복해야 하므로 많은 연료와 시간의 소비로 인하여 경제적이지 못하다(그림 4-2-4). 아울러 해조류 채취 방법인 도수 및 기계식 채취 방법에 따라서도 생산량이 큰 차이를 보이고 있다(표 4-2-1).

[표 4-2-1] 해조류 채취 방법별 효율성 조사 결과

채취 방법	2인1조 작업시 1일 채취량	장단점
도수채취	2톤	-속음채취를 할 수 있으나 채취작업 비능률적
기계채취	8톤	-채취작업이 시설물 철거와 동시에 이뤄지고 친승이 롤러를 거치면서 깨끗하게 청소돼 1석3조의 효과가 있고 작업능률이 높음 -일괄 채취하므로 염장품 가공시 제품질 저하

※출처:수산양식 제11권 통권 114호(1993년 3월호) pp.96-100.

미역이나 김의 경우 양식 외에 일부지역에서는 정해진 기간(김:12월 ~ 4월 중순, 미역:음력 3월 ~ 5월)내에 썰물 때가 되면 해안가에서 손으로 뜯거나 낚으로 잘라서 소규모로 채취한다[11]. 매생이의 경우 12월 말부터 2월 말까지 서식하는 해조류로 매생이를 수확하는 데는 여러 과정이 필요하다. 매생이 종자가 붙어 자랄 수 있게 하기 위해 매생이 발이란 것이 필요하며 매생이 발의 높이를 조절하기 위한 매심이라는 줄이 필요하며 매생이를 바다에 고정시키기 위해 장대도 필요하다. 매생이 채취 작업은 매생이 발에 붙은 매생이를 손으로 뜯어내어 수확한다. 또한 주로 제주도에서 행해지는 어업으로 해녀가 잠수하여 해조류를 채취하기도 한다(그림 4-2-5) [8].

현재의 해조류 채취의 주요 목적은 식용이 대부분이며 채취 방법이 인력을 이용하는 노동집약적인 방법이다. 해조류를 채취하는 주체가 개인이거나 소규모 어업 집단인 경우가 대부분이며 이송방법 또한 주로 소형선박이 이용되므로 해조류 바이오에너지 개발에 필수적으로 요구되는 안정적인 원료의 공급에 적합하지 못하다.



(a) 다시마 채취 작업(완도 해역)



(b) 매생이 채취 작업

(c) 모자반 채취 작업

[그림 4-2-4] 국내 소형선박을 이용한 다시마 채취 작업 현황.



(a) 돌미역 채취 작업 현황



(b) 파래(녹조류)

(c) 청각(녹조류)



(d) 잠수어업

[그림 4-2-5] 천해역 수작업을 통한 해조류 채취 작업 현황.

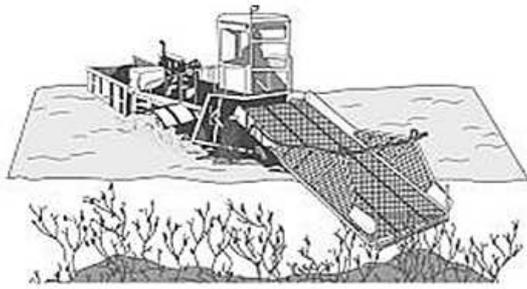
나. 국외의 해조류 채취 및 이송시스템

국외의 해조류 채취 및 이송 시스템에 대한 사례조사결과를 살펴본 결과, 개인으로 하는 양식 또는 식용으로 이용하기 위한 해조류 채취는 국내와 비슷하며 산업적인 이용을 위한 기업 또는 정부 차원에서 행해지는 해조류 대량 양식 및 채취의 경우 국내에 비하여 비교적 자동화, 대량화되어 있다([그림 4-2-6] ~ [그림 4-2-20]) [12,13].

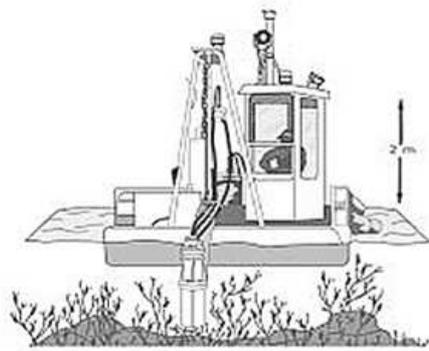
(1) 해조류 채취 시스템 국외 사례 분석

미국의 Scotia Marine Products Limited company는 1970년대 초 rock weed(여러 갈조류 종류들의 총칭)를 수확하기 위하여 기계적인 방법을 적용하였다. 이 장비는 소형 바지선에 컨베이어 벨트와 커터가 장착되어져 있었다. 이후 1985년 노르웨이의 수확장비로 대체 되었는데 이는 rock weed를 자르고 펌프를 이용해 잘려진 해조류를 끌어올려 수확하는 시스템이었다([그림 4-2-6]) [14]. 비교적 기계화가 이루어졌지만 선박의 용적이 작고 크기도 작아 연안과 비교해 파랑이 크고 조류가 빠른 외해에서는 적용하기 어려우며 해면에서 연승줄을 주로 이용하는 다시마 양식에서는 채취가 되지 않는다. 양식에 의해 생산된 해조류가 아닌 자연 상태에서 성장한 해조류를 기계적으로 채취하기 크레인이 장착되어 있는 바지선이 이용되기도 한다([그림 4-2-7]) [15,16]. 이러한 크레인이 장착된 바지선 역시 용적이 부족하며 단위시간 동안의 목표채취량에 도달하기 어려운 단점이 있다. 해조류에 관련된 사업을 진행 중에 있는 기업들은 자동 커터(Cutter) 장치를 구비되어 있으며 컨베이어 벨트를 이용하여 채취된 해조류를 자동으로 저장고로 이동시킬 수 있는 대형 선박을 이용하여 작업이 주로 이루어지며 상대적으로 많은 양의 해조류를 채취할 수 있다[17].

중국의 Zhangjiagang Feichi Machinery Manufacture Co., Ltd.에서는 자동화된 해조류 채취선을 개발하였는데 항해 시 마찰을 감소시킬 수 있는 장비로 채취 작업 동안 연료의 손실을 방지 할 수 있으며 채취 및 이송에 이르는 모든 과정이 완전히 자동화되어 있다. 또 다른 자동화 된 해조류 채취선은 조작성이 매우 쉽고, 선실에서 채취버튼을 사용하여 해조류 채취 작업을 쉽게 제어할 수 있으며, 일정량의 해조류를 지속적으로 채취할 수 있다. 또한 본 채취선은 전기 에너지를 사용하여 조용하고 환경 친화적이다. 위의 두 가지 선박을 외해 대량 양식에 적용하기 위해서는 용적을 늘려야 하며 외해에서의 파랑이나 조류가 빠르더라도 안정적으로 수확을 할 수 있는 조건이 따라야 한다([그림 4-2-8], [그림 4-2-9]) [18].



(a) 1970년



(b) 1985년



(c) California에서의 다시마 채취 작업 (Kelco)
[그림 4-2-6] 해조류 채취 장비 현황(미국).

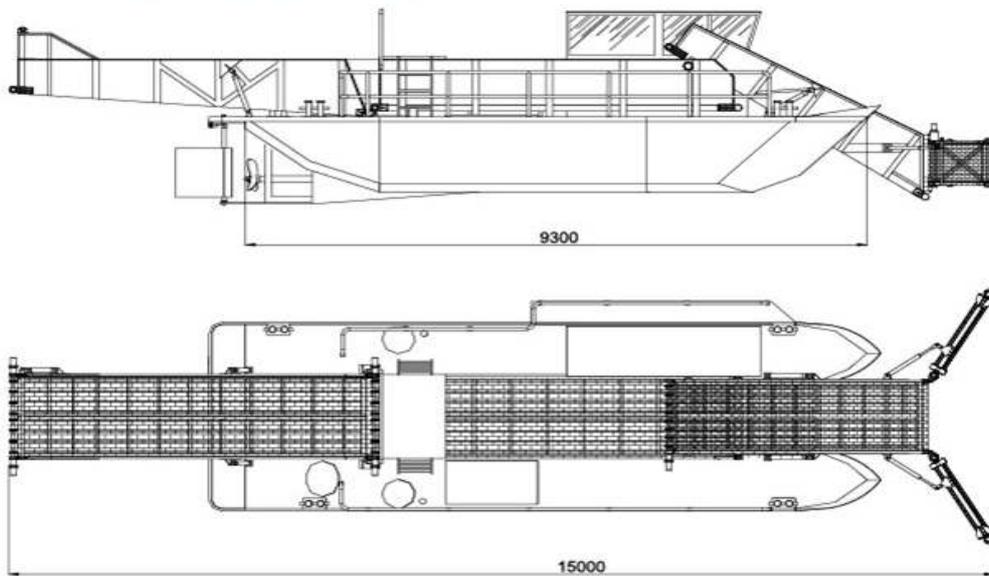


(a) Norway



(b) The coast of Brittany, France

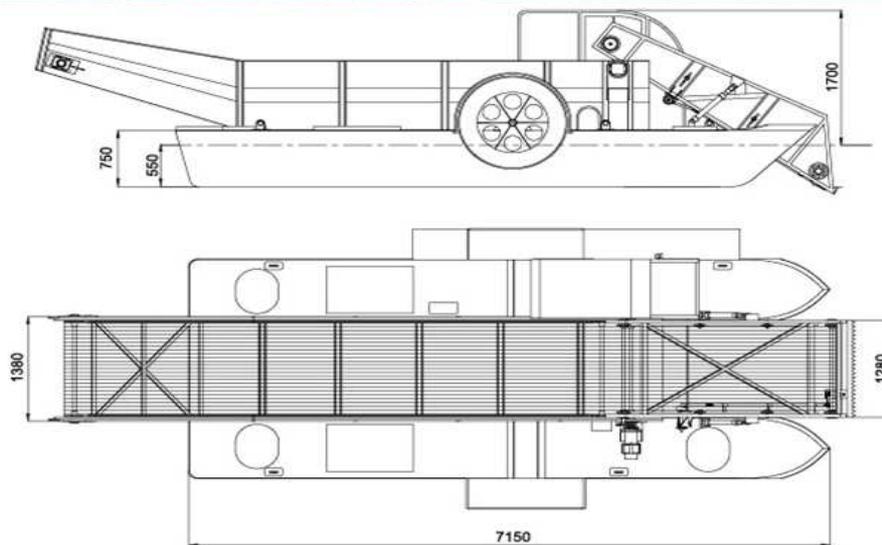
[그림 4-2-7] Mechanically harvested kelp using flat-bottom vessel.



[그림 4-2-8] Full Automatic Seaweed Gathering Ship FCQJC9-8A (China).

[표 4-2-2] Main Measurement FCQJC9-8A

항목	제원
총길이 (m)	15
폭 (m)	3.7
높이 (m)	3.3
선체길이 (m)	9.3
형폭 (m)	3.2
형깊이 (m)	1.3
흘수 (m)	4
만재배수량 (m)	0.6/1.0
적재량 (t)	25.2
엔진출력 (kw)	75
작업시 이동속도 (km/h)	8
수송시 이동속도 (km/h)	15
탑승객 (명)	3



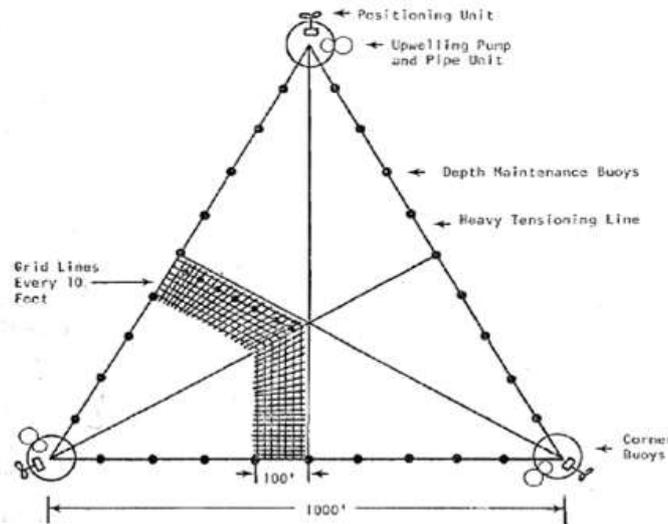
[그림 4-2-9] Electric and Automatic Mowing Ship FCGC7-3A.

[표 4-2-3] Main Measurement FCGC7-3A

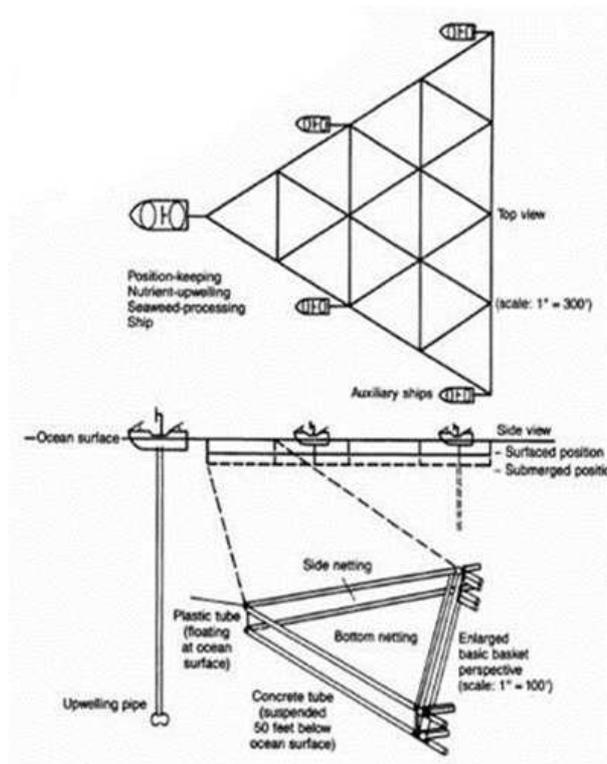
항목	제원
총길이(m)	9.1
폭(m)	3.8
높이(m)	2.3
선체길이(m)	7.15
형폭(m)	2.9
형깊이(m)	0.75
흘수(m)	1.28/1.0
만재배수량(m)	0.4/0.6
적재량(t)	10.9
엔진출력(Ah)	1600
작업시 이동속도(km/h)	2.5
수송시 이동속도(km/h)	5
탑승객(명)	2

(2) 효율성 극대화 해조류 양식시스템 국외 사례

TGS (Tensioned Grid System)의 경우 삼각형의 객체를 모퉁이에 있는 부이로 연결한 시스템으로 플라스틱 튜브와 콘크리트 튜브를 이용해 각 객체를 구성하며 이송 시에는 선박들을 이용해서 끌고 간다. 이 시스템의 경우 이송 시에 발생할 수 있는 해조류의 탈착문제와 많은 선박을 이용해야 하므로 연료의 소비가 많다.

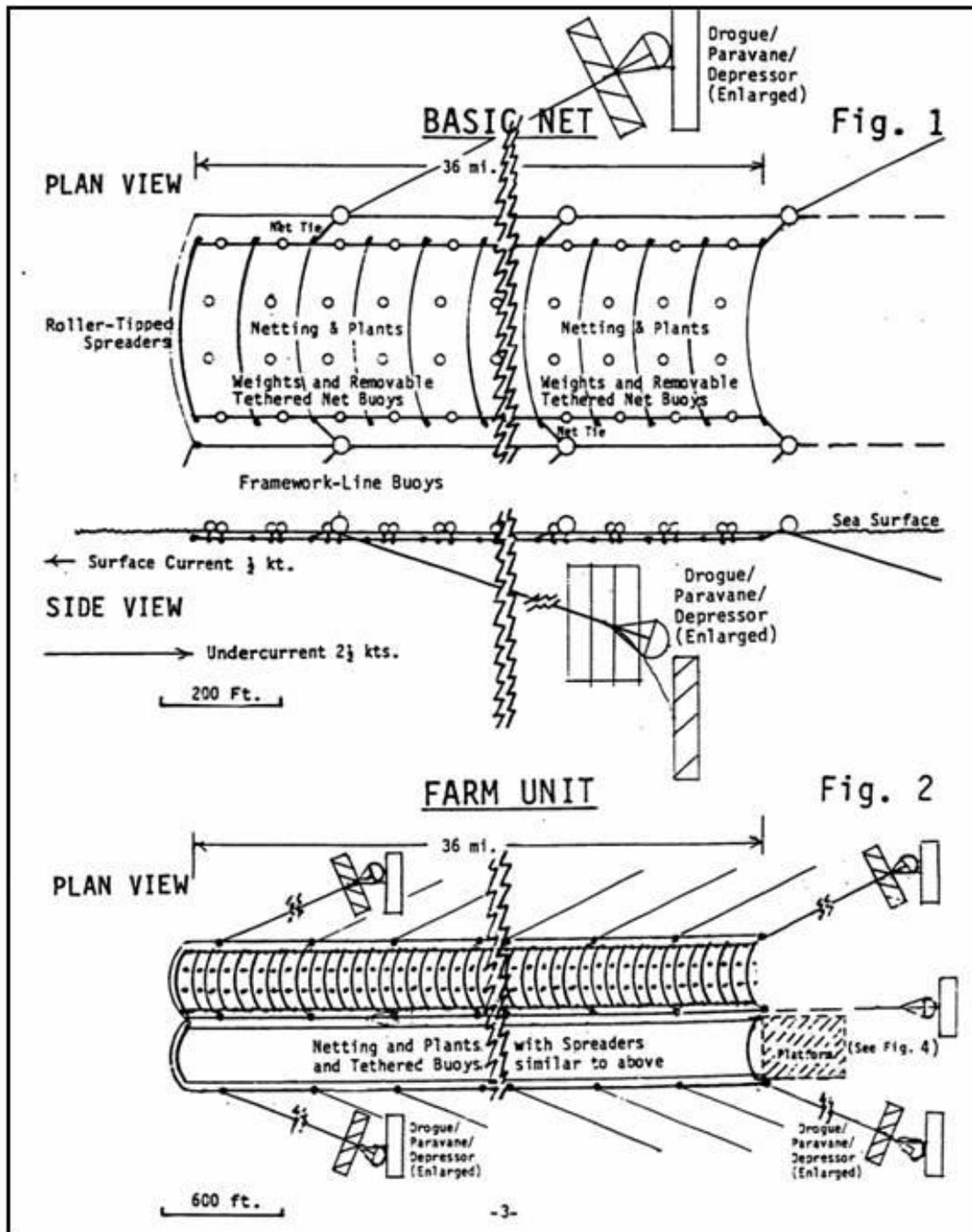


[그림 4-2-10] Design of the 10 acre Ocean Farm Module.

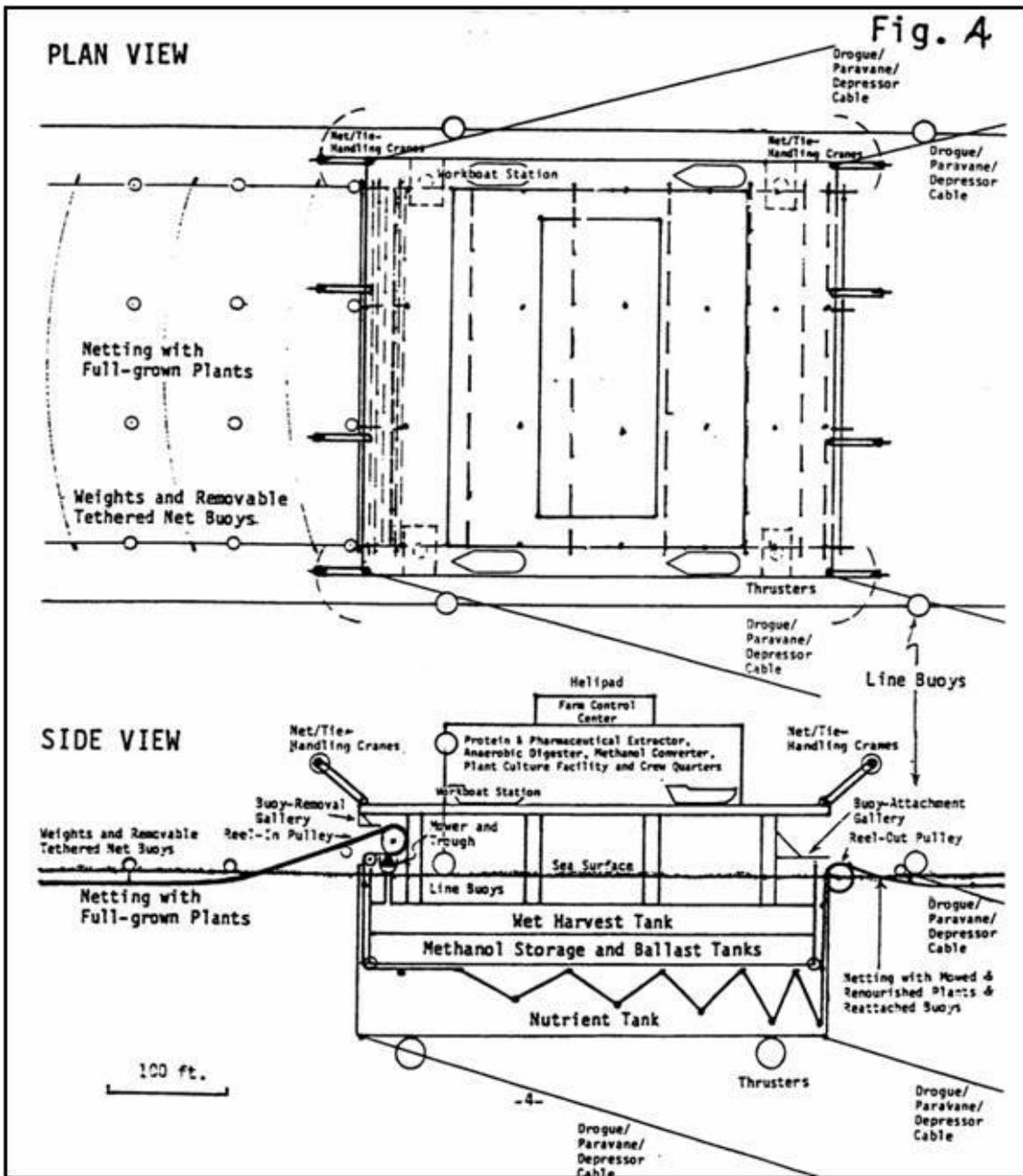


[그림 4-2-11] Illustration of delta marine farm test unit.

1997년 워싱턴에서 열렸던 Marine Biomass Workshop에서 제안되었던 Pacific equatorial macroalgal farm은 대형해조류를 양식하기 위한 시스템으로 2개의 플라스틱 nets(wide : 90 m)로 구성되어 있다. 해조류를 채취 할 경우 해조류가 양식되고 있는 net는 움직이지 않고 있는 상태에서 platform이 nets를 지나가면서 프로펠러 형태인 cutter를 이용해 채취한다.

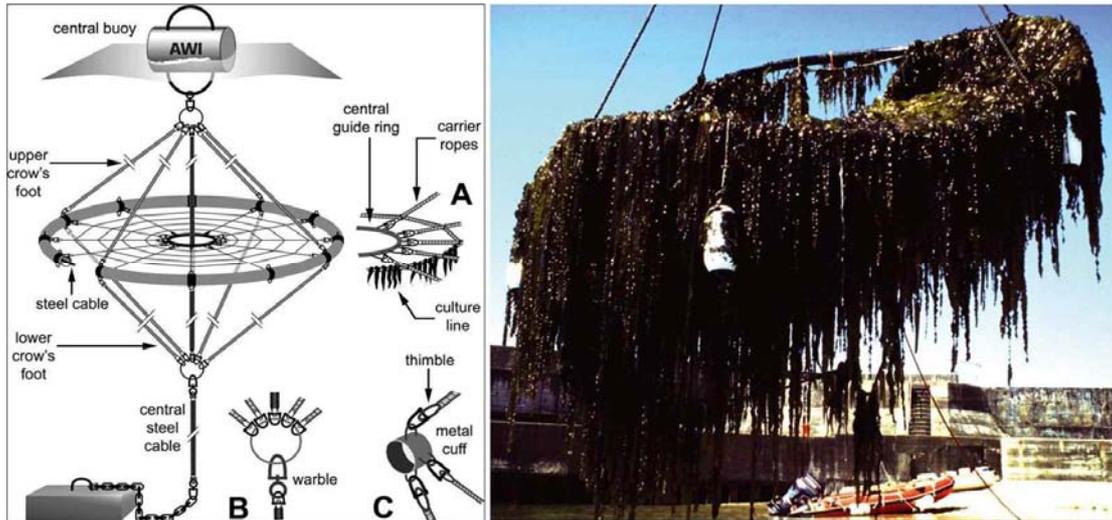


[그림 4-2-12] Pacific equatorial macroalgal farm - platform and conversion system.

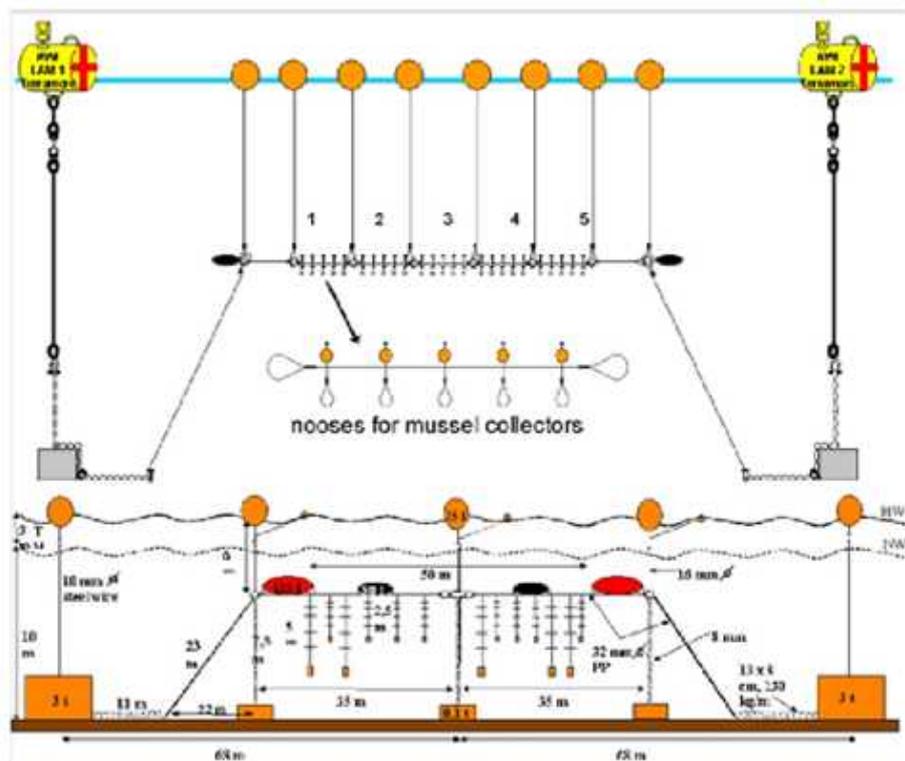


[그림 4-2-13] Pacific equatorial macroalgal farm - platform and conversion system.

독일의 개발 계획의 경우 개별 양성 후 크레인을 이용하여 객체별로 채취 후 바로 이송하는 방법이다. 이 방법은 객체 요소 당 제작비와 인력비가 과다투입 되어 경제 적이지 못하다([그림 4-2-14]).



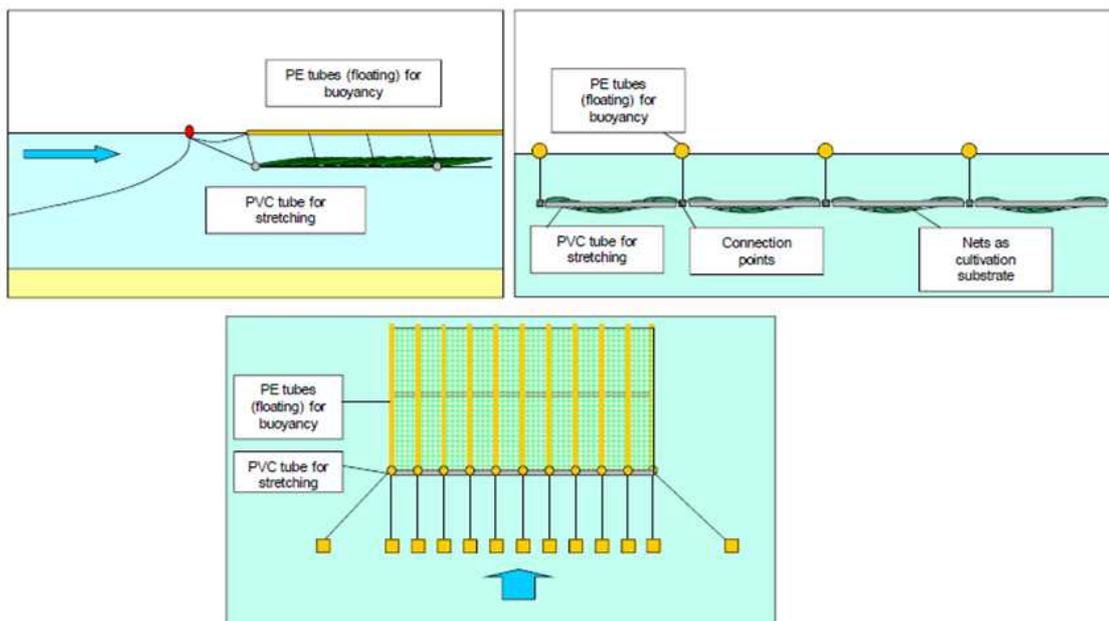
[그림 4-2-14] 독일의 개발 계획.



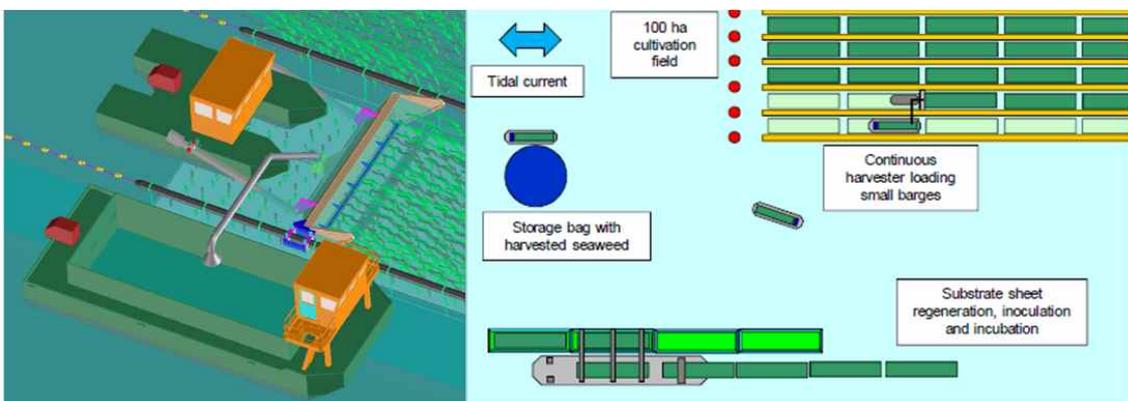
[그림 4-2-15] Long line system.

(3) 채취 및 이송 복합 양식시스템 국외 사례

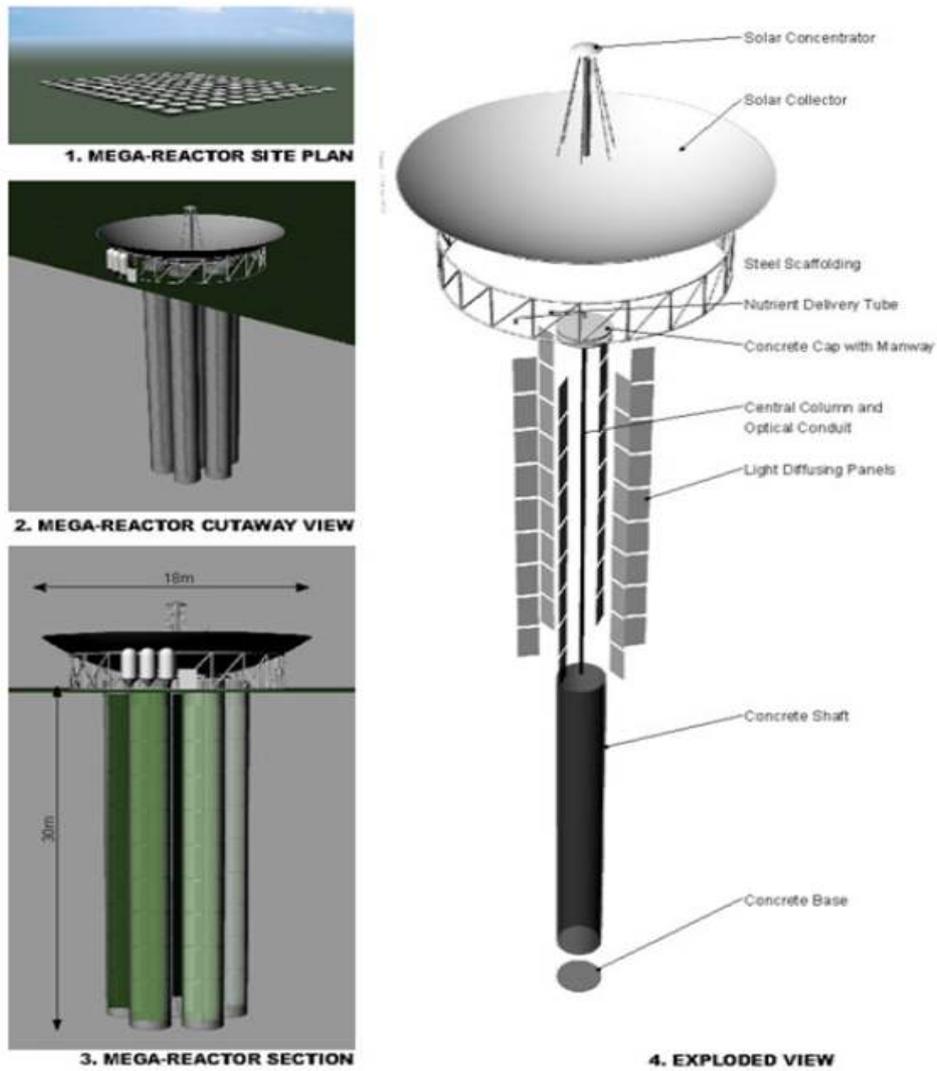
네덜란드의 ECN (Energy research Centre of the Netherlands)에서 2010년에 개발된 양식시스템의 경우 Line system과 Net system이 결합된 시스템으로 PE튜브와 PVC튜브로 구성되어 있다. 해조류를 양식한 후 채취선을 이용해 PE튜브 사이에 있는 nets에서 해조류를 채취 한다. 채취선에서 채취된 해조류는 펌프를 이용해 바지선으로 옮겨져 저장고로 이송된다. 자동화된 시스템을 구축하였으나 목표하는 해조류의 양식 방법이 연승식인 경우 이 채취 시스템을 적용하기 어려우며 채취선에서 바지선으로 이송하는 펌프는 다시마와 같이 객체의 크기 큰 경우에는 이를 운송하기 위한 전력의 소모가 커진다([그림 4-2-16], [그림 4-2-17]).



[그림 4-2-16] ECN (Energy research Centre of the Netherlands)의 양식시스템[19].



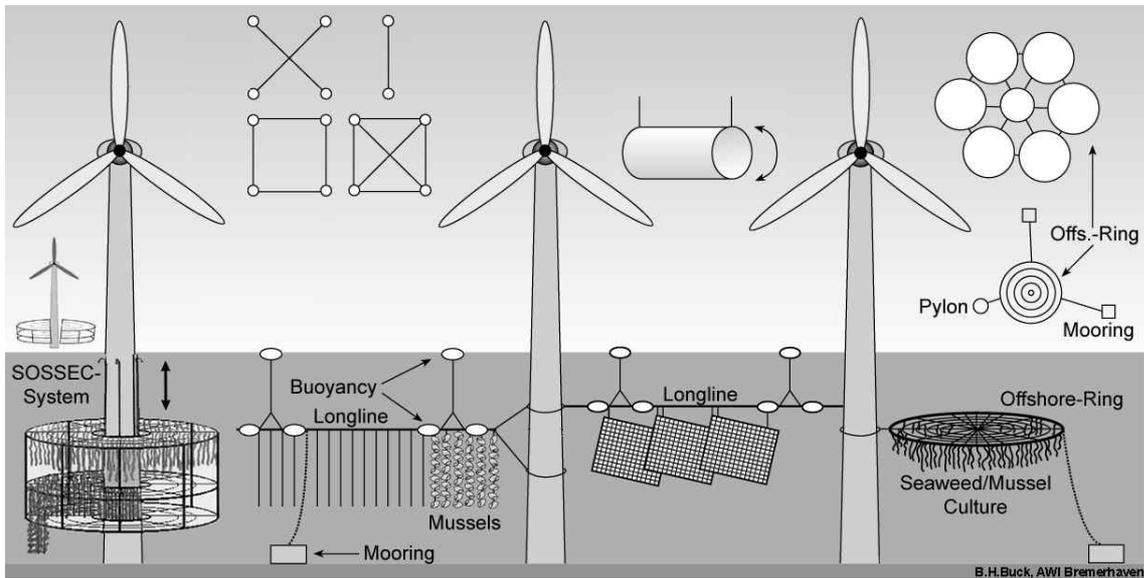
[그림 4-2-17] ECN (Energy research Centre of the Netherlands)의 채취 및 수송 시스템[19].



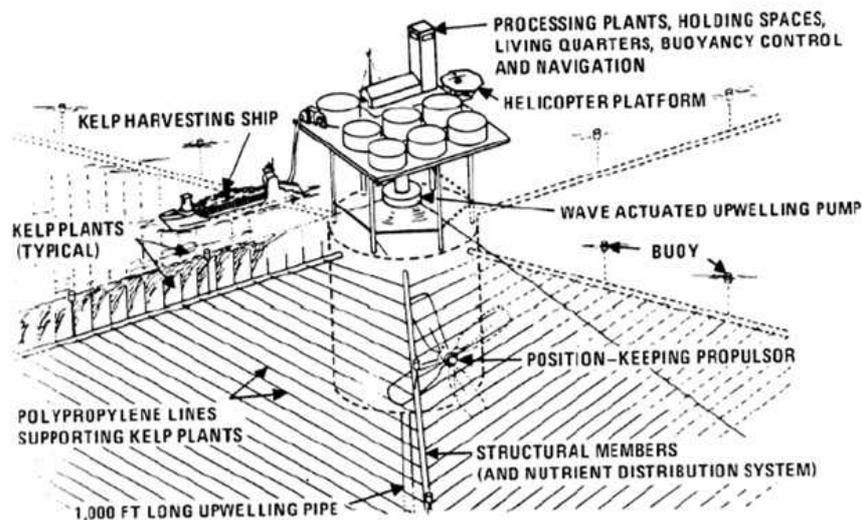
[그림 4-2-18] 대형해조류에 대한 양식장과 수확 시스템.

(4) 다목적 기능을 포함하는 양식 시스템 국외 사례

해조류 양식시스템을 위해 풍력발전이나 파력발전과 연계한 양식시스템은 다양한 기능을 수행하고 다양한 양식 시스템과 결합할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이러한 시스템을 위해서는 시스템을 구축하기 위한 시설비와 유지관리를 위한 비용이 많이 소모되며, 또한 해상조건에서 외력(파랑, 조류, 태풍 등)에 대한 구조물의 안정성의 문제가 해결되어야 한다.



[그림 4-2-19] 위해 해상풍력 발전과 연계한 해조류 양식 시스템.
(Bela H. Buck, Alfred Wegener Institute, DE.) [20]



[그림 4-2-20] Conceptual Design of 400 ha Ocean Food and Energy Farm.
(Chynoweth, 2002)[21]

다. 해조류 채취(Harvest) 양식시설 시스템 필수 요소

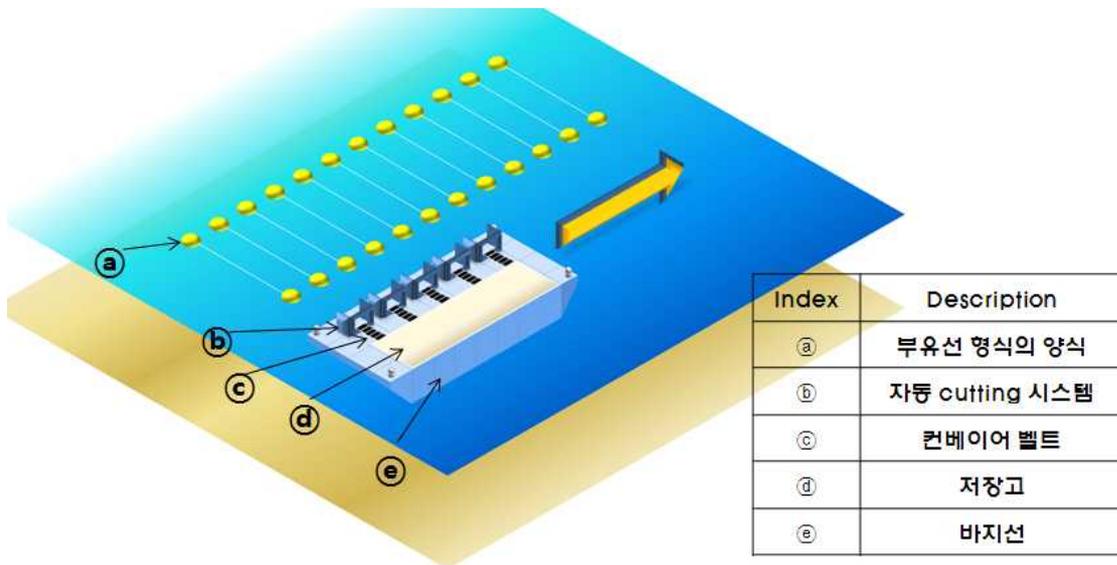
해조류 바이오에너지를 위한 원료로 사용하기 위해서는 경제성이 확보되어야 한다. 안정적인 원료가 공급될 만큼의 대량 양식이 이루어지면 적은 비용으로 채취해야 하고 채취에 걸리는 시간을 줄여야 한다. 또한 해역의 정온도를 확보하여 일정한 시간 동안 목표 채취량에 도달할 수 있어야 한다. 그리고 채취 시스템의 형태와 방법에 영향을 주는 요소로 해조류 대량 양식 목표종, 수확 방법(재성장 소요 시간, 새로운 종자)이 있다. 이상의 요소를 요약하면 다음과 같다([그림 4-2-21]).

- (1) 적재무게(Capacity Ton)
- (2) 단위시간당 산출량(Yield in Unit Time)
- (3) 자동화(Automation)
- (4) 기계화(Mechanization)
- (5) 파랑, 흐름, 바람(Wave, Current, Wind)
- (6) 해조류 종류(Seaweed Species)
- (7) 채취 방식(Entire plants removed, Vegetative and Reproductive)



[그림 4-2-21] 채취시스템에 영향을 미치는 요소.

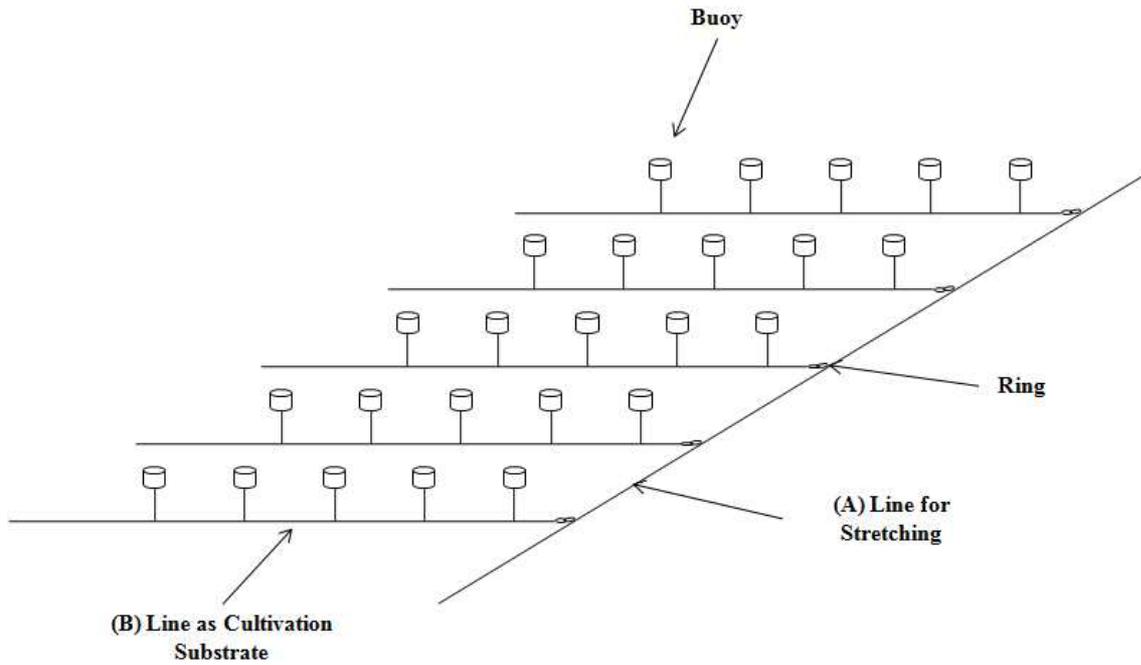
[그림 4-2-22]은 채취시스템에서 자동화 cutting 시스템, 컨베이어벨트를 이용하여 대량이 해조류를 채취한 즉시 이송할 수 있는 시스템의 개략적인 특징을 나타낸 것이다. [그림 4-2-22]는 현재의 연승식 시설법 중 부유선 형식의 양식인 경우에 해당되며, 다른 시설물 혹은 대량생산구조물의 형상 및 배치에 따라 채취선의 특징들이 변화할 것이다. 그러나 기본적인 틀인 자동화 채취 및 시간, 비용 절약측면에서 채취 즉시 이송되는 형태는 유지될 것이다.



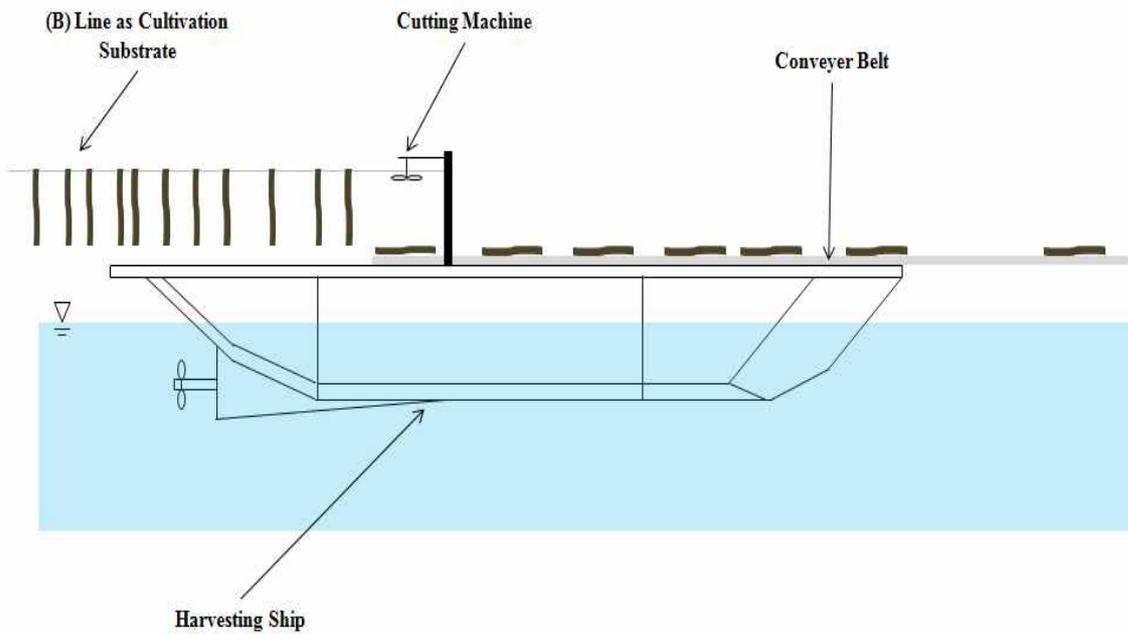
[그림 4-2-22] 자동화 채취 및 이송시스템 모식도.

보다 구체적인 방법을 서술하면, 채취·수확방법은 양식을 목표로 하는 해조류의 종류와 양식 방법에 따라 결정된다. Long-line system 형태의 양식 시스템에 대하여 채취의 용이성을 위해 위치를 잡아주기 위한 줄 (A)와 해조류가 성장하는 줄 (B)를 탈부착이 가능한 링으로 연결하여 채취 작업 시 링으로 연결된 줄 (B)를 따로 분리하고 일정한 간격으로 부착되어 있는 부이를 제거 한다([그림 4-2-23]). 그 이후 줄 (B)에 부착되어 있는 해조류는 두 가지 형태의 과정으로 채취 할 수 있다. 분리된 줄 (B)를 컨베이어 벨트가 갖추어져 있는 채취선 위로 끌어 올린다음 cutting machine를 이용해 선박 위에서 자르고 나면 채취 된 해조류는 cutting machine 바로 아래부터 수송을 위한 소형 바지선 까지 이어져 있는 컨베이어 벨트를 통해 바지선으로 이동하게 된다([그림 4-2-24]). 또 다른 방법은 컨베이어 벨트와 cutting machine이 갖추어져 있는 것은 같은 방식이나 분리된 줄 (B)를 수면 위로 끌어올려 채취 하지 않고 수중에 있는 상태로 채취 하는 것이다. 이러한 방법을 위해서는 컨베이어 벨트가 선미나 측면 쪽에서 수면아래까지 이어져 있어야 한다. 이때 cutting machine에 의해 채취된 해조류가 조류에 의해 떠내려가지 않도록 망을

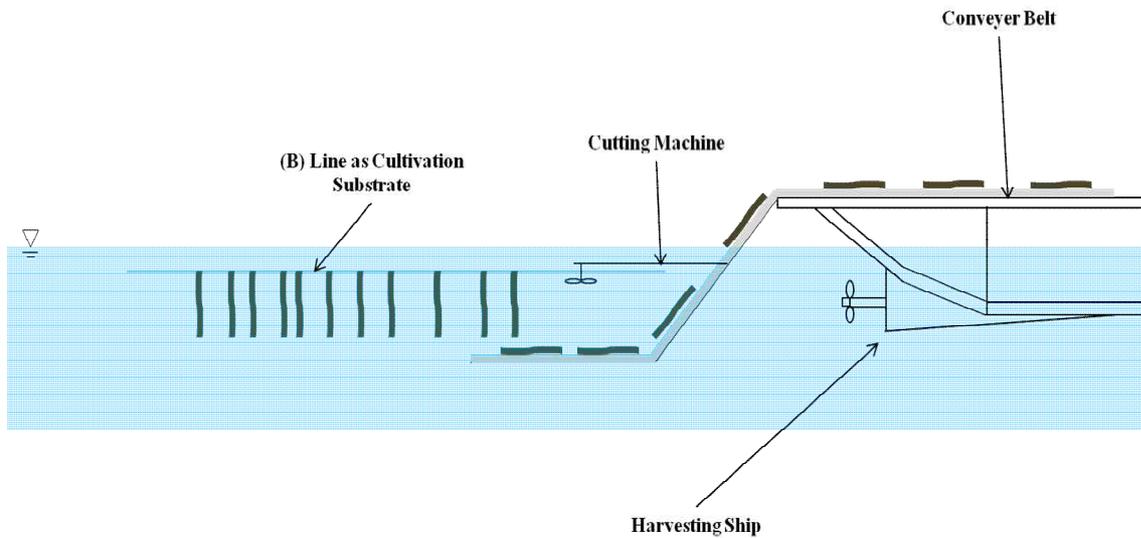
설치하여 해조류를 채취 한다([그림 4-2-25]).



[그림 4-2-23] 외해 해조류 대량양식 개념도.



[그림 4-2-24] 채취 시스템(수면 위).



[그림 4-2-25] 채취 시스템(수면 아래).

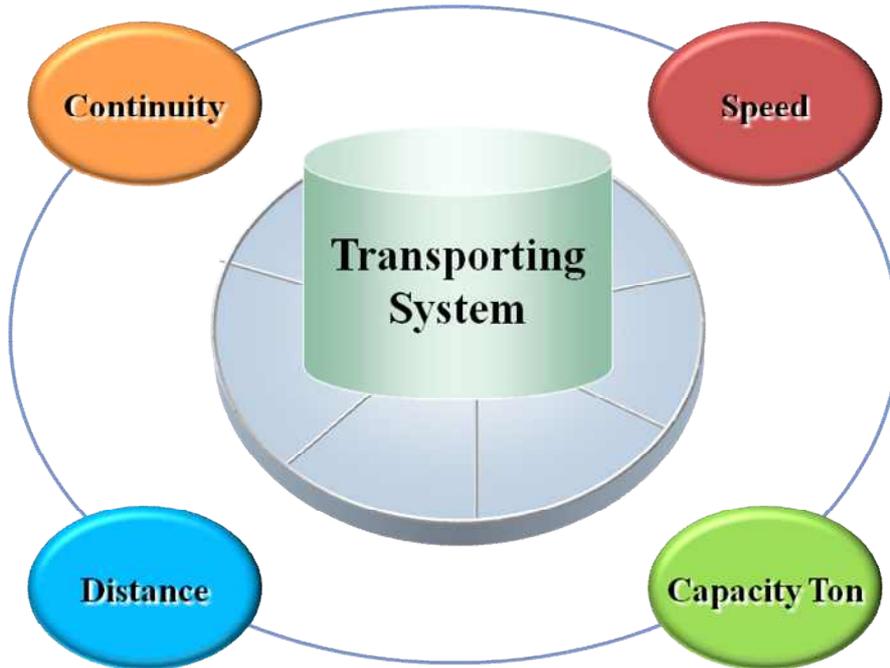
라. 해조류 수송(Transport) 양식시설 시스템을 위한 필수 요소

효율적이고 안정적인 방법으로 해조류를 채취하고 나면 가공 또는 건조를 위해 작업장으로 수송을 해야 한다. 수송시스템의 경우 채취시스템과의 시간적인 연속뿐만 아니라 해조류 양식에 의해 생산된 해조류를 최종적인 바이오에너지로 전환시키는데 필요한 모든 공정에서 시간적인 끊어짐이 없이 연속적인 과정 속에 있어야 한다. 이를 위해서는 채취에서부터 목표량에 도달하기 위한 채취시간과, 1회에 수송할 수 있는 양, 이동거리 등의 요소를 고려하여 수송 시에 드는 연료비 및 시간적인 소비를 줄여야 한다. 이를 위한 요소들을 정리 하면 다음과 같다([그림 4-2-26]).

- (1) 연속성(Continuity)
- (2) 선속(Speed of Ship)
- (3) 이동거리(Moving Distance)
- (4) 적재무게(Capacity Ton)

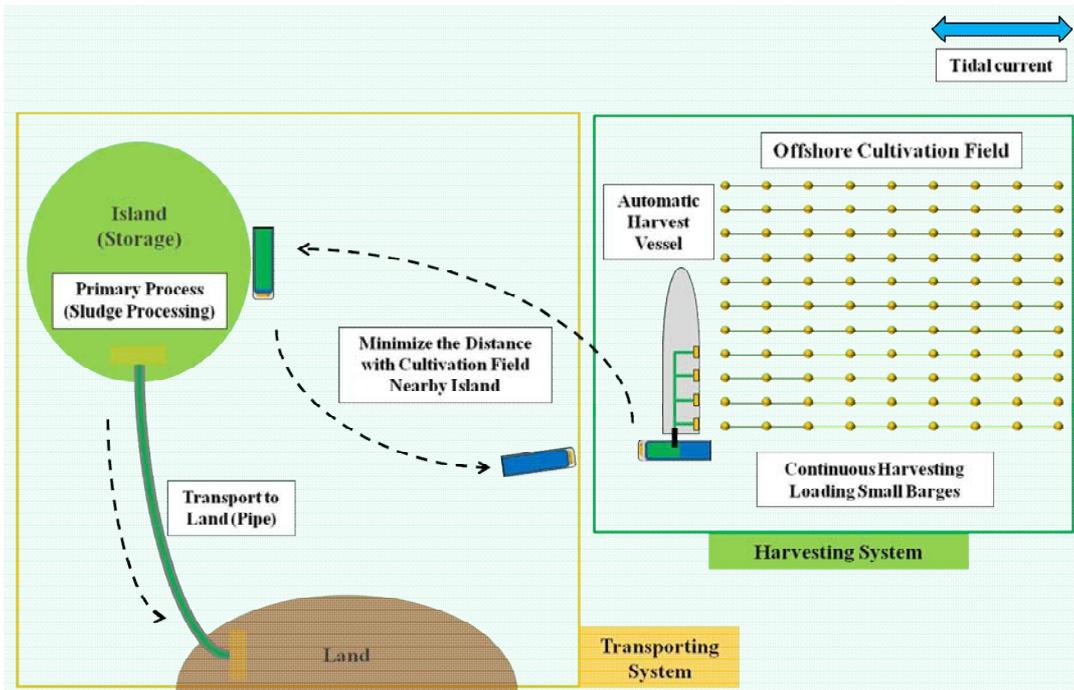
채취 시스템에 의해 채취된 해조류는 채취선에 설치되어 있는 컨베이어 벨트에 의해 소형 바지선으로 옮겨진다. 연속적이면서도 시간을 줄이기 위한 시스템이 필요하다. 안정된 해상상태와 채취에 걸리는 해조류의 양의 시간에 따른 오차가 크지 않다고 가정한다면 소형바지선의 용적, 섬으로의 이동거리, 섬에서의 하역, 하역 후 다시 양식장으로 돌아오는 시간을 생각하여 2척 이상의 소형 바지선이 운영할 수 있다. 이러한 시스템을 적용하면 바지선의 용적을 크게 늘이지 않더라도 이동거리를 줄이면서 운영을 할 수 있

으며 채취 작업 또한 바지선을 기다리는 시간이 없어서 연속적으로 채취 작업이 가능해지고 목표 채취량에 도달하는 시간을 줄일 수 있다.

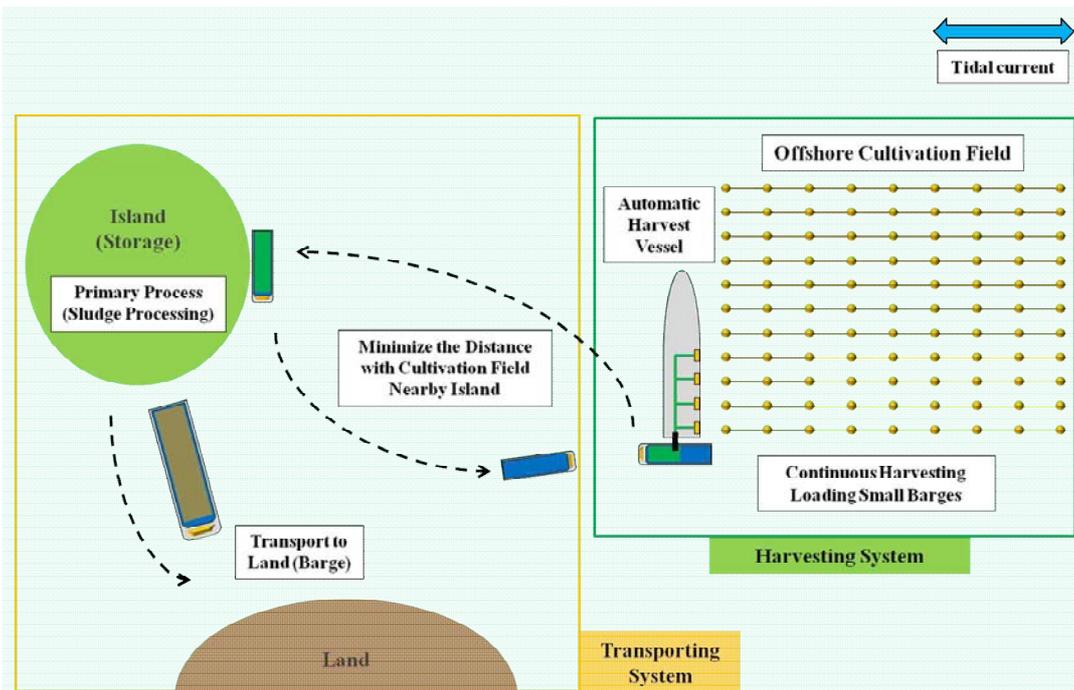


[그림 4-2-26] 수송 · 이송시스템에 영향을 미치는 요소.

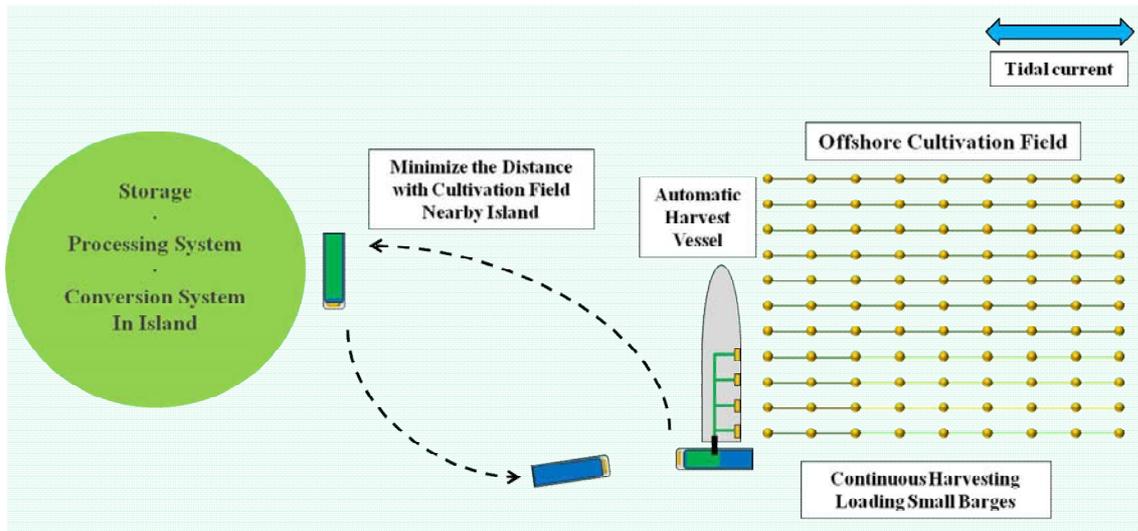
한편 소형바지선을 이용해서 수송된 해조류는 섬에서 에너지 화를 위한 공정을 거치게 된다. 해조류를 바이오 에너지로 활용하기 위해서는 우선 슬러지 상태로 만들어야 한다. 이후의 공정에서 섬에서 육지까지의 거리에 따라 3가지 경우를 생각해 볼 수 있는데 첫 번째로 슬러지 상태의 원료를 다음 공정을 위해 파이프라인을 이용해 육지로 운송하는 방법이 있다. 파이프를 이용해 운송하는 방법은 해상상태에 영향을 받지 않으며 필요에 따라 원료의 양을 조절할 수 있다. 하지만 섬과 육지 사이에 거리가 멀다면 파이프라인을 구축하는데 경비가 많이 소모되고 또한 이를 운영하기 위한 운영비가 늘어나게 된다([그림 4-2-27]). 두 번째는 슬러지 상태의 원료를 대형 바지선을 이용해 육지까지 운송하는 방법이다. 이 방법의 경우 섬과 육지사이의 거리가 멀다면 상대적으로 파이프를 이용하는 운송방법 보다 경비를 절감하는 효과를 볼 수 있다. 하지만 대형바지선을 운영하기 위해서는 육지와 섬에 대형바지선을 위한 접안시설을 마련해야 하며 해상상태에 따라 운송을 할 수 없는 경우도 발생하게 될 것이다([그림 4-2-28]). 세 번째 방법은 슬러지 상태의 원료를 육지로 운송하지 않고 섬에서 바로 에너지 화를 위한 공정을 진행하는 것이다. 이는 추가 운송비를 절감 하는 효과를 볼 수 있다. 하지만 이를 위해서는 섬 지역에 모든 공정을 처리 할 수 있는 설비를 갖추어야 한다([그림 4-2-29]).



[그림 4-2-27] 채취 및 이송시스템 개념도-1.



[그림 4-2-28] 채취 및 이송시스템 개념도-2.



[그림 4-2-29] 채취 및 이송시스템 개념도-3.

4. 요약 및 제언

가. 저비용 고효율의 채취 및 이송을 위한 필수요소

채취·수확방법은 해조류의 종류와 대상 해조류의 양식 방법에 따라 결정되므로 여러 형태의 채취방법이 고안될 수 있다. 그 중에서 일반적인 연승식 양식을 수행할 경우, 채취의 용이성을 위해 위치를 잡아주기 위한 줄과 해조류가 성장하는 줄을 탈부착이 가능한 링으로 연결하여 채취 작업 시 링으로 연결된 줄을 따로 분리하고 일정한 간격으로 부착되어 있는 부이를 제거 한다. 그 이후 양식줄에 부착되어 있는 해조류는 두 가지 형태의 과정으로 채취 할 수 있다. 분리된 줄은 컨베이어 벨트가 갖추어져 있는 채취선 위로 끌어 올린다음 cutting machine를 이용해 선박 위에서 자르고 나면 채취 된 해조류는 cutting machine 바로 아래부터 수송을 위한 소형 바지선 까지 이어져 있는 컨베이어 벨트를 통해 바지선으로 이동하게 된다. 또 다른 방법은 컨베이어 벨트와 cutting machine이 갖추어져 있는 것은 같은 방식이나 분리된 줄 (B)를 수면 위로 끌어올려 채취 하지 않고 수중에 있는 상태로 채취 하는 것이다. 이러한 방법을 위해서는 컨베이어 벨트가 선미나 측면 쪽에서 수면아래까지 이어져 있어야 한다. 이때 cutting machine에 의해 채취된 해조류가 조류에 의해 떠내려가지 않도록 망을 설치하여 해조류를 채취 한다.

채취 및 이송 작업 시 해상 상태에 영향을 덜 받으면서 일정시간 동안 목표 채취 량에 도달해야 하며 고효율의 수송과 연료의 소비를 적게 해야 한다. 또한 해조류 채취 후 다음 채취를 위해 해조류의 재생장에 필요한 시간을 줄이는 것 또한 중요한 요소이다. 이를 위해서는 고파랑이나 장주기 파랑에 영향을 덜 받기 위하여 정온도를 확보해야

하며 기계의 염해 방지 및 자동화 시스템을 위한 안정적인 전력공급이 필요하다. 또한 대형바지선을 이용한 대량수송과 채취와 동시에 가열·건조 등의 가공작업을 병행하는 것이 효율적이다.

나. 구조물 형상 설계에 따른 최적의 자동화 이송시스템 개념정립

구조물의 형상 설계에 대한 개념을 정립하기 위해서는 다음의 여섯 가지 사항을 숙지한 후 수행되어야 한다.

- (1) 설계의 목적 및 임무 설정
- (2) 주변 환경 및 설치 조건의 조정 및 분석
- (3) 전체시스템의 특성분석
- (4) sub-system의 개략적 기능 특성 고려
- (5) 내용, 기간, 비용에 따른 시스템 구성 및 개발방법 개념 설정
- (6) 주요 구성부분의 연속성 분석

전술한 바와 같이 채취 시스템에 의해 채취된 해조류는 채취선에 설치되어 있는 컨베이어 벨트에 의해 즉시 소형 바지선으로 옮겨 연속적이면서도 시간을 줄이기 시스템이 요구된다. 만약 안정된 해상상태와 채취에 걸리는 해조류의 양의 시간에 따른 오차가 크지 않다고 가정한다면 소형바지선의 용적, 섬으로의 이동거리, 섬에서의 하역, 하역 후 다시 양식장으로 돌아오는 시간을 생각하여 2척 이상의 소형 바지선이 운영될 수 있다. 이러한 시스템을 적용하면 바지선의 용적을 크게 늘이지 않더라도 이동거리를 줄이면서 운영을 할 수 있으며 채취 작업 또한 바지선을 기다리는 시간이 없어져 연속적으로 채취 작업이 가능해지고 목표 채취량에 도달하는 시간을 줄일 수 있다.

한편 소형바지선을 이용해서 수송된 해조류는 섬에서 에너지 화를 위한 공정을 거치기 위해서는 우선 슬러지 상태로 만들어야 한다. 따라서 이후의 공정에서 섬에서 육지까지의 거리에 따라 3가지 경우를 생각해 볼 수 있다.

- (1) 슬러지 상태의 원료를 다음 공정을 위해 파이프라인을 이용해 육지로 운송하는 방법이 있다. 파이프를 이용해 운송하는 방법은 해상상태에 영향을 받지 않으며 필요에 따라 원료의 양을 조절할 수 있다. 하지만 섬과 육지 사이에 거리가 멀다면 파이프라인을 구축하는데 경비가 많이 소모되고 또한 이를 운영하기 위한 운영비가 늘어나는 단점이 있다.
- (2) 슬러지 상태의 원료를 대형 바지선을 이용해 육지까지 운송하는 방법이다. 이 방법의

경우 섬과 육지사이의 거리가 멀다면 상대적으로 파이프를 이용하는 운송방법 보다 경비를 절감하는 효과를 볼 수 있다. 하지만 대형바지선을 운영하기 위해서는 육지와 섬에 대형바지선을 위한 접안시설을 마련해야 하며 해상상태에 따라 운송을 할 수 없는 경우도 발생하게 될 것이다.

- (3) 슬러지 상태의 원료를 육지로 운송하지 않고 섬에서 바로 에너지 화를 위한 공정을 진행하는 것이다. 이는 추가 운송비를 절감 하는 효과를 볼 수 있다. 하지만 이를 위해서는 섬 지역에 모든 공정을 처리 할 수 있는 설비를 갖추어야 한다.

아직까지 명확한 개념설계가 부족한 것은 대상 해조류 결정, 해조류 목표 생산단가, 대량양식구조물이 개략적으로 결정되면, 추후 보완하여 완성가능할 것으로 판단된다.

5. 향후계획

가. 해조류 세부적인 채취 방법 및 장비 설계

현재 국내·외에서 적용되고 있는 채취 방법과 장비의 특징들을 정리하여 자동화 시스템의 적용이 가능하도록 방법 및 장비를 고안하고 채취선의 기본설계를 수행하고자 한다. 실질적인 장비 개발 가능여부와 해역에서의 장비 운용시 안전성 여부도 필히 검토하고자 한다.

나. 해조류 채취 및 이송 시스템의 안정성 및 경제성 평가

컨베이어 벨트가 갖추어져 있는 채취선과 채취된 해조류를 저장고로 옮기기 위한 소형 바지선은 작업 해역의 정온도가 확보되어야 안정된 수확량을 확보할 수 있다. 이를 위해 실패역의 파랑 및 조류의 조건을 검토하고 수치시물레이션과 수리모형실험을 통해 선박의 거동을 검토할 필요가 있다.

해조류 바이오매스를 위한 안정적이면서도 경제적인 원료 공급을 위해서는 위의 채취 및 이송시스템에 대해 선박의 운영 시 소비되는 연료와 외해 양식장과 저장고 사이의 거리, 섬과 육지 사이의 거리, 파이프라인을 운영하는데 소비되는 전력 등을 분석하여 가장 효율적이며 저비용의 시스템을 구축 할 필요가 있다[6].

제 3 절 원료수급 및 전처리 기술

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

다시마로부터 알긴산 분별공정을 최적화하여 다시마의 탈알긴산 및 전처리가 가능한 공정기술을 개발하고자 하였다.

나. 연구 내용

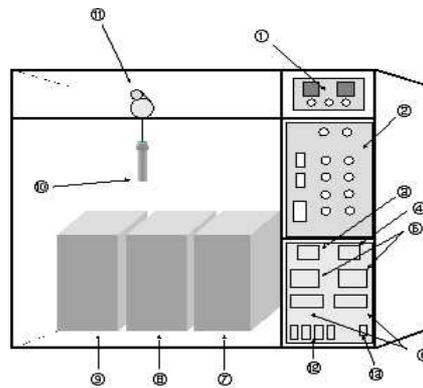
알긴산 분별에 적합한 촉매 및 다시마의 입자사이즈를 결정하였으며, 반응표면분석법을 이용하여 다시마로부터의 알긴산 분별 공정을 최적화 하였다. 최적화된 조건에서 알긴산 분별 후 남은 잔류 고체물 및 황산을 촉매로 이용한 추가 전처리 후 남은 잔류 고체물을 기질로 하여 효소 가수분해도를 평가, 알긴산 분별공정의 전처리 효과 및 추가적 전처리의 필요성을 확인하였다.

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

(1) 실험장치

[그림 4-3-1]은 반응기, 조작기, 반응조, 냉각조로 구성된 회분식 열반응기를 나타낸 것이다. 반응기는 용량 120 mL의 원통형으로 직경 2.5 cm, 두께 1.5 mm, 높이 36 cm로 제작하였으며, 반응기 내부의 온도를 측정하기 위해 별도의 반응기에 온도계를 장착하였다. 2가지의 반응조는 각각 다른 반응열 전달 매체체를 담고 있고 가로, 세로, 높이가 각각 64 cm, 17 cm, 35 cm인 직육면체의 형태로 제작하였으며, 내부에 5 kW/h의 가열기를 장착하여 300℃ 까지 온도조절이 가능하도록 하였다. 조작기는 반응시간을 조절하기 위한 타이머 및 반응기의 이동을 제어하는 조절 박스를 장착하였으며, 디지털 온도 조절기를 설치하여 각각 반응조의 온도 확인 및 조절이 가능하도록 하였다.



[그림 4-3-1] Experimental apparatus of batch process ① timer and counter, ② operator's control box, ③ voltmeter, ④ ammeter, ⑤ digital thermo controller, ⑥ digital indicator, ⑦ bath (cooler), ⑧,⑨ bath (heater), ⑩ batch reactor, ⑪ electric motor, ⑫ power switch, ⑬ main switch.

(2) 실험재료

본 실험에서는 완도산 다시마를 45°C 에서 24시간 건조하고 8, 14, 30 mesh로 분체하여 기질로 사용하였으며, 알긴산을 분별하기 위한 반응촉매로는 H₂SO₄, HCl, NaOH, Na₂CO₃, NH₄OH 수용액, 알긴산 분별 후 추가 전처리를 위한 반응촉매로는 H₂SO₄ 수용액을 이용하였다.

나. 실험 절차

(1) 실험조건

(가) 알긴산 분별조건 최적화를 위한 실험설계

다시마로부터 알긴산 분별 최적조건을 확립하기 위해 반응표면분석법 (Response Surface Methodology; RSM)을 사용하였으며, 중심합성계획 (Central Composite Design)을 실시하기 위해 예비 실험을 수행하였다. 예비 실험은 반응온도, 반응시간, 촉매농도를 독

립변수로 하여 독립변수들 중 2 변수를 고정하고 다른 한 변수에 대한 반응 경향을 분석하는 방법으로 진행하였으며, 실험조건은 반응온도 130~160°C, 반응시간 5~40분, 촉매농도 0.5~6.0%였다. 중심합성계획에 의한 독립변수 (Xn)는 반응온도 (X1)와 반응시간 (X2) 및 촉매농도 (X3)에 대한 실험범위를 선정하여 -1.68, -1, 0, 1, 1.68의 5단계로 부호화하였으며, 3변수 3수준 분류인자 설계 (3,3-fractional factorial design)에 따라 6개의 starpoint와 3개의 centerpoint에 관한 실험을 3회 반복 수행하였다. 실험결과는 SAS (Statistical Analysis System)를 이용, 통계적으로 분석하여 종속변수 (Yn)에 대한 회귀방정식을 구함으로써 최적 반응조건을 예측하였다.

(나) 효소가수분해도 평가

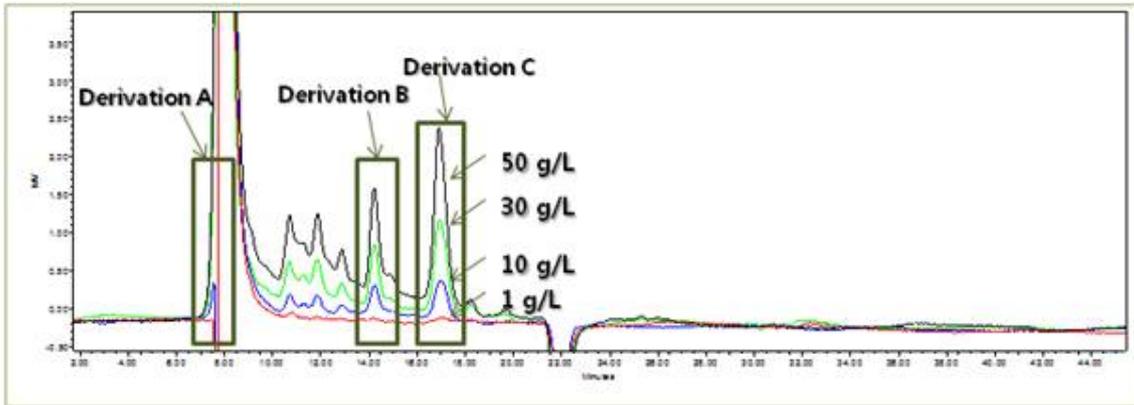
100 mL 삼각플라스크에 0.5 g의 glucan 양을 기준으로 한 기질과 0.1 M Sodium citrate buffer를 넣어 총 부피 50 mL가 되도록 한 후, Celluclast (Novo Co., Denmark) 30 FPU/g-glucan과 Novozyme-188 (Novo Co., Denmark) 70 pNPGU/g-glucan을 첨가하여 50°C에서 48시간 동안 반응을 수행하였다. 일정시간 (0, 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36h) 간격으로 채취한 시료의 glucose 농도는 RI detector (Waters 2414, Waters Co., USA)가 장착된 HPLC (Breeze HPLC system, Waters Co., USA)를 이용하여 분석하였다. 컬럼은 Aminex HPX-87H (300 x 7.8 mm), 이동상으로는 5 mM H₂SO₄ 수용액을 사용하였으며, 흐름 속도는 0.5 mL/min, 컬럼과 검출기의 온도는 65°C, 50°C로 각각 설정하였다.

(2) 분석방법

(가) 알긴산 분석

가장 일반적으로 이용되는 알긴산 정량분석법으로는 Kennedy and Bradshaw 방법 [22]이 있다. 이 방법은 Polyhexamethylenebiguanidinium chloride (PHMBH⁺Cl⁻)시약을 이용하여 알긴산을 침전시킨 후, 침전된 알긴산의 농도를 UV spectrophotometer를 이용하여 측정하는 비색분석법으로 알긴산 유래 단량체 농도를 측정하기는 어려우며, 반응 시료를 HPLC로 분석해야 하는 전처리 공정에 적용하기에는 별도의 실험절차를 거쳐야 하는 번거로움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 알긴산나트륨 (Sigma Aldrich, USA)을 4.0(w/v)% Na₂CO₃ 수용액에 넣어 1, 10, 30, 50 g/L의 농도로 각각 조제하고 140°C에서 15분 동안 반응시킨 후 RI detector (Waters 2414, Waters Co., USA)가 장착된 HPLC (Breeze HPLC system, Waters Co., USA)로 분석, 알긴산 농도와 비례적 관계를 가지는 알긴산 유래 단량체 피크들 (Derivation A, B, C)을 확인하여 ([그림 4-3-2]), 이 중 다른 물질의 검출 피크와 겹치지 않는 Derivation B의 Refractive index를 분별된 알긴산의 양을 평가하는 척

도로 사용하였다.



[그림 4-3-2] HPLC chromatogram of alkali treated sodium alginate.
Conditions; 4(w/v)% Na₂CO₃, 140°C, 15 min.

(나) 탄수화물 분석

시료에 포함되어 있는 탄수화물의 정량분석은 NREL/TP-510-42623 [23]에 따라 수행하였다. 준비된 시료 0.3 g과 72.0% H₂SO₄ 수용액 3 mL를 test tube에 넣고 15 ~ 20분 간격으로 유리막대를 이용하여 저어주면서 30°C에서 2시간 동안 반응시켰다 (1차 가수분해). 반응이 끝난 후 84 mL의 증류수를 가하여 산 농도를 4.0%로 낮추고 autoclave (8000-DSE, Nap Co., Korea)를 이용, 121°C에서 1시간 동안 반응시켰다 (2차 가수분해). 2차 가수분해가 끝난 시료는 탄산칼슘 (CaCO₃)으로 중화한 후, RI detector (Waters 2414, Waters Co., USA)가 장착된 HPLC (Breeze HPLC system, Waters Co., USA)를 이용하여 분석하였으며 분석조건은 나-(1)-(나)와 동일하였다. 반응 중 분해되는 당의 양을 보정하기 위해서는 Sigma Aldrich사의 표준시약을 사용하였다.

(다) 단백질, 회분 및 추출물 분석

다시마의 단백질 분석은 NREL/TP-510-42629 [24]에 따라 수행하였으며, 회분 및 추출물 분석은 NREL/TP-510-42622 [25] 및 NREL/TP-510-42619 [26]에 따라 진행하였다.

3. 연구수행 결과

가. 다시마 구성성분

[표 4-3-1]은 완도산 다시마를 구성성분을 나타낸 것이다. 탄수화물인 glucan 함량은 5.78 ± 0.52%, 반섬유소 (AMG) 함량은 1.0% 미만이었으며, 비탄수화물인 단백질은

8.69 ± 0.86%, 회분은 24.09 ± 1.23%, 추출물은 14.4 ± 1.19% (에탄올 추출물 14.28 ± 1.16%, 헥산 추출물 0.12 ± 0.03%)를 나타내었다. 분석물질 이외의 기타물질 함량은 46.04%였는데 이 중에는 알긴산과 laminaran 등이 상당량 포함되어 있을 것으로 판단된다.

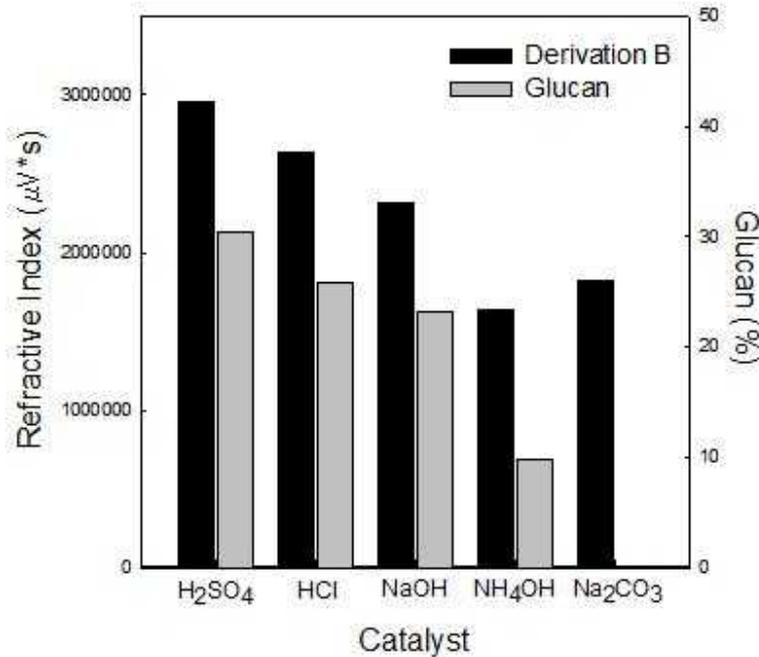
[표 4-3-1] Chemical compositions of *Laminaria japonica*

	Glucan (%)	AMG* (%)	Protien (%)	Ash (%)	Extractive (%)		Others (%)
					Et-OH	Hexane	
<i>Laminaria japonica</i>	5.78 ±0.52	< 1.0	8.69 ±0.86	24.09 ±1.23	14.28 ±1.16	0.12 ±0.03	46.04

*Arabinan, Mannan, Galactan

나. 촉매 선정

알긴산 분별에 적합한 촉매를 선정하기 위해 4.0%의 H₂SO₄, HCl, NaOH, Na₂CO₃, NH₄OH 수용액에 다시마 파우더를 넣어 140°C에서 15분 동안 반응을 수행하였으며, 반응 후 생성된 Derivation B의 Refractive index와 glucose 수율을 확인하였다. [그림 4-3-3]은 각각의 촉매를 이용하였을 때 생성된 Derivation B의 Refractive index와 glucose 수율을 나타낸 그래프이다. 염기 촉매를 이용한 경우보다는 산 촉매를 이용하였을 때 더 높은 Derivation B의 Refractive index가 확인되었으며, H₂SO₄ 촉매를 이용한 경우 가장 높은 Derivation B의 Refractive index를 나타내었다. 그러나 산 촉매를 이용한 경우에는 glucose가 다량 추출되었으며 (H₂SO₄: 30.4%, HCl: 25.9%), 염기 촉매들 중 NaOH와 NH₄OH를 사용한 경우에도 glucose가 추출되는 경향이 확인되어, 알긴산 분별 및 glucose 손실 모두를 고려한 촉매는 Na₂CO₃로 선정하였다.



[그림 4-3-3] Refractive index of Derivation B and glucan contents after fractionation of alginic acid from *Laminaria japonica* with various catalysts. Conditions; 140°C, 15 min.

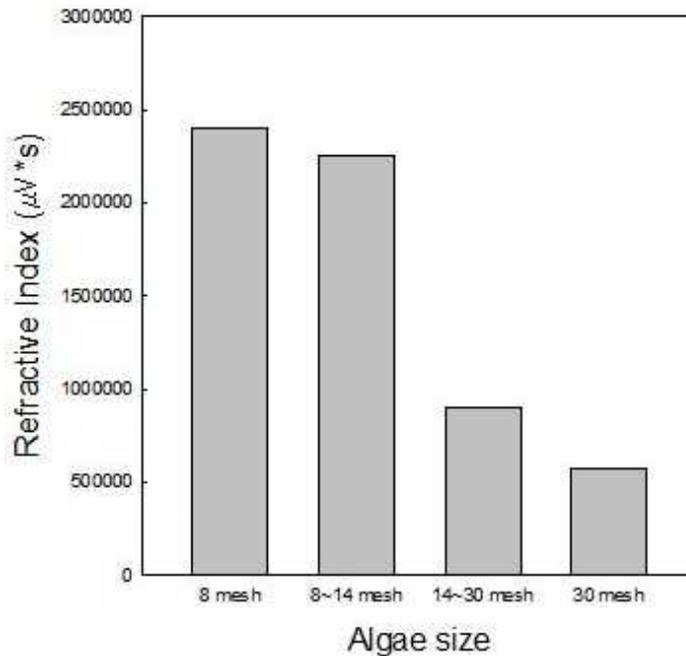
다. 입자 크기 선정

완도산 다시마를 분체하여 8 mesh 이상, 8 ~14 mesh, 14 ~30 mesh, 30 mesh 이하의 크기로 분류한 후 입자 크기 결정을 위한 실험을 진행하였다. [그림 4-3-4]는 8 mesh 이상, 8 ~14 mesh, 14 ~30 mesh, 30 mesh 이하 크기의 다시마 파우더를 4.0(w/v)% Na₂CO₃ 수용액에 넣어 140°C에서 15분 동안 반응시킨 후 생성된 Derivation B의 Refractive index를 나타낸 결과이다. 입자 크기가 증가함에 따라 Derivation B의 Refractive index가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 8 mesh 이상의 입자 크기에서는 30 mesh 이하 크기와 비교하여 4.2배 높은 Refractive index를 확인할 수 있었다. 14 mesh 이하의 크기 (8 mesh 이상, 8 ~14 mesh)에서는 상대적으로 낮은 Derivation B의 Refractive index가 관찰되었는데, 이는 미세한 분말 형태로 인해 파우더가 뭉치는 현상이 발생하여 촉매와의 접촉면이 감소, 반응이 원활히 이루어지지 않았기 때문으로 판단되며, 본 연구에서는 8 mesh 이상의 다시마 파우더를 알긴산 분별공정 최적화 실험에 이용하였다.

라. 알긴산 분별공정 최적화

(1) 반응조건 범위 결정

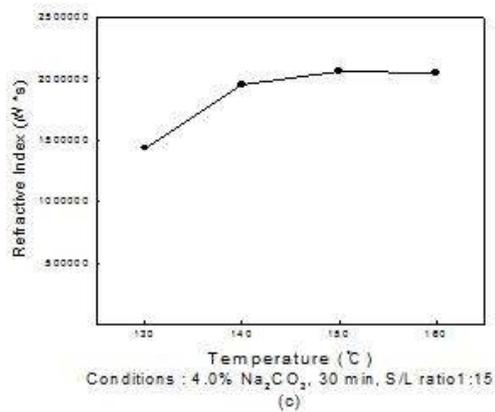
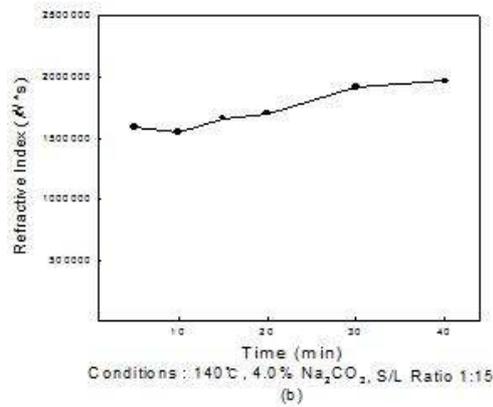
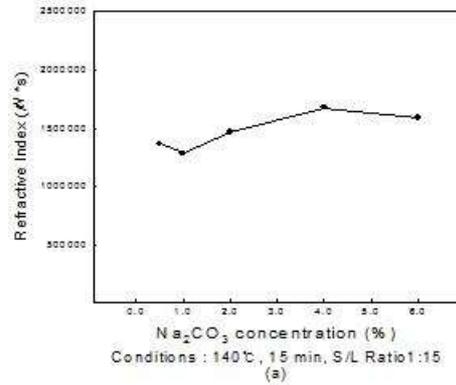
중심합성계획 (Central Composite Design)을 통한 알긴산 분별 실험을 진행



[그림 4-3-4] Refractive index of Derivation B after fractionation of alginic acid from *Laminaria japonica* with various particle sizes. Conditions; 4(w/v)% Na_2CO_3 , 140°C, 15 min.

하기 전, 각 반응조건의 범위를 결정하기 위해 반응온도, 반응시간, 촉매농도를 반응인자로 하여 예비 실험을 수행하였다. [그림 4-3-5 (a)]는 완도산 다시마를 0.5~6.0(w/v)% Na_2CO_3 수용액을 촉매로 이용하여 140°C에서 15분 동안 반응 시켰을 때 생성된 Derivation B의 Refractive index를 나타낸 것이다. [그림 4-3-5(a)]에서 알 수 있듯이, 촉매 농도가 0.5%에서 4.0%로 증가함에 따라 Derivation B의 Refractive index가 증가하였으며, 4.0% 농도 이상에서는 Derivation B의 Refractive index가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 따라서 Na_2CO_3 수용액의 농도를 4.0(w/v)%로 고정한 후 반응시간에 따른 알긴산 분별실험을 진행하였다. [그림 4-3-5 (b)]는 완도산 다시마를 4.0(w/v)% Na_2CO_3 수용액을 촉매로 이용하여 140°C에서 5~40분 동안 반응 시켰을 때 생성된 Derivation B의 Refractive index를 나타낸 것이다. 반응시간이 증가함에 따라 Derivation B의 Refractive index가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 반응시간 30분 이후에는 Derivation B의 Refractive index가 더 이상 증가하지 않는 것을 알 수 있었다. 반응온도에 따른 알긴산 분별실험은 4.0(w/v)% Na_2CO_3 수용액을 촉매로 이용하여 30분의 반응시간으로 130~160°C에서 수행하였으며, 이 때 생성된 Derivation B의 Refractive index를 [그림 4-3-5 (c)]에

나타내었다. 온도가 증가함에 따라 Derivation B의 Refractive index가 증가하는 경향을 나타내었으나 140°C 이상의 온도에서는 Derivation B의 Refractive index가 유사한 값들을 나타냄을 확인할 수 있었다. 위의 예비실험을 통하여 중심합성계획 (Central Composite Design)을 위한 center point는 촉매농도 4.0 % (w/v, Na_2CO_3), 반응시간 30분, 반응온도 140°C로 결정하였다.



[그림 4-3-5] Refractive index of Derivation B after fractionation of alginic acid from *Laminaria japonica* with (a) various Na_2CO_3 conc., (b) reaction times and (c) reaction temps.

(2) 알긴산 분별공정 최적화

반응온도, 반응시간 및 촉매농도를 독립변수로 설정하여 중심합성계획(Central Composite Design)을 통한 알긴산 분별실험을 진행, [표 4-3-2]와 같은 결과가 도출되었으며, 도출된 결과의 회귀분석을 통하여 식 1과 같은 회귀계수 (R^2) 0.90의 반응표면 방정식을 얻을 수 있었다.

$$Y = 2085529 + 315668X_1 + 139770X_2 + 88133X_3 + 109946X_1X_2 + 43187X_2X_3 - 112277X_1X_3 - 222054X_1^2 - 165701X_2^2 - 16685X_3^2 \quad (\text{식 1})$$

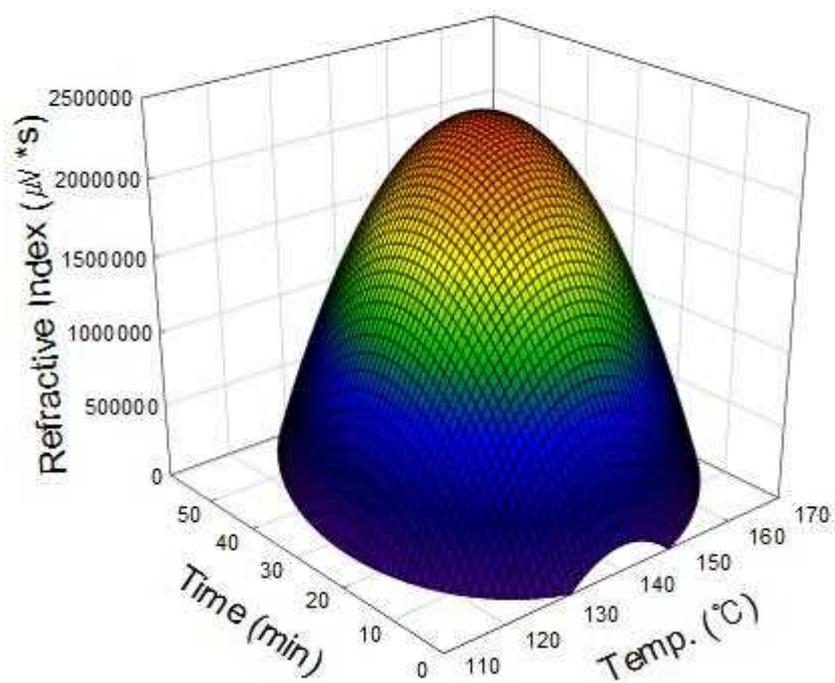
그림 [4-3-6 (a)-(c)]는 각 변수들 (반응온도, 반응시간, 촉매농도)에 따른 Derivation B의 Refractive index를 반응표면으로 나타낸 것이다. 반응시간의 경우에는 5% 이내의 유의수준 ($P=0.0324$)을 나타내었으며, 반응온도는 1% 이내의 유의수준 ($P=0.0005$)을 나타내어, 반응시간보다는 반응온도가 Derivation B의 Refractive index에 영향을 미치는 중요한 변수로 작용함을 알 수 있었다. 또 다른 반응변수인 촉매 농도는 유의성을 나타내는 P 값이 낮아 ($P=0.0324$), 알긴산 분별에 있어 촉매 농도에 대한 영향은 다소 작은 것을 확인할 수 있었다. 알긴산 분별최적화를 위한 반응조건은 반응온도 138.7°C, 반응시간 35분 47초, 촉매농도 6.8%로 예측되었으며, 예측된 최적조건에서 Derivation B의 Refractive index와 실제 실험을 통하여 얻은 Derivation B의 Refractive index를 비교한 결과, 반응 후 생성된 Derivation B의 Refractive index는 예측 값인 2320299와 유사한 수치인 2055506를 나타내어 예측된 반응조건이 알긴산 분별공정에 효율적으로 적용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

(3) 효소가수분해를 통한 전처리 공정 평가

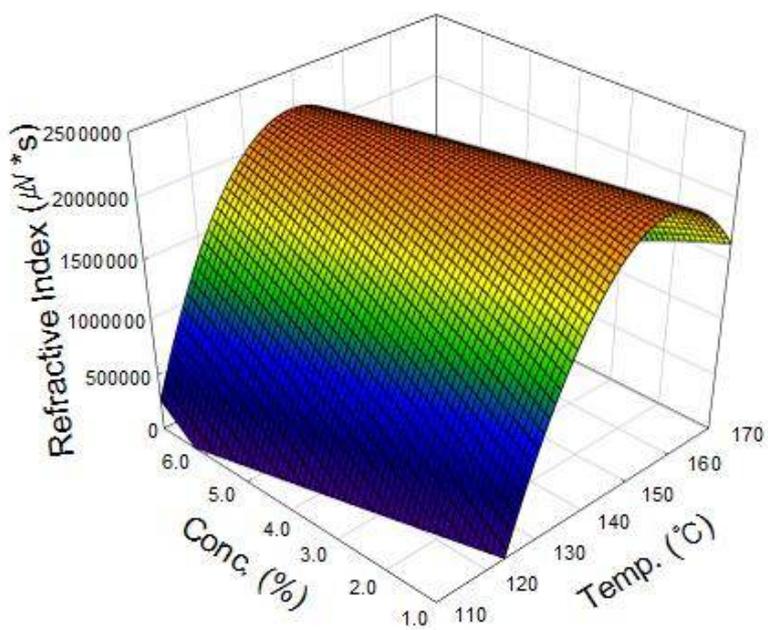
최적화된 조건에서 다시마로부터 알긴산을 분별한 후 남은 잔여 고체물 및 H_2SO_4 수용액 (1.0, 2.0, 3.0(w/v)%)을 촉매로 이용하여 140°C 에서 15분 동안 추가 전처리 후 남은 잔류 고체물의 glucan 함량을 분석하였으며 이를 기질로 이용한 효소가수분해 실험을 수행하였다. 비교군으로는 Perez의 알긴산 추출법 [27]을 적용하여 알긴산을 추출 후 남은 잔류 고체물 시료를 사용하였다. [표 4-3-3]은 최적 분별조건에서 다시마로부터 알긴산을 분별한 후의 잔류 고체물 및 H_2SO_4 수용액을 이용하여 추가 전처리 후 남은 잔류 고체물의 glucan 함량 분석결과를 나타낸 것이다. 알긴산 분별 후 남은 잔여고체물의 glucan 함량은 23.4%로 원 시료의 glucan 함량 (5.8%)과 비교하여 약 4배 높은 값을 나타내었으며, Perez 방법으로 추출한 후의 잔여 고체물 시료 (19.3%)보다도 약 1.2배 높은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다.

[表 4-3-2] Estimated response (Refractive index of Derivation B) by the Central composite design for the fractionation of alginic acid from *Laminaria japonica*

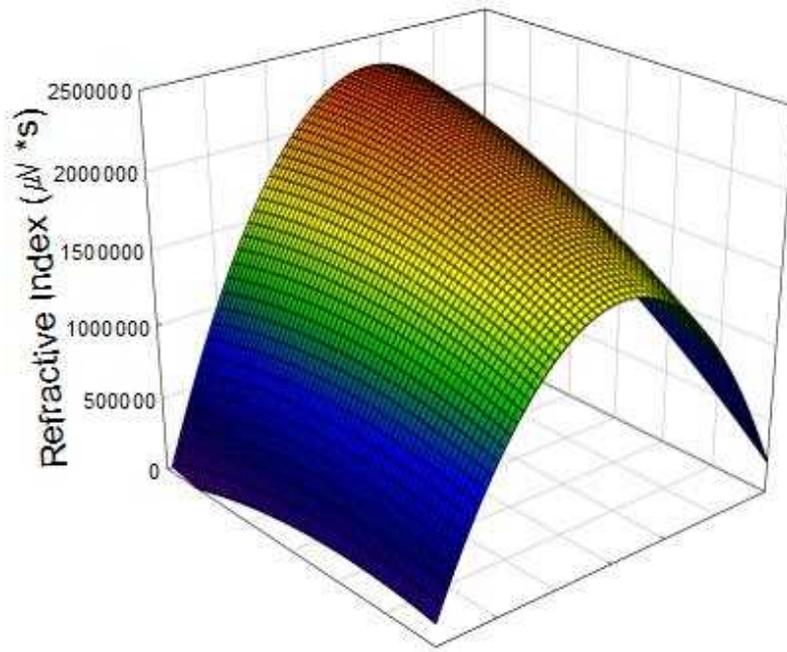
Process variable						Response
Coded value			Real value			Refractive Index ($\mu V \cdot s$)
X1:	X2:	X3:	T ($^{\circ}C$)	t (min)	C (%)	
-1.68	0	0	123.2	30	4	61780
-1	-1	0	130	20	4	84874
-1	0	-1	130	30	3	88236
-1	1	1	130	40	5	59329
0	-1.68	0	140	13.2	4	62968
0	-1	1	140	20	5	77061
0	0	-1.68	140	30	2.32	81976
0	0	1.68	140	30	5.68	94714
0	0	0	140	30	4	82797
0	0	0	140	30	4	51034
0	0	0	140	30	4	87190
0	1	-1	140	40	3	67207
0	1.68	0	140	46.8	4	75109
1	-1	-1	150	20	3	72771
1	0	1	150	30	5	56533
1	1	0	150	40	4	86833
1.68	0	0	156.8	30	4	85923



(a)



(b)



(c)

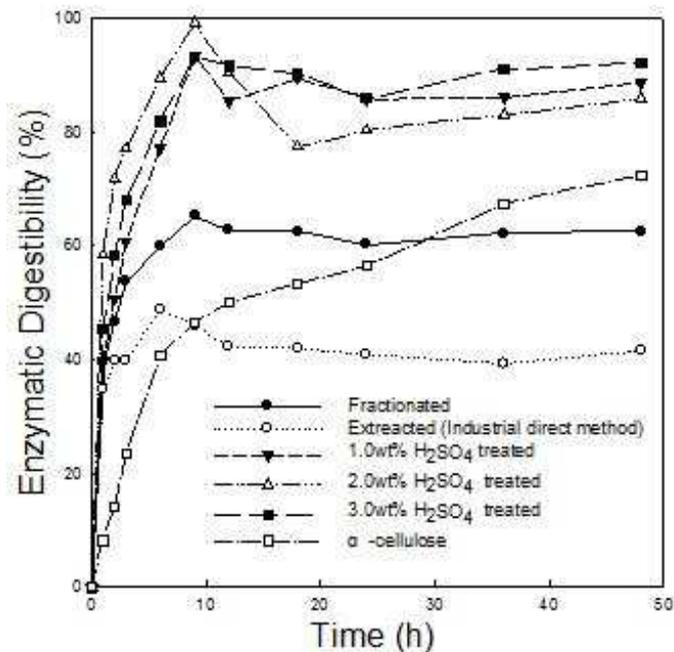
[그림 4-3-6] Response surface representing the variations of the alginic acid fractionation efficiency as a function of the (a) reaction temp. and reaction time variations, (b) reaction temp. and Na_2CO_3 conc. variations, (c) reaction time and Na_2CO_3 conc. variations.

H_2SO_4 수용액을 이용하여 추가 전처리 한 경우에는 원시료 (5.8%)보다 약 8 ~10 배 , 알긴산 분별 공정을 적용한 함량보다 약 2.5배 높은 glucan 함량 (44.6~59.7%)이 확인되었으나 반응 후의 손실량이 상대적으로 크므로 (관련 데이터는 삽입하지 않음), 이를 고려한 추가적 전처리 연구가 필요할 것으로 판단된다.

[표 4-3-3] Glucan contents of *Laminaria japonica* after alginic acid fractionation and pretreatment using H_2SO_4 as a reaction catalyst

	Untreated	Fractionated	Extracted (Perez method)	H_2SO_4 treated		
				1.0%	2.0%	3.0%
Glucan (%)	5.8	23.4	19.3	59.7	59.3	44.6

[그림 4-3-7]은 최적 분별조건에서 다시마로부터 알긴산을 분별한 후의 잔류 고체물 및 H₂SO₄ 수용액을 이용하여 추가 전처리 후 남은 잔류 고체물을 기질로 이용한 효소가수분해 결과를 나타낸 것이다. [그림 4-3-7]에서 알 수 있듯이, 당화반응은 9시간 이내에 이루어졌으며, 최적화된 분별법으로 추출한 후의 다시마 시료는 최대 65.3%의 효소소화도를 나타내어 Perez 방법으로 추출 후의 다시마 시료와 비교하였을 때 약 17% 높은 효소소화도를 확인할 수 있었다 (Perez 방법으로 추출 후의 다시마 시료 :48.8%). H₂SO₄ 수용액을 이용하여 추가 전처리한 다시마 시료의 경우에는 최적화된 분별법으로 알긴산을 추출한 후의 다시마 시료 및 Perez 방법으로 알긴산 추출 후의 다시마 시료보다 최대 30% 높은 효소소화도를 나타내었으며, 2.0(w/v)% H₂SO₄ 수용액을 이용하여 전처리한 경우 가장 높은 효소소화도 (99.2%)를 나타냄을 알 수 있었다. 대조군인 α -cellulose의 최대 효소소화도가 당화 36시간 후 67.4%임을 고려하면 알긴산 분별 후의 다시마 시료는 상대적으로 빠른 시간 안에 효율적 당화가 이루어진 것으로 판단되며, 본 연구에서 개발한 다시마 유래 알긴산 분별공정이 알긴산 분별과 전처리를 동시에 수행하는 시너지적 공정으로 활용 가능함을 알 수 있었다. 그러나 H₂SO₄ 수용액을 이용하여 추가 전처리한 다시마 시료의 효소소화도가 알긴산 분별 후 시료의 효소소화도와 비교하여 급격히 증가한 것이 확인되었으므로, 전처리 효율성을 증대시키기 위해서는 탈알긴산/전처리 2단 공정개발 등의 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.



[그림 4-3-7] Enzymatic digestibility of *Laminaria japonica* after alginic acid fractionation and pretreatment using H₂SO₄ as a reaction catalyst.

4. 요약 및 제언

다시마의 알긴산 분별 및 전처리가 가능한 공정기술을 개발하였으며, 구체적인 연구수행결과는 다음과 같았다.

- (가) 알긴산 분별공정에 적용할 촉매를 결정하기 위해 4.0(w/v)%의 H_2SO_4 , HCl, NaOH, Na_2CO_3 , NH_4OH 수용액을 촉매로 이용하여 본 결과, 알긴산 분별 및 glucose 손실 모두를 고려한 촉매로 Na_2CO_3 가 선정되었다.
- (나) 입자 크기에 따른 알긴산 분별실험을 수행하였으며 촉매와의 반응성이 고려된, 알긴산 분별공정에 가장 효율적으로 이용할 수 있는 다시마의 입자 사이즈는 8 mesh 이상으로 확인되었다.
- (다) 각 반응조건의 범위를 결정하기 위해 반응온도, 반응시간, 촉매농도를 반응인자로 하여 예비 실험을 수행한 결과, 중심합성계획 (Central Composite Design)을 위한 center point는 촉매농도 4.0 %(w/v, Na_2CO_3), 반응시간 30분, 반응온도 140°C로 결정하였다.
- (라) 반응표면분석에 근거한 알긴산 분별 최적조건은 반응온도 138.7°C, 반응시간 35분 47초, 촉매농도 6.8%로 예측되었으며, 예측조건에서의 확인실험을 통해 해당조건이 알긴산 분별공정에 효율적으로 적용됨을 확인하였다.
- (마) 최적 분별조건에서 다시마로부터 알긴산을 분별한 후의 잔류 고체물 및 H_2SO_4 수용액을 이용하여 추가 전처리 후 남은 잔류 고체물의 glucan 함량을 분석한 결과, 알긴산 분별 후의 다시마 시료는 원 시료보다 약 4배 높은, 23.4%를 나타내었으며, H_2SO_4 수용액을 이용하여 추가 전처리한 다시마 시료의 경우에는 원 시료보다 8~10배 높은 44.6~59.7%를 나타내었다.
- (바) 알긴산 분별 후 남은 잔류고체물과 분별 후 추가 전처리 한 잔류고체물을 기질로 이용, 효소가수분해 실험을 수행하여 65.3%, 85.9~99.2%의 효소소화도를 각각 얻을 수 있었다.

5. 향후계획

- (가) 다시마의 탈알긴산/전처리 2단 공정
- (나) 산 촉매를 이용한 다시마의 탈알긴산/전처리 통합공정

제 4 절 양식시설 환경 모니터링

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

본 연구는 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산 기술 개발의 세부연구과제로서, ① 지속적인 해조류 대량생산을 위한 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발, ② Pilot 시설의 안정성 및 기능성 확보를 위한 지속적인 유지관리 시스템 구축에 그 목적이 있다. 본 연구의 최종 목적은 다음과 같으며 연차별 연구 목표 및 세부 추진내용을 요약하면 [그림 4-4-1]과 같다.

- (1) 해조류 대량생산을 위한 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계
- (2) Pilot시설의 안정성/기능성 확보를 위한 지속적인 유지·관리 시스템 구축
- (3) 외해 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발 Manual 도출

이를 위하여 단기적으로는 본 연구에서 추진하는 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템 기술개발 및 현장 적용성을 평가하고, 최종적으로 우리나라 전해역에 대해서 해양외력환경이 열악한 외해 환경하에서 적용가능한 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발 매뉴얼을 도출하고자 한다.

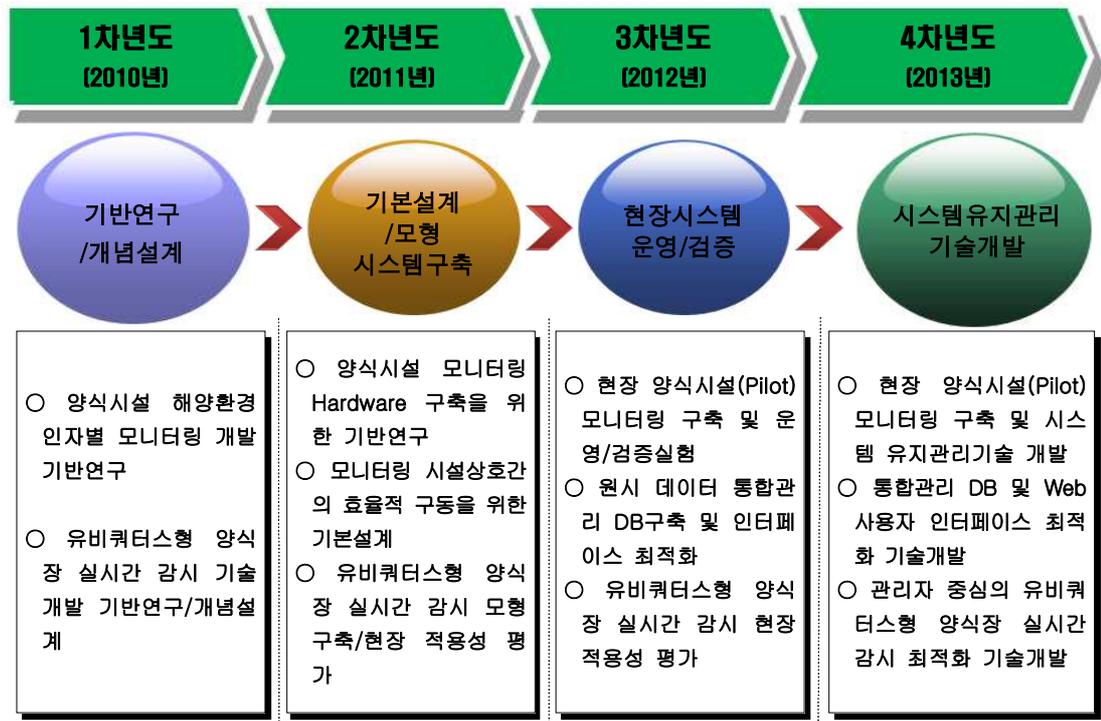
나. 연구 내용 (1차년도)

본 연구의 1차년도(2010년) 세부 연구내용은 양식시설 환경 모니터링 기술 개발을 위한 기반연구/개념설계 단계로서 다음과 같은 내용을 바탕으로 한다.

(1) 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구

(가) 외해 양식시설 환경 모니터링 설계 개념 정립

- 기술자료의 수집분석 및 실태조사
- 국내외 연구동향 분석 및 연구보고자료 수집/분석
- 외해 대량 양식시설의 기능 및 목적 설정



[그림 4-4-1] 양식시설 환경 모니터링 연차별 연구 목표 및 세부 추진내용.

(나) 안정성/기능성 설계인자의 분석 및 해석

- 외해 양식시설물 적지의 해양환경 인자 자료 수집/분석: 대표적인 해양물리인자 인 파랑 및 조류에 대하여 연속적인 관측을 통해 해양물리특성을 파악
 - ㉠ 지속적인 환경모니터링을 위해 외해 양식시설물 또는 그 인근 수역에 관측기기를 설치하기 위한 기초자료(설계자료) 획득
 - ㉡ 현재 심해에서 구동되고 있는 국가관측망을 활용하여 외해 양식시설물 인근의 외력환경변화 특성 평가 - 필요시 수치모델링 수행 예정
- 기능성 영향인자 분석: 해조류 성장 및 발달 인자(수온, 염분, DO, TN, TP, pH 등)들과 같이 해조류의 생육발달조건에 필요한 해양환경인자의 실시간 변동량을 조사하여 대상 해조류의 최적의 생육조건을 모니터링하기 위한 기술의 개념설계
- 안정성 영향인자 분석: 양식장 시설물/구조물의 파괴 및 이동 경로 파악 인자 (해양파랑, 조류 등)
 - ㉠ 시설물의 안정성에 영향을 미치는 외력환경에 대해서 해양환경특성이 가장 크게 변할 수 있는 지점을 중심으로 삼각형의 시스템망을 구축
 - ㉡ 구축된 시스템망을 바탕으로 기능성 인자의 공간적 변화에 대한 속도, 방향, 환경변화 주기 평가

- 모니터링 관측장비 설치 및 원시 데이터 획득 기술 개발: 계측된 자료의 실시간 무선 송수신 시스템 및 서버 구축 및 저장 자료의 Database 구축을 위한 기반연구

(2) 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술개발 기반연구/개념설계

(가) 외해 양식시설 환경 모니터링 설계 개념 정립

- 해중/해상 해양환경 인자 모니터링 자동화 기법: 전송된 원시자료의 자동적 분석 및 Plot를 위한 최적 Tool의 개념설계
- 원시 데이터의 육상 전송을 위한 해상관측 시스템 구축
 - ㉠ 해상 계측 자료의 1차적 수집을 위한 육상 관측소 설치
 - ㉡ 육상관측소의 유선 및 무선 메인서버 자료 전송 기술 개발
 - ㉢ 기기 오작동에 따른 자료 미전송시의 경고 호출 시스템
- 원시 데이터 통합관리 DB 구축 및 사용자 인터페이스 최적화
 - ㉠ 대용량 원시 데이터의 효율적 관리를 위한 DB 구축
 - ㉡ 사용자 중심의 인터페이스 최적화로 GUI 방식의 적용성 평가
 - ㉢ 취득 자료의 다른 소프트웨어와의 연동을 위한 기반 연구

(나) 유비쿼터스형 실시간 감시 기술 기반 연구

- 시스템의 구성요소 별 개념 설계 및 전체시스템 구성 개념설계
- 양식시설에 부합하는 원시 데이터의 특성 및 구조 분석
- 양식시설의 이동, 도난, 파손, 보안 및 원료 이송시스템의 원활한 기능 유지관리를 위한 실시간 감시 기술 개념 설계: 일반적인 CCTV 기법을 확장하여 고해상도 실시간 비디오 모니터링 시스템 구축

2. 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구

해조류의 외해 대량생산 기술 개발로의 발상전환에 따른 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발은 크게 안정성 및 기능성, 경제성 확보가 담보되어야 하며 이를 목적으로 이루어져야 한다. 이를 위한 단계적 요소기술의 핵심적인 내용을 체계화하면 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

[표 4-4-1] 외해 대량양식 시설 환경모니터링의 기술체계

기본 설계 개념	외력조건	성능조건	최종 목적
Hardware(구조물)	외부조건 구조물하중설계 기초설계 계류시스템	외부조건 평가	안정성 확보
Software(모니터링 시스템)	안전/보호시스템	전원시스템 센서조립/설치 제어시스템 유지보수관리	기능성 확보
설계/시설비	비용최소화	설계최적화	경제성 확보

상술한 기술체계도를 바탕으로 각 요소에 대해 각각의 목적을 달성하기 위해 본 연구의 1차년도 연구추진 과정에서 현실적인 조건하에서 수행된 연구방법은 다음과 같다.

- 기존 자료 수집을 통한 해양환경인자(요소) 모니터링 현황 파악
- 전문가 활용을 통한 외해 양식환경 추세파악 및 선진 기술 습득
- 우리나라 실정에 알맞은 외해 양식환경 모니터링 방향설정
- 안정성 및 기능성이 확보된 대량생산 pilot 설치 및 시험분석 방안 모색

아울러 본 연구에서 제안하는 외해 해조류 대량양식 시설물의 해양환경 모니터링 시스템은 근본적으로 저탄소 친환경적 신재생 에너지로서의 해양 에너지(파력, 조류, 풍력, 태양광, 매스 하이드레이트)를 이용·개발하기 위한 개념을 포괄한다. 이러한 측면에서 구축하고자 하는 시스템은 연안/해양/조선/환경/생태/해양안전 분야의 첨단 연구인프라 구축을 위한 첨단융합형(해안항만/해양조선/해양환경생태/수산공학/해양안전공학) 시스템을 기본 설계 개념으로 설정할 수 있다.

여기서 구축하고자 하는 첨단융합형 시스템은 ㉠ 범국가적 범용성, ㉡ 관측시스템의 독립 공간의 구축, ㉢ 필수적인 실험장치의 설정, ㉣ 최소한의 요구조건 제시, ㉤ 해양환경인자의 다양성 및 신뢰성, ㉥ 친환경적 기반의 시설, ㉦ 대학, 연구기관, 산업체, 민간인 공유형 클러스터 구성 및 협력체계 창조에 초점을 두어야 한다.

가. 해양환경인자의 모니터링(계측·채취) 요소기술 현황

(1) 해양환경인자 모니터링 요소

현재의 해양과학 조사기술 수준에서 해양관측장비를 이용한 해양환경인자(요소)는 [표 4-4-2]와 같이 구분할 수 있다.

수압은 수심이 10 m씩 증가 할 때 마다 1기압 (약 105 hPa)씩 증가한다. 따라서 10,000 m심해에서는 약 1,000 m기압이 되며, 해수의 체적은 표층에 비하여 5%정도 감소한다. 해수표면수온은 위도, 계절에 따라서 크게 변동하여 0° C에서 30° C범위로 분포하며, 위도 30도 내지 50도에서 고온과 저온의 경계가 있다. 평균표면수온은 북반구에서 19° C이다. 수면아래 수백 m의 범위에는 수온약층이라고 불리는 온도가 급격히 변하는 층이 있다. 심층은 계절과 상관없이 1내지 5° C정도의 일정한 수온을 갖는다.

해양의 염분은 3.3% 내지 3.8%의 범위이다. 일반적으로 열대지역에서 염분이 높고, 고위도 지역에서는 낮다. 예를 들면, 태평양 열대지방에서는 3.6%이고, 북극해에서는 3.3%정도이다. 내해에서는 홍해의 경우 4.0 내지 4.3%로 높은 곳도 있다. 일반적으로 연안역은 하천수의 유입에 의하여 대양보다 염분도가 낮다. 표층의 염분은 환경에 따라 변하지만, 심층에서는 3.40내지 3.47%로 일정하다.

해수중에서 음파의 흡수는 주로 점성에 의하므로 주파수의 2승에 비례하여 증가한다. 저주파에서는 이온 등에 의하여 음파흡수가 증가하나, 낮은 주파수의 음파가 고주파보다 멀리까지 운반된다. 음속은 수온이나 밀도에 의하여 크게 변하므로 해중에서 음은 직진하지 않는다. 그러므로 음이 도달할 수 없는 Shadow Zone이 있고, 장거리까지 음의 전파가 용이한 SOFAR Channel도 있다.

전자파는 해수의 전도성으로 인하여 감쇄가 크며, 감쇄량은 주파수의 평방근에 비례하므로 10KHz이하의 저주파는 전달이 가능하다. 전자파의 주파수는 매우 높아서 빛의 영역에 들어가면, 특정의 파장대를 갖는 빛은 해수중에 전달되기도 한다. 수중에서 감쇄가 가장 적은 빛은 파장 0.45 μ m의 Blue-Green(B-G)광이며, 광영역의 흡수는 해수의 오염도에 크게 좌우된다.

(2) 인자(요소) 획득을 위한 해양관측장비

상술한 해양환경인자의 모니터링(획득/관측/계측)을 위해서 활용되어지는 해양관측장비로는 해양장비의 사용목적에 따라서 조합·구성되어질 수 있으며 그 현황을 요약하면 [표 4-4-3]과 같이 구분할 수 있다.

계측이란 “대상으로부터 필요한 정보를 추출하는 행위”로 정의될 수 있다. 여기서 대상이 되는 해양은 계측목적에 따라서 다양한 형태가 된다. 즉 광역계측의 경우는 표층에서 심층까지 3차원이 되고, 시간적인 스케일은 한순간 또는 몇 수십 년의 기간도 된다.

계측방법은 광역동시계측, 장기연속계측, 고밀도 정밀계측으로 구분된다. 계측시스템도 이에 따라서 변한다. 이하의 해상, 지형의 계측, 해양자원조사, 해수, 생물의 계측으로 구분하였다.

해상상태 계측은 파랑, 조석, 高潮, 진파, 해류, 저층류, 내부파가 대상이다. 해양 장비들을 탑재하고 계측자에 의하여 계측하는 것은 주로 해양조사선으로 한다. 그러나 해양조사선으로는 관측범위가 한계가 있으므로, 광역계측은 다수의 부이를 배치하는 방식이 시스템적 관점에서 지향된다. 부이로 무인장기관측이 가능하며, 계류식과 표류식이 있다. 계측은 센서의 성능에 좌우되고, 데이터는 자기기록식 외에 즉시 통신하는 방식이 증가하고 있다. 해면계측에 한정된 경우에 항공기, 기구, 인공위성에 의한 원격광역관측이 가능하다. 항공기로부터 Probe의 투하에 의한 해중계측이 수행된다.

연안해역에서는 파랑이나 조석의 관측이 수행되고 있고, 무인화 자동화가 진행되고 있다. 계측데이터는 통신에 의하여 육상기지로 전송된다. 계측기기에는 직접계측형, 해저설치형, 해면계류형 및 레이다형이 있다.

흐름의 관측에는 직접측정형과 음향계측형이 있다. 특히 해양음향 Tomography, SOFAR Float의 Tomography, 초음파 Doppler Profiler가 있다. 음향Tomography와 SOFAR Float는 해양순환류의 관측에 유효하다. 초음파 Doppler Profiler는 여러층으로 분할하여 한 번에 유량유속을 측정할 수 있고 해저설치에 설치하거나 선박에 설치한다.

해저지형을 조사하는 목적은 지구과학의 학술연구, 항해안전을 위한 수로측량, 해도작성, 해양구조물의 건설이나 파이프라인의 부설 등을 위한 사전조사, 어장조사 등으로 매우 광범위하다. 지형계측기술의 목표는 정밀도가 높은 등고선도의 작성에 있다.

해저지형의 계측에 육상지형계측의 응용을 해수 때문에 불가능하다. 따라서 음파를 이용하여 해저지형의 계측을 실시한다. 음향지형계측의 음향기술은 측심과 Side Scanning SONAR로 대별된다.

해저광물자원 중 가장 많은 것이 해저석유와 가스이다. 미국 스텐포드 연구소는 2000년에는 해양에서의 생산량이 지구전체 생산량 중에서 석유 34%, 가스 29%에 달할 것으로 기술하고 있다. 이 탐사에는 지각이 가진 물리화학적인 제반 특성을 계측을 계측할 필요가 있으며, 음파를 이용한 방법이 유효하다.

석유 이외의 광물로는 망간단괴, 열수광상, 코발트리치크러스트가 있다. 이들의 계측에는 석유탐사기술과는 달리 해저지형의 조사나 해수의 분석 등에 새로운 요구가 추가된다. 이와 같은 특수해저면의 계측에 잠수정, 로봇, 예항식의 관측시스템이 필요하다.

[표 4-4-2] 해양환경인자 계측·채취 요소의 분류

요소 항목	현 재		장 래	
	측정범위	정 도	측정범위	정 도
해 양 물 리				
수 심	0~6,000m	±0.15%	0~6,000m	±0.01%
수 온	-2~40°C	±0.02°C	-2~40°C	±0.001°C
염 분	0~38ppt	±0.05ppt	0~38ppt	±0.003ppt
유 향	0~360°	±3°	0~360°	±2°
수평 유속	0.5~300cm/s	±2.5cm/s	0~300cm/s	±0.5cm/s
연직 유속	-	-	0~1cm/s	0.001cm/s
전기전도율	0~70 mS/cm	±0.02S/m	0~70 mS/cm	±0.001mS/m
탁 도	0~1,000ppm	±1%		
조 도	1~12,000lm/m ²	±<2%	1~12,000lm/m ²	±<2%
음 속	1,400~1,700m/s	±0.2m/s	1,400~1,700m/s	±0.02m/s
잡 음	-15~-80dB	±1dB	-15~-80dB	±1dB
해 상 · 기 상				
조 석	0~20m	±2cm	0~20m	±2cm
파 고	0~30m	±4%	0~30m	±1%
파 방 위	0~360°	±10°	0~360°	±1%
파 주 기	1~40s	±0.1s	1~40s	±0.1s
해면온도	-2~40°C	±0.1°C		
태양복사	0~2k W/m ²	±0.03k W/m ²	0~2k W/m ²	±0.001k W/m ²
기 온	-50~50°C	±0.1°C	-50~50°C	±0.1°C
습 도	0~100%	±5%	0~100%	±2%
기 압	850~1,050mbar	±0.1mbar	850~1,050mbar	±0.11mbar
풍 향	0~360°	±1°	0~360°	±1°
풍 속	0~80m/s	±0.15m/s	0~80m/s	±0.005m/s
우 량	0~25cm/h	±0.01cm/h		
해 양 화 학				
pH	0~14pH	±0.1pH	0~14pH	±0.02pH
DO	0~15ml/l	±0.02ml/l	0~15ml/l	±0.01ml/l
염 소 량	0~20ppt	±0.01ppt	0~20ppt	±0.01ppt
초 산 염	0.05~45µg-at/l	±3%	0~45µg-at/l	±1%
아초산염	0.01~2.5µg-at/l	±3%	0~2.5µg-at/l	±1%
규 산 염	0.1~140µg-at/l	±3%	0~140µg-at/l	±1%
인 산 염	0.006~5.0	±4%	0~5.0µg-at/l	±1%
탄화수소	µg-at/l	±5%	0~100mg/l	±1%
해 양 생 물				
클로로필	0~0.02mg/m ³	±0.26µg		
어체탄사계수	0~100dB	±1dB	0~100dB	±1dB
	2~350kHz	±1kHz	2~350kHz	±1kHz
동물소음	-6~60dB	±1dB	-6~60dB	±1dB
어군(화상)	20Hz~200kHz	±1Hz, kHz	20Hz~200kHz	±1Hz, kHz

[표 4-4-3] 해양환경인자(요소) 계측·채취 장비 분류

작업	대상	계측요소	요소기술	
계측	전반	가시현상	목측법,수중사진법,입체사진법,수중 TV,음향촬상장치	
	해상상태	유향유속	Serbo Near Slot유속계, 초음파식 유향유속계, 전자식유향유속계, 열선식유향유속계, 해류병법, Parachute Drag법, 중립브이법, HF레이다법	
		파향파고	수압식파랑계, 수위식파랑계, 초음파식파고계, 가속도식파고계, 파압계, 레이저이용법	
		해면고도	검호정호, 점조주, 초음파식수위계, 수압식점조기, 심해용검조기, 장파계	
		심도수온	수압식온도계, 음향측심기, 전도측심기(IES), 봉상온도계, 전도온도계, 적외방사온도계, 서미스터체인, BT, XBT	
	해수	염도	S(CTD)시스템, XSTD시스템	
		용존부유물	수중미량성분 Samler, 해양탄화수소분석시스템, 자외선분광광도계(UV계), 용존산소계, pH계	
		투명도판	투명도판	
		탁도	광속투과율계(탁도계), 산란광도계	
		조도	수중조도계, 수중휘도계, 광전자계수	
		음속	싱어라운드음속계, 음향토모그래피	
	물고기	크기	어탐, 어업용소나, CTFM소나, 계량용어탐, Telesounder	
		행동량	Bio Telemetry	
	지형	형상	사이드스캔소나, Multi Chanel Beam소나, 다이버측량법	
	지각	구조	다주파음탐기, Sub Bottom Profiler, 다중수신음탐기	
		중력	해상중력계, 해저중력계	
		자력	해상자력계, 해저자력계	
		진동	해저지진계, 해저경사계	
		열유량	해저열유량계	
		토질지질	베인전단시험기, 코인관입시험기, ScrewPoint관입시험기	
	광물	형상분포	중력탐사법, 자기탐사법, 음파탐사법, 지진탐사법	
	해구	마모열화	비파괴검사법	
	음원	해중잡음	수중음압계	
	채취	해수	수질	채수기
			현탁물질	휠터, Sediment Trap
		생물	부유생물	플랑크톤네트, 플랑크톤채집기, 여수계
			유영생물	어구
	저질생물	주상채니기, Grab채니기, Trench채니기, 굴삭식채광기		

수산자원도 인류의 양식으로 주요한 자원이다. 이에 대한 계측은 어선어업용, 증식 등의 인위적 어업용, 조사연구용이 있다.

해수의 수질계측에는 염분, 전기전도도 등도 포함되어 있으나 수온이나 수압과 밀접한 관계가 있으므로 동시에 계측하는 경우가 많다. 수질에 대한 것으로는 해수중에서 빛의 투과성 측정과 화학성분분석이 중요한 계측이다. 화학성분분석은 채수가 필요하므로 채수를 필요로 하지 않는 분석기술의 개발이 요구된다.

해중의 빛은 생물의 존재에 큰 영향을 주므로 해양오염 감시상 중요하다. 장기관측의 경우에 생물부착의 문제가 발생되나 효과적인 방지법이 없다. 광센서는 표면부근의 일정한 수심에 설치되므로 파랑의 영향이 크다. 따라서 부이의 계류기술과 상반되는 계측기술이다. 따라서 인공위성에 의한 리모트센싱기술도 유효하다.

2000년대 이후 해양, 기상분야에 대한 해양과학기술 및 IT기술의 발달로 현장의 데이터 또한 고급화되어가고 있는 추세이다. 우리나라 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center, KODC)에서 정하는 해양과학 조사자료의 분야별 세부항목을 정리하면 [표 4-4-4]와 같다. 따라서 상술한 해조류 대량양식 환경모니터링에 필요한 장비의 도입은 해조류의 성장 환경인자 파악에 필요한 관측 항목을 중심으로 검토되어야할 부분이라 할 수 있다.

상술한 바와 같이 해수표면 온도(Sea surface temperature), 부유물질(Suspended solids), 수심(Bathymetry), 해저경사(Slope), 수온, 염분, pH, COD, 파고 등을 모니터링하기 위한 해양조사 장비 중에서 대표적인 관측기기를 나열하면 [표 4-4-5]와 같다.

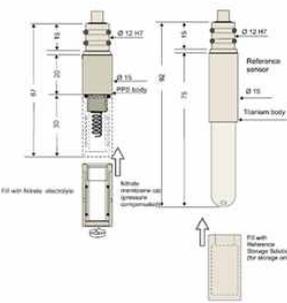
[표 4-4-4] 해양과학조사자료의 관리범위(한국해양자료센터)

분야	항목
물리해양	수온, 염분, 해류, 조류, 조석, 파랑, 해면변화, 해수광학특성 및 수중음향
화학해양	수소이온농도, 용존산소, BOD, COD, 용존 영양염류, SS, 미량금속 및 무기물, 방사성 핵종, 유기화합물, 석유 및 관련 화학물질, 유기염소계 화합물, 용존기체, 핵산 추출물, 기타 독성 및 오염물질
생물해양	기초생산력, 클로로필 및 색소류, 해양미생물, 플랑크톤, 저서생물, 부착생물, 난치자어, 유영동물, 조류, 해양파충류, 해양포유류
지질해양 및 지구물리	수심 및 해저지형, 지자기 및 고지자기, 중력, 지진 및 탄성과 탐사, 해저면영상, 층서퇴적, 시추자료 및 해저표층 시료분석, 부유퇴적물, 해안선 정보
기상해양	기온, 기압, 풍속, 풍향, 풍향, 강수량, 일사량, 운량, 시정, 습도, 대기조성물질
기타	해양과학연구에 필요하다고 판단되는 항목

[표 4-4-5] 해조류 해양환경모니터링을 위한 주요 해양조사장비 현황

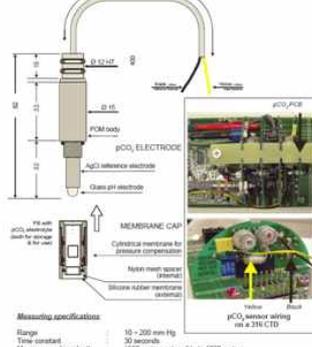
분야	항목																
해양파랑		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" data-bbox="555 394 1235 427">WAVE RADAR</th> </tr> <tr> <td data-bbox="571 434 703 456">용도</td> <td data-bbox="639 434 772 456">해양관측</td> <td data-bbox="906 434 1102 456">설치위치 Roof SE, Corner</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 472 703 495">관측요소</td> <td colspan="2" data-bbox="639 472 1235 495">파고, 주기, 파향, 스펙트럼, 표층유속 Description</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 510 639 533">제조사</td> <td data-bbox="639 510 724 533">MIROS</td> <td data-bbox="906 510 1038 533">모델명 SM-001</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 548 655 571">사용전원</td> <td colspan="2" data-bbox="639 548 1235 571">AC 110~230 V 소비전력</td> </tr> </table>	WAVE RADAR			용도	해양관측	설치위치 Roof SE, Corner	관측요소	파고, 주기, 파향, 스펙트럼, 표층유속 Description		제조사	MIROS	모델명 SM-001	사용전원	AC 110~230 V 소비전력	
WAVE RADAR																	
용도	해양관측	설치위치 Roof SE, Corner															
관측요소	파고, 주기, 파향, 스펙트럼, 표층유속 Description																
제조사	MIROS	모델명 SM-001															
사용전원	AC 110~230 V 소비전력																
해양수질		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" data-bbox="555 595 1235 629">수질측정계</th> </tr> <tr> <td data-bbox="571 636 703 658">용도</td> <td data-bbox="639 636 772 658">해양관측</td> <td data-bbox="906 636 1038 658">설치위치 Wheel</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 674 703 696">관측요소</td> <td colspan="2" data-bbox="639 674 1235 696">Description</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 712 804 734">수심, 수온, 염분, DO, pH, 탁도, 염류</td> <td colspan="2" data-bbox="906 712 1235 734">Multiparameter Monitoring</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 750 639 772">제조사</td> <td data-bbox="639 750 724 772"></td> <td data-bbox="906 750 1123 772">모델명 YSI 6600 Sonde</td> </tr> </table>	수질측정계			용도	해양관측	설치위치 Wheel	관측요소	Description		수심, 수온, 염분, DO, pH, 탁도, 염류	Multiparameter Monitoring		제조사		모델명 YSI 6600 Sonde
수질측정계																	
용도	해양관측	설치위치 Wheel															
관측요소	Description																
수심, 수온, 염분, DO, pH, 탁도, 염류	Multiparameter Monitoring																
제조사		모델명 YSI 6600 Sonde															
클로로필		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" data-bbox="555 797 1235 831">클로로필 형광 측정기</th> </tr> <tr> <td data-bbox="571 837 703 860">용도</td> <td data-bbox="639 837 772 860">해양관측</td> <td data-bbox="906 837 1038 860">설치위치 Wheel</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 875 703 898">관측요소</td> <td colspan="2" data-bbox="639 875 1235 898">DescriptionChlorophyll Fluorometer</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 913 655 936">제조사</td> <td data-bbox="639 913 820 936">Seapoint Sensors, Inc.</td> <td data-bbox="906 913 1187 936">모델명 Chlorophyll Fluorometer</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 952 655 974">사용전원</td> <td colspan="2" data-bbox="639 952 1235 974">8~20 VDC, 15mA avg., 27mA pk. 소비전력</td> </tr> </table>	클로로필 형광 측정기			용도	해양관측	설치위치 Wheel	관측요소	Description Chlorophyll Fluorometer		제조사	Seapoint Sensors, Inc.	모델명 Chlorophyll Fluorometer	사용전원	8~20 VDC, 15mA avg., 27mA pk. 소비전력	
클로로필 형광 측정기																	
용도	해양관측	설치위치 Wheel															
관측요소	Description Chlorophyll Fluorometer																
제조사	Seapoint Sensors, Inc.	모델명 Chlorophyll Fluorometer															
사용전원	8~20 VDC, 15mA avg., 27mA pk. 소비전력																
수온염분		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" data-bbox="555 999 1235 1032">CTD</th> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1039 703 1061">용도</td> <td data-bbox="639 1039 772 1061">해양관측</td> <td data-bbox="906 1039 1070 1061">설치위치 휴대단말</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1077 703 1099">관측요소</td> <td data-bbox="639 1077 724 1099">수온, 염분</td> <td data-bbox="906 1077 1235 1099">Description비실시간</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1115 639 1137">제조사</td> <td data-bbox="639 1115 724 1137"></td> <td data-bbox="906 1115 991 1137">모델명</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1153 655 1176">사용전원</td> <td colspan="2" data-bbox="639 1153 1235 1176">220VAC 소비전력</td> </tr> </table>	CTD			용도	해양관측	설치위치 휴대단말	관측요소	수온, 염분	Description 비실시간	제조사		모델명	사용전원	220VAC 소비전력	
CTD																	
용도	해양관측	설치위치 휴대단말															
관측요소	수온, 염분	Description 비실시간															
제조사		모델명															
사용전원	220VAC 소비전력																
풍향풍속		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" data-bbox="555 1200 1235 1234">풍향풍속계</th> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1240 703 1263">용도</td> <td data-bbox="639 1240 772 1263">기상관측</td> <td data-bbox="906 1240 1187 1263">설치위치 기상타워2Ea, 등대1Ea</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1279 703 1301">관측요소</td> <td data-bbox="639 1279 724 1301">풍향, 풍속</td> <td data-bbox="906 1279 1155 1301">DescriptionWind monitor-MA</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1317 639 1339">제조사</td> <td data-bbox="639 1317 740 1339">RM YOUNG</td> <td data-bbox="906 1317 991 1339">모델명 05106</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1355 655 1377">사용전원</td> <td colspan="2" data-bbox="639 1355 1235 1377">DC 15 V 소비전력 5mA</td> </tr> </table>	풍향풍속계			용도	기상관측	설치위치 기상타워2Ea, 등대1Ea	관측요소	풍향, 풍속	Description Wind monitor-MA	제조사	RM YOUNG	모델명 05106	사용전원	DC 15 V 소비전력 5mA	
풍향풍속계																	
용도	기상관측	설치위치 기상타워2Ea, 등대1Ea															
관측요소	풍향, 풍속	Description Wind monitor-MA															
제조사	RM YOUNG	모델명 05106															
사용전원	DC 15 V 소비전력 5mA																
온도습도		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" data-bbox="555 1402 1235 1435">온도습도계</th> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1442 703 1464">용도</td> <td data-bbox="639 1442 772 1464">기상관측</td> <td data-bbox="906 1442 1070 1464">설치위치 기상타워</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1480 703 1503">관측요소</td> <td data-bbox="639 1480 724 1503">기온, 습도</td> <td data-bbox="906 1480 1235 1503">DescriptionTemp & humidity sensor</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1518 639 1541">제조사</td> <td data-bbox="639 1518 724 1541">VAISALA</td> <td data-bbox="906 1518 991 1541">모델명 HMP45A</td> </tr> <tr> <td data-bbox="571 1556 655 1579">사용전원</td> <td colspan="2" data-bbox="639 1556 1235 1579">DC 24 V 소비전력 4mA</td> </tr> </table>	온도습도계			용도	기상관측	설치위치 기상타워	관측요소	기온, 습도	Description Temp & humidity sensor	제조사	VAISALA	모델명 HMP45A	사용전원	DC 24 V 소비전력 4mA	
온도습도계																	
용도	기상관측	설치위치 기상타워															
관측요소	기온, 습도	Description Temp & humidity sensor															
제조사	VAISALA	모델명 HMP45A															
사용전원	DC 24 V 소비전력 4mA																
Video (CCTV)		<p>Self-Recording Video System</p> <ul style="list-style-type: none"> -Number of Pixels: 768(H) x 494(W) -Lens: Auto-Iris, 6mm, F1.4 -Field of View: 56 degrees horizontal, 43 degrees vertical -Video Output: Composite Video, -Resolution (Horizontal): better than 500 TVL (center) -Minimum Illumination: better than 0.1 lux scene -S/N Ratio: 50dB(AGC Off) -Power Supply: DC 12V at 100 mA -Operating Temperature: -10C to +40C -Weight: 3.25 lbs in air, 1.25 lbs in water -Material: Aluminum, anodized -Depth Rating: 1000 meters 															

[표 4-4-5] 계속



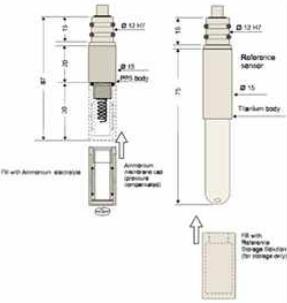
NITRATE SENSOR

- 측정범위: 0 to 100 mg/l-N



pCO₂ SENSOR

- 측정범위: 10~200 mmHg
- Time Constant: 30sec
- 최대작동수심: 1500m(4000m확장가능)



AMMONIUM SENSOR

- 측정범위: 0 to 100 mg/l-N



Fluorometer

- 측정범위: 10 cm/sec (1/5 knot) ~ 7.9 meters/sec (15 knots)



NITRATE SENSOR

- Accuracy: $\pm 2 \mu\text{M}$ (0.028 mg/l) or $\pm 10\%$ of reading, whichever is greater
- Detection range: 0.5 to 2000 μM *(0.007 to 28 mg/l-N)
- Thermal Compensation: 0 to 40°C
- Salinity Compensation: 0 to 40 psu
- Depth rating: 1000 m
- Length: 24 inches (608 mm)
- Diameter: 4.5 inches (114 mm)
- Weight: 11.0 lbs in air (5.0 kg) 1.5 lbs in water (0.7 kg)
- Housing material: Anodized Aluminum
- Operating temperature: 0 to 40 °C



Water in-situ analyzer

- NH₂: Berthelot reaction
- PO₄: Molybdate, Ascorbic acid
- NO₃+NO₂: Cd reduction NED, SAA
- NO₂: NED, SAA.



Deep-sea Probe Analyzer

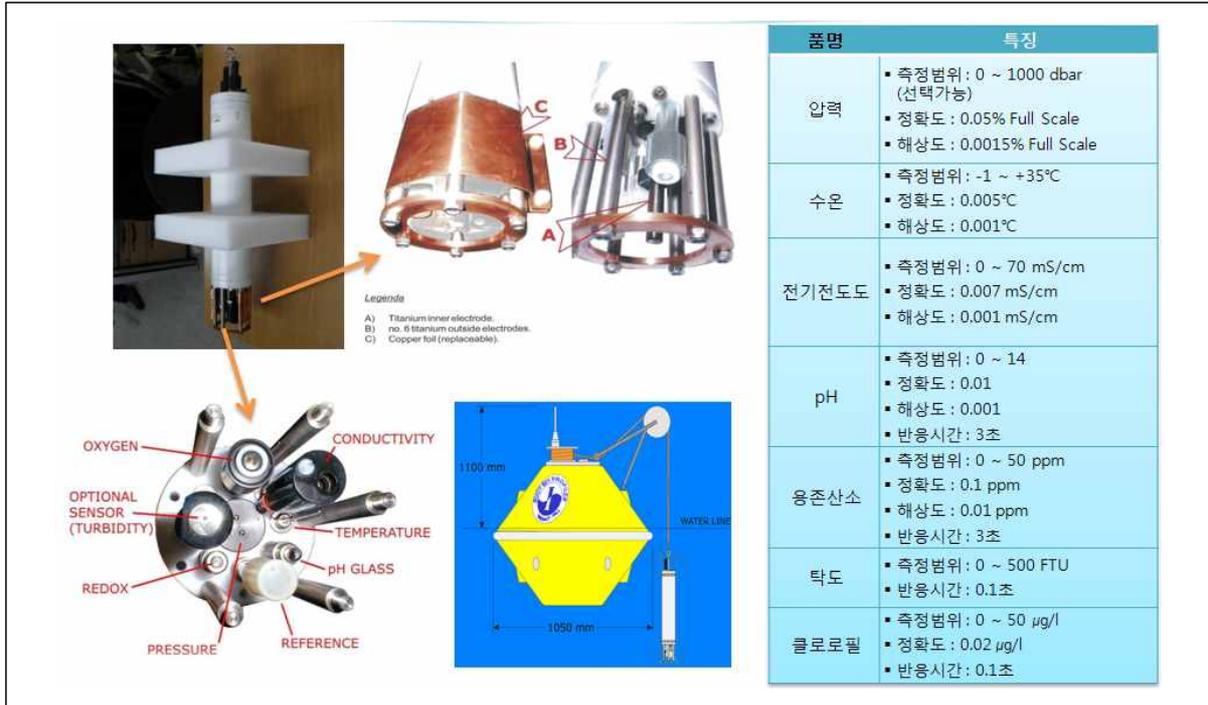
- ammonia (NH₃-N)
- orthophosphate (PO₄-P)
- nitrate + nitrite (NO₃+NO₂-N)
- nitrite (NO₂-N).



Water in-situ analyzer

- ammonia (N-NH₃)
- orthophosphate (P-PO₄)
- nitrate + nitrite N-(NO₃+NO₂)
- nitrite (N-NO₂).

[표 4-4-5] 계속



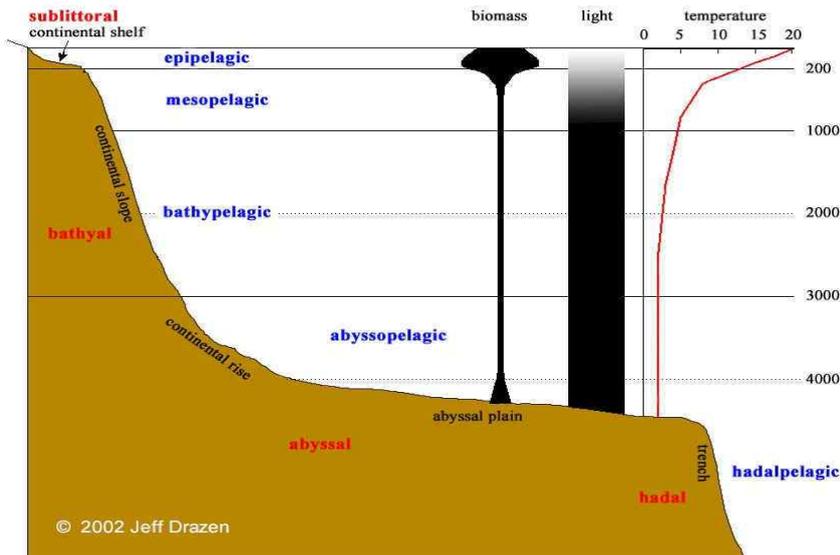
(3) 해양환경의 시공간 구분

일반적으로 해양은 수평방향으로는 연안해역과 대항해역으로 구별하고, 연직방향으로는 표층, 중심층 및 해저로 구분한다. 연안해역은 육지와 접한 천해역이고, 해저의 수심이 약 200 m이하를 대륙붕이라 한다[그림 4-4-2]. 대륙붕은 생물이 가장 풍부한 장소이고 또한 육지와 가까워서 해양개발이 가장 활발한 곳이다. 대양의 표층은 대기와 접하여서 대기에 큰 영향을 준다. 중심층은 태양광이 미치지 않는 곳이므로 온도도 일정하다. 해저면 및 퇴적층에는 풍부한 광물자원이 있다.

해수의 움직임은 표층의 파도, 달과 해의 인력에 의한 조력, 지구의 움직임에 의한 해류, 연직방향의 흐름(용승류, 침강류), 밀도차에 의한 내부파 등이 있다. 예를 들면, 주기 50일, 반경 100Km 정도의 중규모 와라 불리는 움직임 등 대중소규모의 복잡한 움직임이 있다. 심층의 해수도 예외가 아니어서 지구전체가 수평방향의 성분을 가지고 움직이고 있다. [표 4-4-6]은 해양현상을 시간척도로 분류한 예이며, [그림 4-4-3]은 우리나라 연안 해양수온은 월 평균 변화 특성을 나타낸 것이다. 즉, 해양환경인자인 해양수온도 시간단위로 볼 때 계절변동을 보이고 있으며 이에 따라서 해양환경 변화에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 제안하는 외해 해조류 대량양식 시설물의 해양환경 모니터링 시스템은 상술한 바와 같이 시·공간상으로 많은 제약조건을 가지며 [표 4-4-2]인 해양 계

측·채취 요소에서 제시된 내용과 같이 극히 제한된 조건에서 현상이 발생하고 이를 모니터링(계측·채취)할 수 밖에 없는 것이 현재 과학기술의 현실(한계)이다.



[그림 4-4-2] 해양생물환경의 관점에서 바라본 해양의 구분.

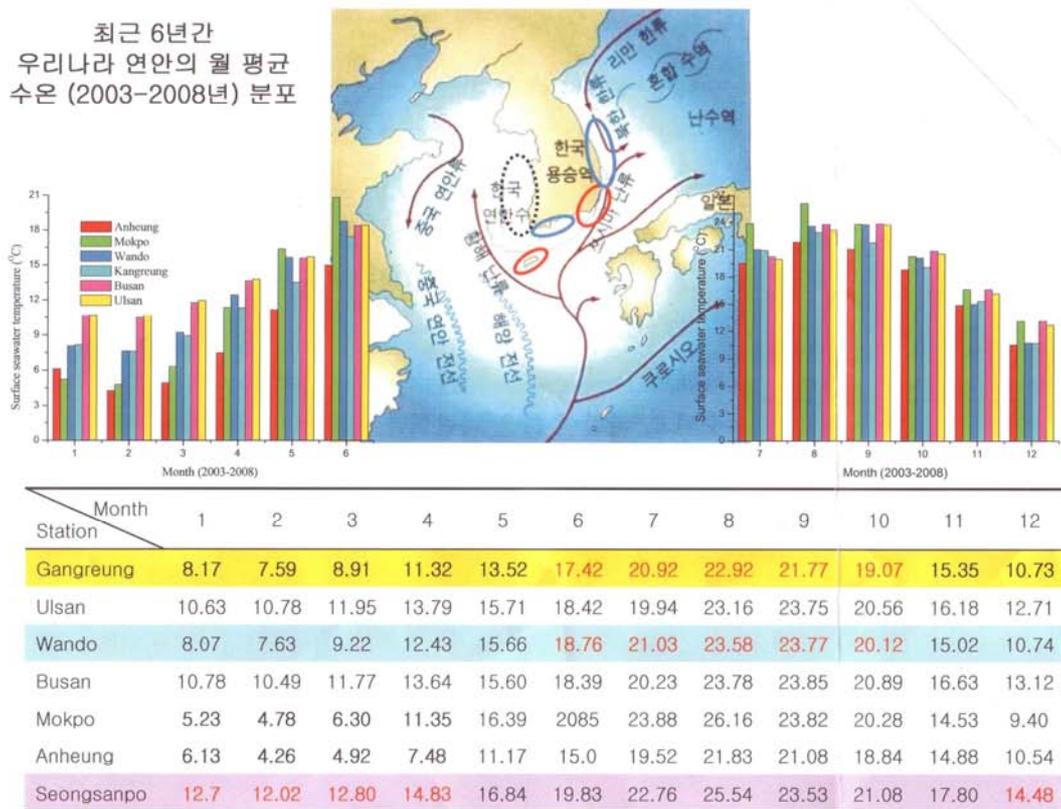
[표 4-4-6] 시간단위에 의한 해양현상 분류

단위	해수의 종류
초	풍파
분	항, 만의 고유주기,
시	내부파
일	조석, 관성진동, 내부 조석
10일	해수변동, 중규모 와동운동, 해분 고유진동
년	계절변동, 중심층의 형성
10년	대규모 수괴, 엘니뇨
100년	심층수의 대순환
무한대	고(古)해양학

이에 본 연구에서는 해양환경 모니터링 시스템을 설계함에 있어서 주요 해양환경 인자를 해양물리, 해상·기상, 해양화학, 해양생물의 4가지 요소로서 크게 분류하고 [표 4-4-2]의 해양 계측·채취 요소가 가지는 해조류 생산에 미치는 영향정도를 높음, 보통, 낮음의 구분을 통해 정량적인 수치를 부여함으로써 해양환경인자를 군집화 함으로써 공

통 인자를 중심으로 해양관측시스템의 센서 종류 및 해석방법의 기초자료로, 현장 모니터링 대상 인자로 선정하고자 하였다. 또한 선정된 결과를 바탕으로 해양환경 모니터링 시스템의 특징을 대분류화시키고 이를 바탕으로 주요 해양환경인자의 관측시스템이 최적화된 시설물을 설계하고자 하였다.

그 결과로서 [표 4-4-7]은 해양환경인자 요소기술 도출을 위한 주요 인자의 분류를 나타낸 것이다. 결과적으로 영향정도 분석을 통해서 획득되어진 주요 인자로서는 수심, 수온, 염분, 유향·유속, 조석, 파랑, 기온, 기압, 바람, 태양광, pH, DO, 클로로필로 정리될 수 있다. 이는 해양환경 모니터링 시스템이 관측해야할 실험인자는 크게 해양물리인자와 해양기상인자로 구분됨을 나타낸다.



[그림 4-4-3] 우리나라 연안 해양수온 변화 특성.

(4) 해조류 양식 환경 모니터링 요인 설정

해조류 양식에 요구되는 대상생물에 적합한 해수의 조건 범위의 환경요인으로 전체가 구성되어야 하며, 이들에 대한 적합성은 항상성 요인을 주체로 그에 따른 변동요인에 대하여 생물의 생존/성장에 깊이 관여하는 항목으로 판단된다.

양식생물은 때때로 환경에 대한 순화를 보이지만, 생산의 기초가 되는 성장에 대

한 영향정도는 경제성이 깊이 관여하기 때문에 조정성에 의해 각각의 적합범위가 결정된다. 따라서 염분농도 등과 같은 항상성이 강한 요인보다 수온, 용존산소, 영양염류 및 유해물질 등과 같은 변동성이 강한 요인을 관리 및 모니터링할 필요가 있다. 따라서 본 시스템은 환경요인을 충분히 고려하여 개발할 필요가 있다. 즉, 다음과 같은 주요 환경요인을 고려하여 시스템을 개발할 필요가 있다.

- 용존산소의 공급은 제대로 이루어지고 있는가?
- 수온 및 염분변화에 대처할 수 있는가?
- 영양염류의 변동에 대처할 수 있는가?
- 저질의 유기물변동은 어느 정도인가?
- 환경의 동태는 충분히 파악되고 있는가?
- 인위적 요인에 의한 환경오염은 없는가?
- 자정작용의 정도는 어떠한가?
- 해조류 생산에 관련된 항목의 변화는 어떠한가?
- 해조류 양식장의 관리는 적절하게 이루어지고 있는가?
- 불의의 사고에 대한 대책은 마련되어 있는가?

이상과 같은 해양환경 요인을 고려하여 향후 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 관측 요소들을 개략적으로 선정하면 ① 유속, ② 수온, ③ pH, ④ 부유물질, ⑤ 병원성 미생물, ⑥ 용존산소 등과 같다. 또한 인위적인 해상활동 환경요인을 고려하여 향후 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 관측 요소들을 개략적으로 선정하면 ① 양식공간의 이동 등, ② 해조류의 수용밀도 등과 같다.

(5) 해조류의 해양환경 변동 영향 요인 및 범위

미역, 다시마 등의 해조류는 난류해역의 외양이나 외양에 가까운 암초 또는 자갈 위에 부착하여 살고 있으며 우리나라에서는 남쪽의 제주도 연안에서 북쪽의 황해도 두만강에 이르는 전 연안에 분포하며 특히 제주 강원 경북 경남 등지의 연안에서 생산되고 있다.

일반적으로 미역은 전복이 살고 있는 곳에 살고 있으므로 전복의 서식분포와 같다. 서식수심은 대체로 간조선 이하로부터 5-6m의 수심에서 많이 살고 수심 10-12m의 깊은 곳에서도 살고 있다. 산지 및 서식환경에 따라서 미역의 서식수심이 차이가 있으며 보통 북쪽일수록 얕은 곳에 살고 남쪽으로 갈수록 점차 깊은 곳에 살고 있다. 따라서 수온과 미역분포와의 관계를 보면 미역의 분포 제한요인이 되는 월 평균 수온범위는 5-25°C로 알려져 있으며 연 평균 수온은 10-20°C 범위로 제한을 받고 있다[28].

하지만 상술한 해조류의 생장에 적합한 환경을 조성하고 이에 대한 환경모니터링

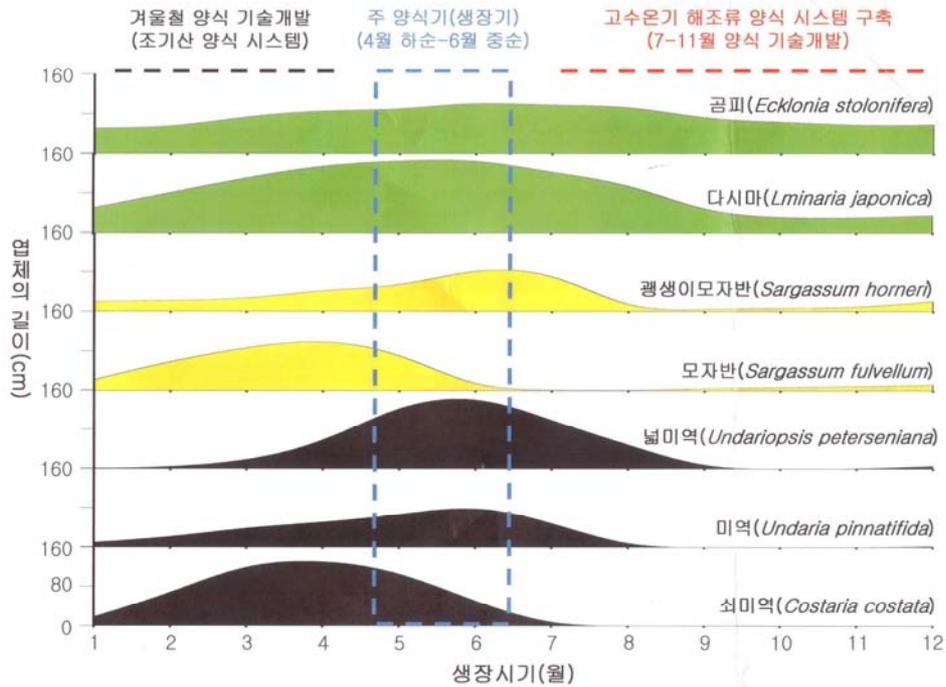
을 수행하기 위해서는 이에 부합되는 관측기기의 도입이 요구되고 그 성능도 사전에 검토될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 기존에 연구된 자료를 바탕으로 해조류의 성장에 요구되는 수질환경 인자를 선별하고 그에 대한 최적 성장 범위를 확인하고자 하였다. 그 결과를 정리한 자료는 [그림 4-4-4] 및 [그림 4-4-5]와 같다. 즉, 해조류(미역)의 성장에 영향을 미치는 파라미터로는 일본 Hokkaido 지역의 경우 해수표면 온도(Sea surface temperature), 부유물질(Suspended solids), 수심(Bathymetry), 해저경사(Slope) 등이며, 타 연구 결과에 따르면 수온, 염분, pH, COD, 파괴 등으로 나타났다. 따라서 향후 해조류 해양환경 모니터링에 요구되는 해양환경 관측항목은 상술한 부분들이 모두 고려되는 시스템으로 설계에 반영되어야 할 필요성이 요구된다.

[표 4-4-7] 주요 재현실험인자 도출을 위한 영향정도 분석

주요재현 실험인자	영향공간			해양상태						해양 동물		해양 식물
	해상	해중	해저	유 향 유 속	파 향 파 고	해 면 고 도	심 도 수 온	염 도	용 존 부 유 물	크 기	행 동 량	
해양물리												
수심	/	/	/	○	○	/	○	△	△	×	×	×
수온	○	○	○	△	×	△	/	○	×	○	○	○
염분	○	△	△	×	×	×	○	/	×	○	○	○
유향	○	○	○	/	△	×	×	×	×	×	×	×
수평유속	○	△	×	/	△	△	×	×	△	○	○	○
연직유속	○	△	×	/	×	×	×	×	×	△	△	△
전기전도율	○	△	△	×	×	×	△	△	×	△	△	△
탁도	○	△		×	×	×	×	×	○	△	△	△
조도	○	○	○	△	△	△	×	×	×	△	△	△
음속	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×
잡음	△	△	△	×	×	×	×	×	×	○	○	○
해양·기상												
조석	○	○	×	○	△	○	△	△	×	×	×	×
파고	○	△	×	△	/	○	×	×	×	△	△	△
파방위	○	△	×	△	/	△	×	×	×	×	×	×
파주기	○	△	×	×	/	△	×	×	×	×	×	×
해면온도	○	○	○	△	×	△	×	△	×	△	△	△
태양복사(태양광)	○	○	○	△	×	△	×	△	×	×	×	×
기온	○	△	×	△	×	×	×	△	×	○	○	○
습도	○	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×
기압	○	×	×	○	△	○	△	×	×	△	△	△
풍향	○	×	×	△	○	△	△	×	×	×	×	×
풍속	○	×	×	△	○	△	×	×	×	×	×	×
우량	○	×	×	×	×	×	△	○	○	×	×	×
해양화학												
pH	○	×	×							○	○	○
DO	○	×	×							○	○	○
염소량	○	○	○							×	×	×
초산염	○	×	×							×	×	×
아초산염	○	×	×							×	×	×
규산염	○	×	×							×	×	○
인산염	○	×	×							△	△	○
탄화수소	○	×	×							×	×	×
해양생물												
클로로필	○	×	×							×	×	○
어체반사계수	△	△	×									
동물소음	△	△	×							×	×	×
어군(화상)												×

※ 영향정도에 따라서 ○(큼, 높음, 빠름) △(보통) ×(작음, 낮음, 느림)으로 표기함, 연관성을 결정할 수 없는 경우 무표시함.



[그림 4-4-4] 해조류 성장시기별 특성.

Table 1. Parameter requirements for Japanese kelp aquaculture development in the southern part of Hokkaido Island, Japan.

Parameters	Interpretation parameter	Optimum	Reference
Sea surface temperature	Favourable temperature for kelp culture	9–12°C	Scoggan et al. (1989), Fang et al. (1996), Suzuki et al. (2008)
Suspended solids	Indicates level of water clarity (turbidity)	< 2 g m ⁻³	Otero and Siegel (2004), Nezhine et al. (2005)
Bathymetry	Favourable depth for hanging culture	10–30 m	Scoggan et al. (1989), Kawashima (1993), Fang et al. (1996)
Slope	Favourable slope for hanging culture	< 10°	Bushing (1995), Bekkby et al. (2009)

Relationship between major brown algae and their habitat's environmental factors

Species	Major habitat environmental factors							Wave height ^c (m)
	Reb. water temp. ^a (°C)	Aug. water temp. ^a (°C)	Sal. ^a (psu)	pH ^b	COD ^a (mg/L)	NH ₄ -N ^b (μmol/L)	DIN ^b (μmol/L)	
<i>Laminaria japonica</i>	1~8	20~24	-	< 8.9	-	0.0~7.0	0.1~26.0	2.5
<i>Undaria pinnatifida</i>	2~14	20~27	> 23.7	-	< 2.2	3~7.5	2~18.0	1.8
<i>Eisenia bicyclis</i>	7~14	22~27	> 30.0	-	< 1.6	0.0~2.7	0.50~8.96	2.5
<i>Ecklonia cava</i> <i>Kjellman</i>	10~16	23~27	> 30.9	-	< 1.3	0.07~9.3	0.36~13.20	6.0
<i>E. kurone</i> <i>Okamura</i>	8~14	26~27	> 31.8	-	< 1.4	0.0~8.92	0.32~12.06	2.1
<i>S. horneri</i> (Turner) C.	4~19	20~28	> 26.6	-	< 2.2	0.17~4.6	0.30~7.85	1.0
<i>S. patens</i> C. Agardh.	6~20	24~28	> 29.8	-	< 1.3	1.39	2.20	1.0
<i>S. ringgoldianum</i> <i>Harvey</i> sp.	7~16	22~27	> 30.9	-	< 1.3	0.42	3.68	4.0

* 須藤, ** 關 등, *** 日本水産資源保護協会

[그림 4-4-5] 해조류 양식장 개발에 요구되는 해양환경인자와 최적 범위.

(6) 해조류 양식환경인자 영향분석 사례 - 완도와 기장해역을 중심으로

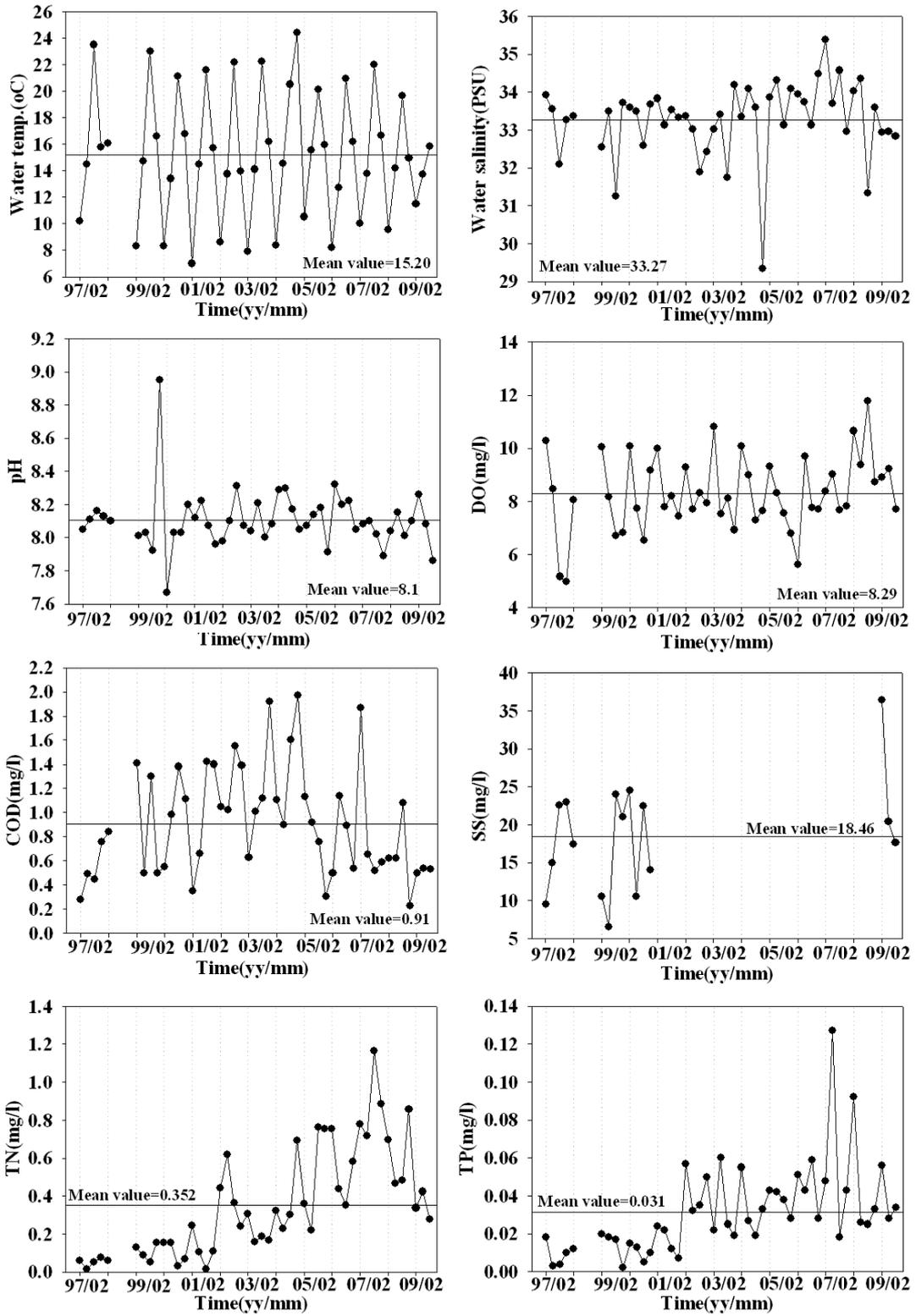
본 연구는 우리나라 완도 해역과 기장해역의 해조류(미역, 다시마, 김) 생산량과 전술한 바와 같이 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 관측 요소중 대표적인 항목에 대한 해양수질과의 상호관련성을 비교 평가하기 위한 연구이다. 즉, 연안해역에서 생산되는 해조류의 연간 생산량이 해양수질 인자중 어떠한 항목에 의해 크게 영향을 받는지에 대한 연구로서 향후 외해 해조류 양식시설 설치에 따른 해조류 생산량 극대화에 기여하는 해양수질의 항목과 이에 대한 기여도를 평가하기 위한 기초연구라고 할 수 있다.

본 연구에 사용된 해조류 생산량은 [그림 4-4-6]에 나타난 완도군과 기장군의 통계연보에 제시된 수산물 생산량으로서 완도해역의 경우 완도군 전체(1995-2009년)와 금일읍(2007-2009년)의 자료를, 기장군은 기장군 전체 자료(1997-2009년)를 사용하였다. 또한 해양수질 자료는 국립수산과학원의 국가해양관측망 자료를 해역별 생산량 자료에 해당하는 년도에 대해서 수온, 염분, pH, DO, COD, SS, TN, TP의 7개 수질항목을 사용하였다. 해석과정에서 수질항목과 생산량의 비교는 해조류의 성장시간인 2월과 11월의 수질자료와 생산량을 비교하였다.

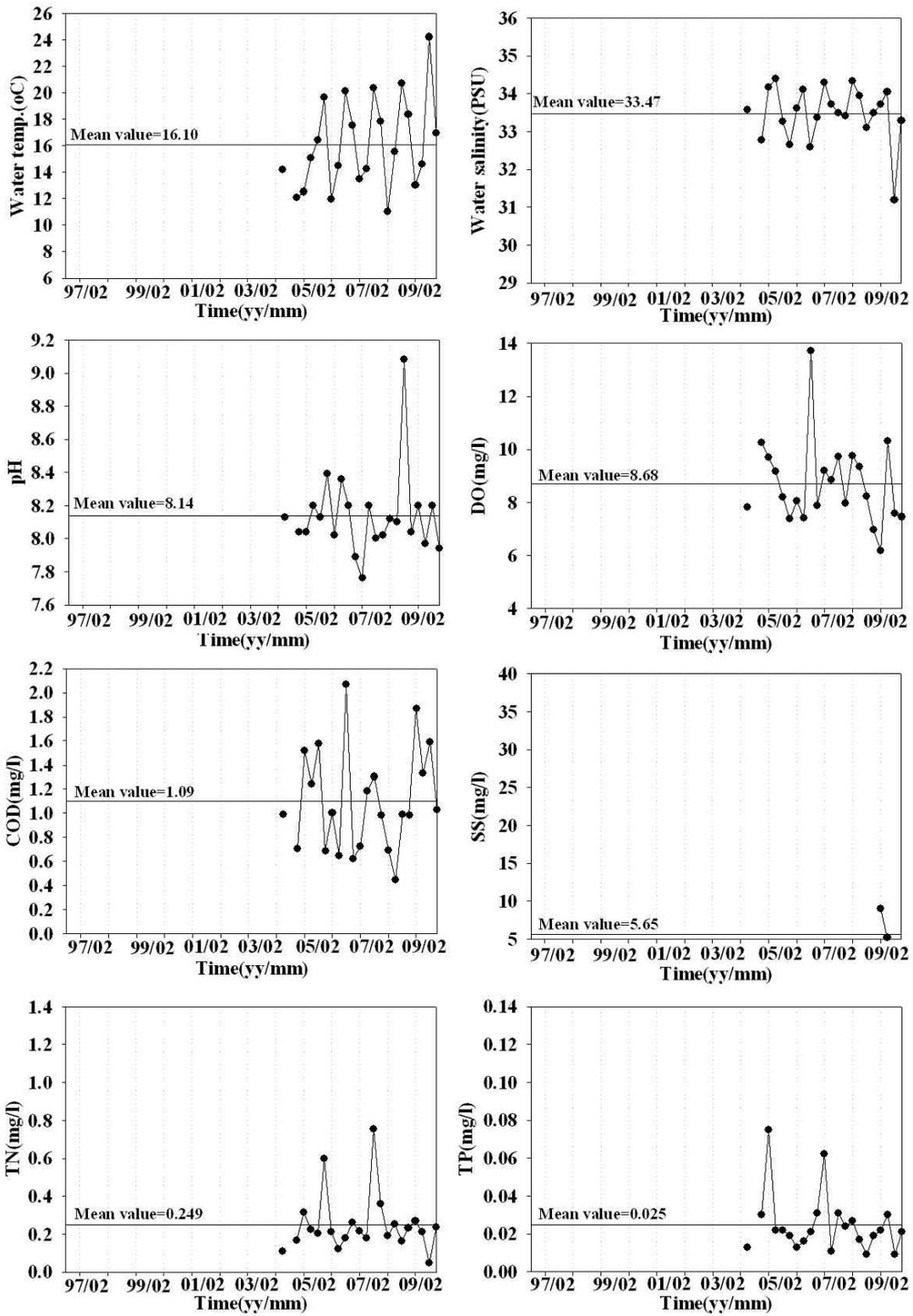
[그림 4-4-7]과 [그림 4-4-8]은 완도 및 기장해역의 1997년부터 2009년까지의 표층 평균수질변화를 각각 나타낸 것이다.



[그림 4-4-6] 완도와 기장해역의 해조류 양식장 위성사진.

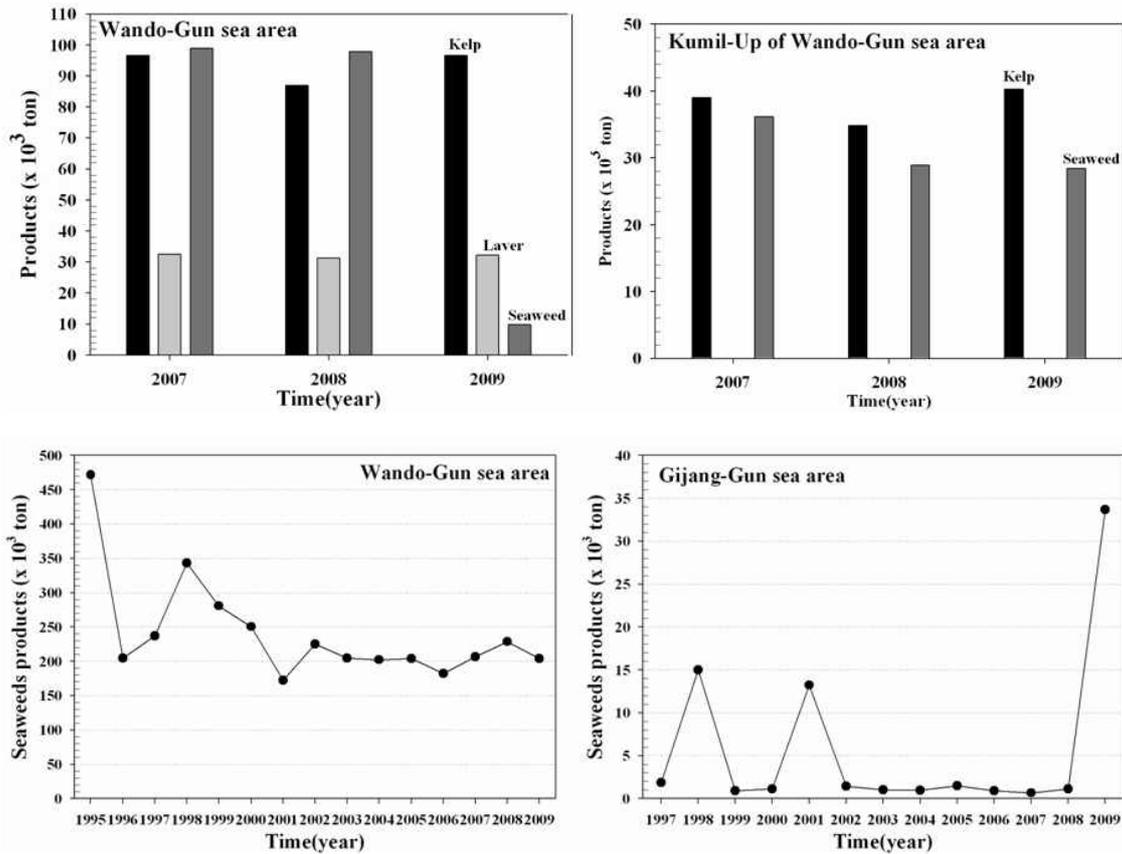


[그림 4-4-7] 완도해역의 1997년부터 2009년까지의 표층 평균수질변화.



[그림 4-4-8] 기장해역의 1997년부터 2009년까지의 표층 평균수질변화.

두 해역의 해조류 생산량을 비교해보면 2009년의 경우 기장군의 경우 33,698ton이며, 완도군의 경우 204,000ton으로 기장군의 약 5배이다. 최근 기장군의 생산량이 급격히 증가한 상황을 고려하면 그 차이는 더욱 크다고 할 수 있다([그림 4-4-9]).

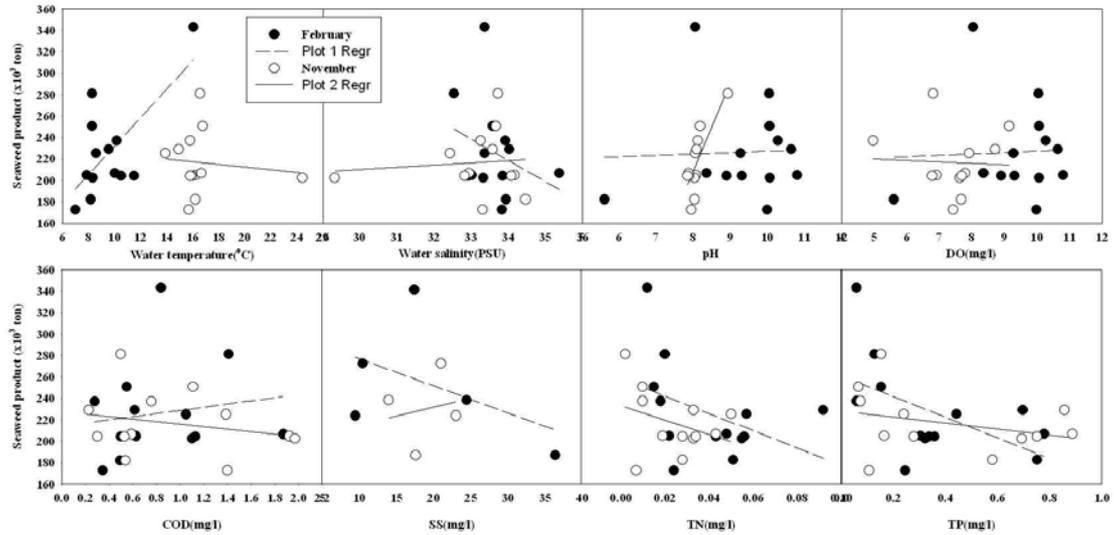


[그림 4-4-9] 완도와 기장해역의 해조류 양식장 생산량 경년변동 특성.

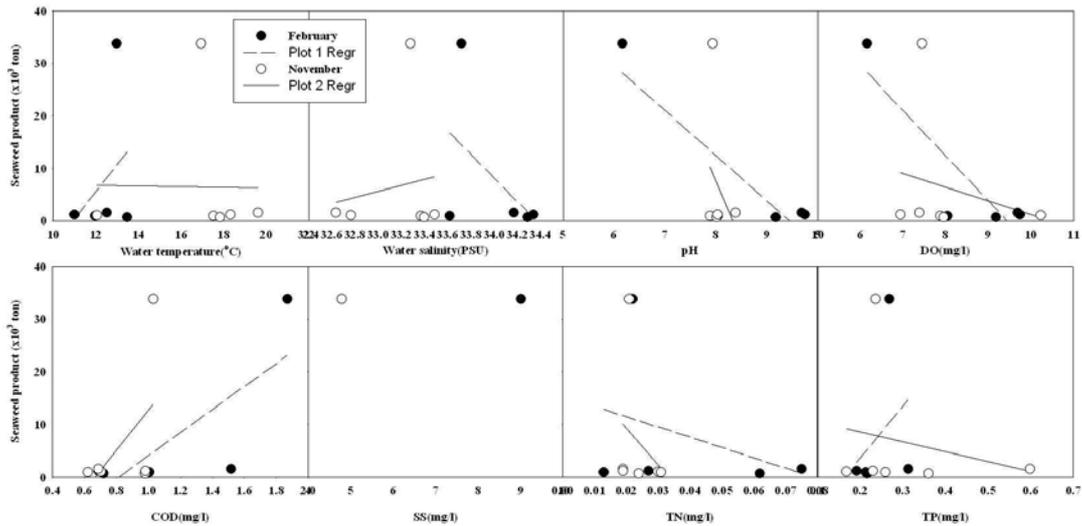
[그림 4-4-10]은 1997년부터 2009년까지의 완도군 해조류 생산량과 완도해역 해양수질자료(정점4)의 2월과 11월의 비교 결과를 나타낸다. ●는 2월, ○는 11월로서 수온의 경우 2월 수온이 높으면 생산량도 높고, 11월이 높으면 생산량은 감소하는 경향을 나타낸다. 결과적으로 2월의 경우 수온, COD 증가시 생산량도 증가하고 염분, SS가 증가하면 생산량은 감소하는 경향을 보이며 pH, DO는 큰 영향이 없고, TN과 TP의 경우 그 수치가 증가할 수록 생산량은 모두 감소하였다. 11월의 경우 다소 차이를 보이나 수온, 염분, pH, COD, SS 등에서 그 차이를 살펴볼 수 있다.

또한 기장 해역 해조류 생산량과 해양수질인자간의 상호관련성 비교를 나타낸 [그림 4-4-11]을 살펴보면 분석자료 미흡으로 다소 분산성이 큰 경향을 나타내고 있다. 2월 수온이 높으면 생산량도 높고, 11월이 높으면 생산량은 감소하는 경향을 나타내었으

며, COD 증가시 생산량도 증가하는 경향으로 완도의 경우와 동일하고 pH, DO, TN는 다소 증가함에 따라서 생산량은 감소 경향, 11월 TP의 경우도 동일한 경향을 나타내었다.



[그림 4-4-10] 완도군 해조류 생산량과 해양수질인자간의 상호관련성 비교.



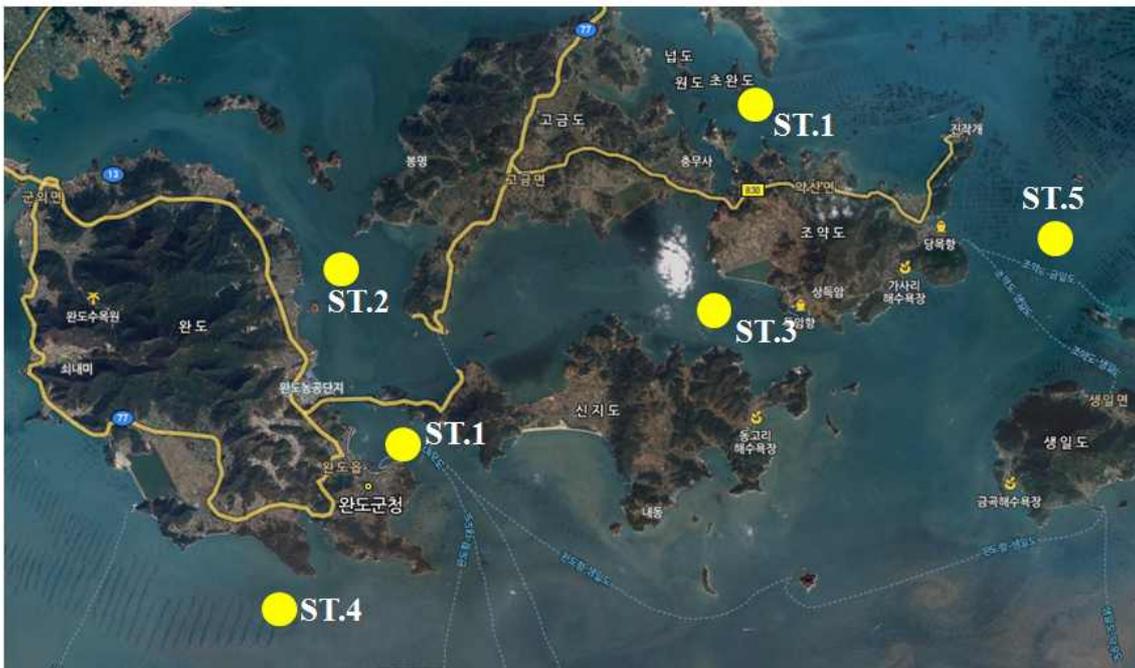
[그림 4-4-11] 기장해역 해조류 생산량과 해양수질인자간의 상호관련성 비교.

(7) 해조류 양식해역 수질인자 공간분포 - 완도 해역을 중심으로

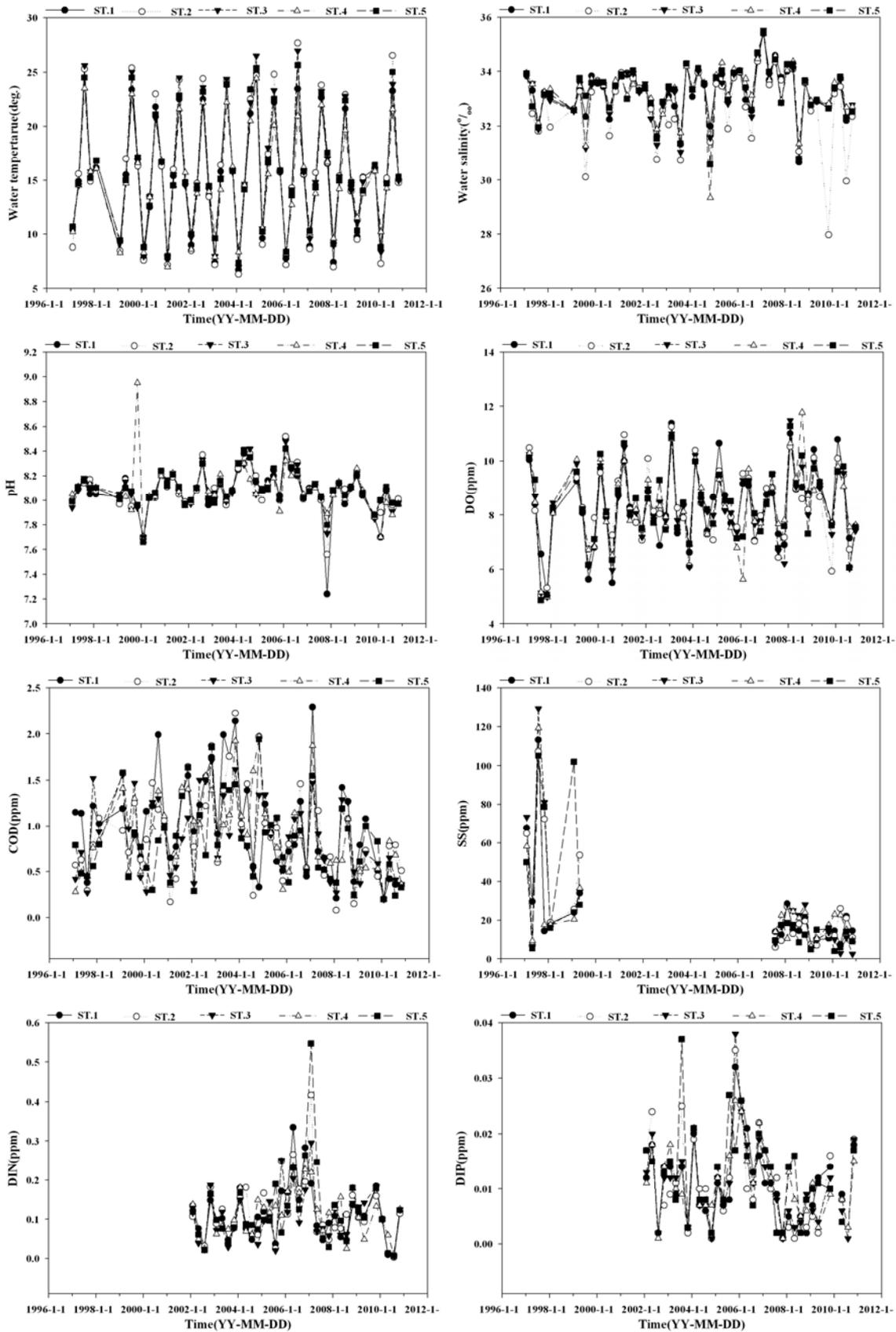
본 연구는 우리나라 완도 해역에 대해서 수질환경인자가 공간적으로 어떻게 차이를 보이는가를 평가하고자 하였다. 이는 조사정점이 위치하는 수심의 분포가 향후 외해 해조류 양식시설 적지선정에 미치는 영향을 평가하는 기초적 자료로 활용 가능할 것으로 생각되었다. 본 연구에 사용된 해양수질 자료는 국립수산과학원의 국가해양관측망 자료를 해역별 생산량 자료에 해당하는 년도에 대해서 수온, 염분, pH, DO, COD, SS, DIN,

DIP의 7개 수질항목을 사용하였다. 조사정점은 [그림 4-4-12]에 나타난 것과 같이 총 5개 정점이며 각 정점의 특징은 다도해 특성상 외해와 접해있는 정점(ST.4)과 섬과 섬사이의 수로상에 위치하는 정점(그외 나머지 정점)으로 구분할 수 있다.

수질조사 자료를 바탕으로 완도 해역 각 정점별 해양수질의 경년변동을 나타낸 것이 [그림 4-4-13]에 해당한다. 그 결과를 살펴보면 외해역에 해당하는 ST.4의 경우 수온, 염분, COD가 다른 정점들에 비해서 낮고 DIN, DIP가 상대적으로 높은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 물론 조사된 결과가 거리상으로 크게 떨어져 있지 않고 지형적 특성에 의해 각 정점의 천해, 심해 구분이 불명확한 점이 있다고 판단된다. 따라서 향후 이 부분에 대한 보다 세밀한 해석방법이 요구된다고 할 것이다.



[그림 4-4-12] 완도 해역 해양수질 조사정점(국립수산과학원).



[그림 4-4-13] 완도 해역 각 정점별 해양수질의 경년변동.

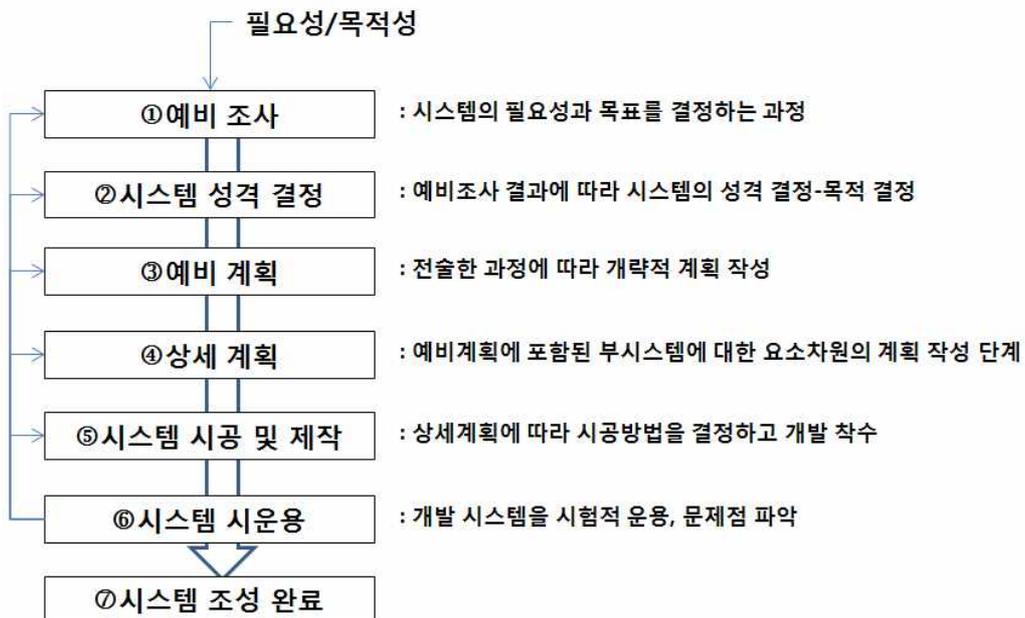
나. 외해 양식시설 환경 모니터링 설계 개념 정립

(1) 종합기능형 개발계획의 순서

시스템 공학의 측면에서 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템은 하나의 시스템으로 볼 수 있다. 시스템의 기능이 발휘되려면 시스템을 구성하는 요소(element)들이 제 기능을 발휘해야한다. 몇 개의 요소가 모여서 부시스템(subsystem)을 형성하고, 부시스템을 조합하여 전체시스템을 구성하게 되는 것이다. 예로들어 본 연구의 총괄과제의 측면에서 보면 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템은 부시스템 또는 하나의 요소가 되는 것과 같은 의미를 가진다.

따라서 하나의 요소가 주기능 및 부차적인 기능을 가질 수 있다. 마찬가지로 부시스템 및 전체시스템도 주기능과 부차적 기능을 가질 수 있다. 요소 또는 부시스템의 부차적 기능이 부시스템 또는 전체시스템의 주기능을 위한 핵심기능이 될 수도 있고, 전체시스템에서 요구하는 요소 및 부시스템의 기능과 이들이 가진 주기능이 일치하는 경우도 있다.

기존의 시스템을 활용하여 이들을 요소 또는 부시스템으로 가지는 새로운 시스템을 구성하는 것이 종합기능형 개발계획의 일반적인 개념이라 할 수 있다. 이때 기존의 시스템이나 요소는 새로운 시스템의 기능이 부합되도록 변경, 첨삭이 가능하다고 가정한다. 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템 개발의 일반적인 과정은 다음 [그림 4-4-14]와 같다.



[그림 4-4-14] 종합기능형 시스템 개발계획의 순서.

예로들어 예비조사의 경우 환경모니터링 시스템 개발의 필요성을 판단하고 시스템 운용에 따른 긍정적 및 부정적 기대효과를 정립하는 것이다. 또한 시스템 성격 결정의 경우 시스템이 단일목적이거나 다목적일 수 있으며 이에 대한 우선순위를 부여하는 것으로 본 양식시설 환경모니터링 시스템을 단순히 해양관측용으로만 사용할 것인지 해상전진기지 또는 예로들어서 신재생 에너지 생산을 위한 시험시설로 활용할 것인지 등을 판단하는 것이라 할 수 있다.

그리고 예비계획 단계의 경우 시스템 구조물의 양식을 고정식으로 할지 부유식으로 할지, 또는 어떤 규모를 가지게 할 것인지 등을 판단하는 단계이며, 상세계획의 경우 모니터링 시스템으로 어떤 환경인자 센서를 부착할 것인지 또는 계측된 자료를 어떻게 전송할 것인지 등을 수립하는 단계라고 할 수 있다.

하지만 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템 개발에서 위의 ⑤, ⑥단계는 사실상 현단계에서는 실시의 어려움이 있다. 즉, 상세계획에 따라 시설물이나 부시스템의 시험적 운용이 본 연구와 같이 소규모이거나 일부 요소 기능을 위주로하는 부시스템의 차원에서 볼때는 바로 실제적 사용을 의미하기 때문이다. 일단 계획에 따라 시스템이 개발되어 이를 운용하다가 발견된 문제점의 해결에는 막대한 예산과 인력이 소요되기 때문이다. 따라서 용의주도한 상세계획의 작성이 필수적이며 ①~④단계로서 개발계획이 완성된다고 생각할 수 있다.

(2) 양식시설 환경 모니터링 연구 추진전략과 흐름

본 연구는 상술한 바와 같이 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산 기술 개발의 세부연구과제로서, ① 지속적인 해조류 대량생산을 위한 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발, ② Pilot 시설의 안정성 및 기능성 확보를 위한 지속적인 유지관리 시스템 구축에 그 목적이 있다. 따라서 최종 목표 달성을 위해 정확한 연구개발 목표 및 개념을 정립하고 세부적인 전략을 수립하는 것이 요구된다.

이에 본 연구에서는 현재까지의 연구결과를 바탕으로 상술한 종합기능형 개발계획 순서에 따라서 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템의 연구 추진전략과 흐름을 [그림 4-4-15]와 같이 수립하고자 한다.

세부적으로 살펴보면 환경 모니터링 인자를 도출하고 이에 합당하는 장비 도입과 적용 범위를 규정하고자 한다. 이를 바탕으로 양식시설의 안정성과 기능성을 평가하는 기술을 개발하는 것에 초점을 두고 있다. 양식시설의 안정성이라 함은 양식시설 관리(과

순) 시스템, 해황변동/기상정보/어장정보 등에 대한 내용이며, 기능성이라 함은 해양수질 측정, 해조류 성장관리 등을 포괄하는 것이다.

마지막으로 이를 통합하여 해조류 도난관리, 해조류 이송시스템 관리, 어선 입출항 관리 등에 해당하는 유지/관리 기술을 개발하는 것이다.



[그림 4-4-15] 양식시설 환경 모니터링 연구 추진전략과 흐름도.

다. 모니터링 시스템 설계 기초조사

외해 양식시설물 설치지역에 대한 지속적인 환경모니터링을 위해 모니터링 시스템의 구조물 양식 및 환경인자 획득을 위한 센서 부착 등의 기초적인 설계가 요구되고 있다. 특히 시설물에 대한 안정성 및 기능성은 전술한 바와 같이 [표 4-4-1]의 외해 대량 양식 시설 환경모니터링의 기술체계에 근거하여 도출되어야 할 것으로 판단된다.

즉, 기능성을 고려한 구조물 설계는 해조류 성장 및 발달 인자(수온, 염분, DO, TN, TP, pH 등)들과 같이 해조류의 생육발달조건에 필요한 해양환경인자의 실시간 변동량을 조사하여 대상 해조류의 최적의 생육조건을 모니터링하기 위한 기술의 개념설계가 전제되어야 하며, 안정성을 고려한 구조물 설계는 해양파랑 및 조류 등의 해양외력환경을 고려한 양식장 시설물/구조물의 파괴 및 이동 경로 파악 등이 고려되어야 할 것이다.

물론 상술한 바와 같이 본 연구에서 제안하는 외해 양식시설 환경모니터링 시스

템은 육상으로부터 원거리에 위치하므로 다양한 현실적인 문제를 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만 근본적으로 해양 에너지(파력, 조류, 풍력, 태양광, 매스 하이드레이트)를 이용·개발하기 위한 개념을 포괄하는 것으로 설계를 고려하는 것이 가장 현실적이고 미래 지향적인 추진방향이라고 할 수 있다.

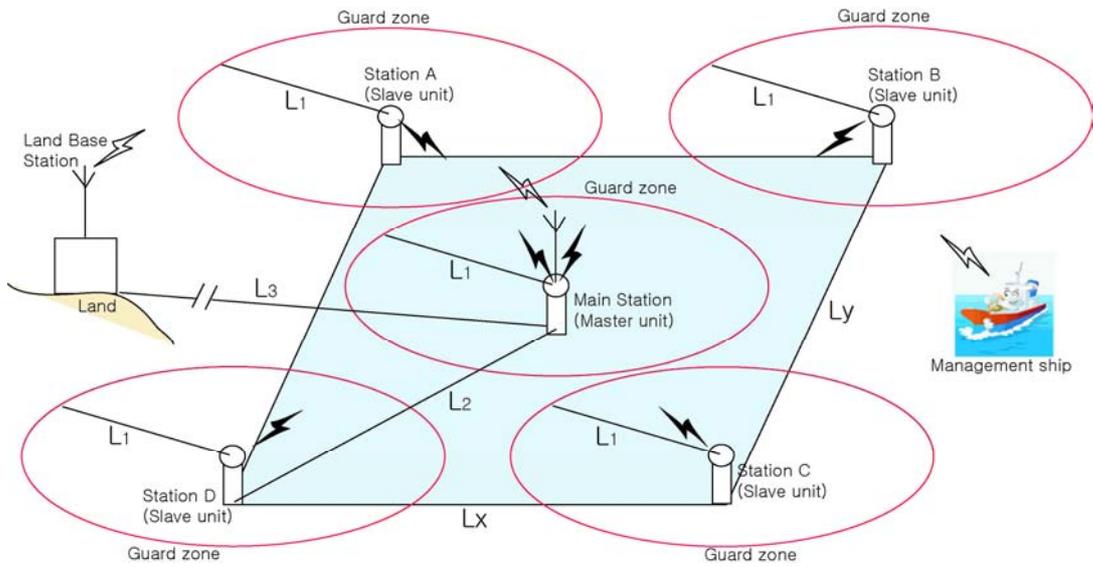
(1) 육역-해역 연계성을 고려한 시스템 배치 개념

최근 우리나라(통영) 연안일대를 중심으로 활어양식수산업 경쟁력 강화와 적조도 난·어류폐사위기 등 위급상황발생시 신속한 대응체계 마련을 위하여 추진된 사례가 조사되었다. 그 분석 결과에 따르면 천해 어류양식시설 실시간 해양관측시스템의 사례를 외해 양식시설로 적용할 경우, 전원공급/장치, 시스템 설치공간, 무선통신 거리, 기상DATA 획득, 계측장비 안전성의 문제를 극복해야할 것으로 판단된다. 아울러 외해양식시설의 규모를 고려한 무선 통신망의 구축 개념을 도입하면 아래 [그림 4-4-16] 및 [그림 4-4-17]과 같이 정리할 수 있다.

(2) 수심별 해조류 성장 영향인자를 고려한 모니터링 시스템 배치 개념

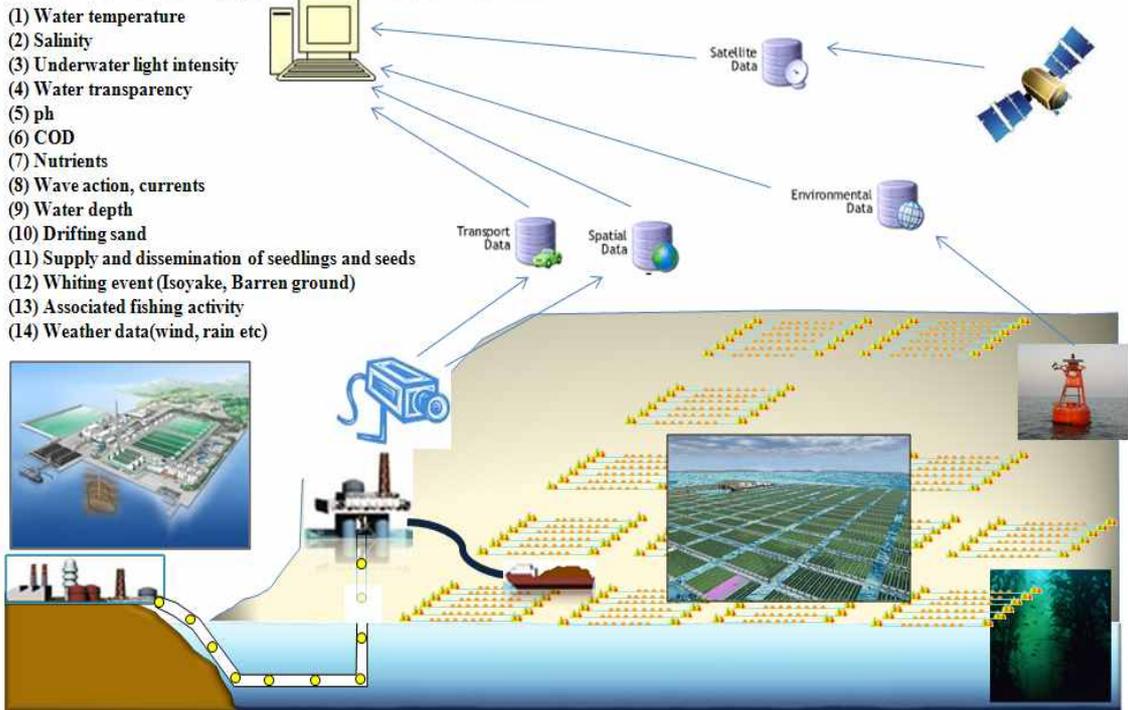
미역, 다시마 등의 해조류는 난류해역의 외양이나 외양에 가까운 암초 또는 자갈 위에 부착하여 살고 있으며 우리나라에서는 남쪽의 제주도 연안에서 북쪽의 황해도 두만강에 이르는 전 연안에 분포하며 특히 제주 강원 경북 경남 등지의 연안에서 생산되고 있다. 일반적으로 미역은 전복이 살고 있는 곳에 살고 있으므로 전복의 서식분포와 같다. 서식수심은 대체로 간조선 이하로부터 5-6m의 수심에서 많이 살고 수심 10-12m의 깊은 곳에서도 살고 있다. 산지 및 서식환경에 따라서 미역의 서식수심이 차이가 있으며 보통 북쪽일수록 얕은 곳에 살고 남쪽으로 갈수록 점차 깊은 곳에 살고 있다. 따라서 해조류의 성장에 적합한 환경을 조성하고 이에 대한 환경모니터링을 수행하기 위해서는 이에 부합되는 관측기기의 도입이 요구되고 그 성능도 사전에 검토될 필요가 있다.

본 연구에서는 기존에 연구된 자료를 바탕으로 해조류의 성장에 요구되는 수질환경 인자를 선별하고 그에 대한 최적 성장 범위를 확인하고자 하였다. 이를 위해 양식시설 환경에 적용하면 목적 및 기능별로 해양환경 인자의 선별 결과를 [그림 4-4-18] 및 [그림 4-4-19]에 제시한 바와 같다.

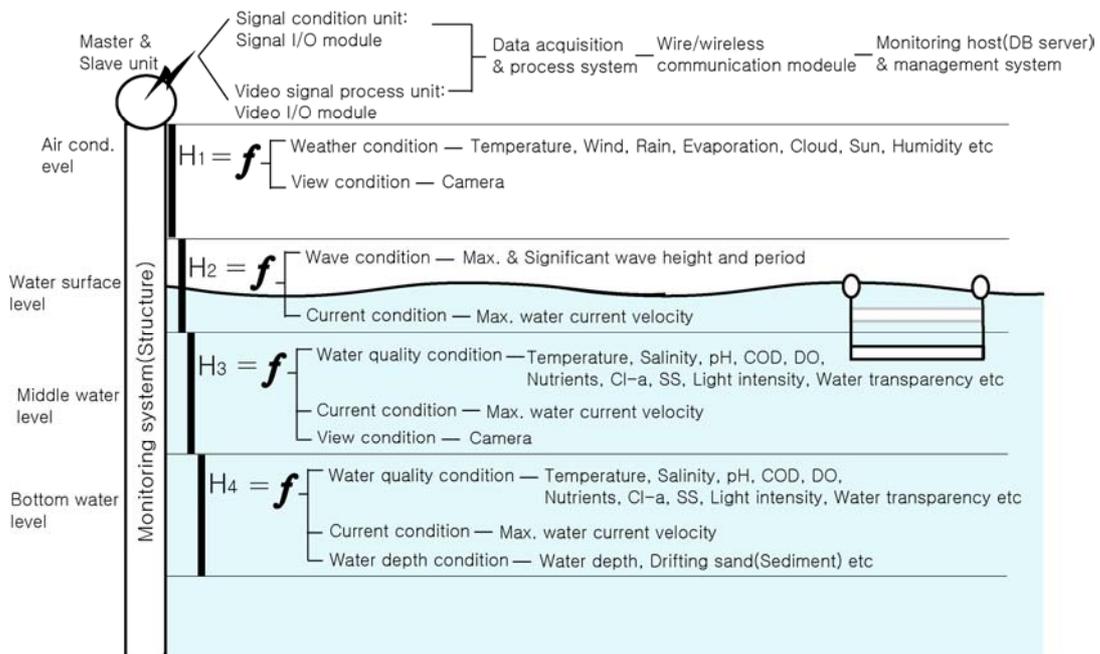


[그림 4-4-16] 외해 양식시설 환경모니터링을 위한 통신망 구축 개념.

실시간 양식장 모니터링 개념



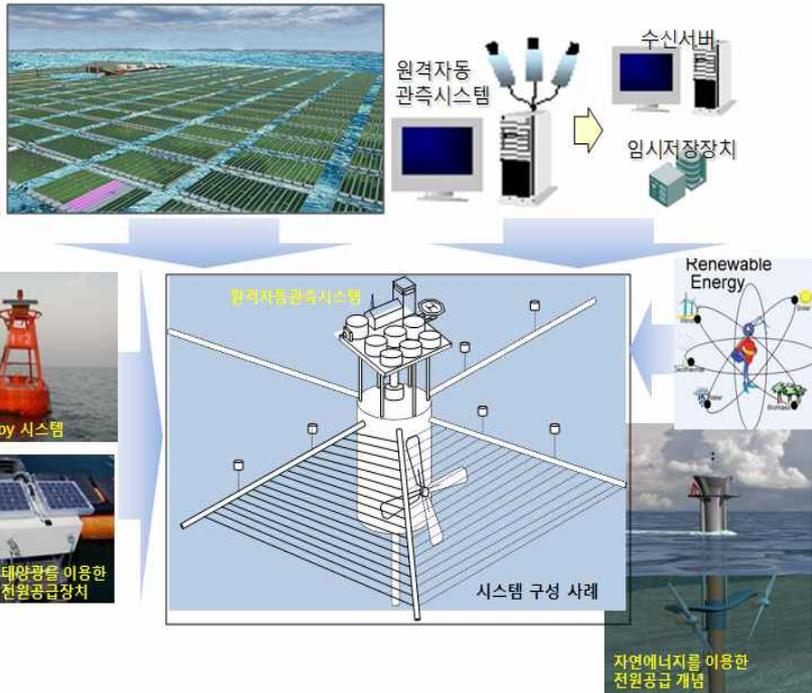
[그림 4-4-17] 외해 양식시설 환경 실시간 모니터링 설계 개념도.



[그림 4-4-18] 수층별 환경인자 모니터링을 위한 영향인자 구분.

양식시설 환경 모니터링 목적 및 기능(시설 설계)

- ① 수질측정
- ② 양식시설 관리(파손) 시스템
- ③ 해조류 도난 관리
- ④ 해조류 이송시스템 관리
- ⑤ 어선 입출항 관리
- ⑥ 해황변동/기상정보/어장정보



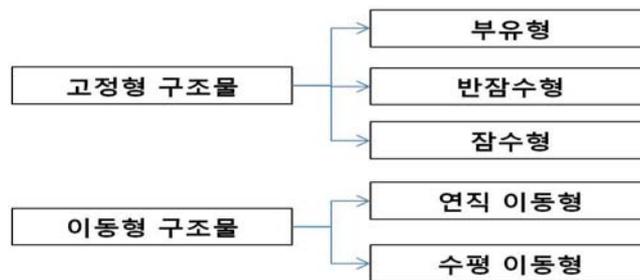
[그림 4-4-19] 의해 양식시설 환경인자 모니터링 시스템 세부 구성 개념도.

(3) 환경모니터링 설치 구조물 설계

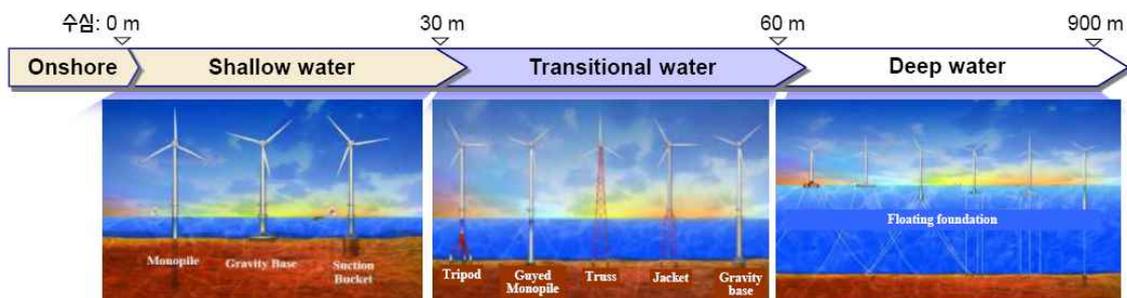
(가) 외해 구조물의 기본 형태 결정

단순한 형태의 환경모니터링 설치 구조물로서는 고정형(fixed), 부유형(floating), 반잠수형(submersible), 잠수형(submerged) 등 4가지 기본 형태로 구분할 수 있다([그림 4-4-20]). 위의 4가지 종류는 일정한 장소에 고정되어 설치되나, 최근 그 위치를 수평 또는 연직방향으로 이동시킬 수 있는 이동식 구조물로서 설계가 가능할 것으로 생각된다.

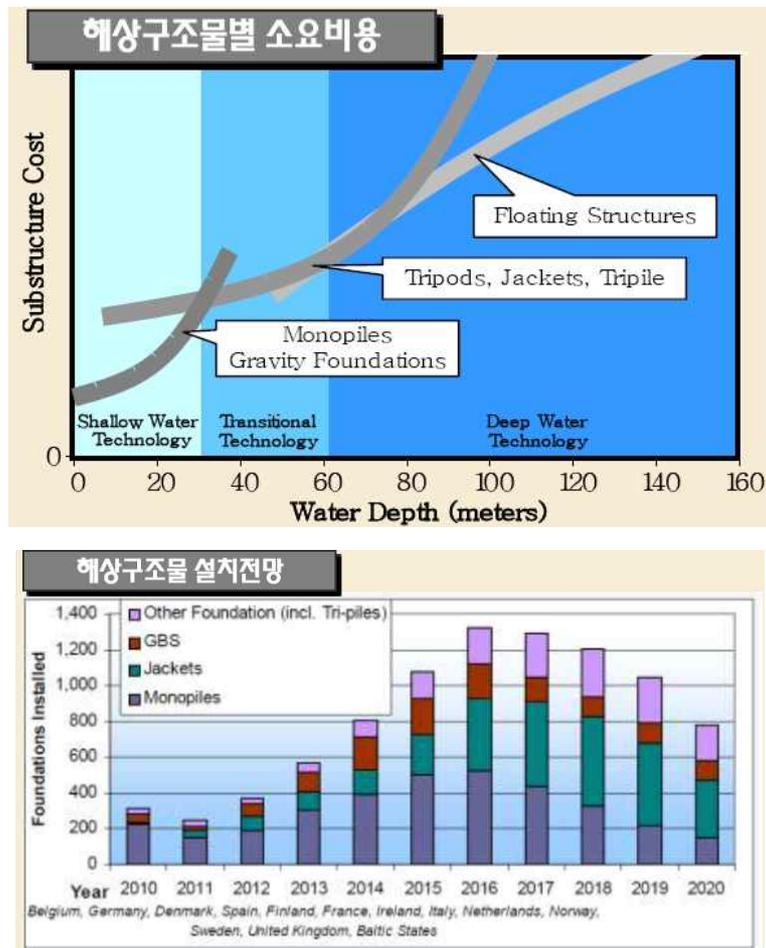
하지만 이러한 구조물의 형태를 결정하는 인자는 [그림 4-4-21]에서와 같이 수심에 따른 경제적 비용을 고려하지 않을 수 없다. 해상풍력발전의 경우를 예로 들어 살펴보면 천해역(Shallow water) 30m이내의 수심에서는 대체적으로 pile(말뚝)을 이용한 고정형 구조물의 형식을 가지나 중간역(Transitional water)에서는 고정형 구조물과 Jacket 형이거나 이를 복합적으로 이용한 형식을 가진다. 하지만 이보다 깊은 수심의 심해역(Deep water)의 경우에는 대체적으로 부유형 구조물로서 부이(buoy)와 로프, 닻을 이용한 구조물 형식을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 [그림 4-4-22]에서 해상구조물별 소요비용 및 설치전망(해상풍력의 경우)을 살펴보면 대체적으로 대수심으로 갈 경우 소요비용이 다른 경우보다 효율적임을 알 수 있다.



[그림 4-4-20] 환경모니터링 설치 구조물 기본 형태 종류.



[그림 4-4-21] 수심에 따른 구조물 형식의 특징(해상풍력의 경우).



Source: NREL, "Energy from Offshore Wind", 2006
 GL Garrad Hassan, "World Offshore Wind Market and challenges ahead", Hamburg Offshore Wind Conference, 5-6 May 2010

[그림 4-4-22] 해상구조물별 소요비용 및 설치전망(해상풍력의 경우).

(나) 외해 구조물 설계를 위한 외력인자

외해의 경우 천해역보다 청정한 수질을 가지고 있음에 반해 양식시설에 직접 피해를 줄 수 있는 높은 파랑이 상존하는 해역이기도 하다. 따라서 양식시설을 수질이 좋고 개방된 외해역에 설치하려고 할 때에는 이러한 고파랑의 외력에 견딜수 있는, 즉 내파성을 가진 시설이 되도록 설계할 필요가 있다. 이에 내파성 양식시설이라는 용어가 태동하고 일부 연구자들에 의해 이에 대한 연구가 활발히 수행되어지고 있다.

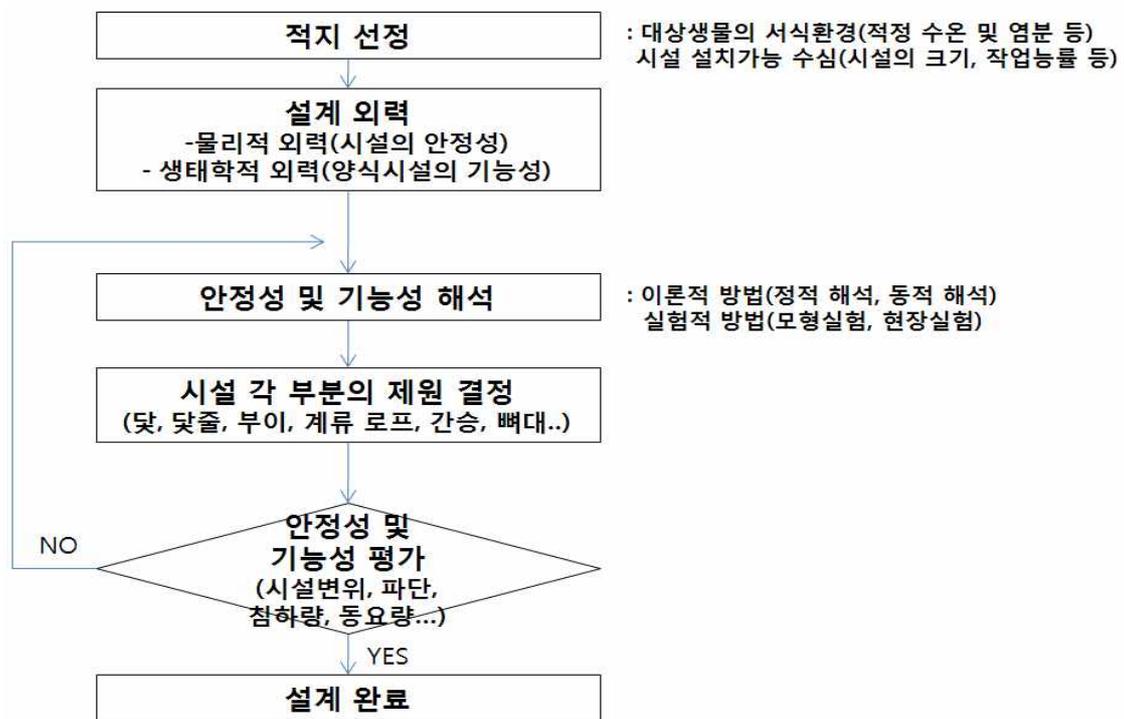
일반적인 설계외력으로는 정적 하중(수직 하중)과 동적 하중(수평 하중)으로 구분할 수 있다. 정적 하중은 구조물의 무게와 이에 부착되는 시설물의 무게의 합으로 구할 수 있다. 그리고 동적 하중은 구조물에 작용하는 항력, 구조물의 뼈대에 작용하는 파력과 풍력의 합력으로 생각할 수 있다. [그림 4-4-23]은 양식시설 모니터링 시스템 구조물 설계에 고려되어야 할 해양물리환경인자를 정리한 것이다.

Wind Conditions	Wind States	Marine Conditions	Sea States	
Normal Wind Conditions	Normal Wind Profile Model (NWP)	Wave	Normal Sea State (NSS)	
	Normal Turbulence Model (NTM)		Normal Wave Height (NWH)	
Extreme Wind Conditions	Extreme Wind Speed Model (EWM)		Sever Sea State (SSS)	Severe Wave Height (SWH)
	Extreme Operating Gust (EOG)		Extreme Sea State (ESS)	Extreme Wave Height (EWH)
	Extreme Turbulence Model (ETM)			Reduced Wave Height (RWH)
	Extreme Direction Change (EDC)		Braking Wave Height	
	Extreme Coherent Gust with DC (ECD)			
	Extreme Wind Shear (EWS)			
Other	Reduced Wind Model (RWM)	Current	Sub-sea current	
			Near surface current	
			Surf current	
		Water Level	Normal Water Level Range (NWLR)	
			Extreme Water Level Range (EWLR)	
		Others	Sea Ice, Marine Growth, Seabed movement, Scour	

[그림 4-4-23] 양식시설 모니터링 시스템 구조물 설계인자.

해양생물생산을 목적으로 하는 시설물의 설계는 첫째, 대상 생물의 서식 조건을 고려한 적지의 선정, 둘째, 시설의 안정성 확보를 위한 구조물 각 부분의 치수 결정을 위한 외력조건 결정과 안정성의 해석, 셋째, 양식시설로서의 기능성 확보, 즉, 시설동요 및 설치수심의 제어 등 시설관리의 편리성은 물론 양식생물의 성장제고 및 고품질화와 관련한 시설보완 과정을 반복하면서 최적의 장소에 최적의 생산성을 확보할 수 있는 시설의 치수를 결정하는 것이다.

그 기본 흐름을 요약하여 나타낸 것이 [그림 4-4-24]이다. 그림에서 알 수 있듯이 대상 해역의 설계외력 하에서 시설의 안정성 및 기능성 해석을 통해 시설 각 부분의 제원이 결정되어야 하며, 이 시설의 안정성과 기능성은 경제성, 설치 및 관리의 효율성 등이 포괄적으로 고려되어야 한다. 아울러 양식 기능 및 효율의 최적화를 위하여 양식물의 성장에 따른 시설의 하중의 증가에 대한 대책, 태풍 및 긴급 재해에 대한 대책, 부착생물에 대한 대책 등도 필요하다.



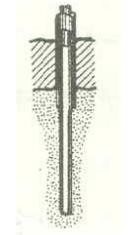
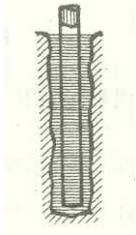
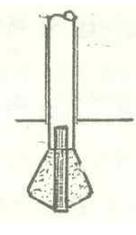
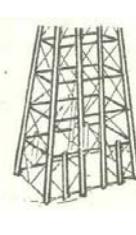
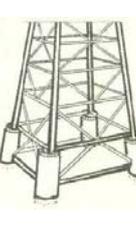
[그림 4-4-24] 내파성 양식시설의 설계 흐름도.

(다) 고정형 구조물의 기초설계

고정형 구조물의 기초부는 일반적으로 말뚝기초(Pile foundation)에 해당한다. Pile은 Jacket과 같이 상부 구조물과 지반을 연결하는 부재로서 용량이 큰 Hammer로 해저 깊이 박혀지며 해저 지질에 따라 다음에 기술하는 바와 같은 종류가 있다. 일반적으로 많이 사용되는 Pile은 [표 4-4-8]에 나타난 바와 같다.

구조물의 자중 및 overturning moment 때문에 leg를 통한 pile에 전달되는 축방향 압축력 혹은 인장력에 저항하여 구조물 전체를 안전하게 해저에 고정시키기 위하여서는 pile을 상당한 깊이까지 관입시켜야 한다. [그림 4-4-25]는 고정형 구조물의 해저 기초설계 사례(해상풍력발전의 예)이다.

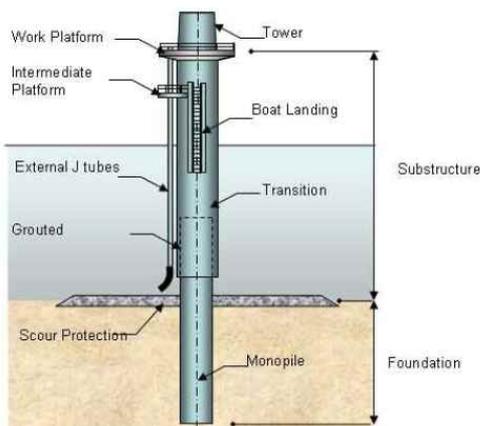
[표 4-4-8] 고정형 구조물의 말뚝기초(pile)의 종류

pile의 종류	상세 설치 방법 및 내용	
Driven pile		<p>끝이 뚫린 pile을 증기, diesel 및 Hydraulic hammer로 요구되는 관통 깊이까지 박아 내려간 것</p>
Drilled and grouted pile		<p>pile 직경보다 다소 큰 구멍을 뚫은 후 pile을 세우고 그 주변에 grout를 채운 것</p>
Belled pile		<p>pile의 bearing 및 uplift capacity를 증가시키기 위하여 pile 끝을 종모양으로 넓히고 bell과 pile 사이에는 콘크리트로 메운 것</p>
Skirt pile		<p>legs에 설치한 piles만으로는 풍·파력에 따른 과도한 overturning moment에 견디지 못할 경우에 설치하며, 특히 해저지질로 보아 pile 침투깊이를 감소시켜야 할 경우에 설치</p>
Group pile		<p>skirt pile을 합쳐서 legs 둘레에 다발형태로 설치하는 것으로 심해 및 설계파고가 높은 북해 해역에서 많이 사용됨</p>

Type	Use	Notes
Monopile	Shallow to medium water depths (0 - 30m)	<ul style="list-style-type: none"> • Steel tube, 4-6m in dia. • Installed using driving or drilling method • Transition piece grouted onto top of pile
Jacket	Medium to deep water depths (30 - 60m)	<ul style="list-style-type: none"> • Steel tubes welded together, 0.5-1.5m in dia. • Anchored by driven or drilled piles, 0.8-2.5m in dia.
Tripod	Medium to deep water depths (30 - 60m)	<ul style="list-style-type: none"> • Steel tubes welded together, 1.0-5.0 in dia. • Transition piece incorporated onto centre column • Anchored by driven or drilled piles, 0.8-2.5m in dia.
Gravity base	Shallow to medium water depths (0 - 30m)	<ul style="list-style-type: none"> • Steel or concrete • Relies on weight of structure to resist overturning, extra weight can be added in the form of ballast in the base • Seabed may need some careful preparation • Susceptible to scour and undermining due to size
Floating structure	Very deep water depths (60 - 900m)	<ul style="list-style-type: none"> • Still under development • Relies on buoyancy of structure to resist overturning • Motion of floating structure could add further dynamic loads to structure • Not affected by seabed conditions

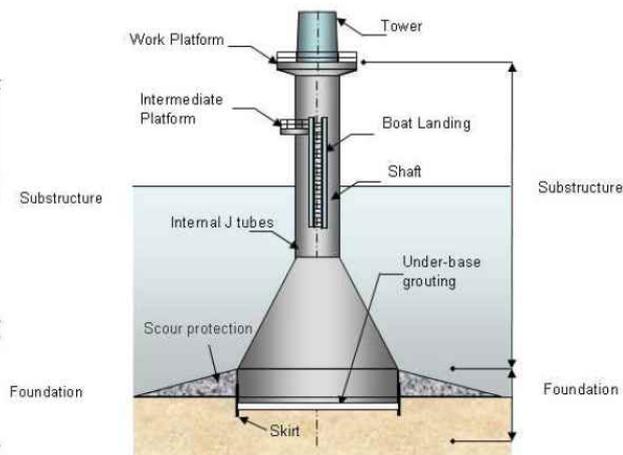
Source: EWEA Wind Energy – The Facts, 2009

Monopile type 기초

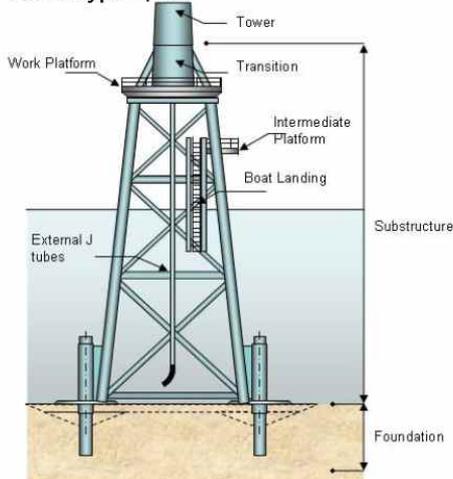


Source: EWEA Wind Energy – The Facts, 2009

Gravity type 기초

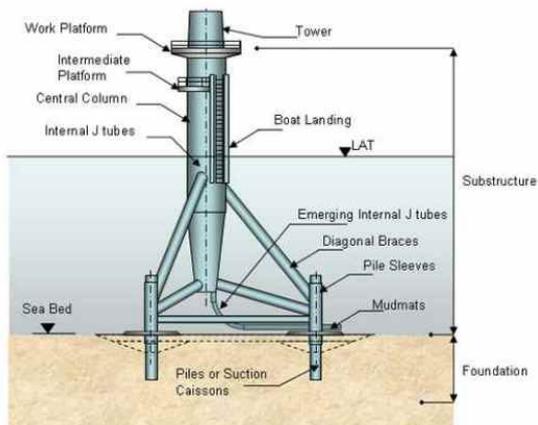


Jacket type 기초



Source: EWEA Wind Energy – The Facts, 2009

Tripod type 기초

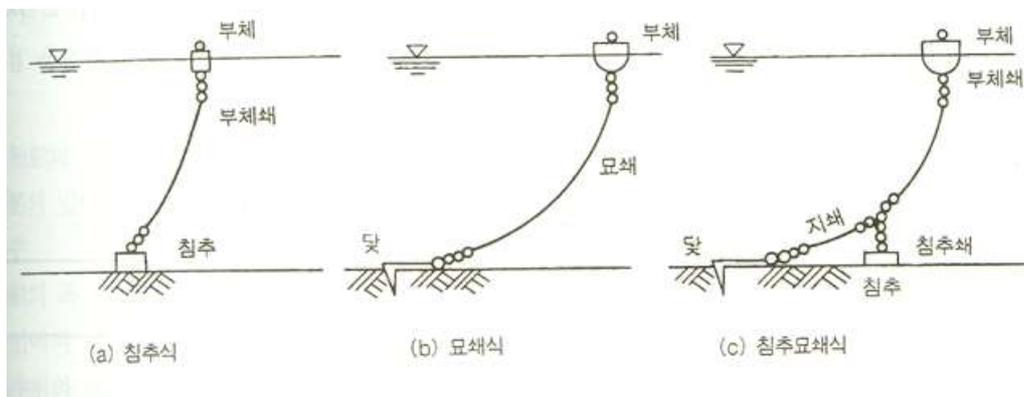


[그림 4-4-25] 고정형 구조물의 해저 기초설계 사례(해상풍력발전의 예).

(라) 부유식(수중/부이) 시스템의 구성

외해에서 사용가능한 부유식(수중/부이) 시스템은 일반적으로 항만구조물중에서 계선부표(Mooring Buoy)의 설계와 유사하며 이의 설계기준에 준하여 설계가 가능하다.

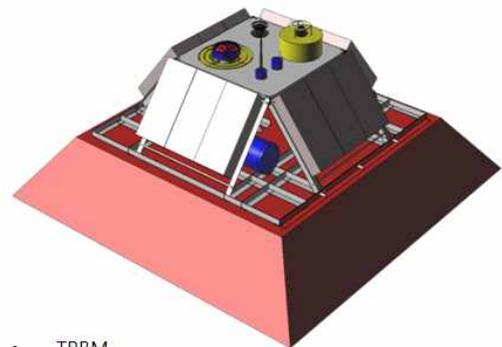
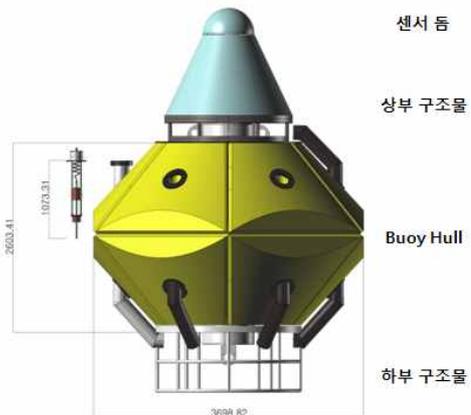
일반적으로 계선부표(Mooring Buoy)는 주로 항만 박지에 있어서 해저에 계류 Anchor된 선박계류용의 부표이고 그 구조는 일반적으로 부체, 계류환, 부체쇄, 침쇄, 계류 Anchor 등으로 이루어져 있다. 계선부표는 석유류하역, 목재하역 또는 거룻배 하역등에 쓰여지는 외에 선박의 계류만을 목적으로 설치되는 것도 많다. 특히, 묘박의 경우에 비하면 보다 좁은 박지면적으로 계류가능하고, 해저가 암반이고 묘박이 불가능한 항에서는 이것을 이용해서 정박한다. 타 계류시설보다 경제적이며, 이설이 용이하다. 안벽계류에 비해 보다 큰 파고하에서 계류가 가능하고, 일반적으로 하역의 기계화가 곤란하고 안벽 하역에 비해 하역작업의 능률이 뒤떨어지는 수가 많다. 하지만 안벽계류에 비해 넓은 박지면적을 필요로 한다.



[그림 4-4-26] 계선부표의 일반 형식.

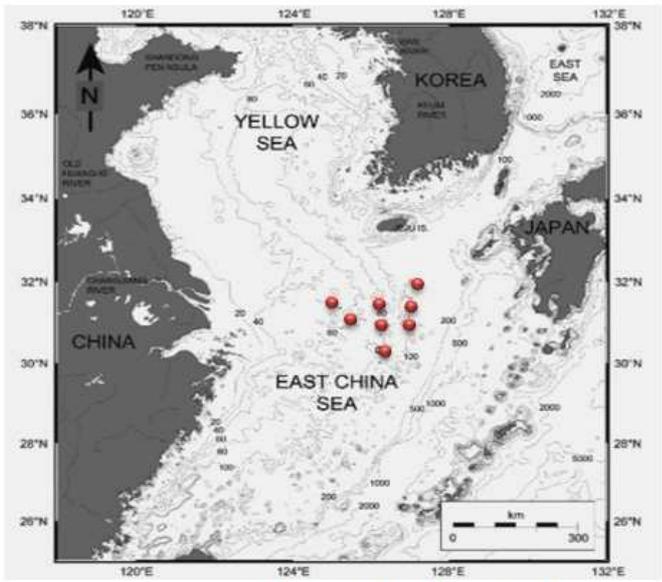
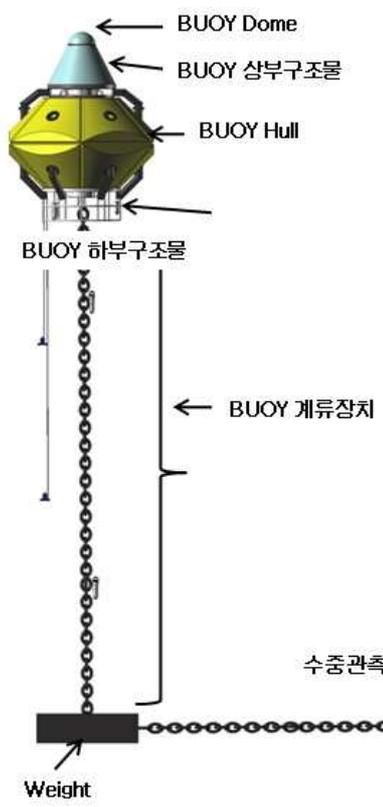
최근 KOGA(Korea Ocean Gate Array) 해역에 관측망을 구축하고, 이를 활용하는 모니터링 및 예측기술 개발이 활발히 진행중에 있다. 이는 국제공동해양순환 연구를 통해 KOGA 해역과 우리나라의 해양 기인 재해간의 상관관계를 조명함으로써 기후 변화 감시 및 재난 관리 대책 수립에 필요한 기초를 제공함에 목적이 있다. 이 해역에 설치되어진 해양관측 부이 시스템을 소개하면 [그림 4-4-27]과 같다. 향후 외해 양식시설 환경모니터링 시스템으로 활용가능한 계류시설로 생각할 수 있다.

아울러 [그림 4-4-28]은 해양환경 관측부이를 이용한 외해 양식시설 환경모니터링 구축 개념도를, [그림 4-4-29]는 수중의 다층 구조 관측을 위한 환경모니터링 구축 개념도를 나타내고 있다.

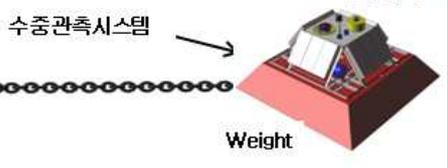


- 부이 H/W
 - 독립적임 부력재의 조립 형태로 구성
 - 밀폐형태의 상부 구조물을 이용 외력에 의한 파손 방지
- 센서
 - 센서별 개별 보호 및 취부 구조물 제작
 - 각종 케이블 보호용 배관 파이프 설치
 - 이중 수밀 처리 이용한 센서 연결

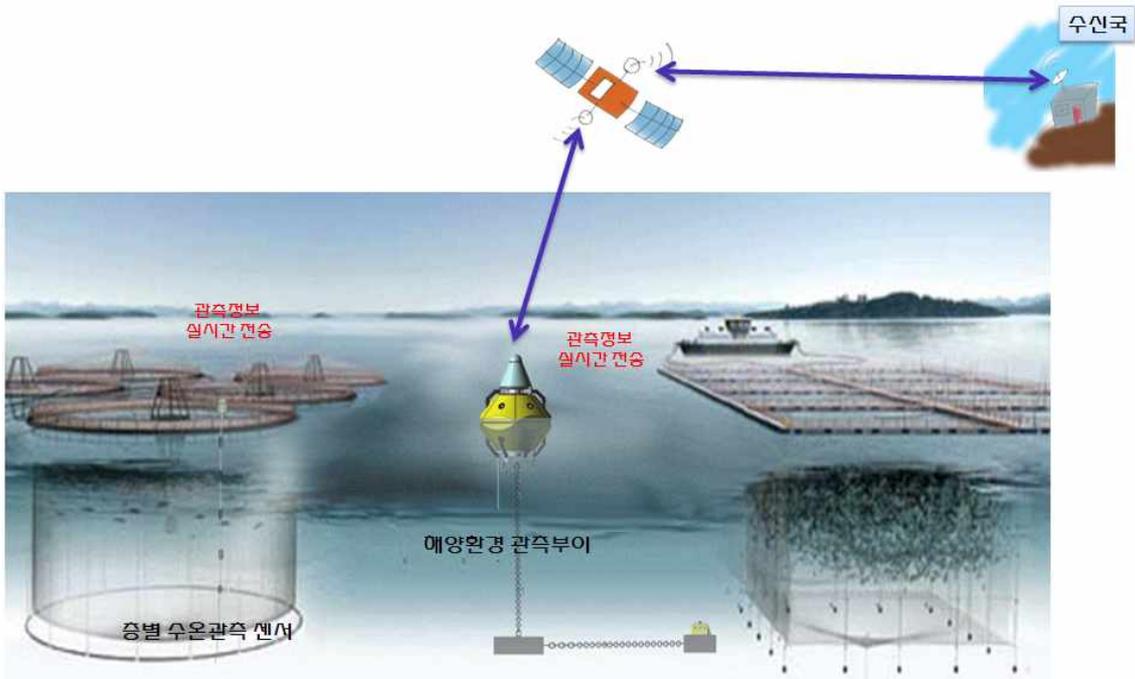
- TRBM
 - 침추와 일체형으로 구축
 - 그물 등의 외력에 저항
 - 부력재를 이용하여 자체 회수 가능
- 센서
 - 수평 유지 장치를 이용한 센서의 자체 자세 보정
 - 이중 회수 장치 설치
 - 음파를 이용한 추적 장치 구축
 - 수중 음향 통신 환경 구축



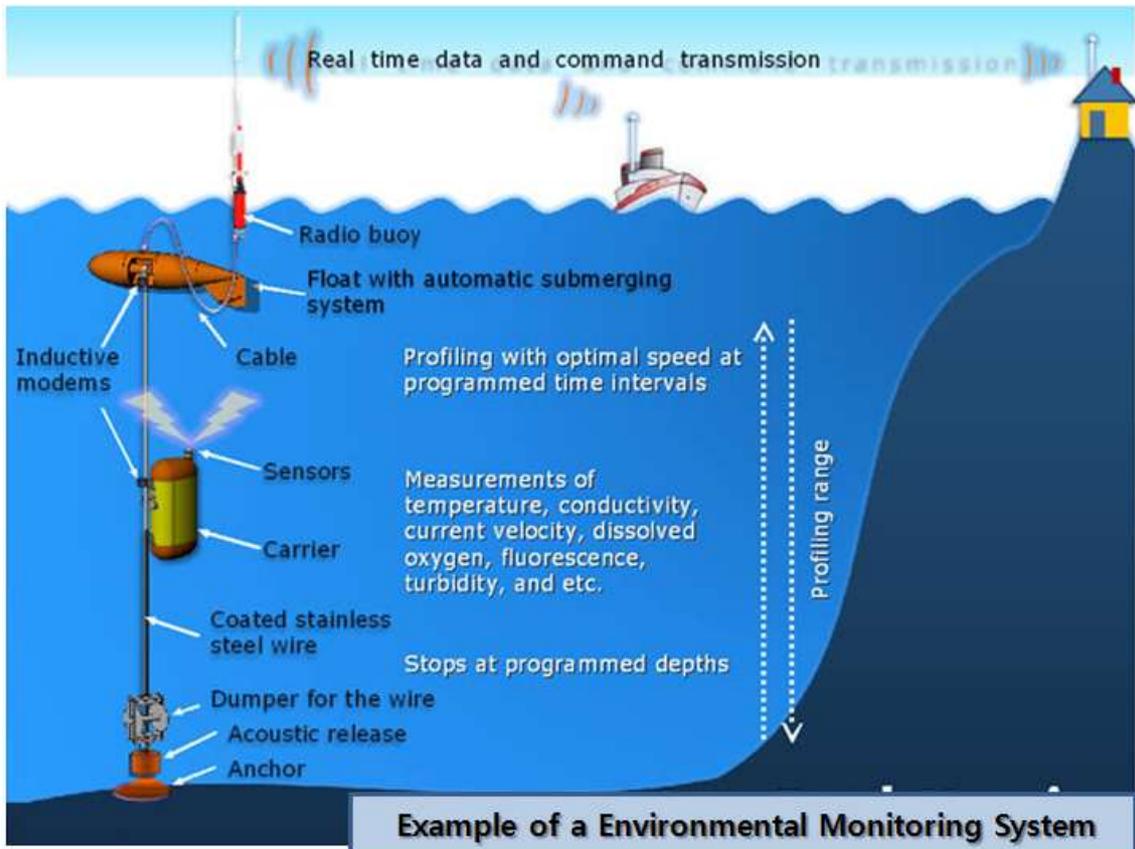
현재 부이관측 시스템 설치 장소



[그림 4-4-27] KOGA 해역에 시설된 해양관측부이 시스템.



[그림 4-4-28] 해양환경 관측부이를 이용한 외해 양식시설 환경모니터링 구축 개념.



[그림 4-4-29] 수중의 다층 구조 관측을 위한 환경모니터링 구축 개념.

3. 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술개발 기반연구/개념설계

가. 해양환경 관측모니터링 시스템 사례조사

(1) 실시간 해양관측 기술 기본 개념

실시간 해양관측시스템은 해양기상관측 요소, 파고 및 조위 관측 요소, 해양환경 관측요소 등을 관측하는 센서, 센서들을 동작을 제어하고 센서에서 출력되는 실시간 자료를 분석 가공하는 데이터로거, 분석 및 가공된 자료를 실시간으로 전송하는 통신 모듈, 광역 이동 통신망을 통해 전송된 자료를 DB화하는 서버 컴퓨터로 구성된다.

또한 본 시스템은 현장시스템의 제어(샘플링 주기, 전송 주기, 시스템 리셋, 서버 컴퓨터 IP주소 설정 등)가 필요할 경우 관리자가 원격으로 현장시스템에 접속하여 제어할 수 있는 양방향 통신이 가능한 시스템이다. 서버컴퓨터로 전송된 자료는 DB구축과 인터넷 서비스는 물론 개인 휴대폰으로 자료 확인이 가능하도록 무선 인터넷 서비스도 제공하게 된다. 시스템의 개념은 다음 [표 4-4-9]와 같다.

[표 4-4-9] 실시간 해양관측시스템의 구축과 기능

구분	기능
관측센서	풍향, 풍속, 온도, 습도, 기압관측, 조위, 파고 관측, 염도, 수온 관측
데이터로거	센서자료의 획득, 저장, 통계적 분석, 서버컴퓨터와의 통신, 현장 시스템의 제어
서버용 컴퓨터	현장자료의 송수신 및 제어, DB구축, 인터넷 및 WAP 서비스 구축

(2) 국내외 해양환경 관측 모니터링

최근 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 90년대 초부터 국가차원의 통합적인 해양 관측망 구축 계획을 수립하여 실행단계에 있고, 이에 따라 실시간 현장모니터링, 원격탐사기술, 해양모델링, 자료동화(Data Assimilation), 해양자료관리 등을 통합하여 해양정보지원시스템을 운영하고 있으며, 사용자에게 실시간으로 필요한 정보를 생산제공하는 체제를 갖추고 있다[29].

최근에는 해양수치모델링 및 원격탐사기술의 발달로 넓은 범위의 해양에 대한 간접적인 정보제공이 가능해 졌고, 해양 선진국에서는 실시간 관측시스템과 수치모델, 원격탐사기술[30], 인터넷 등을 연계 및 종합하여 주요 해양환경요소의 시공간적 변화를 효과적으로 모니터링하고 예보 정보를 수요자에게 제공함으로써 연안개발, 자연재해, 해양환경보전, 해양사업 지원 등에 대한 근본적인 대책을 마련하고 있다[29].

최근 우리나라도 현장에서 무인 작동/지속적으로 실시간 또는 준 실시간으로 관측하는 국가해양관측망 기본계획(실시간 해양관측 계획)을 마련하였다. 실시간 해양관측 시스템이란 실시간해양관측(모니터링), 자료통신(전송) 및 자료관리, 자료분석(수치모델링 포함)의 3개 서브시스템의 통합시스템을 말한다. 통합된 국가실시간 해양관측망 구축을 위한 단계는 다음과 같이 기술할 수 있다.

- (가) 연구사업(Research projects): 관측(플랫폼, 센서, 측정 프로토콜, 자료전송), 자료관리와 통신, 분석(모델과 알고리즘) 기술들의 개발
- (나) 시험사업(Pilot projects): 운용시스템의 잠재적인 요소들 또는 연구개발기술들이 일련의 범주내의 조건들을 통해서 반복적으로 시험됨. 여기서 문제점들을 보완하고, 어떻게 이들이 적용될 수 있을지에 대한 보다 나은 이해를 얻게됨.
- (다) 시험운영사업(Pre-Operational projects): 연구와 운용그룹은 시험사업으로부터의 운영시스템으로 새로운 기술을 적용하고 이 적용이 보다 비용 효율적이거나 기존의 능력을 향상시키도록 협력.
- (라) 정상 운영시스템(Operational system): 사용자 그룹에의해 구분된 형식으로 루틴한(일상의) 그리고 지속적인 자료 생산과 자료 성과품의 생산이 수행됨. 이 단계는 임시운영에서 성공적인 요소들의 합동을 통해서 개선됨.



[그림 4-4-30] 실시간 해양관측망 구축계획.

나. 양식시설 환경 모니터링 기술자료의 수집분석 및 실태조사

(1) 국내 통영 양식시설 환경모니터링 사례

연안일대에서 행하여지고 있는 종래의 양식은 과밀 경향을 띠고 있어 그로 인하여 양식어의 성장률 저하, 어병 발생, 적조 발생 등 양식과 관련된 많은 문제가 야기되고 있고, 이른바 환경 오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있다.

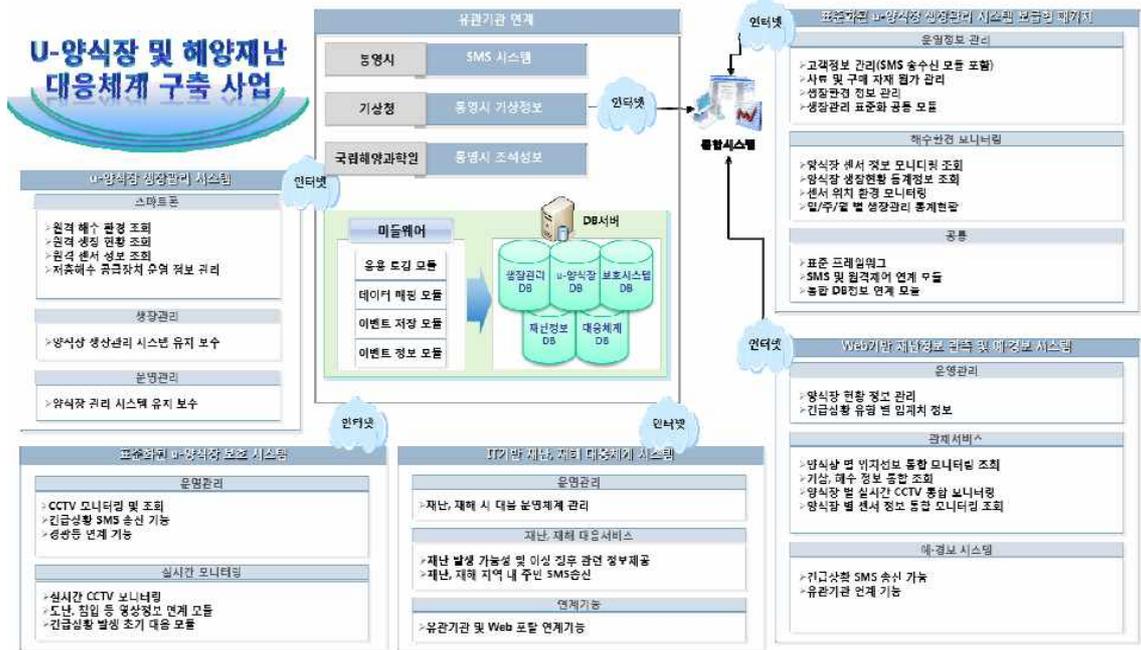
이러한 측면에서 최근 통영 연안일대를 중심으로 활어양식수산업 경쟁력 강화와 적조·도난·어류폐사위기등 위급상황발생시 신속한 대응체계 마련을 위하여 정부시범 지정 과제로 선정 추진한 『u-양식장 및 해양재난 대응체계 구축』 사업이 완료되었다. 이의 주요 사업내용으로는 비록 어류를 대상으로 하나, 최근의 양식시설 환경 모니터링의 추세 및 기술수준을 평가하고 향후 위해 양식시설 추진시 대안을 도출하기 위한 사전 조사로 충분히 평가할 가치가 있다고 판단된다.

상술한 사업의 주요 사업내용을 살펴보면 양식장 내 생장관리프로그램 개발, 보안재용 CCTV 및 각종 센서 등 장비 설치, 스마트폰을 이용한 모니터링 프로그램 개발에 초점을 두고 있다. 아울러 양식장내 해양환경 모니터링을 위해 수질측정(수온·용존산소량)센서 1식, CCTV 4식, 동영상 녹화장비 1식, 생장관리프로그램 운영PC 1식, 침입감지 장비, 경광등, 무선인터넷장비 1식 등을 설치하였다.

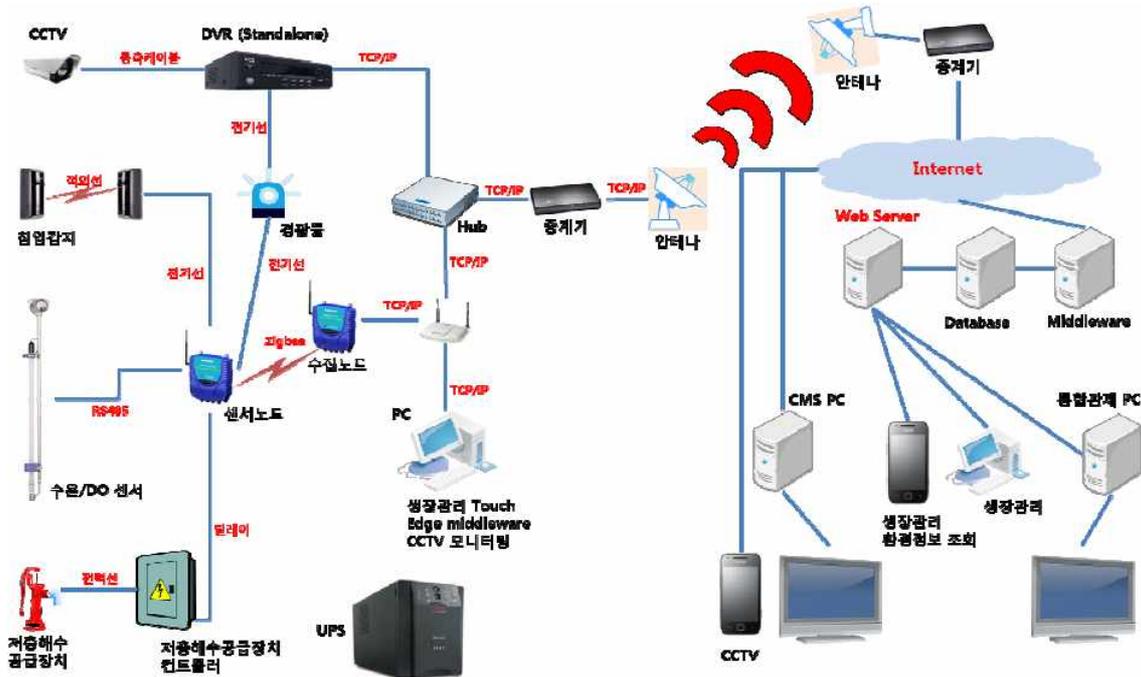
[그림 4-4-31]은 통영 일대 양식시설 환경 모니터링 시스템 구축 개념도를, [그림 4-4-32]는 모니터링 시스템 설치 장면을 나타낸다. 그리고 [표 4-4-10]은 통영 양식시설 실시간 해양관측시스템의 사례에 대한 위해 양식시설로 적용할 경우에 대한 문제점 및 대안을 분석한 결과를 제시한 것이다. 결과적으로 전원공급/장치, 시스템 설치공간, 무선통신 거리, 기상DATA 획득, 계측장비 안전성의 문제를 극복해야할 것으로 판단된다.

(2) 국외 독일 North Sea의 Wind farm-mariculture integration

해조류 재배와 메탄 발효에 의한 에너지 변환의 검토 예로서는 1970년대의 미국에 있어서의 Giant Kelp의 해양농장계획이 유명하다. 이는 생육이 좋은 Giant Kelp를 영양염이 풍부한 심층수를 용승시켜 재배하고 혐기성 발효에 의해 메탄을 얻는 것이다. 시험농장은 남 캘리포니아의 Laguna beach 먼바다 25마일 259km²에 걸쳐 Giant Kelp를 한그루/9m²의 밀도로 해조류 부착구조물에 붙여 심어서 수심 152m에서 용승류를 일으켜 재배하는 방식이다. 하지만 이 Giant Kelp의 해양농장계획에서는 메탄 발효에 관해서는 상당히 실용적인 수준까지 개발이 진행되었으나, 특히 Giant Kelp의 재배, 수확의 비율이 문제가 되어 주로 비용상의 문제 때문에 본격적인 사업화는 실현되지 못하고 있다[31].



(a) 전체 시스템 구성도



(b) 하드웨어 및 네트워크 시스템 구성도

[그림 4-4-31] 통영 일대 양식시설 환경 모니터링 시스템 구축 개념도.



(a) 통영 천일수산



(b) 통영 호림수산

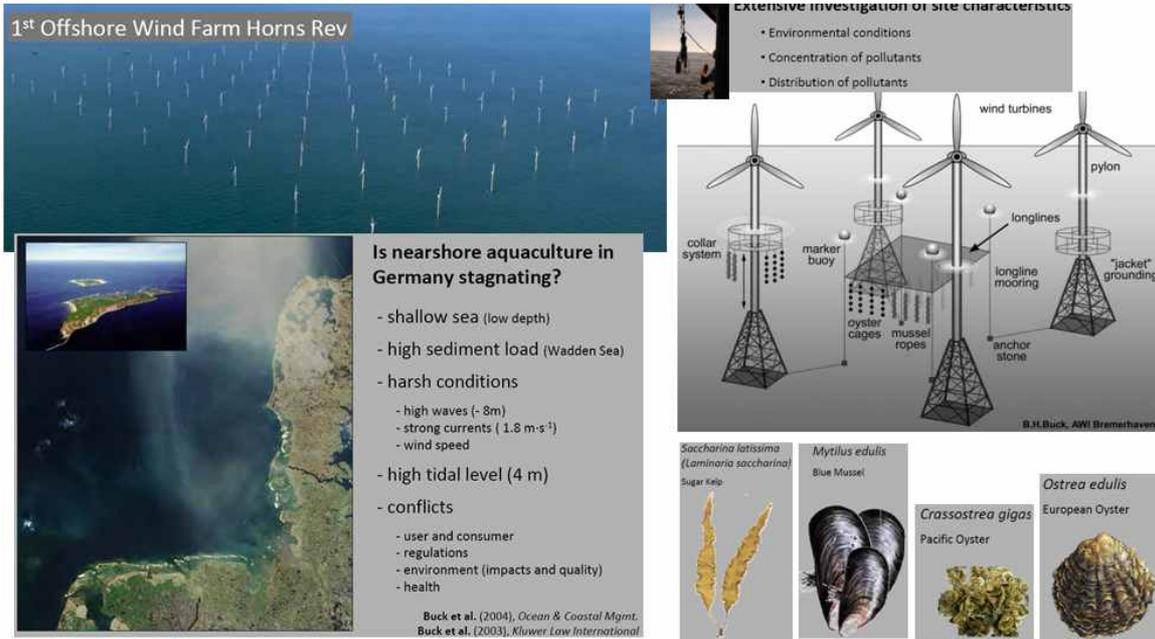
[그림 4-4-32] 통영 일대 양식시설 환경 모니터링 사례.

[표 4-4-10] 통영 양식시설 실시간 해양관측시스템의 사례 분석 결과

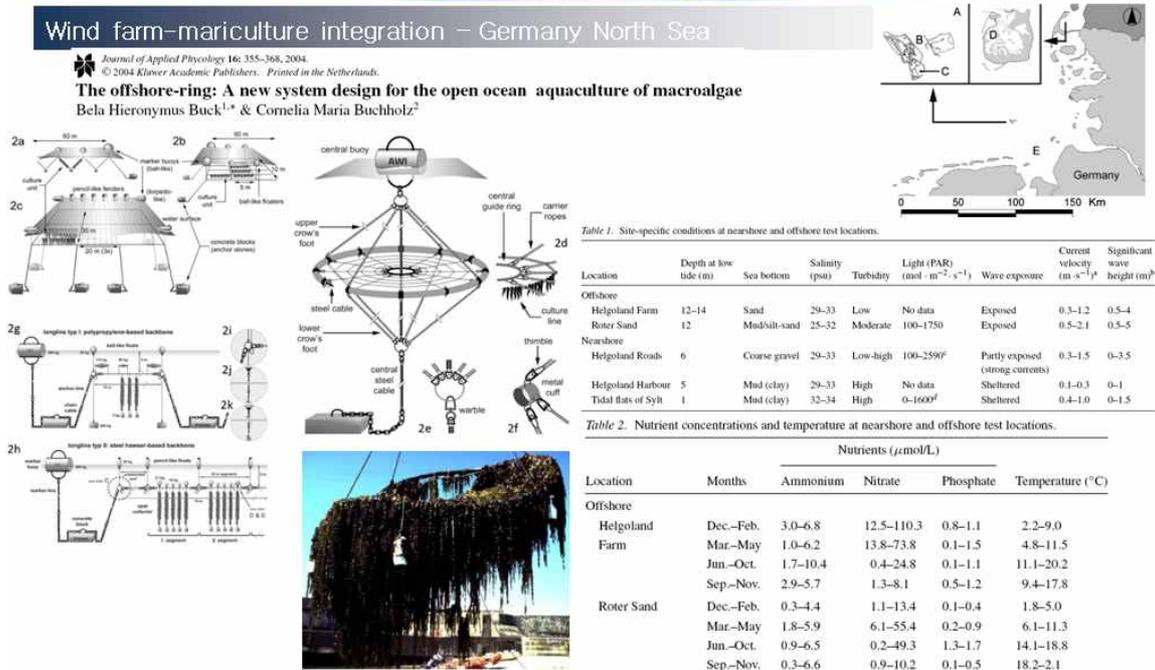
내용	외해 양식시설 적용 한계	외해 양식시설 적용방안
전원공급 장치	<ul style="list-style-type: none"> 연안 어류양식장의 경우 380V의 육상 전원공급 상태 외해 양식시설의 경우 전원공급의 한계점 	<ul style="list-style-type: none"> 양식시설물 전원공급 방식 선정 자체 전원공급 방식일 경우 태양열, 조류력, 풍력 또는 Battery 등 다양한 방식에 대한 검토 요구됨
시스템 설치공간	<ul style="list-style-type: none"> 모니터링 시스템 설치 공간으로 현장 시설 이용 어류양식장의 경우 부표식 양식장 뗏목(떡이창고 또는 작업자 거주 공간)을 이용하여 시스템 공간을 조성함 	<ul style="list-style-type: none"> 모니터링 시스템 설치 공간(현장 시스템 관리실)의 필요 외해 해조류의 경우 시스템 설치공간이 부재하므로 이에 대책 요구됨
무선통신 거리	<ul style="list-style-type: none"> 양식장과 육상간의 무선 통신 현재 설치 장비로는 최대 4km, 최적 2km이내에서 무선 통신이 효과적으로 작동 안테나간 거리가 멀어질 수록 전파 산란에 의해 송수신 효과가 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> 외해 양식장의 무선 통신 시스템 설계 시설 적지 선정에 따라 현재 설치 장비의 적용 여부 판단가능 원거리일 경우 위성을 이용한 통신 시스템 설계가 요구됨
기상 DATA 획득	<ul style="list-style-type: none"> 기상인자획득 장비설치는 기상청의 인가조건에 해당함 기상관측(기온, 풍향풍속, 강우 등) 장비설치 / DATA이용시 기상청의 허가사항 	<ul style="list-style-type: none"> 향후 외해 환경모니터링 인자 선정시 기상인자에 대한 인가조건 검토 요함 기존 기상관측망자료와의 비교에서 신뢰도 확보 요구됨
계측장비 안전	<ul style="list-style-type: none"> 해상 조건상 전자장비의 침수/부식에 따른 대책 사소한 부분이라 할 수 있으나 전체 시스템에 영향을 미칠 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 해상 조건상 전자장비 침수/부식에 따른 대책 방수 및 방식에 대한 대책(노하우)이 요구됨

하지만 최근 해상 풍력 발전시설에 양식 개념을 도입함으로써 다목적으로 해조류를 재배하고 이로부터 다량의 해조류를 생산하기 위한 노력이 경주되고 있다. 세계의 풍력 발전용량은 1998년-2002년의 5개년간에 네 배가 되어 연간 평균 32% 증가하고 있는 세계에서 가장 급성장하고 있는 에너지원이라고 말할 수 있다. 2003년말의 나라별 도입용량에서는 독일이 14,612MW로 1위, 스페인이 6,420MW로 2위이며, 이하 미국(6,361MW), 덴마크(3,076MW), 인디아(2,125MW)의 순이었다. North Sea에서 추진되는 독일의 Wind farm-mariculture integration는 그 좋은 사례라고 할 수 있다.

하지만 현재 개념도입 및 Test단계에 해당하며 소규모 해조류 양식시설을 개발하고 이를 평가하는 수준에 해당한다([그림 4-4-33]).



(a) 해상 풍력발전시설과 의해 양식시설 개념도



(b) 해조류 양식시설 현장 모니터링 결과

[그림 4-4-33] 독일 North Sea의 Wind farm-mariculture integration 모니터링 사례.

다. 외해 양식시설 환경의 무선 통신 시스템

(1) 실시간 해양관측 시스템의 기본 개념

해양관측 시스템은 기본적으로 무선 인터넷을 이용한 실시간 모니터링 시스템으로서 그 과정을 간단히 요약하면 다음과 같다.

실시간 해양관측시스템은 해양기상관측 요소, 파고 및 조위 관측요소, 해양환경관측요소 등을 관측하는 센서, 센서들의 동작을 제어하고 센서에서 출력되는 실시간 자료를 분석, 가공하는 데이터로거, 분석 및 가공된 자료를 실시간으로 전송하는 통신 모듈, 광역이동 통신망을 통해 전송된 자료를 DB화하는 서버 컴퓨터로 구성된다[그림 4-4-34].

또한 본 시스템은 현장시스템의 제어(샘플링 주기, 전송 주기, 시스템 리셋, 서버 컴퓨터 IP주소 설정 등)가 필요한 경우 관리자가 원격으로 현장 시스템에 접속하여 제어할 수 있는 양방향 통신이 가능한 시스템이다. 아울러 서버컴퓨터로 전송된 자료는 DB구축과 인터넷 서비스는 물론 개인 휴대폰으로 자료 확인이 가능하도록 무선 인터넷 서비스도 제공하게 된다.

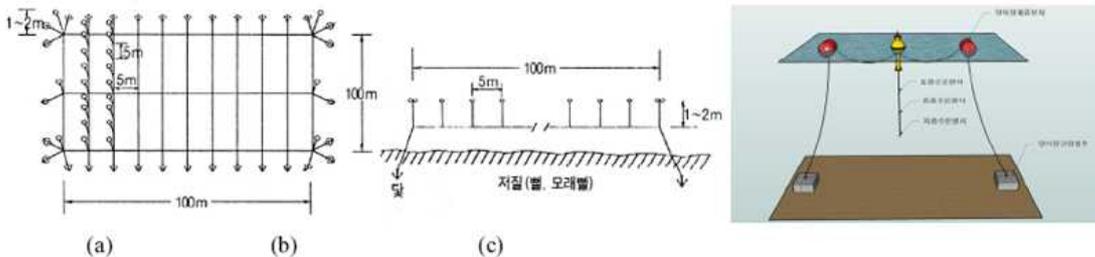


Fig. 2. Schematic diagram of standard long line hanging aquaculture farm from MEHRD, 2002 (a: ground plan, b: side view) and mooring of the system (c).

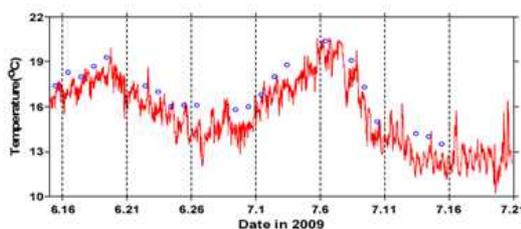


Fig. 4. Time series of seawater temperature off Gijang in Korea obtained by real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm. Open circles indicate seawater temperature off Gijang in Korea obtained by coastal oceanographic observation.

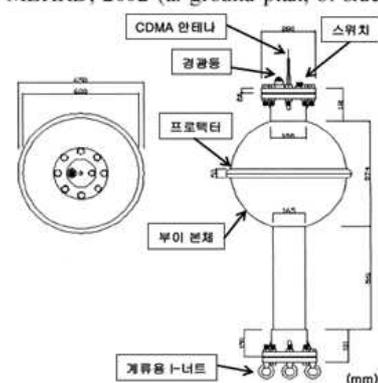


Fig. 1. Baoy structure of real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm.

[그림 4-4-34] 수하식 양식장용 실시간 해양환경 관측시스템 구축 사례.

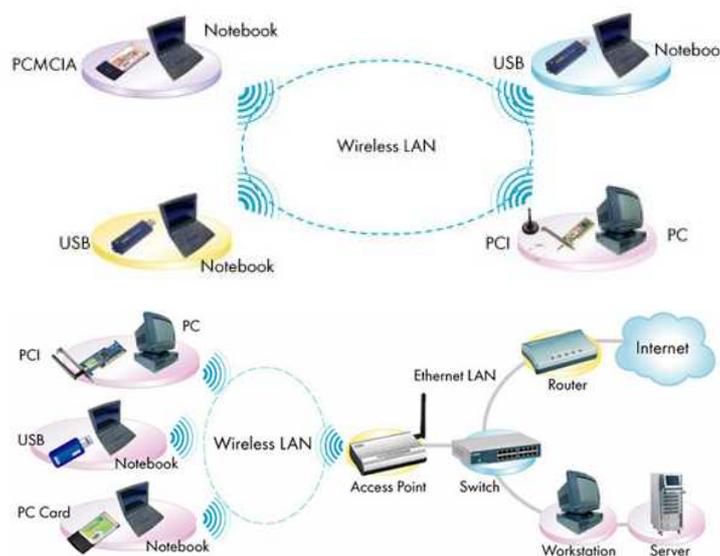
(2) 원거리 해상 전송 시스템

해상 외해 해조류 양식시설 환경모니터링 시스템으로부터 측정되는 각종 환경 데이터 및 영상 데이터 등을 빠르고 정확하게 원거리의 모니터링 컴퓨터로 전송하기 위해서는 무선 통신망 구축이 필수적이다.

최근 국내·외에서 외해 양식장의 필요성이 대두됨에 따라 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이와 더불어 외해 양식장의 원격 모니터링 시스템의 필요성도 크게 대두되고 있다. 현재 국내에서 외해 가두리 양식장 시스템에 대한 연구는 국립수산물과학원을 중심으로 활발하게 진행되고 있으나 원격 모니터링 시스템 부분은 CDMA를 이용하는 위성통신 부분이나 VHF/UHF를 이용한 무선 통신방법이 주를 이루고 있다. 그러나 국외에서는 외해 양식장에 수중카메라 시스템을 도입하고 WLAN 등을 이용한 영상 감시가 가능한 모니터링 시스템 구축을 시도하고 있는 추세이다.

일반적으로 데이터 통신을 할 때는 대부분 데이터 통신 전용망을 이용하는데 이러한 망을 통신망이라고 하며 이는 거리에 따른 망의 분류로는 근거리 통신망(LAN), 도시권 통신망(중거리 통신망, MAN), 원거리 통신망(WAN)으로 구분된다.

무선 LAN (Wireless LAN)이란, 케이블 대신 전파(RF)나, 빛(적외선) 등을 이용하는 네트워크 구축방식으로 Hub에서 Client까지 케이블의 연결 없이 무선으로 LAN 환경을 구현하는 것을 일컫는다[그림 4-4-35]. 이러한 무선 LAN은 LAN 설치 및 네트워크 구축이 용이하며, 케이블 배선이 필요 없고, 추가 단말기 설치가 간편하며, 특정 어플리케이션의 요구에 쉽게 부응할 수 있으며, 유선 네트워크와의 통합성이 우수하며, 장기적으로 유지 보수가 비교적 편한 장점을 가지나, 유선 LAN에 비하여 속도가 느리고 한정된 주파수만을 지원하는 단점을 가지고 있기도 하다.



[그림 4-4-35] 무선 LAN(Wireless LAN) 시스템의 일반적인 사용례.

현재 주로 사용되는 무선 LAN 전송 전파기술은 RF방식으로 크게 확산 대역 방식과 협대역 마이크로웨이브 방식으로 나눌 수 있으나, 도달거리, 성능, 보안성을 고려하여 ISM band를 이용하는 확산 대역 방식의 무선 LAN이 가장 보편화 되어 있다.

광역통신망이라고도 불리는 원거리 통신망(WAN, Wide Area Networks)은 근거리 통신망(LAN) 또는 중거리 통신망(MAN)을 다시 하나로 묶는 거대한 네트워크로서, 하나의 도시, 나라, 대륙과 같이 매우 넓은 지역에 설치된 컴퓨터들 간에 정보와 자원을 공유하기에 적합하도록 설계한 컴퓨터 통신망이다.

그러나, 현재 해상 통신에서 주로 사용되고 있는 VHF, UHF 등의 단파 통신이나 CDMA, Inmarsat 등의 사용에는 나름대로 장단점이 있음을 알 수 있다. 단파 통신의 경우 근거리 통신 시스템으로 외해의 특성을 고려하면 한계가 따른다. 또한 CDMA과 같은 경우에는 고비용의 사용료를 지불하는 통신 방법을 사용함에 경제성에서 다소 떨어지는 단점이 있다. 본 과제의 특성을 고려하여 보다 안정적이며, 보다 경제적인 데이터 통신망의 선정이 요구된다고 할 것이다.

최근 차세대 네트워킹을 주도하고 있는 무선 LAN은 사용자들에게 높은 이동성과 편의성, 구축 용이성, 확장성을 제공함으로써 기존 LAN의 보완 및 대체를 통한 효율성 및 생산성 제고 측면에서도 널리 사용되고 있다. 이러한 추세를 반영하고자 최신 기술을 해양환경에 접목하여 보다 성공적인 연구과제가 수행될 수 있도록 하고자 한다.

(3) 무선 LAN 기술

무선 LAN은 협대역(Narrowband) 마이크로웨이브, 적외선(Infrared), 그리고 확산 대역(Spread Spectrum)을 기반으로 한 기술을 사용한다. 확산 대역과 협대역 무선 LAN은 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역을 사용하며, 적외선 LAN은 가시광선 바로 아래의 주파수 대역을 사용한다. 신호를 확산하는 확산 대역 방식을 사용할 경우 많은 주파수 대역을 사용하게 되어 그 효율은 떨어지지만 안정성과 신뢰성을 유지할 수 있기 때문에 현재 많은 상용화 제품이 확산 대역 전송 기술을 사용한다.

(가) 협대역 마이크로웨이브 방식

마이크로웨이브 주파수 대역은 스펙트럼 상에서 라디오파와 적외선의 중간에 위치하고 있다. 일반적으로 고수파를 사용하면 저주파보다 넓은 대역폭을 쓸 수 있으므로 이더넷(Ethernet)의 데이터 전송율(10Mbps) 정도의 성능을 지니는 LAN을 구현할 수 있다. 18 GHz나 19 GHz 주위의 주파수를 사용하는 마이크로웨이브 LAN은 미국의 FCC(연방 통신 위원회)나 영국의 DTI(영국 통산성)가 요구하는 가장 높은 주파수 대역에서 동작한다. 대부분의 경우 마이크로웨이브는 전자기적 스펙트럼 상에서 높은 주파수를 사용하기

때문에 직진성 기반의 기술이다. 그럼에도 불구하고 이 대역을 사용하는 전자기적 장비가 거의 없어서 간섭이 없다는 장점이 있다. 무선 채널에서 제공되는 물리적 연결성이 간헐적이라는 점이 무선 매체의 가장 두드러진 특징이다. 그 반면에 유선 매체는 연속적인 물리적 연결성을 유지해 준다. 마이크로웨이브 주파수대에서는 사무실 또는 공장에서 움직이는 사람이나 장비에 의한 신호의 블로킹이 간헐성의 주요 원인이다.

(나) 적외선 방식

적외선 파장은 8300 Å(angstrom) 정도로서 가시광선 파장과 비슷하며 특성도 거의 비슷하다. 즉, 적외선은 장애물을 만나면 신호가 완전히 약해져 버리는 직진성을 가지며, 주파수가 낮은 전파보다 더 잘 반사되는 성질을 갖는다. 이러한 특성은 단점이 될 수도 있는 반면에, 전자기적 간섭에 강하며, 반사 특성으로 말미암아 적외선이 딱딱한 표면에 반사될 수 있는 개방된 사무실 환경이나 바다 표면의 반사 특성이 강한 해상에서는 통신망 상의 모든 스테이션에 신호가 쉽게 도달할 수 있으므로 장점이 될 수도 있다.

신호를 적외선으로 전송하는 데는 두 가지 방식이 있는데, 레이저를 사용하는 것과 LED를 사용하는 것이 있다. 레이저를 사용하는 경우는 적외선을 매우 밀집된 빔으로 전송하며 변조가 용이하다. 레이저 적외선은 10 mile까지 도달할 수 있어서 실외에서의 응용에 적합하다. LED는 레이저보다 강도가 약하지만 시스템을 구현하기가 비교적 쉽고 경제적이다. 비록 도달 범위는 짧지만, 무선 LAN 같은 실내의 응용에는 이상적이다. 적외선을 전송하기 위해서 사용되는 매체는 자유 공간이기 때문에 대기의 환경이 신호에 영향을 준다. 이 문제는 실외의 개방된 대기에서는 예민하지만 LAN과 같이 실내에서는 중요하지 않다. 햇빛에 직접적인 노출은 전송단에 영향을 줄 수 있으므로 전송단이 남쪽의 창문을 향하지 않도록 한다. 레이저 적외선 LAN은 직진성을 요구하기 때문에 개방된 사무실 환경이나 광학적으로 투명한 유리로 구분된 환경에서 효과적일 수 있다. 이제까지 이 방식은 전자기 간섭이 적고, 인가가 필요 없으며, 속도가 빠르다는 장점에도 불구하고 신호가 물체를 통과할 수 없어 제한된 범위에서만 동작된다는 단점으로 말미암아 인기를 별로 끌지 못하였다.

(다) 확산 대역 방식

확산 대역 기술은 1940년대부터 연구가 시작되었으며, 장거리 데이터 통신에 관련된 다중경로 문제를 해결하기 위해 제안된 이래로 강력한 비화성과 간섭, 방해에 강하다는 특징 때문에 군용으로 널리 이용되고 있다. 1960년대 이후에는 비동기로 다중 접속이 가능하다는 점에서 위성간의 통신 방식에도 이용되고 있으며, 무선 LAN 및 이동통신 등에서도 사용되고 있다.

확산 대역 방식은 자연적으로 생기는 잡음이나 고의적인 전파 방해 같은 간섭에 강하다. 하지만 이 의미는 단지 탐지당할 확률이 적다는 것이며, 안전한 데이터 전송 환경을 완벽히 보장하지는 못한다. 만일 확산 대역을 사용해도 신호가 탐지된다면, 암호화 기법을 사용하여 데이터를 안전하게 전송할 수 있다.

이와 같은 장점으로 인하여 1985년 FCC에서 ISM 대역으로 허가 받지 않고 사용할 수 있는 확산 대역 방식을 인가함으로써 무선 LAN 시스템에 본격적으로 적용되게 되었다. 인가가 필요 없는 ISM 밴드 대역 안에서 2.4 GHz 주파수대는 여러 제조업체들에게 유용하게 사용되고 있다. 이 주파수대는 무선 LAN에 있어서 편리하고 빠른 속도를 보장할 수 있는 가치 혁신적인 기회를 제공하고 있다. 특히 우리나라에서는 902 MHz대가 이동통신 영역으로 사용되고 있기 때문에 2.4 GHz대의 사용은 필연적이다.

확산 대역 방식은 전송하고자 하는 정보를 필요한 대역폭에 비해 훨씬 넓은 대역폭으로 신호를 송신하고, 수신측에서는 원래의 정보 대역폭으로 수신된 신호를 복원하는 방식으로, 이 협대역 신호와 광대역 신호간의 변/복조가 이 방식의 핵심 기술이다. 확산 대역 방식의 특징은 다음과 같다. ㉠ 사용자를 적절히 할당하여 스펙트럼을 공유함으로써 다중 접속이 가능하다. ㉡ 원래의 정보 대역폭에 비해 넓은 대역폭 사용한다. ㉢ 전력 스펙트럼 밀도가 낮기 때문에 신호 은닉이 가능하여 보안성을 높여준다. ㉣ 다른 사용자의 고의적인 전파 간섭에 대해 강하다. ㉤ 다중 경로 효과로 인하여 지연된 신호에 대한 자체 방어가 가능하다.

확산 대역 기술은 직접 시퀀스 확산 대역(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 방식과 주파수 도약 확산 대역(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) 방식으로 분류할 수 있다. DSSS 방식은 데이터 대역폭보다 훨씬 넓은 대역폭으로 원래의 신호를 변조하여 확산시킨다. FHSS 방식에서 데이터는 프로그램된 순서나 랜덤한 시퀀스에 의해서한 주파수에서 다른 주파수로 이동하며, 수신단에서는 주파수가 이동하는 상황을 파악하고 있어야 한다. 이 기술은 상당히 안전하지만 수신단과 송신단이 정확히 동기가 맞아햐하므로 구성하기가 복잡하여 가격이 좀 더 비싸진다. 하지만 이 방식은 DSSS 방식보다 간섭 현상에 대해 강하다는 장점을 지니고 있다.

(라) DSSS와 FHSS 방식의 비교

DSSS와 FHSS 방식은 기술적으로 상호 보완적인 장단점을 가지고 있다. 그러므로 두 방식의 장단점을 열거해 보는 것이 DSSS 방식과 FHSS 방식을 비교하는 가장 좋은 잣대가 될 것이다. FHSS 방식은 무선 LAN 구현에 핵심적인 기능 및 속성의 측면에서 DSSS 방식에 비하여 다음의 여러 가지 우수한 성능을 보이고 있다. ㉠ 외부로부터의 방해에 대한 저항력 ㉡ 다중경로(multipath) 간섭현상에 대한 저항력 ㉢ 전체적인 망 성능 - 이론

적으로는 DSSS 방식보다 3배 이상 뛰어나다. ㉞ 통신망 확장성(Scalability) 및 이동성(Mobility) - 여러 개의 AP(Access Point)를 설치하여도 로밍(Roaming) 능력과 동기화 능력이 뛰어나서 망구조를 쉽고 간편하게 변경시킬 수 있다. ㉟ 성능의 지속성 - 대규모 통신망 상이라도 성능의 저하와 간섭 현상이 발생하지 않는다. ㊱ 보안 - DSSS에 비해 상대적으로 보안성이 뛰어나다.

[표 4-4-11] 무선 LAN 기술의 비교

기술	확산 대역	협대역 마이크로웨이브	적외선
방법	스테이션들은 데이터 신호를 확산 대역변조를 하여 넓은 주파수 대역을 전송한다.	스테이션들은 데이터 신호를 여러 특정 주파수 중 하나의 좁은 주파수 대역으로 전송한다.	스테이션들은 데이터 신호를 적외선 빔으로 전송한다.
장점	보안성이 강함. 사물투과 가능.	사물 투과 가능. 동일지역서 복수 LAN 공존 가능.	속도가 가장 빠름. 신호간섭 문제없음. 복수 LAN 동일 지역서 공존 가능.
단점	속도가 다소 느림.	잡음과 간섭에 의해 주파수 이용 효율이 낮다.	전달 범위가 작다. 사물 투과성이 없음.

[표 4-4-12] DSSS와 FHSS 방식의 비교

방식	장점	단점
DSSS	<ul style="list-style-type: none"> · 우수한 잡음과 잼 방지 성능을 가지고 있다. · 가로채기가 어렵다. · 다중경로(Multipath: 신호가 여러 경로로 분산되어 도달하는 효과) 교과가 강력하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 상대적으로 작은 위상 왜곡과 함께 큰 대역폭 채널을 필요로 한다. · 긴 PN(Pseudo Noise) 코드 때문에 오랜 포착시간(Acquisition Time)을 필요로 한다. · Near-to-far problem이란 여러 송신기 중에서 수신기에 보다 가까운 송신기의 과도한 전력이 신호를 파괴하는 효과를 일컫는다.
FHSS	<ul style="list-style-type: none"> · 방대한 양의 확산을 제공한다. · 스펙트럼의 분할을 피하기 위한 조정이 가능하다. (예를 들어, 다른 시스템에 넘기거나, 주파수 선택성 페이딩의 적용을 받을 수 있다) · Chip rate가 현저하게 적기 때문에 상대적으로 짧은 포착 시간을 요구한다. · DSSS가 가지고 있는 Near-to-far problem에 영향을 받지 않는다. 	<ul style="list-style-type: none"> · Hop을 생성하기 위한 복잡한 주파수 합성기가 필요하다. · 에러 보정이 필요하다.

그러나 여러 기술적인 방면의 우수성을 떠나서 2.4 GHz대의 802.11b 무선랜에서는 쉽게 통신거리를 연장할 수 있는 DSSS가 주로 사용되었었다. IEEE에서 802.11이 처음 발표되고 출시한 제품들은 2Mbps의 전송속도를 가지고 있었으며 모듈레이션의 방식은 DSSS와 FHSS로 두 가지의 시그널 방식이 있었으나 현재 11Mbps의 802.11b는 모든 제조업체에서 DSSS방식을 지원한다. FHSS는 DSSS와 같은 전송속도일 때 전송거리가 짧아 경쟁력이 떨어지기 때문이다. 사용자들은 기술의 우수성을 가리기보다 사용자 입장에서 사용거리와 속도에 민감했기 때문이다. 그러나 블루투스에서는 FHSS를 채택하고 있어 나름대로 신호의 장점을 살리고 있다.

라. 원시 데이터의 영상처리 시스템

외해 양식시설 환경데이터 중에서 해상 및 수중 감시 시스템을 구성하기 위해서는 기본적으로 수중 카메라와 수중 카메라의 영상을 육상의 관리소로 전송하여 저장하는 시스템으로서 네트워크 비디오 서버(Network Video Server : NVS)이 확보되어야 한다. 이를 위한 구성 시스템을 다음과 같이 살펴보았다.

아날로그 CCTV는 1990년대 IT기술의 발전과 함께 아날로그 카메라로부터 입력된 영상을 캡처보드에서 디지털 이미지로 변환하여 HDD(Hard Disk Driver)와 같은 저장매체에 저장하는 장치인 DVR(Digital Video Record)로 발전하였다.

인터넷 환경과 네트워크의 발전으로 실시간의 영상을 원격지에서 보고자 하는 수요의 확대로 기존의 아날로그 CCTV시스템과 DVR시스템의 저장위주의 시스템은 네트워크화에 대응하기에 어려움이 있는 것이 사실이다. 이것이 네트워크 비디오 서버의 탄생 배경이라고 할 수 있다.

언제, 어디서나 인터넷환경에서 웹 브라우저만으로 별도의 소프트웨어 없이 설치된 장소의 실시간 모습을 지속적으로 보여 주는 장치를 네트워크 비디오 서버라고 한다. 구조적으로 살펴보면 다수의 네트워크 비디오 서버는 유무선 TCP/IP 네트워크나 ADSL모뎀에 직접 연결하여 사용할 수 있도록 LAN 포트를 기본으로 지원하고 아날로그 입/출력 단자가 지원되며, 별도의 음송과 Pan/Tilt/Zoom Connector와 Alarm Sensor 있는 장치로 구성되어 인트라넷이나 인터넷을 통해 경제적인 비용으로 영상자료를 이용할 수 있도록 지원한다.

또한, 네트워크 비디오서버는 여러 종류의 카메라와 DVD, 오디오 등 멀티미디어 장비와 계측기 및 제어장비와 결합하여 다양한 서비스를 제공해 줄 수 있는 장점을 가지고 있어 현재 이와 관련업체에서 개발이 활발히 진행 중이다. 기존의 아날로그 CCTV에서의 DVR로 발전하였으나 네트워크 비디오 서버는 디지털화와 IP 기반의 유무선 통신을 이용하여 더욱 확장성 및 포괄성 측면에서 유연하게 발전되고 있다.

마. 외해 양식시설 실시간 감시 시스템 구축 방안

최근 국내·외에서 외해 양식장의 필요성이 대두됨에 따라 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이와 더불어 외해 양식장의 원격 모니터링 시스템의 필요성도 크게 대두되고 있다. 앞서 통영 양식장의 사례에서 살펴보았듯이 일반 환경 데이터 모니터링뿐만 아니라 영상 감시 시스템을 함께 연동할 수 있는 모니터링 체계를 구축하기 위한 방법에 대하여 조사, 해상 설치 등의 예비 실험의 수행이 요구된다고 할 것이다.

영상 감시 시스템을 무선으로 전송하기 위해서는 많은 양의 데이터를 빠르게 전송할 수 있어야 하고, 실제 외해 양식장에 적용하여 유지·관리가 용이하여야 한다. 그러나 육상용으로 연구, 개발되어 사용 중인 대부분의 무선 영상 감시 시스템은 시스템 구성 단가가 높고, 해상에서의 통신이 검증되지 않았으므로, 이를 보완하기 위한 연구가 필요하다.

(가) 육상 및 해상 감시시스템 비교

어장이 있는 해상은 육상과는 달리 감시시스템을 설치하는 데 많은 제약이 따른다. [표 4-4-13]은 육상과 해상의 원격 감시 시스템을 구성하는데 나타날 수 있는 일반적인 특징들을 나타내고 있다.

[표 4-4-13]에서 지적된 것처럼 해상에서 침입자 원격감시시스템을 구성하는 데에는 많은 제약조건이 따른다. 해상에 떠있는 양식어장의 상황을 레이더로 탐지하고, 탐지된 레이더 정보를 제차 원격감시 센터에 전송하여야 한다는 점에서 이용가능한 통신망의 제한이 따르고 고비용이 든다는 점이 있다.

(나) 기 제안된 레이더 감시시스템

최근 양식시설 감시 시스템 구축으로 레이더 감시 시스템에 대한 연구가 타 연구자에 의해 제안되었다. 본 연구는 이를 소개하고자 한다.

이는 복수개의 고급어패류 양식어장으로 구성되는 공동어장에 적용할 수 있는 레이더 감시시스템의 구성을 목표로 하고 있다. 전체시스템은 양식어장 탐지모듈, 레이더 탐지 및 신호처리부, 원격감시/경보/방어모듈로 구성된다. 공동어장을 입출입하는 작업선 또는 미확인 물표의 신원에 관한 정적상황(소유주, 선종, 선박고유번호 등)과 움직임에 관한 동적정보(거리, 방위)가 레이더 화면상에 표시된다. 레이더 영상의 동기, 방위 및 영상 신호는 PC에서 처리 가능한 프로토콜로 변환을 통하여 원격지 PC 화면상에 표시 된다. PC 화면상에는 물표의 추적관리를 통하여 도적선 또는 작업선 여부를 확인한 후 도적선일 경우에는 자동경보와 동시에 유무선 인터넷에 의한 단문메시지를 통하여 해양경찰서, 어업지도선 및 경비업체에 연락하고 필요시에는 해군과 협동하여 방어할 수 있도록 구축

되어 있다.

어장작업선의 판별은 어장출입 작업선에서 가지고 있는 핸드폰으로부터 가입자 식별정보 및 위치정보가 이동통신망에 전송되어 PC에 수신되어 물표식별에 이용한다. 또한 PC상에서 추적되는 모든 물표들의 식별정보 및 위치정보는 일정시간 간격으로 데이터 베이스에 저장되고, 조회검색이 자유롭게 이루어진다.

제안한 시스템을 구성하기 위하여 레이더 탐지능력 강화기술, 레이더 신호전송 기술, 영상신호처리 기술, 통신망구성 기술, 사용자 인터페이스 환경 구현을 위한 소프트웨어 기술 등이 포함된다. 다음은 시스템의 성공적인 개발을 위하여 요구되는 세부기술들을 정의하고 주요내용을 정리하였다([표 4-4-14]).

제안한 시스템에서 사용하고자 하는 레이더는 X-Band(8GHz~12.5GHz) 레이더로서, 9.3GHz~9.5GHz사이의 주파수대는 국제전파규칙(RR : Radio Regulations) 및 대한민국 주파수 분배표에서 해상무선항행 및 무선표정 업무용(무선항행 이외의 무선표지 업무)(정보통신부)로 규정되어 있으며, 국내에서 실험국용, 무선표지설비 및 해상교통관제용으로 그 용도가 지정되어 있다(정보통신부). 또한 전파지정기준에 따라 정보통신부 고시 주파-93341-263(1995. 5. 23), 주파-93341-380(1995. 7. 21)에서 선반용 레이더로 명시하고 있다. 이러한 전파지정기준은 전파법(2000. 12. 29) 제21조 제2항 제1호에 따라 전파자원을 효율적으로 이용하기 위하여 무선국 허가시 주파수 지정 등에 관한 필요사항을 규정한 것이다(전파법, 2000). 양식어장 감시용으로 임의의 주파수대를 사용하고자 할 때에는 대한민국 주파수 분배표 및 전파지정기준상에 그 용도를 지정받아야 할 것이다.

[표 4-4-13] 육상 및 해상 감시시스템 비교

구분	특징
육상	<ul style="list-style-type: none"> · 이용할 수 있는 유무선 통신 인프라 설비가 많다. · 전원공급은 비교적 쉽게 이루어 질 수 있다. · 경찰청, 군부대 및 경비업체에 지원이 신속하게 이루어 질 수 있다. · 유무선 모두 이용가능하고 백업망을 구축하기 쉽다. · 해상에 비교하여 투자비가 적다.
해상	<ul style="list-style-type: none"> · 이용할 수 있는 통신망 인프라 설비에 제한을 받는다. · 백업망을 구성하기가 어렵다. · 해상에 설치되는 통신설비는 해수에 견딜 수 있도록 방부식성과 내구력이 뛰어나야 한다. · 전원공급이 육상보다 어렵다. · 주로 무선에 의존하여야 하고, 해상기상 상태는 전파환경에 커다란 영향을 준다. 게다가 해상의 기상변화는 육상의 기상변화보다 심하다. · 해상에서 움직이는 물표를 식별하기 위하여 레이더를 이용할 필요가 있다. · 수중감시 또는 야간감시를 위하여서는 고성능 감시 카메라를 이용할 필요가 있다. · 초기 투자비가 비싸다. · 도서지역이나 외지의 어촌의 경우 해상절도에 대응하기 위한 유관기관의 지원에 많은 시간이 소요될 수 있다.

[표 4-4-14] 레이더 감시시스템의 세부 소요 기술

대분류	소분류
레이더 탐지 능력강화 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장내 수동형 반사기의 설치를 통한 어장탐지능력의 중대방안 구현 ○ 근거리 물표 탐지능력 강화 기술 - 측엽(Sidelobe) 억제를 위한 전파흡수체 부가기법 - 최적 빔형성 알고리즘의 개발
레이더 신호 전송 및 변환기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 레이더 신호의 저노송 및 영상변환 장치 구현 - 동기신호, 영상신호, 방위각 신호의 디지털 변환을 통한 레이더 영상변환
영상신호 처리 및 사용자 인터페이스 환경(GUI) 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변환된 레이더 영상정보의 처리 - 물표추적 ○ 물표식별 정보 및 위치정보의 저장 ○ GUI 환경의 구현 - 레이더 화면의 주요기능 재현 - 물표식별 정보 (사용자 인식) - 어장상황 - 경보신호의 자동발생 - 단문메시지의 발생 등 외부 자동연락 상황 - ECDIS화면상의 매핑
원격감시 통신망 구성기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 통신망의 종류 결정, 통신망의 구성도 작성 ○ 통신망의 최소 전송속도, 최대 지연시간 결정 ○ 백업망 구축 방안 마련

[표 4-4-15] 양식시설의 가격/성능을 고려한 실시간 감시 기술 개발 사례

종류	기능	핵심 구성 장치
A	- 저가, 소형, 아군 어선들 동태만 감시-> 식별->경보	- 900MHz F-AIS : 아군 선박식별 - 전자해도 모듈 : 아군만 전자해도에 표시
B	- 중저가, 물체 감시->추적->식별->경보-> 대응 - 기존 레이더 활용, 전자해도 상황표시 및 해경과 공조	- 900MHz F-AIS / 일반 어선용 Radar : 물체 탐지 - RSC : 레이더 영상을 전자해도에 오버래핑 - 전자해도 모듈
C	- ARPA/Radar 모니터에 추적결과 표시 - 단순하면서 정밀 추적 가능	- 900MHz F-AIS - APAR/Radar : 모든 물체 탐지 및 추적
D	- ARPA/Radar 정보 -> 전자해도 전송 - Full Mission	- 900MHz F-AIS - 전자해도 모듈
S	- 해경, 해군, 해수부 등에서 어장의 종합 상황 시스템을 구성하는 경우 적용 - 네트워크를 통한 시스템	- 어장에 설치된 모든 장치로부터 정보 입수 - AIS Emulator : 선박에 설치된 AIS 정보를 입수하여 종합상황 시스템에 표시 기능

아울러 양식시설의 이동, 도난, 파손, 보안 및 원료 이송시스템의 원활한 기능 유지관리를 위한 실시간 감시 기술의 도입이 요구된다고 할 것이다. 이는 구축하고자 하는 시스템의 가격과 성능을 다양하게 반영할 수 있는 것으로 고려된다. [표 4-4-15]는 기존 안된 감시, 추적, 식별, 경보, 대응, 상황종합에 대한 시스템 사례를 나타내고 있다. 시스템 종류 'A'와 'B'는 시스템을 저가로 개발하기 위하여 간단한 기능으로 구성한 것이다. 시스템 종류 'C'는 중저가 시스템을 개발하는 경우를 나타내고, 시스템 종류 'D'는 전자해도와 ARPA/Radar 등의 첨단장비를 이용하여 모든 기능이 가능한 시스템 구성을 나타낸다. 시스템 종류 'S'는 해양경찰이나 군용으로 사용하는 경우를 나타낸다.

4. 요약 및 제언

본 연구는 단기적 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템 기술개발 및 현장 적용성을 평가하고, 최종적으로 우리나라 전해역에 대해서 해양외력환경이 열악한 외해 환경하에서 적용가능한 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발 매뉴얼을 도출하고자 하였다. 하지만 현재 외해 양식시설 적지선정 및 대량생산 시설물이 구상되지 못한 상황에서 세부적인 현장 중심의 연구결과를 도출하는 것은 현실적으로 무리라고 할 수 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 향후 외해 해조류 대량양식 구조물 시설이 가상적으로 완공된 상황을 고려하여 예비 조사단계차원에서 양식시설 환경모니터링 시스템을 개념 설계하고자 하였다.

해조류의 외해 대량생산 기술 개발로의 발상전환에 따른 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발은 크게 안정성 및 기능성, 경제성 확보가 담보되어야 하며 이를 목적으로 이루어져야 한다. 이를 위한 단계적 요소기술의 핵심적인 내용을 체계화하면 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

[표 4-4-16] 외해 대량양식 시설 환경모니터링의 기술체계

기본 설계 개념	외력조건	성능조건	최종 목적
Hardware(구조물)	외부조건 구조물하중설계 기초설계 계류시스템	외부조건 평가	안정성 확보
Software(모니터링 시스템)	안전/보호시스템	전원시스템 센서조립/설치 제어시스템 유지보수관리	기능성 확보
설계/시설비	비용최소화	설계최적화	경제성 확보

상술한 기술체제도를 바탕으로 각 요소에 대해 각각의 목적을 달성하기 위해 본 연구의 1차년도 연구추진 과정에서 현실적인 조건하에서 수행된 연구방법은 다음과 같다.

- 기존 자료 수집을 통한 해양환경인자(요소) 모니터링 현황 파악
- 전문가 활용을 통한 외해 양식환경 추세파악 및 선진 기술 습득
- 우리나라 실정에 알맞은 외해 양식환경 모니터링 방향설정
- 안정성 및 기능성이 확보된 대량생산 pilot 설치 및 시험분석 방안 모색

최종적으로 본 연구의 1차년도 연구결과로 부터 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템의 연구 추진전략과 흐름을 수립하고, 양식시설의 안정성과 기능성을 평가하는 기술 개발에 초점을 둔 세부 전략 및 개념설계를 수행하였다. 개략적인 외해 양식시설 환경 모니터링 시설 설계를 개념을 도식화하여 제시하였다.

결과적으로 외해 해조류 대량양식 환경모니터링 시스템은 해상에 부유식(계류부이)으로 설치되어 있는 구조물에 내부 및 외부에 각종 모니터링 장비를 탑재하여 해중 및 해상 상태를 모니터링하고 이를 관리실 및 육상으로 무선 전송, 무선 전송된 해양환경자료 및 영상은 모니터에서 실시간으로 확인 가능한 시스템으로 구축하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이에 소요되는 공급 전원은 신재생에너지의 개념에서 태양광을 이용하거나 수중에 풍차를 설치하여 자가발전하는 시스템의 도입이 효과적이라 생각된다. 향후 이에 대한 보다 면밀한 검토가 2차년도에 구체적으로 제시될 것이다.

5. 향후계획

가. 환경모니터링 현장 실증 실험을 위한 연구추진 계획

연구 내용	향후 추진 일정 및 세부 내용
기장 현장 Video 설치협의	<ul style="list-style-type: none"> • Video 모니터링 시스템 설치 공간(현장 시스템 관리실) 협의 [그림 4-4-36] - 문동항 또는 동백소재 부경대 Campus 수산과학연구소 부재 활용 예정

외해 양식시설 모니터링 시스템 (원장 시연 설계안 - 2차년도)



[그림 4-4-36] 해조류 양식시설 현장 Video 모니터링 추진안(2차년도).

나. 양식시설 환경모니터링 시스템의 성격(목적) 결정 및 예비 실험

현재 1차년도 연구개발 내용중 양식시설 환경 모니터링에 대한 국내외 기술수준의 자료수집 및 정리/분석, 문제점 도출 및 해결방안 수립을 바탕으로 2차년도 연구단계에서는 본 시스템의 성격(목적)을 명확히하고 이를 현장 적용단계로서의 실증 실험을 수행하고자 한다. 이를 위해 임의 대상해역을 선정하고 단순화된 모니터링 시스템을 설치하고 이의 해양공학/해양환경공학/생태공학의 관점에서 시스템의 적용가능성을 평가하고자 한다.

제 5 장

목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구 개발의 목표 및 달성도

제 2 절 기술 구성 및 연계도

제 3 절 향후 계획

제 5 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구 개발의 목표 및 달성도

1. 연구 개발의 목표

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
바이오 매스용 해조류 양식종 및 적지 선정	대상종 탐색 및 선정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부영양화 해역에서의 해조류 대량생산 ○ 대상종 탐색 및 선정 ○ 해조류 대량양식과 연안해역 생태계 복원(해역정화) ○ 미이용 해역의 적지개발 <ul style="list-style-type: none"> - 신규 연구, 교습어장을 통한 적지검토 등
	바다 영양염 및 해조류 분석, DB구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다시마에 함유되어 있는 당 종류를 파악 ○ 구성당 함량의 지역적 차 파악 ○ 같은 개체에서 있어서 수심에 따른 질소, 탄소 등의 함량 파악
대량생산 기술개발	외해 해조류 대량양식시설 설계 및 제어기술 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 외해 해조류대량양식 구조물의 설계 개념 정립 ○ 물리·생물학적 설계인자의 분석 및 해석 ○ 구조물 시스템 구성요소의 특성 분석 ○ 외해 해조류대량양식 구조물의 형상 도출 ○ 시스템의 구성요소 별 개념 설계 및 전체시스템 구성
생산관리 시스템	채취 및 이송시스템 자동화 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물리환경인자 지표를 통한 최적 채취장비 및 선박 개념설계 ○ 각 공정별 최적화 요소를 도출함으로써 이송시스템을 최적화 ○ 대량양식구조물의 형상에 따른 채취 및 이송시스템의 최적화

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
생산관리 시스템	원료수급 및 전처리 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alginate 추출방법 모색 및 추출 ○ 알칼리 촉매를 이용한 전처리 조건 최적화 ○ 전처리 시료의 효소가수분해도 평가
	양식시설 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구 <ul style="list-style-type: none"> - 기능성 영향인자 분석 : 해조류 성장 및 발달 인자 (수온, 염분, DO, pH등의 수질인자) - 안정성 영향인자 분석: 양식장 시설물/구조물의 파괴 및 이동 파악 인자(해양파랑, 조류 등) - 모니터링 관측장비 설치 및 원시 데이터 획득 기술 개발 ○ 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술 개발 기반 연구/개념설계 <ul style="list-style-type: none"> - 해중/해상 해양환경 인자 모니터링 자동화 기법 - 원시 데이터의 육상 전송을 위한 해상관측 시스템 구축 - 원시 데이터 통합관리 DB 구축 및 사용자 인터페이스 최적화

2. 계획대비 달성도

번호	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
1	해조류 3종이상 종묘생산	- 종묘생산을 통한 대상종의 종묘 확보	90
2	대상종 탐색	- 대량생산 대상종으로서 생산성-1 종은 완료, 추가 3종에 대한 연구 계속 - 시험어장 대상-100% - 연구교습어장 대상-90%	95
3	적지선정	- 대량생산 적지로서의 장, 단점 - 시험어장 대상-100% - 연구교습어장 대상-80%(수행 중)	90
4	미이용 해역(외해)의 적지개발	- 연구교습어장 확보-100% - 적지로서의 타당성-80%(수행 중)	90
5	알긴산 추출방법 모색	- Na ₂ CO ₃ 를 이용한 알긴산 분별법 개발	100
6	외해 해조류대량양식 구조물의 설계 개념 정립	- 국·내외 해조류대량양식 설계사례 조사 - 외해 양식에 적합한 구조물 설계 개념 제시	100
7	물리·생물학적 설계인자의 분석 및 해석	- 적지선정 및 양식구조물 설계시 외력과 환경조건에 대한 분석 - 해석 시스템 구성 및 적용	100
8	구조물 시스템 구성요소의 특성 분석	- 구조물 구성요소별 중요도와 안 전성에 중점을 둔 구조물 시스템 제안	95
9	외해 해조류대량양식 구조물의 형상 도출	- 소규모 고정식(파일식) 구조물을 기반으로 효율적인 양식장 배치 및 형상 도출	95

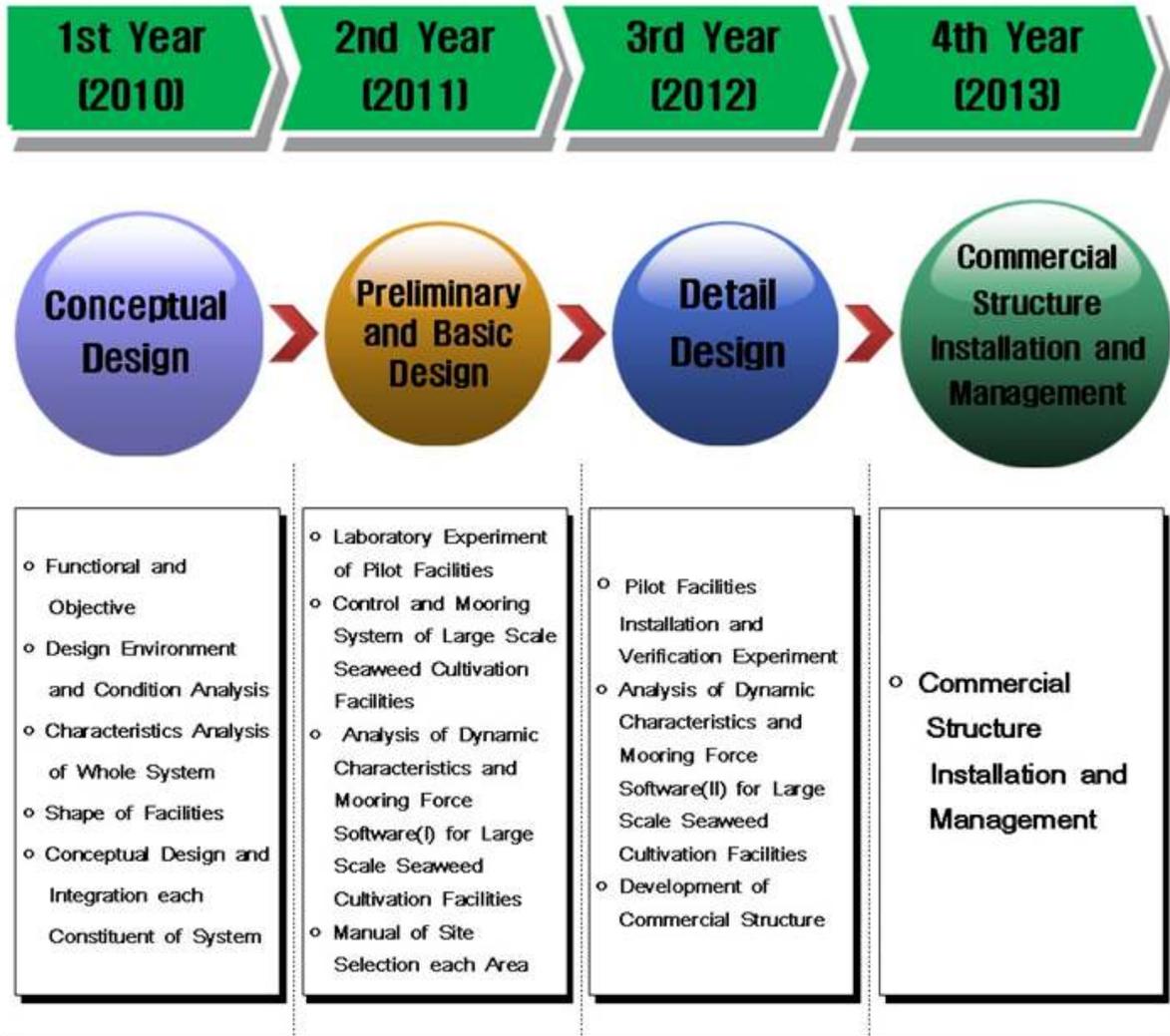
번호	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
10	시스템의 구성요소 별 개념 설계 및 전체시스템 구성	- 재해에 안전하고 지속적인 생산이 가능한 고정식 양식 구조물 개념도 작성 및 시스템 특성 제시	95
11	물리환경인자 지표를 통한 최적 채취장비 및 선박개념설계	- 대상 해조류 및 양식방법에 따른 효율적인 채취 방법 고안 및 장비, 선박 개념설계 제시	90
12	각 공정별 최적화 요소를 도출함으로써 이송시스템을 최적화	- 채취시 저인력, 자동화 시스템에 필요한 요소 설정 및 최적 이송 시스템 설계안 제시	90
13	대량양식구조물의 형상에 따른 채취 및 이송시스템의 최적화	- 양식구조물 배치 및 형상별로 선박적재, 파이프 수송 등의 방법에 따른 최적의 이송시스템 구성	90
14	섬유소 기준, 효소가수분해도 90% 이상	- 알긴산 분별 후 65.3%, - 추가 전처리 후 99.2%	100
15	해조류 성장 및 발달 인자(수온, 염분, DO, pH등의 수질인자)	- 완도/기장 해역을 대상으로 해조류 생산량과 수질인자간의 상관 분석을 수행하고 세부적인 연구 결과를 제시	90
16	양식장 시설물/구조물의 파괴 및 이동 파악 인자(해양파랑, 조류 등)	- 양식장 시설물에 미치는 해양의 역인자에 대한 파력과 풍력의 기본 메카니즘을 조사하고 설계인자화함	95
17	해중/해상 해양환경 인자 모니터링 자동화 기법 조사 분석	- 기존 연구/실증 사례를 바탕으로 해양환경 인자 모니터링 방법과 관측기기, 설치방법에 대한 정리함	100
18	원시 데이터의 육상 전송을 위한 해상관측 시스템 구축	- 해상 환경데이터 및 영상 전송을 위한 무선 통신 시스템의 개념설계화	90
19	원시 데이터 통합관리 DB 구축 및 사용자 인터페이스 최적화	- 육상 전송 데이터의 DB구축 및 GUI를 이용한 사용자 인터페이스 최적화 방법에 대한 사례분석 및 개선방안 제시	90

제 2 절 기술 구성 및 연계도

저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위해서는 해조류의 대량 생산은 기본적으로 다루어야 하는 분야이다. 본 사업의 용역기간 동안 연안 해조류 양식 첨단융합기술을 적용하여 경제성이 확보된 세계 최초의 친환경 대규모 외해 해조류 양식시스템을 제시하였으며, 외해에서 생산된 해조류를 채취하고 이송하는 자동화 기법을 개발하였으며, 전 과정을 관리할 수 있는 해조류 대량 생산환경 모니터일 시스템을 구축하였다. 본 사업을 수행한 결과를 바탕으로 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축할 수 있었다. [그림 5-2-1]은 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터 구축 상세도이다. [그림 5-2-2]에 대량생산의 연차적 수행 상세도를 제시하였다.



[그림 5-2-1] 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터 구축



[그림 5-2-2] 대량생산의 연차적 계획 상세도.

제 3 절 향후 계획

본 용역사업을 통하여 다양한 기술들을 바이오매스용 해조류의 대량생산 기술개발을 위하여 적용하였으며 그 결과 여러 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 국내에서 처음으로 시도한 연구인 동시에 외해 해조류 양식기술에 대한 경험 및 학술적 지식이 다소 부족하여 지속적인 추가 연구가 필요하다고 판단된다. 특히, 본 용역사업은 외해에서 비식용 해조류 바이오매스를 대량으로 확보하는 것이 필수 요소 기술이므로 부분적인 추가연구가 필요하다고 사료되어, 차년도에서는 종묘 생산 및 보존에 대한 연구를 추가로 수행하고자 한다. 아래의 [그림 5-3-1]에서와 같이 크게 두가지 연구 분야로 구성하였으며, 세부1에서는 바이오매스 해조류 대량생산 기술개발 및 적지선정에 대한 연구를, 세부2에서는 외해 생산관리 시스템에 대한 연구를 수행한다. 먼저 세부1연구에서는 외해 환경 및 대량양식에 적합한 적지선정 및 바이오매스용 해조류 신품종을 개발하고, 또한 바다 영양염 및 해조류 분석을 통한 database를 구축하고자 한다. 세부2연구에서는 해조류 바이오매스의 생산 극대화를 위한 외해용 양식시설과 이를 채취 및 운송, 생산환경 모니터링 시스템을 개발을 통하여 공학적이고 입체적인 외해 자동화 대량생산 시스템을 구축하고자 한다.

끝으로 현재 우리나라는 세계적인 해조류 양식기술을 보유하고 있으며, 지정학적으로도 3면인 바다를 가지고 있어, 해조류 바이오매스 개발 및 확보에 유리하다고 판단된다. 이에 본 기술이 국제적으로 선점하기 위해 Pilot Plant 규모의 외해 대량양식 시험연구가 조속히 이루어져야하며, 이를 위해 정부는 충분한 연구자금 및 재원에 대한 투자가 시급하다고 생각된다.



[그림 5-3-1] 해조류 바이오매스 활용을 위한 기술통합공정도

제 6 장

참 고 문 헌

제 6 장 참고문헌

2장 참고문헌

- [1] 유정권, 미역 인공종묘 배양 및 양식 기초시험 중간보고. 국립수산진흥원발행. 보고서, 13pp. (1964).
- [2] Y.K. Chung, D.Y. Chung, *Studies of the artificial seedling production and growth of Undaria pinnatifida (HAR.) SUR. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 1, 140-152 (1967).
- [3] J.W. Chang, D.Y. Chung, K.U. Bae, M.N. Yun. *Studies on the culture of Laminaria (3) Comparison on the growth of cultured Laminaria japonica Aresch in Mipo Bay, Ulsan City. Bull. Nat 'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 11, 37-57 (1973).
- [4] K.K. Baik, C.K. Pyen, Study on growth of *Laminaria japonica Arestch. in the coastal area of Kang Won Do. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 11, 79-92 (1973).
- [5] K.K. Baik, *Studies on the seed culture of Laminaria (1) A process of development and the effect of attachment. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 17, 53-65 (1977).
- [6] K.W. Nam, C.S. Lee, S. D. Lee, J. W. Chang, Y.C. Kim. *Ecological studies on Laminaria religiosa Miyabe of the coast in Kangwon Province of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 36, 89-103 (1985).
- [7] J.W. Chang, Y.S. Son, *Studies on the Morphological Characteristics of Laminaria japonica Areschoug and Laminaria religiosa Miyabe in the coast of Kangwon-Do of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 48, 165-178 (1993).
- [8] Y.D. Kim, H.I. Song, J.P. Hong, C.Y. Jeon, S.K. Kim, *Growth and maturation of the brown seaweed Costaria costata transplanted for the wildstock enhancement. J. Life. Sci.*, 16, 1044-1051 (2006).
- [9] 김동삼, 홍정표, 김영대, 공용근, 한규삼, 김형근, 곰피(*Eckolonia stolonifera*)를 이용한 해중립 조성. 한국조류학회 학술발표대회 및 국제심포지엄 요약집. p.88 (2008).
- [10] E.K. Hwang, J.M. Baek, C.S. Park, *The mass cultivation of Eckolonia stolonifera Okamura as a summer feed for the abalone industry in Korea. J. Appl. Phycol.* 21, 585-590 (2009).
- [11] M.Y. Wi, E.K. Hwang, S.C. Kim, M.S. Hwang, J.M. Baek, et al., *Regeneration and*

maturation induction for the free-living gametophytes of Eckolonia cava Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). J. Kor. Fish. Soc. 41, 381-388 (2008).

- [12] 황은경, 공용근, 박찬선, 갈조류 감태(*Eckolonia cava* Kjellman)의 대량양식: SWOT 분석. 한국조류학회 학술발표대회 및 국제심포지엄 요약집. p.113 (2009).
- [13] J.W. Chang, *Foundmental study on the early development of Sargassum. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 18, 141-149 (1977).
- [14] 유병동, 신현수, 신종암, 완도지역의 모자반(*Sargassum fulvellum*)실내배양과 가이식 실험. 한국조류학회 학술발표대회 및 국제심포지엄 요약집. p.91 (2008).
- [15] 전유진, 해조 기능성 물질 산업화 촉진 방안(제주산 감태의 산업화를 중심으로). 제 24회 한국조류학회 학술발표대회 및 해조류 산업 선진화포럼 요약집. p. 240-263 (2010).
- [16] 한국수산회, 자율관리어업. 28, 1-4 (2010).
- [17] 金南吉. 韓國における海藻栽培の現象と將來. 海藻資源, 22, 22-34 (2010).
- [18] 桐原慎二, 谷生重晴, 能登谷正浩, 青森県沿岸における海藻バイオガス発電の経済性の検討. 日本応用藻類学会第10回大会 要旨集. p.17. (2011).
- [19] M.E. Edding, F.B. Tala, *Development of techniques for the cultivation of Lessonia trabeculata Villouta et Santelices (Phaeophyceae: Laminariales) in Chile. Aqua. Res.,* 34, 507-515 (2003).
- [20] <http://www.fao.org>
- [21] Chynoweth, D.P. *Review of Biomethane from Marine Biomass.* Gainesville :Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, (2002)
- [22] Buck, B.H. and Buchholz, C.M., The offshore-ring: a new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *J. Appl. Phycol.* 16, 355-368 (2004).
- [23] Shinya Yokoyama, Katsunari Jonouchi and Kenji Imou, 2007, Energy production from marine biomass: fuel cell power generation driven by methane produced from seaweed, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 28, pp. 320-323.

4장 참고문헌

- [1] 항만 및 어항설계기준 (2006).
- [2] 케이슨 내장형 파력발전 시스템(해양조사 및 설계과랑 추정 부문), (주) KT 서브마린,

- (2008).
- [3] 좌광천 흙탕물 유입에 따른 어업피해조사 용역 보고서, 부경대학교 해양과학공동연구소, (2004).
- [4] <http://portal.nfrdi.re.kr/envirodata>.
- [5] Hasselmann, K. et al. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutsche Hydrografische Zeitschrift Supp.*, 12(A8).
- [6] 기상청 (1959~2004). 기상연보.
- [7] 전해역 심해설계과 추정보고서 II, 한국해양연구원 (2005).
- [8] http://daum.culturecontent.com/dictionary_content.asp?Dictionary
- [9] 해조류 양식 산업의 현황과 전망, 국립수산물과학원 해조류연구센터
- [10] <http://contents.archives.go.kr/next/content/listSubjectDescription.do?id=008916>
- [11] http://krdic.daum.net/dickr/view_top.do?nil_profile=title&nil_src=krdic
- [12] M.S.Foster, D.C.Barilotti, 1990, An approach to determining the ecological effects of seaweed harvesting: a summary, *Hydrobiologia* 2004/2005, pp. 14-16.
- [13] M.Troell, D.Robertson-Andersson, R.J.Anderson, J.J.Bolton, G.Maneveldt, et al., 2006, Abalone farming in South Africa: An overview with perspectives on production and socio-economic importance, *Aquaculture* 257, pp. 266-281.
- [14] Raul A. UGARTE and Glyn SHARP, 2001, A new approach to seaweed management in Eastern Canada: the case of *Ascophyllum nodosum*, *Cah. Biol* 42, pp. 63-70.
- [15] Guide to the seaweed industry (A), 2003, FAO Fisheries and Aquaculture Technical.
- [16] Seaweed harvesting and governance: examples of six European countries, *Netalgae*.
- [17] <http://www.cpkelco.com/>
- [18] <http://www.weedharvester.cn/>
- [19] Economic perspectives of seaweed, 2010, Energy research Centre of the Netherlands.
- [20] From seaweed to chemicals and fuels: Current activities in the Netherlands on seaweed cultivation and biorefinery, 2011, Energy research Centre of the Netherlands.
- [21] Algal biomass does it save the world, 2009, IEA Bioenergy.
- [22] J. F. Kennedy, I. J. Bradshaw, *British polymer J.*, **16**, 95-101 (1984).
- [23] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter et al., NREL/TP-510-42623 (2008).

- [24] B. Hames, C. Scarlata, A. Sluiter, NREL/TP-510-42629 (2008).
- [25] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter et al., NREL/TP-510-42622 (2008).
- [26] A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, NREL/TP-510-42619 (2008).
- [27] R. Perez, R. Kaas, F. Campello, S. Arbault, O. Barbaroux La culture des algues marines dans le monde. Editions IFREMER, Plouzane, France, p163 (1992).
- [31] 이문옥, 해양에너지 공학, 전남대학교 출판부, 143-161 (2008).
- [28] 장계남, 해조류·갑각류양식, 삼광출판사, 22-62 (2002).
- [29] 해양수산부, 해양관측 및 예보시스템, 45-62 (2004).
- [30] 해양수산부, 원격탐사기술을 활용한 동해 어장변동 및 예측에 관한 연구, 104 (2004).

부 록

- A. 추진경과 일정표
- B. 심포지엄 개최 결과 요약
- C. 최종보고회 결과 요약
- D. 연구성과물
- E. 언론 홍보

부록 A 추진경과 일정표

□ 연구관리 업무 및 일정

월	연구관리 업무	대외 업무	기타 사항
10	○ 운영위원회 회의	○ 해조류 원료 확보 관련 협의 (완도군, 해조류바이오연구센터) ○ 내외해 다시마 비교양식	○ 원료 확보방안 토의 ○ 대량생산업무 추가
11	○ 홍보전시회 개최(2건) - 한국생물공학회(7-9일) - 한국화학공학회(20-22일)	○ 국내 유관 연구단지 방문/미팅	○ 인적네트워크 토의 ○ 전시회 부스 설치
12	○ 1차 워크숍 개최 (16일-17일) - 장소: 제주도 KAL 호텔 - 자문위원단 패널토론	○ 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획, 추진실적 보고 (2일) ○ 보도자료 작성 및 배부 (15일, 21일)	○ 연구진행 점검
1	○ 세부과제팀별 점검회의	○ 수산 폐기물 현황조사(29일)	
2	○ 세부과제팀별 점검회의	○ 국내 유관 연구단지 방문/미팅	○ 인적네트워크 토의
3	○ 추진실적 보고(2일)		
4	○ 추진실적 보고(13일) ○ 중간보고회 개최(15일-16일) - 장소: 통영 경상대학교 - 자문위원단 패널토론 ○ 자문위원단 회의(22일)	○ 경과보고 및 부처관계자 미팅(8일) ○ 보도자료 작성 및 배부 (16일)	○ 연구진행 점검 ○ 향후계획 검토
5	○ 운영위원회 회의(19일) ○ 자문위원단 회의(24일)	○ 언론홍보 - KBS 9시 뉴스 촬영 ○ 한국청정기술학회지 홍보	
6	○ 자문위원단 회의 ○ 운영위원회 회의(11일) ○ 결과종합회의 ○ 실적정리(논문, 특허 등)	○ 국가위 R&D 사업설명회 ○ 해외 연구기관 방문 및 회의 - 미국 BAL 연구소 및 Algen Sustainable 회사 - 기술동향 파악 및 MOU 협의	○ 해조류 바이오매스의 활용방안 토의
7	○ 국제 심포지엄 개최 (3일-5일) - 장소: 완도군 장보고관 - 해외연사초청(미국, 일본) - 자문위원단 연석회의 (패널토론) ○ 최종보고회 ○ 결과보고서 발간	○ 보도자료 작성 및 배부(6일) ○ 해외 연구기관 방문 및 회의 - 인도네시아 발리 및 자카르타 ○ 지자체와 MOU 체결(완도군) ○ 최종 평가, 향후 계획 협의 ○ 부처관계자 미팅	○ 연구진행 점검 ○ 생산지 방문(완도) ○ 향후방안 토의

부록 B 심포지엄 개최 결과 요약

1. 국제 심포지엄 개요

- 일자 : 2011년 7월 3~5일(일~화)
- 심포지엄 명 : 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄
(International Symposium on Seaweed Biomass Production & Bioenergy)
- 참석자 수 : 회사 22명, 대학교 75명, 연구소 29명
- 주최 : 농림수산식품부
- 주관 : 부경대학교 청정생산기술연구소 , 완도군

2. 발표자 및 발표내용

- 가. 신명교(바이올시스템스, 연구원) : 홍조류로부터 바이오알콜 생산
- 나. Yuki Kashiya(BAL Chile 바이오 설계연구소, CEO, 미국) : 거대조류로부터 재생가능한 연료와 화합물 생성을 위한 생물합성
- 다. James Coke(Algen Sustainables, CEO, 미국) : 연안 자생 바이오매스의 활용(매콩델타에서의 기회와 도전)
- 라. Kazuo Miyashita(홋카이도 대학, 교수) : 건강 기능소재로서의 갈조류 지방
- 마. 우희철(부경대학교, 교수) : 한국의 해조류 바이오매스 기술현황과 연구개발 계획
- 바. 김남길(경상대학교 교수) : 한국의 다시마 대량생산 기술 개발
- 사. 김경현(고려대학교 교수) : 해조류의 생물학적 전환공정 개발
- 아. 김형락(부경대학교 교수) : 기능성 식품원으로서 해조류 이용
- 자. 서동진(KIST 청정에너지센터, 책임연구원) : 급속 열분해 및 혐기성 소화를 이용한 해조류의 바이오오일 생산기술 개발

3. 패널토론

- 가. 토론자 : 정해봉(에코프론티어), 박종문(포항공과대학교), 김화용(서울대학교), 이진석(한국에너지기술연구원), 배정환(전남대학교), 김진석(한국화학연구원), 김형락(부경대학교), 우희철(부경대학교), 류청로(부경대학교), 홍정표(수산자원사업단)

나. 토론 내용 요약

- (1) 바이오에너지 생산공장을 항시 가동하기 위한 원료의 대량공급과 지속적인 해조류 바이오매스 공급을 위한 연중 생산 가능한 해조류 바이오매스 개발
- (2) 정부의 RPS (Renewable Portfolio Standard) 제도 실시에 따라 신재생에너지원으로 해조류 바이오매스를 활용하기 위한 정책적인 지원이 필요
- (3) 석유자원 고갈에 따른 바이오에너지 개발뿐만 아니라 바이오자원에서부터 석유화학제품 원료를 대체하기 위한 연구개발을 위한 정책적인 지원이 필요
- (4) 해조류 양식산업이 왕성한 일본, 중국과 공동으로 해조류양식으로 인한 이산화탄소 감축효과를 입증받기 위한 국제적인 노력이 필요
- (5) 해조류 바이오매스로부터 바이오에너지 생산공정비용을 절감하기 위하여 고부가가치 제품의 생산과 공정의 단순화에 대한 심층적인 기술개발이 필요
- (6) 해조류바이오매스의 대량생산과 수송의 자동화와 자연재해에 대비한 친환경 대량생산 시설구축이 필요

이번 심포지엄에서 패널토론을 통해, 2012년부터 신재생에너지 의무할당제(RPS) 시행과 2015년부터 탄소배출권(CER) 의무이행 제도에 따라 신재생에너지 확보가 중요함을 강조하였으며, 이에 육상 바이오매스로부터 액체연료 생산은 한계가 있어, 비식용 해조류를 이용한 액체연료 생산이 유리할 것이라는 의견을 제시하였다. 또한 국가 경쟁력 확보와 바이오에너지 분야 선도를 위해 정부의 지원이 중요함을 강조하였다.

4. 프로그램

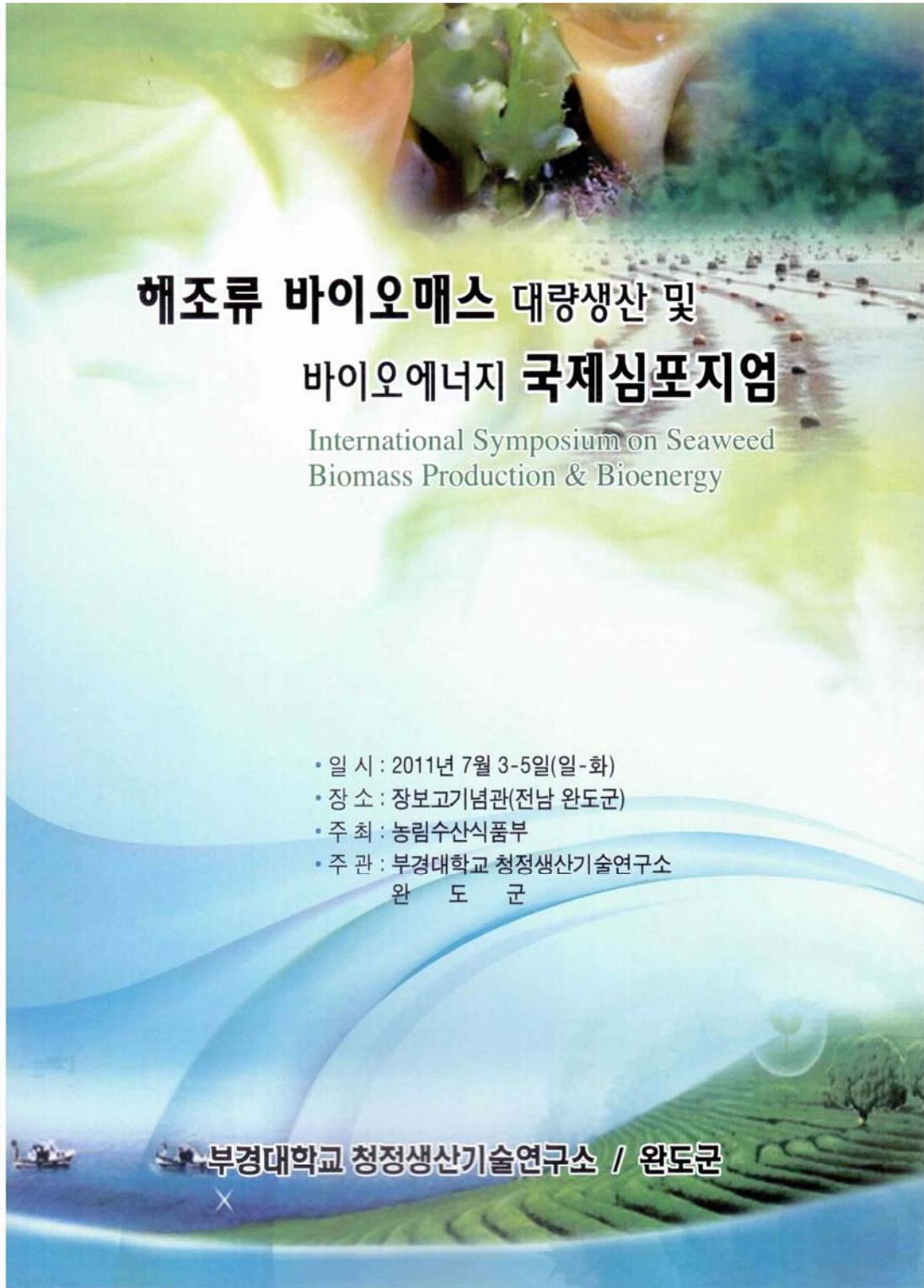
International Symposium on Seaweed Biomass Production & Bioenergy July 3-5, 2011 / ChangPoGo Memorial Hall, Wando, Korea

- Supported by : Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries
- Hosted by : The Institute of Cleaner Production Technology, Pukyong National University, Wando County

Program

Date	Time	Subject	Lecturer	
7. 3	18:30~20:30	• Welcome Reception		
	08:30~09:00	• Registration		
	09:00~09:10	• Opening Remark		
	09:10~09:30	• Congratulatory Remark		
	Session 1	Chairman	Dr. Kyeongkeun Oh (Prof. Dankook University)	
	09:30~10:20	• Production of Bioethanol from Macro Red Algae	Dr. Myung Kyo Shin (Vice-President, Biolsystems)	
	10:20~11:10	• Synthetic Biology for Renewable Fuels and Chemical Production from Macroalgae	Mr. Yuki Kashiya (Co-founder & CEO of BAL Chile, Bio Architecture Lab, USA)	
	11:10~11:20	Coffee Break		
	11:20~12:10	• On-shore Aquatic Biomass: Opportunities and Challenges in the Mekong Delta	Mr. James Coke (CEO, Algen Sustainables, USA)	
	12:10~13:30	Lunch		
	7. 4	Session 2	Chairman	Dr. Heon-Tae Kim (Prof. Pukyong National University)
		13:30~14:20	• Brown Seaweed Lipids as Nutraceutical Ingredients	Dr. Kazuo Miyashita (Prof. Hokkaido University, Japan)
		14:20~14:40	• Current Status and R&D Roadmap of Seaweed Biomass Technology in Korea	Dr. Hee Chul Woo (Prof. Pukyong National University)
		14:40~15:00	• Introduction to the Mass Culture System of Kelp in Korea	Dr. Nam-Gil Kim (Prof. Gyeongsang National University)
15:00~15:10		Coffee Break		
Session 3		Chairman	Dr. Yong-Cheol Park (Prof. Kookmin University)	
15:10~15:30		• Biological Conversion of Seaweed Biomass into Fuels and Chemicals	Dr. Kyoung Heon Kim (Prof. Korea University)	
15:30~15:50		• Potential Utilization of Seaweed Biomass as Nutraceuticals	Dr. Hyeung-Rak Kim (Prof. Pukyong National University)	
15:50~16:10		• Green Liquid Fuel Production from Seaweed by Fast Pyrolysis and Anaerobic Digestion	Dr. Dong Jin Suh (Researcher, Clean Energy Center, Korea Institute of Science & Technology)	
16:10~17:00		Panel Discussion	Chairman Dr. Hyeung-Rak Kim, (Prof. Pukyong National University)	
7. 5	09:00~	Discussion and Seaweed Farm Tour		

5. 국제심포지엄 자료집



부록 C 최종보고회 결과 요약

1. 최종보고회 개요

- 일자 : 2011년 8월 3일(수)
- 발표자 : 연구책임자 우희철 교수
- 참석자 수 : 평가위원 4명, 부처관계자 7명, 연구위원 14명, 외부참석자 5명
- 토론 평가 요약

구분	소속	성명	내용
평가 위원	(주)해양 생태기술 연구소	손민호 박사	<ul style="list-style-type: none"> - 적은 연구자금에 비해 많은 연구성과를 도출함. - 현재 해조류 바이오매스 연구와 관련하여 각 부처간에 중복성이 있다고 범부처에서는 바라보고 있으며, 향후 2020년까지의 국가 장기 프로젝트로 전환시 타부처 경쟁에서 선점하기 위해 독창적이고, 우수한 성과를 이루어 미리 준비할 필요가 있음.
	충북대	신채호 교수	<ul style="list-style-type: none"> - 본 과제는 최종목표를 이루기 위해 기획연구에서 이루어진 로드맵에 맞추어 충실히 수행되고 있는 것으로 보임. - 본 과제는 연속적으로 이루어져야 시너지 효과가 나올 것이며, 공백기간이 있다면 연구가 일시적으로 중단되는 문제가 발생해 연구목표 달성에 차질 있을 것임. - 향후 Demo(pilot) plant 구축을 위해 장치비가 많이 들어감으로 많은 연구자금을 투입 및 확보가 필요함.
	한국화학 연구원	정순용 박사	<ul style="list-style-type: none"> - 부족한 연구자금에도 불구하고 많은 연구자들과 함께 전체적으로 우수한 연구성과를 이루어 낸 것 같음. - 현재까지 연구결과는 해조류 바이오매스의 그린에너지화 및 통합활용을 위해 여러 가지 단위기술들을 도출하였고, 기술의 수준도 많이 올라온 것 같음. - 앞으로는 bench scale 및 pilot plant로 가기 위해 많은 연구비가 필요함. 또한 부처관계자와 연구책임자는 도출된 여러 기술들에 대해 선택과 집중으로 투자할 필요가 있음.
	경북대	박중곤 교수	<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구는 해조류 feed stock 확보와 해조류 활용기술이 함께 이루어져야하며, 현재 투자되는 연구자금을 볼 때 (대량생산 약 5억, 통합활용 약 11억) balance가 맞지 않아 장기적으로 연구진행이 불균형해질 우려가 있어 균형적으로 투자와 연구개발이 이루어져야함. - 해조류 바이오매스 VFA 플랫폼은 현재 우수한 연구결과를 도출하고 있으며, 국제적인 기술선점을 위해 집중적으로 투자할 필요가 있다고 판단됨. - 해조류 대량생산과 관련하여 생산량 단위의 기준이 필요할 것 같음. wt. weight 단위를 사용할 때 수분함량 비율에 대한 기준이 필요함. - 해조류 바이오매스의 생산성을 높이기 위해 종개발, 수거 시스템 등의 분야외에도 기후변화인자도 고려되어야 됨.

구분	내용
부처관계자	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오에너지는 현재 경제성이 없지만, 화석연료 고갈과 함께 연료의 생산비용이 증가하고 있으며, 향후 어느 시점에서 본 연구사업이 새로운 시장을 선점할 것으로 기대함. - 현재 본 부처는 해조류 바이오매스 개발에 대한 법적기반을 갖추고 있으며, 본 부처의 주도로 해조류 바이오매스 개발을 실현할 예정임.
외부참석자	<ul style="list-style-type: none"> - 해조류는 기후변화 대응 및 온실가스 감축을 위해 바다 숲 조성 등 다양한 연구를 수행하고 있음. - 향후 본 사업 역시 크게 기여할 것으로 예상됨.
연구위원	<ul style="list-style-type: none"> - 해조류는 열대지방보다 온대지방에서 잘 자라며, 우리나라에서 갈조류를 대상으로 바이오매스를 확보하는 것이 유리하다고 봄. - 미세조류는 거대조류보다 대량생산하기에 현재 경제적으로 많은 문제점이 있음. - 또한, 육상바이오매스는 해조류에 비해 경작 및 수거비용이 많이드는 단점이 있음. - 현재 해조류를 대량생산을 위해서 내해는 다양한 양식장으로 포화되어 있어, 외해 대량생산을 구축할 것임.

부록 D 연구성과

□ 특허출원 실적 : 3건

No	산업재산권명	출원일자	출원번호	출원국가	출원자
확정					
1	해상 풍력발전구조물 연계 외해 해조류 양식시설	2010. 12. 30	10-2010-0138511	한국	김헌태 외 3인
2	바이오에너지 생산을 위한 갈조류의 전처리 방법 및 이를 이용한 바이오에너지 생산 방법	2011. 08. 02	10-2011-0077033	한국	오경근 외 3명
3	알긴산 유래 단량체 또는 중합체를 이용한 알긴산 분석법 및 이를 이용한 바이오매스로부터 추출된 알긴산 분석법	2011. 08. 02	10-2011-0077023	한국	오경근 외 4명

□ 논문게재 실적 : 2건(예정)

No	제 목	학술지	발표자	발표일자	국가명 (SCI 여부)
예정					
1	Development of novel method for the analysis of alginic acid in <i>Laminaria japonica</i>	Biotechnology Letters	오경근 외 2명	특허출원 후 제출 예정	미국 (SCI)
2	Development of the de-alginate process of <i>Laminaria japonica</i> as a pretreatment strategy for bioethanol production	Bioresource Technology	오경근 외 2명	특허출원 후 제출 예정	미국 (SCI)

□ 특허첨부-(1)

국 민 생 활

출원번호통지서

출원 일자 2010.12.30
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원 번호 10-2010-0138511 (원수번호 1-1-2010-0874810-14)
 출원인 명칭 부경대학교 산학협력단(2-2004-016849-9)
 발명자 성명 나원배 이주원 우진호 김현태
 발명의 명칭 해상 풍력발전구조물 연계 외해 해조류 양식 시설

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통보된 납입영수증에 성명, 납부지번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 * 납부지번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 변경신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 * 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원인 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록일경 이전 또는 우선서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 국내출원 권을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
 * 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
 * 외국특허청표정의 선출권을 기점으로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출권이 이공계상영이면, 우선권 주장을 18개월 이내에 외국특허청표양에 [전자특허청정가서(PTO/58/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위한 할당우선면명령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 * 특허출원 10-2010-0000000, 상표출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 통보된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

http://www.patent.go.kr/jsp/kiponet/ir/receipt/online/applNoOfficeAct.do 2010-12-3

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2011.08.02
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2011-0077033 (접수번호 1-1-2011-0598134-95)
출원인명칭 단국대학교 산학협력단(2-2005-016634-4) 외 1명
대리인성명 특허법인 가산(9-2007-100101-9)
발명자성명 오경근 류현진 우희철 최원일
발명의명칭 바이오 에너지 생산을 위한 갈조류의 전처리 방법 및 이를 이용한 바이오 에너지 생산 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입명수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 국내출원건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2011.08.02
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2011-0077023 (접수번호 1-1-2011-0598089-27)
출원인명칭 단국대학교 산학협력단(2-2005-016634-4) 외 1명
대리인성명 특허법인 가산(9-2007-100101-9)
발명자성명 오경근 류현진 우희철 이지예 최원일
발명의명칭 알긴산 유래 단량체 또는 중합체를 이용한 알긴산 분석법 및 이를 이용한 바이오매스로부터 추출된 알긴산 분석법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 국내출원건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

□ 학술발표 실적 : 국외 1건/국내 5건

No	제 목	회의명	발표자	발표일자	국가명
1	Effects of exteaction conditions on the production of alginate from <i>Laminaria japonica</i>	생물공학회	최원일 외 4인	2010. 10	한국
2	Development the novel method for the analysis of alginic Acid in <i>Laminaria japonica</i>	화학공학회	최원일 외 2인	2010. 10	한국
3	기장과 완도해역에서의 다시마 생산성	한국수산과학회	김남길 외 2명	2011. 06	한국
4	외해 해조류대량양식 기술 및 생산관리시스템 구축을 위한 개념 설계 연구	한국해양과학 기술협의회	김헌태, 류청로 외 1명	2011. 06	한국
5	외해 해조류 대량양식시설 적지선정을 위한 기초 연구	해양환경 안전학회	윤한삼, 김헌태 외 1인	2011. 06	한국
6	완도-기장해역의 해조류 생산량과 수질과의 상호관련성 연구	한국마린 엔지니어링학회	윤한삼, 이인철 김헌태 외 1인	2011. 06	한국
7	외해 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 시스템 개념설계	한국마린 엔지니어링학회	윤한삼, 이인철 김헌태	2011. 06	한국
8	韓国釜山と莞島金日海域で栽培したコンブの生産性	일본 응용조류학회	김남길 외 2명	2011. 07	일본
9	Bioconversion of <i>Laminaria japonica</i> using de-alginate process as a pretreatment strategy	American Institute of Chemical Engineers	오경근 외 3명	2011. 10	미국

부록 E 언론 홍보

구분	발표일자	제 목
보도 자료	2010. 12. 15	해조류 바이오매스 대량생산 및 통합활용 워크샵 개최 - 청정연료 혼합알콜 생산의 상용화 시동 - 해조류 유래 신소재 및 항장 시제품 생산 착수 - 비식용 해조류 대량생산 기술 연구 착수
	2010. 12. 27	해조류 바이오매스 통합 활용을 위한 대량생산 기술개발 체제 출범 - 외해 해조류 대량양식 시험가동 및 자동화 개념설계 착수 - 준파일럿 규모의 유기산 및 고부가가치 바이오소재 시제품 생산
	2011. 06. 30	미국, 일본의 선진 바이오에너지 기업 국내 해조류 에너지화 기술수준 인정, 파트너쉽 원해 - 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄 개최 - 미국을 비롯 해외 네트워크 본격 가동 - 해외 연구진과의 상호보완적 관계 정립의 계기
	2011. 07. 06	국내 해조류 대량생산 및 에너지화 기술수준 인정, 국제협력구축 기틀 마련 - 2차년도 연구결과 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공 - 국내외 기관과 실질적 MOU 체결 추진(미국-한국-일본)
방송 매체	2011. 05. 20	- KBS 9시 뉴스 부산방송
	2011. 07. 05	- KBS 9시 뉴스 목포방송 - MBC 9시 뉴스 목포방송



KBS 9시 뉴스 부산방송
2011.5.20



KBS 9시 뉴스 목포방송
2011.7.5



MBC 9시 뉴스 목포방송
2011.7.5

건조 다시마에서 바이오 에너지 추출 성공

부경대 우희철 교수팀
휘발성 유기산, 희귀 금속 등
"1년 내 생산수율 80% 이룰 것"

오상준 기자 lefbt@kookje.co.kr

해조류에서 자동차 연료를 비롯한 청정 바이오 에너지를 뽑아내는 연구를 부산이 주도하고 있다. 그 중심에는 부경대 용당캠퍼스 청정생산기술연구소가 있다. 이 대학 화학공학과 우희철(55) 교수와 연구원들은 최근 건조 다시마에서 휘발성 유기산, 바이오 오일은 물론 부산물로 리튬 우라늄 같은 희귀금속을 추출해내는 데 성공했다. 우 교수는 "건조 다시마 1t에서 휘발성 유기산 400kg(혼합알코올 280kg), 바이오 오일 95kg, 소량의 희귀금속을 생산함에 따라 바이오 에너지 생산수율을 55%까지 끌어올렸다"며 "1년 안에 생산수율이 70~80%에 이를 것"이라고 말했다. 초산 등이 포함된 휘발성 유기산은 기초 화학연료로 사용될 수 있다. 이를 촉매로 이용해 환원 반응을 거치면 혼합알코올로 전환되는데, 이는 기존 에탄올보다 우수한 가솔린 자동차



부경대 화학공학과 우희철 교수가 용당캠퍼스 청정생산기술연구소에서 건조 다시마를 활용해 휘발성 유기산을 추출하는 방법을 설명하고 있다. 김동하 기자 kimdh@kookje.co.kr

연료로 쓸 수 있다.

우 교수는 농림수산식품부에서 수행하는 해조류를 그린 에너지로 만드는 '해조류 바이오매스 연구'의 총책임자다. 우 교수는 다양한 에너지원을 동시에 생산하는 '해조류 바이오매스 에너지화 통합공정 원천기술'을 세계 최초로 개발했다. 미국은 아직 해조류에서 에탄올, 부탄올 등 한 종류의 에너지원을 생산하는 수준이다. 이 연구에는 국립수산물연구원, 한국과학기술연구원(KIST) 등 14개 기관 25명의 교수 및 석·박사가 참여하고 있다.

과제는 경제성을 확보하기 위해 바

이오 에너지 원료인 해조류를 대량 생산하는 것이다. 우 교수는 "현재 kg당 4000원선인 건조 다시마 가격으로는 경제성이 부족하다"며 "면 바다에 자동화생산시스템을 구축해 고밀도 대량 양식으로 해조류 가격을 10분의 1 가량 낮추면 경제성을 갖춰 상용화가 가능하다"고 설명했다. 농림수산식품부는 이를 위해 기장, 봉영, 완도에서 모자반 등 4종의 비식용 해조류에 대한 양식실험을 하고 있다. 이를 통해 외해 대량양식에 적합한 종을 찾아 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축할 계획이다.

국내 해조류 대량생산 및 에너지화 기술수준 인정, 국제협력체 제 구축 기틀 마련

차년도 연구결과 해조류 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공

2011년 07월 14일 (목) 08:52:53

안희민 기자 | eewn@chol.com

농림수산식품부(장관 서규용)는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 「해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄」 개최를 통하여, 우리나라 해조류 바이오매스 활용이 세계적인 수준에 있음을 다시금 확인했다.

이번 심포지엄은 우리나라 해조류 주 생산지인 완도군에서 개최됐고, 미국과 일본의 선진 해조류 바이오에너지 분야관련 CEO와 학자를 초청, 현재 연구 성과를 및 기술내용의 수준을 짚어보는 장으로 활용됐다.

특히, 바이오에너지 선진국인 미국 기업들의 해조류 원료 확보 방안 및 바이오에너지 기술개발 수준과 일본의 해조류 고부가가치화 기술을 국내에서 최초로 공개했으며, 현재 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류 바이오매스 확보 및 에너지화 기술개발 수준을 홍보하였다. 또, 국제협력 연구를 위해 MOU를 체결하기로 합의했다.

미국의 바이오 아키텍처협사는 칠레에서의 40헥타르 규모의 해조류 시범 생산과 이를 이용한 에너지 생산기술에 대해 발표했으며, 미국 서스테이너블즈사는 “베트남 메콩델타에서의 기회와 도전”이라는 주제로 메콩델타 지역을 활용한 해조류의 생산 및 이를 이용한 에너지 생산 계획을 발표했다.

농림수산식품부에서 연 10억원을 지원받아 연구과제를 수행하고 있는 「해조류 바이오매스 연구그룹」(책임자 : 부경대 우희철 교수)은 “해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가 가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술”에 대한 2차년도 연구성과를 발표했고, 국내기업 (주)바이올시스템즈는 “해조류로부터 바이오 알코올 생산”에 대한 연구성과를 발표했다.

해조류 바이오에너지 국제심포지엄 개최

입력시간 : 2011. 06.30. 00:00



해조류 양식장.

7월 4일부터 이틀동안 완도읍 장보고기념관 일원

해양생물 활성화 기대

완도군과 부경대학교가 공동으로 주최하는 '해조류 바이오에너지 국제심포지엄'이 내달 4일 완도에서 열린다.

완도군은 29일 "해양생물을 이용한 '해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지'란 주제로 국제심포지엄이 내달 4일부터 양일간 완도읍 장짜리에 위치한 장보고기념관 일원에서 개최된다"고 밝혔다.

이번 심포지엄은 농림수산식품부가 바이오에너지(Bio-Energy) 개발 사업을 추진, 부경대학교 청정기술연구소가 연구사업의 일환으로 국내외 해조류 바이오에너지 관련 CEO와 학계가 모여 그동안의 성과를 발표하고, 상호간 정보를 교환하는 자리를 마련하기 위해 열린다.

이날 심포지엄은 미국의 Algen Sustainable사의 경영자인 James Coke씨를 비롯한 외국 전문가 3명과 국내 바이오에너지 전문분야 대학교수 6명이 국내외 해조류 대량생산 방안과 바이오연료 생산기술 현황 등에 대한 발표와 토론으로 이뤄진다.

완도군은 부경대학교와 인하대학교, 조선대학교 등 학계와 연구소를 통해 해양바이오 에너지 개발에 협력기관으로 참여하고 있으며, 김과 미역·다시마 등 해조류를 이용한 바이오에너지 타운을 조성한다는 전략을 세웠다.

완도군 관계자는 "완도해역에서 연간 25만톤의 해조류를 생산, 전국에서 60~70%정도 차지한다"며 "완도에서 열린 국제 규모의 해조류 바이오에너지 관련 연구 사례발표를 계기로 해양생물 산업이 활성화되기를 기대한다"고 말했다.

완도=조성근기자 완도=조성근기자의 다른 기사 보기

‘해조류 바이오에너지 국제심포지엄’

각계 전문가 참석, 완도 장보고기념관서 열려

2011년 07월 05일 (화) 16:01:48

완도/김재일기자 ✉ jikim@shinailbo.co.kr



해조류 바이오에너지 국제심포지엄이 지난4일부터 2일간에 걸쳐 완도군 장보고기념관 일원에서 열렸다.

심포지엄은 완도군과 부경대학교가 공동으로 주관하고 1백여명의 국내외 해조류 바이오에너지 관련 CEO와 학자들이 참석했으며, 농림수산식품부의 바이오에너지 개발사업을 추진하는 부경대학교 청정생산기술연구소가 그동안의 성과를 발표하고 국내외 정보를 교환하는 자리가 되었다.

이날 발표는 미국의 ALGen Sustainables사의 경영자인 James Coke씨를 비롯한 외국 전문가 3명과 국내 바이오에너지 전문 대학교수 등이 했으며, 국내외 해조류 대량생산 방안과 바이오연료 생산기술 현황 등의 주제로 이루어졌다.

미국의 James Coke씨는 매콩델타에서의 기회와 도전이라는 주제로 육상의 수생 바이오매스에 대해 소개했으며, 일본 홋카이도 대학 Kazuo Miyashita 교수는 기능성 식품 성분인 갈조류 지질에 대해 발표를 했다.

국내에서는 부경대학교 우희철 교수의 한국의 해조류바이오매스 기술현황과 연구개발, 경상대학교 김남길 교수의 한국의 다시마 대량생산체계, 한국과학기술연구소 청정에너지센터 서동진박사의 해조류의 빠른 열분해와 합기성 소화를 통한 청정역체연료 생산 등에 대한 발표가 이어졌다.

이날 심포지엄에 참석한 김종식 완도군수는 “완도에서 생산되는 연간 해조류 생산량은 25만톤으로 전국에서 가장 많은 양이 생산되고 있다”면서 “최적의 지리적 여건을 활용 해조류 바이오에너지 타운을 조성해 나가겠다”고 말했다.

이 밖에도 둘째날에는 완도군의 해조류 생산현장을 직접방문 체험하기도 했다.

세계화로 가는 우리 해조류 바이오매스 기술

[97호] 2011년 07월 07일 (목)

수협중앙회



▲ 바다숲 해조류

**미국·일본 선진 바이오에너지 기업 국내 해조류 에너지 기술 인정
파트너십 희망, 워크숍 개최 미국 등 해외 네트워크 구성 본격 가동**

미국과 일본의 선진 바이오에너지 기업들이 우리나라 해조류 에너지화 기술 수준을 인정, 파트너십을 원하고 있는 것으로 알려졌다. 이에 따라 국내외 해조류바이오매스 에너지화 연구동향과 연구성과를 발표하는 심포지엄이 개최된 주목된다.

이번 심포지엄에서는 미국 등 바이오에너지 선진 기업의 해조류 원료 확보방안과 에너지 기술개발수준이 국내 최초로 공개됐다. 농림수산식품부는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 '해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄'을 개최했다고 밝혔다.

이번 심포지엄은 해조류 주 생산지인 완도군과 해조류바이오매스 에너지화 연구를 총괄하고 있는 부경대학교 청정생산기술연구소가 공동으로 주관하는 것으로 국내외 해조류 바이오에너지 관련 기업의 CEO와 학자들을 대거 초청해 그 동안의 연구 성과를 발표하고 국내외 정보를 상호 공유하기 위하여 마련됐다.

특히 바이오에너지 선진국인 미국 기업들에서의 해조류 원료 확보 방안과 에너지 기술개발 수준을 국내 최초로 공개, 이를 토대로 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류바이오 에너지 관련 연구 결과와 비교함으로써 국내 상업화를 보다 앞당길 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

주요 참석자는 미국의 바이오에너지 기업의 알젠 서스테인어블즈사(Aigen Sustainable)의 경영자인 제임스 콕(James Coke), 바이오 아키텍처 랩사(Bio Architecture Lab)의 공동 설립자이자 경영자인 유키 카시야마(Yuki Kashiyama)와 일본 홋카이도(Hokkaido)대학의 가즈오 미야시타(Kazuo Miyashita) 교수 등이다.



잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2010. 12. 15.
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
사무관 : 차 태 황
전 화 : 02-500-2381
쪽 수 : 2P
별첨자료 : 있음(3P)

이 자료는 2010년 12월 16일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용 워크숍 개최

- 청정연료 혼합알콜 생산의 상용화 시동
- 해조류 유래 신소재 및 망장 시제품 생산 착수
- 비식용 해조류 바이오매스 대량생산기술 연구 착수

- 농림수산식품부는 『해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용』 워크숍을 12월 16일(목)부터 17일(금)까지 이틀간 제주도 서귀포 KAL 호텔에서 개최한다고 밝혔다.
- 이번 워크숍은 부경대 청정생산기술연구소가 주관이 되어 관련분야 산학관련 전문가들이 참여하며 연구결과의 공유와 질적 수준 향상을 위해 개최하는 것이다.
- 1차년도 연구결과('09.6~'10.4)에서는 세계 최초로 해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술을 발표한 바 있다.
- 2차년도 연구내용은 “에너지화 수율 향상, 바이오소재 고부가가치 시제품 생산, 준파일럿 규모의 유용물질 및 혼합알콜 생산공정 구축” 등 상용화에 초점을 둔 연구를 수행할 예정이다.

- 섹션별 발표 주제는 1부 해조류 대량생산기술, 2부 해조류 그린에너지개발, 3부 통합공정 및 제품개발에 대한 것이며, 4부 종합토론에서 농식품부 관계자와 자문위원들이 연구내용의 적합성에 대해 논의한다.
- 본 연구는 온실가스 저감 효과를 통한 기후변화대응에 기여할 뿐만 아니라 고부가가치 유용물질의 활용도 가능해 새로운 녹색 수산산업 창출에도 기여할 것으로 기대된다.
- 한편, 이번 워크숍에는 농식품부에서 수습중인 새내기 공무원들이 대거 참여(16명)할 예정인데 해조류바이오매스의 신성장동력화 방안에 대한 열띤 토론이 기대된다.

<별첨>

2010년 농림수산물부 기반구축연구

해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용 워크숍

□ 개요

- 일 시 : 2010년 12월 16일(목) - 17일(금)
- 장 소 : 제주도 서귀포 KAL 호텔
- 주 최 : 농림수산물부
- 주 관 : 부경대학교 청정생산기술연구소
- 프로그램 :

12월 16일(목)			
구분	시간	발표주제	발표자(소속 및 직위)
개회	14:00-14:30	등록	
	14:30-14:40	인사말	어업자원관
	14:40-14:50	총괄보고	우희철 교수(부경대)
1부	14:50~16:00	대량 생산 기술	국립수산물과학원 경상대, 부경대 전남대, 단국대
2부	16:00~17:40	그린에너지 개발	한국과학기술연구원 한국과학기술원 고려대, 국민대 전남대, 경원대 성균관대
3부	17:40~18:50	통합공정 및 제품개발	한국에너지기술연구원 부경대, 충남대 한밭대
토의 및 정리	18:50~22:00	세부과제별 자유토론	
12월 17일(금)			
4부	09:00~11:00	종합토론	

<참고자료 1>

□ 1차년도 연구결과('09.6~'10.4)

◇ 통합적 활용 기술에 의한 고부가 유효성분 및 청정연료 생산

- 건조 다시마 1톤(기준)을 가지고, 용매추출하여 부가가치가 높은 유용 성분인 후코잔틴 및 폴리페놀 추출물 5kg을 회수하였고, 남은 고형물 975kg을 미생물로 무산소 발효시켜 혼합유기산 233kg(혼합알코올 전환시 143kg)을 생산하였다. 유기산은 분리정제해서 화학원료로도 사용할 수 있고, 혼합알코올(에탄올, 프로판올, 부탄올 등이 주된 성분임)로 간단한 화학적 처리에 의해 전환되어 자동차의 청정연료로 사용될 수 있다.
- 혼합유기산을 얻은 후 남은 슬러지 230kg을 급속열분해시켜 바이오 오일 81kg을 얻었다. 해조류에서 얻어진 바이오오일은 목질계에서 얻어지는 오일보다 가솔린 및 디젤과 유사한 구조의 탄화수소로 구성되어 있어 화학적처리 공정을 거쳐 석유대체 연료로 사용될 수 있다. 또한 이 과정에서 부가적으로 에너지원 또는 화학원료로 사용 가능한 탄소분말 83kg과 바이오가스 60kg를 얻었다.

◇ 산업용 희귀금속도 회수 가능

- 최종적으로 남은 물질을 성분 분석한 결과 희귀금속 리튬(3g)과 우라늄(0.4g) 등이 농축 함유되어 있음을 확인하였다. 이는 앞으로 본 연구 프로그램속의 대량생산과 연계시킴으로서 희귀금속 자원의존국에서 자원자립국으로 도약하는데 일조할 것이다.

◇ 해조류 구성 당류 데이터베이스 구축

- 이들 결과는 앞으로 해조류의 통합적 활용을 위한 데이터베이스 구축을 진행하여 국내 거대해조류 10여종에 대한 구성성분 및 조성을 조사 파악하였으며, 앞으로는 해외종에 대해서도 데이터베이스화 함으로서 국가 해조류 바이오매스 자원 확보 및 활용에 이용될 예정이다.

<참고자료 2>

해조류 바이오매스 유용성분 및 에너지 회수 통합공정 개요도



해조류 바이오매스 확보 및 통합적 활용 방안





잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2010. 12. 21

제공자 : 농림수산식품부 자원환경과

과 장 : 박 범 수

사무관 : 차 태 황

전 화 : 02-500-2381

쪽 수 : 2P

별첨자료 : 있음(3P)

이 자료는 2010년 12월 22일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

해조류 바이오매스 통합 활용을 위한 대량생산 기술개발 체제 출범

- 외해 해조류 대량양식 시험가동 및 자동화 개념설계 착수
- 존파일럿 규모 유기산 및 고부가 바이오소재 시제품 생산

- 농림수산식품부는 12월 16일(목)부터 17일(금)까지 이틀간 제주도 서귀포 KAL 호텔에서 『해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용』 워크숍을 통해 2차년도 연구성과 목표 및 계획을 발표하였다.
- 부경대 청정생산기술연구소(연구책임자 우희철 교수)가 주관한 이번 워크숍을 통해 산학관연의 관련분야 전문가들이 참여하여, 현재까지 연구성과를 토론하고 향후 연구방향에 대해 조율하였다.
- 2차년도의 핵심 연구내용으로, 바이오매스용 해조류를 안정적으로 생산 공급하기 위한 대량생산기술의 연구가 본격적으로 시작된다.
- 우리나라 서남해 인근 해역에서 외해(外海) 대량양식이 시험가동되며, 외해에서 잘자라는 비식용 해조류를 포함하여 최적의 해조류 종을 선별한다고 밝혔다. 또한, 외해 자동화 대량생산 시설 및 자동화 이송시스템 개발 연구를 수행한다.

- 해조류를 통합활용 하기 위한 기술개발연구는 1차년도에 실험실 수준에서 벗어나 준파일럿 규모로 유기산 300kg/톤(갈조류 1톤 기준)을 생산하고, 바이오소재 고부가가치 시제품 제작을 통해 가시적인 성과를 선보일 것이라고 밝혔다.
- 농식품부는 지난 5월 10일 발표한 『해조류 바이오매스의 그린 에너지화 및 통합적 활용』 기반구축 1차년도 연구를 통하여, “해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술을 국내외 최초로 확보한 바 있다.
- 이러한 연구를 통해 얻어질 성과물은 지적재산권으로 확보 (특허 8건, 논문 16편)할 예정이며, 국제심포지엄 개최 및 국제학술지 게재를 통하여 해조류 바이오매스 통합활용의 주도권을 확보할 계획이다.
- 본 연구는 장기적으로 국가핵심전략 중 하나인 탄소배출저감에 기여할 뿐만 아니라 수산 및 바이오분야의 새로운 녹색산업 창출에도 기여할 것으로 기대 된다.

<참고자료 1>

해조류 바이오매스 유용성분 및 에너지 회수 통합공정 개요도



해조류 바이오매스 확보 및 통합적 활용 방안



<참고자료 2>

『해조류 바이오매스의 그린에너지화 및 통합적 활용』 기반구축
1차년도('09.6~'10.4) 연구성과

- ◇ 통합적 활용 기술에 의한 고부가 유효성분 및 청정연료 생산
 - 건조 다시마 1톤(기준)을 가지고, 용매추출하여 부가가치가 높은 유용성분인 후코잔틴 및 폴리페놀 추출물 5kg을 회수
 - 남은 고형물 975kg을 미생물로 무산소 발효시켜 혼합유기산 233kg(혼합알코올 전환시 143kg)을 생산
 - * 유기산은 분리정제해서 화학원료로도 사용할 수 있고, 혼합알코올(에탄올, 프로판올, 부탄올 등이 주된 성분임)로 간단한 화학적 처리에 의해 전환되어 자동차의 청정연료로 사용 가능
 - 혼합유기산을 얻은 후 남은 슬러지 230kg을 급속 열분해시켜 바이오오일 81kg 생산
 - * 해조류류에서 얻어진 바이오오일은 목질계에서 얻어지는 오일보다 가솔린 및 디젤과 유사한 구조의 탄화수소로 구성되어 있어 화학적 처리 공정을 거쳐 석유대체 연료로 사용될 수 있으며, 또한 이 과정에서 부가적으로 에너지원 또는 화학원료로 사용 가능한 탄소분말 83kg과 바이오가스 60kg를 생산
- ◇ 산업용 희귀금속도 회수 가능
 - 최종적으로 남은 물질을 성분 분석한 결과 희귀금속 리튬(3g)과 우라늄(0.4g) 등이 농축 함유되어 있음을 확인하였으며, 이는 앞으로 본 연구 프로그램속의 대량생산과 연계시킴으로서 희귀금속 자원의존국에서 자원자립국으로 도약하는데 일조할 것으로 기대

◇ 육상 목질계에 비하여 충분히 경제성이 있음을 확인

- 이러한 가시적 결과를 바탕으로, 기존에 발표된 해조류 바이오에탄올 생산 결과와는 크게 다른 해조류 바이오매스 통합적 활용공정을 구축하였으며, 해조류가 육상 목질계에 비하여 충분히 경제성이 있다는 확신을 가질 수 있도록 하였다.



잠자는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2011. 6. 30.
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
서기관 : 차 태 황
전 화 : 500-2389
쪽 수 : 5P
별첨자료 : 있음(3P)

이 자료는 2011년 7월 1일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

미국,일본의 선진 바이오에너지 기업 국내 해조류 에너지화 기술 수준 인정, 파트너십 원해

- 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄 개최
- 미국을 비롯 해외 네트워크 구성 본격 가동
- 해외 연구진과의 상호 보완적 관계 정립의 계기

《주요내용》

- ◇ 국내외 해조류바이오매스 에너지화 연구동향과 연구성과 발표
- ◇ 미국 등 바이오에너지 선진 기업의 해조류 원료 확보방안과 에너지 기술개발수준 국내 최초 공개

※미국의 알젠 서스테이너블즈사 (Algen Sustainable)의 경영자 제임스 콕 (James Coke), 미국 바이오 아키텍처 랩사(Bio Architecture Lab)의 경영자 유키 카시야마(Yuki Kashiyama), 일본 홋카이도(Hokkaido) 대학 가즈오 미야시타(Kazuo Miyashita) 교수

- 농림수산식품부(장관 : 서규용)는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 『해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄』을 개최한다고 밝혔다.(참고자료 1)

- 이번 심포지엄은 해조류 주 생산지인 완도군과 해조류바이오 매스 에너지화 연구를 총괄하고 있는 부경대학교 청정생산기술연구소가 공동으로 주관하는 것으로 국내외 해조류 바이오 에너지 관련 기업의 CEO와 학자들을 대거 초청하여 그 동안의 연구 성과를 발표하고 국내외 정보를 상호 공유하기 위하여 마련되었다.
- 특히, 바이오에너지 선진국인 미국 기업들에서의 해조류 원료 확보 방안과 에너지 기술개발 수준을 국내 최초로 공개하며, 이를 토대로 **농림수산식품부** 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류바이오 에너지 관련 연구 결과와 비교함으로써 국내 상업화를 보다 앞당길 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.
- 주요 참석자는 미국의 바이오에너지 기업인 알젠 서스테이너블즈사(Algen Sustainable)의 경영자인 제임스 콕(James Coke), 바이오 아키텍처 랩사(Bio Architecture Lab)의 공동 설립자이자 경영자인 유키 카시야마(Yuki Kashiya)와, 일본 홋카이도(Hokkaido)대학의 가즈오 미야시타(Kazuo Miyashita) 교수 등이며 미국과 일본의 해조류 대량생산 및 바이오에너지 관련 기술 및 산업 현황에 대해 발표하게 된다.
- 미국의 바이오 아키텍처랩사는 칠레에서의 40헥타르 규모의 해조류 시범 생산과 이를 이용한 에너지 생산기술에 대해 발표할 예정이며, 미국 서스테이너블즈사는 “베트남 메콩델타

에서의 기회와 도전”이라는 주제로 메콩델타 지역을 활용한 해조류의 생산 및 이를 이용한 에너지 생산 계획을 발표할 예정이다.

- 한편, 국내 바이오에너지 연구팀으로는 **농림수산식품부** 연구과제를 수행하고 있는 『해조류 바이오매스 연구그룹』(책임자 : 부경대 우희철 교수)에서 “해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가 가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술”에 대한 연구 성과를 발표하며, 바이올시스템즈에서 “홍조류로부터 바이오 알콜 생산”에 대한 연구성과를 발표한다.
- 부경대 『해조류 바이오매스 연구그룹』은 지난해 일괄공정으로 다종류의 에너지원을 동시 생산하는 “해조류바이오매스 에너지화 통합공정 원천기술”을 세계 최초로 개발하여 경제성 확보 가능성을 제시한 바 있다. 금년도 가시적 성과로는 건조 다시마 1톤으로부터 휘발성 유기산 350kg, 바이오오일 95kg을 생산하는 데 성공함으로써, 전년대비 바이오에너지 생산수율을 약 50%까지 향상시키는 공정을 구축하였다.(참고자료 2)
- 또한, 바이오에너지 원료로서의 해조류를 대량생산하기 위하여 모자반 외 3종의 비식용 해조류를 완도를 비롯한 기장과 통영에서 양식실험을 행하고 있으며, 에너지원이 될 수 있는 대상종과 고밀도 양식방법을 개발하는 등, 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축해 나가고 있다. (참고자료 3)

- (주)바이올시스템즈는 동남아에서 생산되는 홍조류(우무가사리)에서 바이오에탄올을 생산한 바 있으며 현재 전남 고흥에서 대규모 현장 실험(pilot plant)을 실시하고 있다. 또한, 사탕수수과 옥수수 등과 같은 대표적인 육상 바이오매스와 해양 바이오매스와의 에탄올 생산 경제성 검토를 하고 있다.
- 농림수산식품부 관계자는 앞으로 해조류바이오매스 통합매스와 에너지화에 대한 국제간 정보공유와 인적네트워크 확대를 위하여 국내외 석학과 관련기업이 참여하는 국제 심포지엄을 매년 정례적으로 개최할 계획이라고 밝혔다.
- 이러한 노력은 향후 국가 에너지 자립 기반구축 및 온실가스 저감 효과를 통한 기후변화대응에 선제적으로 대처할 수 있는 초석이 될 뿐 아니라, 유용물질의 고부가가치화를 통해 새로운 녹색산업 창출에 기여할 것으로 기대된다.
- 농림수산식품부에서 수행하고 있는 해조류 바이오매스관련 사업은 비식용 해조류의 통합적 활용을 통해 그린에너지 생산 및 유용 활성 물질의 고부가가치화 창출하기 위한 기술개발에 그 목적이 있다.
- 해조류 바이오매스는 육상 바이오매스(특히, 옥수수, 목질계 등)와 경쟁하지 않는 재생에너지 자원임과 동시에 고부가가치 산업을 창출하는 “블루오션”이 될 수 있다.
- 현재 영국, 미국, 일본 등 선진국들도 본 연구와 유사한 기술

개발 프로그램을 계획하고 바이오에너지 시장을 조기 선점하기 위하여 정부와 기업에서 막대한 예산을 투입하고 있는 것으로 알려지고 있다.

- 심포지엄에 참석한 과학자들은 현재 본 연구 프로그램이 세계적으로 선도적인 위치를 계속 유지하면서 원천기술의 조기 확보와 상용화를 앞당기기 위해서는 정부의 전폭적인 연구재원 지원이 절실하다는 입장이며
- **농림수산식품부** 관계자는 앞으로도 해조류바이오매스 통합활용 기술의 조기 상용화 실현을 위하여 지속적으로 예산을 확대할 계획이라고 밝혔다.

<참고자료 1>

□ 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄

(2011년 7월 4일)

시 간	주 제	발 표
08:30~09:00	등 록	
09:00~09:10	개 회 사	
09:10~09:30	축 사	
Session 1	좌 장	오경근 교수 (단국대학교)
09:30~10:20	홍조류로부터 바이오알콜 생산	신명교 박사 (바이올시스템스)
10:20~11:10	거대조류로부터 재생가능한 연료와 화합물 생성을 위한 생물합성	Mr. Yuki Kashiya (BAL Chile 바이오 설계연구소 CEO, 미국)
11:10~11:20	휴 식	
11:20~12:10	연안 자생 바이오매스의 활용 (매콩델타에서의 기회와 도전)	Mr. James Coke (Algen Sustainable, CEO, 미국)
12:10~13:30	중식	
Session 2	좌 장	김헌태 교수 (부경대학교)
13:30~14:20	건강 기능소재로서의 갈조류	Kazuo Miyashita 교수 (홋카이도 대학, 일본)
14:20~14:40	한국의 해조류 바이오매스 기술현황과 연구개발 계획	우희철 교수 (부경대학교)
14:40~15:00	한국의 다시마 대량생산 기술 개발	김남길 교수 (경상대학교)
15:00~15:10	휴 식	
Session 3	좌 장	박용철 교수 (국민대학교)
15:10~15:30	해조류의 생물학전 전환공정 개발	김경현 교수 (고려대학교)
15:30~15:50	기능성 식품원으로서 해조류 이용	김형락 교수 (부경대학교)
15:50~16:10	급속 열분해 및 혐기성 소화를 이용한 해조류의 바이오오일 생산기술 개발	서동진 박사 (KIST, 청정에너지센터)
16:10~17:00	토 론	좌장: 김형락 교수 (부경대학교)

International Symposium on Seaweed Biomass Production & Bioenergy

July 3-5, 2011 / ChangPoGo Memorial Hall, Wando, Korea

- Supported by : Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries
- Hosted by : The Institute of Cleaner Production Technology, Pukyong National University, Wando County

Program

Date	Time	Subject	Lecturer
7. 3	18:30~20:30	- Welcome Reception	
	08:30~09:00	- Registration	
	09:00~09:10	- Opening Remark	
	09:10~09:30	- Congratulatory Remark	
	Session 1	Chairman	Dr. Kyeongkeun Oh (Prof. Dankook University)
	09:30~10:20	- Production of Bioethanol from Macro Red Algae	Dr. Myung Kyo Shin (Vice-President, BiolSystems)
	10:20~11:10	- Synthetic Biology for Renewable Fuels and Chemical Production from Macroalgae	Mr. Yuki Kashiwara (Co-founder & CEO of BAL Chile, Bio Architecture Lab, USA)
	11:10~11:20	Coffee Break	
	11:20~12:10	- On-shore Aquatic Biomass: Opportunities and Challenges in the Mekong Delta	Mr. James Coke (CEO, Algen Sustainable, USA)
	12:10~13:30	Lunch	
	Session 2	Chairman	Dr. Heon-Tae Kim (Prof. Pukyong National University)
	13:30~14:20	- Beneficial Health Effect of Seaweed Bio-actives	Dr. Kazuo Miyashita (Prof. Hokkaido University, Japan)
	14:20~14:40	- Current Status and R&D Roadmap of Seaweed Biomass Technology in Korea	Dr. Hee Chul Woo (Prof. Pukyong National University)
	14:40~15:00	- Introduction to the Massculture System of Kelp in Korea	Dr. Nam-Gil Kim (Prof. Gyeongsang National University)
	15:00~15:10	Coffee Break	
	Session 3	Chairman	Dr. Yong-Cheol Park (Prof. Kookmin University)
	15:10~15:30	- Development of Biological Conversion Process for Utilizing Brown Macroalgae	Dr. Kyoung Heon Kim (Prof. Korea University)
	15:30~15:50	- Potential Utilization of Seaweeds as Nutraceuticals	Dr. Hyeung-Rak Kim (Prof. Pukyong National University)
	15:50~16:10	- Green Liquid Fuel Production from Seaweed by Fast Pyrolysis and Anaerobic Digestion	Dr. Dong Jin Suh (Researcher, Clean Energy Center, Korea Institute of Science & Technology)
	16:10~17:00	Panel Discussion	Chairman Dr. Hyeung-Rak Kim, (Prof. Pukyong National University)
7. 5	09:00~	Discussion and Seaweed Farm Tour	

<참고자료 2>



<참고자료 3>





잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2011. 7. 6.
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
서기관 : 차 태 황
전 화 : 500-2389
쪽 수 : 4P
별첨자료 : 있음(1P)

이 자료는 2011년 7월 7일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

국내 해조류 대량생산 및 에너지화 기술수준 인정, 국제협력체제 구축 기틀 마련

- 2차년도 연구결과 해조류 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공
- 국내외 기관간 실질적 MOU 체결 추진(미국-한국-일본)

《 주 요 내 용 》

- ◇ 국내 해조류 바이오매스 에너지화 2차년도 연구결과 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공
- ◇ 미국 선진기업의 바이오에너지 기술과 일본의 해조류 고부가가치화 기술, 우리나라의 해조류 대량생산 및 통합활용기술의 연계를 통한 Win-Win 효과 기대, MOU 체결 추진

- 농림수산식품부(장관 서규용)는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 『해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄』 개최를 통하여, 우리나라 해조류 바이오매스 활용이 세계적인 수준에 있음을 다시금 확인하였다.

- 이번 심포지엄은 우리나라 해조류 주 생산지인 완도군에서 개최되었고, 미국과 일본의 선진 해조류 바이오에너지 분야 관련 CEO와 학자를 초청, 현재 연구성과 및 기술내용 발표를 통하여 국내외 정보를 상호 교류하는 장이 마련되었다.
- 특히, 바이오에너지 선진국인 미국 기업들의 해조류 원료 확보 방안 및 바이오에너지 기술개발 수준과 일본의 해조류 고부가가치화 기술을 국내에서 최초로 공개하였으며, 현재 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류 바이오매스 확보 및 에너지화 기술개발 수준 PR을 통해 국내기술의 독창성을 알리고, 국제협력 연구를 위해 MOU를 체결하기로 합의하였다.
- 미국의 바이오 아키텍처랩사는 칠레에서의 40헥타르 규모의 해조류 시범 생산과 이를 이용한 에너지 생산기술에 대해 발표하였으며, 미국 서스테이너블즈사는 “베트남 메콩델타에서의 기회와 도전”이라는 주제로 메콩델타 지역을 활용한 해조류의 생산 및 이를 이용한 에너지 생산 계획을 발표하였다.
- 국내 바이오에너지 연구팀으로는 농림수산식품부 연구과제를 수행하고 있는 『해조류 바이오매스 연구그룹』(책임자 : 부경대 우희철 교수)에서 “해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술”에 대한 2차년도 연구성과를 발표하였고, 국내기업으로 바이올시스템즈에서 “홍조류로부터 바이오 알코올 생산”에 대한 연구성과를 발표하였다.

- 부경대 『해조류 바이오매스 연구그룹』은 지난해 일관공정으로 다종류의 에너지를 동시 생산하는 “해조류바이오매스 에너지화 통합공정 원천기술”을 세계 최초로 개발하여 경제성 확보 가능성을 제시한 바 있다. 금년도(2차년도) 가시적 성과로는 건조다시마 1톤으로부터 휘발성 유기산 400kg(혼합알코올 260kg), 바이오오일 95kg을 생산하는 데 성공함으로써, 전년대비 바이오에너지 생산수율을 약 55%까지 향상시키는 공정을 구축하였다. 초산등을 포함하는 휘발성 유기산은 기초 화학원료로 사용될 수 있으며, 이를 총매를 이용하여 환원 반응을 그치면 혼합알코올로 전환되는데 이는 기존의 에탄올보다 우수한 성질을 가진 가솔린 자동차 연료로 사용할수 있다.(참고자료 1)
- 또한, 바이오에너지 원료로서의 해조류를 대량생산하기 위하여 모자반 외 3종의 비식용 해조류를 완도를 비롯한 기장과 통영에서 양식실험을 행하고 있으며, 에너지원이 될 수 있는 대상종과 고밀도 양식방법을 개발하는 등, 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축해 나가고 있다.(참고자료 2)
- (주)바이올시스템즈는 동남아에서 생산되는 홍조류(우무가사리)에서 바이오에탄올을 생산한 바 있으며, 현재 전남 고흥에서 대규모 현장 실험(pilot plant)을 실시하고 있다. 또한, 사탕수수과 옥수수 등과 같은 대표적인 육상 바이오매스와 해양 바이오매스와의 에탄올 생산 경제성 검토를 하고 있다.

- 농림수산식품부 관계자는 향후 해조류 바이오매스 대량생산 및 에너지화에 대한 국제간 정보공유와 인적네트워크 확대를 위하여 MOU를 체결할 예정이며, 국내외 석학과 관련기업이 참여하는 국제 심포지엄을 매년 정례적으로 개최할 계획이라고 밝혔다.

- 농림수산식품부에서 수행하고 있는 해조류 바이오매스관련 사업은 비식용 해조류의 통합적 활용을 통해 그린에너지 생산 및 유용 활성 물질의 고부가가치화 창출하기 위한 상용화 기술 개발에 그 목적이 있으며, 미국, 영국, 일본 등 선진국에 맞서 바이오에너지 시장을 조기 선점하기 위해 정부의 전폭적인 재정 지원을 추진할 계획이라고 밝혔다.

- 이러한 노력은 향후 국가 에너지 자립 기반구축 및 온실가스 저감 효과를 통한 기후변화대응에 선제적으로 대처할 수 있는 초석이 될 뿐 아니라, 유용물질의 고부가가치화를 통해 새로운 녹색산업 창출에 기여할 것으로 기대된다.

<참고자료 1>



<참고자료 2>



주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 연구용역사업의 결과 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 연구용역사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.